Dott. Ing. Prof. GIORGIO CRISCI

COSTRUZIONE SCHEMI E CALCOLO
DEGLI
AVVOLGIMENTI
DELLE
MACCHINE ELETTRICHE ROTANTI

Quattordicesima edizione aggiornata ed ampliata

357 FIGURE - 282 TAVOLE - 104 TABELLE

S.T.E.M.-MUCCHI - MODENA

©

S.T.E.M. MUCCHI - MODENA

Si ritengono contraffatte le copie non firmate dall'Autore

Prefazione alla prima edizione

Il presente volume è destinato principalmente ai giovani riavvolgitori che desiderano formarsi una seria cultura nel campo degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti, ma può riuscire egualmente utile agli allievi elettrotecnici degli Istituti Tecnici Industriali. Dato che il libro sviluppa argomenti del corso di «Costruzioni elettromeccaniche e tecnologie relative», *esso può essere considerato come parte integrante del volume* «Tecnologie delle costruzioni elettromeccaniche» *della stessa Editrice.*

Tenendo conto dell'uso a cui è destinato il volume, ho voluto dare un carattere eminentemente pratico alla trattazione dei vari argomenti, attenendomi nel calcolo degli avvolgimenti a formule razionalmente semplificate, in modo da rendere spediti i calcoli stessi, pur realizzando una sufficiente esattezza.

Sento il dovere di rivolgere un affettuoso ringraziamento al Signor Sefano Lavaggi, Capofficina dell'Istituto Tecnico Industriale "Fermo Corni" di Modena, per l'attiva collaborazione prestata fornendomi utili dati pratici e schemi rilevati direttamente su motori asincroni di varie ditte, ed al Sig. Dorval Mescoli, disegnatore presso lo stesso Istituto, per l'accurata esecuzione dei disegni.

Rivolgo altresì un sentito grazie alle ditte: Brown Boveri, S.A.F.I. e in modo particolare alla E. Marelli e alla Compagnia Generale di Elettricità (C.G.E.) che mi hanno fornito abbondante materiale illustrativo.

L'AUTORE

Modena, Agosto 1947

Nota alla seconda edizione

Esaurita in brevissimo tempo la prima edizione, accingendomi ad aggiornare ed ampliare la materia trattata, ho curato di aggiungere consigli pratici intesi a risolvere molti altri problemi con calcoli semplificati al massimo perchè possano esere applicati da chiunque abbia modestissime cognizioni dei principî di elettrotecnica.

E questo perchè, contrariamente a quanto è da altri affermato, ritengo si debba cercare di elevare la cultura del semplice operaio ponendogli fra le mani in modo intelligibile quei calcoli e quelle formule che non debbono restare esclusivo patrimonio di categorie privilegiate.

L'opera mia mira quindi a rendere in breve tempo indipendenti, almeno per i problemi più comuni e frequenti, gli operai più appassionati e volenterosi.

L'AUTORE

Agosto 1948

Nota alla quarta edizione

In questa nuova edizione del volume ho aggiunto numerosi schemi di avvolgimenti statorici trifasi perchè ciò mi è stato richiesto da più parti, sebbene, a parer mio, la trattazione dettagliata sulla preparazione degli schemi di avvolgimento ed in particolare le due tabelle XXXIII e XXXIV, le quali consentono di eseguire facilmente anche gli schemi di avvolgimenti trifasi con numero di cave per polo-fase frazionario, rendessero superflue tali aggiunte.

Affinchè l'opera risultasse sempre più aderente alle esigenze della vita pratica di officina ho provveduto pure ad aggiungere varie tabelle ed alcune tavole su attrezzi di facile costruzione e di grande utilità per gli artigiani.

Ho voluto accogliere anche l'invito ad esporre un metodo di calcolo completo ma semplificato dei motori asincroni di piccola potenza.

Mi è gradito rivolgere un vivo ringraziamento alla ditta Marelli che anche per questa ultima edizione del volume mi ha dato cortesemente la Sua collaborazione.

L'AUTORE

Giugno 1956

Alcuni giudizi sulle precedenti edizioni

Fra le varie recensioni del presente volume ne riportiamo una scritta da *S. E. Giovanni Giorgi, illustre membro dell'Accademia Pontificia* e *dell'Accademia dei Lincei*, ed altre pubblicate sulla Rivista « *L'elettrotecnica* » e sul « *Bollettino internazionale delle opere scientifiche* ».

L'EDITORE

« Ecco un libro che è destinato in primo luogo agli Istituti Tecnici Industriali, nei quali l'A. del libro si è affermato come un valoroso Insegnante, ma che ha trovato clientela anche fra gli studenti d'ingegneria e fra gli ingegneri esercenti. Per verità non esisteva in nessuna nazione del mondo un'opera bene aggiornata e ben particolareggiata su questa materia. Essa non fa double emploj col classico trattato di elettromeccanica del Pestarini. Quest'ultimo insegna la teoria delle costruzioni elettromeccaniche da un punto di vista elevato: il libro del Crisci contiene invece le istruzioni particolareggiate ed i dati precisi che occorrono per passare ad esecuzione un progetto di macchine elettriche. È veramente ammirevole che una così grande mole di regole, di dati e di illustrazioni, che scendono fino ai più minuti particolari esecutivi, sia stata riunita in un libro. Le pagine di esso sono ricche di disegni costruttivi dei particolari delle moderne macchine.

Ci congratuliamo vivamente con l'Autore per la riuscita dell'opera ».

GIOVANNI GIORGI

Settembre 1949

« Abbiamo dato recentemente notizia (vedi « L'elettrotecnica » N. 3 del marzo 1948, pag. 122) della prima edizione di questo libro, segnalandone i pregi e la utilità non soltanto nel campo didattico, ma anche e principalmente per i costruttori e riparatori di macchine elettriche.

Il rapidissimo esaurirsi della prima edizione attesta del largo favore incontrato dal libro negli ambienti tecnici.

L'A. ne presenta ora una seconda edizione, molto ampliata e accuratamente aggiornata. È stata posta particolare cura nell'esporre in forma chiara e facilmente accessibile a chi abbia una modesta preparazione, i calcoli e le formule fondamentali relative alle macchine rotanti.

Le 155 tavole che accompagnano il volume costituiscono un ampio repertorio di schemi di avvolgimenti, al quale specialmente i tecnici più modesti potranno molto utilmente fare ricorso.

La presente seconda edizione incontrerà certamente non minore favore della precedente ».

« L'ELETTROTECNICA »

Marzo 1949

« L'opera del dott. ing. Crisci contiene tutte le istruzioni particolareggiate ed i dati esatti onde potere eseguire e progettare macchine elettriche.

Questa nuova edizione (la quarta) è stata aggiornata e notevolmente ampliata da ben 40 tavole di schemi di avvolgimenti e di numerose tabelle, che saranno di grande utilità per chi lavora in questa branca di officina.

È stato pure aggiunto, in questa nuova edizione, un metodo di calcolo completo dei motori asincroni trifasi, assai semplice e chiaro, integrato da un esempio di progetto alla portata anche di coloro che mancano di una preparazione specifica.

L'opera per i suoi caratteri di grande semplicità, così arricchita, assolverà e promuoverà un compito altamente sociale, cioè quello di mettere anche i più modesti ma volenterosi autodidatti in condizione di svolgere compiti sempre più impegnativi.

Opera diremo quindi completa, perfettamente aggiornata, utilissima sia al pratico che al tecnico, e indispensabile per la biblioteca di ogni grande o piccola officina.

Il libro, dobbiamo elogiare il suo Editore, si presenta in buona veste editoriale e perfettamente stampata ».

BOLLETTINO INTERNAZIONALE DELLE OPERE SCIENTIFICHE

Tecnica - N. 5 - 1950

Il miglior commento a questo libro è dato proprio dal fatto che esso è giunto, in pochi anni, alla sua VII edizione; esso attesta da un lato il largo favore incontrato presso i tecnici, dall'altro l'impegno posto dall'autore nel mantenerlo vivo ed aggiornato e sempre rispondente all'interesse di un largo pubblico.

Come già nelle precedenti edizioni, l'Autore non considera gli avvolgimenti come a sè stanti, ma fornisce, pur senza addentrarsi nella teoria del funzionamento delle varie macchine, tutti gli elementi fondamentali per il progetto e la costruzione di piccoli motori a corrente continua, asincroni ed universali illustrandoli con numerosi esempi di calcolo.

Ma, naturalmente, la maggiore ampiezza è data alle caratteristiche costruttive degli avvolgimenti, curando la illustrazione sia dei diversi materiali che delle differenti tecnologie impiegate a tale scopo: in questo campo l'opera è stata aggiornata con l'indicazione dei più recenti progressi nel campo delle resine e dei materiali per temperature elevate.

La trattazione è tenuta molto semplice, ma chiara e completa; essa si vale, specie per gli schemi di collegamento, di ben 251 tavole, che si aggiungono alle già numerose illustrazioni e fotografie ed alle molte tabelle.

Il libro, se risulta da una parte accessibile anche ad un tecnico di modesta preparazione, per la netta impostazione pratica, può riuscire certamente utile e didatticamente efficace per gli allievi sia degli Istituti Tecnici che delle Facoltà di Ingegneria e a tutti coloro che debbono eseguire progetti per la costruzione, la riparazione o il ravvolgimento di macchine elettriche di non grande potenza.

« L'ELETTROTECNICA »

Agosto 1963 - N. 8.

Significato dei principali simboli adottati

α' = angolo elettrico tra due cave
α = rapporto tra arco ideale e passo polare
α_a = angolo elettrico tra gli assi di due matasse dello stesso gruppo
β = angolo elettrico di raccorciamento passo
δ = lunghezza traferro polo principale / lunghezza traferro motori asincroni
δ_1 = lunghezza traferro polo ausiliario
δ_f = lunghezza traferro fittizio
η = rendimento
ρ = resistività elettrica in $\Omega \cdot mm^2/m$
σ = densità di corrente
σ_r = densità di corrente nel rotore
σ_d = coefficiente di dispersione
σ_s = densità di corrente nelle spazzole
τ = passo polare
τ_b = passo alla base del dente
τ_z = passo di dentatura
φ = angolo di sfasamento
Φ = flusso
Φ_{cs} = flusso corona statore
Φ_δ = flusso per polo nel traferro
$\Phi_{\delta e}$ = flusso effettivo nel traferro
ω = velocità angolare
$2a$ = numero vie
Afc = amperfili per cm
$Asp\ P.O.P.$ = amperspire per ogni polo principale
$Asp/polo\ ausil.$ = amperspire per ogni polo ausiliario
b_c = larghezza cava
b_{ep} = ampiezza espansione polare
b_p = larghezza polo
b_{spazz} = larghezza spazzole
B_{cor} = induzione nella corona
B_{cs} = induzione nella corona statorica
B_d = induzione nei denti
B_δ = induzione nel traferro
$B_{\delta 1}$ = induzione nel traferro del polo ausiliario
B_g = induzione nel giogo
B_p = induzione nel polo
C = capacità
E = forza elettromotrice
E_{fr} = forza elettromotrice di fase rotorica
E_f / E_{fs} = forza elettromotr. di fase statorica
E_r = tensione di reattanza
f_c = frequenza del ciclo di magnetizzaz.
f_{comm} = frequenza di commutazione
F = numero dei fasci
Ff = fattore di forma
Fr = fattore di riduzione dell'induzione nel traferro
h = lunghezza dente
h_c = altezza corona indotto
h_{cs} = altezza corona statore
h_p = altezza polo
H_c = forza magnetica nella corona
H_d = forza magnetica nei denti
H_δ = forza magnetica nel traferro
$H_{\delta 1}$ = forza magnetica nel traferro del polo ausiliario
H_g = forza magnetica nel giogo
H_p = forza magnetica nel polo
I_a = corrente attiva
I_{an} = corrente negli anelli di cortocircuito
$I_{avv.r}$ = corrente di avviamento nel rotore
I_{cci} = corrente ideale di cortocircuito
I_{eccd} = corrente eccitazione in derivazione
I_{eccs} = corrente eccitazione in serie
I_{est} = corrente esterna
I_f = corrente di fase nel funzionamento normale

I_{fcc} = corrente di fase effettiva di cortocircuito
I_{fl} = corrente di fase di cortocircuito letta
I_{fo} = corrente di fase a vuoto
I_{fr} = corrente di fase rotorica
I_{fs} = corrente di fase statorica
I_l = corrente a vuoto letta
I_μ = corrente magnetizzante
I_n = corrente assorbita alla potenza nominale
I_{pc} = corrente di pieno carico
I_{sb} = corrente nelle sbarre rotoriche
K = costante
K_a / K_{as} = fattore d'avvolgimento statorico
K_{ar} = fattore d'avvolgimento rotorico
K_c = coefficiente di Carter
K_{cusc} = coefficiente perdite per attrito cuscinetti
K_δ = coefficiente correzione traferro
K_d = fattore di distribuzione o di ripartizione
K_p = fattore di passo o di corda
K_{pc} = coefficiente perdita caratteristica in funzione di fc
K_r = rapporto fra lunghezza assiale e diametro interno pacco statorico
K_{sa} = fattore di saturazione
l_b = spessore delle testate delle matasse
l_c = lunghezza corona
l_g = lunghezza giogo
l_p = lunghezza polo principale
L = induttanza
L_a = lunghezza attiva del pacco lamiere
L_g = lunghezza geometrica del pacco lamiere
L_{spm} = lunghezza spira media dell'avvolgimento indotto o statorico
L_{spmp} = lunghezza spira media polo principale
L_{spmpa} = lunghezza spira media polo ausiliario
m = numero fasci per cava
N = numero dei giri al minuto
n_c = numero cave statore o indotto
n_{cr} = numero cave rotore
n_{cs} = numero cave statore
n_{dap} = numero denti sotto arco polare
n_l = numero lamelle collettore
n_{spa} = numero spire polo ausiliario
n_{spb} = numero spire per bobina polo principale
n_{spz} = numero spire per zona
p = numero coppie polari
P_a = potenza apparente
P_{add} = perdite addizionali
P_{as} = perdite attrito spazzole
P_c = potenza del condensatore
P_{cc} = potenza di cortocircuito
P_{cu} = perdite nel rame
P_{cur} = perdite nel rame del rotore
P_{cus} = perdite nel rame dello statore
P_{comm} = perdite commutazione
P_{cusc} = perdite cuscinetti
P_d = perdite nei denti
P_{ecod} = perdite eccitazione in derivazione
P_{fc} = cifra di perdita
P_{fe} = perdite nel ferro
P_{js} = perdita per effetto joule nello statore
P_n = potenza nominale o normale
P_o = potenza a vuoto
P_r = potenza resa
q = numero cave per polo-fase
Q = numero delle cave per polo
R_a = resistenza di avviamento per fase
R_{aus} = resistenza bobine poli ausiliari
R_b = resistenza per bobina polo principale
R_{cc} = resistenza di cortocircuito
R_i = resistenza avvolgimento indotto
R_r = resistenza equivalente totale del rotore
R_{rs} = resistenza di rotore ridotta ad una fase di statore
R_1 / R_s = resistenza di una fase dell'avvolgimento statorico
R_2 = resistenza di una fase dell'avvolgimento rotorico
R_{serie} = resistenza bobine di eccitazione in serie
s = sporgenza delle matasse dal pacco lamiere
$s\%$ = scorrimento percentuale
S_c = sezione conduttore indotto o statore
S_{cp} = sezione conduttore bobine polo principale
S_{cpa} = sezione conduttore polo ausiliario

S_{cor} = sezione corona indotto
S_{cs} = sezione corona statore
S_d = sezione denti
S_{ecod} = sezione conduttore eccitazione in derivazione
S_δ = superficie traferro
S_{ep} = superficie espansione polare
$Sf_{centrifugo}$ = sforzo totale sulle legature di sicurezza
S_g = superficie giogo
S_p = sezione polo principale
S_{ra} = sezione reostato di avviamento
S_s = superficie spazzole
S_{sb} = sezione sbarre rotore
T_c = periodo di commutazione
v_p = velocità periferica indotto
V_c = tensione ai morsetti del condens.
v_{pco} = velocità periferica collettore
V_{cor} = tensione magnetica corona indotto o statore
V_{ecc} = tensione di eccitazione
V_d = tensione magnetica nei denti
V_δ = tensione magnetica nel traferro
V_{fcc} = tensione di fase di cortocircuito
V_f / V_{fs} / V_1 = tensione di fase statorica
V_g = tensione magnetica nel giogo
V_p = tensione magnetica nel polo
X_{cc} = reattanza di cortocircuito
X_{rs} = reattanza del rotore ridotta a statore
X_s = reattanza di fase dello statore
y = passo risultante
y_{sm} = passo d'avvolgimento medio
y_c = passo al collettore / passo avvolgimento statorico
y_1 = passo anteriore
y_2 = passo posteriore
y_n = passo alle cave o passo d'avvolgimento
y_{ce} = passo delle connessioni equipotenziali
z_m = spessore medio del dente
Z = numero conduttori dell'indotto o di una fase dello statore
Z_{cc} = impedenza di cortocircuito
Z_{eff} = numero effettivo conduttori dell'indotto o per fase statorica
Z_r = numero conduttori di una fase del rotore
$\varnothing_{bd}$ = diametro base dente
$\varnothing_c$ = diametro conduttore d'avvolgimento
$\varnothing_{ci}$ = diametro conduttore isolato
$\varnothing_{cn}$ = diametro conduttore nudo
$\varnothing_{co}$ = diametro collettore
$\varnothing_{cp}$ = diametro conduttore polo principale
$\varnothing_{cpa}$ = diametro conduttore polo ausiliario
$\varnothing_e$ = diametro esterno pacco lamiere
$\varnothing_i$ = diametro interno pacco lamiere
$\varnothing_{gi}$ = diametro interno giogo
$\varnothing_{mc}$ = diametro medio corona
$\varnothing_{mg}$ = diametro medio giogo

INDICE

Pag.

Prefazione alla prima edizione V
Nota alla seconda edizione VI
Nota alla quarta edizione VI
Alcuni giudizi sul volume VII
Significato dei prinicipali simboli adottati IX

Generalità sulle macchine elettriche rotanti

Premesse 1
Unità di misura adottate 5
Tipi di macchine elettriche rotanti 5
Classificazione in base al sistema di chiusura 5
Classificazione in base al sistema di raffreddamento 7
Tipi di servizio 8
Osservazioni 9
Forme costruttive delle macchine elettriche rotanti delle serie UNEL-MEC . . 10
I motori asincroni trifasi serie MEC 13

Capitolo primo

Materiali dielettrici - Vernici dielettriche - Isolamento dei conduttori per avvolgimenti

Generalità 17
Isolamento fra spira e spira 21
Isolamento verso massa delle matasse e delle bobine di campo 21
Isolamento di serraggio 21
Classi di isolamento e materiali relativi 22

Materiali dielettrici

Prodotti di fibre tessili naturali 26
Tessuto di vetro sterlingato 27
Tessuto di vetro al silicone 27
Carta 28
Cartoni 28
Mica 29
Micaniti 29
Isomica e derivati 30
Dielettrici per isolamento cave 32

Vernici dielettriche Pag.

Generalità . . . 37
Classificazioni delle vernici . . . 38
Sistemi di applicazione . . . 41
Tipi di vernici essiccanti al forno . . . 43
Tipi di vernici essiccanti all'aria . . . 45
Vernici senza solvente . . . 45
Tipi di vernici senza solvente . . . 49
Siliconi . . . 50

Isolamento dei conduttori per avvolgimenti

Tipi di conduttori e generalità . . . 52
Fili isolati con tessili . . . 52
Fili e piattine isolati con carta e con carta e tessile . . . 53
Conduttori di rame smaltati . . . 53
Nuove resine per fili smaltati . . . 54
Conduttori isolati in elettrovetro . . . 56

Capitolo secondo

Pacco lamiere

Generalità . . . 59
Isolamento delle lamiere . . . 62
Vernici per lamierini magnetici . . . 63
Lamiere circolari in un sol pezzo ed a segmenti . . . 64
Tipi di cave . . . 65
Preparazione dei lamierini per motori asincroni . . . 68
Formazione dei pacchi . . . 70
Pacchi lamellari del commercio per motori asincroni . . . 82

Capitolo terzo

Collettore - Spazzole e portaspazzole

Collettore

Generalità e particolarità costruttive . . . 89
Forcelle . . . 91

Spazzole e portaspazzole

Spazzole . . . 93
Portaspazzole . . . 100

Capitolo quarto

Avvolgimenti induttori

Generalità . . . 103
Costruzione delle bobine di campo ed ausiliarie . . . 104
Collegamento delle bobine . . . 108
Sagome . . . 111

Capitolo quinto

Avvolgimenti indotti a corrente continua e schemi relativi

Pag.

Richiami e generalità . . . 117
Tipi di avvolgimenti . . . 119
Elementi di calcolo dei passi . . . 123
Avvolgimenti embricati . . . 125
Avvolgimenti ondulati . . . 127
Osservazioni . . . 129
Passo alle cave . . . 130
Avvolgimenti con zona inutilizzata e con zona inattiva . . . 132
Collegamenti equipotenziali . . . 137
Schema numerico e grafico dell'avvolgimento . . . 142
Esempi di avvolgimenti . . . 143
Schemi di avvolgimenti ed esempi costruttivi . . . 184

Schemi d'avvolgimenti di rotori a corrente continua . . . 187

Esempi costruttivi di macchine a corrente continua

Dati di targa, dimensioni principali e dati sugli avvolgimenti . . . 207

Capitolo sesto

Costruzione degli avvolgimenti indotti

Generalità . . . 231
Avvolgimenti in filo . . . 235
Sagome . . . 237
Forma e dimensioni delle matasse a mantello . . . 246
Isolamento delle matasse . . . 248
Curvatura della matassa . . . 251
Avvolgimenti a sbarre . . . 252
Isolamento in cava . . . 261
Montaggio delle matasse . . . 261
Collegamenti al collettore . . . 263
Zeppe di chiusura delle cave . . . 269
Legature o bandaggi . . . 270
Calcolo delle legature con fili metallici . . . 271
Collaudo degli avvolgimenti indotti . . . 274

Capitolo settimo

Calcolo degli avvolgimenti a corrente continua

Premesse . . . 279
Grandezze fondamentali di calcolo . . . 280
Coefficiente di riempimento cava . . . 284

Calcolo dell'avvolgimento indotto

Numero conduttori - Spire/zona e fasci/cava . . . 285
Flusso del traferro ed Afc . . . 289
Sezione del conduttore . . . 291

Pag.

Calcolo delle amperspire di eccitazione
Generalità . . . 291
Tensioni magnetiche parziali . . . 295
Tabella riassuntiva dei calcoli delle amperspire/polo . . . 301
Sezione del conduttore e numero di spire per polo . . . 301
Caratteristica a vuoto . . . 304

Calcolo delle amperspire dei poli ausiliari
Generalità sulla commutazione . . . 304
Calcolo della tensione di reattanza . . . 305
Calcolo delle superspire per polo . . . 307
Controllo della caduta di tensione . . . 310

Calcolo del rendimento
Generalità . . . 310
Perdite nel ferro . . . 310
Perdite per effetto joule . . . 314
Perdite per attrito . . . 315
Perdite addizionali . . . 316
Riavvolgimento con cambio delle caratteristiche . . . 317
Cambio delle caratteristiche senza sostituzione degli avvolgimenti . . . 319

Esempi di calcolo
1° esempio: *generatore di corrente continua* (dati di targa e dimensioni principali) 324
2° esempio: *motore a corrente continua* (dati di targa e dimensioni principali) . 338
3° esempio: *generatore di corrente continua* (dati di targa e dimensioni principali) 347
4° esempio: *riavvolgimento di una dinamo con cambio delle caratteristiche* (dati di targa) . . . 356

Capitolo ottavo

Avvolgimenti statorici a corrente alternata

Richiami e generalità . . . 359
Avvolgimenti monofasi . . . 361
Sistemi di collegamento . . . 368
Avvolgimenti trifasi . . . 372
Avvolgimenti trifasi a matasse . . . 372
Particolarità costruttive degli avvolgimenti indotti delle macchine sincrone . . . 375
Esempio costruttivo . . . 379

Capitolo nono

Avvolgimenti dei motori asincroni e schemi relativi

Generalità . . . 381
Tipi di avvolgimenti statorici . . . 382
Avvolgimenti a passo intero ed a passo raccorciato . . . 382
Vantaggi degli avvolgimenti a 2 strati a passo raccorciato . . . 385

Pag.

Collegamento della fase . . . 386
Capi terminali delle fasi e collegamenti sulla morsettiera . . . 387
Motori a 2 o più velocità . . . 390
Commutatori per motori a 2 velocità . . . 396
Fattore di avvolgimento, fattore di distribuzione e fattore di passo . . . 398
Calcolo di K_a col metodo trigonometrico . . . 407
Fattore di avvolgimento per avvolgimenti a 2 velocità con avvolgimento unico . 413
Fattore di avvolgimento per avvolgimenti normali con « q » frazionario . . . 415
Osservazioni sul fattore di distribuzione . . . 416
Esempi . . . 418
Avvolgimenti rotorici . . . 421
Esecuzione degli schemi di avvolgimento . . . 423
Schemi di avvolgimenti a numero intero di cave per polo-fase . . . 424
Schemi di avvolgimenti a 2 matasse/cava con numero frazionario di cave per polo/fase . . . 430
Verifica dei collegamenti degli avvolgimenti trifasi . . . 435
Motori monofasi . . . 438
Capacità del condensatore per motori asincroni monofasi . . . 444
Schemi di avvolgimento ed esempi costruttivi . . . 449
Schemi d'avvolgimenti statorici trifasi . . . 451
Schemi d'avvolgimenti rotorici trifasi . . . 633
Schemi d'avvolgimenti statorici monofasi . . . 643
Esempi costruttivi di motori asincroni
Dati di targa, dimensioni principali e dati sugli avvolgimenti . . . 669

Capitolo decimo

Costruzione degli avvolgimenti dei motori asincroni

Generalità . . . 707
Avvolgimento infilato . . . 708
Costruzione delle matasse e sagome relative . . . 709
Isolamento in cava . . . 713
Montaggio delle matasse . . . 720
Avvolgimento ondulato . . . 724
Rotore a gabbia . . . 725
Rotore avvolto . . . 727
Prove e rifiniture . . . 732
Verifiche . . . 732
Diagramma circolare
Richiami e generalità . . . 732
Costruzione del diagramma circolare . . . 736
Interpretazione del diagramma circolare . . . 740
Diagramma circolare corretto . . . 742
Esempio di verifica di un motore asincrono trifase mediante il diagramma circolare . 743

Capitolo undicesimo

Dimensionamento del pacco lamiere dei motori asincroni

Calcolo delle dimensioni fondamentali del pacco statorico — Pag.

Diametro interno e lunghezza assiale . . . 747
Osservazioni . . . 752
Traferro . . . 753
Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni . . . 754
Peso dei lamierini . . . 770
Potenza dei motori asincroni trifasi in funzione delle dimensioni del pacco lamiere 770

Dimensionamento corona statore e cave statore e rotore . . . 774

Cave statore . . . 775
Corona statore . . . 777
Cave rotore . . . 778
Fattore di potenza massimo . . . 779

Capitolo dodicesimo

Calcolo degli avvolgimenti dei motori asincroni

Premesse . . . 781
Grandezze fondamentali di calcolo . . . 782
Circuito magnetico ed induzioni massime . . . 799
Riavvolgimento di un motore con caratteristiche immutate . . . 801
Riavvolgimento con cambio delle caratteristiche . . . 802
Riavvolgimento di un motore sprovvisto dell'avvolgimento statorico (Calcolo dell'avvolgimento statorico) . . . 809
Calcolo dell'avvolgimento rotorico . . . 813
Calcolo dell'avvolgimento statorico per motori a 2 velocità . . . 814

Esempi di riavvolgimento con cambio delle caratteristiche

1) Cambio della tensione di alimentazione: da 220 a 260 volt . . . 816
2) Cambio della frequenza: da 42 a 50 p/s . . . 816
3) Cambio della tensione e della frequenza: da 380 V e 50 p/s a 220 V e 60 p/s 817
4) Cambio del passo di avvolgimento: $1 \div 12$ a $1 \div 10$ . . . 817
5) Cambio del passo di avvolgimento: da $1 \div 7$ a $1 \div 5$ . . . 818
6) Modifica della velocità: da $1500 \div 3000$ giri/min . . . 813
7) Modifica della velocità: da $1500 \div 1000$ giri/min . . . 820
8) Modifica della velocità: da 3000 a 1500 giri/min . . . 822
9) Modifica della velocità: da 3000 a 1000 giri/min . . . 824

Esempi di calcolo degli avvolgimenti

1) Motore a 1 polarità . . . 825
2) Motore monofase ad 1 polarità con condensatore per forte coppia . . . 827
3) Motore a 2 velocità . . . 830
4) Motore a 2 poli da riavvolgere per 2 velocità - 2 e 4 poli . . . 832
5) Motore a 4 poli da riavvolgere per 2 velocità - 2 e 4 poli . . . 835
6) Motore a 4 poli da riavvolgere per 2 velocità - 4 e 8 poli . . . 838

Calcolo del reostato di avviamento . . . 840

Calcolo completo di un motore asincrono — Pag.

Dimensionamento del pacco lamiere e calcolo degli avvolgimenti . . . 845
Osservazioni . . . 847
Resistenza per fase dell'avvolgimento statorico e di quello rotorico ridotta a statore 848
Reattanza per fase dello statore e del rotore ridotta a statore . . . 849
Impedenza per fase totale o di cortocircuito . . . 850

Verifiche

Premesse . . . 851
Corrente e fattore di potenza di cortocircuito . . . 852
Corrente ideale di cortocircuito . . . 852
Rendimento . . . 852
Scorrimento . . . 853
Corrente a vuoto . . . 853
Effetto della saturazione magnetica del ferro . . . 859
Diagramma circolare . . . 862
Riepilogo ed osservazioni sul calcolo degli avvolgimenti . . . 865

Esempi di calcolo di motori asincroni

1) *Motore da 0,736 kW a 4 poli* . . . 867
2) *Motore da 0,920 kW a 4 poli* . . . 894
3) *Motore da 0,736 kW a 2 poli* . . . 895

Capitolo tredicesimo

Motori asincroni frontali o a traferro assiale

Premesse . . . 899
Caratteristiche costruttive . . . 900
Avvolgimento statorico . . . 905
Applicazioni . . . 905
Conclusioni . . . 908

Esempi costruttivi di motori asincroni frontali o a traferro assiale . . . 910

Capitolo quattordicesimo

Motori universali

Premesse . . . 913
Generalità . . . 914
Particolarità costruttive e schemi di collegamento . . . 915
Collegamento a zero dell'indotto a messa a posto degli assi magnetici . . . 919
Calcolo degli avvolgimenti . . . 921
Procedimento semplificato di calcolo degli avvolgimenti . . . 922
Fattore di potenza e rendimento dei motorini universali in funzione della velocità 926
Criteri di massima per il dimensionamento e la costruzione di un motorino universale 927

Esempi di calcolo Pag.

1) Riavvolgimento di un motore sprovvisto degli avvolgimenti 935
2) Riavvolgimento di un motorino sprovvisto degli avvolgimenti e della targa . 937
3) Dimensionamento pacco lamiere e calcolo degli avvolgimenti 939

Esempi costruttivi di motori universali 942

Capitolo quindicesimo

Guasti del macchinario elettrico
Cause - ricerche e riparazioni relative

Generalità 947

Macchine a corrente continua 948

Alternatori 954

Motori asincroni 955

Appendice

Tabelle sui conduttori isolati - Tabelle matematiche e tabelle trigonometriche

Tabelle sui conduttori isolati 963
Tabelle matematiche e trigonometriche 973

INDICE DELLE TABELLE

Tabelle *Pag.*

I — Unità di misura 4
II — Forme costruttive con sopporti a scudo ad asse orizzontale e ad asse verticale . . 12
III — Potenze e dimensioni dei motori asincroni trifasi MEC 14
IV — Tensioni di perforazione dei materiali isolanti 18
V — Spessori commerciali degli isolanti per avvolgimenti 20
VI — Classi di isolamento e materiali relativi 24
VII — Dielettrici combinati 33
VIII — Mioflex 35
IX — Isomicaflex 36
X — Dielettrici a base di mica continua 37
XI — Caratteristiche dei lamierini magnetici laminati a freddo per macchine elettriche rotanti 61
XII — Dati tecnici sulle spazzole (Monti e Martini) 96
XIII — Dati tecnici sulle spazzole (Rognoni) 97
XIV — Dati tecnici sulle spazzole (Elettrocarbonium) 98
XV — Relazione fra numero cave e numero lamelle 132
XVI — Formule di calcolo dei passi di avvolgimento 134
XVII — Valori di m/2 che consentono di realizzare un avvolgimento multipolare in serie senza zona morta o inattiva 136
XVIII — Passo avvolgimento e passo lamelle per avvolgimenti ondulati semplici tetrapolari 138
XIX Avvolgimento rotore a corrente continua 257
XX — Coefficienti di riempimento cava 285
XXI — Induzioni ammesse nelle macchine a corrente continua 292
XXII — Tabella riassuntiva dei calcoli delle amperspire/polo 300
XXIII — Coefficienti A e B 307
XXIV — Tabella riassuntiva dei conteggi relativi ai poli principali ed ausiliari . . 309
XXV — Coefficiente K_{pc} in funzione di F_c 312
XXVI — Tabella riassuntiva dei conteggi relativi al rendimento 316
XXVII — Conteggi relativi alle amperspire/polo 332
XXVIII — Conteggi relativi ai poli principali ed ausiliari 335
XXIX — Conteggi relativi al rendimento 338
XXX — Collegamento della fase e tensioni relative 387
XXXI — Fattore di distribuzione per avvolgimenti trifasi 404
XXXII — Fattore di passo 407
XXXIII — Numero cave per polo-fase e numero massimo dei paralleli degli avvolgimenti trifasi 434
XXXIV — Numero dei gruppi di matasse e numero di matasse di ciascun gruppo negli avvolgimenti trifasi simmetrici con q frazionario 436
XXXV — Fattori di distribuzione per avvolgimenti monofasi 444
XXXVI — Potenza del condensatore/cav in funzione della coppia di avviamento . . 445
XXXVII — Capacità del condensatore di avviamento per forte coppia di spunto nei motori asincroni autoavviantisi Marelli 447
XXXVIII — Capacità del condensatore permanentemente inserito nei motori asincroni monofasi autoavviantisi Marelli 448
XXXIX — Valori di $B\delta$ 749
XL — Valori del rapporto $L_d/\varnothing_i$ 750
XLI — Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Fergodino) 756

Tabelle *Pag.*

XLII — Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Fergodino) . . . 757
XLIII — Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie normale (ditta Fergodino). . . . 758
XLIV — Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Terzago) . . . 760
XLV — Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Volonterio) . . . 762
XLVI — Dati di avvolgimeno per motori asincroni trifasi IEC-UNEL (ditta Fergodino) . . . 764
XLVII — Dati di avvolgimento per motori asincroni trifasi IEC-UNEL (ditta Terzago) . 766
XLVIII — Dati di avvolgimento per motori asincroni trifasi IEC-UNEL (ditta Volonterio) . . . 768
XLIX — Dimensioni cave statore . . . 777
L — Altezza corona statore . . . 778
LI — Numero cave dei rotori trifasi . . . 779
LII — Valore del coefficiente C . . . 784
LIII — Induzioni massime nel traferro dei motori a 2 poli . . . 785
LIV — Induzioni massime nel traferro dei motori a 4 poli . . . 785
LV — Induzioni massime nel traferro dei motori da 6÷12 poli . . . 785
LVI — Induzioni nel traferro nei motori asincroni trifasi . . . 786
LVII — Induzioni apparenti nei motori asincroni trifasi delle principali ditte italiane . 787
LVIII — Valori normali delle induzioni apparenti nel traferro dei moderni motori asincroni trifasi . . . 789
LIX — Coefficienti di riempimento cava . . . 790
LX — Scorrimenti in % . . . 791
LXI — Caratteristiche a carico nominale e di avviamento, peso e dimensioni d'ingombro dei motori asincroni trifasi con rotore a gabbia - Serie unificata UNEL/MEC-IEC - Tensione normale fino a 500 V . . . 792
LXII — Caratteristiche a carico nominale e di avviamento, peso e dimensioni d'ingombro dei motori asincroni trifasi con rotore in cortocircuito - Serie unificata UNEL-MEC - Tensione massima 550 V . . . 794
LXIII — Conversione dei cav in kW . . . 798
LXIV — Conversione dei kW in cav . . . 798
LXV — Induzioni ammesse nei motori asincroni . . . 800
LXVI — Induzioni nei motori asincroni della C.G.E. . . . 800
LXVII — Induzioni effettive nei motori asincroni dell'Ansaldo-San Giorgio in funzione del numero dei poli . . . 801
LXVIII — Densità lineare Afc . . . 812
LXIX — Densità lineare Afc nei motori moderni . . . 812
LXX — Numero sezioni del reostato di avviamento . . . 842
LXXI — Resistenza di ogni sezione in % della resistenza d'avviamento . . . 842
LXXII — Densità di corrente nei reostati d'avviamento . . . 843
LXXIII — Rapporti tra reattanza e resistenza dello statore . . . 850
LXXIV — Conteggi relativi al circuito magnetico . . . 854
LXXV — Valori del coefficiente C in funzione di K_{sa} e di 2p . . . 860
LXXVI — Fattore di riduzione Fr dell'induzione Bδ e dei conduttori per fase Z in funzione del fattore di saturazione K_{sa} . . . 861
LXXVII — Conteggi relativi al circuito magnetico con curva di campo appiattita per effetto della saturazione magnetica del ferro . . . 863
LXXVIII — Conteggi relativi al circuito magnetico . . . 880
LXXIX — Motore asincrono trifase da 0,736 kW . . . 887
LXXX — Valori della f e m indotta nei motori universali . . . 921
LXXXI — Lamierini per motori monofasi a collettore (Ditta Fergodino) . . . 929
LXXXII÷XC — Tabelle sui conduttori isolati . . . 963
XCI÷C — Tabelle matematiche . . . 973
CI÷CIV — Tabelle trigonometriche . . . 984

INDICE DELLE TAVOLE

Tavole *Pag.*

I — Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico . . . 72
II — Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico (particolari) . . 73
III — Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico (particolari) . 74
IV — Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico (particolari) . . 75
V — Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco rotorico e per la brasatura delle sbarre agli anelli . . . 76
VI — Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco rotorico e per la brasatura delle sbarre agli anelli (particolari) . . . 77
VII — Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco rotorico e per la brasatura delle sbarre agli anelli (particolari) . . . 78
VIII — Sistemi di fissaggio o di impaccatura del pacco statorico . . . 79
IX — Sistemi di fissaggio del pacco rotorico all'albero . . . 80
X — Poli induttori per macchine a corrente continua . . . 112
XI — Poli ausiliari in filo . . . 113
XII — Collegamenti bobine di campo ed ausiliarie per dinamo a 4 poli (Eccitazione composta) . . . 114
XIII — Collegamento bobine di campo ed ausiliarie per motore a 4 poli (Eccitazione composta) . . . 115

Schemi d'avvolgimenti di rotori a corrente continua

XIV — Tipo embricato - 2 poli - 14 cave - 3 fasci/cava - 21 lamelle - passi avvolg. 1÷7 e 1÷8 - passo lamelle 1÷2 (avvolgimento diretto) . . . 188
XV — Tipo embricato - 2 poli - 14 cave - 3 fasci/cava - 21 lamelle - passo avvolgimento 1÷8 - passo lamelle 1÷2 (avvolgimento diretto a 3 capi) . . . 189
XVI — Tipo embricato - 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 36 lamelle - passo avvolgimento 1÷8 - passo lamelle 1÷2 . . . 190
XVII — Tipo embricato - 2 poli - 22 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 44 lamelle - passo avvolgimento 1÷11 - passo lamelle 1÷2 . . . 191
XVIII — Tipo embricato - 4 poli - 17 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 2 collettori - 17 lamelle/collettore - passo avvolgimento 1÷5 - passo lamelle 1÷2 . . . 192
XIX — Tipo embricato - 4 poli - 38 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 76 lamelle - passo avvolgimento 1÷10 - passo lamelle 1÷2 - passo equipotenziali 1÷39 . . . 193
XX — Tipo embricato - 8 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa - 72 lamelle - passo avvolgimento 1÷10 - passo lamelle 1÷2 . . . 194
XXI — Tipo ondulato - 4 poli - 20 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 39 lamelle - passo avvolgimento 1÷6 - passo lamelle 1÷21 (Dinamo Bosch con zona inutilizzata o morta) . . . 195
XXII — Tipo ondulato - 4 poli - 20 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 41 lamelle - passo avvolgimento 1÷6 - passo lamelle 1÷21 (Dinamo per auto con zona inattiva) . . . 196
XXIII — Tipo ondulato - 4 poli - 21 cave - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa - 63 lamelle - passo avvolgimento 1÷6 - passo lamelle 1÷33 . . . 197
XXIV — Tipo ondulato - 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 53 lamelle - passi avvolgimento 1÷7 e 1÷8 - passo lamelle 1÷27 (avvolgimento diretto con zona morta) . . . 198
XXV — Tipo ondulato - 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 53 lamelle - passo avvolgimento 1÷8 - passo lamelle 1÷27 (avvolgimento diretto con zona morta) . . . 199

Tavole *Pag.*

XXVI — Tipo ondulato - 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa - 81 lamelle - passo avvolgimento 1÷8 - passo lamelle 1÷42 200
XXVII — Tipo ondulato - 4 poli - 29 cave - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa - 87 lamelle - passo avvolgimento 1÷8 - passo lamelle 1÷44 201
XXVIII — Indotto per dinamo Bosch - Tipo ondulato - 4 poli - 41 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa - 41 lamelle - passo avvolgimento 1÷11 - passo lamelle 1÷22 202
XXIX — Indotto per dinamo tetrapolare Bosch - sezione 203
XXX — Indotto per dinamo Bosch - particolari 204
XXXI — Indotto per dinamo Bosch - particolari 205
XXXII — Dinamo sezionata (Marelli) 206
XXXIII — Avvolgimento rotore a corrente continua 254
XXXIV — Avvolgimento rotore a corrente continua 256
XXXV — Avvolgimento indotto in parallelo . . . . . per macchine a corrente continua 258
XXXVI — Avvolgimento indotto in serie . . . . . con una spira per zona per macchine a corrente continua 259
XXXVII — Supporto per indotti 263
XXXVIII — Supporto per indotti - Particolari 264
XXXIX — Supporto per indotti - Particolari 265
XL — Supporto per indotti - Particolari 266
XLI — Supporto per indotti - Particolari 267
XLII — Tipo embricato - 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 36 lamelle - passo avvolgimento 1÷8 - passo lamelle 1÷3 321
XLIII — Tipo embricato - 4 poli - 41 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa 41 lamelle - passo avvolgimento 1÷11 - passo lamelle 1÷2 322
XLIV — Tipo embricato - 4 poli - 20 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 40 lamelle - passo avvolgimento 1÷6 - passo lamelle 1÷2 323
XLV — 1) Avviatore stella-triangolo combinato per il comando di motori a 2 avvolgimenti per 2 velocità con inversione di marcia e con blocco - 2) Commutatore di polarità per motori trifasi a 2 velocità ad unico avvolgimento - 3) Commutatore di polarità per motori trifasi a 2 velocità a due avvolgimenti . . 399
XLVI — Commutatore di polarità per motori trifasi a 3 velocità con 2 avvolgimenti di cui uno commutabile 400
XLVII — Commutatore di polarità per motori trifasi a 3 polarità con 2 avvolgimenti di cui uno commutabile 401
XLVIII — Commutatore di polarità per motori trifasi a 2 velocità ad unico avvolgimento con comando a pulsanti 402

Schemi d'avvolgimenti statorici trifasi

XLIX — 2 poli - 6 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷3 - Collegamento serie - 6 morsetti 452
L — 2 poli - 9 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti 453
LI — 2 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti 454
LII — 2 poli - 12 cave 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti 455
LIII — 2 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 456
LIV — 4 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 457
LV — 4 poli - 12 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 458
LVI — 4 poli - 12 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷3 - Collegamento serie - 6 morsetti 459
LVII — 2 polarità - 4 e 2 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 4 poli △ - 2 poli **YY** - 6 morsetti 460
LVIII — 2 poli - 15 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 Collegamento serie - 6 morsetti 461

Tavole *Pag.*

LIX — 4 poli - 15 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 462
LX — 2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti 463
LXI — 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento 12 morsetti 464
LXII — 2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti 465
LXIII — 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti 466
LXIV — 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti 467
LXV — 4 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti 468
LXVI — 6 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 469
LXVII — 6 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 470
LXVIII — 6 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 471
LXIX — 2 polarità - 4 e 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento 4 poli △ - 2 poli **YY** - 6 morsetti 472
LXX — 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷12 - Collegamento serie - 6 morsetti 473
LXXI — 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12 - e 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti 474
LXXII — 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento serie - 6 morsetti 475
LXXIII — 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento serie - 6 morsetti 476
LXXIV — 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷8, 1÷10, 1÷12, e 1÷14 - Collegamento serie - 6 morsetti 477
LXXV — 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷8, 1÷10, 1÷12 e 1÷14 - Collegamento parallelo - 6 morsetti 478
LXXVI — 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti 479
LXXVII — 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti 480
LXXVIII — 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - 6 morsetti 481
LXXIX — 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento 12 morsetti 482
LXXX — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti 483
LXXXI — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti 484
LXXXII — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti 485
LXXXIII — 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento 12 morsetti 486
LXXXIV — 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti 487
LXXXV — 6 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti 488
LXXXVI — 6 poli - 24 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti 489
LXXXVII — 6 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti 490
LXXXVIII — 8 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti 491

Tavole *Pag.*

LXXXIX — 8 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 492

XC — 2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 493

XCI — 2 polarità - 4 e 2 poli - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 494

XCII — 2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 495

XCIII — 2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 4 poli **YY** - 2 poli Δ - 6 morsetti . . . 496

XCIV — 2 polarità - 8 e 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 497

XCV — 2 polarità - 8 e 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 498

XCVI — 2 polarità - 8 e 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 8 poli a **YY** - 4 poli a Δ - 6 morsetti . . . 499

XCVII — 2 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 500

XCVIII — 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 501

XCIX — 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 502

C — 6 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 503

CI — 8 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 504

CII — 2 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷14 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 505

CIII — 2 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento parallelo - 6 morsetti . . . 506

CIV — 4 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 507

CV — 4 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷9 ed 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 508

CVI — 4 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 509

CVII — 4 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 510

CVIII — 4 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 511

CIX — 6 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 512

CX — 8 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 513

CXI — 10 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 514

CXII — 10 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 515

CXIII — 2 polarità - 4 e 2 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 516

CXIV — 2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷18, 1÷16 e 1÷14 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 517

CXV — 2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷14 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 518

CXVI — 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 519

CXVII — 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 520

CXVIII — 4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 521

Tavole *Pag.*

CXIX — 4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 522

CXX — 4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 523

CXXI — 4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 524

CXXII — 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento 12 morsetti . . . 525

CXXIII — 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 526

CXXIV — 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 527

CXXV — 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento 2// - 6 morsetti . . . 528

CXXVI — 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 529

CXXVII — 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 530

CXXVIII — 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 531

CXXIX — 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento parallelo - 6 morsetti . . . 532

CXXX — 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 533

CXXXI — 6 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 534

CXXXII — 6 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 535

CXXXIII — 8 poli - 36 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7 e 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 536

CXXXIV — 8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 mersetti . . . 537

CXXXV — 8 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷6 e 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 538

CXXXVI — 8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷4 e 1÷6, 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 539

CXXXVII — 8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷4, 1÷6 e 1÷5 - Collegamento 2// - 6 morsetti . . . 540

CXXXVIII — 8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 541

CXXXIX — 8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento 2// - 6 morsetti . . . 542

CXL — 10 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 543

CXLI — 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 544

CXLII — 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷15, 1÷13, 1÷11, 1÷9, 1÷7 e 1÷5 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 545

CXLIII — 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 546

CXLIV — 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 547

CXLV — 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 4 poli **YY** - 2 poli Δ - 6 morsetti . . . 548

CXLVI — 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 4 poli **Y** - 2 poli **YY** - 6 morsetti . . . 549

CXLVII — 2 polarità - 2 avvolgimenti: 4 (nero) e 6 (rosso) poli - 36 cave - 2 matasse/cava - 12 morsetti . . . 550

Pag.

CXLVIII — 4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 551

CXLIX — 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 552

CL — 2 polarità - 8 e 4 poli - 36 cave 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7 e 1÷5 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 553

CLI — 2 polarità - 8 e 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento 8 poli **YY** - 4 poli Δ - 6 morsetti . . . 554

CLII — 2 polarità - 12 e 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli **YY** - 6 morsetti . . . 555

CLIII — 2 polarità - 12 e 6 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli **YY** - 6 morsetti . . . 556

CLIV — 3 polarità - 2 avvolgimenti - 6 (nero) - 8 e 4 (rosso) poli - 36 cave - 3 matasse/cava - 12 morsetti . . . 557

CLV — 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 558

CLVI — 2 polarità - 8 e 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 559

CLVII — 3 polarità - 2 avvolgimenti - 16 - 8 e 4 poli (8 e 4 poli - v. tav. CLVI) - 16 poli 36 cave - I matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷3 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 560

CLVIII — 2 poli - 42 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷15 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 561

CLIX — 4 poli - 42 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 562

CLX — 2 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷16 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 563

CLXI — 4 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 564

CLXII — 6 poli - 45 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷11, 1÷9 e 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 565

CLXIII — 6 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 566

CLXIV — 8 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 567

CLXV — 10 poli - 45 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7 e 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 568

CLXVI — 10 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 569

CLXVII — 2 poli - 48 cave 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷18 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 570

CLXVIII — 4 poli - 48 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 571

CLXIX — 4 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷12 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 572

CLXX — 4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 573

CLXXI — 4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie-parallelo - 6 morsetti . . . 574

CLXXII — 6 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 575

CLXXIII — 8 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 576

CLXXIV — 8 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 577

CLXXV — 8 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 578

CLXXVI — 10 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 579

Pag.

CLXXVII — 2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolg. 1÷3 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 580

CLXXVIII — 2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 581

CLXXIX — 2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 582

CLXXX — 2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 8 poli **YY** - 4 poli Δ - 6 morsetti . . . 583

CLXXXI — 2 polarità - 16 e 8 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 16 poli Δ - 8 poli **YY** - 6 morsetti . . . 584

CLXXXII — 4 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 585

CLXXXIII — 6 poli - 54 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 586

CLXXXIV — 6 poli - 54 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 587

CLXXXV — 8 poli - 54 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie oppure serie-parallelo - 6 morsetti . . . 588

CLXXXVI — Foglio di lavorazione dell'avvolgimento statorico trifase a sbarre della tavola CLXXXV . . . 589

CLXXXVII — 6 poli - 54 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷9 e 1÷7 — Collegamento serie - 6 morsetti . . . 590

CLXXXVIII — 6 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 591

CLXXXIX — 8 poli - 54 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷9, 1÷7 e 1÷10 - 1÷8 - 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 592

CXC — 8 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 593

CXCI — 10 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 594

CXCII — 2 polarità - 8 e 4 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 595

CXCIII — 2 polarità - 12 e 6 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli **YY** - 6 morsetti . . . 596

CXCIV — 4 poli - 60 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷16 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 597

CXCV — 4 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 598

CXCVI — 6 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 599

CXCVII — 8 poli - 60 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 600

CXCVIII — 8 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 601

CXCIX — 10 poli - 60 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimenti 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 602

CC — 10 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 603

CCI — 2 polarità - 8 e 4 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento 8 poli **Y** - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 604

CCII — 2 polarità - 8 e 4 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 605

CCIII — 4 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷18 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 606

CCIV — 4 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 607

CCV — 4 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷12 - Collegamento parallelo - 3 morsetti . . . 608

CCVI — 6 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷12 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 609

Tavole *Pag.*

CCVII — 6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 610
CCVIII — 8 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 611
CCIX — 8 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 12 morsetti . . . 612
CCX — 8 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 613
CCXI — 10 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 614
CCXII — 2 polarità - 8 e 4 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 8 poli △ - 4 poli **YY** - 6 morsetti . . . 615
CCXIII — 2 polarità - 12 e 6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 12 poli △ - 6 poli **YY** - 6 morsetti . . . 616
CCXIV — 2 polarità - 12 e 6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 12 poli △ - 6 poli **YY** - 6 morsetti . . . 617
CCXV — 2 polarità - 12 e 6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 12 poli **YY** - 6 poli △ - 6 morsetti . . . 618
CCXVI — 4 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷17 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 619
CCXVII — 6 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷14 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 620
CCXVIII — 8 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 621
CCXIX — 10 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 622
CCXX — 4 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷19 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 623
CCXXI — 6 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 624
CCXXII — 8 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 625
CCXXIII — 10 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti . . . 626
CCXXIV — Foglio di lavorazione dell'avvolgimento statorico trifase a matasse della tavola CCXXIII . . . 627
CCXXV — Foglio di lavorazione dell'avvolgimento statorico a matasse della tavola CCXXIII . . . 628
CCXXVI — Schema delle connessioni: avvolgimento statorico trifase per 2 frequenze della tavola CCXXVII . . . 629
CCXXVII — Avvolgimento statorico trifase (C.G.E.) per 2 frequenze - 8 poli - 132 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷14 - Collegamento serie-parallelo - 9 morsetti . . . 630

Schemi d'avvolgimenti rotorici trifasi

CCXXVIII — 4 poli - 32 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷6 e 1÷6; 1÷11, 1÷9 e 1÷7 - Collegamento serie (2 cave vuote) . . . 634
CCXXIX — 4 poli - 36 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie . . . 635
CCXXX — 2 poli - 42 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷15 - Collegamento serie . . . 636
CCXXXI — 4 poli - 48 cave - 4 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie . . . 637
CCXXXII — 8 poli - 48 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie . . . 638
CCXXXIII — 2 poli - 54 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷21 - Collegamento serie . . . 639
CCXXXIV — 6 poli - 60 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento serie . . . 640

Tavola *Pag.*

CCXXXV — 6 poli - 72 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie . . . 641
CCXXXVI — Foglio di lavorazione dell'avvolgimento rotorico trifase a sbarre della tavola CCXXXV . . . 642

Schemi d'avvolgimenti statorici monofasi

CCXXXVII — 2 poli - 12 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7, 1÷5 e 1÷3 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 644
CCXXXVIII — 4 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷3 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 645
CCXXXIX — 2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 646
CCXL — 2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷9, 1÷7 e 1÷5 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 647
CCXLI — 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimenti 1÷12, 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 648
CCXLII — 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 649
CCXLIII — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 4 morsetti (motore bi-monofase) . . . 650
CCXLIV — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 651
CCXLV — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 652
CCXLVI — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷6 e 1÷4 - Collegamento serie - 4 morsetti . . . 653
CCXLVII — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷7, 1÷5 e 1÷3 - Collegamento serie-parallelo - 4 morsetti . . . 654
CCXLVIII — 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 - Funzionamento a 2 tensioni . . . 655
CCXLIX — Disposizione delle piastrine sulla morsettiera e collegamenti relativi degli avvolgimenti . . . 656
CCL — 2 polarità - 2 avvolgimenti di lavoro - 4 e 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava 657
CCLI — 2 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento serie . . . 658
CCLII — 4 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie . . . 659
CCLIII — 2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie . . . 660
CCLIV — 4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷9, 1÷7 e 1÷5 - Collegamento serie . . . 661
CCLV — 4 poli - 36 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8, 1÷6 e 1÷4 - Collegamento serie . . . 662
CCLVI — 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie . . . 663
CCLVII — 2 polarità - 2 avvolgimenti di lavoro - 2 e 12 poli (per lavatrice) - 24 cave - 2 matasse/cava (1 matassa/cava per ciascun avvolgimento) . . . 664
CCLVIII — 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie . . . 665
CCLIX — 12 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷3 - Collegamento serie . . . 666
CCLX — 2 polarità - 2 avvolgimenti di lavoro - 2 e 12 poli (per lavatrice) - 48 cave - 2 matasse/cava (1 matassa/cava per ciascun avvolgimento) . . . 667
CCLXI — 12 poli - 48 cave — 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie . . . 668

CCLXII — Sagoma trapezoidale . . . 714
CCLXIII — Sagoma universale . . . 715
CCLXIV — Sagoma universale (particolari costruttivi) . . . 716
CCLXV — Sagoma multipla . . . 717

Tavola *Pag-*

CCLXVI — Sagoma multipla universale 718
CCLXVII — Sagoma multipla universale (particolari costruttivi) 719
CCLXVIII — Motore asincrono in cortocircuito 726
CCLXIX — Motore asincrono a doppia gabbia (Marelli) 728
CCLXX — Motore asincrono ad anelli 731
CCLXXI — Motore asincrono trifase da 0,736 kW 886
CCLXXII — Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari 888
CCLXXIII — Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari 889
CCLXXIV — Motore asincrono trifase da 0,736 kW - Particolari 890
CCLXXV — Motore asincrono trifase da 0,736 kW - Particolari 891
CCLXXVI — Motore asincrono trifase da 0,736 kW - Particolari 892
CCLXXVII — Motore asincrono trifase da 0,736 kW - Particolari 893
CCLXXVIII — Motore asincrono monofase frontale o a traferro assiale (complessivo) 906
CCLXXIX — Motorc asincrono monofase frontale o a traferro assiale (Particolari del rotore) 907
CCLXXX — Lamierini per motorini universali a poli sporgenti 928
CCLXXXI — Dispositivo per l'impilatura ed il serraggio del pacco statorico dei motorini unversali 933
CCLXXXII — Dispositivo per l'impilatura ed il serraggio del pacco statorico dei motorini universali - Particolari 934

GENERALITA'
SULLE MACCHINE ELETTRICHE ROTANTI

Premesse

Questo libro ha lo scopo di volgarizzare, in forma accessibile a tutti, il complesso problema degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti, di fornire le più comuni ed utili nozioni pratiche a chi non conosce ancora a fondo il mestiere e di consentire a tutti gli artigiani riavvolgitori di potere eseguire il calcolo dell'avvolgimento statorico e di quello rotorico dei motori asincroni, del numero dei conduttori dell'avvolgimento indotto delle macchine a corrente continua, del numero delle spire dei poli principali e di quelli ausiliari, nonchè il calcolo della sezione dei conduttori degli avvolgimenti.

Il calcolo, sebbene notevolmente semplificato con l'adozione di opportuni coefficienti che al vaglio dell'esperienza si sono dimostrati più che buoni, dà sicura garanzia di una buona prestazione, cioè di una razionale utilizzazione, e di ottime condizioni di funzionamento e di durata della macchina riavvolta.

Non abbiamo stimato necessario far precedere la trattazione sugli avvolgimenti da richiami sulla teoria di funzionamento e sulla costituzione delle macchine elettriche, ritenendo che tutti gli artigiani riavvolgitori abbiano in merito conoscenze sicure anche se limitate, mentre possono riuscire utili le nozioni contenute nei primi tre capitoli: *materiali dielettrici, vernici dielettriche e isolamento dei conduttori per avvolgimenti; pacco lamiere; collettore, spazzole e portaspazzole.*

Nei brevi cenni sul pacco lamiere ci siamo soffermati specialmente sulle costruzioni di piccola potenza, non essendo possibile, con la modesta attrezzatura delle officine di riavvolgimento, procedere nè alla costruzione nè alla riparazione del pacco lamiere di macchine di media e grande potenza.

Anche per il collettore ci siamo limitati a brevi cenni, non rite-

nendone economicamente conveniente la costruzione con gli usuali mezzi di officina ed esistendo ditte specializzate in queste costruzioni che possono effettuare a richiesta qualsiasi fornitura.

Per i materiali dielettrici e per i tipi di isolamento dei conduttori per avvolgimenti abbiamo fornito solo quelle nozioni e quei dati tecnici che è bene tenere sempre presenti. Particolarmente utili possono riuscire le tabelle sui fili isolati, perchè in base ai dati in esse contenuti sarà possibile scegliere il tipo di isolamento che meglio risponde alle esigenze del caso.

Possono sembrare eccessivi l'analisi, quasi minuziosa, dei vari tipi di avvolgimento a corrente continua, l'abbondanza di schemi grafici e numerici, il calcolo dell'avvolgimento indotto, induttore e dei poli ausiliari, ecc.

In proposito facciamo però osservare che, mentre sugli avvolgimenti a corrente alternata tutti i riavvolgitori hanno discrete conoscenze, almeno per la parte esecutiva dei più comuni tipi di avvolgimento, buona parte di essi ignorano quasi del tutto i requisiti essenziali dei vari tipi di avvolgimento a corrente continua, le formule per la determinazione dei vari passi e tutte le avvertenze indispensabili affinchè una macchina a corrente continua possa corrispondere alle esigenze del tipo di servizio a cui è destinata.

In effetti le richieste di riavvolgimento, senza o con cambio delle caratteristiche, di macchine a corrente continua sono poco frequenti, ma ciò non giustifica l'impreparazione di chi svolge la propria attività nel campo dei riavvolgimenti delle macchine elettriche.

Per i motori asincroni trifasi abbiamo limitato il calcolo all'avvolgimento statorico e rotorico, alla verifica dell'induzione nella corona dello statore (indispensabile quando si debba cambiare la polarità del motore da riavvolgere, per potere acclarare la possibilità o meno della modifica) ed al calcolo della corrente a vuoto e del rendimento, mentre abbiamo curato in modo particolare una ricca serie di schemi secondo le esigenze pratiche dei riavvolgitori.

Sebbene le ditte costruttrici eseguano di solito lo schema rettangolare degli avvolgimenti statorici, abbiamo dato la preferenza a quello circolare perchè esso presenta il vantaggio di dare una visione più realistica dell'avvolgimento ed offre la possibilità di seguire meglio l'andamento dei collegamenti.

Non abbiamo fatto alcuna particolare menzione degli avvolgimenti statorici delle macchine sincrone dato che essi non differiscono sostanzialmente da quelli delle macchine asincrone, se si esclude qualche avvolgimento speciale.

C'è stato un periodo, dopo l'ultima guerra, in cui molti artigiani si sono lanciati con troppa leggerezza e senza alcuna preparazione, nè teorica nè pratica, nella costruzione di macchine elettriche rotanti, specialmente di motori asincroni. Facciamo osservare che anche la costruzione di queste macchine richiede, oltre ad uno studio preliminare accurato, un'adeguata attrezzatura, sia per approntare delle ossature magnetiche con proprietà soddisfacenti, sia per effettuare le prove di verifica e di messa a punto. Si consideri inoltre che il dimensionamento di una macchina elettrica non è il risultato dell'applicazione di una serie di formule, sintesi di una teoria matematica generale, altrimenti a parità di caratteristiche di funzionamento tutte le macchine dovrebbero essere costruite in modo identico.

Tuttavia per soddisfare le richieste di numerosi artigiani riavvolgitori abbiamo incluso, dopo le prime edizioni, un metodo semplice per il calcolo delle dimensioni fondamentali del pacco lamiere dei motori asincroni. La breve esposizione sul dimensionamento del pacco lamiere può essere sufficiente per chi volesse accingersi a costruire motori di piccola potenza, acquistando i lamierini già tranciati da ditte serie ed apprezzate, le quali sicuramente avranno provveduto, con calcoli rigorosi e prove sperimentali, a dimensionare le singole parti dei lamierini. È buona norma, comunque, controllare le caratteristiche principali di ogni tipo di motore almeno in base al diagramma circolare.

A partire dalla quinta edizione ci siamo occupati meno succintamente che nelle precedenti del dimensionamento delle cave e delle corone dello statore e del rotore, ancora in accoglimento di richieste pervenute da varie parti.

Si tenga però presente che oggi varie ditte producono statori già impaccati con lunghezza (*) del pacco di qualsiasi valore; anche i rotori possono aversi già impaccati e provvisti di gabbia in alluminio o silumin, con corona o anelli di cortocircuito di vario tipo oppure con gabbia in barretta di rame.

In genere le ditte specializzate nella tranciatura dei lamierini magnetici possono fornire altresì tutte le parti meccaniche staccate dei motori elettrici oppure il loro complesso, vale a dire il motore completo — generalmente del tipo chiuso autoventilato — mancante soltanto dell'avvolgimento statorico.

Per i motori asincroni trifasi serie MEC — corrispondenti per potenza e dimensioni a quanto stabilito dalla tabella CNR-CEI, UNEL

(*) Taluno usa indicare la *lunghezza del pacco* col termine equivalente di *altezza*.

13113-71 — le ditte danno anche i dati di avvolgimento: passo, fili/cava, diametro del filo (v. tabelle del cap. XI).

In ogni caso il calcolo sul dimensionamento del pacco lamiere potrà servire per utili controlli o verifiche.

Unità di misura adottate

Abbiamo ritenuto opportuno adottare il *sistema Giorgi*, anzi che quello C.G.S., sia per i suoi requisiti di razionalità e praticità, sia perchè esso è ormai diventato di uso comune.

Le unità fondamentali del *sistema Giorgi* o *sistema pratico assoluto* sono: il *metro* (m), il *chilogrammo massa* (kg), il *secondo* (s) e l'*ampere* (A). Da queste unità fondamentali derivano tutte le altre. Per comodità del lettore riportiamo nella tabella I le unità di uso più frequente e le unità corrispondenti del sistema elettromagnetico C.G.S.

Si ritiene utile far notare che in passato si diceva *linee di flusso* in luogo di *maxwell* e che un *weber* equivale a 100.000.000 (10^8) linee di flusso, mentre una induzione magnetica di 1 Wb/m^2 corrisponde praticamente a 10.000 *linee per cm*^{2}, ossia a 10.000 gauss (Gs).

Da quanto precede si vede chiaramente che, esprimendo l'induzione B in Wb/m^2 anzichè in gauss e le superfici in m^2 in luogo di cm^2, il flusso rimane espresso in weber.

Tipi di macchine elettriche rotanti

CLASSIFICAZIONE IN BASE AL SISTEMA DI CHIUSURA. — Le norme CEI (Norme per le macchine elettriche rotanti - Fascicolo 77 - edizione XII, 1953) distinguono tre tipi fondamentali di chiusura:

Macchina aperta. — È una macchina nella quale nessun dispositivo è stato previsto per impedire o rendere difficile l'accesso a qualcuna delle sue parti interne (fig. 1).

Macchina protetta. — È una macchina costruita in modo da impedire l'accesso alle sue parti interne, senza ostacolare il passaggio dell'aria di raffreddamento fra l'interno e l'ambiente esterno.

Tipi speciali di macchine protette sono: *macchina protetta contro l'entrata di corpi solidi; macchina protetta contro lo stillicidio;*

TABELLA I — **Unità di misura**

	GRANDEZZE	Simbolo adottato	Unità sistema Giorgi (sistema definitivo)		Unità sistema elettromagnetico C.G.S.
meccaniche	Lunghezza	l	metro	m	cm
	Massa meccanica	m = f/a	chilogrammo	kg	grammo massa
	Tempo	t	secondo	s	s
	Velocità	v = l/t	metro/secondo	m/s	cm/s
	Lavoro ed energia	W	joule	j	erg
	Potenza	P = W/t	watt	W	erg/s
elettriche	Resistenza	r, R	ohm	Ω	—
	Conduttanza	G = 1/R	siemens	Ω^{-1}	—
	Resistività	$\rho = \frac{R\,S}{l}$	ohm . metro	Ω . m	—
	Intensità di corrente	i, I_a	ampere	A	—
	Forza elettromotrice - voltaggio	E opp. V = IR	volt	V	—
	Densità di corrente (intens. specifica)	$\sigma = I/l^2$ (*)	ampere/m^2	A/m^2 (**)	—
	Induttanza	L = Φ/I	henry	H	—
magnetiche	Flusso magnetico	Φ	weber	Wb	maxwell
	Induzione magnetica	B = Φ/l^2	weber/m^2	Wb/m^2	gauss
	Forza magnetomotrice	M = I . spira	amperspira	Asp	gibert
	Forza magnetica	H = M/l	amperspira/metro	Asp/m	oesterd
	Riluttanza	$R = \frac{M}{\Phi} = \frac{l}{\mu S}$	amperspira/weber	Asp/Wb	—
	Permeabilità	μ = B/H	henry/metro	H/m	gauss/oesterd

(*) Abbiamo adottato come simbolo della densità di corrente σ anzichè S per evitare dannose confusioni.
(**) In pratica quale unità di misura della densità di corrente si usa di solito l'ampere/mm^2 (A/mm^2).

macchina protetta contro gli spruzzi d'acqua; macchina con bocche di ventilazione. La fig. 2 mostra un motore asincrono trifase di

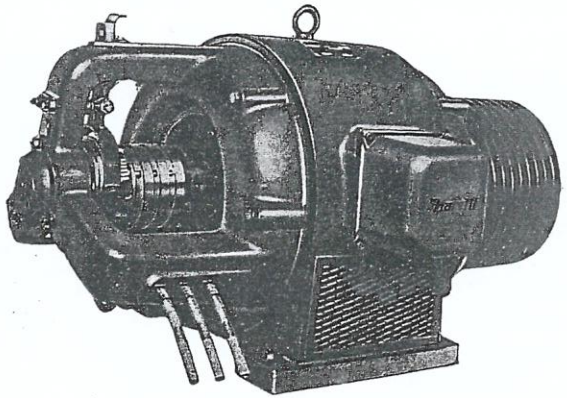


Fig. 1

Motore asincrono trifase con rotore avvolto con sollevamento spazzole (costruzione aperta)

costruzione protetta autoventilata e la fig. 3 un motore di costruzione protetta con bocche di ventilazione.

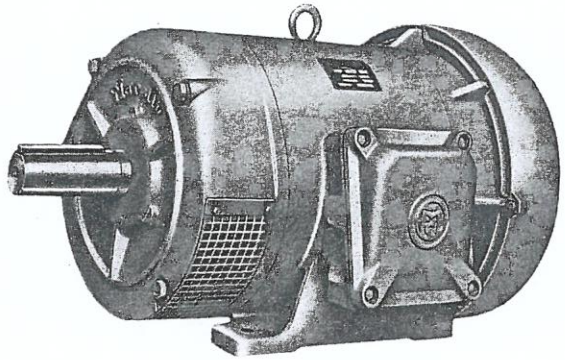


Fig. 2

Motore asincrono trifase con rotore a gabbia (costruzione protetta autoventilata)

Macchina chiusa. — È una macchina le cui parti attive sono contenute in una custodia che non permette passaggio d'aria di raffreddamento fra l'interno e l'esterno (figg. 4 e 5).

CLASSIFICAZIONE IN BASE AL SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO. — In dipendenza del sistema di raffreddamento le norme CEI prevedono i seguenti tipi:

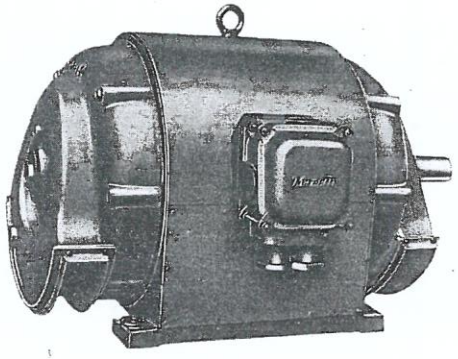


Fig. 3

Motore asincrono trifase con rotore in corto circuito (costruzione protetta con bocche di ventilazione)

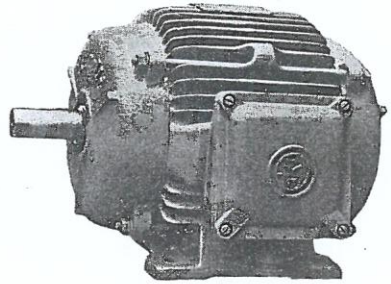


Fig. 4

Motore asincrono trifase con rotore in corto circuito (costruzione chiusa)

Macchina a ventilazione naturale. — È una macchina nella quale nessun dispositivo speciale è previsto per aumentare la ventilazione prodotta dagli organi in moto della macchina stessa o dalla circolazione naturale dell'aria esterna.

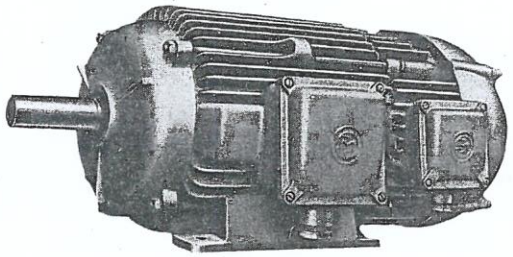


Fig. 5

Motore asincrono trifase con rotore avvolto a spazzole fisse (costruzione chiusa)

Macchina autoventilata. — È una macchina il cui rotore è provvisto di mezzi speciali capaci di attivare il movimento dell'aria. L'aria di ventilazione può venire dal locale dove è installata la macchina ovvero dall'esterno attraverso appositi condotti.

Macchina a ventilazione forzata. — È una macchina nella quale l'aria per la ventilazione è spinta nell'interno della custodia con mezzi esterni.

Macchina ventilata in circuito chiuso. — È una macchina nella quale l'aria (o altro gas) che è in contatto con le parti attive della macchina viene, a mezzo di ventilatori propri della macchina o di un ventilatore esterno, fatta circolare in un circuito chiuso e raffreddata a mezzo di un refrigerante. Il fluido refrigerante (non in contatto con le parti attive) può essere aria o acqua,

Macchina chiusa a ventilazione esterna (detta anche con ventilazione a mantello). — È una macchina chiusa nella quale l'aria di raffreddamento è spinta a lambire la superficie esterna della custodia (fig. 6).

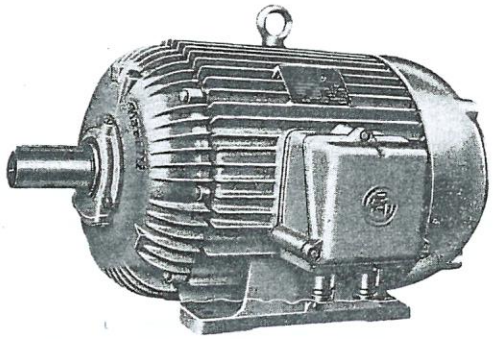


Fig. 6

Macchina raffreddata con acqua o altro liquido. — È una macchina raffreddata direttamente con acqua o altro liquido circolante.

TIPI DI SERVIZIO. — Si distinguono tre tipi di servizio: il servizio continuo, il servizio di durata limitata e il servizio intermittente.

Servizio continuo. — È il servizio nel quale la macchina funziona alla sua potenza nominale per un tempo illimitato. Questo tipo di servizio viene disegnato con la sigla « S.C. ».

Servizio di durata limitata. — È il servizio nel quale la macchina funziona alla sua potenza nominale per un periodo di tempo convenuto, con la condizione che l'intervallo fra due successivi periodi di lavoro sia sufficiente perchè la macchina si riporti alla temperatura ambiente. Questo tipo di servizio viene designato con la sigla « S.L. ».

Servizio intermittente. — È il servizio nel quale la macchina è sottoposta ciclicamente a periodi di lavoro (alla potenza nominale) e a successivi periodi di riposo o di funzionamento a vuoto. Questo tipo di servizio viene designato nel primo caso con la sigla « S.I.R. », nel secondo caso con la sigla « S.I.F. ».

Un tale servizio è caratterizzato dal rapporto fra la durata del periodo di lavoro e la durata totale del ciclo (rapporto di intermittenza); se necessario, si deve indicare il numero dei cicli orari. Si considerano come normali, per il rapporto di intermittenza, i valori: 15, 25, 40%. La durata del ciclo non deve superare 10 minuti; in mancanza di indicazioni la durata si intende di 10 minuti.

Osservazioni

Nelle macchine di media e grande potenza è necessario praticare nel pacco lamiere dei condotti di ventilazione. I sistemi di raffreddamento possono essere del tipo *radiale* e del tipo *assiale*. Nel sistema radiale i condotti di ventilazione si ottengono a mezzo di distanziatori. La distanza fra due pacchetti elementari si mantiene tra 8 e 15 mm. Nel sistema di raffreddamento assiale i condotti di ventilazione si ottengono per punsonatura, con lo stesso metodo adottato per le cave.

Il raffreddamento dei motori di piccola potenza è di solito praticato a mezzo di due ventole applicate sulle due fronti del rotore (macchina autoventilata). Nei motori di tipo aperto, o protetto, l'aria aspirata attraverso le apposite aperture degli scudi viene spinta dalle ventole contro le testate degli avvolgimenti; anche nei motori chiusi ventilati esternamente l'aria è spinta da una ventola sulle alettature della carcassa (*).

(*) È bene tenere presente che i motori della serie MEC fino alla grandezza di 132 e quindi fino alla potenza di 7,5 kW a 1500 giri/min si costruiscono ormai quasi esclusivamente nell'esecuzione chiusa, con carcassa alettata e con rotore in cortocircuito.

Con riferimento ai motori asincroni, per i quali è più frequentemente richiesta l'opera del riavvolgitore, i tipi di uso corrente sono quelli illustrati dalle figg. 2 ÷ 6.

È bene far rilevare fin d'ora la notevole importanza che hanno sul dimensionamento delle macchine elettriche sia il sistema di chiusura che il sistema di raffreddamento.

Forme costruttive delle macchine elettriche rotanti della serie UNEL-MEC

E' noto che l'UNEL ha elencato nella tabella 05513-67 tutte le possibili « *Forme costruttive delle macchine elettriche rotanti* ». Questa unificazione è di grande utilità, sia per l'utente che per il

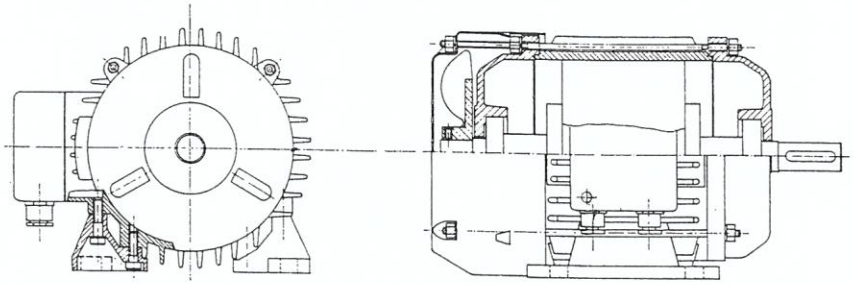


Fig. 7

Forma B3: con piedi

costruttore. Sulla base di questa unificazione, il costruttore ha potuto realizzare tutte le forme costruttive con le stesse parti meccaniche dei motori normali, con il duplice vantaggio di tempi e costi di fabbricazione normali. L'utente a sua volta può scegliere la forma costruttiva che più si addice al suo comando ed avrà ancora il vantaggio dell'intercambiabilità tra motori di diversa provenienza.

Delle forme costruttive elencate nella tabella UNEL abbiamo riportato, nella tabella II, soltanto quelle con *sopporti a scudo*, ad asse orizzontale e ad asse verticale, contenute nel catalogo del Tecnomasio Italiano Brown Boveri « Motori asincroni trifasi - serie U ».

Le forme costruttive B3, B5 e B3/B5, illustrate nelle figg. 7, 8 e 9, sono di uso più comune ed in special modo la B3: infatti la maggior parte delle ditte specializzate nella tranciatura di la-

mierini per motori asincroni producono anche motori completi nella parte meccanica — mancante soltanto dell'avvolgimento dello statore — appunto nelle sole forme costruttive B3, B5 e B3/B5.

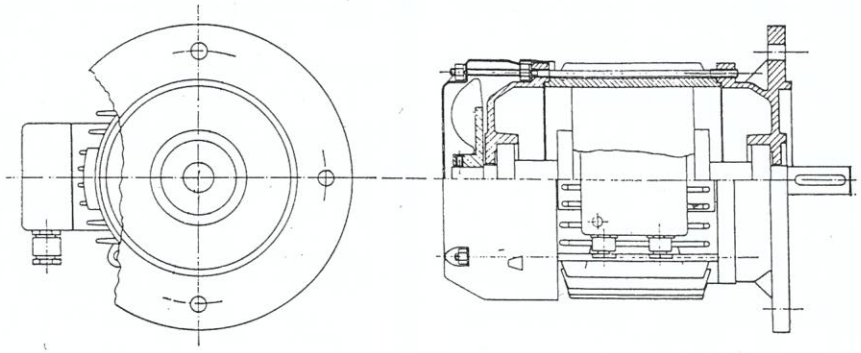


Fig. 8

Forma B5: con flangia

Alcuni ritengono le forme costruttive B3, B5 e B14 come fondamentali, ma sarebbe più appropriato considerare come tale anche la forma B3/B5 e B3/B14. Infatti dalla forma costruttiva B3 de-

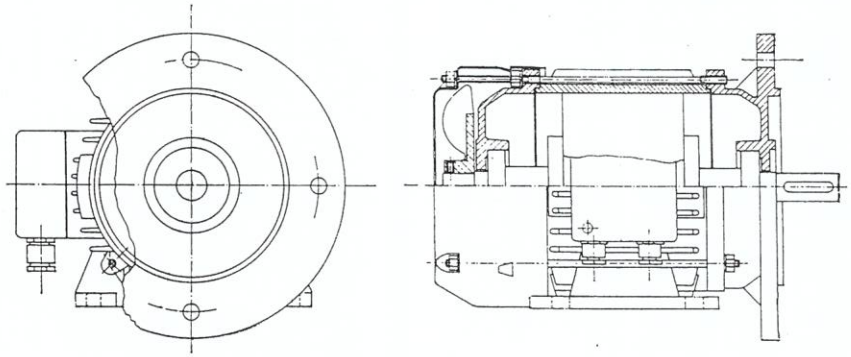


Fig. 9

Forma B3/B5: piedi e flangia

rivano le forme B6, B7, B8, V5 e V6; dalla B5 derivano le forme V1 e V3; dalla B3/B5 derivano la VI/V5 e la V3/V6; dalla B14 derivano la V18 e V19 ed infine dalla B3/B14 derivano la V15/V18 e la V6/V19.

Forme costruttive con sopporti a scudo ad asse orizzontale e ad asse verticale

TABELLA II

Forma costruttiva	CARCASSA	INSTALLAZIONE (*)	Sopporti a scudo
	ad asse orizzontale:		
B3	con piedi di appoggio (v. fig. 7)	fissaggio su fondazione	2
B5	senza piedi, scudo a flangia con fori passanti	» a mezzo flangia	2
B6	con piedi	fiss. su parete - piedi a sinistra	2
B7	» »	fiss. su parete - piedi a destra	2
B8	» »	» a soffitto	2
B9	senza piedi - senza scudo e senza cuscinetto lato comando.	» frontale alla carcassa lato comando	1
B14	con piedi - scudo a flangia con fori filettati.	» frontale allo scudo lato comando	2
B3/B5	con piedi - scudo a flangia con fori passanti	» su fondazione	2
B3/B14	con piedi - scudo a flangia con fori filettati	» su fondazione	2
	ad asse verticale:		
V1	senza piedi - scudo e flangia con fori passanti	» con flangia ed estremità albero in basso	2
V2	senza piedi - idem	» con flangia in basso ed estremità d'albero in alto	2
V3	senza piedi - idem	» con flangia ed estremità d'albero in alto	2
V4	senza piedi - idem	» con flangia in alto ed estremità d'albero in basso	2
V5	con piedi	» a parete - estremità albero in basso	2
V6	con piedi	» a parete - estremità albero in alto	2
V8	senza piedi - senza scudo e senza cuscinetto lato comando	» frontale alla carcassa lato comando - estremità albero in basso	1
V9	senza piedi - idem	» frontale alla carcassa lato comando - estremità albero in alto	1
V18	senza piedi - scudo a flangia con fori filettati	» frontale allo scudo lato comando con estrem. albero in basso	2
V19	senza piedi - idem	» frontale allo scudo lato comando con estrem. albero in alto	2
V1/V5	con piedi - scudo a flangia con fori passanti	» a parete con flangia ed estremità d'albero in basso	2
V3/V6	senza piedi - idem	» a parete con flangia ed estremità d'albero in alto	2
V5/V18	con piedi - scudo a flangia con fori filettati	» a parete con estremità albero in basso	2
V6/V19	con piedi - idem	» a parete con estremità albero in alto	2

(*) Tutte le forme costruttive si considerano viste dal lato comando, ossia viste dalla estremità libera dell'albero.

I motori asincroni trifasi serie MEC.

L'esigenza della unificazione, ossia della intercambiabilità tra motori di diversa provenienza, ha portato nel 1963, dopo vari tentativi, i Comitati Nazionali dei 6 Paesi del MEC, alla stesura di un'unica tabella, in cui ad ogni grandezza della serie corrispondessero, in ogni Paese, la stessa potenza, le stesse dimensioni d'ingombro e le stesse dimensioni dell'estremità d'albero.

La serie di cui è stata realizzata per prima l'unificazione è quella dei « *motori chiusi, ventilati esternamente, con rotore a gabbia* », tensione nominale fino a 500 V (f = 50 p/s).

Non ci occuperemo delle altre tre serie di motori asincroni (motori chiusi, ventilati esternamente, con rotore avvolto; motori protetti, autoventilati, con rotore a gabbia; motori protetti, autoventilati, con rotore avvolto), perchè ormai i motori fino alla grandezza 132, quindi fino alla potenza di 7,5 kW a 1500 giri/min, sono costruiti quasi esclusivamente nell'esecuzione chiusa, con carcassa alettata e con rotore in cortocircuito. La decisione, sancita dai documenti UNEL e MEC, di costruire i motori asincroni fino alla grandezza 132 nell'esecuzione chiusa, come si è detto, è tecnicamente giustificata dal fatto che la razionalizzazione dei metodi di fabbricazione ha talmente ridotto la differenza di prezzo tra il motore chiuso e quello protetto che la costruzione dei due tipi non si giustifica più. D'altronde gli utenti mostrano di preferire sempre più il motore chiuso, che richiede meno sorveglianza e può essere installato dovunque. D'altra parte le attuali reti di distribuzione sopportano senza inconvenienti apprezzabili l'inserzione diretta di motori in cortocircuito delle potenze considerate.

E' da tenere presente che le 4 serie, di cui si è detto, hanno, a parità di grandezza, identiche quote d'installazione (quote H, A, B, C, K della fig. 10); i motori chiusi, ventilati esternamente, con rotore in cortocircuito e con rotore avvolto hanno identiche estremità d'albero (quote D, E della fig. 10).

Nella tabella III sono riportati i dati: *grandezze, potenze e dimensioni d'istallazione dei motori* MEC (esecuzione chiusa, a ventilazione esterna, con rotore a gabbia); questi dati contenuti nel foglio UNEL 13113-71, coincidono esattamente con quelli di analoghi documenti francesi, tedeschi, ecc. Come si vede dalla tabella, sono state scelte 15 grandezze, dalla 56 alla 315. Il numero che caratterizza la grandezza esprime anche, in millimetri, l'altezza d'asse del motore.

Potenze e dimensioni dei motori asincroni trifasi MEC

(Esecuzione chiusa-ventilata esternamente - con rotore a gabbia - Tensione nominale ≤ 500 V - Classe isolamento *E* - Forma costruttiva B3)

TABELLA III

Grandezza	Altezza d'asse (*) H nominale	A	B	C	K mass.	Potenze nominali in servizio continuo 2 poli kW	2 poli cav	4 poli kW	4 poli cav	6 poli kW	6 poli cav	8 poli kW	8 poli cav	Estremità d'albero D x E 2 poli	Estremità d'albero D x E 4-6-8 poli	Grandezza
56	56	90	71	36	6	0,09 0,12	1/8 1/6	0,06 0,09	1/12 1/8	—	—	—	—	9×20		56
63	63	100	80	40	7	0,185 0,25	1/4 1/3	0,12 0,185	1/6 1/4	—	—	—	—	11×23		63
71	71	112	90	45	7	0,37 0,55	1/2 3/4	0,25 0,37	1/3 1/2	—	—	—	—	14×30		71
80	80	125	100	50	9	0,75 1,1	1 1,5	0,55 0,75	3/4 1	0,37 0,55	1/2 3/4	—	—	19×40		80
90 S	90	140	100	56	9	1,5	2	1,1	1,5	0,75	1	—	—	24×50		90 S
90 L		140	125	56	9	2,2	3	1,5	2	1,1	1,5					90 L
100 L	100	160	140	63	12	3	4	2,2 - 3	3 - 4	1,5	2	0,75 - 1,1	1 - 1,5	28×60		100 L
112 M	112	190	140	70	12	4	5,5	4	5,5	2,2	3	1,5	2	28×60		112 M
132 S	132	116	140	89	12	5,5 - 7,5	7,5 - 10	5,5	7,5	3	4	2,2	3	38×80		132 S
132 M		116	178	89	12	—	—	7,5	10	4 - 5,5	5,5 - 7,5	3	4			132 M
160 M	160	254	210	108	14	11 - 15	15 - 20	11	15	7,5	10	4 - 5,5	5,5 - 7,5	42×110		160 M
160 L		254	254	108	14	18,5	25	15	20	11	15	7,5	10			160 L
180 M	180	279	241	121	14	22	30	18,5	25	—	—	—	—	48×110		180 M
180 L		279	279	121	14	—	—	22	30	15	20	11	15			180 L
200 L	200	318	305	133	18	30 - 37	40 - 50	30	40	18,5 - 22	25 - 30	15	20	55×110		200 L
225 S	225	356	286	149	18	—	—	37	50	—	—	18,5	25	55×110	60×140	225 S
225 M		356	311	149	18	45	60	45	60	30	40	22	30			225 M
250 M	250	406	349	168	22	55	75	55	75	37	50	30	40	60×140	65×140	250 M
280 S	280	457	368	190	22	75	100	75	100	45	60	37	50	65×140	75×140	280 S
280 M		457	419	190	22	90	125	90	125	55	75	45	60			280 M
315 S	315	508	406	216	27	110	150	110	150	75	100	55	75	65×140	80×170	315 S
315 M		508	457	216	27	132	180	132	180	90	125	75	100			315 M

(*) La tolleranza sull'altezza d'asse è da 0 a — 0,5 mm fino ad H = 250 mm e da 0 a — 1 per H eguale a 280 e 315 mm.

Con 15 grandezze, quindi con sole 15 altezze d'asse, si è potuta ottenere una vasta gamma di potenze unificate e rigidamente legate alle dimensioni meccaniche; per le grandezze da 90 in su sono state previste le carcasse di tipo *S* (carcassa stretta), *M* (carcassa Media), *L* (carcassa Larga).

A parità di grandezza, le carcasse di tipo *S*, *M*, oppure *L* implicano solo la variazione della quota *B* (v. fig. 10). Si tenga presente che per ogni grandezza si è convenuto di scegliere soltanto due delle tre lunghezze di carcasse a disposizione.

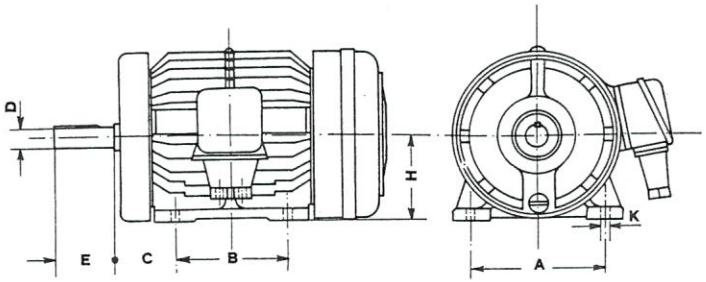


Fig. 10

I primi ad essere unificati furono i motori chiusi, ventilati esternamente, con rotore in cortocircuito, con scudi e con piedi, vale a dire la forma costruttiva B3; seguirono i motori della forma costruttiva B5 ossia con flangia e quelli della forma costruttiva B3/B5 ossia con piedi e con flangia.

Per quanto riguarda le potenze e le estremità d'albero (quote D ed E) la tabella III vale anche per le forme costruttive B5 e B3/B5; per la forma costruttiva B3/B5 sono identiche anche le dimensioni di installazione (quote H, A, B, C, K delle figg. 10).

CAPITOLO PRIMO

MATERIALI DIELETTRICI - VERNICI DIELETTRICHE - ISOLAMENTO DEI CONDUTTORI PER AVVOLGIMENTI

Generalità

I materiali isolanti impiegati nelle costruzioni elettromeccaniche devono possedere, in misura più o meno notevole, le seguenti proprietà:

1) elevato valore della rigidità dielettrica di massa (attitudine a resistere alla sollecitazione della tensione);

2) minime perdite dielettriche, cioè trascurabile dissipazione di energia quando si sottopone il dielettrico ad un campo alternativo;

3) buona resistenza all'azione del calore e degli agenti atmosferici e chimici;

4) buona conduttività termica;

5) buone qualità meccaniche (tenacità, durezza, resistenza alle sollecitazioni, ecc.).

Per **rigidità dielettrica** *di un isolante s'intende il rapporto tra la tensione di perforazione e lo spessore dell'isolante stesso*, ossia il valore massimo del gradiente di potenziale che si può applicare ad un dielettrico senza che avvenga la scarica esplosiva o disruptiva. La **tensione di perforazione** è quella *differenza di potenziale minima capace di produrre una scarica che perfori il dielettrico, posto tra due elettrodi a disco.* Il valore della tensione di perforazione varia sensibilmente sia al variare della temperatura, sia al variare dell'umidità dell'aria.

Tutti i dielettrici solidi, specialmente se esposti in ambienti molto umidi, si ricoprono di un velo sottilissimo di umidità che ne riduce fortemente il potere isolante. In molti casi si rimedia a questo inconveniente rivestendo la superficie dell'isolante con vernici anigroscopiche.

La rigidità dielettrica si esprime in volt/mm.

Tensioni di perforazione dei materiali isolanti

TABELLA IV

MATERIALE	Spessore mm	Tensione di perforazione volt
Mica	1	60000 ÷ 75000
	0,5	32000 ÷ 40000
	0,4	26000 ÷ 33000
	0,3	20000 ÷ 28000
	0,2	15000 ÷ 22000
	0,1	10000 ÷ 15000
Micanite	1	25000
	0,5	14000
	0,2	7000
Mica-carta	0,12	3000
	0,08	2000
Carta-mica-carta	0,15	4000
	0,10	2500
Mica-seta	0,15	3800
	0,10	2000
Mica-tela	0,20	3500
	0,15	2800
Mica-presspan	0,4	9000
Carta sterlingata	0,20	9000
	0,10	5000
	0,05	2500
Seta sterlingata	0,15	8500
	0,10	5000
	0,05	2000
Tela sterlingata	0,30	10000
	0,20	8000
	0,10	3000
Cartopresso o presspan	1	10000
	0,5	5500
	0,3	3500
	0,2	2200
Tritona o leatheroid	0,5	7500
	0,3	5000
	0,2	3500
	0,10	1800 ÷ 2000
Fibra	0,5	500
Due virgole di cotone non impregnato	—	550 ÷ 650
Tessuto di vetro sterlingato	0,20	10000
	0,15	8000
	0,12	6000
	0,10	5500
	0,08	4500
	0,06	2500
Tessuto di vetro al silicone	0,20	10000
	0,15	8000
	0,12	6000
	0,10	5500
	0,08	4500
	0,06	2500

In generale dielettrici anche ottimi, ma che non possono laminarsi sotto forma di nastri e di fogli molto sottili, non consentono di raggiungere valori assai elevati della rigidità.

Nella tabella IV sono riportati i valori della tensione di perforazione e nella tabella V gli spessori commerciali degli isolanti più usati per avvolgimenti.

Gli isolanti, sia naturali che artificiali (*), possono essere di origine *organica* (seta, cotone, ecc.) o *inorganica* (mica, amianto, ecc.).

La scelta del materiale isolante rappresenta il problema tecnico-economico di più difficile soluzione, sia per il numero elevato dei dielettrici esistenti, sia per il fatto che ogni isolante possiede particolari proprietà che ne limitano il campo di applicazione, sia ancora per le sempre maggiori esigenze della tecnica moderna.

Per avere una guida sicura nella scelta del tipo di isolante che meglio si presti per una determinata applicazione, occorre conoscere la composizione e le proprietà fondamentali degli isolanti di uso più frequente nelle costruzioni elettromeccaniche.

È bene specificare che l'evoluzione dei dielettrici usati nella costruzione del macchinario rotante è continua e sostanziale e periodicamente si ha notizia di nuovi sistemi di isolamento applicati nelle più moderne costruzioni.

L'isolamento degli avvolgimenti di una macchina rotante può suddividersi in: *isolamento interno o fra spira e spira, isolamento esterno o contro massa, isolamento di serraggio*. Nelle macchine polifasi bisogna considerare anche l'*isolamento fra le fasi*.

Prima di passare ad esaminare succintamente i principali isolanti per macchine elettriche, riteniamo opportuno dare brevi cenni sugli isolamenti sopra citati e riportare le *classi di isolamento* secondo le norme CEI.

Non sarà superfluo specificare fin d'ora che gli avvolgimenti delle macchine rotanti possono essere distinti, secondo un criterio costruttivo, in *avvolgimenti distribuiti* e *avvolgimenti concentrati*: i primi sono sempre collocati in cava, mentre i secondi sono montati su induttori a poli salienti. Gli avvolgimenti distribuiti si possono dividere, a loro volta, in *avvolgimenti diretti* (realizzati in sito), *avvolgimenti misti* (matasse abbozzate calate dal taglio) ed *avvolgimenti preformati*. Questi ultimi sono usati per le macchine più grosse, generalmente con cave aperte; quelli di tipo diretto sono usati pratica-

(*) Gli isolanti artificiali possono essere anche di origine *mista*, cioè fabbricati con materie di origine organica ed inorganica.

Spessori commerciali degli isolanti per avvolgimenti

TABELLA V

Nome commerciale	Spessori normali mm	Forma commerciale	Per isolamenti in classe
Tessuti greggi di cotone:	0,10 - 0,12 - 0,14 - 0,15 - 0,18 - 0,25 - 0,40	Nastri (10-20-25-30-35-40 mm) Nastri tubolari (Ø da 0,5 ÷ 20 mm).	
Cartoni:			
Presspan o cartopresso . . .	0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,8 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 4 - 5 - 6	Rotoli o fogli Fogli	A
Leatheroid o tritona . . .	0,10 - 0,15 - 0,20 - 0,25 - 0,30 - 0,40 - 0,50	Rotoli	A
	0,8 - 0,9 - 1 - 2 - 3	Fogli	
Carte verniciate:			
Carta sterlingata	0,022 - 0,027 - 0,03 - 0,04 - 0,05 - 0,06 - 0,08 - 0,10 - 0,125 - 0,15 - 0,175 - 0,20 - 0,25 - 0,30	Rotoli-Nastri (10 ÷ 50 mm)	A
Carta alla gommalacca . . .	0,08 - 0,10	» »	A
Tessuti verniciati:			
Tela sterlingata	0,10 - 0,125 - 0,15 - 0,175 - 0,20 0,225 - 0,25 - 0,30	Rotoli-Nastri (10 ÷ 40 mm) Tubetti (Ø da 0,5÷3,5 mm)	A A
Seta sterlingata	0,05 - 0,06 - 0,08 - 0,10 - 0,125 0,15	Rotoli-Nastri (10÷30 mm)	A
Micaniti con supporto:			
Mica-carta	0,07 - 0,08 - 0,10 - 0,12	Fogli	B
Mica-seta	0,08 - 0,10 - 0,12 - 0,15	Fogli-Rotoli-Nastri	B
Mica-tela	0,15 - 0,20	Fogli	B
Carta-mica-carta	0,08 - 0,10 - 0,12 - 0,15	Fogli-Rotoli-Nastri	B
Carta-mica-seta	0,10 - 0,12 - 0,15 - 0,18	» » »	B
Mica-presspan	0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7	Fogli	B
Mica-leatheroid	0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7	»	B
Tessuti di vetro:			
Tessuto di vetro sterlingato .	0,08 - 0,10 - 0,15 - 0,20 - 0,30	Rotoli-Nastri	B
Tessuto di vetro al silicone .	0,08 - 0,10 - 0,18	» »	H
Vetro-mica plastico	0,10 - 0,12	» »	B
Vetro-mica al silicone . . .	0,08 - 0,10 - 0,12 - 0,18	» »	H
Tessuto di vetro sterlingato .	0,06 - 0,08 - 0,10 - 0,12 - 0,15 - 0,20	Rotoli-Nastri (10÷20 mm) Tubetti (Ø da 0,5÷30 mm)	F
Tessuto di vetro al silicone .	0,06 - 0,08 - 0,10 - 0,12 - 0,15 0,20	Rotoli-Nastri - Tubetti (Ø da 0,5÷20 mm)	H
Dielettrici per isolamento cave:			
Dielettrici combinati . . .	v. Tabella VII	—	A
Mioflex	v. Tabella VIII	—	A
Isomicaflex	v. Tabella IX	—	B-F H
Dielettrici a base di mica continua	v. Tabella X	—	B-F H

mente in tutte le macchine a collettore di piccola potenza, a cave semichiuse, sia a corrente alternata che a corrente continua ed inoltre per motori asincroni di una certa potenza (v. cap. X « *Avvolgimento infilato* »); infine gli avvolgimenti misti vengono impiegati di solito per i motori asincroni di piccola potenza e talvolta anche per piccole macchine a collettore (v. cap. VI « *Generalità* »).

Nelle macchine di media potenza si può normalmente applicare l'uno e l'altro tipo di avvolgimento, ma dell'argomento ci occuperemo più compiutamente trattando della « costruzione degli avvolgimenti ».

Isolamento fra spira e spira

È l'isolamento proprio del conduttore, che resiste durante l'esercizio alle differenze di tensione fra due spire adiacenti (della stessa zona o bobina).

Isolamento verso massa delle matasse e delle bobine di campo

È quella parte dell'isolamento che si applica al complesso delle spire costituenti una matassa o una bobina per impedire che si manifestino dispersioni o scariche verso massa. Nel caso delle matasse questo isolamento va applicato in corrispondenza della parte allogata nelle cave, più un certo franco ch'è funzione della tensione (1 cm per parte fino a 500 V, da 1,2÷1,5 cm da 750÷1000 V, 2 cm fino a 2000 V) e nel caso delle bobine è applicato di solito su tutta l'estensione della bobina o sulla maggiore parte di essa.

Normalmente l'isolamento contro massa delle testate va fatto mediante delle corone circolari (v. « *Costruzione degli avvolgimenti indotti* »).

È bene ricordare che l'isolamento contro massa deve essere in grado di sopportare oltre la normale differenza di potenziale fra gli avvolgimenti ed il nucleo anche la tensione di prova e le sovratensioni accidentali di esercizio.

Isolamento di serraggio

È quella parte d'isolamento che serve a tenere ben riuniti e serrati insieme i conduttori e l'isolamento verso massa; in as-

senza di quest'ultimo ha solamente la funzione di tenere insieme i conduttori. Si può talvolta applicare sui conduttori prima dell'isolamento verso massa e anche dopo per serrare meccanicamente il tutto.

L'isolamento di serraggio può essere eseguito con nastro di cotone, di amianto o di elettrovetro, secondo la classe di isolamento richiesta.

È noto che per macchine a cave semichiuse l'isolamento verso massa deve essere predisposto in cava e l'avvolgimento si eseguisce introducendo i conduttori isolatamente o a gruppi attraverso il taglio della cava. Ne consegue che le matasse debbono necessariamente essere preparate senza isolamenti di serraggio e verso massa.

Classi di isolamento e materiali relativi

Gli isolamenti degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti vengono distinti in classi. Ciascuna *classe di isolamento* è caratterizzata dalla temperatura massima ammissibile nel punto più caldo quando la macchina funziona a carico nominale.

I rapidi sviluppi nel campo degli isolanti elettrici e parallelamente la tendenza dei costruttori di macchine elettriche ad adottare temperature di regime sempre più elevate hanno portato alla creazione delle due nuove classi di isolamento designate con le lettere *F* e *H*.

Le classi dei materiali isolati e le temperature massime loro assegnate dalle norme CEI (*) sono le seguenti:

Classe	Y	A	E	B	F	H	C
Temperatura in °C	90	105	120	130	155	180	>180

È noto che le parti più facilmente vulnerabili delle macchine elettriche sono i rivestimenti isolanti e questa vulnerabilità aumenta con l'aumentare della temperatura.

L'elevata rigidità dielettrica e soprattutto la possibilità dei nuovi dielettrici di sopportare temperature sempre più elevate hanno consentito notevoli economie della parte metallica e conseguentemente sensibili riduzioni delle dimensioni delle macchine.

(*) Vedi « Variante alle norme per le macchine elettriche rotanti ». Supplemento S. 204, V - 1963.

La fig. 11 mette in evidenza il rapporto dimensionale tra due motori trifasi di pari potenza e tensione, di cui uno con isolamento di classe *H* e l'altro di classe *A*.

In genere la temperatura degli avvolgimenti va determinata col « metodo per resistenza » (*), misurando cioè l'aumento di resistenza dall'inizio alla fine della prova (**).

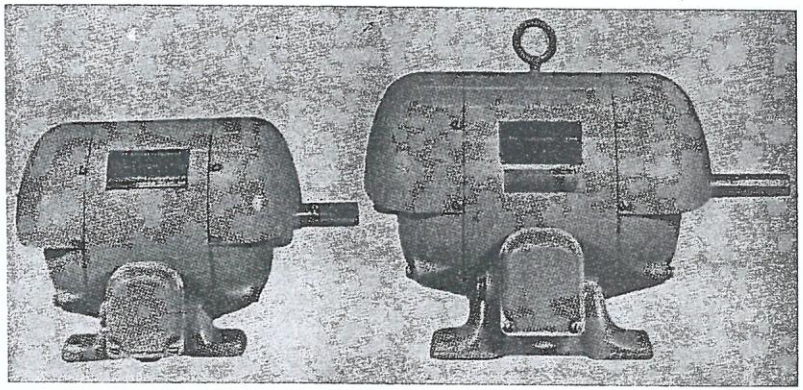


Fig. 11

Rapporto dimensionale tra due motori trifasi (7,5 cav - 440 V): a sinistra il motore con isolamento in classe « H », a destra il corrispondente isolato in classe « A »

Nella tabella VI sono indicati per ogni classe di isolamento i « materiali isolanti », le « sostanze di agglomerazione, impregnazione, rivestimento, ecc., usate dal fabbricante del materiale » e le « sostanze di impregnazione che possono essere usate nei trattamenti dei materiali presso il costruttore della macchina ».

(*) Per gli avvolgimenti in cortocircuito permanente si ricorrerà naturalmente al « metodo termometrico »; questo metodo si applicherà a tutte le parti che non siano avvolgimenti (collettori, cuscinetti, morsetti, ecc.).

(**) La misura della resistenza iniziale R_i deve essere fatta a temperatura t_i esattamente conosciuta, potendo assumersi come tale quella ambiente quando la macchina sia inattiva da un tempo sufficiente per potere ammettere che l'equilibrio termico sia perfettamente stabilito. Al termine della prova, raggiunto il regime di temperatura, si misura la resistenza R_f; la temperatura finale t_f dell'avvolgimento si ricava dalla relazione:

$$t_f = t_i + \frac{R_f - R_i}{R_i} (234{,}5 + t_i)$$

TABELLA VI

Classi di isolamento e materiali relativi

Classe	MATERIALI ISOLANTI	Sostanze di agglomerazione, impregnazione, rivestimento, ecc., usate dal fabbricante del materiale.	Sostanze di impregnazione che possono essere usate nei trattamenti del materiale presso il costruttore della macchina.
Y	Cotone - Seta naturale - Fibre di cellulosa rigenerata - Fibra di acetato di cellulosa - Fibra di poliamidi - Carta e prodotti derivati - Cartone - Fibra vulcanizzata - Legno - Resine anilino-formaldeidiche - Resine ureo-formaldeidiche - Poliacrilati, polietilene, polistirene - Cloruro di polivinile plastificato o no - Gomma naturale vulcanizzata.	Nessuna	Nessuna
A	Cotone - Seta naturale - Fibra di cellulosa rigenerata - Fibra di acetato di cellulosa - Fibra di poliamidi - Carta e prodotti derivati - Cartone pressato - Fibra vulcanizzata - Legno. (*)	Nessuna	Vernici oleoresinose; gommalacca, coppale e altre resine naturali; soluzione e sospensione di eteri o esteri cellulosici. Oli isolanti e liquidi dielettrici sintetici. Materiali elencati nelle classi di temperatura superiori.
	Tessuti verniciati a base di cotone, seta, cellulosa rigenerata, acetato di cellulosa o fibra di poliamidi - Carta verniciata.	Vernici oleoresinose o sintetiche oleomodificate.	
	Legno stratificato.	Resine fenolo-formaldeidiche.	
	Pellicola di acetato di cellulosa - Pellicole di aceto butirrato di cellulosa - Resine poliesteri a catene trasversali - Smalto per fili di tipo oleoresinoso - Smalto per fili a base di resina di poliamidi - Elastomeri di policloroprene - Elastomeri di butadiene acrilonitrile.	Nessuna	
E	Smalto per fili a base di resine formalpoliviniliche, poliuretaniche epossidiche.	Nessuna	Vernici a base di asfalto o di resine sintetiche oleomodificate; resine poliesteri a catene trasversali, resine epossidiche. Materiali elencati nelle classi di temperature superiori.
	Pezzi stampati con carica cellulosica - Laminati di tessuti di cotone - Laminati di carta.	Resine melaniniche, fenoliche e furfuroliche.	
	Resine poliesteri a catene trasversali - Pellicole di triacetato di cellulosa - Pellicole di tereftalato di polietilene - Fibre di tereftalato di polietilene.	Nessuna	
	Tessuti di fibre di tereftalato di polietilene, impregnati.	Vernici a base di resine alchidiche oleomodificate.	
	NOTA: Un avvolgimento in filo smaltato con materiali della classe *F* è considerato isolato in classe *E*, anche se ricoperto con materiali della classe *A*, purchè questi siano impregnati.		
	Fibre di vetro - Amianto.	Nessuna	Asfalto e resine sintetiche oleomodificate.
	Tessuti di vetro impregnati - Amianto impregnato.	Vernici a base di resine sintetiche oleomodificate, miscele asfaltiche o bituminose - Resine sintetiche oleomodificate - Resine alchidiche - Resine poliesteri a catene trasversali - Resine epossidiche.	Resine poliesteri a catene trasversali; resine epossidiche (in caso di sollecitazioni meccaniche elevate, tali materiali possono non essere adatti ed al loro posto possono essere usate resine fenoliche non modificate). Materiali elencati nelle classi di temperatura superiore.
B	Agglomerati di mica (con o senza supporto).	Resine poliesteri a catene trasversali.	
	Laminati di tessuti di vetro - Laminati di amianto - Pezzi stampati con carica minerale.	Resine poliesteri a catene trasversali.	
	Pezzi stampati con carica minerale.	Nessuna	
	Polimonoclorotrifluoroetilene.		
	NOTA: Un isolamento è considerato di classe *B* anche se usato insieme con materiale della classe *A* o della classe *E*, a condizione che quest'ultimo sia usato come supporto e che la percentuale dell'isolamento di classe *B* risulti non inferiore al 40% in peso del totale.		
F	Fibre di vetro - Amianto.	Nessuna	Resine alchidiche epossidiche, poliesteri a catene trasversali e poliuretaniche con elevata stabilità termica. Resine silicono-alchiliche e silicono-fenoliche. Materiali elencati nelle classi di temperatura superiore.
	Tessuti di vetro impregnati - Agglomerati di mica (con o senza supporto) - Amianto impregnato.	Resine alchidiche, epossidiche, poliesteri a catene trasversali e poliuretaniche con elevata stabilità termica.	
H	Fibre di vetro - Amianto.	Nessuna	Resine siliconiche.
	Tessuti di vetro impregnati - Amianto impregnato.	Resine siliconiche - Elastomeri di silicone.	
	Agglomerati di mica (con o senza supporto) - Laminati di tessuti di vetro - Laminati di amianto.	Resine siliconiche.	
	Elastomeri di silicone.	Nessuna	
C	Mica - Porcellana e materiali ceramici - Vetro - Quarzo. (Nota: le temperature massime di funzionamento possono essere limitate dalle proprietà fisiche, chimiche o elettriche alla temperatura di funzionamento).	Nessuna	Leganti inorganici.
	Tessuti di vetro trattati - Amianto trattato - Agglomerati di mica.	Resine siliconiche con stabilità termica superiore (> 225° C).	Resine siliconiche con stabilità termica superiore (> 225° C).
	Politetrafluoroetilene con stabilità termica > 250° C.	Nessuna	
	NOTA: I materiali di agglomerazione ed impregnazione possono spesso trovare limitazioni, oltre che dalla stabilità termica, anche da altri fattori, come per es. dalle qualità meccaniche. Per esempio, talune resine epossidiche e poliesteri, nel caso di sollecitazioni meccaniche particolarmente severe, possono venire limitate alle temperature della classe *A*.		

(*) Un avvolgimento isolato con i materiali indicati è considerato di classe A solamente se impregnato presso il fabbricante della macchina elettrica oppure se funziona immerso in un dielettrico liquido.

È bene comunque specificare che un materiale isolante è da considerarsi impregnato quando una sostanza adatta, di solito una vernice dielettrica, penetri negli interstizi tra le fibre o gli strati in modo da legare adeguatamente i componenti della struttura isolante e da rivestire il materiale stesso con una pellicola superficiale atta a proteggere dalla polvere, dall'umidità e dagli agenti contaminanti in genere.

La temperatura di riferimento fissata dalle norme è di 40° C, ma le sovratemperature ammissibili in °C, per le piccole e medie potenze, col « metodo per resistenza » sono di 45 - 60 - 75 - 80 - 100 - 125 rispettivamente per le classi Y - A - E - B - F - H. Le sovratemperature risultano inferiori ai valori deducibili per detrazione di 40° dalle temperature massime ammissibili per tenere conto del fatto che i metodi di misura non consentono in genere di determinare la temperatura dei punti più caldi.

Nessun limite di sovratemperatura è stato fissato ancora per gli isolamenti della classe *C*.

MATERIALI DIELETTRICI

Prodotti di fibre tessili naturali (*)

Gli isolanti tessili naturali sono adoperati sia per l'isolamento dei conduttori durante la fabbricazione, sia per fasciare le matasse e le bobine degli avvolgimenti a bassa tensione.

Dei numerosi prodotti tessili i più usati nella costruzione degli avvolgimenti sono: il *cotone*, il *lino* e la *seta*. Vengono messi in commercio di solito sotto forma di *tele* e *nastri*.

Per le basse tensioni s'impiegano nastri senza appretto, normalmente di cotone, e ciò allo scopo di permettere alle vernici di impregnare completamente le fasciature in nastro, in modo da formare una strato resistente e di uniforme rigidità dielettrica.

Per isolamenti di classe *A* s'impiega frequentemente la *tela sterlingata* (**); si tratta di un prodotto di tessuto di cotone di

(*) I tessili naturali assorbono facilmente umidità e perdono il loro potere isolante che, del resto, non è mai molto elevato. Occorre pertanto verniciarli e impregnarli con resine naturali o artificiali.

(**) Il termine « stërlingato » viene usato per gli isolanti flessibili (carta, cotone, ecc.) impregnati con vernici oleo-resinose, ma in effetti il termine « sterling », da cui sterlingato deriva, è il nome della società inglese « Sterling Co ».

prima qualità imbevuto di vernice formante una pellicola di copertura finissima.

Laddove si richiedono spessori isolanti ridottissimi, a parità di potere isolante, specialmente nelle piccole costruzioni, si usa la *seta sterlingata*.

I tessili sterlingati presentano ottime qualità isolanti, buona flessibilità e resistenza agli acidi ed al calore. S'impiegano per rivestire piattine di avvolgimenti indotti, per fasciare le bobine di campo e per l'isolamento fra gli strati. La tela sterlingata poi si usa molto, unitamente al presspan ed al leatheroid,per isolamenti verso massa, cioè per isolamento delle cave.

Per rinforzare l'isolamento delle uscite delle matasse degli avvolgimenti s'impiegano dei *tubetti* (calze) *sterlingati* di tessuto di cotone, ma si usano anche i *nastri greggi*; questi ultimi vengono impiegati nelle costruzioni elettromeccaniche per moltissimi usi e principalmente per mantenere solidali tra loro i fasci di conduttori o le testate dell'avvolgimento.

Tessuto di vetro sterlingato

È un tessuto confezionato con speciale vetro neutro trafilato in fili da 2÷3 micron di diametro, impregnato con vernici tipo sterling; va impiegato al posto dei tessuti sterlingati di cotone e dei nastri di mica-seta e mica-tela per l'isolamento delle bobine induttrici e delle barre di indotti dei motori di trazione, per l'isolamento di cave, ecc.

La temperatura massima di esercizio è 130° C (classe *B*).

Per ottenere una buona aderenza del nastro di vetro sterlingato ai conduttori elettrici è consigliabile verniciare i conduttori stessi con una leggera mano di una vernice essiccante all'aria che si deve lasciare asciugare parzialmente prima della nastratura.

Il tubetto di vetro sterlingato è costituito da una calza di vetro impregnata di vernice sterling ed è considerato di classe *B*.

Tessuto di vetro al silicone

Questo prodotto, costituito da un supporto totalmente inorganico con un legante semiorganico (silicone), possiede una buona flessibilità e viene impiegato specialmente per le macchine elettriche la cui temperatura può raggiungere 180° C (classe *H*). E' un

isolante eccezionale dal punto di vista della resistenza al calore e della resistenza all'acqua ed all'umidità. Questo prodotto è noto in commercio con vari nomi (vetrotex al silicone, elettrovetro siliconato, ecc.).

I tubetti di vetro al silicone sono di classe *H*.

Carta

La carta è una specie di feltro sottile fatto con fibre vegetali. La carta ben asciutta ha ottime qualità dielettriche, ma assorbe facilmente umidità, se esposta all'aria umida, e perde ogni potere isolante.

Per proteggerla dall'umidità si usa impregnare la carta con vernici o con altre sostanze adatte. In dipendenza della sostanza impregnante si ha tutta una gamma di isolanti, ma praticamente nella costruzione delle macchine elettriche si usano soltanto le carte verniciate. La più usata è la *carta sterlingata*, che trova gli stessi usi della tela sterlingata, però si presta meglio nei casi in cui è indispensabile ottenere una maggiore rigidità dielettrica con uno spessore minimo, senza necessità di grande resistenza meccanica.

Per il rivestimento di barre e per la confezione di tubi viene adoperata anche la *carta verniciata alla gommalacca*.

Cartoni

Cartopresso o presspan (*). — È un cartone cilindrato a struttura fortemente compatta, a superficie ben liscia e lucida, di colore rossastro. Si fabbrica con cellulosa quasi pura impregnata con una vernice essiccante e pressata sotto calandre. Il peso specifico è circa 1,2.

La qualità del presspan è determinata dalla sua resistenza a rottura e dal numero delle piegature successive, fatte alternativamente nell'uno e nell'altro senso, che esso è capace di sopportare senza deteriorarsi gravemente.

Il presspan è largamente usato negli avvolgimenti delle macchine elettriche per tensioni non troppo elevate. Ha buone qualità di resistenza e notevole flessibilità.

(*) In effetti il termine « presspan » non dovrebbe individuare un dato tipo di cartone, perchè è un marchio di fabbrica generico di materiale.

Tritona o leatheroid. — È un prodotto cartaceo ottenuto da stracci di cotone trattati con acido solforico. Presenta grana finissima, notevole tenacità e durezza e proprietà dielettriche superiori a quelle del cartopresso di pari spessore.

Fibra. — Col nome di fibra si designano dei cartoni pergamenati o impermeabili preparati con carte pergamenate o con pasta di cellulosa, trattate chimicamente con cloruro di zinco, con o senza l'aggiunta di colori minerali.

Sotto lo stesso nome esiste in commercio un prodotto ottenuto con segatura di legno, depurata con mezzi chimici e legata con opportuno agglomerante, compressa ad altissima pressione.

I due prodotti sono egualmente duri e discretamente isolanti, ma assorbono facilmente umidità. Si riduce l'igroscopicità mediante verniciatura con prodotti isolanti. La fibra è lavorabile alle macchine utensili.

Una varietà di fibra, detta *egiziana*, viene usata largamente per le zeppe di chiusura delle scanalature dei rotori.

Mica

È il migliore isolante solido naturale, sia per le sue preziose qualità, sia per la molteplicità degli usi ai quali è adibita.

La mica è diffusissima in natura (*); la qualità chiara e priva di macchie è quella che presenta le più elevate proprietà dielettriche. Ha peso specifico da $2{,}75 \div 3$.

La mica ha altissimo valore della rigidità dielettrica (minimo 50 kV/mm), bassissime perdite dielettriche, facile lavorabilità e possibilità di sfaldarsi in fogli sottilissimi, igroscopicità praticamente nulla; infine resiste bene agli agenti chimici ed agli sbalzi di temperatura (certe qualità possono sopportare temperature di oltre 1000°C). Sarebbe l'isolante ideale se fosse possibile avere allo stato naturale fogli di grandi dimensioni.

Micaniti

Sono prodotti isolanti ottenuti con lamine o scaglie di mica sottilissime, cementate con opportuno collante, in modo da for-

(*) Sono poche però le miniere che danno mica in dimensioni utilizzabili.

mare un complesso non facilmente sfaldabile. Se ne fanno fogli e tubi, di spessore da 0,2 mm in su. I fogli si ricavano disponendo le sottilissime scaglie in strati di uniforme spessore e unendoli con vernici adesive dielettriche; essi vengono poi sottoposti all'azione di grandi presse e riscaldati fortemente per eliminare ogni materia volatile. I fogli hanno di solito dimensioni di 1×1 m.

In micanite si fabbricano « lamelle per collettori » di qualsiasi grandezza (*).

Le micaniti hanno peso specifico compreso tra 2 e 2,5 e contengono dal 65 al 90% di mica; se ne fabbricano qualità flessibili a freddo ed a caldo. Spesso le micaniti sono dotate di un supporto, in dipendenza del quale prendono il nome di *mica-carta, mica-tela, mica-seta, mica-cartopresso, mica-tritona.* Nelle costruzioni di macchinario elettrico si usano sovente i *nastri micati,* specialmente quando lo spazio disponibile è ridotto e si vuole un isolante flessibilissimo, dotato di buona rigidità dielettrica, capace di sopportare temperature di esercizio di 130° C.

Il supporto carta, tela, ecc. può essere ricoperto con un sottile strato micaceo su una od entrambe le facce, oppure la mica può essere compressa e serrata tra due fogli o nastri dello stesso materiale o di materiali diversi, donde il nome di *carta-mica-carta, tela-mica-tela, carta-mica-tela, carta-mica-seta,* ecc.

Le micaniti con supporto presentano tutte una buona resistenza meccanica; naturalmente nel tipo con supporto dalle due parti si ha il vantaggio che la mica non può andar soggetta a sfogliature ed è quindi di più facile maneggiabilità.

I nastri micati ed in genere le micaniti con supporto vengono impiegati per isolamenti di classe *B*.

Il mica-cartopresso ed il mica-leatheroid vengono impiegati di preferenza in tutte quelle applicazioni che richiedono una grande rigidità dielettrica, accoppiata a flessibilità e robustezza meccanica (fasciature di nuclei polari, isolamento di cave, isolazione tra matasse, ecc.).

Isomica e derivati

L'isomica, chiamata da alcuni « foglio continuo di mica » e da altri, forse più propriamente, « carta di mica », è un prodotto

(*) Le micaniti per lamelle di collettore debbono avere particolari requisiti, ma soprattutto bassa compressibilità e perfetta calibratura. Rispondono bene allo scopo l'*amberite* e la *neomica*, create appunto per sostituire la mica nell'applicazione suddetta.

costituito esclusivamente da mica pura. In sintesi, il processo di fabbricazione consiste nel trasformare la mica in una polpa avente tutte le proprietà di una pasta per carta (*) e dalla quale si ricava, per filtraggio ed essiccamento su di una macchina per carta, un foglio coerente e continuo costituito da un feltro di piccole lamelline di mica. Risulta quindi evidente che il processo di fabbricazione differisce sostanzialmente da quello impiegato per le micaniti, con o senza supporto, ottenute collando sottili lamelle di mica.

Il foglio di mica così ottenuto ha una densità che è metà di quella della mica naturale; si possono ottenere fogli dello spessore da qualche centesimo a qualche decimo di millimetro.

In questi ultimi anni l'applicazione della carta di mica nella fabbricazione degli isolanti micati ha consentito di risolvere numerosi problemi relativi all'isolamento delle macchine elettriche ed i prodotti che vanno sotto il nome generico di « isomicati » presentano caratteristiche non inferiori a quelle degli analoghi prodotti in mica pura e sotto alcuni aspetti anche superiori.

A seconda dei tipi di polpa si ottengono prodotti adatti per la fabbricazione di isolanti rigidi o di isolanti flessibili.

Il foglio di isomica messo nell'acqua gonfia quasi istantaneamente e ridiventa polpa.

L'*isomicafoglio* è costituito da un foglio di isomica e da un sottile tessuto di vetro, incollati con una vernice al silicone; il lato isomica è poi verniciato con la stessa vernice. L'*isomicafoglio* viene impiegato di preferenza per l'isolamento delle parti attive delle matasse preformate dei motori di classe *H* e particolarmente per motori di trazione (spessore normale 0,17 mm).

Il *nastro vetro-isomica-plastico* è costituito da un foglio di isomica e da un sottile tessuto di vetro incollati con una vernice chiara plastica di classe *B*. Questo nastro trova le stesse applicazioni dei nastri seta-mica-plastico, vetro-mica-plastico, seta-mica-carta-plastico, è adatto cioè per isolamento di zone, sia per il tratto diritto che per le curve, e particolarmente per l'isolamento delle piattine dei mo-

(*) Per la fabbricazione dell'isomica si usa di solito la muscovite. Il processo consiste nel riscaldare la mica per farle perdere una parte dell'acqua di costituzione; la mica calda viene poi immersa bruscamente in una soluzione di carbonato di soda e successivamente il tutto viene sottoposto ad un trattamento con acido solforico o cloridrico. Ne risulta un rigonfiamento notevole (fino a 1000 volte lo spessore iniziale) tanto che le sottilissime lamelline possono considerarsi libere, dato che l'aderenza fra esse è praticamente nulla, e basta agitare la soluzione perchè si formi la polpa di cui s'è detto. Industrialmente la filtrazione avviene sotto forma continua su una macchina analoga a quelle in uso per la fabbricazione della carta.

tori di trazione dove si richiede un piccolo ingombro, una buona rigidità dielettrica e resistenza a temperature elevate (spessore 0,08-0,10-0,12 mm - formato: rotoli da 50 m a partire da 8 mm di altezza - isolamento di classe *B*).

Il *nastro vetro-isomica al compound* non differisce dal precedente che per il tipo di vernice e trova le stesse applicazioni.

Nel *nastro vetro-isomica al silicone* si impiega anzichè la vernice plastica o compound quella al silicone. Le applicazioni sono le stesse degli altri due tipi di nastro, però dal punto di vista termico i nastri al silicone vengono classificati di classe *H* (spessori e formato come i precedenti).

Per le medie e grosse macchine rotanti con tensione di esercizio fino a 6-8 kV s'impiega il nastro *mylar-vetro-isomica-mylar* o simili.

Dielettrici per isolamento cave

Per l'isolamento delle cave s'impiegano dei *cartocci* di *cartopresso, tritona, mica-carta, mica-tela, mica-cartopresso, mica-tritona, tessuto di vetro sterlingato o al silicone*, ecc.

Lo spessore dei cartocci è funzione della tensione. Per tensioni inferiori ai 500 volt la lunghezza dei cartocci si fa di circa 1 cm maggiore di quella geometrica del pacco lamiere. Naturalmente le micaniti con supporto ed i tessuti di vetro impregnati si usano rispettivamente per isolamenti di classe *B*, *F* ed *H* o per tensioni piuttosto elevate.

Per l'isolamento delle cave delle macchine elettriche a tensione inferiore ai 750 volt, specialmente dei motori asincroni di classe *A*, venivano impiegati di norma, fino a non molti anni fa, sia da parte delle grandi ditte che da parte dei riavvolgitori, dei cartocci composti da cartoni (leatheroid, presspan, ecc.) e tele verniciate.

Gli isolanti di cava svolgono un importante ruolo di protezione elettrica e meccanica ed è perciò che l'evoluzione di questi isolanti è continua e sostanziale; dai vecchi tipi a base di cartone e tela verniciata (*) si è passati a tutta una gamma di nuovi prodotti rinforzati con pellicole sintetiche che, con spessori minimi, conferiscono al materiale elevatissimi valori della rigidità dielettrica ed alta resistenza allo strappo.

(*) Talvolta si usavano — e qualcuno li usa ancora — cartocci di solo leatheroid o di solo presspan, ma, siccome questi materiali sono fortemente igroscopici, è buona norma accrescerne il potere isolante usando cartocci composti di leatheroid e tela verniciata oppure presspan e tela verniciata.

Al fine di evitare il maggior onere che comportano la preparazione ed il montaggio dei cartocci costituiti dai suddetti materiali separati e per migliorarne nel contempo le caratteristiche dielettriche con una adeguata verniciatura sono stati approntati dei « nuovi materiali per isolamento cave » (*); così la Monti e Martini ha allestito i *dielettrici combinati* ed i *dielettrici a base* di *mica continua* e la Isola i *Mioflex* e gli *Isomicaflex*.

Dalla vasta gamma di dielettrici combinati riportiamo nella tabella VII i tipi di uso più comune per isolamenti di classe *A*.

Dielettrici combinati

TABELLA VII

Sigla MM	COMPOSIZIONE	Spessore medio nominale mm	Tensione media di perforazione kV	Forma commerciale
MAS 12	Polietilentereftalato - Leatheroid . .	0,13 - 0,18 0,23 - 0,28	10 - 11 13 - 14	Rotoli
MAD 12		0,25 - 0,30 0,35	9 - 14 - 16	»
MAS 212	Leatheroid - Polietilentereftalato - Leatheroid	0,30 - 0,40	10 - 15	»
MAD 212		0,40 - 0,45 0,50	15 - 16 - 17	»
MA 27	Leatheroid - Tela verniciata diagonale	0,30 - 0,40 0,50	7 - 8 - 9	Fogli
MA 48	Carta Kraft - Pellicola vinilica .	0,30 - 0,40 0,50	10 - 11 - 12	»

N.B.: 1° - La seconda lettera della sigla sta ad indicare la classe d'isolamento.
2° - I tipi MAS sono allestiti con pellicola dello spessore di 0,025 ed i tipi MAD con con pellicola di 0,050 mm.

La caratteristica precipua dei dielettrici combinati è quella di unire un prodotto di elevate qualità dielettriche ad uno meccanicamente resistente che gli fa da supporto. Nella tabella suddetta sono

(*) Abbiamo usato l'espressione « nuovi materiali per isolamento cave », anche se si tratta di materiali prodotti ormai da parecchi anni, per distinguerli dai materiali composti (mica-tritona, mica-tela, ecc.) noti da più tempo.

riportati i dati essenziali che interessano il tecnico: spessori normali, tensione di perforazione (su foglio piano), forme commerciali. Tutti questi prodotti possono in genere essere tagliati facilmente, piegati e sagomati anche secondo i profili più complicati delle cave senza che abbiano a verificarsi screpolature.

Il Mioflex è un prodotto ottenuto dalla combinazione di un supporto con un film di politene-tereftalato. Il supporto, costituito da un cartone uso leatheroid, contribuisce alla resistenza meccanica alle pressioni localizzate e protegge il film dai danneggiamenti meccanici che possono essere provocati da asperità dei lamierini, ma è il film che assicura la buona resistenza termica, le elevate caratteriche dielettriche e la notevole resistenza meccanica allo stracciamento.

Nella tabella, VIII sono riportati gli spessori normali di fabbricazione del Mioflex e le relative tensioni di perforazione.

I Mioflex sono particolarmente adatti per l'isolamento di cava dei motori elettrici di classe E, dove possono essere applicati sia a mano che a macchina; vengono inoltre impiegati come separatori fra le testate degli avvolgimenti ed in genere in sostituzione del leatheroid o del presspan quando sono richiesti alto potere isolante, elevate caratteristiche meccaniche e buona resistenza alla umidità.

Un altro tipo di questi prodotti che ha dato pure buoni risultati è il Triflexil; si tratta di un materiale stratificato composto da leatheroid e da un film di triacetato o di poliestere. Gli spessori commerciali sono: 0,14 - 0,20 - 0,25 - 0,30 - 0,40 mm.

Da quanto precede risulta evidente che tutti questi nuovi materiali non differiscono sostanzialmente tra loro.

Data la notevole importanza che ha, dal punto di vista pratico esecutivo, l'isolamento contro massa, riteniamo utile occuparci anche dei nuovi materiali per isolamenti di classe *B*, *F* ed *H*.

Sotto la denominazione di Isomicaflex si comprende una serie di prodotti isolanti flessibili costituiti da uno o più fogli di isomica impregnati con vernice isolante, incollati su adatti supporti. L'isomica assicura a questa serie di isolanti eccellenti caratteristiche dielettriche anche ad elevata temperatura, mentre la resistenza meccanica è affidata al supporto.

Tutti gli Isomicaflex sono stati studiati e realizzati essenzialmente per l'isolamento di cava dei motori elettrici; essi possiedono un'ottima flessibilità, regolarità di spessore ed elevate caratteristiche elettriche e meccaniche. Questi prodotti, per le loro ottime caratteristiche, vengono spesso impiegati in sostituzione degli isolanti di cava a base di mica in scaglie nelle classi *B*, *F*. La scelta dei vari

TABELLA VIII

Tipo	Composizione	Spessori normali e relative tensioni di perforazione (*)												
		0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38						mm
		2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5						kV
LS/1.025	Leatheroid con film di politene tereftalato di spessore 0,025 mm da una parte.													
		0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55				mm
LS/1.050	Leatheroid con film c.s. di spessore 0,050 mm da una parte.	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8				kV
						0,28		0,38						mm
2LS/1.025	Film c.s. di spessore 0,025 mm interposto fra due cartoni di leatheroid.					6,5		7,5						kV
		0,15	0,20	0,25	0,30	—	0,40							mm
2LS/1.050	Film c.s. di spessore 0,05 mm interposto fra due cartoni di leatheroid.	4,5	5	5,5	6	—	7							kV
			0,20	0,25	0,30	0,35								mm
LS/2.025	Leatheroid interposto tra due film c.s. di spessore 0,025 mm.		6	6,5	7	7,5								kV
				0,25	0,30	0,45	0,55							mm
LS/2.050	Leatheroid interposto fra due film c.s. di spessore 0,050 mm.			7	8	9	10							kV
			0,20	0,25										mm
LS/1.100	Leatheroid con film c.s. di spessore 0,10 mm.		9	10										kV

(*) Dopo « Piegatura schiacciata e rullata.

tipi va fatta soprattutto tenendo conto delle temperature di esercizio ed anche delle sollecitazioni meccaniche di ciascun tipo di motore.

Gli Isomicaflex vengono impiegati anche come separatori fra le fasi e per l'isolamento dei poli di macchine a corrente continua.

Nella tabella IX riportiamo un elenco di composizioni normali di Isomicaflex, con gli spessori standard, i tipi di supporto e di copertura impiegati, la tensione di perforazione e la relativa classe di isolamento. La tabella può costituire una buona guida per la scelta del tipo in dipendenza della temperatura di esercizio e delle sollecitazioni meccaniche previste per il motore.

Isomicaflex

TABELLA IX

Tipo (sigla)	Supporto	Foglio di copertura (spessore in mm)	Spessori normali mm	Tensione di perforazione kV	Classe isolamento CEI
B/LM	Cartone isolante ad alta resistenza meccanica	Film politene tereftalato 0,025 - 0,040 0,050 - 0,050	0,20-0,30-040-0,50	6 - 8 - 10 - 12 4 - 6 - 7 - 8	B
B/MM	Film politene tereftalato	Film politene tereftalato 0,025 - 0,025 - 0025	0,15-0,20-0,30	6 - 8 - 10 4 - 6 - 8	B
F/VM	Vetro verniciato	Film politene tereftalato 0,025 - 0,040 0,050 - 0,050	0,20-0,30-040-0,50	6 - 9 - 12 - 14 4 - 7 - 8 - 9	F
H/VM	Vetro verniciato	Film politene tereftalato 0,025 - 0,040 - 0,050	0,20 - 0,30 - 0,40	6 - 9 - 12 4 - 7 - 8	H
H/VV	Vetro verniciato	Vetro verniciato	0,30 - 0,40 - 0,50	8 - 10 - 12 5 - 6 - 7	H

N.B.: 1° - La prima lettera della sigla sta ad indicare la classe di isolamento.

2° - I valori più alti della tensione di perforazione si riferiscono a prove su foglio piano e gli altri su foglio dopo piegatura a 180°.

3° - Film di politene tereftalato = Mylar.

Praticamente analoghi agli Isomicaflex sono i dielettrici a base di mica continua della Monti e Martini, che riportiamo nella tabella X.

Dielettrici a base di mica continua

TABELLA X

Tipo (sigla)	Rinforzi		Spessore nominale mm	Rigidità dielettrica kV/mm	Classe di isolamento
	Supporto	Copertura			
FM-404	Carta Kraft	Carta Kraft	0,15 - 0,20	20	B
IM-204	Tritona	Carta Kraft	0,30 - 0,40	15	B
IM-201	Tritona	Tereftalato di politene	0,20 - 0,30 - 0,40	23	B
IM-101	Tereftalato di politene	Tereftalato di politene	0,15 - 0,20 - 0,30	35	B
FM-501	Vetro verniciato	Tereftalato di politene	0,20 - 0,30 - 0,40	30	B-F
FM-5013	Vetro verniciato	Tereftalato di politene	0,20 - 0,30 - 0,40	30	H
FM-5053	Vetro verniciato	Vetro verniciato	0,20 - 0,30 - 0,40	30	H

VERNICI DIELETTRICHE

Generalità

È noto che il trattamento dei materiali dielettrici con adatte vernici, oltre ad esaltarne le caratteristiche elettriche, termiche e meccaniche, conferisce loro una maggiore resistenza agli agenti contaminanti, esercitando così una notevole funzione conservativa.

Le norme CEI, come del resto le norme internazionali, concernenti le classi d'isolamento per il macchinario elettrico, prevedono l'impiego di vernici per i materiali isolanti degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti e stabiliscono per tutte le classi, eccetto per la *Y*, trattamenti di impregnazione per potere rendere i complessi isolanti idonei alle rispettive condizioni di esercizio (*). Ma-

(*) L'impregnazione è quell'insieme di operazioni con le quali si elimina e si sostituisce la maggior parte dell'aria contenuta o trattenuta in un avvolgimento, con dielettrici liquidi, vernici o resine adatte, al fine di migliorare le prestazioni elettriche, meccaniche e conservative del complesso.

teriali come la carta, il cotone, l'amianto, i tessili sintetici, ecc., che allo stato naturale presentano valori di rigidità dielettrica analoghi a quelli di un eguale spessore di aria, migliorano notevolmente le loro proprietà specifiche se impregnati con sostanze resinose che riempiono gli interstizi della loro struttura e ne proteggono la superficie.

Una buona vernice di impregnazione deve possedere soprattutto i seguenti requisiti:

1) notevole resistenza all'umidità ed agli agenti chimici;
2) elevato potere penetrante e cementante;
3) buona conduttività termica;
4) elevata resistenza di massa e superficiale e buona rigidità dielettrica.

Le vernici debbono essiccare facilmente e rapidamente sotto l'azione del calore anche nella parte più interna degli avvolgimenti e debbono inoltre presentare una *pellicola omogenea, impermeabile, elastica e flessibile.*

Le vernici dielettriche sono costituite da soluzioni di un *polimero* o di *diversi polimeri in adatti solventi,* intendendo per polimeri le *sostanze naturali o sintetiche* con struttura macromolecolare (resine) aventi la proprietà di formare pellicole solide. Dato che ciascuna resina e resinoide (resina sintetica termoindurente) presenta caratteristiche proprie particolari, nella formulazione delle varie vernici si cerca di arrivare ad un compromesso, vale a dire ad un prodotto che presenti determinate proprietà (durezza, potere cementante, flessibilità, ecc.) e che nel contempo abbia una discreta resistenza negli altri campi. Ciò si ottiene da complesse combinazioni tra i diversi componenti (resine naturali, resinoidi fenolici, alchidici, epossidici, ecc.) in modo da sfruttare le caratteristiche migliori di ciascuno (*).

Classificazioni delle vernici

Le classiche vernici dielettriche sono costituite da due componenti principali: il *mezzo* ed il *solvente*. Il mezzo, rappresentato da una resina, sola o con un legante, forma la pellicola e provvede alla adesione al supporto ed alla coesione della pellicola stessa. Il solvente ha la funzione di portare in soluzione la resina, mentre per ridurre la viscosità della soluzione si impiega il cosiddetto *diluente*. Comunque non c'è una netta distinzione tra solvente e diluente perchè lo stesso liquido organico può agire sia da solvente che da diluente. Non esiste un solvente universale capace di sciogliere tutte le resine. Fra i diluenti predominano: la *nafta solvente, l'acqua ragia, l'essenza per vernici, il benzolo, il sangaiolo, il toluolo, lo xilolo, la benzina*. La nafta solvente ha grande potere di soluzione (specialmente per le resine alchidiche); è meno volatile del benzolo e del toluolo, ma più volatile della ragia minerale.

Importante è la scelta del diluente per le vernici isolanti usate per la impregnazione di avvolgimenti con fili smaltati, perchè l'azione di un diluente scelto male può provocare danni che vanno dal semplice rigonfiamento della parte più superficiale dello smalto alla sua completa distruzione.

Fino a pochi decenni fa le uniche vernici conosciute erano quelle ottenute con resine naturali ed olio di lino o di legno di Cina (*). L'olio aveva funzione di legante e *plastificante* (**) ed era di preferenza usato l'olio di lino perchè molto siccativo.

Le *vernici oleoresinose o grasse* sono ottenute appunto sciogliendo la miscela olio-resina in adatti solventi. Le proprietà di queste vernici potevano ritenersi già soddisfacenti, ma l'industria elettromeccanica richiedeva vernici più essiccanti delle vernici grasse, più resistenti all'invecchiamento, più isolanti e più costanti nelle proprietà. In questi ultimi anni si sono affermate numerose vernici sintetiche, ottenute, come s'è detto, per semplice soluzione di un polimero in un solvente, ma quelle oleoresinose o grasse sono state molto migliorate e tengono ancora un posto di un certo rilievo; forse il loro consumo è ancora elevato per il loro basso costo ed anche per certe buone qualità che le vernici sintetiche non hanno.

Le moderne vernici possono essere, ripetiamo, il risultato di innumerevoli combinazioni, dalla semplice soluzione di una resina in

(*) Vedi « *Tecnica nuova* » - vol. VIII - n. 4 - Pubblicazione della Monti e Martini S.p.A.

(*) Sia la resina che l'olio sono sostanze filmogene; una soluzione di sola resina ed una soluzione di solo olio essiccativo, in un determinato solvente, costituisce già una vernice, però la pellicola che si ottiene con l'olio, pur essendo elastica e flessibile, è troppo molle e la si può scalfire agevolmente ed è di lenta essiccazione. La pellicola di sola resina è invece dura, ma fragile, indurisce rapidamente, ma non ha flessibilità.

(**) Il plastificante può essere definito come un solvente non volatile, ad alta temperatura di ebollizione, che permane nelle pellicole essiccate di vernice e conferisce loro maggiore flessibilità ed elasticità. I plastificanti sono contenuti solo nelle vernici a base di resine sintetiche pure, mentre di solito non si trovano in quelle in cui la resina è modificata con olio o in quelle che contengono oli, in quanto gli oli sono essi stessi dei plastificanti.

olio a più tipi di resine interamente sintetiche sciolte oppure no in solventi senza la presenza di oli essiccativi. Potrebbero ottenersi così migliaia di vernici dielettriche e la loro classificazione può essere fatta secondo diversi criteri. La distinzione più semplice è quella basata sul colore, che suddivide le vernici in due grandi categorie: le *chiare* o *bionde* e le *nere*; ma la distinzione più logica e pratica è quella che suddivide le vernici in base alla capacità di essiccamento in due gruppi:

1) *reattive al calore* o *termoreattive*: per l'impregnazione degli avvolgimenti delle macchine elettriche;

2) *essiccanti all'aria o a temperatura ambiente*: per trattamento finale degli avvolgimenti, riparazione rapida, protezione generica.

L'espressione *termoreattiva* o *reattiva al calore* è usata per indicare quel tipo di vernice d'impregnazione che, sotto l'azione del calore, indurisce dando l'optimum delle sue caratteristiche quando raggiunge uno stato praticamente insolubile ed infusibile; sono per lo più soluzioni di resine termoindurenti e vengono impiegate di preferenza per la completa impregnazione delle parti statiche e rotanti delle macchine elettriche.

Le vernici che non necessitano di temperature elevate per completare il loro indurimento sono conosciute come essiccanti all'aria, in quanto induriscono per azione dell'ossigeno atmosferico, dopo che il solvente è evaporato o per la semplice e sola evaporazione del solvente stesso. Si può accelerare tale processo somministrando calore, ma non si ottengono le proprietà tipiche delle vernici termoindurenti. In conclusione, le vernici d'impregnazione essiccanti all'aria hanno una funzione di ripiego e sono usate solo in quei casi in cui non si ha disponibilità di forni di cottura o in caso di riparazione in loco.

Risultati soddisfacenti danno per contro le *vernici di finitura essiccanti all'aria* che hanno lo scopo di proteggere esternamente i complessi già impregnati migliorandone la resistenza rispetto ai vari agenti contaminanti (*). Tali vernici possono essere anche pigmentate (**) ed in tal caso prendono il nome di *smalti*; la pigmentazione rende le pellicole più dure, più spesse e più resistenti all'invecchiamento. Gli smalti sono impiegati di preferenza per finitura specifica contro la polvere, l'umidità e gli agenti esterni in genere; riescono particolarmente utili nella manutenzione periodica di macchine ed apparecchiature.

Le soluzioni alcoliche di *resine termoindurenti fenoliche o cresoliche* servono bene come vernici al forno poichè producono uno strato isolante continuo, aderente, duro, vitreo ed assicurano un buon isolamento. Risultati migliori si sono ottenuti, per la fabbricazione delle vernici grasse, con le *resine fenoliche modificate*. Si tratta di resine artificiali ricavate combinando le resine fenoliche con la *colofonia*.

(*) Quando si richiedono per la finitura caratteristiche particolarmente elevate si usano speciali vernici essiccanti al forno.

(**) I pigmenti sono sostanze insolubili, di struttura amorfa, che mescolate intimamente alle vernici le rendono opache.

Sistemi di applicazione

I sistemi di applicazione della vernice sono numerosi (*) e la scelta di quello più idoneo va fatta in base al tipo di vernice ed agli scopi che si vogliono raggiungere. Descriviamo brevemente i più usati. Il sistema più semplice ed economico è quello dell'*applicazione a pennello*, che dovrebbe riservarsi alle vernici essiccanti all'aria, di protezione o di finitura; anche l'*applicazione a spruzzo* viene di solito limitata alle vernici di finitura e solo eccezionalmente a quelle di impregnazione.

Il sistema più diffuso è quello *per immersione*, perchè consente di ottenere i migliori risultati; infatti l'impregnazione ha lo scopo di riempire nella maniera più completa possibile i vuoti fra le spire e fra le matasse e scacciarne l'aria. Per potere raggiungere anche i punti più interni dell'avvolgimento che viene trattato la vernice deve avere un buon potere *penetrante*. Nelle officine di riavvolgimento si fa il *trattamento in vasca aperta* (**), o *immersione semplice*, perchè non richiede particolari attrezzature, ma le grandi ditte costruttrici ricorrono al *trattamento in autoclave*. Con questo sistema di impregnazione (***) si pratica un certo grado di depres-

(*) Per piccoli motorini, con avvolgimenti eseguiti con filo molto sottile, ha incontrato ultimamente un certo favore la verniciatura eseguita a mezzo di centrifuga, nella quale i motorini vanno caricati assieme alla vernice.

(**) Una variante al sistema di impregnazione in vasca aperta è costituito dal sistema di immersione a caldo e precisamente con i pezzi da impregnare alla temperatura di circa 100° C. Spesso però questo sistema produce un notevole invecchiamento della vernice.

(***) Generalmente si preferisce completare nell'autoclave stessa la fase finale dell'essiccamento in condizioni di depressione (circa 700 mm di mercurio); ciò serve ad eliminare le ultime tracce di gas, aria umida, ecc.

sione e, quando la temperatura dei pezzi da impregnare raggiunge i 50° C, si immette dal fondo dell'autoclave la vernice, fino a coprire tutti i pezzi; si riduce allora la depressione e, dopo qualche tempo, si fa seguire un trattamento a pressione superiore, immettendo nell'autoclave *anidride carbonica* fino a raggiungere la pressione di 4 atmosfere. L'uso di aria in pressione è da sconsigliare in quanto l'areazione della vernice può causare alterazioni della stessa. La fig. 12 mostra lo schema di un impianto di impregnazione con trattamento in autoclave.

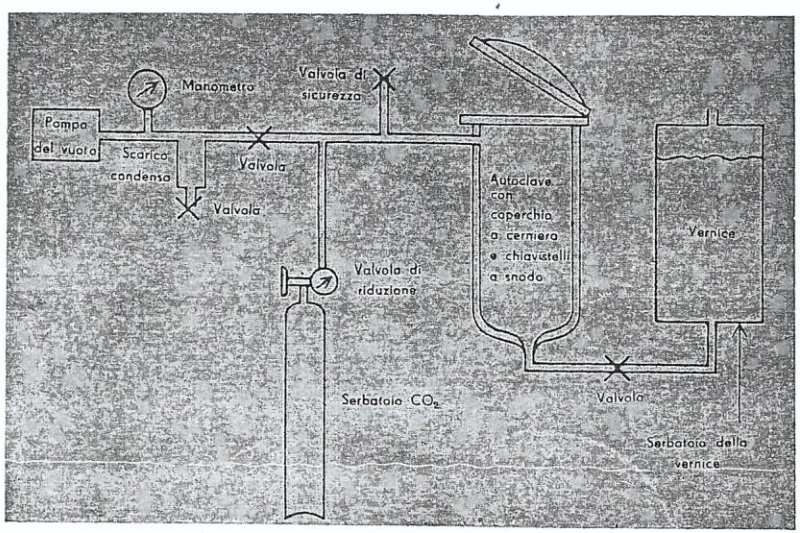


Fig. 12

Impregnazione con trattamento in autoclave: schema dell'impianto

Come è noto, prima di procedere alla impregnazione occorre preessiccare gli avvolgimenti per qualche ora, preferibilmente in stufa a circolazione di aria, in modo da eliminare ogni traccia di umidità; è buona norma effettuare l'immersione nella vernice con gli avvolgimenti ancora tiepidi (30°-45° C).

Dopo l'impregnazione è necessaria l'operazione di sgocciolamento anche per le vernici essiccanti al forno, al fine di eliminare l'eccesso di vernice e favorire una regolare evaporazione del solvente. Infine facciamo osservare che per l'essiccazione di una vernice grassa è necessario l'uso di una stufa a circolazione di aria calda, mentre per le vernici a base di resinoidi è adatta qualsiasi stufa capace di raggiungere la temperatura richiesta.

Che la buona riuscita di una macchina elettrica sottoposta ad impregnazione dipenda dal tipo e dalla qualità della vernice impiegata è universalmente noto, ma è spesso sottovalutata l'importanza, ai fini della durata dell'isolamento, della corretta applicazione della vernice stessa; l'applicazione malfatta di una buona vernice dà solitamente risultati più scadenti, per qualità e durata, di quelli ottenuti con una vernice mediocre, ma correttamente applicata.

Descriviamo brevemente alcuni tipi di vernici per avvolgimenti di macchine elettriche rotanti al solo scopo di mettere in evidenza che per ogni tipo di vernice occorre un determinato trattamento al fine di ottenere i migliori risultati.

Tipi di vernici essiccanti al forno. — *Vernici Isola — Vernice 199.* — È una vernice grassa sintetica per impregnazione degli avvolgimenti da usarsi sia in autoclave che per semplice immersione. Dà una pellicola dura, tenace, resistente agli alcali, agli acidi, agli oli caldi, all'umidità, avente una rigidità dielettrica di circa 1200 volt per centesimo di millimetro. Essicca completamente in profondità in 20-25 ore a 120°-125° C oppure in 13 ore a 130°-135° C o in 7 ore a 140° C. Si presta per ogni tipo di conduttore e risponde inoltre assai bene per impregnazione dei fili smaltati sia normali che sintetici. Può essere gialla o nera e viene fornita in due viscosità: fluida e densa (per applicazione a pennello).

Diluente: ragia minerale.

Vernice 200 gialla al forno. — È una vernice creata esclusivamente per l'impregnazione di avvolgimenti fatti con fili *duroflex M3* o simili; appartiene alla stessa categoria della 199, però presenta il vantaggio di un essiccamento più rapido. Dà una pellicola dura, cementante ed essicca completamente in profondità in 10 ore a 130°-135° C oppure 18 ore a 120° C. Tanto la vernice densa che quella fluida possono applicarsi sia per semplice immersione che in autoclave.

Diluente: xilolo o solvente nafta.

Vernice d'impregnazione tipo 204 a rapido essiccamento. — È una vernice isolante gialla caratterizzata da un rapido essiccamento al forno. La temperatura più conveniente per l'essiccamento in profondità è di 130°-135° C ed il tempo relativo è di circa 3-4 ore oppure 7 ore a 120°-125° C. Quindi senza aumentare la temperatura si ottiene un indurimento completo in un tempo che è la metà di quello delle normali vernici. Inoltre questa vernice ha un fortissimo potere cementante e ciò la rende particolarmente adatta per il trattamento di avvolgimenti sottoposti a forti sollecitazioni meccaniche sia a freddo che a caldo. Viene molto usata per piccoli indotti ad alta velocità.

Si tenga presente però che la natura dei suoi solventi permette il suo impiego solo negli avvolgimenti in filo con smalto di tipo sintetico, mentre è da escludere l'impiego con fili oleoresinosi.

Diluente: « diluente 204 ».

Vernice al silicone gialla 519. — È una vernice molto flessibile, resistente al calore, per l'impregnazione di motori e trasformatori di classe *H*; inoltre ha buone proprietà dielettriche e buona resistenza agli agenti atmosferici e chimici. Durata dell'essiccamento in profondità degli avvolgimenti impregnati: 5-10 ore a 150° C a seconda delle dimensioni. Dopo avere eseguito una prima impregnazione, si lascia raffreddare e si ripete tutta l'operazione fino ad ottenere il voluto grado di copertura.

Diluente: « diluente 519 ».

Vernice 198 sintetica, cementante, termoindurente. — È una vernice al forno, di color paglierino, particolarmente indicata per il trattamento di avvolgimenti sottoposti

a gravi sforzi. Dà una pellicola molto dura, dotata di un fortissimo potere cementante, insensibile agli agenti chimici e d'ambiente.

Viene usata tanto per semplice immersione che in autoclave con ogni genere di conduttori, smaltati compresi; durata dell'essiccamento in profondità degli avvolgimenti: 6 ore a 130°-135° C (da preferirsi per i fili con smalto sintetico) oppure 12 ore a 120°-125°C.

Diluente: sangaiolo o essenza per vernici.

Vernice alla dellite. — È una soluzione alcolica di resina fenolo-formaldeidica. È polimerizzante ed è particolarmente adatta per impregnazione di avvolgimenti fatti con conduttori isolati in carta od in cotone, ai quali conferisce grande compattezza. Resiste agli agenti chimici ed al calore. La temperatura più usata è di 120°-130° ed il tempo sarà da 3 a 10 ore, secondo la profondità d'impregnazione ed il volume.

Vernice d'impregnazione 211. — È una vernice d'impregnazione studiata per il trattamento degli avvolgimenti la cui temperatura di regime può raggiungere i 155° C (classe *F* (*)); è dotata di un'ottima resistenza termica, di eccellenti proprietà dielettriche e di buona resistenza all'olio caldo, all'acqua, all'umidità ed a molti agenti chimici. Ha un buon potere cementante sia sui fili smaltati che sui fili ricoperti in vetro.

Questa vernice essicca bene anche all'interno degli avvolgimenti più serrati, alla normale temperatura di 130°-135° C in 10-12 ore. Tale tempo può essere ridotto a 5-7 ore essiccando a temperatura di 150°-160° C.

Per macchine normali il trattamento è il seguente:

1) essiccare gli avvolgimenti per qualche ora a 130°-140° C;

2) lasciare raffreddare fino a circa 35°-40° C;

3) immergere gli avvolgimenti nella vernice e tenerveli finchè non cessi la formazione di bolle d'aria;

4) lasciare sgocciolare e poscia essiccare a 130°-135° C per 10-12 ore oppure a 150°-160° C per 5-7 ore.

Per materiale sollecitato meccanicamente o esposto a forte umidità è indispensabile ripetere una o più volte il sopraddetto trattamento.

Vernici Monti e Martini — Vernice W-161 — È una vernice chiara, termoreattiva e cementante, compatibile con ogni tipo di filo smaltato. Essicca in profondità a 135° C in 4-12 ore.

Questa vernice, pur non raggiungendo risultati superlativi, dà prestazioni soddisfacenti in ogni e qualsiasi tipo di applicazione e pertanto si può considerare una vernice isolante di uso generale veramente buona.

Diluente: B3.

Vernice N. 39 — È una vernice termoreattiva chiara, flessibile e cementante per avvolgimenti di macchine operanti ad elevate velocità e sotto forti vibrazioni. È a base di uno speciale polimero, dotato di caratteristiche particolari, ottenuto dalla combinazione di alcune pregiate resine sintetiche.

Essicca in 4-12 ore a 135° C. Ha una buona resistenza al calore, una elevata resistenza meccanica, all'olio ed agli agenti chimici.

Diluente: B3.

Vernice W-109 (Doryl (**)). — È una vernice per l'isolamento del macchinario elettrico di classe *H*. La W-109 è una vernice isolante che possiede anche a 200° C un'ottima resistenza meccanica, termica ed elettrica. A differenza di quelle immidiche, ammidiche e siliconiche, che sono pure di classe *H*, le pellicole di Doryl sono inattaccabili dai solventi e dagli aggressivi chimici ed hanno un elevato potere cementante a caldo.

Temperatura d'indurimento (su rame): 2 ore a 200°-250° C.

(*) Naturalmente se si vuole che la macchina possa funzionare a 155° C (temperatura massima di esercizio del punto più caldo) è necessario che tutti gli altri isolanti appartengano alla classe F.

(**) Doryl è il nome di una serie di resine termoindurenti derivate dall'*ossido di difenile.*

Vernice W-396 — È una vernice termoindurente, a base siliconica, d'impregnazione per macchine elettriche di classe *H*, la cui principale caratteristica è la resistenza al calore.

Ha un soddisfacente potere cementante e dà pellicole dure ma flessibili ed idrorepellenti.

Tempo di essiccamento (su rame): 3 ore a 150° C.

Vernice W-1421. — È una vernice ad alto potere cementante che può servire anche per apparecchi di classe *F* ed *H*; cotta in forno incapsula i conduttori entro un involucro dotato di eccezionale potere cementante a caldo. Essa è compatibile con qualsiasi smalto per fili ed è raccomandata in modo particolare per l'impregnazione di macchine rotanti ad elevato numero di giri e ad alte temperature di esercizio.

La vernice W-1421 penetra in profondità negli avvolgimenti e li cementa fortemente, formando pellicole dure, meccanicamente resistenti; ha un ottimo potere dielettrico e resiste all'umidità, agli acidi, al salino ed ai solventi.

Tempo di essiccamento in forno molto più breve di quello di altre vernici.

Tipi di vernici essiccanti all'aria. — *Vernice Isola 208.* — È una vernice oleoresinosa che dà una pellicola dura. brillante, resistente agli agenti chimici ed atmosferici, da usare per finiture o riparazioni « in loco ».

Essicca all'aria in 24 ore circa, ma l'efficienza massima della pellicola è raggiunta dopo qualche giorno.

Diluente: benzina pura solvente.

Vernice Isola 209. — È una vernice di finitura a base di resine sintetiche, trasparente, di ottimo valore isolante. Dopo 6-8 ore di esposizione all'aria dà una pellicola dura, assai resistente all'acqua ed all'umidità. Può essere applicata a pennello o, leggermente diluita, a spruzzo o per immersione.

Diluente: xilolo o solvente nafta.

Vernice di finitura 214. — È una vernice a rapido essiccamento all'aria, destinata al trattamento di finitura degli avvolgimenti. L'essiccamento totale avviene in circa 24 ore, però si può accelerare l'indurimento, ottenendo anche migliori caratteristiche, con un trattamento da 1÷2 ore a circa 70° C. Può essere applicata a pennello, a spruzzo oppure per immersione.

Smalto rosso MM W-231. — Questo smalto, a rapido essiccamento all'aria, è caratterizzato da un'ottima resistenza ai prodotti chimici, all'abrasione ed all'olio; la pellicola risulta lucida e brillante. Lo smalto W-231 — al pari del W-1230 essiccante al forno — viene impiegato come vernice di finitura delle bobine di campo, degli avvolgimenti statorici ed anche per bandaggi.

Tempo di essiccamento a 25° C (su rame): 2 ore.

Vernici senza solvente (*)

Da alcuni anni si è affermata, specialmente in USA, una particolare tecnica d'isolamento delle macchine elettriche, nota col nome di *incapsulaggio*; questa operazione consiste nell'inviluppare gli avvolgimenti ed il relativo isolamento in una guaina di un composto resinoso, che viene poi fatto polimerizzare. Lo scopo dell'incapsulaggio è dunque quello di annegare gli avvolgimenti in una massa compatta ma elastica, in grado di conferire loro una più elevata pro-

---

(*) V. « *Vernici senza solvente* » (« Quaderni di tecnica industriale » della Monti e Martini).

tezione meccanica, rendendoli nel contempo inattaccabili da parte degli agenti chimici e dell'umidità.

Le resine più usate per le vernici cosiddette senza solvente (*) sono le *resine epossidiche*, ma si impiegano anche le *resine siliconiche* e le *resine poliesteri*.

Le vernici a base di resine epossidiche possono essere *flessibilizzate* o *fluidificate* a mezzo di *correttivi* (polimeri modificanti a lunga catena), di sostanze cioè capaci di aumentare la elasticità del rivestimento indurito e di rendere la vernice più penetrante e più adatta ad una buona impregnazione.

Nella maggior parte dei casi le vernici senza solvente sono liquidi con viscosità di poco superiore a quella delle normali vernici isolanti ed induriscono per azione di opportuni *catalizzatori* o *induritori* (**). Queste sostanze aggiunte alle vernici al momento dell'uso prendono parte alla reazione di indurimento.

Si possono impiegare induritori che agiscono a temperatura ambiente ed altri che agiscono a caldo. In genere le resine epossidiche indurite ad alta temperatura hanno migliori proprietà di quelle polimerizzate a temperatura ambiente.

Tutte le vernici senza solvente una volta solidificate non rammolliscono più nemmeno sotto l'azione del calore. Dopo l'aggiunta del catalizzatore o induritore la miscela deve essere usata il più presto possibile perchè dopo qualche tempo la viscosità aumenta sensibilmente.

L'incapsulaggio degli avvolgimenti dei motori può essere fatto a mano per « rivestimento », con pennello o con spatola e cazzuola, o per « immersione », oppure per « colaggio » (***) o « riempimento ». In effetti il colaggio, pur essendo simile all'incapsulaggio, ne differisce sia perchè il volume dell'involucro resinoso è nettamente superiore a quello dello strato d'incapsulaggio, sia perchè è necessario l'impiego di agenti di rilascio o distaccanti (grasso di silicone, film plastico, ecc.) per l'estrazione dallo stampo.

(*) È bene specificare che l'espressione « vernice senza solvente » è adottata prevalentemente dalla Monti e Martini, mentre altre ditte chiamano prodotti analoghi: « miscele isolanti », « masse di colaggio », ecc.

(**) Gli induritori per resine epossidiche presentano in genere un certo grado di tossicità, ma oggi esistono anche ottimi induritori di tossicità limitatissima.

(***) Per colaggio s'intende, in genere, l'operazione mediante la quale un avvolgimento o un complesso vengono racchiusi in un blocco resinoso indurito dopo colata in apposito stampo. Il riempimento differisce dal colaggio per il fatto che il contenitore della vernice viene lasciato come protezione meccanica.

Gli avvolgimenti possono anche essere impregnati prima dell'incapsulaggio per mezzo di altre vernici a bassa viscosità con o senza solvente.

Le vernici senza solvente flessibilizzate sono molte, ma sono relativamente poche quelle adatte per impregnazione o per incapsulaggio delle macchine elettriche rotanti. Occorre di volta in volta scegliere la vernice più adatta ed attenersi alle istruzioni sul modo migliore di usare il prodotto.

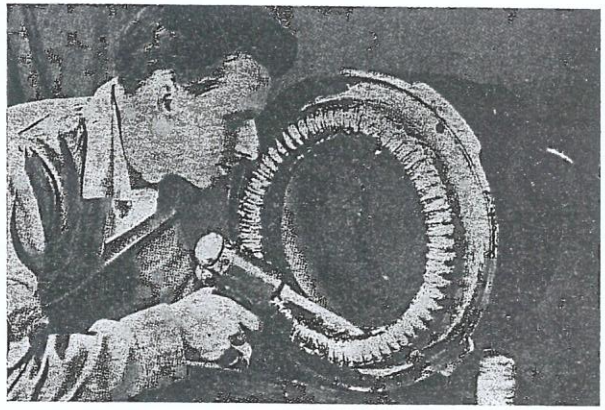


Fig. 13

Saldatura dei profilati allo statore con adesivo epossidico resistente agli agenti chimici (da « Tecnica Nuova »).

Un sistema pratico di facile impiego e di costo modesto per l'incapsulaggio dei motori asincroni è quello sviluppato in USA, che prevede l'utilizzazione di un profilato ad *U* a superfici corrugate, di lamierino leggero. Questo profilato, tagliato nella giusta misura, è usato per ricoprire la parte dell'avvolgimento sporgente dalla carcassa statorica.

Il profilato, grazie alle sue ondulazioni, può essere modellato e strettamente adattato agli avvolgimenti in modo da ridurre il quantitativo di resina necessario alla impregnazione delle matasse. Messi in opera i profilati (in lamierino di acciaio o in foglio di alluminio), vengono saldati allo statore di ferro con un sigillante resinoso (fig. 13). Nell'interno dello statore viene poi infilata un'anima cilindrica gonfiabile di materiale plastico che ha lo scopo, una volta gonfiata, di murare temporaneamente le cave onde impedire qualsiasi fuoruscita di resina liquida. Intorno all'anima gonfiabile si

deve inserire un film plastico che serve da agente distaccante impedendo alla resina epossidica di aderire, durante l'indurimento, alla superficie dell'anima (*). In uno dei due profilati disposti ai due lati dello statore viene praticato un piccolo foro per l'uscita dei capi dell'avvolgimento e lo scarico dell'aria; nell'altro profilato viene praticato un foro per il carico della resina liquida (fig. 14).

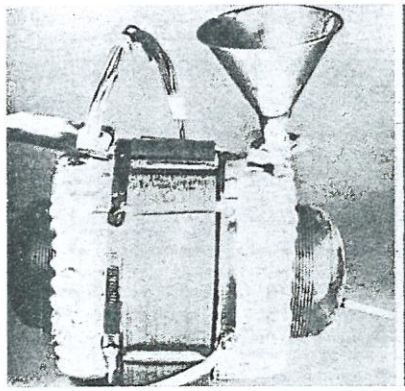


Fig. 14

Statore pronto per la colata
(da « Tecnica Nuova »)

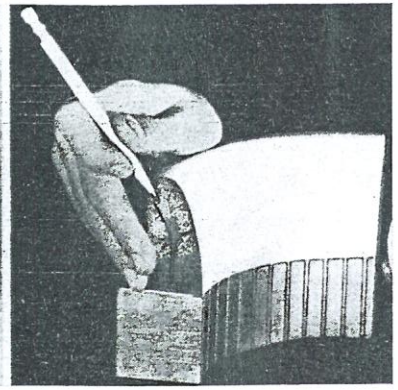


Fig. 15

Sezione di un avvolgimento
dopo incapsulaggio
(da « Tecnica Nuova »)

La miscela resina-induritore, una volta versata dentro i profilati ad *U*, ha il tempo e la possibilità, se la velocità di indurimento e la viscosità della resina sono state bene scelte, di impregnare e di saturare gli isolanti presenti nel motore.

I profilati sono lasciati sui motori stessi, dato che costituiscono una protezione supplementare.

La fig. 15 mostra la sezione di un avvolgimento dopo l'incapsulaggio e mette in evidenza come l'intero avvolgimento risulti

(*) Qualcuno usa creare, con polietilene o con tessuto di vetro o altro materiale a cui le resine epossidiche non aderiscono, una forma che racchiuda gli avvolgimenti, realizzata semplicemente con tre argini: uno interno (praticamente un cilindro aderente alla superficie interna dello statore), uno esterno inferiore ed uno esterno superiore. Questi due ultimi argini o fogli occorre cementarli ai lamierini con « composto epossidico in pasta », mentre l'argine interno va tenuto aderente alla parete mediante una camera d'aria, introdotta nella cavità e gonfiata convenientemente.

La Italvibra impiega per l'impregnazione e incapsulaggio degli avvolgimenti statorici la *dolphon CR-1035*, colando le vernici sulle testate dell'avvolgimento ancora caldo; la colata viene effettuata trâ la carcassa ed un cilindro metallico, spalmato di un agente distaccante, collocato nell'interno del pacco statorico.

incorporato in una struttura compatta di resina indurita che lo isola elettricamente e lo protegge dagli agenti contaminanti dell'ambiente.

A complemento di quanto si è detto riteniamo utile riportare le caratteristiche essenziali di alcune vernici epossidiche senza solvente per la impregnazione o l'incapsulaggio degli avvolgimenti.

Tipi di vernici senza solvente. *Vernice S 410.* — È una vernice epossidica trasparente sensa carica, ossia priva di plastificanti temporanei, costituita da polimeri internamente e permanentemente flessibilizzati per ridurre al minimo il pericolo di fessurazioni. S'impiega di norma col sistema d'impregnazione per immersione su bobine di campo, avvolgimenti statorici, trasformatori, ecc., ma si può impiegare anche col sistema del rivestimento, o del colaggio, o del riempimento. Questo prodotto della Monti e Martini ha una elevata stabilità al calore ed ottime caratteristiche d'isolamento e di resistenza agli agenti chimici, nonchè un'ottima solidità agli shock meccanici e termici.

Di solito con questa vernice s'impiega l'induritore 410-5 che agisce a caldo. La vernice, addizionata con 15 parti di agente d'indurimento per 100 parti di resina, può essere riscaldata fino a 90° C per ridurre la viscosità e favorire la penetrazione del materiale negli avvolgimenti più compatti. Si consiglia per l'indurimento un riscaldamento fra 135° e 150° C per 7-15 ore.

Si può impiegare anche l'induritore 405 che agisce a freddo (da 7,5 a 10 parti per 100 parti di resina); l'indurimento avviene in 4-8 ore.

Tanto la vernice senza solvente che gli agenti induritori, purchè non siano mescolati fra loro, hanno vita praticamente infinita.

Vernice S. 405. — È una vernice senza solvente per incapsulaggio, colorata e caricata con materiali di riempimento. La S. 405, fu originariamente utilizzata per l'isolamento dei motori riavvolti, però oggi con questa vernice sono trattati anche i motori nuovi destinati a funzionare in acciaierie, fonderie, miniere, impianti chimici e tessili, raffinerie, cartiere, ecc.

La vernice S. 405, una volta polimerizzata, forma una guaina incapsulante, meccanicamente robusta ma sufficientemente flessibile; viene di norma indurita con l'agente 405, ma potrebbero usarsi induritori diversi. L'agente 405 è un catalizzatore di polimerizzazione e va usato in piccole dosi ed a freddo (3,6% in peso di catalizzatore per 100 di vernice). Il tempo di polimerizzazione è di 4-8 ore, ma può ridursi con dosi di agente 405 fino ad un massimo del 5%, però il tempo utile d'impiego si riduce a circa 30'.

La parte resinosa della S. 405 è simile a quella del tipo 410; questa vernice si applica di norma a spatola, solo all'esterno, laddove si richieda una protezione compatta, economica e di facile applicazione.

Vernice S. 422. — È una vernice senza solvente per impregnazione a base epossidica senza carica e ad un solo componente, che indurisce unicamente a caldo; ha bassa viscosità, che può essere ancora ridotta riscaldando la vernice a 50° C e quindi è adatta per ogni genere di impregnazione.

Dopo il trattamento in forno (per 2-6 ore a 135°-150° C) diventa molto dura e blocca i conduttori, tra i quali riesce a penetrare, in una massa compatta e senza il minimo vuoto; può sopportare temperature fino a 155° C.

Si tenga presente che la S. 422, già catalizzata al momento della fornitura, ha una vita di magazzino di 2-3 mesi a 20°-25° C.

La *S. 421.* — È una vernice senza solvente per incapsulaggio, ottenuta caricando con due speciali riempitivi inorganici la vernice S. 422. È adatta specialmente per il riempimento delle bobine di campo.

Scaldata a 50°-80° C, malgrado la carica che contiene, diventa fluida come una vernice normale con solvente e come tale può essere applicata. Polimerizza a 135°-150° C in un tempo variabile da 2 a 6 ore.

A temperatura ambiente si conserva per 2-3 mesi.

Occorre evitare il contatto di questa vernice con la pelle e nell'eventualità che il contatto si verifichi si raccomanda di asportare il materiale contaminante al più presto mediante lavaggio con alcool e successivamente con acqua e sapone.

Resina Tekis rossa n. 729/1 (Inves). — È un prodotto a base di resine epossidiche a cariche inerti, caratterizzato da un buon isolamento elettrico ed elevate proprietà riempitive e cementanti; è a due componenti da mescolare al momento dell'impiego. Questo prodotto è indicato per applicazioni a pennello ed a spatola (bloccaggio delle testate delle matasse, finitura degli avvolgimenti, ecc.).

La miscelazione deve essere lenta e continua onde amalgamare i due componenti ed evitare l'imprigionamento di bolle d'aria. La miscela catalizzata deve essere usata entro un massimo di 4 ore. Il prodotto va applicato a pennello o a spatola; l'indurimento avviene in 20-24 ore a temperatura ambiente, in 70'-80' a 60° C ed in 25'-30' a 90° C.

Resina Tekis rossa n. 783/1. — Differisce dalla n. 729/1 perchè va applicata per riempimento; ha una buona fluidità e facilità di penetrazione. Questo prodotto viene impiegato per incapsulaggio o impregnazione di avvolgimenti e bobine di campo. La miscela catalizzata va impiegata entro un'ora. L'indurimento avviene in 10-12 ore a temperatura ambiente, in 2 ore a 60° C ed in 1 ora a 90° C.

Masse di colaggio EH/M70 e EH/M35. — Queste masse di colaggio a base epossidica della Isola si presentano sotto forma di liquidi densi, opachi, privi di solvente, che solidificano a freddo sotto l'azione di un catalizzatore. L'indurimento avviene per polimerizzazione, formando una massa dura e compatta dotata di ottime caratteristiche elettriche e meccaniche.

Il catalizzatore EH va aggiunto alla massa nella proporzione del 6% per la EH/M70 e del 7% per la EH/M35; dopo aver mescolato accuratamente fino alla completa dispersione si lascia la massa qualche minuto in riposo per far salire in superficie le bollicine d'aria. Il prodotto così preparato dovrà essere colato entro due ore.

Si può aumentare la penetrazione della massa ed accelerare l'indurimento preriscaldando a 50°-70° C.

A temperatura ambiente l'indurimento è completo dopo circa 15-20 ore, a 60° C dopo circa 1 ora.

Occorre con questa vernice prendere tutti gli accorgimenti abituali per l'impiego delle resine epossidiche ed evitare soprattutto il contatto diretto con la pelle.

Analoga è la massa di colaggio ED/41, che viene fornita suddivisa in tre componenti contrassegnati dalle lettere A, B, C.

Siliconi

I siliconi sono *composti organo-silicici polimerizzati*, a carattere resinoso. Possono considerarsi dei prodotti intermedi fra i composti inorganici ed i composti organici.

I siliconi sono messi in commercio in vari tipi: *fluidi, grassi, composti d'impregnazione, pellicole, vernici, resine, masse plastiche* (*). Tutti i tipi hanno buone qualità dielettriche, sono chimicamente inerti ed hanno proprietà di resistenza alle temperature elevate ed all'azione dell'acqua e delle intemperie.

(*) Fluidi, grassi, composti d'impregnazione rappresentano dei prodotti finiti.

Per uso elettrotecnico però interessano in modo particolare le resine e le vernici al silicone; questi ultimi prodotti, abbinati, come s'è detto, ai filati di vetro ed alla mica, hanno permesso di allestire tutta una nuova serie di dielettrici, che vengono ormai da parecchi anni impiegati vantaggiosamente nelle costruzioni elettromeccaniche.

Le vernici al silicone consentono di sfruttare in pieno le proprietà di resistenza al calore degli isolanti a base di vetro e simili; sono le sole capaci di resistere ad una temperatura di regime di 180° C e pertanto gli isolamenti con filati di vetro o con mica trattati con vernici al silicone vengono inquadrati dalle norme CEI nella classe *H*.

L'applicazione di queste vernici sugli avvolgimenti delle macchine elettriche viene praticata come per le vernici ordinarie, però occorre preessiccare in forno per un paio d'ore per eliminare qualsiasi traccia di umidità superficiale, indi immergere i pezzi, ancora leggermente caldi, nella vernice e, dopo aver lasciato sgocciolare fino ad eliminazione di ogni eccesso di vernice, collocare nuovamente i pezzi in forno. La temperatura di essiccamento varia in dipendenza del tipo (v. « *Tipi di vernici essiccanti al forno* »).

Le resine al silicone (*) assomigliano molto alle vernici e costituiscono, dal punto di vista elettrico, un complemento molto utile delle fibre di vetro, della mica e dell'amianto, perchè servono a connettere fra loro tali materiali.

L'uso delle vernici al silicone, permettendo di elevare le temperature di regime delle macchine isolate con tessili di vetro o di amianto, consente di ridurre le dimensioni ed il peso delle macchine elettriche (**). Per lo sfruttamento integrale delle caratteristiche di resistenza alle alte temperature dei siliconi occorrono dei lubrificanti adatti, capaci cioè di resistere alle temperature in gioco ed i lubrificanti a base di siliconi rispondono pienamente allo scopo.

L'uso dei siliconi potrà consentire altri progressi nei motori chiusi (***) e nei piccoli motori per applicazioni domestiche (****).

Il campo di applicazione di queste vernici si è esteso anche in conseguenza della diminuzione del loro costo.

(*) Le resine vengono messe in commercio in soluzioni dal 50 al 70%.

(**) A parità di dimensioni d'ingombro si è potuto aumentare del 30% circa la potenza dei motori chiusi con un risparmio di oltre il 50% nel peso del rame.

(***) Nei motori aperti l'uso dei siliconi potrà essere superfluo (la temperatura di regime non è, in generale, molto elevata).

(****) I piccoli motori per applicazioni elettrodomestiche di solito sono forzati e quindi funzionano a temperature che compromettono la loro durata.

ISOLAMENTO DEI CONDUTTORI PER AVVOLGIMENTI

Tipi di conduttori e generalità

I conduttori di rame possono essere a *sezione circolare* o *rettangolare* oppure *quadrata*. Il filo tondo viene usato per sezioni inferiori ai 20 mm^2. Di solito s'impiega il conduttore a sezione circolare per diametri compresi tra 0,03 e 3 mm perchè i diametri maggiori presentano una notevole rigidezza. I fili s'impiegano per le macchine di piccola potenza, cioè per le piccole e medie intensità; per medie intensità si usano talvolta fili in parallelo.

Per le medie e forti intensità si usano le *piattine* e le *sbarre* a sezione rettangolare o quadrata a spigoli arrotondati.

Il peso specifico del rame è di 8,9 (8,89 kg/dm^3), per cui il peso in grammi di un conduttore di rame, per metro di lunghezza, è dato dal prodotto: $8{,}9 \cdot S_c$; la sezione S_c va espressa in mm^2.

L'isolamento dei conduttori impiegati negli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti può essere a base di tessili, di carta, di smalto o misto. Sono tuttora usati:

1) fili e piattine isolati con tessili;
2) » » » » » carta;
3) » » » » » smalti sintetici;
4) » isolati con smalti oleoresinosi;
5) » » in elettrovetro.

Fili isolati con tessili

Nei fili per avvolgimento vengono normalmente impiegati solo il cotone e la seta (*).

L'isolamento con cotone è ancora usato, sebbene in misura molto ridotta, anche per piccole potenze. Per tensioni di modesto valore il filo è isolato con una sola copertura a spirale, ma generalmente si usano due coperture a spirale e solo eccezionalmente s'impiegano coperture combinate di una o due spirali ed una treccia.

(*) Per macchine a bassa tensione ed a forte riscaldamento e specialmente per motori di trazione si usa ancora il conduttore isolato con amianto, ma oggi per la trazione elettrica s'impiega più sovente la piattina isolata con nastro carta-mica-carta compound per i poli induttori e la doppia spiralatura di elettrovetro per l'indotto.

I fili isolati con seta venivano usati particolarmente nelle costruzioni di piccole macchine ove lo spazio disponibile per gli avvolgimenti è limitato, ma oggi di solito s'impiegano in tali costruzioni i fili smaltati.

I fili isolati con tessili vengono impiegati quando si richiede un avvolgimento compatto, necessario per le parti rotanti, e quando le macchine sono soggette a vibrazione durante il funzionamento; infatti i fili isolati con tessili hanno la caratteristica di permettere una completa penetrazione delle vernici impregnanti. Però gli avvolgimenti isolati con tessili, anche dopo l'impregnazione, non presentano elevata rigidità dielettrica e pertanto, quando la differenza di potenziale tra spira e spira raggiunge valori discretamente elevati, sono da preferire i fili isolati con smalto-cotone o con smalto-seta.

Fili e piattine isolati con carta e con carta e tessile

La carta essiccata e impregnata con miscele isolanti od oli minerali è un ottimo dielettrico, però l'esecuzione degli avvolgimenti presenta degli inconvenienti dal punto di vista meccanico e pertanto i conduttori isolati con carta sono poco usati per gli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti.

Una spirale di tessili viene usata talvolta sopra la carta, come legatura.

Conduttori di rame smaltati

I fili smaltati possono essere, come si è già detto, del tipo oleoresinoso o del tipo sintetico (formivex, duroflex, ecc.).

Questo tipo di conduttore isolato viene oggi largamente usato per avvolgimenti di macchine elettriche di piccola e media potenza, ed il suo impiego si è ormai generalizzato; il filo smaltato presenta proprietà dielettriche eccellenti, malgrado il minimo spessore dell'isolante, ed una più elevata resistenza al calore, tanto che le norme CEI classificano l'isolamento in smalto del tipo sintetico di classe *E*, ossia di una classe intermedia tra la *A* e la *B*. I fili smaltati consentono inoltre una migliore utilizzazione dello spazio disponibile.

Ormai vengono smaltati fili di rame di diametro variabile da 0,03 fino a 5 mm, (v. tabelle a fine volume), ma di solito le richieste

di fili smaltati di diametro superiore a 3 mm sono molto limitati (*). Normalmente s'impiegano conduttori di rame elettrolitico ricotto con superficie esente da rugosità, scaglie, ossidazioni ed altre imperfezioni che ostacolerebbero la regolare applicazione della vernice.

Lo smalto oleoresinoso è composto di una miscela di oli vegetali essiccativi e di resine sintetiche (**). Questo tipo di smalto presenta buone caratteristiche di stabilità termica e di resistenza ai solventi ed all'umidità, ma la proprietà che più lo distingue è l'elevata tensione di perforazione.

Lo smalto sintetico è composto di una miscela di *acetale di vinile polimerizzato*.

I fili smaltati del tipo oleoresinoso hanno una resistenza all'acqua molto rilevante, che sorpassa largamente quella delle vernici del tipo sintetico all'acetale di vinile, ma queste ultime possiedono delle qualità meccaniche molto superiori e precisamente una maggiore elasticità ed una più forte resistenza agli urti, al riscaldamento ed alle vibrazioni (***).

In definitiva i fili smaltati con acetale di polivinile permettono progressi notevoli nelle costruzioni di macchinario ed apparecchiature elettriche.

La maggior parte delle vernici isolanti d'impregnazione sono inerti nei riguardi dello smalto dei fili degli avvolgimenti, sia del tipo oleoresinoso che del tipo all'acetale di vinile, però ne esistono pure dei tipi che rammolliscono lo smalto; in caso di incertezza è consigliabile effettuare una prova tenendo immerso per qualche tempo un campione del filo nella vernice.

Nuove resine per fili smaltati

Lo smalto all'acetale di vinile, soprattutto per le notevoli qualità meccaniche, ha consentito di ridurre i tempi di esecuzione degli avvolgimenti e di eliminare le principali cause di inconvenienti nei motori.

(*) Per fili smaltati di diametro superiore a 3 mm è buona norma provvedere tempestivamente alla ordinazione.

(**) La Pirelli usa delle resine fenoliche modificate.

(***) L'elevata durezza, l'elasticità e l'aderenza della pellicola di smalto consentono l'uso dei fili smaltati polivinil-acelatici su macchine avvolgitrici automatiche che sottopongono il filo a severe sollecitazioni meccaniche.

In questi ultimi anni si sono impiegate altre resine sintetiche nella fabbricazione dei fili smaltati, ciascuna delle quali ne esalta una particolare caratteristica; le principali sono: le *resine poliuretaniche, epossidiche, poliamidiche* e le *resine poliesteri*. Solo queste ultime hanno dato luogo ad un filo smaltato adatto per l'impiego fino alla classe *F*; però anche i fili con smalto poliestere avevano fino a poco tempo fa alcune caratteristiche negative e principalmente scarsa resistenza meccanica e scarsa resistenza al « colpo di calore » (*).

In seguito però in USA la Phelps-Dodge aveva realizzato il filo brevettato *Poly-Thermaleze* caratterizzato da un particolare sistema di fabbricazione con sovrapposizione di due diversi tipi di poliesteri speciali: il primo (smalto di base) a legami incrociati, il secondo (smalto di superficie) costituito da un poliestere lineare. In questo modo si riusciva ad ottenere un filo dotato di elevate caratteristiche termiche e di un'ottima resistenza al colpo di calore. Recentemente è stato prodotto in Italia dalla SAFI un nuovo tipo di filo, il Poly-Thermaleze 200, che conserva la composizione a doppio strato del tipo Poly-Thermaleze, però il poliestere di base è un poliestere cianurato dotato di caratteristiche termiche e meccaniche nettamente superiori (la Safi assicura che il filo Poly-Thermaleze 200 può sopportare temperature di 180° C).

Il filo Poly-Thermaleze 200 viene fabbricato secondo la serie dei diametri e dei bispessori unificati riportati nelle tabelle UNEL n. 01714 (tipo semplice), n. 01715 (tipo doppio) e n. 01716 (tipo triplo), che coincidono praticamente con le tabelle sui fili di rame smaltati all'acetale di vinile riportate a fine volume.

Il filo Poly-Thermaleze 200, grazie alle sue migliori caratteristiche meccaniche, può essere utilizzato senza particolari cure e con elevate velocità di produzione; in definitiva rappresenta un sensibile miglioramento rispetto al tipo prodotto fino al 1967. Il suo impiego può consentire, se necessario, un certo aumento della potenza dei motori da riavvolgere.

L'impregnazione degli avvolgimenti col Poly-Thermaleze può essere fatta con una vastissima gamma di vernici di impregnazione.

(*) *Colpo di calore.* — La prova si esegue su spezzoni di filo: i campioni vengono prima allungati (del 20% per diametri fino a 0,70 mm, del 15% da 0,71 a 1,25 mm e del 10% da 1,26 a 2,00 mm) e quindi vengono avvolti a spirale su un mandrino di diametro eguale a tre volte il diametro del conduttore. Le spirali, così preparate, vengono poste in un forno a 175° C per 10', dopo di che, esaminate ad occhio nudo, non devono presentare rotture o screpolature nella pellicola di smalto.

È da tenere presente che il filo Poly-Thermaleze non è saldabile per immersione in lega saldante fusa di stagno-piombo (*), mentre può essere saldato con sicurezza mediante saldatura autogena per i diametri superiori a 0,35 mm ed a mezzo brasatura, con apporto di lega tipo *Sil-fos*, per tutti i diametri, anche i più sottili.

Conduttori isolati in elettrovetro

I fili di vetro, composti da numerose bave di diametro piccolissimo (2÷5 micron), permettono di eseguire rivestimenti di fili e piattine con la stessa facilità con cui si eseguono rivestimenti con tessili. L'isolamento si compone di una o più spiralature oppure di una calza di filato di vetro impregnati con appropriata vernice. Il tipo di queste vernici definisce la classe d'isolamento: normalmente i fili isolati in elettrovetro sono impregnati con vernice a base di resina poliestere per classe *B* ed *F* oppure con vernice siliconica per classe *H*.

Le ricoperture in vetro possono essere applicate anche su fili previamente smaltati in acetale di vinile ed impregnati successivamente con vernice organica.

La Pirelli chiama i fili isolati in elettrovetro con la denominazione di *fili isolati con smalto elettrovetro* e la SAFI con quella di *fili o piattine silix*.

I bispessori dell'isolante con 1 e 2 spirali variano rispettivamente da un minimo di 0,08 e 0,14 mm ad un massimo di 0,16 e 0,27 mm (dal diametro di filo di 0,30 mm a quello di 5 mm).

Si tenga presente che l'impiego di fili isolati con spirali di elettrovetro al silicone esige, ad avvolgimento ultimato, l'uso di vernici impregnanti pure al silicone (**).

Le fibre di vetro, oltre alla grande resistenza al calore, possiedono un buon potere di dispersione termica; pertanto questo tipo di isolamento consente di ridurre sensibilmente il dimensionamento delle macchine e quindi di realizzare una apprezzabile economia.

In genere il filato di vetro è assai sensibile all'abrasione. Nelle piattine silix si nota inoltre un limitato incollaggio fra le spiralature di vetro e limitata aderenza al conduttore.

(*) La saldatura a stagno può essere eseguita dopo asportazione dello smalto con le apposite macchinette spellafili oppure con adatto decappante.

(**) Naturalmente la lubrificazione dei cuscinetti viene fatta con grassi al silicone.

Per la costruzione di avvolgimenti termicamente sollecitati si è largamente esteso, specialmente in USA, l'impiego delle *piattine daglas*; la diffusione è dovuta alle eccellenti caratteristiche del daglas, che elimina le insufficienze qualitative delle spiralature di vetro verniciate.

Il daglas è un isolamento costituito da fibre di vetro cementate con poliestere (*).

La SAFI produce vari tipi di piattine con isolamento daglas e precisamente: piattine isolate con daglas; piattine daglas verniciate (**); piattine Poly-Thermaleze con daglas; piattine Poly-Thermaleze con daglas verniciato.

Le piattine daglas possono essere impiegate per avvolgimenti in classe *B* ed *F*.

(*) Il conduttore viene rivestito con una o due spiralature di un filato misto di fibre di vetro e di fibre di poliestere e riscaldato fino a provocare la fusione del poliestere, il quale incolla intimamente le fibre di vetro fra loro e con il conduttore.

(**) Nel « daglas verniciato » si applica una verniciatura supplementare.

CAPITOLO SECONDO

PACCO LAMIERE

Generalità

È noto che in un circuito magnetico soggetto a variazioni di flusso si producono delle perdite nel ferro e precisamente perdite per isteresi e perdite per correnti parassite. Per ridurre le perdite s'impiegano in genere *lamiere di ferro al silicio*, isolate le une dalle altre e disposte nel senso della direzione del flusso. A struttura lamellare si costruiscono quindi gli indotti delle dinamo e degli alternatori, i rotori e gli statori delle macchine asincrone.

È noto altresì che commercialmente le lamiere magnetiche sono caratterizzate dalla *cifra di perdita* e dallo spessore. Per cifra di perdita s'intende il valore della potenza in watt perduta in ogni kg di lamiera sottoposta a magnetizzazione ciclica simmetrica con induzione variabile sinusoidalmente con frequenza di 50 p/s ed ampiezza di 1 Wb/m^2.

Per la costruzione del pacco lamiere delle macchine elettriche rotanti s'impiegano normalmente lamierini magnetici (*) dello spessore di 0,5 mm, con cifra di perdita da $3,6 \div 2$ watt/kg, ma per le macchine sincrone si usano altresì lamiere dello spessore di 0,35 mm, con cifra di perdita anche fino a 1,3 watt/kg.

(*) Per *lamierini magnetici* s'intendono, secondo le norme CEI, quei materiali laminati i quali vengono adoperati a formare, in tutto o in parte, un circuito magnetico soggetto a variazioni di flusso.

Le lamiere magnetiche normali possono essere *acidulate* e *non acidulate*. Queste ultime sono normalmente rivestite di una pellicola di ossido che si produce durante l'operazione di ricottura e possono essere usate senza altro isolamento; nelle lamiere acidulate la pellicola di ossido viene eliminata a mezzo di un trattamento con appropriata soluzione acida.

I lamierini ordinari unificati dall'*Unel* vengono distinti in tre *classi*: *D*, *A*, *T*. La classe *T* è la più pregiata; sono di classe *T* i lamierini impiegati nella costruzione dei trasformatori. Con la sigla *ACR* si indicano i lamierini acidulati e ricotti, con la sigla *ARA* gli acidulati ricotti e poi ancora acidulati. I lamierini non acidulati sono contraddistinti dalla sigla *NAC*.

Il pacco lamiere è essenzialmente chiamato a condurre il flusso magnetico, ma gli si assegnano talora altri compiti, quale quello di trasmettere all'albero la coppia torcente che si sviluppa per le azioni elettromagnetiche fra indotto e induttore, fra statore e rotore.

In genere si tratta di confezionare dei pacchetti di lamierini e di riunirli poi tra loro, interponendo dei distanziatori, sì da ottenere l'elemento di macchina.

Si chiama *coefficiente di stipamento* il rapporto tra il volume del ferro e il volume apparente del pacco lamiere (ferro + spessore isolante + aria). Esso oscilla fra 0,86 e 0,92 per lamiere isolate con carta e fra 0,90 e 0,96 per lamiere isolate con vernici; naturalmente i valori più alti del coefficiente di stipamento si ottengono impiegando lamiere da 0,5 mm isolate con vernici, dette comunemente lamiere smaltate. Con i piccoli spessori aumenta il numero dei fogli e quindi il costo; aumentano inoltre le difficoltà di taglio, punzonatura e montaggio, senza contare che, con fogli sottili, è impossibile ottenere tagli netti e decisi.

Circa la scelta del lamierino più adatto per costruire una determinata macchina ricordiamo che il lamierino a bassa cifra di perdita, ossia ad alta percentuale di silicio, è inadatto a formare parti molto frastagliate dell'ossatura magnetica, data la sua fragilità e la tendenza del silicio ad abbassare la resistenza meccanica del ferro, sicchè è da sconsigliarne l'impiego per elementi costruttivi sottoposti a forze centrifughe rilevanti.

I lamierini con cifra di perdita di 3,6 e 3 watt/kg hanno un'elevata tenacità e sono pertanto particolarmente indicati per nuclei di macchine esposte a vibrazioni ed urti meccanici (per esempio, motori di trazione); per i motori asincroni vengono altresì adottati i lamierini con cifra di perdita da 2,6 a 2 watt/kg. Oggi sono impiegati per la costruzione di macchine rotanti con basse perdite nel ferro anche lamierini extralegati ad alta permeabilità (cifra di perdita da 1,7 a 1,3 watt/kg), fabbricati però con procedimenti speciali, in modo da conferire al lamierino un grado di tenacità tale da facilitare la tranciatura e la messa in opera dei pacchi lamellari.

Al riguardo è da tenere presente che fino a poco tempo fa i lamierini magnetici venivano laminati a caldo e ricotti di norma in cassone e forniti in fogli, mentre la tecnica moderna è decisamente orientata verso la fabbricazione dei *nastri magnetici laminati a freddo*. I nastri magnetici possono essere forniti nudi oppure « isolati » mediante applicazione di rivestimenti speciali di appropriate caratteristiche.

Caratteristiche dei lamierini magnetici laminati a freddo per macchine elettriche rotanti - Terni-Armco

TABELLA XI

Tipo di lamierino			DI-MAX B					DI-MAX A				
Sigle (*)		3650	3050	2650	2350	2050	1750	1550	1350	1335		
Perdita massima a 50 p/s in W/kg	B = 1 Wb/m²	3,60	3,00	2,60	2,30	2,00	1,70	1,50	1,30	1,30		
	B = 1,5 Wb/m²	8,20	6,80	6,00	5,30	4,70	4,00	3,50	3,10	3,10		
Spessore nominale mm		0,50					0,50			0,35		
Peso specifico kg/dm³		7,750					7,650					
Fattore di laminazione %		97					97			95		
Resistività ρ - μΩ·cm		—	30	32	36	42	46	50	50	50		
Induzione magnetica minima in Wb/m² per campi H in Asp/cm	Asp/cm = 5	1,12	1,12	1,16	1,16	1,16	1,20	1,20	1,20	1,20		
	Asp/cm = 10	1,27	1,27	1,31	1,31	1,31	1,35	1,35	1,35	1,35		
	Asp/cm = 25	1,56	1,56	1,55	154	1,53	1,52	1,52	1,51	1,51		
	Asp/cm = 50	1,66	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62	1,62	1,61	1,61		
	Asp/cm = 100	1,77	1,77	1,76	1,74	1,74	1,73	1,73	1,72	1,72		
	Asp/cm = 300	1,98	1,96	1,96	1,94	1,94	1,92	1,92	1,92	1,92		

(*) Le prime due cifre, rappresentano la cifra di perdita (in W/kg) moltiplicata per dieci, le altre cifre lo spessore del lamierino in centesimi di millimetro.
I lamierini con cifra di perdita 3,60, 3,00, 2,60 e 2,30 W/kg vengono prodotti anche dello spessore di 0,65 mm.

La Terni ha contraddistinto questo prodotto col nome di DI-MAX e gli isolamenti sono denominati « carlite » e « isolamento n. 4 » (*); la larghezza dei nastri può arrivare fino ad un massimo di 650 mm. Vengono prodotti attualmente due tipi di lamiere DI-MAX: il tipo *A* (Alto silicio) ed il tipo *B* (Basso silicio); entrambi sono lamierini ricotti a fondo, ma il tipo *A* è ad alto tenore di silicio ed è particolarmente adatto per medie e grandi macchine rotanti, mentre il tipo *B* è a basso e medio tenore di silicio ed è particolarmente adatto per piccole e medie macchine rotanti. Nella tabella XI sono indicate le principali caratteristiche dei lamierini DI-MAX laminati a freddo (**).

I vantaggi essenziali dei nastri laminati a freddo rispetto ai lamierini in fogli ricotti sono: maggiore durata degli stampi; più elevato fattore di laminazione (***) e migliore planarietà; minore percentuale di sfridi; possibilità di tranciatura automatica.

Isolamento delle lamiere

È noto che le lamiere, destinate a costituire l'ossatura magnetica delle macchine elettriche, possono essere isolate con carta oppure con adatte vernici dielettriche. L'applicazione della carta (****) va fatta sul foglio intero di lamiera, mentre la vernice può essere applicata sia sul foglio intero sia sul lamierino già tagliato e punzonato. L'uso delle vernici per lamierini magnetici consente di eliminare o, almeno, di ridurre le perdite addizionali dovute a correnti liberamente circolanti attraverso parti nude dei lamierini costituenti le ossature magnetiche (la carta applicata sulle lamiere viene sovente strappata lungo le zone lavorate durante le operazioni di taglio e di punzonatura).

Nel caso in cui i lamierini debbano risultare assai frastagliati conviene, anche adoperando vernici, isolare i fogli prima di tagliarli

(*) I rivestimenti dei nastri laminati a freddo conservano il loro potere isolante anche dopo il trattamento di ricottura dei tranciati, necessario per ripristinare le proprietà magnetiche originarie, alterate dalle operazioni di tranciatura, cesoiatura, ecc.

(**) Dall'inizio del 1968 la « Terni » non produce più lamierini laminati a caldo. A richiesta il lamierino DI-MAX viene fornito anche sotto forma di fogli.

(***) *Fattore di laminazione*: è un indice della regolarità di una superficie valutato come rapporto tra il volume netto del ferro di un pacco di lamierini ed il volume lordo occupato dal pacco stesso sotto una data pressione (3,5 kg/cm²). Naturalmente il lamierino dev'essere nudo, ossia senza isolamento (Norme CEI. 105-1).

(****) S'impiega di norma carta velina speciale al solfito da 0,03÷0,05 mm. La carta si applica sul foglio di lamiera a mezzo di una soluzione acquosa di silicato di potassio o di sodio.

per assicurare una maggiore durata a stampi e punzoni, perchè lo smalto, come la carta, agisce da lubrificante di questi utensili.

In favore dei lamierini verniciati sta ancora il fatto che la vernice, assai più che la carta, resiste alle alte temperature. Il coefficiente di conducibilità termica è maggiore di quello relativo ai lamierini in carta ed è quindi superflua una suddivisione eccessivamente minuta dell'ossatura magnetica in pacchetti elementari a scopo di raffreddamento.

La pellicola di vernice resiste meglio della carta alle azioni meccaniche e quindi il numero dei fogli da scartare, per deterioramento dell'isolante, risulta minore.

È ormai accertato che i lamierini verniciati hanno una resistenza elettrica non inferiore a quella offerta dai lamierini isolati con carta della migliore qualità. L'isolamento con vernice migliora inoltre sensibilmente il fattore di stipamento.

Per tutte queste ragioni l'adozione delle lamiere verniciate, già da tempo di uso generale in USA, si è diffusa anche in Europa, ma le lamiere isolate con carta non sono cadute completamente in disuso.

Per quanto riguarda i motori asincroni di modesta potenza, di cui ci occuperemo prevalentemente in seguito, i singoli lamierini con i quali vengono formati i pacchi statorici non sono in genere isolati, però prima dell'impaccatura vengono sottoposti ad un processo di ricottura ed ossidazione che produce un isolamento sufficiente a limitare le perdite per correnti parassite. Il trattamento va eseguito in forno con atmosfera appropriata.

Comunque non sarà superfluo qualche cenno su alcuni tipi di vernici per lamierini.

Vernici per lamierini magnetici. — *Vernice 2194 gialla essiccante al forno* (Isola) — È una vernice sintetica ad elevato potere isolante, dotata di essiccamento rapido, buona aderenza ed elasticità e resiste all'olio caldo, per cui è adatta anche per la verniciatura dei lamierini per trasformatori oltre che per macchine rotanti.

Essicca alla temperatura di 200°-220° C in 90 secondi circa con uno spessore di pellicola di 0,01 mm.

Vernice isolante 246 (Inves) — È un prodotto sintetico essiccante al forno adatto per la verniciatura dei lamierini magnetici di macchine rotanti e trasformatori. Viene fornita in vari tipi — a concentrazione e viscosità variabili — a seconda del sistema di applicazione.

I tempi di essiccamento sono funzione della temperatura e precisamente per spessori della pellicola di 0,03 mm: a 250° C da 5'÷5' 30'', a 300° C da 2'÷2' 40'' ed a 400° C da 1'÷1' 20''.

Vernice isolante 297/1 — È un prodotto essiccante all'aria di facile applicazione e di essiccamento rapido. L'applicazione viene fatta di solito a rullo; in caso di applicazione a spruzzo o ad immersione è consigliabile diluire la vernice con diluente 207/S.

Lamiere circolari in un sol pezzo ed a segmenti

È noto che le operazioni di cesoiatura e punzonatura provocano un peggioramento delle caratteristiche magnetiche dei lamierini, per cui è necessario usare in queste operazioni utensili ben affilati e ciò anche al fine di evitare che si formino strappi, ricci o sbavature (facili a manifestarsi specialmente nelle lamiere extralegate che sono molto dure), che determinerebbero poi dei cortocircuiti fra le lamiere. Dopo la punzonatura, praticata a mezzo di una pressa automatica, molte officine usano sottoporre i lamierini all'azione della sbavatrice, che provvede a eliminare le sbavature. Si tenga però presente che quest'ultima operazione produce, in modo più accentuato della cesoiatura e punzonatura, un incrudimento del materiale che influisce sulle perdite e quindi sul rendimento delle macchine finite. Questa operazione non è necessaria se i lamierini risultano perfettamente tranciati, in caso diverso essa dovrebbe essere seguita dall'apposito trattamento termico di rigenerazione (*) che ripristina le caratteristiche magnetiche originali alterate dalle lavorazioni meccaniche. Questa operazione però non viene mai eseguita nelle piccole officine, le quali, naturalmente, si occupano di macchine di modesta potenza.

Con lamierini in carta, nell'eseguire il taglio o la punzonatura, si disporrà sempre la carta isolante dalla parte superiore, ossia di fronte all'utensile.

Nel caso in cui i pacchetti servano a costituire la massa magnetica di indotti, induttori, statori e rotori di piccolo diametro, i dischi si fanno di un sol pezzo e le cave, i condotti di ventilazione, la sede per la chiavetta si ricavano mediante punzonatura. Quando il diametro supera i 1000 mm non è possibile ottenere i dischi in un unico pezzo, perchè le lamiere in fogli esistenti in commercio hanno normalmente dimensioni di 1 m × 2 m e pertanto bisogna confezionare il pacco lamiere con segmenti circolari ottenuti alla trancia unitamente alle cave.

Nelle lamiere in più pezzi i singoli settori sono provvisti di appendici fornite di fori per fissaggio a mezzo di bulloni, oppure di appendici di fissaggio a coda di rondine.

Le lamiere appoggiano su una superficie continua oppure su delle razze o nervature.

(*) V. « *Costruzione e calcolo dei trasformatori* » della stessa Editrice.

Per ottenere una permeabilità magnetica più uniforme ed ancora per migliorare le qualità meccaniche di resistenza del pacco lamiere i segmenti dei vari strati vanno disposti con le giunture sfalsate (*).

I pacchetti singoli, aventi da 50 ÷ 80 mm di spessore, hanno fogli terminali di acciaio, privi di scaglie, dello spessore di circa 1 mm. Su tali fogli si saldano elettricamente i *distanziatori*, questi però si possono applicare direttamente sui lamierini terminali. I pacchettini elementari si riuniscono tra loro, per formare il pacco lamiere delle dimensioni volute, e si serrano tra due placche frontali, tenute in posto mediante *chiavette* infilate dentro apposite scanalature.

Le placche frontali di compressione si estendono quasi fino alla base dei denti. Talvolta esse terminano a pettine nel bordo esterno, in modo da esercitare una pressione sui denti; ciò per evitare che i denti vibrino oppure si ripieghino.

Per macchine di grandi dimensioni il serraggio del pacco lamiere si fa mediante bulloni passanti di compressione in ferro, i quali vanno isolati per evitare che bulloni e piastre costituiscano una gabbia, nella quale verrebbe a circolare una intensa corrente indotta.

Tipi di cave

Le *cave* o *canali* che debbono contenere i conduttori possono assumere varie forme intese fra l'altro a smaltire meglio il calore; si distinguono in *cave chiuse* (fig. 16), *cave semichiuse* o *semiaperte* (fig. 17) e *cave aperte* (fig. 18).

Nelle macchine a corrente continua le cave sono normalmente aperte, di forma rettangolare, ed i denti sono trapezoidali; però questo tipo di cava non può essere adottato nelle macchine con indotto di piccolo diametro perchè lo spessore del dente alla base risulterebbe assai piccolo e ciò condurrebbe ad una ridottissima resistenza meccanica e ad una eccessiva saturazione alla base del dente; pertanto per i piccoli indotti è il dente di larghezza costante, mentre la cava è del tipo semichiuso (fig. 19).

(*) I pacchettini elementari possono essere a doppia, tripla, quadrupla sovrapposizione. Nel caso di doppia sovrapposizione i segmenti di due strati adiacenti sono sfalsati di metà lunghezza, nel caso di tripla sovrapposizione di 1/3 di lunghezza e nell'ultimo caso di 1/4.

Per assicurare un buon raffreddamento è necessario che le cave non siano troppo profonde; il rapporto fra altezza e larghezza cava non dovrebbe risultare superiore a 4, ma è preferibile tenersi al disotto di tale valore (*).

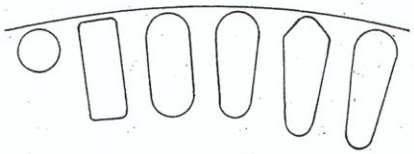


Fig. 16
Cave chiuse

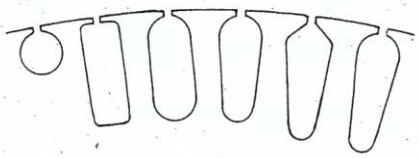


Fig. 17
Cave semichiuse

Negli indotti a cave rettangolari aperte si ha il grande vantaggio di poter collocare senz'altro nelle cave le matasse preformate su apposite sagome, mentre negli indotti a cave semiaperte l'avvolgimento può eseguirsi collocando i fili ad uno ad uno attraverso il taglio (avvolgimento a gomitolo), ossia col sistema diretto, ma può farsi anche con il sistema misto.

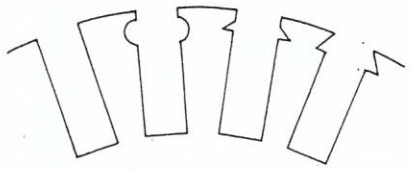


Fig. 18
Cave aperte

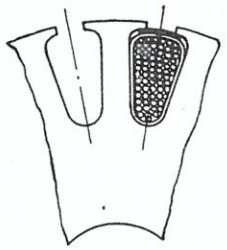


Fig. 19

Le cave aperte danno un'autoinduzione d'indotto minore che gli altri tipi di cave, ma generano intense correnti parassite nelle espansioni polari; per ridurle è necessario laminare le espansioni polari in direzione normale alla dentatura dell'indotto. Con cave aperte del primo tipo (v. fig. 18), ad impedire che la forza centrifuga riesca a staccare i conduttori dalle sedi dove sono stati allogati, si adottano opportune legature o bandaggi. Il filo va avvolto sull'indotto in appositi canaletti preventivamente isolati. Con gli altri tipi

(*) V. « *Dimensionamento del pacco lamiere dei motori asincroni* ».

di cave aperte si evita lo spostamento delle matasse, dovuto alla forza centrifuga, chiudendo le cave mediante *zeppe di sicurezza* di *legno* o di *fibra vulcanizzata* (*).

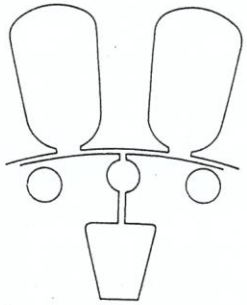


Fig. 20

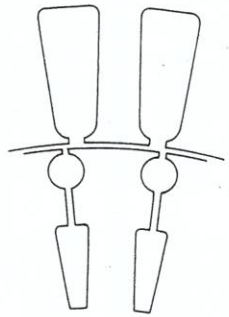


Fig. 21

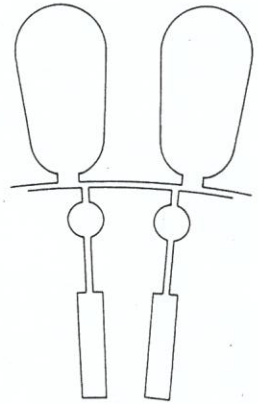


Fig. 22

Nei motori asincroni le cave sono quasi sempre del tipo semichiuso, sia per gli statori che per i rotori, e solo per i rotori di macchine piccole si adottano cave completamente chiuse.

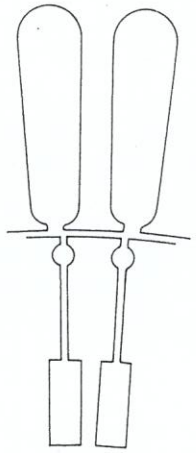


Fig. 23

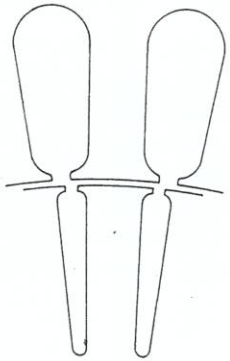


Fig. 24

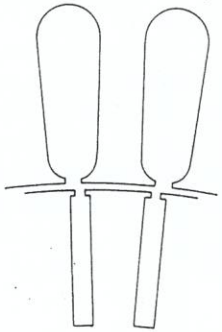


Fig. 25

(*) v. « *Zeppe di chiusura delle cave* » e « *Legature o bandaggi* ».

Le cave degli statori possono essere di forma rettangolare o di forma trapezoidale, con i fianchi raccordati al fondo cava (*) (raggio da 2 ÷ 3,5 mm nei piccoli motori); con cave di forma trapezoidale lo spessore del dente risulta pressochè costante e di conseguenza anche l'induzione nei denti risulta quasi costante, con i vantaggi che verranno precisati in seguito.

Le cave dei rotori possono assumere forme notevolmente diverse da quelle dello statore, specialmente le cave dei motori *a doppia gabbia* e quelle dei rotori *a barra alte* o *a cave profonde*. Al fine di dare una idea più concreta, si è ritenuto utile riportare alcuni casi tipici — in scala 1:1 — di cave di rotore e del relativo statore (figg. 20 ÷ 25).

Se i rotori delle macchine elettriche debbono essere torniti o rettificati conviene punzonare le cave senza il taglietto, per evitare che l'utensile ne rovini i bordi sempre molto delicati (**). L'apertura delle cave può essere eseguita col seghetto o con la fresa.

Per mantenere bassa la reattanza di dispersione il numero delle cave per polo e fase dei motori asincroni non si fa minore di 2 e raramente superiore a 5; di solito si mantiene fra 2 e 4.

Preparazione dei lamierini per motori asincroni

Per produzioni limitate di lamierini tranciati di motori asincroni di piccola potenza si potrebbe procedere nel modo seguente:

1) si applica sul foglio di lamiera la carta (spessore ~ 0,03 mm) oppure la vernice. L'applicazione dell'isolante va fatta a mezzo di un dispositivo a rulli che, dopo aver disteso la colla sulla lamiera, vi fa aderire la carta e poi provvede ad asciugare la colla. Nelle piccole officine la colla si distende sulla lamiera con una pennellessa e l'applicazione della carta sulla lamiera va fatta a mano (***). La verniciatura dei lamierini si effettua di solito a rullo, ma può farsi anche a spruzzo oppure per immersione;

(*) Nei lamierini tranciati del commercio il fondo cava è frequentemente di forma semicircolare.

(**) Per tornire il pacco lamiere è preferibile comunque riempire le cave con legno duro per non rovinare le lamiere.

(***) La colla può prepararsi con amido in polvere ed acqua, lasciando cuocere lentamente fino ad ottenere una pasta semifluida, piuttosto densa. È molto usata come collante — già s'è detto — una *soluzione di silicato di potassio o di sodio.*

2) a mezzo di una *taglierina* o *cesoia rettilinea a ghigliottina* si tagliano delle strisce di larghezza leggermente maggiore del diametro del disco che si vuole ottenere (*);

3) a mezzo di una pressa, su cui va montato apposito stampo, si ricavano i dischi con il relativo foro per l'albero e, se necessario, la sede della chiavetta;

4) a mezzo di una *pressa automatica*, detta normalmente *cavatrice*, provvista di punzone o stampo di forma corrispondente alla cava desiderata, si pratica ad ogni discesa una cava dello statore, mentre un *meccanismo divisore* fa girare il disco dell'angolo previsto dopo ogni intaglio. Il moto di salita e discesa del punzone è ottenuto a mezzo di comando ad eccentrico;

5) a mezzo della stessa cavatrice si punzonano le cave del rotore;

6) a mezzo della pressa si separa il disco rotorico dalla corona circolare che costituisce lo statore.

Le ditte specializzate nella tranciatura di lamierini sono in grado di ottenere il tranciato con i seguenti sistemi: mediante punzonatura (dal diametro esterno di 110 mm ad un massimo di 800 mm); mediante tranciatura con stampi a blocco (dal diametro esterno minimo di 70 mm ad un massimo di 300 mm); mediante tranciatura con stampi a passo in acciaio (per buone produzioni dal diametro esterno minimo di 30 mm ad un massimo di 240 mm); mediante tranciatura con stampi in widia (per ottime produzioni (**) dal diametro esterno minimo di 30 mm ad un massimo di 240 mm).

La fig. 26 mostra una corona circolare per statore ed un disco per rotore.

I lamierini tranciati del commercio per motori asincroni hanno di solito una cifra di perdita di 3,0 o 3,6 W/kg, ma qualche ditta impiega per la serie MEC nastri magnetici con cifra di perdita di 2,3 W/kg e talvolta anche di 1,7 W/kg; questi ultimi sono molto usati nei motori per vibratori, motori per levigatrici da legno, ecc., che funzionano a 9000 giri/min (f = 150 p/s).

(*) Naturalmente questa operazione non è necessaria con i nastri magnetici.

(**) Per ottima produzione deve intendersi quella con « ottimo grado di finitura », che si realizza appunto con stampo in metallo duro.

Formazione dei pacchi

Normalmente si suole contrassegnare con un piccolo incavo o con altro sistema di riferimento la prima cava ottenuta durante la punzonatura, perchè si produce quasi sempre una piccola irregolarità fra la prima e l'ultima cava ottenute con la cavatrice. In tal guisa

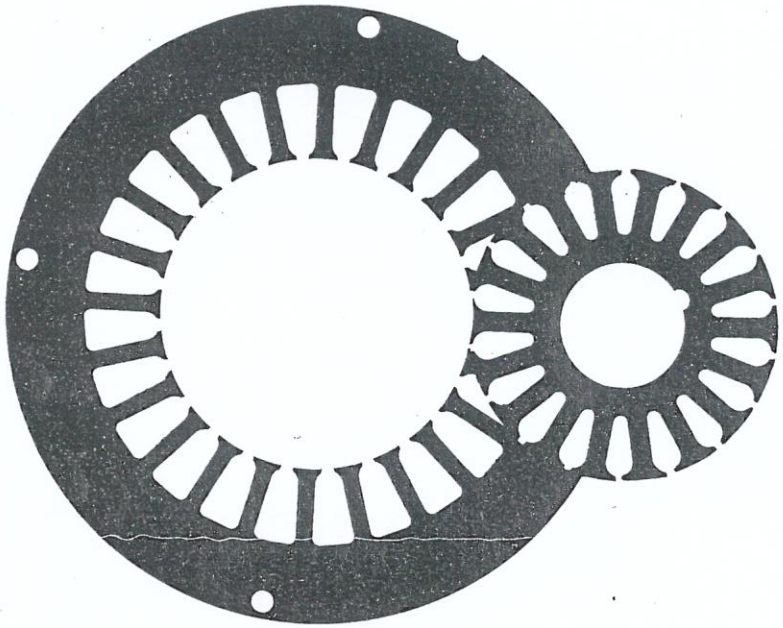


Fig. 26
Lamierini per motori trifasi serie MEC (Volonterio)

è possibile eseguire l'impilatura dei dischi in modo da far coincidere la prima cava tranciata di ogni disco con quella corrispondente degli altri lamierini costituenti il pacchettino.

Nelle macchine di piccola potenza non si applicano di solito distanziatori per spessore del pacco lamiere (lunghezza assiale) inferiore a 150 mm; quando lo spessore supera detto limite, il pacco lamiere viene costituito, come si è detto, con pacchettini elementari limitati da lamiere terminali di maggiore spessore. Talvolta, ripetiamo, i distanziatori sono fissati direttamente sui lamierini.

Eseguita l'impilatura dei dischi, occorre serrare convenientemente il pacco lamiere al fine di ottenere un insieme assai compatto.

Per le piccole macchine l'impilatura dei lamierini ed il serraggio del pacco statorico si eseguono di norma su spina di diametro eguale a quello interno dei lamierini e con una guida di riscontro della cava contrassegnata. La tav. I mostra il complessivo di un dispositivo, assai semplice e di facile costruzione, per l'impilatura, il serraggio e la eventuale tornitura del pacco statorico; le tavole II, III e IV mostrano i relativi particolari costruttivi.

Anche il montaggio dei lamierini del rotore si esegue su spina; la tav. V mostra il complessivo di un dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco rotorico e per la brasatura delle sbarre agli anelli; le tavole VI e VII mostrano i relativi particolari costruttivi.

I disegni delle tavole da I ÷ VII si riferiscono ad un motore asincrono della potenza di 0,736 kW.

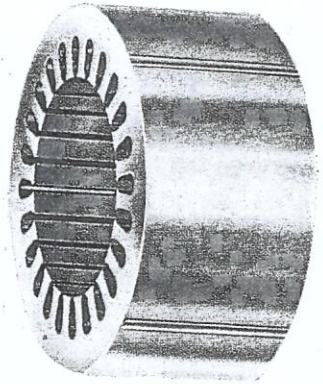
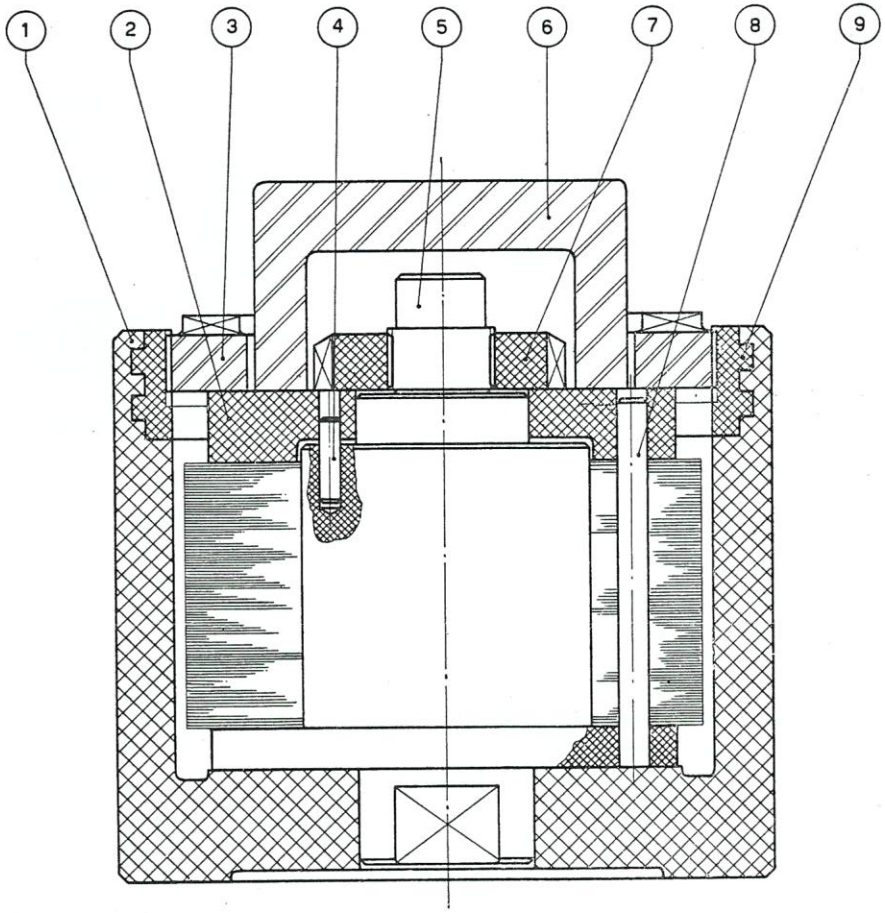


Fig. 27
Pacco lamellare saldato

Per tenere stretto e ben serrato il pacco lamiere statorico si possono adottare vari sistemi: i più semplici per le macchine piccole sono indicati chiaramente nella tav. VIII. Il sistema di fissaggio più semplice ed economico è quello mediante chiavette rettangolari, infilate in apposite scanalature delle nervature di carcassa (*); i due sistemi di fissaggio del pacco statorico mediante anello di compressione e ferri a *C* e mediante anello provvisto di orecchiette (normalmente riportate) sono i più razionali, ma dal punto di vista economico i meno convenienti; il sistema di fissaggio con anello spaccato è molto usato, specialmente nelle piccole officine, perchè semplice, economico ed abbastanza razionale; il serraggio a mezzo di sbarrette saldate elettricamente al pacco lamiere (con anelli frontali di compressione) viene ancora usato, ma con minore frequenza; la saldatura si esegue ora di preferenza direttamente sul pacco — serrato alla pressa — secondo alcune generatrici equidistanti (fig. 27), con o senza metallo di apporto. La saldatura elettrica senza metallo di apporto si fa di solito ad alta frequenza.

(*) Con il fissaggio a mezzo di chiavette occorrono almeno sei nervature di carcassa, mentre con quattro nervature è da preferire il fissaggio mediante anello di compressione.

Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico



Pos.	DENOMINAZIONE	Quantità	Materiale
1	Incastellatura	1	Ghisa
2	Piastra di serraggio	1	Acciaio
3	Ghiera di arresto	1	»
4	Spina di guida	1	»
5	Spina di centraggio	1	»
6	Cappellotto di pressaggio	1	»
7	Ghiera per spina	1	»
8	Perno di riscontro lamierini	1	»
9	Anello incorporato	1	»

Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico

(particolari)

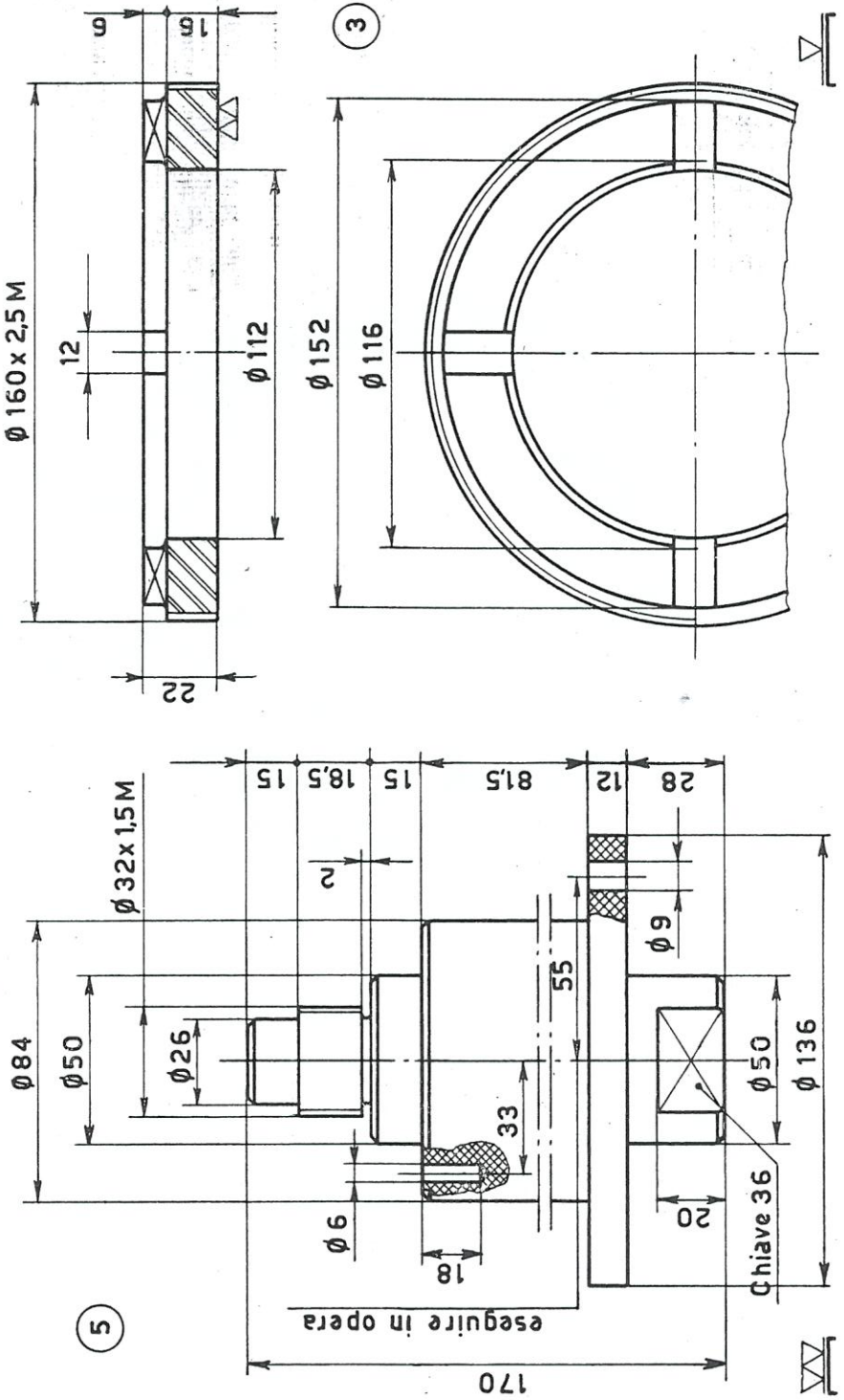


TAVOLA III

Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico

(particolari)

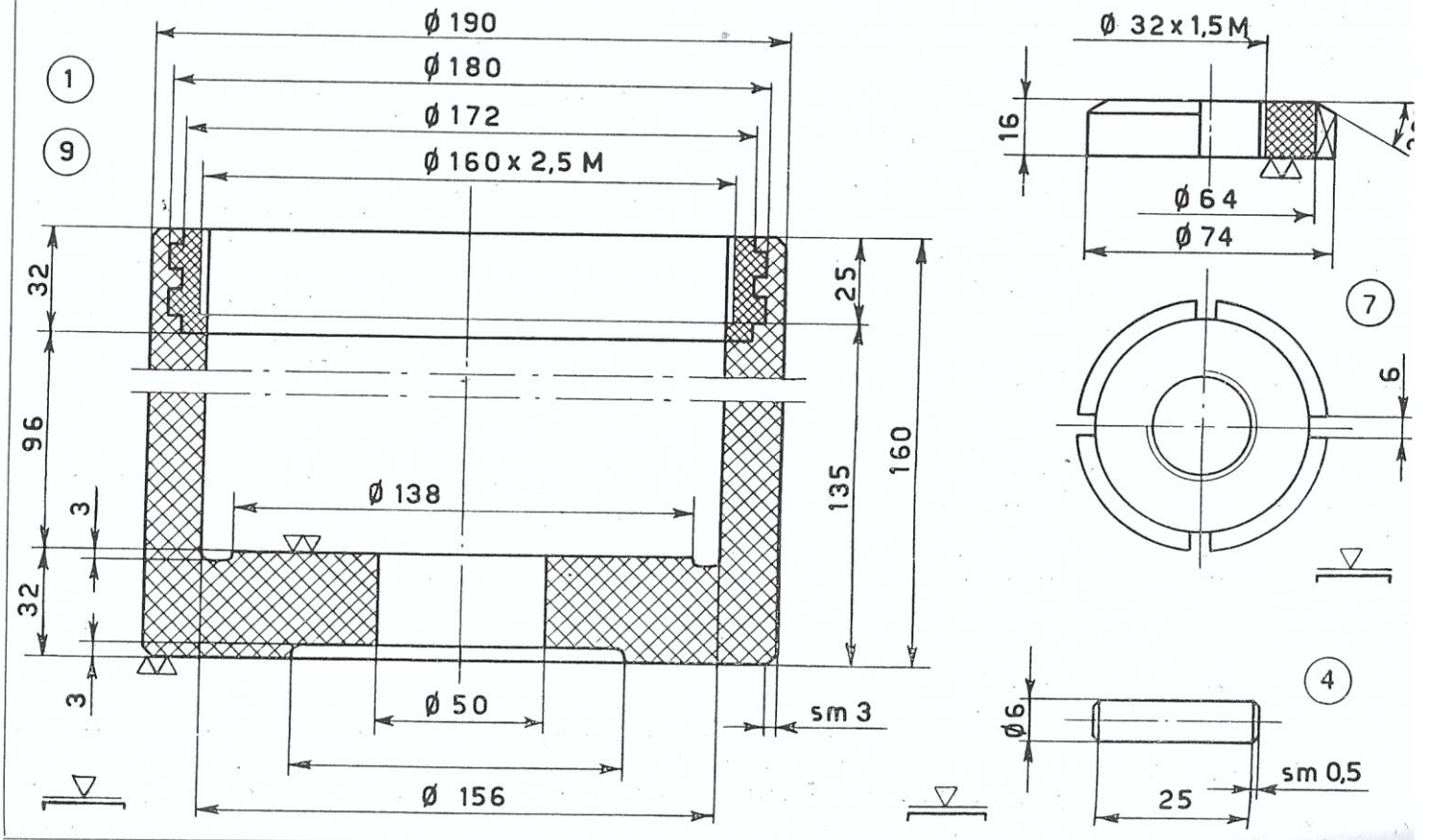


TAVOLA IV

Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco statorico

(particolari)

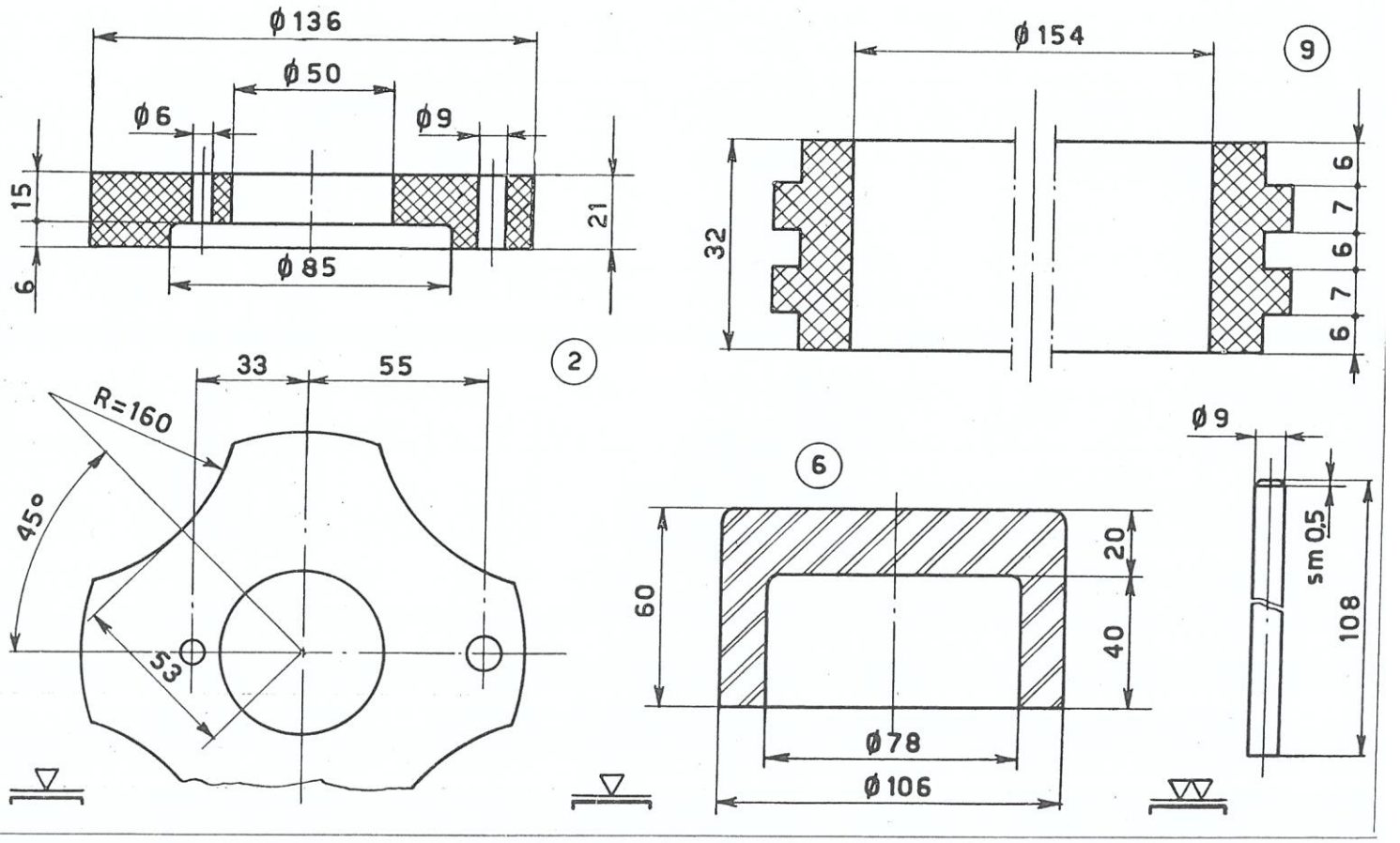
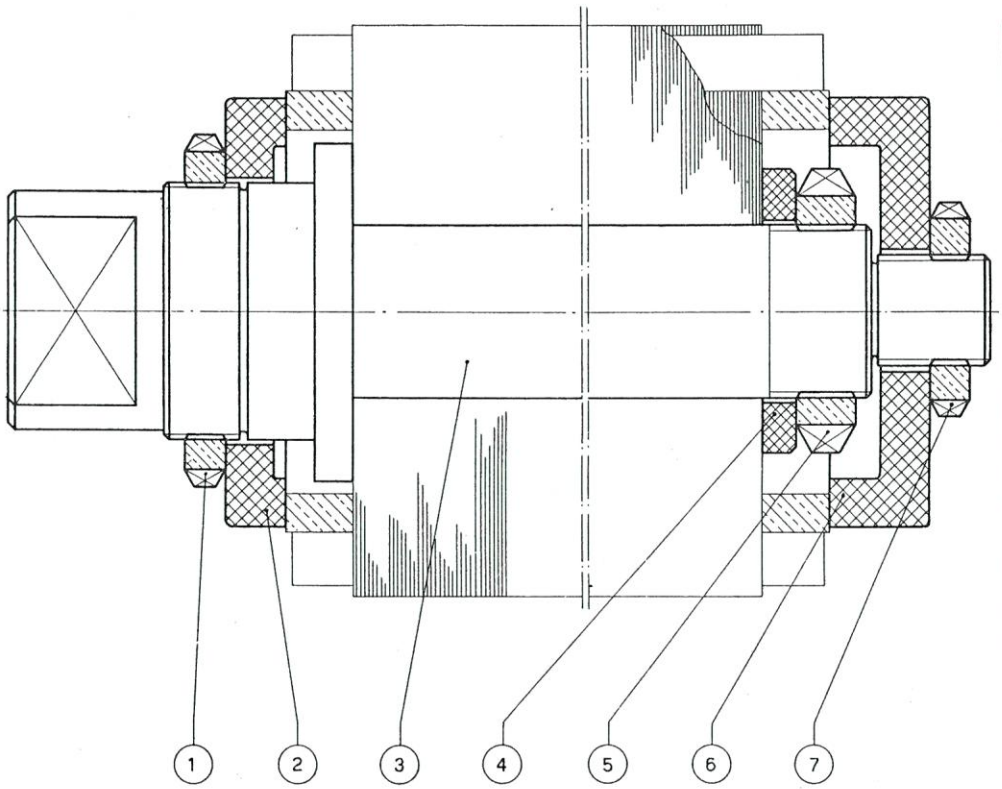


TAVOLA V

Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco rotorico e per la brasatura delle sbarre agli anelli

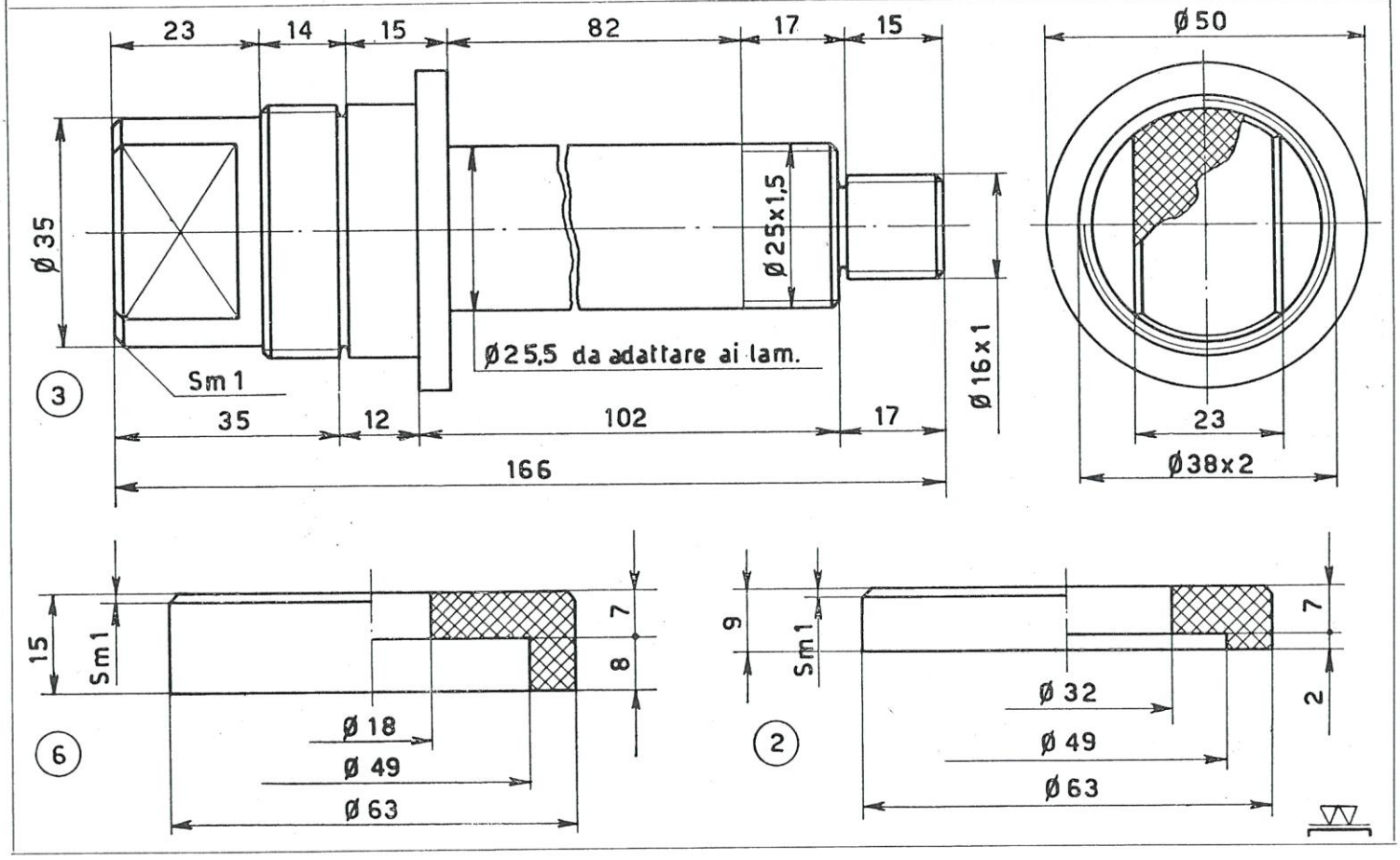


Pos.	DENOMINAZIONE	Quant.	Materiale
1	Ghiera di bloccaggio anello frontale . .	1	Bronzo
2	Piastra di bloccaggio anello frontale . .	1	Acciaio
3	Spina di centraggio .	1	Acciaio
4	Rondella	1	Acciaio
5	Ghiera di bloccaggio lamierini	1	Bronzo
6	Piastra di bloccaggio anello frontale . .	1	Acciaio
7	Ghiera pressa-piastra .	1	Bronzo

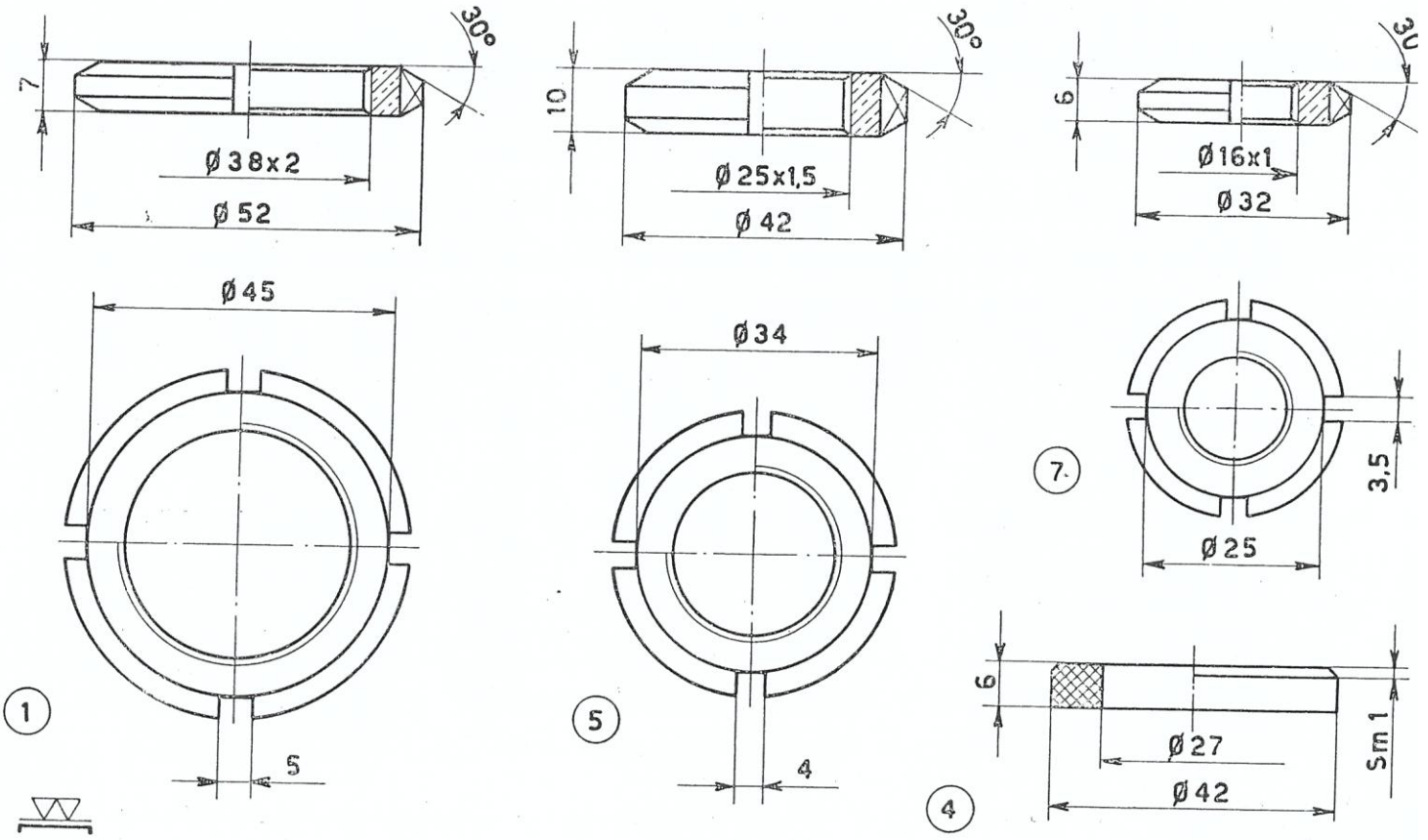
TAVOLA VI

Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco rotorico e per la brasatura delle sbarre agli anelli

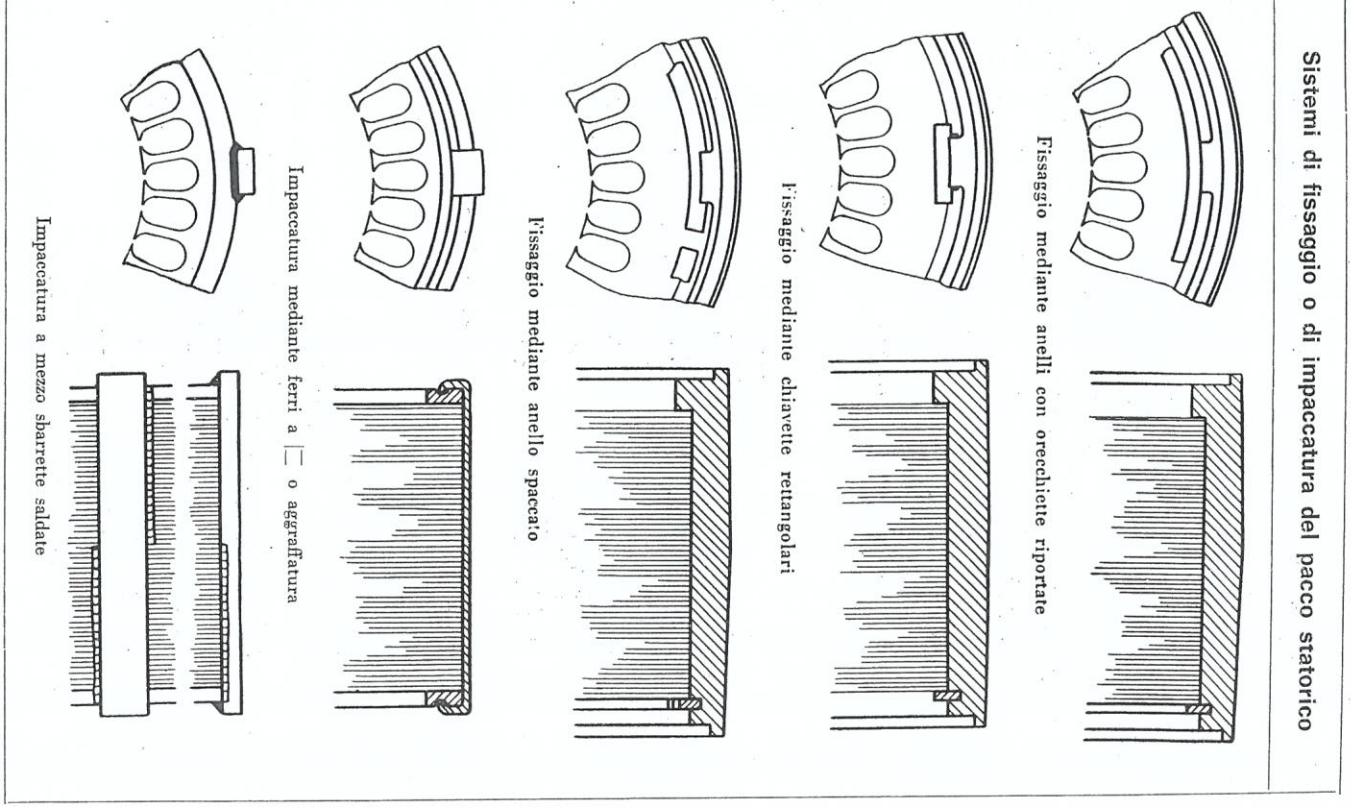
(particolari)



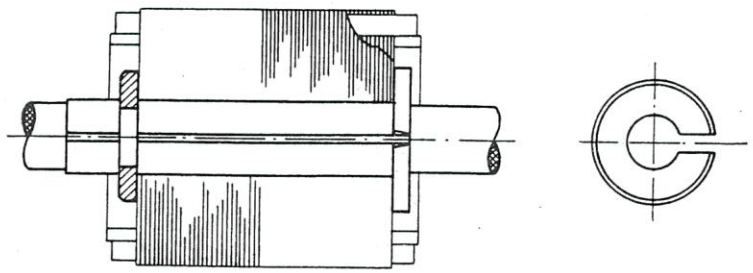
Dispositivo per l'impilatura e il serraggio del pacco rotorico e per la brasatura delle sbarre agli anelli
(particolari)



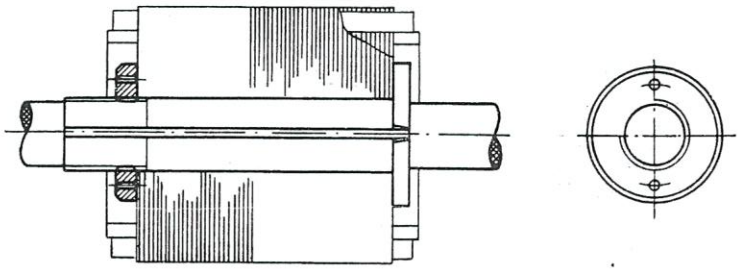
Sistemi di fissaggio o di impaccatura del pacco statorico



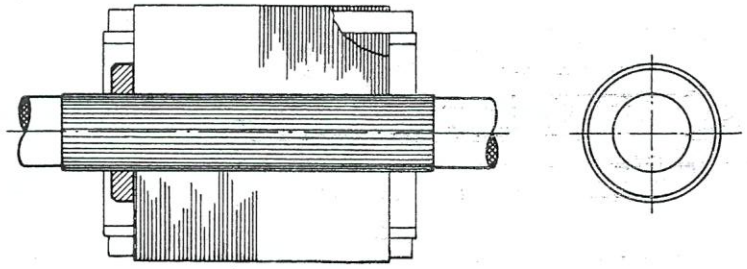
Sistemi di fissaggio del pacco rotorico all'albero



Fissaggio mediante chiavetta ed anello spaccato



Fissaggio mediante chiavetta e ghiera



Fissaggio a pressione su albero rigato

I sistemi di fissaggio o di impaccatura prima citati hanno subito, specialmente da parte delle ditte specializzate nella tranciatura, sostanziali varianti e semplificazioni, che hanno consentito di ridurre i tempi di lavorazione.

L'ottima qualità dei tranciati, l'impaccatura razionale — con spessore dei pacchi secondo le più svariate esigenze — e la riduzione del costo sono gli elementi che hanno determinato una sempre maggiore richiesta di lamierini già impaccati, il cui acquisto consente anche alle officine prive di attrezzatura specifica di realizzare motori asincroni di piccola potenza, spesso applicati poi su apparecchiature di propria produzione. La fusione delle carcasse e degli scudi supporto può essere fatta sul posto e così pure la costruzione degli alberi (*).

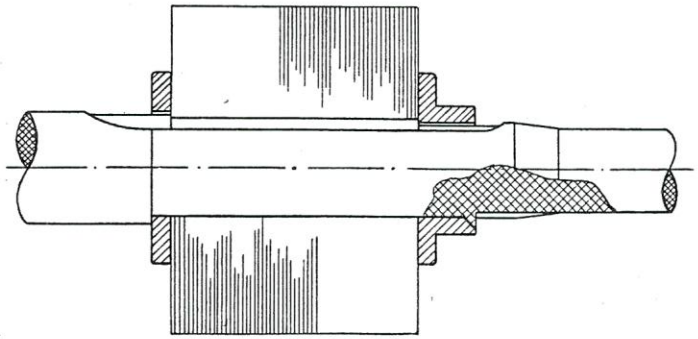


Fig. 28

Qualcuno usa addirittura effettuare nella propria officina soltanto i vari montaggi e la confezione dell'avvolgimento statorico.

Per il fissaggio del pacco indotto all'albero di macchine a corrente continua di piccola potenza la Marelli adotta il sistema illustrato nella fig. 28, mentre per i motori asincroni, sempre di modesta potenza, sono molto usati i tre sistemi indicati nella tav. IX e precisamente: il fissaggio mediante chiavetta ed anello spaccato, forzato in apposita scanalatura dell'albero, il fissaggio mediante chiavetta e ghiera di acciaio dolce ed il sistema con albero rigato, nel senso assiale, con diametro esterno leggermente maggiore del foro dei lamierini (**).

(*) Dopo il montaggio del rotore sull'albero si esegue la rifinitura del complesso.
(**) Il montaggio sull'albero va eseguito col pacco rotorico completo.

Il sistema ad albero rigato ha subito delle modifiche da parte di piccole fabbriche a carattere artigianale; il fissaggio del pacco rotorico completo viene fatto ancora con forzatura mediante pressa sul tratto interessato dell'albero, che è però leggermente conico e senza rigature, con lieve interferenza tra albero e foro. Buoni risultati pare si ottengano anche con tratto utile dell'albero liscio e di diametro costante, ma con invito conico e con interferenza di pochi centesimi di millimetro.

Qualcuno ha sostituito il montaggio del rotore sull'albero alla pressa col sistema a semplice scorrimento per mezzo di una particolare resina; per questa applicazione viene usato da alcune industrie, sempre di tipo artigianale, il prodotto « Loctite Retaining Compound » e, sebbene non esista in merito una lunga esperienza, non si è dovuto lamentare finora con questo sistema inconveniente alcuno. Naturalmente ha influito sulla adozione del prodotto anche l'economia che esso consente, ma è certo che sistemi del genere avranno in avvenire sempre più vaste applicazioni.

Nelle piccole officine si usa talvolta eseguire il montaggio dei dischi del rotore (sempre in un sol pezzo) direttamente, cioè ogni disco s'infila sull'albero, munito di chiavetta, ed infine si esegue la pressatura del pacco, che rimane serrato a mezzo dell'anello spaccato oppure a mezzo della ghiera avvitata sull'albero. Seguendo questo procedimento le sbarrette rotoriche vengono saldate agli anelli frontali con saldatura tenera, dopo il montaggio del pacco sull'albero; però è da preferire il collegamento tra sbarrette ed anelli frontali mediante *brasatura*, con *lega union*, e questa operazione deve essere eseguita prima del montaggio del pacco rotorico sull'albero (v. tavola V).

Oggi, ripetiamo, per produzioni dell'ordine delle centinaia di unità o di qualche migliaio riesce economicamente vantaggioso l'acquisto di « rotori pressofusi in alluminio », con o senza alette di ventilazione, che vengono forniti con pacco dello spessore desiderato. Molto richiesti sono, specialmente da parte delle fabbriche di macchine utensili per legno, che esportano la maggior parte della loro produzione, i pacchi sia statorici che rotorici con lamierini della serie MEC (v. tabelle sui lamierini della serie MEC al cap. XI).

Pacchi lamellari del commercio per motori asincroni

Riportiamo alcuni elementi relativi ai pacchi lamellari per motori asincroni di piccola potenza prodotti dalle più accreditate

ditte di tranciatura, con lo scopo di fornire un quadro sintetico della produzione esistente sul mercato e di offrire la possibilità di un primo orientamento per la scelta.

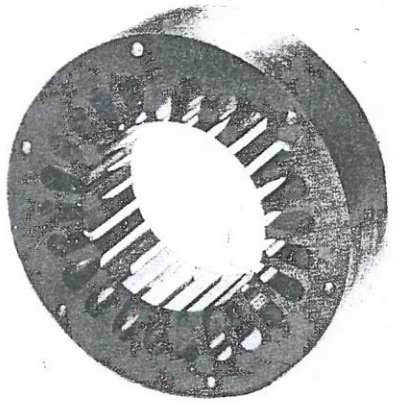


Fig. 29

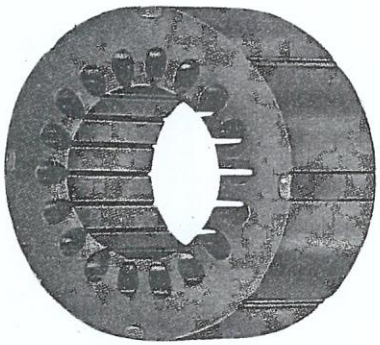


Fig. 30

L'impaccatura degli statori è fatto di norma con uno dei sistemi seguenti:

1) *con saldatura elettrica* (v. fig. 27) in atmosfera neutra di argon;

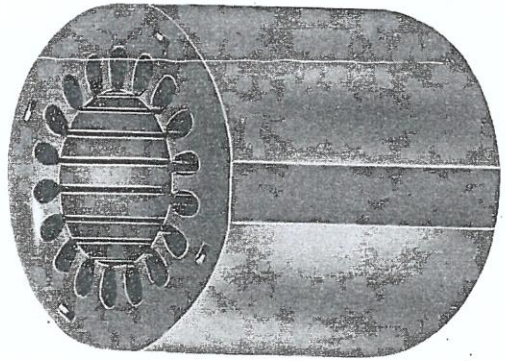


Fig. 31

2) *con chiodatura* (fig. 29), utilizzando chiodi in acciaio oppure rivettati in ottone;

3) *con aggraffatura* (fig. 30);

4) *per pressoincastro* (figg. 31 e 32); questo nuovo sistema è stato brevettato dalla ditta Fergodino.

Per l'impaccatura mediante chiodatura vengono punzonati quattro o più fori nella corona dello statore (v. fig. 26), mentre per impaccatura mediante saldatura (*) vengono previste di norma durante

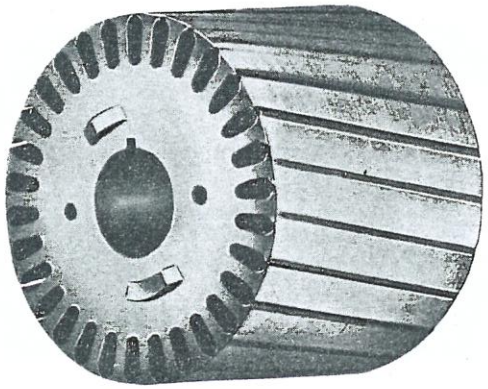


Fig. 32

la costruzione dello stampo delle tacche (spesso del tipo a « coda di rondine ») sulla parte esterna della corona, nelle quali — durante l'operazione di impaccatura — vengono inserite apposite zeppe.

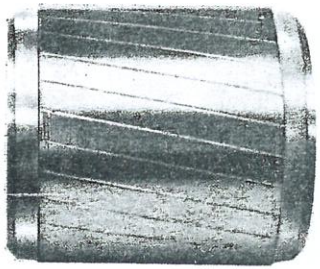


Fig. 33

Oggi s'impiega di preferenza, anche per evitare la saldatura e ridurre il costo, l'aggraffatura con stecche di acciaio incurvato, ossia a forma convessa, infilate nelle scanalature a coda di rondine del pacco — serrato alla pressa — che vanno schiacciate fortemente in senso radiale.

Il metodo per pressoincastro, essendo privo di chiodi, graffe e saldature risulta assai economico sia per l'esecuzione del pacco statorico che di quello rotorico; i lamierini escono dalla tranciatura già in sagoma e con la semplice pressatura — con macchina a pressare — il pacco è pronto nella misura voluta (**).

(*) L'operazione di impaccatura mediante saldatura può determinare deformazioni del pacco.

(**) Per il rotore di solito s'inclinano le cave dei gradi voluti e nell'istante in cui subisce la pressatura il rotore esce pronto per la pressofusione.

I rotori con gabbia in alluminio o in silumin, ottenuta per pressofusione, possono aversi nelle seguenti versioni o tipi: 1° - con corona, espressa in mm^2 di sezione, senza alette (fig. 33); 2° - con

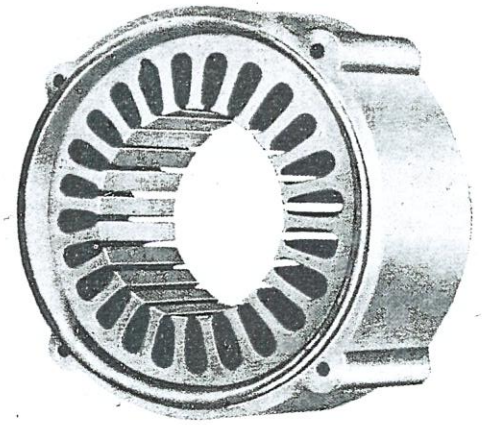


Fig. 34

alette da un lato oppure da entrambi; 3° - con pioli da un lato oppure sui due lati; 4° - con alette intercalate da pioli.

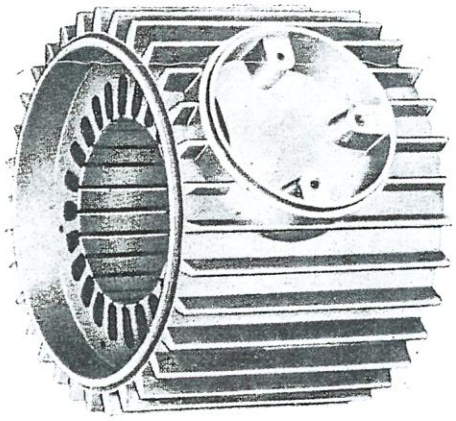


Fig. 35

Ricordiamo che l'inclinazione delle cave rotoriche, salvo preventivi accordi, corrisponde ad 1,5 volte il « passo di cava » (v. fig. 33).

A richiesta possono aversi rotori a barretta di rame con testate saldate. Questo tipo di rotore, sovente con cave tonde, è consigliato soprattutto nei motori per pompe di circolazione.

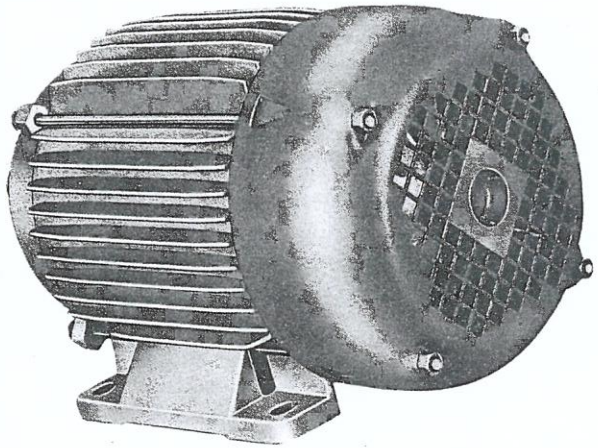


Fig. 36

Di solito per l'ordinazione occorre precisare: la forma costruttiva, la grandezza MEC, la potenza in *cav* o in *kW* ed il numero dei

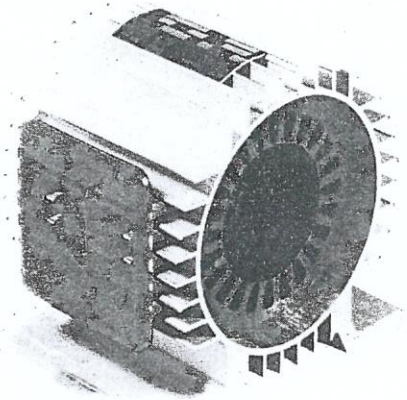


Fig. 37

poli, ma per una più razionale utilizzazione del materiale conviene effettuare il calcolo come è indicato nel cap. XI, almeno per il diametro interno e la lunghezza dello statore. Scelto poi il tipo di lamierino in base alle tabelle, sarà sufficiente aggiungere, per l'ordinazione del motore completo, la forma costruttiva.

La carcassa è generalmente in lega leggera, di tipo chiuso a ventilazione esterna, ed è ottenuta per pressofusione diretta, ossia pressofusa sul pacco: il pacco viene introdotto in apposita forma, disposta sulla macchina di pressofusione, nella quale si inietta l'alluminio fuso in pressione. Col raffreddamento la carcassa serra fortemente il pacco lamellare (fig. 34). Le carcasse possono essere ricavate complete di nervature esterne (fig. 35).

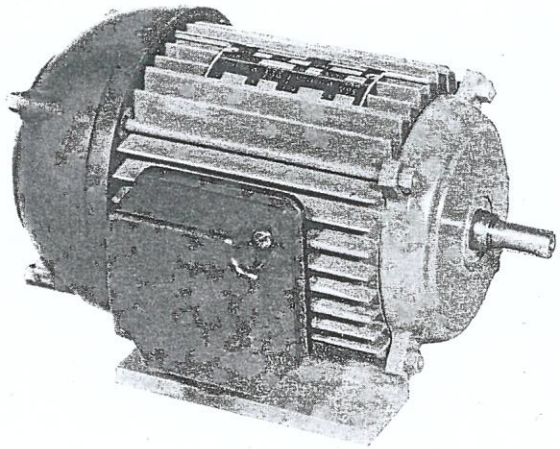


Fig. 38

La fig. 36 mostra un motore completo di forma costruttiva B3, di tipo chiuso a ventilazione esterna in alluminio pressofuso della ditta Fergodino e le figg. 37 e 38 rispettivamente la carcassa — col pacco statorico — ottenuta col nuovo processo di *estrusione* — ed il motore completo, con ventola, coperchio copriventola (*) e morsettiera in materia plastica della stessa Ditta.

Il metodo per estrusione consente la realizzazione di superfici lisce e ben rifinite e risulta notevolmente più economico di ogni altro sistema; per le piccole potenze si può considerare il sistema dell'immediato futuro.

(*) L'aria aspirata dalla ventola attraverso le aperture del coperchio viene spinta sul mantello della carcassa.

La superficie esterna del cilindro collettore deve essere quanto più liscia è possibile, specialmente nei settori che appartengono all'isolante. Ciò si ottiene con una speciale rettifica o, più frequentemente, al tornio usando utensili durissimi (widia).

La larghezza delle lamelle nelle macchine di piccola potenza si mantiene fra 3,5 e 6 mm, mentre in quelle di media potenza normalmente non si scende mai sotto i 5 mm. L'altezza radiale delle lamelle è ordinariamente maggiore di 15 mm (da 15÷30 nei piccoli collettori e fino a 70 mm nei grossi, in previsione delle inevitabili rettifiche). L'isolante non arriva di solito alla superficie di strisciamento delle spazzole; l'operazione di ripassatura o approfondimento della mica si effettua con una piccola fresa per una profondità di 0,5 - 1 mm.

La quota b della fig. 40 sta ad indicare la profondità del canale di sfogo della polvere delle spazzole.

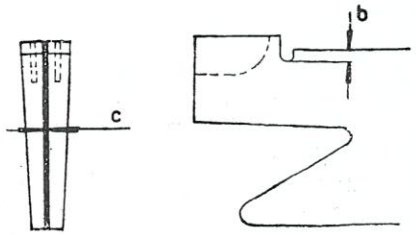


Fig. 40

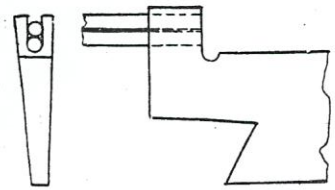


Fig. 41

Le lamelle vengono intagliate con frese, a denti acuti fresati ad una estremità, prima del montaggio.

L'isolamento delle lamelle dalla bussola, e quindi dalla massa, si effettua normalmente con anelli di micanite, detti in gergo d'officina *coni*.

Per generatori a bassa tensione e ad elevata intensità di corrente, quali quelli destinati ad usi galvanici ed elettrochimici, si adottano due collettori montati sulle due fronti dell'indotto (*).

(*) I due collettori si collegano in parallelo. La tensione della macchina è uguale a quella esistente tra due spazzole di nome contrario d'un collettore e l'intensità di corrente è uguale alla somma delle intensità dei due collettori.

Talvolta, per servizi radioelettrici, si adottano due collettori anche nelle macchine di piccola potenza ad alta tensione (per l'elevato numero di lamelle il diametro del collettore unico risulterebbe esagerato).

In questo caso i due collettori si collegano in serie. La tensione del generatore è uguale al doppio di quella esistente tra due spazzole di nome contrario di un collettore.

Per macchine ad alta velocità si usano collettori provvisti di speciali cerchiature (gli anelli di blindaggio, in acciaio, vengono montati a caldo sopra uno strato isolante in micanite) e talvolta anche collettori doppi, cioè suddivisi in due parti, con le lamelle in serie (le connessioni fra le lamelle si fanno mediante sbarrette di rame).

Da quanto precede è facile desumere che, dal punto di vista tecnologico-costruttivo, il collettore è l'organo più delicato della dinamo.

Forcelle

Nelle macchine di piccola potenza, con conduttori di piccolo diametro, i capi delle zone si saldano direttamente negli intagli

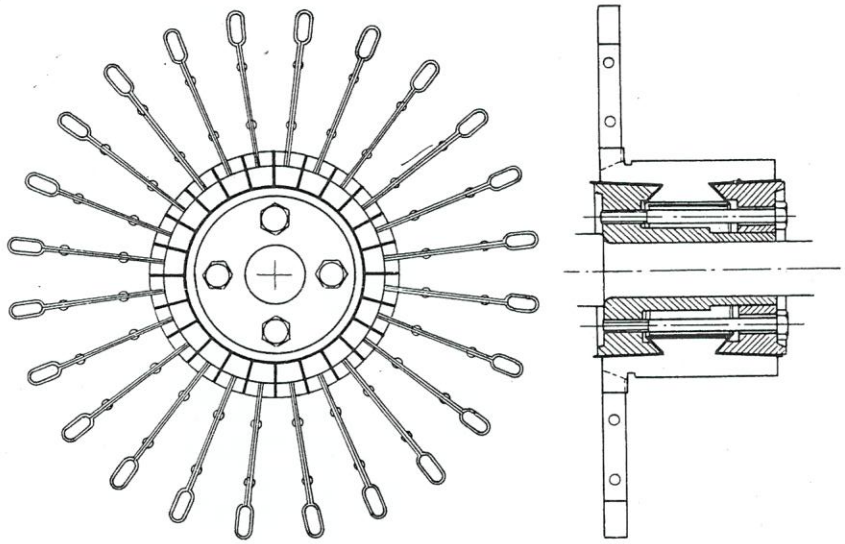


Fig. 42

del collarino del collettore (fig. 41), ma generalmente il collegamento fra avvolgimento e collettore si fa attraverso *forcelle* (*),

(*) In officina vengono pure chiamate *bandiere*. Più propriamente col termine bandiera s'intende un tipo di forcella per grossi conduttori, cioè per avvolgimenti a sbarre.

costruite con lamiera o piattina di rame (talvolta anche di bronzo), provviste ad un'estremità di una apposita *ghiera* o *occhiolo* per ancorarvi i capi delle zone. Queste forcelle vengono ribadite nell'intaglio delle lamelle (fig. 42) e saldate, a stagno o elettricamente a forte, in modo da formare un sol pezzo con la relativa lamella.

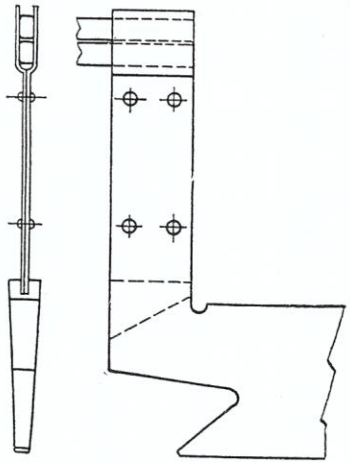


Fig. 43



Fig. 44



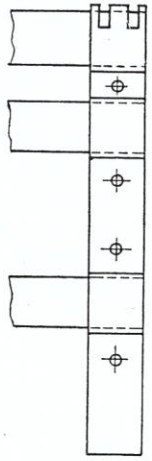


Fig. 45

La forma e le dimensioni delle forcelle variano in dipendenza della sezione dei fili o delle sbarre che costituiscono l'avvolgimento.

La sezione delle forcelle può farsi un po' minore di quella del conduttore dell'avvolgimento, sia perchè esse sono percorse da corrente ad intermittenza, sia perchè si trovano in migliori condizioni di raffreddamento; comunque devono garantire un ottimo contatto con le lamelle e con i capi delle zone ed evitare possibilità di dissaldature (per eccessivo riscaldamento).

Le figg. 43, 44 e 45 mostrano alcuni tipi di forcelle. L'occhiolo inferiore della fig. 45 serve per l'attacco delle connessioni equipotenziali.

Quando le forcelle risultano molto vicine, ad evitare possibilità di contatti, si irrigidiscono inserendo fra esse del materiale isolante (presspan, ecc.). Talvolta si ricorre a fasciature esterne che servono anche a contrastare le azioni della forza centrifuga.

SPAZZOLE E PORTASPAZZOLE

Spazzole

Se dal punto di vista economico la spazzola è un elemento trascurabile, dal punto di vista tecnico è invece un organo delicato e importantissimo. In relazione alle condizioni di lavoro molto variabili delle macchine elettriche si è reso necessario creare delle composizioni per spazzole idonee ai diversi impieghi. Oggi le spazzole si possono distinguere nei seguenti gruppi principali:

1) *di carbone amorfo*;
2) *di grafite*;
3) *di elettrografite*;
4) *di metalgrafite e metalcarbone*.

Le spazzole di *carbone duro* o *amorfo* sono le più economiche. Si ottengono impastando con opportuni leganti i prodotti di distillazione dei carboni fossili e del petrolio finemente polverizzati. Lo agglomerato viene stampato in lastre, che daranno poi, per lavorazione meccanica successiva, la spazzola finita o addirittura nella forma definitiva. Per ridurre l'usura si imbevono queste spazzole di un grasso speciale.

Le spazzole di carbone duro sono dotate di forte resistività elettrica (caduta di tensione di contatto 2-3 V) e si adoperano per commutatori con diaframmi di mica affiorante dalle lamelle, come, per esempio, in molti casi di motorini universali per trapanini, pulitrici, apparecchi elettrodomestici, ecc.; sono indicate per basse e medie velocità periferiche.

Le spazzole di *grafite* si ottengono agglomerando le qualità più pregiate di grafite naturale. Sono meccanicamente tenere ed elettricamente altamente conduttive.

Le spazzole di grafite sono da preferire per motori a corrente continua di grande e media potenza o per macchine piuttosto veloci, come le grandi commutatrici, cioè là dove è particolarmente richiesta l'ottima proprietà lubrificante della spazzola.

Le spazzole di *elettrografite* o *grafite artificiale* rappresentano un prodotto di grafitazione sintetica; con questo processo si ottengono dei prodotti che presentano una struttura grafitica omogenea unita a caratteristiche meccaniche superiori a quelle delle grafiti naturali.

La ridottissima usura del collettore provocata da queste spazzole e la loro solidità meccanica fanno sì che esse vengano preferite anche quando il loro uso non è indispensabile.

Le spazzole di elettrografite sono particolarmente indicate per velocità periferiche elevate; con esse si è brillantemente risolto il difficile problema della commutazione nei grandi motori a corrente continua ed alternata destinati alla trazione.



Fig. 46
Spazzole gemellari (Elettrocarbonium)

Le spazzole di *metalgrafite e metalcarbone* sono un agglomerato di grafite o carbone con polveri metalliche (rame, bronzo, stagno, zinco) rese impalpabili. Sono tenere ed hanno ottima conducibilità elettrica. Sono inossidabili e quindi riducono al minimo lo scintillio e le cattive commutazioni. La caduta di tensione di contatto è praticamente trascurabile.

Per i motori asincroni e le dinamo per galvanostegia che richiedono spazzole molto conduttive, sia per diminuire la caduta di tensione sia per limitare le dimensioni delle stesse, le spazzole più adatte sono quelle di metalcarbone e metalgrafite che hanno inoltre una buona conducibilità termica e quindi consentono maggiore dissipazione del calore. Il vantaggio essenziale di queste spazzole di fronte a quelle in tela di rame impiegate un tempo consiste nella molto minore usura dei collettori e degli anelli.

La scelta del tipo di spazzola va fatta, in linea di massima, in base alle condizioni di esercizio della macchina su cui va applicata; le tabelle XII, XIII e XIV, oltre a fornire utili dati di raffronti tra i diversi tipi di spazzole, possono costituire una guida sicura per il riavvolgitore che debba sostituire delle spazzole usurate.

Le spazzole sono normalmente provviste di trecciole, composte di fili sottilissimi di rame, per il collegamento ai morsetti.

Il collegamento tra spazzola e trecciola viene abitualmente realizzato per saldatura, punzonatura con tubetti ribaditi, punzonatura e rifollamento con polvere di rame. Quest'ultimo sistema è il più razionale e semplice ed è da preferire, soprattutto perchè assicura un migliore contatto.

Si costruiscono vari tipi di spazzole, ma è il tipo *monoblocco* che si adotta normalmente giacchè risulta adatto per la maggior parte delle macchine ed anche per la semplicità di montaggio e manutenzione delle spazzole e dei portaspazzole. In casi particolari si ottiene un buon funzionamento delle macchine ricorrendo a spazzole e portaspazzole di esecuzione speciale. Le più comuni e vantaggiose sono le *spazzole gemellari* (fig. 46) (*).

Le spazzole gemellari si ottengono separando in due parti una spazzola monoblocco e disponendo queste due parti una dietro l'altra, nel senso di rotazione del collettore, in un unico portaspazzole. La pressione sulle due semispazzole è esercitata da un solo dito di pressione e pertanto una di esse è dotata di una piastrina di dimensioni sufficienti a ricoprire anche la parte superiore dell'altra. In tal modo la pressione è ripartita su di esse uniformemente.

È necessario che la semispazzola con piastrina sia quella di entrata.

In molti casi si usa interporre fra dito di pressione e testa della semispazzola una piastrina di gomma speciale, per attenuare le vibrazioni ad essa trasmesse.

Il vantaggio essenziale delle spazzole gemellari rispetto a quelle monoblocco consiste nel fatto che i punti effettivi di contatto vengono notevolmente aumentati, in quanto le due semispazzole si adattano alla superficie del collettore. In tal modo si migliora la commutazione, si attenua lo scintillio e si riduce sensibilmente l'usura del collettore (**).

La superficie delle spazzole va calcolata in base alla densità di corrente σ_s. tenendo conto che attraverso le spazzole di una polarità passa l'intera corrente della macchina; la superficie totale di contatto delle spazzole risulta:

$$\text{Superficie spazzole} = 2\,\frac{I}{\sigma_s}$$

La larghezza di una spazzola si sceglie in modo che essa copra circa tre lamelle (da $2 \div 3$ lamelle).

(*) Talvolta si usano anche le *spazzole tandem* oppure le *spazzole a cuneo*. Questi due tipi non sono altro che varianti delle spazzole gemellari: infatti le tandem sono spazzole gemellari montate su portaspazzole distinti e le spazzole a cuneo sono ancora spazzole gemellari ma con una sagomatura della testa a forma di cuneo.

(**) V. « *Spazzole per macchine elettriche* » della S.p.A. *Elettrocarbonium*.

Dati tecnici sulle spazzole (Monti e Martini)

TABELLA XII

Materiale	Qualità (sigla)	Caratteristiche del materiale: Peso specifico gr/cm³	Resistività Ω . mm²/m	Durezza sclerosc.	Condizioni di lavoro e caratteristiche di funzionamento: Densità ammissibile A/cm²	Caduta di tensione (*) volt	Velocità periferica m/s	Coefficiente di attrito (**)	IMPIEGO
Carbone	MM1C	1,50	70	60	6	2,2	14	0,24	Contatti rompiarco, contatti striscianti, spazzole di piccoli motorini ed usi analoghi.
	» 2C	1,65	65	55	7	2.0	16	0,20	Macchine normali a c. c. da 100 ÷ 500 volt - Macchine monofasi a collettore.
	» 3C	1,62	36	54	7,5	2,6	18	0,17	Macchine di non difficile commutazione.
	» 4C	1,44	80	53	5,5	2,25	15	0,19	Macchine piccole di difficile commutazione.
	» 5C	1,45	60	53	6,5	2 55	15	0,255	Motori industriali a 500 volt, specialmente nei casi di reattanza elevata.
Grafite	» 31G	2,0	42	17	8	1,5	30	0,15	Dinamo di illuminazione per automobili.
	» 32G	1,8	13	18	10	1,72	40	0,135	Turbogeneratori, convertitrici ad alta velocità e macchine con anelli in acciaio.
	» 33G	1,82	15	16	9,5	1,82	40	0,10	Idem c. s. e grossi alternatori con anelli in acciaio.
	» 34G	1,82	11,5	10	10	1,72	45	0,11	Macchine a corrente continua veloci.
Elettrografite	» 41E	1,57	33	60	10	2,25	40	0,12	Motori di trazione ferroviaria ed interurbana; collettore ad anelli ad alta velocità.
	» 42E	1,43	31	57	10	2,18	40	0,15	Trazione urbana.
	» 43E	1,55	30	50	10	2.17	40	0,13	Grandi commutatori e generatori; anelli a media ed alta velocità.
	» 44E	1,7	15	25	10	2,35	40	0,17	Macchine di media e piccola potenza.
Metalcarbone	» 61R	2,63	11,5	16	9,5	1,72	20	0,155	Macchine a c.c., ad elevata velocità fino a 100 volt; anelli ad alta velocità.
	» 62R	3,20	3,5	13	11	1,56	25	0,10	Macchine a c.c. soggette a forti sovraccarichi.
	» 63R	3,70	1,6	14	12	1,2	25	0,14	Generatori a bassa tensione fino a 100 volt.
	» 64R	3,90	2,5	18	12	1,23	25	0,10	Macchine a c.c. fino a 18 volt (galvanoplastica).
	» 65R	4,05	1,5	13	17	1,32	30	0,08	Dinamo per elettrolisi ed usi analoghi.
	» 66R	4,40	0,65	12	17	1,52	25	0,13	Generatori a bassa tensione con piccola velocità periferica.
	» 67R	4,35	0,25	7	18	1,45	30	0,17	Macchine veloci a bassa tensione e forte corrente.
	» 68R	5,70	0,40	10	22	1,33	25	0,21	Macchine a c.c. fino a 12 volt; motorini di avviamento per automobili; macchine a c. a. con anelli in bronzo fuso o in rame duro.
	» 69R	5,40	0,20	8	23	1,7	20	0,19	Macchine a c. a. con anelli in bronzo e rame duro; macchine a c. c. fino a 6 volt.
	» 70R	5,30	0,60	6	20	1,2	25	0,17	Macchine a c. a. con anelli in bronzo.

(*) Le cadute di tensione si riferiscono ai valori massimi ammissibili. Naturalmente con densità più basse si avranno c. d. t. minori.

(**) I coefficienti di attrito si riferiscono ad una pressione sulla spazzola di 175 gr/cm². Diminuendo la velocità periferica i coefficienti di attrito aumentano sensibilmente.

Dati tecnici sulle spazzole (Rognoni)

TABELLA XIII

Materiale	Qualità (sigla)	Caratteristiche del materiale: Peso specifico gr/cm³	Resistività Ω . mm²/m	Durezza sclerosc.	Condizioni di lavoro e caratteristiche di funzionamento: Densità ammissibile A/cm²	Caduta di tensione (*) volt	Velocità periferica m/s	Coefficiente di attrito (**)	IMPIEGO
Carbone	R 4	1,65	40	70	7	2,5	18	0,15	Motori monofasi - Piccoli motori universali. Da usare anche con mica affiorante.
	R 5	1.65	25	45	8	2,2	20	0,14	Macchine a corrente continua e alternata di piccola e media potenza.
	R 9	1,6	75	75	7	2,0	25	0,122	Piccoli motori monofasi anche con mica affiorante - Qualità universale.
Grafite	R A	1,75	20	30	10	1,4	25	0,182	Macchine a c. c. di media potenza con buona commutazione ed a c. a. con anelli di acciaio.
	R B	1,75	12	18	10	1,05	60	0,07	Grandi macchine a c.c., turbogeneratrici e convertitrici di media e grande potenza.
	R F	1,75	20	20	10	1,7	40	0,142	Generatrici, convertitrici, eccitatrici - Dinamo autoveicoli a terza spazzola.
	R M	2,0	20	15	11	1,6	30	0,17	Motori con anelli di acciaio - Macchine a c.c. da 40 ÷ 220 volt.
Elettrografite	R 4 X	1,7	30	50	10	2,4	40	0,12	Macchine a c. c. con buona commutazione - Gruppi di carica - Piccoli motorini monofase (elettrodomestici, ecc.).
	R 5 X	1,6	45	25	11	2,82	50	0,13	Generatrici - Eccitatrici - Motori a velocità regolabile.
	R 6 X	1,7	20	45	10	2,2	40	0,13	Contatti-controller striscianti su anelli di rame o di bronzo.
	R 8	1,65	35	30	11	3,1	45	0,122	Macchine a c. c. normali - Dinamo per autoveicoli.
	R 8 X	1,6	35	40	11	2,65	40	0,118	Motori per trazione - Saldatrici - Macchine a c.c. con forti sollecitazioni - Qualità universale.
	R 9 X	1,5	12	—	7	1,9	60	0,10	Anelli di acciaio a c. c.
	R 10 X	1,65	15	18	10	2,3	45	0,14	Gruppi di carica - Dinamo a media tensione ad alta intensità.
	R 12	1,55	40	35	10	2,45	45	0,16	Macchine a c. c. normali - Saldatrici - Trazione filoviaria.
	R 13	1,5	45	30	11	3,3	50	0,135	Motori a velocità regolabile - Dinamo autoveicoli - Motorini monofasi con mica scanalata.
	R 15	1,55	42	40	12	3,0	50	0,135	Motori a velocità regolabile - Macchine a c.c. con difficile commutazione.
Metalgrafite	G M 2	3,3	3,0	28	13	1,1	25	0,13	Macchine a c. c. da 12 ÷ 24 volt.
	G M 4	3,8	0,6	32	15	0,85	25	0,11	Dinamo da 6 ÷ 12 volt - Anelli di bronzo in c. a.
Metalcarbone	M 1 C R	4,25	0.2	30	17	0,8	30	0,13	Dinamo da 4 ÷ 8 volt - Motori ad anelli di bronzo o di rame in c.a. con spazzole fisse.
	M 5 C R	5,15	0,1	22	20	0,66	30	0,102	Qualità universale per motori ad anelli.
	M 6 C R	5,5	0,09	23	22	0,45	30	0,073	Motori ad anelli con spazzole a sollevamento.
	R O 30	3,9	0,5	28	14	0,8	30	0,08	Motori avviamento autoveicoli 24 volt.
	R O 25	4,4	0,25	33	16	0,65	30	0,137	Motorini avviamento autoveicoli 12-24 volt.
	R O 20	5,3	0,1	30	18	0.7	25	0,12	Idem c. s. 6-12 volt.

(*) Le cadute di tensione si riferiscono ai valori massimi ammissibili. Naturalmente con densità più bas si avranno c.d.t. minori.

(**) I coefficienti di attrito si riferiscono ad una pressione sulla spazzola di 175 gr/cm². Diminuendo velocità periferica i coefficienti di attrito aumentano sensibilmente.

Dati tecnici sulle spazzole (Elettrocarbonium)

TABELLA XIV

MATERIALE	QUALITÀ (Sigla)	Caratteristiche del materiale: Peso specifico gr/cm³	Resistività Ω · mm²/m	Durezza sclerosc.	Condizioni di lavoro e caratter. di funzionam.: Densità ammissibile A/cm²	Caduta di tensione (*) volt	Velocità Periferica m/s	Coefficiente di attrito (**)	IMPIEGO
CARBONE	734 CT	1,6	45	80	7	1,5	20	0,2	Generatrici e motori di potenza ridotta anche con mica non incassata.
	N 1	1,65	30	70	8	1,8	30	0,15	Piccole e medie macchine a c. c. stazionarie 110 ÷ 500 V con difficile commutazione.
	CVT 1 (1)	1,51	45	52	7	2,4	25	0,17	Motori universali anche con mica affiorante per elettrodom., ventilatori, utensili portatili, ecc.
	M 1 A	1,62	100	60	8	4,0	30	0,16	Piccoli motori univ. anche con mica affiorante per elettrodomestici, ventilatori, utensili, ecc.
	M 5 A	1,55	120	50	8	4,0	30	0,16	Motori universali con collettore a mica incassata per elettrodomestici, pompe, ecc.
	M 20 A	1,60	80	45	8	3,0	30	0,15	Motori universali a mica incassata - Dinamo auto di difficile commutaz. ed a carico spinto.
	V 4 (1)	1,65	300	45	8	3,0	30	0,15	Motori univ. a mica incass. o affior. - Collettori con isolamento in ambermicanite non fresato.
GRAFITE	Z (1)	1,85	12	30	8	2,4	40	0,2	Motori a c. c. di piccola e media potenza - Dinamo per automobili, eccitatrici.
	H 1 F	1,5	40	19	8	2,1	60	0,18	Grandi motori c. c. - Eccitatrici.
	G 910	2	18	30	12	1,7	40	0,04	Generatrici a c. c. a bassa tensione.
	G 784+	1,8	150	12	7	5,4	40	0,01	Motori a collettore a c. a. di difficile commutazione - Amplidine.
ELETTROGRAFITE	E 12	1,55	15	50	10	2,8	50	0,04	Motori e generatori a c. c. di piccola e media potenza - Anelli di acciaio.
	E 961 (1)	1,6	45	63	10	2,8	50	0,06	Macch. a c.c. di media e alta tens. anche a difficile commut. - Motori di trazione moderni a c.c.
	E 773 F (1)	1,67	35	60	10	2,3	40	0,07	Saldatrici, eccitatrici - Motori di trazione a c.c. - Motorini universali a mica incassata.
	E 773	1,6	55	48	10	2,5	50	0,14	Motori a collettore a c. a. - Macchine a c. c. di difficile commutazione.
	E 776	1,5	30	60	10	2,3	50	0,07	Motori a c.c. di bassa e media tensione - Convertitori e collettori a grande numero di spazz.
	E 768 (1)	1,58	48	50	10	2,9	50	0,07	Macchine a c. c. e a c. a. di difficile commutazione.
METALCARBONE	MR 32	4,2	0,6	20	14	0,9	40	0,06	Generatrici bassa tensione - Motorini avviamento auto.
	J 516	3,8	0,2	15	12	1,0	40	0,11	Motori asincroni con anelli di bronzo - Generatrici a bassa tensione 12 ÷ 24 V.
	J 521	4,3	0,16	20	15	0,35	60	0,08	Motorini di avviamento auto - Generatrici a bassa tensione.
	J 526	4,4	0,15	12	12	0,8	40	0,12	Generatrici bassa tensione < 12 volt.
	J 532	4,8	0,1	13	14	0,4	40	0,08	Motori asincroni con anelli di bronzo - Generatrici bassa tensione < 12 volt.
	J 406	2,7	13	28	12	1,5	40	0,09	Generatrici a bassa tensione 30 ÷ 60 volt.
	J 407	5,5	0,05	10	18	0,4	20	0,07	Generatrici a bassa tensione < 12 volt ad elevata densità di corrente.

(*) Le cadute di tensione si riferiscono ai valori massimi ammissibili. Naturalmente con densità più basse si avranno c. d. t. minori.

(**) I ocefficienti di attrito si riferiscono ad una pressione sulla spazzola di 200 gr/cm². Diminuendo la velocità periferica i coefficienti di attrito aumentano sensibilmente.

(1) La pressione sulle spazzole normali è di 200 gr/cm². Fanno eccezione le spazzole di carbone CVT 1 e V4 e quelle di elettrografite E 961 e E 773 F con pressione da 200 ÷ 300 gr/cm²; la Z ed E 768 con 180 gr/cm².

Il collocamento delle spazzole assume grande importanza: per avere un consumo uniforme del collettore si dovrebbero spostare le varie file di spazzole in senso assiale, ma ciò non è sufficiente perchè le spazzole positive e negative non producono lo stesso logoramento sui collettori; è necessario quindi che su ogni porzione di collettore venga a strisciare possibilmente uno stesso numero di spazzole di polarità diversa. La disposizione più razionale per raggiungere tale scopo è quella indicata nella fig. 47, ossia lo spostamento assiale non va fatto tra file successive, ma bensì fra coppie di file di spazzole susseguenti.

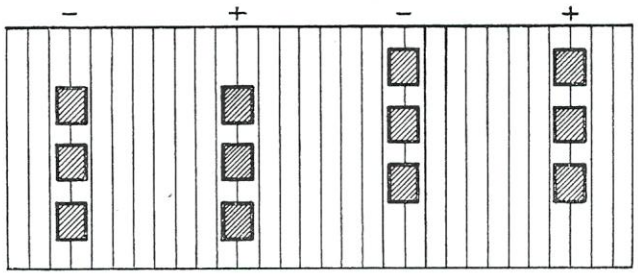


Fig. 47

Disposizione razionale delle spazzole sul collettore

Per attenuare le perdite di attrito si consiglia di adottare una pressione sulle spazzole compresa tra 100 e 250 gr/cm² per le macchine stazionarie e tra 200 e 400 gr/cm² per le macchine sottoposte ad urti e movimenti bruschi (*).

Infine si tenga presente che la supercommutazione e la sottocommutazione sono di solito riconoscibili dallo scintillio. La supercommutazione produce scintillio all'entrata della spazzola, la sottocommutazione all'uscita, donde la necessità di spostare le spazzole nel senso del moto in caso di generatore sottocommutato o motore supercommutato e nel senso inverso per generatore supercommutato o motore sottocommutato.

Se la macchina è munita di poli ausiliari si deve verificare il loro senso di avvolgimento.

(*) La verifica della pressione alle spazzole si può effettuare rapidamente mediante un *dinamometro semplice*; si tratta di un piccolo apparecchio di costo modesto.

Portaspazzole

La funzione del portaspazzole è importantissima: è il portaspazzole che tiene perfettamente centrata ed in sesto la spazzola e sono le sue molle a mantenere bene aderenti le superfici di contatto e a distribuire uniformemente la pressione sulla zona di contatto.

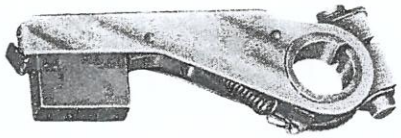


Fig. 48

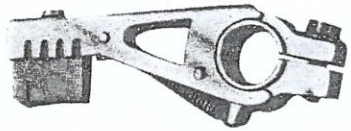


Fig. 49

Pressioni ineguali causerebbero infatti azioni multiple e consumo anormale delle spazzole. Normalmente la pressione sulla spazzola si mantiene fra 175 e 250 gr/cm^2, ma per spazzole di metalcarbone vengono consigliate, di solito, pressioni da 200÷350 gr/cm^2.

Illustreremo brevemente sia i tipi di portaspazzole per corrente trifase che quelli per corrente continua.

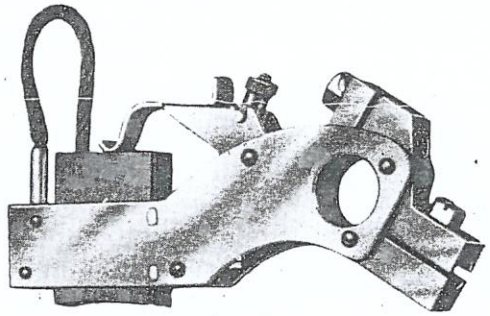


Fig. 50

Esistono vari tipi di portaspazzole. Il tipo più semplice ed economico è quello *a leva* che è molto usato per anelli collettori, specialmente di piccolo diametro, e per motori asincroni con sollevamento delle spazzole dopo l'avviamento.

La spazzola è fissata all'estremità di un braccio articolato; la pressione sul collettore viene prodotta da una molla (figg. 48 e 49), ma più sovente viene esercitata sulla spazzola mediante una leva caricata a molla (fig. 50).

Per anelli collettori di media grandezza e specialmente per motori asincroni sprovvisti del dispositivo di cortocircuito, ossia con

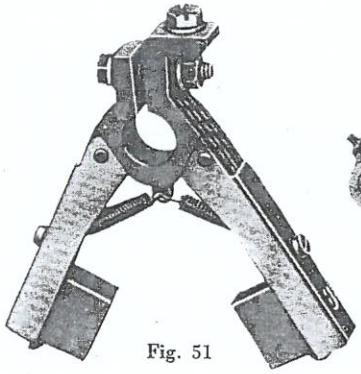


Fig. 51

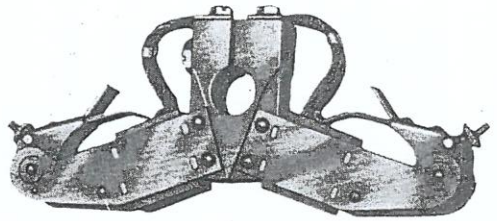


Fig. 52

spazzole costantemente in lavoro, sono da preferire i portaspazzole doppi (figg. 51 e 52).

Per le macchine a corrente continua i tipi di portaspazzole più usati sono quelli con *guida a scatola* (in lamiera o ricavata di fusione) che vengono distinti in *radiali* ed *a reazione*.

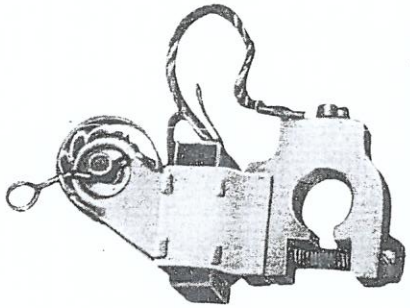


Fig. 53

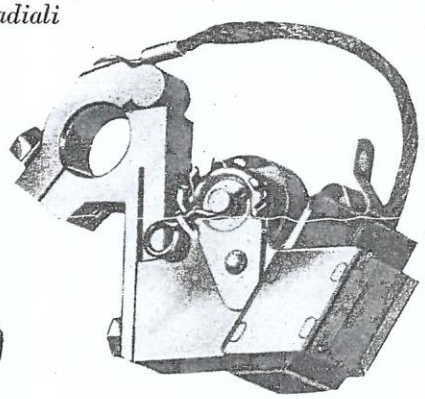


Fig. 54

La pressione sulle spazzole viene esercitata mediante molle regolabili. Nel portaspazzole radiale (fig. 53) l'asse di guida è normale alla superficie di sfregamento ed alla spazzola è consentito un movimento radiale.

Questo tipo è usato specialmente per macchine ad inversione di moto e viene impiegato anche per anelli collettori di grande diametro.

Per le macchine a senso unico di rotazione vengono preferiti i portaspazzole a reazione (fig. 54). L'asse di guida della scatola è

inclinato di un certo angolo (normalmente di circa 55°), sul piano tangente alla superficie di sfregamento (*).

I portaspazzole sono fissati ad un sostegno, detto *lanterna portaspazzole*, che può essere ruotato rispetto al collettore nell'uno o nell'altro senso, per potere regolare la posizione delle spazzole ed ottenere le migliori condizioni di commutazione. I portaspazzole si fissano su *alberelli* o *spine* di rame oppure di bronzo e talvolta anche di ferro. Le spine si isolano dal collare con micanite o cartone verniciato.

(*) Il taglio obliquo della testa della spazzola ha lo scopo di favorire l'appoggio della spazzola contro la parete anteriore della scatola; in tal modo la spazzola si muove con attrito ridottissimo.

CAPITOLO QUARTO

AVVOLGIMENTI INDUTTORI

Generalità

È noto che le macchine a corrente continua hanno l'avvolgimento induttore sullo statore, cioè sulla parte fissa, mentre nelle macchine a corrente alternata sincrone le bobine di campo si trovano di norma sul rotore.

Negli avvolgimenti induttori rotanti (*) la tensione di eccitazione non supera di solito i 220 V, ma, dovendo essi sopportare elevate sollecitazioni centrifughe, si richiedono all'isolamento, oltre le solite esigenze elettriche, requisiti di resistenza meccanica adeguati.

L'isolamento verso massa è, per tutti gli avvolgimenti induttori, funzione della tensione di eccitazione, mentre l'isolamento fra spira e spira va scelto in base alla resistenza meccanica, dato che anche nelle macchine a corrente continua la tensione fra gli strati è sempre assai modesta.

L'avvolgimento induttore delle macchine a corrente continua eccitate in derivazione consta normalmente di molte spire di filo di piccola sezione, mentre l'avvolgimento induttore delle macchine eccitate in serie e l'avvolgimento dei poli ausiliari constano di solito di un numero limitatissimo di spire di sezione relativamente rilevante. Nelle macchine con eccitazione composta l'avvolgimento in serie può essere disposto attorno a quello in derivazione oppure sul nucleo di seguito a quello in derivazione (è preferita la disposizione in vicinanza immediata dell'espansione polare).

Per le macchine sincrone a poli salienti si usa il filo tondo per le piccole potenze (fino a 12-15 kVA) e la piattina per le medie potenze.

(*) Non si considerano qui gli induttori lisci, ossia a poli non salienti, perchè in uso nei turboalternatori, vale a dire in macchine ad elevato numero di giri e quasi sempre di rilevante potenza.

Costruzione delle bobine di campo ed ausiliarie

Come gli avvolgimenti di indotto, anche gli avvolgimenti di campo presentano tre tipi di isolamento: l'isolamento del conduttore, quello contro massa e quello costituito dalla fasciatura esterna di serraggio. Alcuni tipi di bobine di campo però non hanno una divisione così netta fra i tre isolamenti, come avviene per gli isolamenti di indotto.

Gli avvolgimenti di campo differiscono fra loro in dipendenza del numero delle spire e delle dimensioni del conduttore impiegato. Per la costruzione delle bobine di campo si usa sovente, specialmente per piccole sezioni, il filo smaltato, ma è egualmente usato il filo con copertura di cotone, di amianto o di filato di vetro per diametri fino a 4 mm circa; per sezioni maggiori si ricorre quasi sempre alla piattina.

Con filo di piccolo diametro risulta piuttosto difficile ottenere bobine con strati ben ordinati e regolari, cosa invece di facile realizzazione con filo di maggior diametro.

L'avvolgimento si esegue su sagome di forma e dimensioni corrispondenti al nucleo su cui debbono essere montate le bobine, tenendo conto dell'isolamento rispetto alla massa.

Prima di iniziare la confezione delle bobine in filo bisogna disporre nelle apposite fessure i nastri, che serviranno poi a legare le bobine una volta ultimate.

Il conduttore va avvolto a strati regolari in modo da ottenere l'avvolgimento nel minimo spazio. Durante la confezione delle bobine bisogna avere cura di mantenere il filo ben teso e di non generare accavallature di spire. Questi avvolgimenti possono eseguirsi ugualmente bene tanto su *torni* che su *mulinelli*, ma più sovente, particolarmente per fili di piccolo diametro, si ricorre alle *macchine a bobinare* o *bobinatrici*, le quali consentono un lavoro più rapido e preciso. Un apposito contagiri dà il numero delle spire.

È buona regola praticare ogni tanto delle legature per impedire spostamenti delle spire.

La forma delle bobine dipende dalla forma della sezione del nucleo polare. La fig. 55 ne mostra alcuni tipi.

Le bobine possono essere piatte oppure curve; per macchine bipolari generalmente le bobine vanno piegate con curvatura corrispondente a quella del giogo (v. fig. 64). La sezione delle bobine più in uso, per le macchine a corrente continua, è quella trapezoidale

(fig. 56 e 57), ma se ne costruiscono pure a sezione rettangolare (fig. 58) e quadrata.

Per favorire il raffreddamento si costruiscono *bobine a disco*, collegate in serie e distanziate a mezzo di prismetti di legno impregnato (fig. 59).

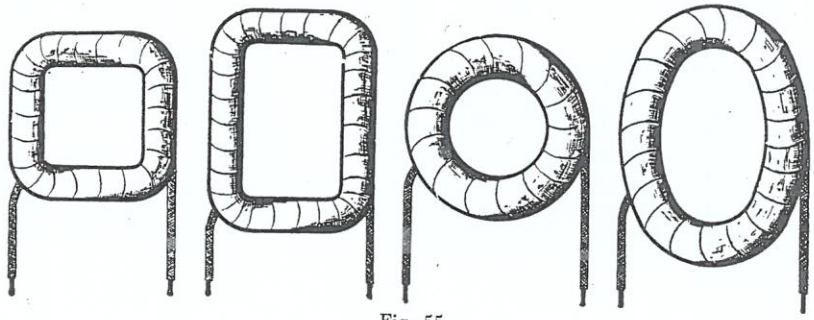


Fig. 55

L'isolamento delle bobine per bassa tensione si effettua normalmente con nastro di cotone o prodotti analoghi. Ogni passata si sovrappone per metà alla precedente. Il nastro provvisto di riga assiale colorata rende più spedita ed uniforme la nastratura.



Fig. 56

Talvolta si dispone nell'interno della bobina un cartoccio di cartopresso e dopo si pratica la nastratura. È buona norma ridurre la nastratura al minimo indispensabile perchè essa ostacola sensibilmente la trasmissione del calore rendendo più difficile il raffreddamento dell'avvolgimento.

L'estremo del nastro si fissa a mezzo di mastice o con cucitura. Ultimata la fasciatura, si rende necessario un preventivo essiccamento delle bobine, mediante riscaldamento ad una temperatura leggermente superiore ai 100°C, per eliminare ogni traccia di umidità, e quindi si provvede alla impregnazione con vernici isolanti. L'operazione di solito si pratica per semplice immersione nella vernice ben fluida. Infine si procede all'essiccamento in apposite stufe. Il si-

stema di impregnazione per immersione dà buoni risultati specialmente quando l'operazione viene ripetuta più volte, facendo seguire ad ogni passaggio nella vernice un successivo essiccamento.

Per piccole macchine è abbastanza diffuso il sistema *a bobine mummificate*. Con questo nome vengono indicati quei particolari

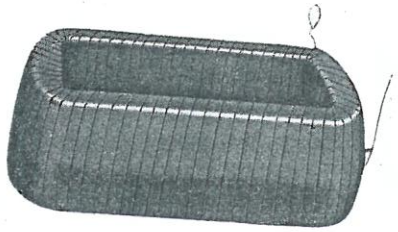


Fig. 57



Fig. 58

tipi di avvolgimenti che hanno la superficie esterna completamente rivestita da una nastratura continua che fornisce la protezione isolante delle bobine. Il nastro impiegato per la fasciatura può essere, come s'è detto, di cotone, di amianto o di filato di vetro, in relazione

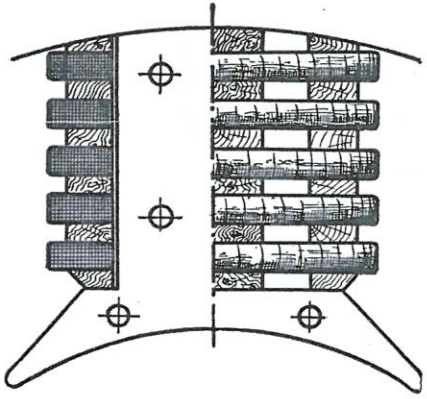


Fig. 59

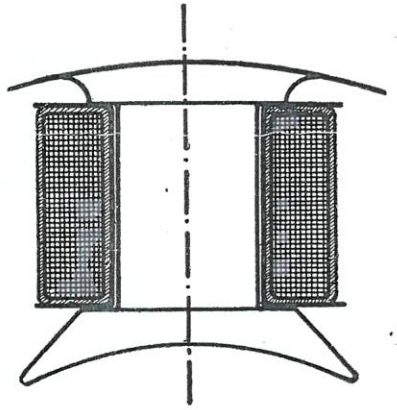


Fig. 60

alla tensione di esercizio, alla temperatura ed alle altre condizioni di funzionamento, che stabiliranno anche lo spessore dell'isolamento stesso.

Gli avvolgimenti di questo tipo vengono generalmente impregnati in autoclave per ottenere una buona penetrazione della vernice negli interstizi dell'avvolgimento e della relativa nastratura superficiale. La bobina viene così impregnata perfettamente in tutte le sue parti, ogni piccola cavità risulta riempita di materia isolante e di conseguenza essa assume una grande compattezza che è vantaggiosa anche perchè consente una migliore dispersione del calore, neutralizzata però in buona parte dal fatto che la nastratura continua limita sensibilmente la trasmissione del calore. Questo sistema di isolamento presenta il vantaggio di una efficace protezione contro le scariche striscianti.

Particolare bravura ed accuratezza richiede l'uscita dei capi delle bobine che, dovendo resistere a maggiori sforzi meccanici, sono soggetti facilmente a rotture, specialmente se il conduttore è di piccola sezione. Le uscite si fanno pertanto di filo di maggiore sezione o in lamina sottile o, meglio, in treccia per la sua maggiore flessibilità.

La giunzione deve essere eseguita con la massima cura e bene isolata. La corda a treccia normalmente va saldata ai due capi di uscita ed avvolta per uno o due giri sulla bobina.

Per portare il capo interno verso l'esterno è inevitabile incrociare tutti gli strati della bobina. Risultando notevole la differenza di potenziale tra il capo interno e lo strato esterno è necessario un isolamento elevato, normalmente eseguito con mica, tela verniciata, ecc. Si può evitare l'incrocio costruendo la bobina in due metà collegate in serie; unendo i due capi interni le due uscite risultano esterne.

Per macchine di piccola potenza le bobine si possono infilare direttamente sui nuclei polari, ma generalmente si applicano sul nucleo dei diaframmi di cartopresso o tritona e di tela impregnata, in modo da assicurare un buon isolamento rispetto alla massa ed una sufficiente solidità meccanica.

Per macchine di media potenza le bobine si avvolgono su scatole di cartopresso, di carta verniciata, di amianto vulcanizzato (fig. 60), oppure di metallo. Le scatole in lamiera di ferro o di ottone (a bordi avvicinati) vanno isolate, prima di iniziare l'avvolgimento, incollandovi sopra con gommalacca del cartopresso o della carta verniciata di discreto spessore. Oggi per le tensioni più basse l'isolamento contro massa è costituito frequentemente da rocchetti stampati e per tensioni più alte si preferiscono gli avvolgimenti del tipo mummificato oppure si ricorre all'incapsulaggio delle bobine. Con i cartocci isolanti si avvolge il filo direttamente su tali supporti, interponendo fra i singoli strati una pennellata di vernice che viene poi indurita al forno e conferisce compattezza all'avvolgimento.

Per rendere impossibile qualsiasi spostamento delle bobine, esse vanno fermate con zeppature o con due viti opportunamente isolate fissate sul nucleo, oppure con altri sistemi.

Per la costruzione dell'avvolgimento dei poli ausiliari di macchine di piccola potenza si usa sovente il filo di rame tondo (*) isolato con una o due spirali di cotone oppure con smalto.

Le bobine in filo vanno nastrate ed impregnate come quelle di campo.

Per l'isolamento dalla massa si adottano dei diaframmi di cartopresso o di tritona, oppure isolanti composti.

La piattina di rame, usata sovente per campi in serie ed anche per i poli ausiliari, permette di ottenere avvolgimenti di solida struttura; essa viene frequentemente avvolta di costa (**) senza rivestimento e l'isolamento fra le spire si pratica mediante diaframmi. Per una maggiore protezione contro le scariche striscianti i diaframmi sporgono di un paio di millimetri oltre il bordo dei conduttori; questo sistema permette di ottenere una dispersione del calore assai più efficace. Con piattina avvolta di piatto l'isolamento consiste in nastri di presspan avvolti assieme alla piattina. Nei motori di trazione la piattina delle bobine dei poli principali ed ausiliari è frequentemente isolata con nastro carta-mica-carta compound o con mica-vetro. La bobina viene quindi impregnata sotto vuoto con vernici dielettriche termoreattive o con vernici senza solvente a base epossidica; si esegue infine la nastratura finale esterna con altro strato carta-mica-carta compound o con mica-vetro ed una verniciatura di finitura in modo che le bobine acquistino il caratteristico aspetto mummificato.

Le tavole X e XI mostrano rispettivamente due fogli di lavorazione per scatole isolanti di bobine, per poli induttori e per poli ausiliari, secondo il sistema in uso presso la *Marelli*.

Collegamento delle bobine

Le bobine di campo possono collegarsi in *serie* (fig. 61) e in *parallelo* (fig. 62).

(*) Per macchine a media intensità si possono impiegare due fili in parallelo.

(**) Siccome l'operazione di avvolgimento incrudisce il materiale, specialmente con le grosse barre per le quali occorre inoltre pressare spesso i rigonfiamenti del rame presso gli angoli, è buona norma procedere alla ricottura della bobina.

Nelle macchine in derivazione si adotta esclusivamente il collegamento in serie a polarità alterne; anche nelle macchine sincrone le bobine d'eccitazione si collegano in serie a polarità alterne.

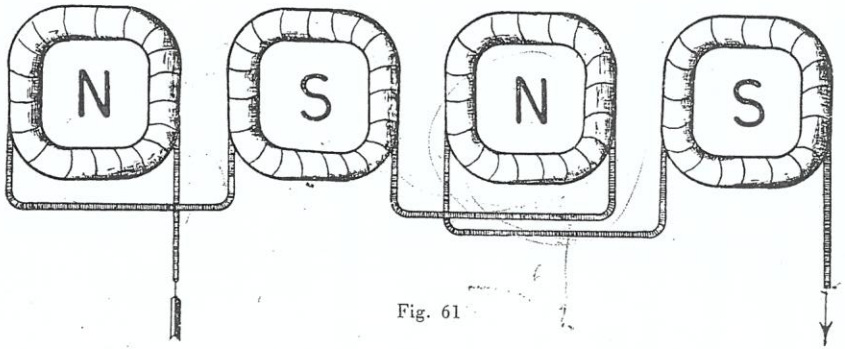


Fig. 61

La connessione delle bobine si effettua a mezzo di *morsetti serrafili* oppure a mezzo di *legature con filo di rame stagnato*. Per eseguire la giunzione si sovrappongono due capi delle bobine da collegare, si pratica la legatura ed infine si esegue la saldatura.

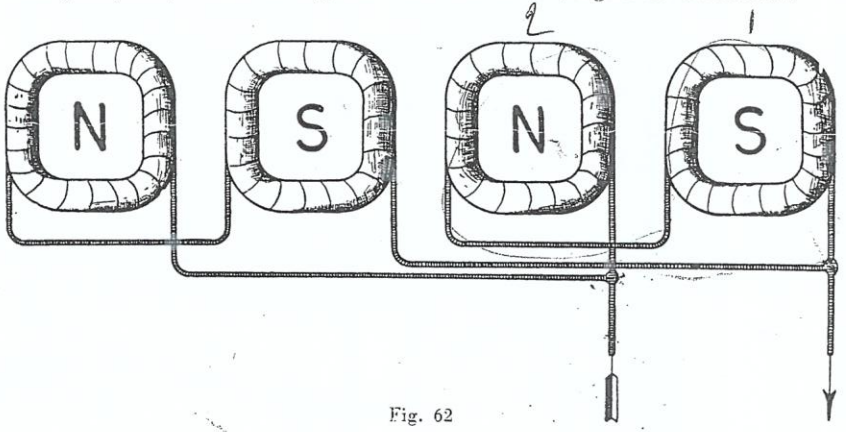


Fig. 62

Per capi d'uscita in cavo a treccia la giunzione si esegue con tubetti di ottone e saldatura. Per piccole macchine s'impiegano capi di uscita provvisti di terminale e la giunzione si effettua con bulloncino e dado di serraggio. Le giunzioni vanno isolate con una fasciatura di nastro oleato o di nastro di cotone oppure con una guaina di cartone indurito.

La fig. 63 mostra le connessioni dei poli induttori (in derivazione) e dei poli ausiliari (*). Le tavole XII e XIII mostrano le con-

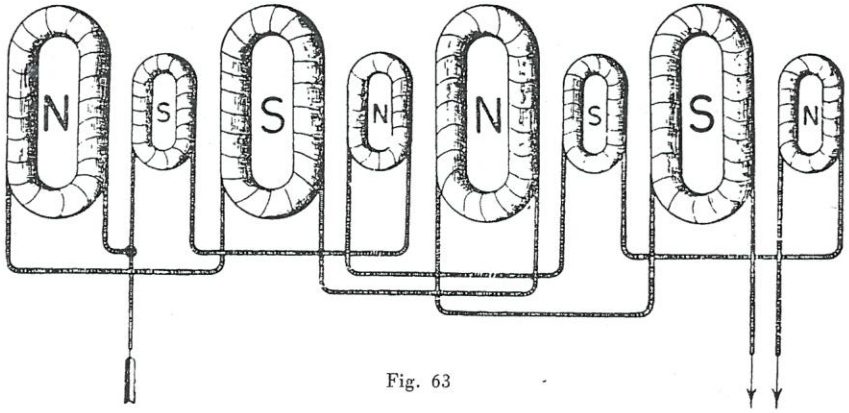


Fig. 63

nessioni delle bobine dei poli induttori e dei poli ausiliari per generatore e motore a corrente continua con eccitazione composta. Per

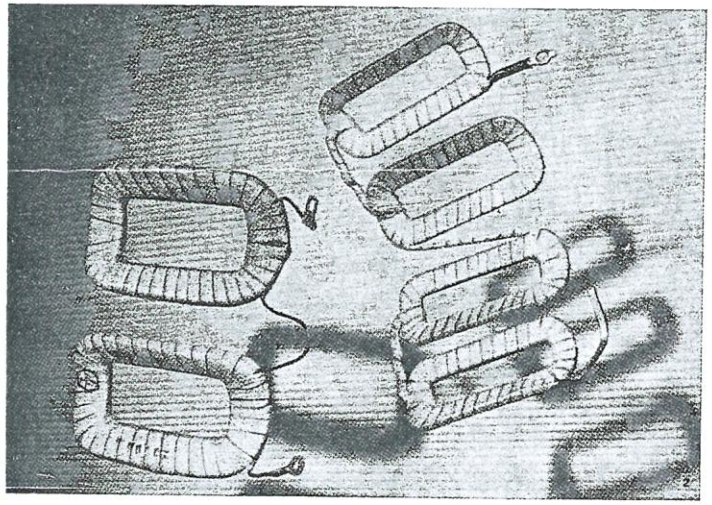


Fig. 64
Campi induttori per dinamo e motorini di avviamento per auto (da « Tecnica nuova »)

(*) Ricordiamo che la polarità dei poli ausiliari dev'essere eguale a quella del polo principale che segue, nel senso del moto, nelle dinamo; eguale a quella del polo principale che precede, nel senso del moto, nei motori (la macchina si considera guardata dal lato della puleggia, ossia dalla parte opposta al collettore).

invertire il senso di rotazione è sufficiente cambiare la disposizione delle piastrine di collegamento sulla morsettiera.

La fig. 64 mostra delle bobine induttrici per dinamo e motorini di avviamento per auto, già collegate in serie e modellate con la curvatura appropriata.

Sagome

La confezione delle bobine di campo si esegue generalmente sul tornio o su macchine bobinatrici impiegando delle sagome di legno, ma nelle piccole officine si esegue su un mulinello.

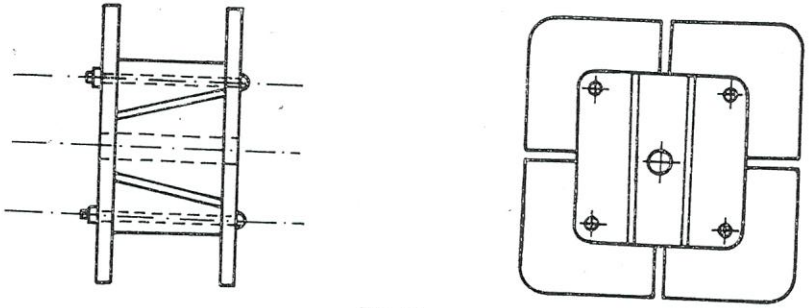


Fig. 65

Le sagome risultano composte da un'*anima*, di forma e dimensioni corrispondenti a quelle del nucleo polare, tenuto conto dell'isolamento contro massa, e da due *testate* di sostegno delle spire; queste sono provviste di fessure (fig. 65) per collocarvi i nastri per le legature della bobina.

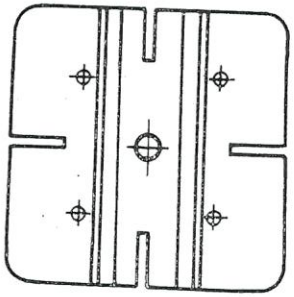
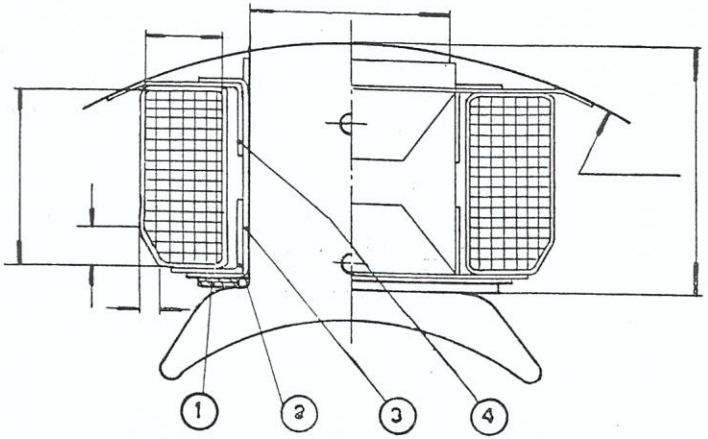
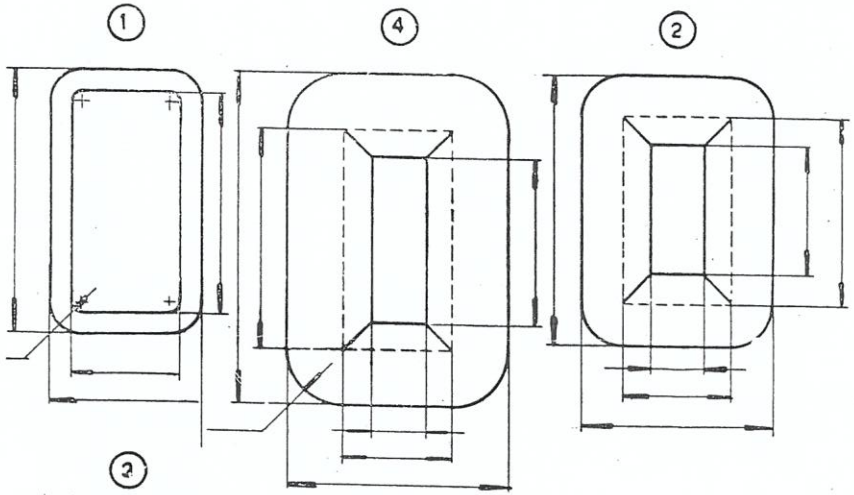


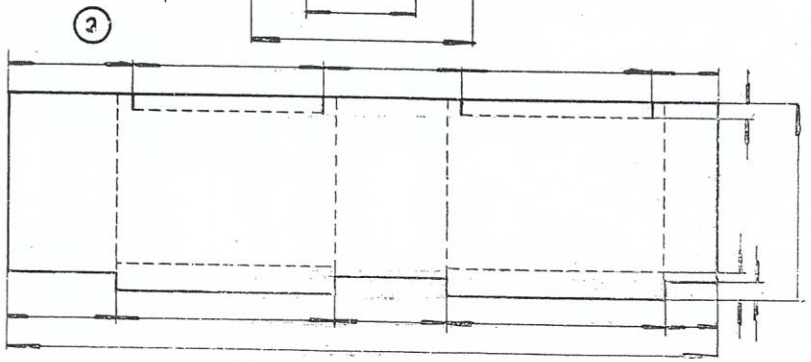
Fig. 66

Ad evitare deformazioni le testate delle sagome si rinforzano con ferri ad *U* oppure ad *L* (fig. 66) applicati normalmente alle fibre del legno.

Le anime possono essere in un sol pezzo, ma più frequentemente sono in tre pezzi scomponibili, in modo da poter togliere rapidamente e con facilità le bobine senza deformarle.

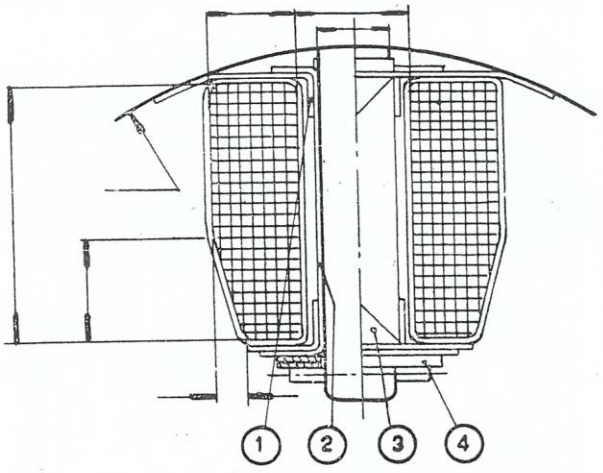


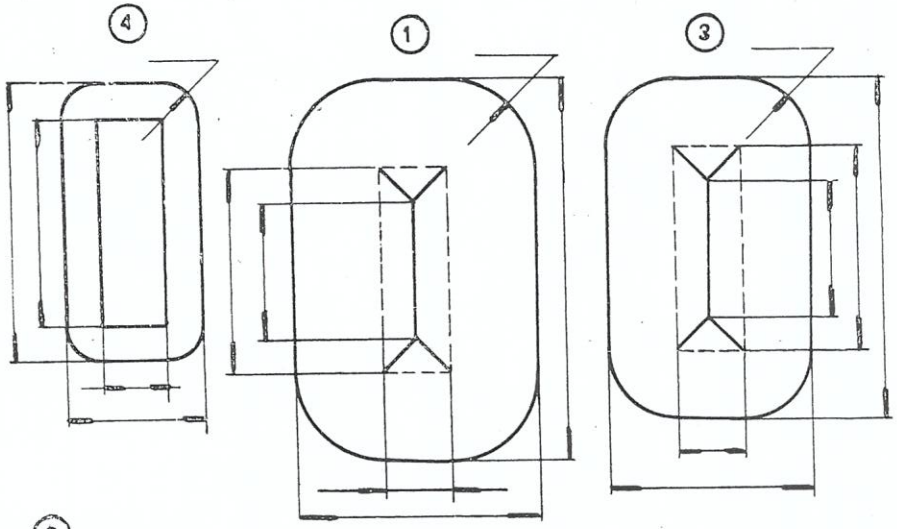


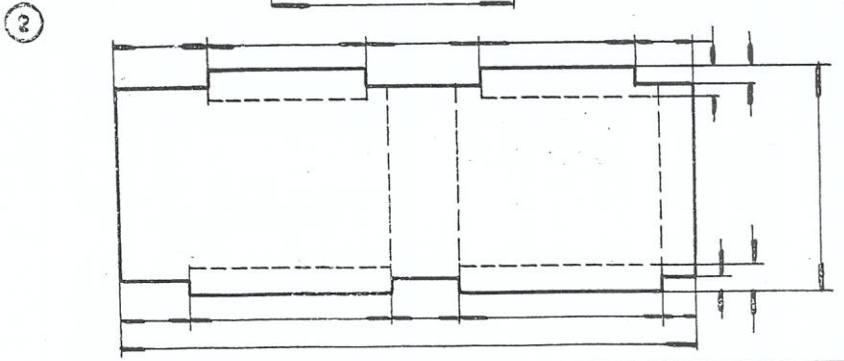


Nastrare gli spigoli interni della bobina con nastro mica a metà sovrapposto, poi tutta la bobina con nastro cotone con passo di nastratura doppio del nastro.
Qualora radialmente alla bobina risultasse del gioco, mettere due flange pos. 4, invece di una

Pos.	Denominazione		Materiale	Quantità
1	foglio isolante	dim.	isol. composto	1
2	foglio isolante	dim.	isol. composto	1
3	foglio isolante	dim.	isol. composto	1
4	flangia isolante	dim.	bakelite	1







Pos.	Denominazione		Materiale	Quantità
1	foglio isolante	dim.	isol. composto	1
2	foglio isolante	dim.	isol. composto	1
3	foglio isolante	dim.	isol. composto	1
4	flangia isolante	dim.	bakelite	1

TAVOLA XII

Collegamenti bobine di campo ed ausiliarie per dinamo a 4 poli

(Eccitazione composta)

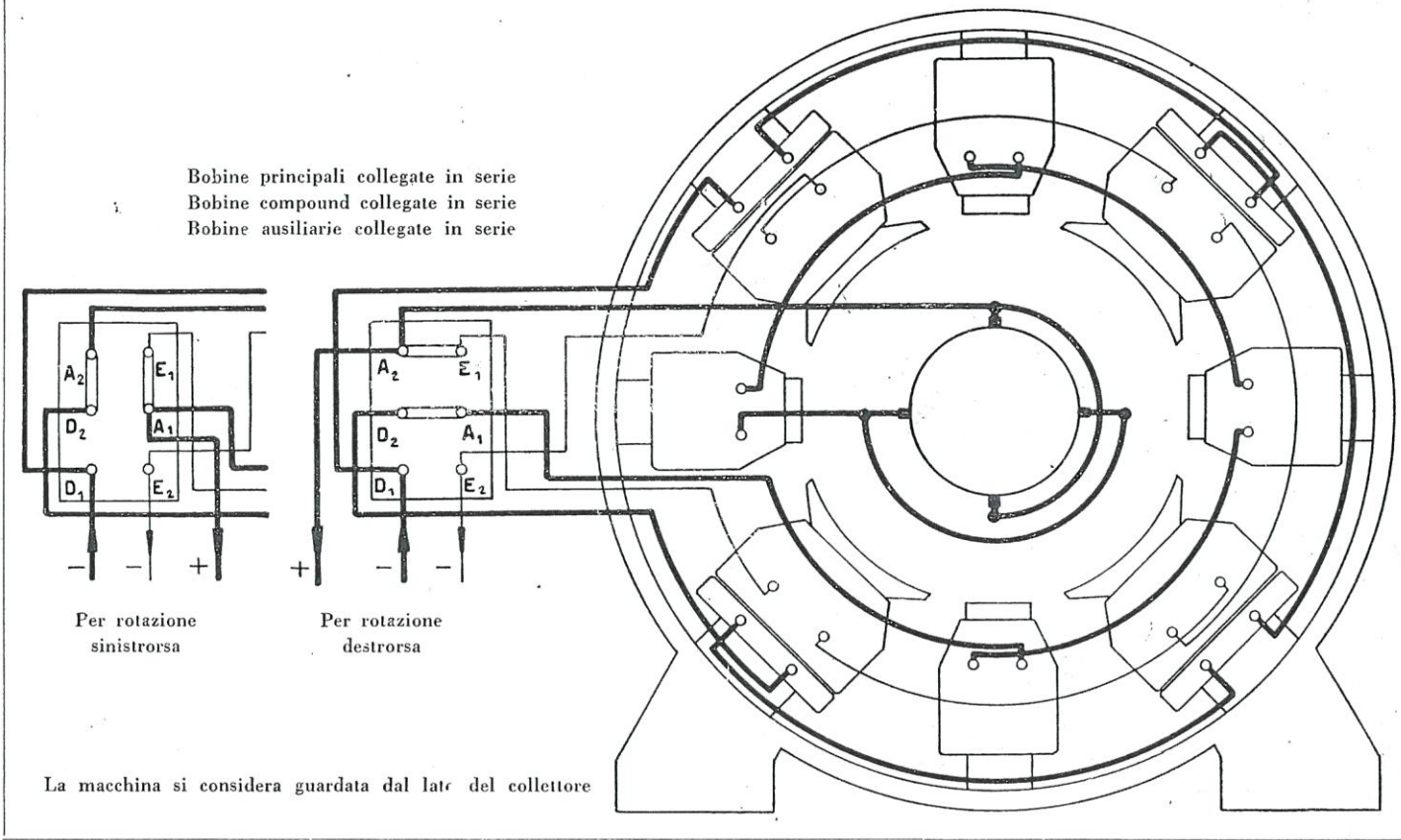
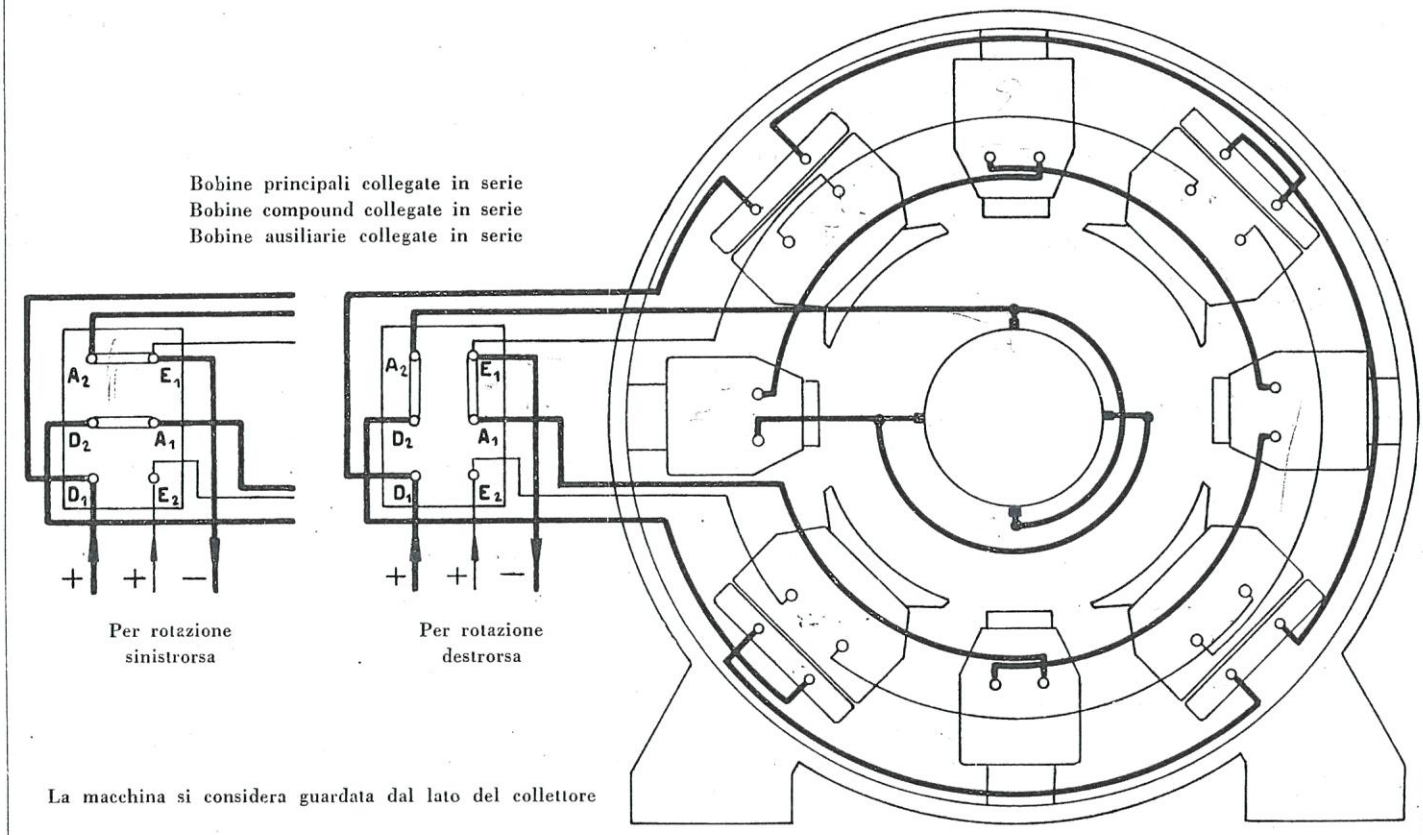


TAVOLA XIII

Collegamento bobine di campo ed ausiliarie per motore a 4 poli

(Eccitazione composta)



CAPITOLO QUINTO

AVVOLGIMENTI INDOTTI A CORRENTE CONTINUA E SCHEMI RELATIVI

Richiami e generalità

Per avvolgimento indotto s'intende il complesso dei conduttori attivi e dei relativi collegamenti frontali sistemati sul pacco lamiere dell'indotto.

È noto che l'indotto è quasi sempre del tipo *dentato* con **avvolgimento a circuito chiuso** e che i conduttori vengono disposti nelle cave, praticate nel senso della generatrice.

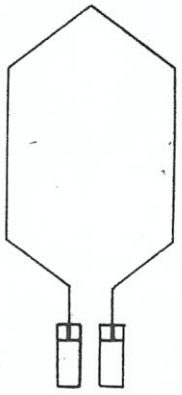


Fig. 67

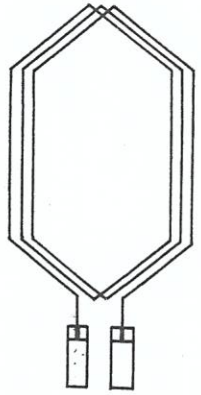


Fig. 68

Ricordiamo che gli elementi di un avvolgimento indotto sono: *la* **spira** *costituita da due lati attivi e dalle connessioni frontali* (fig. 67); *la* **sezione** o **zona** *costituita dall'insieme di più spire in serie comprese fra due lamelle del collettore* (fig. 68); il **fascio indotto** *formato dall'insieme dei conduttori di una stessa zona situati nella stessa cava; la* **matassa** *composta da una o più zone inguainate sotto la stessa fasciatura.* Le figg. 69, 70 e 71 mostrano rispettivamente delle matasse ad una, due e tre zone.

Essendo piccola, alle ordinarie velocità, la *f e m* che si genera in una spira e non potendo eccessivamente aumentare il numero delle spire per zona (in pratica la d. d. p. tra due lamelle successive del collettore non sorpassa i 16-20 (*) si rende necessario sistemare sull'indotto molte zone e collegarle opportunamente affinchè le *f e m* risultino concordanti, cioè abbiano a sommarsi.

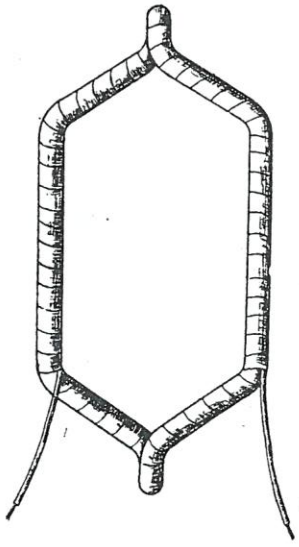


Fig. 69

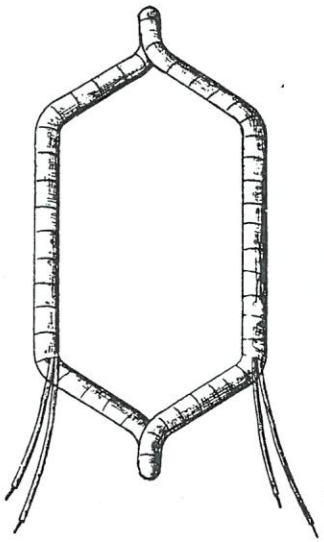


Fig. 70

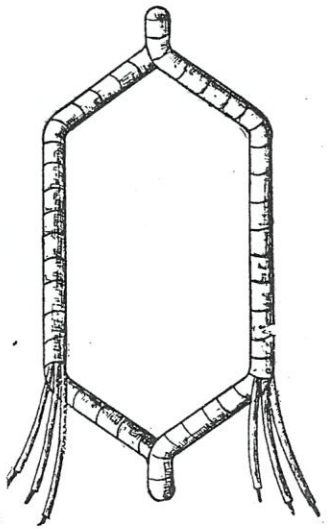


Fig. 71

La *f e m* assume il massimo valore quando *l'ampiezza delle spire risulta eguale al passo polare.*

Per **passo polare** s'intende *il rapporto tra la circonferenza dell'indotto ed il numero dei poli* oppure, più semplicemente, *il rapporto tra il numero delle cave ed il numero dei poli* (**). Indicando con τ il passo polare si ha dunque rispettivamente:

$$\tau = \frac{\pi \varnothing_e}{2p} \quad ; \quad \tau = \frac{n_c}{2p}$$

dove $\varnothing_e$ rappresenta il diametro esterno dell'indotto, n_c il numero delle cave e p il numero delle coppie polari.

(*) Nelle macchine di grande potenza provviste di *poli ausiliari* e di *circuiti compensatori* la d. d. p. tra lamelle adiacenti può arrivare sino a 30 - 35 V.

(**) Spesso riesce utile esprimere il passo polare sotto forma di *numero di cave/polo* per comodità di confronto con il passo alle cave o passo d'avvolgimento, come si vedrà fra breve.

Tipi di avvolgimenti

Consideriamo lo sviluppo della superficie dell'indotto su di un piano e, per semplicità, supponiamo che si abbia un solo fascio per cava e che ogni fascio indotto comprenda un solo conduttore. Con questo sistema di rappresentazione l'indotto risulta un rettangolo ed i fasci tanti segmenti equidistanti quante sono le cave (v. fig. 72). Inoltre rappresentiamo con delle frecce il senso delle correnti.

Talvolta, per indicare che i fasci abbracciati da poli di diversa polarità sono sede di *f e m* di senso contrario, si preferisce rappresentare i poli induttori (*) con dei rettangolini tratteggiati in senso inverso (i fasci che si trovano in un momento generico qualsiasi nella zona neutra non sono sede di *f e m*).

Per la formazione del circuito occorre, come s'è detto, collegare opportunamente i conduttori fra loro ed alle lamelle del collettore. Ad evitare di procedere per tentativi, nell'effettuare i collegamenti, si ricorre ai cosiddetti **passi.**

In un avvolgimento si distinguono *cinque passi,* che si possono definire come segue:

1.° - **passo posteriore** (y_1): *distanza, espressa in numero di fasci, tra i lati della stessa zona, cioè tra due fasci attivi collegati dalla parte opposta al collettore* (figg. 72 e 73);

2.° - **passo anteriore** (y_2): *distanza tra due fasci o lati di zone diverse collegate alla stessa lamella;*

3.° - **passo risultante** (y): *somma algebrica dei due passi componenti, cioè del passo posteriore e di quello anteriore;*

4.° - **passo avvolgimento o passo alle cave** (y_n): *distanza, espressa in numero di cave, tra i lati della stessa matassa* (v. fig. 102);

5.° - **passo lamelle o passo al collettore** (y_c): *distanza, espressa in numero di lamelle, tra due lamelle alle quali vanno saldati i capi della stessa zona* (v. fig. 102).

Numerati progressivamente i fasci e le lamelle (di solito da sinistra a destra), per la formazione del circuito si può procedere nei due modi seguenti:

1) si aggiunge al numero indicativo del fascio d'inizio x (1 nella fig. 72), scelto ad arbitrio, il passo posteriore y_1 (7); il con-

(*) L'ampiezza delle espansioni polari b_{ep} è funzione del passo polare τ; di solito $b_{ep} = (0{,}6 \div 0{,}7)\,\tau$.

duttore x (1) si collega al conduttore $(x+y_1)$ (8) dalla parte posteriore dell'indotto. I due conduttori collegati dalla parte posteriore

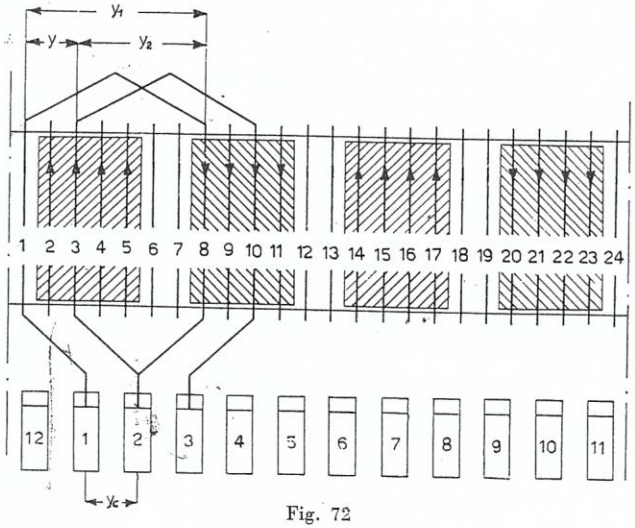


Fig. 72

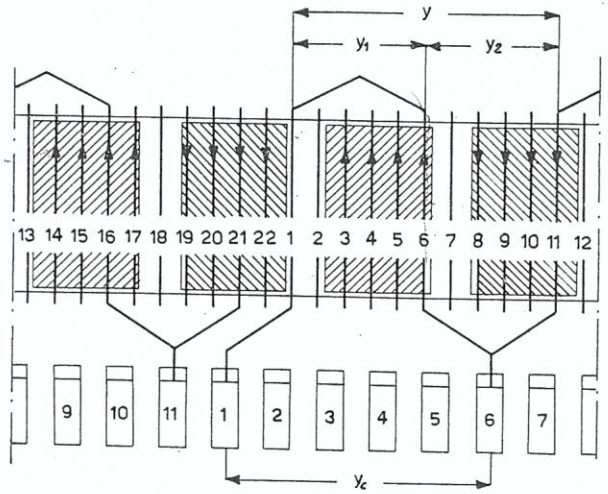


Fig. 73

formano una spira che agli effetti del collegamento fra gli elementi dell'avvolgimento e degli attacchi al collettore è perfettamente equivalente alla zona (v. figg. 67 e 68). Affinchè le *f e m* dei due lati attivi risultino sempre concordanti è necessario che i lati della spira non abbiano a trovarsi mai sotto l'azione dello stesso polo o di poli omonimi. Il conduttore $(x+y_1)$ (8) si collega con il conduttore $(x+y_1-y_2)$ (3) dalla parte del collettore ed alla stessa lamella, cioè si retrocede, pervenendo ad un conduttore che dista da quello di partenza di y $[7+(-5)=2]$. Per il successivo collegamento posteriore si aggiunge al numero precedentemente ottenuto $(x+y_1-y_2)$ (3) ancora y_1 (7) e per il collegamento anteriore si sottrae y_2 (5) e così di seguito, fino ad esaurire tutti i conduttori e tutte le lamelle. In tal modo si ritorna all'altro estremo del conduttore d'inizio x (1) dopo avere percorso tutti i conduttori (una sola volta);

2) si aggiunge al numero indicativo del fascio d'inizio x (1 nella fig. 73) il passo posteriore y_1 (5), cioè il conduttore x (1) si collega posteriormente al conduttore $(x+y_1)$ (6) (*). Anteriormente il conduttore $(x+y_1)$ (6) si collega con il conduttore $(x+y_1+y_2)$ (11) (**) ed alla stessa lamella e così di seguito.

Col primo sistema si procede in un senso dalla parte posteriore ed in senso contrario dalla parte anteriore; col secondo sistema si procede sempre nello stesso senso.

L'avvolgimento eseguito col primo sistema dicesi *embricato*, perchè nello sviluppo su un piano ogni spira si sovrappone parzialmente alla precedente, similmente agli embrici di copertura dei tetti (v. fig. 72); col secondo sistema l'avvolgimento dicesi *ondulato*, perchè le spire si susseguono dall'uno all'altro polo assumendo un andamento ad *onda* (v. fig. 73).

L'avvolgimento si può rappresentare pure in proiezione su di un piano perpendicolare all'asse dell'indotto, visto dalla parte del collettore. Con questo schema, che chiameremo **frontale** o **circolare**, basta rappresentare il collettore, il contorno dell'indotto con i relativi fasci, le connessioni anteriori e posteriori ed i poli, per avere a colpo d'occhio l'andamento delle connessioni ed eventualmente il senso delle correnti. Le figg. 74 e 75 mostrano rispettivamente un avvolgimento embricato ed uno ondulato.

(*) Il passo posteriore y_1 quindi è sempre rappresentato dal numero che, aggiunto al numero d'ordine del fascio considerato, porta, attraverso alla connessione posteriore, al numero d'ordine del fascio collegato direttamente al primo.

(**) Si perviene così ad un conduttore o fascio che dista da quello di partenza di y (v. fig. 73).

Per la formazione del circuito si procede allo stesso modo dello schema rettangolare.

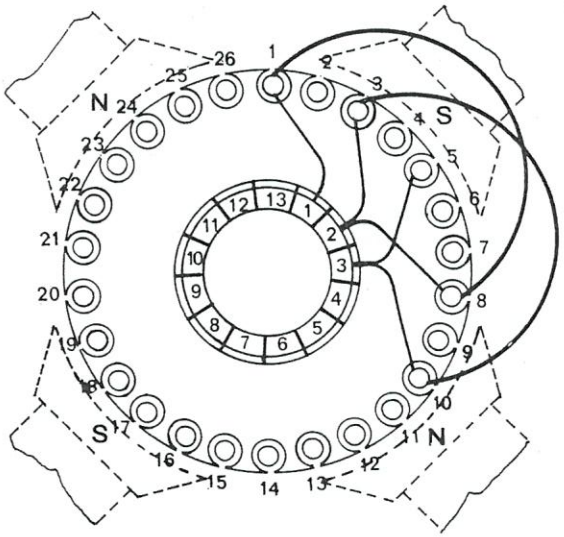


Fig. 74

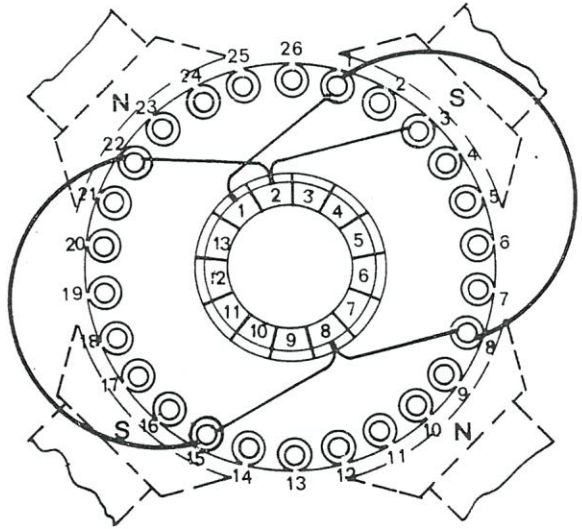


Fig. 75

Gli avvolgimenti embricati si distinguono nei seguenti due tipi:

a) **embricato o parallelo semplice;**
b) **embricato o parallelo multiplo.**

Anche gli avvolgimenti ondulati si distinguono in due tipi:

a) **ondulato semplice o multipolare in serie;**
b) **ondulato serie-parallelo.**

Gli avvolgimenti possono essere **progressivi** o **regressivi**. L'avvolgimento embricato dicesi progressivo quando il *passo posteriore* è maggiore di quello *anteriore* e quindi il *passo risultante* è *positivo*, cioè $y_1 > y_2$ (v. figg. 72 e 74). Si dice regressivo quando è il *passo anteriore* maggiore di quello *posteriore* e quindi il *passo risultante* è *negativo*, *cioè* $y_1 < y_2$ (fig. 76). Nell'avvolgimento embricato semplice progressivo partendo da una lamella e seguendo il circuito si perviene alla lamella successiva, dopo avere percorso una sola zona, in quello regressivo si perviene alla lamella precedente.

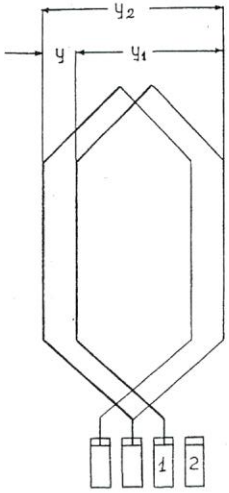


Fig. 76

L'avvolgimento ondulato semplice dicesi progressivo quando, dopo avere fatto un giro completo attorno all'indotto (seguendo il circuito), si perviene alla lamella successiva a quella di partenza (fig. 73 e 75), regressivo quando si perviene invece a quella precedente (fig. 78).

Un avvolgimento regressivo, a parità di tutte le altre condizioni costruttive e di funzionamento, sviluppa *f e m* di senso opposto di quello progressivo, cioè la polarità delle spazzole risulta invertita (v. figg. 86 e 89).

Elementi di calcolo dei passi

Per il calcolo dei passi dell'avvolgimento y_1, y_2, y e y_c occorre conoscere i seguenti dati:

n_c = *numero cave;*
n_l = *numero lamelle del collettore;*
2p = *numero poli;*
2a = *numero vie dell'avvolgimento;*
F = *numero fasci o lati di zona.*

Il numero delle vie 2a, che va fissato in base alla tensione ed alla corrente (*), *sta ad indicare il numero dei rami o circuiti (interni) di avvolgimento che risultano collegati in parallelo dalle spazzole* (**).

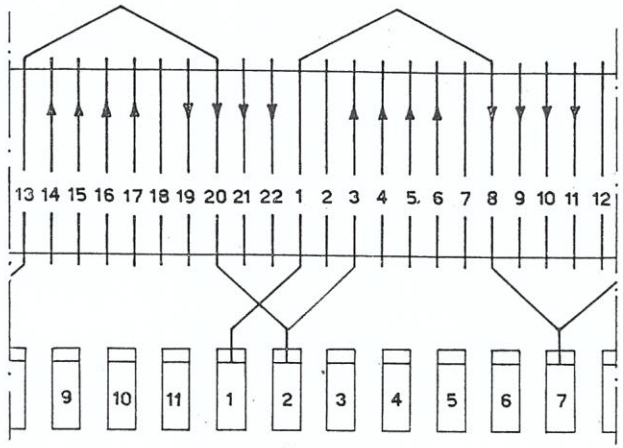


Fig. 77

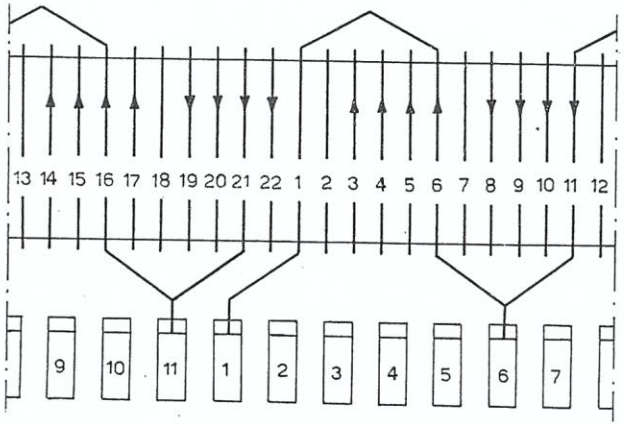


Fig. 78

(*) La corrente totale o di linea è data dal prodotto della corrente che percorre una via per il numero delle vie. In genere, per una data macchina, aumentando il numero delle vie aumenta la corrente totale e diminuisce la tensione ai morsetti e viceversa.

(**) Il numero delle vie interne è sempre pari.

Si chiama via la porzione di avvolgimento che si percorre, seguendo il circuito, da una spazzola ad un'altra; *ciascuna via è quindi composta dall'insieme dei conduttori, collegati in serie, compresi tra due spazzole di diversa polarità.*

Nell'embricato semplice e nel multipolare in serie il numero delle vie è uguale al numero delle spazzole giacchè la corrente che entra da una spazzola negativa si suddivide in due rami seguendo vie opposte.

Un avvolgimento a corrente continua, essendo sempre del tipo chiuso, non può avere meno di due vie interne; infatti perchè non abbiano a prodursi delle correnti di circolazione occorre che l'avvolgimento risulti composto almeno da due gruppi di spire le cui *f e m* si facciano equilibrio.

Il numero dei fasci effettivi componenti l'avvolgimento è sempre doppio del numero delle lamelle del collettore, cioè $F = 2n_l$.

Affinchè l'avvolgimento risulti chiuso, dopo aver collegato tutti i fasci (una sola volta), *è necessario che i* **passi elementari o componenti y_1 e y_2 siano dispari.**

Le formule per il calcolo dei *passi componenti* y_1 e y_2, del *passo risultante* y e del *passo al collettore* y_c variano in dipendenza del tipo di avvolgimento.

Avvolgimenti embricati

Il **passo risultante** y *è la differenza tra i due passi elementari o componenti* y_1 *e* y_2 (*), *cioè tra il passo posteriore e quello anteriore.*

Negli avvolgimenti embricati il valore di y risulta eguale al rapporto tra il numero delle vie ed il numero delle coppie polari, ossia:

$$y = y_1 - y_2 = \pm \frac{2a}{p}$$

Un avvolgimento embricato o parallelo si dice **semplice** *quando il numero delle vie è eguale al numero dei poli, cioè* **2a = 2p;** *si dice* **multiplo** *quando il numero delle vie è multiplo del numero dei poli,* ossia **2a = k.2p** (dove *k* rappresenta un numero intero maggiore di 1).

(*) Negli avvolgimenti embricati il passo anteriore y_2 è sempre negativo.

I passi elementari y_1 e y_2 ed il passo al collettore y_c si determinano con le formule di *Arnold*:

$$y_1\ (*) = \frac{F}{2p} \pm 1 = \frac{2n_l}{2p} \pm 1 = \frac{n_l}{p} \pm 1\ (**)$$

$$y_2 = y_1 - y = y_1 \mp \frac{2a}{p} \quad ; \quad y_c = \frac{y}{2} = \pm \frac{a}{p}$$

Qualora $\frac{F}{2p}$ risulti dispari o frazionario, per il calcolo del passo y_1 si adotta la seguente formula:

$$y_1 = \frac{F - b}{2p} \pm 1 = \frac{2n_l - b}{2p} \pm 1$$

Il valore b si sceglie ad arbitrio però è buona norma assegnare ad esso il valore più piccolo possibile, compatibilmente con la condizione che il valore di y_1 risulti intero e dispari (***).

Nell'avvolgimento parallelo semplice il passo risultante y ed il passo al collettore y_c assumono evidentemente i valori:

$$y = \pm 2 \quad \text{e} \quad y_c = \pm 1$$

L'avvolgimento parallelo multiplo è poco usato; talvolta si usa il *parallelo doppio*, cioè con numero di vie doppio del numero dei poli ($2a = 2 \cdot 2p$), ed in tal caso si ha:

$$y = \pm 4 \quad \text{e} \quad y_c = \pm 2$$

Se il numero delle zone, ossia il numero delle lamelle ($F/2 = n_l$) *e la metà del passo risultante* ($y/2$), *cioè il passo al collettore* (y_c), *sono primi fra loro, l'avvolgimento risulta costituito da un solo circuito* (****) *e viene detto comunemente* **parallelo multiplo**; se n_l ed y_c

(*) Se ogni cava contenesse un solo fascio o lato di zona i passi y_1 e y_2 assumerebbero *valori assai prossimi al passo polare*; infatti in tal caso $n_l = \frac{n_c}{2}$ e quindi:

$$\tau = \frac{n_c}{2p} = \frac{n_l}{p}$$

(**) Col segno + si ha l'avvolgimento progressivo, col segno — il regressivo.

(***) Al crescere di b la zona va diminuendo di ampiezza, cioè abbraccia un arco via via minore del passo polare, e quindi l'avvolgimento diviene a passo raccorciato. Negli avvolgimenti a corrente continua il raccorciamento del passo è sempre di piccola entità e quindi non influisce in modo apprezzabile sul valore della *f e m* indotta.

(****) Quando $n_l = F/2$ e $y_c = y/2$ sono primi fra loro, l'avvolgimento risulta un inviluppo semplice, cioè composto con un filo unico che si chiude su se stesso.

ammettono un divisore comune r, *diverso dall'unità, l'avvolgimento risulta costituito da* r (*) *circuiti distinti, collegati in parallelo dalle spazzole, e viene detto* **parallelo a circuiti multipli.**

Da quanto precede risulta che negli avvolgimenti embricati il numero delle vie è eguale o multiplo del numero dei poli, ma il numero delle spazzole è sempre eguale al numero dei poli.

Negli embricati multipli ogni spazzola deve avere larghezza sufficiente per unire gli r circuiti.

Agli estremi di ogni via la tensione ha lo stesso valore di quello esistente ai morsetti della macchina, essendo i vari circuiti collegati in parallelo dalle spazzole. Queste risultano sempre disposte simmetricamente sul collettore e la distanza tra due file successive è sempre eguale al passo polare τ.

Nell'avvolgimento embricato semplice la corrente i_v che percorre ciascuna via o circuito interno è data dal rapporto tra la corrente totale o di linea I ed il numero dei poli, cioè:

$$i_v = \frac{I}{2a} = \frac{I}{2p}$$

mentre nel parallelo doppio si ha:

$$i_v = \frac{I}{2 \cdot 2p}$$

Gli avvolgimenti embricati s'impiegano per macchine a bassa tensione ed a forte intensità.

In questi avvolgimenti ha notevole importanza la perfetta simmetria dei diversi circuiti in parallelo. La condizione di simmetria è che il rapporto n_c/p sia un numero intero.

Avvolgimenti ondulati

Il **passo risultante** y *è la somma dei passi elementari* y_1 e y_2 (posteriore ed anteriore).

Un avvolgimento ondulato si dice **semplice** *o* **multipolare in serie** *quando il numero delle vie è eguale a 2, cioè* 2a = 2, *mentre il numero delle coppie polari* p *può avere un valore qual-*

(*) Il numero dei circuiti distinti r è eguale al massimo comune divisore di n_l e y_c.

siasi (*), *ma sempre maggiore di* 1; *si dice* serie-parallelo *quando il numero delle vie è maggiore di* 2, *mentre il numero dei poli può essere maggiore, eguale o minore del numero delle vie, ossia* $2a > 2$ *e* $2p \gtreqless 2a$ (**).

Il passo risultante y ed il passo al collettore y_c si determinano con le formule di *Arnold*:

$$y = y_1 + y_2 = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{2n_l \pm 2a}{p}$$

$$y_c = \frac{y}{2} = \frac{F \pm 2a}{2p} = \frac{2n_l \pm 2a}{2p} = \frac{n_l \pm a}{p}$$

I passi y_1 e y_2 *si possono assumere di valore eguale o poco diverso,* purchè il valore di y_1 consenta la pratica esecuzione delle *matasse* (***).

Nell'avvolgimento multipolare in serie, essendo $2a=2$, le formule precedenti risultano semplificate come segue:

$$y = y_1 + y_2 = \frac{F \pm 2}{p} = \frac{2n_l \pm 2}{p}$$

$$y_c = \frac{y}{2} = \frac{F \pm 2}{2p} = \frac{2n_l \pm 2}{2p} = \frac{n_l \pm 1}{p}$$

Il numero delle lamelle n_1 *ed il passo lamelle* y_c *devono essere primi fra loro.*

Negli avvolgimenti serie-parallelo con numero di vie eguali al numero dei poli ($2a = 2p$) le formule di calcolo dei passi y e y_c risultano:

$$y = y_1 + y_2 = \frac{F}{p} \pm 2 = \frac{2n_l}{p} \pm 2 \quad ; \quad y_c = \frac{y}{2} = \frac{F}{2p} \pm 1 = \frac{n_l}{p} \pm 1$$

Se n_l *e* y_c *sono primi fra loro l'avvolgimento risulta costituito da un solo circuito, mentre se ammettono un m.c.d.* r *diverso dal-*

(*) L'avvolgimento ondulato semplice potrebbe eseguirsi anche per $p = 1$, ma in pratica non si usa. Per $p = 1$ l'avvolgimento ondulato risulterebbe perfettamente equivalente all'embricato semplice bipolare.

(**) L'ondulato serie-parallelo viene talvolta distinto in *semplice* ($2a > 2$ *e* $2p > 2a$) e *multiplo* ($2a \leqq 2p$). L'avvolgimento serie-parallelo semplice non si usa quasi mai ed il serie-parallelo multiplo assai raramente.

(***) Negli avvolgimenti con 2 matasse/cava e 2 o più zone/matassa il passo alle cave, che determina l'ampiezza delle matasse, dipende dal valore di y_1 (vedi « *Passo alle cave* »).

l'unità, l'avvolgimento risulta costituito da r *circuiti distinti, collegati in parallelo dalle spazzole;* queste devono avere larghezza sufficiente per unire gli r circuiti.

Condizioni di simmetria per l'avvolgimento serie-parallelo sono: p/a e n_c/p numeri interi.

Nell'avvolgimento ondulato semplice si hanno due sole vie e quindi il numero delle file di spazzole può essere ridotto a 2 (disposte a 180° elettrici); questo sistema è di uso frequentissimo nelle macchine di piccola potenza. Però quando la superficie delle spazzole risulta grande (forti intensità di corrente) si adotta, come negli embricati, un numero di file di spazzole eguale al numero dei poli (*). In questo caso le spazzole di eguale polarità risultano elettricamente vicine, separate da una zona in posizione neutra.

Quindi nelle macchine multipolari con avvolgimento ondulato semplice o serie, il numero dei conduttori appartenenti ad ogni via risulta multiplo di quello dell'embricato semplice con eguale numero di poli. Ciascun conduttore è percorso da metà della corrente totale, cioè:

$$i_v = \frac{I}{2}$$

Pertanto questo tipo di avvolgimento è adatto per macchine a media intensità di corrente a media ed alta tensione. L'avvolgimento multipolare in serie è molto in uso, però per non rendere la commutazione eccessivamente difficile bisogna comporre le zone col minore numero possibile di spire; esso si presta bene per avvolgimenti a sbarra.

Osservazioni

Come un avvolgimento embricato o parallelo multiplo risulta sempre costituito da due o più avvolgimenti embricati semplici, riuniti in parallelo dalle spazzole, così qualsiasi avvolgimento ondulato serie-parallelo risulta costituito da due o più avvolgimenti ondulati semplici o multipolari in serie. Infatti negli avvolgimenti serie-parallelo potrebbero essere sufficienti, come negli avvolgimenti multipolari

(*) Quando s'impiegano $2p$ file di spazzole, la corrente può ripartirsi in misura ineguale fra le p file di spazzole della stessa polarità, con pericolo di sovraccarico per qualcuna di esse, e pertanto in questo caso la superficie delle spazzole deve essere calcolata in base ad una densità di corrente ridotta.

in serie, due file di spazzole sul collettore di larghezza minima pari a quella di a lamelle, in modo cioè da risultare in contatto con almeno una lamella di ciascun circuito. Di solito però in questi avvolgimenti si adottano tante file di spazzole quanti sono i poli (*).

L'avvolgimento serie-parallelo con $2a = 2p$ può sostituire l'avvolgimento embricato semplice, però il numero dei fasci o delle sbarre deve essere tale da soddisfare la relazione:

$$F = 2\,n_l = p\,(y_1 + y_n) \mp 2$$

Quindi si ha una minore elasticità rispetto all'avvolgimento embricato semplice, il quale può essere eseguito praticamente con qualsiasi numero di fasci.

L'avvolgimento serie-parallelo con $2a < 2p$ si adotta quando l'intensità di corrente per ciascuna via d'avvolgimento embricato risulterebbe troppo piccola e troppo grande per un avvolgimento in serie. L'avvolgimento serie-parallelo con $2a > 2p$ potrebbe adottarsi in luogo dell'embricato multiplo, perchè risulta meno sensibile alle dissimmetrie di flusso (v. « *Connessioni equipotenziali* »). Comunque, gli avvolgimenti serie-parallelo e l'embricato multiplo si usano poco, anzi per le piccole potenze, per le quali è richiesta comunemente l'opera del riavvolgitore, si usa esclusivamente l'embricato semplice per le macchine a 2 poli e l'avvolgimento multipolare in serie in tutti gli altri casi.

Passo alle cave

L'avvolgimento indotto delle macchine a corrente continua si fa sempre a doppio strato, cioè a 2 matasse/cava.

Le matasse composte da una o più zone (figg. 79, 80 e 81) vanno montate a strati sovrapposti, in modo che ogni matassa abbia un lato situato sotto (fondo cava) e l'altro sopra (verso il traferro).

Negli avvolgimenti con matasse composte da due o più zone (4, 6 oppure 8 (**) elementi per cava) *il passo posteriore* y_1 *deve avere un valore tale da consentire la confezione ed il montaggio delle matasse*. Infatti potrebbe capitare che uno dei lati della matassa risultasse suddiviso in due cave e ciò, pur essendo teoricamente

(*) Ciascuna fila di spazzole deve sempre coprire almeno a lamelle (v. fig. 109).
(**) Talvolta, specialmente per motori di trazione, si usano avvolgimenti con 10 fasci per cava, cioè 2 matasse/cava e 5 zone/matassa.

possibile, comporterebbe notevoli difficoltà pratiche negli avvolgimenti a matasse (*).

Il *passo alle cave* y_n serve precisamente ad accertarsi a priori se il passo y_1 soddisfa alla condizione suddetta. Il *passo alle cave*, detto normalmente **passo d'avvolgimento**, è dato dalla formula:

$$y_n = \frac{y_1 - 1}{m}$$

dove m *indica il numero di elementi o fasci per cava.*

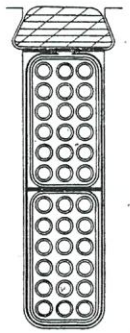


Fig. 79

2 matasse/cava
1 zona/matassa
(2 elementi per cava)

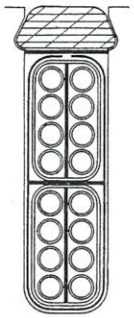


Fig. 80

2 matasse/cava
2 zone/matassa
(4 elementi per cava)

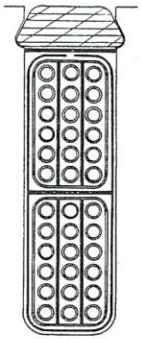


Fig. 81

2 matasse/cava
3 zone/matassa
(6 elementi per cava)

Il passo y_n *deve risultare espresso da un numero intero. Nel caso che questa condizione non risultasse soddisfatta si cambia il valore di* y_1 *e conseguentemente anche di* y_2.

Il passo alle cave o passo d'avvolgimento y_n *sta ad indicare che un lato della matassa va disposto in una cava qualsiasi* x *e l'altro lato nella cava* $x + y_n$. *Il passo d'avvolgimento* y_n, *che costituisce l'ampiezza delle matasse, deve risultare sempre di valore assai prossimo al passo polare.*

Negli avvolgimenti bipolari preformati il passo alle cave si fa sempre minore del passo polare τ per rendere più agevole il montaggio delle matasse, mentre in quelli diretti si può sempre adottare, naturalmente, il passo diametrale ($y_n = \tau$).

(*) Solo per gli *avvolgimenti diretti* si ricorre talvolta a due ampiezze diverse per le zone, ossia a due passi, perchè ciò non comporta alcuna difficoltà di esecuzione (v. tavole XIV e XXIV).

Essendo il numero totale degli elementi o fasci F di un avvolgimento indotto normale eguale al prodotto dei fasci/cava m per il numero delle cave n_c, si ha:

$$F = 2\,n_l = m \,.\, n_c$$

Tra n_l, n_c ed m sussistono quindi le relazioni:

$$n_c = \frac{2\,n_l}{m} \quad ; \quad n_l = \frac{m \,.\, n_c}{2} \quad ; \quad m = \frac{2\,n_l}{n_c}$$

Da queste relazioni si ricava la seguente tabella:

Relazione fra numero cave e numero lamelle

TABELLA XV

Elementi o fasci per cava: m =	1	2	4	6	8	10
Numero delle lamelle: n_l =	$\frac{n_c}{2}$	n_c	$2\,n_c$	$3\,n_c$	$4\,n_c$	$5\,n_c$
Numero delle cave: n_c =	$2\,n_l$	n_l	$\frac{n_l}{2}$	$\frac{n_l}{3}$	$\frac{n_l}{4}$	$\frac{n_l}{5}$

Nella tabella XVI sono raccolte le formule di calcolo dei passi di avvolgimento.

Avvolgimenti con zona inutilizzata e con zona inattiva

Negli avvolgimenti multipolari in serie il *passo al collettore* o *passo lamelle* y_c è dato, come s'è detto, dal rapporto:

$$y_c = \frac{n_l \pm 1}{p} \quad \text{cioè} \quad p \cdot y_c = n_l \pm 1$$

Quindi nelle macchine tetrapolari o con numero pari di coppie polari (p pari), dovendo y_c risultare intero, il numero delle lamelle n_l è sempre dispari (*). Pertanto negli avvolgimenti a *2 matasse/cava* ed *1 zona/matassa* ($m = 2$), essendo il numero delle cave

(*) Conseguentemente anche il numero delle zone attive dev'essere dispari.

eguale a quello delle lamelle, cioè $n_c = n_l$, il numero delle cave è sempre dispari. Con *2 matasse/cava* e *2 zone/matassa* ($m=4$) tra numero cave e numero lamelle dovrà intercorrere la relazione:

$$n_c = \frac{n_l \pm 1}{2}$$

anzichè $n_c = \frac{n_l}{2}$ perchè il numero delle cave risulterebbe frazionario.

Se il numero delle cave n_c è uguale a $\frac{n_l+1}{2}$ il numero delle lamelle risulta di una unità minore del numero delle zone; in tal caso una zona (qualsiasi) non può essere collegata al collettore ed è detta **zona inutilizzata o morta** (v. tavole XXI e XXIV). *Questa zona di solito si fa identica a tutte le altre* (*), *sia per ragioni costruttive che per ragioni meccaniche, ed i suoi capi vengono isolati perchè essa è sede di f e m indotta durante il funzionamento (non utilizzata).*

Un caso assai diverso si presenta quando $n_c = \frac{n_l - 1}{2}$ (v. tav. XXII a fine capitolo), *cioè quando il numero delle zone risulta minore di una unità del numero delle lamelle. Affinchè l'avvolgimento risulti chiuso è necessario collegare, con breve tratto di conduttore, le due lamelle alle quali fa capo un solo estremo di zona anzichè due. Questa* **connessione** *è detta* **zona inattiva** *perchè non è sede di f e m indotta, pur avendo le stesse funzioni di tutte le altre zone.*

Abbiamo considerato il caso particolare di macchine tetrapolari (**) con 2 zone/matassa $\left(\frac{m}{2} = 2\right)$ perchè esso si presenta in pratica molto più frequente di tutti gli altri, però non sarà superfluo trattare il problema in generale.

Dalla relazione:

$$n_c = \frac{2\,n_l}{m} = \frac{n_l}{\frac{m}{2}}$$

si vede che il numero delle lamelle e quindi il numero totale delle zone deve essere multiplo del numero delle zone/cava $\left(\frac{m}{2}\right)$; ma

(*) La zona morta potrebbe essere sostituita con due sbarrette di legno o di fibra.
(**) Le macchine a media tensione di piccola e media potenza sono prevalentemente tetrapolari.

FORMULE DI CALCOLO DEI PASSI DI AVVOLGIMENTO

TABELLA XVI

TIPO D'AVVOLGIMENTO	CARATTERISTICHE: Numero vie $2a$	CARATTERISTICHE: Corrente per via i_v	Passo risultante $y = y_1 \mp y_2$	Passi componenti (posteriore ed anteriore) y_1, y_2	Passo al collettore o passo lamelle y_c	Passo alle cave o passo avvolgim. y_n	OSSERVAZIONI
Embricato o parallelo semplice	$2a = 2p$	$i_v = \frac{I}{2p}$	$y = y_1 - y_2 = \pm 2$	$y_1 = \frac{F}{2p} = \frac{n_l}{p} \pm 1$ oppure $y_1 = \frac{F-b}{2p} = \frac{2n_l - b}{2p} \pm 1$ $y_2 = y_1 \mp 2$	$y_c = \frac{y}{2} = \pm 1$	$y_n = \frac{y_1 - 1}{m}$	y_1 e y_2 dispari. b = numero intero scelto in modo che y_1 risulti intero e dispari. Condizione di simmetria dell'avvolgimento: n_c/a = numero intero. Connessioni equipotenziali.
Embricato o parallelo multiplo	$2a = k \cdot 2p$	$i_v = \frac{I}{k \cdot 2p}$	$y = y_1 - y_2 = \pm \frac{2a}{p}$	$y_1 = \frac{F}{2p} = \frac{n_l}{p} \pm 1$ oppure $y_1 = \frac{F-b}{2p} = \frac{2n_l - b}{2p} \pm 1$ $y_2 = y_1 \mp \frac{2a}{p}$	$y_c = \frac{y}{2} = \pm \frac{a}{p}$	c. s.	y_1 e y_2 dispari. b = c. s. Condizioni di simmetria: c. s. Connessioni equipotenziali. Quando n_l e y_c sono primi fra loro si ha un solo circuito, in caso diverso si ha un numero di circuiti distinti eguale al massimo comune divisore di n_l e y_c.
Ondulato semplice o multipolare in serie	$2a = 2$ $2p > 2$	$i_v = \frac{I}{2}$	$y = y_1 + y_2 = \frac{F \pm 2}{p} = \frac{2n_l \pm 2}{p}$	preferibilmente: $y_1 = y_2$ oppure $y_1 - y_2 = \pm 2$ (*)	$y_c = \frac{y}{2} = \frac{n_l \pm 1}{p}$	c. s.	y_1 e y_2 dispari. n_l e y_c primi fra loro. Se $m/2$ e p non sono primi fra loro si avrà la zona morta oppure la zona inattiva. Questo avvolgimento si applica nelle macchine multipolari.
Ondulato serie-parallelo	$2a > 2$ $2p \gtrless 2a$	$i_v = \frac{I}{2a}$	$y = y_1 + y_2 = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{2n_l \pm 2a}{p}$	preferibilmente: $y_1 = y_2$ oppure $y_1 - y_2 = \pm 2$ (*)	$y_c = \frac{y}{2} = \frac{n_l \pm a}{p}$	c. s.	y_1 e y_2 dispari. Condizioni di simmetria: p/a, n_c/a numeri interi. Connessioni equipotenziali. Quando n_l e y_c sono primi fra loro si ha un solo circuito, in caso diverso si ha un numero di circuiti distinti eguale al massimo comune divisore di n_l e y_c. Se $m/2$ e p/a non sono primi fra loro si avrà la zona morta oppure la zona inattiva.

(*) Qualche volta può rendersi necessario scegliere la differenza $y_1 - y_2 = \pm 4$, ed eccezionalmente anche eguale a 6, affinchè il valore di y_1 sia tale che il passo alle cave y_n risulti intero.

dovendo negli avvolgimenti multipolari in serie sussistere la relazione:

$$p \cdot y_c = n_l \pm 1$$

ne consegue che n_l dovrà essere primo con p ed y_c e quindi anche $m/2$ dovrà essere primo con p ed y_c.

Dalla condizione $m/2$ e p primi fra loro si ottengono i *valori possibili di* $m/2$, in dipendenza del numero delle coppie polari, che permettono di realizzare un avvolgimento multipolare in serie senza zona morta o inattiva.

Valori di m/2 che consentono di realizzare un avvolgimento multipolare in serie senza zona morta o inattiva

TABELLA XVII

Coppie polari: $p =$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zone/cava: $\frac{m}{2} =$	1 3	1 2 4	1 3	1 2 3 4	1	1 2 3 4	1 3	1 2 4	1 3

Per valori di $m/2$ diversi da quelli riportati nella tabella XVII l'esecuzione dell'avvolgimento non sarebbe possibile se non si sopprimesse una zona (soluzione preferita all'aggiunta di una zona). Il numero delle zone, essendo diminuito di una unità (con zona inattiva verrebbe aumentato di una unità), diviene primo con p e quindi viene ad essere soddisfatta la condizione che rende possibile l'avvolgimento.

Da quanto precede deriva la seguente regola:

La zona morta, o la zona inattiva, è inevitabile negli avvolgimenti multipolari in serie (*) *quando il numero delle zone per matassa o per cava* ($m/2$) (**) *ed il numero delle coppie polari* p **non sono primi fra loro.**

(*) La zona morta capita anche negli avvolgimenti serie-parallelo quando m/2 e p/a non sono primi fra loro.

(**) $\frac{m}{2}$, cioè la metà dei fasci per cava, rappresenta negli avvolgimenti a 2 matasse/cava il numero di zone/matassa.

Il passo risultante y *si calcola sempre con la solita formula:*

$$y = \frac{2 n_l \pm 2}{p}$$

Qualora però si voglia determinare il valore di y in base al numero dei fasci occorre considerare un numero di fasci maggiorato di 2 unità rispetto a quello reale nel caso di avvolgimento con zona inattiva e diminuito di 2 unità nel caso di avvolgimento con zona morta; le formule rispettive sono quindi:

$$y = \frac{(F + 2) \pm 2}{p} \quad ; \quad y = \frac{(F - 2) \pm 2}{p}$$

In base al valore di y si determinano con le norme solite i passi y_1, y_2, y_n e y_c.

In considerazione che per modeste potenze le macchine a corrente continua con avvolgimento multipolare in serie (ondulato semplice) sono di solito tetrapolari (a 2, a 4, a 6 ed a 8 fasci/cava, v. « *Esempi costruttivi di macchine a corrente continua* »), si è ritenuto utile compilare la tabella XVIII, dalla quale si rileva il *passo di avvolgimento* o *passo alle cave* ed il *passo lamelle* in funzione del numero delle cave e del numero delle lamelle oppure del numero delle lamelle e del numero dei fasci/cava.

In detta tabella il segno più si riferisce all'avvolgimento progressivo (+2 nella formula) ed il segno meno al regressivo (—2).

Collegamenti equipotenziali

Le *f e m* dei singoli rami o circuiti interni d'armatura (collegati in parallelo dalle spazzole) raramente risultano rigorosamente eguali. Infatti sono inevitabili in pratica, specialmente nelle macchine con grande numero di poli, delle piccole dissimmetrie nei flussi magnetici, che possono essere originate da varie cause (esecuzione imperfetta del circuito, intraferro non uniforme, piccole differenze nelle proprietà magnetiche dei materiali, ecc.).

Lo squilibrio delle *f e m* dà luogo a correnti di compensazione tra le spazzole omonime, che provocano perdite supplementari nell'indotto e riscaldamenti anormali nelle spazzole e nel collettore (*).

(*) Il sovraccarico di singole spazzole può produrre uno scintillio al collettore.

Passo avvolgimento e passo lamelle per avvolgimenti ondulati semplici tetrapolari

TABELLA XVIII

Numero cave n_c	PASSO AVVOLGIMENTO y_n				PASSO LAMELLE																NOTE
					m = 2			m = 4							m = 6			m = 8				
	+		−		n_l	y_c		n_l (*)		y_c				n_l	y_c		n_l (*)		y_c		
						+	−			+		−			+	−			+		−	
19	5	4	4	—	19	10	9	37	39	19	20	18	19	57	29	28	75(1)	77	38	39	37	38	V. « Esempi costruttivi di macchine a corrente continua ».
21	5	—	5	4	21	11	10	41	43	21	22	20	21	63(2)	32	31	83(3)	85	42	43	41	42	
23	6	5	5	—	23	12	11	45	47	23	24	22	23	69	35	34	91	93	46	47	45	46	
25	6	—	6	5	25	13	12	49	51	25	26	24	25	75	38	37	99	101	50	51	49	50	(1) es. n. 1
27	7	6	6	—	27	14	13	53(4)	55	27	28	26	27	81(5)	41	40	107	109	54	55	53	54	(2) es. n. 3
29	7	—	7	6	29	15	14	57	59	29	30	28	29	87(6)	44	43	115	117	58	59	57	58	(3) es. n. 6
31	8	7	7	—	31	16	15	61	63	31	32	30	31	93	47	46	123	125	62	63	61	62	(4) es. n. 5
33	8	—	8	7	33	17	16	65	67	33	34	32	33	99(7)	50	49	131	133	66	67	65	66	(5) es. n. 9 - n. 14
35	9	8	8	—	35	18	17	69	71	35	36	34	35	105(8)	53	52	139	141	70	71	69	70	(6) es. n. 8
37	9	—	9	8	37	19	18	73	75	37	38	36	37	111	56	55	147(9)	149	74	75	73	74	(7) es. n. 11 - n. 16 n. 17 - n. 18
39	10	9	9	—	39	20	19	77	79	39	40	38	39	117	59	58	155	157	78	79	77	78	
41	10	—	10	9	41	21	20	81	83	41	42	40	41	123(10)	62	61	163	165	82	83	81	82	(8) es. n. 12 - n. 15
43	11	10	10	—	43	22	21	85	87	43	44	42	43	129	65	64	171	173	86	87	85	86	(9) es. n. 22
45	11	—	11	10	45	23	22	89	91	45	46	44	45	135	68	67	179	181	90	91	89	90	(10) es. n. 20
47	12	11	11	—	47	24	23	93	95	47	48	46	47	141	71	70	187	189	94	95	93	94	Per m=4 e m=8 il numero delle cave potrebbe essere anche pari (v. tavole XXI e XXII).
49	12	—	12	11	49	25	24	97	99	49	50	48	49	147	74	73	195	197	98	99	97	98	
51	13	12	12	—	51	26	25	101	103	51	52	50	51	153	77	76	203	205	102	103	101	102	
53	13	—	13	12	53	27	26	105	107	53	54	52	53	159	80	79	211	213	106	107	105	106	
55	14	13	13	—	55	28	27	109	111	55	56	54	55	165	83	82	219	221	110	111	109	110	
57	14	—	14	13	57	29	28	113	115	57	58	56	57	171	86	85	227	229	114	115	113	114	
59	15	14	14	—	59	30	29	117	119	59	60	58	59	177	89	88	235	237	118	119	117	118	
61	15	—	15	14	61	31	30	121	123	61	62	60	61	183	92	91	243	245	122	123	121	122	
63	16	15	15	—	63	32	31	125	127	63	64	62	63	189	95	94	251	253	126	127	125	126	
65	16	—	16	15	65	33	32	129	131	65	66	64	65	195	98	97	259	261	130	131	129	130	
67	17	16	16	—	67	34	33	133	135	67	68	66	67	201	101	100	267	269	134	135	133	134	
69	17	—	17	16	69	35	34	137	139	69	70	68	69	207	104	103	275	277	138	139	137	138	
71	18	17	17	—	71	36	35	141	143	71	72	70	71	213	107	106	283	285	142	143	141	142	

(*) La prima colonna si riferisce agli avvolgimenti con zona morta e la seconda a quelli con zona inattiva.

Per evitare questi inconvenienti e rinforzare le correnti compensatrici si applicano nelle macchine con avvolgimento in parallelo o in serie-parallelo (*), di solito a monte del collettore, dei collegamenti di minima resistenza tra i punti dell'avvolgimento che dovrebbero avere lo stesso potenziale, i quali vengono appunto chiamati **connessioni equipotenziali** (**). Per l'applicabilità di queste connessioni è necessario che il numero delle cave per coppia di poli sia intero, cioè n_c/p = numero intero.

Per effettuare le connessioni equipotenziali s'impiegavano una volta degli anelli di rame (isolati fra loro) fissati sulla testata dell'indotto. Questo sistema è stato abbandonato, ma noi continueremo ad usare, in linea di massima, la vecchia terminologia di « connessioni per ogni anello » perchè di più chiaro intendimento.

Il numero di prese per ogni anello è sempre eguale al numero delle coppie polari.

Le connessioni equipotenziali si eseguono oggi esclusivamente a mezzo di conduttori isolati fissati in un apposito *occhiolo* delle forcelle (v. fig. 45), che sostituiscono a tutti gli effetti gli anelli ed i relativi collegamenti alle lamelle; le connessioni rimangono sotto l'avvolgimento fra collettore e pacco lamiere (v. tavole XXXIII e XXXV).

La sezione del conduttore usato per le connessioni equipotenziali è di solito 1/3 di quella adottata per l'avvolgimento indotto.

Per *passo delle connessioni equipotenziali* s'intende *la distanza, misurata in numero di lamelle, che intercorre fra le lamelle che vanno collegate fra loro o allo stesso anello* (***).

Questo passo vale il rapporto:

$$y_{ce} = \frac{n_l}{a}$$

e deve risultare, evidentemente, intero; in caso diverso non si potrebbero applicare le connessioni equipotenziali.

Il numero teorico degli anelli che si potrebbe applicare è n_l/a, ma in pratica se ne applicano solo una parte, in modo da avere una presa per ogni due o tre cave. Nell'avvolgimento parallelo semplice il numero massimo delle lamelle munite di collegamenti rimane in pratica fissato; nelle macchine di non grande potenza, in base al numero dei poli ed al passo y_{ce}, come mostrano i due esempi seguenti.

(*) Gli avvolgimenti ondulati sono meno sensibili degli avvolgimenti embricati alle dissimmetrie magnetiche della macchina.

(**) Le connessioni equipotenziali non si possono applicare negli avvolgimenti multipolari in serie perchè non si hanno lamelle allo stesso potenziale.

(***) La distanza, in gradi geometrici, risulta di 180° per $2p = 4$, di 120° per $2p = 6$, di 90° per $2p = 8$, ecc. Infatti le lamelle del collettore distanziate di 360° elettrici, ossia di 360°/p gradi geometrici, sono allo stesso potenziale, perchè si trovano in ogni istante in posizioni perfettamente corrispondenti rispetto ai campi polari.

1.° Esempio. — Dinamo con avvolgimento parallelo semplice: $2p = 2a = 6$; $n_c = 84$; $n_l = 168$; $m = 4$; sezione del conduttore dell'avvolgimento indotto = 35,7 mm².

Passo delle connessioni equipotenziali $y_{ce} = \frac{168}{3} = 56$.

Quindi le	lamelle	1 - 57 - 113	vanno collegate fra loro o al	1.°	anello
»		7 - 63 - 119	»	2.°	»
»		13 - 69 - 125	»	3.°	»
»		19 - 75 - 131	»	4.°	»
»		25 - 81 - 137	»	5.°	»
»		31 - 87 - 143	»	6.°	»
»		37 - 93 - 149	»	7.°	»
»		43 - 99 - 155	»	8.°	»
»		49 - 105 - 161	»	9.°	»
»		55 - 111 - 167	»	10.°	»

In pratica si suole preparare una tabellina del seguente tipo:

Anello	Lamella			
1°	1	57	113	—
2°	7	63	119	—
—	—	—	—	—
10°	55	111	167	—

Anelli equipotenziali N.° 10
Sezione 12 mm²
Passo 1 ÷ 57

2.° Esempio. — Generatrice a corrente continua; potenza nominale 13 kW; servizio continuo; tensione nominale 35 V; corrente alla potenza nominale 375 A; tensione di eccitazione 60 V; $2p = 2a = 4$; $n_c = 38$; $n_l = 76$.

Connessione	Lamella			
1°	1	39	—	—
2°	5	43	—	—
—	—	—	—	—
10°	37	75	—	—

$$y_{ce} = \frac{76}{2} = 38$$

Connessioni equipotenziali N.° 10
Sezione 12 mm²
Passo 1 ÷ 39

Dai due esempi riportati si rileva che dopo avere compilata la prima riga, in base al passo y_{ce}, ciascuna delle successive può ottenersi dalla precedente aggiungendo al numero della lamella il numero dei poli $2p$.

Il numero degli anelli, oppure quello delle lamelle munite di prese, rimane fissato in base al passo delle connessioni equipotenziali y_{ce}. Infatti iniziando i collegamenti dalla lamella 1, il primo numero dell'ultima riga, ossia l'ultimo della 1ª colonna, deve risultare il più prossimo possibile al valore di y_{ce}, ma non maggiore.

Nelle nuove costruzioni, sempre di potenza limitata, sovente si applica un numero di connessioni equipotenziali inferiore a quello ottenuto colla regola pratica esposta, (v. « *Esempi costruttivi di macchine a corrente continua* », es. n. 30) (*).

Schema numerico e grafico dell'avvolgimento

Prima di procedere al montaggio dell'avvolgimento si prepara lo *schema grafico* oppure lo *schema numerico* o *tavola d'avvolgimento*, ma può essere sufficiente la conoscenza del *passo dell'avvolgimento* (y_n) e del *passo al collettore* (y_c), detto comunemente *passo lamelle*.

La rappresentazione grafica può eseguirsi, come è stato detto, in due modi:

1) con lo **schema rettangolare;**
2) con lo **schema circolare o frontale.**

Per i rotori delle macchine a corrente continua si usa esclusivamente lo schema rettangolare; riporteremo qualche schema circolare solo a fini didattici.

Per una più rapida esecuzione dello schema conviene numerare progressivamente sia i fasci che le cave e le lamelle; si assegnano di solito numeri dispari ai fasci dello strato superiore, che si rappresentano con un tratto più marcato, e pari a quelli dello strato inferiore (**).

Lo schema grafico fa vedere a colpo d'occhio l'andamento delle connessioni ed è quindi un'ottima guida nell'esecuzione pratica del-

(*) L'ASGEN in data 28-11-1968, in merito al *generatore* dell'es. n. 30, ci scrive: « Le precisiamo che il numero di equipotenziali è stato notevolmente ridotto trattandosi di una macchina di piccola potenza ».

Per costruzioni più impegnative sono previsti normalmente un numero di equipotenziali pari a metà del numero delle cave.

(**) Ogni matassa avrà sempre un lato nella stato superiore e l'altro in quello inferiore.

l'avvolgimento. Però la preparazione di questo schema richiede molto tempo, specialmente quando l'avvolgimento risulta costituito da numerosi fasci. In tal caso conviene prepararsi lo *schema numerico* o *tavola di avvolgimento*, cioè uno specchietto numerico che riproduca la successione dei fasci, delle cave e delle lamelle nello stesso ordine con cui si effettuano i collegamenti nello schema grafico. Il procedimento rimane quindi lo stesso. Infatti aggiungendo al numero indicativo di un elemento qualsiasi (x) il numero che rappresenta il passo posteriore (y_1) si ottiene il numero dell'elemento col quale il primo va collegato ($x+y_1$). I due fasci così collegati costituiscono la zona, sia per l'avvolgimento embricato che per quello ondulato. Il capo terminale di questa (fascio $x+y_1$) va collegato alla stessa lamella col capo iniziale della zona posta alla distanza y_2, in senso contrario nell'avvolgimento parallelo (fascio $x+y_1-y_2$), nello stesso senso nell'ondulato (fascio $x+y_1+y_2$), cioè nell'embricato si fa un passo avanti ed uno indietro, nell'ondulato si procede sempre in avanti.

Esempi di avvolgimenti

I numerosi esempi dimostrativi che seguono, assai semplici (*), consentiranno a tutti di acquistare una sicura padronanza nell'applicazione delle formule sui diversi tipi di avvolgimento e nella preparazione dei relativi schemi numerici o tavole d'avvolgimento. Abbiamo dato la preferenza ad un tipo di schema numerico che in pratica si è dimostrato assai chiaro e di facile esecuzione e che permette anche rapidi controlli durante il montaggio dell'avvolgimento, quasi al pari dello schema grafico.

Inoltre, a maggior chiarimento di quanto è stato detto sulla rappresentazione grafica, riportiamo di ogni esempio il corrispondente schema grafico, con brevi cenni illustrativi per mettere in evidenza qualche particolarità molto utile per chi voglia formarsi cognizioni più complete sull'argomento.

Negli schemi grafici si disegnano dalla parte del collettore solo i collegamenti alle lamelle, ossia si omettono le connessioni frontali delle matasse che sono evidentemente identiche a quelle posteriori.

L'indicazione della polarità delle spazzole e del senso delle correnti (per un istante generico e nell'ipotesi considerata in cia-

(*) Per rendere di più facile comprensione ai giovani inesperti le prime esercitazioni abbiamo considerato anche degli esempi di avvolgimenti con una matassa/cava che in pratica non si costruiscono.

scuna figura) ha solamente lo scopo di rendere più comprensibili certi concetti fondamentali sugli avvolgimenti, che supponiamo noti dall'elettrotecnica.

1.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo bipolare*: numero cave $n_c = 12$; numero fasci $F = 12$; numero lamelle $n_l = 6$; fasci/cava $m = 1$; numero vie $2a = 2$; numero poli $2p = 2$.

I passi risultano:

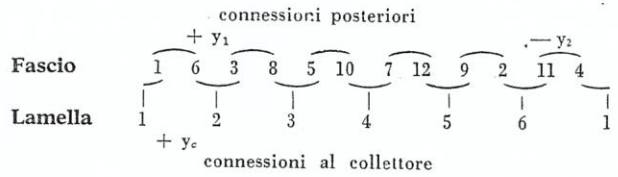
$$y_1 = \frac{2n_l - b}{2p} + 1 = \frac{12 - 4}{2} + 1 = 5 \quad ; \quad y = + \frac{2a}{p} = + \frac{2}{1} = + 2;$$

$$y_2 = y_1 - y = 5 - 2 = 3 \quad ; \quad y_c = \frac{y}{2} = \frac{a}{p} = 1$$

Non si è adottato il passo $y_1 = \frac{2n_l}{2p} + 1 = \frac{12}{2} + 1 = 7$ poichè negli avvolgimenti bipolari l'ampiezza delle matasse deve risultare, come s'è detto, minore del passo polare, cioè di mezza circonferenza dell'indotto; ciò vale naturalmente per gli avvolgimenti preformati, mentre per quelli diretti si può adottare, in ogni caso, anche il passo diametrale.

Con i suddetti valori di y_1, y_2, y_c e y si prepara lo schema numerico o tavola d'avvolgimento oppure si esegue lo schema grafico.

Tavola d'avvolgimento



Lo schema numerico sta ad indicare che i lati della prima matassa vanno collocati nella cava 1 e nella cava 6; quelli della seconda nelle cave 3 e 8, ecc. I capi delle matasse uscenti dalla cava 1 e dalla cava 4 vanno collegati alla lamella 1; quelli uscenti dalle cave 3 e 6 alla lamella successiva ($1 + y_c = 2$), ecc.

Negli avvolgimenti ad uno strato il passo posteriore coincide col passo alle cave.

Per l'esecuzione dello schema grafico rettangolare (fig. 82) si procede nel modo seguente: si traccia un rettangolo, che rappresenta la superficie dell'indotto sviluppata in un piano, e tanti segmenti equidistanti quante sono le cave dell'armatura. Ogni segmento rappresenta un conduttore oppure un fascio indotto, cioè un lato attivo di zona. Si effettuano quindi i collegamenti (formazione del circuito chiuso), procedendo allo stesso modo dello schema numerico, cioè aggiungendo il passo y_1 per i collegamenti posteriori e sottraendo il passo y_2 per i collegamenti anteriori.

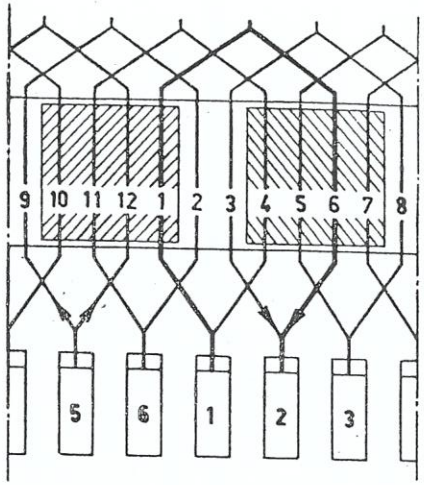
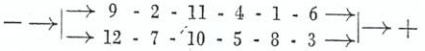


Fig. 82

Lo schema mostra che posteriormente il conduttore (fascio o lato attivo) 1 va collegato al conduttore 6, il 3 all'8, ecc. e che anteriormente (dalla parte del collettore) il conduttore (praticamente il capo della zona) 6 ed il 3 vanno collegati alla lamella 2, l'8 ed il 5 alla lamella 3, ecc.

I rettangolini rappresentano i poli induttori; naturalmente anche a fini didattici è sufficiente indicare il senso delle *f e m* con l'uno o l'altro sistema, ossia con il tratteggio dei poli oppure con le frecce sui fasci (v. figg. 90 e 91), mentre per i fogli di lavorazione, ossia a fini pratici, non si usa nè l'uno nè l'altro sistema (v. « *Schemi di avvolgimenti di rotori a corrente continua* »).

Dallo schema grafico si rileva che le vie o circuiti d'avvolgimento sono due. Le due vie, nell'istante considerato nella figura, comprendono i seguenti fasci:



L'avvolgimento risulta chiuso. Difatti partendo dalla lamella 1, si perviene alla lamella di partenza dopo aver percorso tutti i conduttori, come mostra lo specchietto seguente:

Dalla	lamella	1	al fascio	1	al fascio	6	alla lamella 2
»		2	»	3	»	8	» 3
»		3	»	5	»	10	» 4
»		4	»	7	»	12	» 5
»		5	»	9	»	2	» 6
»		6	«	11	»	4	« 1

La fig. 83 mostra lo schema grafico rettangolare con le matasse complete ed i collegamenti al collettore. Questo sistema di rappre-

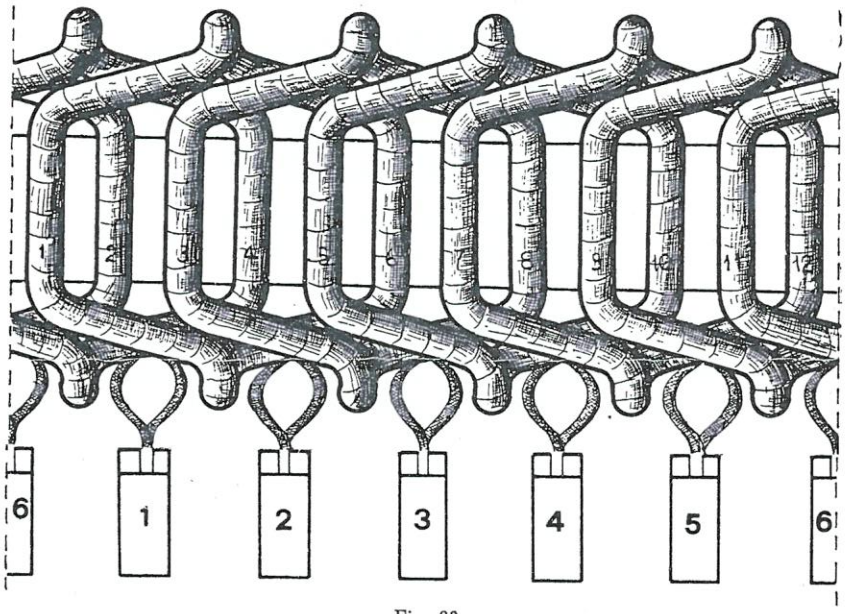


Fig. 83

sentazione in pratica non si usa, perchè troppo laborioso e di nessuna utilità effettiva per gli avvolgitori e in genere per tutti quelli che hanno buone conoscenze tecniche al riguardo, mentre può avere una certa efficacia per coloro che intendono effettuare uno studio sistematico della materia, ai quali può dare un'idea più concreta dello schema semplificato poichè si avvicina alla disposizione reale degli avvolgimenti. Inoltre detto sistema di rappresentazione permette di

rendersi conto dell'ordine di montaggio delle matasse, che è diverso dall'ordine di successione dei fasci dello schema numerico, come si vedrà in seguito.

2.° - *Avvolgimento embricato semplice regressivo bipolare:*

$$n_c = 12;\ F = 12;\ n_l = 6;\ m = 1;\ 2a = 2p = 2$$

Si ha:

$$y_1 = \frac{F - b}{2p} - 1 = \frac{12 - 4}{2} - 1 = 3 \quad ; \quad y = -2 \ ;$$

$$y_2 = y_1 - y = 3 - (-2) = 5 \quad ; \quad y_c = \frac{y}{2} = -1$$

Tavola d'avvolgimento

connessioni posteriori

		$+ y_1$								$- y_2$		
Fascio	1	4	11	2	9	12	7	10	5	8	3	6
Lamella	1		6		5		4		3		2	1

connessioni al collettore

La fig. 84 mostra lo schema rettangolare. Da essa si rileva che, adottando il passo $y_1 = 3$, i due lati di ciascuna matassa vengono a trovarsi ad ogni giro sotto l'azione dello stesso polo, tante volte quanti sono i poli (le *f e m* nei due lati attivi risulteranno allora in opposizione); quindi la *f e m* ai morsetti risulta notevolmente diminuita rispetto all'avvolgimento con passo posteriore eguale o poco diverso dal passo polare. Ad evitare questo inconveniente è necessario attenersi alle regole di massima enunciate e cioè scegliere b il più piccolo possibile.

Con i dati dell'esempio precedente per $b = 0$ si ha:

$$y_1 = \frac{12}{2} - 1 = 5 \quad ; \quad y_2 = y_1 - y = 5 - (-2) = 7$$

$$\left(\text{passo polare } \tau = \frac{12}{2} = 6\right)$$

quindi il passo y_1, che in questo caso sta ad indicare l'ampiezza delle matasse, risulta poco diverso dal passo polare.

Tavola d'avvolgimento

connessioni posteriori

Fascio	1	6	11	4	9	2	7	12	5	10	3	8
Lamella	1		6		5		4		3		2	1

connessioni al collettore

La fig. 85 mostra lo schema grafico relativo.

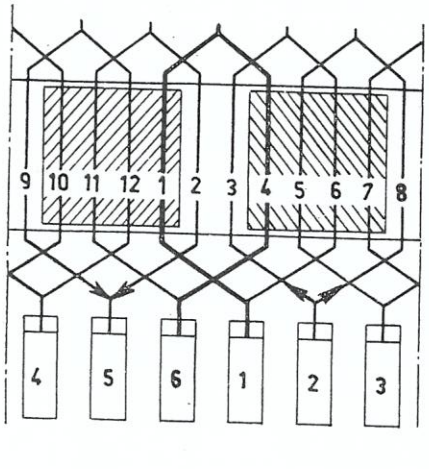


Fig. 84

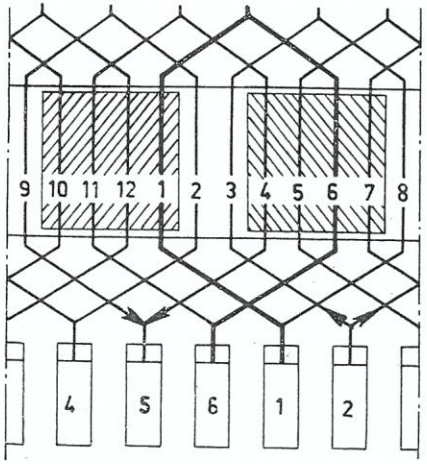


Fig. 85

3.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo bipolare.*

4.° - *Idem regressivo.*

$$n_c = 16;\ F = 16;\ n_l = 8;\ m = 1;\ 2a = 2p = 2$$

Si potrebbe adottare i seguenti passi:

Progressivo $y = +2\ ;\ y_c = +1$	Regressivo $y = -2\ ;\ y_c = -1$	Regressivo $y = -2\ ;\ y_c = -1$
$y_1 = \frac{16-4}{2} + 1 = 7$	$y_1 = \frac{16}{2} - 1 = 7$	$y_1 = \frac{16-4}{2} - 1 = 5$
$y_2 = 7 - 2 = 5$	$y_2 = 7 - (-2) = 9$	$y_2 = 5 - (-2) = 7$

Le figg. 86 e 87 mostrano rispettivamente lo schema rettangolare e quello circolare dell'avvolgimento progressivo.

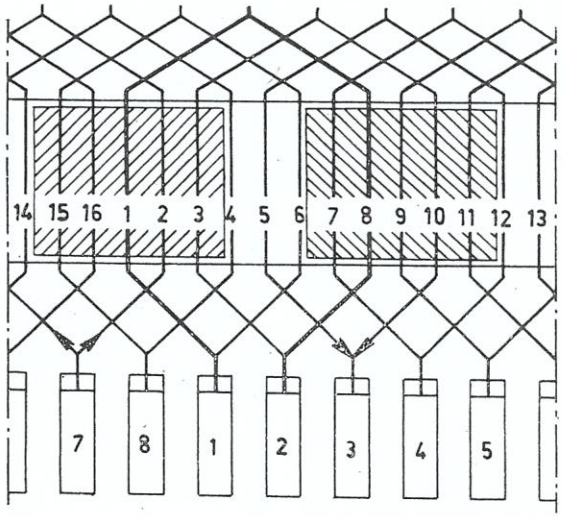


Fig. 86

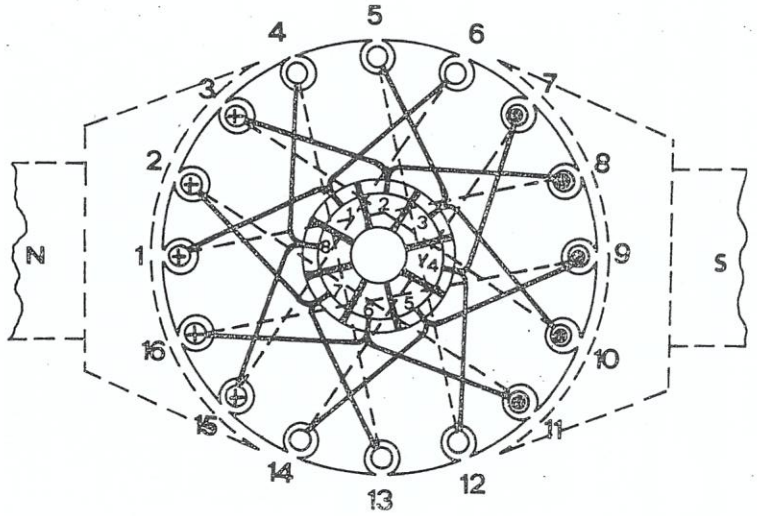


Fig. 87

La fig. 88 mostra lo schema rettangolare dell'avvolgimento regressivo, a passo raccorciato, con i dati della 3.ª colonna e la fig. 89 quello con i dati della colonna centrale.

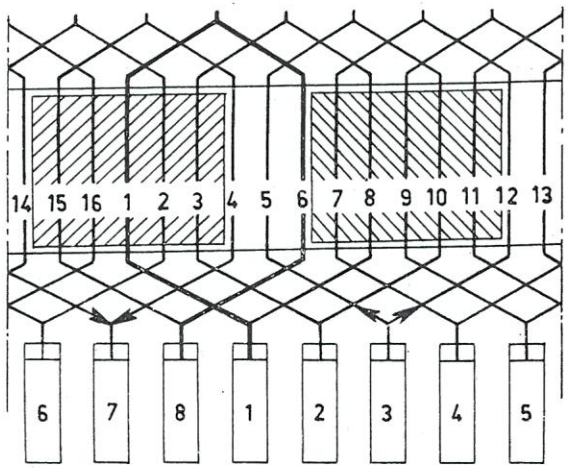


Fig. 88

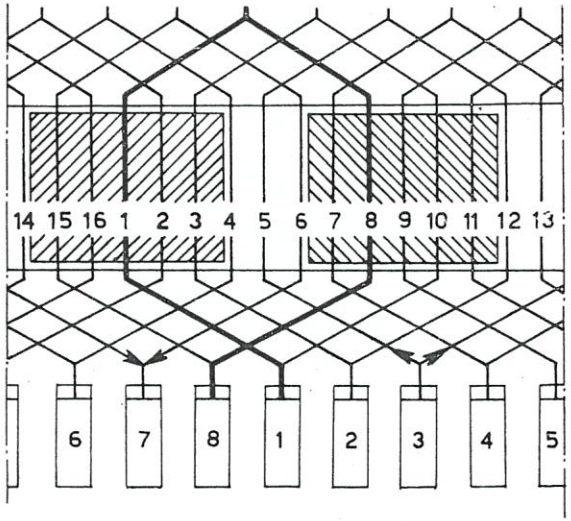


Fig. 89

Dalle figg. 86 e 89 si rileva che i due avvolgimenti (progressivo e regressivo) sviluppano *f e m* di senso opposto.

L'adozione di un passo posteriore fortemente raccorciato porta però, come si è detto, ad una diminuzione dell'effetto utile. È conveniente quindi adottare sempre un passo posteriore il più prossimo possibile al passo polare τ (compatibilmente nelle macchine bipolari, a matasse preformate, con la condizione che i due lati della matassa non risultino diametrali).

5.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo tetrapolare.*

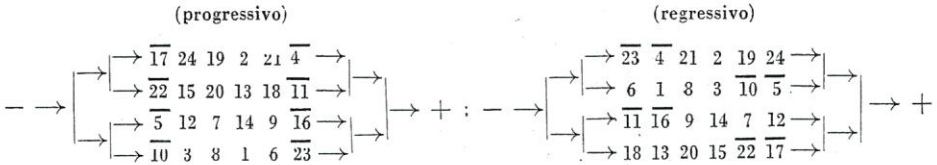
6.° - *idem regressivo.*

$$n_c = 24;\ F = 24;\ n_l = 12;\ m = 1;\ \ 2a = 2p = 4$$

I passi risultano:

(progressivo) $y = 2\ ;\ y_c = 1$	(regressivo) $y = -2\ ;\ y_c = -1$
$y_1 = \frac{24}{4} + 1 = 7$	$y_1 = \frac{24}{2} - 1 = 5$
$y_2 = 7 - 2 = 5$	$y_2 = 5 - (-2) = 7$

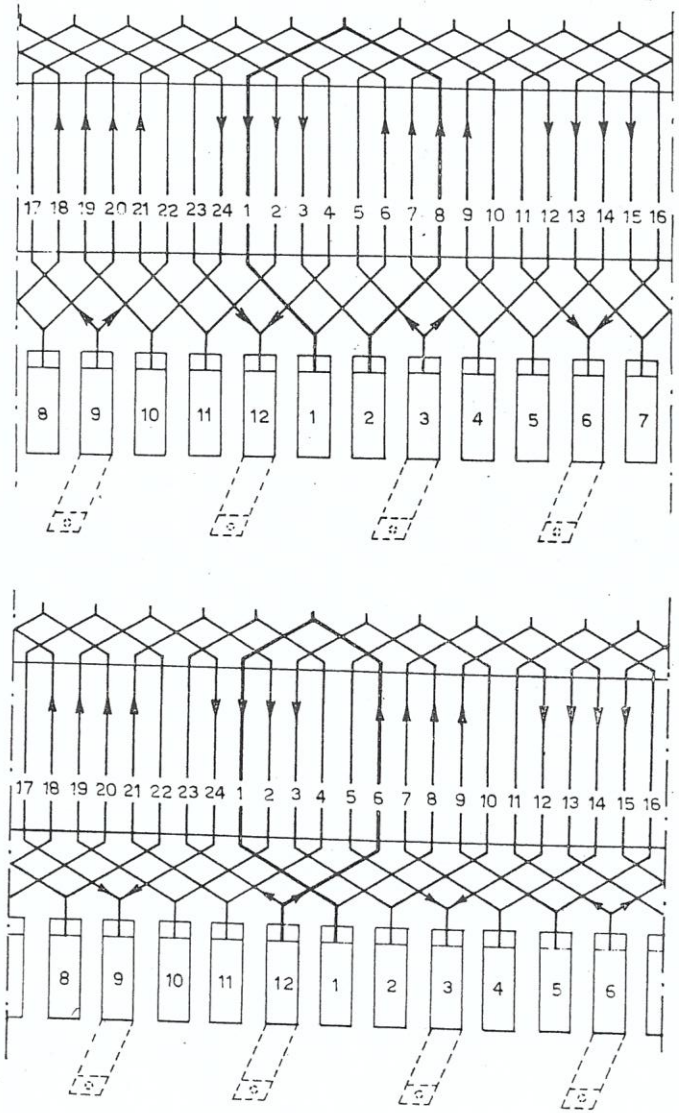
Le figg. 90 e 91 mostrano gli schemi rettangolari relativi. Da questi si rileva che le vie d'avvolgimento sono 4; i fasci costituenti ciascuna via sono riportati nei due specchietti seguenti:



I numeri segnati con un trattino stanno ad indicare i fasci che nell'istante indicato nelle relative figure non sono sede di *f e m.*

Dalla fig. 90 si vede chiaramente che i fasci 4 e 5, 10 e 11, 16 e 17, 22 e 23, che si trovano in due cave contigue, sono nella connessione elettrica assai lontani; difatti i fasci 5, 10, 17, 22 seguono im-

mediatamente le spazzole negative, mentre i fasci 23, 4, 11, 16 precedono le spazzole positive. Ne consegue che la differenza di potenziale



Figg. 90 e 91

tra le quattro coppie di fasci citati è la stessa di quella esistente ai morsetti della macchina.

7.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo bipolare (2 matasse/cava).*

8.° - *idem regressivo.*

$$n_c = 12; \quad F = 24; \quad n_l = 12; \quad m = 2; \quad 2a = 2p = 2$$

I passi più appropriati sono:

(progressivo) $y = 2; \quad y_c = 1$	(regressivo) $y = -2; \quad y_c = -1$
$y_1 = \frac{24-4}{2} + 1 = 11$	$y_1 = \frac{24}{2} - 1 = 11$
$y_2 = y_1 - y = 11 - 2 = 9$	$y_2 = y_1 - (-y) = 11 + 2 = 13$
$y_n = \frac{11-1}{2} = 5$	$y_n = \frac{11-1}{2} = 5$
Passo avvolgimento $1 \div 6$ Passo lamelle $1 \div 2$	Passo avvolgimento $1 \div 6$ Passo lamelle $1 \div 12$

Tavola d'avvolgimento

(progressivo)

connessioni posteriori

Fascio	1 12		3 14		5 16		7 18		9 20		11 22
Cava	1	6	2	7	3	8	4	9	5	10	6	11
Lamella	1		2		3		4		5		6	7
Fascio	13 24		15 2		17 4		19 6		21 8		23 10	
Cava	7	12	8	1	9	2	10	3	11	4	12	5
Lamella	7		8		9		10		11		12	1

connessioni al collettore

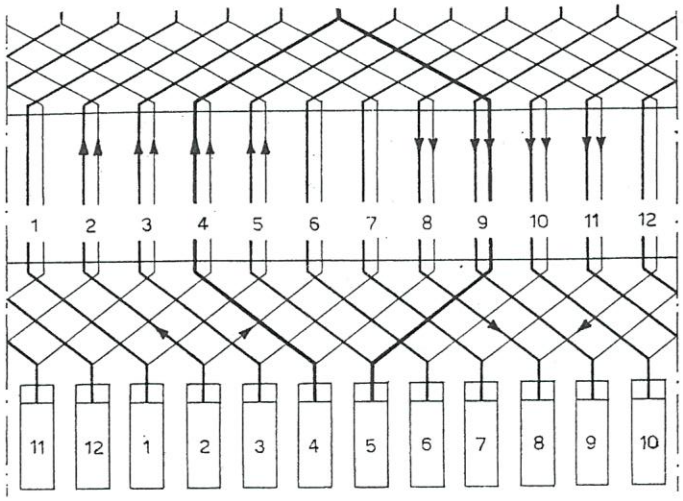


Fig. 92

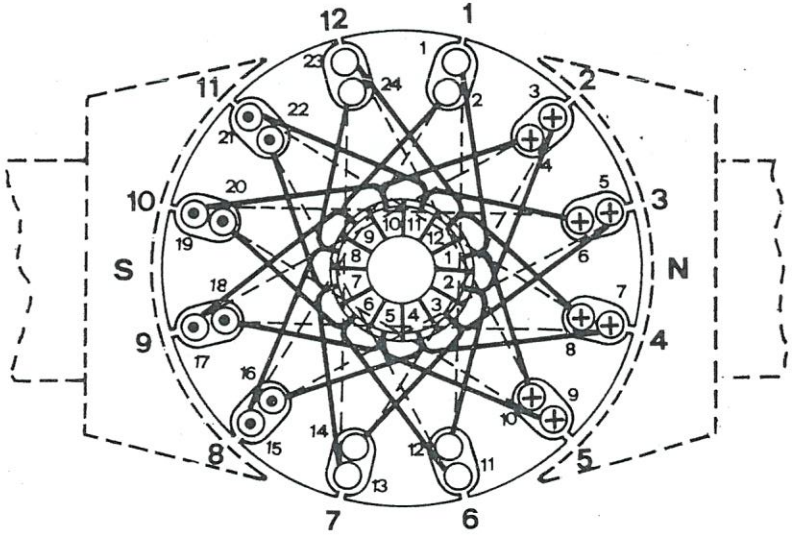


Fig. 93

(regressivo)

connessioni posteriori

Fascio	1 12		23 10		21 8		19 6		17 4		15 2		
Cava	1	6	12	5	11	4	10	3	9	2	8	1	
Lamella	1		12		11		10		9		8		7
Fascio	13 24		11 22		9 20		7 18		5 16		3 14		
Cava	7	12	6	11	5	10	4	9	3	8	2	7	
Lamella	7		6		5		4		3		2		1

connessioni al collettore

Le figg. 92 e 93 mostrano rispettivamente lo schema grafico rettangolare e quello circolare dell'avvolgimento progressivo; la fig. 95 mostra lo stesso avvolgimento con le matasse complete.

Tipo embricato - 2 poli - 12 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa
12 lamelle - passo avvolgimento 1 ÷ 6 - passo lamelle 1 ÷ 2

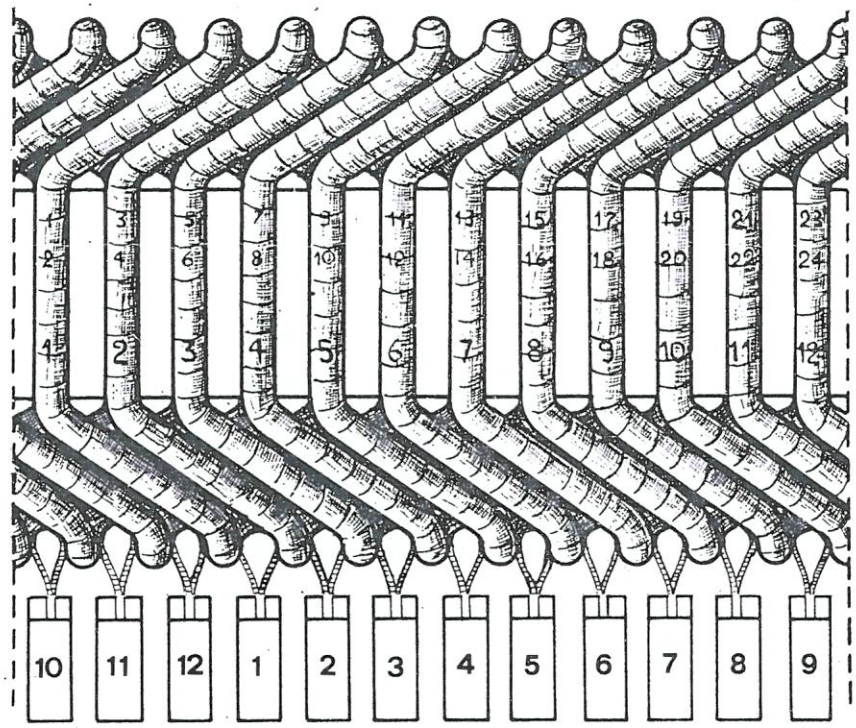


Fig. 94

Per l'esecuzione pratica di un avvolgimento è, di solito, sufficiente assegnare i dati seguenti:

Tipo d'avvolgimento - numero poli - numero cave - matasse/cava - zone/matassa - numero lamelle - passo avvolgimento - passo lamelle - collegamenti equipotenziali (v. fig. 94).

9.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo bipolare (2 matasse/cava - 2 zone/matassa).*

$$n_c = 12;\quad F = 48;\quad n_l = 24;\quad m = 4;\quad 2a = 2p = 2$$

Si ha:

$$y_1 = \frac{48 - 8}{2} + 1 = 21;\quad y = 2;\quad y_c = 1;$$

$$y_2 = 21 - 2 = 19;\quad y_n = \frac{21 - 1}{4} = 5$$

passo avvolgimento $1 \div 6$; passo lamelle $1 \div 2$

Schema numerico

Fascio	1 22		3 24		5 26		7 28		9 30		11 32		13 34		15 36		
Cava	1	6	1	6	2	7	2	7	3	8	3	8	4	9	4	9	
Lamella	1		2		3		4		5		6		7		8		9
Fascio	17 38		19 40		21 42		23 44		25 46		27 48		29 2		31 4		
Cava	5	10	5	10	6	11	6	11	7	12	7	12	8	1	8	1	
Lamella	9		10		11		12		13		14		15		16		17
Fascio	33 6		35 8		37 10		39 12		41 14		43 16		45 18		47 20		
Cava	9	2	9	2	10	3	10	3	11	4	11	4	12	5	12	5	
Lamella	17		18		19		20		21		22		23		24		1

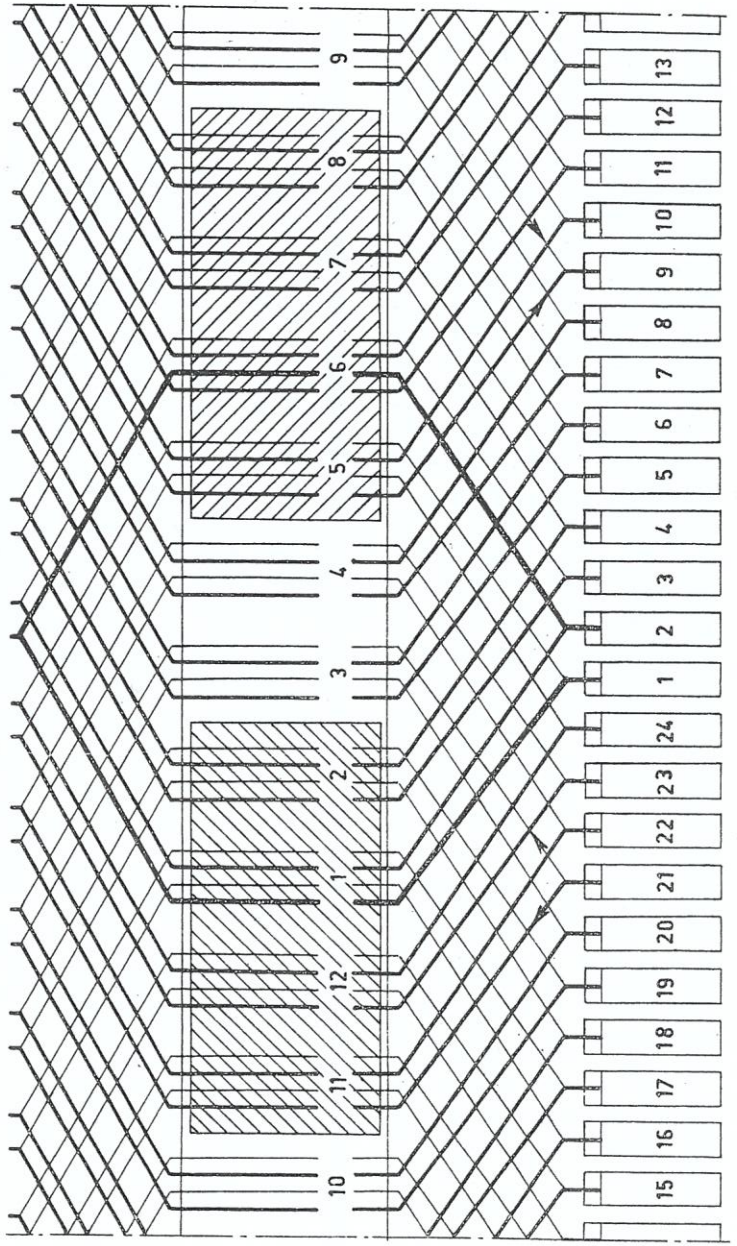


Fig. 95

Le figg. 95 e 96 mostrano gli schemi rettangolari dell'avvolgimento. Lo schema con le matasse complete mette in evidenza l'andamento delle connessioni al collettore che risulta diverso da quello dell'avvolgimento con 1 zona/matassa.

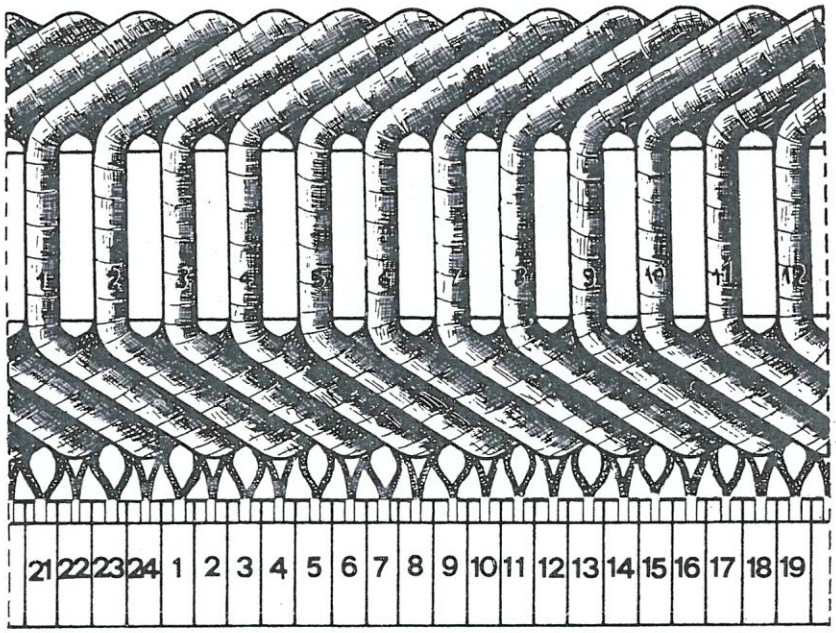


Fig. 96

10.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo tetrapolare (2 matasse/cava - 1 zona/matassa).*

$$n_c = 24; \quad F = 48; \quad n_l = 24; \quad m = 2; \quad 2a = 2p = 4$$

I passi risultano:

$$y_1 = \frac{2n_l}{2p} + 1 = \frac{48}{4} + 1 = 13; \quad y = +2; \quad y_c = +1;$$

$$y_2 = y_1 - y = 13 - 2 = 11; \quad y_n = \frac{13 - 1}{2} = 6$$

passo avvolgimento $1 \div 7$; passo lamelle $1 \div 2$

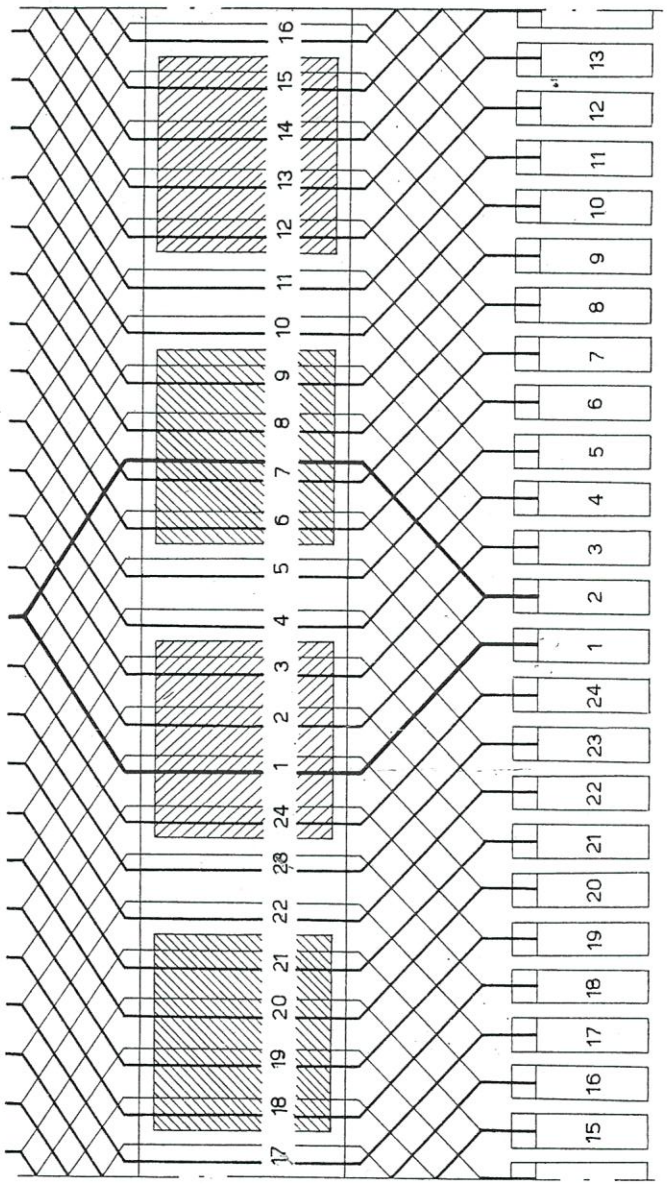


Fig. 97

Schema numerico

Fascio	1	14	3	16	5	18	7	20	9	22	11	24	13	26	15	28	
Cava	1	7	2	8	3	9	4	10	5	11	6	12	7	13	8	14	
Lamella	1		2		3		4		5		6		7		8		9
Fascio	17	30	19	32	21	34	23	36	25	38	27	40	29	42	31	44	
Cava	9	15	10	16	11	17	12	18	13	19	14	20	15	21	16	22	
Lamella	9		10		11		12		13		14		15		16		17
Fascio	33	46	35	48	37	2	39	4	41	6	43	8	45	10	47	12	
Cava	17	23	18	24	19	1	20	2	21	3	22	4	23	5	24	6	
Lamella	17		18		19		20		21		22		23		24		1

La fig. 97 mostra lo schema rettangolare.

11.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo tetrapolare (2 matasse/cava - 2 zone/matassa).*

$$n_c = 24;\ F = 96;\ n_l = 48;\ m = 4;\ 2a = 2p = 4$$

Si avrà:

$$y_1 = \frac{2n_l}{2p} + 1 = \frac{96}{4} + 1 = 25;\quad y = 2;\quad y_c = 1;$$

$$y_2 = y_1 - y = 25 - 2 = 23;\quad y_n = \frac{25 - 1}{4} = .6$$

passo avvolgimento $1 \div 7$; passo lamelle $1 \div 2$
(come nell'esempio precedente)

La fig. 98 mostra lo schema dell'avvolgimento.

12.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo tetrapolare (2 matasse/cava - 3 zone/matassa).*

$$n_c = 24;\ F = 144;\ n_l = 72;\ m = 6;\ 2a = 2p = 4$$

I passi saranno:

$$y_1 = \frac{144}{4} + 1 = 37;\quad y = +2;\quad y_c = +1;\quad y_2 = 37 - 2 = 35;\quad y_n = \frac{37 - 1}{6} = 6$$

passo avvolgimento $1 \div 7$; passo lamelle $1 \div 2$

Tipo embricato - 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa
48 lamelle - passo avvolgimento $1 \div 7$ - passo lamelle $1 \div 2$

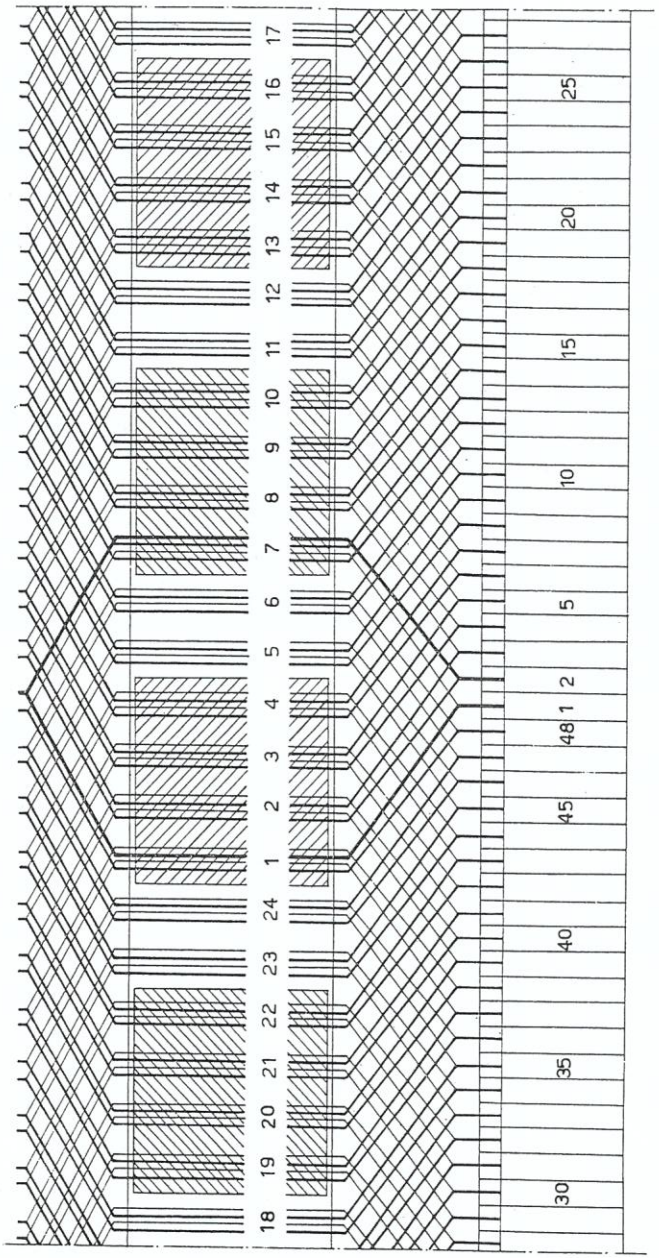


Fig. 98

Appare così evidente che il passo alle cave y_n risulta nei tre casi sempre uguale a 6.

Nella fig. 99 è rappresentato lo schema dell'avvolgimento.

Siamo certi che anche gli autodidatti avranno ormai idee chiare e precise sulla esecuzione dello schema numerico e di quello grafico degli avvolgimenti embricati semplici e pertanto riteniamo superfluo riportarne altri. Gli « *schemi di avvolgimenti di rotori a corrente continua* » e soprattutto gli « *esempi costruttivi* » consentiranno a tutti di acquistare maggiore padronanza, esercitandosi sugli esempi più complessi. Comunque riportiamo ancora un paio di esempi, scelti a caso, con numero cave dispari e p pari, per mettere in evidenza che questo avvolgimento, come s'è già detto, può essere eseguito con qualsiasi numero di fasci; però qualora non sussistesse la condizione n_c/a = numero intero (v. tabella XVI) verrebbe a mancare la condizione di simmetria ed il funzionamento risulterebbe poco soddisfacente, con correnti di circolazione piuttosto elevate. Un esame dei due schemi che seguono (figg. 100 e 101) e delle varie vie di avvolgimento rende palese l'impossibilità del regolare funzionamento. Ne deriva che, pur essendo teoricamente possibile la realizzazione dell'avvolgimento embricato con qualsiasi numero di fasci, se ne deve sconsigliare l'adozione se non risulta soddisfatta la suddetta condizione di simmetria.

13.° - *Avvolgimento embricato semplice progressivo tetrapolare (2 matasse/cava - 1 zona/matassa).*

14.° - *idem regressivo.*

$$n_c = 23;\quad F = 46;\quad n_l = 23;\quad m = 2;\quad 2a = 2p = 4$$

Per il progressivo si avrà:

$$y_1 = \frac{46 - 6}{4} + 1 = 11;\quad y = 2;\quad y_c = 1;\quad y_2 = 11 - 2 = 9;$$

$$y_n = \frac{11 - 1}{2} = 5$$

passo avvolgimento $1 \div 6$; passo lamelle $1 \div 2$

Per il regressivo i passi risultano:

$$y_1 = 9;\quad y = -2;\quad y_c = -1;\quad y_2 = 11;\quad y_n = 4$$

passo avvolgimento $1 \div 5$; passo lamelle $1 \div 23$

Tipo embricato - 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa
72 lamelle - passo avvolgimento $1 \div 7$ - passo lamelle $1 \div 2$

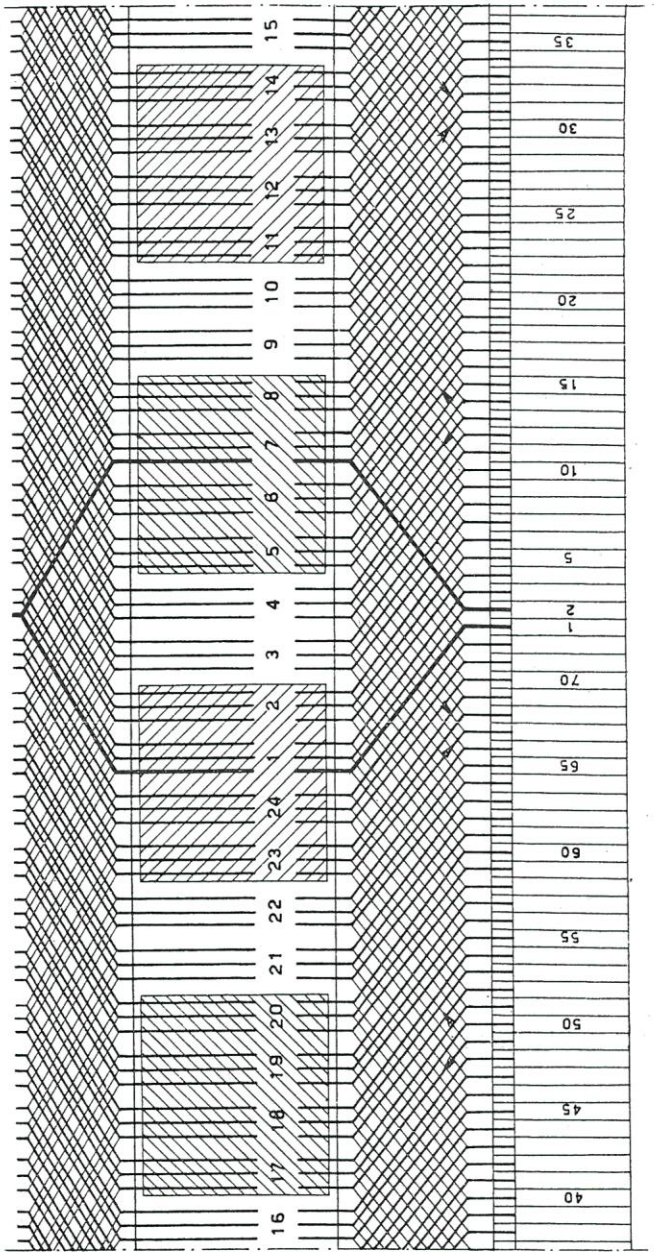


Fig. 99

Le figg. 100 e 101 mostrano gli schemi rettangolari dei due avvolgimenti. Dalla fig. 102 risulta evidente come ciascuna matassa ab-

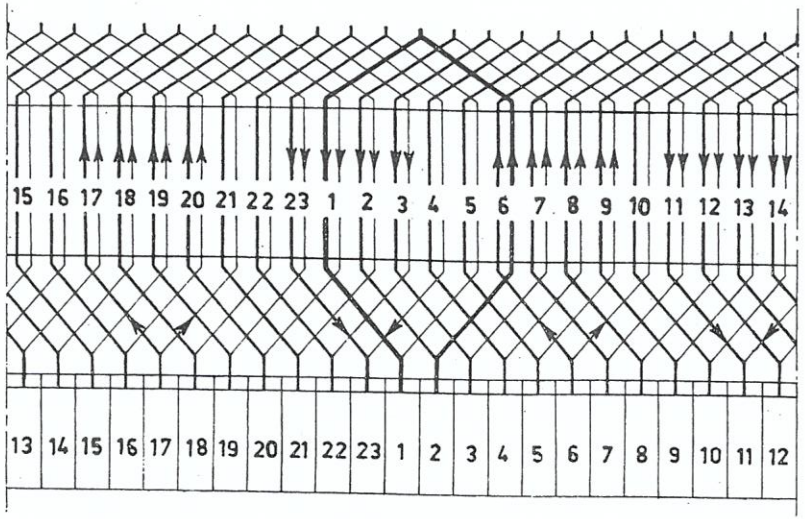


Fig. 100

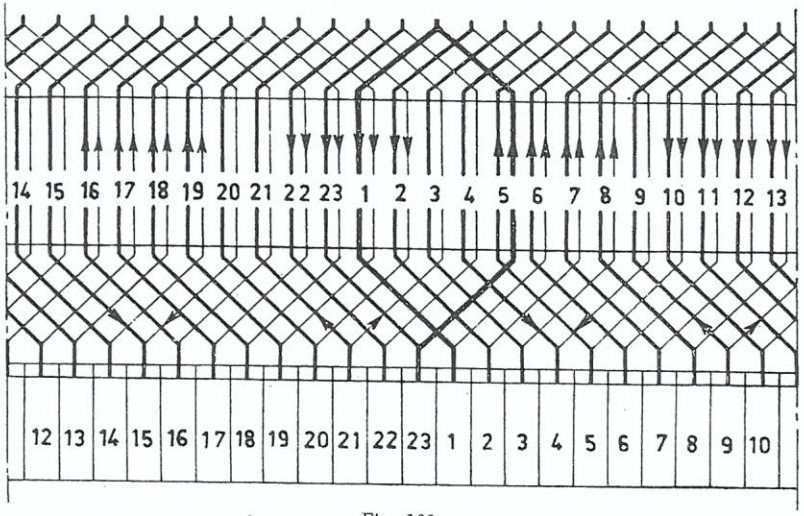


Fig. 101

bia un lato posto al fondo cava, ossia nello strato inferiore, e l'altro verso il traferro, ossia nello strato superiore; inoltre si rileva che l'uscita dei capi va fatta in prossimità del nasello, sistema usato di solito per questo tipo di avvolgimento.

I fasci costituenti ciascuna via, nell'istante considerato nella fig. 100, sono indicati nello specchietto seguente:



In base alle indicazioni della fig. 100 il numero dei fasci attivi delle 4 vie risulta identico, ma non il numero complessivo dei fasci; infatti una via avrà « a turno » 2 fasci in meno e la resistenza sarà perciò minore di quella delle altre tre vie. Inoltre è da tenere presente che nella realtà le *f e m* dei 4 rami dell'avvolgimento saranno sensibilmente diverse, con le conseguenze di cui si è detto (*).

15.° - *Avvolgimento embricato multiplo progressivo esapolare (2 matasse/cava - 1 zona/matassa) - 1 circuito.*

$$n_c = 39;\quad F = 78;\quad n_l = 39;\quad m = 2;\quad 2a = 12;\quad 2p = 6$$

Si ha:

$$y_1 = \frac{78-6}{6} + 1 = 13;\quad y = +\frac{2a}{p} = \frac{12}{3} = 4;\quad y_2 = 13 - 4 = 9;$$

$$y_c = \frac{6}{3} = 2;\quad y_n = \frac{13-1}{2} = 6;\quad n_l = 39 \text{ e } y_c = 2 \text{ primi fra loro}$$

passo avvolgimento $1 \div 7$; passo lamelle $1 \div 3$

(*) Il numero di cave che vengono a trovarsi sotto l'azione dei 4 poli sarà diverso e diversa sarà anche la posizione delle singole cave rispetto alla mezzeria dei 4 poli, ossia alla posizione di massimo effetto.

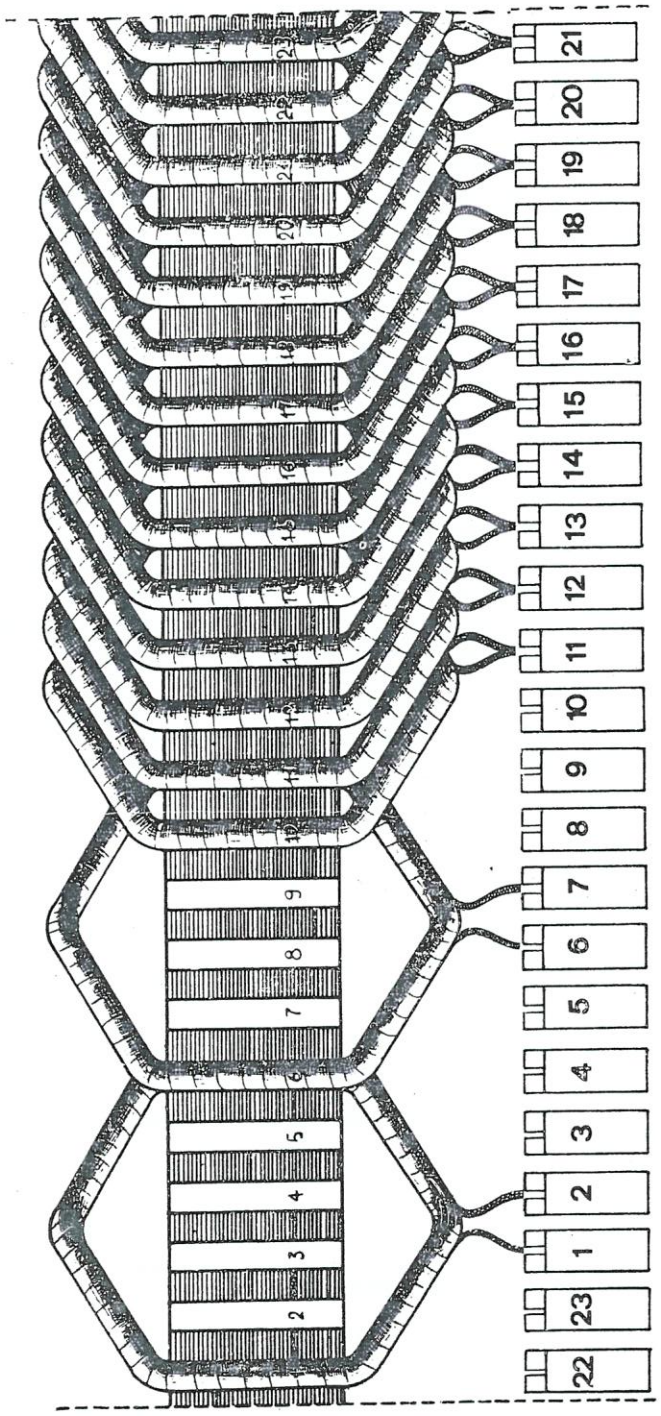


Fig. 102

Tavola d'avvolgimento

connessioni posteriori

Fascio	1	14	5	18	9	22	13	26	17	30	21	34	25	38	29	42							
Cava	1	7	3	9	5	11	7	13	9	15	11	17	13	19	15	21							
Lamella	1		3		5		7		9		11		13		15		17						
Fascio	33	46	37	50	41	54	45	58	49	62	53	66	57	70	61	74							
Cava	17	23	19	25	21	27	23	29	25	31	27	33	29	35	31	37							
Lamella	17		19		21		23		25		27		29		31		33						
Fascio	65	78	69	4	73	8	77	12	3	16	7	20	11	24	15	28							
Cava	33	39	35	2	37	4	39	6	2	8	4	10	6	12	8	14							
Lamella	33		35		37		39		2		4		6		8		10						
Fascio	19	32	23	36	27	40	31	44	35	48	39	52	43	56	47	60							
Cava	10	16	12	18	14	20	16	22	18	24	20	26	22	28	24	30							
Lamella	10		12		14		16		18		20		22		24		26						
Fascio	51	64	55	68	59	72	63	76	67	2	71	6	75	10									
Cava	26	32	28	34	30	36	32	38	34	1	36	3	38	5									
Lamella	26		28		30		32		34		36		38		1								

connessioni al collettore

La fig. 103 mostra lo schema rettangolare; anche questo avvolgimento non soddisfa alla condizione di simmetria e quindi non potrebbe dare buoni risultati.

16.° - *Avvolgimento embricato a circuiti multipli progressivo (2 matasse/cava - 1 zona/matassa) - 2 circuiti.*

$n_c = 26$; $F = 52$; $n_l = 26$; $m = 2$; $2a = 8$; $2p = 4$

Tipo embricato - 6 poli - 39 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matasса
39 lamelle - passo avvolgimento 1 ÷ 7 - passo lamelle 1 ÷ 3

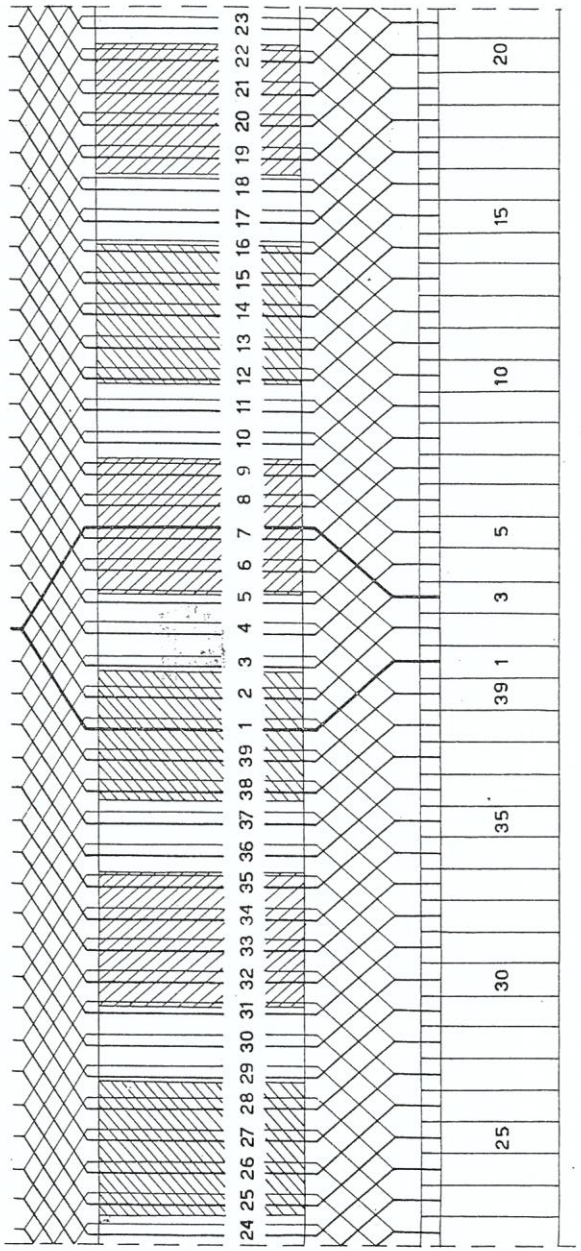


Fig. 103

I passi risultano:

$$y_1 = \frac{52-4}{4} + 1 = 13; \quad y = + \frac{2a}{p} = \frac{8}{2} = 4;$$

$$y_c = \frac{4}{2} = 2; \quad y_2 = 13 - 4 = 9; \quad y_n = \frac{13-1}{2} = 6;$$

$n_l = 26$ ed $y_c = 2$ hanno come m.c.d. 2 e conseguentemente si avranno 2 circuiti distinti

passo avvolgimento $1 \div 7$; passo lamelle $1 \div 3$

Tavola d'avvolgimento

1.° Circuito

connessioni posteriori

	$+ y_1$				$- y_2$											
Fascio	1	14	5	18	9	22	13	26	17	30	21	34	25	38		
Cava	1	7	3	9	5	11	7	13	9	15	11	17	13	19		
Lamella	1		3		5		7		9		11		13		15	

Fascio		29	42	33	46	37	50	41	2	45	6	49	10			
Cava		15	21	17	23	19	25	21	1	23	3	25	5			
Lamella	15		17		19		21		23		25		1			

connessioni al collettore

2.° Circuito

connessioni posteriori

	$+ y_1$				$- y_2$											
Fascio	3	16	7	20	11	24	15	28	19	32	23	36	27	40		
Cava	2	8	4	10	6	12	8	14	10	16	12	18	14	20		
Lamella	2		4		6		8		10		12		14		16	

Fascio		31	44	35	48	39	52	43	4	47	8	51	12			
Cava		16	22	18	24	20	26	22	2	24	4	26	6			
Lamella	16		18		20		22		24		26		2			

connessioni al collettore

La fig. 104 mostra lo schema rettangolare; vale per questo avvolgimento quanto si è detto per quello precedente.

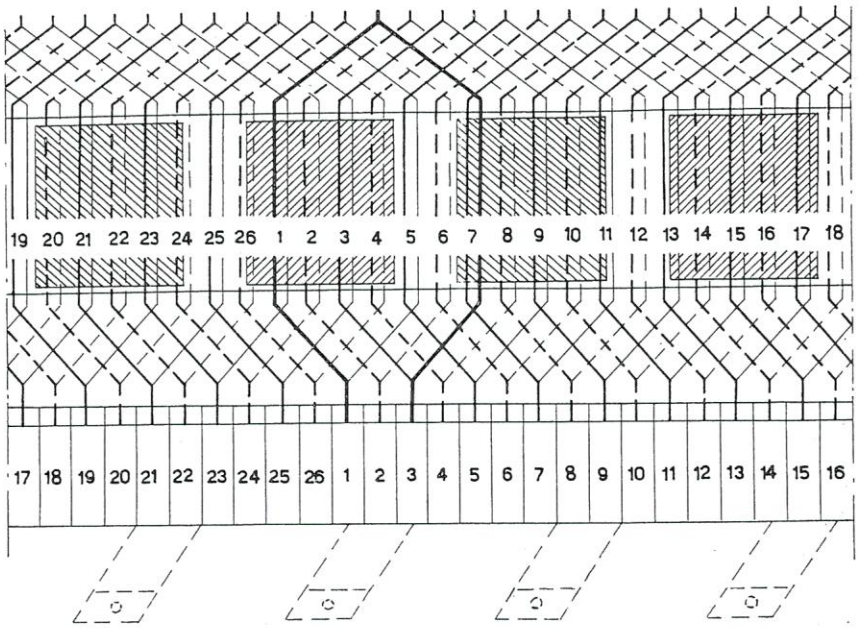


Fig. 104

17.° - *Avvolgimento embricato a circuiti multipli progressivo (2 matasse/cava - 1 zona/matassa) - 2 circuiti.*

$$n_c = 40; \quad F = 80; \quad n_l = 40; \quad m = 2; \quad 2a = 8; \quad 2p = 4$$

Si ha:

$$y_1 = \frac{80}{4} + 1 = 21; \quad y = \frac{2a}{p} = \frac{8}{2} = 4; \quad y_c = \frac{4}{2} = 2;$$

$$y_2 = 21 - 4 = 17; \quad y_n = \frac{21 - 1}{2} = 10; \quad n_l = 40; \quad y_c = 2; \quad r = 2$$

passo avvolgimento $1 \div 11$; passo lamelle $1 \div 3$

Tipo embricato (2 circuiti) - 4 poli - 40 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa
40 lamelle - passo avvolgimento $1 \div 11$ - passo lamelle $1 \div 3$

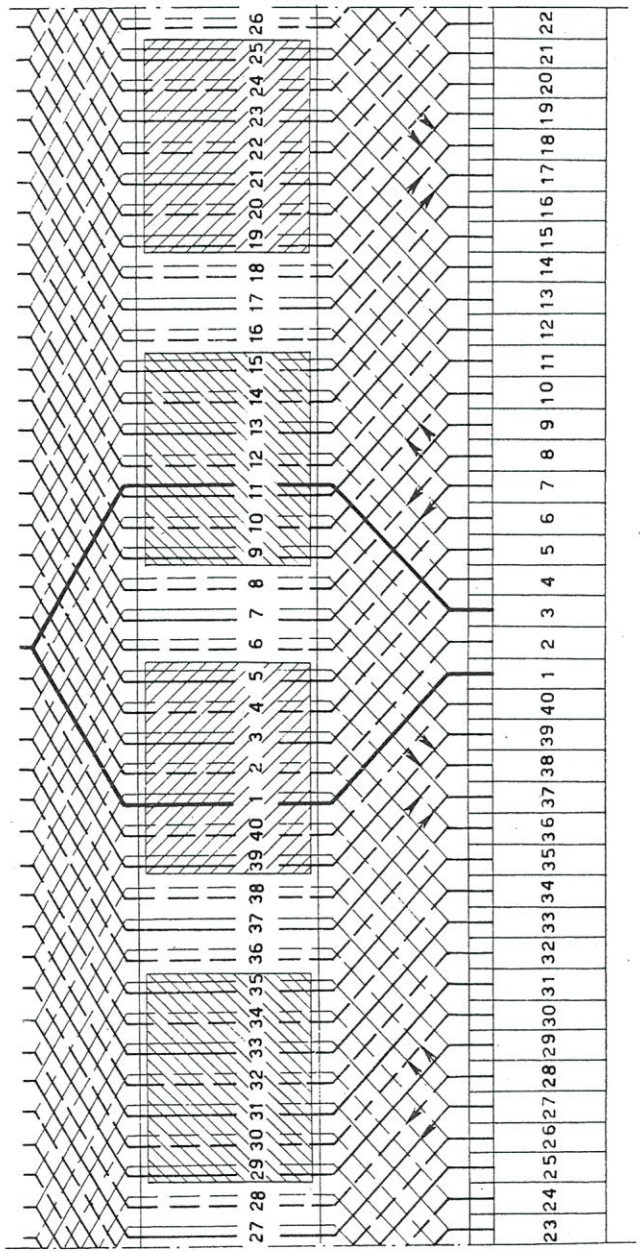


Fig. 105

Tavola d'avvolgimento

1.° Circuito

connessioni posteriori

Fascio	1	22	5	26	9	30	13	34	17	38	21	42	25	46	29	50	33	54	37	58
Cava	1	11	3	13	5	15	7	17	9	19	11	21	13	23	15	25	17	27	19	29
Lamella	1		3		5		7		9		11		13		15		17		19		21

Fascio	41	62	45	66	49	70	53	74	57	78	61	2	65	6	69	10	73	14	77	18
Cava	21	31	23	33	25	35	27	37	29	39	31	1	33	3	35	5	37	7	39	9
Lamella	21		23		25		27		29		31		33		35		37		39		1

connessioni al collettore

2.° Circuito

connessioni posteriori

Fascio	3	24	7	28	11	32	15	36	19	40	23	44	27	48	31	52	35	56	39	60
Cava	2	12	4	14	6	16	8	18	10	20	12	22	14	24	16	26	18	28	20	30
Lamella	2		4		6		8		10		12		14		16		18		20		22

Fascio	43	64	47	68	51	72	55	76	59	80	63	4	67	8	71	12	75	16	79	20
Cava	22	32	24	34	26	36	28	38	30	40	32	2	34	4	36	6	38	8	40	10
Lamella	22		24		26		28		30		32		34		36		38		40		2

connessioni al collettore

La fig. 105 mostra lo schema rettangolare dell'avvolgimento.

18.° - *Avvolgimento multipolare in serie progressivo.*

$n_c = 30$; $F = 30$; $n_l = 15$; $m = 1$; $2a = 2$; $2p = 4$

I passi risultano;

$$y = \frac{2n_l + 2}{p} = \frac{30 + 2}{2} = 16; \quad y_1 = 9; \quad y_2 = 7; \quad y_c = \frac{y}{2} = \frac{16}{2} = 8$$

$n_l = 15$ e $y_c = 8$ primi fra loro

Tavola d'avvolgimento

connessioni posteriori

Cava	1	10	17	26	3	12	19	28	5	14	21	30	7	16					
Lamella	1		9		2		10		3		11		4		12				

Cava	23	2	9	18	25	4	11	20	27	6	13	22	29	8	15	24			
Lamella	12		5		13		6		14		7		15		8		1		

connessioni al collettore

La fig. 106 mostra lo schema rettangolare.

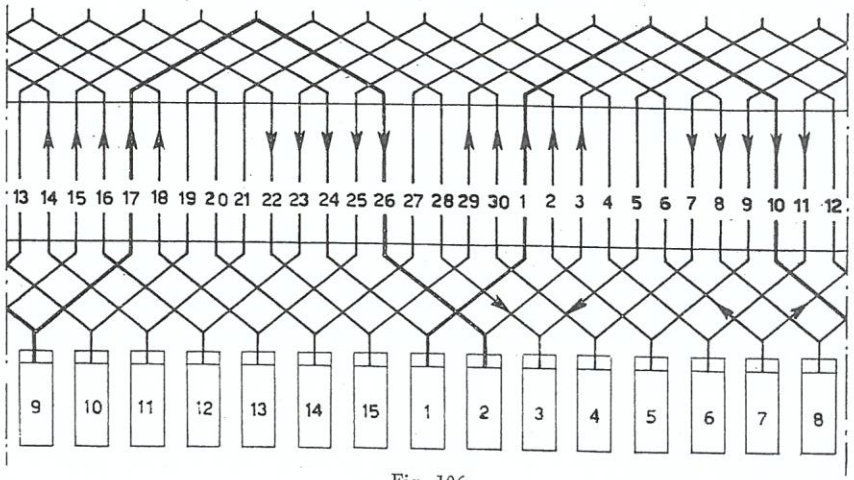


Fig. 106

I due circuiti comprendono, nell'istante considerato nella figura, i seguenti fasci:

$$\rightarrow \left[\begin{array}{l} \rightarrow \overline{13}\ 22\ 29\ 8\ 15\ 24\ 1\ 10\ 17\ 26\ 3\ \overline{12}\ \overline{19}\ \overline{28} - \rightarrow \\ \rightarrow \overline{6}\ \overline{27}\ \overline{20}\ 11\ \overline{4}\ 25\ 18\ 9\ 2\ 23\ 16\ 7\ 30\ \overline{21}\ 14\ \overline{5} \rightarrow \end{array}\right] \rightarrow +$$

Dallo specchietto si rileva che i fasci sede di f e m sono in numero eguale per ciascuna via. I numeri segnati con un trattino stanno ad indicare, come s'è detto, i fasci che nell'istante considerato non sono sede di f e m.

19.° - *Avvolgimento multipolare in serie progressivo.*

$n_c = 46$; $F = 46$; $n_l = 23$; $m = 1$; $2a = 2$; $2p = 4$

Si ha:

$$y = \frac{46 + 2}{2} = 24; \quad y_1 = 13; \quad y_2 = 11; \quad y_c = 12$$

$n_l = 23$ e $y_c = 12$ primi fra loro

Sia per la preparazione dello schema grafico che per l'esecuzione pratica dell'avvolgimento, basta conoscere, ripetiamo, il passo di avvolgimento (nel caso di un elemento per cava y_n risulta eguale ad y_1) ed il passo lamelle. Ecco perchè alcuni avvolgitori usano prepararsi uno *schema numerico ridotto* del seguente tipo:

Schema numerico

Cava	1	14
Lamella	1	13

Lo schema, evidentemente, sta ad indicare che il fascio 1 va collegato alla lamella 1 ed il fascio 14 alla lamella 13. I fasci 1 e 14 costituiscono una zona (nell'esempio una matassa di una sola zona).

Lo schema numerico ridotto consente di eseguire rapidamente lo schema grafico attenendosi alla seguente regola:

1) *dalla parte posteriore*: i fasci dispari successivi al fascio 1 devono essere collegati ordinatamente ai fasci pari successivi al 14, cioè il 3 al 16, ecc.;

2) *dalla parte anteriore*: i fasci dispari successivi al fascio 1 devono essere collegati ordinatamente alle lamelle successive alla 1 ed i fasci pari successivi al 14 alle lamelle successive alla 13, cioè: fascio 3 alla lamella 2, ecc.; fascio 16 alla lamella 14, ecc. (*).

Ciò risulta chiaramente dalla fig. 107 che mostra lo schema rettangolare dell'avvolgimento.

(*) Questa è la norma che seguono di solito gli avvolgitori per l'esecuzione dei *collegamenti al collettore*.

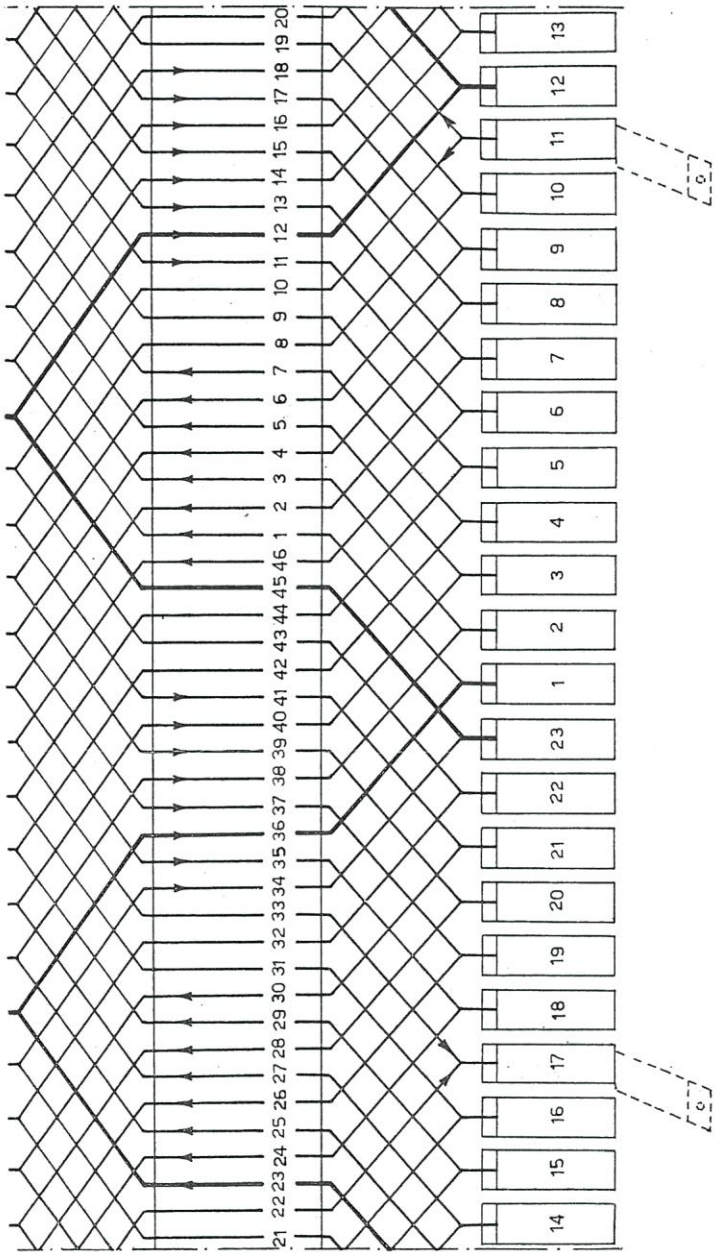


Fig. 107

20.° - *Avvolgimento multipolare in serie progressivo (2 matasse/cava - 1 zona/matassa).*

$$n_c = 43;\quad F = 86;\quad n_l = 43;\quad m = 2;\quad 2a = 2;\quad 2p = 8$$

$$y = \frac{86 + 2}{4} = 22;\quad y_1 = 11;\quad y_2 = 11;\quad y_c = 11;\quad y_n = \frac{11 - 1}{2} = 5$$

$n_l = 43$ e $y_c = 11$ primi fra loro

passo avvolgimento $1 \div 6$; passo lamelle $1 \div 12$

Affinchè possa figurare nello schema numerico ridotto anche il *valore del passo anteriore* y_2 (utile per eventuali controlli) consigliamo di adottare il seguente tipo di *schema*:

Schema numerico

Fascio	1	12	23
Cava	1	6	12
Lamella	1		12

La fig. 108 mostra lo schema rettangolare dell'avvolgimento, dal quale si vede appunto che i fasci 12 (cava 6) e 23 (cava 12) sono collegati alla lamella 12.

Per macchine a forti intensità si potrebbero disporre otto spazzole anzi che due; le spazzole omonime risulterebbero elettricamente vicine, perchè separate l'una dall'altra da una zona in posizione neutra.

21.° - *Avvolgimento multipolare in serie progressivo* (v. « *Esempi costruttivi* », n. 3) - (*2 matasse/cava - 3 zone/matassa*).

$$n_c = 21;\quad F = 126;\quad n_l = 63;\quad m = 6;\quad 2a = 2;\quad 2p = 4$$

I passi saranno:

$$y = \frac{126 + 2}{2} = 64;\quad y_1 = 31;\quad y_2 = 33;$$

$$y_n = \frac{31 - 1}{6} = 5;\quad y_c = \frac{64}{2} = 32$$

passo avvolgimento $1 \div 6$; passo lamelle $1 \div 33$

Schema numerico

Fascio	1	32	65
Cava	1	6	11
Lamella	1		33

Lo schema grafico è rappresentato nella tavola XXIII.

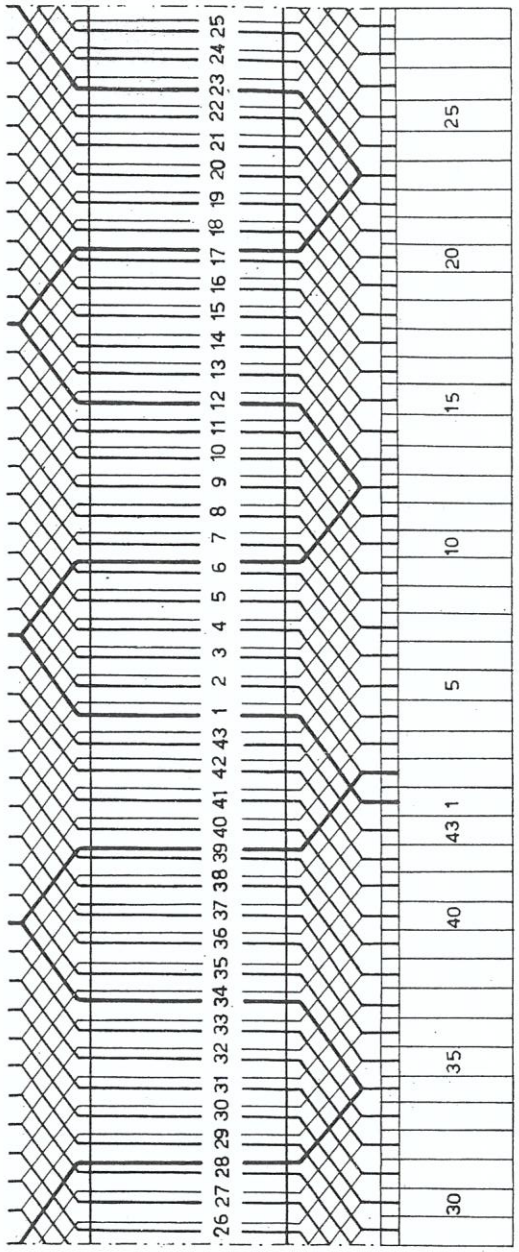


Fig. 108

22.° - *Avvolgimento ondulato serie-parallelo (2 matasse/cava - 1 zona/matassa).*

$n_c = 38;\quad F = 76;\quad n_l = 38;\quad m = 2;\quad 2a = 4;\quad 2p = 6$

Si ha:

$$y = \frac{2n_l - 2a}{p} = \frac{76 - 4}{3} = 24;$$

$y_1 = 13;\quad y_2 = 11;\quad y_c = 12;\quad y_n = 6$

$n_l = 38$ e $y_c = 12$ non sono primi fra loro;

il m. c. d. è 2 e quindi si avranno due circuiti distinti.

Schema numerico

Fascio	1	14	25
Cava	1	7	13
Lamella	1		13

passo avvolgimento $1 \div 7$; passo lamelle $1 \div 13$

La fig. 109 mostra lo schema grafico dell'avvolgimento.

Dalla figura si rileva che le 4 vie sono costituite, nell'istante considerato, dai fasci indicati nello specchietto seguente:

$$\begin{array}{l}
\rightarrow \overline{2}\ \overline{65}\ \overline{54}\ \overline{41}\ 30\ 17\ \ 6\ 69\ 58\ 45\ 34\ 21\ 10\ 73\ 62\ 49\ 38\ 25\ -\ -\ \rightarrow \\
\rightarrow \overline{13}\ \overline{26}\ 37\ 50\ 61\ 74\ \ 9\ 22\ 33\ 46\ 57\ 70\ \ 5\ 18\ 29\ 42\ \overline{53}\ \overline{66}\ \ \overline{1}\ \overline{14}\ \rightarrow \\
\rightarrow 4\ 67\ 56\ 43\ 32\ 19\ \ 8\ 71\ 60\ 47\ 36\ 23\ 12\ 75\ \overline{64}\ \overline{51}\ \overline{40}\ \overline{27}\ -\ -\ \rightarrow \\
\rightarrow \overline{15}\ \overline{28}\ \overline{39}\ \overline{52}\ 63\ 76\ 11\ 24\ 35\ 48\ 59\ 72\ \ 7\ 20\ 31\ 44\ 55\ 68\ \ \overline{3}\ \overline{16}\ \rightarrow
\end{array}$$

$- \rightarrow$ $\rightarrow +$

Non è soddisfatta una delle condizioni di simmetria e precisamente p/a=numero intero e pertanto si avranno sensibili correnti di circolazione.

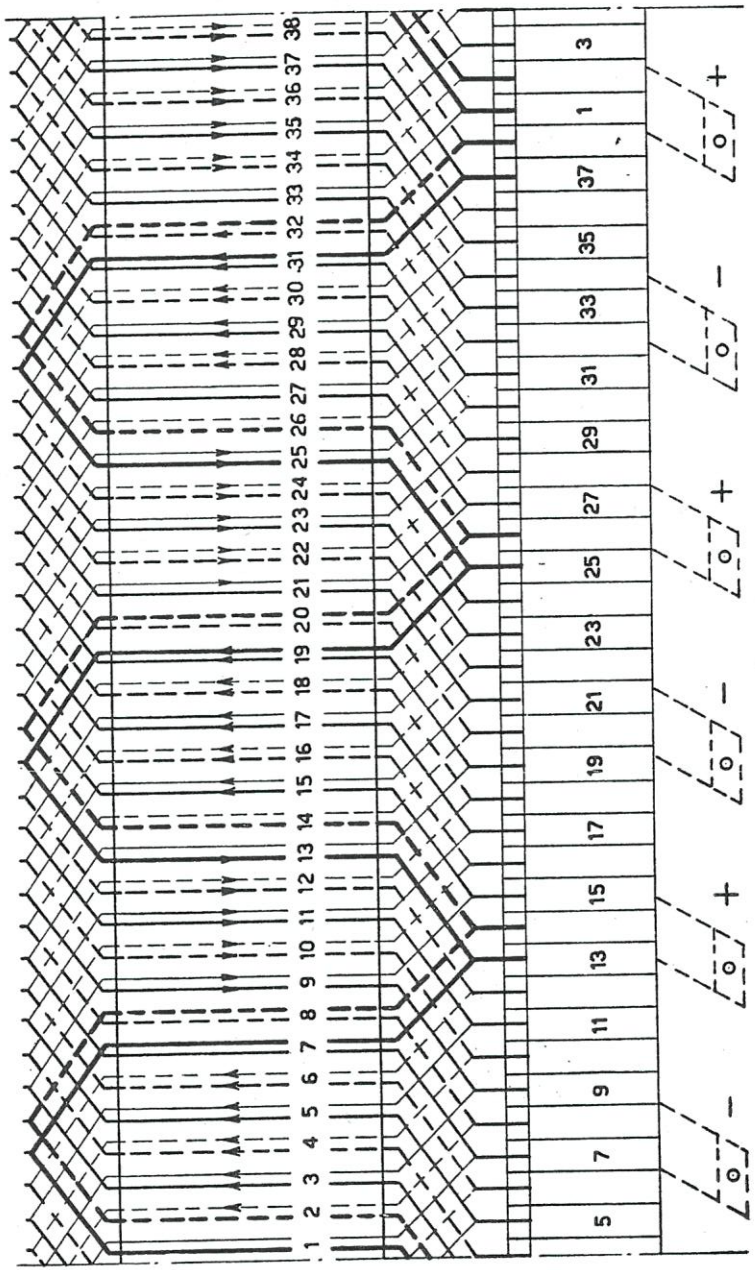
Applicando 6 spazzole le 4 vie potrebbero essere costituite come è indicato nello specchietto seguente:

1° —	Dalla lamella	7	al fascio	13	fino al fascio	66	ed alla lamella	1 +
2° —	»	7	»	2	»	1	»	1 +
3° —	»	8	»	15	»	16	»	14 +
4° —	»	8	»	4	»	27	»	14 +

La larghezza delle spazzole deve essere sempre tale da unire in parallelo i due circuiti (v. « *Osservazioni* » alle pagg. 129 e 130).

23.° - *Avvolgimento ondulato serie-parallelo regressivo (2 matasse/cava - 2 zone/matassa).*

$n_c = 30;\quad F = 120;\quad n_l = 60;\quad m = 4;\quad 2a = 2p = 6$



Tipo ondulato (serie-parallelo) - 6 poli - 38 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa
38 lamelle - passo avvolgimento $1 \div 7$ - passo lamelle $1 \div 13$

Fig. 109

Si avrà:

$$y = \frac{2n_l}{p} - 2 = \frac{120}{3} - 2 = 38; \quad y_1 = 21; \quad y_2 = 17;$$

$$y_c = 19; \quad y_n = \frac{y_1 - 1}{m} = \frac{21 - 1}{4} = 5;$$

$n_l = 60$ e $y_c = 19$ primi fra loro

passo avvolgimento $1 \div 6$; passo lamelle $1 \div 20$

Schema numerico

Fascio	1	22	39
Cava	1	6	10
Lamella	1		20

Non si possono adottare passi componenti eguali perchè per $y_1 = 19$ il passo d'avvolgimento y_n non risulterebbe intero (*).
La fig. 110 mostra lo schema grafico relativo (**).

24.° - *Avvolgimento ondulato serie-parallelo progressivo (2 matasse/cava - 1 zona/matassa) - 2 circuiti.*

$$n_c = 46; \quad F = 92; \quad n_l = 46; \quad m = 2; \quad 2a = 2p = 4$$

Si ha:

$$y = \frac{92}{2} + 2 = 48; \quad y_1 = 25; \quad y_2 = 23; \quad y_c = 24;$$

$$y_n = \frac{25 - 1}{2} = 12$$

passo avvolgimento $1 \div 13$; passo lamelle $1 \div 25$

Schema numerico

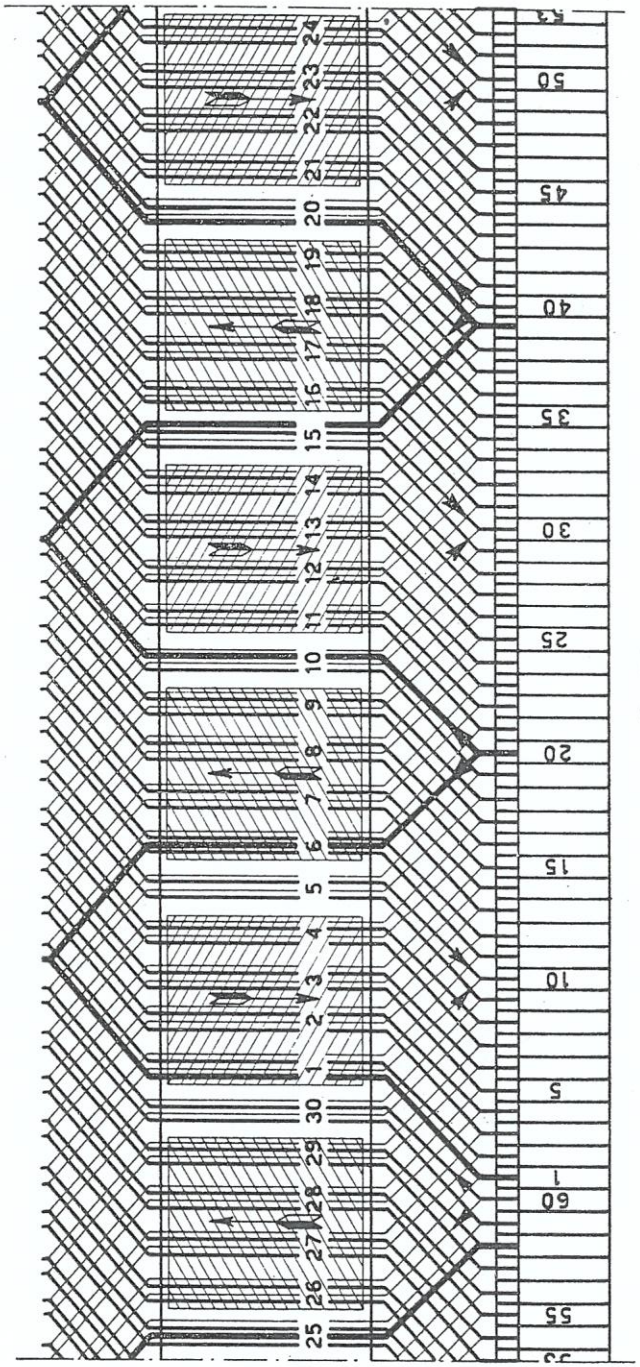
Fascio	1	26	49
Cava	1	13	25
Lamella	1		25

Il m.c.d. di $n_l = 46$ e $y_c = 24$ è eguale a 2; si avranno quindi due circuiti distinti.
La fig. 111 mostra lo schema rettangolare dell'avvolgimento.

25.° - *Avvolgimento ondulato semplice o multipolare in serie regressivo con zona inattiva (2 matasse/cava - 2 zone/matassa).*

$$n_c = 20; \quad F = 80; \quad n_l = 41; \quad m = 4; \quad 2p = 4; \quad 2a = 2$$

(*) Naturalmente nell'avvolgimento progressivo si avrebbe: $y = 42$ e $y_1 = y_2 = y_c = 21$.
(**) Quando l'avvolgimento serie-parallelo con $2a = 2p$ risulta costituito da un solo circuito (n_l e y_c primi fra loro), esso è equivalente all'avvolgimento embricato semplice.



Tipo ondulato (serie-parallelo) - 6 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa
60 lamelle - passo avvolgimento $1 \div 6$ - passo lamelle $1 \div 20$

Fig. 110

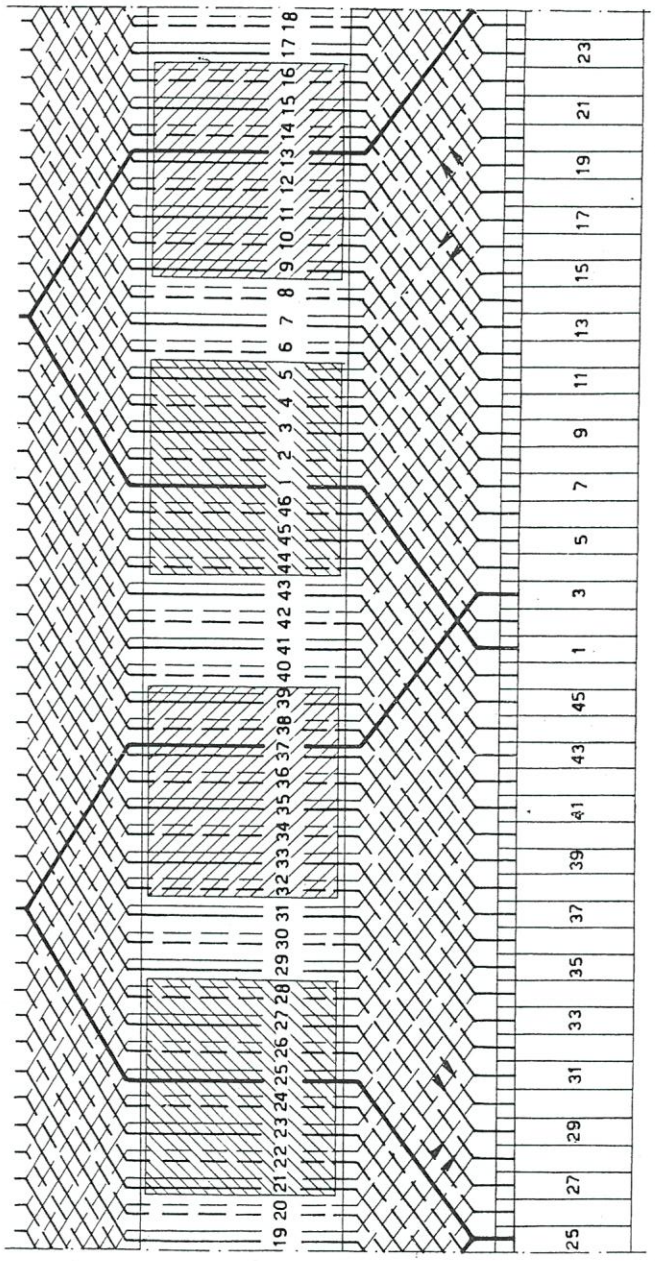


Fig. 111

Si ha:

$$y = \frac{2n_l - 2}{2} = \frac{(F+2)-2}{2} = \frac{82-2}{2} = 40;$$

$$y_1 = 21; \quad y_2 = 19; \quad y_c = 20; \quad y_n = \frac{21-1}{4} = 5$$

passo avvolgimento $1 \div 6$; passo lamelle $1 \div 21$

Schema numerico

Fascio	1	22	41
Cava	1	6	11
Lamella	1		21

Per l'esecuzione dello schema grafico si procede allo stesso modo degli avvolgimenti normali, cioè come esposto nell'esempio 19° (v. tav. XXII).

Alle lamelle 41 e 20, cioè a quelle che precedono le due lamelle alle quali sono stati collegati i capi della 1ª zona, risulterà collegato il capo di una sola zona anzichè di due; quindi l'avvolgimento risulterebbe aperto se queste due lamelle non venissero collegate fra loro. Il collegamento va fatto mediante un breve tratto di conduttore di sezione eguale a quella adottata per l'avvolgimento indotto; questo **collegamento** costituisce appunto la **zona inattiva.**

L'esecuzione pratica dell'avvolgimento risulta assai semplice: dopo aver montato le matasse, in base al *passo alle cave* o *passo d'avvolgimento*, si effettuano le connessioni al collettore con lo stesso metodo esposto per lo schema grafico.

Dalla tav. XXII si rileva, come mostra lo specchietto che segue, che partendo da una lamella qualsiasi, per esempio dalla 1, si perviene a quella di partenza dopo avere percorso tutte le zone, compresa la zona inattiva. Lo specchietto mostra infine che la zona inattiva ha la stessa funzione di due fasci (non sede di f e m) e che il passo alle lamelle è costante. La costanza di y_c costituisce una prova di controllo dell'esattezza dei collegamenti alle lamelle.

Dalla	lamella	1	al fascio	1	al fascio 22	alla lamella	21
»		21	»	41	» 62	»	41
»		41	alla	zona	inattiva	»	20
»		20	al fascio	39	al fascio 60	»	40
»		40	»	79	» 20	»	19
»		19	»	37	» 58	»	39
»		39	»	77	» 18	»	18
»		18	»	35	» 56	»	38
»		38	»	75	» 16	»	17
»		17	»	33	» 54	»	37
»		37	»	73	» 14	»	16
»		16	»	31	» 52	»	36
.	.	.	.	.	. . .	.	.
.	.	.	.	.	. . .	.	.
Dalla	lamella	23	al fascio	45	al fascio 66	alla lamella	2
»		2	»	3	» 24	»	22
»		22	»	43	» 64	»	1

26.° - *Avvolgimento ondulato semplice o multipolare in serie progressivo con zona morta (2 matasse/cava - 2 zone/matassa).*

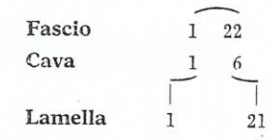
$$n_c = 20;\quad F = 80;\quad n_l = 39;\quad m = 4;\quad 2p = 4;\quad 2a = 2$$

Si avrà:

$$y = \frac{2n_l + 2}{2} = \frac{(F-2)+2}{2} = \frac{78+2}{2} = 40;$$

$$y_1 = 21;\quad y_2 = 19;\quad y_c = 20;\quad y_m = \frac{21-1}{4} = 5$$

Schema numerico



Per la preparazione dello schema grafico o per l'esecuzione pratica dei collegamenti al collettore è sufficiente escludere i capi di una zona qualsiasi e procedere poi con le stesse regole esposte precedentemente per gli avvolgimenti normali (v. es. 19.°).

Per lo schema grafico v. tav. XXI.

Schemi di avvolgimenti ed esempi costruttivi

Gli esempi di avvolgimenti presentati finora hanno avuto principalmente lo scopo di mettere in evidenza le differenze sostanziali che passano fra i diversi tipi di avvolgimento. Nelle tavole da XIV ÷ XXVIII sono invece rappresentati schemi di avvolgimenti di rotori a corrente continua eseguiti in base a dati rilevati su macchine da riavvolgere. Nella tav. XIV è rappresentato l'avvolgimento indotto a 2 passi posteriori di un motorino a spazzole fisse (*) di una ditta inglese e nella tav. XV lo stesso avvolgimento ad un solo passo; questo tipo va eseguito con tre fili, come risulta chiaramente dallo schema, e presenta il vantaggio di un minore ingombro delle testate. La tav. XXIV mostra un avvolgimento indotto (con zona morta) pure a 2 passi di un motorino della Brown Boveri e la tav. XXV lo stesso avvolgimento ad un solo passo (il sistema a 2 passi consente una piccola economia di rame). Evidentemente questi avvolgimenti a 2 passi si eseguono direttamente sull'armatura.

La tav. XVIII mostra lo schema di un indotto a 2 collettori e la tav. XIX lo schema di un avvolgimento embricato con connessioni equipotenziali (v. « *Esempi costruttivi di macchine a corrente continua* », n. 24).

(*) Le spazzole sono disposte in corrispondenza del piano neutro.

Le tavole XX, XXIII e XXV rappresentano gli avvolgimenti degli esempi costruttivi 25°, 3° e 5° rispettivamente; la tav. XX rappresenta lo schema del 1° esempio di calcolo del cap. VII (*).

Nella tavola XXVIII è rappresentato l'*avvolgimento indotto di una dinamo Bosch per auto* e nelle tavole XXIX, XXX e XXXI rispettivamente la *sezione dell'indotto* ed i *particolari costruttivi* della stessa dinamo; nella tavola XXXII è illustrata una *dinamo Marelli* sezionata.

Infine riportiamo alcuni esempi di costruzioni, con i dati necessari (dati di targa, dimensioni principali e dati sugli avvolgimenti) affinchè il lettore possa eseguire sia lo schema dell'avvolgimento, sia i calcoli o le verifiche relativi all'avvolgimento indotto, induttore, ecc., secondo i criteri di calcolo che saranno esposti in seguito.

(*) Può sembrare esagerata la lunghezza del collettore rispetto a quella del pacco lamiere, ma non è così perchè la lunghezza assiale del pacco lamiere è di 60 mm contro i 460 del collettore. Trattandosi di un generatore a corrente continua a bassa tensione ed elevata intensità (24 kW - 12 V - 2000 A) e non potendo aumentare la larghezza delle lamelle oltre dati limiti (normalmente la larghezza non raggiunge i 10 mm e solo eccezionalmente si fa maggiore), si rende necessario aumentare la lunghezza del collettore, in modo da ottenere nelle spazzole una densità di corrente tra 6 e 10 A/mm².

Schemi d'avvolgimenti di rotori a corrente continua

TAVOLA XIV

Tipo embricato - 2 poli - 14 cave - 3 fasci/cava - 21 lamelle - passi avvolg. 1 ÷ 7 e 1 ÷ 8 - passo lamelle 1 ÷ 2

(avvolgimento diretto)

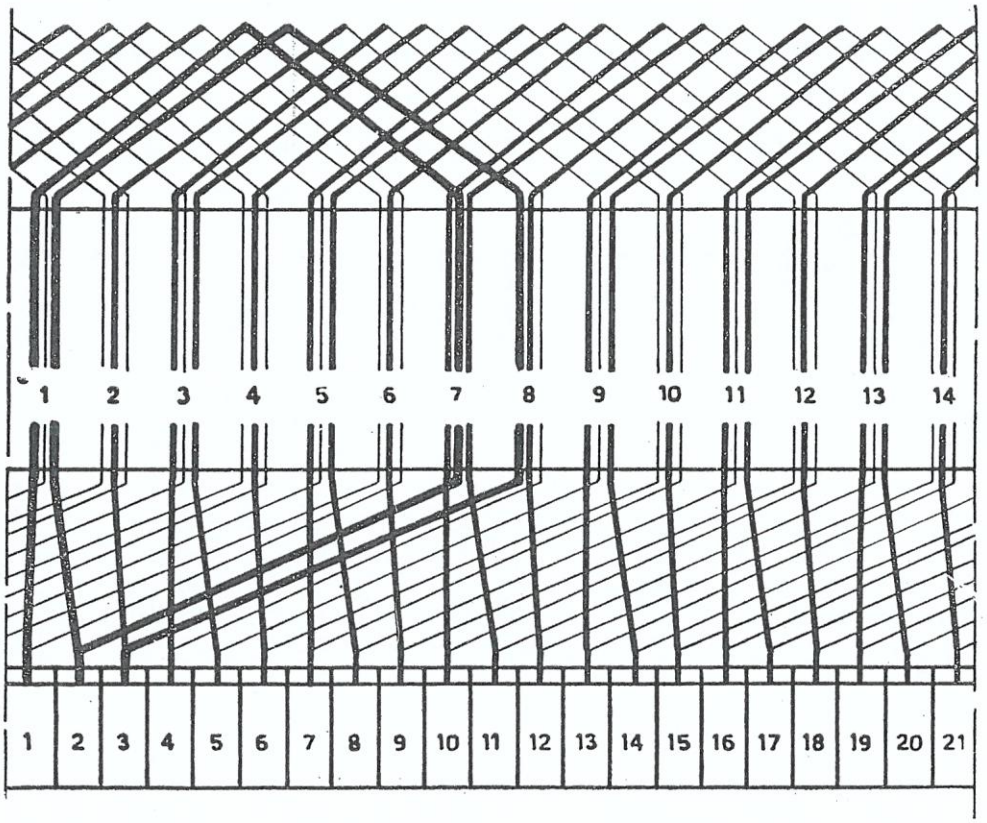


TAVOLA XV

Tipo embricato - 2 poli - 14 cave - 3 fasci/cava - 21 lamelle - passo avvolgimento 1 ÷ 8 - passo lamelle 1 ÷ 2

(avvolgimento diretto a 3 capi)

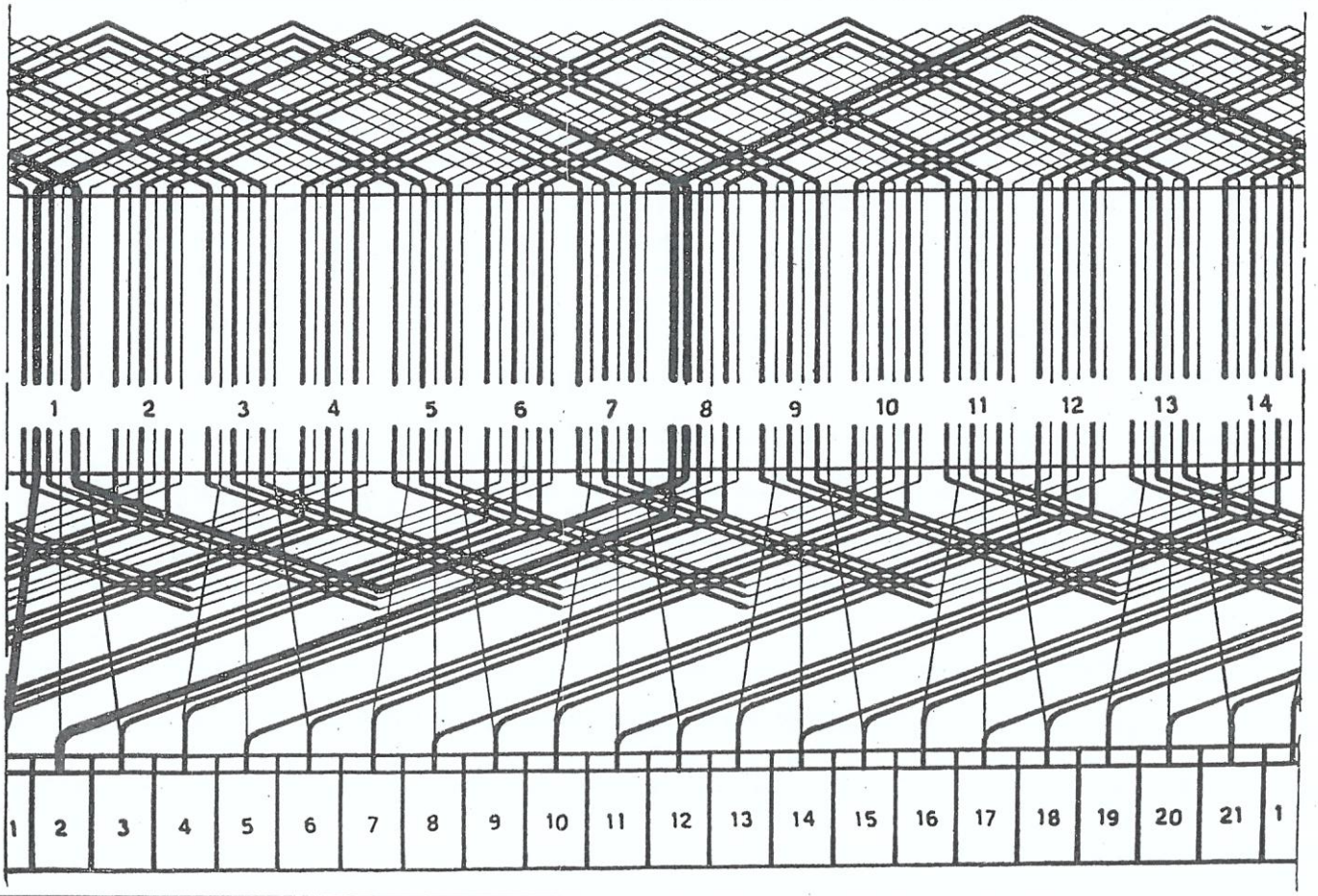


TAVOLA XVI

Tipo embricato - 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 36 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 8 - passo lamelle 1 ÷ 2

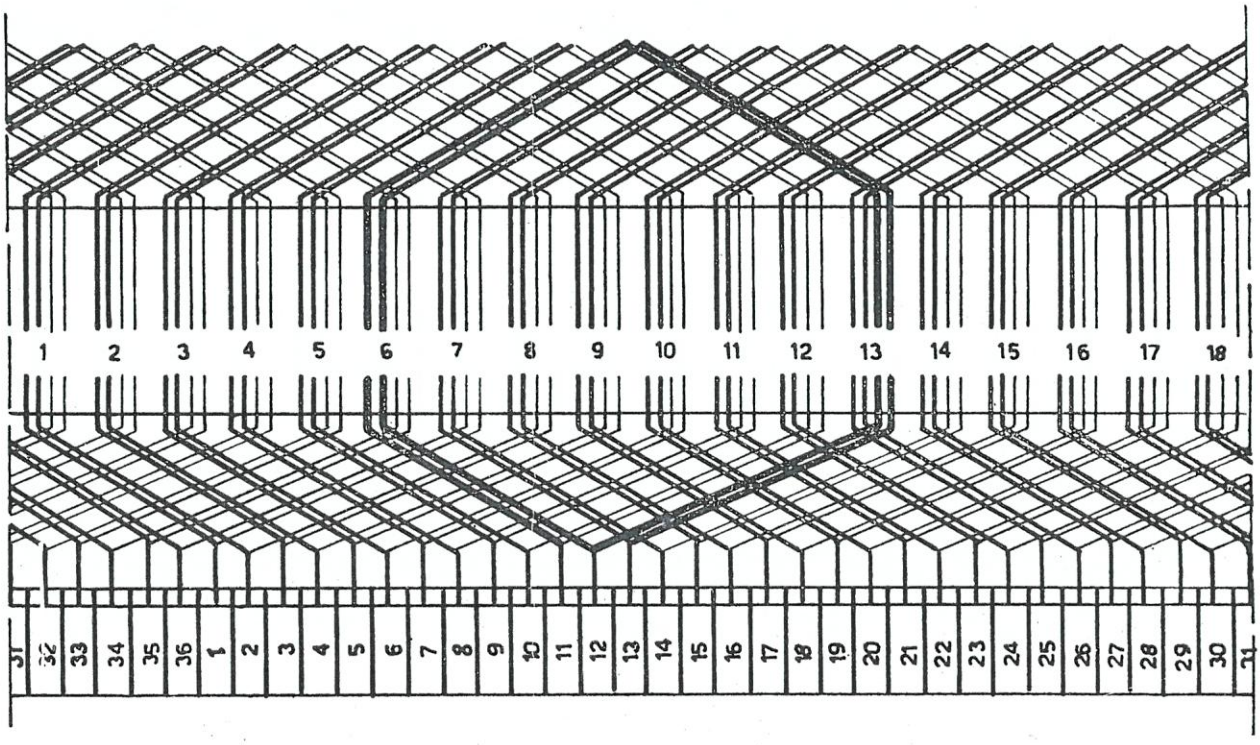


TAVOLA XVII

Tipo embricato - 2 poli - 22 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 44 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 11 - passo lamelle 1 ÷ 2

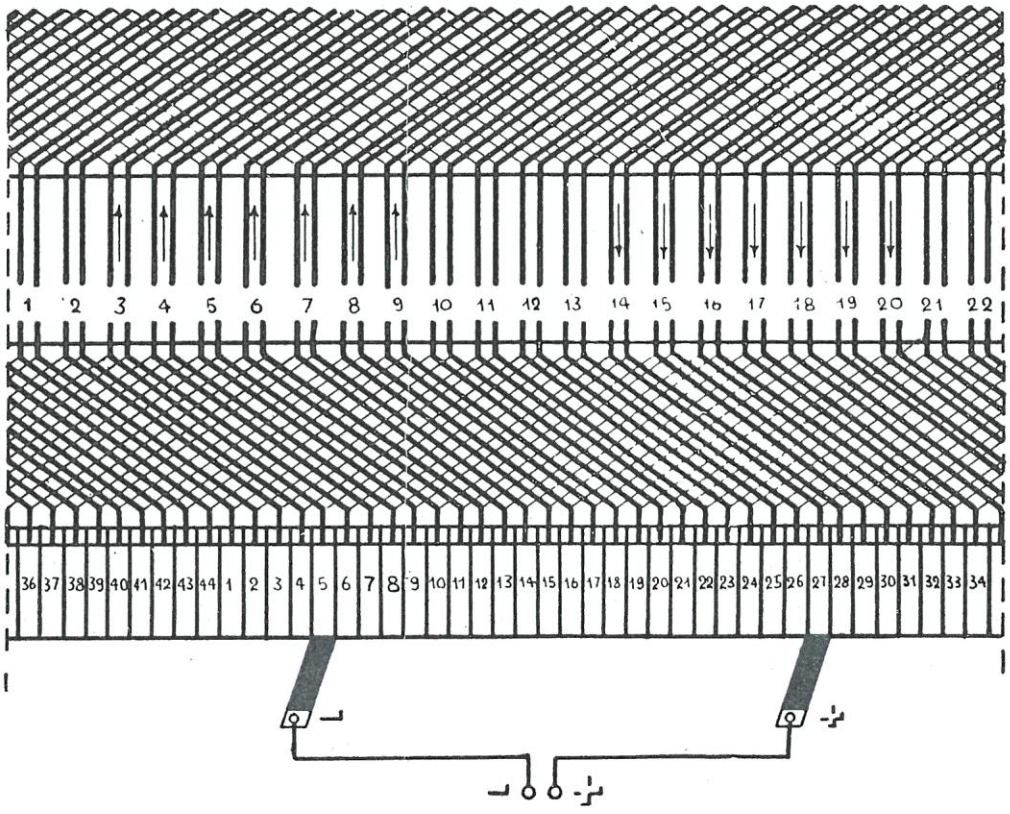


TAVOLA XVIII

Tipo embricato - 4 poli - 17 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa
2 collettori - 17 lamelle/collettore - passo avvolg. 1 ÷ 5 - passo lamelle 1 ÷ 2

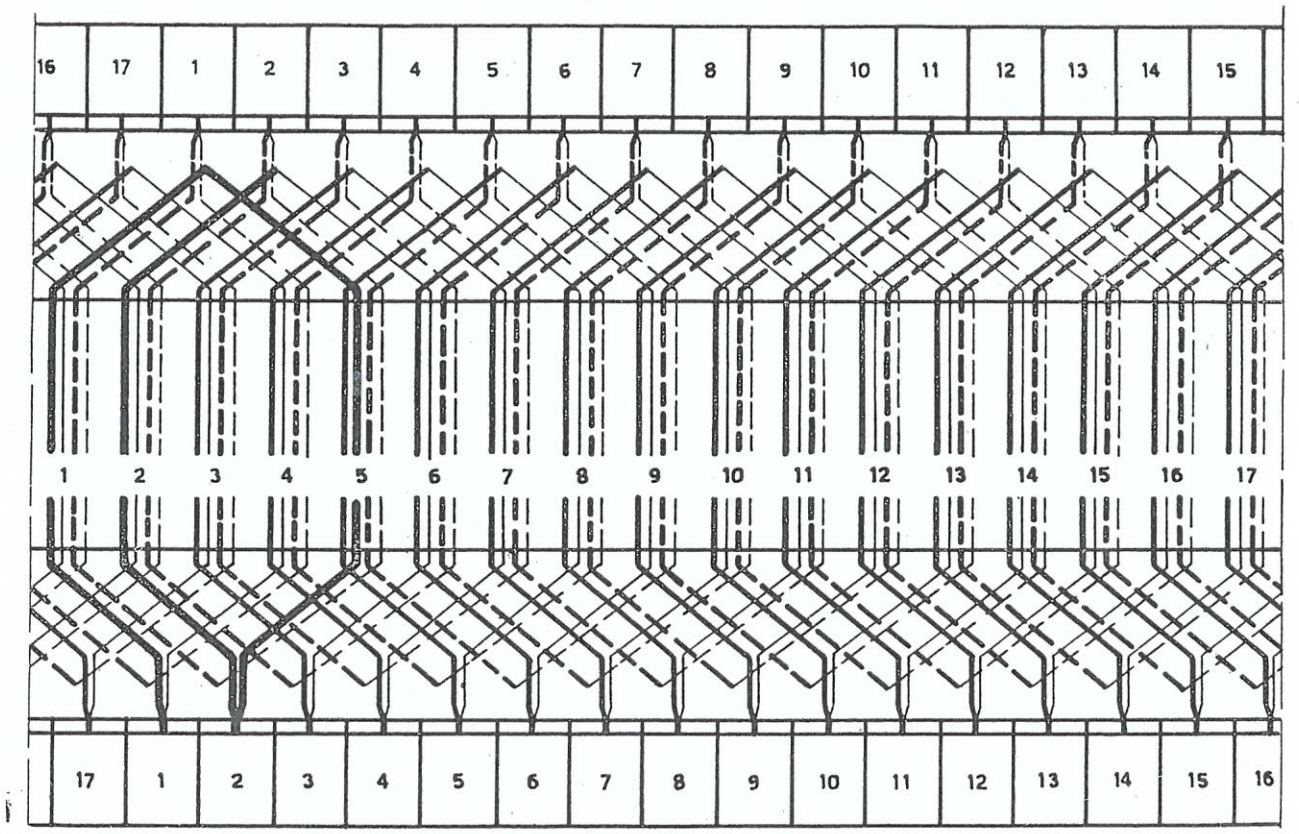
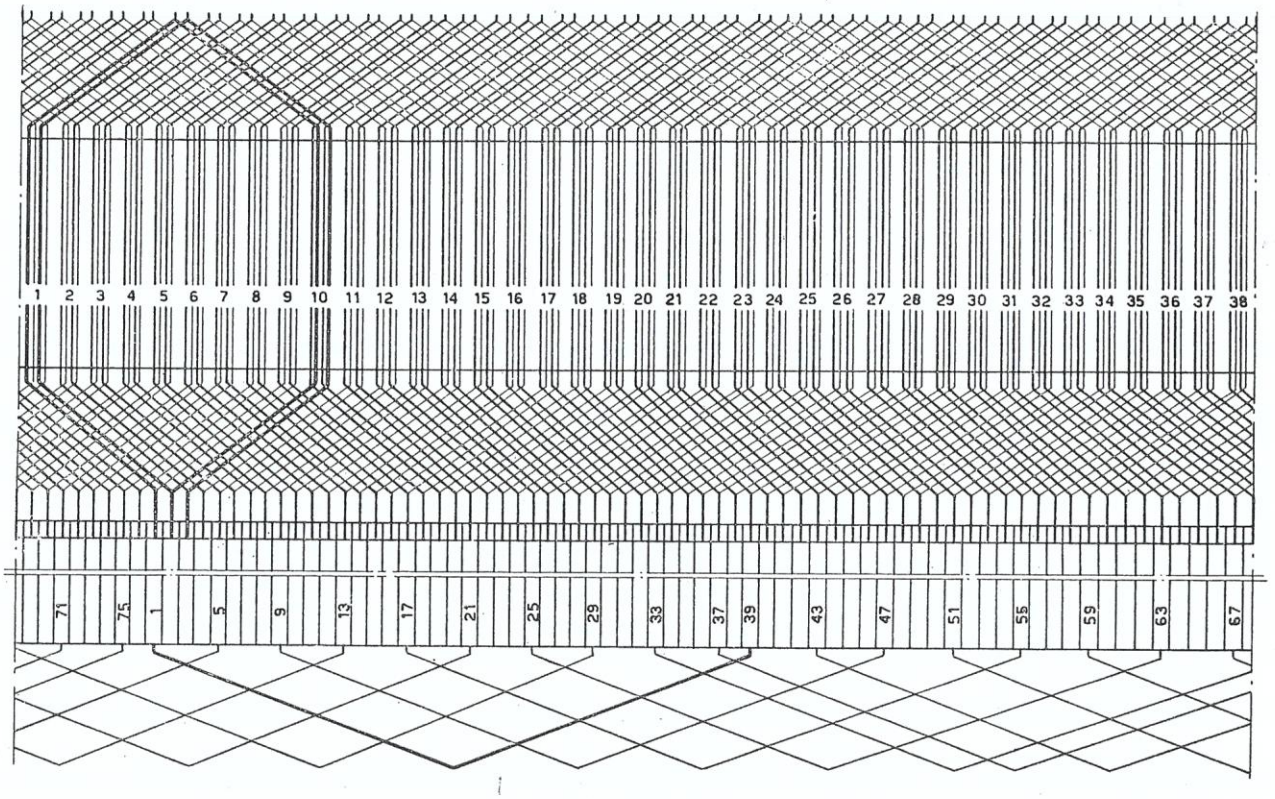
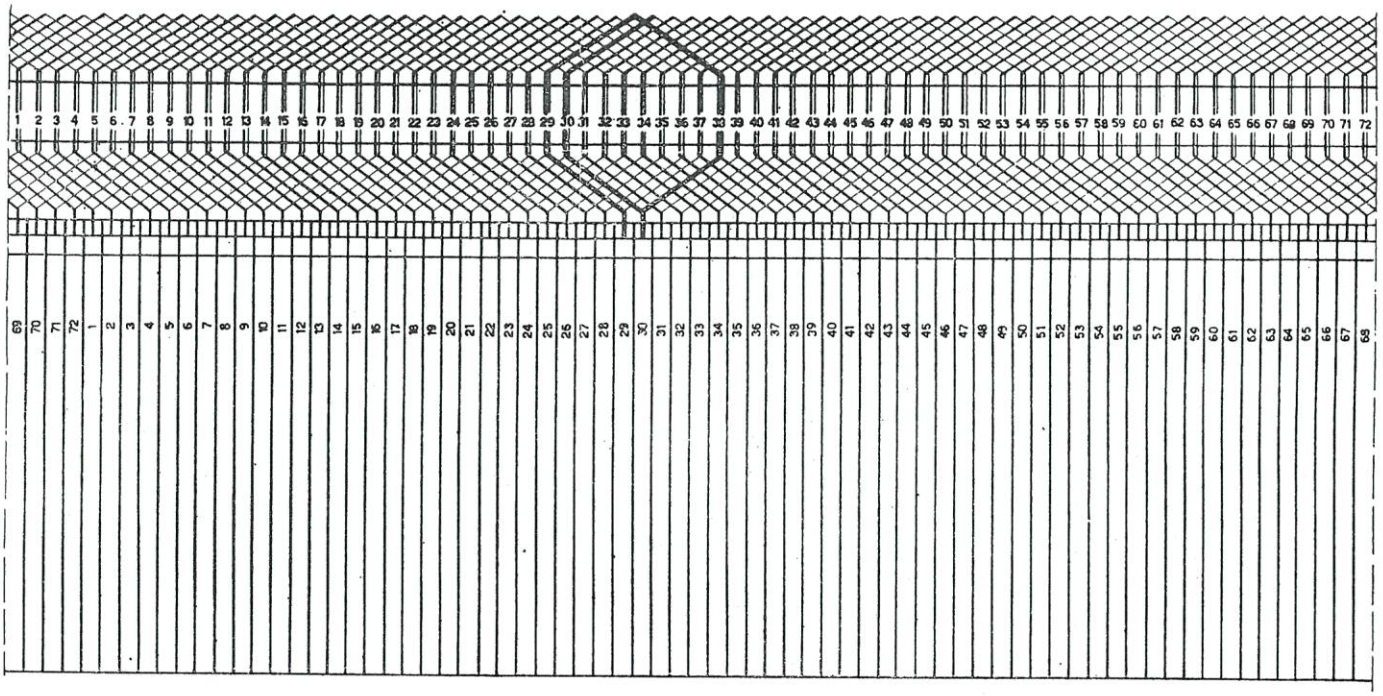


TAVOLA XIX

Tipo embricato - 4 poli - 38 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 76 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 10 - passo lamelle 1 ÷ 2 - passo equipotenziali 1 ÷ 39



Tipo embricato - 8 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa - 72 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 10 - passo lamelle 1 ÷ 2



V. « *Esempi costruttivi di macchine a corrente continua* », n. 25.

Tipo ondulato - 4 poli - 20 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 39 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 6 - passo lamelle 1 ÷ 21

(Dinamo Bosch con zona inutilizzata o morta)

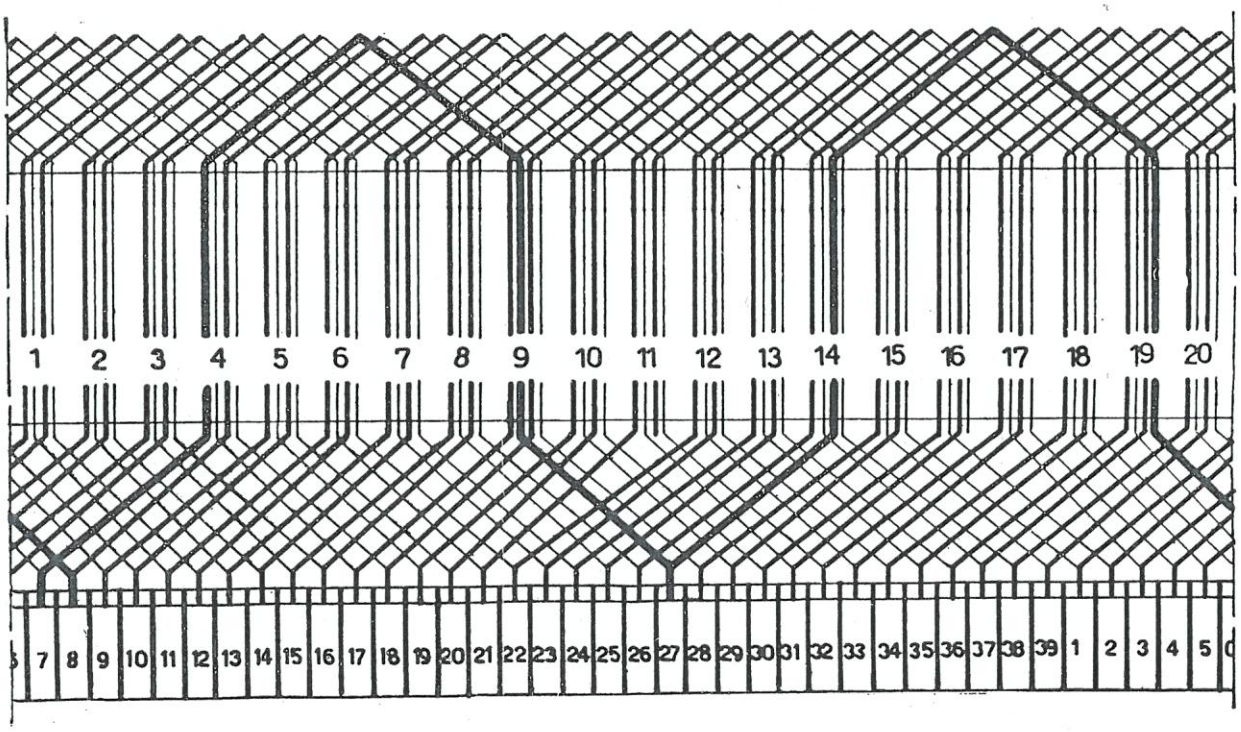


TAVOLA XXII

Tipo ondulato - 4 poli - 20 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 41 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 6 - passo lamelle 1 ÷ 21

(Dinamo per auto con zona inattiva)

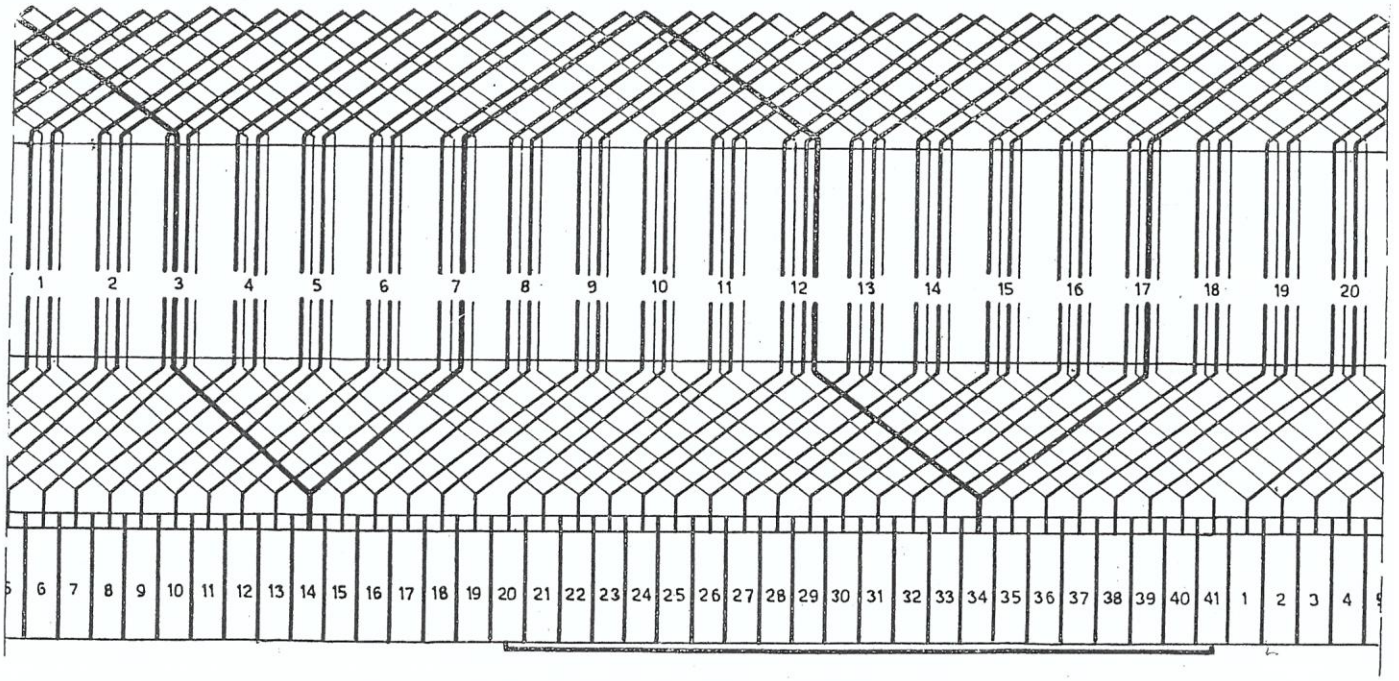
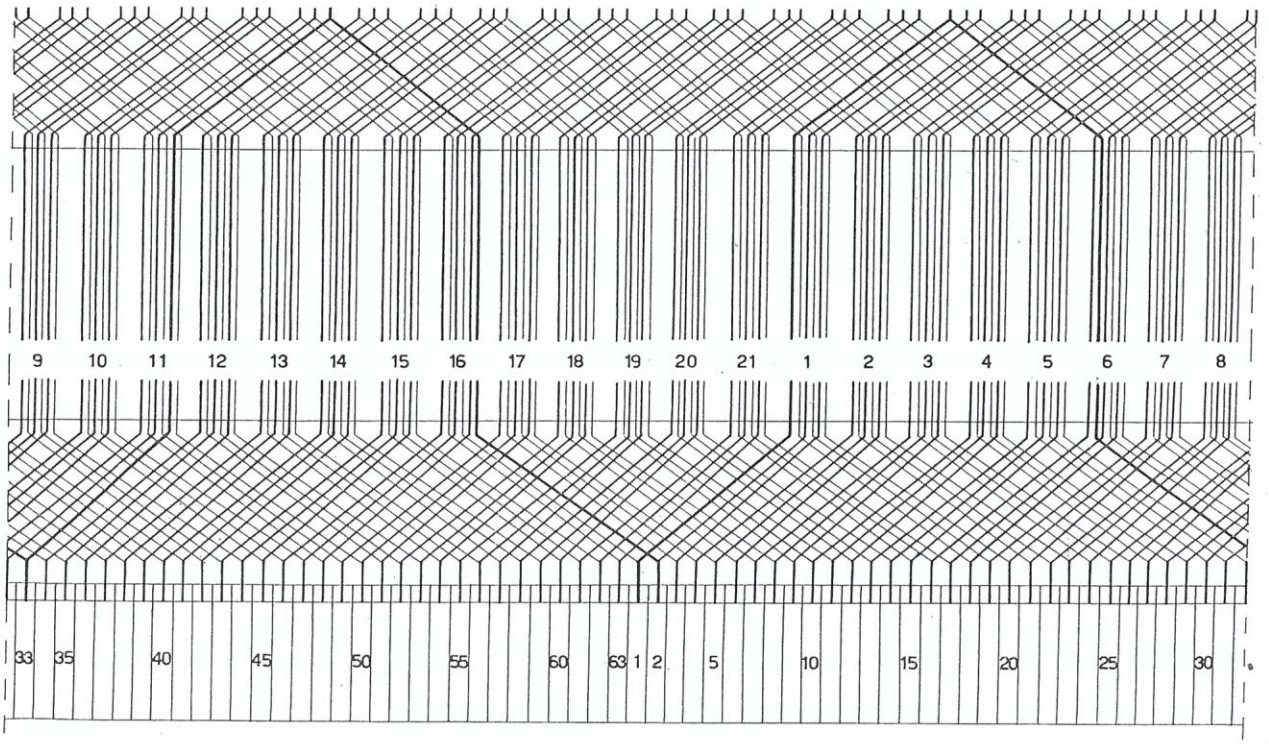


TAVOLA XXIII

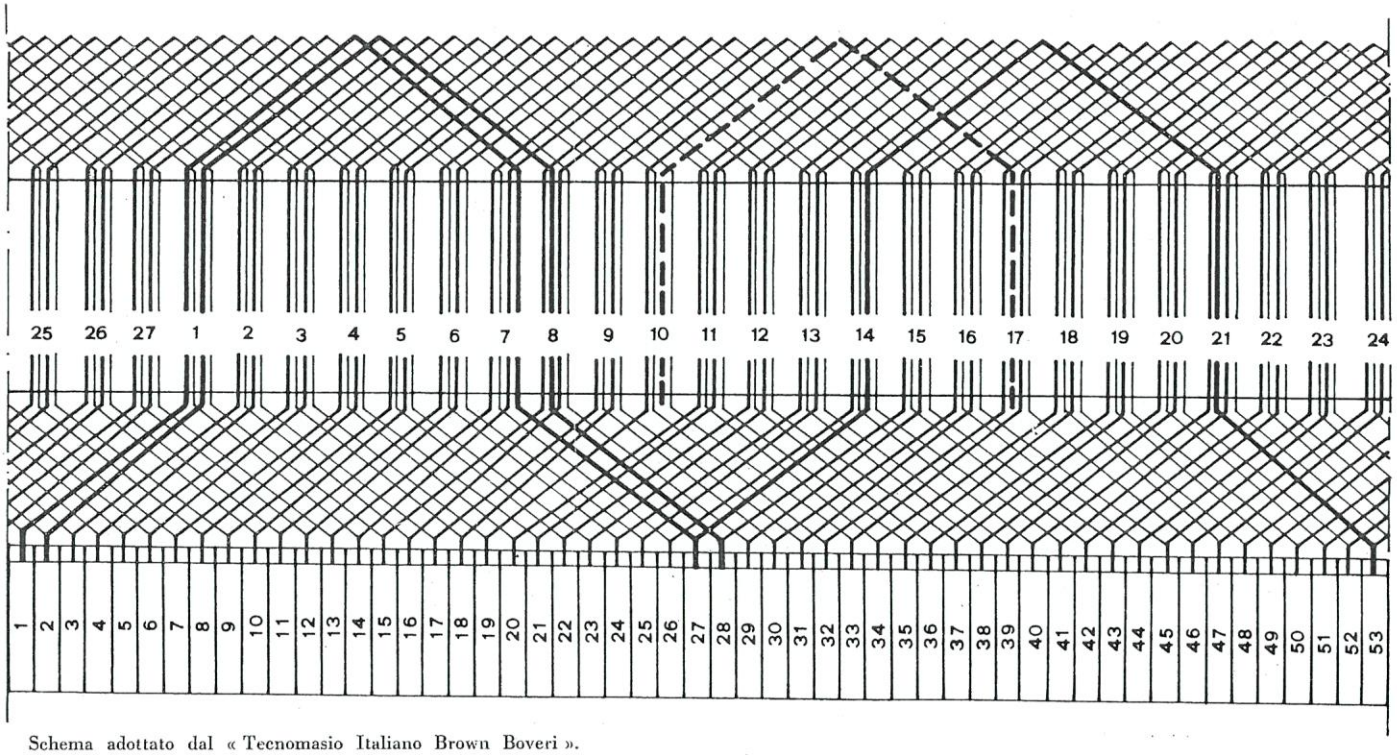
Tipo ondulato - 4 poli - 21 cave - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa - 63 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 6 - passo lamelle 1 ÷ 33



V. « *Esempi costruttivi di macchine a corrente continua* », n. 3.

Tipo ondulato - 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 53 lamelle
passi avvolgimento 1 ÷ 7 e 1 ÷ 8 - passo lamelle 1 ÷ 27

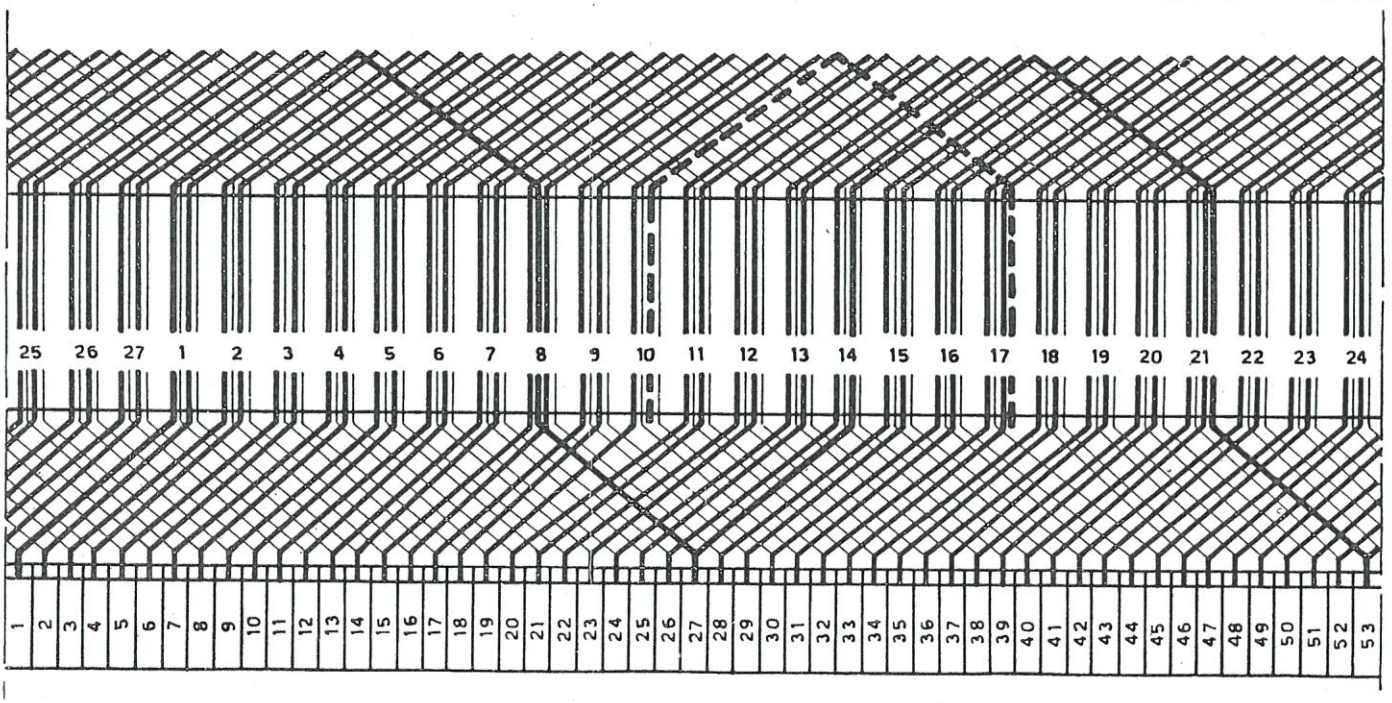
(avvolgimento diretto con zona morta)



Schema adottato dal « Tecnomasio Italiano Brown Boveri ».

Tipo ondulato - 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 53 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 8 - passo lamelle 1 ÷ 27

(avvolgimento diretto con zona morta)



V. « *Esempi costruttivi di macchine a corrente continua* », n. 5.

TAVOLA XXVI

Tipo ondulato - 4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa - 81 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 8 - passo lamelle 1 ÷ 42

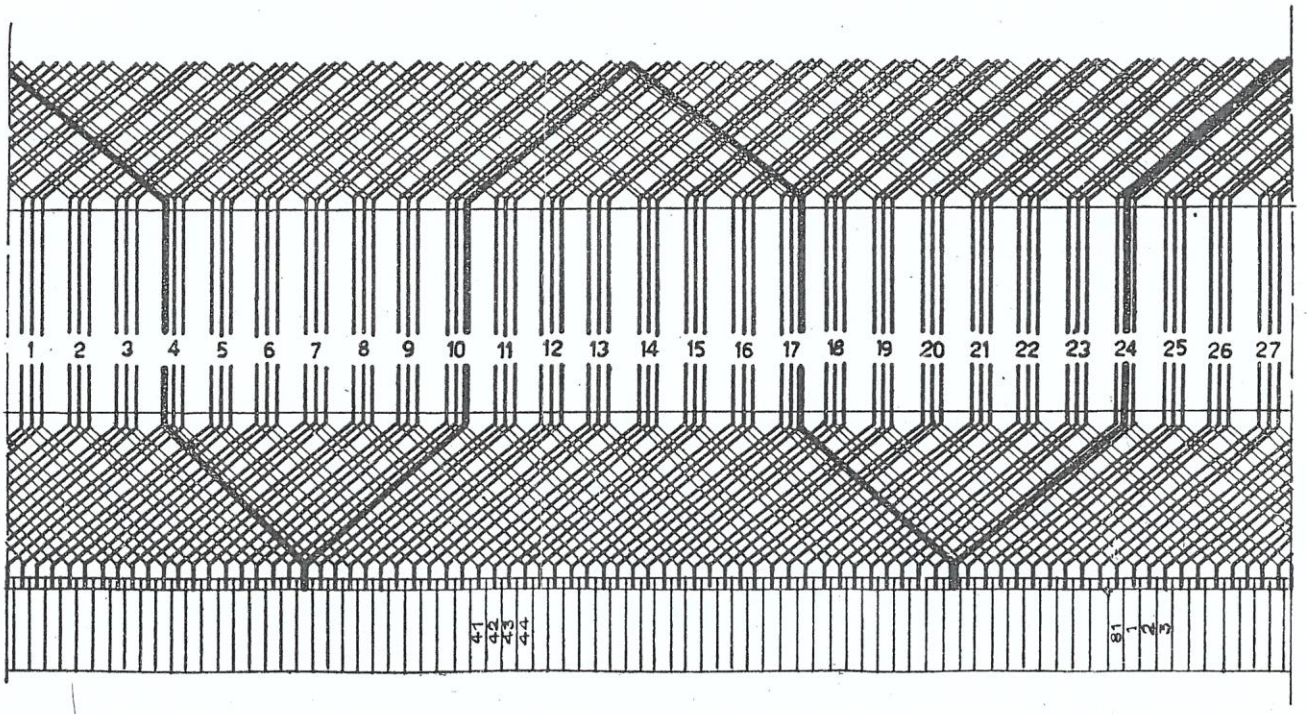
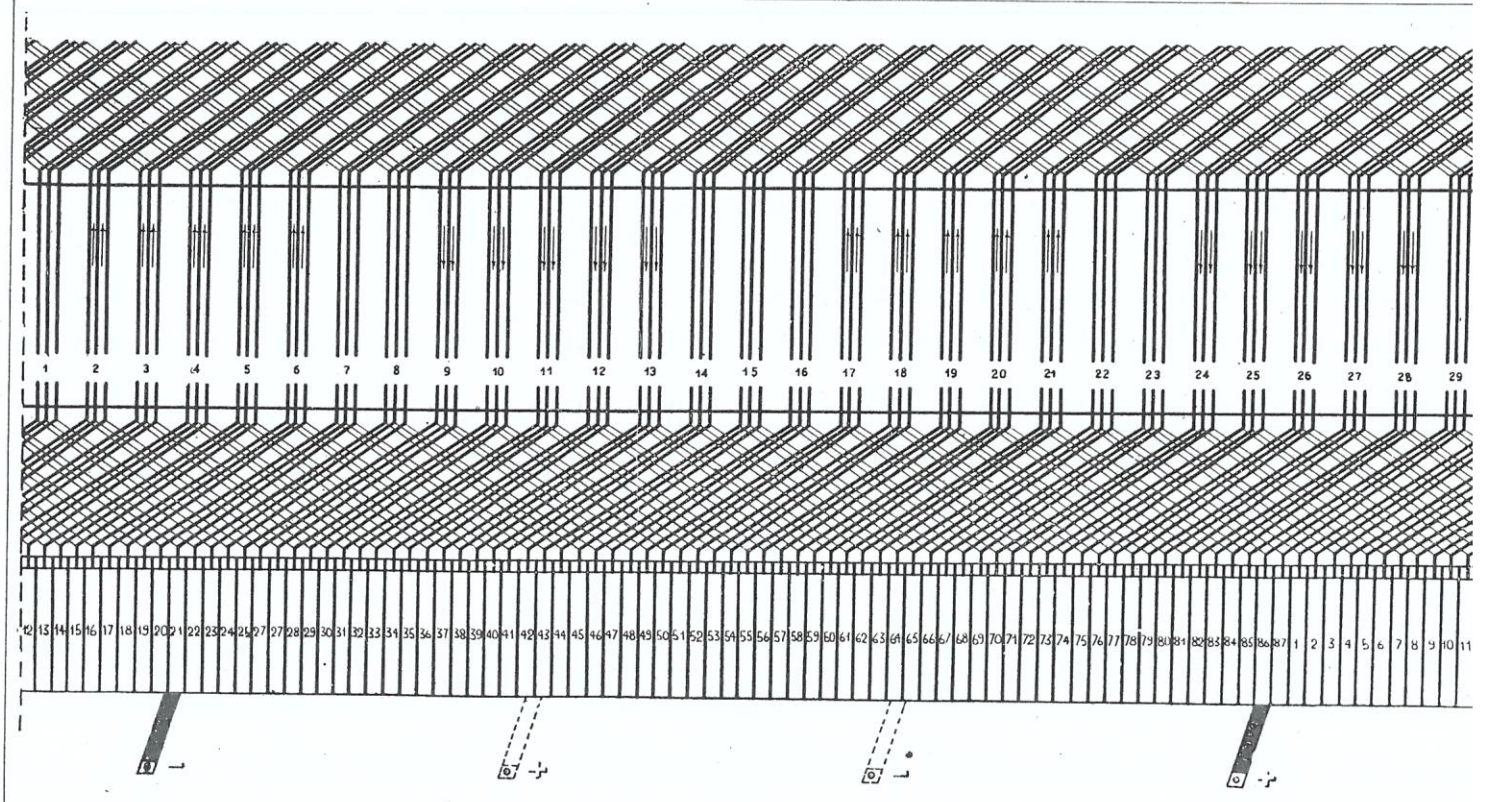


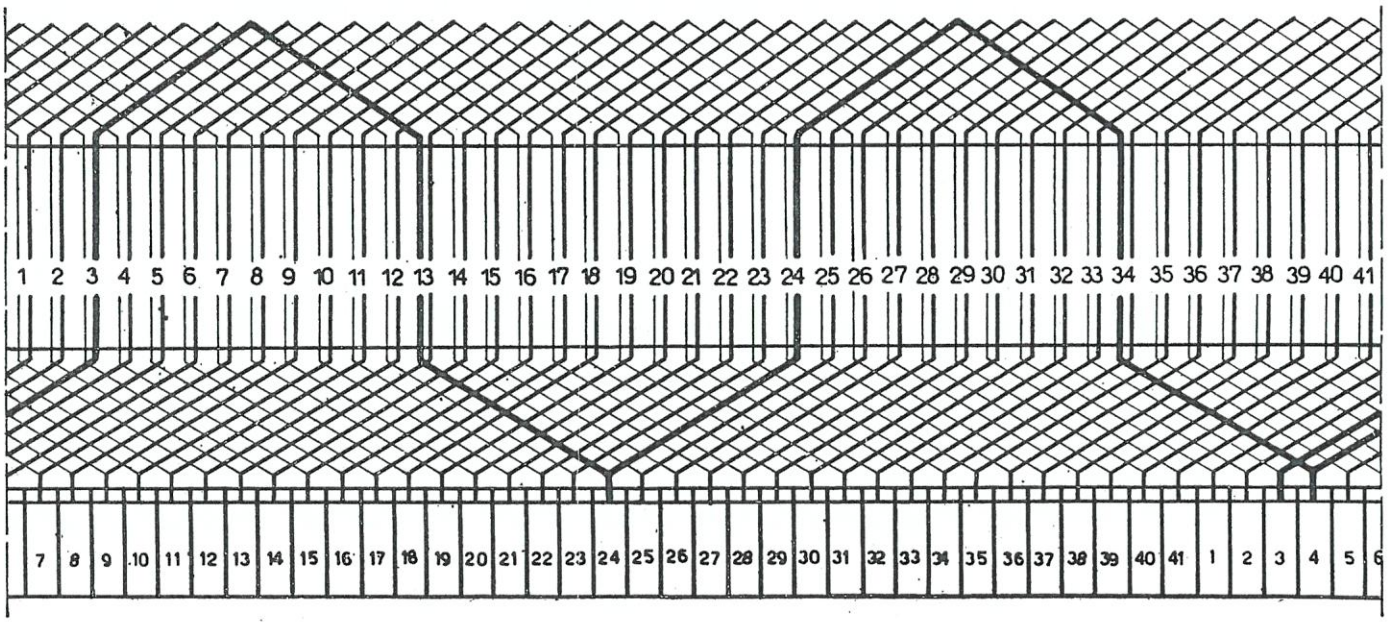
TAVOLA XXVII

Tipo ondulato - 4 poli - 29 cave - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa - 87 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 8 - passo lamelle 1 ÷ 44

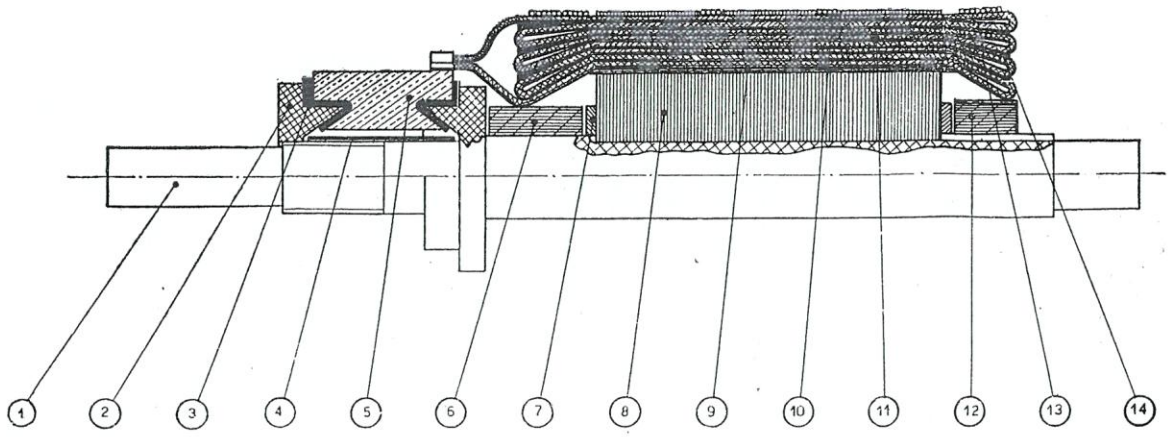


Indotto per dinamo Bosch

Tipo ondulato - 4 poli - 41 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa - 41 lamelle
passo avvolgimento 1 ÷ 11 - passo lamelle 1 ÷ 22

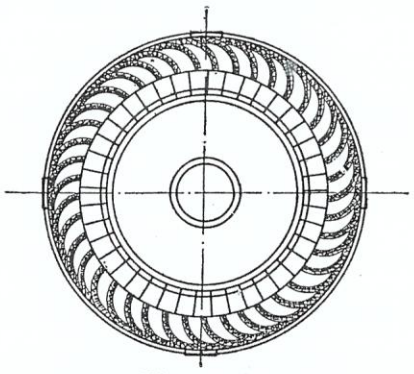


Indotto per dinamo tetrapolare Bosch - sezione

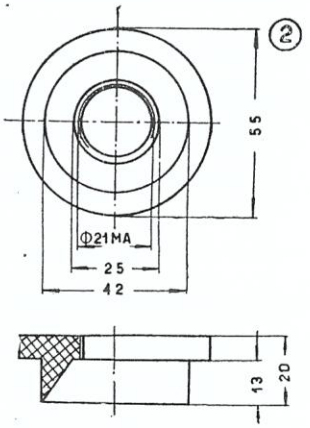


POSIZIONE	DENOMINAZIONE DEI PARTICOLARI	N.° PEZZI	MATERIALE
1	Albero	1	Aq 50 UNI 673
2	Tappo mobile	1	A 37 UNI 673
3	Coni isolanti	2	Mica
4	Collare isolante	1	Cartopresso
5	Lamella	1	CU 99,7 UNI 170
6	Tubo isolante	1	Fibra
7	Piastra frontale	2	A 50 UNI 673
8	Lamierino	200	Ferro silicio
9	Diaframmi isolanti	1/2 m	Cartopresso
10	Filo per legatura	15 m	Ottone ricotto
11	Filo per avvolgimento	—	Rame isolato
12	Tubo isolante	1	Fibra
13	Spago per legatura	30 m	Canapa
14	Nastro isolante	50 m	Cotone

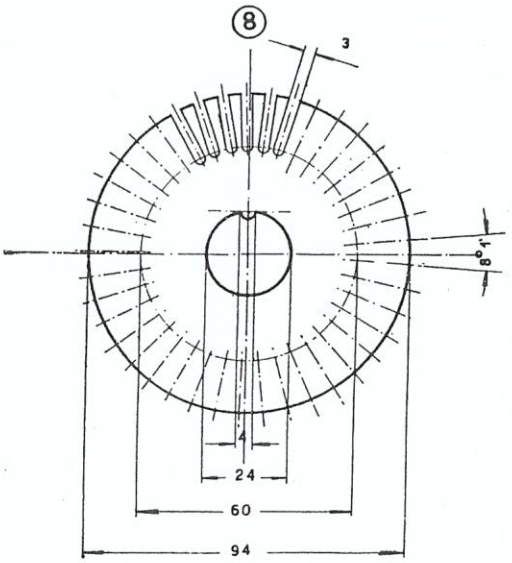
Indotto per dinamo Bosch - particolari



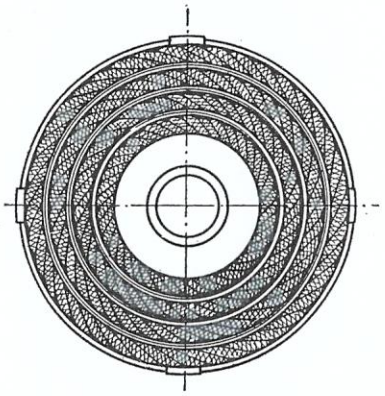
Vista anteriore



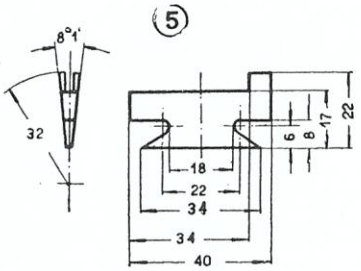
Tappo mobile



Lamierino

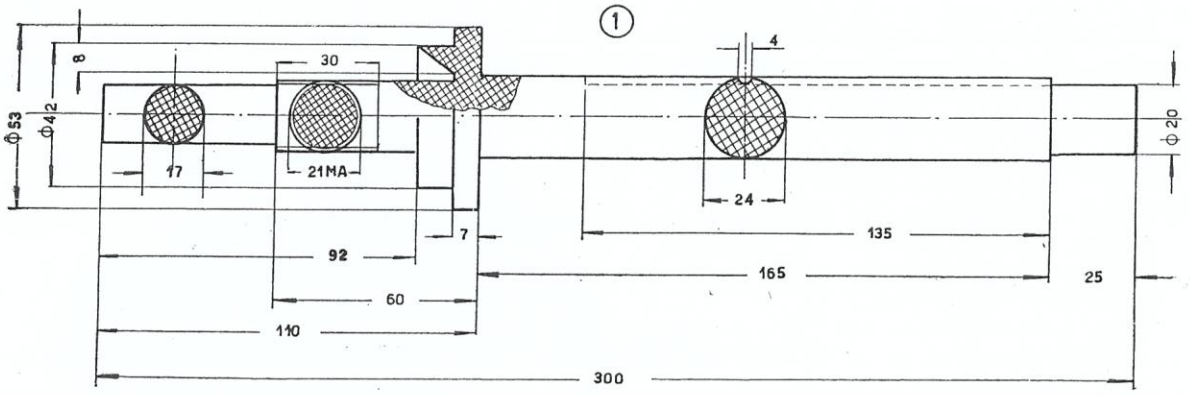


Vista posteriore

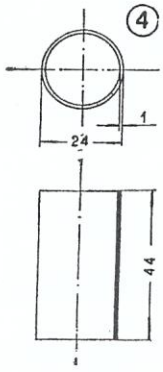


Lamella

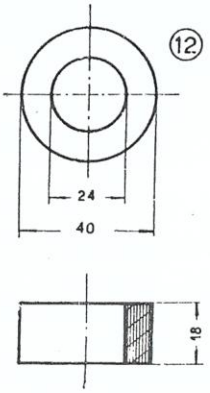
Indotto per dinamo Bosch - particolari



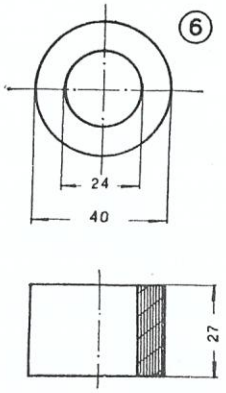
Albero



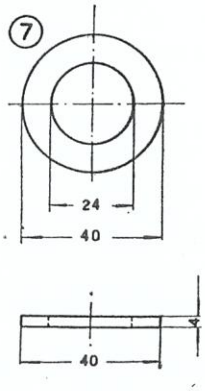
Collare isolante



Tubo isolante



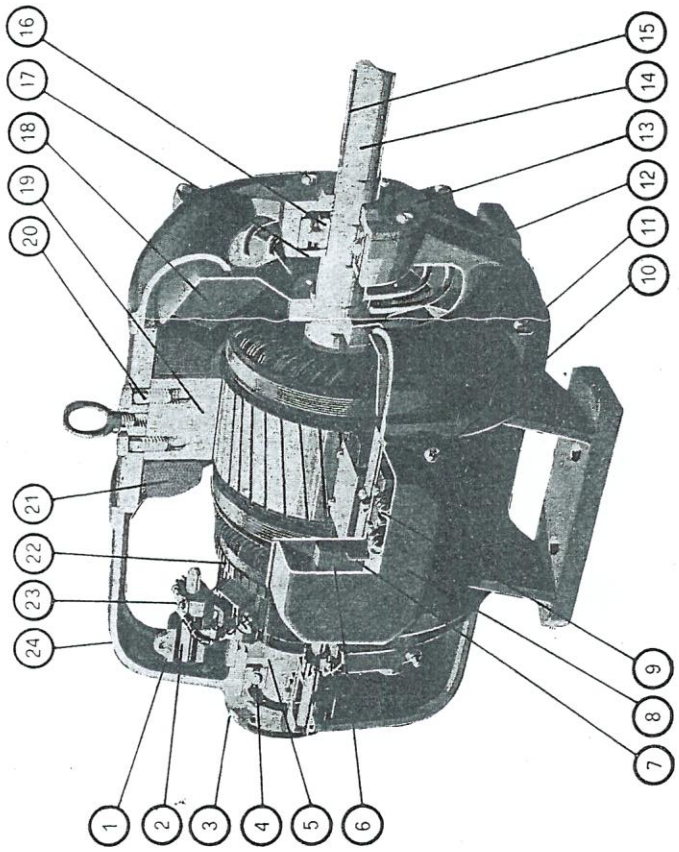
Collare isolante



Piastra frontale

Dinamo sezionata (Marelli)

1) Arco portaspazzole
2) Colonnina portaspazzole completa
3) Flangia posteriore
4) Cuscinetto posteriore
5) Anello estrazione cuscinetto
6) Morsettiera
7) Piastrina di collegamento
8) Calotta coprimorsetti
9) Morsetto completo
10) Vite fissaggio calotta
11) Bullone fissaggio
12) Coperchio anteriore
13) Flangia anteriore
14) Indotto completo
15) Linguetta per accoppiamento
16) Cuscinetto anteriore
17) Anello estrazione cuscinetto
18) Ventola interna
19) Polo principale
20) Bullone fissaggio poli
21) Bobine di campo
22) Collettore a lamelle (2)
23) Portaspazzole completo
24) Coperchio posteriore



ESEMPI COSTRUTTIVI DI MACCHINE A CORRENTE CONTINUA

Dati di targa, dimensioni principali e dati sugli avvolgimenti

1.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1500 giri/min - Potenza nominale 0,25 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 60 V - Corrente alla potenza nominale 4,15 A - Eccitazione in derivazione.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 107$ mm
» interno »	$\varnothing_i = 45$ »
Lunghezza pacco lamiere	$L_z = 50$ »
	$L_a = 45$ »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 240$ »
Sezione giogo	$S_g = 10$ cm²
Polo principale	$b_p = 38$ mm
	$h_p = 45$ »
	$l_p = 65$ »
	$b_{ep} = 56$ »
Polo ausiliario	8×35 »
Traferro polo principale	$\delta = 1,5$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 2$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 90$ »
Superficie delle spazzole (totale)	9,6 cm²
Larghezza » »	12 mm

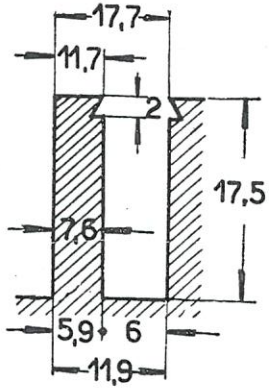


Fig. 112

Numero poli 4 - Numero cave 19 - Numero lamelle 75 (1 zona morta).

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie ($2a = 2$ - $Z = 912$) - (conduttori attivi 900, morti 12) - Sezione conduttore $S_c = 0,5$ mm² - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn} = 0,8$ mm - Diametro conduttore isolato $\varnothing_{ci} = 1$ mm - Fili vicini 4 - Fili sovrapposti 12 - Passo avvolgimento $1 \div 6$ - Passo lamelle $1 \div 39$ - Lunghezza spira media 0,36 m - Peso rame = 0,750 kg - Afc = 56 - Amperspire indotto Aspi = 235 - $\sigma = 4,16$ A/mm².

Asp P.O.P. principale 1200 - Spire 1000 - $\varnothing_{cp} = 0,85$ mm - $L_{spmp} = 0,28$ m - Peso rame = 5,700 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 300 - Spire 72 - $\varnothing_{cpa} = 1,70$ mm - $L_{spmpa} = 0,15$ m - Peso rame = 0,900 kg.

2.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua (Marelli) - Velocità di rotazione 1440 giri/min - Potenza nominale 0,44 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 2,87 A - Eccitazione derivata con serie stabilizzatrice (V_{ecc}=220 V; I_{ecc}=0,23 A).

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 80$ mm	Cave semichiuse con taglio di 5 mm - Spessore dente 4 mm - Dimensioni cave 14 × 7 mm - Altezza dente 15 mm
» interno »	$\varnothing_i = 21$ »	
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 77$ »	
	$L_a = \sim 70$ »	
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 156$ »	
Diametro esterno giogo	$\varnothing_{ge} = 180$ »	
Sezione giogo	$S_g = (1{,}2 \times 15{,}4)$ cm²	
Polo principale	$b_p = 40$ mm	
	$h_p = 75$ »	
	$l_p = 37{,}2$ »	
	$b_{ep} = 78$ »	
Polo ausiliario	11 × 50 »	
Traferro polo principale	$\delta = 0{,}8$ »	(max 1,5 mm)
» » ausiliario	$\delta_1 = 1{,}65$ »	(max 2,35 mm)
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 53$ »	
Superficie delle spazzole (totale)	2,4 cm²	
Larghezza » »	8 mm	

Numero poli 2 - Numero cave 18 - Numero lamelle 54

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento embricato (2a = 2) - Z = 2196 (122 fili/cava) - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa (2 zone da 20 spire ed 1 da 21 spire) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn}$ = 0,5 mm - Copertura smalto - Passo alle cave 1 ÷ 10 - Passo lamelle 1 ÷ 2 - Peso rame = 1,1 kg - Resistenza a 75° C = 9,7 Ω.

	Derivazione	Serie	Ausiliari
Spire per polo	4200	56	330
∅ conduttore nudo - mm	0,27	0,95	0,95
Isolamento conduttore	smalto	smalto	smalto
Collegamento	serie	serie	serie
Peso rame - kg	1,4 ca.	0,25 ca.	1,1 ca.
Resistenza a 75°C - ohm	970	1,1	3,9

3.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1175 giri/min - Potenza nominale 0,5 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 110 V - Corrente alla potenza nominale 4,55 A - Eccitazione in derivazione.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 107$ mm
» interno »	$\varnothing_i = 30$ »
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 120$ »
	$L_a = 108$ »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 239$ »
Sezione giogo	$S_g = 26$ cm²
Polo principale	$b_p = 38$ mm
	$h_p = 115$ »
	$l_p = 65$ »
	$b_{ep} = 56$ »
Polo ausiliario	8 × 100 »
Traferro polo principale	$\delta = 1$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 2$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 90$ »
Superficie delle spazzole (totale)	9,6 cm²
Larghezza » »	12 mm

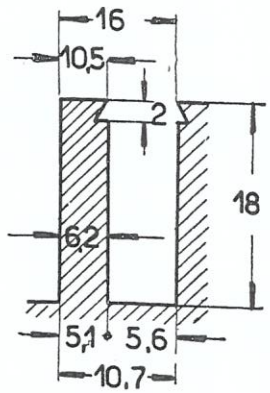


Fig. 113

Numero poli 4 - Numero cave 21 - Numero lamelle 63.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 756 - S_c = 0,44 mm - $\varnothing_{cn}$ = 0,75 mm - $\varnothing_{cl}$ = 1 mm - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 12 - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Passo lamelle 1 ÷ 33 - L_{spm} = 0,49 - Peso rame = 0,730 kg - Afc = 51,2 - Aspi = 215 - σ = 5,16 A/mm².

Asp P.O.P. principale 1065 - Spire 1240 - $\varnothing_{cp}$ = 0,75 mm - Spira media = 0,4 m - Peso rame = 7,800 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 300 - Spire 66 - $\varnothing_{cpa}$ = 1,7 mm - Spira media = 0,29 m - Peso rame = 1,600 kg.

4.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua (Marelli) - Velocità di rotazione 1440 giri/min - Potenza nominale 0,59 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 3,76 A - Eccitazione derivata con serie stabilizzatrice (V_{ecc} = 220 V; I_{ecc} = 0,31 A).

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 95$ mm	Cave semichiuse con taglio di 5,5 mm - Spessore dente 5 mm - Dimensioni cave 15 × 7,3 mm - Altezza dente 16 mm
» interno »	$\varnothing_i = 26$ »	
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 73$ »	
	$L_a = 66$ »	
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 186$ »	
Sezione giogo	$S_g = (15{,}4 \times 1{,}4)$ cm²	
Polo principale	$b_p = 40$ mm	
	$h_p = 70$ »	
	$l_p = 44{,}5$ »	
	$b_{ep} = 95$ »	
Polo ausiliario	15 × 50 »	

Traferro polo principale	$\delta = 1$ mm	(max 1,35 mm)
» » ausiliario	$\delta_1 = 2{,}15$ »	(max 2,85 mm)
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 66$ »	
Superficie delle spazzole	4 cm²	
Larghezza » »	10 mm	

Numero poli 2 - Numero cave 20 - Numero lamelle 60

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento embricato (2a = 2) - Z = 1960 (98 fili/cava) - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa (2 zone da 16 spire ed 1 da 17 spire) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn} = 0{,}7$ mm - Copertura smalto - Passo alle cave 1 ÷ 11 - Passo lamelle 1 ÷ 2 - Passo rame = 1,7 kg ca. - Resistenza a 75° C = 6,14 Ω.

	Derivazione	Serie	Ausiliari
Spire per polo	4600	19	313
∅ conduttore nudo - mm	0,35	1,1	1,1
Isolamento conduttore	smalto	smalto	smalto
Collegamento	serie	serie	serie
Peso rame - kg	2,9 ca.	0,19 ca.	1,37 ca.
Resistenza a 75° C - ohm	705	0,37	2,8

5.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 3000 giri/min - Potenza nominale 0,6 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 65 V - Corrente alla potenza nominale 9,25 A - Eccitazione in derivazione.

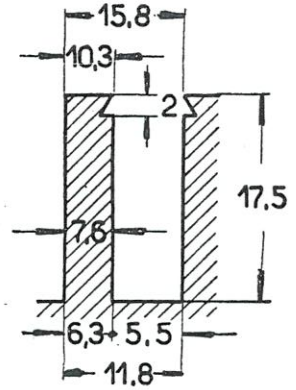


Fig. 114

Diametro esterno indotto . . .	$\varnothing_e = 136$ mm
» interno » . . .	$\varnothing_i = 65$ »
Lunghezza pacco lamiere . . .	$L_g = 60$ »
	$L_a = 54$ »
Diametro interno giogo . . .	$\varnothing_{gi} = 269$ »
Sezione giogo	$S_g = 12$ cm²
Polo principale	$b_p = 35$ mm
	$h_p = 57$ »
	$l_p = 64{,}5$ »
	$b_{ep} = 70$ »
Polo ausiliario	10 × 40 »
Traferro polo principale . . .	$\delta = 2{,}0$ »
» » ausiliario . . .	$\delta_1 = 2{,}5$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 110$ »
Superficie delle spazzole . . .	12,8 cm²
Larghezza » » . . .	16 mm

Numero poli 4 - Numero cave 27 - Numero lamelle 53 (1 zona morta).

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 324 (conduttori attivi 318, morti 6) - $S_c = 1{,}54$ mm² - $\varnothing_{cn} = 1{,}4$ mm - $\varnothing_{ci} = 1{,}67$ mm - Fili vicini 2 - Fili sovrapposti 6 - Passo avvolgimento 1 ÷ 8 - Passo lamelle 1 ÷ 27 - Lunghezza spira media 0,43 m - Peso rame = 0,940 kg - Afc = 34,4 - Aspi = 184 - $\sigma = 3$ A/mm².

Asp P.O.P. principale 1400 - Spire 1120 - $\varnothing_{cp} = 0{,}95$ mm - $L_{spmp} = 0{,}31$ m - Peso rame = 9 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 260 - Spire 28 - $\varnothing_{cpa} = 2{,}6$ mm - $L_{spmpa} = 0{,}15$ m - Peso rame = 0,790 kg.

6.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua - Velocità di rotazione 1170 giri/min - Potenza nominale 0,66 kW (0,9 cav) - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 4,5 A - Eccitazione serie.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 107$ mm
» interno »	$\varnothing_i = 30$ »
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 150$ »
	$L_a = 135$ »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 239$ »
Sezione giogo	$S_g = 29$ cm²
Polo principale	$b_p = 38$ mm
	$h_p = 145$ »
	$l_p = 65$ »
	$b_{ep} = 56$ »
Polo ausiliario	8 × 130 »
Traferro polo principale	$\delta = 1$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 2$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 90$ »
Superficie delle spazzole	9,6 cm²
Larghezza » »	12 mm

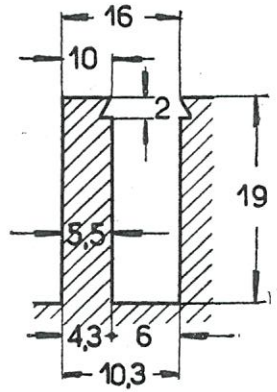


Fig. 115

Numero poli 4 - Numero cave 21 - Numero lamelle 83 (1 zona morta).

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 1176 (conduttori attivi 1162, morti 14) - $S_c = 0{,}44$ - $\varnothing_{cn} = 0{,}75$ mm - $\varnothing_{ci} = 0{,}93$ mm - Fili vicini 4 - Fili sovrapposti 14 - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Passo lamelle 1 ÷ 43 - $L_{spm} = 0{,}52$ m - Peso rame = 1,400 kg - Afc = 78 - Aspi = 327 - $\sigma = 5{,}12$ A/mm².

Asp P.O.P. principale 705 - Spire 156 - $\varnothing_{cp} = 1{,}80$ mm - Spira media = 0,45 m - Peso rame = 6,200 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 415 - Spire 92 - $\varnothing_{cpa} = 1{,}70$ mm - Spira media = 0,32 m - Peso rame = 2,400 kg.

7.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua (Marelli) - Velocità di rotazione 1400 giri/min - Potenza nominale 0,736 kW - Servizio continuo - Tensione nominale 110 V - Corrente alla potenza nominale 9,5 A - Eccitazione composta.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 95{,}5$ mm	Cave semichiuse con taglio di 5 mm - Spessore dente 5 mm - Dimensioni cave 9 × 16 mm
» interno »	$\varnothing_i = 26$ »	
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 92$ »	
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 185$ »	
Sezione giogo	$S_g = 26$ cm²	

Polo principale	$b_p = 50$	mm
	$h_p = 90$	»
	$l_p = 44,3$	»
	$b_{ep} = 86,5$	»
Polo ausiliario	14×70	»
Traferro polo principale	$\delta = 0,7$	» (valore medio)
» » ausiliario	$\delta_1 = 2,25$	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 66,2$	»
Superficie delle spazzole	4	cm^2
Larghezza » »	10	mm

Numero poli 2 - Numero cave 20 - Numero lamelle 40.

Dati sugli avvolgimenti. — Z = 760 - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa (19 spire/matassa - spire per zona 1×9; 1×10) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn} = 1,1$ mm - Copertura smalto cotone - Passo alle cave 1 ÷ 11 - Passo al collettore 1 ÷ 2 - Peso rame 1,700 kg - Resistenza a 75° = 1,02 Ω.

	Derivazione	Serie	Ausiliari
Spire per polo	2300	10	122
Conduttore nudo - mm	0,5	2	2
Copertura	smalto	smalto cotone	smalto cotone
Resistenza a 75° - ohm	200	0,066	0,38
Collegamento	serie	serie	serie
Peso rame - kg	3,500	0,300	1,700

8.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 860/1040 giri/min - Potenza nominale 1/0,8 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 110 V - Corrente alla potenza nominale 9,1/7,3 A - Eccitazione composta

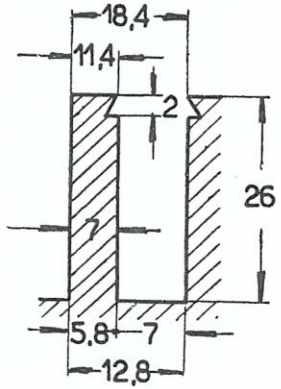


Fig. 116

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 170$	mm
» interno »	$\varnothing_i = 80$	»
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 95$	»
	$L_n = 85,5$	»
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 310$	»
Sezione giogo	$S_g = 24$	cm^2
Polo principale	$b_p = 36$	mm
	$h_p = 92$	»
	$l_p = 68$	»
	$b_{ep} = 87$	»
Polo ausiliario	7×85	»
Traferro polo principale	$\delta = 2$	»
» » ausiliario	$\delta_1 = 2,5$	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 145$	»
Superficie delle spazzole	12,8	cm^2
Larghezza » »	16	mm

Numero poli 4 - Numero cave 29 - Numero lamelle 87.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 1218 (42 conduttori/cava) - $S_c = 1,327$ mm^2 - $\varnothing_{cn} = 1,3$ mm - $\varnothing_{ci} = 1,5$ mm - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 14 - Passo avvolgimento 1 ÷ 8 - Passo lamelle 1 ÷ 44 - $L_{spm} = 0,51$ m - Peso rame = 3,700 kg - Afc = 83 - Aspi = 693/556 - $\sigma = 3,43/2,75$ A/mm^2.

Asp P.O.P. principale: 1200 derivazione (spire 1500 - $\varnothing_{cp} = 0,75$ mm - Peso rame = 9,200 kg); $\frac{355}{285}$ serie (Spire 39 - Peso rame = 2,300 kg) - $L_{spmp} = 0,39$ m.

Asp P.O.P. ausiliario 700 - Spire 95 - $\varnothing_{cpa} = 2,3$ mm - $L_{spmpa} = 0,25$ m - Peso rame = 3,600 kg.

9.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua (tipo chiuso stagno) - Velocità di rotazione 1500 giri/min - Potenza nominale 1,1 kW - Servizio intermittente (0,51 kV in servizio continuo) - Tensione ai morsetti 110 V - Corrente alla potenza nominale 12,5 A (6 A) - Tensione d'eccitazione 220 V.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 136$	mm
» interno »	$\varnothing_i = 30$	»
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 115$	»
	$L_n = 103,5$	»
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 269$	»
Sezione giogo	$S_g = 28$	cm^2
Polo principale	$b_p = 35$	mm
	$h_p = 113$	»
	$l_p = 65,5$	»
	$b_{ep} = 70$	»
Polo ausiliario	10×100	»
Traferro polo principale	$\delta = 1$	»
» » ausiliario	$\delta_1 = 1,5$	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 110$	»
Superficie delle spazzole	12,8	cm^2
Larghezza » »	19	mm

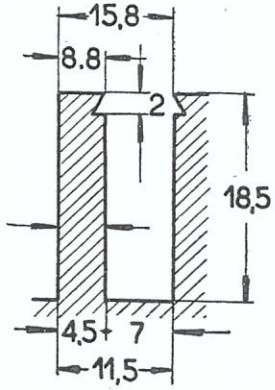


Fig. 117

Numero poli 4 - Numero cave 27 - Numero lamelle 81.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 648 - $S_c = 1,76$ mm^2 - $\varnothing_{cn} = 1,5$ mm - $\varnothing_{ci} = 1,7$ mm - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 8 - Passo avvolgimento 1 ÷ 8 - Passo lamelle 1 ÷ 41 - $L_{spm} = 0,58$ m - Peso rame = 2,950 kg - Afc = 95/45 - Aspi = 506 - $\sigma = 3,35/1,70$ A/mm^2.

Asp P.O.P. principale 600 - Spire 4000 - $\varnothing_{cp} = 0,4$ mm - $L_{spmp} = 0,44$ m - Peso rame = 7,900 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 585 - Spire 47 - $\varnothing_{cpa} = 2,6$ mm - $L_{spmpa} = 0,27$ m - Peso rame = 2,400 kg.

10.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua (Marelli) - Velocità di rotazione 1440 giri/min - Potenza nominale 1,25 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla

potenza nominale 7,35 A - Eccitazione derivata con serie stabilizzatrice (V_{ecc} = 220 V; I_{ecc} = 0,45 A).

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 110 mm	Cave semichiuse con taglio di 6 mm - Spessore dente 5,1 mm - Dimensioni cave 15 × 7,4 mm - Altezza dente 16,4.
» interno »	$\varnothing_i$ = 35 »	
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 80 »	
	L_a = 72 »	
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 217 »	
Sezione giogo	S_g = 18,4×1,6 cm²	
Polo principale	b_p = 55 mm	
	h_p = 80 »	
	l_p = 52 »	
	b_{ep} = 110 »	
Polo ausiliario	15 × 60 »	
Traferro polo principale	δ = 1,5 »	(max 1,85 mm)
» » ausiliario	δ_1 = 2,65 »	(max 3,35 mm)
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 76,5 »	
Superficie delle spazzole	4 cm²	
Larghezza » »	10 mm	

Numero poli 2 - Numero cave 22 - Numero lamelle 66

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento embricato (2a = 2) - Z = 1452 (66 fili/cava) - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa (11 spire/zona) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn}$ = 0,95 - Copertura smalto - Passo alle cave 1 ÷ 12 - Passo lamelle 1 ÷ 2 - Peso rame = 2,5 kg - Resistenza a 75° C = 2,92 Ω

	Derivazione	Serie	Ausiliari
Spire per polo	8200	16	220
∅ conduttore nudo - mm	0,3	1,7	1,7
Isolamento conduttore	smalto	2 C	2 C
Collegamento	parallelo	serie	serie
Peso rame - kg	4,6 ca.	0,45 ca.	2,4 ca.
Resistenza a 75° C - ohm	495	0,16	1

11.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 500 giri/min - Potenza nominale 1,3 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 110 V - Corrente alla potenza nominale 11,8 A - Eccitazione composta.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 210 mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 90 »
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 130 »
	L_a = 117 »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 449 »
Sezione giogo	S_g = 60 cm²

Polo principale	b_p = 67 mm
	h_p = 130 »
	l_p = 117,5 »
	h_{ep} = 110 »
Polo ausiliario	15 × 110 »
Traferro polo principale	δ = 2 »
» » ausiliario	δ_1 = 3,5 »
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 160 »
Superficie delle spazzole	7,8 cm²
Larghezza » »	15 mm

Numero poli 4 - Numero cave 33 - Numero lamelle 99.

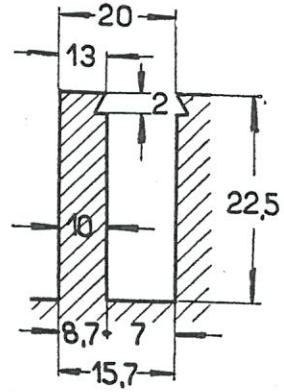


Fig. 118

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgim. serie (2a=2) - Z=990 (30 condutt./cava) - S_c=1,76 mm² - $\varnothing_{cn}$=1,5 mm - $\varnothing_{ci}$ = 1,7 mm - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 10 - Passo avvolgimento 1 ÷ 9 - Passo lamelle 1 ÷ 51 - L_{spm} = 0.76 m - Peso rame = 6 kg - Afc = 88,5 - Aspi = 730 - σ = 3,35 A/mm².

Asp P.O.P. principale: 1700 derivazione (Spire 1160 - $\varnothing_{cp}$ = 1,05 mm - Peso rame = 18 kg); 236 serie (Spire 20 - Peso rame = 2,500 kg) - L_{spmp} = 0,5 m.

Asp P.O.P. ausiliario 970 - Spire 82 - $\varnothing_{cpa}$ = 3 mm - L_{spmpa} = 0,3 m - Peso rame = 6 kg.

12.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 750 giri/min - Potenza nominale 1,4 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 110 V - Corrente alla potenza nominale 12,7 A - Eccitazione composta.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 210 mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 90 »
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 90 »
	L_a = 81 »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 449 »
Sezione giogo	S_g = 45 cm²
Polo principale	b_p = 67 mm
	h_p = 90 »
	l_p = 117,5 »
	b_{ep} = 110 »
Polo ausiliario	15 × 70 »
Traferro polo principale	δ = 2 »
» » ausiliario	δ_1 = 3,5 »
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 160 »
Superficie delle spazzole	7,8 cm²
Larghezza » »	15 mm

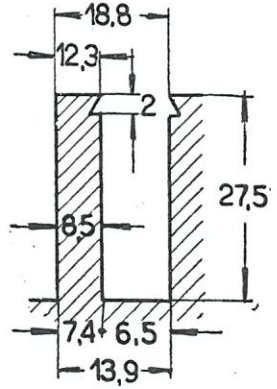


Fig. 119

Numero poli 4 - Numero cave 35 - Numero lamelle 105.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 840 - S_c = 0,95 mm² - $\varnothing_{cn}$ = 1,1 mm - $\varnothing_{cl}$ = 1,37 mm - Fili // (in parallelo) 2 - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 2 × 8 - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Passo lamelle 1 ÷ 53 - Lunghezza spira media = 0,69 m - Peso avvolgimento 5 kg - Afc = 80 - Aspi = 665 - σ = 3,35 A/mm².

Asp P.O.P. principale: 1360 derivazione (Spire 1400 - $\varnothing_{cp}$ = 0,85 mm - Peso rame = 11,600 kg); 254 serie (Spire 20 - Peso rame = 2,200 kg) - L_{spmp} = 0,41 m.

Asp P.O.P. ausiliario 865 - Spire 68 - $\varnothing_{cpa}$ = 3,1 mm - L_{spmpa} = 0,23 m - Peso rame = 4,200 kg.

13.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua (Marelli) - Velocità di rotazione 1440 giri/min - Potenza nominale 1,69 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 9,7 A - Eccitazione derivata con serie stabilizzatrice (V_{ecc} = 220 V; I_{ecc} = 0,466 A).

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 110 mm	Cave semichiuse con taglio di 6 mm - Spessore dente 5,1 mm - Dimensioni cave 15,4 × 7,4 mm - Altezza dente 16,4 mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 35 »	
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 100 »	
	L_a = 90 »	
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 217 »	
Sezione giogo	S_g = 1,6×20,4 cm²	
Polo principale	b_p = 60 mm	
	h_p = 100 »	
	l_p = 52 »	
	b_{ep} = 108 »	
Polo ausiliario	15 × 70 »	
Traferro polo principale	δ = 1,5 »	(max 1,85 mm)
» » ausiliario	δ_1 = 2,65 »	(max 3,39 mm)
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 76,5 »	
Superficie delle spazzole	4 cm²	
Larghezza » »	10 mm	

Numero poli 2 - Numero cave 22 - Numero lamelle 66.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento embricato (2a = 2) - Z = 1144 (52 fili/cava) - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa (2 zone di 9 spire ed 1 di 8 spire) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn}$ = 1,1 mm - Copertura smalto - Passo alle cave 1 ÷ 12 - Passo lamelle 1 ÷ 2 - Peso rame = 3 kg ca. - Resistenza a 75° C = 1,78 Ω.

	Derivazione	Serie	Ausiliari
Spire per polo	4000	16	184
∅ conduttore nudo - mm	0,45	1,9	1,9
Isolamento conduttore	smalto	2 C	2 C
Collegamento	serie	serie	serie
Peso rame - kg	5,4 ca.	0,55 ca.	2,5 ca.
Resistenza a 75° C - ohm	472	0,128	0,67

14.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua (Marelli) - Velocità di rotazione 1440 giri/min - Potenza nominale 2,2 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 13 A - Eccitazione derivata con serie stabilizzatrice (V_{ecc} = 220 V; I_{ecc} = 0,59 A).

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 140 mm	Cave semichiuse con taglio di 4 mm - Spessore dente 6 mm - Dimensioni cave 22×7,2 mm - Altezza dente 23 mm.
» interno »	$\varnothing_i$ = 40 »	
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 60 »	
	L_a = 54 »	
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 247 »	
Sezione giogo	S_g = 14×1,2 cm²	
Polo principale	b_p = 38 mm	
	h_p = 60 »	
	l_p = 52,5 »	
	b_{ep} = 74 »	
Polo ausiliario	20 × 60 »	
Traferro polo principale	δ = 1 »	(max 1,35 mm)
» » ausiliario	δ_1 = 2 »	(max 2,35 mm)
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 111 »	
Superficie delle spazzole	4 cm²	
Larghezza » »	10 mm	

Numero poli 4 - Numero cave 27 - Numero lamelle 81.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento ondulato (2a = 2) - Z = 1350 (50 fili/cava) - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa (2 zone di 8 spire ed 1 di 9 spire) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn}$ = 1,15 mm - Passo avvolgimento 1 ÷ 8 - Passo lamelle 1 ÷ 41 - Peso rame = 2,6 kg - Resistenza a 75° C = 1,36 ohm.

	Derivazione	Serie	Ausiliari
Spire per polo	4500	13	97
∅ conduttore nudo - mm	0,3	1,9	1,9
Isolamento conduttore	smalto	2 C	2 C
Collegamento	2 paralleli	serie	serie
Peso rame - kg	3,6 ca.	0,45 ca.	1,9 ca.
Resistenza a 75° C - ohm	374	0,13	0,57

15.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua - Velocità di rotazione 800 giri/min - Potenza nominale 2,2 kW - Servizio di durata limitata 30′ - Tensione ai morsetti 210 V - Corrente alla potenza nominale 14,5 A - Eccitazione composta.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 170 mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 40 »
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 115 »
	L_a = 103,5 »

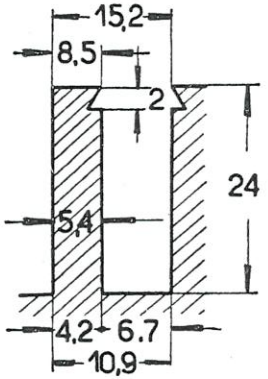


Fig. 120

Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 310	mm
Sezione giogo	S_g = 33	cm²
Polo principale	b_p = 45	mm
	h_p = 110	»
	l_p = 69	»
	b_{ep} = 90	»
Polo ausiliario	7 × 90	»
Traferro polo principale	δ = 1	»
» » ausiliario	δ_1 = 2	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 145	»
Superficie delle spazzole	12,8	cm²
Larghezza » »	16	mm

Numero poli 4 - Numero cave 35 - Numero lamelle 105.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgim. serie (2a=2) - Z=1260 - S_c=1,33 mm² - $\varnothing_{cn}$=1,3 mm - $\varnothing_{ci}$=1,57 mm - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 12 - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Passo lamelle 1 ÷ 53 - L_{spm} = 0,55 m - Peso rame = 4,100 kg - Afc = 171 - Aspi = 1140 - σ = 5,4 A/mm². Asp P.O.P. principale: 1000 derivazione (Spire 2570 - $\varnothing_{cp}$ = 0,5 mm - Peso rame = 8,300 kg); 232 serie (Spire 16 - Peso rame = 1,450 kg) - L_{spmp} = 0,46 m. Asp P.O.P. ausiliario 1300 - Spire 94 - $\varnothing_{cpa}$ = 2,6 mm - L_{spmpa} = 0,3 m - Peso rame = 5,400 kg.

16.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1215 giri/min - Potenza nominale 3,5 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 125 V - Corrente alla potenza nominale 28 A - Eccitazione composta.

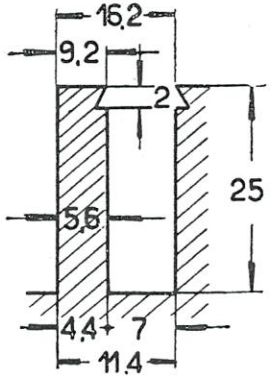


Fig. 121

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 170	mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 35	»
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 155	»
	L_a = 139	»
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 310	mm
Sezione giogo	S_g = 39	cm²
Polo principale	b_p = 36	mm
	h_p = 152	»
	l_p = 68,5	»
	b_{ep} = 87	»
Polo ausiliario	7 × 152	»
Traferro polo principale	δ = 1,5	»
» » ausiliario	δ_1 = 2,5	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 145	»
Superficie delle spazzole	12,8	cm²
Larghezza » »	20	mm

Numero poli 4 - Numero cave 33 - Numero lamelle 99.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 594 - S_c = 1,33 mm² - $\varnothing_{cn}$ = 1,3 mm - $\varnothing_{ci}$ = 1,57 mm - Fili // 2 - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 2 × 6 - Passo avvolgimento 1÷9 - Passo lamelle 1 ÷ 51 - L_{spm}=0,65 m - Peso rame=4,600 kg - Afc = 157 - Aspi = 1040 - σ = 5,45 A/mm². Asp P.O.P. principale: 1000 in derivazione (Spire 1400 - Sezione = 0,44 mm² - Peso rame = 9,500 kg); in serie 280 (Spire 10 - Sezione = 13 mm² - Peso rame = 3 kg) - L_{spmp} = 0,53 m. Asp P.O.P. ausiliario 1260 - Spire 45 - Sezione = 13 mm² - L_{spmpa} = 0,41 m - Peso rame = 8,500 kg.

17.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1260 giri/min - Potenza nominale 7,2 kW - Servizio intermittente (continuo 5,25 kW) - Tensione nominale 29 V - Corrente alla potenza nominale 248 A - Eccitazione composta.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 250	mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 140	»
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 140 (130)	mm
	L_a = 117(*)	»
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 490	»
Sezione giogo	S_g = 43	cm²
Polo principale	b_p = 52	mm
	h_p = 140	»
	l_p = 118	»
	b_{ep} = 80	»
Polo ausiliario	20 × 140	»
Traferro polo principale	δ = 2	»
» » ausiliario	δ_1 = 4	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 210	»
Superficie delle spazzole	64,8	cm²
Larghezza » »	20	mm

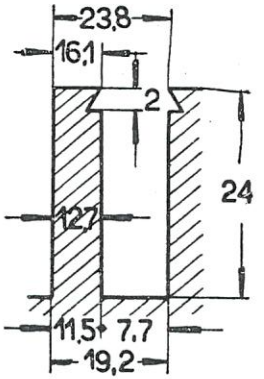


Fig. 122

Numero poli 6 - Numero cave 33 - Numero lamelle 99.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento embricato (2a = 6) - Z = 198 - S_c=12,46 mm² - Piattina nuda 1,4 × 9 mm - isolata 1,8 × 9,38 mm - Conduttori vicini 3 - Conduttori sovrapposti 2 - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Passo lamelle 1 ÷ 2 - L_{spm} = 0,67 m - Peso rame = 7,400 kg - Afc = 204 - Aspi = 682 - σ = 3,32 A/mm². Asp P.O.P. principale: 1800 in derivazione (Spire 220 - Sezione = 4,52 mm² - Peso rame=25,500 kg); in serie 248 (Spire 1 - Sezione=120 mm² - Peso rame=3,200 kg) - L_{spmp} = 0,48 m. Asp P.O.P. ausiliario 990 - Spire 4 - Sezione = 120 mm² - L_{spmpa} = 0,4 m - Peso rame = 10,300 kg.

(*) Un canale di ventilazione di 10 mm.

18.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua (tipo chiuso stagno) - Velocità di rotazione 2000 giri/min - Potenza nominale 7,2 kW - Servizio di durata limitata 60′ - Tensione ai morsetti 110 V - Corrente alla potenza nominale 65 A - Eccitazione in derivazione.

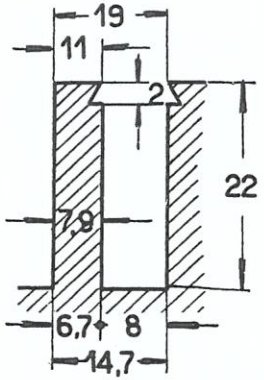


Fig. 123

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 200$ mm
» interno »	$\varnothing_i = 65$ »
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 135$ »
	$L_a = 121$ »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 360$ »
Sezione giogo	$S_g = 55$ cm²
Polo principale	$b_p = 60$ mm
	$h_p = 135$ »
	$l_p = 77$ »
	$b_{ep} = 100$ »
Polo ausiliario	12×135 »
Traferro polo principale	$\delta = 3$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 3$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 145$ »
Superficie delle spazzole	25,6 cm²
Larghezza » »	16 mm

Numero posi 4 - Numero cave 33 - Numero lamelle 99.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a =2) - Z = 198 - S_c = 11,06 mm² - Piattina nuda 1,4 × 8 mm - isolata 1,8 × 8,38 mm - Conduttori vicini 3 - Conduttori sovrapposti 2 - Passo avvolgimento 1 ÷ 9 - Passo lamelle 1 ÷ 51 - Lunghezza spira media 0,67 m - Peso avvolgimento = 6,5 kg - Afc = 103 - Aspi = 805 - σ = 2,94 A/mm².

Asp P.O.P. principale 2500 - Spire 475 × 2 - Sezione = 1,32 mm² - L_{spmp} = 0,55 m - Peso rame = 24,600 kg (12,300 × 2 kg).

Asp P.O.P. ausiliario 975 - Spire 15 - Sezione 35 mm² - L_{spmpa} = 0,36 m - Peso rame = 6,200 kg.

19.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua - Velocità di rotazione 800 giri/min - Potenza nominale 8,1 kW (11 cav) - Servizio di durata limitata 20′ - Tensione nominale 210 V - Corrente alla potenza nominale 49 A - Eccitazione composta.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 200$ mm
» interno »	$\varnothing_i = 50$ »
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 200$ »
	$L_a = 180$ »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 371$ »
Sezione giogo	$S_g = 55$ cm²

Polo principale	$b_p = 50$ mm
	$h_p = 195$ »
	$l_p = 83,5$ »
	$b_{ep} = 105$ »
Polo ausiliario	20×195 »
Traferro polo principale	$\delta = 2$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 3$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 145$ »
Superficie delle spazzole	12,8 cm²
Larghezza » »	16 mm

Numero poli 4 - Numero cave 27 - Numero lamelle 81.

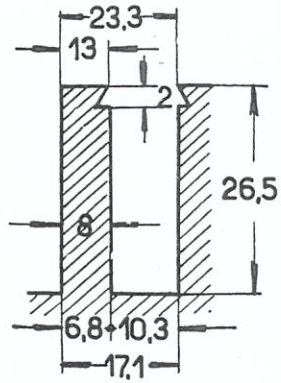


Fig 124

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 648 - S_c = 4,15 mm² - $\varnothing_{cn}$ = 2,3 mm - Fili vicini 3 - Fili sovr. 8 - Passo avvolg. 1 ÷ 8 - Passo lamelle 1 ÷ 41 - L_{spm} = 0,83 m - Peso rame = 10,6 kg - Afc = 252 - Aspi = 1980 - σ = 5,94 A/mm².

Asp P.O.P. principale: 1700 in derivazione (Spire 1820 - Sez.=0,44 mm² - Peso rame=18 kg); 290 in serie (Spire 6 - Sez.=17 mm² - Peso rame=2,100 kg) - L_{spmp} = 0,62 m.

Asp P.O.P. ausiliario 2400 - Spire 49 - Sez. = 17 mm² - L_{spmpa} = 0,55 m - Peso rame = 16,300 kg.

20.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua - Velocità di rotazione 800 giri/min - Potenza nominale 8,1 kW (11 cav) - Servizio di durata limitata 60′ (continuo 3,68 kW) - Tensione ai morsetti 110 V - Corrente alla potenza nominale 88 A (42 A) - Eccitazione composta.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 275$ mm
» interno »	$\varnothing_i = 85$ »
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 190$ »
	$L_a = 171$ »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 495$ »
Sezione giogo	$S_g = 100$ cm²
Polo principale	$b_p = 90$ mm
	$h_p = 190$ »
	(171) (*)
	$l_p = 107,5$ »
	$b_{ep} = 144$ »
Polo ausiliario	20×160 »
Traferro polo principale	$\delta = 2,5$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 3,5$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 180$ »
Superficie delle spazzole	32,5 cm²
Larghezza » »	15 mm

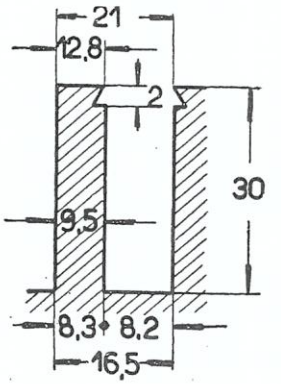


Fig. 12[illegible]

Numero poli 4 - Numero cave 41 - Numero lamelle 123.

(*) Polo laminato.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 246 - S_c = 18,26 mm² - Piattina nuda 1,6 × 11,5 mm (isolata 2 × 11,88 mm) - Conduttori vicini 3 - Conduttori sovrapposti 2 - Passo avvolgimento 1 ÷ 11 - Passo lamelle 1 ÷ 63 - L_{spm} = 1,02 m - Peso rame = 20,5 kg - Afc = 125/60 - σ = 2,41/1,15 A/mm².

Asp P.O.P. principale: 1700 in derivazione (Spire 1480 - Peso rame = 35 kg); 175 in serie (Spire 2 - Peso rame = 2,750 kg) - L_{spmp} = 0,7 m.

Asp P.O.P. ausil. 1670/795 - Spire 19 - L_{spmpa} = 0,46 m - Peso rame = 16 kg.

21.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua - Velocità di rotazione 1450 giri/min - Potenza nominale 8,5 kW - Servizio continuo - Tensione nominale 220 V - Corrente alla potenza nominale 45 A - Eccitazione composta.

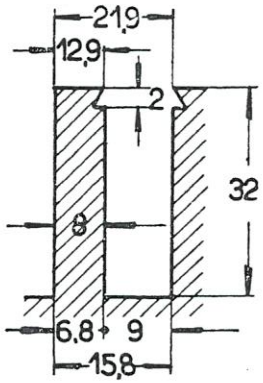


Fig. 126

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 230	mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 70	»
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 100	»
	L_a = 90	»
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 405	»
Sezione giogo	S_g = 40	cm²
Polo principale	b_p = 65	mm
	h_p = 100	»
	l_p = 84,5	»
	b_{ep} = 120	»
Polo ausiliario	15 × 90	»
Traferro polo principale	δ = 3	»
» » ausiliario	δ_1 = 3	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 163	mm
Lunghezza collettore	50	»
Superficie delle spazzole	12,8	cm²
Larghezza » »	16	mm

Numero poli 4 - Numero cave 33 - Numero lamelle 99.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 594 - Fili // 2 - S_c = 2,54 mm² - $\varnothing_{cn}$ = 1,8 mm - $\varnothing_{ci}$ = 2,13 mm - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 2 × 6 - Passo avvolgimento 1 ÷ 9 - Passo lamelle 1 ÷ 51 - L_{spm} = 0,72 m - Peso rame = 10 kg - Afc = 185 - Aspi = 1670 - σ = 4,43 A/mm².

Asp P.O.P. principale: 2450 in derivazione (Spire 2720 - Sezione = 0,44 mm² - Peso rame = 18,500 kg); 225 serie (Spire 5 - Sezione = 21 mm² - Peso rame = 1,650 kg) - L_{spmp} = 0,43 m.

Asp P.O.P. ausiliario 2070 - Spire 46 - Sezione = 21 mm² - L_{spmpa} = 0,3 m - Peso rame = 10,500 kg.

22.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua - Velocità di rotazione 960 giri/min - Potenza nominale 10,3 kW (14 cav) - Servizio di durata limitata 50′ - Tensione ai morsetti 520 V - Corrente alla potenza nominale 24 A - Eccitazione in serie.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 260	mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 55	»
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 125	»
	L_a = 112	»
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 450	»
Sezione giogo	S_g = 58	cm²
Polo principale	b_p = 85	mm
	h_p = 125	»
	l_p = 93	»
	b_{ep} = 140	»
Polo ausiliario	20 × 125	»
Traferro polo principale	δ = 2	»
» » ausiliario	δ_1 = 3	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 180	»
Superficie delle spazzole	7,80	cm²
Larghezza » »	15	mm

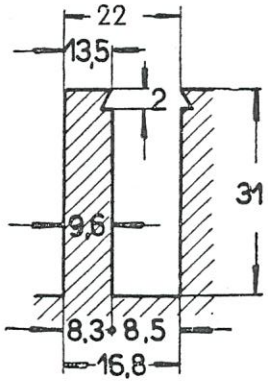


Fig. 127

Numero poli 4 - Numero cave 37 - Numero lamelle 147 (1 zona morta).

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 1184 (conduttori attivi 1776, morti 8) - Fili // 2 - Sezione =1,33 mm² - $\varnothing_{cn}$ = 1,3 mm - $\varnothing_{ci}$ = 1,5 mm - Fili vicini 4 - Fili sovrapposti 2 × 4 - Passo avv. 1 ÷10 - Passo lamelle 1 ÷ 75 - Lunghezza spira media = 0,85 m - Peso rame = 11,8 kg - Afc = 173 - Aspi = 1764 - σ = 4,55 A/mm².

Asp. P.O.P. principale 3100 - Spire 130 - Sezione = 10 mm² - L_{spmp} = 0,57 m - Peso rame = 26,400 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 2040 - Spire 85 - Sezione = 10 mm² - L_{spmpa} = 0,40 m - Peso rame = 12,100 kg.

23.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1800 giri/min - Potenza nominale 12 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 54,5 A - Tensione d'eccitazione 110 V.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 200	mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 40	»
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 170	»
	L_a = 153	»
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 375	»
Sezione giogo	S_g = 45	cm²
Polo principale	b_p = 50	mm
	h_p = 165	»
	l_p = 85,5	»
	b_{ep} = 105	»
Polo ausiliario	15 × 165	»
Traferro polo principale	δ = 2	»
» » ausiliario	δ_1 = 3	»
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 145	»

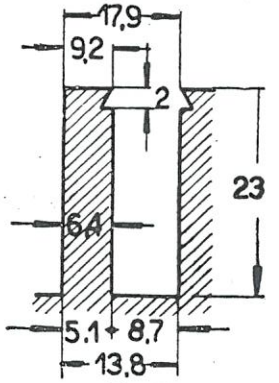


Fig. 128

Lunghezza collettore	100 mm
Superficie delle spazzole	15,6 cm²
Larghezza » »	15 mm

Numero poli 4 - Numero cave 35 - Numero lamelle 105.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 420 - Fili// 2 - S_c = 2,835 mm² - $\varnothing_{cn}$ = 1,9 mm - $\varnothing_{ci}$ = 2,23 mm - Fili vicini 3 - Fili sovrapposti 2 × 4 - Passo avvolg. 1 ÷ 10 - Passo lamelle 1 ÷ 53 - Lunghezza spira media = 0,82 m - Peso rame = 8,700 kg - Afc = 184 - Aspi = 1430 - σ = 4,90 A/mm².

Asp P.O.P. principale 2200 - Spire 880 - Sez. = 1,227 mm² - L_{spmp} = 0,57 m - Peso rame = 22 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 1690 - Spire 31 - Sez. = 25 mm² - L_{spmpa} = 0,46 m - Peso rame = 13 kg.

24.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore a corrente continua - Velocità di rotazione 1260 giri/min - Potenza nominale 13 kW - Servizio continuo - Tensione nominale 35 V - Corrente alla potenza nominale 375 A - Tensione di eccitazione 60 V.

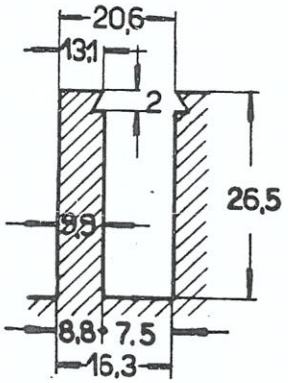


Fig. 129

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 250 mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 100 »
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 155 »
	L_a = 140 »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 462 »
Sezione giogo	S_g = 75 cm²
Polo principale	b_p = 80 mm
	h_p = 155 »
	l_p = 103 »
	b_{ep} = 130 »
Polo ausiliario	25 × 155 »
Traferro polo principale	δ = 3 »
» » ausiliario	δ_1 = 3,5 »
Diametro collettore	$\varnothing_{co}$ = 180 »
Lunghezza collettore	160 »
Superficie delle spazzole	96 cm²
Larghezza	25 mm

Numero poli 4 - Numero cave 38 - Numero lamelle 76.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento embricato (2a=4) - Z=152 - S_c=21,65 mm² (Piattina nuda 2,2 × 10 mm - isolata 2,6 × 10,4) - Conduttori vicini 2 - Conduttori sovrapposti 2 - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Passo lamelle 1 ÷ 2 - L_{spm} = 0,8 m - Peso rame = 11,5 kg - Anelli equipotenziali n.° 10 - Sezione = 12 mm² - Passo equipotenziale 1 ÷ 39 - Afc = 180 - Aspi = 1780 - σ = 4,32 A/mm².

Asp P.O.P. principale 2900 - Spire 490 - Sezione = 2,54 mm² - L_{spmp} = 0,63 m - Peso rame = 28 kg.

Asp. P.O.P. ausiliario 2250 - Spire 6 - Sez. = 200 mm² - L_{spmpa} = 0,45 m - Peso rame = 19,200 kg.

25.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1450 giri/min - Potenza nominale 24 kW - Servizio continuo - Tensione nominale 12 V - Corrente alla potenza nominale 2000 A - Tensione di eccitazione 110 V.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 440 mm
» interno »	$\varnothing_i$ = 290 »
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 60 »
	L_a = 54 «
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 829 »
Sezione giogo . . .	S_g = 26 cm²
Polo principale . . .	b_p = 70 mm
	h_p = 55 »
	l_p = 191,5 »
	b_{ep} = 115 »
Polo ausiliario . . .	30 × 55 »
Traferro polo principale	δ = 3 »
» » ausiliario .	δ_1 = 5 »
Diametro collettore . .	$\varnothing_{co}$ = 275 »
Superficie delle spazzole	432 cm²
Larghezza » » .	25 mm

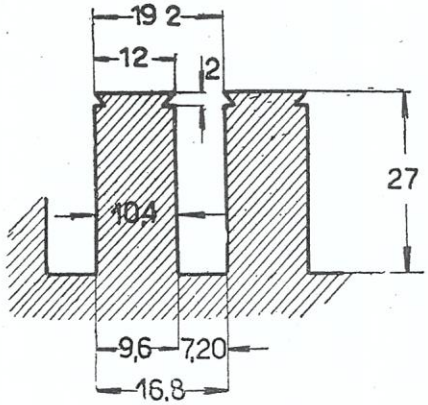


Fig. 130

Numero poli 8 - Numero cave 72 - Numero lamelle 72.

Dati sugli avvolgimenti. — Avvolgimento embricato (2a=8) - Z=144 - S_c=22,79 mm² (Piattina nuda 2,2 × 10,5 mm - isolata 2,6 × 10,8 mm) - Condutt. // 2 - Condutt. vicini 2 × 1 - Condutt. sovrapp. 2 - Passo avvolg. 1÷10 - Passo lamelle 1÷2 (oppure 1÷72) - L_{spm} = 0,61 m - Peso rame 18 kg - Afc = 261 - Aspi = 2250 - σ = 5,50 A/mm².

Asp P.O.P. principale 3200 - Spire 420 - Sez. = 2,54 mm² - L_{spmp} = 0,41 m - Peso rame = 31 kg.

Asp. P.O.P. ausiliario 4000 - Spire 2 - Sez. = 670 mm² - L_{spmpa} = 0,3 m - Peso rame = 29 kg.

26.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua (Brown Boveri) - Velocità di rotazione 1230 giri/min - Potenza nominale 75 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 550 V - Corrente alla potenza nominale 136 A - Eccitazione in derivazione.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$ = 180 mm
Lunghezza pacco lamiere	L_g = 208 »
	L_a = 178 »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi}$ = 574 »
Sezione giogo	S_g = 234 cm²
Polo principale	b_p = 174 mm
	h_p = 208 »
	l_p = 192 »
	b_{ep} = 220 »

Cava 12 × 40 mm (zeppa 3,5 mm) altezza totale cava 43 mm

Polo ausiliario	20×208 mm	Cava 12×40 mm (zeppa 3,5 mm) altezza totale cava 43 mm
Traferro polo principale	$\delta = 5$ »	
» » ausiliario	$\delta_1 = 5$ »	
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 300$ »	
Superficie delle spazzole	46,8 cm²	
Larghezza » »	15 mm	

Numero poli 4 - Numero cave 43 - Numero lamelle 215.
2 matasse/cava - 5 zone/matassa.

27.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 840 giri/min - Potenza nominale 200 kW - Servizio continuo - Tensione nominale $\frac{550}{760}$ V - Corrente alla potenza nominale $\frac{364}{264}$ A - Eccitazione in derivazione $\left(I_{ecc} = \frac{3,8}{5,8}\right)$.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 640$ mm
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 240$ »
	$L_a = 207$ »
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 948$ »
Sezione giogo	$S_g = 190$ cm²
Polo principale	$b_p = 170$ mm
	$h_p = 240$ »
	$l_p = 148$ »
	$b_{ep} = 228$ »
Polo ausiliario	30×140 »
Traferro polo principale	$\delta = 6$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 14$ »
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 470$ »
Superficie delle spazzole	104,4 cm²
Larghezza » »	20 mm

Numero poli 6 - Numero cave 95 - Numero lamelle 190.

Riportiamo qui di seguito i dati relativi a tre macchine a corrente continua di recente costruzione, cortesemente fornitici dalla Ercole Marelli *e dalla* ASGEN, *a cui esprimiamo la nostra viva gratitudine per la proficua collaborazione.*

28.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore Marelli, tipo MC - Costruzione aperta - Forma B3 - Velocità di rotazione 1430 giri/min - Potenza nominale 0,4 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 1,82 A - Eccitazione derivata - $I_{ecc} = 0,198$ A.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 80$ mm	Cave semichiuse con taglio di 5 mm - Spessore dente 4 mm - Dimensioni cave 14×7 mm - Altezza dente 15 mm.
» interno »	$\varnothing_i = 21$ »	
Lunghezza pacco indotto	$L_g = 75$ »	
Diametro interno carcassa	$\varnothing_{gi} = 156,7$ »	
» esterno »	$\varnothing_{ge} = 180$ »	
Lunghezza carcassa	$L_g = 154$ »	
Polo principale	$b_p = 40$ »	
	$h_p = 75$ »	
	$l_p = 37,2$ »	
	$b_{ep} = 78$ »	
Polo ausiliario	11×50 »	
Traferro polo principale	$\delta = 0,8$ »	
» » ausiliario	$\delta_1 = 1,65$ »	
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 52$ »	
Lunghezza collettore	20 »	

Numero poli 2 - Numero cave 18 - Numero lamelle 54.

Dati di avvolgimento (isolamento di classe E).

Indotto. — Avvolgimento tipo embricato ($2a = 2$) - $Z = 3780$ (210 conduttori/cava) - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa (35 spire/zona) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn} = 0,45$ mm - Isolamento conduttore in smalto doppio all'acetale di vinile - Passo alle cave $1 \div 10$ - Passo lamelle $1 \div 2$ - Resistenza a 75° C = 25 ohm - Peso rame = 1,1 kg.

Statore	Poli principali	Poli ausiliari
Spire per polo n.°	4700	620
∅ conduttore nudo - mm	0,32	0,75
Isolamento conduttore	c.s.	c.s.
Collegamento	serie	serie
Peso rame - kg	2,5	1,2
Resistenza a 75° C - ohm	875	12,2

29.° - Dati di targa e dimensioni principali

Motore Marelli, tipo MC 10/A - Costruzione aperta - Forma B3 - Velocità di rotazione 1400 giri/min - Potenza nominale 1,03 kW (1,4 cav) - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 6,35 A - Eccitazione derivata con serie stabilizzatrice - $I_{ecc} = 0,275$ A.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 95$ mm	Cave semichiuse con taglio di 5 mm - Spessore dente 5 mm - Dimensioni cave 16×9 mm.
» interno »		
Lunghezza pacco indotto	$L_g = 90$ »	
Diametro interno carcassa (ferro)	$\varnothing_{gi} = 185,7$ »	
» esterno »	$\varnothing_{ge} = 215$ »	
Lunghezza carcassa	$L_g = 174$ »	
Polo principale	$b_p = 40$ »	
	$h_p = 90$ »	
	$l_p = 44,5$ »	
	$b_{ep} = 95$ »	

Polo ausiliario	14×70	mm	
Traferro polo principale	$\delta = 0,7$	»	(valore medio)
» » ausiliario	$\delta_1 = 2,25$	»	
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 65$	»	
Lunghezza collettore	$L_{co} = 25$	»	

Numero poli 2 - Numero cave 20 - Numero lamelle 60.

Dati di avvolgimento (isolamento di classe E).

Indotto. — Avvolgimento tipo embricato ($2a = 2$) - $Z = 1560$ (78 conduttori/cava) - 2 matasse/cava - 3 zone/matassa (13 spire/zona) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn}=0,8$ mm - Isolamento conduttore in smalto doppio all'acetale di vinile - Passo alle cave $1 \div 11$ - Passo lamelle $1 \div 2$ - Resistenza a 75° C = 4 ohm - Peso rame = 1,8 kg.

Statore	Derivazione	Serie	Ausiliari
Spire per polo n.°	4700	25	250
$\varnothing$ conduttore nudo - mm	0,35	1,45	1,45
Isolamento conduttore	c.s.	c.s.	c.s.
Collegamento	serie	serie	serie
Peso rame - kg	3,15	0,35	1,6
Resistenza a 75° C - ohm	800	0,31	1,5

30.° - Dati di targa e dimensioni principali

Generatore ASGEN - Velocità di rotazione 1000 giri/min - Potenza nominale 14 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 55 V - Corrente alla potenza nominale 255 A - Eccitazione indipendente - Tensione di eccitazione 65 V.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e = 250$	mm	Cave aperte - Passo di dentatura = 22,7 mm - Larghezza cave = 7,4 mm - Altezza dente 32,5 mm.
» interno »	$\varnothing_i = 65$	»	
Lunghezza pacco lamiere	$L_g = 210$	»	
	$L_a = 200$	»	
Diametro interno giogo	$\varnothing_{gi} = 420$	»	
Sezione giogo	$S_g = 85$	cm^2	
Polo principale	$b_p = 70$	»	
	$h_p = 205$	»	
	$l_p = 82,5$	»	
	$b_{ep} = 125$	»	
Polo ausiliario	25×170	»	
Traferro polo principale	2,5	»	
» » ausiliario	3	»	
Diametro collettore	$\varnothing_{co} = 180$	»	
Lunghezza collettore	$L_{co} = 120$	»	
Superficie totale spazzole	48	cm^2	
Dimensioni spazzole	16×25	mm	

Numero poli 4 - Numero cave 38 - Numero lamelle 114.

Dati di avvolgimento

Indotto. — Avvolgimento laccio ($2a = 4$) - $Z = 228$ - Sezione conduttore $S_c = 16,60$ mm^2 - Dimensioni conduttore nudo - $\varnothing_{cn}$ $1,3 \times 13$ mm - Isolato $1,8 \times 13,5$ mm - Conduttori vicini 3 - Conduttori sovrapposti 2 - Passo avvolgimento $1 \div 10$ - Passo lamelle $1 \div 2$ - Lunghezza spira media $L_{spm} = 0,93$ m - Peso rame = 17 kg - Afc = 185 - Aspi = 1820 - Numero collegamenti equipotenziali 6 - Sezione collegamenti equipotenziali 4,5 mm^2 - Passo equipotenziale $1 \div 58$.

Disposizione collegamenti equipotenziali

n.° collegamento	1°	2°	3°	4°	5°	6°
lamella n.°	1	11	20	30	39	49
lamella n.°	58	68	77	87	96	106

Statore. — Asp P.O.P. 2500 - Spire 400 - Sezione 2,68 mm^2 - $\varnothing_{cn} = 1,85$ mm - $L_{spm} = 0,68$ m - Peso rame = 26 kg.

Asp P.O.P. ausiliario 2290 - Spire 19 - Sezione = 45,14 mm^2 - Collegamento bobine = 2 circuiti // - $L_{spmpa} = 0,52$ m - Peso rame 15 kg.

CAPITOLO SESTO

COTRUZIONE DEGLI AVVOLGIMENTI INDOTTI

Generalità

Abbiamo già detto nel I° capitolo che gli avvolgimenti distribuiti vengono distinti, in base al sistema di esecuzione, in: *avvolgimenti diretti*, *avvolgimenti preformati* ed *avvolgimenti misti*.

L'avvolgimento diretto viene applicato quasi esclusivamente nei motorini di piccolissima potenza e nelle dinamo per auto, ma s'impiega anche per macchine bipolari e macchine con cave semichiuse, per potenze fino a pochi kW; il conduttore va collocato filo per filo attraverso il taglio. L'isolamento delle cave va fatto con cartocci isolanti a base di presspan o leatheroid e tela sterlingata oppure con i nuovi materiali d'isolamento cave, infilati nelle singole cave prima dell'inserimento dei conduttori, mentre per isolare le testate dalla massa si usano corone circolari di fibra oppure pellicole sintetiche. Talvolta si rende necessario isolare anche le parti dell'albero su cui appoggiano le testate dell'avvolgimento. La maggior parte di queste macchine sono di classe A ed E.

Per costruzioni in serie l'avvolgimento viene eseguito mediante una speciale *bobinatrice per indottini*, mentre nelle officine di riavvolgimento si ricorre ad un *supporto per indotti* (v. tav. XXXVII) oppure ad una forcella munita di contropunte. Per evitare un eccessivo ingombro nel senso assiale bisogna distribuire razionalmente i fili lungo le testate dell'indotto, in modo da far assumere ad esse la forma di semisfere.

Nelle macchine bipolari l'avvolgimento è sempre del tipo embricato, con due o più fasci per cava, però si possono adottare vari sistemi per l'avvolgitura delle sezioni sull'armatura. Il più usato è *l'avvolgimento a gomitolo* con passo diametrale o raccorciato di una cava, ma si adottano talvolta *l'avvolgimento a sezioni parallele* e quello *a sezioni incrociate*.

Per l'esecuzione dell'avvolgimento a gomitolo, con 2 fasci/cava, si avvolge la prima matassa collocando i fili in due cave distanti del

passo y_n (per es. cava 1 e cava $1+y_n$), poi si confeziona la seconda matassa nelle due cave che seguono quelle contenenti la prima (2 e $2+y_n$) e così via fino a sistemare sull'armatura tutte le matasse.

Normalmente il capo terminale di una zona si lascia unito a quello iniziale della successiva, il filo cioè non viene tagliato; i capi, che di solito si ripiegano verso l'esterno, devono avere naturalmente lunghezza sufficiente per effettuare poi il collegamento alle lamelle del collettore.

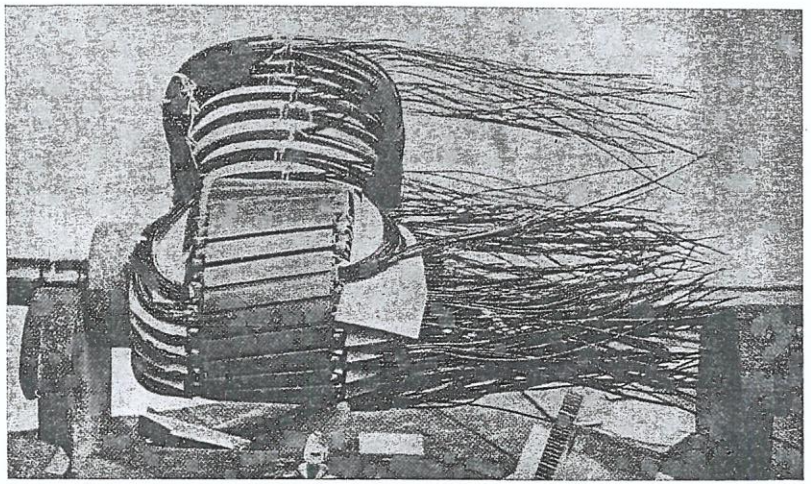


Fig 131

Montaggio di avvolgimento rotorico di tipo misto (da « Tecnica Nuova »)

Sovente al fine di ottenere una migliore equilibratura dell'indotto le spire di ciascuna zona, anzichè essere avvolte nello stesso senso, vengono avvolte metà in un senso e metà nel senso contrario, in modo cioè che le testate delle due semizone abbraccino l'albero. Talvolta, specialmente quando il passo y_1 non consente l'avvolgimento diametrale, si adotta, per la ragione sopraddetta, l'avvolgimento a V, ossia ogni zona va suddivisa in tre cave (maggiori particolari in merito verranno forniti in seguito).

Un esempio di avvolgimento con passo diametrale e con zone divise in due metà, avvolte in senso opposto, si ha nella tavola XV.

Se in ogni cava vanno allogati 4 o 6 fasci si procede ancora come per l'avvolgimento a 2 fasci/cava, ma l'operazione potrebbe eseguirsi anche con 2 o 3 fili anzichè con 1 solo, in modo cioè da avvolgere contemporaneamente una matassa composta di 2 oppure di 3 zone.

L'avvolgimento misto, ossia con matasse abbozzate e poi calate gradatamente attraverso il taglio, di uso generale per lo statore dei motori asincroni di piccola ed anche di media potenza, viene impiegato pure per l'indotto delle macchine a corrente continua con cave semichiuse (*), in sostituzione dell'avvolgimento diretto, specialmente quando il taglietto delle cave è sufficientemente largo per consentire il passaggio contemporaneo di più fili, nel qual caso il

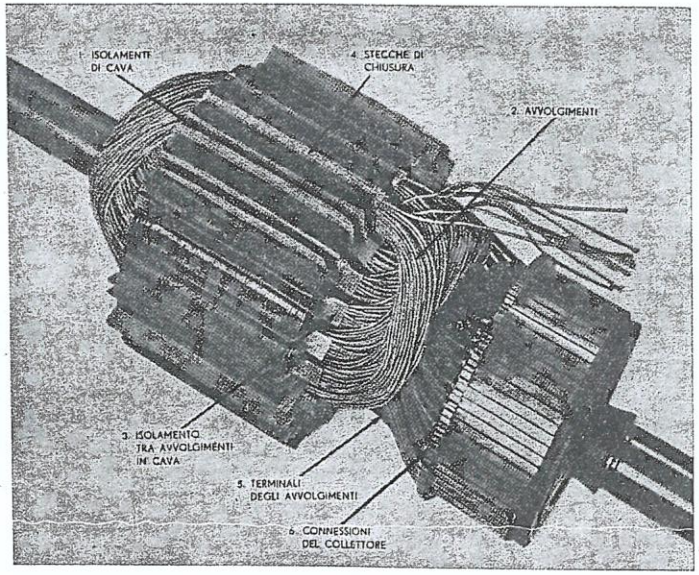


Fig. 132

Indotto con collettore a lamelle ed avvolgimento di tipo misto (da « Tecnica Nuova »)

montaggio risulta molto più rapido rispetto a quello dell'avvolgimento diretto eseguito a mano. Naturalmente le matasse vengono preparate con una apertura o ampiezza circa eguale al passo dell'avvolgimento; i fili vanno disposti ben paralleli, evitando nel limite del possibile gli accavallamenti. La fig. 131 dà una chiara idea della forma e del metodo di montaggio delle matassine per avvolgimenti di tipo misto ed inoltre mostra il sistema più usato per isolare le testate fra loro; la fig. 132 si può considerare come integrativa della precedente, in quanto mette in evidenza altre particolarità costruttive e precisamente: l'isolamento di cava, l'isolamento tra avvolgimenti in cava,

(*) L'avvolgimento misto in filo si usa talvolta nelle piccole macchine con cave aperte, però con matasse costituite da una sola zona.

le stecche di chiusura, i terminali degli avvolgimenti e le connessioni al collettore.

In tutte le macchine con cave aperte si usa però esclusivamente l'avvolgimento preformato, ossia con matasse prefabbricate. L'assoluta preferenza per questo tipo di avvolgimento deriva dai numerosi vantaggi che esso presenta rispetto all'avvolgimento diretto. Infatti è possibile sostituire facilmente qualche matassa difettosa;

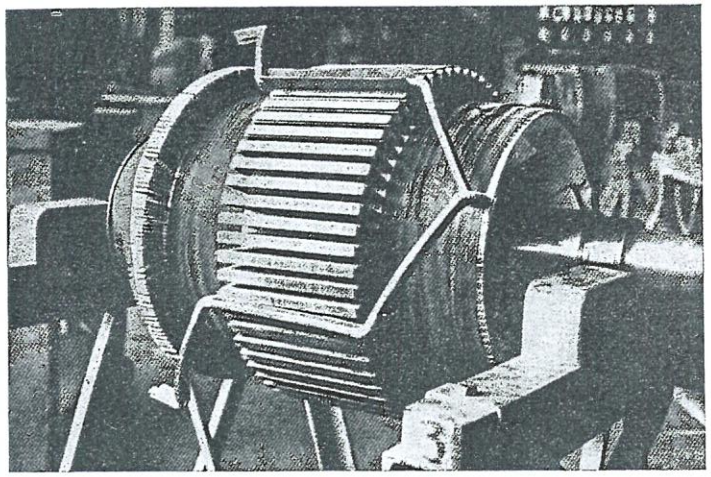


Fig. 133

Montaggio di avvolgimento rotorico, in cava aperta, con *matasse preformate* (da « Tecnica Nuova »)

per la perfetta simmetria dell'avvolgimento si hanno migliori condizioni di commutazione; il raffreddamento delle testate risulta più energico; la semplicità elementare delle operazioni di preparazione delle matasse consente una sensibile economia di manodopera (l'esecuzione viene affidata normalmente ad apprendisti). Pertanto in seguito ci occuperemo esclusivamente di questo tipo di avvolgimento.

Gli avvolgimenti a matasse si fanno di norma con fili o piattine e sono sempre a doppio strato o a 2 matasse/cava, ossia in ogni cava si montano i lati attivi di due matasse in modo che ognuna abbia un lato nello strato inferiore (fondo cava) e l'altro in quello superiore.

Gli elementi fondamentali per l'esecuzione degli avvolgimenti indotti sono:

1) *il passo alle cave* o *passo d'avvolgimento;*
2) *il passo al collettore* o *passo lamelle.*

In base al passo d'avvolgimento e tenuto conto della forma e della sporgenza delle matasse dalle cave, si può scegliere o costruire la sagoma su cui preparare le matasse, come si vedrà fra breve, mentre in base al passo al collettore si effettuano i collegamenti dei capi delle zone alle lamelle.

La fig. 133 mostra il montaggio di matasse preformate su indotto con cave aperte; l'isolamento contro massa è costituito da strisce di materiale isolante flessibile ad alta resistenza allo strappo.

Avvolgimenti in filo

Per la preparazione delle matasse ad una sola zona si dispone la bobina del filo su uno svolgitoio (fig. 134) e, dopo avere fissato il capo iniziale nell'apposita fessura della sagoma, si procede all'avvolgitura tenendo il filo ben teso, affinchè esso si disponga nella scanalatura a strati regolari sovrapposti. La sagoma si fa girare su un apposito tornio, ma nelle piccole officine i riavvolgitori usano un mulinello provvisto di contagiri.

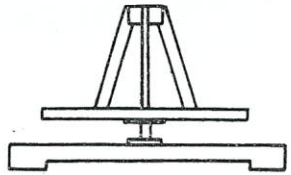


Fig. 134

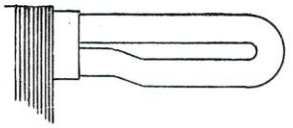


Fig. 135

Per matasse costituite da più zone (*) (normalmente due o tre), specialmente se composte di poche spire di forte sezione, si preferisce tagliare il filo di lunghezza leggermente maggiore di quella strettamente necessaria per ogni zona (compresi i capi di uscita per i collegamenti al collettore) prima d'iniziare la confezione delle matasse.

In tal caso occorre guidare i fili in modo da evitare accavallature od altre irregolarità (**). A tale scopo ci si serve di una piastrina

---

(*) La confezione delle matasse va fatta a strati verticali sovrapposti, in modo che le singole zone vengano ad occupare eguali posizioni rispetto al fondo della cava (v. 2° esempio di calcolo). Per le maggiori tensioni s'interpongono fra le singole zone, durante la confezione, dei diaframmi isolanti o separatori.

(**) Le matasse a più zone vanno avvolte allo stesso modo delle matasse ad una zona con più fili in parallelo.

di fibra provvista di fori, nei quali si passano i capi iniziali delle zone prima di fissarli sulla sagoma; la piastrina viene tenuta con la

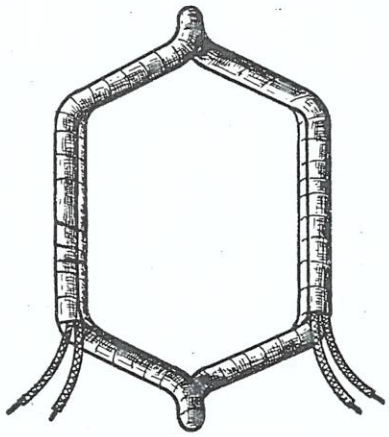


Fig. 136

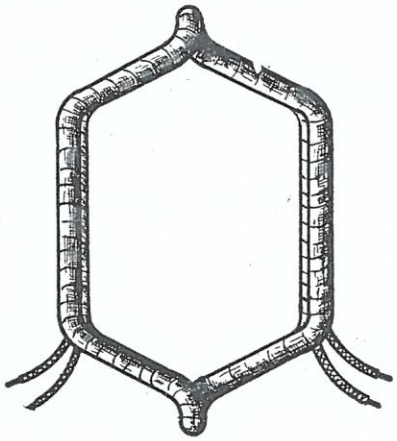


Fig. 137

sinistra, mentre con la destra, se necessario, si può far girare la sagoma.

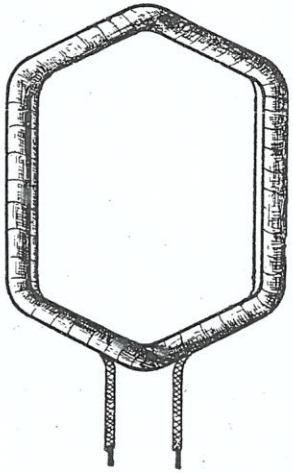


Fig. 138

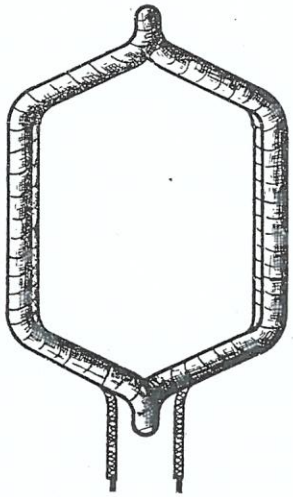


Fig. 139

Ultimata l'avvolgitura della matassa, si effettuano le legature. Generalmente i nastri per le legature si dispongono nelle apposite fessure prima di iniziare la confezione della matassa.

L'avvolgimento, in dipendenza della forma che assumono le parti colleganti i due lati attivi della matassa (collegamenti frontali), cioè l'elemento superiore di una cava con l'inferiore di una altra, si distingue in:

1) *avvolgimento a mantello*, quando le connessioni si trovano su una superficie cilindrica (fig. 135 e tavole XXIX-XXXIII e XXXV) in prosecuzione dell'armatura. Le matasse assumono la forma delle figg. 136 ÷ 139.

L'uscita dei capi di collegamento alle lamelle del collettore si fa di solito al termine del lato diritto o parte attiva della matassa, sia dalla parte superiore (fig. 136) che da quella inferiore (fig. 137), ma per gli avvolgimenti embricati si adotta sovente il sistema indicato nelle figg. 138 e 139 (l'uscita si fa lateralmente solo per gli avvolgimenti con matasse a strati adiacenti).

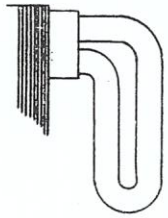


Fig. 140

Talvolta le spazzole risultano spostate dalla loro posizione normale (macchine a spazzole fisse) ed in tal caso si adottano per i capi di uscita disposizioni speciali.

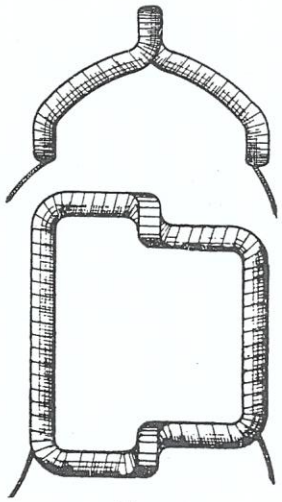


Fig. 141

Evidentemente la lunghezza dei capi di uscita dev'essere tale da consentire il collegamento alle lamelle.

2) *avvolgimento frontale*, quando le connessioni si trovano su un piano parallelo alla fronte dell'armatura (fig. 140), cioè su un piano normale all'asse. La fig. 141 mostra la forma delle matasse.

Il tipo di gran lunga preferito è quello a mantello, perchè consente migliori condizioni di raffreddamento, un più facile montaggio ed una migliore resistenza alle sollecitazioni centrifughe.

Il tipo frontale si adotta quando lo spazio secondo l'asse è piuttosto ridotto; si usa per motori di trazione e di gru.

Sagome

Tratteremo brevemente solo di alcuni tipi di sagome, per matasse di avvolgimenti a mantello, di facile costruzione e che rispondono alle esigenze dei riavvolgitori.

Per gli avvolgimenti in filo tondo, con matasse composte di più spire, le sagome possono essere tali che il filo venga avvolto direttamente nella forma definitiva oppure si può dare prima alla matassa una forma semplice per farle assumere poi il profilo definitivo.

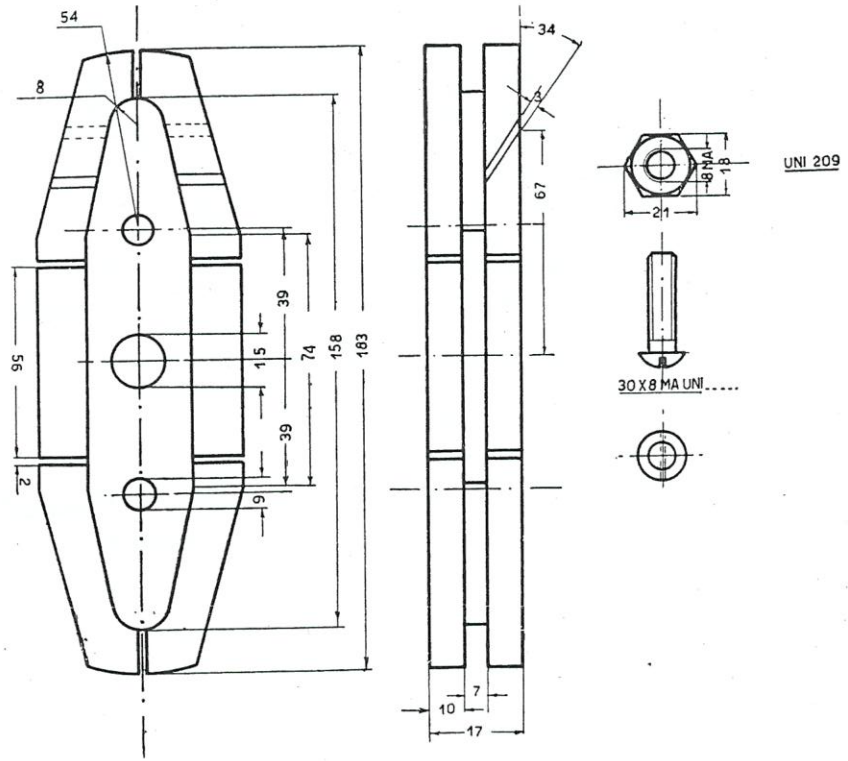


Fig. 142

Con le sagome del primo tipo la confezione delle matasse si fa in *unica operazione* e con quelle del secondo tipo in più *operazioni successive*.

Di solito si preferisce preparare le matasse in più operazioni successive, partendo da una matassa preparata su un tornio o su un mulinello, perchè la confezione riesce più economica.

Per i fili di piccolo diametro si preparano delle matassine tonde e poi si dà alle testate delle matassine la forma definitiva durante il montaggio sull'armatura, mentre per conduttori di maggiori dimensioni le diverse operazioni si eseguono tutte su sagome appropriate.

Per la preparazione delle matasse ad operazioni successive occorrono due o tre sagome. Per la prima operazione si usa un tipo di sagoma (fig. 142) atta ad abbozzare una matassa appiattita (con i lati attivi nello stesso piano), lunga e stretta (*). La sagoma è scom-

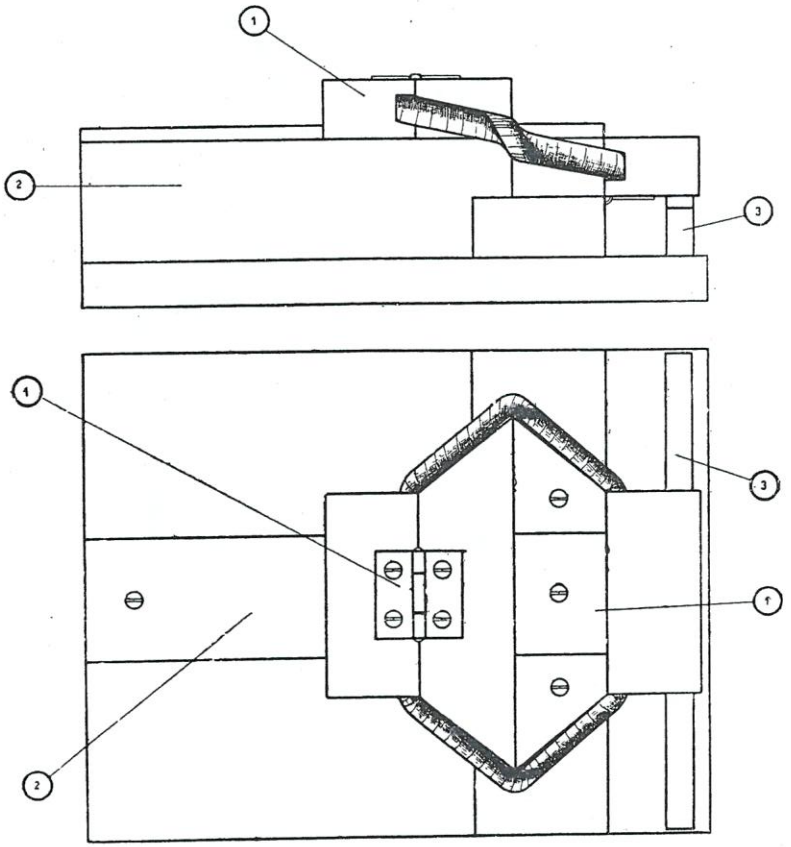


Fig. 143

ponibile; essa è costituita da un'anima e da due testate provviste di fessure per collocarvi i nastri per le legature.

La sagoma della fig. 143 serve ad aprire e sagomare le matasse. Sulla piastra rettangolare è fissato, a mezzo di viti, il pezzo (2) su

(*) Sovente si preferisce dare alle matasse una forma dissimmetrica per tenere conto del diverso sviluppo delle connessioni frontali che devono occupare lo strato esterno e quello interno (v. fig. 165).

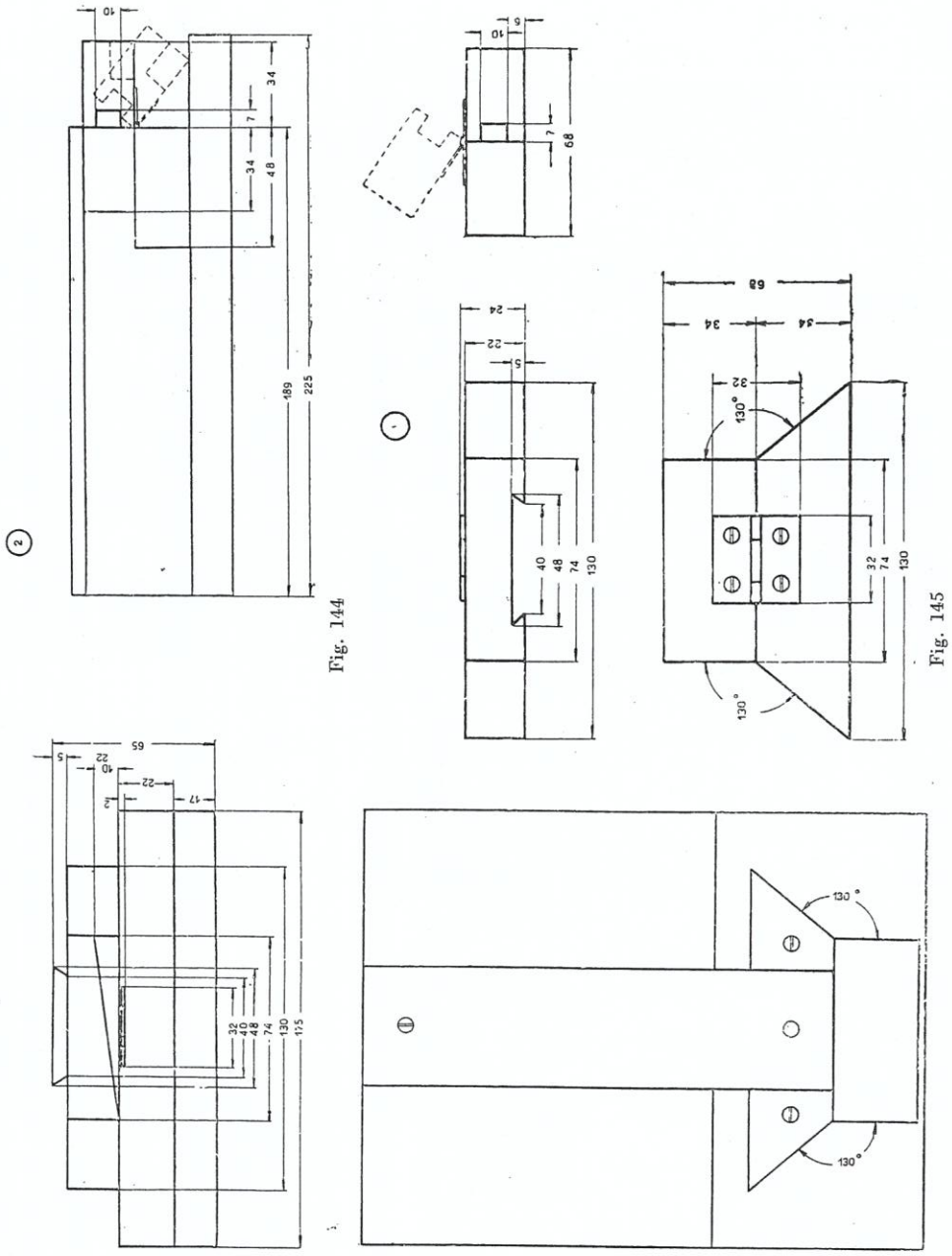


Fig. 144

Fig. 145

cui è ricavata una guida a coda di rondine, in modo che il pezzo (1) possa scorrervi sopra. La sagoma va costruita in legno duro. La fig. 143 mostra la vista laterale e la pianta della sagoma e le figg. 144 ÷ 146 mostrano i relativi particolari costruttivi.

I due pezzi gemelli (1) sono apribili; essi possono ruotare attorno ad una cerniera e sono provvisti di un canale per collocarvi i due lati attivi della matassa, come mostra chiaramente la fig. 145. Il cuneo (3) (fig. 146) serve a bloccare la parte girevole del pezzo (1)

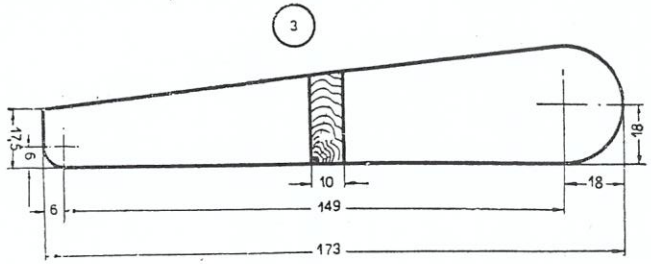


Fig. 146

Naturalmente è possibile sagomare matasse di diverse dimensioni; a tal uopo è sufficiente sostituire i pezzi (1) con altri aventi dimensioni appropriate.

L'operazione di apertura e sagomatura si esegue nel seguente modo: si dispongono i lati attivi della matassa nelle due scanalature e, dopo avere applicato sulle testate due morsetti (*) (per ricavare durante la sagomatura i due naselli), si sposta a mano il pezzo mobile, fino ad ottenere che la matassa assuma la larghezza corrispondente al passo dell'avvolgimento.

Questa fase di lavorazione richiede l'opera di due persone, perchè bisogna accompagnare i due morsetti nel moto di spostamento della matassa.

Le figg. 147 ÷ 159 mostrano l'insieme ed i particolari costruttivi di una sagoma per la confezione di matasse in unica operazione. La sagoma risulta costituita da due piastre metalliche, in parte sovrapposte, tenute insieme da due viti a galletto. Listelli di legno duro o metallici, fissati alle due piastre con viti, determinano le scanalature di larghezza eguale a quella delle matasse, mentre le due fessure tra le piastre servono a produrre la piegatura dei fili.

(*) Sovente, anzi che due morsetti, s'impiegano due listelli di legno duro con un incavo ad un estremo, di dimensioni atte ad abbracciare la matassa.

Pos.	Denominazione
1	Piastra
2	Listello
3	»
4	»
5	Morsetto di ancoraggio
6	Piastra
7	Listello
8	»
9	»
10	Bulloni con dado di serraggio a galletto
11	Viti
12	Listello

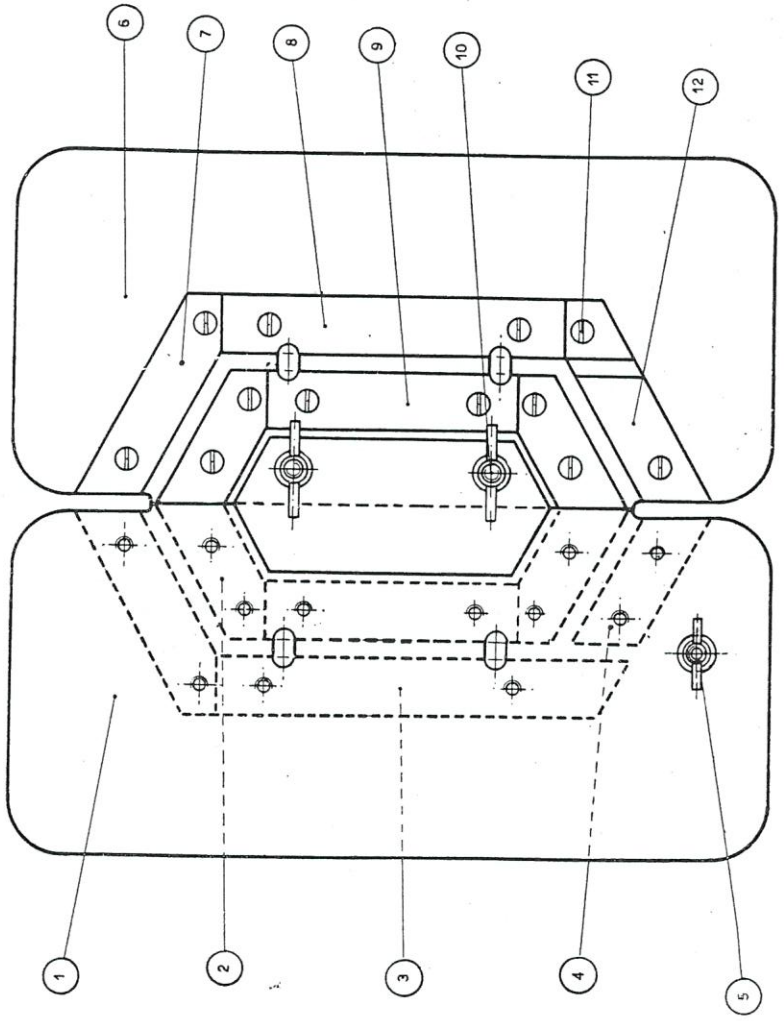
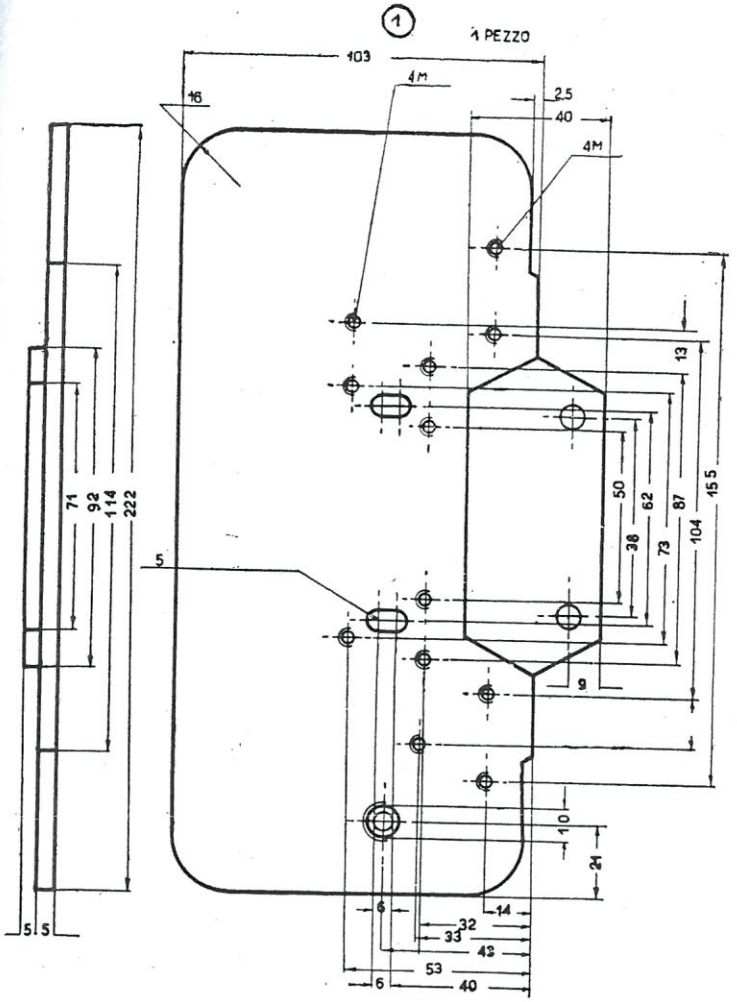


Fig. 147



← Fig. 148

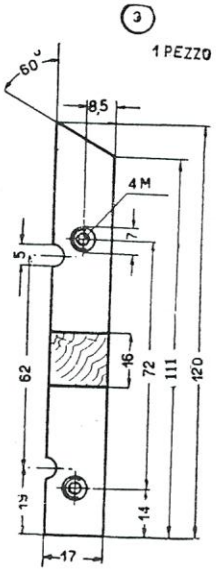
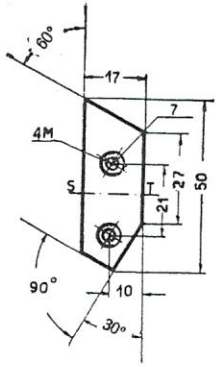


Fig. 150



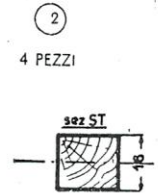


Fig. 149

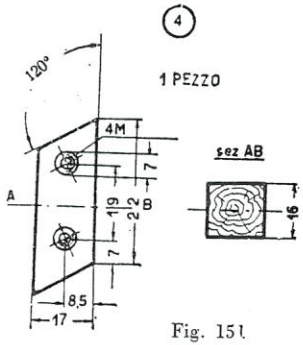


Fig. 151

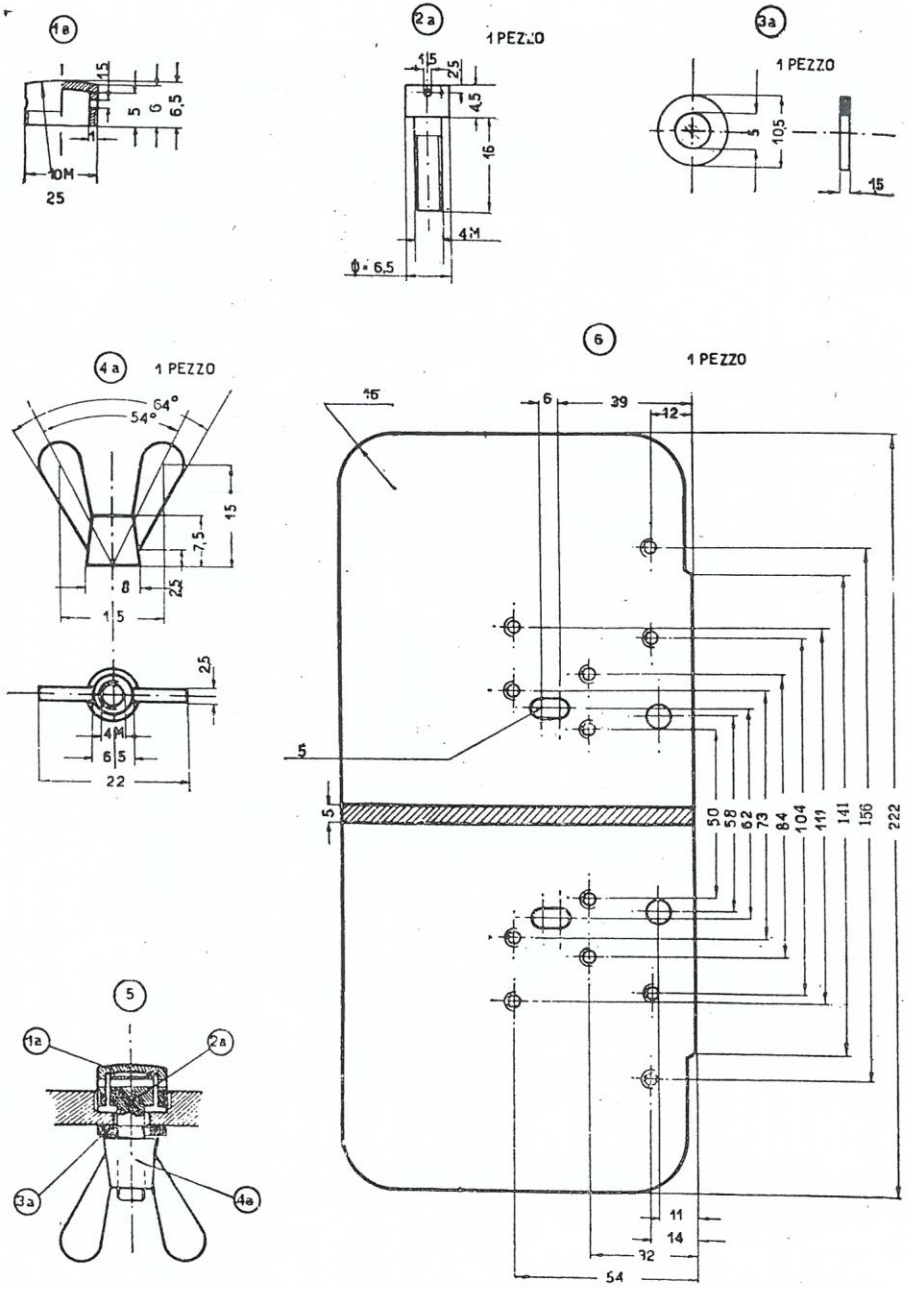


Fig. 152

Fig. 153

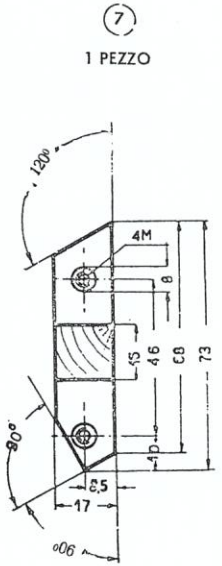


Fig. 154

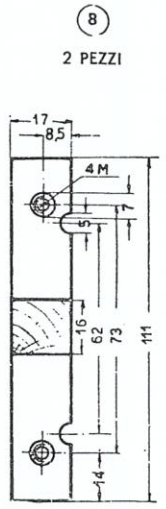


Fig. 155

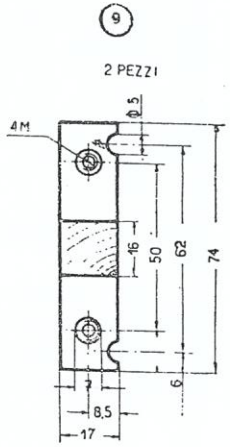


Fig. 156

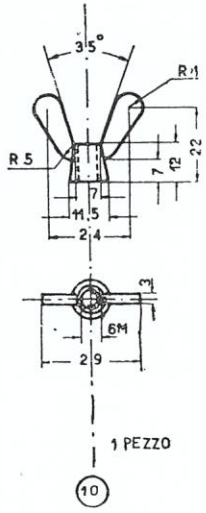


Fig. 157

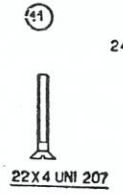


Fig. 158

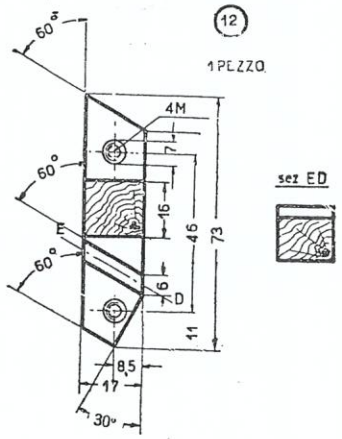


Fig. 159

Il morsetto (5) (fig. 152) serve per l'ancoraggio del capo iniziale delle zone. I nastri per le legature vanno introdotti dagli appositi fori (ovali) delle scanalature dopo avere avvolta la matassa.

Per estrarre la matassa dalla sagoma è sufficiente togliere le due viti a galletto e spostare una delle piastre.

I due tipi di sagoma descritti sono di facile costruzione ed i disegni quotati possono servire di guida per il dimensionamento delle singole parti.

Forma e dimensioni delle matasse a mantello

Per potere approntare la sagoma o le sagome per la confezione delle matasse di un dato indotto è necessario stabilire prima la giusta forma delle matasse nonchè la sporgenza delle testate. Gli elementi noti sono:

1) il diametro e la lunghezza dell'indotto;
2) il numero e le dimensioni delle cave;
3) il numero e la disposizione dei conduttori in ogni cava;
4) le dimensioni del conduttore isolato;
5) il numero dei fasci per cava;
6) il passo dell'avvolgimento.

In base a questi elementi si può stabilire l'angolo α formato dalle testate delle matasse con il pacco indotto e la sporgenza s delle testate dal pacco lamiere, come è chiaramente indicato nella fig. 160. L'angolo α dipende dal *passo alla base del dente* τ_b (v. cap. VII « *Grandezze fondamentali di calcolo* ») e dallo spessore della testata della matassa l_b aumentato del gioco fra le testate di matasse adiacenti (*) (0,75 mm) e precisamente:

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{l_b + 0{,}75\ (**)}{\tau_b}$$

(*) Si suole prevedere sempre un certo gioco fra le testate di due matasse vicine (normalmente di circa 0,75 mm) per facilità di montaggio.

(**) Dalla fig. 160 si ha: $AB = AC \cdot \operatorname{sen}\alpha = l_b + 0{,}75$; ma $AC = \tau_b$ e quindi:

$$l_b + 0{,}75 = \tau_b \operatorname{sen}\alpha$$

Da quest'ultima relazione si ricava appunto:

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{l_b + 0{,}75}{\tau_b}$$

Di solito l_b = numero conduttori adiacenti × $\varnothing_{ci}$ + 4 × spessore nastro + gioco di lavorazione ($\sim$ 0,5 mm).

dove tutte le grandezze vanno espresse in mm. Noto il valore di sen α dalle tabelle trigonometriche, si rileva il valore dell'angolo α.

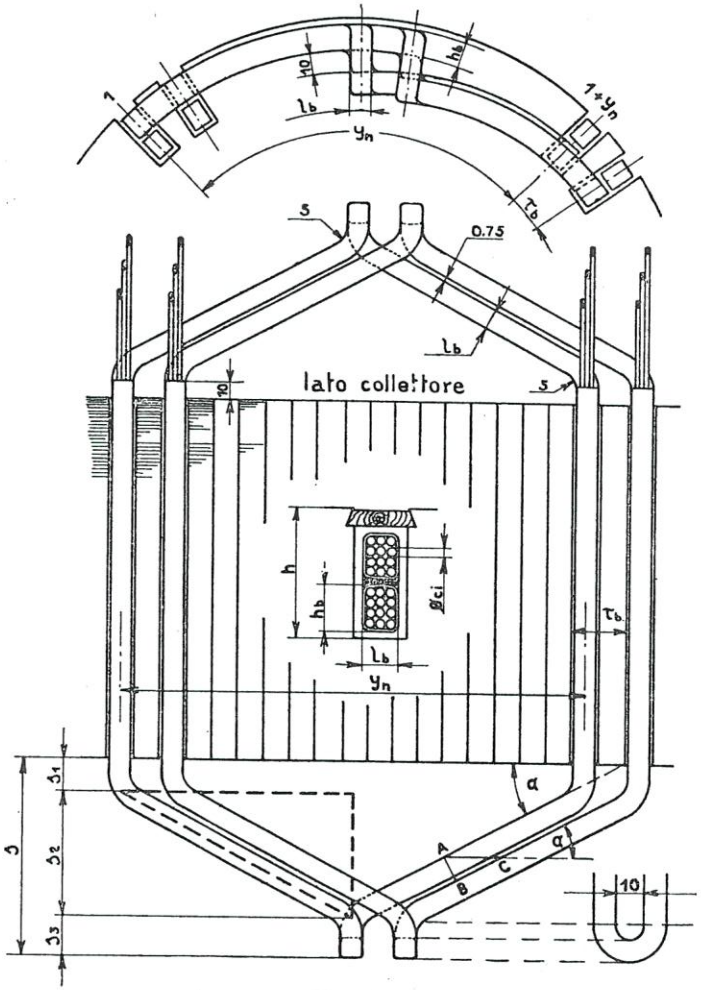


Fig. 160

Il tratto s_2 è definito dalla relazione:

$$s_2 = \frac{y_n}{2} \operatorname{tang}\alpha$$

(essendo y_n il passo d'avvolgimento, ossia l'ampiezza delle matasse)

e, siccome il tratto s_1 nelle macchine di piccola e media potenza si fa da $10 \div 15$ mm ed il tratto s_3 si può ritenere in media pari a $\frac{2}{3}$ dell'altezza delle cave (h), resta così determinato il valore della sporgenza s; si ha quindi:

$$s = s_1 + \frac{y_n}{2} \operatorname{tang} \alpha + \frac{2}{3} h \text{ (mm)}$$

Normalmente la piegatura dei fasci ha inizio a circa 1 cm a partire dal pacco lamiere, in quanto che si determinerebbero facilmente contatti a massa, per il deterioramento dell'isolante delle matasse, se la piegatura venisse iniziata subito all'uscita dalle cave (*); infatti si eserciterebbe in tal caso un'eccessiva pressione contro lo spigolo delle cave stesse.

Per macchine di piccola potenza può essere sufficiente stabilire il valore della sporgenza s delle matasse dal pacco lamiere in funzione del solo passo d'avvolgimento y_n o più semplicemente del passo polare τ; in media si può ritenere:

$$s = 0{,}35 \cdot \tau \text{ (cm)}$$

In corrispondenza a questo valore della sporgenza, la lunghezza della *spira media* delle matasse risulta:

$$L_{spm} = 2 (L_g + 1{,}4\, \tau) \text{ (**)}$$

dove L_g rappresenta la lunghezza geometrica del pacco lamiere.

Isolamento delle matasse

L'isolamento delle parti attive può essere ripartito sulle matasse e nelle scanalature oppure essere riportato tutto sui fasci. Col primo sistema, molto più in uso, l'isolamento di tutta la matassa consiste di solito in una fasciatura di nastro di cotone a spire sovrapposte per metà larghezza del nastro, cioè a semisovrapposizione, ma si usa anche, come s'è detto, il nastro di amianto e di elettrovetro. Per

(*) Il raccordo tra lato attivo e connessioni frontali si fa di solito con raggio di 5 mm per filo fino a 3 mm di diametro.

(**) Nelle macchine bipolari la sporgenza risulta circa $0{,}4 \cdot \tau$ e la lunghezza della spira media $2.(L_g + 1{,}55\,\tau)$, mentre per macchine a molti poli la sporgenza può scendere fino a $0{,}3\,\tau$ ($L_{spm} = 2 \cdot L_g + 2 \cdot 1{,}25\,\tau$). Negli avvolgimenti diretti la lunghezza della spira media risulta sempre minore che negli avvolgimenti a matasse; si può rilevare direttamente sull'indotto da riavvolgere usando un cavetto di adatte dimensioni.

rendere l'operazione di fasciatura più spedita s'impiegano nastri provvisti di riga centrale colorata. Col secondo sistema l'isolamento della parte attiva dei fasci si effettua con cartopresso normale o spe-

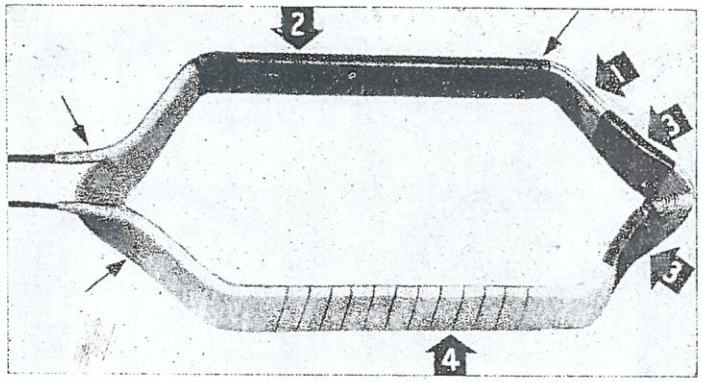


Fig. 161

Matassa rotorica preformata (per avvolgimenti embricati), completa di isolamento di classe « A ». Si notano: la piattina isolata in cotone (1) i tratti attivi (2) protetti da un cartoccio di micafoglio, da una nastratura continua (3) di nastro micato e da una nastratura finale (4) di cotone greggio. La matassa va quindi trattata con adatta vernice dielettrica.

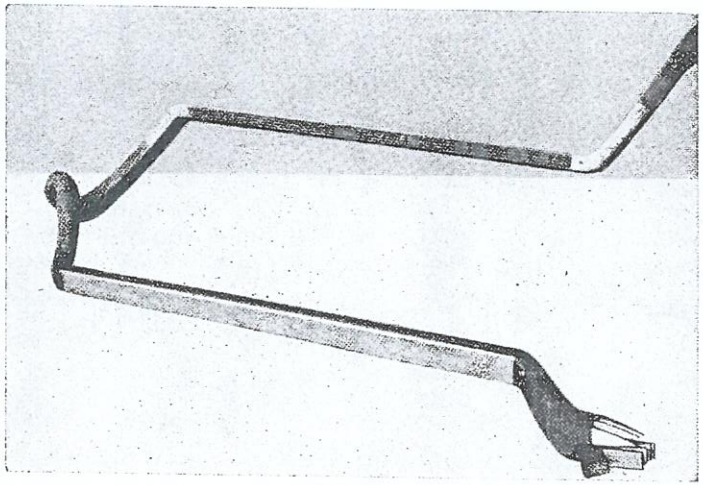


Fig. 162

Matassa in piattina preformata (per avvolgimenti ondulati) con il relativo isolamento interno ed esterno; la protezione dei tratti attivi è ottenuta con cartocci di micafoglio avvolti e pressati in loco a forma di tubi rettangolari.

ciale o con tela sterlingata, oppure con micaniti di tipo flessibile, a seconda del valore della tensione di esercizio, e con una fasciatura di nastro di cotone a spire larghe. La fasciatura delle testate, cioè

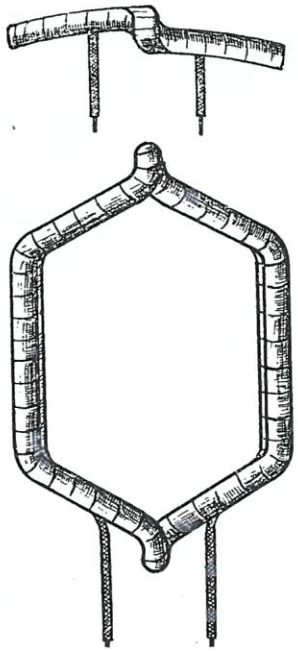


Fig. 163

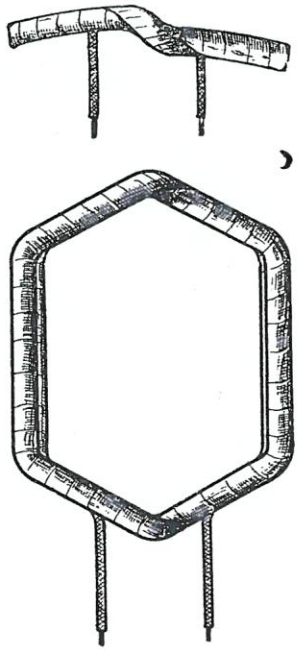


Fig. 164

delle parti fuori ferro, si esegue con nastro a semisovrapposizione. Lo spessore dell'isolamento deve essere tale da assicurare, oltre ad una sufficiente rigidità dielettrica, una buona resistenza meccanica, ma non deve risultare maggiore del valore richiesto per non diminuire la sezione utile del rame e quindi la potenza della macchina.

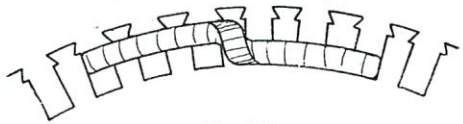


Fig. 165

Le figg. 161 e 162 mostrano due matasse preformate, con l'isolamento riportato tutto sui fasci; la nitidezza delle figure e le didascalie che le accompagnano rendono superfluo qualsiasi chiarimento.

Curvatura della matassa

Prima del montaggio le matasse vengono opportunamente curvate, in modo che possano adattarsi perfettamente alle superfici dei

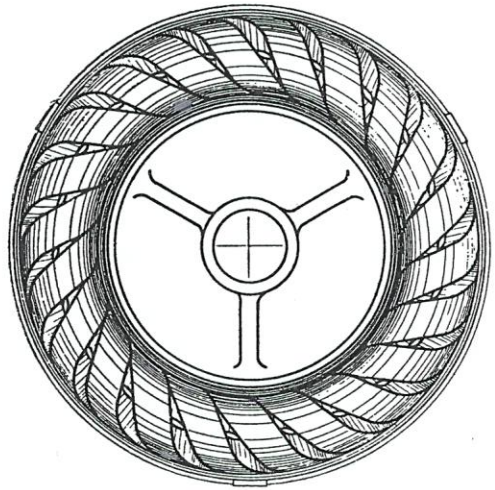


Fig. 166

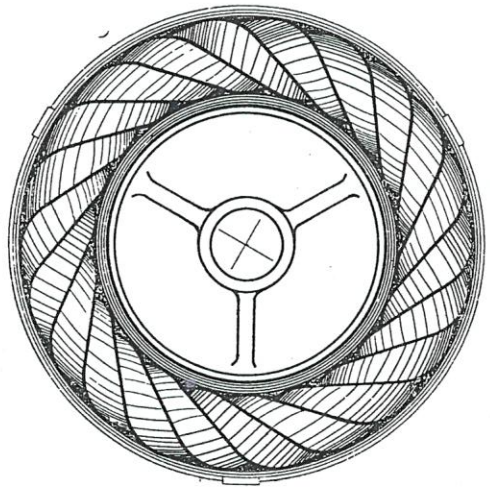


Fig. 167

sostegni laterali di appoggio della macchina. Generalmente la curvatura si esegue a mano, ma per le matasse di maggiori dimensioni

s'impiegano delle sagome di legno, costituite da semi-tamburi provvisti di scanalature, aventi dimensioni e superfici di sostegno laterali eguali a quelle dell'indotto che si deve riavvolgere.

Per eseguire la curvatura si colloca un lato della matassa in una scanalatura, si tira l'altro (di solito con un adatto morsetto di lunghezza eguale a quella del lato attivo della matassa), facendolo scorrere sulla periferia, e si va a collocarlo nella scanalatura prefissata.

Le figg. 163 e 164 mostrano due tipi di matasse per avvolgimenti a mantello dopo la curvatura, pronte per il montaggio. La fig. 165 mostra una matassa collocata sul pacco lamiere e le figg. 166 e 167 mostrano rispettivamente due indotti con l'avvolgimento completo, visti dalla parte opposta al collettore, con i due tipi di matasse delle figg. 163 e 164.

Avvolgimenti a sbarre

Negli avvolgimenti a sbarre ogni zona risulta costituita da una sola spira e soltanto nelle macchine di media potenza si hanno due spire per zona. Le spire si possono costruire in un solo pezzo, ma più frequentemente si fanno in due pezzi. Le spire in un solo pezzo presentano il vantaggio di eliminare le saldature posteriori, ma la loro preparazione riesce notevolmente più lunga e costosa di quella delle semispire, specialmente con sbarre di forte sezione.

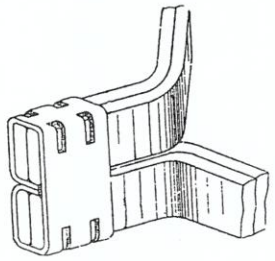


Fig. 168

La giunzione delle semispire si effettua mediante *legatura di filo di rame stagnato* (*), di diametro da 0,5 ÷ 0,8 mm, oppure mediante una *ghiera in lamierino di rame stagnato*, dello spessore da 0,5 ÷ 0,8 mm.

Il giunto va saldato a stagno, preferibilmente per immersione; per facilitare lo scorrimento dello stagno le ghiere di giunzione sono provviste di fori o feritoie (fig. 168).

Per forti sezioni s'impiegano di preferenza più elementi riuniti in parallelo sia per facilità di lavorazione, sia per ridurre le perdite dovute a correnti parassite. La fig. 169 mostra la disposizione

(*) La legatura va praticata sulle estremità delle sbarre, sovrapposte di costa, con spire ben serrate.

delle sbarre nelle cave (2 piattine in parallelo), per avvolgimenti a doppio strato, ed il collegamento alle lamelle del collettore mediante bandiere.

La piattina o la sbarra, di rame ricotto, si taglia in tratti di lunghezza corrispondente ad una spira oppure ad una semispira, i quali vengono poi piegati mediante sagome di legno o metalliche;

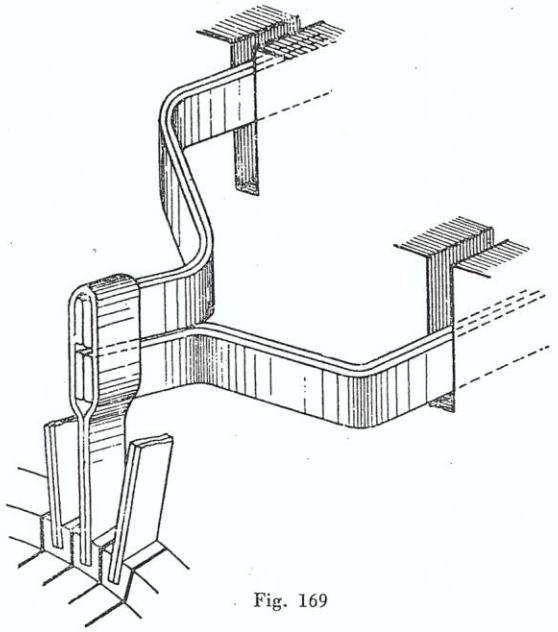
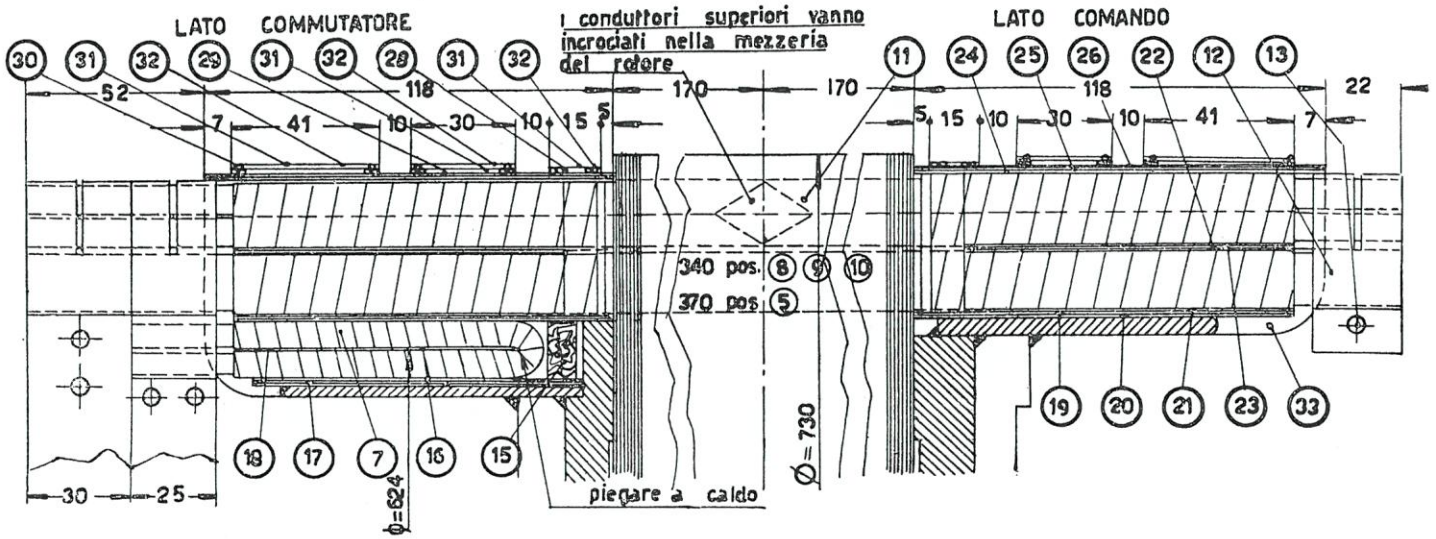


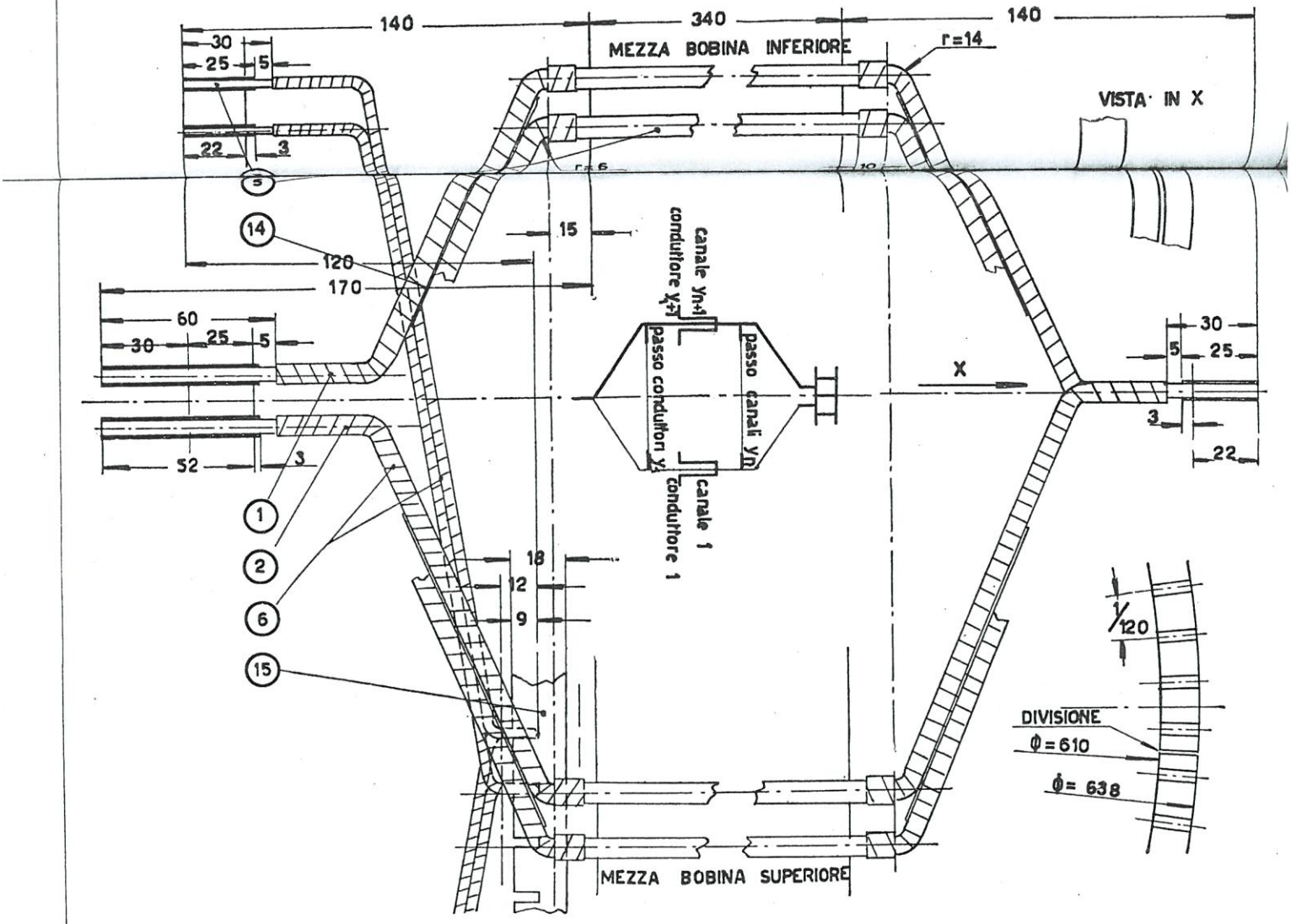
Fig. 169

evidentemente la piegatura è diversa a seconda che trattasi di avvolgimento embricato oppure ondulato (*). Le tavole XXXIII e XXXIV mostrano due semispire per avvolgimento embricato, una sezione dell'indotto ed i particolari della ghiera o occhiolo di giunzione delle semispire, della cava e della zeppa o chiavetta di chiusura delle cave, secondo un foglio di lavorazione fornitoci dalla *Brown Boveri*. Le osservazioni e la tabella dei materiali, con le caratteristiche e le quantità occorrenti per l'esecuzione dell'avvolgimento, danno un'idea più chiara di qualsiasi descrizione.

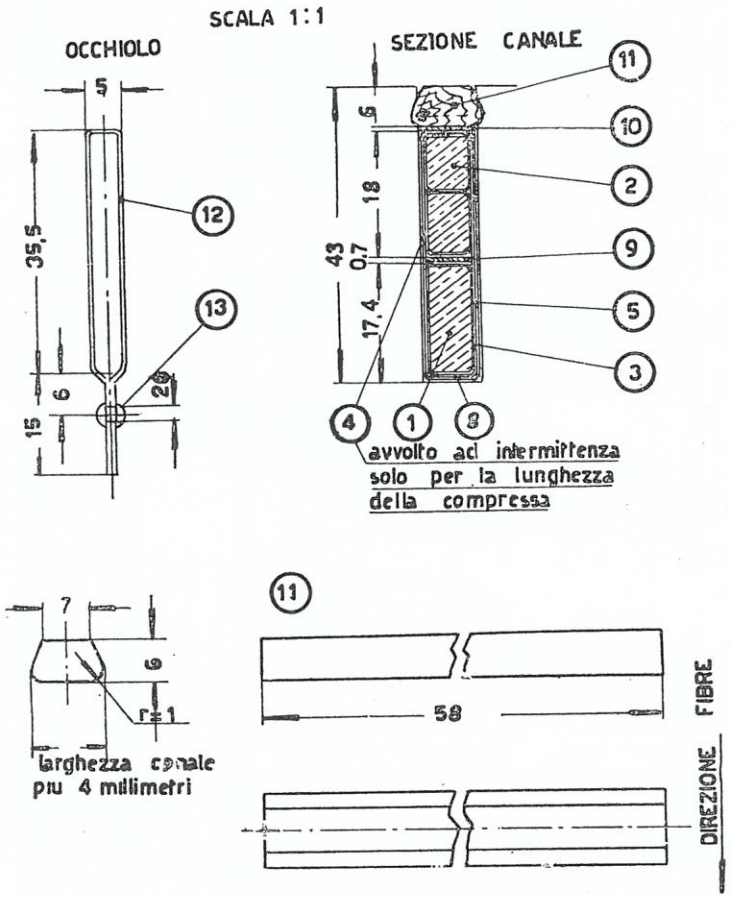
(*) La piegatura va fatta da una sola parte quando le cave dell'indotto sono del tipo semichiuso.

Avvolgimento rotore a corrente continua





Avvolgimento rotore a corrente continua



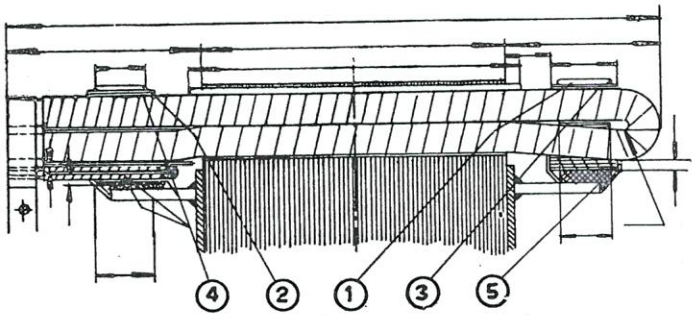
OSSERVAZIONI:

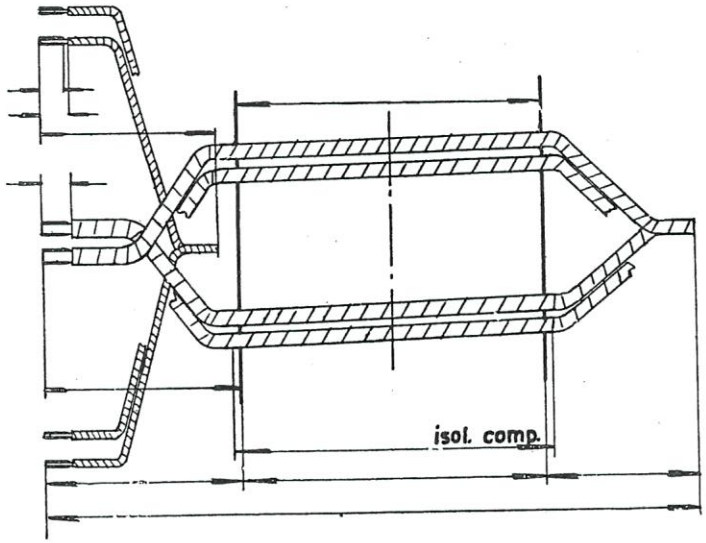
1) Il rotore finito va immerso in vernice.
2) Prima del montaggio dell'avvolgimento vanno provate e montate alcune matasse di prova.
3) Ogni strato delle legature va fissato con 2 cavallotti di fine e 10 intermedi.
4) Il canale n.° 1 è reso riconoscibile mediante intaccature sulla superficie esterna dei denti laterali e sul lato commutatore e la lamella n.° 1 mediante un piccolo foro sulla superficie frontale.
5) Dopo il montaggio le spire devono stare bene aderenti l'una all'altra; in caso diverso occorre colmare gli allargamenti con Pos. 14.

TABELLA XIX

Pos.	DENOMINAZIONE E DIMENSIONI	Quantità	MATERIALE	Osservazioni
1	mezza bobina inferiore	120	rame elettrolitico	
2	mezza bobina superiore	120	rame elett.	
3	isolazione conduttori	s. b.	mica-seta F 8	
4	fasciatura 0,1 mm	s. b.	nastro cotone	
5	compressa 0,5 mm	120	micafoglio G 45	
6	fasciatura	s. b.	mica-seta Ca 12	1/2 sovrapp.
7	connessioni equipotenziali	120	rame elett.	
8	spessore canali 95 × 0,1 × 345	120	presspan impregnato	
9	spessore canali 7 × 0,7 × 345	120	micanite D	
10	spessore canali 346 × 7 × sp. s. q.	120	presspan impregnato	
11	chiavetta canali	120	carpino	cotto in olio fino
12	occhiolo 1 × 25 × 110	120	rame elett.	
13	ribattino 2 × 4	120	rame	
14	tramezza (dimensioni s. b.)	s. b.	leatheroid	
15	pettine di distanziamento	1	legno oleato	in segmenti
16	isolazioni 2 (0,5 × 93 × 1,9 m ca)	1	micanite E	
17	legatura 2 × 0,3 mm	1	mica-lino	
18	legatura 2 (0,5 × 80 × ca 1,9 m)	1	micanite E	
19	legatura 1 × 110 × ca 2,0 m	2	presspan	
20	legatura 2 (0,5 × 110 × ca 2,0 m)	2	micanite E	
21	legatura 0,3 × 94 × ca 2,0 m	2	micanite E	
22	legatura 2 (0,3 × 94 × ca 2,1 m)	2	micanite E	
23	legatura 0,2 × 107 × ca 2,1 m	2	micafoglio G 45	
24	legatura 0,3 × 94 × ca 2,2 m	2	micanite E	fra le Pos 22
25	legatura 0,5 × 118 × ca 2,2 m	2	micanite E	
26	legatura 118 × ca 2,2 m	2	presspan	
27	—	—	—	
28	legatura 1,5 ∅ × 21 m	2	filo acc. stagn. a fuoco	
29	legatura 1,5 ∅ × 84 m	2	filo acc. stagn. a fuoco	
30	legatura 1,5 ∅ × 115 m	2	filo acc. stagn. a fuoco	
31	cavallotti intermedi 20×0,2×lg. s. b.	100	latta	
32	cavallotti di estremità 20×0,4×lg. s. b.	20	latta	
33	riempimento	s. b.	mastice ISO	

Avvolgimento indotto in parallelo ..... per macchine a corrente continua





Cave .....
Lamelle .....
Zone per matassa .....

Passo alle cave .....
Passo al collettore .....
Passo equipotenziali .....

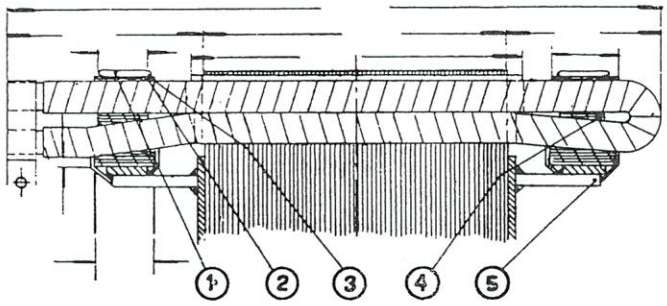
Fasciature su ogni testata di avvolgimento

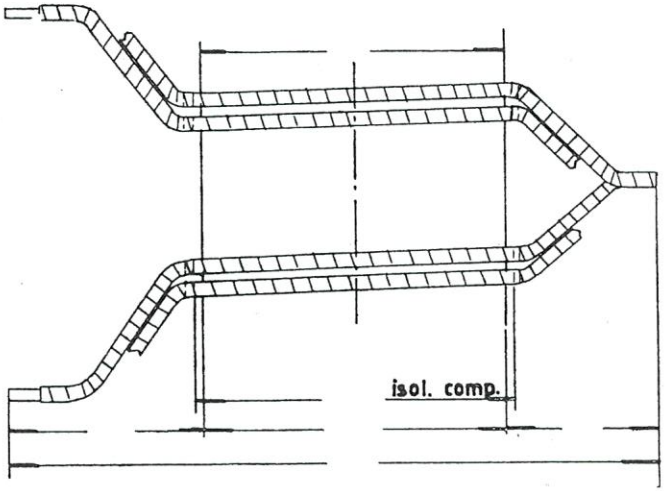
Fino a ..... giri ..... strati 1 - fili per strato

Da... a ..... giri ..... strati 2 - fili per strato

Pos.	Denominazione	Materiale	Quantità
1	fasciatura in filo ∅	acciaio	2
2	piastrine per fasciature sp.	latta stagn.	—
3	strisce isolanti dim.	cartopresso	2
4	spessori isolanti	micanite	4
5	legature in filo ∅	corda ritorta	—

Avvolgimento indotto in serie ..... con una spira per zona per macchine a corrente continua





Cave .....
Lamelle .....
Zone per matassa .....

Passo alle cave .....
Passo al collettore .....
Isolamento sec. tab. .....

Fasciature su ogni testata di avvolgimento

Fino a ..... giri ..... strati 1 - fili per strato

Da... a ..... giri ..... strati 2 - fili per strato

Pos.	Denominazione	Materiale	Quantità
1	fasciatura in filo ∅	acciaio	2
2	piastrine per fasciature sp.	latta stagn.	—
3	strisce isolanti dim.	cartopresso	2
4	spessori isolanti	micanite	—
5	legature in filo ∅	corda ritorta	—

Le tavole XXXV e XXXVI mostrano rispettivamente delle spire per avvolgimenti embricati (parallelo) e ondulati (serie) e le relative sezioni dell'indotto, secondo il sistema in uso per i fogli di lavorazione della *Marelli*. Noti i dati relativi all'avvolgimento da eseguire, si completa il foglio di lavorazione con tutte le quote ed indicazioni lasciate in bianco. La tabellina dà un'idea concreta dei materiali accessori occorrenti per l'esecuzione dell'avvolgimento. Dalle sezioni dell'indotto si rileva la disposizione delle strisce interposte tra le testate delle matasse.

Di solito le operazioni di piegatura si effettuano su sbarre nude e solo per piccole sezioni la piegatura può praticarsi su sbarre isolate. Dopo l'operazione di piegatura le sbarre si fasciano con nastro di cotone o di altro materiale. Se le matasse risultano composte da più zone è necessario praticare inoltre la fasciatura delle matasse.

Nel caso di avvolgimenti con una sola sbarra per strato si usa riportare tutto l'isolamento nella cava, mentre la parte attiva della spira si lascia senza isolamento di nastro; in tal caso si applica un diaframma isolante o separatore tra i due strati.

Prima di iniziare il montaggio bisogna isolare con diaframmi a corona (*) gli appoggi laterali.

Nel montaggio delle matasse sull'armatura si procede in modo diverso a seconda che trattasi di semispire o di spire in un solo pezzo. Nel primo caso si collocano nel fondo delle cave le semispire dello strato inferiore collegandone di volta in volta gli estremi alle relative forcelle e si pratica quindi la nastratura delle parti fuori ferro. Dopo avere posto i diaframmi nelle cave si montano le semispire dello strato superiore, effettuando, man mano che si procede nel montaggio, le connessioni al collettore ed il collegamento dalla parte posteriore a mezzo di ghiere di giunzione.

Se si tratta di spire complete, si montano prima tutti i fasci dello strato inferiore, effettuandone subito le connessioni al collettore, si applica l'isolamento tra i due strati e si collocano quindi i fasci dello strato superiore (**). Ultimato il montaggio, si eseguono le connessioni al collettore di tutti i capi dello strato superiore.

Per la saldatura delle sbarre alle forcelle s'impiega il saldatoio, mentre la saldatura delle ghiere si effettua per immersione in una scodella contenente lo stagno liquido.

(*) Le corone isolanti vanno preparate con strisce di presspan e mantenute in posto con una fasciatura di nastro (v. tavole XXXV e XXXVI).

(**) Il montaggio delle spire complete può effettuarsi con lo stesso criterio che si usa per il montaggio delle matasse in filo.

Eseguita la saldatura, si asportano le parti sporgenti dalle forcelle, cioè le estremità delle sbarre che sporgono dall'occhiolo; l'operazione si esegue col tornio nelle piccole macchine e con una sega a disco nelle macchine medie e grandi (*), dopo avere applicato dei cunei di legno tra le forcelle, in modo che esse risultino ben serrate fra loro. Ultimata la tornitura, si ripassano con la lima le parti saldate per togliere le bave e poscia si tolgono i cunei di legno.

Isolamento in cava

L'isolamento si effettua di solito a mezzo di manicotti aperti. I manicotti o cartocci hanno altresì lo scopo di proteggere le matasse dalle asperità che possono lederne l'isolamento.

Lo spessore del rivestimento è funzione della tensione nominale della macchina. Per tensioni fino a 300 V si può impiegare del cartopresso normale o speciale oppure del leatheroid dello spessore da 0,2 a 0,5 mm, con o senza tela sterlingata, ma ora si usano di norma gli isolanti combinati; per tensioni superiori, fino a 1500 V, si usano delle micaniti con supporto.

Montaggio delle matasse

Per eseguire il montaggio delle matasse si dispone l'indotto su cavalletti di sostegno muniti di scanalatura, su cui poggiano, con l'interposizione di bandelle di stagno o di piombo, le estremità dell'albero (per proteggerle da eventuali rigature, ecc.). Per macchine di piccola potenza si usano speciali *supporti per indotti*. La tav. XXXVII ne mostra un tipo ben studiato, robusto e di facile costruzione. I disegni quotati delle tavole XXXVIII, XXXIX, XL e XLI possono costituire un'ottima guida nella costruzione.

Le cave sono normalmente del tipo aperto e pertanto le matasse (ad una, due, tre o quattro zone) si montano complete di nastratura (**). L'isolante di rivestimento della cava deve sporgere dal pacco lamiere per alcuni millimetri.

Di solito si rendono riconoscibili le due cave in cui vanno allogati i lati della prima matassa (1 e $1+y_n$) mediante intaccature

(*) Nelle piccole officine di riavvolgimento l'operazione viene eseguita col seghetto.

(**) Nelle macchine nuove (talvolta anche in quelle da riavvolgere) le cave, prima di collocarvi le matasse, vanno limate con lima convessa, per arrotondarne gli spigoli frontali.

sulla superficie esterna dei denti e le lamelle 1 e $1+y_c$ con piccoli fori (1 e 2 rispettivamente) sulla superficie frontale, come è indicato nella fig. 170.

Per ottenere una disposizione uniforme delle testate è necessario collocare nelle cave prima un lato di tutte le matasse, e precisamente i lati che devono occupare lo strato inferiore, e poi tutti i lati dello strato superiore (verso il traferro), ma è da preferire, per evitare di lasciare fuori tutti i lati di matassa dello strato superiore, il seguente

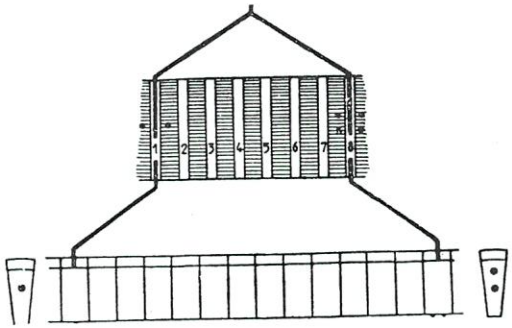


Fig. 170

sistema: si colloca in una cava qualsiasi (x) un lato della prima matassa e l'altro si lascia fuori; si procede allo stesso modo per le matasse che occupano le cave successive fino a completamento del passo d'avvolgimento, cioè per y_n cave, quindi, procedendo sempre nello stesso senso, si collocano entrambi i lati di matassa e precisamente uno nello strato inferiore della cava $x+y_n$ e l'altro nello strato superiore della cava x e così di seguito (*); in ultimo si collocano i lati di matassa lasciati fuori all'inizio del montaggio.

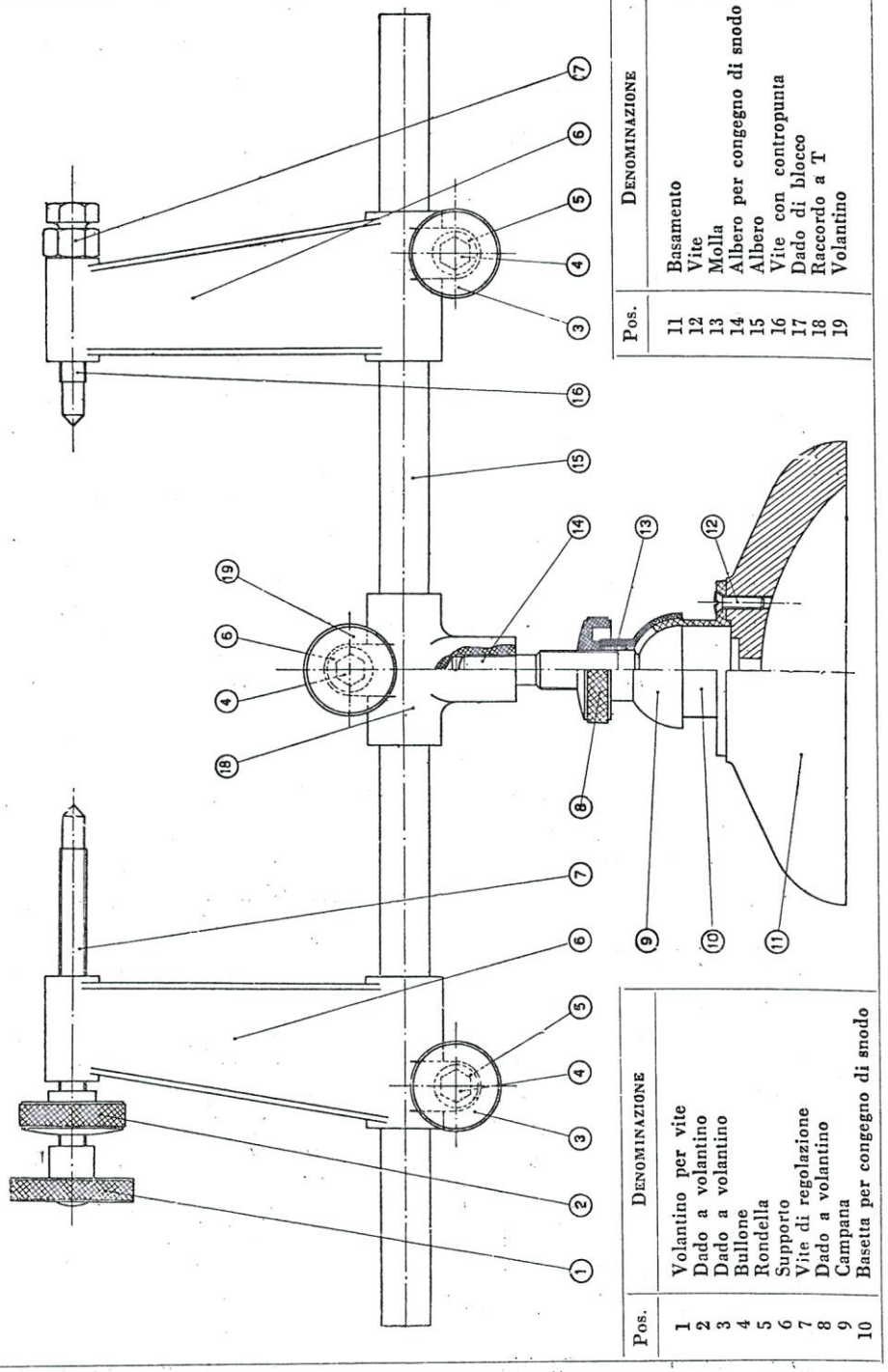
I fasci dello strato inferiore si devono adattare bene al fondo delle cave ed a tale scopo ci si serve di una stecca di legno e di un mazzuolo o di un martello. L'operazione si esegue con cura per non ledere l'isolamento, picchiando sui fasci con l'interposizione di una stecca di legno.

(*) Con riferimento alla fig. 102 l'ordine di montaggio sarebbe il seguente:

$\underline{1} - \underline{2} - \underline{3} - \underline{4} - \underline{5} - \underline{6} - \overline{\underline{1}} - \underline{7} - \overline{\underline{2}} - \underline{8} - \overline{\underline{3}} - \underline{9} - \overline{\underline{4}} - \underline{10} - \overline{\underline{5}} - \underline{11} - \overline{\underline{6}}$ ecc.; infine si montano i lati di matassa dello strato superiore: $\overline{19} - \overline{20} - \overline{21} - \overline{22} - \overline{23}$.

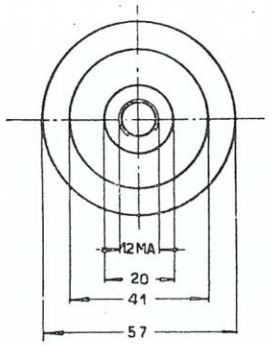
TAVOLA XXXVII

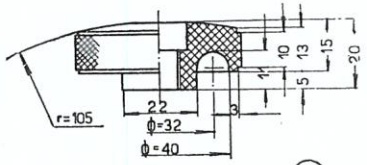
Supporto per indotti

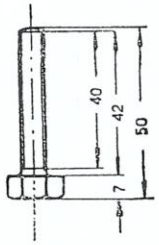


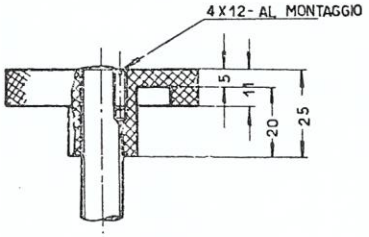
Pos.	Denominazione
1	Volantino per vite
2	Dado a volantino
3	Dado a volantino
4	Bullone
5	Rondella
6	Supporto
7	Vite di regolazione
8	Dado a volantino
9	Campana
10	Basetta per congegno di snodo

Pos.	Denominazione
11	Basamento
12	Vite
13	Molla
14	Albero per congegno di snodo
15	Albero
16	Vite con contropunta
17	Dado di blocco
18	Raccordo a T
19	Volantino

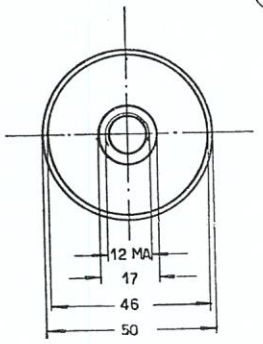




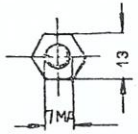




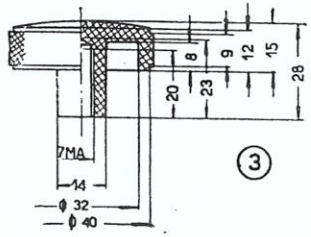
Volantino per vite

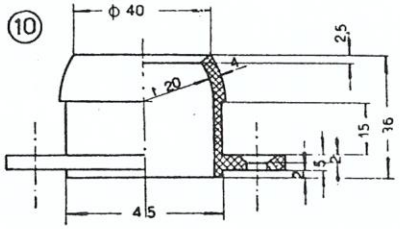


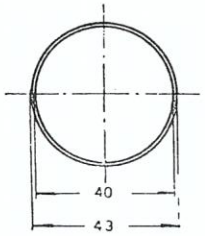
Dado a volantino



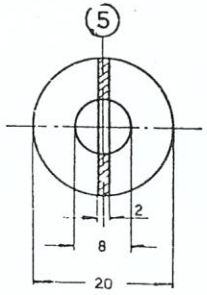
Bullone



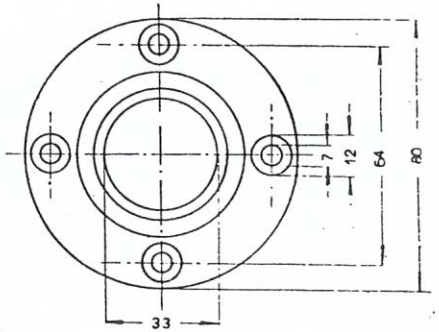




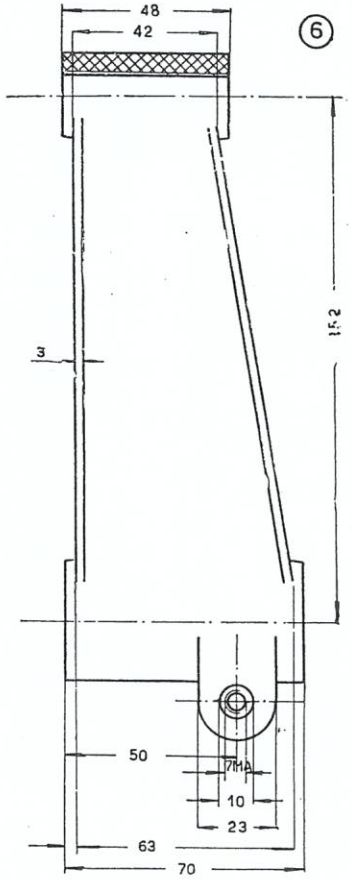
Dado a volantino

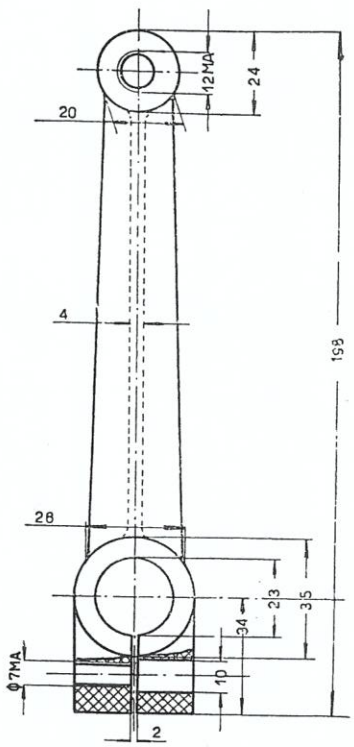


Rondella

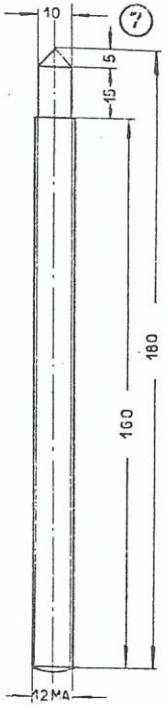


Basetta per congegno di snodo

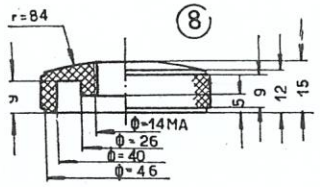


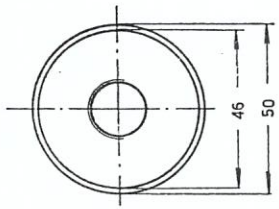


Supporto

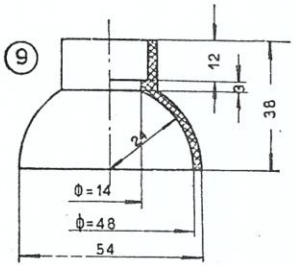


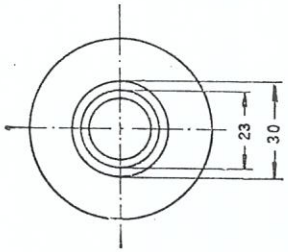
Vite
di regolazione





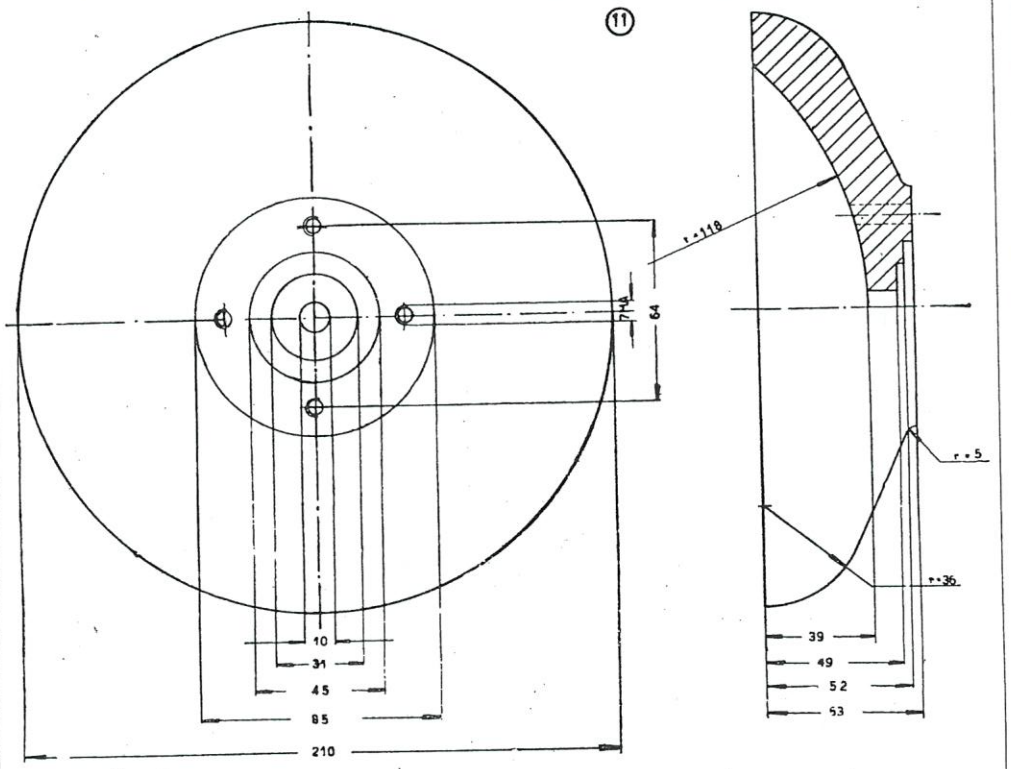
Dado a volantino



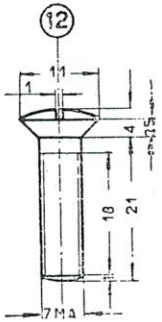


Campana

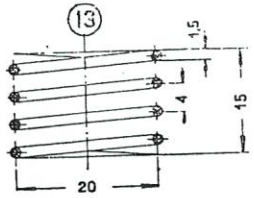
Supporto per indotti - Particolari



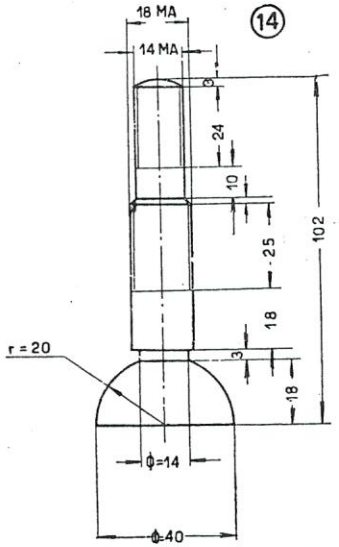
Basamento



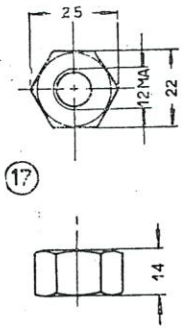
Vite



Molla

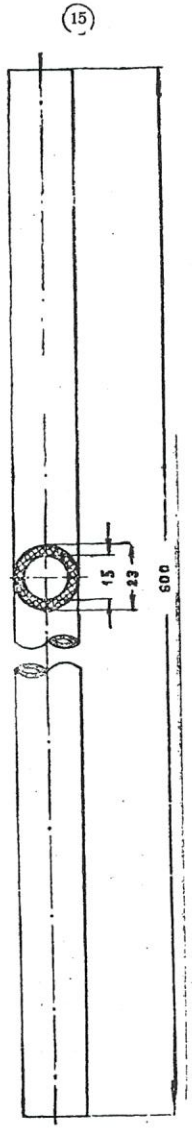


Albero per congegno di snodo

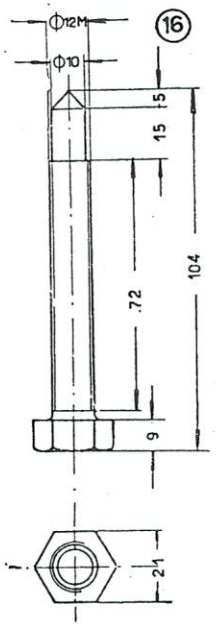


Dado di blocco

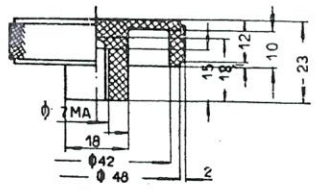
Supporto per indotti - Particolari

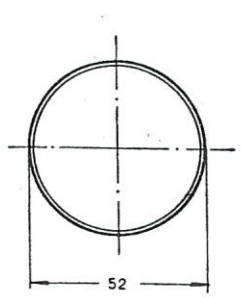


Albero

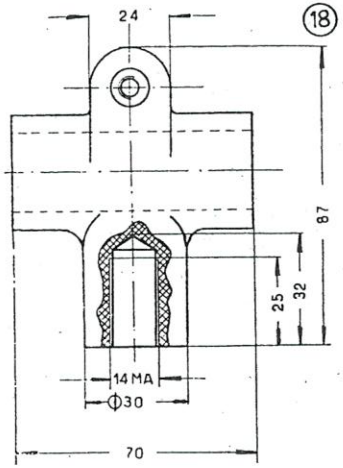


Vite con contropunta

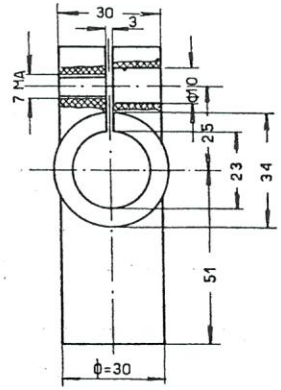




Volantino



Raccordo a T



Se le matasse sono isolate con la sola fasciatura di nastro si applicano normalmente tra i fasci dello strato inferiore e quelli dello strato superiore dei diaframmi isolanti, perchè fra essi esiste la massima differenza di potenziale. Anche fra le connessioni frontali si dispongono dei diaframmi isolanti costituiti generalmente da nastri di cartoni o dielettrici combinati (v. tavole XXXV e XXXVI).

Ultimato il montaggio delle matasse, i bordi dei cartocci isolanti vengono piegati in modo da sovrapporsi oppure da risultare avvicinati (v. fig. 79); quindi si chiude la cava mediante una zeppa o bietta e si applicano le legature di sicurezza.

Collegamenti al collettore

I capi delle matasse si collegano al collettore, come s'è detto, direttamente o a mezzo di *forcelle* di rame ribadite e saldate alle lamelle (*).

Nell'avvolgimento embricato semplice i capi di ogni zona vanno fissati sempre a due lamelle adiacenti, mentre nell'avvolgimento embricato multiplo la distanza tra i capi della stessa zona è di 2 lamelle (parallelo doppio) oppure di 3, ecc.

Negli avvolgimenti con più di 2 zone per matassa, ad evitare ogni possibilità di errore nell'effettuare le connessioni alle lamelle, alcuni riavvolgitori usano applicare sui capi di uscita delle zone dei *segnafili Cingo* o dei cartellini col numero del relativo fascio (secondo lo schema numerico). Di solito però è sufficiente verificare l'esattezza dei collegamenti, man mano che si procede nel lavoro, con un prova-circuiti o con il ben noto dispositivo della lampada di prova.

I capi delle matasse non devono formare occhielli nè essere piegati con raggio di curvatura molto piccolo. Le curvature devono avere tutte lo stesso raggio.

Nell'avvolgimento ondulato i capi di ogni matassa vanno piegati in senso opposto a quello dei fasci; i capi di ciascuna zona vanno fissati a due lamelle distanti fra loro di y_c lamelle. L'isolamento dei capi delle zone rispetto alle testate va eseguito con cura a mezzo di

(*) Nelle macchine con spazzole fisse (sistema normalmente in uso nei motori monofasi a collettore) l'andamento dei collegamenti alle lamelle varia in dipendenza della posizione delle spazzole rispetto ai poli (v. cap. XIII « *Collegamento a zero dell'indotto e messa a posto degli assi magnetici* »).

strisce o nastri di presspan, leatheroid, ecc., perchè tra essi si ha la massima differenza di potenziale.

Se il diametro del collettore è più piccolo di quello dell'indotto, s'impiegano normalmente dei diaframmi di cartopresso a forma di corona circolare montati tra collettore e testate delle matasse, come è chiaramente indicato nella fig. 171.

Le estremità dei capi, le forcelle o gli intagli delle lamelle devono essere puliti accuratamente con tela smeriglio. Negli avvolgimenti a sbarre le estremità vanno ravvivate a stagno.

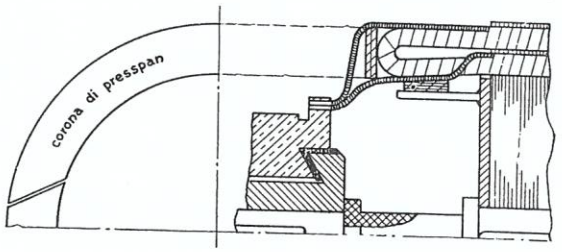


Fig. 171

Dopo avere messo a posto i capi delle zone si procede alla saldatura a stagno. Il saldatoio deve essere bene ravvivato e le parti da saldare cosparse di pasta saldante. Durante la saldatura bisogna evitare che si formino gocce di stagno, perchè possono dar luogo a cortocircuiti fra le lamelle.

Zeppe di chiusura delle cave

Nelle macchine di media e grande potenza, e talvolta anche nelle piccole a grande velocità, ad impedire spostamenti delle matasse si chiudono le cave mediante *zeppe di fibra* o di *legno duro paraffinato* (v. tav. XXXIV). Le biette di chiusura si rendono indispensabili quando le matasse o le sbarre non riempiono completamente le cave. Generalmente le zeppe sono sagomate a sezione trapezoidale, ma per cave semichiuse possono adottarsi zeppe a sezione rettangolare a bordi arrotondati.

Per indotti di notevole lunghezza s'impiegano zeppe in più pezzi.

Lo spessore delle zeppe deve essere tale da tenere ben serrate le matasse e pertanto occorre forzarle nelle cave servendosi di una stecca e di un mazzuolo di legno.

Legature o bandaggi

Queste legature hanno la funzione di impedire che l'avvolgimento indotto venga sospinto fuori dalle cave dall'azione della forza centrifuga che si manifesta durante il funzionamento della macchina. Le legature di ritegno dell'avvolgimento fuori ferro, cioè sulle parti laterali, si applicano in quasi tutte le macchine per impedire ogni deformazione radiale.

I fili di fasciatura possono essere di acciaio antimagnetico o di bronzo fosforoso (diametro da 0,8÷1,5 mm).

Le legature sul pacco lamiere si applicano in corrispondenza dei canaletti praticati sulla periferia dell'indotto; la larghezza delle fasciature si limita allo stretto necessario (normalmente non si superano i 20 mm) ad evitare che si producano in esse delle correnti parassite (*).

Le legature vanno isolate dalla massa mediante strisce di cartopresso, tritona, micanite, ecc. Queste legature possono eseguirsi sul tornio.

Per facilitare la chiusura della legatura si usa disporre, nell'apposito canaletto, una lastrina di rame di lunghezza circa doppia della larghezza della legatura stessa. Ultimata la legatura si rovesciano le estremità della lastrina di rame sulla fasciatura, mentre l'estremità del filo si piega a 180° sulla laminetta (**). Infine si procede alla saldatura della fasciatura in corrispondenza dei bordi della lastrina di rame.

Lo spessore delle fasciature può arrivare a 2,5 mm.

Oggi il bandaggio viene eseguito anche con nastri di vetro — a fili ritorti paralleli — impregnato con resine poliesteri o epossidiche oppure acriliche. L'impregnazione può farsi al momento dell'uso.

Questi nastri hanno una resistenza a trazione di poco inferiore a quella dell'acciaio, ma presentano il vantaggio di essere isolanti ed inoltre la loro applicazione risulta più rapida ed economica.

In USA da alcuni anni si è affermato il nastro per bandaggi denominato « polyglas », costituito da un elevato numero di fili paralleli di vetro, già impregnati con una speciale resina acrilica parzialmente polimerizzata, che viene successivamente indurita per mezzo del calore.

(*) Per le testate dell'avvolgimento si possono adottare legature un po' più larghe di quelle sul ferro.

(**) Normalmente per tenere ben serrate le legature si applicano diverse lastrine di rame o di ottone per ogni legatura (tutte le lastrine vanno saldate).

L'applicazione del nastro può essere fatta con la macchina standard per l'esecuzione dei bandaggi in acciaio oppure con un tornio; la differenza consiste nel dispositivo per tendere il nastro: è sufficiente sostituire le pulegge usate per tendere il filo di acciaio con pulegge con gole a fondo piano.

Il nastro naturalmente va applicato direttamente sugli avvolgimenti, senza alcun separatore. Se si vuole evitare che il nastro s'incolli sugli avvolgimenti, basta inserire un film di triacetato o di tereftalato.

Si consiglia di applicare il nastro polyglas in ciascuno strato con passo eguale o leggermente superiore alla larghezza del nastro. Ultimato il numero prefissato di giri, è sufficiente appoggiare l'estremità del ferro a saldare caldo sull'ultimo giro del nastro tenuto in tensione. Dopo uno o due minuti la vernice del nastro diviene sufficientemente dura per assicurare la presa (*). Infine il rotore verrà posto in forno; per la polimerizzazione del bandaggio occorre un tempo minimo di tre ore e mezzo a 125° C. (**).

Calcolo delle legature con fili metallici

Il calcolo delle legature di sicurezza o bandaggi si fa in base alle sollecitazioni a cui esse vengono sottoposte durante la rotazione

(*) Dopo aver fermato il nastro si fa ancora un giro e poi si passa l'estremo libero sotto l'ultima passata.

(**) L'Isola consiglia per il calcolo del bandaggio con nastro polyglas la formula seguente:

$$F = \frac{P \times R \times N^2}{5{,}6 \times 10^6} \text{ kg}$$

dove:

F rappresenta la forza tangenziale a cui deve resistere il bandaggio;

P = peso in kg degli avvolgimenti (se l'avvolgimento è chiuso con zeppe si prende in considerazione soltanto la parte sporgente dalle cave);

R = distanza massima in mm degli avvolgimenti dall'asse di rotazione;

N = numero di giri/min del rotore.

Indicando con L la larghezza del nastro prescelto, il numero di spire da applicare è dato dalla seguente formula:

$$n = \frac{F}{5 \times L}$$

dell'indotto. Lo sforzo in kg esercitato dai conduttori dell'avvolgimento può essere espresso dalla relazione:

$$Sf_{centrifugo} = 0{,}85 \cdot Z \cdot L_{matasse} \cdot S_c \cdot \varnothing_e \cdot N^2 \cdot 10^{-6} \text{ (kg)}$$

dove Z = numero totale di conduttori dell'avvolgimento;
$L_{matasse}$ = lunghezza geometrica del pacco lamiere + 2 volte la sporgenza delle matasse dalle cave in m;
S_c = sezione di un conduttore in mm²;
$\varnothing_e$ = diametro esterno dell'indotto in m;
N = numero di giri al minuto.

Nota la forza a cui devono resistere tutti i fili delle legature, se ne determina la sezione totale in base al carico di sicurezza σ_R per mm²:

$$\text{sezione totale} = \frac{Sf_{centrifugo}}{\sigma_R} \text{ mm}^2$$

per l'acciaio $\sigma_R = 8 \div 10$ kg/mm²;
per il bronzo $\sigma_R = \sim 7$ kg/mm².

Stabilito il numero delle legature ritenuto più opportuno (per le legature sul ferro il numero di legature rimane fissato dal numero degli appositi canaletti) si ha:

$$\text{sezione/legatura} = \frac{\text{sezione totale}}{\text{numero legature}} \text{ mm}^2$$

In base a questo valore si può fissare il diametro più conveniente del filo ed infine il numero dei fili/legatura:

$$\text{numero fili/legatura} = \frac{\text{sezione/legatura}}{\text{sezione filo}}$$

1° Esempio. — Calcolo delle legature per un indotto avente le seguenti caratteristiche: $Z = 420$; $L_{matasse} = 0{,}26$ m; $S_c = 5{,}67$ mm²; $\varnothing_e = 0{,}20$ m; $N = 1800$ giri/min (v. « *Esempi costruttivi di macchine a corrente continua* », n. 23).

Sforzo totale:

$$Sf = 0{,}85 \cdot 420 \cdot 0{,}26 \cdot 5{,}67 \cdot 0{,}20 \cdot 1800^2 \cdot 10^{-6} = \sim 341 \text{ kg}$$

La sezione complessiva per un carico di sicurezza di 8 kg/mm² vale:

$$\text{sezione totale} = \frac{341}{8} = 42{,}63 \text{ mm}^2$$

Supponendo di applicare 3 legature sul ferro ed una per parte sulle testate delle matasse si ha:

$$\text{sezione/legatura} = \frac{42{,}63}{5} = 8{,}53 \text{ mm}^2$$

Usando un filo di acciaio del diametro di 0,8 mm (sez. = 0,502655 mm²) il numero dei fili per legatura risulta:

$$\text{numero fili/legatura} = \frac{8{,}53}{0{,}5027} = 17$$

2.° Esempio. — Calcolo delle legature per un indotto avente le seguenti caratteristiche: $Z = 144$; $L_{matasse} = 0{,}18$ m; $S_c = 46$ mm²; $\varnothing_e = 0{,}44$ m; $N = 1450$ giri/mm.

Sforzo totale:

$$Sf = 0{,}85 \times 144 \times 0{,}18 \times 46 \times 0{,}44 \times 1450^2 \times 10^{-6} = \sim 938 \text{ kg}$$

Con legature in filo di acciaio e per un carico di sicurezza di 8,5 kg/mm² la sezione totale risulta:

$$\text{sezione totale} = \frac{938}{8{,}5} = \sim 110 \text{ mm}^2$$

Applicando 2 legature sul ferro e 2 sulle testate di larghezza 1,5 volte le prime si ha:

$$\text{sezione/legatura} = \frac{110}{5} = 22 \text{ mm}^2$$

Scelto un filo del diametro di 1,5 mm (sez. = 1,767 mm²) il numero di fili per ogni legatura sul ferro risulta:

$$\text{numero fili/legatura} = \frac{22}{1{,}767} = 12$$

mentre sulle testate delle matasse:

$$\text{numero fili/legatura} = 1{,}5 \times 12 = 18$$

Collaudo degli avvolgimenti indotti

Prima di iniziare il montaggio dell'avvolgimento indotto sull'armatura si eseguono le prove seguenti: *prova d'isolamento fra le zone delle singole matasse; prova d'isolamento fra le spire della stessa zona; prova d'isolamento fra le lamelle del collettore; prova d'isolamento fra le lamelle e la massa.*

Per la prima verifica si collega il solito dispositivo della lampada di prova con i capi di due zone della stessa matassa. La prova può eseguirsi altresì con un prova-circuiti a suoneria o con un ohmmetro.

Per la prova di isolamento fra le spire della stessa zona si collegano i capi di essa col secondario di un adatto trasformatore, mentre nel circuito del primario si dispone un amperometro. Se esistono contatti si ha un aumento della corrente assorbita dal primario e la matassa si riscalda in misura maggiore del normale.

Nella prova di isolamento fra le lamelle ci si serve di una normale presa di corrente dell'impianto forza motrice (corrente alternata a 220-380 V), di una lampada e di due contatti mobili, con estremità a punta, che si appoggiano successivamente sulle lamelle vicine. Se esiste un contatto la lampada si accende.

Nella prova di isolamento contro massa si collegano fra loro tutte le lamelle, avvolgendo sul collettore un filo di rame ben stretto, e con lo stesso dispositivo della prova precedente si appoggiano i due contatti mobili sulla massa e sul collettore. Tensione di prova da 1000÷2000 V (da applicarsi gradualmente).

Le prove che si eseguono comunemente sull'avvolgimento indotto sono:

1) *prova di continuità dei circuiti*: ha lo scopo di controllare la continuità di ogni via di avvolgimento e del circuito di ogni zona. La prova si esegue inviando una corrente continua (*), dello stesso ordine di grandezza di quella di pieno carico, nelle lamelle ove andrebbero collocate le spazzole ed esplorando a mezzo di un millivoltmetro a zero centrale. I capi del circuito di alimentazione si fissano alle lamelle del collettore a mezzo di adatti morsetti, mentre gli estremi dei due capicorda fissati ai morsetti del millivoltmetro, generalmente con estremità appuntite, si appoggiano a mano su due

(*) La tensione da applicare è sempre molto bassa dato che la resistenza dell'avvolgimento indotto è sempre piccola; comunque si suole inserire nel circuito di alimentazione un reostato per la regolazione della corrente.

lamelle adiacenti. Eseguita una lettura su due lamelle, si spostano le punte di una lama e così di seguito. Tutte le letture devono evidentemente risultare eguali se non esistono interruzioni o contatti; l'interruzione in una via dell'avvolgimento viene subito localizzata dato che in corrispondenza della interruzione si ha la massima differenza di potenziale e quindi l'indice dell'apparecchio va fuori scala, mentre tra le altre lamelle della stessa via il millivoltmetro resta azzerato. Anche un cortocircuito fra due lamelle viene rilevato dall'azzeramento dello strumento in corrispondenza delle sole lamelle a contatto. Questa prova consente ancora di rilevare, con strumenti precisi e buoni contatti del millivoltmetro con le lamelle, cortocircuiti di pochissime spire. Negli avvolgimenti diretti, normalmente del tipo a gomitolo, può verificarsi qualche inversione nelle connessioni al collettore, ma anche questo difetto viene subito rilevato perchè in corrispondenza delle lamelle dove si ha l'inversione s'inverte il senso di deviazione dell'indice del millivoltmetro. Da quanto precede risulta evidente che questa prova offre la possibilità di effettuare vari controlli in modo sicuro;

2) *prova delle saldature*: ha lo scopo di controllare se le saldature tra i capi delle zone e le lamelle o le forcelle assicurano un buon contatto. Questa prova, necessaria specialmente per gli avvolgimenti a sbarre, si esegue applicando una tensione continua come per la prova precedente, ma la corrente deve avere un valore maggiore di quella di funzionamento di pieno carico. Le saldature difettose scaldano;

3) *prova di isolamento*: ha lo scopo di controllare l'isolamento dell'avvolgimento rispetto alla massa. La prova si esegue con la stessa disposizione e con lo stesso sistema adottato per la prova di isolamento del collettore contro massa. La prova va fatta con corrente alternata e preferibilmente con avvolgimento a caldo;

4) *prova elettromagnetica*: ha lo scopo di accertare che non esistano contatti fra le zone o fra le spire della stessa zona e che le connessioni siano esatte. La prova per macchine di una certa potenza si esegue a mezzo di un elettromagnete eccitato a corrente alternata, in serie con un amperometro. Si dispone l'indotto su due cavalletti mentre l'elettromagnete è tenuto vicino al tamburo. Si fa girare l'indotto e si ispeziona tutto l'avvolgimento. Contatti o errori nelle connessioni provocano riscaldamenti della parte difettosa ed un aumento di corrente nel circuito di alimentazione dell'elettromagnete.

La prova può eseguirsi anche inviando corrente alternata nell'avvolgimento, in corrispondenza delle lamelle a massima differenza di potenziale. Eventuali contatti provocano un riscaldamento anormale della parte difettosa.

Per macchine di piccola potenza la prova può effettuarsi a mezzo di un elettromagnete alimentato a corrente alternata, con estremità a V (fig. 172). Disposta una sottile listerella di acciaio sulla periferia dell'indotto, quasi a contatto del tamburo e parallelamente alle cave, si fa girare lentamente l'indotto; se esistono contatti la listerella entra in vibrazione in corrispondenza dei lati della zona con spire in cortocircuito. Le vibrazioni risultano tanto più forti quanto maggiore è l'entità del contatto;

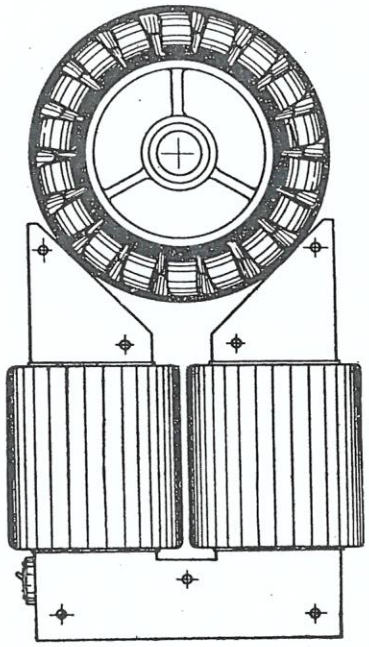


Fig. 172

5) *equilibratura dell'indotto*: ha lo scopo di controllare se esistono dissimmetrie nella distribuzione delle masse dell'armatura. L'irregolarità nella distribuzione delle masse rotanti dà luogo a vibrazioni durante il funzionamento. Per assicurare una marcia regolare e silenziosa della macchina occorre eliminare ogni dissimmetria, cioè *equilibrare l'indotto*.

Per macchine non molto veloci è sufficiente eseguire la prova di *equilibrio statico*. La prova si esegue collocando l'indotto su due guide prismatiche con gli spigoli accuratamente rettificati, dette *gemelli o regoli d'equilibratura*, disposte parallelamente sullo stesso piano orizzontale e girando molto lentamente l'indotto. Se esistono delle dissimmetrie si applicano dei contrappesi finchè sia raggiunta la condizione statica di equilibrio indifferente, quella condizione cioè per cui l'armatura rimane ferma in qualunque posizione.

I pesi equilibratori possono realizzarsi colando del piombo fuso nei fori delle flangie del pacco lamiere oppure impiegando dei pezzi di ferro fissati con viti. Per piccole dissimmetrie si può applicare della lega di saldatura sulle legature.

Per macchine di media e grande potenza destinate a funzionare a velocità superiori ai 1500 giri/min è necessario sottoporre gli indotti alla *prova dinamica*. La prova si esegue disponendo l'indotto orizzontalmente su supporti speciali, poggianti su sferette di acciaio, e facendolo girare nei due sensi con velocità crescente fino a raggiungere una velocità superiore a quella di regime. La punta di un graffietto appositamente predisposto serve a segnare sul rotore le eccentricità.

Dalla parte opposta ai segni si applicano i pesi addizionali e si torna a ripetere la prova finchè il graffietto non indica più alcuna eccentricità.

Le prove d'equilibratura statica e dinamica si eseguono, con lo stesso metodo, anche per la ruota polare degli alternatori.

La prova dinamica si esegue sovente a mezzo di macchine automatiche, di cui esistono in commercio vari tipi anche per le piccole e piccolissime potenze, chiamate generalmente « equilibratrici dinamiche »; tali macchine danno direttamente il valore dei pesi addizionali ed indicano la posizione dove essi vanno applicati.

CAPITOLO SETTIMO

CALCOLO DEGLI AVVOLGIMENTI A CORRENTE CONTINUA

Premesse

Per risolvere quasi tutti i problemi che possono presentarsi agli artigiani riavvolgitori supporremo di conoscere soltanto i dati di targa (*) e le dimensioni principali della macchina da riavvolgere, rilevabili sulla macchina stessa, considereremo cioè il caso più complesso. Se poi la macchina, come capita di solito, è ancora provvista dell'avvolgimento deteriorato e si desidera modificarne le caratteristiche (normalmente tensione e corrente) il calcolo degli avvolgimenti risulta notevolmente semplificato. È buona norma, anche nel caso di riavvolgimento con caratteristiche invariate, qualora la macchina sia stata già riavvolta, procedere ad alcune rapide verifiche per accertarsi che l'induzione nel traferro non si discosti troppo dai valori ammessi e che il numero delle spire e la sezione del conduttore dell'avvolgimento indotto siano in armonia con i dati di targa. Qualora queste condizioni non risultassero soddisfatte, si rende necessario effettuare il calcolo come se la macchina fosse sprovvista dell'avvolgimento bruciato. Infine tratteremo brevemente di alcuni casi particolari di cambio delle caratteristiche.

Prima di iniziare la succinta trattazione sul *calcolo degli avvolgimenti dell'indotto*, dei *poli principali* (*amperspire di eccitazione*) e dei *poli ausiliari*, è indispensabile che illustriamo brevemente alcune *grandezze fondamentali di calcolo*, riserbandoci di fornire di volta in volta maggiori chiarimenti quando lo si riterrà utile per la migliore comprensione delle formule adoperate e del procedimento adottato.

(*) Qualora la macchina fosse sprovvista, caso eccezionale, oltre che dell'avvolgimento indotto e delle bobine di campo, anche della targa, occorrerebbe stabilire a priori la presunta potenza. A tale scopo possono fornire un'utile guida gli esempi costruttivi riportati precedentemente.

Grandezze fondamentali di calcolo

Frequenza del ciclo di magnetizzazione. — *Per* **frequenza del ciclo di magnetizzazione** f_c *s'intende il numero dei cicli che si verificano in ogni zona del pacco lamiere indotto al secondo,* cioè:

$$f_c = \frac{\text{paia poli} \times \text{giri/min}}{60} = \frac{p\,N}{60} \text{ (p/s)}$$

Frequenza di commutazione. — *Per* **frequenza di commutazione** *s'intende il rapporto tra la velocità periferica del collettore in m/s* (v_{pco}) *ed il doppio della larghezza delle spazzole* ($2 . b_{spazz}$):

$$f_{comm} = \frac{v_{pco}}{2 . b_{spazz}} = \frac{\pi . \varnothing_{co} . N/60}{2 . b_{spazz}}$$

dove: $\varnothing_{co}$ = diametro collettore; N = giri al minuto primo della macchina.

Tensione di reattanza. — *Per* **tensione di reattanza** *s'intende il valore medio della f e m di autoinduzione indotta nelle spire in commutazione durante il rovesciamento della corrente da* $+\frac{I}{2a}$ *a* $-\frac{I}{2a}$.

Per il calcolo della tensione di reattanza consigliamo la seguente formula:

$$E_r = K . L_a \text{ (cm)} . \left(\frac{\text{numero conduttori}}{\text{numero lamelle}}\right)^2 . 2{,}47 . f_{comm} . \frac{I}{2a}\, 10^{-7} \text{ (volt)}$$

dove: 2,47 è un coefficiente sperimentale; f_{comm} = frequenza di commutazione. Il valore di K si determina in base a coefficienti sperimentali (per maggiori particolari vedi « *Calcolo delle amperspire dei poli ausiliari* »).

Amperspire indotto/polo. — *Per* **amperspire indotto/polo** *s'intende il prodotto della corrente che percorre ciascuna via interna dell'avvolgimento* ($I/2a$) *per il numero di spire d'indotto per polo* $\left(\frac{Z/2}{2p}\right)$, cioè:

$$Aspi/polo = \frac{I}{2a} \cdot \frac{Z/2}{2p}$$

Amperfili/cm di periferia d'indotto. — *Per* **amperfili o amperconduttori/cm di periferia d'indotto** *s'intende il prodotto degli ampere di ciascuna via interna d'indotto* ($I/2a$) *per il numero dei conduttori per cm di periferia d'indotto* ($Z/\pi\varnothing_e$), ossia:

$$Afc = \frac{I}{2a} \cdot \frac{Z}{\pi\varnothing_e}$$

dove $\varnothing_e$ = diametro esterno dell'indotto in cm.

Passo di dentatura. — *Per* **passo di dentatura** τ_z *s'intende il rapporto tra la circonferenza esterna dell'indotto (in mm o in cm) ed il numero delle cave* (fig. 173), cioè:

$$\tau_z = \frac{\pi\varnothing_e}{n_c}$$

Per **passo base del dente** τ_b *s'intende il rapporto tra la circonferenza di base del dente ed il numero delle cave*:

$$\tau_b = \frac{\pi\varnothing_{bd}}{n_c}$$

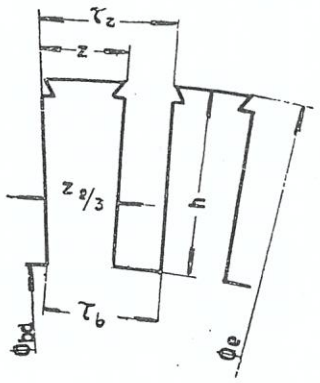


Fig. 173

Velocità periferica dell'indotto. — La **velocità periferica dell'indotto** v_p vale evidentemente:

$$v_p = \frac{\pi \times \text{diametro (m)} \times \text{giri/min}}{60} = 0{,}0523\, \varnothing_e . N \text{ (m/s)}$$

Ampiezza espansione polare. — L'ampiezza dell'**espansione polare** b_{ep} (fig. 174 è normalmente:

$$b_{ep} = \beta . \text{passo polare} = \beta . \tau$$

dove β rappresenta un coefficiente che vale in media 0,66 (le variazioni di β sono assai piccole).

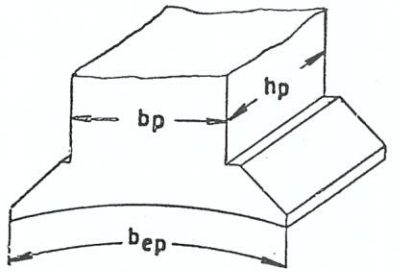


Fig. 174

Lunghezza spira media. — La **lunghezza della spira media** *delle matasse d'indotto* viene di solito calcolata, come s'è detto, con la formula:

$$L_{spm} = 2(L_e + 1{,}4\,\tau) \text{ (*)}$$

(*) Vedi nota a pag. 248 (« *Forma e dimensioni delle matasse a mantello* »).

La *lunghezza della spira media dei poli principali* si può ritenere con buona approssimazione (v. fig. 174):

$$L_{spmp} = 2\,(b_p + h_p) + (0{,}14 \div 0{,}16)\ (\text{m})$$

e quella dei *poli ausiliari*:

$$L_{spmpa} = 2\,(b_{pa} + h_{pa}) + (0{,}08 \div 0{,}12)\ (\text{m})$$

Per piccole macchine a bassa tensione la lunghezza della spira media dei poli principali può scendere fino a $2\,.\,(b_p + h_p) + 0{,}10$ (m) e quella dei poli ausiliari fino a $2\,.\,(b_{pa} + h_{pa}) + 0{,}05$ (m).

Resistenza degli avvolgimenti. — In base alla lunghezza della spira media si può calcolare la resistenza dell'avvolgimento indotto e degli avvolgimenti dei poli ausiliari e principali (di solito alla temperatura di 20° e 75° C).

Per l'avvolgimento indotto si ha:

$$R_{20°} = 0{,}0175\,\frac{\text{spire totali} \times \text{spira media (m)}}{\text{sezione conduttore (mm}^2) \times (\text{vie interne})^2}$$

Quando l'avvolgimento è costituito con 2 oppure 3 fili in parallelo (eguali) bisogna moltiplicare ancora il denominatore per 2 oppure per 3.

Per gli avvolgimenti dei poli ausiliari e principali si ha evidentemente:

$$R_{20°} = 0{,}0175\,\frac{\text{spira media} \times \text{spire totali}}{\text{sezione conduttore}}$$

Se nell'espressione precedente si considerano le spire di un solo polo (ausiliario o principale) occorre poi naturalmente moltiplicare per il numero dei poli (*).

Il valore della resistenza a 75° C risulta (**):

$$R_{75°} = 1{,}216\,R_{20°}\ (\Omega)$$

Di solito questo coefficiente si arrotonda a 1,22, ma in molti casi, per semplicità, si assume pari a 1,2.

(*) Nel caso di collegamento in parallelo delle bobine di campo il valore della resistenza complessiva va diviso per il quadrato del numero dei paralleli.

(**) Il valore della resistenza a 75° C può calcolarsi in base alla resistività specifica $\rho_{75°} = 0{,}0213\ \Omega\,.\,\text{mm}^2/\text{m}$ (pari all'incirca a $1{,}216 \times \rho_{20°}$). Il valore effettivo di $\rho_{75°}$ è 0,02134, ma di solito si trascura l'ultima cifra.

Spire/lamella e volt/lamella. — Il numero delle spire per lamella o numero spire/zona n_{spz} vale evidentemente:

$$n_{spz} = \frac{Z/2}{n_l} = \frac{Z}{2\,.\,n_l}$$

Nelle macchine da riavvolgere con cambio delle caratteristiche occorre verificare la *differenza di potenziale che si verrà a stabilire tra le lamelle del collettore*:

$$\text{volt/lamella} = \frac{\dfrac{\text{volt dati}}{\text{numero lamelle}}}{\text{numero poli}} = \frac{V\,.\,2p}{n_l}$$

Nelle costruzioni normali senza avvolgimenti compensatori si adottano generalmente valori minori di 20 V.

Peso rame. — Il peso in kg dell'avvolgimento indotto vale:

$$\text{peso} = L_{spmp}\ (\text{m})\,.\,\frac{Z}{2}\,.\,S_c\ (\text{mm}^2)\,.\,\frac{8{,}9}{1000}\ (*)$$

Se l'avvolgimento indotto è costituito con più fili in parallelo, per sezione deve intendersi quella complessiva, ossia la somma delle sezioni dei fili in parallelo.

Il *peso dell'avvolgimento di eccitazione e dei poli ausiliari* è dato da:

$$\text{peso} = L_{spmp}\,.\,\text{numero spire}\,.\,2p\,.\,S_{cp}\,.\,0{,}0089\ (*)$$

Superficie delle spazzole. — La superficie totale delle spazzole va calcolata in base alla densità di corrente (v. cap. III - tabella XII, XIII e XIV) e precisamente:

$$S_{spazz} = \frac{2\,.\,I_{totale}}{\text{A/cm}^2}\ (\text{cm}^2)$$

La larghezza va scelta in modo che la spazzola copra circa tre lamelle (da $2{,}75 \div 3$).

(*) Per determinare il peso del rame attivo è preferibile riferirsi al *peso/m* di conduttore, dedotto dalle « *Tabelle sui fili isolati* » a fine volume (S_c (mm²) . 0,0089 = peso/m); in tal modo si tiene conto anche del peso dell'isolante del filo.

In commercio si trovano già pronte spazzole di vari formati, provviste anche di treccia e capocorda; le dimensioni che possono aversi sicuramente sono le seguenti:

lunghezza	15	16	20	25	30	32
larghezza	10 (M)	8 (M)	8	10 (M-BB)	10 (M)	12
»		10 (M)	10 (M-BB)	12 (M)	12	20
»		12	12 (M)	15 (BB)	15 (M-BB)	25
»			15 (M-BB)	16 ASGEN	20 (M-BB)	
»			20 (M)	25	25 (BB)	
»					30 (BB)	

L'altezza di queste spazzole è quasi sempre compresa tra 20 e 40 mm.

I formati contrassegnati con le lettere *M* e *BB* rappresentano i ricambi per le costruzioni Marelli e Brown Boveri.

Coefficiente di riempimento cava

Per *coefficiente di riempimento cava* s'intende *il rapporto tra la sezione del rame (sezione conduttore × fili/cava) e quella della cava.*

Per sezione cava s'intende il prodotto della larghezza per l'altezza diminuita di 2 mm per tenere conto delle legature di sicurezza, oppure la sezione sotto la zeppa se la cava è chiusa con bietta di legno o di fibra.

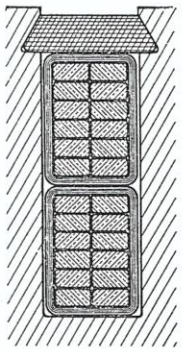


Fig. 175

Il coefficiente di riempimento dipende, oltre che dalla tensione, dalla forma e sezione dei conduttori. Il coefficiente è basso per avvolgimenti con fili di piccolo diametro (v. figg. 79 e 81), mentre è elevato per conduttori di grande sezione particolarmente per conduttori a sezione rettangolare (fig. 175), cioè a parità di tensione è funzione della potenza della macchina.

I valori medi del coefficiente di riempimento in funzione della tensione e della potenza per fili isolati con tessili sono riportati nella tabella XX.

Naturalmente con fili smaltati i coefficienti di riempimento cava risultano sensibilmente più alti di quelli della tabella; pertanto nel riavvolgimento di macchine di piccola potenza l'uso dei fili smaltati consente di solito di aumentare la potenza.

Coefficienti di riempimento cava

(macchine a corrente continua)

TABELLA XX

Tensione: V	10 ÷ 25	60 ÷ 100	200 ÷ 500
Potenza: kW	0,25 ÷ 1 2 ÷ 5 10 ÷ 15 25 ÷ 30	0,25 ÷ 1 2 ÷ 5 10 ÷ 15 25 ÷ 30	0,25 ÷ 1 2 ÷ 5 10 ÷ 15 25 ÷ 30
Coefficiente riempimento cava	0,40 ÷ 0,45 0,45 ÷ 0,55 0,55 ÷ 0,60 0,60 ÷ 0,65	0,30 ÷ 0,35 0,35 ÷ 0,45 0,45 ÷ 0,50 0,50 ÷ 0,55	0,20 ÷ 0,30 0,25 ÷ 0,35 0,30 ÷ 0,40 0,40 ÷ 0,45

CALCOLO DELL'AVVOLGIMENTO INDOTTO

Numero conduttori - Spire/zona e fasci/cava

Per potere determinare il numero dei conduttori occorre stabilire prima il tipo di avvolgimento che si vuole adottare. La scelta, in mancanza di dati ricavati dall'avvolgimento bruciato, va fatta con i criteri esposti precedentemente, cioè in base alla tensione ed alla corrente di pieno carico (*). L'avvolgimento embricato semplice si adotta per macchine a bassa tensione ed elevata intensità (di solito non inferiore a 240 - 250 A per ogni fila di spazzole nelle macchine di piccola potenza), oppure per macchine di piccola potenza a 2 poli con cave semichiuse, mentre nella maggior parte dei casi (medie ed alte tensioni) si adotta l'avvolgimento serie (ondulato semplice o multipolare in serie). Per medie tensioni si usa talvolta l'avvolgimento serie-parallelo.

Stabilito il tipo di avvolgimento vengono ad essere noti:

il numero dei poli - $2p$;
il numero delle vie - $2a$;
il numero dei giri al secondo - $N/60$ (N = giri/min);
la tensione richiesta a pieno carico od applicata ai morsetti.

(*) Nelle macchine di media potenza la corrente per ogni fila di spazzole può arrivare a 500-600 A ed in quelle con poli di commutazione a 1000 A.

Dal valore della tensione si può dedurre quello della *f e m E*, tenendo presente che nelle dinamo con avvolgimento calcolato razionalmente la caduta di tensione ΔV da vuoto a pieno carico oscilla fra l'8 e il 15% della tensione di pieno carico. In media si può ritenere:

$$E = V + \frac{10\ V}{100}$$

e nei motori:

$$E = V - \frac{10\ V}{100}$$

Per dinamo a bassa tensione la caduta di tensione (da vuoto a pieno carico) varia dal 15 al 20 %, cioè:

$$E = V + \frac{(15 \div 20)\ V}{100}$$

I valori più elevati di ΔV si verificano nei generatori a bassissima tensione, perchè la c.d.t. dovuta alla resistenza di contatto tra spazzole e collettore (circa 2V a pieno carico) rappresenta una percentuale tanto maggiore quanto minore è la tensione. Per dinamo a tensione inferiore a 20V la caduta di tensione è di circa il 25%.

Più semplicemente si potrebbe dire che la caduta di tensione ΔV è composta di due parti: l'una — dovuta alla c.d.t. nelle spazzole — è costante e pari di solito a 2V (dipende soltanto dal tipo delle spazzole); l'altra è invece funzione della tensione *V* di pieno carico della macchina ed è di norma compresa tra l'8 ed il 10%. Il valore della *f e m E* nei generatori, o della *f c e m* nei motori, in ogni caso sarà:

$$E = V \pm \left[\frac{(8 \div 10)\ V}{100} + 2\right]$$

Si passa quindi al calcolo del flusso Φ_δ nell'intraferro. Numerose verifiche, eseguite su macchine non modernissime di varie case costruttrici, ci hanno permesso di constatare che l'induzione *B* nell'intraferro (*) in funzione del diametro dell'indotto assume in media i valori indicati nel grafico della fig. 176. Per macchine di vecchio tipo si consiglia di adottare valori di B_δ un po' minori ($\sim 0{,}9$) di quelli dedotti dalla fig. 176, mentre per le nuove costruzioni Marelli conviene attenersi al diagramma della fig. 177, che ci è stato gentilmente fornito dalla Ditta stessa (*).

(*) B_δ = rapporto tra il flusso utile per polo (pari a circa l'80% del flusso nel polo) e l'area dell'espansione polare $b_{ep} \cdot h_p$.

È bene specificare che i valori effettivi dell'induzione B_δ possono poi risultare leggermente diversi da quelli del diagramma, ma questi riescono utili, anzi indispensabili, per determinare in prima approssimazione il flusso nell'intraferro:

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot b_{ep} \cdot h_p \ (\text{Wb})$$

dove h_p rappresenta la larghezza del polo principale e b_{ep} l'ampiezza dell'arco polare (v. fig. 174).

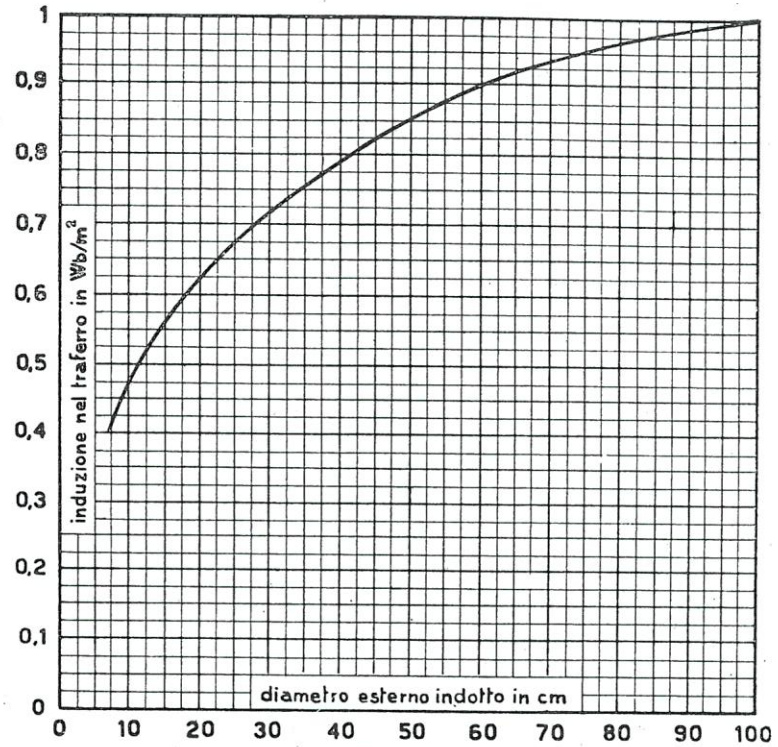


Fig. 176

(*) È bene precisare che nelle macchine più recenti di piccola potenza la Marelli adotta per le dinamo valori di B_δ un po' più alti di quelli indicati nella fig. 177 e per funzionamento da motore un po' più bassi. Così per macchine con diametro esterno di 88 - 95 - 100 e 140 mm i valori di B_δ sono:

funzionamento da dinamo: 0,585 - 0,615 - 0,64 - 0,68 Wb/m²
funzionamento da motori: 0,545 - 0,565 - 0,59 - 0,65 Wb/m²

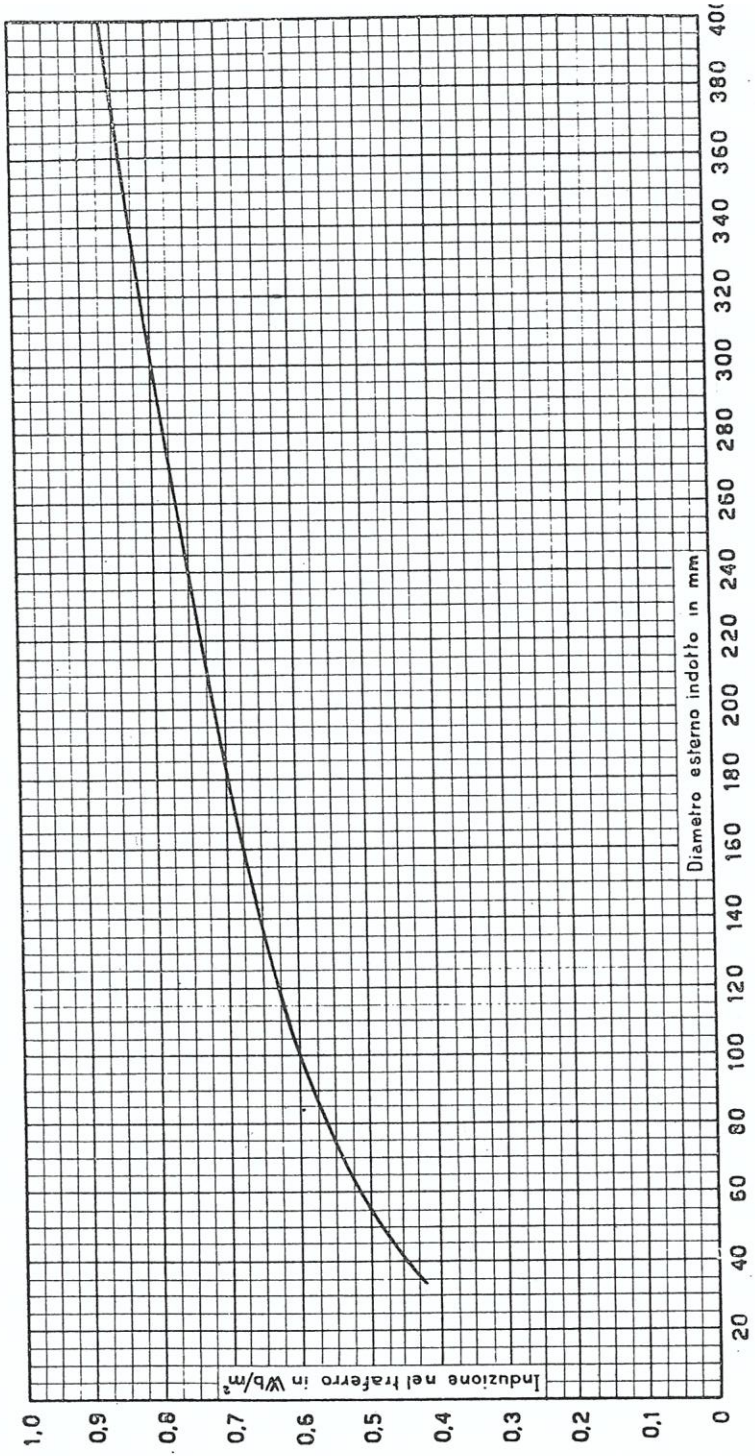


Fig 177

Il valore di Φ_δ così calcolato consente di determinare il numero dei conduttori attivi dell'avvolgimento.

Dalla nota relazione tra $f\,e\,m$, flusso Φ_δ, numero complessivo dei conduttori attivi Z, numero dei poli $2p$, numero delle vie $2a$ e dei giri al secondo $N/60$:

$$E = \frac{Z \cdot N \cdot \Phi_\delta}{60} \cdot \frac{2p}{2a} \text{ (V)}$$

si ricava il numero teorico dei conduttori attivi:

$$Z = \frac{a \cdot 60 \cdot E}{p \cdot N \cdot \Phi_\delta} = \frac{a \cdot 60 \cdot (V \pm \Delta V)}{p \cdot N \cdot \Phi_\delta}$$

In base al numero dei conduttori, delle lamelle e delle cave si determina il numero delle spire per zona n_{spz} ed il numero dei fasci per cava m:

$$n_{spz} = \frac{Z}{2\,n_l} \quad ; \quad m = \frac{2\,n_l\ (*)}{n_c}$$

Ma poichè raramente il numero delle spire per zona o per lamella risulta intero, il numero delle spire totali $Z/2$ va arrotondato al valore più prossimo multiplo di n_l; inoltre il numero dei fili/cava, negli avvolgimenti a matasse, deve risultare multiplo del numero dei fasci/cava, ossia di m.

Con 2 fasci/cava la matassa risulta costituita da una sola zona, con 4 da 2, con 6 da 3 e con 8 da 4.

Flusso del traferro ed Afc

Fissato il numero definitivo dei conduttori Z, si determina il valore effettivo del flusso nell'intraferro $\Phi_{\delta e}$, che verrà adottato poi nel calcolo della tensione magnetica nell'intraferro, nei denti e nella corona dell'indotto:

$$\Phi_{\delta e} = \frac{a \cdot 60 \cdot (V \pm \Delta V)}{p \cdot Z \cdot N} \text{ (Wb)}$$

(*) Nel caso di avvolgimento con zona morta si considera un numero di lamelle maggiorato di una unità, cioè $m = \frac{2\,(n_l + 1)}{n_c}$.

È buona norma controllare sempre che il numero degli amperfili per centimetro di periferia d'indotto:

$$Afc = \frac{I \,.\, Z}{2a \,.\, \pi \varnothing_e}$$

non si discosti molto dal valore che, per quella data potenza, è indicato nel diagramma della fig. 178; valore di *Afc* non superiori a quelli riportati assicurano una buona commutazione anche a pieno carico. Però nelle nuove costruzioni, specialmente di piccola potenza, si riscontrano talvolta valori degli *Afc* sensibilmente superiori a quelli indicati nella fig. 178.

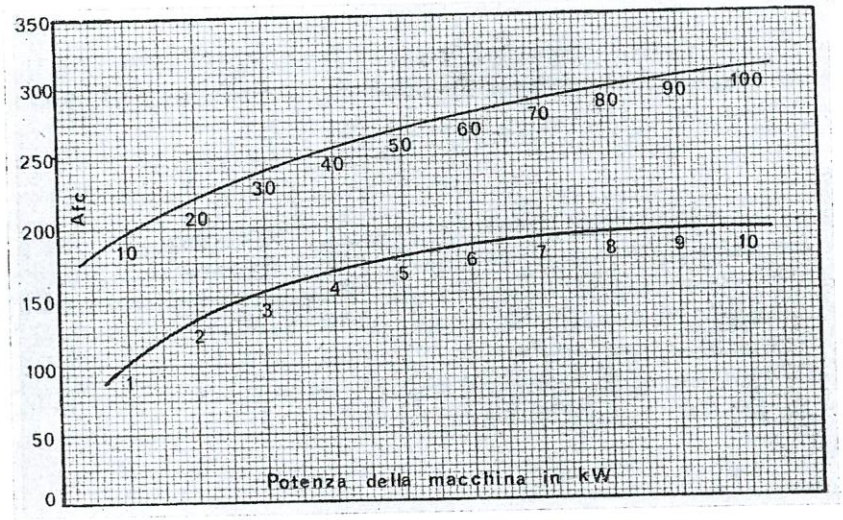


Fig. 178

Per potenze dell'ordine di 500 kW si ammettono valori di circa 350 *Afc* e per macchine di grande potenza con avvolgimenti compensatori si arriva fino a 400 - 450 *Afc*.

Si tenga presente che la densità di corrente nei conduttori è funzione, oltre che delle condizioni di ventilazione, degli amperfili/cm di periferia d'indotto. Di solito si adottano da $5 \div 6$ A/mm^2 per ventilazioni ben studiate e per valori degli amperfili/cm non superiori a quelli riportati, mentre si scende verso i 4 A/mm^2 per macchine lente a ventilazione naturale ed a 3 A/mm^2 per quelle chiuse o stagne.

Sezione del conduttore

La sezione S_c del conduttore dell'avvolgimento indotto si determina in base alla densità di corrente σ (A/mm^2) ammessa:

$$S_c = \frac{I_t}{2a \,.\, \sigma} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Evidentemente si adotterà la sezione commerciale più prossima (v. « *Tabella sui fili isolati* » a fine volume).

Calcolati poi i passi dell'avvolgimento - y, y_1, y_2, y_n *ed* y_c - e la lunghezza della spira media è possibile (tenuto conto delle dimensioni della cava, del diametro del conduttore e del numero delle spire/zona) scegliere la sagoma più appropriata per l'esecuzione delle matasse. È buona norma comunque verificare sull'indotto che le dimensioni scelte vadano bene.

In base alla tensione ed alle dimensioni delle cave si stabiliscono il tipo e gli spessori degli isolanti. Gli esempi costruttivi riportati precedentemente e la conoscenza delle proprietà dielettriche dei materiali isolanti, già esaminate nel cap. I, sono più che sufficienti per una scelta oculata e razionale.

CALCOLO DELLE AMPERSPIRE DI ECCITAZIONE

Generalità

Per il calcolo delle amperspire di eccitazione di ogni polo principale si applica la legge della circuitazione, che costituisce la base del calcolo del circuito magnetico. Nel caso in esame si tratta di *determinare le amperspire necessarie per ottenere un determinato flusso in un dato circuito magnetico*. Il calcolo riesce sempre piuttosto laborioso, sia per la diversità dei materiali che concorrono a formare il circuito magnetico, sia per la diversità delle sezioni dei vari tronchi del circuito stesso (*).

(*) Il circuito magnetico si suddivide in tronchi di sezione costante e di costante permeabilità.

Nelle macchine a corrente continua il circuito servito da un polo risulta costituito da 5 parti:

1°	*corona indotto*	in lamierini per dinamo
2°	*denti indotto*	
3°	*traferro*	in aria
4°	*polo* (*)	in lamierini per poli o in acciaio
5°	*giogo induttore*	in acciaio o in ferro saldato oppure in ghisa

La fig. 179 mostra chiaramente i cinque tronchi costituenti il circuito magnetico e l'andamento delle linee di flusso.

A titolo di orientamento e di controllo si riportano i valori delle induzioni adottate normalmente per le varie parti del circuito magnetico.

Induzioni ammesse nelle macchine a corrente continua

TABELLA XXI

Parte del circuito magnetico		Induzione
Corona indotto		da 1 ÷ 1,5 Wb/m²
Denti (ad $^1/_3$ dalla base) (1)		» 1,3 ÷ 1,8 »
Poli		» 1,2 ÷ 1,6 »
Giogo	acciaio o ferro saldato	» 1,2 ÷ 1,5 »
	ghisa grigia	» 0,5 ÷ 0,7 »

(1) Per valori dell'induzione superiori a 1,75 Wb/m² si tratta di un valore apparente (v. Cap. XII « Effetti della saturazione magnetica del ferro »).

La fig. 180 mostra la *curva di magnetizzazione* dei lamierini impiegati di solito nella costruzione delle macchine elettriche a corrente continua (cifra di perdita 3,6 e 3,0 W/kg (**) e la curva delle lamiere per poli; quest'ultima vale anche per l'acciaio.

(*) Il polo può essere costruito con lamierini magnetici o in acciaio, mentre l'espansione polare è quasi sempre lamellare. Per un calcolo più rigoroso bisognerebbe considerare separatamente il nucleo polare e l'espansione polare. La semplificazione adottata non altera in modo apprezzabile i risultati.

(**) La curva di magnetizzazione dei lamierini con cifra di perdita 3,6 e 3,0 W/kg sono praticamente coincidenti (v. tabella XI).

In effetti dalle curve di magnetizzazione in c.c., rilevate su provino come cesoiato, si nota a partire dalla induzione di 1,4 Wb/m² che il numero di Asp/cm dei lamierini con cifra di perdita 3,0 W/kg risulta leggermente maggiore, vale a dire che la curva di magnetizzazione relativa a circa 1,4 Wb/m² si distacca dall'altra ed è un pò più bassa.

I due grafici si riferiscono a lamierini attualmente prodotti dalla « Terni »; per quanto riguarda la curva di magnetizzazione dei lamierini DI-MAX laminati a freddo è bene specificare però che ci siamo attenuti prudenzialmente ai valori minimi dell'induzione magnetica in funzione della forza magnetica H in Asp/cm, indicati dalla « Terni » stessa.

Questi grafici consentono di determinare rapidamente le Asp/cm per i singoli tronchi, note che siano le induzioni relative.

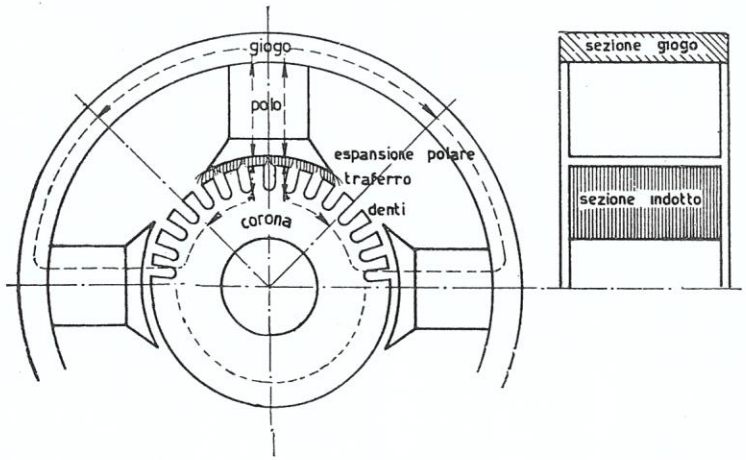


Fig. 179

Per le curve di magnetizzazione relative ai nastri magnetici con cifra di perdita 3,6 - 2,3 - 1,7 W/kg in base ai valori medi dell'induzione magnetica, rimandiamo al cap. X (*Calcolo completo di un motore asincrono*).

Dall'intensità di campo o forza magnetica H si risale alle *amperspire* o *tensioni magnetiche* dei singoli tronchi moltiplicando le Asp/cm per la lunghezza del relativo tronco. Le amperspire di eccitazione per ogni polo si ottengono dalla somma delle *tensioni magnetiche parziali*, ossia:

$$\text{Asp P.O.P.} = H_c\, l_c + H_d\, h + H_\delta\, \delta + H_p\, l_p + H_z\, l_z$$

Si tenga presente che per la corona e i denti dell'indotto si considera di solito lo stesso flusso del traferro, mentre per il polo e per il giogo dell'induttore si considera un flusso maggiorato del

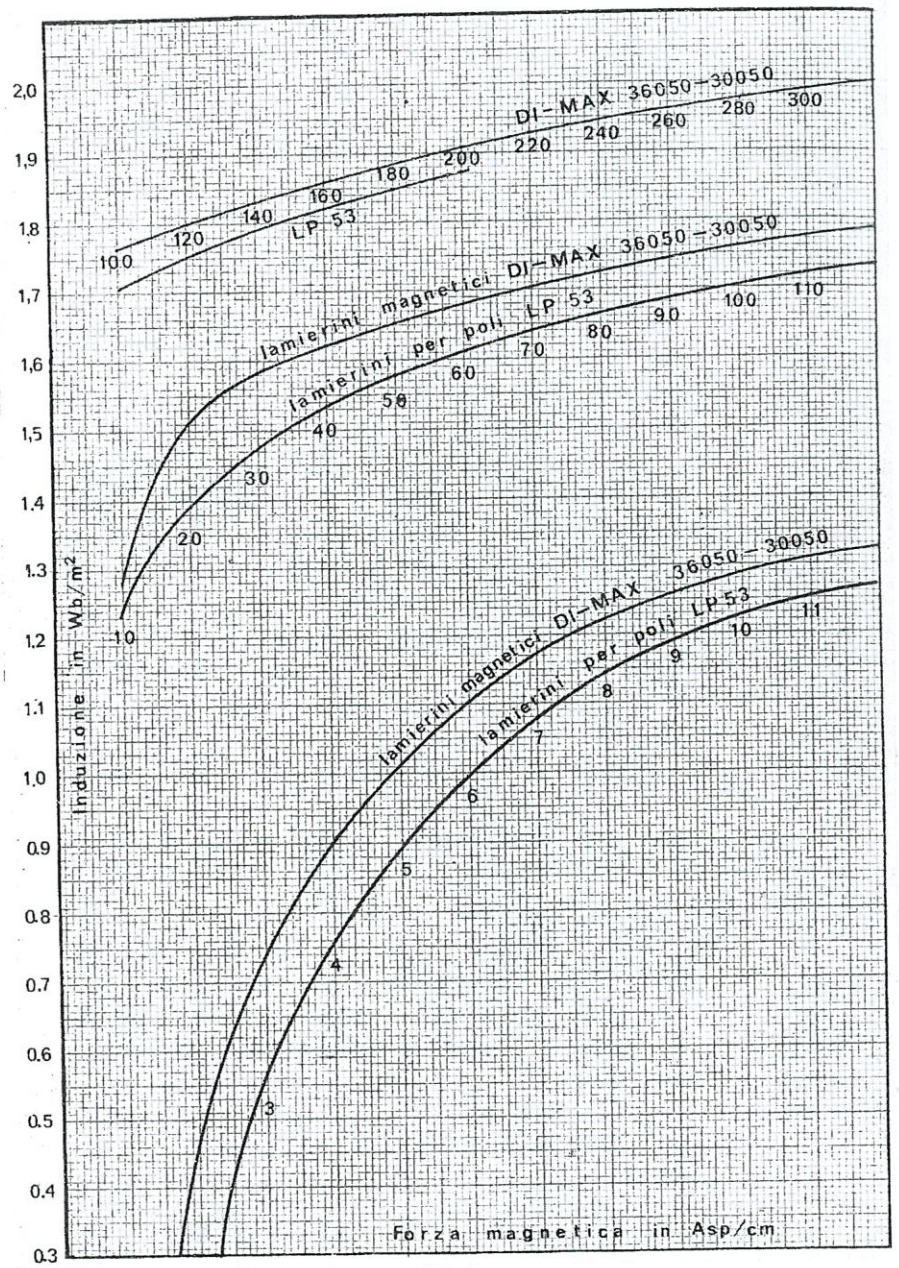


Fig. 180

15 - 25%, rispetto alle altre parti, cioè $(1{,}15 \div 1{,}25).\Phi_2$, per tenere conto delle inevitabili dispersioni (*).

In conclusione, il calcolo delle amperspire avviene nel seguente modo: *dalle dimensioni della macchina si deducono le sezioni S dei 5 tronchi costituenti il circuito magnetico ed in base al flusso richiesto per ciascun tronco si determinano i valori delle relative induzioni.*

Le Asp/cm, corrispondenti alle induzioni B, *si ricavano dalle curve di magnetizzazione; questi valori moltiplicati per le lunghezze dei relativi tronchi danno le tensioni magnetiche parziali. La somma delle tensioni parziali dà infine le amperspire per ogni polo necessarie per produrre il flusso* Φ_2 *richiesto nell'intraferro.*

Generalmente le amperspire/polo ottenute col calcolo vengono aumentate del 10-15% delle amperspire d'indotto per polo (*Aspi*), sia per tenere conto della reazione diretta d'indotto e delle inevitabili imperfezioni del calcolo, sia per avere una certa elasticità nella regolazione della macchina (**).

Infine si calcolano la sezione del conduttore ed il numero delle spire per polo.

Tensioni magnetiche parziali

Per la migliore comprensione del calcolo del circuito magnetico conviene rappresentarlo rettificando come nella fig. 181. Tanto la corona dell'indotto che il giogo dell'induttore risultano costituiti da due rami simmetrici in parallelo (v. fig. 179), quindi ognuno dei due tronchi equivale ad uno solo, di sezione doppia di ciascuno dei rami relativi e di lunghezza metà di quella di ogni tronco, cioè eguale a quella di ogni ramo del relativo tronco (***).

Lunghezza dei 5 tronchi del circuito magnetico. — Le lunghezze dei tronchi relativi al giogo ed alla corona dell'indotto (di ogni circuito magnetico) sono rispettivamente:

$$l_g = \frac{\pi \varnothing_{mg}}{2 \times 2p} \text{ (cm)}; \qquad l_c = \frac{\pi \varnothing_{mc}}{2 \times 2p} \text{ (cm)}$$

(*) Naturalmente il flusso disperso risulta maggiore nelle macchine provviste di poli ausiliari.

(**) Il reostato di eccitazione consente di ridurre al valore desiderato la corrente di eccitazione.

(***) Il flusso effettivo di ogni ramo è metà di quello totale e la sezione è quella del relativo ramo, ma ciò equivale appunto a supporre il flusso pari a quello totale e la sezione doppia di quella dei due rami della corona oppure del giogo.

dove $\varnothing_{mg}$ rappresenta il diametro medio del giogo dell'induttore e $\varnothing_{mc}$ di diametro medio della corona dell'indotto, cioè la media tra il diametro alla base del dente ed il diametro interno. Per semplicità si adotta sovente invece del diametro medio della corona ($\varnothing_{mc}$) il diametro alla base del dente ($\varnothing_{bd}$).

Le lunghezze degli altri tronchi, l_p (poli), δ (traferro) e h (denti), si rilevano direttamente dalla macchina.

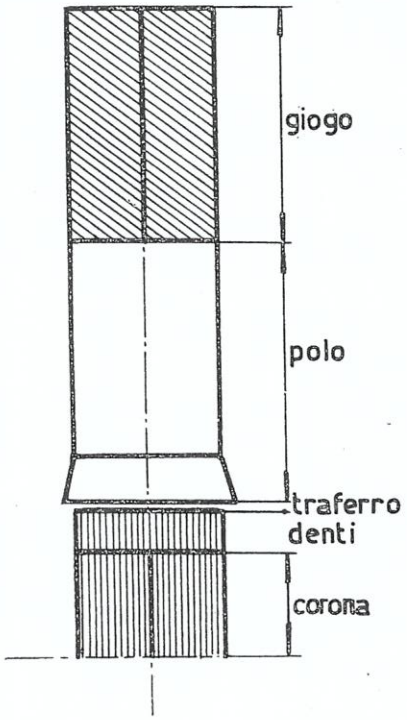


Fig. 181

Per quanto si è detto, i flussi nei diversi tronchi risultano:

traferro
denti
corona indotto } Φ_δ

polo
giogo induttore } $(1{,}15 \div 1{,}25).\Phi_\delta$

1) *Tensione magnetica dell'intraferro.* — Se l'indotto fosse liscio la sezione dell'intraferro si potrebbe considerare eguale a quella dell'espansione polare o al massimo poco diversa. Con l'armatura provvista di cave la permeanza nell'intraferro

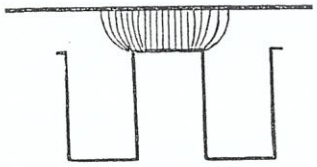


Fig. 182

non è costante, ma risulta notevolmente maggiore in corrispondenza del dente. Le linee d'induzione si addensano di conseguenza verso la testa del dente, come è indicato nella fig. 182. Pertanto l'induzione nel ferro (dente) risulta, a parità di ogni altra condizione, maggiore rispetto ad una armatura liscia e conseguentemente la tensione magnetica dell'intraferro è maggiore con l'armatura dentata.

Si può tenere conto di questo fatto in vari modi. I due sistemi più in uso sono i seguenti:

a) si considera l'armatura sprovvista di cave, cioè come se fosse liscia, e si sostituisce al traferro reale δ un traferro δ_f fittizio:

$$\delta_f = K_c \cdot \delta$$

K_c rappresenta il cosiddetto *coefficiente di Carter* ($K_c > 1$). Questo coefficiente è dato dalla formula:

$$K_c = \frac{\tau_z}{\tau_z - \gamma \cdot \delta}$$

dove τ_z rappresenta il passo di dentatura e γ un coefficiente che è funzione della larghezza b_c delle cave e del traferro reale δ; in pratica questo coefficiente si ricava dalla relazione:

$$\gamma = \frac{(b_c/\delta)^2}{5 + b_c/\delta}$$

b) si considera la sezione dell'intraferro S_δ minore della superficie dell'espansione polare, cioè:

$$S_\delta = \text{superficie espansione polare} \times K_\delta = S_{ep} \cdot K_\delta \,(\text{m}^2)$$

dove K_δ (*) è il cosiddetto *coefficiente di correzione del traferro* e vale il rapporto:

$$K_\delta = \frac{\text{larghezza dente} + 10 \cdot \text{lunghezza traferro}}{\text{passo dentatura} + 10 \cdot \text{lunghezza traferro}} = \frac{z + 10\,\delta}{\tau_z + 10\,\delta}$$

Evidentemente il valore di K_δ risulta sempre inferiore all'unità.

Si adotterà in seguito quest'ultimo metodo (v. « *Esempi di calcolo* » a fine capitolo), che permette di ottenere risultati abbastanza approssimati, pur riuscendo notevolmente più semplice dell'altro.

L'induzione nel traferro risulta:

$$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{S_\delta} \;(\text{Wb/m}^2)$$

La tensione magnetica è proporzionale all'induzione B_δ ed alla lunghezza del traferro δ. Esprimendo δ in cm si ha:

$$V_\delta = 8.000\, B_\delta \cdot \delta \;(\text{Asp})$$

(essendo 8.000 le Asp/cm per una induzione di 1 Wb/m^2).

(*) Il coefficiente K_δ tiene conto della disuniforme distribuzione del flusso nell'intraferro che per l'addensarsi in corrispondenza dei denti dà luogo ad una diminuzione della sezione utile del traferro.

2) *Tensione magnetica dei denti.* — Il flusso uscente da un polo (ch'è poi quello dell'intraferro Φ_δ) si suddividerebbe su un numero di denti pari a b_{ep}/τ_z se le linee di flusso non si allargassero in misura tanto maggiore quanto maggiore è lo spessore o lunghezza dell'intraferro; per tenerne conto si considera un arco polare fittizio, maggiore di quello reale, e precisamente si considera un arco polare uguale a quello reale b_{ep} maggiorato della lunghezza del traferro δ, cioè $b_{ep}+\delta$. Il numero dei denti interessati dal flusso Φ_δ sarà quindi:

$$n_{dap} = \frac{b_{ep} + \delta}{\tau_z}$$

Evidentemente tutte le grandezze vanno espresse nella stessa unità di misura.

Di conseguenza la sezione complessiva dei denti risulta:

$$S_d = n_{dap} \cdot L_a \cdot z^1/_3 \ (m^2)$$

dove L_a rappresenta la lunghezza attiva del pacco lamiere, che è eguale alla lunghezza geometrica o effettiva L_g diminuita dello spazio occupato dai canali di ventilazione e di quello occupato dall'isolante (carta o smalto) e $z^1/_3$ rappresenta la larghezza del dente a $^1/_3$ dalla base; in mancanza di canali di ventilazione $L_a = \sim 0{,}9 . L_g$ (*)

L'induzione può ritenersi:

$$B_d \ (**) = \frac{\Phi_\delta}{S_d} \ (Wb/m^2)$$

(*) Nelle costruzioni più recenti $L_a = 0{,}95\ L_g$, mentre nelle macchine di vecchio tipo, con isolamento delle lamiere in carta è quasi sempre $L_a = 0{,}9\ L_g$.

(**) Nelle macchine con cave a fianchi paralleli, cioè di costante larghezza, lo spessore del dente varia dalla base alla testa (l'induzione è massima alla base e minima in testa) e si può ritenere, con sufficiente approssimazione, che l'induzione abbia un valore uniforme coincidente con quello che si ha nella sezione situata ad 1/3 dalla base del dente.

Il valore della tensione magnetica dei denti si suole calcolare sovente anche con il metodo di *Simpson*. Si determinano i valori dell'induzione alla testa, alla mezzeria ed alla base del dente e si leggono sulle curve di magnetizzazione i corrispondenti valori delle Asp/cm; il valore di H_d si ricava dalla formula:

$$H_d = \frac{\text{(Asp/cm) in testa} + 4\ \text{(Asp/cm) alla mezzeria} + \text{(Asp/cm) alla base}}{6}$$

La tensione magnetica nei denti sarà data da questo valore di H_d per l'altezza del dente h.

Comunque il risultato coincide generalmente con quello che si ottiene applicando il metodo da noi adottato.

e la tensione magnetica del dente:

$$V_d = H_d \cdot h \ (Asp)$$

Il valore di H_d, dedotto dalle curve di magnetizzazione (*), rappresenta la forza magnetizzante corrispondente al valore dell'induzione nei denti B_d.

3) *Tensione magnetica della corona indotto.* — La sezione di questo tronco vale:

$$S_{cor} = (0{,}90 - 0{,}95)\ L_g . h_c = L_a \frac{\varnothing_{bd} - \varnothing_i}{2} \ (m^2)$$

dove: h_c = altezza radiale corona indotto; $\varnothing_{bd}$ = diametro base dente e $\varnothing_i$ = diametro interno.

L'induzione sarà:

$$B_{cor} = \frac{\Phi_\delta (**)}{2\ S_c} \ (Wb/m^2)$$

e la tensione magnetica della corona dell'indotto:

$$V_{cor} = H_c . l_c \ (Asp)$$

Il valore di H_c si ricava dalla curva di magnetizzazione relativa alle lamiere normali per dinamo.

4) *Tensione magnetica del polo.* — Questo tronco si considera a sezione costante, cioè non si tiene conto della maggiore superficie dell'espansione polare. Si avrà quindi:

$$S_p = (0{,}90 - 0{,}95) . h_p . b_p \ (***) \ (m^2)$$

dove: b_p = larghezza del polo; $(0{,}90 - 0{,}95)\ h_p$ = lunghezza attiva del polo induttore (v. fig. 174).

(*) Se la saturazione magnetica non è forte ($B_d < 1{,}8$ Wb/m^2) si può ritenere che l'intero flusso passi per i denti, in caso diverso una parte del flusso Φ_δ passa attraverso le cave e la tensione magnetica ottenuta con il calcolo risulta maggiore di quella effettiva, perchè il valore reale di B_d nel dente è più piccolo di quello apparente calcolato.

Se il valore massimo dell'induzione nei denti è maggiore di 1,8 Wb/m^2 non si può dunque non tenere conto del flusso che passa attraverso le cave. In tal caso bisognerebbe calcolare il valore reale di B_d, ma non si ritiene necessario esporre il metodo per la determinazione di detto valore perchè nelle macchine a c.c. da riavvolgere l'induzione nei denti si mantiene di solito inferiore a 1,8 Wb/m^2.

(**) Il 2 che compare al denominatore tiene conto della suddivisione del flusso nei due rami del giogo e della corona.

(***) Il coefficiente 0,90 - 0,95 si applica solo per poli interamente laminati.

Tabella riassuntiva dei calcoli delle amperspire/polo

TABELLA XXII

$$\Phi_\delta = \frac{a \cdot 60\ (V \pm \Delta V)}{p \cdot N \cdot Z} = \ldots\ldots\ldots \text{ Wb}$$

flusso polo e giogo $= (1{,}15 \div 1{,}25)\ \Phi_\delta = \ldots\ldots$ Wb

$$= \frac{a \cdot 60\ (V+\Delta V)\ 0{,}8}{p \cdot N \cdot Z} = \ldots \text{ Wb}$$

$= (1{,}15 \div 1{,}25)\ 0{,}8\ \Phi_\delta = \ldots$ Wb

Parte del circuito magnetico	Sezione m^2	Lunghezza cm	Induzione Wb/m^2	Asp/cm (v. fig. 180)	Asp	Induzione Wb/m^2	Asp/cm	Asp
Corona indotto	$S_c = 0{,}9\ L_s \cdot h_c$ (*)	$l_c = \frac{\pi \varnothing_{mc}}{2.2p}$	$B_c = \frac{\Phi_\delta}{2.S_c}$	H_c	$H_c\ l_c$			
Denti	$S_d = \frac{b_{ep}+\delta}{\tau_z} \cdot L_a \cdot z_{1/3}$	h	$B_d = \frac{\Phi_\delta}{S_d}$	H_d	$H_d\ l_d$			
Traferro . . .	$S_\delta = S_{ep} \cdot K_\delta$	δ	$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{S_\delta}$	—	$8000 \cdot B_\delta \cdot \delta$			
Polo	$S_p = 0{,}9\ h_p \cdot b_p$ (*)	l_p	$B_p = \frac{1{,}2\ \Phi_\delta}{S_p}$	H_p	$H_p \cdot l_p$			
Giogo	$S_g = b_g \cdot h_g$	$l_g = \frac{\pi \varnothing_{mg}}{2.2p}$	$B_g = \frac{1{,}2\ \Phi_\delta}{2\ S_g}$	H_g	$H_g \cdot l_g$			
					Asp			Asp ═══
					15% Aspi $= 0{,}15\ \frac{I \cdot Z/2}{2a \cdot 2p}$			
					Asp totali ═══			

(*) Per lamiere isolate con vernici, ripetiamo, il coefficiente di stipamento è di norma pari a 0,95.

L'induzione sarà:

$$B_p = \frac{(1{,}15 \div 1{,}25)\ \Phi_\delta}{S_p} \text{ (Wb/m²)}$$

e la tensione magnetica:

$$V_p = H_p \cdot l_p \text{ (Asp)}$$

5) *Tensione magnetica del giogo.* — La sezione è data dal prodotto della larghezza b_g per l'altezza (spessore) h_g del giogo, cioè:

$$S_g = b_g \cdot h_g \text{ (m²)}$$

L'induzione sarà:

$$B_g = \frac{(1{,}15 \div 1{,}25)\ \Phi_\delta}{2\ S_g} \text{ (Wb/m²)}$$

e la tensione magnetica:

$$V_g = H_g \cdot l_g \text{ (Asp)}$$

Il valore di H_g si ricava dalla curva di magnetizzazione relativa ai lamierini per poli.

Tabella riassuntiva dei calcoli delle amperspire/polo

I conteggi precedenti, talvolta ripetuti nelle dinamo per diversi valori della *f e m* E_1, E_2, ecc., minori di $V + \Delta V$ (in media si assume $E_1 \simeq 0{,}8\ (V_1 + \Delta V)$, $E_2 \simeq 0{,}8\ E_1$, ecc.), vengono riportati in una *tabella riassuntiva dei calcoli delle amperspire/polo* (v. tab. XXII).

Sezione del conduttore e numero di spire per polo

Eccitazione in derivazione. La sezione del conduttore delle bobine di campo si calcola con la formula:

$$S_{eccd} = \frac{0{,}0213 \cdot 2p \cdot L_{spmp} \cdot \text{Asp P.O.P. (*)}}{(0{,}8 \div 0{,}85) \cdot V_{ecc}} \text{ (mm²)}$$

(*) La tensione di eccitazione V_{ecc} viene applicata a tutte le bobine di campo, che vanno evidentemente collegate in serie. La tensione V_b a cui viene sottoposta ogni bobina di campo sarà quindi:

$$V_b = \frac{V_{ecc}}{2p}$$

Talvolta, per semplicità, il valore della resistività a 75° C si assume pari a 0,021 $\Omega \cdot mm^2/m$.

Si adotta in genere la sezione commerciale più prossima per eccesso.

In base alla densità di corrente ammessa (di solito da $1,5 \div 3$ A/mm^2), si determina il valore della corrente di eccitazione I_{eccd} di pieno carico:

$$I_{eccd} = \sigma \cdot S_{eccd} \text{ (A)}$$

Note ormai le amperspire/polo e la corrente di eccitazione, si determina il numero di spire per polo:

$$\text{Spire/polo} = \frac{\text{Asp P.O.P.}}{I_{eccd}}$$

Maggiori particolari sul calcolo delle amperspire di eccitazione verranno forniti nel 1° esempio di calcolo a fine capitolo.

Per bobine di campo in derivazione si adottano densità inferiori a 3 A/mm^2 perchè le condizioni di raffreddamento dell'induttore sono sempre più difficili di quelle dell'indotto. Solo con bobine frazionate o con diaframmi di raffreddamento si possono impiegare valori un po' maggiori. Tutto ciò vale naturalmente per macchine a funzionamento continuo, mentre per macchine a funzionamento intermittente si possono adottare valori tanto più alti quanto più basso è il *rapporto d'intermittenza* (*).

In base alla lunghezza della spira media delle bobine di campo che, come s'è detto, si può ritenere con buona approssimazione:

$$L_{spmp} = 2 \cdot (b_p + h_p) + (0,14 \div 0,16) \text{ (m)}$$

si calcola la sezione del conduttore:

$$S_{eccd} = \rho_{75°} \frac{L_{spmp}}{R/spira} = \rho_{75°} \frac{L_{spmp}}{\frac{V_b}{\text{Asp P.O.P.}}} = \frac{\rho_{75°} L_{spmp} \cdot \text{Asp P.O.P.}}{V_b} =$$

$$= \frac{0,0213\, L_{spmp} \cdot \text{Asp P.O.P.}}{\frac{V_{ecc}}{2p}} = \frac{0,0213 \cdot L_{spmp} \cdot 2p \cdot \text{Asp P.O.P.}}{V_{ecc}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

(*) Per rapporto d'intermittenza s'intende, ripetiamo, il rapporto tra il periodo di lavoro e la durata del ciclo completo, ossia:

$$\text{rapporto d'intermittenza} = \frac{\text{periodo di lavoro}}{\text{durata totale del ciclo}}$$

Si tenga infine presente che conviene considerare nel calcolo della sezione del conduttore una tensione pari a $(0,8 \div 0,85)\, V_{ecc}$, cioè del 15 - 20% minore di quella disponibile ai morsetti della macchina, sia per avere un certo margine di regolazione dell'eccitazione della macchina, sia per tenere conto delle cadute di tensione nei collegamenti del reostato.

Nel caso di eccitazione separata il procedimento rimane invariato.

Eccitazione in serie. — Il calcolo del numero delle spire per polo e della sezione del conduttore risulta molto più semplice e rapido che nel caso precedente. Infatti dal rapporto tra le amperspire per polo e la corrente di pieno carico della macchina si ricava il numero delle spire per polo, cioè:

$$\text{Spire/polo} = \frac{\text{Asp P.O.P.}}{I_{pc}}$$

La sezione si determina sempre in base alla densità di corrente (*):

$$S_{eccs} = \frac{I_{pc}}{\sigma} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Eccitazione composta. — Non è raro il caso che venga adottato, anche nelle macchine di piccola e media potenza, il tipo di eccitazione mista (derivazione + serie). Il procedimento di calcolo delle amperspire rimane invariato, mentre per la ripartizione delle amperspire totali fra la derivazione e la serie si possono seguire criteri diversi (**). In linea di massima è sufficiente mettere sulla serie dal $15 \div 20\%$ delle amperspire di reazione, cioè $(0,15 \div 0,20) \times \times \left(\frac{I \cdot Z/2}{2a \cdot 2p}\right)$ per i motori, mentre per le dinamo si applicano sulla serie dal $10 \div 20\%$ delle amperspire totali, a seconda del tipo di servizio della macchina (***).

(*) Nei circuiti di eccitazione in serie e nei poli di commutazione in piattina si adottano densità di corrente da $2 \div 3,5$ A/mm^2. Negli avvolgimenti in filo tondo non conviene superare i 3 A/mm^2.

(**) Le amperspire in serie devono fornire almeno l'eccitazione supplementare atta a compensare sia le cadute ohmiche che quelle dovute alla reazione trasversa.

(***) Alcune case costrutttrici applicano sulla serie per le dinamo circa il 20 - 25% di Aspi.

Caratteristica a vuoto

Si chiama *caratteristica a vuoto o di eccitazione* il diagramma della funzione $E = f\,(I_{ecc})$, cioè la curva che ha per ascisse le correnti di eccitazione (*) e per ordinate le $f\,e\,m$ indotte a vuoto (per velocità costante). La caratteristica a vuoto è un elemento fondamentale per lo studio di una macchina a corrente continua.

Sono sufficienti 3 o 4 coppie di valori di I_{ecc} e di E per tracciare per punti la caratteristica a vuoto (**). Per ogni valore di $E = V + \Delta V$ si ricava quello corrispondente della corrente di eccitazione dal rapporto tra le amperspire/polo (senza il 15% delle Aspi) e le spire/polo (v. « *Esempi di calcolo* » a fine capitolo).

CALCOLO DELLE AMPERSPIRE DEI POLI AUSILIARI

Generalità sulla commutazione

Ricordiamo che per commutazione s'intende l'insieme dei fenomeni, molto complessi, che accompagnano l'inversione della corrente nelle zone dell'avvolgimento indotto, le quali fanno capo alle lamelle che passano sotto le spazzole, durante il funzionamento della macchina sotto carico. Durante il tempo T_c di passaggio (*periodo di commutazione*) ogni zona d'avvolgimento in commutazione è chiusa in cortocircuito dalla spazzola; all'inizio del periodo T_c la corrente nell'elemento considerato è $\frac{I}{2a}$ (I = corrente totale della macchina) ed alla fine è $-\frac{I}{2a}$ (***).

(*) Anzi che i valori di I_{ecc} si possono riportare sull'asse delle ascisse i valori delle amperspire/polo (senza il 15% delle Aspi) corrispondenti ai diversi valori di E.

(**) Per il tracciamento della caratteristica a vuoto sarebbe preferibile che il calcolo delle amperspire/polo venisse eseguito per la $f\,e\,m$ normale della macchina e per altri due valori, uno di circa il 20% in meno e l'altro di circa il 20% in più.

(***) Tra frequenza di commutazione e periodo di commutazione si ha la relazione (v. « *Grandezze fondamentali di calcolo* »):

$$f_{comm} = \frac{1}{2T_c} \; ; \quad \left(T_c = \frac{b_{spazz}}{v_{pco}}\right)$$

cioè la stessa relazione che passa fra frequenza e semiperiodo nelle grandezze alternative. Infatti il periodo di commutazione si può assimilare al semiperiodo delle grandezze alternate, ossia al tempo che impiega una grandezza alternata per passare dal valore (massimo) $+ A_M$ a $- A_M$.

Durante il tempo d'inversione T_c della corrente (fig. 183) l'elemento o zona d'avvolgimento si muove nel flusso trasverso d'armatura, che induce nella zona cortocircuitata una $f\,e\,m$, detta di reazione, mentre il rovesciamento della corrente dal valore $I/2a$ a $-I/2a$ dà luogo ad una $f\,e\,m$ d'*autoinduzione*. Quest'ultima è tanto più grande quanto più rapidamente avviene il rovesciamento della corrente ($I/2a$), cioè quanto più breve è il periodo di commutazione. Il tempo di cortocircuito evidentemente dipende dalla larghezza della spazzola (b_{spazz}) e dalla velocità periferica del collettore (v_{pco}), cioè:

$$T_c\,(*) = \frac{b_{spazz}}{v_{pco}} = \frac{60 \,.\, b_{spazz}}{\pi \,.\, \varnothing_{co} \,.\, N}$$

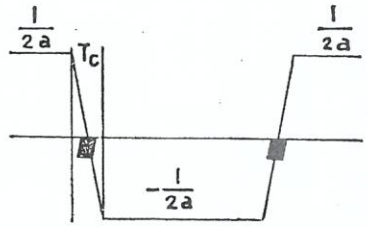


Fig. 183

Per ottenere una buona commutazione (senza scintillio), nelle macchine moderne si applicano i poli ausiliari, intercalati fra quelli principali ed eccitati da spirali apposite, atti a compensare il flusso d'armatura nella zona neutra geometrica e a produrre contemporaneamente il campo di commutazione.

I poli ausiliari vengono eccitati mediante la stessa corrente d'armatura, dato che essi devono dar luogo ad un flusso atto a produrre, nelle spire in cortocircuito, una $f\,e\,m$ che agisca in senso contrario alla $f\,e\,m$ di reazione ed alla tensione di reattanza, ambedue proporzionali alla corrente di armatura.

Calcolo della tensione di reattanza

La $f\,e\,m$ *d'autoinduzione o tensione di reattanza*, dovuta ai flussi dispersi, si manifesta solo quando la corrente è variabile, ossia durante il tempo T_c di cortocircuito. Il valore assoluto della tensione di reattanza espressa da:

$$E_r = L\frac{d\,i}{d\,t}$$

non è calcolabile con esattezza, sia per il fatto che non è ben nota a priori la legge di variazione di i in funzione di T_c, sia perchè il

(*) La durata effettiva del cortocircuito è leggermente minore. Il valore del periodo di commutazione, ricavato dalla formula, sarebbe rigorosamente esatto se non esistesse lo spessore isolante.

calcolo di L riesce assai laborioso ed incerto per la complessità del circuito magnetico.

Il calcolo della tensione di reattanza è tuttavia possibile con ipotesi semplificatrici, che in pratica si realizzano raramente. Ci si accontenta quindi del calcolo del valore medio delle $f\,e\,m$ di autoinduzione. Riferendoci ad una commutazione lineare, cioè a densità costante (*), la tensione di reattanza risulta espressa da:

$$E_r = L \,.\, 2 \,.\, \frac{I/2a}{T_c} = L \,.\, 2 \,.\, \frac{v_{pco}}{b_{spazz}} \,.\, \frac{I}{2a} = L \,.\, 4 \,.\, f_{comm} \,.\, \frac{I}{2a}$$

Per il calcolo di L si trae partito dal fatto che il coefficiente di dispersione è proporzionale al quadrato del numero dei conduttori per lamella $(Z/n_l)^2$ ed alla lunghezza attiva dei conduttori L_a (cm), cioè:

$$L = K \,.\, L_a \left(\frac{Z}{n_l}\right)^2$$

In pratica è molto usata la formula (adottata da una nostra grande ditta costruttrice) già riportata precedentemente:

$$E_r = K \,.\, L_a \,.\, \left(\frac{Z}{n_l}\right)^2 \,.\, 2{,}47 \,.\, f_{comm} \,.\, \frac{I}{2a} \,.\, 10^{-7} \text{ (volt)}$$

Essa consente di ottenere valori della tensione di reattanza più che sufficientemente approssimati ed una notevole speditezza nei calcoli.

Il valore di K si determina in base a coefficienti sperimentali che tengono conto della forma e delle dimensioni delle cave e precisamente esso è dato dalla sommatoria di tre coefficienti k_1, k_2, k_3, i cui valori si ricavano con le seguenti formule:

$$\frac{\text{altezza cava (mm)} - A}{3 \,.\, \text{larghezza cava (mm)}} = k_1$$

$$\frac{B}{\text{larghezza cava (mm)}} = k_2$$

$$\frac{\text{larghezza dente (mm)}}{\text{passo dentatura (mm)}} = k_3$$

(*) Questa condizione di commutazione in pratica non si può mai realizzare perfettamente. Una commutazione lineare si realizzerebbe se durante tutto il tempo di commutazione le $f\,e\,m$ indotte nelle spire in cortocircuito avessero una somma nulla e la resistenza di contatto, oltre ad avere un valore preminente rispetto alla resistenza della zona cortocircuitata, fosse inversamente proporzionale alla superficie di contatto fra la spazzola e ciascuna lamella.

I valori dei due coefficienti A e B sono riportati nella tabellina seguente.

Coefficienti A e B

TABELLA XXIII

Tipo di chiusura delle cave	A	B
Legatura o fasciatura di 2 mm	5	3,7
Legatura o fasciatura di 2,5 mm	5,5	4,2
Zeppe dello spessore di 3,5 mm	6,5	5,2

Calcolo delle amperspire per polo

Gli avvolgimenti compensatori si adottano solo nelle macchine di grande potenza, mentre nelle macchine piccole e medie si applicano solamente i poli ausiliari. Si rende necessario per queste ultime, come si è detto, far sì che le amperspire dei poli ausiliari, oltre a compensare la reazione d'indotto, possano creare le condizioni più opportune per una buona commutazione (*).

Per tenerne conto è sufficiente aumentare del 20-30% le amperspire (Aspi) necessarie a compensare le reazioni d'indotto (20% per piccoli traferri e 30% per traferri forti).

Conseguentemente le amperspire/polo ausiliario risultano:

$$\text{Asp/polo aus.} = (1{,}20 \div 1{,}30) \,\frac{I \,.\, Z/2}{2a \,.\, 2p}$$

Per macchine di media potenza (sovente anche per quelle di piccola potenza) è preferibile, per ottenere una migliore approssimazione, attenersi al procedimento che passiamo ad esporre. Si calcola, in base alla tensione di reattanza (**), l'induzione $B_{\delta aus}$ nel

(*) La reazione d'indotto o campo d'armatura produce un effetto ritardante sulla commutazione, esattamente come la tensione di reattanza, quindi il campo dei poli ausiliari deve compensare il campo d'armatura e produrre una $f\,e\,m$ nella zona cortocircuitata che neutralizzi la tensione di reattanza.

(**) I conduttori interessati dalla commutazione (Z/n_l) tagliano le linee di flusso, di densità $B_{\delta aus}$, con una velocità v_p (m/s) costante; in essi si deve produrre una $f\,e\,m$ indotta eguale alla $f\,e\,m$ di reattanza E_r, cioè:

$$f\,e\,m \text{ indotta} = B_{\delta aus} \,.\, h_{pa} \,.\, \frac{Z}{n_l} \,.\, v_p = E_r$$

($h_{pa} \,.\, Z/n_l$ rappresenta la lunghezza totale dei conduttori assoggettati all'azione dell'induzione $B_{\delta aus}$).

traferro del polo ausiliario:

$$B_{\delta aus} = \frac{E_r}{h_{pa} \cdot v_p \cdot Z/n_l} \text{ (Wb/m}^2\text{)}$$

(h_{pa} = lunghezza in m del polo ausiliario), corrispondente ad una intensità di campo nel traferro:

$$H_{\delta aus} = \frac{B_{aus}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}} = \sim 800.000\, B_{\delta aus} \text{ (Asp/m)} = 8.000\, B_{\delta aus} \text{ (Asp/cm)}$$

Quindi le amperspire di commutazione/polo aus (*) risultano:

$$\text{Asp}_{\text{comm}}/\text{polo aus.} = 8.000\ B_{\delta aus} \text{ (Asp/cm)} \cdot \delta_{aus} \text{ (cm)}$$

Le amperspire totali per polo ausiliario sono date dalla somma delle Asp di commutazione/polo ausiliario e delle Asp di reazione d'indotto, cioè:

$$\text{Asp/polo aus.} = \text{Asp di reazione} + \text{Asp di commutazione} =$$

$$= \frac{I \cdot Z/2}{2a \cdot 2p} + 8.000\, B_{\delta aus} \text{ (Asp/cm)} \cdot \delta_{uas} \text{ (cm)}$$

Infine si ha:

$$\text{Spire/polo aus.} = \frac{\text{Asp/polo aus.}}{I_{est}}$$

Il numero di Asp per polo ausiliario va arrotondato in modo da ottenere un numero intero di spire.

La densità di corrente nelle bobine dei poli ausiliari può tenersi un po' più alta di quella delle bobine di campo in derivazione.

I conteggi relativi ai poli principali ed ausiliari vengono di solito raccolti in una tabella (v. Tab. XXIV).

(*) Nel calcolo del circuito magnetico dei poli ausiliari si è tenuto conto delle sole Asp richieste dal traferro, in considerazione del fatto che l'induzione negli altri tronchi è sempre inferiore al valore di saturazione e di conseguenza le corrispondenti Asp sono trascurabili.

Inoltre si fa osservare che il valore medio della $f\,e\,m$ prodotta dai poli ausiliari nei conduttori in commutazione, pur risultando eguale al valore medio della $f\,e\,m$ di reattanza, non assicura una perfetta commutazione, perchè le due $f\,e\,m$ non risultano eguali ed in opposizione in ogni istante. Quindi i poli ausiliari non rappresentano un rimedio completo. Si migliorano le cose tenendo basso il valore di E_r, cioè con un numero basso di spire/lamella.

Tabella riassuntiva dei conteggi relativi ai poli principali ed ausiliari

TABELLA XXIV

DENOMINAZIONE	DERIVAZIONE	SERIE	AUSILIARI
Asp per ogni polo	Asp P.O.P.	—	—
Collegamento	serie o parallelo	serie	serie
Conduttore nudo $\varnothing_{cu}$ - mm	—	—	—
Conduttore nudo sez. - mm^2	—	—	—
Spire per polo	Asp P.O.P./I_{eco}	—	—
Lunghezza spira media - m	$2\,(b_p + h_p) + 0{,}15$	—	$2\,(b_{pa}+h_{pa})+(0{,}08 \div 0{,}12)$
Peso rame - kg	$L_{spmp} \cdot n_{sp} \cdot S_{cp} \cdot 2p \cdot 0{,}0089$	—	$L_{spmpa} \cdot n_{sp} \cdot S_{cpa} \cdot 2p \cdot 0{,}0089$
Resistenza a 20° C - Ω	$\dfrac{\rho_{20°} \cdot L_{spmp} \cdot n_{sp} \cdot 2p}{S_{eco}}$	—	$\dfrac{\rho_{20°} \cdot L_{spmpa} \cdot n_{sp} \cdot 2p}{S_{cpa}}$
Resistenza a 75° C - Ω	$\sim 1{,}22\ R_{20°}$	—	$\sim 1{,}22\ R_{20°}$
Ampere a pieno carico	—	—	—
Densità di corrente - A/mm^2	$1{,}5 \div 3$	$1{,}5 \div 3{,}5$	$1{,}5 \div 3{,}5$
Volt campo a pieno carico (*)	$(0{,}8 \div 0{,}95)\ V_{eco}$	—	—

(*) I volt campo a pieno carico si deducono dal prodotto: resistenza totale bobine di campo a caldo × ampere eccitazione a pieno carico. Questo valore deve risultare, come si è detto, circa $(0{,}8 \div 0{,}85)\ V_{eco}$.

Controllo della caduta di tensione

È buona norma verificare se effettivamente la macchina dà a pieno carico la tensione richiesta. La caduta di tensione ΔV risulta:

$$\Delta V_t = (R_i + R_{aus} + R_{serie})\, I_{pc} + 2 \text{ (volt)}$$

dove: $R_i + R_{aus} + R_{serie}$ = resistenza totale (avvolgimento indotto, poli ausiliari ed eccitazione in serie); I_{pc} = corrente di pieno carico in A; 2 volt = caduta di tensione di contatto delle spazzole a pieno carico (v. tabelle XII, XIII e XIV).

CALCOLO DEL RENDIMENTO

Generalità

È noto che per rendimento di una macchina s'intende il rapporto fra la potenza utile resa dalla macchina e la potenza assorbita, cioè:

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} = \frac{P_r}{P_r + P_p}$$

La potenza resa è indicata sulla targa della macchina, pertanto occorre calcolare le varie perdite di potenza che si manifestano durante il funzionamento.

Terremo conto solo delle perdite che influiscono sensibilmente sul rendimento, trascurando quelle che, per la loro piccolezza, non incidono in misura apprezzabile.

Perdite nel ferro

Premesse. — I tipi di lamiere del commercio più usati sono quelli con cifra di perdita di 3,6 W/kg (lamiere dinamo normali) oppure di 3,0 W/kg (lamiere dinamo speciali), ma talvolta s'impiegano anche lamiere ad alta resistività con cifra di perdita da 2÷2,6 W/kg.

La potenza perduta in funzione del valore della induzione viene comunemente dedotta da curve sperimentali del tipo di quelle della fig. 184. Consigliamo di attenersi preferibilmente alle curve a tratto marcato che si riferiscono all'incirca alla perdita massima, mentre quelle tratteggiate si riferiscono ai lamierini di nuova produzione laminati a freddo ed alla perdita media indicata dai fabbricanti.

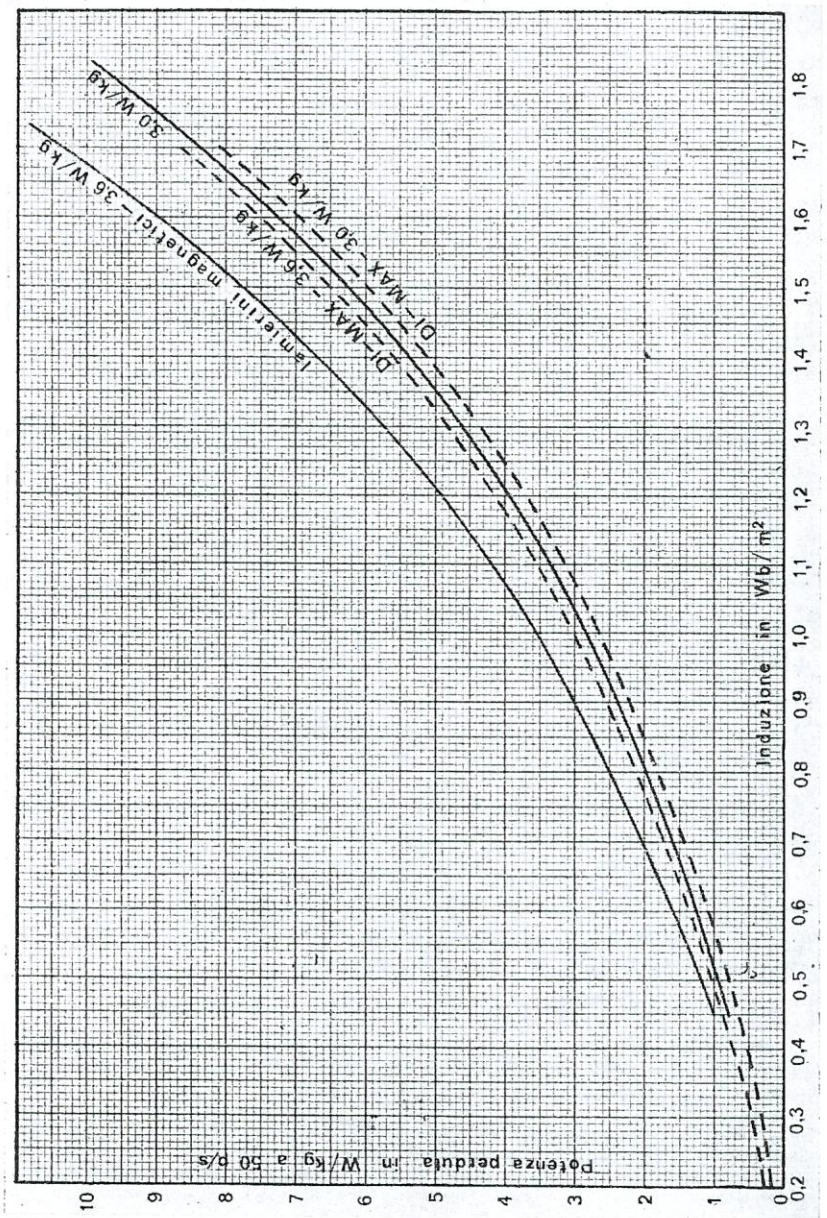


Fig. 184

La potenza perduta per ogni kg di lamierini ad una frequenza del ciclo di magnetizzazione f_c, diversa da 50 p/s, a parità d'induzione, si ottiene dalla relazione seguente:

$$P_{fc} = P_{50}\left[\alpha \frac{f_c}{50} + (1-\alpha)\left(\frac{f_c}{50}\right)^2\right] = P_{50}\, K_{pc}$$

dove $\alpha = \sim 0{,}66$ per lamiere dello spessore di 0,5 mm e $\sim 0{,}76$ per lo spessore di 0,35 mm.

Per comodità del lettore si riportano nella tabella che segue i valori del coefficiente K_{pc}, per lamiere dello spessore di 0,5 mm, in funzione della frequenza effettiva del ciclo di magnetizzazione.

Coefficiente K_{pc} in funzione di F_c

TABELLA XXV

f_c	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
K_{pc}	0,318	0,415	0,518	0,63	0,75	0,87	1	1,14	1,28	1,44
f_c	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
K_{pc}	1,59	1,76	1,93	2,10	2,29	2,48	2,68	2,89	3,10	3,32
f_c	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
K_{pc}	3,54	3,77	4,01	4,26	4,51	4,77	5,04	5,31	5,58	5,88

Perdite nell'indotto. — Durante il funzionamento della macchina l'indotto è sottoposto ad una magnetizzazione ciclica alternativa, cioè ad una magnetizzazione con inversione periodica dell'intensità del campo, senza variazione del flusso induttore.

L'indotto viene ad essere soggetto a perdite per isteresi e correnti parassite. La potenza perduta in watt è funzione sia della velocità o dei giri al secondo $N/60$, sia del numero delle coppie polari p. Si suol dire che le perdite per isteresi e correnti parassite sono *funzione del ciclo di magnetizzazione* f_c, che, come s'è detto, vale:

$$f_c = \frac{p.N}{60}\text{(p/s)}$$

Inoltre dette perdite sono legate alla *cifra di perdita* dei lamierini costituenti l'indotto.

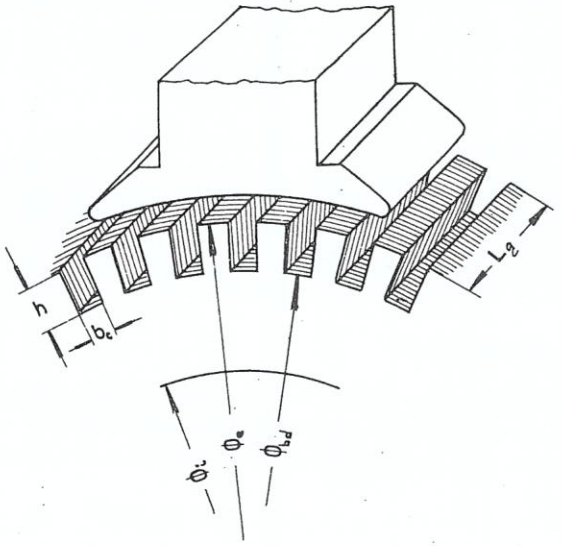


Fig. 185

In considerazione del diverso valore che assume l'induzione nei denti e nella corona dell'indotto, occorre calcolare separatamente le perdite relative. Pertanto si determinano il volume dei denti e quello della corona dell'indotto (v. fig. 185):

$$\text{Vol. denti} = \pi\left(\frac{\varnothing_e + \varnothing_{bd}}{2}\right)\left(\frac{\varnothing_e - \varnothing_{bd}}{2}\right) L_a - h \,.\, b_c \,.\, n_c \,.\, L_a =$$

$$= [3{,}14\ (\varnothing_e - h) - b_c\, n_c]\ h\, L_a\ (\text{dm}^3)$$

$$\text{Vol. corona} = \pi\left(\frac{\varnothing_{bd} + \varnothing_i}{2}\right)\left(\frac{\varnothing_{bd} - \varnothing_i}{2}\right) L_a = 3{,}14\ (\varnothing_{bd} - h_{cor})\, h_c\, L_a\ (\text{dm}^3)$$

$$\text{Peso denti} = 7{,}8 \times \text{vol. denti}\ \ (\text{kg})$$
$$\text{Peso corona} = 7{,}8 \times \text{vol. corona}\ \ (\text{kg})$$

I simboli adottati hanno gli stessi significati esposti precedentemente.

Calcolata la potenza perduta in watt/kg (*) nella corona e nei

(*) Ricordiamo che i watt/kg (potenza perduta per ogni kg di lamiera alla frequenza del ciclo di magnetizzazione f_c) sono dati dal prodotto $P_{50} \times K_{pc}$ dedotti rispettivamente dalla fig. 184 e dalla tabella XXV.

denti dell'indotto (in base al valore della relativa induzione ed alla frequenza del ciclo di magnetizzazione) si ha evidentemente:

$$P_{denti} = \text{peso denti} \times \text{watt/kg} \ (\text{W})$$
$$P_{corona} = \text{peso corona} \times \text{watt/kg} \ (\text{W})$$

Normalmente la perdita nel ferro dell'indotto va aumentata dell'80% circa per tenere conto delle perdite addizionali di lavorazione delle lamiere. Quindi le perdite nel ferro risultano:

$$P_{ferro} = 1{,}8 \ (P_{denti} + P_{corona}) \ (\text{W})$$

Perdite per effetto joule

Perdite nel rame (*) — Sono rappresentate dalla somma delle perdite che si manifestano nell'avvolgimento indotto, in quello dei poli ausiliari e nell'avvolgimento di eccitazione in serie. Queste perdite valgono:

$$P_{cu} = (R_i + R_{aus} + R_{serie}) \ I^2_{est} \ (\text{W})$$

La resistenza totale $R_t = R_i + R_{aus} + R_{serie}$ va riferita alla temperatura di 75° C. Quando il valore di R_t risulta assai basso è buona norma maggiorarlo del 10% per tenere conto delle eventuali imperfezioni del calcolo.

Perdite di commutazione. — Vengono dette anche *perdite nel contatto delle spazzole*. Sono originate dalla caduta di tensione che si verifica tra le spazzole e le lamelle del collettore. Questa caduta di tensione, a pieno carico, è praticamente costante e vale in media 2 volt per le macchine a corrente continua (**). Si avrà pertanto:

$$P_{comm} = 2 \ . \ I_{est} \ (\text{W})$$

Perdite eccitazione in derivazione. — Valgono evidentemente:

$$P_{eccd} = V_{eccd} \ . \ I_{eccd} \ (\text{W})$$

(*) Nelle macchine a corrente alternata (sincrone) la corrente non è distribuita uniformemente nella sezione del conduttore e di conseguenza le perdite nel rame, a parità di corrente, risultano maggiori che con la corrente continua.

(**) A metà carico la caduta di tensione risulta metà, ossia di 1 volt, al ¼ di 0,5 volt, e così via.

Perdite per attrito

a) *spazzole.* — Queste perdite possono raggiungere valori notevoli nelle macchine ad elevata intensità, perchè la superficie delle spazzole S_s è funzione della corrente. La potenza perduta P_{as}, per spazzole normali, vale:

$$P_{as} = K_{as} \ . \ v_{pco} \ . \ S_s = 0{,}2 \frac{\pi \ . \ \varnothing_{co} \ . \ N}{60} \ S_s \ (\text{W})$$

dove v_{pco} rappresenta la velocità periferica del collettore in m/s ed S_s la superficie totale delle spazzole in cm^2. Il coefficiente K_{as} vale in media 0,2 (*) (v. tabelle XII ÷ XIV) e tiene conto sia del coefficiente di attrito delle spazzole, sia della loro pressione specifica.

Nei motori di trazione, essendo essi esposti a scosse violente, si adotta una pressione maggiore ed il coefficiente K_{as} oscilla tra 0,30 e 0,40.

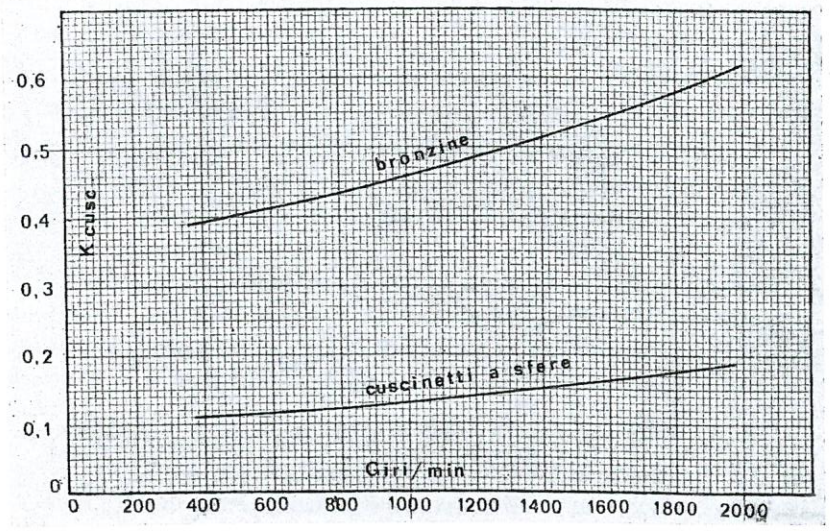


Fig. 186

b) *cuscinetti.* — Queste perdite, che comprendono anche quelle per attrito nell'aria, sono funzione della velocità (giri al minuto) e della potenza P_r della macchina in kW. Un calcolo rigoroso non è possibile perchè esse dipendono altresì dalla forma costruttiva

(*) In genere il coefficiente di attrito delle spazzole è inferiore a 0,2 e solo eccezionalmente può superare questo valore.

e dal tipo di ventilazione. Per le macchine a corrente continua di piccola e media potenza, di costruzione normale, dà risultati sufficientemente approssimati la seguente formula:

$$P_{cusc} = 1{,}36 \cdot K_{cusc} \cdot P_r \cdot \sqrt{N} \ (\text{W})$$

I valori di K_{cusc} si possono dedurre dal grafico della fig. 186.

Perdite addizionali

Queste perdite valgono in media il 0,5% della potenza resa. Si ha quindi:

$$P_{add} = \frac{0{,}5\ P_r}{100} \ (\text{W})$$

I conteggi relativi al rendimento vengono raccolti in una tabella del seguente tipo:

Tabella riassuntiva dei conteggi relativi al rendimento

TABELLA XXVI

Perdite	Pieno carico - watt	3/4	1/2	1/4
Perdite (*) indotto, ecc. serie, poli ausiliari	$(R_i + R_{aus} + R_{serie})\ I^2_{est}$			
» commutazione	$2 \cdot I_{est}$			
» eccitazione derivazione	$V_{eccd} \cdot I_{eccd}$			
» ferro	$1{,}8\ (P_{denti} + P_{corona})$			
» attrito spazzole	$0{,}2 \dfrac{\pi\ \varnothing_{co} \cdot N}{60} S_s$			
» attrito cuscinetti	$K_{cusc} \cdot 1{,}36 \cdot P_r \cdot \sqrt{N}$			
» addizionali	$\dfrac{0{,}50\ P_r}{100}$			
Totale perdite				
Potenza resa				
Potenza assorbita				
η% calcolato				

(*) Questa perdita va maggiorata del 10%, quando il valore totale della resistenza risulta molto piccolo, per tenere conto degli inevitabili errori nel calcolo delle resistenze.

Qualora si volessero conoscere i rendimenti a carichi diversi ($^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$) basterebbe ripetere i calcoli già eseguiti per il rendimento a pieno carico, tenendo presenti le seguenti avvertenze:

1) le perdite nel ferro, di attrito e di eccitazione in derivazione restano costanti;

2) le perdite nell'indotto, nei poli ausiliari ed eventualmente nella eccitazione in serie diminuiscono nello stesso rapporto del quadrato del carico ($^9/_{16}$ a $^3/_4$ di carico, $^1/_4$ a $^1/_2$, ecc.);

3) le perdite di commutazione ed addizionali diminuiscono nello stesso rapporto del carico.

Riavvolgimento con cambio delle caratteristiche

Noti i dati costruttivi del vecchio avvolgimento, oltre ai dati indicati sulla targa, il calcolo degli avvolgimenti indotto ed induttore in base alla nuova tensione, a parità di potenza e di numero di giri/min, riesce molto semplice e rapido.

Per l'avvolgimento indotto si possono cambiare o il numero delle vie interne $2a$ o il numero dei conduttori Z. La prima soluzione è applicabile per casi particolari, perchè non è sempre possibile cambiare il numero delle vie in ragione inversa delle tensioni, mentre la seconda soluzione è sempre possibile.

Numero conduttori dell'avvolgimento indotto e sezione conduttore. — Indicando con V e Z rispettivamente la tensione ed il numero totale dei conduttori del vecchio avvolgimento, con V_1 la nuova tensione, il numero dei conduttori del nuovo avvolgimento si ricava dalla relazione:

$$Z_1 = Z \frac{V_1}{V} \ (*)$$

Il numero delle spire dell'avvolgimento deve essere sempre multiplo del numero delle lamelle del collettore, cioè il numero delle spire per zona deve risultare intero; raramente però questa condizione risulta soddisfatta in base al calcolo, pertanto il numero delle spire $Z_1/2$ verrà arrotondato al numero più prossimo multiplo di quello delle lamelle.

(*) A parità di tutte le altre condizioni (numero giri/min, flusso per polo nel traferro, ecc.) il numero dei conduttori è direttamente proporzionale alla tensione.

La sezione del conduttore, a parità di potenza, sarà:

$$S_{1c} = S_c \frac{V}{V_1}$$

dove:

S_c = sezione conduttore del vecchio avvolgimento indotto
S_{1c} = sezione conduttore del nuovo avvolgimento indotto

Spire/bobina dei poli induttori e sezione conduttore. — Per eccitazione in derivazione, il calcolo del numero delle spire e della sezione del conduttore delle bobine di campo, a parità di flusso nel traferro e quindi di amperspire/polo, va condotto nel modo che segue. Si determina la lunghezza in metri del conduttore per bobina del vecchio avvolgimento induttore:

$$\text{lunghezza conduttore per bobina} = L_{spmp} \cdot \text{numero spire} \quad (\text{m})$$

e la relativa resistenza R_b (qualora non sia nota altrimenti):

$$R_b\ (*) = \rho_{75^\circ} \cdot \frac{L_{spmp} \cdot \text{numero spire}}{S_c} \quad (\Omega)$$

ed infine la corrente di eccitazione:

$$I_{ecc} = \frac{0{,}85 \cdot V}{R_b \cdot 2p} \quad (\text{A})$$

La corrente di eccitazione del nuovo avvolgimento risulta:

$$I_{1ecc} = \frac{V \cdot I_{ecc}}{V_1} \quad (\text{A})$$

ed il numero delle spire/bobina:

$$n_{1spb} = \frac{n_{spb} \cdot I_{ecc}}{I_{1ecc}} = \frac{n_{spb} \cdot V_1}{V}$$

dove:

n_{spb} = numero spire/bobina del vecchio avvolgimento
n_{1spb} = numero spire/bobina del nuovo avvolgimento

(*) Può riuscire comodo per la determinazione di R_b valersi della relazione:

$$R_b = \Omega/\text{m} \times \text{lunghezza/bobina} \ (\Omega)$$

dove Ω/m rappresenta la resistenza per metro di conduttore; i valori di Ω/m in funzione del diametro del filo si rilevano direttamente dalla apposita tabella a fine volume.

La sezione del conduttore (*) sarà:

$$S_{1cp} = \frac{S_{cp} \cdot V}{V_1}$$

Spire/polo ausiliario e sezione conduttore. — Noti il numero delle spire per polo n_{spa}, la corrente della macchina I_{est} e la sezione S_{cpa} del vecchio avvolgimento, i valori corrispondenti del nuovo avvolgimento devono assumere i seguenti valori:

$$n_{1spa} = \frac{n_{spa} \cdot I_{est}}{I_{1est}} \quad ; \quad S_{1cpa} = \frac{S_{cpa} \cdot I_{1est}}{I_{est}}$$

Cambio delle caratteristiche senza sostituzione degli avvolgimenti

Talvolta è possibile modificare le caratteristiche di una macchina in piena efficienza senza disfare gli avvolgimenti indotto ed induttore. Così è possibile ridurre a metà la tensione e raddoppiare l'intensità di corrente di una macchina bipolare quando il numero delle zone/cava è pari (**). Si raggiunge lo scopo collegando in parallelo le due bobine di campo (normalmente in serie) e riunendo a due a due tanto le zone (***) dell'indotto (2 zone della stessa matassa) che le lamelle del collettore. In tal modo vengono ridotte a metà le zone in serie e le lamelle effettive del collettore. Per potere collegare in parallelo le due zone della stessa matassa bisogna però spostare i capi dello strato inferiore di una lamella nel senso di avvolgimento.

Esempio. — Consideriamo lo schema della tav. XVI - Per ridurre la tensione a metà, a parità di potenza, bisogna dissaldare i capi delle zone e spostare i capi uscenti dallo strato inferiore di una lamella; come mostra chiaramente la tavola XLII, i capi dello strato inferiore della cava 13 andranno collegati alle lamelle 13 e 14 anzi che alle lamelle 12 e 13 e così di seguito.

(*) Per determinare la sezione del conduttore S_{1cp} si potrebbe calcolare prima la resistenza/bobina del nuovo avvolgimento R_{1b} e poi la sezione in base alla lunghezza del conduttore per bobina ($L_{spmp} \cdot n_{1cpb}$) ed a R_{1b}:

$$R_{1b} = \frac{0{,}85 \cdot V_1}{2p \cdot I_{1ecc}} \ (\Omega) \quad ; \quad S_{1cp} = \rho_{75^\circ} \cdot \frac{L_{spm} \cdot n_{1spb}}{R_{1b}} \ (\text{mm}^2)$$

(**) Con un numero di zone/cava dispari si determinerebbero correnti di circolazione nelle coppie di zone riunite in parallelo, perchè le due zone di ogni coppia occuperebbero cave adiacenti e quindi si troverebbero in condizioni di flusso diverse.

(***) È indispensabile che le zone abbiano lo stesso numero di spire.

La riduzione a metà delle lamelle del collettore può essere realizzata mediante un ponticello (*) tra le lamelle 11 e 12, 13 e 14, ecc., (vedi tav. XLII).

Per macchine a 4 poli l'operazione non è sempre altrettanto semplice.

Per l'induttore si effettua il collegamento in serie-parallelo e precisamente si lasciano in serie le bobine dei poli omonimi. Per l'indotto la modifica talvolta non è possibile e talaltra riesce complicata ed economicamente poco conveniente.

È risaputo che la maggior parte degli avvolgimenti multipolari sono del tipo ondulato semplice, che con 1 zona/matassa ($m = 2$) e p pari il numero delle lamelle è dispari ($n_l = n_c$), che con un numero pari di zone/matassa si ha, oltre il numero di lamelle dispari, la presenza di una zona morta o di una zona inattiva.

Con 2 fasci/cava (1 zona/matassa) si può trasformare l'avvolgimento ondulato semplice in embricato semplice; a tal uopo basta dissaldare i capi delle zone dalle lamelle o dalle forcelle ed effettuare le nuove connessioni al collettore con le norme note. Con conduttori di piccola sezione l'operazione riesce abbastanza agevole.

Esempio. — Consideriamo lo schema della tav. XXVIII. Dopo la modifica lo schema sarà quello della tav. XLIII; da esso si rileva che le vie interne sono 4 anzi che 2, però non essendo soddisfatta la condizione di simmetria il funzionamento lascerà un po' a desiderare.

Con 4 fasci/cava per ridurre la tensione a metà bisogna aggiungere (con zona morta) o togliere (con zona inattiva) una lamella al collettore.

Se il numero delle cave è pari si può trasformare l'avvolgimento ondulato semplice in embricato semplice, come per i 4 poli a 2 fasci/cava, utilizzando anche la zona morta od eliminando la zona inattiva.

Esempio. — Consideriamo lo schema della tav. XXI. Dopo la modifica lo schema sarà quello della tav. XLIV da cui si vede chiaramente che le vie interne sono raddoppiate.

Se il numero delle cave è dispari si collegano in parallelo le due zone di ogni matassa (utilizzando sempre la zona morta). A tal fine

(*) I ponticelli vanno applicati in modo da riunire in parallelo le lamelle adiacenti alle quali si saldano i capi della zona doppia.

Tavola XLII

Tipo embricato - 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 36 lamelle
passo avvolgimento 1÷8 - passo lamelle 1÷3
(v. tavola XVI)

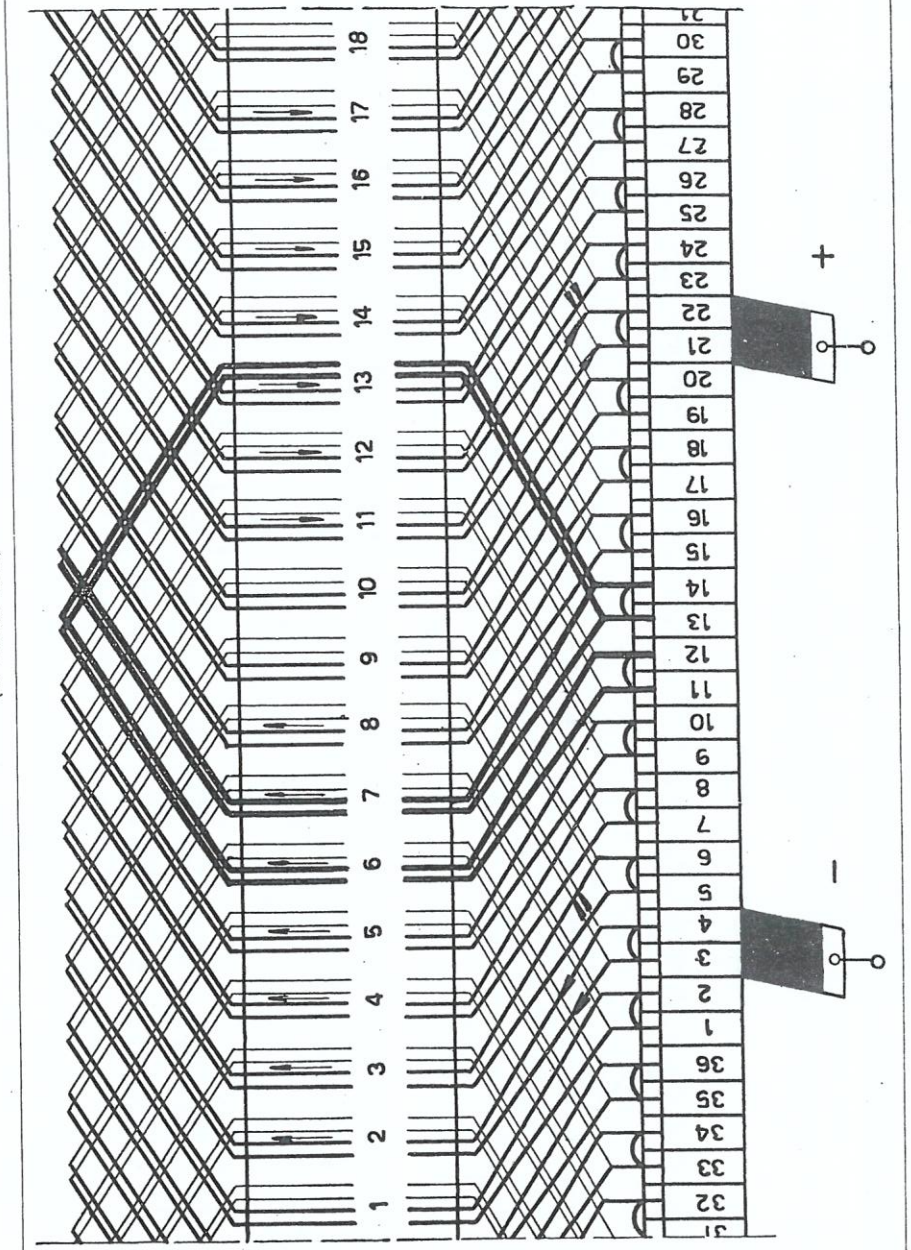


TAVOLA XLIII

Tipo embricato - 4 poli - 41 cave - 2 matasse/cava - 1 zona/matassa - 41 lamelle
passo avvolgimento 1÷-11 - passo lamelle 1÷2

(v. tavola XXVIII)

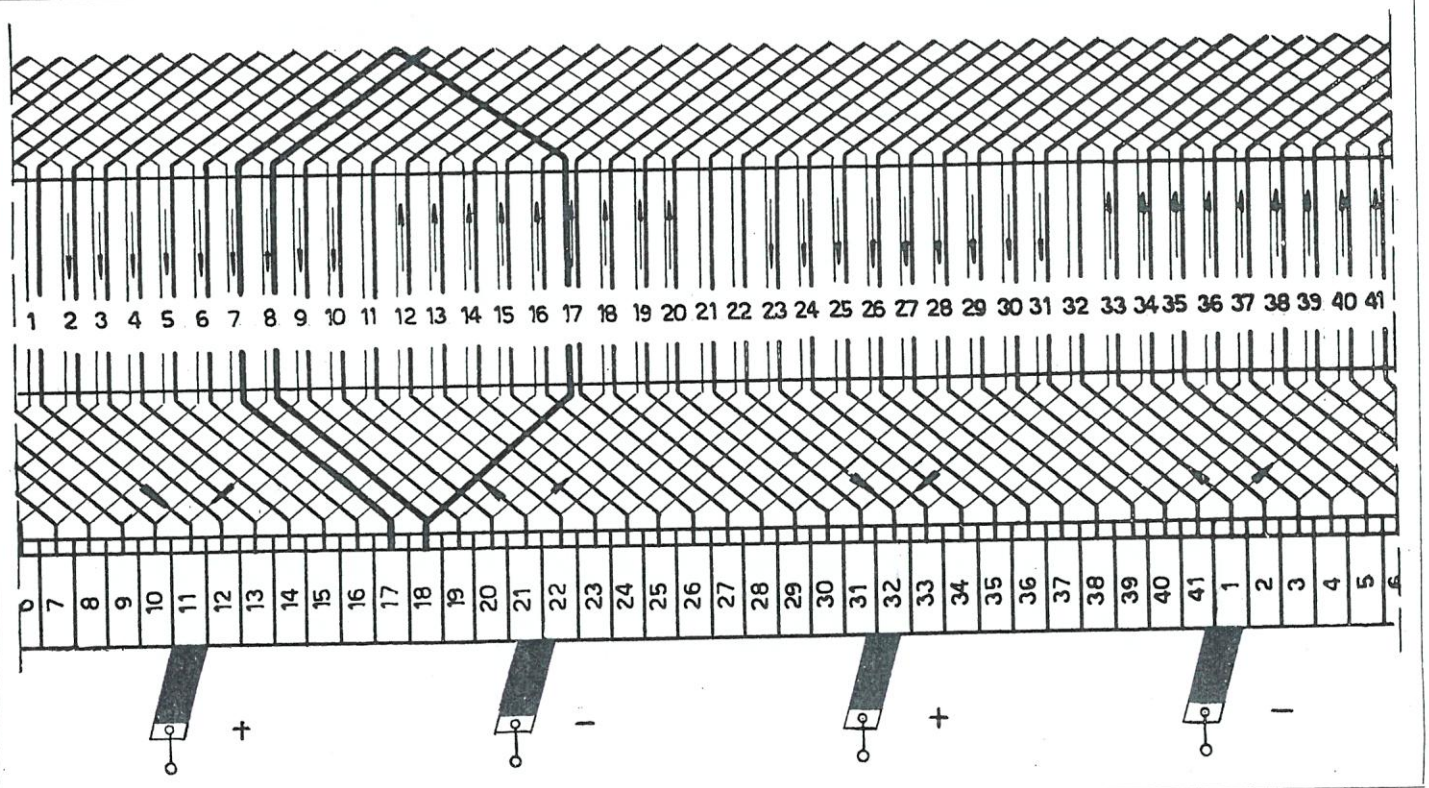
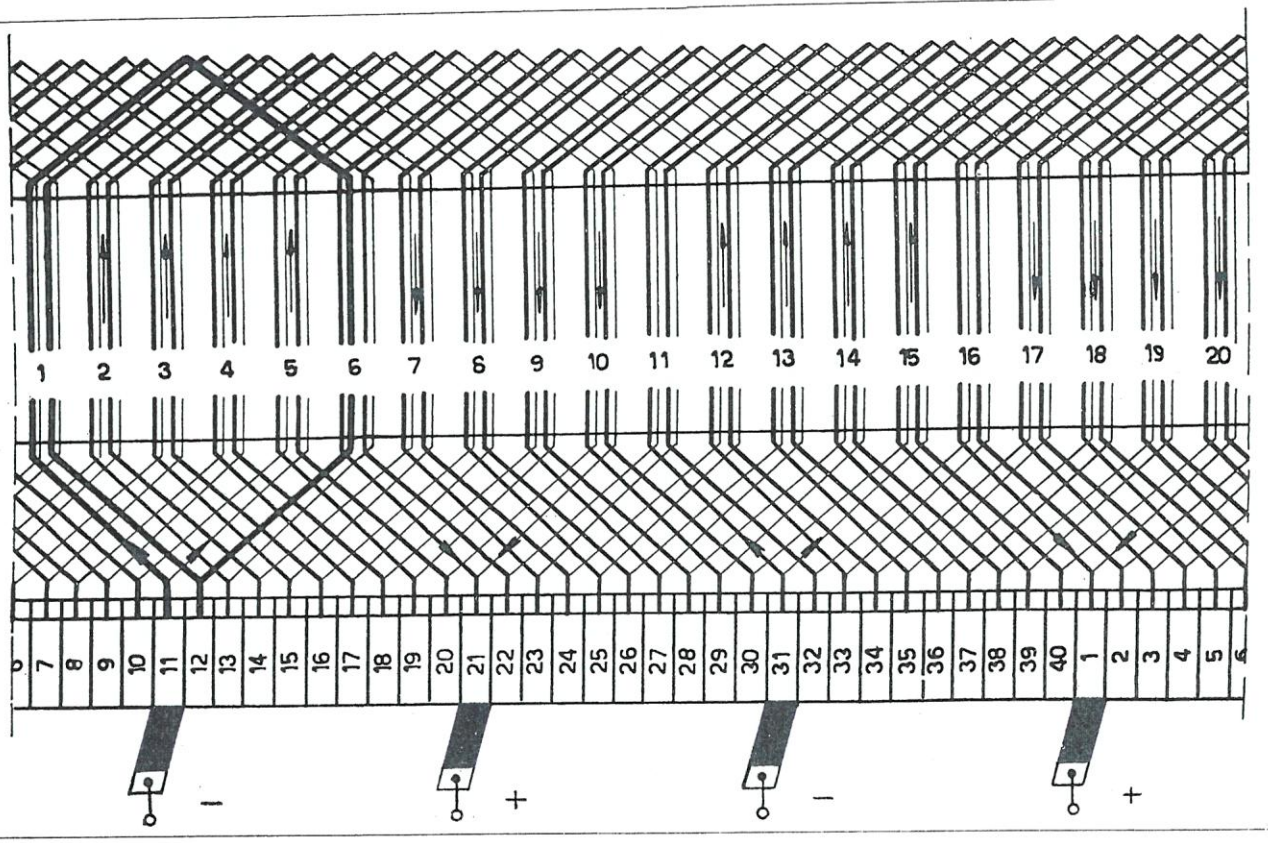


TAVOLA XLIV

Tipo embricato - 4 poli - 20 cave - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - 40 lamelle
passo avvolgimento 1÷6 - passo lamelle 1÷2

(v. tavola XXI)



è sufficiente, dopo avere aggiunto una lamella (*), riunire a due a due le lamelle (**) del collettore (due lamelle adiacenti a cui fanno capo le due zone della stessa matassa) ed eseguire i collegamenti al collettore come se si trattasse di un avvolgimento ondulato semplice con un numero di lamelle eguale al numero delle cave.

Esempio. — Consideriamo lo schema della tav. XXV. Si aggiunge una lamella e si applicano dei ponticelli fra le lamelle 1 e 2, 3 e 4, ecc. . . . 53 e 54; quindi si collegano i capi dello strato superiore della cava 1 alle lamelle 1 e 2 ed i capi dello strato inferiore della cava 8 alle lamelle 27 e 28; poi si procede con le solite regole utilizzando anche la zona morta, la quale evidentemente andrà collegata alle lamelle 20 e 46.

In definitiva i capi dello strato inferiore a partire dalla lamella 46 e fino alla lamella 53 verranno spostati di 1 lamella rispetto allo schema della tav. XXV ed i capi dello strato superiore verranno spostati di 1 lamella a partire dalla lamella 20 e fino alla 53.

Talvolta si riesce a realizzare la modifica richiesta trasformando l'avvolgimento ondulato semplice in ondulato serie-parallelo.

Le soluzioni prospettate in questi due ultimi esempi sono in genere praticamente poco convenienti dal punto di vista economico.

ESEMPI DI CALCOLO

1) Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1450 giri/min - Potenza nominale 24 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 12 V - Corrente alla potenza nominale 2000 A - Tensione di eccitazione 110 V.

Le dimensioni principali della macchina sono indicate nelle figg. 187 e 188.

(*) Per effettuare l'aggiunta di una lamella sarebbe sufficiente ridurre un po' lo spessore isolante fra le lamelle, ma nelle vecchie costruzioni, ossia con dimensioni del collettore abbondanti, si può evitare l'aggiunta di una lamella; in tal caso bisognerà saldare ad una lamella 4 capi di zona anzi che 2.

(**) Il numero effettivo delle lamelle $\frac{n_l \pm 1}{2}$ deve risultare eguale al numero delle zone doppie e dispari, affinchè sia possibile l'avvolgimento a 4 poli ondulato semplice.

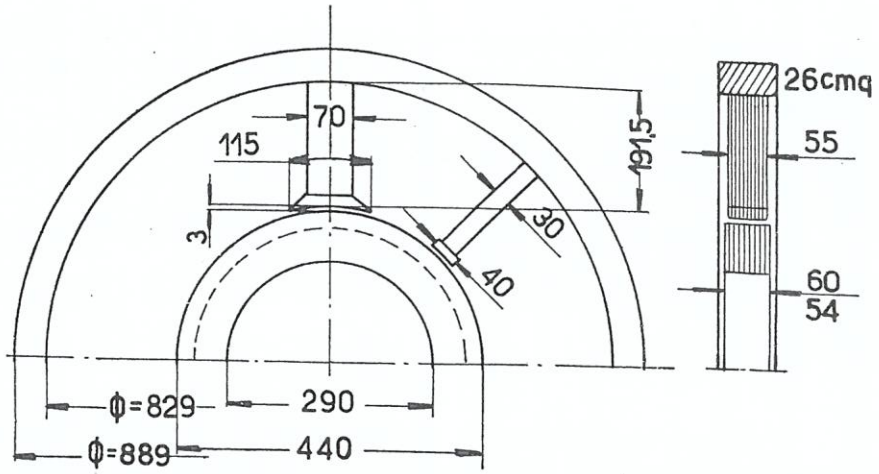


Fig. 187

Polo ausiliario . . .	h_{pa}	= 55 mm
Traferro polo principale .	δ	= 3 »
Traferro polo ausiliario .	δ_1	= 5 »
Diametro collettore . .	$\varnothing_{co}$	= 275 »
Lunghezza collettore . .		= 460 »
Superficie delle spazzole	S_s	= 432 cm²
Larghezza „ „	b_{spazz}	= 25 mm

Numero poli 8 - Numero cave 72 - Numero lamelle 72

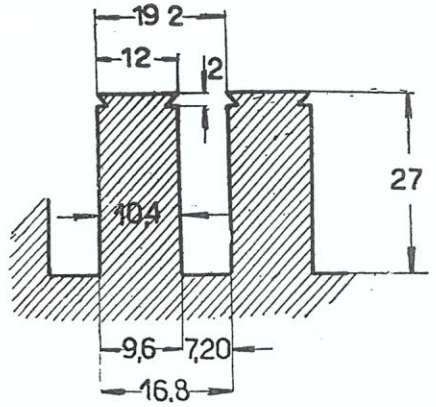


Fig. 188

Flusso dell'intraferro

Abbiamo adottato per B il valore di 0,7 Wb/m², circa il 14% inferiore a quello indicato nella fig. 176, perchè trattasi di una costruzione di vecchio tipo; in base a questo valore, il flusso nel traferro sarà:

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot h_p \cdot b_{ep} = 0{,}7 \cdot 0{,}055 \cdot 0{,}115 = 0{,}0044 \text{ Wb}$$

Numero conduttori dell'avvolgimento indotto ed Afc

Trattandosi di una dinamo a bassa tensione ed a forte intensità, si adotta un avvolgimento embricato semplice.

Il numero complessivo dei conduttori per $E = V + \Delta V = 15\ V$, ossia per una caduta di tensione pari al 25% della tensione di p.c. (*), risulta:

$$Z = \frac{a \cdot 60 \cdot E}{p \cdot N \cdot \Phi_\delta} = \frac{4 \cdot 60 \cdot 15}{4 \cdot 1450 \cdot 0{,}0044} = 141$$

Si adotterà quindi il numero di conduttori più prossimo multiplo del numero delle lamelle (72), cioè 144.

Il numero di amperfili per centimetro di periferia d'indotto è:

$$Afc = \frac{I \cdot Z}{2a \cdot \pi \varnothing_e} = \frac{2000 \cdot 144}{8 \cdot 3{,}14 \cdot 44} = \sim 261$$

Quindi le condizioni di commutazione (v. fig. 178) non saranno delle migliori (**), ma possono considerarsi accettabili.

Sezione del conduttore, spire/zona, fasci/cava

Data la elevata velocità periferica dell'indotto (33,4 m/s) si può adottare una densità di corrente $\sigma = 5{,}5$ A/mm^2. Poichè la corrente totale $I = 2000$ A segue 8 vie interne si avrà:

$$S_c = \frac{I_t}{2a \cdot \sigma} = \frac{2000}{8 \cdot 5{,}5} = 45{,}45 \text{ mm}^2$$

In base alle dimensioni delle cave possiamo impiegare della piattina di rame di $2{,}2 \times 10{,}5$ mm, pari ad una sezione di circa 23 mm^2 (effettiva 22,80 mm^2) (***), disponendo due conduttori in parallelo.

(*) $E = V + \frac{8 \cdot V}{100} + 2 = 12 + 0{,}96 + 2 = \sim 15$ volt

(**) Alcuni preferiscono calcolare il numero dei conduttori in base agli *Afc* del diagramma della fig. 178. In tal caso si avrebbe:

$$Z = \frac{Afc \cdot 2a \cdot \pi \varnothing_e}{I} = \frac{225 \cdot 8 \cdot 3{,}14 \cdot 44}{2000} = 125$$

Dovendo però il numero dei conduttori risultare eguale o multiplo del numero delle cave, si adotterà la soluzione più approssimata per eccesso. Nell'esempio in esame precisamente 144.

(***) La sezione effettiva risulta leggermente minore per l'arrotondamento degli spigoli della piattina.

Il numero delle spire per zona ed il numero dei fasci per cava risultano rispettivamente:

$$n_{spz} = \frac{Z}{2n_l} = \frac{144}{144} = 1$$

$$m = \frac{2n_l}{n_c} = \frac{144}{72} = 2$$

Riempimento cava

Il riempimento della cava può essere il seguente:

Larghezza della cava

2 conduttori isolati (cotone) . .	$2 \times 2{,}6$	= 5,2 mm
1 nastro mica-seta	$4 \times 0{,}12$	= 0,48 »
1 nastro cotone	$4 \times 0{,}14$	= 0,56 »
Rivestimento cava	$2 \times 0{,}2$	= 0,40 »
Gioco di lavorazione		0,56 »
		7,20 mm

Profondità della cava

1 conduttore isolato (cotone) . .	$1 \times 10{,}88$	= 10,88 mm
1 nastro mica-seta	$4 \times 0{,}12$	= 0,48 »
1 nastro cotone	$4 \times 0{,}14$	= 0,56 »
		11,92 mm × 2
		23,84 mm
Rivestimento cava	$3 \times 0{,}2$	= 0,60 mm
Legatura acciaio		2,00 »
Gioco di lavorazione		0,56 »
		27,00 mm

Abbiamo adottato lo stesso isolamento applicato dalla ditta costruttrice, di solito però si usa un isolamento più modesto e soprattutto più economico.

La disposizione in cava potrebbe essere anche quella indicata nella fig. 189, si potrebbe cioè applicare una zeppa di legno o di fibra di circa 3 mm e delle legature di sicurezza sulle testate dell'avvolgimento. In tal caso però bisognerebbe ridurre l'isolamento verso massa ed il gioco di lavorazione.

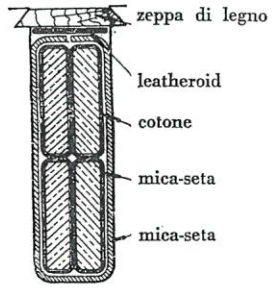


Fig. 189

Passi d'avvolgimento:

$$y_1 = \frac{2n_l}{2p} + 1 = \frac{144}{8} + 1 = 19; \qquad y = +2; \qquad y_2 = 19 - 2 = 17$$

$$y_n = \frac{y_1 - 1}{m} = \frac{19 - 1}{2} = 9; \qquad y_c = \frac{y}{2} = \frac{2}{2} = +1$$

Passo avvolgimento 1÷10 - Passo lamelle 1÷2.

Spira media, resistenza d'indotto, c.d.t. e peso rame

Lunghezza della spira media:

$$L_{spm} = 2\,(L_g + 1{,}4\,\tau) = 2\,(6 + 1{,}4 \cdot 17{,}3) = 60{,}44 \text{ cm} = \sim 0{,}61 \text{ m}$$

Resistenza dell'avvolgimento indotto a 20° C:

$$R_{20°} = \frac{\rho_{20°} \cdot Z/2 \cdot L_{spm}}{S_c \cdot (2a)^2} = 0{,}0175\,\frac{72 \cdot 0{,}61}{45{,}60 \cdot 64} = 0{,}000263\ \Omega$$

ed a 75° C:

$$R_{75°} = 1{,}22 \cdot 0{,}000263 = 0{,}000321\ \Omega$$

Di conseguenza la caduta di tensione dovuta alla resistenza d'indotto sarà di 0,64 V ($\Delta V = 0{,}000321 \times 2000 = 0{,}642$ volt).

Peso del rame dell'avvolgimento indotto:

$$\text{Peso rame} = S_c \cdot \frac{Z}{2} \cdot L_{spm} \cdot \frac{8{,}9}{1000} = 2 \cdot 22{,}80 \cdot 72 \cdot 0{,}61 \cdot \frac{8{,}9}{1000} = 18 \text{ kg}$$

Calcolo delle amperspire di eccitazione dei poli principali

Per determinare le amperspire di eccitazione occorre calcolare prima le lunghezze dei singoli tronchi costituenti il circuito magnetico, i flussi effettivi, le sezioni e le induzioni relative.

Lunghezze e flussi effettivi. — Le lunghezze dei tronchi relativi al giogo ed alla corona dell'indotto sono rispettivamente:

$$l_{giogo} = \frac{\pi \varnothing_{mg}}{2 \cdot 2p} = \frac{3{,}14 \cdot 85{,}9}{2 \cdot 8} = 16{,}86 \text{ cm}$$

$$l_{corona} = \frac{\pi \varnothing_{mc}}{2 \cdot 2p} = \frac{3{,}14 \cdot 38{,}6}{2 \cdot 8} = 7{,}58 \text{ cm}$$

Per la corona dell'indotto si è adottato il diametro di base del dente. Il 2 che compare al denominatore tiene conto, come si è detto precedentemente, della suddivisione del flusso (nel giogo e nella corona) in due rami eguali in parallelo. Le lunghezze degli altri tronchi sono note e precisamente:

$$l_{polo} = l_p = 19{,}15 \text{ cm}$$
$$l_{traferro} = \delta = 0{,}3 \text{ »}$$
$$l_{dente} = h = 2{,}7 \text{ »}$$

In base al numero dei conduttori adottati per l'avvolgimento indotto si determina il valore reale o effettivo del flusso $\Phi_{\delta e}$ (intraferro, denti e corona indotto):

$$\Phi_{\delta c} = \frac{2a \cdot 60 \cdot (V + \Delta V)}{2p \cdot Z \cdot N} = \frac{8 \cdot 60 \cdot 15}{8 \cdot 1450 \cdot 144} = 0{,}00431 \text{ Wb}$$

mentre per il polo ed il giogo si assume un flusso maggiorato del 20%:

$$\Phi_p = 1{,}2 \times 0{,}00431 = 0{,}005172 \text{ Wb}$$

Sezione ed induzioni.

Corona indotto. — Lunghezza attiva del pacco lamiere:

$$L_a = 0{,}90 \cdot L_g = 0{,}90 \cdot 6{,}0 = 5{,}4 \text{ cm}$$

Sezione corona indotto:

$$S_{cor} = L_a \frac{\varnothing_{bd} - \varnothing_i}{2} = 5{,}4\,\frac{38{,}6 - 29}{2} = 26 \text{ cm}^2 = 0{,}0026 \text{ m}^2$$

Induzione:

$$B_{cor} = \frac{\Phi_{\delta e}}{2 \cdot S_{cor}} = \frac{0{,}00431}{0{,}0052} = \sim 0{,}83 \text{ Wb/m}^2$$

Denti. — Si considera, come si è detto, non l'arco polare effettivo b_{ep}, ma un arco polare fittizio $b_{ep} + \delta$; quindi:

$$n_{dap} = \frac{b_{ep} + \delta}{\tau_z} = \frac{11{,}5 + 0{,}3}{1{,}92} = 6{,}15 \text{ denti}$$

Sezione complessiva S_d:

$$S_d = n_{dap} \cdot L_a \cdot z_{1/3} = 6{,}15 \cdot 5{,}4 \cdot 1{,}04 = 34{,}50 \text{ cm}^2 = 0{,}00345 \text{ m}^2$$

Induzione:

$$B_d = \frac{\Phi_{\delta e}}{S_d} = \frac{0{,}00431}{0{,}00345} = 1{,}25 \text{ Wb/m}^2$$

Intraferro. — Fattore di correzione K_δ:

$$K_\delta = \frac{z + 10\,\delta}{\tau_z + 10\,\delta} = \frac{12 + 10 \cdot 3}{19{,}2 + 10 \cdot 3} = \frac{42}{49{,}2} = 0{,}854$$

Sezione:

$$S_\delta = K_\delta \cdot S_{ep} = K_\delta \cdot b_{ep} \cdot h_p = 0{,}854 \cdot 11{,}5 \cdot 5{,}5 = 54 \text{ cm}^2 = 0{,}0054 \text{ m}^2$$

Induzione:

$$B_\delta = \frac{\Phi_{\delta n}}{S_\delta} = \frac{0{,}00431}{0{,}0054} = 0{,}799 \text{ Wb/m}^2$$

Polo. — Si considera a sezione costante, cioè non si tiene conto delle maggiori dimensioni dell'espansione polare:

$$S_p = b_p \cdot h_p \cdot 0{,}90 = 7 \cdot 5{,}5 \cdot 0{,}90 = 34{,}65 \text{ cm}^2 = 0{,}003465 \text{ m}^2$$

Induzione:

$$B_p = \frac{1{,}2 \cdot \Phi_{\delta e}}{S_p} = \frac{0{,}005172}{0{,}003465} = \sim 1{,}49 \text{ Wb/m}^2$$

Giogo. — La sezione del giogo è nota. L'induzione vale:

$$B_g = \frac{1{,}2 \cdot \Phi_{\delta e}}{2 \cdot S_g} = \frac{0{,}005172}{2 \cdot 0{,}0026} = 0{,}99 \text{ Wb/m}^2$$

Amperspire di eccitazione. — Le amperspire per l'intraferro (lunghezza 0,3 cm, induzione $\sim 0{,}8$ Wb/m^2) risultano:

$$H_\delta \cdot \delta = 8000 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}3 = 1920 \text{ Asp}$$

Per gli altri tronchi del circuito magnetico si rilevano dalle curve di magnetizzazione (v. fig. 180) i valori delle Asp/cm corrispondenti alle induzioni già calcolate e poscia, in base alle lunghezze, si ricavano le amperspire occorrenti per ciascun tronco.

Il 15% delle amperspire d'indotto/polo risultano:

$$15\%\ \text{Aspi} = 0{,}15\,\frac{I \cdot Z/2}{2a \cdot 2p} = 0{,}15\,\frac{2000 \cdot 72}{8 \cdot 8} = 337{,}5 = \sim 340$$

I risultati dei calcoli relativi alle amperspire dei poli principali ripetuti per le tensioni a vuoto di 12, 9 e 6 volt sono raccolti nella tabella XXVII.

Abbiamo arrotondato a 3100 le Asp *P.O.P.*, ma di solito si adotta il numero immediatamente superiore multiplo della corrente di eccitazione.

Sezione del conduttore e numero spire/polo

Essendo 8 le bobine di campo in serie, la tensione per ogni bobina risulta:

$$V_b = \frac{V_{ecc}\ (*)}{2p} = \frac{0{,}8 \cdot 110}{8} = 11 \text{ volt/bobina}$$

Per potere determinare la sezione da adottare per le bobine di campo, occorre conoscere prima la lunghezza della spira media. Per calcolare detta lunghezza, occorrerebbe conoscere l'ingombro finale della bobina, ma non essendo noto questo dato essenziale si procede, come si è già detto, in base a dati sperimentali, ritoccando, se del caso, il valore calcolato; nell'esempio in esame la lunghezza della spira media sarà:

$$L_{spmp} = 2 \cdot (b_p + h_p) + 0{,}16 = 2 \cdot (0{,}07 + 0{,}055) + 0{,}16 = 0{,}41 \text{ m}$$

e la sezione del conduttore:

$$S_{ecc} = \frac{\rho_{75°} \cdot L_{spmp} \cdot \text{Asp P.O.P.}}{V_b} = \frac{0{,}0213 \cdot 0{,}41 \cdot 3100}{11} = 2{,}46 \text{ mm}^2$$

Si adotterà un conduttore a sezione circolare di 2,54 mm^2 cioè un filo del diametro di 1,8 mm.

Ammessa una densità di corrente di 2,9 A/mm^2 la corrente di eccitazione a pieno carico risulta:

$$I_{ecc} = \sigma_{ecc} \cdot S_{ecc} = 2{,}9 \cdot 2{,}54 = 7{,}37 \text{ A}$$

A questa intensità corrispondono 420 spire $\left(\frac{3100}{7{,}37} = 420\right)$.

(*) Di solito, ripetiamo, si tiene conto di una tensione di eccitazione di $(0{,}8 \div 8{,}85) \cdot V_{ecc}$, in modo da potere avere un certo margine nella regolazione della tensione e tenere altresì conto delle cadute di tensione nei collegamenti del reostato.

Conteggi relativi alle amperspire/polo (Generatore da 24 kW)

TABELLA XXVII

$\Phi_\delta = \frac{8 \cdot 60 \cdot 15}{8 \cdot 1450 \cdot 144} = 0{,}00431$ Wb

flusso giogo e polo = 1,2 . 0,00431 = 0,005172 Wb

$= \frac{8 \cdot 60 \cdot 12}{8 \cdot 1450 \cdot 144} = 0{,}00346$ Wb

=1,2 . 0,00346=0,004152 Wb

$= \frac{8 \cdot 60 \cdot 9}{8 \cdot 1450 \cdot 144} = 0{,}00258$ Wb

=1,2 . 0,00258=0,003096 Wb

$= \frac{8 \cdot 60 \cdot 6}{8 \cdot 1450 \cdot 144} = 0{,}00172$ Wb

=1,2 . 0,00172=0,002064 Wb

Parte del circuito magnetico	Sezione m^2	Lungh. cm	Induz. Wb/m^2	Asp/cm	Asp	Induz. Wb/m^2	Asp/cm	Asp	Induz. Wb/m^2	Asp/cm	Asp	Induz. Wb/m^2	Asp/cm	Asp
Corona indotto	0,0052	7,58	0,83	3,6	27	0,67	2,6	20	0,50	2,1	16	0,33	1,7	13
Denti	0,00345	2,7	1,25	8,8	24	1,00	4,8	13	0,74	3	8	0,50	2,1	6
Intraferro . .	0,0054	0,3	0,8	—	1920	0,64	—	1536	0,47	—	1150	0,32	—	770
Polo	0,003465	19,15	1,49	34	651	1,2	9	172	0,89	4,9	24	0,59	3,0	57
Giogo . . .	0,0052	16,86	0,99	6	101	0,8	4,2	71	0,59	3	50	0,4	2,5	42
				Asp	2723		Asp	1812		Asp	1318		Asp	888
				15% Aspi	340									
				Asp totali	3063									

Resistenza e peso rame

Infine si può calcolare la resistenza complessiva delle 8 bobine a 20° ed a 75° C:

$$R_{20°} = \rho_{20°} \cdot \frac{L_{spmp} \cdot n_{sp} \cdot 2p}{S_{ecc}} = \frac{0{,}0175 \cdot 0{,}41 \cdot 420 \cdot 8}{2{,}54} = 9{,}5\ \Omega$$

$$R_{75°} = 1{,}22 \cdot 9{,}5 = 11{,}59\ \Omega$$

La caduta di tensione nelle bobine di campo a pieno carico, detta frequentemente **volt campo a pieno carico,** vale:

$$\text{Volt campo p.c.} = 11{,}59 \times 7{,}37 = 85{,}4\ \text{V}$$

Peso dell'avvolgimento induttore:

$$\text{Peso} = L_{spmp} \cdot n_{sp} \cdot 2p \cdot S_{ecc} \cdot \frac{8{,}9}{1000} = 0{,}41 \cdot 420 \cdot 8 \cdot 2{,}54 \cdot \frac{8{,}9}{1000} = 31\ \text{kg}$$

Caratteristica a vuoto

Per tracciare la caratteristica a vuoto si considerano le amperspire ottenute col calcolo, senza il 15% Aspi. In base alle tensioni a vuoto considerate le correnti di eccitazione assumono i seguenti valori:

15 V — $I_{ecc} = \frac{2723}{420} = 6{,}48$ A

12 V — $I'_{ecc} = \frac{1812}{420} = 4{,}3$ A

9 V — $I''_{ecc} = \frac{1318}{420} = 3{,}13$ A

6 V — $I'''_{ecc} = \frac{888}{420} = 2{,}11$ A

Fig. 190

Riportando sull'asse delle ascisse i valori di I_{ecc} e su quello delle ordinate i corrispondenti valori della tensione a vuoto si ottiene la curva della caratteristica a vuoto (fig. 190).

Calcolo delle amperspire dei poli ausiliari

Per questo calcolo occorre determinare le amperspire di commutazione e quelle di reazione; pertanto bisogna calcolare prima i valori del coefficiente K, della frequenza di commutazione, della tensione di reattanza e dell'induzione nel traferro del polo ausiliario.

Coefficiente K:

$$k_1 = \frac{\text{Altezza cava}(h) - A}{3 \cdot \text{larghezza cava } (b_c)} = \frac{27 - 5}{3 \cdot 7{,}2} = 1{,}020$$

$$k_2 = \frac{B}{\text{larghezza cava } (b_c)} = \frac{3.7}{7{,}2} = 0{,}514$$

$$k_3 = \frac{\text{larghezza dente } (z)}{\text{passo dentatura } (\tau_z)} = \frac{12}{19{,}2} = 0{,}623$$

$$K = 2{,}157$$

Frequenza di commutazione:

$$f_{comm} = \frac{v_{rco}}{2 \cdot b_{spazz}} = \frac{20.90}{2 \cdot 0{,}025} = 418$$

Tensione di reattanza:

$$E_r = K \cdot L_a \left(\frac{Z}{n_l}\right)^2 \cdot 2{,}47 \cdot f_{comm} \cdot \frac{I}{2a} 10^{-7} =$$

$$= 2{,}157 \cdot 5{,}4 \cdot 4 \cdot 2{,}47 \cdot 418 \cdot \frac{2000}{8} 10^{-7} = 1{,}2 \text{ V}$$

Induzione nel traferro del polo ausiliario:

$$B_{\delta 1} = \frac{E_r}{h_{pa} \cdot \frac{Z}{n_l} \cdot v_p} = \frac{1{,}2}{0{,}055 \cdot 2 \cdot 33{,}40} = 0{,}327 \text{ Wb/m}^2$$

Amperspire di commutazione:

$$\text{Asp}_{comm}/\text{polo aus} = 8.000 \cdot B_{\delta 1} \cdot \delta_1 = 8.000 \cdot 0{,}327 \cdot 0{,}5 = \sim 1310$$

Amperspire totali:

$$\text{Asp/polo aus} = \text{Aspi} + \text{Asp}_{comm} = \frac{2000 \cdot 72}{8.8} + 1310 = 3560$$

$$\text{Spire/polo} = \frac{3560}{2000} = 1{,}78$$

Adotteremo quindi 2 spire per polo, corrispondenti a 4000 Asp/polo.

Ammessa una densità di corrente di 3 A/mm^2 si ottiene una sezione:

$$S_{cpa} = \frac{I_{est}}{\sigma} = \frac{2000}{3} = 666 \text{ mm}^2$$

che verrà realizzata con piattina di circa 670 mm^2.

Con una spira media di 0,3 m il peso complessivo del rame risulta:

$$\text{Peso} = L_{spmpa} \cdot S_{cpa} \cdot n_{sp} \cdot 2p \frac{8.9}{1000} = 0{,}3 \cdot 670 \cdot 2 \cdot 8 \cdot \frac{8{,}9}{1000} = 28{,}6 = \sim 29 \text{ kg}$$

La resistenza a 20° C ed a 75° C sarà:

$$R_{20°} = \rho_{20°} \frac{L_{spmpa} \cdot n_{sp} \cdot 2p}{S_{cpa}} = \frac{0{,}0175 \cdot 0.3 \cdot 2 \cdot 8}{670} = 0{,}000125 \ \Omega$$

$$R_{75°} = 1{,}22 \cdot 0{,}000125 = 0{,}000152 \ \Omega$$

I conteggi relativi ai poli principali ed ausiliari sono raccolti nella tabella XXVIII.

Conteggi relativi ai poli principali ed ausiliari (Generatore da 24 kW)

TABELLA XXVIII

Denominazione	Derivazione	Ausiliari
Asp P.O.P.	3100	4000
Filo nudo — diametro - mm	1,8	—
Filo nudo — sezione - mm^2	2,54	670
Spire per polo	420	2
Lunghezza spira media - m.	0,41	0,3
Peso rame - kg	31	29
Resistenza a 20° C - Ω	9,50	0,000125
Resistenza a 75° C - Ω	11,59	0,000152
Ampere a pieno carico	7,37	2000
A/mm^2	2,9	3
Volt campo a pieno carico	85,4	—

Controllo delle cadute di tensione

La resistenza totale del circuito indotto e dell'avvolgimento dei poli ausiliari alla temperatura di 75° C risulta:

$$R_t = (0{,}000263 + 0{,}000125)\ 1{,}22 = 0{,}000473\ \Omega$$

e la caduta di tensione:

$$R_t I = 0{,}000473 \cdot 2000 = 0{,}946 = \sim 1\ \text{V}$$

Pertanto la caduta di tensione complessiva (la *c.d.t.* di contatto delle spazzole si considera eguale a 2 V) è di 3 V, come previsto.

Rendimento

La potenza utile è nota (24 kW); occorre pertanto calcolare le varie perdite di potenza che si manifestano durante il funzionamento.

Perdite nel ferro. — Volume e peso della corona e dei denti d'indotto:

$$\text{Vol. corona} = 3{,}14\ \frac{(3{,}86+2{,}90)}{2} \cdot \frac{(3{,}86-2{,}90)}{2} \cdot 0{,}54 = 2{,}75\ \text{dm}^3$$

$$\text{Vol. denti} = \left\{\left[3{,}14\ \frac{(4{,}40+3{,}86)}{2} \cdot \frac{(4{,}40-3{,}86)}{2}\right] - (72 \cdot 0{,}27 \cdot 0{,}072)\right\} 0{,}54 = 1{,}134\ \text{dm}^3$$

$$\text{Peso corona} = 2{,}75 \cdot 7{,}8 = 21{,}45\ \text{kg}$$
$$\text{Peso denti} = 1{,}134 \cdot 7{,}8 = 8{,}84\ \text{kg}$$

La frequenza del ciclo di magnetizzazione è:

$$f_c = \frac{p \cdot N}{60} = \frac{4 \cdot 1450}{60} = \sim 97\ \text{p/s}$$

Si avrà quindi:

$$P_{97} = P_{50}\,(0{,}66 \cdot 2 + 0{,}34 \cdot 4) = 2{,}68 \cdot P_{50} = \sim 2{,}7\ P_{50}$$

Essendo nella corona $B_{cor} = 0{,}83\ \text{Wb/m}^2$ e nei denti $B_d = 1{,}25\ \text{Wb/m}^2$, P_{50} risulta rispettivamente 2,7 e 5,3 W/kg (v. fig. 184);

pertanto le perdite teoriche valgono:

$$P_p \text{ corona} = 21{,}45 \cdot 7{,}29 = 156{,}4\ \text{W}$$
$$P_p \text{ denti} = 8{,}84 \cdot 14{,}31 = 126{,}5\ \text{W}$$

e le perdite effettive nel ferro:

$$P_p \text{ ferro} = 1{,}8\ (156{,}4 + 126{,}5) = \sim 510\ \text{W}$$

Perdite nel rame. — Sono rappresentate dalle perdite per effetto joule nell'avvolgimento indotto e nei poli ausiliari:

$$I^2 \cdot R_t = 2000^2 \cdot 0{,}000473 \cdot 1{,}10 = 2080\ \text{W}$$

Perdite di commutazione. — Sono originate dalla caduta di tensione per la resistenza di contatto nelle spazzole:

$$P_p \text{ comm} . = \Delta V \cdot I = 2 \cdot 2000 = 4000\ \text{W}$$

Perdite eccitazione:

$$P_p \text{ ecc.} = V_{ecc} \cdot I_{ecc} = 110 \cdot 7{,}37 = 811\ \text{W}$$

Perdite di attrito nei cuscinetti:

$$P_p \text{ cuscinetti} = 0{,}53 \cdot 24 \cdot 1{,}36 \sqrt{1450} = 660\ \text{W}$$

Perdite attrito spazzole:

$$P_p \text{ attrito spazzole} = 0{,}2 \cdot 20{,}90 \cdot 432 = 1806$$

Perdite addizionali:

$$P_p \text{ addizionali} = \frac{0{,}5 \cdot 24000}{100} = 120\ \text{W}$$

Perdita totale. — La perdita totale risulta evidentemente:

$$P_p \text{ totale} = 510 + 2080 + 4000 + 811 + 660 + 1806 + 120 = 9987$$

Rendimento della macchina:

$$\eta = \frac{24}{24 + 9{,}987} = 0{,}706$$

I conteggi precedenti sono raccolti nella tabella XXIX.

Conteggi relativi al rendimento (Generatore da 24 kW)

TABELLA XXIX

Perdite	Pieno carico	3/4	1/2	1/4
Perdite rame . . . . . W	2080			
» commutazione . . . »	4000			
» ecc. derivazione . . »	811			
» ferro . . . . . »	510			
» attrito { spazzole . . »	1806			
» attrito { cuscinetti . . »	660			
» addizionali . . . »	120			
Totale perdite . . . . . W	9987			
Potenza resa . . . . . »	24.000			
Potenza assorbita . . . . »	33.987			
η% calcolato	70,6%			

2) Dati di targa e dimensioni principali

Motore a corrente continua - Velocità di rotazione 1800 giri/min - Potenza nominale 1,84 kW - Servizio intermittente - Tensione ai morsetti 220 V - Corrente alla potenza nominale 11 A - Eccitazione in derivazione.

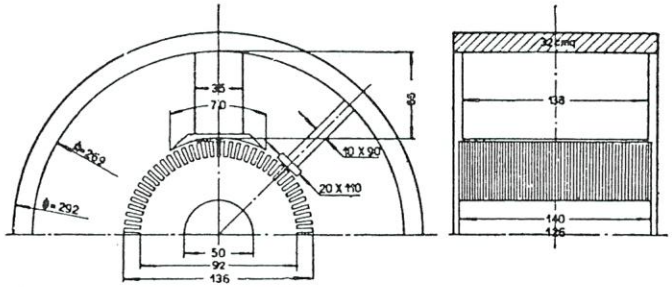


Fig. 191

Le dimensioni principali della macchina sono riportate nelle figg. 191 e 192.

Polo ausiliario	10×90 mm
Traferro polo principale . . .	$\delta = 1{,}5$ »
» » ausiliario	$\delta_1 = 2{,}5$ »
Diametro esterno collettore . . .	$\varnothing_{co} = 110$ »
Lunghezza collettore	$L_{co} = 50$ »
Superficie delle spazzole . . .	$S_s = 12{,}8$ cm
Larghezza » » . . .	$b_{spazz} = 16$ mm

Numero poli 4 - Numero cave 25 - Numero lamelle 75.

Flusso del traferro

In considerazione del fatto che si tratta di una macchina di vecchio tipo si assume $B_\delta = 0{,}4$ Wb/m² (*); quindi:

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot b_{ep} \cdot h_p = 0{,}4 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}138 = 0{,}003864 \text{ Wb}$$

Avvolgimento indotto

Trattandosi di una macchina a bassa intensità si adotta un avvolgimento serie ($2a=2$). Il numero complessivo dei conduttori risulta:

$$Z = \frac{a \cdot 60 \cdot E}{p.N.\Phi_\delta} = \frac{60 \cdot 200}{2 \cdot 1800 \cdot 0{,}00386} = \sim 864$$

Il numero di spire/lamella risulterebbe frazionario e sarebbe precisamente 5,76; si arrotonda quindi a 6 e di conseguenza il numero dei conduttori si porta a 900. Il numero dei conduttori per cava sarà 36, che soddisfa alla condizione di essere multiplo del numero degli elementi per cava (m = 6); si avranno pertanto 2 matasse/cava e 3 zone/matassa (fili vicini 3, sovrapposti 12).

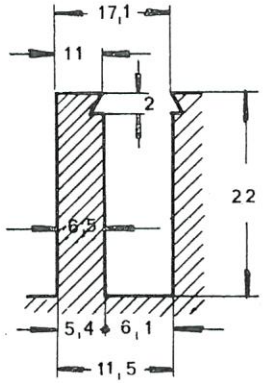


Fig. 192

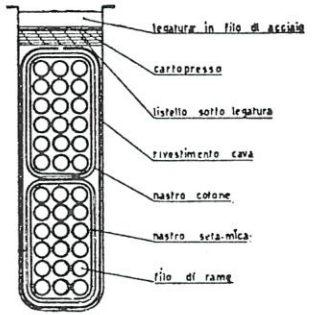


Fig. 193

Amperfili/cm:

$$\text{Afc} = \frac{I \cdot Z}{2a \cdot \pi \, \varnothing_e} = \frac{11 \cdot 900}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 13{,}6} = \sim 116$$

Quindi è assicurata una buona commutazione.

Sezione conduttori e riempimento cava

Trattandosi di macchina per servizio intermittente si può adottare una densità di corrente di 5,5 A/mm²:

$$S_c = \frac{I}{2a \cdot \sigma} = \frac{11}{2 \cdot 5{,}5} = 1 \text{ mm}^2$$

(*) Occorrendo una potenza maggiore si potrebbe adottare un'induzione sensibilmente più elevata.

La sezione commerciale più prossima, per eccesso, è quella di 1,0387 mm², corrispondente ad un diametro di 1,15 mm. La densità effettiva sarà quindi di 5,3 A/mm². Con filo tondo rivestito con 2 spirali di cotone, il diametro esterno è di circa 1,35 mm, quindi il riempimento della cava potrebbe essere il seguente (adottato dalla casa costruttrice):

Larghezza della cava

3 conduttori isol. cotone	$3 \times 1,35 =$	4,05 mm
Nastro mica-seta	$4 \times 0,12 =$	0,48 »
» cotone	$4 \times 0,14 =$	0,56 »
Rivestimento cava	$2 \times 0,2 =$	0,40 »
Tolleranza o gioco		0,61 »
		6,10 mm

Profondità della cava

6 conduttori isol. cotone	$6 \times 1,35 =$	8,10 mm
1 nastro mica-seta	$4 \times 0,12 =$	0,48 »
1 nastro cotone	$4 \times 0,14 =$	0,56 »
		9,14 mm × 2
		18,28 mm
Rivestimento cava	$2 \times 0,2 =$	0,40 »
Listello sotto legatura		1,00 »
Legatura acciaio		2,00 »
Gioco di lavorazione		0,32 »
		22,00 mm

La disposizione in cava è quella indicata nella fig. 193.

Passi dell'avvolgimento

I passi risultano:

$$y = \frac{150 \pm 2}{2} = \begin{cases} 76 \\ 74 \end{cases}; \quad y_1 = 37; \quad y_2 = \begin{cases} 39 \\ 37 \end{cases}$$

$$y_n = \frac{37 - 1}{6} = 6; \quad y_c = \begin{cases} 38 \\ 37 \end{cases}$$

Per l'esecuzione dell'avvolgimento è sufficiente conoscere il passo d'avvolgimento o passo alle cave $(1 \div 7)$ ed il passo lamelle $(1 \div 39$ oppure $1 \div 38)$.

Spira media, resistenza d'indotto, c. d. t. e peso rame

La lunghezza della spira media risulta:

$$L_{spm} = 2 . L_g + 2,8 . \tau = 0,280 + 0,2996 = \sim 0,58 \text{ m}$$

(misurata è risultata 0,59 m)

Resistenza a 20°:

$$R_{20°} = \rho_{20°} \frac{\frac{Z}{2} \cdot L_{spm}}{S_c . (2a)^2} = 0,0175 . \frac{450 . 0,58}{1,088 . 4} = 1,1\ \Omega$$

ed a 75° C:

$$R_{75°} = 1,2 . R_{20°} = 1,2 . 1,1 = 1,32\ \Omega$$

Caduta di tensione nell'avvolgimento indotto:

$$\Delta V = R_{75°} . I = 1,32 . 11 = 14,52\ V$$

Peso del rame necessario per l'avvolgimento indotto:

$$\text{Peso rame} = \frac{Z}{2} . L_{spm} . S_c . 0,0089 = 450 . 0,58 . 1,0387 . 0,0089 = 2,42 \text{ kg} = \sim 2,450 \text{ kg}$$

Amperspire di eccitazione dei poli principali

Le lunghezze dei singoli tronchi del circuito magnetico sono:

$$l_g = \frac{\pi \varnothing_{mg}}{2 . 2p} = \frac{3,14 . 28,5}{8} = 11,19 \text{ cm}$$

$$l_{cor} = \frac{\pi \varnothing_{bd}}{2 . 2p} = \frac{3,14 . 9,2}{8} = 3,61 \text{ cm}$$

$$l_p = 6,55 \text{ cm}$$

$$\delta = 0,15 \text{ cm}$$

$$h = 2,2 \text{ cm}$$

Il flusso reale nel traferro, nella corona e nei denti dell'indotto, in base a 900 conduttori, è:

$$\Phi_\delta = \frac{2 . 60 . 200}{4 . 1800 . 900} = 0,0037 \text{ Wb}$$

Flusso nel polo e nel giogo per una maggiorazione del 20%:

$$\left.\begin{matrix} \text{polo} \\ \text{giogo} \end{matrix}\right\} = 1,2 \times 0,0037 = 0,00444 \text{ Wb}$$

Si calcolano quindi le sezioni dei singoli tronchi e le induzioni relative:

$$\text{Corona indotto} \begin{cases} S_{cor} = 12,6 \frac{9,2 - 5}{2} = 26,46 \text{ cm}^2 = 0,002646 \text{ m}^2 \\ B_{cor} = \frac{0,0037}{2 \times 0,002646} = 0,6991 = \sim 0,7 \text{ Wb/m}^2 \end{cases}$$

Denti

$$n_{dap} = \frac{7{,}0 + 0{,}15}{1{,}71} = 4{,}18 \text{ denti}$$

$$S_d = 4{,}18 \cdot 0{,}65 \cdot 12{,}6 = 34{,}23 \text{ cm}^2 = 0{,}003423 \text{ m}^2$$

$$B_d = \frac{0{,}0037}{0{,}003423} = 1{,}081 \text{ Wb/m}^2$$

Traferro

$$K_\delta = \frac{11 + 15}{17{,}1 + 15} = \frac{26}{32{,}1} = 0{,}81$$

$$S_\delta = 7 \cdot 13{,}8 \cdot 0{,}81 = 78{,}25 \text{ cm}^2 = 0{,}007825 \text{ m}^2$$

$$B_\delta = \frac{0{,}0037}{0{,}007825} = 0{,}473 \text{ Wb/m}^2$$

Polo

$$S_p = 3{,}5 \cdot 13{,}8 \cdot 0{,}9 = 43{,}47 \text{ cm}^2 = 0{,}004347 \text{ m}^2$$

$$B_p = \frac{1{,}2 \cdot 0{,}0037}{0{,}004347} = \frac{0{,}00444}{0{,}004347} = 1{,}02 \text{ Wb/m}^2$$

Giogo

$$B_g = \frac{0{,}00444}{2 \cdot 0{,}0032} = 0{,}69 \text{ Wb/m}^2$$

Le amperspire d'indotto/polo sono:

$$\text{Aspi/polo} = \frac{11 \cdot 450}{2 \cdot 4} = 620$$

I conteggi precedenti sono riportati nella tabella seguente:

Parte del circuito magnetico	Sezione m^2	Lunghezza cm	Induzione Wb/m^2	Wb/m^2	Asp
Corona indotto	0,0053	3,61	0,7	2,8	10
Denti	0,003423	2,2	1,08	5,8	13
Traferro	0,007825	0,15	0,473	—	570
Polo	0,004347	6,55	1,02	6,1	40
Giogo	0,0064	11,19	0,69	3,5	39
				Asp . . .	672
				15% Aspi	93
				Asp totali	765

Tensione per ogni bobina di campo:

$$V_b = \frac{0{,}85 \cdot 220}{4} = 47 \text{ volt/bobina}$$

Lunghezza della spira media:

$$L_{spmp} = 2\ (0{,}138 + 0{,}035) + 0{,}14 = 0{,}486 \text{ m}$$

In base a questo valore si determina la sezione:

$$S_{ecc} = \frac{\rho_{75°} \cdot L_{spmp} \cdot \text{Asp P.O.P.}}{V_b} = \frac{0{,}021 \cdot 0{,}486 \cdot 765}{47} = 0{,}166 \text{ mm}^2$$

Si adotterà pertanto il filo tondo di diametro più prossimo esistente in commercio, cioè quello di 0,45 mm avente una sezione di 0,159 mm^2.

Ammessa una densità di corrente di 2 A/mm^2, la corrente di eccitazione risulta:

$$I_{ecc} = 2 \cdot 0{,}159 = 0{,}318 \text{ A}$$

Il numero delle spire sarà dunque:

$$\text{Spire/polo} = \frac{765}{0{,}318} = 2405 \text{ spire}$$

ed il peso del rame:

$$\text{Peso} = 2405 \cdot 0{,}486 \cdot 0{,}159 \cdot 0{,}0089 \cdot 4 = \sim 7 \text{ kg}$$

Resistenza a 75° C:

$$R_{75°} = 0{,}021 \frac{0{,}486 \cdot 2405}{0{,}159} \cdot 4 = \sim 620\ \Omega$$

Volt campo a pieno carico: $620 \cdot 0{,}318 = \sim 197$ V.

Amperspire dei poli ausiliari

Per realizzare una buona commutazione (oltre che compensare la reazione d'indotto) sono necessarie:

$$\text{Asp/polo ausiliario} = 1{,}30 \frac{I \cdot Z/2}{2a \cdot 2p} = 1{,}30 \frac{11 \cdot 450}{2 \cdot 4} = \sim 805$$

$$\text{Spire/polo aus} = \frac{805}{11} = \sim 73$$

Trattandosi di una macchina di piccola potenza si è adottata la formula approssimata. Allo stesso risultato si perviene in base alla tensione di reattanza.

Si calcolano i coefficienti k_1, k_2, k_3:

$$k_1 = \frac{h - A}{3 \text{ . larghezza cava}} = \frac{22 - 5}{18,3} = 0,928$$

$$k_2 = \frac{B}{\text{larghezza cava}} = \frac{3,7}{6,1} = 0,606$$

$$k_3 = \frac{\text{larghezza dente}}{\tau_z} = \frac{11}{17,1} = 0,643$$

$$K = 2,177 = \sim 2,18$$

Quindi si calcola la frequenza di commutazione e la tensione di reattanza:

$$f_{comm} = \frac{v_{pco}\ (\text{m/s})}{2 \text{ . larghezza spazzole (m)}} = \frac{3,14 \text{ . } 0,110 \text{ . } 30}{2 \text{ . } 0,016} = \sim 324$$

$$E_r = K \text{ . } L_a \left(\frac{Z}{n_l}\right)^2 \text{. } 2,47 \text{ . } f_{comm} \text{ . } \frac{I}{2a}\ 10^{-7} =$$

$$= 2,18 \text{ . } 12,6 \text{ . } 144 \text{ . } 2,47 \text{ . } 324 \text{ . } 5,5 \text{ . } 10^{-7} = 1,75\ V$$

L'induzione nel traferro del polo ausiliario deve risultare:

$$B_{\delta 1} = \frac{E_r}{h_{pa} \text{ . } \frac{Z}{n_l} \text{ . } v_p} = \frac{1,75}{0,11 \text{ . } 12 \text{ . } 12,8} = 0,103\ \text{Wb/m}^2$$

e le amperspire di commutazione per polo ausiliario:

$$\text{Asp}_{comm}/\text{polo aus} = 8000 \text{ . } 0,103 \text{ . } 0,25 = 206 \text{ Asp}$$

Amperspire totali:

$$\text{Asp/polo aus} = \frac{11 \text{ . } 450}{2 \text{ . } 4} + 206 = 619 + 206 = 825$$

Quindi si otterrebbero 75 spire per ogni polo ausiliario, ossia un valore praticamente coincidente con quello ottenuto mediante la formula approssimata.

Ammessa una densità di corrente di 2,25 A/mm² si avrà:

$$S_{cpa} = \frac{11}{2,25} = 4,9\ \text{mm}^2$$

Si adotterà quindi il filo tondo di 2,5 mm di diametro.

$$L_{spmpa} = 2\ (0,01 + 0,09) + 0,07 = 0,27\ \text{m}$$

Peso del rame dei poli ausiliari (v. tabelle a fine volume):

$$\text{Peso} = 0,27 \text{ . } 75 \text{ . } 4 \text{ . } 0,04434 = 3,591\ \text{kg} = \sim 3,6\ \text{kg}$$

e la resistenza dell'avvolgimento a 75° C:

$$R_{75°} = 0,021 \frac{75 \text{ . } 4 \text{ . } 0,27}{4,9} = 0,35\ \Omega$$

Quindi la caduta di tensione nell'avvolgimento dei poli ausiliari risulta:

$$\Delta V_{aus} = I \text{ . } R_{aus} = 11 \text{ . } 0,35 = 3.85\ V$$

I conteggi relativi ai poli principali ed a quelli ausiliari sono raccolti nella tabella seguente:

Denominazione	Poli principali	Poli ausiliari
Amperspire per ogni polo	765	825
Filo nudo { diametro - mm	0,45	2,5
Filo nudo { sezione - mm²	0,159	4,9
Collegamento	serie	serie
Spire per polo	2405	75
Lunghezza spira media in m	0,486	0,27
Peso in kg	7	3,6
Resistenza a 75° C in Ω	620	0,35
Corrente a pieno carico in A	0,318	11
Densità di corrente - A/mm²	2	2,25
Volt campo a pieno carico	197	—

Caduta di tensione totale:

$$\Delta V_t = \Delta V_i + \Delta V_{aus} + \Delta V_{spazzole} = 14,52 + 3,85 + 2 = 20,37\ V$$

Valore della *f c e m*:

$$E = V - \Delta V_t = 220 - 20,37 = \sim 200\ V \text{ (come previsto)}$$

Rendimento

Perdite nel ferro:

Volume { corona $= 3,14 \text{ . } \frac{1,42}{2} \cdot \frac{0,42}{2} \text{ . } 1,26 = 0,59\ \text{dm}^3$

Volume { denti $= \left[\left(3,14 \text{ . } \frac{2,28}{2} \cdot \frac{0,44}{2}\right) - (25 \text{ . } 0,22 \text{ . } 0,061)\right] \text{ . } 1,26 = 0,57\ \text{dm}^3$

Peso { corona $= 0,59 \text{ . } 7,8 = 4,6$ kg

Peso { denti $= 0,57 \text{ . } 7,8 = 4,45$ kg

La frequenza del ciclo di magnetizzazione e la cifra di perdita risultano:

$$f_{comm} = \frac{2.1800}{60} = 60 \text{ p/s}$$

$$P_{60} = P_{50}\ (0{,}66 \,.\, 1{,}2 + 0{,}34 \,.\, 1{,}44) = 1{,}28 = \sim 1{,}3\ P_{50}$$

Essendo:

$$B_{cor} = 0{,}7 \text{ Wb/m}^2 \quad \text{e} \quad B_d = 1{,}08 \text{ Wb/m}^2$$

si ha:

$$\text{Potenza teorica perduta} \begin{cases} \text{corona} = 2{,}6 \times 4{,}6 = 12 \text{ W} \\ \text{denti} = 5{,}2 \,.\, 4{,}45 = 23 \text{ W} \end{cases}$$

Perdita effettiva nel ferro:

$$P_{ferro} = 1{,}8\ (12 + 23) = 63 \text{ W}$$

Perdite avvolgimento indotto e poli ausiliari:

$$P_j = I^2 \,.\, R_t = 121 \,.\, 1{,}67 = 202 \text{ W}$$

Perdite commutazione:

$$P_{comm} = \Delta V \,.\, I = 2 \,.\, 11 = 22 \text{ W}$$

Perdite eccitazione in derivazione:

$$P_{eccd} = 220 \,.\, 0{,}318 = \sim 70 \text{ W}$$

Perdite per attrito dei cuscinetti:

$$P_{cusc} = K_{cusc} \,.\, 1{,}36 \,.\, P_r \,.\, \sqrt{N} = 0{,}58 \,.\, 1{,}36 \,.\, 1{,}84 \,.\, \sqrt{1800} = \sim 61{,}5 \text{ W}$$

Perdite per attrito spazzole:

$$P_{spazz} = 0{,}25 \,.\, 10{,}4 \,.\, 12{,}8 = 33 \text{ W}$$

Perdite addizionali:

$$P_{add} = \frac{0{,}5 \,.\, 1840}{100} = \sim 9{,}5 \text{ W}$$

Quindi la perdita totale risulta:

$$P_t = 63 + 202 + 22 + 70 + 61{,}5 \times 33 + 9{,}5 = 461 \text{ W}$$

Il rendimento sarà di conseguenza:

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_p} = \frac{1{,}84}{1{,}84 + 0{,}461} = \sim 0{,}8$$

I conteggi precedenti sono riassunti nella seguente tabella:

Perdite	Pieno carico	3/4	1/2	1/4
Perdite { avvolgimento indotto . . W avvolgimento poli aus. . . W	202			
» avvolgimento derivazione . . »	70			
» commutazione . . . . . »	22			
» ferro . . . . . »	63			
Attrito spazzole . . . . . »	33			
» cuscinetti . . . . . »	61,5			
Perdite addizionali . . . . . »	9,5			
Perdite totali . . . . . »	461			
Potenza resa . . . . . »	1840			
» assorbita . . . . . »	2301			
η% calcolato	80 %			

3) Dati di targa e dimensioni principali

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1300 giri/min - Potenza nominale 4 kW - Servizio intermittente - Tensione ai morsetti 65 V - Corrente alla potenza nominale 61,5 - Eccitazione in derivazione.

Diametro esterno indotto . . . . $\varnothing_e = 230$ mm
» interno » . . . . $\varnothing_i = 98$ »
Lunghezza pacco lamiere . . . . { $L_g = 87$ » ; $L_a = 78$ »
Diametro interno giogo . . . . $\varnothing_{gi} = 355$ »
Sezione giogo . . . . . $S_z = 52$ cm²
Polo principale . . . . . { $b_p = 66$ mm ; $h_p = 87$ » ; $b_{ep} = 126$ » ; $l_p = 60{,}5$ »
Traferro polo principale . . . . $\delta = 2$ »
Diametro collettore . . . . . $\varnothing_{co} = 129$ »
Superficie delle spazzole . . . . $S_s = 18$ cm²
Larghezza » » . . . . $b_{spazz} = 15$ mm
Dimensioni cave come nella fig. 194.

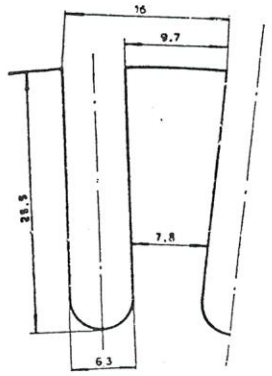


Fig. 194

Numero poli 4 - Numero cave 45 - Numero lamelle 89.

Dati sugli avvolgimenti

Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 356 (4 conduttori morti - totale 360) - Sezione $S_c = 6{,}16$ mm² - $\varnothing_{cn} = 2{,}8$ mm - $\varnothing_{ci} = 3{,}35$ mm - Fili vicini 2 - Fili sovrapposti 4 -

Passo avvolgimento $1 \div 12$ - Passo lamelle $1 \div 46$ - $L_{spm} = 0{,}62$ m - Peso rame = 6,300 kg - Afc = 152 - Aspi = 1012 - $\sigma = 5$ A/mm².

Asp P.O.P. principale 2420 - Spire 785 - $\varnothing_{cpn} = 1{,}4$ mm - Sezione = 1,539 mm² $L_{spmp} = 0{,}46$ m - Peso rame = 21 kg.

Modifiche

La macchina è stata riavvolta in base ai seguenti dati: velocità di rotazione 1420 giri/min - Potenza nominale 4,5 kW - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 150 V - Corrente alla potenza nominale 30 A - Eccitazione in derivazione.

Inoltre è stata prevista l'applicazione dei poli ausiliari: Dimensioni nucleo 12×78 mm - Lunghezza 59,5 mm - Traferro $\delta_1 = 3$ mm.

Flusso nel traferro

In base ad una induzione nel traferro $B_\delta = 0{,}6$ Wb/m² il flusso risulta:

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot b_{ep} \cdot h_p = 0{,}60 \cdot 0{,}126 \cdot 0{,}087 = 0{,}0066 \text{ Wb}$$

Numero conduttori dell'avvolgimento indotto, spire/zona, fasci/cava, Afc, sezione conduttore:

$$E = V + \frac{8 \cdot V}{100} + 2 = 164 \text{ V}$$

Adottando un avvolgimento ondulato semplice si avrà:

$$Z = \frac{a \cdot 60 \cdot E}{p \cdot N \cdot \Phi_\delta} = \frac{60 \times 164}{2 \cdot 1420 \cdot 0{,}0066} = 525$$

Il numero delle spire/zone risulta:

$$n_{spz} = \frac{525}{2 \cdot 89} = \sim 3$$

Si avranno quindi 540 conduttori (attivi 534) e 180 fasci complessivi.

Elementi o fasci per cava e fili/cava:

$$m = \frac{180}{45} = 4$$

$$\text{fili/cava} = \frac{540}{45} = 12 \text{ (multiplo di } m\text{)}$$

$$\text{Afc} = \frac{30 \cdot 534}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 23} = 111 \text{ (accettabile)}$$

Adottando una densità di corrente $\sigma = 5$ A/mm² la sezione del conduttore dell'avvolgimento indotto risulta:

$$S_c = \frac{I}{2a \cdot \sigma} = \frac{30}{2 \cdot 5} = 3 \text{ mm}^2$$

Si adotterà quindi la sezione di 3,14 mm² ($\varnothing_{cn} = 2$ mm, $\varnothing_{ci} = 2{,}30$ mm — 2 spirali cotone).

Passi dell'avvolgimento:

$$y = \frac{2n_l - 2}{p} = \frac{178 - 2}{2} = 88 \begin{cases} y_1 = 45 \\ y_2 = 43 \end{cases}$$

$$y_n = \frac{y_1 - 1}{m} = \frac{45 - 1}{4} = 11 \text{ (passo avvol. } 1 \div 12\text{)}$$

$$y_c = \frac{y}{2} = \frac{88}{2} = 44 \text{ (passo lamelle } 1 \div 45\text{)}$$

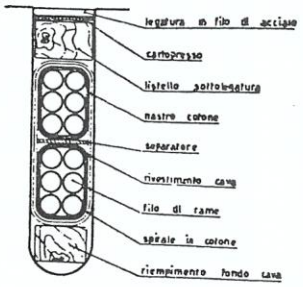


Fig. 195

La disposizione dei conduttori in cava sarà quella indicata nella fig. 195.

Riempimento cava:

Larghezza della cava

2 conduttori	$2 \times 2{,}30 = 4{,}60$ mm
Nastro cotone	$4 \times 0{,}14 = 0{,}56$ »
Rivestimento della cava (presspan) . . .	$2 \times 0{,}40 = 0{,}80$ »
Tolleranza di lavorazione	0,34 »
	6,30 mm

Profondità della cava

3 conduttori	$3 \times 2{,}30 = 6{,}90$ mm
Nastro cotone	$4 \times 0{,}14 = 0{,}56$ »
	7,46 ×
	2
	14,92 mm
Rivestimento della cava	$2 \times 0{,}40 = 0{,}80$ »
Diaframma o separatore fra le matasse . .	1,00 »
Listello sotto legatura	3,00 »
Legatura in filo d'acciaio	2,00 »
Riempimento fondo cava	3,15 »
Tolleranza di lavorazione	0,63 »
	25,50 mm

Spira media e peso dell'avvolgimento indotto:

$$\tau = \frac{\pi \varnothing_e}{2p} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}23}{4} = 0{,}18 \text{ m}$$

$$L_{spm} = 2\,(L_g + 1{,}4\,\tau) = 2\,(0{,}087 + 1{,}4 \cdot 0{,}18) = \sim 0{,}68 \text{ metri}$$

Peso = volume × peso specif. = $0{,}68 \times 270 \times 3{,}14 \times 0{,}0089 = \sim 5{,}200$ kg

Resistenza d'indotto e c. d. t.:

$$R_{75°} = \frac{\rho_{75°} \times L_{spin} \times \frac{Z}{2}}{S_c \times (2a)^2} = \frac{0{,}021 \times 0{,}68 \times 267}{3{,}14 \times 4} = \circ\!\!\circ\ 0.305\ \Omega$$

$$\Delta V_i = R_{75°} \cdot I = 0{,}305 \times 30 = 9{,}15\ V$$

Calcolo Asp poli principali

Lunghezze dei tronchi magnetici e flussi effettivi:

$$\begin{cases} l_p = 6{,}05\ \text{cm} \\ h = 2{,}55\ \text{»} \\ \delta = 0{,}2\ \text{»} \end{cases}$$

$$l_{cor} = \frac{\pi \varnothing_{bd}}{2 \cdot 2p} = \frac{3{,}14 \cdot 17{,}9}{2 \cdot 4} = 7{,}025\ \text{cm}$$

$$l_g = \frac{\pi \frac{\varnothing_{ge} + \varnothing_{gi}}{2}}{2.2p} = \frac{3{,}14 \frac{41{,}4 + 35{,}5}{2}}{8} = 15{,}11\ \text{cm}$$

In base al numero dei conduttori attivi il flusso reale nel traferro risulta:

$$\Phi_\delta = \frac{a.60.(V + \Delta V)}{p.N.Z} = \frac{60 \cdot 164}{2 \cdot 1420 \cdot 534} = 0{,}00649\ \text{Wb}$$

Sezioni e induzioni:

Corona

$$S_{cor} = \frac{(\varnothing_{bd} - \varnothing_i)\, L_a}{2} = \frac{(17{,}9 - 9{,}8)\ 7{,}8}{2} = 31{,}59\ \text{cm}^2 = 0{,}003159\ \text{m}^2$$

$$B_{cor} = \frac{\Phi_\delta}{2 \cdot S_{cor}} = \frac{0{,}00649}{2 \cdot 0{,}003159} = 1{,}02\ \text{Wb/m}^2$$

Denti

$$n_{dap} = \frac{b_{sp} + \delta}{\tau_z} = \frac{126 + 2}{16} = 8\ \text{denti}$$

e siccome lo spessore del dente a $\circ\!\!\circ\ 1/3$ dalla base ($z_{1/3}$) è di 7,8 mm la sezione dei denti risulterà:

$$S_d = n_{dap} \cdot L_a \cdot z_{1/3} = 8 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}78 = 48{,}67\ \text{cm}^2 = \circ\!\!\circ\ 0{,}00487\ \text{m}^2$$

$$B_d = \frac{\Phi_\delta}{S_d} = \frac{0{,}00649}{0{,}00487} = 1{,}33\ \text{Wb/m}^2$$

Traferro

$$K_\delta = \frac{9{,}7 + 20}{16 + 20} = 0{,}825$$

$$S_\delta = K_\delta \cdot S_{ep} = 0{,}825 \cdot 12{,}6 \cdot 8{,}7 = 91{,}15\ \text{cm}^2 = 0{,}0091\ \text{m}^2$$

$$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{S_\delta} = \frac{0{,}00649}{0{,}0091} = 0{,}71\ \text{Wb/m}^2$$

Polo

$$S_p = 7{,}8 \cdot 6{,}6 = 51{,}48\ \text{cm}^2 = \circ\!\!\circ\ 0{,}0051\ \text{m}^2$$

$$B_p = \frac{1{,}18 \cdot \Phi_\delta}{S_p} = \frac{0{,}00766}{0{,}0051} = 1{,}5\ \text{Wb/m}^2$$

Giogo

$$S_g = 52\ \text{cm} = 0{,}0052\ \text{m}^2$$

$$B_g = \frac{0{,}00766}{2 \cdot 0{,}0052} = 0{,}74\ \text{Wb/m}^2$$

Le amperspire d'indotto/polo sono:

$$\text{Aspi/polo} = \frac{30 \times 267}{2 \times 4} = 1001$$

$$15\%\ \text{Aspi} = \frac{15 \times 1001}{100} = 150$$

I conteggi relativi alle amperspire dei poli principali ed ausiliari sono raccolti nella tabella della pagina seguente.

Sezione conduttori e numero spire per ogni polo principale:

$$L_{spmp} = 2\ (b_p + h_p) + 0{,}15 = 2\ (0{,}066 + 0{,}087) + 0{,}15 = 0{,}46\ \text{m}$$

$$S_{ecc} = \frac{\rho_{75°} \cdot L_{spmp} \cdot \text{Asp P.O.P}}{V_b} = \frac{0{,}021 \cdot 0{,}46 \cdot 1610}{25} = 0{,}624\ \text{mm}^2$$

Si adotta il conduttore di 0,636 mm² con $\varnothing_{cpn} = 0{,}9$ mm (sezione commerciale più prossima). Per $\sigma = 2\ \text{A/mm}^2$ si avrà:

$$I_{eccd} = \sigma \cdot S_{ecc} = 2 \cdot 0{,}636 = 1{,}272\ \text{A}$$

$$\text{Spire/polo} = \frac{\text{Asp P.O.P.}}{I_{ecc}} = \frac{1610}{1{,}272} = 1266$$

Peso rame e resistenza a 75° C:

$$\text{Peso} = 0{,}46 \cdot 0{,}636 \cdot 1266 \cdot 4 \cdot 0{,}0089 = 13{,}200\ \text{kg}$$

$$R_{20°} = \frac{0{,}0175 \times 0{,}46 \times 1266 \times 4}{0{,}636} = 64{,}08\ \Omega$$

$$R_{75°} = 64{,}08 \times 1{,}22 = 78{,}18\ \Omega$$

Tensione campo a pieno carico:

$$\text{Volt campo p.c.} = 78{,}18 \cdot 1{,}272 = 99{,}445 \text{ V}$$

Caratteristica a vuoto

Le correnti di eccitazione risultano:

E		I_{ecc}
164 V	$\frac{\text{Asp}}{\text{spire}} = \frac{1460}{1266}$	$= 1{,}15$ A
130 »	» $= \frac{1034}{1266}$	$= 0{,}82$ »
105 »	» $= \frac{846}{1266}$	$= 0{,}67$ »
85 »	» $= \frac{675}{1266}$	$= 0{,}53$ »

Calcolo delle Asp dei poli ausiliari:

$$k_1 = \frac{25{,}5 - 5}{3 \times 6{,}3} = 1{,}08$$

$$k_2 = \frac{3{,}7}{6{,}3} = 0{,}587$$

$$k_3 = \frac{9{,}7}{16} = 0{,}606$$

$$K = 2{,}273$$

$$f_{comm} = \frac{3{,}14 \times 0{,}129 \times 23{,}67}{0{,}03} = 316$$

$$E_r = 2{,}27 \times 7{,}8 \left(\frac{534}{89}\right)^2 \times 2{,}47 \times 316 \times 15 \times 10^{-7} = 0{,}73 \text{ V}$$

Quindi

$$B_{\delta_1} = \frac{E_r}{h_{pa} \cdot \frac{Z}{n_l} \cdot v_p} = \frac{0{,}73}{0{,}078 \times 6 \times 14{,}44} = 0{,}108 \text{ Wb/m}^2$$

$$\text{Asp}_{comm}/\text{polo} = 8000 \times B_{\delta_1} \times \delta_1 \text{ (cm)} = 8000 \times 1{,}08 \times 0{,}3 = 259$$

Asp totali necessarie per ogni polo ausiliario:

$$\text{Asp/polo aus} = \text{Aspi} + \text{Asp}_{comm}/\text{polo} = \frac{30 \times 267}{8} + 259 = 1260$$

$$\text{Spire} = \frac{\text{Asp/polo aus.}}{I_{est}} = \frac{1260}{30} = 42$$

Parte del circuito magnetico	Sezione m^2	Lunghezza cm	Induzione Wb/m²	Asp/cm	Asp	Induzione Wb/m²	Asp/cm	Asp	Induzione Wb/m²	Asp/cm	Asp	Induzione Wb/m²	Asp/cm	Asp
$\Phi_\delta = \frac{60 \cdot 164}{2 \cdot 1420 \cdot 534} = 0{,}00649$ Wb						$= \frac{60 \times 130}{2 \cdot 1420 \cdot 534} = 0{,}00514$ Wb			$= \frac{60 \cdot 105}{2 \cdot 1420 \cdot 534} = 0{,}00416$ Wb			$= \frac{60 \cdot 85}{2 \cdot 1420 \cdot 534} = 0{,}00336$ Wb		
polo e giogo $\Phi_\delta = 1{,}18 \cdot 0{,}00649 = 0{,}00766$ Wb						$= 1{,}18 \cdot 0{,}00514 = 0{,}00607$ Wb			$= 1{,}18 \cdot 0{,}00416 = 0{,}00491$ Wb			$= 1{,}18 \cdot 0{,}00336 = 0{,}00396$ W		
Corona ind.	0,0063	7,025	1,02	5	35	0,81	35	25	0,66	2,7	19	0,53	2,2	15
Denti	0,00487	2,55	1,33	12	30	1,05	5,4	14	0,85	3,7	10	0,69	2,8	7
Traferro	0,0091	0,2	0,71	—	1136	0,56	—	896	0,46	—	736	0,37	—	592
Polo	0,0051	6,05	1,5	33,5	202	1,19	8,9	54	0,96	6,6	40	0,78	4,1	25
Giogo	0,0104	15,11	0,74	3,8	57	0,58	3	45	0,47	2,7	41	0,38	2,4	36
Asp . . 1460						Asp 1034			Asp 846			Asp 675		
15% Aspi 150														
Asp totali 1610														

Per $\sigma = 2{,}15$ A/mm² la sezione risulta:

$$S_{cpa} = \frac{I_{est}}{\sigma} = \frac{30}{2{,}15} = 13{,}95 \text{ mm}^2$$

Si adotteranno due fili in parallelo di 3 mm di diametro (sez. = 14,14 mm²).

La lunghezza della spira media del polo ausiliario sarà:

$$L_{spmpa} = 2\ (0{,}012 + 0{,}078) + 0{,}05 = 0{,}23 \text{ m}$$

ed il peso delle 4 bobine:

$$\text{Peso} = 0{,}23 \times 42 \times 4 \times 14{,}14 \times 0{,}0089 = 4{,}875 \text{ kg}$$

Resistenza dell'avvolgimento dei poli ausiliari a 75°:

$$R_{75°} = \frac{0{,}021 \times 0{,}23 \times 42 \times 4}{14{,}14} = 0{,}0573\ \Omega$$

$$\Delta V_{aus} = 0{,}0573 \times 30 = 1{,}72\ V$$

Controllo della c. d. t.:

$$\Delta V_t = R_i\, I + R_{aus}\, I + 2 = 9{,}15 + 1{,}72 + 2 = 12{,}87\ V$$

$$V = E - \Delta V_t = 164 - 12{,}87 = \sim 151\ V$$

I conteggi precedenti sono raccolti nella tabella seguente:

Denominazione	Derivazione	Poli ausiliari
Asp P.O.P.	1610	1260
Collegamento delle bobine	serie	serie
Sezione conduttore - mm²	0,636	14,14
Diametro conduttore - mm	0,9	2 fili//di 3 mm
Spire per polo	1266	42
Lunghezza spira media - m	0,46	0,23
Peso rame - kg	13,200	4,875
Resistenza a 75° - Ω	78,18	0,0573
Densità di corrente - A/mm²	2	2,15
Corrente a pieno carico - A	1,272	30
Volt campo a pieno carico - V . . .	∼ 100	—

Rendimento

a) *Perdite nel ferro:*

$$f_c = \frac{2 \times 1420}{60} = 47{,}33 \text{ p/s (frequenza del ciclo di magnetizzazione)}$$

Potenza perduta per kg nella corona = $3{,}5 \times 0{,}93 = 3{,}255$ W/kg
» » » nei denti = $5{,}8 \times 0{,}93 = \sim 5{,}4$ W/kg

Corona Indotto:
Volume $= 3{,}14 \left(\frac{1.79 - 0.98}{2}\right)\left(\frac{1{,}79 + 0{,}98}{2}\right) 0{,}78 = 1{,}38$ dm³
Peso $= 1{,}38 \times 7{,}8 = 10{,}8$ kg

Denti:
Volume $= 3{,}14 \cdot \frac{0{,}51}{2} \cdot \frac{4{,}09}{2} \cdot 0{,}78 - (0{,}255 \cdot 0{,}063 \cdot 0{,}78 \cdot 45) = 0{,}72$ dm³
Peso $= 0{,}72 \times 7{,}8 = 5{,}62$ kg

Perdita teorica:
$P_{corona} = 10{,}8 \times 3{,}255 = 35$ W
$P_{denti} = 5{,}62 \times 5{,}4 = 30$ W

Perdita effettiva nel ferro:

$$P_{ferro} = 1{,}8\ (35 + 30) = 117 \text{ W}$$

b) *Perdite per effetto joule:*

$$P_j = (R_i + R_{aus}) \cdot I^2 + V_{ecc} \cdot I_{ecc} = (0{,}305 + 0{,}0573) \cdot 30^2 + 150 \cdot 1{,}272 = 517 \text{ W}$$

c) *Perdite di commutazione:*

$$P_{comm} = 2 \times 30 = 60 \text{ W}$$

d) *Perdite per attrito spazzole:*

$$P_{as} = 0{,}2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}129 \cdot \frac{1420}{60} \cdot 18 = \sim 35 \text{ W}$$

e) *Perdite cuscinetti e ventilazione:*

$$P_{cusc} = K_{cusc} \cdot 1{,}36 \cdot P_r \sqrt{N} = 0{,}52 \cdot 1{,}36 \cdot 4{,}5 \sqrt{1420} = 120 \text{ W}$$

f) *Perdite addizionali:*

$$P_{add} = \frac{0{,}5 \cdot P_{resa}}{100} = \frac{0{,}5 \cdot 4500}{100} = 23 \text{ W}$$

Perdita totale a p.c.:

$$P_p \text{ totale} = 117 + 517 + 60 + 35 + 120 + 23 = 872 \text{ W}$$

Rendimento:

$$\eta = \frac{4500}{4500 + 872} \sim 0{,}84$$

I conteggi precedenti ripetuti per diversi carichi sono raccolti nella seguente tabella:

Denominazione		Pieno carico	3/4	1/2	1/4	1/8
Perdite per effetto joule	indotto e poli ausiliari . W	326	183	82	21	5
	derivazione . . . . »	191	191	191	191	191
Perdite commutazione . . . . . »		60	45	30	15	8
» ferro . . . . . »		117	117	117	117	117
» attrito	spazzole . . . »	35	35	35	35	35
	cuscinetti . . »	120	120	120	120	120
» addizionali . . . . . »		23	17	12	6	3
Totale perdite . . . . . »		872	708	587	505	479
Potenza resa . . . . . »		4500	3375	2250	1125	563
» assorbita . . . . . »		5372	4083	2837	1630	1042
η% calcolato		84%	82,4%	79,3%	69%	54%

4) Riavvolgimento di una dinamo con cambio delle caratteristiche

Dati di targa

Generatore di corrente continua - Velocità di rotazione 1300 giri/min - Potenza nominale 4 kW - Servizio intermittente - Tensione ai morsetti 65 V - Corrente alla potenza nominale 61,5 A - Eccitazione in derivazione.

Dati sugli avvolgimenti

Avvolgimento serie (2a = 2) - Z = 356 (4 conduttori morti - totale 360) - Sezione $S_c = 6{,}16$ mm² - $\varnothing_{cn} = 2{,}8$ mm - $\varnothing_{ci} = 3{,}35$ mm - Fili vicini 2 - Fili sovrapposti 4 - Passo avvolgimento 1 ÷ 12 - Passo lamelle 1 ÷ 46 - $L_{spm} = 0{,}62$ m - Peso rame = 6,300 kg - Afc = 152 - Aspi = 1012 - $\sigma = 5$ A/mm².

Spire/polo 785 - $L_{spmp} = 0{,}46$ m - Sezione $S_{cp} = 1{,}539$ mm² - $\varnothing_{cpn} = 1{,}4$ mm - $\varnothing_{cpi} = 1{,}7$ mm - Peso rame = 21 kg.

Modifiche

Tensione richiesta 125 V a parità di potenza e di tutte le altre condizioni.

Avvolgimento indotto

Numero conduttori:

$$Z_1 = Z\frac{V_1}{V} = 356\ \frac{125}{65} = 684 \text{ conduttori}$$

Spire/zona:

$$n_{cpz} = \frac{Z_1}{2n_l} = \frac{684}{2\ .\ 89} = 3{,}84$$

che si arrotonda a 4. L'avvolgimento verrà eseguito con un numero di conduttori attivi:

$$Z_1 = n_{spz}.2n_l = 4.2.89 = 712 \text{ (totale 720)}$$

Sezione conduttore:

$$S_{1c} = S_c\frac{V}{V_1} = 6{,}16\ \frac{65}{125} = 3{,}2 \text{ mm}^2$$

Quindi si adotterà la sezione di 3,14 mm² ($\varnothing_{cn} = 2$ mm - $\varnothing_{ci} = 2{,}30$ mm - 2 spirali cotone).

Avvolgimento induttore

Resistenza/bobina e corrente di eccitazione del vecchio avvolgimento:

$$\text{Lunghezza/bobina} = L_{spmp}.n_{spb} = 0{,}46.785 = 361{,}10 \text{ m}$$

$$R_b = \text{lunghezza/bobina}.\Omega/\text{m a } 75° = 361{,}10 \times 0{,}01386 = 5\ \Omega$$

$$I_{ecc} = \frac{V_b}{R_b} = \frac{0{,}85 \text{ V}}{2p\ .\ R_b} = \frac{0{,}85 \times 65}{4 \times 5} = \frac{55{,}25}{20} = 2{,}76 \text{ A}$$

Corrente di eccitazione, spire/bobina e sezione del nuovo avvolgimento:

$$I_{1ecc} = \frac{V\ .\ I_{ecc}}{V_1} = \frac{65 \times 2{,}76}{125} = 1{,}4352 \text{ A}$$

$$n_{1spb} = \frac{n_{spb}\ .\ I_{ecc}}{I_{1ecc}} = \frac{785 \times 2{,}76}{1{,}435} = \sim 1510$$

$$S_{1cp} = S_{cp}\frac{V}{V_1} = 1{,}539\ \frac{65}{125} = 0{,}80 \text{ mm}$$

Si può adottare il conduttore di 0,7854 mm² ($\varnothing_{1cn} = 1{,}0$ mm).

Il peso dell'avvolgimento indotto e quello dell'avvolgimento induttore rimangono praticamente invariati. Infatti:

$$\text{Peso rame indotto} = \frac{720}{2}\ .\ 0{,}62\ .\ 0{,}028966 = 6{,}465 \text{ kg}$$

$$\text{Peso rame induttore} = 4 \times 1510 \times 0{,}46 \times 0{,}0075 = 20{,}840 \text{ kg}$$

CAPITOLO OTTAVO

AVVOLGIMENTI STATORICI A CORRENTE ALTERNATA

Richiami e generalità

L'avvolgimento statorico è costituito da matasse di filo oppure da sbarrette di rame montate entro apposite cave, o canali, praticate in prossimità della superficie cilindrica interna del pacco lamiere statorico. Anche nelle macchine a corrente alternata occorre il concorso di molti conduttori collegati in serie per ottenere *f e m* dell'ordine di grandezza richiesto in pratica. Ma il valore della *f e m* risultante dipende, oltre che dal numero di conduttori riuniti in serie, dèlla fase delle *f e m* componenti. Infatti la *f e m* risultante in due conduttori collegati in serie è massima (doppia di quella di un conduttore) quando le *f e m* componenti sono in fase, cioè quando i due conduttori sono distanziati di un passo polare, corrispondente a 180° elettrici (*). Se le *f e m* componenti non sono in fase, la risultante è minore e lo è tanto più quanto maggiore è lo spostamento di fase, ossia lo spostamento angolare fra i due conduttori rispetto alla posizione di massimo. Evidentemente la risultante può assumere valori assai piccoli quando i due conduttori sono molto vicini, perchè le *f e m* componenti saranno allora quasi in opposizione.

Normalmente si adotta l'avvolgimento distribuito, con 2, 3, 4 cave per polo e per fase, perchè con l'avvolgimento concentrato in 1 sola cava per polo e per fase si avrebbe una scarsa utilizzazione della macchina.

Supposte sinusoidali le *f e m* componenti, *la risultante delle f e m indotte nei conduttori disposti in q cave successive* (per gli avvolgimenti trifasi q = cave per polo e per fase, mentre per i mo-

(*) Vedremo in seguito le ragioni per cui si ricorre ad avvolgimenti con matasse di ampiezza minore del passo polare (avvolgimenti a passo raccorciato).

nofasi q = cave per polo occupate dall'avvolgimento di lavoro) è *equivalente al lato di chiusa di una poligonale regolare di q lati* (*), *ciascuno dei quali rappresenta la somma aritmetica delle f e m indotte nei conduttori di ogni cava.*

Indicando con α la distanza in gradi elettrici tra due cave consecutive (figg. 196 e 197), il rapporto:

$$K_a = \frac{\operatorname{sen} \frac{q \cdot \alpha}{2}}{q \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}}$$

si chiama, come è noto, **fattore d'avvolgimento** (**) e rappresenta il coefficiente di riduzione della *f e m* risultante rispetto ad un avvolgimento con eguale numero di conduttori attivi per polo concentrati in una cava anzichè distribuiti in *q* cave.

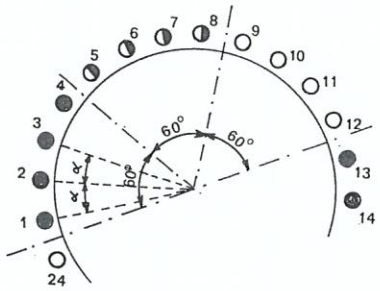


Fig. 196

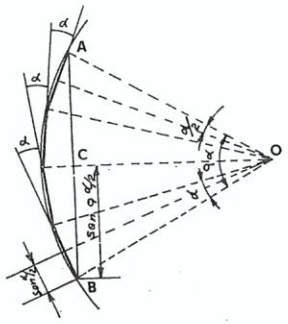


Fig. 197

Ricordiamo infine che l'avvolgimento usato di solito è quello *aperto* ad *uno* od a *due strati* (1 oppure 2 matasse/cava). L'avvolgimento può essere *monofase*, *bifase* e *trifase*. Quest'ultimo è il più diffuso e può considerarsi risultante dalla sovrapposizione di tre circuiti monofasi spostati fra loro di 120° elettrici.

(*) La poligonale è inscrivibile in una circonferenza con angoli al centro rispettivamente eguale al α per ciascun vettore componente ed a $q.\alpha$ per il vettore risultante AB (v. figg. 196 e 197).

(**) In effetti, come si vedrà nel capitolo che segue, si tratta del *fattore di distribuzione o ripartizione*, che negli avvolgimenti a passo intero, ossia con ampiezza delle matasse di 180° elettrici, coincide col fattore di avvolgimento.

Avvolgimenti monofasi

Negli schemi per effettuare le connessioni dei conduttori (fasci) si divide la periferia del pacco lamiere statorico o il suo sviluppo su di un piano in tanti settori quanti sono i poli. A seconda del modo come si effettuano le connessioni dei conduttori (*), appartenenti a poli di diversa polarità, si hanno tre sistemi di avvolgimento:

1) **a spirale o concentrico;**
2) **embricato o a spirali embricate;**
3) **ondulato.**

I tre sistemi di avvolgimento vengono distinti in due tipi:

a) **a poli omonimi o di tipo A;**
b) **a poli alternati o di tipo B.**

Un avvolgimento si dice di tipo *A* quando il numero dei gruppi di matasse (**) è eguale al numero delle coppie polari, cioè quando tutti i conduttori di un settore si collegano con quelli di un settore adiacente; si dice di tipo *B* quando il numero dei gruppi di matasse è eguale al numero dei poli, cioè quando i conduttori di un settore si collegano per metà con i conduttori del settore adiacente di destra e per l'altra metà con i conduttori del settore adiacente di sinistra.

Negli *avvolgimenti concentrici ed embricati del tipo A* (***) si collegano in serie tutti i conduttori di un settore (corrispondenti ad un polo) con i conduttori di un settore adiacente, però mentre nell'embricato si collega il 1° conduttore di un gruppo col 1° dell'altro (****), il 2° del primo col 2° del secondo gruppo e così via, come è indicato nella fig. 198, nell'avvolgimento concentrico si collegano il 1° conduttore e l'ultimo, il 2° ed il penultimo e così via, secondo la fig. 199.

I due sistemi di avvolgimento sono elettricamente equivalenti; essi differiscono solo nella forma delle connessioni frontali tra i conduttori attivi.

(*) Naturalmente i conduttori vanno collegati in modo che le loro forze elettromotrici risultino tutte concordanti.

(**) Negli schemi che seguono si è supposto che ogni fascio o lato di matassa comprenda un solo conduttore.

(***) L'avvolgimento si chiama a *poli omonimi* perchè, se si facesse percorrere idealmente da una corrente continua, si produrrebbero tanti poli dello stesso nome quanti sono i gruppi di matasse.

(****) I due fasci con le connessioni frontali costituiscono una matassa.

Nelle figg. 198 e 199 i due gruppi di matasse (due coppie di poli) sono collegati in serie, ma potrebbero collegarsi in parallelo (v. « *Sistemi di collegamento* »).

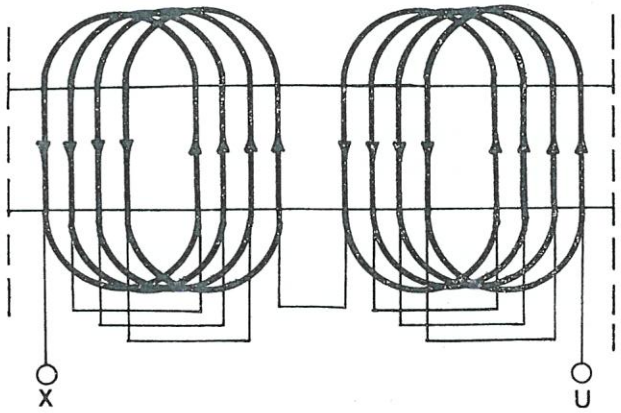


Fig. 198

Negli *avvolgimenti embricati e concentrici del tipo B* i conduttori di un settore si collegano ad embrice (figg. 200 e 201) o a spirale (fig. 202) per metà con i conduttori del polo che precede e per metà con i conduttori del polo che segue. I diversi gruppi si collegano poi in serie o in parallelo oppure in serie-parallelo.

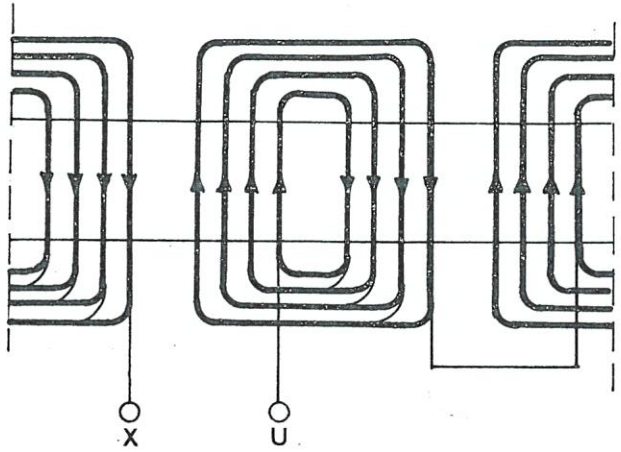


Fig. 199

Le figg. 203 e 204 mostrano ancora gli avvolgimenti embricati di tipo B, delle figg. 200 e 201, rappresentati con lo schema circolare.

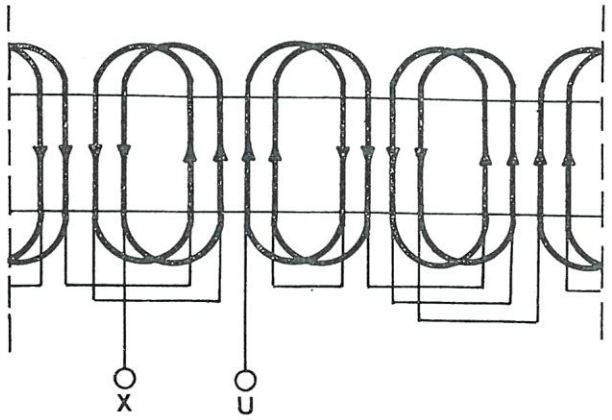


Fig. 200

I due tipi di avvolgimento *A* e *B* sono elettricamente equivalenti, essendo il senso delle correnti (*) eguale nei due casi. Dal

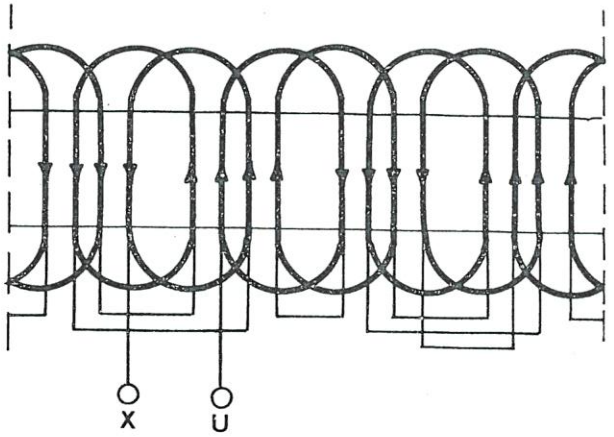


Fig. 201

senso delle correnti si rileva che negli avvolgimenti a poli alternati i gruppi di matasse sono percorsi alternativamente da correnti di

(*) Anche negli avvolgimenti a corrente alternata per un determinato istante si può parlare di senso delle correnti come in quelli a corrente continua.

senso opposto (polarità nord e sud consecutive), mentre negli avvolgimenti a poli omonimi il senso delle correnti è lo stesso in tutti i gruppi di matasse.

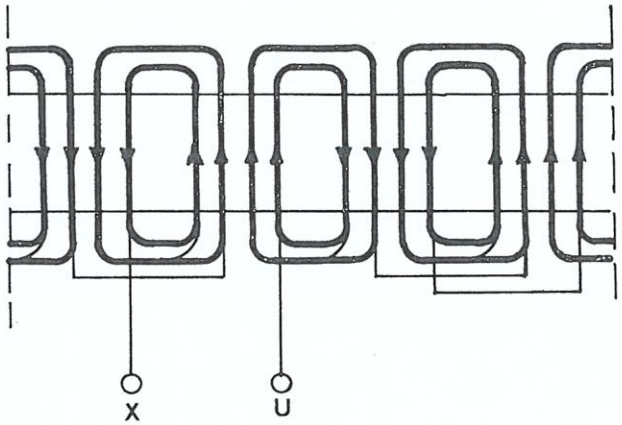


Fig. 202

Dagli schemi risulta che nell'avvolgimento a spirali embricate tutte le matasse hanno lo stesso passo o distanza angolare tra i lati

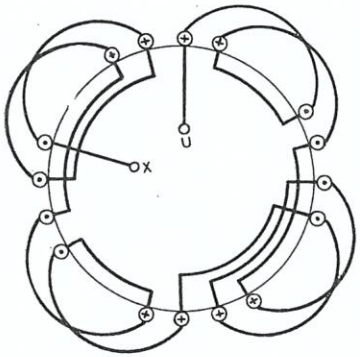


Fig. 203

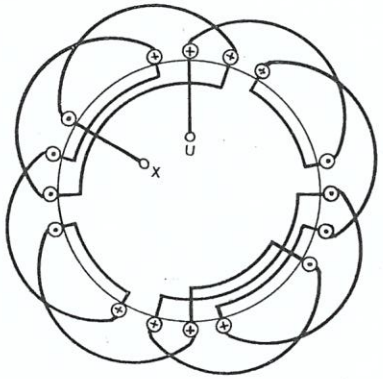


Fig. 204

attivi, mentre nell'avvolgimento concentrico ogni gruppo di matasse, per polo o coppia di poli, risulta costituito da matasse con passi di diverso valore.

Quando il numero delle cave per polo è dispari, l'avvolgimento di tipo *B* risulta costituito da gruppi composti alternativamente da un diverso numero di matasse (fig. 205).

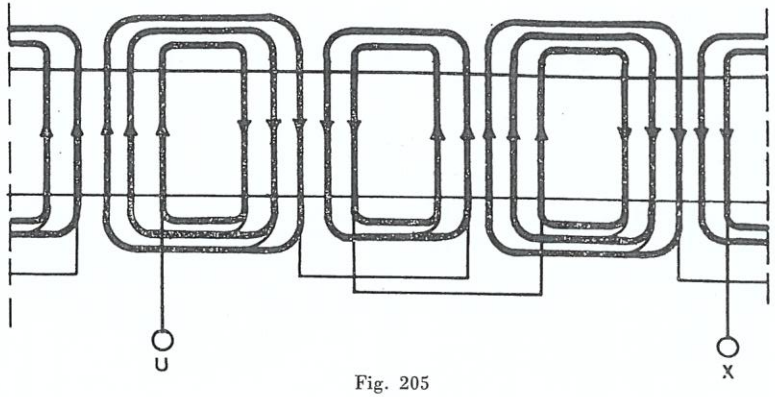


Fig. 205

Negli avvolgimenti ad uno strato si possono realizzare, anche in questo caso, gruppi di matasse di eguale numero di elementi, dividendo opportunamente per metà i conduttori di alcune cave,

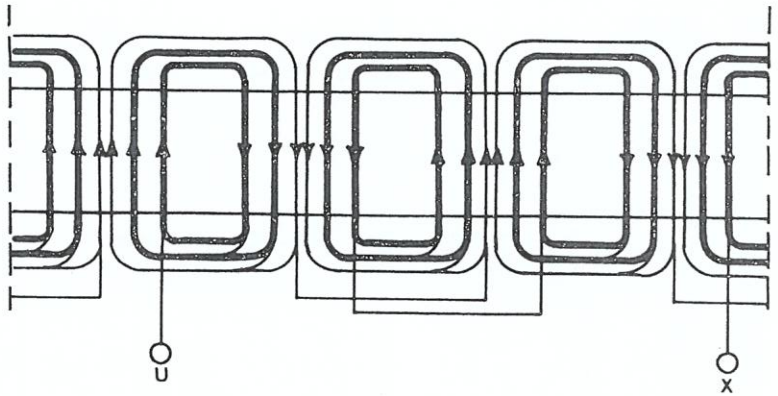


Fig. 206

in modo da avere, ad intervalli eguali, delle cave a doppio strato, ma con matasse costituite da un numero di spire metà delle altre (fig. 206).

Nelle figg. 207 e 208 sono rappresentati con lo schema circolare o frontale i due avvolgimenti concentrici a poli alternati delle figg. 202 e 206.

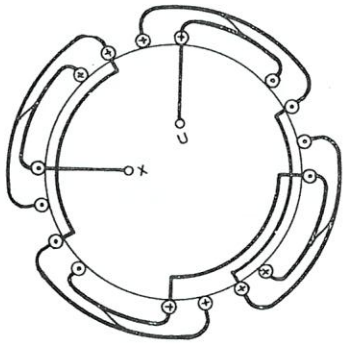


Fig. 207

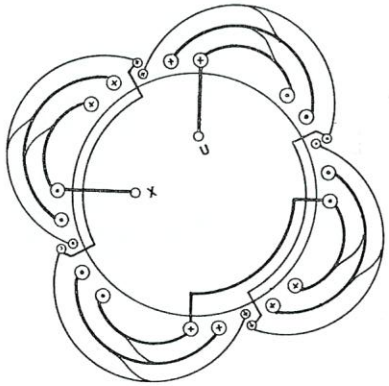


Fig. 208

Nell'*avvolgimento ondulato normale* o *di tipo A* si collega il 1° conduttore di un settore col 1° del settore adiacente, questo col 1°

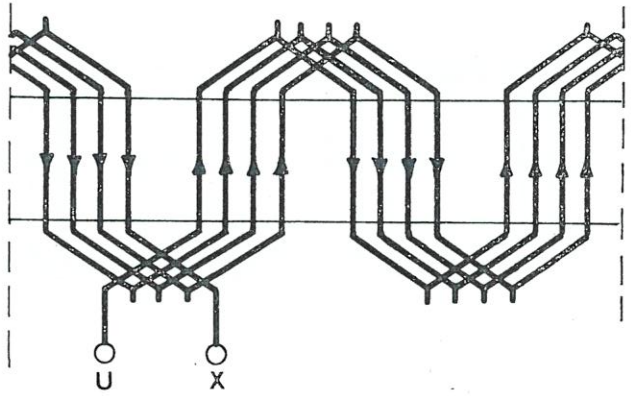


Fig. 209

del 3° settore e così di seguito; il 1° conduttore dell'ultimo settore (precedente quello di partenza) si collega col 2° conduttore del settore di partenza e così via, facendo il giro dell'armatura tante volte quante sono le cave di ogni settore (fig. 209).

Questo avvolgimento è analogo all'ondulato serie degli indotti a corrente continua.

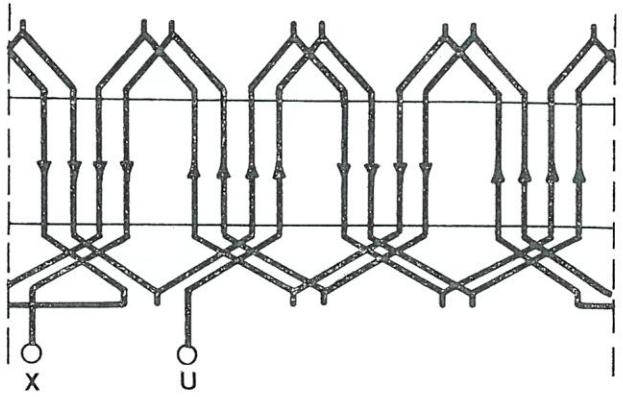


Fig. 210

Nell'*avvolgimento ondulato a regressione* o del *tipo B* si procede come per il tipo *A* fino a collegare fra loro metà dei conduttori, quindi si procede al collegamento dell'altra metà con lo stesso si-

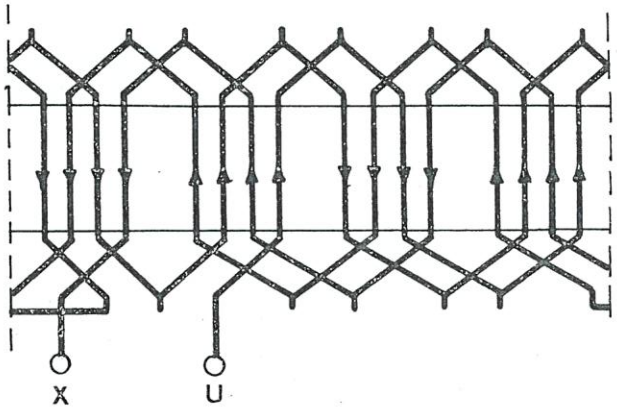


Fig. 211

stema, ma in senso inverso (figg. 210, 211 e 212). Il conduttore, di solito a sbarra, che serve per il collegamento delle due metà dell'avvolgimento si chiama *connessione di regressione*.

Gli ondulati sono usati per avvolgimenti a sbarre; ogni lato attivo è costituito da una sola sbarra o da più piattine in parallelo.

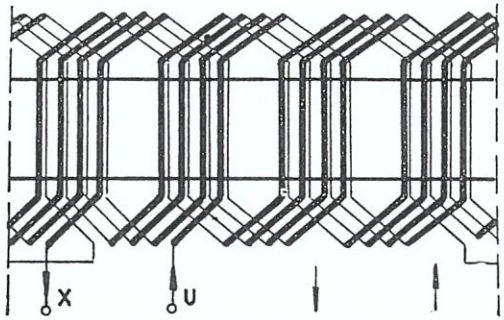


Fig. 212

Sistemi di collegamento

Abbiamo detto incidentalmente che i vari gruppi di matasse si possono collegare:

a) **in serie;**
b) **in parallelo;**
c) **in serie - parallelo.**

Il tipo di collegamento, a parità di tutti gli altri elementi dell'avvolgimento, dipende dal valore della tensione da prodursi con i generatori oppure della tensione da applicare ai motori.

Collegamento serie. — Tutti i gruppi di matasse (*) vengono collegati in serie e quindi percorsi da tutta la corrente della macchina. Negli avvolgimenti a poli omonimi si collega il capo finale del primo gruppo con quello iniziale del successivo e così di seguito (si considera come capo finale quello che segue l'altro capo nel senso della numerazione delle cave); negli avvolgimenti a poli alternati si collega il capo finale del primo gruppo di matasse con quello finale del secondo, il capo iniziale di quest'ultimo con l'iniziale del terzo gruppo di matasse e così di seguito.

Le figg. 198 ÷ 208 mostrano chiaramente il sistema di collegamento in serie (la numerazione si suppone da sinistra a destra) per avvolgimenti del tipo *A* e del tipo *B*.

(*) Le matasse di ogni gruppo vanno collegate sempre in serie fra loro.

Collegamento parallelo. — Il numero dei paralleli è di solito eguale al numero delle coppie polari (*); il senso delle correnti nei diversi gruppi di matasse deve risultare lo stesso che nel collegamento in serie.

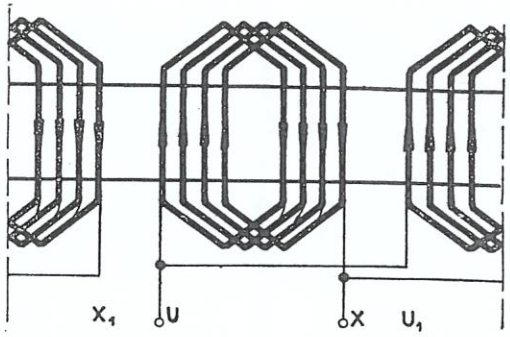


Fig. 213

Negli avvolgimenti a poli omonimi si collegano fra loro tutti i capi iniziali dei diversi gruppi di matasse ed eguale connessione si pratica per i capi finali (figg. 213 e 214); negli avvolgimenti a

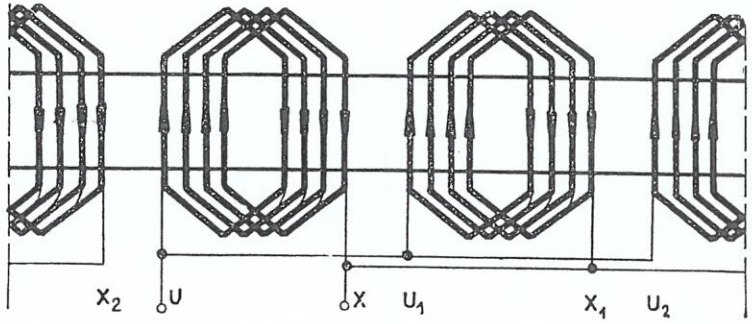


Fig. 214

poli alternati si collegano in serie a due a due gruppi successivi di matasse e poi ogni coppia di gruppi si collega in parallelo come nel caso precedente (fig. 215). Questo sistema di collegamento viene detto

(*) Negli avvolgimenti a poli alternati il numero dei paralleli può essere eguale al numero dei poli, però l'esigenza di questo collegamento parallelo si presenta ben di rado.

parallelo esterno per distinguerlo dal *parallelo interno* che si realizza confezionando le matasse con due o tre conduttori (anche di diversa sezione), di solito in filo tondo, anzi che con uno solo.

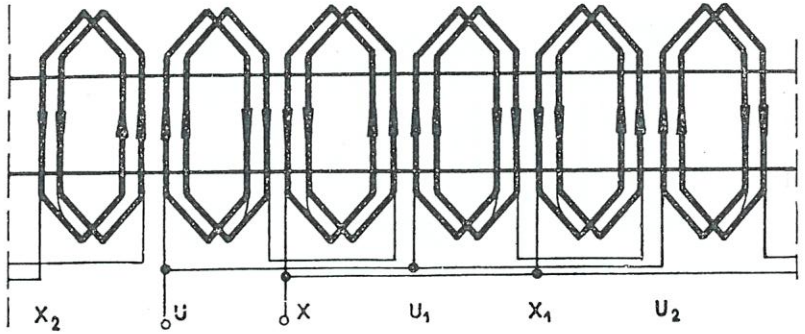


Fig. 215

Per poter effettuare il collegamento in parallelo (esterno) è necessario evidentemente che tutti i gruppi di matasse siano rigorosamente identici (*), cioè abbiano lo stesso numero di spire.

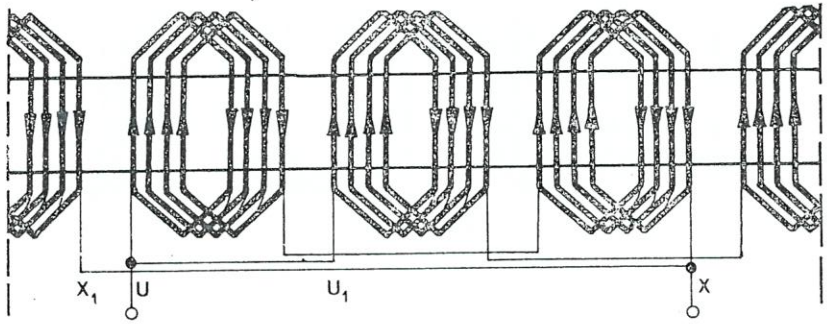


Fig. 216

Collegamento serie-parallelo. — Il numero dei paralleli si fa di norma eguale a 2 (figg. 216 e 217), ma con numero di coppie polari pari si usa pure un numero di paralleli metà di quello del collegamento parallelo, ossia eguale a metà del numero delle coppie polari. Il senso delle correnti però deve risultare ancora identico a quello del collegamento in serie. Sovente negli avvolgimenti a poli alternati si

(*) Ciò è indispensabile infatti affinchè le correnti nei vari gruppi di matasse in parallelo, e quindi anche i flussi dei poli, risultino tutte eguali.

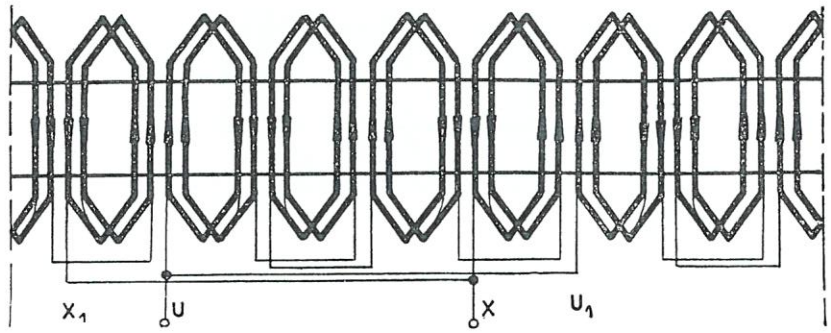


Fig. 217

preferisce collegare in serie gruppi di matasse di eguale polarità, ossia si collegano in serie tutti i gruppi di matasse che distano l'uno dall'altro di 360° elettrici (fig. 218), anzichè gruppi di matasse adiacenti come nella fig. 217. In tal modo il flusso dei poli dello stesso nome non viene influenzato da eventuali piccole diversità nella correnti dei gruppi in parallelo.

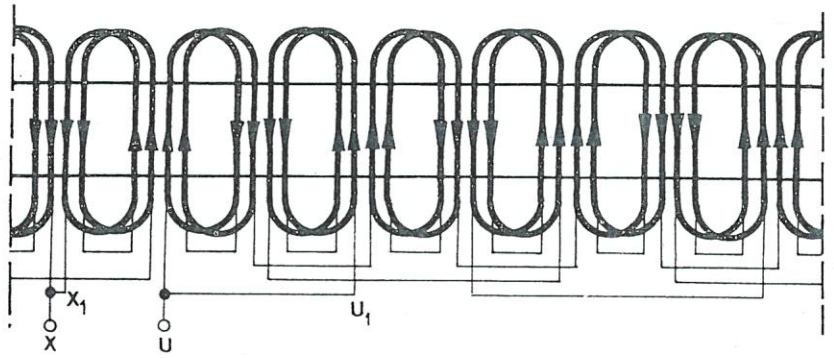


Fig. 218

Il collegamento serie-parallelo di gruppi di matasse di ciascuna fase e più ancora il collegamento parallelo consentono di poter adottare il filo tondo anche per macchine di una certa potenza.

Avvolgimenti trifasi

Fra gli avvolgimenti polifasi il più diffuso è l'avvolgimento trifase, che risulta costituito, come s'è detto, da tre avvolgimenti monofasi reciprocamente spostati di 120° elettrici; l'avvolgimento bifase si usa raramente.

L'avvolgimento trifase può effettuarsi direttamente con lo stesso criterio esposto per il monofase, assegnando a ciascuna fase 1/3 delle cave per ogni polo; *il numero di cave per polo e per fase* q evidentemente è:

$$q = \frac{n_c}{3.2p}$$

Il numero delle cave per polo-fase può essere intero o frazionario.

I conduttori di ogni fase vengono collegati fra loro con uno dei sistemi esposti per gli avvolgimenti monofasi, in modo da avere i capi iniziali e terminali dei tre avvolgimenti monofasi.

La distanza tra i capi iniziali delle tre fasi, e di conseguenza anche quella tra i capi terminali, dev'essere di 120° elettrici. Talvolta detta distanza si fa di 120° + 360° oppure di 120° + 2 . 360° elettrici ed in generale di 120° + K . 360° (K = numero intero).

Il collegamento tra i capi delle fasi può effettuarsi: *a stella*, *a triangolo*, *a doppia stella* ed *a doppio triangolo*; le connessioni possono farsi interne od esterne.

Il collegamento a stella si realizza, come è noto, riunendo i tre capi finali (oppure i tre capi iniziali), mentre gli altri tre vanno connessi alla linea; per il collegamento a triangolo si unisce la fine della 1ª fase (*X*) al capo iniziale della IIª (*V*), il capo finale della IIª (*Y*) a quello iniziale della IIIª (*W*) ed il capo finale della IIIª (*Z*) a quello iniziale della Iª (*U*). I tre nodi vanno connessi alla linea.

Per il collegamento a doppia stella ed a doppio triangolo ogni circuito di fase viene suddiviso in due metà perfettamente eguali e simmetriche, le quali sono collegate sempre in parallelo; le tre fasi vanno poi collegate fra loro a stella oppure a triangolo (v. figure 248 e 250).

Avvolgimenti trifasi a matasse

Questi avvolgimenti possono eseguirsi sia del *tipo a spirale o concentrico*, detto pure a *matasse disuguali*, sia del *tipo a spirali embricate ossia a matasse eguali*. L'avvolgimento a spirali embricate si esegue di norma a poli alternati (tipo **B**) e quello concentrico multipolare, ad 1 matassa/cava, a poli omonimi (tipo **A**).

1) *Avvolgimento concentrico.* — Le teste delle matasse risultano disposte in 2 oppure in 3 ordini. Nell'avvolgimento concentrico in due ordini le testate delle matasse assumono di solito le forme rappresentate nelle figg. 219, 220 e 221. Con riferimento alla lunghezza assiale le matasse vengono talvolta distinte in *matasse corte e lunghe*, ma sarebbe più proprio per i tipi delle figg. 220 e 221 chiamarle *matasse piegate e dritte*.

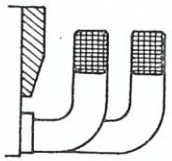


Fig. 219

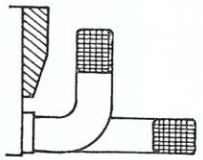


Fig. 220

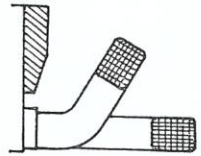


Fig. 221

Negli avvolgimenti trifasi a poli omonimi (tipo **A**) il numero dei gruppi di matasse è eguale a $3p$ (p = paia poli); quindi negli avvolgimenti concentrici in 2 ordini affinchè si abbia in ogni ordine un numero intero di gruppi di matasse è necessario che $3p/2$ sia un numero intero, ossia il numero totale dei gruppi di matasse $3p$ deve essere pari, in caso diverso si verifica la presenza della *matassa storta*, di una matassa cioè che, dovendo appartenere tanto al primo che al secondo ordine, avrà un lato corto ed uno lungo. La condizione per avere un numero eguale di matasse lunghe e corte è sempre soddisfatta quando è pari il numero p delle coppie polari (*).

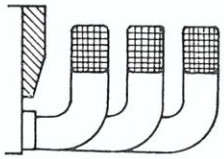


Fig. 222

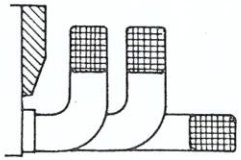


Fig. 223

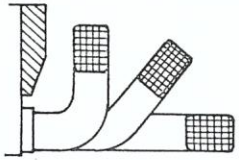


Fig. 224

(*) Infatti $3\frac{p}{2}$ sarà intero se p è un numero pari.

Gli avvolgimenti concentrici multipolari si eseguono quasi sempre con teste in 2 ordini, mentre per macchine bipolari si ottiene una migliore ripartizione delle teste di matasse con la disposizione in 3 ordini, ossia con matasse *lunghe*, *medie* e *corte*; le figure 222 - 223 e 224 mostrano le disposizioni più in uso delle testate delle matasse.

Oggi però, specialmente per i motori asincroni, si preferisce anche per le macchine bipolari l'avvolgimento a corona oppure l'avvolgimento concentrico a corona (v. cap. IX).

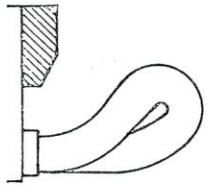


Fig. 225

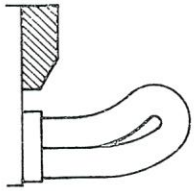


Fig. 226

L'avvolgimento concentrico in 3 ordini viene usato anche per macchine di grande potenza (con p pari) quando si voglia ottenere la divisibilità dello statore in due metà senza dovere smontare le matasse che si trovano a cavallo del piano di divisione, ma rimovendo solo poche connessioni.

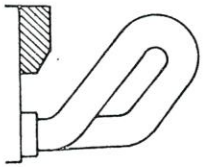


Fig. 227

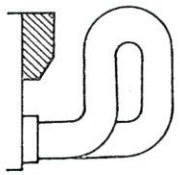


Fig. 228

La divisibilità delle macchine, normalmente secondo un piano orizzontale, può ottenersi anche con gli altri tipi di avvolgimento purchè i gruppi di matasse siano in numero eguale alle coppie polari e purchè p sia pari.

2) *Avvolgimento embricato.* — Le matasse sono dello stesso tipo in uso negli avvolgimenti indotti delle macchine a corrente continua, però la piegatura è diversa; esse presentano un lato lungo ed uno corto. Tutte le matasse sono identiche.

Nell'avvolgimento embricato ad uno strato la testata delle matasse si presenta come nella fig. 225 ed in quello a due strati come nella fig. 226. Talvolta le testate delle matasse vengono piegate contro i fianchi del pacco lamiere (figg. 227 e 228).

Particolarità costruttive degli avvolgimenti indotti delle macchine sincrone

Lo statore dei motori asincroni trifasi non differisce costruttivamente per nulla dall'armatura di un alternatore polifase (*) e le disposizioni costruttive degli avvolgimenti statorici di detti motori possono essere applicate senza alcuna variante sostanziale per l'indotto esterno fisso delle macchine sincrone. Pertanto, tenuto anche conto che l'opera del riavvolgitore è richiesta prevalentemente per riavvolgere motori asincroni, ci occuperemo nei capitoli seguenti esclusivamente degli avvolgimenti di questi ultimi, ma specifichiamo che tutte le considerazioni che verranno esposte al riguardo possono applicarsi agli avvolgimenti statorici delle macchine sincrone a bassa tensione. Pertanto qui ci limiteremo a brevi cenni su alcune particolarità costruttive che sono proprie dell'avvolgimento statorico delle macchine sincrone.

L'avvolgimento a sbarre viene adottato per intensità di corrente superiore a 600-1000 A. Quando la sezione delle sbarre risulta elevata (superiore a 300-400 mm^2) si adoperano conduttori formati da varie piattine in parallelo incrociate e cordate in modo che ognuna di esse passi, sulla lunghezza del conduttore, per tutti i punti della sezione della cava (fig. 229). Questo sistema si adotta per ridurre le perdite dovute alla disuniforme distribuzione della corrente nella sezione trasversale (effetto pellicolare) per limitare la formazione di correnti parassite in conseguenza del diverso effetto del flusso principale sui vari punti della sezione della sbarra.

Ogni piattina va isolata da quelle adiacenti con uno strato di carta. Questo sistema permette di realizzare una sbarra perfetta dal punto di vista elettrico e pratica dal punto di vista costruttivo. Alle estremità le piattine sono saldate e ricoperte da un sottile manicotto di rame. Le connessioni frontali vengono di solito realizzate con sbarre di rame massiccio piegate ad U, che assicurano una grande

(*) Una macchina sincrona trifase può essere trasformata in un motore asincrono cambiando solamente il rotore.

solidità all'avvolgimento. La Brown Boveri usa per l'isolamento delle sbarre dal ferro della cava una compressa di micanite, mentre per le testate usa tela micata o nastro nero.

Anche per le macchine sincrone, quando l'intensità della corrente è tale da non giustificare l'avvolgimento a sbarre, vale a dire nel caso più generale, vengono adoperati gli avvolgimenti a matasse

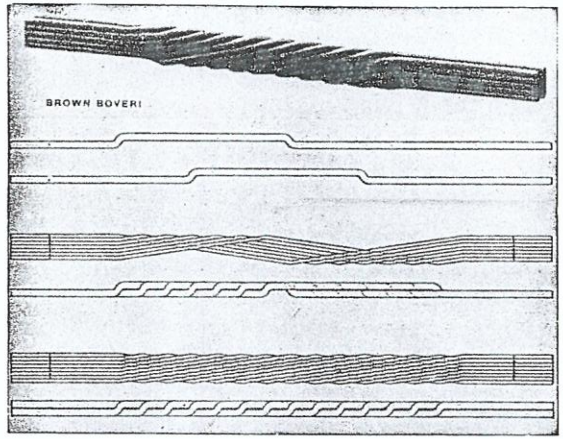


Fig. 229

che si possono distinguere a seconda del sistema di esecuzione nei seguenti tipi:

1) *avvolgimenti eseguiti a mano;*
2) *avvolgimenti preparati su sagoma ed aperti ad una estremità;*
3) *avvolgimenti preparati su sagoma e chiusi alle due estremità;*
4) *avvolgimenti preparati su sagoma per cave aperte.*

Per alternatori di piccola e media potenza, con tensione inferiore ai 3000 volt, l'avvolgimento può essere eseguito a mano. Le cave, semichiuse, vengono di solito rivestite con tubi di micanite nei quali s'introduce a mano l'avvolgimento costituito da fili di rame rotondi isolati ed impregnati (fig. 230). Normalmente i vari strati si tengono separati con sottili fogli di presspan, leatheroid, ecc. Le testate vanno isolate con nastro nero.

Per alternatori a cave semichiuse di grande potenza, con tensione oltre i 3000 volt, si adotta l'*avvolgimento preparato su sagoma e aperto ad una estremità*. La matassa è avvolta su sagoma, rivestita ed impregnata. Le parti rettilinee sono ricoperte, preferibilmente sotto pressione, con micanite, mentre la connessione frontale è ricoperta con nastro laccato. Le matasse vengono direttamente infilate nelle cave e poi piegate, saldate ed isolate.

Gli *avvolgimenti preparati su sagoma e chiusi alle due estremità* sono adatti anche per cave semichiuse, purchè l'apertura delle cave sia sufficiente a permettere il passaggio delle teste delle matasse. Questi avvolgimenti sono eseguiti intieramente su sagoma, comprese le connessioni frontali che sono piegate in senso contrario (fig. 231). Questo tipo di avvolgimento si usa per macchine a molti poli con tensioni fino a 8000 volt.

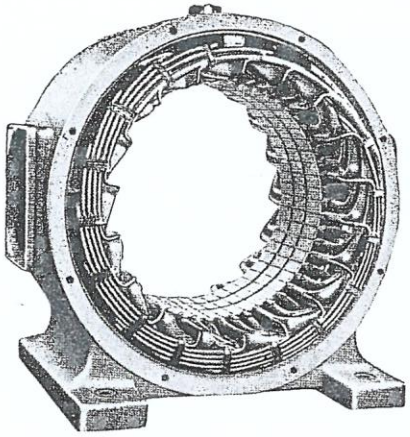


Fig. 230
Statore di un alternatore trifase di piccola potenza (Brown Boveri)

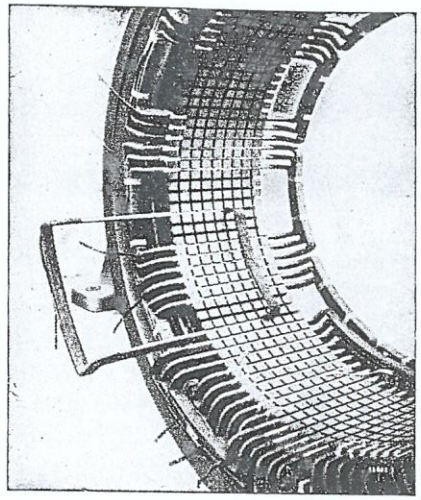


Fig. 231
Avvolgimento preparato su sagoma e infilato nelle cave (Brown Boveri)

Gli *avvolgimenti preparati su sagoma per cave aperte* vengono adoperati nelle macchine di elevata potenza e per tensioni fino a 20.000 volt.

Ciascun conduttore è avvolto in tutta la lunghezza con tessili oppure con tela micata (a seconda della classe d'isolamento richiesta). La preparazione delle matasse su sagoma dev'essere effettuata con molta cura, specialmente quando le matasse sono eseguite con piattina di rame nudo. Le matasse vengono essiccate e poi impregnate a caldo (preferibilmente in autoclave) con una miscela compound isolante fluida che riempie tutti gli interstizi fra i conduttori.

Infine si rivestono i tratti attivi con un cartoccio di micanite e le connessioni frontali con nastro laccato o con prodotti micati.

Dopo avere sottoposto le matasse all'azione di una pressa per dar loro la forma e le dimensioni prescritte, si procede a rigorose prove di isolamento e poscia al montaggio dell'avvolgimento. Le cave vengono chiuse con tasselli di legno duro (fig. 232).

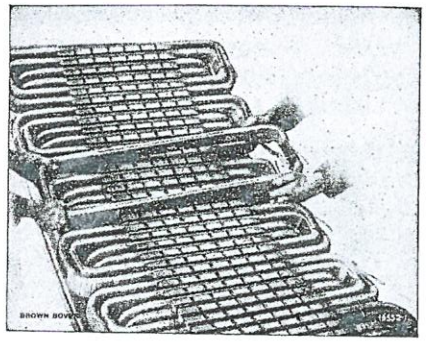


Fig. 232

Avvolgimento per cave aperte preparato su sagoma (Brown Boveri)

Le teste delle matasse vengono quasi sempre solidamente ancorate per assicurare loro una sufficiente resistenza contro gli effetti dei cortocircuiti, i quali danno luogo a sforzi enormi che sollecitano le parti dell'avvolgimento che non sono trattenute nelle cave (*). Il fissaggio delle testate, per le grosse macchine, si effettua con una serie di bulloni e di piastre di serraggio che legano le teste delle matasse fra loro e le ancorano allo statore per mezzo di tubi e di parti isolanti.

Consigliamo in linea di massima di rifare gli avvolgimenti delle macchine sincrone senza apportarvi la più piccola arbitraria variante e solo nel caso che sia richiesta la modifica della tensione o della frequenza, per macchine di piccola potenza a bassa tensione, si può variare il numero dei conduttori dell'avvolgimento indotto nello stesso rapporto delle tensioni o nel rapporto inverso delle frequenze (v. cap. XII « *Cambio della tensione* » e « *Cambio della frequenza* »).

Nel caso eccezionale di macchine di piccola potenza sprovviste di avvolgimenti, il calcolo del numero dei conduttori per fase dell'indotto può eseguirsi come per le macchine asincrone, purchè si consideri la tensione di marcia a vuoto per fase e si tenga conto che i valori dell'induzione nel traferro oscillano nelle moderne costruzioni fra 0,65 e 0,85 Wb/m^2 (i valori più bassi si adottano di solito per le piccole macchine e per le macchine veloci, i valori più alti per le grandi macchine lente). Comunque rimandiamo per ulteriori particolari a quanto verrà detto al riguardo nei capitoli seguenti.

(*) Gli sforzi meccanici sulle testate delle matasse sono proporzionali al quadrato della corrente che le percorre. La corrente istantanea di cortocircuito può raggiungere, ai morsetti dell'alternatore, un valore fino a 15 volte maggiore di quello della corrente normale.

Il calcolo delle amperspire di eccitazione di piccoli alternatori può essere condotto con lo stesso metodo esposto per le macchine a corrente continua. Note le amperspire per ogni polo e la tensione della eccitatrice (*), si determina la lunghezza della spira media e poscia la sezione del conduttore con la stessa formula usata per le dinamo in derivazione.

Il numero delle spire dipende dalla densità di corrente ammissibile. Nelle macchine ad induttore rotante tale densità varia da $3 \div 4$ A/mm^2 per bobine a più strati e si raggiungono i 5 A/mm^2 per bobine ad uno strato.

ESEMPIO COSTRUTTIVO

Dati di targa e dimensioni principali

Generatore sincrono - Velocità di rotazione 1500 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 30 kVA - Fattore di potenza alla potenza nominale 0,8 - Servizio continuo - Tensione ai morsetti 220 volt - Tensione di eccitazione 65 volt.

Diametro esterno lamiere statore	$\varnothing_e$	= 440 mm
» interno » »	$\varnothing_i$	= 328 »
Lunghezza pacco lamiere » (1 canale di ventilazione di 10 mm)	L_g	= 150 »
Dimensioni delle cave (semichiuse)	h	= 22,5 »
	b_c	= 14,5 »
Traferro (massimo/minimo)		3,7/2,5 »
Scarpa polare larghezza	b_{cp}	= 150 »
Scarpa polare lunghezza	l_{scp}	= 26 »
Polo larghezza	b_p	= 71 »
Polo altezza assiale	h_p	= 150 »
Polo lunghezza	l_p	= 70 »

Numero poli 4 - Numero cave 48.

Costruzione normale aperta con scudi supporto ed albero sporgente.

Dati sugli avvolgimenti

Statore. — Passo avvolgimento o passo cave 1 ÷ 11 - Spire/matassa 5 - Lunghezza spira media 1,36 m - Spire in serie per fase 40 - Conduttore formato da 2 fili in parallelo, $\varnothing_{cn}$ = 2,6 mm - Diametro conduttore isolato (filo cotone) $\varnothing_{ci}$ = 2,9 mm.

Rotore. — Spire/polo 348 ½ - Lunghezza spira media L_{spmp} = 0,585 m - Diametro conduttore $\varnothing_{cn}$ = 2,1 mm - Diametro conduttore isolato (filo cotone) $\varnothing_{ci}$ = 2,34 mm.

(*) La potenza della eccitatrice espressa in % della potenza dell'alternatore si può in media ritenere (macchine trifasi) da 5÷7% fino a 10 kVA e da 2÷4% per 100 kVA. I valori più alti valgono per macchine lente.

CAPITOLO NONO

AVVOLGIMENTI DEI MOTORI ASINCRONI E SCHEMI RELATIVI

Generalità

Gli avvolgimenti a matassa si usano normalmente per i motori di piccola potenza, ma vengono adottati pure per motori di grande potenza a tensione elevata. Gli avvolgimenti a sbarra si applicano nelle macchine di grande potenza a bassa tensione, cioè quando l'elevata intensità di corrente sconsiglia l'uso del filo tondo.

Si tenga presente, ripetiamo, che non si costruiscono grosse sbarre massicce, perchè si avrebbero eccessive perdite per correnti parassite. Gli avvolgimenti a sbarra per intensità elevate si realizzano di solito, come s'è detto, con piattine elementari, fra loro isolate, riunite in parallelo.

Negli avvolgimenti dei motori di piccola potenza il diametro del filo raramente supera i 3 mm; per le maggiori sezioni, cioè per basse tensioni e medie intensità (medie potenze), si preferisce di solito l'uso di due o più fili in parallelo (parallelo interno), invece della piattina, oppure il collegamento in parallelo (parallelo esterno) di gruppi di matasse di ciascuna fase (*).

Infine facciamo osservare che negli impianti di macchine utensili si è generalizzato il comando individuale con motori asincroni trifasi, naturalmente di piccola potenza; pertanto, dato che l'opera del riavvolgitore è richiesta prevalentemente per le piccole potenze, ci occuperemo più diffusamente degli avvolgimenti con matasse in filo.

Nella trattazione che segue ci riferiremo sempre agli avvolgimenti trifasi, salvo considerare a parte alcune particolarità dei motori asincroni monofasi.

(*) Talvolta si usa sia il parallelo interno che quello esterno.

Tipi di avvolgimenti statorici

Per gli avvolgimenti dei motori asincroni vale quanto è stato detto per gli avvolgimenti a corrente alternata nel capitolo precedente, cioè ritroviamo ovviamente i tre sistemi di avvolgimento:

1) *concentrico o a spirale;*
2) *embricato,* detto comunemente *a corona;*
3) *ondulato;*

nei due tipi già noti:

a) *a poli omonimi o tipo A;*
b) *a poli alternati o tipo B;*

Tanto i tipi a poli alternati che quelli a poli omonimi, a seconda dell'ampiezza delle matasse, cioè della distanza tra i lati attivi, vengono distinti in **avvolgimenti a passo intero** ed **avvolgimenti a passo raccorciato.**

L'avvolgimento concentrico si esegue normalmente in 2 ordini, ma si usa anche una disposizione delle testate analoga a quella degli avvolgimenti embricati o a corona (v. fig. 230). Chiameremo quest'ultimo sistema **avvolgimento concentrico a corona** (*). Evidentemente nell'avvolgimento a corona (spirali embricate) le matasse risultano tutte eguali, mentre nell'avvolgimento concentrico a corona ogni gruppo di matasse risulta composta da matasse di diversa grandezza, come nel concentrico in 2 ordini.

Attualmente il più diffuso è l'avvolgimento embricato a 2 matasse/cava, ma da qualche tempo alcune grandi fabbriche di motori adottano *l'avvolgimento concentrico a corona* a 2 matasse/cava, perchè, asseriscono, consente nella costruzione in serie una piccola economia di manodopera.

L'avvolgimento embricato, ossia a matasse eguali, viene usato sovente dai riavvolgitori in sostituzione dell'avvolgimento concentrico a strato unico, in quanto ritenuto di più rapida esecuzione.

Avvolgimenti a passo intero ed a passo raccorciato

Si è detto che gli avvolgimenti possono eseguirsi sia ad una matassa che a due matasse per cava. In quelli ad 1 matassa/cava

(*) La Marelli chiama questo tipo di avvolgimento *concentrico-embricato.*

i conduttori di ogni cava costituiscono un solo elemento e risultano diretti tutti nello stesso senso all'uscita dalla cava, mentre negli avvolgimenti a 2 matasse/cava i conduttori contenuti in ogni cava costituiscono due elementi distinti e risultano diretti, all'uscita dalla cava, per metà in un senso e per l'altra metà in senso contrario.

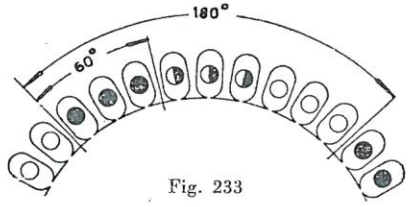


Fig. 233

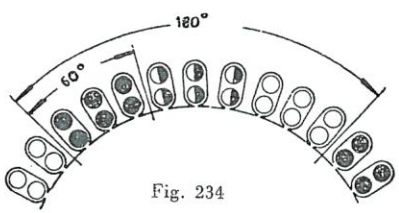


Fig. 234

Negli avvolgimenti a passo intero il passo alle cave y_c *è eguale al passo polare* τ, cioè:

$$y_c = \tau = \frac{n_c}{2p}$$

ed in quelli a passo raccorciato è sempre minore, ossia:

$$y_c < \frac{n_c}{2p}$$

Negli avvolgimenti a passo intero ogni fase occupa in modo continuo 1/3 del passo polare, cioè i fasci di ogni fase sono distri-

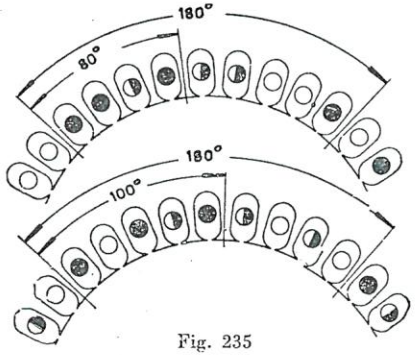


Fig. 235

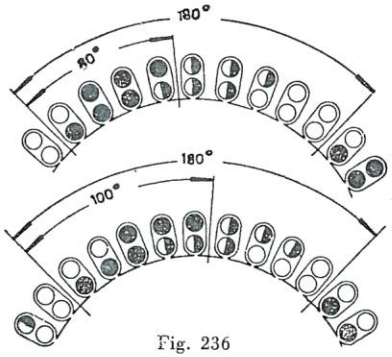


Fig. 236

buiti in modo uniforme lungo un settore di 60° elettrici (figg. 233 e 234); *negli avvolgimenti a passo raccorciato ogni fase occupa sempre un tratto maggiore di 1/3 del passo polare* (figg. 235 e 236).

Si tenga presente però che negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava il passo si può considerare intero anche quando y_c risulta un po'

diverso da τ, purchè *ogni fase occupi in modo continuo 1/3 del passo polare* (*).

Tanto gli avvolgimenti ad uno strato che quelli a due strati possono eseguirsi sia a passo intero che a passo raccorciato, ma di solito il passo raccorciato si usa per gli avvolgimenti a due strati. Negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava il raccorciamento del passo deve essere possibilmente evitato dato che esso dà luogo alla formazione di intensi campi armonici; in questi avvolgimenti gli elementi di una fase vengono a trovarsi intercalati, entro il passo polare, con elementi di altra fase (v. fig. 235).

Talvolta si usano degli avvolgimenti che potremmo chiamare misti, ossia ad 1 e 2 matasse/cava, che consentono soluzioni non realizzabili con quelli ad 1 matassa/cava (v. tavole CXXXIII, CLXII, ecc.).

Negli avvolgimenti a 2 matasse/cava gli elementi di ogni polo di ciascuna fase occupano in parte lo strato inferiore ed in parte quello superiore; i due gruppi risultano tanto più spostati, l'uno rispetto all'altro, quanto maggiore è il raccorciamento del passo (v. fig. 236).

Nei sistemi trifasi il numero delle cave per polo-fase, come si è detto, è:

$$q = \frac{n_c}{3 \cdot 2p}$$

Negli avvolgimenti a 2 matasse/cava a passo intero ed in quelli ad 1 matassa/cava, sia a passo intero che a passo raccorciato, q è di norma intero (**), mentre negli avvolgimenti a 2 matasse/cava a passo raccorciato q può risultare intero o frazionario (***).

Per campi sinusoidali la *f e m* indotta in ogni fase dello statore, come è noto, vale:

$$E = 4 \cdot 1{,}11 \cdot K_a \cdot f \cdot N \cdot \Phi_\delta \text{ (V)}$$

dove: f = frequenza della corrente di alimentazione in p/s; N = numero delle spire per fase; Φ_δ = flusso in weber nel traferro; K_a = fattore d'avvolgimento per l'onda fondamentale; 1,11 = fattore di forma.

(*) Infatti: « la somma vettoriale delle f e m dei conduttori delle q cave è indipendente dal modo come si effettuano le connessioni frontali », come si vedrà fra breve.

(**) Per un numero di poli divisibile per 4 il numero delle cave per polo-fase q può risultare frazionario anche negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava.

(***) Il numero q quando è intero va inteso come il numero di cave per polo-fase completamente occupate dalla stessa fase.

Vantaggi degli avvolgimenti a 2 strati a passo raccorciato

Il raccorciamento del passo negli avvolgimenti a due strati porta in genere ad una piccola economia di filo per la minore lunghezza delle testate delle matasse, però bisogna essere cauti nell'apportare modifiche quando si riavvolgono i motori. Infatti il raccorciamento del passo, rimanendo inalterata la tensione di alimentazione, deve essere accompagnata da un aumento del numero dei conduttori per cava, perchè i massimi delle *f e m* nei due lati attivi delle matasse non sono in questo caso contemporanei, quindi la risultante sarà minore e precisamente verrà ridotta dal valore E a $E.\text{sen}\,(90°.y_c/\tau)$. Ne consegue che il numero dei conduttori deve essere aumentato da Z a $Z/sen\,(90°.y_c/\tau)$, perchè si abbia ancora la *f e m* E.

Negli avvolgimenti a due strati le matasse risultano costituite da metà conduttori rispetto a quelle degli avvolgimenti ad uno strato. Evidentemente l'isolamento tra i due strati dev'essere adeguato alla differenza di potenziale esistente fra essi, che è eguale a quella applicata ai morsetti quando i due fasci della stessa cava appartengono a fasi diverse. Pertanto anche un appropriato raccorciamento del passo porta sempre ad una lieve diminuzione del fattore di riempimento cava, rispetto agli avvolgimenti ad uno strato, ma in contrapposto la lunghezza della spira media risulta minore e quindi si hanno minori perdite nel rame, più elevato raffreddamento (si può adottare una maggiore densità di corrente) e migliore rendimento.

Ma il vero, grande vantaggio del raccorciamento del passo consiste nella possibilità di ottenere campi più uniformi, più propriamente si migliora la forma della *f e m*, (*) essendo possibile annullare od attenuare alcune delle armoniche; conseguentemente si ottengono motori con funzionamento assai silenzioso.

In conclusione gli avvolgimenti a passo accorciato presentano, rispetto a quelli corrispondenti a passo intero, anche qualche svantaggio; le caratteristiche essenziali degli avvolgimenti a passo accorciato sono:

1) miglioramento della curva della *f e m* per l'annullarsi o l'attenuarsi di alcune armoniche;

2) possibilità di adozione di un numero di cave per polo-fase frazionario;

(*) Negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava si ha invece, come si è già accennato, un peggioramento della forma delle *f e m*.

3) raccorciamento delle testate delle matasse che consente una certa economia di rame, apprezzabile specialmente negli avvolgimenti a due poli;

4) maggiore resistenza meccanica contro gli sforzi di cortocircuito, dovuta alle testate più corte;

5) minori perdite per correnti parassite nelle cuffie di protezione;

6) diminuzione del fattore di avvolgimento - che peggiora l'utilizzazione dell'avvolgimento - il che comporta un aumento del numero dei conduttori, a parità di tensione applicata e di flusso per polo, tanto maggiore quanto più elevato è il coefficiente di raccorciamento;

7) coefficiente di riempimento cava di norma leggermente più basso, perchè i due elementi della stessa cava appartengono a fasi diverse e pertanto l'isolamento deve essere adeguato alla tensione di alimentazione.

I raccorciamenti del passo di maggiore entità si adottano nei motori a 2 poli.

Collegamento della fase

Nei motori asincroni le matasse di ciascuna fase si collegano normalmente in serie, ma si adotta sovente anche il collegamento in parallelo di gruppi di matasse di una stessa fase, specialmente quando il collegamento in serie richiederebbe conduttori di diametro superiore ai 3 mm. L'impiego di fili di diametro modesto, inferiore alla larghezza del taglio della cava, consente di potere eseguire con maggiore facilità e rapidità l'avvolgimento, preparando a parte le matasse e calando dal taglio i fili.

In linea di massima nella scelta dei conduttori conviene, per ragioni economiche, attenersi alle maggiori dimensioni, cioè evitare nel limite del possibile i paralleli interni.

La variazione del collegamento della fase (da serie in parallelo oppure in serie-parallelo e viceversa) consente di variare la tensione che si può applicare allo statore.

Evidentemente il numero delle combinazioni che si possono realizzare risulta maggiore con l'aumentare del numero dei poli. Le combinazioni di tensione, in funzione del numero dei paralleli, fino a 10 poli, sono riportate nella tabella XXX.

Collegamento della fase e tensioni relative

TABELLA XXX

Numero poli 2 p	Numero circuiti				Tensioni corrispondenti			
	in serie	in parallelo			in serie	in parallelo		
2	1	2	—	—	V	V/2	—	—
4	1	2	4	—	V	V/2	V/4	—
6	1	2	3	6	V	V/2	V/3	V/6
8	1	2	4	8	V	V/2	V/4	V/8
10	1	2	5	10	V	V/2	V/5	V/10

Dalla tabella si deduce che se tutti gli elementi di una fase sono riuniti in serie si avrà una sola via ed una sola tensione di funzionamento (valore massimo); se tutti i gruppi di matasse sono riuniti in parallelo (avvolgimenti tipo B) ogni fase avrà tante vie quanti sono i poli (*) e la tensione di funzionamento sarà $2p$ volte minore. Le altre combinazioni possibili sono date dai divisori interi del numero dei poli, che rappresentano il numero delle vie offerte alla corrente di ogni fase.

Capi terminali delle fasi e collegamenti sulla morsettiera

I capi terminali dell'avvolgimento vengono ancorati a dei morsetti di ottone, applicati di solito su una placca isolante fissata sulla fascia esterna della carcassa. I principî delle 3 fasi vengono contrassegnati con le lettere U, V, W e le fini corrispondenti con le lettere X, Y, Z. Questo sistema di contrassegno per la successione delle tre fasi ai morsetti è ormai unificato e pertanto devono essere banditi tutti gli altri sistemi di numerazione o contrassegno (purtroppo non tutte le ditte costruttrici lo applicano razionalmente).

I motori trifasi possono essere provvisti di 3, 6 oppure 12 *morsetti* (**). La disposizione a *3 morsetti* si adotta quando le connessioni (stella o triangolo) sono fatte internamente al motore; in tal

(*) Evidentemente questa combinazione non è possibile negli avvolgimenti a poli omonimi. In pratica, come si è detto, il numero massimo dei paralleli si fa eguale al numero delle coppie polari, anche per gli avvolgimenti di tipo B.

(**) Per motori a 3 velocità si hanno *9 morsetti*.

caso il motore funziona regolarmente solo alla tensione indicata sulla targa. Con la disposizione a *6 morsetti* le connessioni vengono fatte esternamente, in modo da poter effettuare la commutazione stella-triangolo; si possono così applicare due tensioni diverse: V a triangolo e $\sqrt{3}\,V$ a stella. Con la disposizione a *12 morsetti* si possono applicare quattro tensioni diverse: $V/2$, $\sqrt{3}\,V/2$, V, $\sqrt{3}\,V$, rispettivamente con collegamento a doppio triangolo, a doppia stella, a triangolo, a stella.

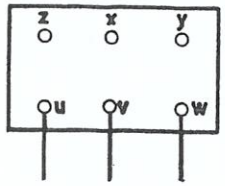


Fig. 237

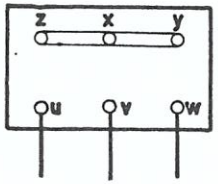


Fig. 238

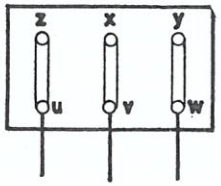


Fig. 239

Sulla morsettiera a 6 morsetti i tre capi iniziali o di entrata vengono fissati in una fila orizzontale ed i tre capi finali nell'altra, però ad un morsetto finale di una fase corrisponde nell'altra fila il morsetto iniziale della successiva (fig. 237); in tal modo la connessione a stella si realizza con una piastrina collegata ai 3 morsetti superiori o inferiori (fig. 238), mentre la connessione a triangolo si realizza con tre piastrine parallele che uniscono ciascun morsetto della fila inferiore col corrispondente di quella superiore (fig. 239).

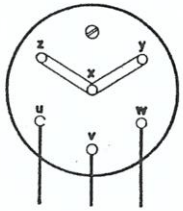


Fig. 240

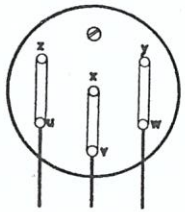


Fig. 241

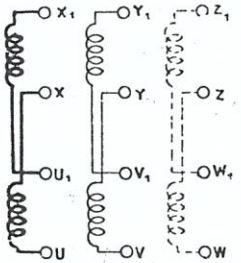


Fig. 242

Qualche ditta adotta placche isolanti, su cui vanno fissati i morsetti, di forma circolare: la fig. 240 mostra la disposizione delle piastrine di collegamento per la connessione a stella e la fig. 241 per la connessione a triangolo.

Con il sistema a 12 morsetti ogni circuito di fase viene suddiviso in due metà perfettamente eguali e simmetriche (fig. 242). Le variazioni nelle connessioni si effettuano mediante il cambiamento delle piastrine di collegamento sulla morsettiera. Le figure

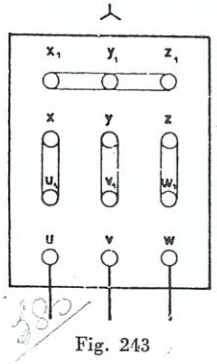


Fig. 243

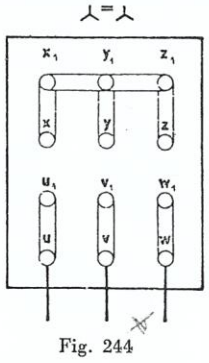


Fig. 244

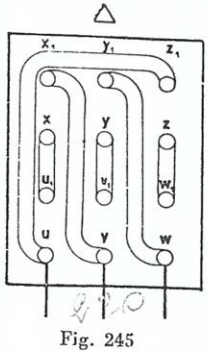


Fig. 245

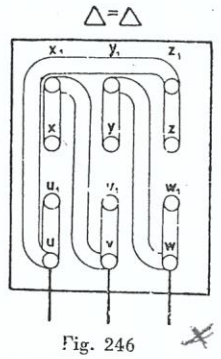


Fig. 246

243 ÷ 246 mostrano le disposizioni delle piastrine di collegamento per le combinazioni: stella, doppia stella, triangolo e doppio triangolo, mentre le figg. 247 ÷ 250 rappresentano schematicamente le quattro combinazioni precedenti.

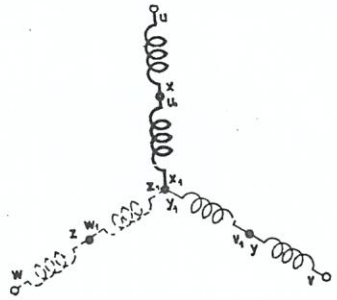


Fig. 247

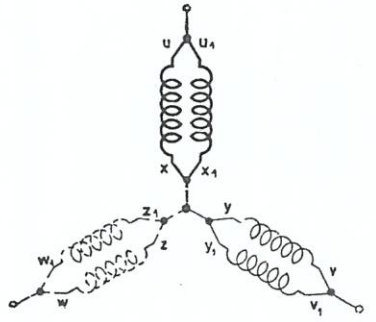


Fig. 248

Anche nel caso di morsettiere doppie, cioè a 12 morsetti, si usano placche isolanti rotonde. I capi delle metà fasi sono distribuiti sulla morsettiera in modo da evitare l'uso di piastrine e sbarrette ad incrocio nella connessione a triangolo: la disposizione delle figg. 251 ÷ 254, consente la realizzazione delle quattro combinazioni con piastrine tutte eguali (*).

(*) La Marelli usava fino a non molto tempo fa una diversa disposizione delle lettere (v. fig. 255), ma basta riferirsi alla posizione dei morsetti sulla morsettiera per evitare ogni possibilità di errori nelle connessioni.

In seguito alla unificazione delle frequenze nei motori normali vengono adottate ora di solito morsettiere a 6 morsetti.

I capi terminali vengono fissati ai morsetti, di solito a mezzo di adatti capicorda, in lastrina di rame o di ottone, saldati all'estremità

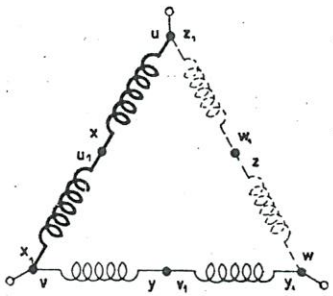


Fig. 249

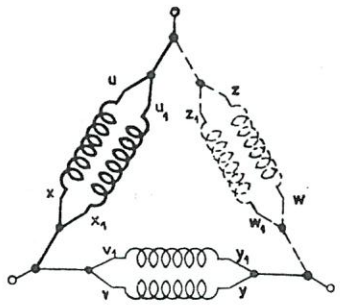
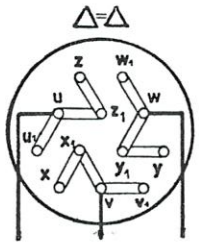


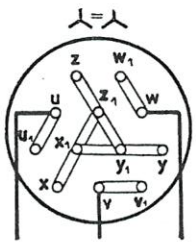
Fig. 250

del conduttore. Talvolta i terminali vengono ancorati direttamente ai morsetti; in tal caso l'estremità va piegata ad occhiello, in modo da potere essere stretta con buon contatto sotto i dadi di serraggio.



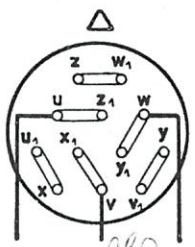
$\frac{V}{2}$

Fig. 251



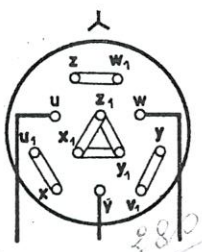
$\frac{\sqrt{3}V}{2}$

Fig. 252



V

Fig. 253



$\sqrt{3}V$

Fig. 254

Motori a 2 o più velocità

È noto che si può realizzare un motore a 2 velocità applicando due distinti avvolgimenti statorici (*) oppure un solo avvolgimento

(*) I motori a 2 polarità con due avvolgimenti distinti sovrapposti non presentano alcuna particolarità costruttiva ed il funzionamento risulta ottimo tanto alla maggiore che alla minore velocità; ovviamente però la potenza risulta ridotta ad entrambe le polarità. Si preferisce il sistema con un solo avvolgimento soprattutto per ragioni economiche.

di norma con connessioni secondo lo schema Dahlander; nel primo caso il rapporto tra le due velocità può essere: 1÷2, 1÷3, 1÷4, 2÷3, ecc., mentre nel secondo caso la variazione è praticamente sempre nel rapporto 1÷2.

Con avvolgimento statorico unico non solo è in effetti teoricamente possibile realizzare variazioni di polarità in un rapporto diverso da 1÷2, ma si possono ottenere anche 3 o 4 diverse polarità. È bene però ripetere che i risultati pratici lasciano molto a desiderare, tanto che nessuna grande ditta utilizza in genere tale possibilità teorica. La ragione essenziale di ciò è che il funzionamento risulta buono di solito ad una sola delle polarità prescelte. Soltanto con variazioni nel rapporto 1÷2 si ha la certezza — lungamente sperimentata — di funzionamento abbastanza buono ad entrambe le velocità. Inoltre esistono in commercio vari tipi di adatti commutatori rispondenti alla bisogna, assai semplici e di costo ridottissimo.

Nei motori a 2 velocità con 2 avvolgimenti distinti, di solito con variazione della velocità in un rapporto diverso da 1÷2, qualche costruttore usa, quando è possibile, eseguire i due avvolgimenti con lo stesso passo — confezionando le matasse con due conduttori di norma di diversa sezione — dato che il sistema consente una certa economia di manodopera. Naturalmente l'avvolgimento che non lavora è bene che non presenti circuiti chiusi.

In genere queste costruzioni si fanno a 2 polarità con un solo avvolgimento, ma non mancano esempi di motori a 3 e 4 velocità, cioè a 3 e 4 polarità, realizzati però con due avvolgimenti distinti. Il cambio della polarità si ottiene sempre mediante la commutazione delle matasse di ogni fase in modo da variare il numero dei poli. Le polarità risultano omonime nel funzionamento a minore velocità ed alternate a quello a maggiore velocità.

Gli avvolgimenti a 2 polarità in Italia vengono realizzati in tre modi diversi:

1) con collegamento a triangolo nel funzionamento alla maggiore polarità ($2p$ poli) ed a doppia stella alla minore polarità (p poli);

2) con collegamento a doppia stella alla maggiore polarità ($2p$ poli) ed a triangolo alla minore polarità (p poli);

3) con collegamento a stella alla maggiore polarità ($2p$ poli) ed a doppia stella alla minore polarità.

La scelta del tipo di collegamento non è arbitraria, ma dipende dal tipo di servizio a cui il motore deve essere adibito. Infatti un

avvolgimento con collegamento triangolo/doppia stella ($2p/p$ poli) viene chiamato per *funzionamento a potenza variabile* perchè di solito si ottiene una potenza ridotta alla maggiore polarità (*), mentre con collegamento doppia stella ($2p$ poli)/triangolo (p poli) viene chiamato per *funzionamento a potenza costante*, perchè si può ottenere praticamente la stessa potenza alle due velocità.

Normalmente le grandi ditte costruttrici adottano l'avvolgimento Dahlander triangolo/doppia stella. Il collegamento stella/doppia stella viene adottato meno frequentemente degli altri due perchè la potenza alla minore velocità risulta troppo ridotta.

Questi avvolgimenti si possono eseguire sia a matasse concentriche che a matasse eguali (tipo americano).

Il passo rispetto alla minore polarità risulta sempre notevolmente raccorciato (**). Quindi è necessario che fra le grandezze elettriche e magnetiche sussistano dati rapporti, affinchè la $f\,e\,m$ per fase non diminuisca eccessivamente in conseguenza dell'elevato sfasamento tra le $f\,e\,m$ dei due lati di ciascuna matassa. Ciò porterebbe come conseguenza ad un notevole assorbimento di corrente nel funzionamento alla minore polarità.

Generalmente i motori a più velocità hanno il rotore a gabbia (***), perchè questo funziona indifferentemente per qualsiasi polarità dello statore (il numero dei poli del rotore a gabbia è quello creato dal campo rotante dello statore). Però nel caso di riavvolgimento con cambio delle caratteristiche, occorre accertarsi, a priori, se il numero delle cave del rotore è adatto per le due polarità in dipendenza del numero delle cave dello statore (v. tabella LI). Se il numero delle cave non è adatto, il funzionamento risulterà molto rumoroso e talvolta addirittura inaccettabile (normalmente ad una delle polarità).

Negli avvolgimenti a due polarità le connessioni fra le matasse di ciascuna fase devono essere tali da suddividere ogni fase in due

(*) La potenza alla minore polarità è di norma all'incirca del 30% superiore a quella che si ha nel funzionamento alla maggiore polarità. Con semplici considerazioni si potrebbe dimostrare che a p poli l'induzione nel traferro è circa 0,8 di quella che si ha a $2p$ poli (v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* ») e la coppia circa il 65%.

(**) Negli avvolgimenti a 2 matasse/cava il passo y_c per la maggiore polarità è quasi sempre intero e di conseguenza il coefficiente di raccorciamento per la minore polarità risulta eguale a 0,5 ($K_p = 0{,}707$).

(***) Con rotore avvolto si hanno notevoli complicazioni perchè si dovrebbero modificare anche le connessioni dell'avvolgimento rotorico per cambiare il numero dei poli di questo in corrispondenza di quello dello statore.

metà identiche e simmettriche. Generalmente le connessioni dei gruppi di matasse di ciascuna fase non si fanno come negli avvolgimenti normali, cioè ogni gruppo di matasse non si collega con quello successivo, ossia col gruppo distanziato di 180° elettrici, ma con quello che viene dopo, si collegano in serie cioè tutti i gruppi

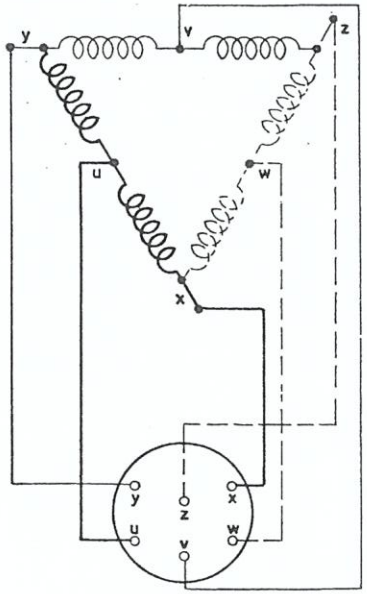


Fig. 255

Collegamento per velocità minore (Δ): *Y, Z, X* alla linea e *U, V. W* liberi.
Collegamento per velocità maggiore (YY): *U, V, W*, alla linea e *Y, Z, X* riuniti a stella.

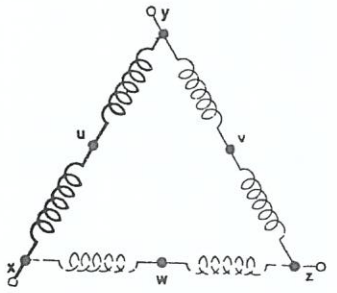


Fig. 256

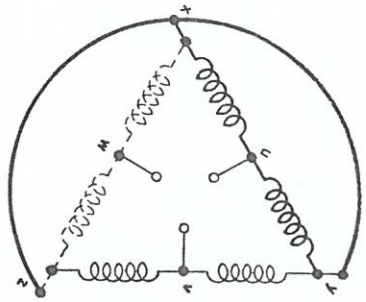


Fig. 257

di matasse distanziati di 360° elettrici (*) (v. « *Schemi di avvolgimenti statorici trifasi* »). In tal modo una metà di ciascuna fase risulta costituita dai gruppi di matasse di ordine dispari e l'altra da quelli di ordine pari della stessa fase (v. tavole XCVI, CLI e CLXXX).

(*) Questo sistema di collegamento dei gruppi di matasse di ciascuna fase viene applicato altresì negli avvolgimenti multipolari con 2 paralleli al fine di equilibrare l'attrazione magnetica sul rotore e viene detto *a connessioni lunghe*.

Il punto di mezzo di ciascuna fase va collegato opportunamente alla morsettiera; con la connessione a triangolo (oppure a stella) le due metà di ciascuna fase vengono a funzionare in serie, mentre con la connessione a doppia stella vengono ad agire in parallelo.

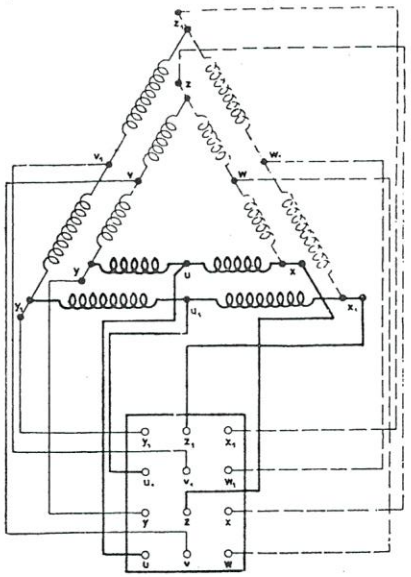


Fig. 258

La fig. 255 mostra come va collegato l'avvolgimento alla morsettiera per collegamento triangolo/doppia stella e le figg. 256 e 257 mostrano chiaramente che alimentando da *X*, *Y* e *Z* e lasciando *U*, *V* e *W* liberi si ha il funzionamento a triangolo, mentre alimentando l'avvolgimento da *U*, *V*, *W* e riunendo a stella *X*, *Y*, *Z* si ha il funzionamento a doppia stella.

Di solito questi avvolgimenti risultano esatti per la maggiore polarità (velocità minore) ed approssimati per la minore (velocità maggiore).

Collegamento sulla morsettiera

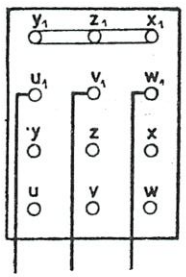


Fig. 259

Numero poli minimo

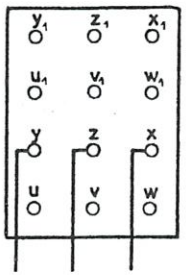


Fig. 260

Numero poli massimo

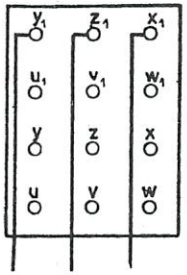


Fig. 261

Numero poli minimo × 2

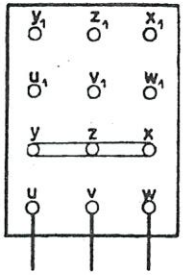


Fig. 262

Numero poli massimo / 2

I capi da addurre alla morsettiera, con riferimento alla maggiore polarità, non si susseguono alla distanza di 120° elettrici, ma ad una distanza di 120° + K . 360° elettrici.

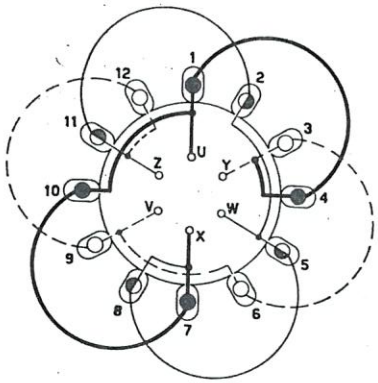


Fig. 263

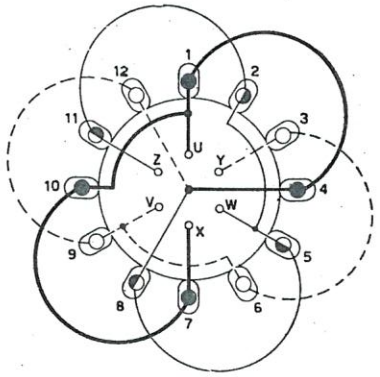


Fig. 264

La fig. 258 mostra lo schema delle connessioni di un motore asincrono trifase in cortocircuito a 4 polarità (2 avvolgimenti distinti) e le figg. 259 ÷ 262 i collegamenti sulla morsettiera.

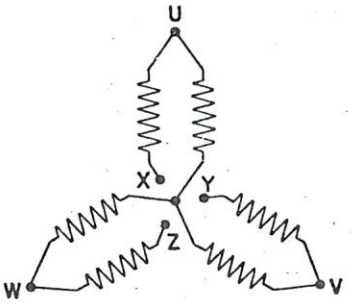


Fig. 265

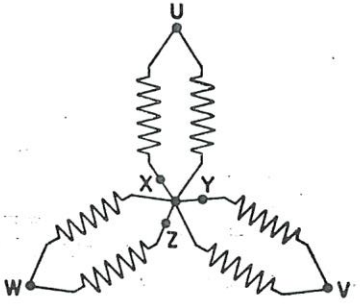


Fig. 266

La maggior parte degli avvolgimenti statorici a 2 velocità vengono realizzati, come s'è detto, con collegamento normale (interno) a triangolo (fig. 263), che viene trasformato in collegamento a doppia stella mediante un appropriato commutatore; talvolta si usa anche, ripetiamo, il collegamento normale a stella (fig. 264) per la maggiore polarità (poli omonimi), trasformabili in collegamento a doppia stella per il funzionamento alla minore polarità (poli alternati).

Con alimentazione dai morsetti X, Y, Z le due metà di ciascuna fase risultano collegate in serie e le tre fasi collegate a stella (fig. 265), mentre con alimentazione dai morsetti U. V, W e riunendo X, Y, Z al centro stella, le due metà di ciascuna fase risultano collegate in parallelo e le tre fasi a doppia stella (fig. 266).

L'elevato numero di schemi di avvolgimenti a 2 velocità che riportiamo a fine capitolo rende ozioso insistere oltre sull'argomento. Come si è già detto è possibile ottenere, con opportuni collegamenti, un motore a 3 oppure a 4 velocità con un solo avvolgimento, ma in pratica questi motori si ottengono con 2 avvolgimenti distinti, sovrapponendo sullo stesso statore un avvolgimento per 2 polarità ad uno normale (v. tav. CLV) oppure due avvolgimenti per 2 polarità.

Commutatori per motori a 2 velocità

Per il comando dei motori asincroni a 2 velocità con un solo avvolgimento s'impiegano appositi commutatori i quali consentono di effettuare la commutazione della polarità mediante la rotazione di una levetta.

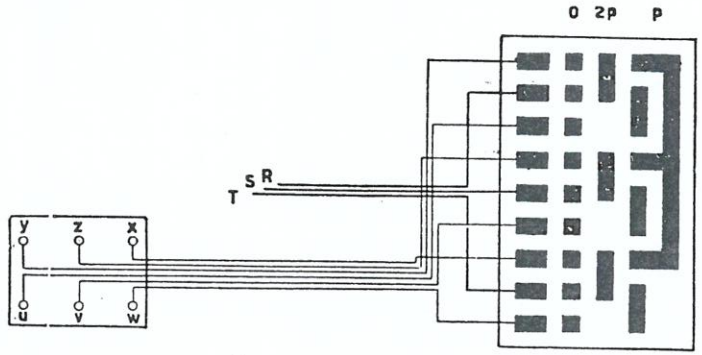


Fig. 267

La fig. 267 mostra lo schema di uno di questi commutatori per collegamento Δ/YY. Dallo schema si rileva che i tre fili di linea vanno collegati a tre settorini ed i sei capi dell'avvolgimento agli altri sei; il commutatore ha tre posizioni: una di riposo (indicata con *0*) e due di lavoro (la minore polarità è indicata con p e la maggiore con $2p$). Nella posizione $2p$ i morsetti X, Y, Z vengono collegati alla linea, mentre gli altri tre rimangono liberi (collegamento a triangolo); nella posizione p i morsetti U, V, W vengono collegati alla linea e gli altri tre riuniti tra loro (collegamento a doppia stella). Nella fig. 268 sono rappresentate: in b, c, d le tre

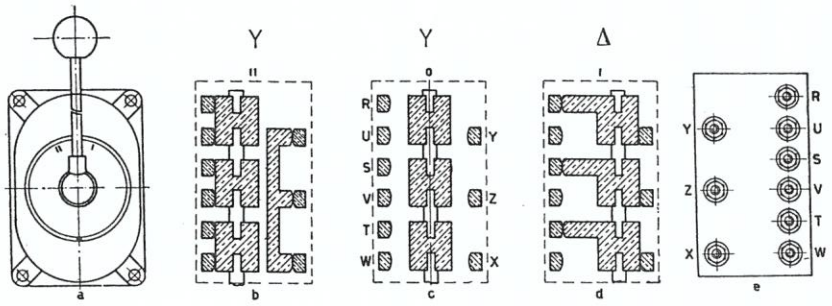


Fig. 268

posizioni sopraddette di un commutatore del commercio, in e la morsettiera ed in a la vista anteriore.

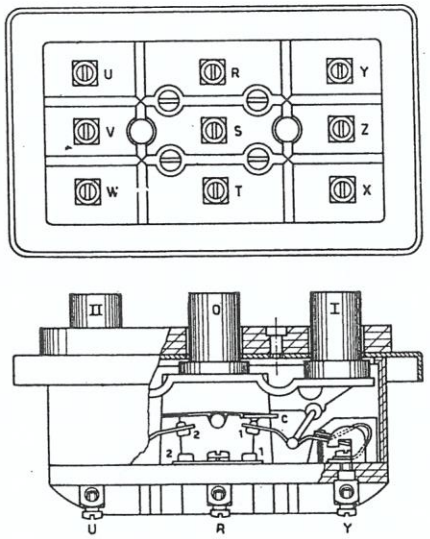


Fig. 269

Un commutatore molto in uso è quello illustrato nella fig. 269. Nella posizione di riposo i morsetti Y, Z, X sono riuniti a stella a mezzo della piastrina C, come si vede chiaramente dalla figura. Pres-

sando il pulsante 1 fino a provocare lo scatto si abbassano le tre levette mobili e si determina l'apertura del collegamento a stella e la successiva chiusura dei contatti 1, vengono cioè collegati i morsetti *Y, Z, X* rispettivamente con *R, S, T*, mentre *U, V, W* rimangono liberi: si realizza così il funzionamento alla minore velocità. Per passare alla maggiore velocità bisogna pressare il pulsante *0*, in modo da ritornare nella posizione di riposo, e poscia il pulsante II fino a determinare lo scatto; si chiudono così i contatti 2, ossia si collegano i morsetti *U, V, W* con *R, S, T*, mentre i morsetti *Y, Z, X* rimangono collegati a stella; si ha quindi il funzionamento alla minore polarità.

Per quattro polarità si potrebbero adottare due di questi controller oppure uno solo più complesso.

Nella tav. XLV è rappresentato in 1 un *avviatore stella-triangolo combinato per il comando di motori a 2 avvolgimenti per 2 velocità con inversione di marcia e con blocco*, in 2 e 3 rispettivamente un *commutatore di polarità per motori trifasi a 2 velocità ad unico avvolgimento ed a 2 avvolgimenti*. Nelle tavole XLVI e XLVII sono rappresentati dei *commutatori di polarità per motori a 3 velocità con 2 avvolgimenti di cui uno commutabile;* dalle tavole si rileva che variando solamente le connessioni alla morsettiera si possono ottenere con lo stesso commutatore due combinazioni diverse e che le combinazioni ottenibili aumentano variando la posizione relativa delle camme; naturalmente questo sistema con appropriate forme delle camme consente di ottenere combinazioni di qualsiasi genere.

Infine nella tav. XLVIII è rappresentato un *commutatore di polarità per motori trifasi a 2 velocità ad unico avvolgimento* con blocco elettrico, del tipo con *comando a pulsanti.*

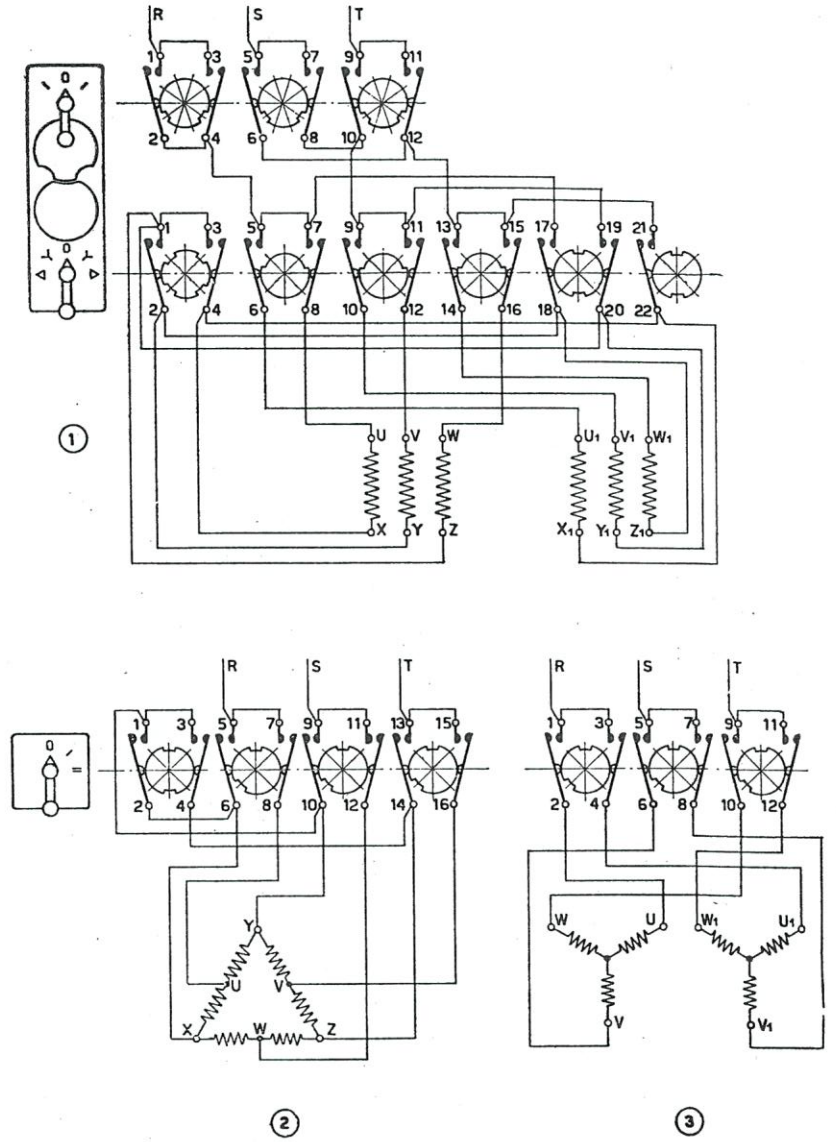
Fattore di avvolgimento, fattore di distribuzione e fattore di passo

Abbiamo detto brevemente nel capitolo precedente che cosa si intende per fattore di avvolgimento. Per gli avvolgimenti a passo raccorciato però il fattore di avvolgimento K_a è il prodotto di due fattori e precisamente:

$$K_a = K_d \,.\, K_p$$

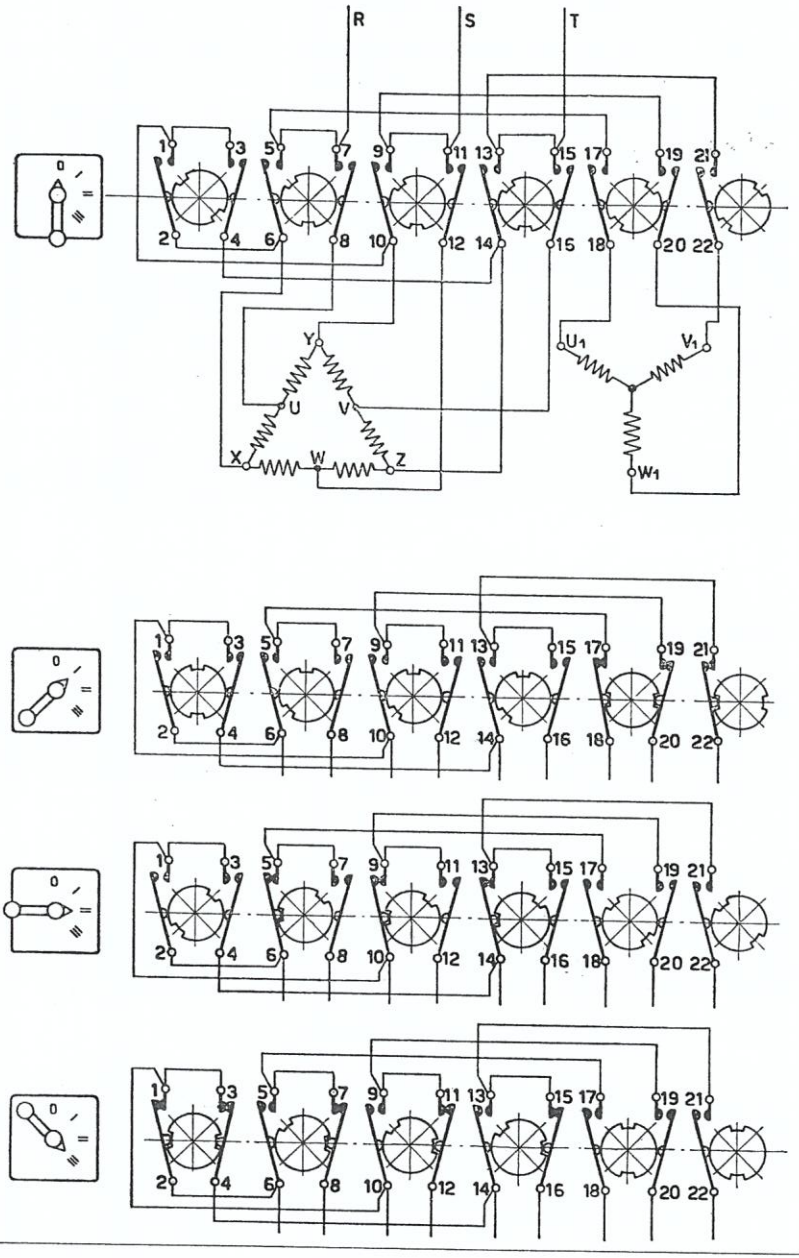
dove K_d rappresenta il *fattore di distribuzione* o *di ripartizione* e K_p il *fattore di passo* o *di corda.*

1 - Avviatore stella-triangolo combinato per il comando di motori a 2 avvolgimenti per 2 velocità con inversione di marcia e con blocco.
2 - Commutatore di polarità per motori trifasi a 2 velocità ad unico avvolg.
3 - Commutatore di polarità per motori trifasi a 2 velocità a due avvolg.



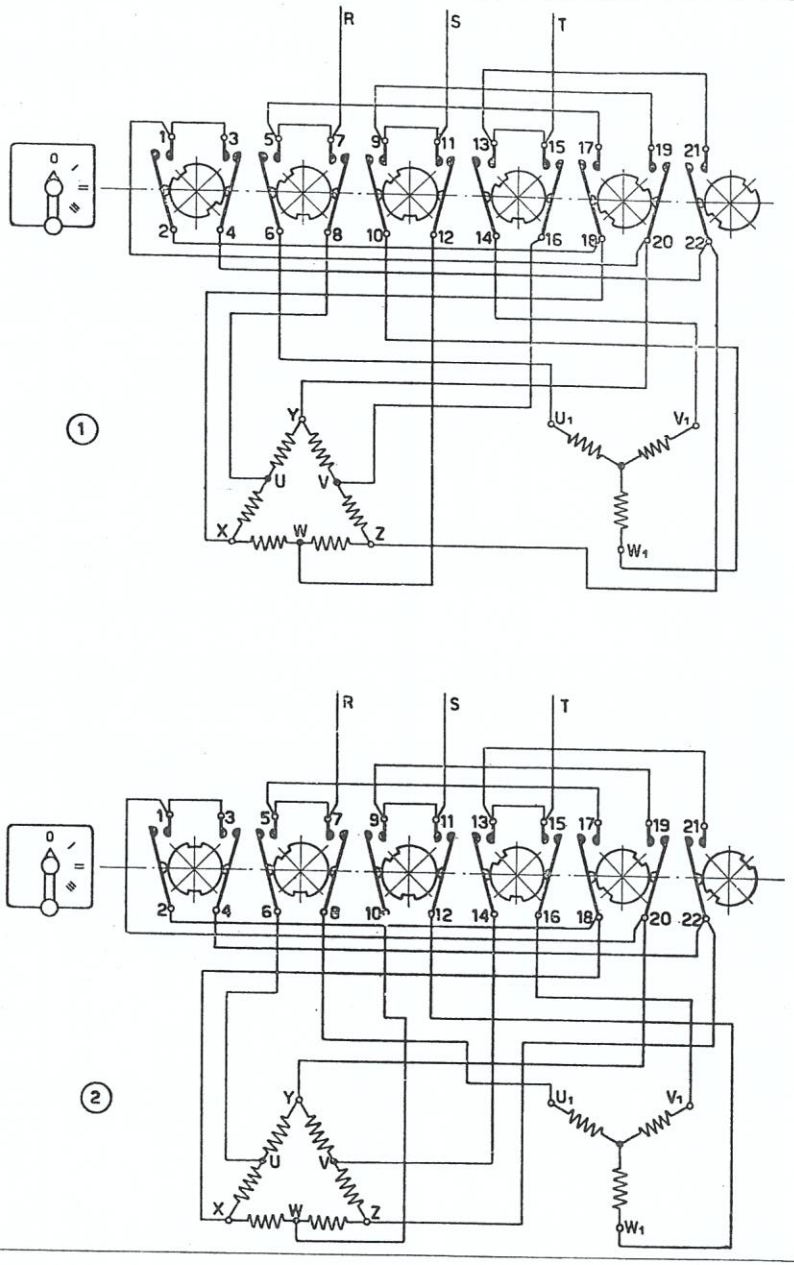
Commutatore di polarità per motori trifasi a 3 velocità con 2 avvolgimenti di cui uno commutabile

(Velocità minima: avvolgimento a Y (Pos. I) - Velocità media (Pos. II) e massima (Pos. III): avvolgimento a Δ)



Commutatore di polarità per motori trifasi a 3 polarità con 2 avvolgimenti di cui uno commutabile

(1 - Velocità media: avvolg. a Y (Pos. II) - Veloc. min. (Pos. I) e mass. (Pos. III): avvolg. a Δ)
(2 - Velocità mass.: avvolg. a Y (Pos. III) - Veloc. min. (Pos. I) e media (Pos. II): avvolg. a Δ)



L'angolo α vale:

$$\alpha = p\frac{360^\circ}{n_c} = 2\,.\,p\frac{180^\circ}{n_c} = \frac{180^\circ}{\frac{n_c}{2\,.\,p}} = \frac{180^\circ}{3\,.\,q}$$

Sostituendo ad $\frac{\alpha}{2}$ il rapporto $90^\circ/3.q$ l'espressione del fattore di distribuzione assume la forma:

$$K_d = \frac{\text{sen } q\,\frac{90^\circ}{3\,.\,q}}{q\,.\,\text{sen}\,\frac{90^\circ}{3.q}} = \frac{\text{sen } 30^\circ}{q\,.\,\text{sen}\,\frac{90^\circ}{3.q}} = \frac{0{,}5}{q\,.\,\text{sen}\,\frac{90^\circ}{3.q}}$$

Da questa espressione si ricavano rapidamente i valori del *fattore di distribuzione* K_d in funzione del numero delle *cave per polo-fase* q.

Fattore di distribuzione per avvolgimenti trifasi

TABELLA XXXI

Cave per polo-fase q =	1	2	3	4	5	$6 \div \infty$
Fattore di distribuzione K_d =	1,00	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956÷0,955

---

q > 1 le *f e m* indotte nei conduttori situati in « q » cave adiacenti non sono in fase tra loro e conseguentemente la loro risultante non sarà eguale al loro valore comune moltiplicato per il loro numero, ma sarà tanto minore quanto maggiore sarà il valore dell'angolo $(q-1)\,\alpha^\circ$.

Supposte sinusoidali le *f e m* componenti, la *f e m* risultante nei conduttori posti nelle « q » cave di una fase è data dal lato di chiusa di una poligonale di q lati, equipollenti ai vettori che rappresentano la somma delle *f e m* nei conduttori di ciascuna cava. Essendo le cave sempre equidistanti, la poligonale coincide con « q » lati di un poligono regolare compresi in un angolo al centro di $q\,.\,\alpha^\circ$ (v. figg. 196 e 197).

Indicando con r il raggio del cerchio circoscritto alla poligonale, la *somma vettoriale* risulta:

$$\text{somma vettoriale} = 2\,.\,r\,.\,\text{sen}\,q\,\frac{\alpha}{2}$$

mentre la somma aritmetica, ossia la somma dei « q » lati, sarà:

$$\text{somma aritmetica} = 2\,.\,r\,.\,q\,.\,\text{sen}\,\frac{\alpha}{2}$$

e conseguentemente il fattore di ripartizione sarà:

$$K_d = \frac{\text{sen}\,\frac{q\,.\,\alpha}{2}}{q\,\text{sen}\,\frac{\alpha}{2}}$$

Il fattore di passo vale (fig. 270):

$$K_p = \frac{f\,e\,m \text{ reale di una matassa}}{f\,e\,m \text{ di una matassa a passo diametrale}} = \cos\frac{\beta\ (*)}{2} = \text{sen } 90^\circ\frac{y_c}{\tau}$$

β = angolo di raccorciamento passo in gradi elettrici, cioè differenza tra il passo intero $\tau = 180^\circ$ elettrici ed il passo d'avvolgimento, espresso in gradi elettrici ($y_c.\alpha^\circ$), ossia: $\beta = 180^\circ - y_c.\alpha^\circ$ elettrici.

(*) Infatti se l'ampiezza di una spira è eguale al passo polare τ, cioè a 180° elettrici (v. fig. 270), la *f e m* risultante (E) è la somma aritmetica delle *f e m* $\left(\frac{E}{2}\right)$ dei due lati attivi; quando invece il passo è raccorciato da un angolo β, ossia $y_c.\alpha^\circ = (180 - \beta)^\circ$ elettrici, i massimi delle *f e m* nei due lati attivi della spira non sono contemporanei, ma sfasati di un angolo elettrico β, quindi la *f e m* risultante $(\overline{AC})$ è la somma vettoriale delle *f e m* dei due lati attivi e precisamente $\overline{AC} = \overline{AO} + \overline{OC}$ $\left(\overline{AO} = \overline{OC} = \frac{E}{2}\right)$. Ma essendo:

$$\overline{AC} = \overline{AB}\cos\frac{\beta}{2} = E\cos\frac{\beta}{2}$$

ne consegue che la *f e m* risultante dei due lati attivi di ogni matassa nell'avvolgimento a passo raccorciato si riduce rispetto a quella che si ha con passo intero (E) in ragione di $\cos\frac{\beta}{2}$, ossia:

$$\frac{E\cos\frac{\beta}{2}}{E} = \cos\frac{\beta}{2} = K_p$$

Il rapporto tra passo di avvolgimento y_c e passo polare τ vale:

$$\frac{y_c}{\tau} = \frac{180^\circ - \beta}{180^\circ}$$

da cui si ricava:

$$180^\circ\,\frac{y_c}{\tau} = 180^\circ - \beta \quad \text{e} \quad \beta = 180^\circ - 180^\circ\,\frac{y_c}{\tau}$$

e dividendo ambo i membri per 2:

$$\frac{\beta}{2} = 90^\circ - 90^\circ\,.\,\frac{y_c}{\tau}$$

Infine si ha appunto:

$$\cos\frac{\beta}{2} = \cos\left(90^\circ - 90^\circ\,\frac{y_c}{\tau}\right) = \text{sen } 90^\circ\,.\,\frac{y_c}{\tau}$$

ESEMPIO: Avvolgimento statorico trifase, 2 poli, 24 cave, passo avvolgimento $1 \div 9$.

Essendo $y_c = 8$ e $\tau = 12$ si ha:

$$\text{sen } 90^\circ\,.\,\frac{y_c}{\tau} = \text{sen } 90^\circ.\,\frac{8}{12} = \text{sen } 60^\circ = 0{,}866$$

oppure:

$$q = \frac{24}{3\times 2} = 4; \quad \alpha = \frac{180^\circ}{3\times 4} = 15^\circ\text{el}; \quad \beta = \left(\frac{n_c}{2p} - y_c\right)\alpha^\circ = \left(\frac{24}{2} - 8\right)15^\circ = 60^\circ\text{el}$$

$$\cos\frac{\beta}{2} = \cos 30^\circ = 0{,}866$$

Il rapporto tra il passo d'avvolgimento ed il passo intero o passo polare $\left(\frac{y_c}{\tau}\right)$ viene detto comunemente **coefficiente di raccorciamento passo.**

Per avvolgimenti trifasi con collegamento a stella il coefficiente di raccorciamento passo (y_c/τ) si sceglie sovente eguale a 0,81, perchè con questo valore il fattore d'avvolgimento della 5ª armonica è quasi nullo e quello della 7ª relativamente piccolo (con collegamento a Y la 3ª armonica non fa sentire la sua azione sulla *f e m* concatenata e conseguentemente la curva di campo risulta praticamente priva di armoniche); per $y_c/\tau = 2/3$ si annulla la 3° armonica della curva della *f e m* di ciascuna fase.

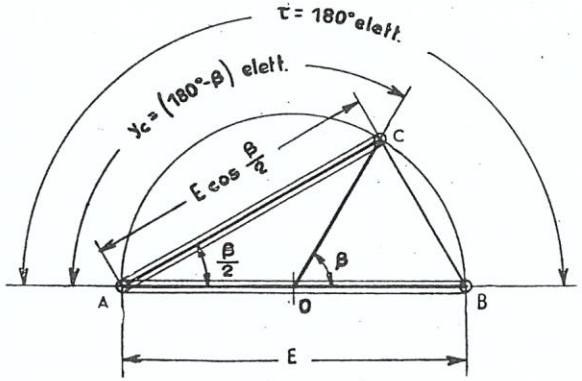


Fig. 270

Per determinare il valore del coefficiente di raccorciamento passo è preferibile esprimere y_c e τ in numero di cave anzichè in gradi elettrici; con questo sistema il calcolo del fattore di passo riesce molto più semplice e rapido mediante la formula:

$$K_p = \text{sen } 90^\circ \frac{y_c}{\tau}$$

Nella tabella XXXII sono riportati i valori più usuali del fattore di passo in funzione del coefficiente di raccorciamento passo y_c/τ.

Il metodo esposto per il calcolo di K_p e quindi di K_a dà valori precisi per gli avvolgimenti a 2 matasse/cava, perchè il passo y_c determina univocamente il raccorciamento. Nei tipi ad una matassa/cava la connessione frontale può variare per uno stesso avvolgimento

senza mutarne l'essenza o le caratteristiche (v. tavole CXXVII-CXXIX e CXXX); ne consegue che tanto K_d quando K_p non hanno separatamente un significato ben preciso e la regola indicata per i tipi a 2 matasse/cava non dà sempre risultati esatti. Ad evitare errori grossolani, si consideri, ripetiamo, intero il passo quando ogni fase occupa in modo continuo 1/3 del passo polare (*) e raccorciato negli altri casi. Si può seguire però un diverso metodo, spesso preferito dalle grandi ditte costruttrici, di cui diremo qui appresso.

Fattore di passo

TABELLA XXXII

Coefficiente di raccorciamento passo $y_c/\tau =$	$\frac{180°}{180°} = 1$	$\frac{170°}{180°} = 8,5/9$	$\frac{160°}{180°} = 8/9$	$\frac{150°}{180°} = 7,5/9$	$\frac{140°}{180°} = 7/9$	$\frac{130°}{180°} = 6,5/9$	$\frac{120°}{180°} = 2/3$	$\frac{110°}{180°} = 5,5/9$	$\frac{100°}{180°} = 5/9$	$\frac{90°}{180°} = 1/2$
Fattore di passo $K_p =$	1	0,996	0,985	0,966	0,940	0,906	0,866	0,819	0,766	0,707

Negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava a passo raccorciato si potrebbe determinare direttamente il prodotto $K_d . K_p$ — con procedimento grafico o analitico — ma in pratica non è mai richiesta tanta precisione ed è più che sufficiente seguire lo stesso procedimento usato per i tipi a 2 matasse/cava. Comunque esponiamo brevemente i due procedimenti, soffermandoci maggiormente su quello analitico, detto anche *metodo trigonometrico*.

Calcolo di K_a col metodo trigonometrico

In genere il procedimento grafico consiste nel tracciare un diagramma vettoriale in base ad uno schema elementare dell'avvolgimento, riportando uno di seguito all'altro i vettori rappresentativi delle *f e m* sfasati tra loro degli angoli elettrici corrispondenti a

(*) Il fattore di passo è da considerarsi eguale ad 1 anche se il passo di avvolgimento è diverso da quello intero; infatti la somma vettoriale delle *f e m* risulta sempre eguale a quella che si otterrebbe con matasse a passo intero, perchè la *f e m* di un lato di matassa ha sempre la corrispettiva spostata del passo polare, ossia di 180° elettrici. Il passo raccorciato in questo caso non fa altro che variare l'ordine di successione dei vettori della poligonale.

quelli esistenti tra le cave in cui sono disposti i singoli fasci o lati di matassa, costruendo cioè la ben nota poligonale; ciascun vettore va rappresentato con ampiezza o modulo proporzionale al corrispondente numero di conduttori, ma di solito tutte le matasse sono composte dallo stesso numero di spire e quindi i vettori avranno tutti la stessa ampiezza.

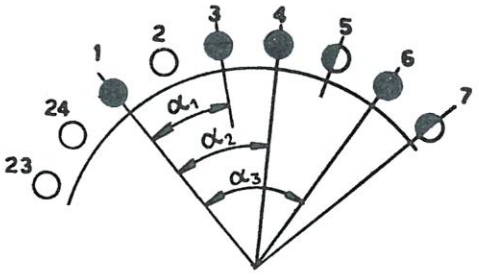


Fig. 271

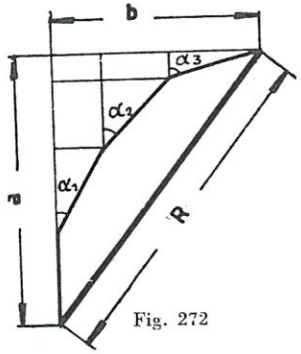


Fig. 272

Naturalmente se l'avvolgimento è a distribuzione ciclica è sufficiente considerare soltanto le *f e m* relative ai fasci di un ciclo geometrico completo di una fase qualsiasi, ossia ai q lati di matassa per polo-fase per q intero ed alle matasse di un settore per q frazionario.

Il procedimento analitico, che consente maggiore esattezza nei risultati numerici, è quello dedotto dall'interpretazione del diagramma vettoriale; esso consiste nel proiettare tutti i vettori componenti ed il vettore risultante su due assi ortogonali e calcolare poi le due componenti a e b del vettore risultante R come somma algebrica delle corrispondenti componenti di tutti i vettori elementari (fig. 271 e 272), che, ripetiamo, avranno tutti la stessa ampiezza e il cui modulo si può assumere pari all'unità.

Nel caso più generale, quando si è detto si traduce nel calcolo delle seguenti formule:

$$a = 1 + \cos\alpha_1 + \cos\alpha_2 + \ldots + \cos\alpha_n$$

$$b = 0 + \cos\alpha_1 + \cos\alpha_2 + \ldots + \cos\alpha_n$$

$$R = \sqrt{a^2 + b^2}; \qquad K_a = K_d \cdot K_p = \frac{R}{\text{n° fasci}} = \frac{R}{\text{n° vettori}}$$

dove α_1 rappresenta l'angolo in gradi elettrici tra la prima e la seconda cava occupate dalla fase per ogni polo, α_2 l'angolo elettrico tra la prima e la terza cava e così via.

Ovviamente le *f e m* nei fasci situati in una stessa cava o in cave distanti 360° elettrici sono sempre in fase anche se appartenenti a fasi diverse.

In definitiva il procedimento che è valido in ogni caso e quindi anche per gli avvolgimenti a 2 matasse/cava e per quelli a 2 velocità con unico avvolgimento è il seguente:

1° - si traccia uno schema elementare dell'avvolgimento;

2° - si determina lo spostamento angolare in gradi elettrici tra due cave adiacenti, che, come s'è detto, vale:

$$\alpha° = p\,\frac{360°}{n_c} = 2p\,\frac{180°}{n_c}$$

3° - si costruisce la poligonale (*) dei vettori delle *f e m* (ma se ne potrebbe fare a meno) relative a tutti i fasci o lati di matassa di un ciclo geometrico di una fase qualsiasi, assumendo preferibilmente come origine degli angoli il fascio situato nella cava di inizio del ciclo, tenendo presente che le *f e m* relative al secondo lato di matassa (caso in cui si considerano le matasse di un settore) vanno rappresentate nel diagramma dal vettore opposto, ossia da un vettore rovesciato di 180°. Ciò comporta che, quando il passo dell'avvolgimento è raccorciato, la *f e m* del secondo lato di matassa risulta in anticipo rispetto a quella del primo lato, nel qual caso, nella determinazione di b, il valore del seno sarà di solito negativo, ossia va sottratto.

La poligonale per gli avvolgimenti ad 1 matassa/cava a passo raccorciato è di solito irregolare.

4° - si calcolano i valori delle due somme algebriche a e b e poi se ne determina la risultante R; nel quoziente tra il valore di R ed il numero dei lati attivi di matassa — eguale al numero dei vettori della poligonale — si ha il fattore di avvolgimento K_a.

Qualche esempio chiarirà meglio il modo pratico di esecuzione.

Ci siamo soffermati piuttosto a lungo sull'argomento, ma può presentarsi a tutti, sia pure di rado, la necessità di conoscere con precisione il valore del fattore di avvolgimento per qualche caso speciale.

(*) È sufficiente impostare il diagramma vettoriale con uno schizzo alla buona a mano libera; l'importante è di indicare i valori degli angoli elettrici dei vettori rispetto a quello iniziale, assunto come origine o riferimento. Da questo schizzo si rileva a prima vista quali sono gli eventuali termini negativi.

1° Esempio: *1 matassa/cava - passo accorciato.*

Avvolgimento statorico trifase: 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - passo avvolgimento $1 \div 10$ (v. tav. LXXVI).

La distribuzione delle cave per polo-fase risulta identica a quella indicata nella fig. 271. La fig. 273 rappresenta il diagramma vettoriale tracciato in base ai q (4) fasci o lati di matassa per polo e per fase e la fig. 274 la poligonale in base ai due lati delle matasse di un gruppo. Da quest'ultima si vede chiaramente che il valore di R è indipendente dall'ordine di successione dei vettori componenti la poligonale.

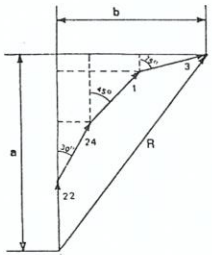


Fig. 273

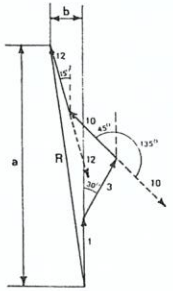


Fig. 274

L'angolo elettrico tra le mezzerie di due cave consecutive risulta:

$$\alpha = p\,\frac{360°}{n_c} = \frac{360°}{24} = 15° \text{ elettrici}$$

Quindi:

$$\alpha_1 = 30°;\quad \alpha_2 = 45° \quad \text{e} \quad \alpha_3 = 75°$$

$$a = \cos 0° + \cos 30° + \cos 45° + \cos 75° = 1 + 0{,}86603 + 0{,}70711 + 0{,}25882 = 2{,}83196$$

$$b = \text{sen } 0° + \text{sen } 30° + \text{sen } 45° + \text{sen } 75° = 0{,}5 + 0{,}70711 + 0{,}96593 = 2{,}17304$$

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{2{,}83196^2 + 2{,}17304^2} = \sqrt{12{,}7421} = 3{,}569$$

Essendo il numero delle cave per polo-fase eguale a 4 il fattore d'avvolgimento risulta:

$$K_a = K_d . K_p = \frac{R}{q} = \frac{3{,}569}{4} = 0{,}892$$

In base alla fig. 274, ossia alle matasse di un gruppo (v. tav. LXXVI) si ha:

$$a = 1 + \cos 30° + \cos 45° + \cos 15° = 1 + 0{,}86603 + 0{,}70711 + 0{,}96593 = 3{,}539$$

$$b = 0 - \text{sen } 30° + \text{sen } 45° + \text{sen } 15° = -0{,}5 + 0{,}70711 + 0{,}25882° = +0{,}46593$$

$$R = \sqrt{3{,}539^2 + 0{,}46593^2} = \sqrt{12{,}5245 + 0{,}2171} = \sqrt{12{,}7316} = 3{,}568$$

$$K_a = \frac{3{,}568}{4} = 0{,}892$$

Calcolando separatamente K_d e K_p si sarebbe ottenuto:

$$K_d = 0{,}958;\quad K_p = \text{sen } 90° . \frac{9}{12} = \text{sen } 67° 30' = 0{,}924$$

$$K_a = K_d . K_p = 0{,}958 . 0{,}924 = 0{,}885$$

Come si vede, la differenza tra i due valori del fattore d'avvolgimento è molto piccola.

2° Esempio: *1 matassa/cava - passo intero.*

Avvolgimento statorico trifase: 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - passi avvolgimento $1 \div 8$ e $1 \div 6$ - passo medio $y_c = \tau = 6$ (v. tavole LXXX e LXXXI).

Le figg. 275 e 276 rappresentano le poligonali, rispettivamente in base alle 2 cave/polo-fase ed alle 2 matasse/gruppo.

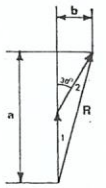


Fig. 275

$$a = \cos 0° + \cos 30° = 1{,}86603$$

$$b = \text{sen } 0° + \text{sen } 30° = 0{,}5$$

$$R = \sqrt{1{,}866^2 + 0{,}5^2} = \sqrt{3{,}732} = 1{,}932$$

$$K_a = \frac{1{,}932}{2} = 0{,}966$$

$$a = \cos 0° + \cos 30° + \cos 0° + \cos 30° = 2 + 2 . 0{,}866 = 3{,}732$$

$$b = \text{sen } 0° + \text{sen } 30° + \text{sen } 0° + \text{sen } 30° = 0{,}5 + 0{,}5 = 1$$

$$R = \sqrt{3{,}732^2 + 1^2} = \sqrt{14{,}9278} = 3{,}864$$

$$K_q = \frac{3{,}864}{4} = 0{,}966$$

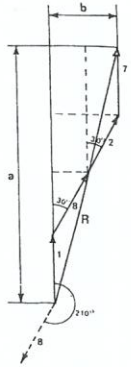


Fig. 276

3° Esempio: *1 matassa/cava - passo intero.*

Avvolgimento trifase: 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - passo avvolgimento $1 = 12$ - $y_c < \tau$ (v. tavola LXX).

Le figg. 277 e 278 rappresentano i due diagrammi vettoriali, come nell'esempio precedente.

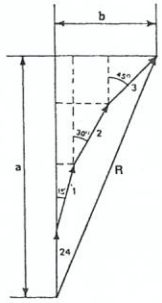


Fig. 277

$$a = 1 + \cos 15° + \cos 30° + \cos 45° = 3{,}539$$

$$b = 0 + \text{sen } 15° + \text{sen } 30° + \text{sen } 45° = 1{,}4658$$

$$R = \sqrt{3{,}539^2 + 1{,}4658^2} = 3{,}831;\quad K_a = \frac{3{,}831}{4} = 0{,}958$$

$$a = 1 + \cos 30° + \cos 15° + \cos 15° = 3{,}798$$

$$b = 0 + \text{sen } 30° - \text{sen } 15° + \text{sen } 15° = 0{,}5$$

$$R = \sqrt{3{,}798^2 + 0{,}5^2} = 3{,}831;\quad K_a = \frac{3{,}831}{4} = 0{,}958$$

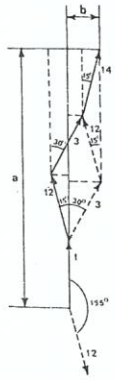


Fig. 278

4° Esempio: *2 matasse/cava - q frazionario.*

Avvolgimento trifase: 4 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - passo avvolgimento 1 ÷ 5 (v. tavola LXV).

Le due figg. 279 e 280 mostrano i due diagrammi vettoriali; anche da questo esempio si rileva la maggiore semplicità del diagramma in base alle cave/polo-fase.

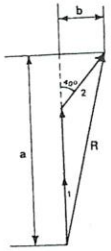


Fig. 279

$$a = 1 + 1 + \cos 40° = 2{,}766$$

$$b = \text{sen } 40° = 0{,}64279$$

$$R = \sqrt{2{,}766^2 + 0{,}64279^2} = \sqrt{8{,}058} = 2{,}838$$

$$K_a = \frac{2{,}838}{3} = 0{,}946$$

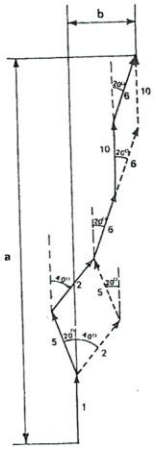


Fig. 280

$$a = 1 + \cos 20° + \cos 40° + \cos 20° + 1 + \cos 20° = 5{,}586$$

$$b = -\text{sen } 20° + \text{sen } 40° + \text{sen } 20° + \text{sen } 20° = 0{,}985$$

$$R = \sqrt{5{,}586^2 + 0{,}985^2} = 5{,}672; \quad K_a = \frac{5{,}672}{6} = 0{,}9455$$

5° Esempio: *doppia polarità - 1 matassa/cava.*

Avvolgimento trifase: 2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - passi avvolgimento 1 ÷ 8 e 1 ÷ 6 (v. tavole XC e XCI).

La fig. 281 mostra il diagramma vettoriale per il funzionamento a 2 poli; per il funzionamento a 4 poli (vedansi le figg. 275 e 276) il fattore di avvolgimento $K_a = 0{,}966$.

$$a = 1 + \cos 15° + 0 - \cos 75° = 1{,}706$$

$$b = 0 + \text{sen } 15° + 1 + \text{sen } 75° = 2{,}225$$

$$R = \sqrt{7{,}86} = 2{,}804 \quad ; \quad K_a = \frac{2{,}804}{4} = 0{,}701$$

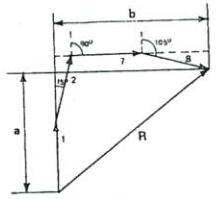


Fig. 281

6° Esempio: *doppia polarità - 2 matasse/cava.*

Avvolgimento trifase: 2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - passo avvolgimento 1 ÷ 7 (v. tavola XCII).

La figg. 282 e 283 rappresentano i due diagrammi vettoriali, rispettivamente per funzionamento a 4 e 2 poli.

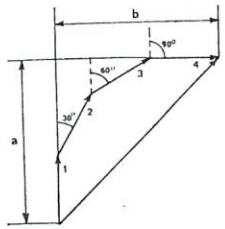


Fig. 282

$$a = 1 + \cos 30° + \cos 60° = 1 + 0{,}866 + 0{,}5 = 2{,}366$$

$$b = \text{sen } 30° + \text{sen } 60° + 1 = 0{,}5 + 0{,}866 + 1 = 2{,}366$$

$$R_4 = \sqrt{11{,}1959} = 3{,}348 \quad ; \quad K_{a4} = \frac{3{,}348}{4} = 0{,}837$$

$$a = 1 + \cos 15° + \cos 30° + \cos 45° + \cos 75° + \cos 60° + \cos 45° = 5{,}005$$

$$b = -\text{sen } 15° - \text{sen } 30° - \text{sen } 45° + 1 + \text{sen } 75° + \text{sen } 60° + \text{sen } 45° = +2{,}073$$

$$R = \sqrt{5{,}005^2 + 2.073^2} = \sqrt{29{,}347} = 5{,}417 \quad ;$$

$$K_{a2} = \frac{5{,}417}{8} = 0{,}677$$

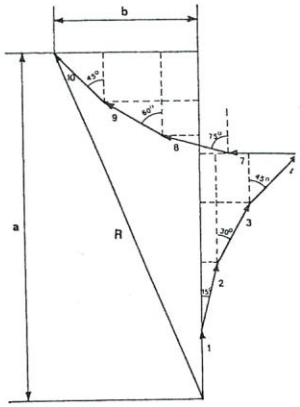


Fig.283

Fattore di avvolgimento per avvolgimenti a 2 velocità con avvolgimento unico

La formula del fattore di distribuzione K_d, in funzione del numero delle cave per polo-fase e dell'angolo α tra due cave consecutive, dà valori esatti per gli avvolgimenti normali a 2 matasse/cava, ossia a poli alternati ad una sola polarità con « q » non frazionario, e per quelli a 1 matassa/cava a passo intero, mentre per gli avvolgimenti a 2 polarità con unico avvolgimento essa dà un valore superiore a quello reale per la maggiore polarità negli avvolgimenti a 2 matasse/cava e valori inferiori per la minore polarità in quelli ad 1 matassa/cava. Ciò dipende, grosso modo, dalla diversa ripartizione delle cave per polo-fase rispetto agli avvolgimenti normali, la quale negli avvolgi-

menti a 2 velocità va fatta in base alla minore polarità per gli avvolgimenti a 2 matasse ed in base alla maggiore polarità per quelli ad 1 matassa/cava (v. « *Esecuzione degli schemi di avvolgimento* »). Ne deriva che: negli avvolgimenti a 2 matasse/cava nel funzionamento alla maggiore polarità, ossia a poli omonimi, il numero delle matasse per gruppo risulta doppio di quello che si avrebbe in un avvolgimento normale $\left(\text{praticamente } q = \frac{n_c}{3 \cdot p}\right)$ e conseguentemente, a parità di fili/cava, la $f\,e\,m$ risultante è minore; negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava è invece nel funzionamento alla minore polarità che si verifica praticamente il fenomeno inverso, sebbene in misura meno rilevante. Si potrebbero avere valori esatti o quasi per K_d calcolando il fattore di distribuzione negli avvolgimenti a 2 matasse/cava in base al valore di « q » della minore polarità, per entrambe le velocità, e per gli avvolgimenti ad 1 matassa/cava in base al valore di « q » della maggiore polarità.

Questo criterio corrisponde praticamente al metodo seguito da molti tecnici dell'industria, che consiste nel prendere in considerazione, in entrambi i casi, il numero delle matasse per gruppo e l'angolo elettrico α_a tra gli assi delle matasse di ciascun gruppo anzi che quello tra due cave consecutive e precisamente:

$$K_d = \frac{\operatorname{sen} n \frac{\alpha_a}{2}}{n \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha_a}{2}}$$

dove n = numero matasse di ciascun gruppo. Naturalmente negli avvolgimenti a 2 matasse/cava embricati le « n » matasse di ciascun gruppo si susseguono con assi intervallati uniformemente dell'angolo elettrico α_a (coincidente con l'angolo elettrico α tra le mezzerie di due cave consecutive), mentre negli avvolgimenti del tipo concentrico l'angolo α_a è evidentemente eguale a zero. In questo caso il fattore di distribuzione K_d risulta eguale ad 1, dato che per α_a tendente a zero l'espressione:

$$K_d = \frac{\operatorname{sen} n \frac{\alpha_a}{2}}{n \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha_a}{2}}$$

ha per limite l'unità ed il *fattore di passo* K_p, complessivo di ciascun

gruppo, che coincide con K_a, è la media aritmetica dei singoli k_p, ossia:

$$K_a = K_p = \frac{\operatorname{sen} 90^\circ \frac{y_{c1}}{\tau} + \operatorname{sen} 90^\circ \frac{y_{c2}}{\tau} + \ldots + \operatorname{sen} 90^\circ \frac{y_{cn}}{\tau}}{n}$$

Il fattore di avvolgimento K_a è dato sempre dal prodotto del *fattore di distribuzione* K_d e del *fattore di passo* K_p.

In considerazione però che negli avvolgimenti concentrici a 2 matasse/cava il fattore di avvolgimento K_a ha lo stesso valore di quello di un avvolgimento embricato con passo pari alla media aritmetica dei vari passi dell'avvolgimento concentrico (*), si possono determinare K_d e K_p con lo stesso metodo degli avvolgimenti embricati, adottando il passo medio come passo d'avvolgimento, vale a dire:

$$K_d = \frac{\operatorname{sen} n \frac{\alpha}{2}}{n \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}} \quad \text{e} \quad K_p = \operatorname{sen} 90^\circ \frac{y_{cm}}{\tau}$$

dove: n = numero matasse/gruppo; α = angolo tra due cave adiacenti; y_{cm} = passo d'avvolgimento medio per i concentrici.

Fattore di avvolgimento per avvolgimenti normali con « q » frazionario

Il metodo delle « matasse per gruppo », praticamente coincidente col « metodo delle cave per polo . fase » per q intero, è anche di più facile comprensione dato che la definizione più logica ed anche la più usata del fattore di ripartizione è la seguente:

$$K_d\,(**) = \frac{\text{somma geometrica delle } f\,e\,m \text{ delle matasse di un gruppo}}{\text{somma aritmetica delle } f\,e\,m \text{ delle matasse di un gruppo}}$$

(*) Per gli avvolgimenti concentrici a corona a 2 matasse/cava il Tecnomasio Italiano Brown Boveri usa sovente indicare come *passo d'avvolgimento* appunto il solo *passo medio* (v. tavole LXXIII e LXXIV).

(**) Infatti il fattore di ripartizione tiene conto del fatto che le $f\,e\,m$ indotte nelle matasse di un gruppo o di un settore non sono in fase e conseguentemente la $f\,e\,m$ totale indotta nel gruppo o settore è inferiore a quella che si sarebbe ottenuta se tutte le $f\,e\,m$ delle singole matasse fossero state in fase. Per tenere conto di questa riduzione della $f\,e\,m$ risultante bisogna appunto considerare il fattore di ripartizione definito come si è detto sopra.

Ciò vale ovviamente nel caso che tutti i gruppi di matasse siano identici, mentre nel caso che i vari gruppi fossero composti da un diverso numero di matasse bisognerebbe considerare anzi che le matasse di un gruppo le matasse di ciascun settore. **Il numero delle matasse di un settore è sempre eguale al numeratore della frazione impropria** $q = \frac{n_c}{3 \cdot 2p}$ **ridotta ai minimi termini.**

Da quanto si è detto emerge chiaramente che per la determinazione di K_d si considera ciascuno dei gruppi oppure ciascuno dei settori fra loro identici, in cui può suddividersi ogni fase dell'avvolgimento. Quindi: per q frazionario il valore di K_d risulta sempre minore di quello ottenibile con il sistema d'interpolazione lineare, ma *negli avvolgimenti a 2 matasse/cava a poli alternati il valore di* K_d *può dedursi ancora dalla tabella XXXI purchè si consideri anzichè il numero delle cave/polo-fase q il numero delle matasse/settore;* così per $q = 3/2$ si ha $K_d = 0{,}96$, per $q = 5/2$ oppure $5/4$ si ha $K_d = 0{,}957$, per $q = 7/2$ oppure pari a $7/4$, ecc. si ha $K_d = 0{,}956$ e per tutti gli altri valori frazionari di q il fattore di ripartizione assume il valore costante di 0,955, ossia lo stesso valore che esso assume per $q = \infty$.

Può sembrare strano, se non assurdo che, ad esempio, per $q = 2$ il fattore K_d (0,966) risulti maggiore che per $q = 3/2$, però basta tenere presente che in quest'ultimo caso la $f\,e\,m$ risultante è la somma geometrica delle $f\,e\,m$ indotte in 3 matasse sfasate fra loro per dedurre che, a parità di angoli di sfasamento e di tutte le altre condizioni, il valore di K_d debba coincidere con quello che si ha per $q = 3$.

Osservazioni sul fattore di distribuzione

Il metodo delle matasse per gruppo e dell'angolo elettrico tra gli assi delle matasse oppure fra due cave adiacenti, adottato per determinare il fattore di distribuzione degli avvolgimenti a 2 velocità, si può applicare ovviamente a tutti i tipi di avvolgimenti e noi daremo la preferenza ad esso per gli avvolgimenti con « *q* » frazionario perchè dà in questi casi risultati più esatti del metodo delle cave per polo-fase. In questi avvolgimenti che hanno, ripetiamo, un diverso numero di matasse per gruppo, il fattore di distribuzione si potrebbe ottenere con buona approssimazione facendo la media dei fattori di distribuzione dei gruppi di matasse di ciascuno dei settori,

fra loro identici, in cui può suddividersi ogni fase dell'avvolgimento, ossia:

$$K_d = \frac{n_1 k'_d + n_2 k''_d + \dots}{n_1 + n_2 + \dots}$$

dove: K_d = fattore di distribuzione dell'avvolgimento; k'_d = fattore di distribuzione del 1° gruppo; k''_d = fattore di distribuzione del 2° gruppo; n_1 = numero di matasse del 1.° gruppo; n_2 = numero di matasse del 2.° gruppo, ecc.

Negli avvolgimenti a 2 matasse/cava talvolta questo sistema può portare a valori lievemente diversi da quelli reali e pertanto noi consigliamo, per questi avvolgimenti, di dedurre K_d *dalla tabella XXXI considerando anzichè il valore di* q *quello delle matasse per settore, mentre il fattore di passo si determina sempre con la solita relazione.* Noi daremo normalmente la preferenza a questo sistema, che accoppia al pregio della semplicità quello di dare sempre risultati pressochè esatti.

Il metodo delle cave per polo-fase o metodo della poligonale è di uso frequentissimo per gli avvolgimenti a 2 matasse/cava con « *q* » non frazionario e per quelli ad 1 matassa/cava con « *q* » non frazionario a passo intero.

Il metodo trigonometrico è sempre valido, sia per avvolgimenti a passo intero che a passo raccorciato ad 1 o a 2 matasse/cava ed anche per gli avvolgimenti misti; in questi avvolgimenti, ossia ad 1 e 2 matasse/cava, le matasse con numero di spire intero debbono considerarsi a tutti gli effetti come 2 matasse a metà spire con sfasamento nullo.

Non sarà superfluo ribadire che con il calcolo trigonometrico si ottiene sempre direttamente il valore del fattore di avvolgimento K_a; questo metodo, ripetiamo, è piuttosto laborioso e si ricorre ad esso solo eccezionalmente.

Negli avvolgimenti normali, cioè con « *q* » intero, e particolarmente in quelli a 2 matasse/cava, i due metodi danno, ovviamente, valori identici e quindi sono sempre validi le tabelline XXXI e XXXII. Comunque negli schemi di avvolgimento ci riferiremo alle cave per polo-fase per tutti gli avvolgimenti ad una polarità con « *q* » intero ed alle matasse per gruppo o per settore per gli avvolgimenti a 2 polarità oppure con « *q* » frazionario.

Per chiudere l'argomento riportiamo alcuni esempi tipici che, oltre a rendere evidente l'applicazione dei due metodi, consentiranno utili raffronti anche rispetto al metodo trigonometrico.

Esempi

1) 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 (v. tav. LXIV).

$$q = \frac{n_c}{3.2p} = \frac{18}{3.2} = 3; \quad \alpha_a = \alpha = \frac{360°}{18} = 20° \text{ elettr.}; \quad n = 3; \quad \tau = \frac{18}{2} = 9$$

$$K_d = \frac{\text{sen } q \frac{\alpha}{2}}{q \text{ sen } \frac{\alpha}{2}} = \frac{\text{sen } n \frac{\alpha_a}{2}}{n \text{ sen } \frac{\alpha_1}{2}} = \frac{\text{sen } 3.10°}{3 \text{ sen } 10°} = \frac{0,5}{3.0,17365} = 0,960$$

$$K_p = \text{sen } 90° \frac{y_c}{\tau} = \text{sen } 90° \frac{6}{9} = \text{sen } 60° = 0,866$$

$$K_a = K_d . K_p = 0,960 \times 0,866 = 0,831$$

I due risultati coincidono, come era da prevedersi.

2) 4 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 (v. tav. LXV).

$$q = \frac{18}{3.4} = 3/2; \quad \begin{matrix} n_1 = 2 \\ n_2 = 1 \end{matrix} \; ; \quad \alpha_a = \alpha = \frac{2.360°}{18} = 40° \text{ el.}; \quad \tau = \frac{18}{4} = 4,5$$

$$K_p = \text{sen } 90° \frac{y_c}{\tau} = \text{sen } 90° \frac{4}{4,5} = \text{sen } 80° = 0,985$$

Metodo del numero delle cave per polo-fase:

$$K_d = \frac{\text{sen } q \frac{\alpha}{2}}{q \text{ sen } \frac{\alpha}{2}} = \frac{\text{sen } 1,5 . 20°}{1,5 \text{ sen } 20°} = \frac{0,5}{1,5 . 0,34202} = 0,975$$

$$K_a = 0,975 \times 0,985 = 0,960 \text{ (errato)}$$

Metodo del numero delle matasse per gruppo:

$$k'_d = \frac{\text{sen } n \frac{\alpha}{2}}{n \text{ sen } \frac{\alpha}{2}} = \frac{\text{sen } 2 . 20°}{2 \text{ sen } 20°} = \frac{0,64279}{2 . 0,34202} = 0,940$$

$$k''_d = \frac{\text{sen } 1 . 20°}{1 \text{ sen } 20°} = 1$$

$$K_d = \frac{n_1 k_d + n_2 k''_d}{n_1 + n_2} = \frac{2 . 0,940 + 1}{3} = 0,960$$

$$K_a = 0,960 \times 0,985 = 0,946$$

Allo stesso risultato si poteva pervenire molto più speditamente considerando che per 3 matasse/settore (v. tabella XXXI) il fattore K_d è uguale a 0,960.

Col calcolo trigonometrico, come si è già visto, si ha appunto:

$$K_a = \frac{2,839}{3} = 0,946$$

3) 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - (v. tav. LXXVI).

$$q = \frac{24}{3.2} = 4; \quad \alpha = \frac{360°}{24} = 15° \text{ elettr.}; \quad n = 2;$$

$$\alpha_a = 2 \alpha = 30° \text{elettr.}; \quad \tau = \frac{24}{2} = 12$$

1° *metodo* (cave/polo fase):

$$K_d = \frac{\text{sen } q \frac{\alpha}{2}}{q \text{ sen } \frac{\alpha}{2}} = \frac{\text{sen } 4 \frac{15°}{2}}{4 \text{ sen } \frac{15°}{2}} = \frac{0,5}{4 . 0,13053} = 0,958$$

$$K_p = \text{sen } 90° . \frac{9}{12} = \text{sen } 67° 30' = 0,924$$

$$K_a = 0,958 \times 0,924 = 0,885$$

2° *metodo* (matasse/settore):

$$K_d = \frac{\text{sen } n \frac{\alpha_a}{2}}{n \text{ sen } \frac{\alpha_a}{2}} = \frac{\text{sen } 2 . 15°}{2 \text{ sen } 15°} = \frac{0,5}{2 . 0,25882} = 0,966; \quad K_p = 0,924$$

$$K_a = 0,966 . 0,924 = 0,892 \text{ (come col calcolo trigonometrico)}$$

Comunque la differenza tra i due valori di K_a è praticamente trascurabile (0,007).

4) 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 (v. tav. CXLI).

$$n = 3; \quad \alpha_a = 0; \quad K_d = 1$$

4 poli:

$$K_{a4} = K_p = \frac{\text{sen } 90° \frac{11}{9} + \text{sen } 90° \frac{9}{9} + \text{sen } 90° \frac{7}{9}}{3} =$$

$$= \frac{\text{sen } 110° + \text{sen } 90° + \text{sen } 70°}{3} = \frac{0.940 + 1 + 0,940}{3} = \frac{2,88}{3} = 0,960$$

Trattandosi di un avvolgimento normale a passo intero (v. tavole CXVIII e CXIX) il valore di K_a poteva rilevarsi dalla tabella XXXI.

2 poli:

$$K_{a2} = K_p = \frac{\text{sen } 90° \frac{11}{18} + \text{sen } 90° \frac{9}{18} + \text{sen } 90° \frac{7}{18}}{3} =$$

$$= \frac{\text{sen } 55^d + \text{sen } 45° + \text{sen } 35°}{3} = \frac{0{,}81915 + 0{,}70711 + 0{,}57358}{3} =$$

$$= \frac{2{,}09984}{3} = 0{,}69995 = \sim 0{,}7$$

Col calcolo trigonometrico si avrebbe rispettivamente:

$$K_{a4} = \frac{2{,}87924}{3} = 0{,}95975 \quad ; \quad K_{a2} = \frac{4{,}2}{6} = 0{,}7$$

mentre in base alle cave per polo-fase si otterrebbe per la minore polarità $K_{az} = 0{,}676$, ossia un valore inferiore a quello reale.

5) 2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 (v. tav. CXLIV).

4 poli:

$$n = 6; \quad \alpha_a = \alpha = 20° \text{ elettrici}$$

$$K_d = \frac{\text{sen } 6 \cdot 10°}{6 \text{ sen } 10°} = \frac{0{,}866}{6 \times 0{,}17365} = 0{,}831 \quad ; \quad K_p = \text{sen } 90° \frac{9}{9} = 1$$

$$K_{a4} = 0{,}831 \times 1 = 0{,}831$$

2 poli:

$$n = 6; \quad \alpha_a = \alpha = 10°$$

$$K_d = \frac{\text{sen } 6 \cdot 5°}{6 \cdot \text{sen } 5°} = \frac{0{,}5}{6 \cdot 0{,}08716} = 0{,}956 \quad ; \quad K_p = \text{sen } 90° \frac{9}{18} = \text{sen } 45° = 0{,}707$$

$$K_a = 0{,}956 \times 0{,}707 = 0{,}676$$

Col metodo delle cave/polo-fase K_{a4} risulterebbe uguale a 0,960, vale a dire un valore molto maggiore di quello reale.

Avvolgimenti rotorici

Rotore a gabbia normale. — È risaputo che il rotore a gabbia di scoiattolo o in cortocircuito normale si adotta per motori di piccola potenza, di solito fino a 2 - 3 kW, ma in casi particolari coll'uso dell'avviatore stella-triangolo si può arrivare a potenze notevolmente superiori. I conduttori attivi sono costituiti da sbarre di rame (a sezione circolare, quadrata o rettangolare a bordi arrotondati) senza isolamento, posti nelle cave del rotore (una sbarra/cava) e uniti tra loro con anelli frontali pure di rame. Le sbarrette di rame e gli anelli frontali formano tanti circuiti chiusi di piccolissima resistenza ohmica, nei quali circolano le correnti indotte dal campo rotante statorico, in modo da produrre lo stesso numero di poli dell'induttore. Per le piccole potenze oggi si usa molto la gabbia in alluminio (v. cap. X). Non avendo questo tipo di rotore un numero di poli suo proprio si presta per qualsiasi polarità.

Le sbarre che si trovano sotto l'azione di un polo statorico sono percorse da corrente in un senso e quelle soggette all'azione di un polo di diversa polarità da corrente in senso inverso.

Le tensioni indotte in ogni sbarra sono assai piccole, dell'ordine di qualche volt, mentre le correnti assumono sempre valori elevati.

Il motore con rotore a gabbia ha notevoli doti di semplicità e robustezza, però presenta l'inconveniente di assorbire all'atto dell'avviamento una corrente notevolmente superiore a quella di pieno carico (da 5÷8 volte) e di avere una coppia di spunto assai modesta (*).

Rotore a doppia gabbia ed a cave profonde. — Per ovviare agli inconvenienti presentati dal motore a gabbia normale, cioè per limitare il valore della corrente di spunto ed ottenere una maggiore coppia all'avviamento, si rende necessario aumentare durante la fase di avviamento la resistenza dei circuiti indotti dal rotore. Lo scopo si raggiunge pienamente con il rotore ad anelli, provvisto di un ordinario avvolgimento trifase, equivalente all'avvolgimento statorico, ma anche i motori con *rotore a doppia gabbia* ed i motori con *rotore ad addensamento di corrente* o *a cave profonde* consentono di eliminare in buona parte i difetti del motore a gabbia normale, pur conservandone i pregi.

(*) Per avere un buon rendimento e basso scorrimento a carico dev'essere bassa la resistenza della gabbia.

Il rotore a doppia gabbia è costituito da una gabbia esterna con sbarrette a sezione ridotta (alta resistenza e limitata induttanza) e da una gabbia interna a sezione rettangolare o trapezoidale molto più ampia (bassa resistenza e forte induttanza). Le due gabbie sono distanziate radialmente ed elettricamente distinte.

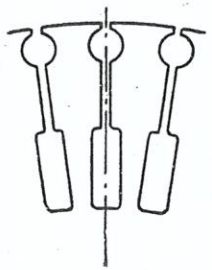


Fig. 284

All'avviamento, data la elevata frequenza delle correnti indotte nel rotore (eguale a quella di alimentazione), la gabbia interna presenta una forte impedenza ed è percorsa quindi da una corrente di limitata intensità (l'impedenza della gabbia esterna è rappresentata quasi esclusivamente dalla resistenza ohmica) ed il motore si avvia per l'azione prevalente della gabbia esterna. In prossimità del sincronismo, per la piccolezza della frequenza, la gabbia interna viene ad essere percorsa da una corrente elevata e conseguentemente partecipa utilmente alla produzione della coppia motrice.

Per una coppia di avviamento dell'ordine di 1,5 - 2 volte quella normale la corrente di spunto risulta di 4-5 volte la corrente di pieno carico. Sulle caratteristiche del motore a doppia gabbia influiscono notevolmente sia il numero e la forma delle cave delle due gabbie, sia le dimensioni della fenditura che unisce le cave delle due gabbie (fig. 284). La reattanza di dispersione della gabbia interna dipende dal rapporto tra la lunghezza e la larghezza della fenditura.

Il rotore ad addensamento di corrente ha sbarrette a sezione rettangolare o trapezoidale, a bordi arrotondati, alte e strette (v. figg. 24 e 25). Questo motore presenta proprietà analoghe a quello a doppia gabbia nei confronti della caratteristica meccanica (curva di variazione della coppia in funzione dello scorrimento), come pure nei riguardi della corrente assorbita nel periodo di avviamento.

All'avviamento si ha un addensamento di corrente nella parte esterna delle sbarrette (vicino al traferro), perchè la reattanza risulta notevolmente maggiore nella parte di sbarra situata verso il fondo cava, mentre alla velocità normale la corrente si distribuisce quasi in modo uniforme nella sezione delle sbarrette. Quindi il rotore a cave profonde equivale praticamente a quello a doppia gabbia.

I motori con rotore a gabbia normale hanno migliore fattore di potenza e rendimento più elevato di quelli con rotore a doppia gabbia.

I motori moderni con rotore a gabbia normale si costruiscono per potenze fino a circa 30 kW (le sbarrette si fanno molto più alte che nei vecchi tipi), quelli con rotore ad addensamento di corrente fino a 50 kW e quelli con rotore a doppia gabbia fino a circa 150 kW.

Rotore ad anelli. — L'avvolgimento normalmente usato, per le piccole e medie potenze (fino a circa 60 kW), è quello a matasse in filo, mentre per le maggiori potenze si preferisce il tipo a sbarre. Quest'ultimo invero assicura una maggiore robustezza dal punto di vista meccanico e richiede un minore isolamento.

Gli avvolgimenti a matasse in filo possono essere di due tipi: a *matasse eguali* o di *tipo americano* ed a *matasse concentriche in due ordini.* Nell'avvolgimento di tipo americano le matasse vengono preparate su sagome dello stesso tipo in uso per gli avvolgimenti statorici ed anche il procedimento di piegatura e montaggio è lo stesso, però occorre assicurare una perfetta simmetria all'insieme per evitare squilibri dal punto di vista meccanico.

Per medie e grandi potenze si usa quasi esclusivamente l'avvolgimento trifase ondulato a regressione con sbarre in due ordini (*). Il rotore costituisce un sistema indotto indipendente, non avendo alcun collegamento elettrico con l'avvolgimento statorico, quindi il numero delle fasi del rotore può essere diverso da quello delle fasi dello statore, purchè l'avvolgimento rotorico produca un campo rotante simile a quello statorico (eguale numero di poli).

Nei motori trifasi di solito il rotore viene provvisto di un avvolgimento trifase con collegamento a stella (3 capi vanno collegati agli anelli), ma talvolta si adotta un avvolgimento bifase a tre fili (**).

La $f\,e\,m$ del rotore è indipendente dalla tensione applicata ai morsetti dello statore.

Ulteriori notizie sugli avvolgimenti rotorici verranno fornite nel capitolo « *Costruzione degli avvolgimenti dei motori asincroni* ».

Esecuzione degli schemi di avvolgimento

Stabilito il passo, in base alle considerazioni esposte precedentemente, è possibile eseguire lo schema di qualsiasi tipo di avvolgimento.

(*) Gli avvolgimenti ondulati normali ad uno strato sono poco usati.

(**) Con l'avvolgimento rotorico bifase si ha il vantaggio di semplificare il reostato di avviamento.

Facciamo osservare che l'esecuzione dello schema di un avvolgimento a passo intero è abbastanza semplice, mentre un po' più laboriosa riesce la preparazione dello schema per gli avvolgimenti a 2 velocità e per quelli a passo raccorciato, specialmente ad 1 matassa/cava; questi ultimi, come s'è detto, sono in linea di massima da evitare.

Per la rappresentazione grafica degli avvolgimenti statorici si procede come per gli avvolgimenti indotti a corrente continua, cioè se ne può eseguire lo schema *rettangolare* oppure quello *circolare*, però è indispensabile rappresentare i conduttori delle 3 fasi con colori o segni diversi.

Nello schema circolare si rappresentano: *la circonferenza interna dello statore, i fasci disposti nelle cave, le connessioni frontali delle 3 fasi ed i collegamenti tra le matasse di una fase, mentre per le altre due fasi è sufficiente indicare i capi principio e fine.*

Negli avvolgimenti statorici a poli alternati si ha, ripetiamo, un gruppo di matasse per polo e per fase; quindi:

$$\text{numero dei gruppi di matasse} = 3.2p$$

$$\text{numero matasse per gruppo} = \frac{\text{numero totale matasse}}{\text{numero dei gruppi}} = \frac{\text{numero totale matasse}}{3.2p}$$

Se il numero delle matasse per gruppo è intero, tutti i gruppi risultano composti di un eguale numero di matasse, mentre se esso è frazionario i diversi gruppi risultano composti di un diverso numero di matasse.

Il numero delle matasse per gruppo è dunque eguale al numero delle cave per polo-fase q negli avvolgimenti a 2 matasse/cava ed a $q/2$ in quelli ad 1 matassa/cava (v. « *Schemi d'avvolgimenti statorici trifasi* »).

Schemi di avvolgimento a numero intero di cave per polo-fase

1) *a passo intero.* — Noto il numero delle cave ed il numero dei poli che si vogliono ottenere, si può determinare senz'altro il *passo dell'avvolgimento*:

$$y_c = \frac{n_c}{2p}$$

ed il *numero* q *delle cave per polo-fase*:

$$q = \frac{n_c}{3 \cdot 2p}$$

Più semplicemente si perviene allo stesso risultato dividendo lo statore in tanti settori quanti sono i poli (ogni settore corrisponde a 180° elettrici) e suddividendo poi ogni settore in tre gruppi eguali (ogni gruppo comprenderà un numero di cave $q = \frac{n_c}{3 \cdot 2p}$); i gruppi delle 3 fasi si susseguono sempre con lo stesso ordine. È buona norma numerare progressivamente le cave.

Si procede quindi a rendere chiaramente distinti (con segni diversi per le 3 fasi) i cerchietti rappresentanti i fasci di ogni polo-fase, che occupano un arco corrispondente al 1/3 del passo polare, cioè di 60° elettrici (v. figg. 233 e 234).

Si tracciano quindi, in base al passo d'avvolgimento y_c, le connessioni frontali delle matasse di una fase, in modo da ottenere tanti gruppi di matasse quanti sono i poli oppure le coppie polari, rispettivamente per avvolgimenti a poli alternati (tipo B) ed a poli omonimi (tipo A). Le matasse di ciascun gruppo vengono collegate sempre in serie fra loro, mentre il collegamento tra i diversi gruppi di ciascuna fase si fa con uno dei sistemi esposti per gli avvolgimenti monofasi del capitolo precedente, cioè in serie o in parallelo oppure in serie-parallelo.

L'esecuzione dei collegamenti dei gruppi di matasse di ciascuna fase riesce notevolmente facilitata disponendo delle frecce sulle connessioni frontali (*). Evidentemente le frecce per i gruppi di matasse di ogni complesso risultano tutte dello stesso senso negli avvolgimenti di tipo A (v. fig. 290) ed alternativamente di senso inverso per quelli di tipo B (v. figg. 291 e 292).

Disegnata una fase, rimarranno libere, tra i lati attivi delle matasse della prima fase, le cave ($2q$) che dovranno costituire le altre due fasi. Per queste ultime è sufficiente tracciare, come si è detto, le connessioni frontali ed i capi principio e fine.

Anche per le connessioni frontali e per i collegamenti si adottano segni diversi per le 3 fasi.

Negli avvolgimenti a poli alternati ad 1 matassa/cava con q pari il numero delle matasse per ogni gruppo è metà del numero delle cave per polo-fase (v. tav. LXXXII), mentre negli avvolgimenti a poli omonimi il numero delle matasse per ogni gruppo è eguale a q (v. tavola LXXX e LXXXI). Negli avvolgimenti di tipo B con q

(*) Per evitare possibilità di errori nel disporre le frecce sulle testate delle matasse si tenga presente che per ogni settore le frecce devono essere dirette tutte verso la cava o nel senso inverso e per due settori adiacenti devono avere sempre senso opposto.

dispari i gruppi di matasse di ogni fase non risultano evidentemente tutti eguali (v. tav. LX).

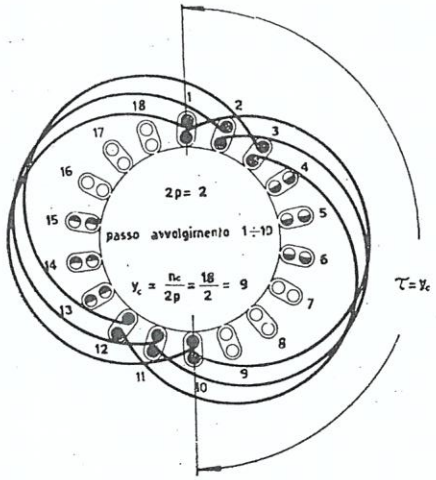


Fig. 285

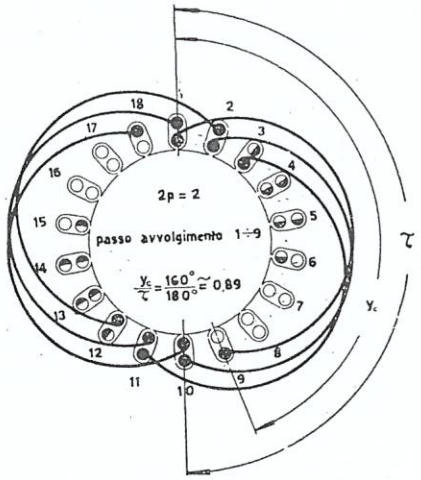


Fig. 286

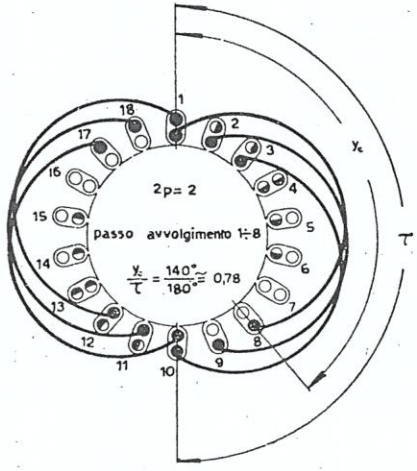


Fig. 287

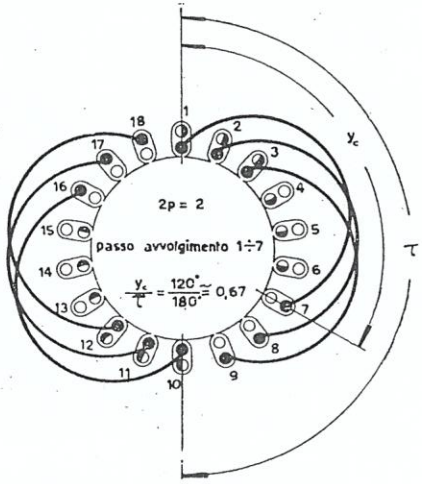


Fig. 288

La distanza tra i capi principio delle 3 fasi è di 120° elettrici, cioè di 2q cave, oppure di $120° + K.360°$ elettrici $(2q + K.6q)$.

Per gli avvolgimenti misti, ossia ad uno e due strati, rimandiamo a quanto è stato detto precedentemente; questo tipo d'avvolgimento consente in alcuni casi, ripetiamo, soluzioni non realizzabili con l'avvolgimento ad 1 matassa/cava.

Infine ricordiamo che negli avvolgimenti a 1 matassa/cava capita sovente che il passo appaia raccorciato (v. tav. LXXXII) e talora anche allungato (v. tav. CXXVII), pur trattandosi di tipi normali a passo intero.

Per il calcolo del fattore K_a conviene attenersi sempre alla regola generale, cioè ritenere intero il passo quando ogni fase occupa in modo continuo 1/3 del passo polare, indipendentemente dal valore del passo y_c.

Gli avvolgimenti a 2 matasse/cava si fanno prevalentemente del tipo embricato ed ogni matassa avrà sempre un lato attivo nello stato superiore di un gruppo e l'altro nello strato inferiore del gruppo successivo della stessa fase o viceversa. Conseguentemente i fasci dello strato inferiore di ogni gruppo di ciascun settore si dovranno collegare con i fasci corrispondenti dello strato superiore del settore successivo.

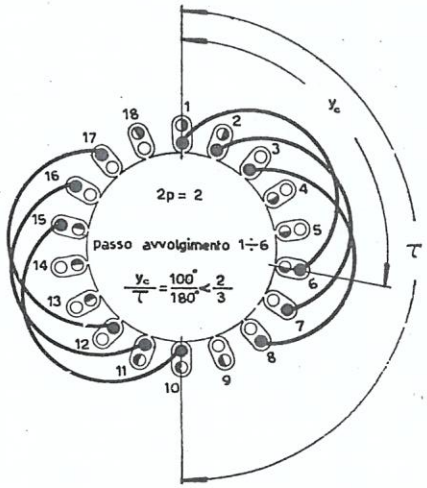


Fig. 289

2) *a passo raccorciato.* — Anche negli avvolgimenti a passo raccorciato a 2 matasse/cava si collegano i fasci dello strato inferiore di un gruppo con quelli dello strato superiore del gruppo successivo della stessa fase. Una guida più chiara ed efficace di qualsiasi descrizione è costituita dalle figg. 285 ÷ 288, dalle quali si rileva che ad ogni diminuzione del passo di una unità, rispetto a quello intero, corrisponde l'aumento di una cava nella estensione di ogni gruppo di ciascuna fase, cioè i conduttori dello strato superiore si spostano di una cava rispetto a quelli corrispondenti dello strato inferiore. Se il passo è i 2/3 di quello intero i due sistemi si separano nettamente, mentre i due complessi risultano distaccati per raccorciamenti superiori a 1/3, cioè per $y_c < \frac{2}{3}\ \tau$ (fig. 289).

In conclusione, l'unica differenza nell'esecuzione dello schema tra avvolgimento a passo raccorciato ed intero, sempre per gli avvolgimenti a 2 matasse/cava, con particolare riferimento agli embricati, consiste nella diversa distribuzione dei fasci di ciascun gruppo che rimane fissata univocamente in base al passo dell'avvolgimento. Resta esclusa ogni possibilità di errori con il seguente metodo: *si collega il fascio dello strato inferiore (o superiore) della cava* 1 *con il fascio dello strato superiore (o inferiore) della cava* $1+y_c$ *e si rendono chiaramente distinti i cerchietti rappresentanti i fasci delle 3 fasi o complessi a partire dalla cava* 1 *per lo strato inferiore (o superiore) e dalla cava* $1+y_c$ *per lo strato superiore (o inferiore), sempre con lo stesso ordine di successione; più precisamente a partire dalla cava* 1 *per uno strato e dalla cava* $1+y_c$ *per l'altro strato si assegnano* q *fasci alla 1ª fase, poi* q *alla 2ª fase ed infine* q *fasci alla 3ª fase, quindi ancora* q *fasci alla 1ª fase e così di seguito* (v. tavole CXXXI e CXXXII).

Il numero dei settori identici è sempre eguale al numero dei poli $2p$.

In questi avvolgimenti il numero q non corrisponde effettivamente al numero delle cave occupate dalla fase per ogni polo, essendo la fase distribuita sotto ciascun polo in un numero di cave maggiore di q; quindi alcune cave sono occupate per intero da una fase ed altre solo per metà e per passi eguali o minori di $2\tau/3$ tutte le cave contengono un lato di matassa di una fase e l'altro di una fase diversa.

Negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava a passo raccorciato la maggior estensione della fase lungo il passo fa sì che elementi di un'altra fase, oppure delle altre due, risultino intercalati con quelli della prima (v. fig. 235). Il numero q corrisponde sempre alle cave occupate realmente dalla fase per ogni polo. Anche questi avvolgimenti si fanno in genere del tipo *B*.

Per l'esecuzione dello schema, noto il passo dell'avvolgimento, basta tenere presente che il numero degli elementi della 2ª o della 3ª fase oppure di entrambe intercalati tra quelli della 1ª e reciprocamente è sempre piccolo (1 oppure 2, come nella fig. 235, ed eccezionalmente si arriva a 4). Con due elementi di altra fase intercalati si hanno già dei forti raccorciamenti di passo. Pur non esistendo per questi avvolgimenti una regola sicura ed inequivocabile per stabilire, noto il passo, la distribuzione degli elementi di ciascuna fase per polo, sarà sempre possibile in un paio di tentativi trovare l'esatta distribuzione dei fasci di ciascun gruppo, specialmente se si tiene presente che l'accorciamento possibile è qui di un numero pari di cave e che nella maggioranza dei casi pratici è di 2 cave.

3) *a 2 velocità. — Negli avvolgimenti ad 1 matassa/cava si procede come per gli avvolgimenti normali a poli omonimi a passo intero, ossia* q *va determinata in base alla* **maggiore polarità**, con la variante di cui si è detto nel collegamento dei gruppi di matasse di ogni fase e nel collegamento interno delle 3 fasi; *negli avvolgimenti a 2 matasse/cava la distribuzione dei fasci delle 3 fasi va fatta invece in base alla* **minore polarità**, con coefficiente di raccorciamento di norma pari a 0,5, mentre le connessioni frontali delle 3 fasi si effettuano come per gli avvolgimenti normali a poli omonimi (tipo A).

In entrambi i casi, dopo avere collegato in serie le matasse di ciascun gruppo della 1ª fase, si effettuano i collegamenti dei gruppi di matasse e precisamente, con riferimento ad un avvolgimento a 12 e 6 poli, si unisce il capo finale di un gruppo qualsiasi, il cui capo iniziale abbiamo indicato con *X* negli schemi a 2 velocità a fine capitolo, con il capo iniziale del 3° gruppo, sempre della 1ª fase, ed il capo finale di questo con quello iniziale del 5° gruppo di matasse; il capo finale della 1ª metà fase con il capo iniziale (*U*) del gruppo adiacente (gruppo 6° e 1° della seconda metà fase), il capo finale di questo con l'iniziale del 2° gruppo e quello finale del 2° con l'iniziale del 4°, il cui capo finale va collegato con il capo d'inizio (y) della 2ª fase (*) (v. tav. CCXIII). Naturalmente si perviene allo stesso risultato collegando il capo finale del 1° gruppo (mantenendo la numerazione dei gruppi ancora nel senso orario) con quello iniziale del 5° gruppo, il capo finale del 5° gruppo con quello iniziale del 3° gruppo, il capo finale del 3° gruppo con quello iniziale (*U*) del 2° gruppo, il capo finale del 2° gruppo con quello iniziale del 4° gruppo, il capo finale del 4° gruppo come quello iniziale del 6° gruppo (v. tav. CCXIV).

Si avranno così 3 capi liberi e precisamente: quello di partenza (*X*), quello finale ed uno in corrispondenza di metà fase (*U*).

Si effettua quindi il collegamento delle altre due fasi con lo stesso sistema, iniziando ad una distanza angolare di 120° elettrici

---

(*) Volendo numerare progressivamente tutti i gruppi di matasse (18 nel nostro esempio) si avrebbe, partendo da X (gruppo 1), il capo finale del gruppo 1 con il capo iniziale del guppo 7, il capo finale del gruppo 7 con quello iniziale del gruppo 13, il capo finale del gruppo 13 con il capo iniziale del gruppo 16, il capo finale del gruppo 16 con quello iniziale del gruppo 4, il capo finale del gruppo 4 con quello iniziale del gruppo 10, il cui capo finale va collegato con il capo d'inizio (Y) della 2ª fase.

oppure, se possibile, ad una distanza angolare di $120° + K \cdot 360° = 120°$ geometrici(*).

Infine si collegano il capo finale della 1ª fase con l'iniziale della 2ª (Y), quello finale della 2ª con il capo iniziale della 3ª (Z) e quello finale della 3ª con il capo iniziale della 1ª (X).

Si ha così il collegamento normale a triangolo (interno). I 3 capi iniziali, indicati qui con X, Y e Z, ed i 3 capi derivati a metà di ciascuna fase (U, V e W) vengono portati alla morsettiera.

Unendo invece i 3 capi finali tra loro si ha il collegamento (interno) normale a stella (v. tavole CXLVI e CCI), trasformabile come nel caso precedente in collegamento a doppia stella per la minore polarità.

Per il collegamento doppia stella/triangolo ($2p/p$ poli) si procede allo stesso modo del collegamento triangolo/doppia stella, per la prima metà fase, poi si collega il capo finale del 5° gruppo con il capo finale (U) del 4° gruppo (**) (v. tav. CCXV), il capo iniziale del 4.° gruppo con il capo finale del 2.° gruppo, il capo iniziale del 2° gruppo con quello finale del 6° gruppo, il cui capo iniziale va collegato al capo d'inizio (Y) della 2ª fase.

Per una migliore comprensione vedansi anche le tavole XCIII, XCVI, CLI e CLXXX. Nella tavola XCIII sono stati numerati tutti i gruppi, mentre negli altri 3 schemi si è preferito per maggiore chiarezza e semplicità numerare solo i gruppi di una fase; riteniamo questo sistema preferibile per fini didattici.

Schemi di avvolgimenti a 2 matasse/cava con numero frazionario di cave per polo-fase

Questi avvolgimenti si fanno di norma a poli alternati (tipo B) ed a passo raccorciato; naturalmente i diversi gruppi non risultano composti dallo stesso numero di matasse, cioè da un numero di matasse per gruppo eguale al numero delle cave per polo-fase. Pertanto bisogna stabilire, prima di iniziare lo schema dell'avvolgimento, oltre al passo y_c la **sequenza**, ossia *l'ordine di successione dei gruppi di matasse di ogni complesso o fase*. Stabilita la sequenza si procede come per gli schemi con numero intero di cave per polo-fase.

(*) Consigliamo questo sistema perchè consente un controllo a prima vista dei collegamenti, data la simmetria dei circuiti .

(**) Ovviamente il capo finale del 5° gruppo si potrebbe collegare con quello finale del 6° gruppo e quello iniziale del 6° con quello finale del 2° e così via.

Sebbene i numerosi schemi di avvolgimento riportati a fine capitolo costituiscano un'ottima guida per l'esecuzione di qualsiasi schema, riteniamo utile, anche per soddisfare le richieste pervenuteci da più parti, esporre un metodo veramente semplice e sbrigativo per la determinazione della sequenza.

Si determina il numero delle cave/polo-fase, espresso sotto forma di frazione impropria ridotta ai minimi termini $\left(\frac{N}{D}\right)$ e precisamente:

$$q = \frac{n_c}{3.2p} = \frac{N}{D} \quad \text{oppure} \quad q = I + \frac{1}{D}$$

dove I = parte intera.

In base al valore del denominatore D si possono trarre le seguenti deduzioni:

a) *se D è eguale a 3 o ad un multiplo di 3 (*) non è possibile un avvolgimento trifase simmetrico, ossia con le tre fasi identiche.*

In alcuni casi però è possibile realizzare una disposizione degli avvolgimenti sufficientemente simmetrica per essere utilizzata specialmente per motori a gabbia (v. tavola CLXXII); comunque il funzionamento di un motore con avvolgimento non perfettamente simmetrico risulta meno soddisfacente degli altri e con avvolgimento irregolare eccessivamente rumoroso.

b) *D è eguale al numero minimo di poli in un circuito dell'avvolgimento, quindi il numero massimo dei circuiti in parallelo è eguale al numero dei poli $2p$ diviso per D; naturalmente il numero massimo dei paralleli rappresenta il numero dei settori identici in cui può suddividersi ogni fase dell'avvolgimento.*

Così per esempio:

per q = numero intero + 1/2 numero massimo paralleli $= \frac{2p}{2}$

» q = » » + 1/4 » » » $= \frac{2p}{4}$

» q = » » + 1/5 » » » $= \frac{2p}{5}$

» q = » » + 1/8 » » » $= \frac{2p}{8}$

(*) D risulta eguale a 3 o multiplo di 3 negli avvolgimenti in cui p sia divisibile per 3. Affinchè un avvolgimento a 6 o 12 poli risulti simmetrico è necessario che il numero delle cave sia divisibile per 9.

c) *Il fattore di distribuzione* K_d, negli avvolgimenti con q frazionario, *è eguale*, come si è già detto, *a quello di un avvolgimento con N cave/polo-fase.*

Noti i termini della frazione impropria ridotta ai minimi termini, si tracciano su tre colonne D righe orizzontali di N puntini per ciascuna colonna, in modo cioè da avere 3N puntini per ogni linea divisi in tre gruppi; si segna una crocetta sul primo puntino e così pure su tutti i puntini distanziati di D posti, procedendo da sinistra a destra e dall'alto in basso (*).

Il numero delle crocette di ciascuna riga e di ciascuna colonna rappresenta il numero delle matasse per gruppo o per polo.

Il procedimento risulterà più evidente con un esempio pratico.

ESEMPIO. - Tracciare un avvolgimento statorico trifase: 4 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - passo avvolgimento 1÷7 - 6 morsetti.

Si avrà:

$$q = \frac{30}{3.4} = \frac{30}{12} = \frac{5}{2}$$

quindi:

$$N = 5 \quad \text{e} \quad D = 2$$

Poichè D non è multiplo di 3 è possibile un avvolgimento simmetrico; inoltre sono possibili due paralleli dato che si deve avere un numero minimo di 2 poli per circuito o più semplicemente per il fatto che $\frac{2p}{D} = \frac{4}{2} = 2$.

Per determinare la sequenza si tracciano 2 righe di 5 puntini per ciascuna colonna, come è indicato nello specchietto seguente:

Polo	I^a fase	II^a fase	III^a fase
1.°	+ . + . +	. + . + .	+ . + . +
2.°	. + . + .	+ . + . +	. + . + .

Si segna dunque una crocetta sul 1°, 3°, 5°, 7°, 9°, 11°, ecc. puntino. Si avranno quindi per ciascuno dei 2 settori identici: un gruppo di 3 ed uno di 2 matasse per la 1^a fase, un gruppo di 3 ed uno di 2 matasse per la II^a fase, un gruppo di 3 ed uno di 2 matasse per la III^a fase (*). Pertanto l'ordine di successione dei gruppi di matasse di ogni complesso o sequenza è il seguente:

(*) Il conteggio si potrebbe iniziare dal punto di posto D anzi che dal primo.

Fase	Sequenza	
I	3	2
II	2	3
III	3	2

La Marelli usa una tabella del seguente tipo:

Poli / Fasi	I	II	III
1 - 3	3	2	3
2 - 4	2	3	2

praticamente equivalente a quella da noi adottata.

Per l'esecuzione dello schema è più comodo considerare la sequenza come l'ordine di ripartizione dei fasci di ciascuno strato. Riferendosi ai fasci (v. tav. CVIII), il conteggio per la sequenza relativa allo strato superiore s'inizia dalla cava 1 e per quello inferiore dalla cava 7 $(1+y_c)$ e va ripetuto due volte, ossia tante volte quanti sono i settori identici (**).

(*) Iniziando il conteggio dal 2° puntino s'invertirebbe la sequenza, si avrebbe cioè: 2 - 3 - 2; 3 - 2 - 3.

(**) Riferendo la sequenza ai fasci di ciascuna fase, la distribuzione per lo strato superiore in base alla nostra tabellina della sequenza risulta:

Fase	Cave 1.° settore		Cave 2.° settore	
I	1 - 2 - 3	9 - 10	16 - 17 - 18	24 - 25
II	4 - 5	11 - 12 - 13	19 - 20	26 - 27 - 28
III	6 - 7 - 8	14 - 15	21 - 22 - 23	29 - 30

e per lo strato inferiore:

Fase	Cave 1.° settore		Cave 2.° settore	
I	7 - 8 - 9	15 - 16	22 - 23 - 24	30 - 1
II	10 - 11	17 - 18 - 19	25 - 26	2 - 3 - 4
III	12 - 13 - 14	20 - 21	27 - 28 - 29	5 - 6

Numero cave per polo-fase e numero massimo dei paralleli degli avvolgimenti trifasi

TABELLA XXXIII

Numero cave n_c	2 poli		4 poli		6 poli		8 poli		10 poli		12 poli	
	q	numero mass. paralleli	q	numero mass. paralleli	q	numero mass. paralleli	q	numero mass. paralleli	q	numero mass. paralleli	q	numero mass. paralleli
6	1	2	—	—								
9	1+1/2	1	—	—								
12	2	2	1	4	—	—						
15	2+1/2	1	1+1/4	1	—	—						
18	3	2	1+1/2	2	1	6	—	—				
21	3+1/2	1	1+3/4	1	1+1/6	d	—	—				
24	4	2	2	4	1+1/3	d	—	—				
27	4+1/2	1	2+1/4	1	1+1/2	3	1+1/8	1	—	—		
30	5	2	2+1/2	2	1+2/3	d	1+1/4	2	1	10	—	—
33	5+1/2	1	2+3/4	1	1+5/6	d	1+3/8	1	1+1/10	1	—	—
36	6	2	3	4	2	6	1+1/2	4	1+1/5	2	1	12
39	6+1/2	1	3+1/4	1	2+1/6	d	1+5/8	1	1+3/10	1	1+1/12	d
42	7	2	3+1/2	2	2+1/3	d	1+3/4	2	1+2/5	2	1+1/6	d
45	7+1/2	1	3+3/4	1	2+1/2	3	1+7/8	1	1+1/2	5	1+1/4	3
48	8	2	4	4	2+2/3	d	2	8	1+3/5	2	1+1/3	12
54	9	2	4+ 1/2	2	3	6	2+1/4	2	1+4/5	2	1+1/2	d
60	10	2	5	4	2+1/3	d	2+1/2	4	2	10	1+2/3	6
66	11	2	5+1/2	2	3+2/3	d	2+3/4	2	2+1/5	2	1+5/6	d
72	12	2	6	4	4	6	3	8	2+2/5	2	2	d
84	14	2	7	4	4+2/3	d	3+1/2	4	2+4/5	2	2+1/3	d

d sta ad indicare che non è possibile un avvolgimento simmetrico.

Negli avvolgimenti con numero frazionario di cave per polo-fase i capi di uscita delle 3 fasi sono posti sovente a 120° geometrici, ossia a $120° + K \cdot 360°$ elettrici.

Ci siamo riferiti finora ad avvolgimenti a 2 matasse/cava a poli alternati (tipo B), ma il metodo si potrebbe applicare agli avvolgimenti a poli omonimi (v. tav. XCVIII) purchè si dimezzi il numero delle righe ($D/2$) e si raddoppi il numero dei puntini di ogni riga ($2 \cdot 3N$).

Nella tabella XXXIII sono riportati il *numero delle cave per polo-fase ed il numero massimo dei paralleli degli avvolgimenti trifasi in funzione del numero delle cave e del numero dei poli* e nella tabella XXXIV *il numero dei gruppi di matasse e il numero di matasse di ciascun gruppo degli avvolgimenti trifasi simmetrici con q frazionario.*

La tabella XXXIV è stata ricavata applicando il metodo suesposto.

L'esecuzione di qualsiasi schema, anche con numero frazionario di cave per polo-fase, non richiede nessuna operazione preventiva con l'uso di queste due tabelle; infatti dalla tabella XXXIII si ha senz'altro il valore di q e dalla XXXIV l'ordine di distribuzione dei fasci di ciascuno strato oppure l'ordine di successione dei gruppi di matasse di ciascun complesso.

Verifica dei collegamenti degli avvolgimenti trifasi

Eseguito lo schema di un avvolgimento, è buona norma procedere alla verifica dei collegamenti. La verifica nello schema rettangolare riesce assai spedita se vengono segnate sulle linee che rappresentano i fasci delle frecce che indichino, in un istante generico, il senso delle correnti, in modo da conoscere la polarità nell'istante generico considerato, ma anche nello schema circolare le frecce rendono più spedita la verifica dei collegamenti.

Le connessioni sono esatte quando sono soddisfatte le seguenti condizioni:

1) *collegamento a stella*: entrando dal morsetto di una fase nel senso delle frecce (morsetto V nelle figg. 290 e 291) si deve uscire dagli altri due, percorrendo l'avvolgimento nel senso delle frecce;

2) *collegamento a triangolo*: scelti due nodi qualsiasi, si deve potere percorrere una fase entrando da un nodo ed uscendo

Numero dei gruppi di matasse e numero di matasse di ciascun gruppo negli avvolgimenti trifasi simmetrici con q frazionario

TABELLA XXXIV

Cave per polo-fase q	NUMERO DEI GRUPPI																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1+1/8	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
1+1/5	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1									
1+1/4	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1												
1+3/8	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1
1+2/5	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1									
1+1/2	2	1	2	1	2	1																		
1+3/5	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1
1+5/8	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	
1+3/4	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1												
1+4/5	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1									
1+7/8	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
2+1/4	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2												
2+1/2	3	2	3	2	3	2																		
2+3/4	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2												
3+1/4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3												
3+1/2	4	3	4	3	4	3																		
3+3/4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3												
4+1/2	5	4	5	4	5	4																		
5+1/2	6	5	6	5	6	5																		

dall'altro; entrando ed uscendo dagli stessi due nodi si devono percorrere le altre due fasi (fig. 292).

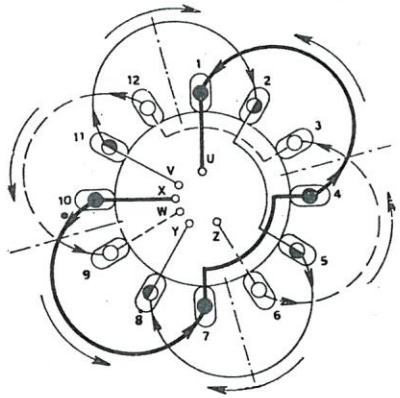


Fig. 290

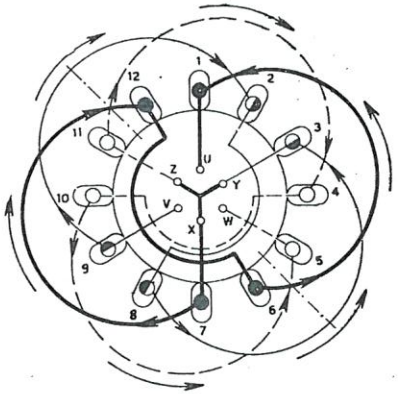


Fig. 291

Negli avvolgimenti a poli alternati si devono verificare tanti gruppi di frecce di senso inverso, per ogni fase, quanti sono i poli della macchina (v. figg. 291 e 292) e negli avvolgimenti a poli omonimi si devono verificare tanti gruppi di frecce dello stesso senso, per ogni fase, quante sono le coppie di poli (v. fig. 290).

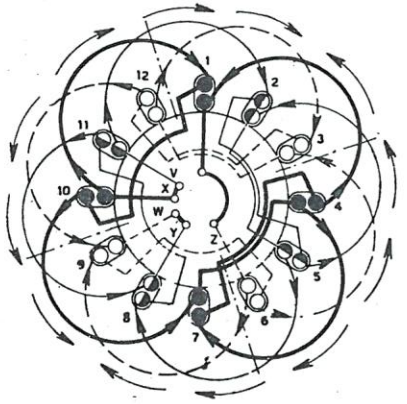


Fig. 292

Essendo l'angolo elettrico tra cave contigue eguali a $\frac{360° \times p}{n_c}$ affinchè le fasi risultino spostate di 120° elettrici (*), l'inizio della seconda fase deve distare dall'inizio della prima (scelto ad arbitrio) di $\frac{n_c}{3 \times p}$ cave, ossia $2q$, e così l'inizio della 3ª fase dall'inizio della 2ª.

(*) Infatti:

$$2q = \frac{n_c}{3 \cdot p} \qquad \text{e} \qquad n_c = \text{p} \cdot 360° \text{ elettrici}$$

quindi:

$$2q = \frac{p \cdot 360°}{3 \cdot p} = \frac{360°}{3} = 120° \text{ elettrici}$$

Motori monofasi

Nei motori di piccolissima potenza si usa un solo avvolgimento monofase, disposto normalmente in due terzi delle cave. L'avviamento si può effettuare secondo il sistema ideato dall'Arnò, cioè con un reostato inserito nel circuito dello statore e spinta iniziale nel senso desiderato. Di solito però il motore è provvisto, oltre che dell'avvolgimento monofase normale, detto *avvolgimento principale o di lavoro,* di un secondo avvolgimento, detto *avvolgimento ausiliario o di avviamento* (*), spostato di 90° elettrici rispetto a quello normale. All'atto dell'avviamento i due avvolgimenti funzionano in parallelo e con opportuni artifici si fa passare attraverso l'avvolgimento ausiliario una corrente sfasata nel tempo di un certo angolo rispetto a quella fluente nell'avvolgimento principale; in tale guisa si ottiene, durante la fase di avviamento, un campo rotante simile a quello di un motore bifase. Lo spostamento di fase della corrente nell'avvolgimento ausiliario può essere ottenuto mediante inserzione, in serie o in parallelo, di resistenze ohmiche o induttanze oppure di capacità di valore appropriato (**). Il sistema più in uso è quello di inserire all'avvolgimento ausiliario una *resistenza* oppure un *condensatore*. Le resistenze si usano soprattutto perchè più economiche, ma con esse lo sfasamento raramente supera i 40°, mentre con i condensatori si ottiene uno sfasamento prossimo ai 90° e conseguentemente la coppia di avviamento risulta più elevata.

Nei motori monofasi di piccola potenza (motori monofasi a fase ausiliaria) possono mancare sia la resistenza che il condensatore, purchè il numero delle spire dell'avvolgimento ausiliario sia notevolmente inferiore a quello dell'avvolgimento principale. Per motori di potenza da 1/8 di cav in su molti usano fare l'avvolgimento ausiliario con circa il 60% del numero di spire della fase principale, impiegando del filo con diametro del 55% circa di quello principale; per le potenze inferiori (da $1/12 \div 1/20$ di cav) il numero delle spire della fase ausiliaria può essere il 30% di quello della fase principale ed il diametro del filo i 2/3 circa (*). Un motore a fase ausiliaria può essere trasformato in un motore a condensatore di avviamento inserendo un condensatore in serie con l'avvolgimento ausiliario. L'impiego del condensatore naturalmente consente di aumentare la coppia di avviamento e di ridurne la corrente.

(*) L'avvolgimento di avviamento viene chiamato anche *fase ausiliaria.*

(**) Normalmente: per motore a resistenza di avviamento s'intende un motore a fase ausiliaria con una resistenza connessa in serie con l'avvolgimento ausiliario; per motore a reattanza di avviamento s'intende un motore a fase ausiliaria provvisto di una reattanza in serie con la fase principale (la reattanza viene cortocircuitata quando la velocità raggiunge un dato valore); un motore a condensatore di avviamento è un motore a fase ausiliaria in serie con un condensatore.

È bene ricordare che certi motori si avviano a vuoto come motori a fase ausiliaria ed altri invece no. Si può aumentare in generale la coppia di avviamento e ridurne la corrente assorbita inserendo in serie con la fase ausiliaria una resistenza. Il valore della resistenza che assicura le migliori condizioni di avviamento varia da una a due volte la resistenza ohmica della fase ausiliaria. Il valore più idoneo va determinato sperimentalmente.

L'avvolgimento ausiliario occupa di solito 1/3 delle cave, ossia le cave che non potrebbero essere utilizzate per quello principale, perchè le $f\,e\,m$ risulterebbero quasi in opposizione (**). Talvolta però l'avvolgimento ausiliario è disposto nelle stesse cave di quello principale. In generale è da preferire la ripartizione dell'avvolgimento ausiliario nel maggior numero di cave consentito dall'avvolgimento principale.

L'applicazione di queste semplici regole di massima conduce di solito a risultati soddisfacenti, ma, in certi casi speciali, può capitare che l'avvolgimento ausiliario, così determinato, non risulti soddisfacente per una delle ragioni seguenti: coppia di avviamento troppo piccola; corrente di avviamento troppo elevata; riscaldamento eccessivo.

Naturalmente la coppia di avviamento e quindi anche la corrente può essere aumentata diminuendo il numero delle spire della fase ausiliaria; inversamente per diminuire la corrente di avviamento e conseguentemente la coppia occorre aumentare il numero delle spire. Il riscaldamento eccessivo può essere dovuto a sezione insufficiente del filo dell'avvolgimento oppure al fatto che il motore si avvia troppo lentamente (tempo troppo lungo per raggiungere la velocità normale).

(*) La densità di corrente nell'avvolgimento di avviamento può assumere valori assai elevati (anche parecchie decine di A/mm²) in considerazione del breve periodo di funzionamento. Essendo la sezione inferiore a quella dell'avvolgimento principale, sovente le cave occupate dall'avvolgimento ausiliario risultano parzialmente vuote e si rende necessario riempire lo spazio libero con stecche di legno.

(**) Quando lo statore è provvisto di cave come per i trifasi (normalmente si usano statori per macchine trifasi) se ne utilizzano solo i 2/3 perchè occupando tutte le cave si avrebbe un aumento del 50% di rame e quindi il 50% in più di perdite nel rame, mentre l'aumento di tensione si mantiene di solito al disotto del 20%.

Quando il motore ha raggiunto una certa velocità, si esclude la fase di avviamento a mezzo di un *disinseritore centrifugo automatico*.

Nei motorini di piccolissima potenza lo statore è a poli salienti e manca un vero e proprio avvolgimento di avviamento, ma si applica su ogni polo una spira in cortocircuito, in piattina, che abbraccia meno di metà poli (fig. 293).

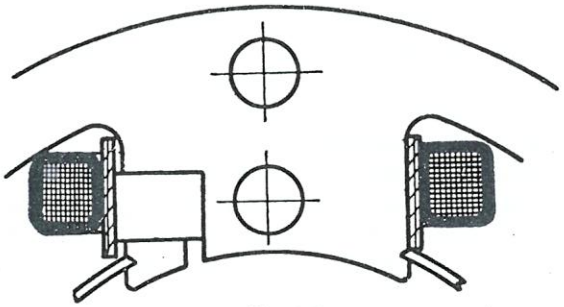


Fig. 293

Talvolta, per motorini fino a 0,25 kW, l'avvolgimento ausiliario si esegue con pochissime spire di filo ad alta resistenza, quali la costantana, la kruppina, ecc.

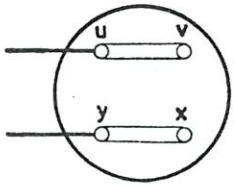


Fig. 294

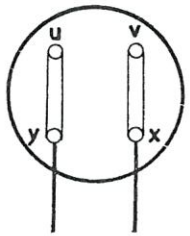


Fig. 295

I capi terminali dei due avvolgimenti si fissano a quattro morsetti, applicati su una piastrina isolante, in modo da potere eseguire l'inversione della corrente in uno dei due avvolgimenti quando si desidera invertire il senso di rotazione del motore. Le figg. 294 e 295 mostrano la morsettiera con le piastine relatrive per i due sensi di rotazione.

Per concludere queste brevi considerazioni sui motori monofasi diremo che attualmente per le applicazioni in cui occorre una coppia più elevata s'impiega quasi esclusivamente il motore a condensatore di avviamento (*). Questi motori vengono costruiti anche per due tensioni di funzionamento ed in tal caso l'avvolgimento principale (oppure entrambi) è diviso in due sezioni eguali, che possono essere connesse in serie oppure in parallelo (v. fig. 297).

La fig. 296 mostra lo schema delle connessioni alla morsettiera dei due avvolgimenti, del condensatore e del disinseritore centrifugo automatico nel tipo con alimentazione ad unica tensione e la fig. 297 nel tipo ad alimentazione a due tensioni per i due sensi di rotazione del motore secondo il sistema seguito dalla Marelli.

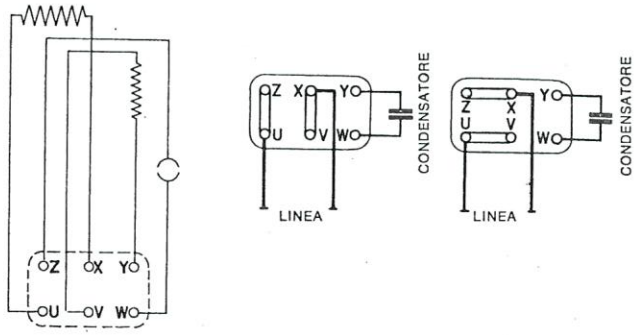


Fig. 296

Oggi hanno acquistato una certa importanza anche i motori a condensatore doppio; questo tipo di motore ha un condensatore di avviamento in serie con l'avvolgimento ausiliario ed uno di marcia di diversa capacità. Esso ha delle coppie di avviamento e di funzionamento elevate. Il condensatore di marcia, permanentemente inserito, consente i seguenti vantaggi: 1) aumento della coppia massima dal 5 al 30%; 2) aumento della coppia di avviamento dal 5 al 20%; 3) aumento del rendimento e del fattore di potenza a pieno carico; 4) riduzione del rumore nel funzionamento a pieno carico.

Per applicazioni speciali si usano i motori a condensatore permanente (**). I motori di questo tipo per servizio continuo hanno

---

(*) Lo sviluppo dei motori a condensatore è dovuto anche alla riduzione del costo dei condensatori elettrolitici ed alla loro sicurezza di funzionamento.

Il disinseritore centrifugo automatico esclude la fase di avviamento ed il condensatore relativo in serie ad una velocità corrispondente al valore di coppia massima.

(**) Questo tipo di motore viene talvolta chiamato bi-monofase, ma in effetti si tratta di un motore polifase per quanto riguarda il principio di funzionamento; si considera fra i monofasi per il fatto che ha alimentazione monofase.

una debole coppia di avviamento, ma un elevato fattore di potenza, mentre per servizio intermittente possono avere una coppia di spunto elevata. Naturalmente in questi motori manca il disinseritore auto-

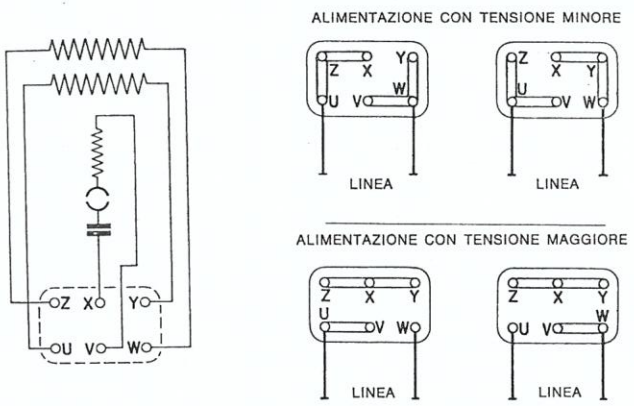


Fig. 297

matico per il circuito della fase ausiliaria (fig. 298). Anche i motori a condensatore permanente vengono costruiti per due tensioni di funzionando (v. tavola CCLXI).

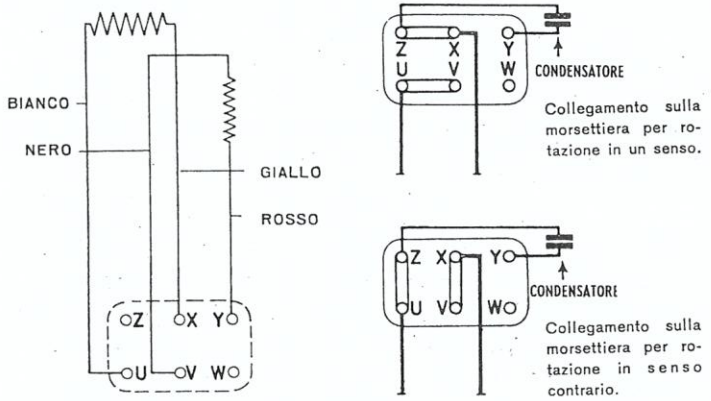


Fig. 298

Esistono vari altri tipi di motori monofasi, che presentano qualche piccola particolarità costruttiva o funzionale rispetto ai tipi brevemente esaminati, ma non riteniamo necessario soffermarci oltre

perchè gli avvolgimenti di questi motori vanno rifatti, in caso di bruciatura, senza apportarvi alcuna variante.

Si costruiscono motori monofasi a 2 velocità; questi motori si realizzano di solito con 3 avvolgimenti: 2 di lavoro (principale e sussidiario) ed uno di avviamento (v. « *Schemi di avvolgimento statorici monofasi* »).

La commutazione dei poli si esegue normalmente a mezzo di un commutatore a 4 posizioni: una di riposo, una di avviamento in cui vengono inseriti l'avvolgimento di avviamento e quello principale a minore velocità, una di marcia alla minore velocità ed una quarta di marcia alla maggiore velocità.

Per gli avvolgimenti monofasi l'espressione che dà il valore del *fattore di distribuzione* riesce di più comoda applicazione messa sotto la forma seguente:

$$K_d = \frac{\operatorname{sen} q \dfrac{90°}{Q}}{q \operatorname{sen} \dfrac{90°}{Q}} \quad (*)$$

dove q rappresenta il numero delle cave per polo, occupate dall'avvolgimento di lavoro e Q il numero delle cave per polo $\left(Q = \dfrac{n_c}{2p}\right)$.

Per avvolgimenti monofasi distribuiti su 1/2 del passo polare τ (normalmente motori bi-monofasi a condensatore permanente) i valori del fattore di distribuzione in funzione di « q » risultano:

$q =$	2	3	5	∞
K_d	0,924	0,910	0,904	0,901

(*) Infatti:

$$\alpha = p \frac{360°}{n_c} = 2p \frac{180°}{n_c} = \frac{180°}{\dfrac{n_c}{2p}} = \frac{180°}{Q}$$

quindi:

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{90°}{Q}$$

ed infine:

$$K_d = \frac{\operatorname{sen} q \dfrac{\alpha}{2}}{q \operatorname{sen} \dfrac{\alpha}{2}} = \frac{\operatorname{sen} q \dfrac{90°}{Q}}{q \operatorname{sen} \dfrac{90°}{Q}}$$

Di solito però nei motori monofasi l'avvolgimento principale o di lavoro è distribuito su 2/3 di τ, ossia $y = \frac{2}{3} Q$ ed in tal caso la formula che dà il valore del fattore di distribuzione nel caso più generale diventa evidentemente:

$$K_d = \frac{\text{sen } 60°}{q \text{ sen } \frac{90°}{Q}} = \frac{0{,}866}{q \text{ sen } \frac{90°}{Q}}$$

mentre per l'avvolgimento di avviamento, distribuito di norma su 1/3 di τ, il fattore di distribuzione ovviamente coincide con quello dei motori trifasi, riportati nella tabella XXXI.

I valori più usuali del fattore di distribuzione in funzione di q e Q sono riportati nella tabella XXXV.

Fattori di distribuzione per avvolgimenti monofasi

TABELLA XXXV

Numero delle cave per polo Q =	6	6	7	8	9	12	15	30
Numero delle cave avvolte per polo q =	4	5	5	6	6	8	10	20
Fattore di distribuzione K_d	0,836	0,746	0,810	0,794	0,831	0,829	0,828	0,827

Il fattore di raccorciamento passo in funzione del rapporto tra passo d'avvolgimento e passo polare (y_c/τ) ha evidentemente gli stessi valori che negli avvolgimenti trifasi.

Capacità del condensatore nei motori asincroni monofasi

La capacità del condensatore di avviamento dipende dalla tensione di alimentazione, dalla frequenza e dalla coppia di avviamento richiesta.

La capacità in microfarad si può determinare, con buona approssimazione, con la formula:

$$C = \frac{P_c}{\omega \cdot (a \cdot V)^2} 10^6 \ (\mu F)$$

dove: P_c = potenza del condensatore in VA; $\omega = 2\pi f$ = pulsazione (f = frequenza in p/s); V = tensione ai morsetti del motore in volt; a rappresena un coefficiente dipendente dalla tensione di alimentazione. In media si può ritenere:

V =	125	150	220	260
a =	1,4	1,55	180	1,95

Il prodotto $a.V$ rappresenta la tensione ai morsetti del condensatore. Sperimentalmente si è trovato che la potenza del condensatore per ogni cav di potenza del motore in funzione della coppia di avviamento assume i seguenti valori:

Potenza del condensatore/cav in funzione della coppia di avviamento

TABELLA XXXVI

Coppia di avviamento in % della coppia normale	40%	70%	100%	180%	200 ÷ 250%
Potenza del condensatore per ogni cav di potenza del motore in VA	600	1000	1400	1800	2500

Il prodotto $\omega.(a.V)^2$ per la frequenza di 50 p/s assume in cifra tonda i seguenti valori:

Tensione di alimentazione in V	125	150	220	260
$\omega.(a.V)^2$ =	$10 \cdot 10^6$	$17 \cdot 10^6$	$49 \cdot 10^6$	$80 \cdot 10^6$

ESEMPIO. — Determinare la capacità del condensatore per una coppia di avviamento del 100% di quella normale.

Potenza del motore = 0,5 cav;
Tensione di alimentazione = 220 V;
Frequenza = 50 p/s.

$$C = \frac{P_c}{\omega \ (a \cdot V)^2} 10^6 = \frac{700 \cdot 10^6}{49 \cdot 10^6} = \frac{700}{49} = \sim 14{,}3 \ \mu F$$

Per forte coppia di spunto e frequenza di 50 p/s, in linea di massima il valore della capacità, per motori a 2 poli, potrebbe dedursi dalla relazione empirica:

$$\text{capacità} = \frac{3000 \times \text{corrente del motore}}{\text{tensione applicata}} = \frac{3000 \times I}{V} \ (\mu F)$$

Esistono, oltre questi metodi approssimati, dei metodi sufficientemente precisi (*), ma sono talmente laboriosi che certamente nessun riavvolgitore potrebbe pensare di applicarli. Pertanto riteniamo superfluo esaminarne compiutamente qualcuno.

Il sistema più sicuro, e diremmo di uso generale, per la scelta della capacità più idonea, in base al tipo di esercizio del motore ma soprattutto alla coppia di spunto richiesta, consiste nel determinarla sperimentalmente.

Le prove si eseguono inserendo, di norma, in serie all'avvolgimento ausiliario dei condensatori di diversa capacità fino ad ottenere la coppia massima. È consigliabile però adottare poi un condensatore di capacità pari all'80% di quella corrispondente alla coppia di spunto massima. Questo sistema viene in definitiva applicato anche dai costruttori di questi motori.

Il metodo esposto precedentemente dovrebbe servire quindi solo come guida di orientamento per rendere più spedita la prova sperimentale.

Dai dati fornitici dalla Marelli si rileva che la tensione ai morsetti del condensatore può scegliersi di valore sensibilmente diverso da quello del prodotto $a.V$; inoltre facciamo rilevare che la Marelli impiega sovente per l'avvolgimento ausiliario lo stesso numero di spire dell'avvolgimento principale con sezione del filo del 40-50%.

Per i *motori monofasi autoavviantisi con condensatore permanentemente inserito*, chiamati più propriamente motori *bi-monofasi*, la capacità risulta sempre notevolmente inferiore a quella in uso per i motori a condensatore di avviamento. Naturalmente anche la coppia di spunto risulta molto ridotta; in genere essa oscilla fra 0,3 e 0,5 di quella nominale. Nei casi, assai frequenti, che i due avvolgimenti siano identici, ossia con rapporto tra il numero dei conduttori dei due avvolgimenti eguale all'unità, il valore della capacità del

(*) V. « L'elettrotecnica » - N. 6 del 1959 - « Nota sulla coppia di spunto del motore monofase ad induzione » dell'ing. L. Clemente.

condensatore può dedursi, con buona approssimazione, alla formula di pag. 444 o, più genericamente, dalla relazione:

$$C_c = \frac{P_c \cdot 10^6}{2\pi f . V_c^2} = \frac{P_a(*) \cdot 10^6}{2\pi f . V_c^2} \ (\mu F)$$

dove: P_c = potenza reattiva in VA del condensatore; P_a = potenza apparente totale assorbita dal motore; V_c = tensione ai morsetti del condensatore; f = frequenza di alimentazione in p/s.

Capacità del condensatore di avviamento per forte coppia di spunto nei motori asincroni autoavviantisi Marelli

(in funzione della potenza resa, del rapporto C_a/C_n e della tensione di lavoro VL .50 p/s)

TABELLA XXXVII

n.° poli	Potenza resa		giri/min a 1/1 carico	Corrente a 220 V A	$\frac{C_a}{C_n}$ (*)	Condensatore elettrolitico 220 V		Serie NVdc
	cav	kW				Capacità µF	Tensione lavoro VL	Tipo
2	0,38	0,28	2850	2,8	2,2	80	220	71 a2
	0,5	0,37	2850	3,5	2,2	80	»	71 b2
	0,75	0,55	2860	4,9	2,0	80	»	80 a2
	1,0	0,75	2900	6,0	2,0	80	»	80 b2
	1,25	0,92	2910	8,0	1,8	160	»	90 s2
	1,6	1,17	2920	9,4	1,8	160	»	90 L2
4	0,2	0,15	1400	2	2,5	80	220	71 a4
	0,25	0,185	1400	2,5	2,5	80	»	71 b4
	0,5	0,37	1420	3,6	2,2	80	»	80 a4
	0,66	0,485	1450	4,4	2,2	80	»	80 b4
	1,0	0,75	1450	7,0	2,0	160	»	90 a4
	1,25	0,92	1450	9,0	2,0	160	»	90 b4

(*) C_a = coppia di avviamento; C_n = coppia normale.

La relazione suddetta vale, ripetiamo, nei casi in cui le correnti dei due avvolgimenti siano sfasate di 90° e diano luogo allo stesso numero di amperspire; questa condizione, che si chiama « regime

(*) In regime equilibrato la potenza reattiva del condensatore risulta eguale alla potenza apparente totale assorbita dal motore.

equilibrato », difficilmente si raggiunge in pratica, ma si deve tendere ad avvicinarvisi il più possibile.

Dai dati fornitici dalla E. Marelli, riportati nelle tabelle XXXVII e XXXVIII, si rileva che non sempre i risultati ottenuti con i due metodi di colcolo segnalati collimano con i valori adottati dalla Ditta e pertanto siamo condotti a ribadire che è preferibile attenersi al valore della capacità ricavato sperimentalmente. Comunque anche i dati delle due tabelle riescono utili come base per la prova sperimentale.

Capacità del condensatore permanentemente inserito nei motori asincroni monofasi autoavviantisi Marelli

(in funzione della potenza resa, del rapporto C_a/C_n e della tensione di lavoro VL .50 p/s)

Tabella XXXVIII

n.° poli	Potenza resa		Giri/min a 1/1 carico	Corrente a 220 V A	$\frac{C_a}{C_n}$	Condensatore elettrolitico 220 V		Serie NVC
	cav	kW				Capacità µF	Tensione lavoro VL	Tipo
2	0,125	0,092	2780	0,8	0,5	6.3	400	56 b2
	0,27	0,2	2800	1,5	0,5	10	»	63 b2
	0,5	0,37	2830	2,6	0,4	12,5	»	71 a2
	0,7	0,52	2850	3,5	0,4	16	»	71 b2
	1,0	0,75	2860	4,8	0,35	25	»	80 a2
	1,4	1,03	2880	6,6	0,35	32	»	80 b2
4	0,1	0,075	1390	0,65	0,5	5	400	56 b4
	0,2	0,15	1400	1,15	0,5	10	»	63 b4
	0,25	0,185	1410	1,5	0,4	12,5	»	71 a4
	0,35	0,26	1420	2,1	0,4	16	»	71 b4
	0,5	0,37	1430	2,8	0,4	25	»	80 a4
	0,7	0,58	1450	3,8	0,4	32	»	80 b4
6	0,15	0,11	920	1,1	0,35	8	400	71 a6
	0,18	0,132	930	1,3	0,35	10	»	71 b6
	0,35	0,26	940	2,1	0,3	16	»	80 a6
	0,5	0,37	950	2,9	0,3	20	»	80 b6

Dalla tabella XXXVIII si nota che nei motori con condensatore permanentemente inserito a 4 poli il valore della capacità, a parità di potenza resa, è doppio di quello dei motori a 2 poli.

Schemi di avvolgimento ed esempi costruttivi

Lo schema grafico ha un'importanza fondamentale per la costruzione di un avvolgimento. Normalmente i riavvolgitori usano prepararsi lo schema all'atto dello smontaggio dell'avvolgimento bruciato, riproducendo con particolare cura i collegamenti dei vari gruppi di matasse di ciascuna fase. Quest'operazione assorbe un certo tempo, che va a detrimento della produzione e che incide in misura più o meno sensibile sul costo. Pertanto abbiamo ritenuto opportuno, anche per soddisfare i desideri di molti riavvolgitori, includere nel presente volume una serie numerosa di schemi di avvolgimento, che potremmo chiamare, senza tema di esagerare, un piccolo atlante di schemi di avvolgimenti trifasi e monofasi, curando in modo particolare quelli trifasi a 2 matasse/cava.

Per rendere più semplice e spedite le eventuali verifiche (induzione nel traferro o nella corona dello statore) oppure il calcolo del numero dei conduttori dell'avvolgimento statorico, abbiamo indicato per ogni schema il fattore d'avvolgimento K_a. Inoltre sono stati indicati, oltre ai dati che solitamente accompagnano nelle testate gli schemi delle grandi ditte costruttrici, il numero delle cave per polo-fase o il numero delle matasse per settore, il sistema ed il tipo di avvolgimento, i gruppi di matasse per fase, il sistema di collegamento delle fasi, la distanza tra i capi delle fasi in gradi elettrici e, per avvolgimenti a passo raccorciato, il fattore di distribuzione K_d ed il fattore di passo K_p. Alcune di queste indicazioni possono essere ritenute superflue da chi ha una certa dimestichezza con gli schemi di avvolgimento, mentre non lo sono certamente per tutti coloro che non possono vantare in merito una sicura padronanza.

Negli schemi di avvolgimento per 2 polarità sono stati indicati altresì il sistema di collegamento delle fasi per il funzionamento alla maggiore ed alla minore polarità ed i collegamenti alla linea di alimentazione.

Si tenga sempre presente che quasi tutti gli schemi di avvolgimento con collegamento serie della fase possono essere eseguiti con collegamento parallelo. Il numero dei circuiti che si possono disporre in parallelo è uguale al numero dei settori identici (v. « *Esecuzione degli schemi di avvolgimento* ») *in cui si può dividere la fase* (3 paralleli per la tavola CXXIX, ecc.). È bene inoltre mettere in chiaro che oggi per gli avvolgimenti ad 1 matassa/cava a poli omonimi i riavvolgitori preferiscono sovente, per economia di manodopera,

il tipo di avvolgimento *a corona speciale* (v. tavole CV e CXIX) in sostituzione di quello concentrico.

Si ritiene superfluo riportare sempre i due tipi di avvolgimento, dato che il passaggio dal tipo concentrico al tipo *speciale a corona* è molto semplice ed alla portata di tutti.

L'avvolgimento della tav. XCVIII (*) potrebbe eseguirsi in ondulato-embricato con matasse *a zampe di rana*. Lo schema della tavola CIX, pur non essendo simmetrico, può essere usato per adattamenti (in pratica il funzionamento è risultato discretamente soddisfacente).

Lo schema della tavola CLVII è stato rilevato da un motore (Leroy) a tre velocità (4-8 e 16 poli) con due avvolgimenti: uno a 2 polarità (4 e 8 poli - v. tavola CLVI), a 2 matasse/cava, disposto a fondo cava, e l'altro a 16 poli, ad 1 matassa/cava. Abbiamo riportato anche questo avvolgimento a 16 poli per la sua originalità più che per la sua utilità (**).

Le tavole CLXXXVI, CCXXIV, CCXXV e CCXXXVI mostrano fogli di lavorazione secondo il sistema in uso presso la *Marelli*. La tavola CLXXXVI si riferisce all'avvolgimento statorico a sbarre della tavola CLXXXV, le tavole CCXXIV e CCXXV all'avvolgimento statorico a matasse della tavola CCXXIII e la tavola CCXXXVI all'avvolgimento rotorico a sbarra della tav. CCXXXV.

Negli « *esempi costruttivi di motori asincroni* » abbiamo riportato ancora i dati relativi a 2 motori a 42 p/s perchè presentano qualche particolarità interessante (matasse con diverso numero di spire e 2 polarità con unico avvolgimento).

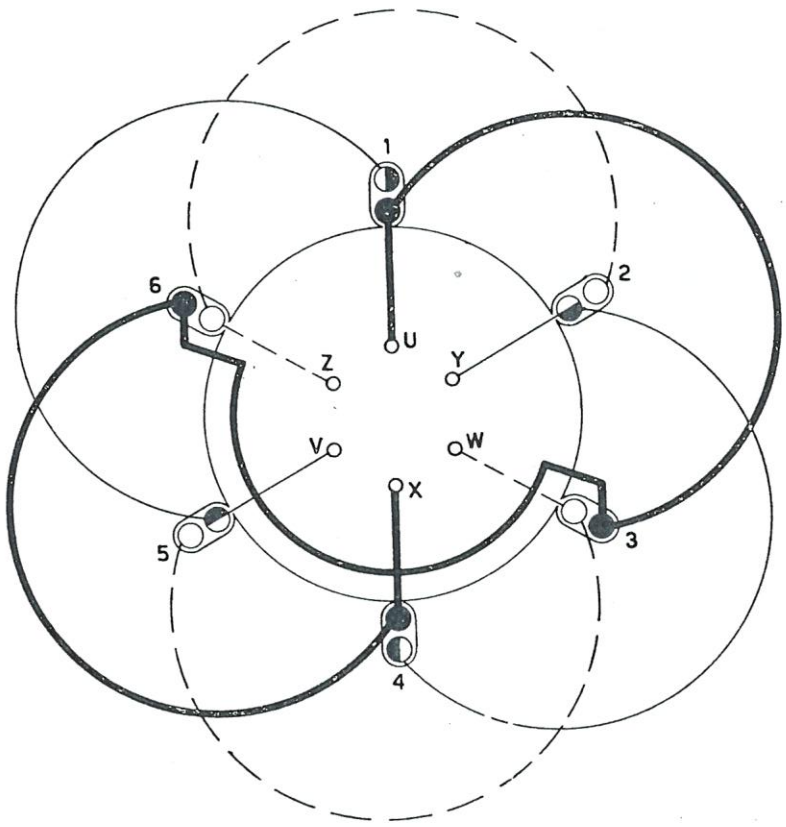
(*) Gli avvolgimenti normali a 2 matasse/cava si fanno sempre a poli alternati (tipo B), perchè quelli a poli omonimi (tipo A), come l'avvolgimento della tav. XCVIII, richiedono un maggior numero di conduttori per fase per il fatto che il fattore di avvolgimento risulta sempre assai minore, a parità di passo, che con avvolgimento a poli alternati.

Gli avvolgimenti a 2 matasse/cava a poli omonimi si usano solamente per la maggiore polarità dei motori a 2 velocità con un solo avvolgimento.

(**) La velocità alla potenza nominale indicata sulla targa — per funzionamento a 16 poli — è di 250 giri/min, quindi lo scorrimento risulta del 33%. Eseguito l'avvolgimento a 16 poli su un motore a 4 poli, la velocità a vuoto è risultata di 370 giri/min ed il funzionamento pienamente regolare e silenzioso.

Schemi d'avvolgimenti statorici trifasi

2 poli - 6 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷3
Collegamento serie - 6 morsetti



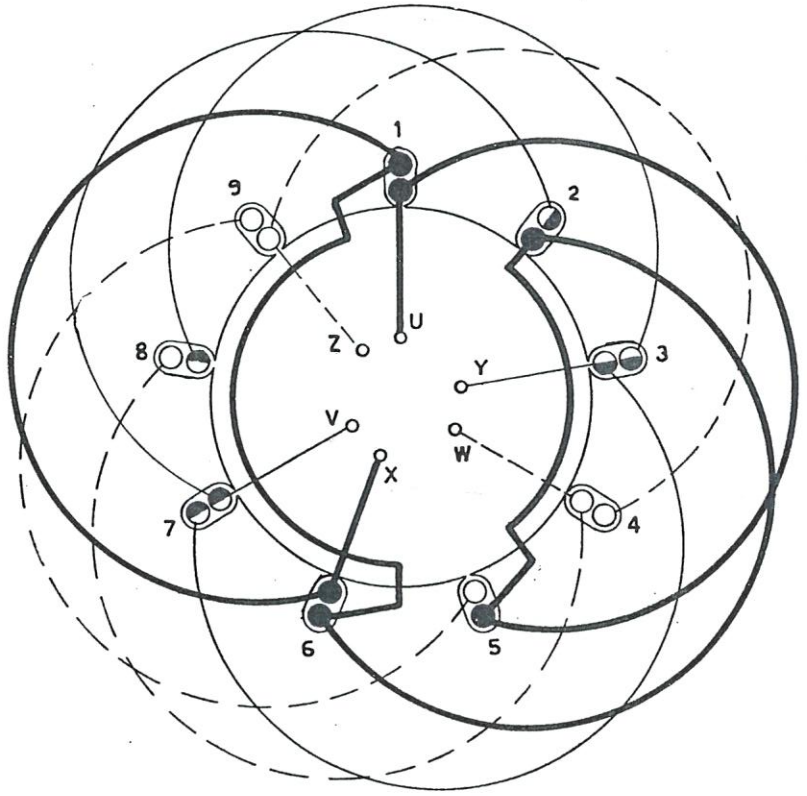
1 cava/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=1,0$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=2/3$ - Fattore di passo $K_p=0,866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,866$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 9 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



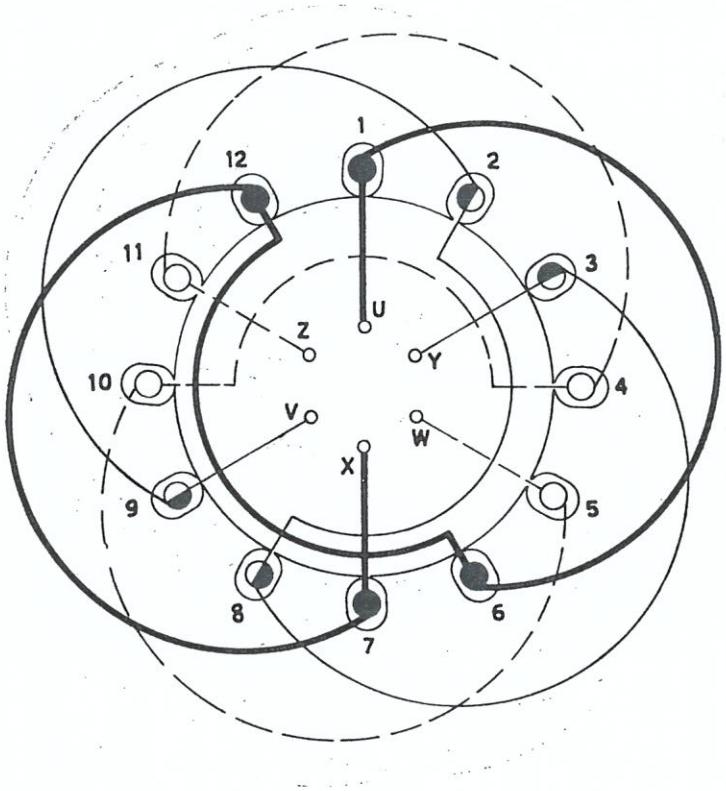
3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/4,5$ - Fattore di passo $K_p=0,985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,946$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 1 matassa ed 1 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



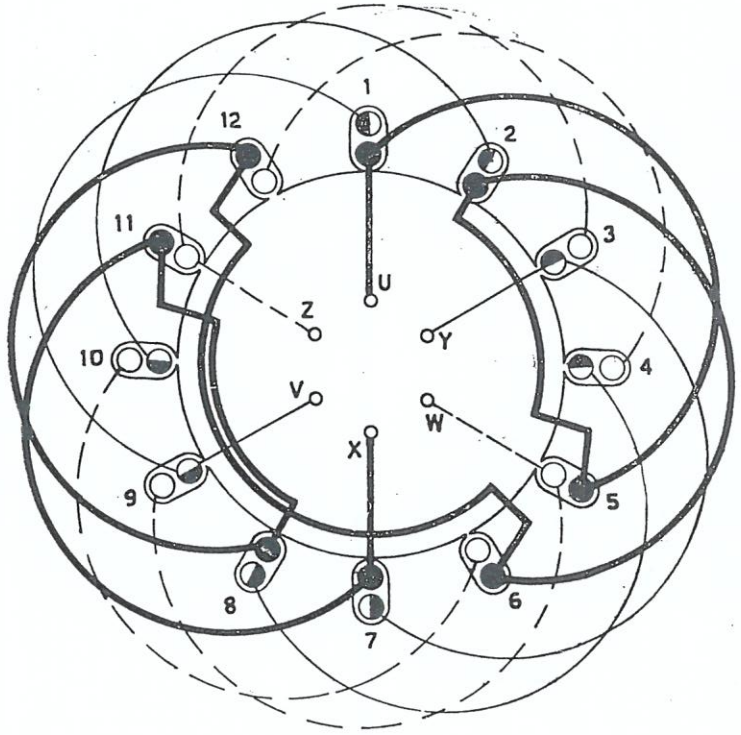
2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}966$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 12 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



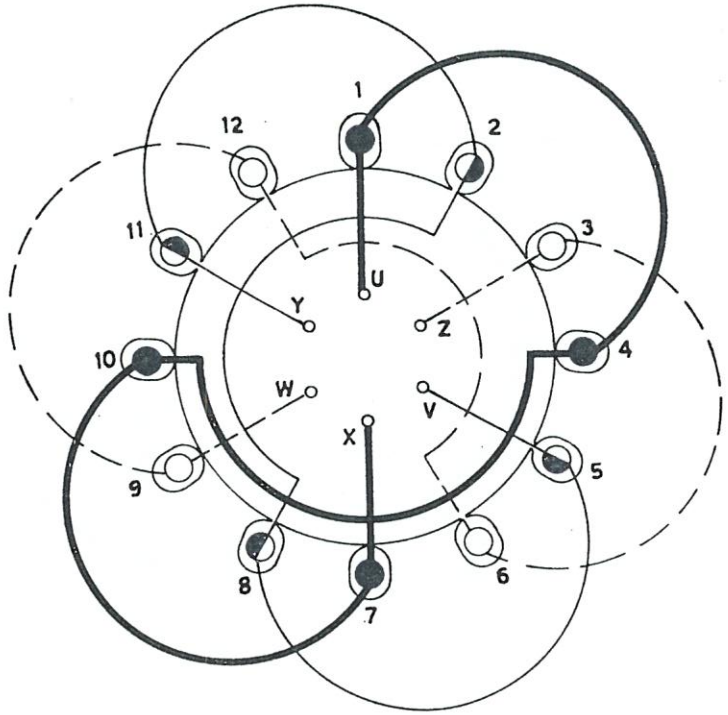
2 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}966$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/6$ - Fattore di passo $K_p=0{,}866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}837$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



1 matassa/gruppo - Passo raccorciato - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0,5$ - Fattore di avvolgimento $K_a=K_p=0,707$.

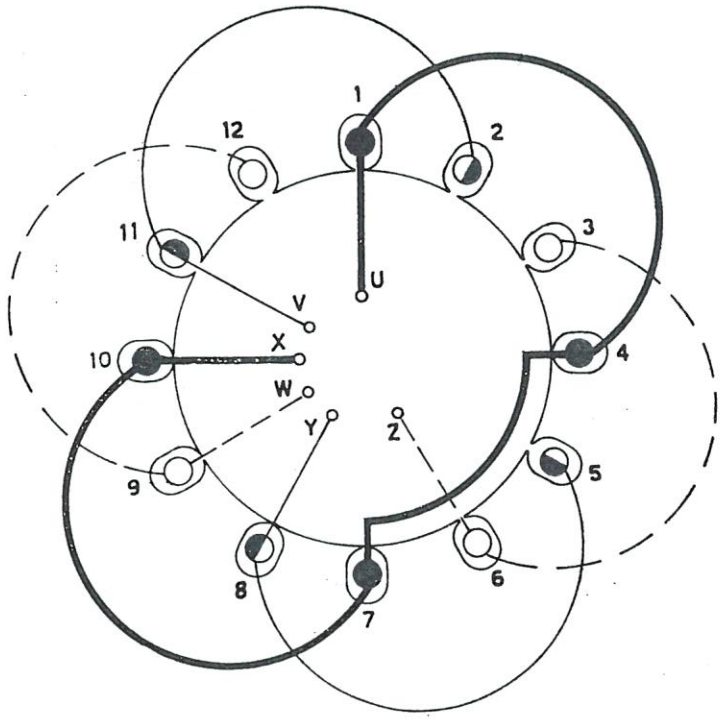
Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Schema usato per le pompe Anselmo. È da sconsigliare decisamente per l'eccessivo raccorciamento del passo e pertanto conviene attenersi ai due schemi precedenti.

4 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

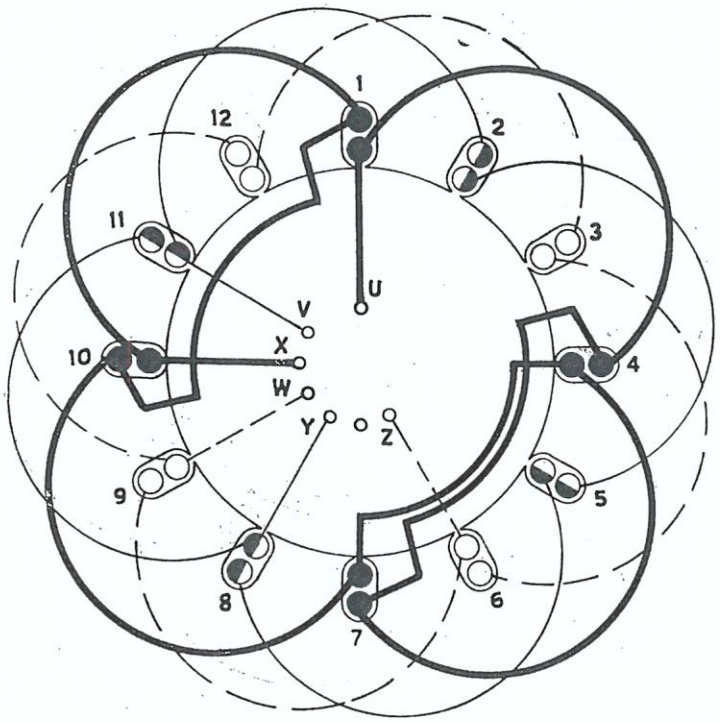
Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Schema usato per le pompe Anselmo.

4 poli - 12 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



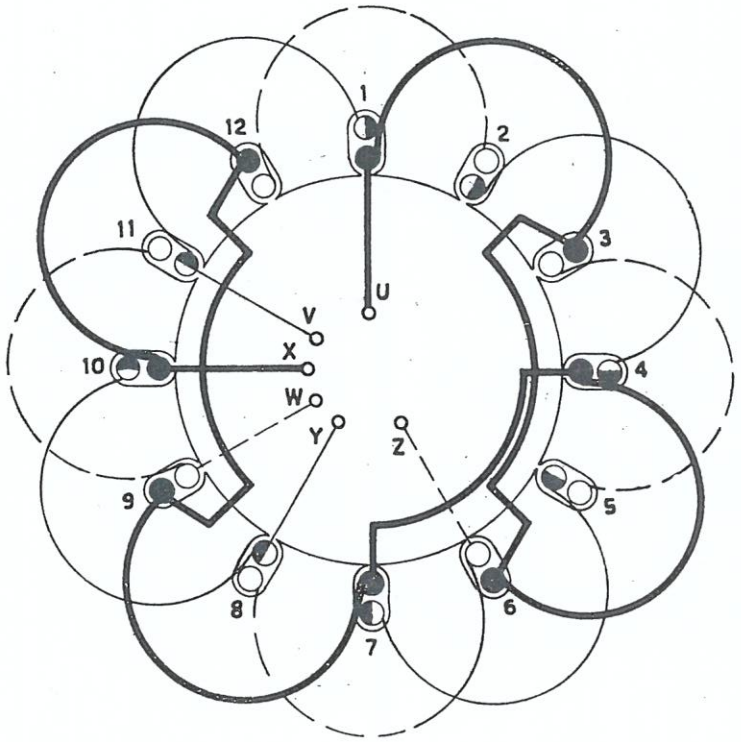
1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 12 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷3
Collegamento serie - 6 morsetti



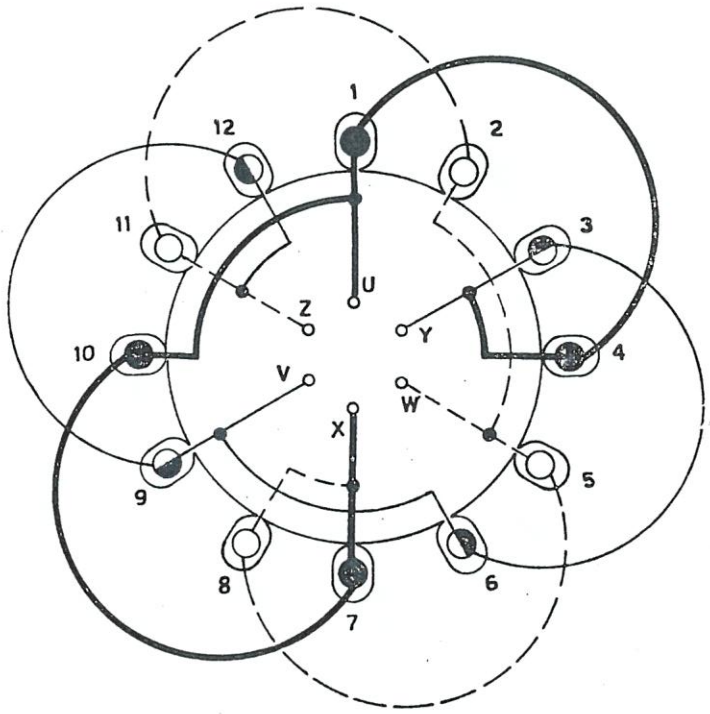
1 cava/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=1$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=2/3$ - Fattore di passo $K_p=0{,}866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}866$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 polarità - 4 e 2 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali).

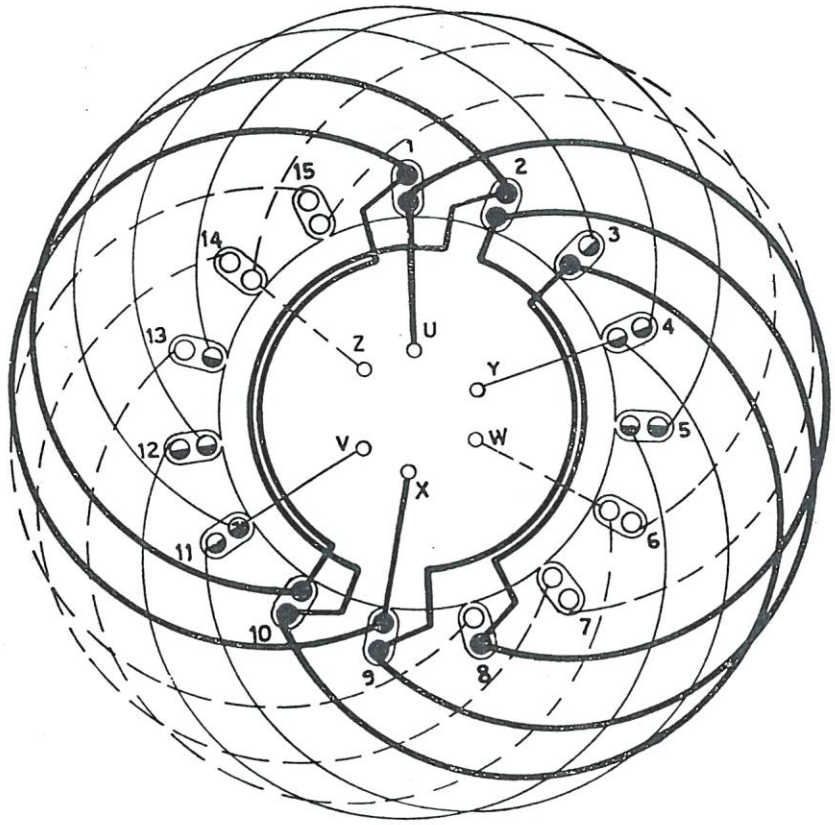
Funzionamento a 4 poli: 1 matassa/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$ - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 1 matassa/gruppo - Passo raccorciato - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0,5$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,707$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 poli - 15 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



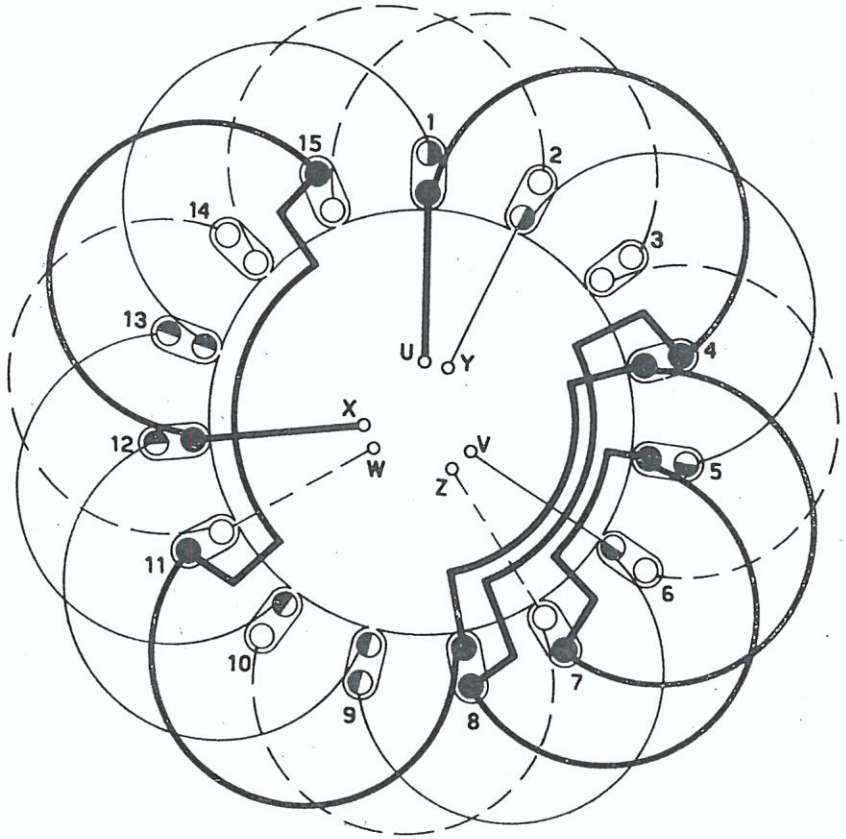
5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/7,5$ - Fattore di passo $K_p=0,995$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,952$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 2 matasse e 1 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 15 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



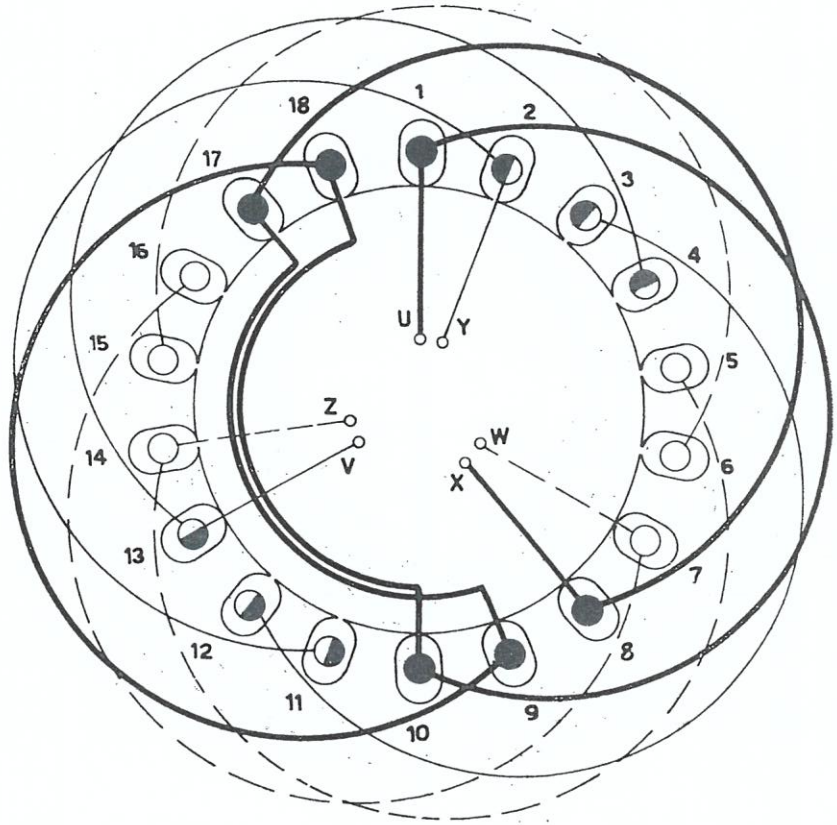
5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,957 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=3/3,75 - Fattore di passo K_p=0,951 - Fattore d'avvolgimento K_a= 0,910.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (3 di 1 matassa e 1 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°÷360° elettrici.

2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10
Collegamento serie - 6 morsetti



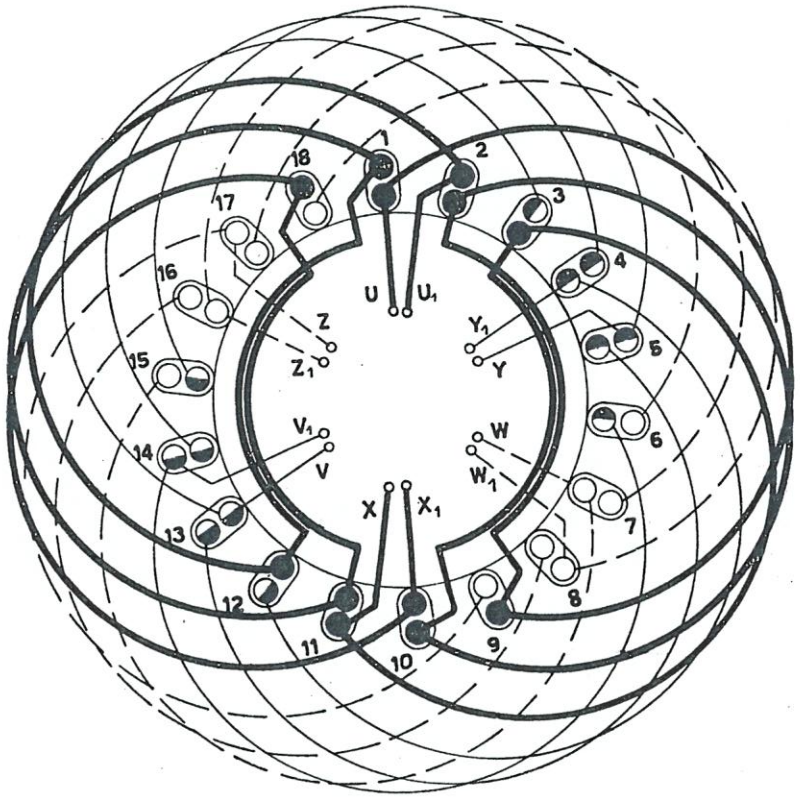
3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,960.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 1 matassa e 1 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9
Collegamento 12 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=8/9 - Fattore di passo K_p=0,985 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,946.

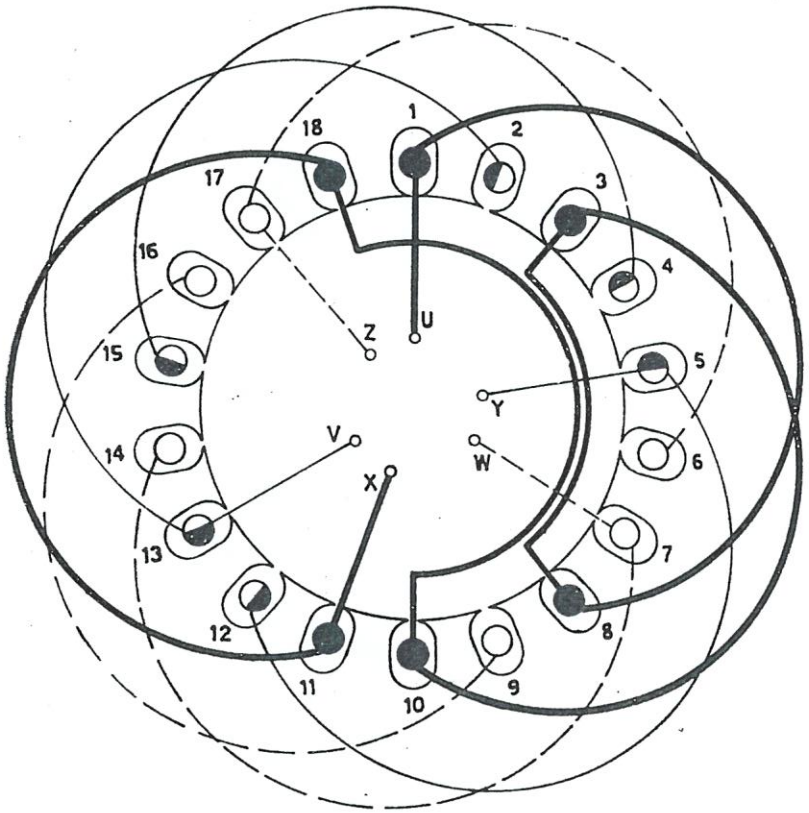
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: doppio triangolo, doppia stella, triangolo, stella.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Qualche Ditta preferisce eseguire questo avvolgimento con passo 1÷10 a 6 morsetti; ormai gli avvolgimenti a 12 morsetti non si adottano più.

2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



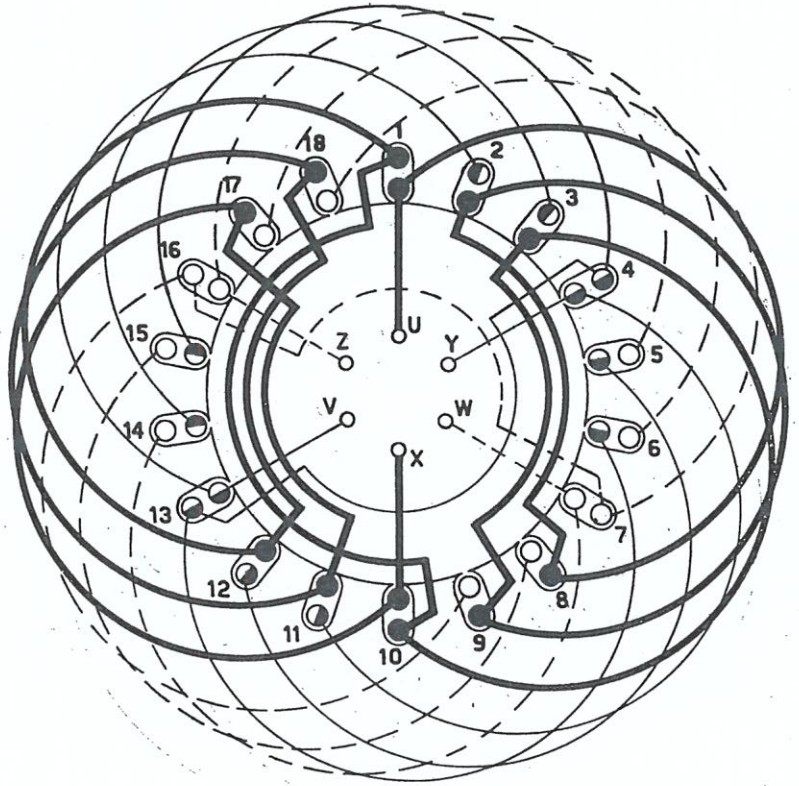
3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=7/9 - Fattore di passo K_p=0,940 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,902 (Col calcolo trigonometrico K_a=0,907).

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 1 matassa e 1 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=7/9 - Fattore di passo K_p=0,940 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,902.

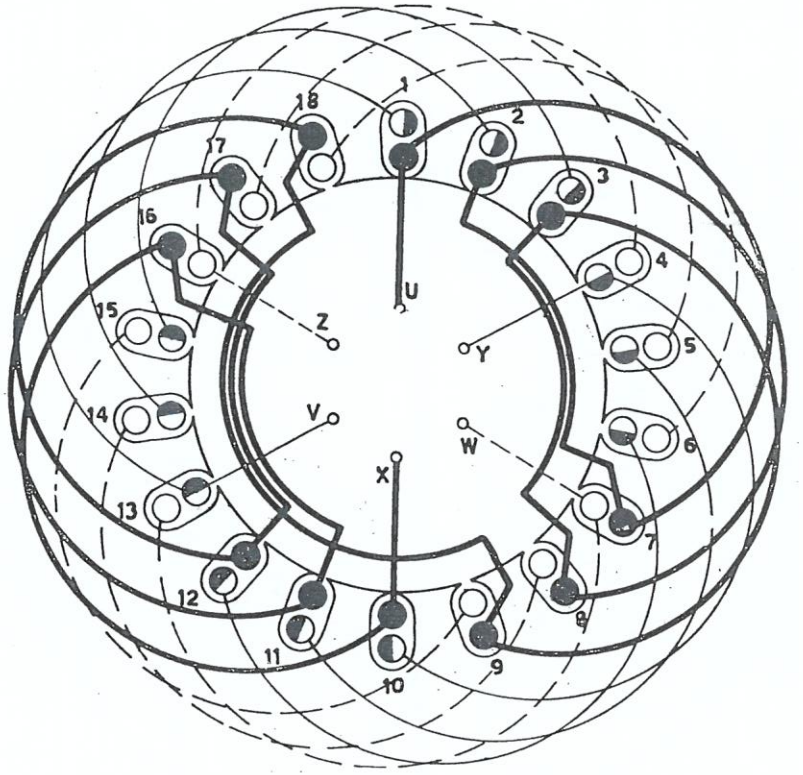
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento è da preferire a quello della tavola precedente e ciò per evitare, in linea di massima, l'avvolgimento ad 1 matassa/cava a passo raccorciato.

2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=6/9 - Fattore di passo K_p=0,866 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,831.

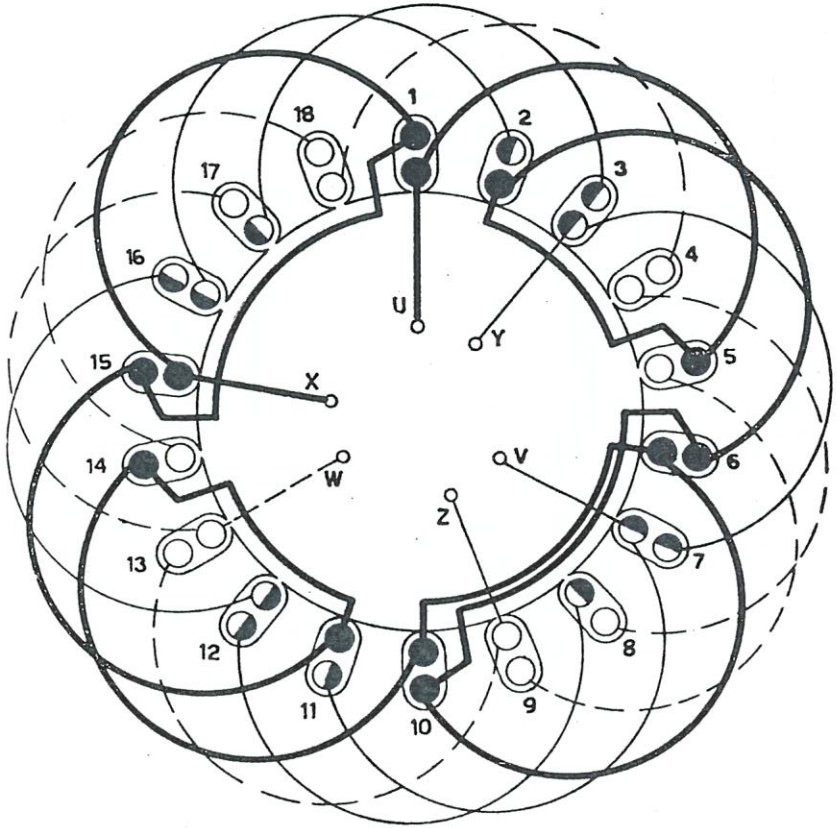
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento consente, per la perfetta simmetria e per il raccorciamento del passo, un funzionamento migliore e più silenzioso dei due precedenti ad 1 matassa/cava.

4 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



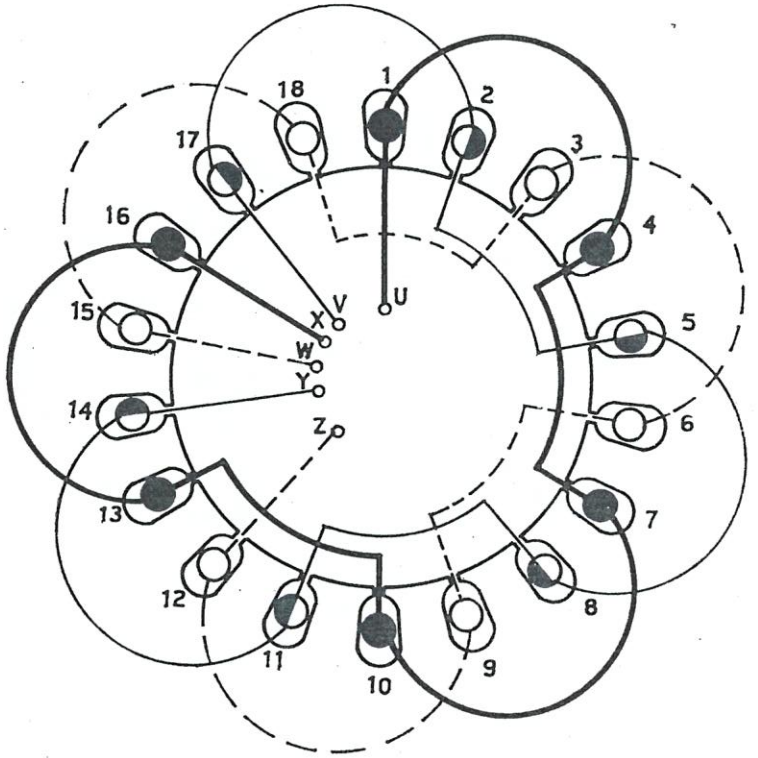
3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/4{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}946$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

6 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

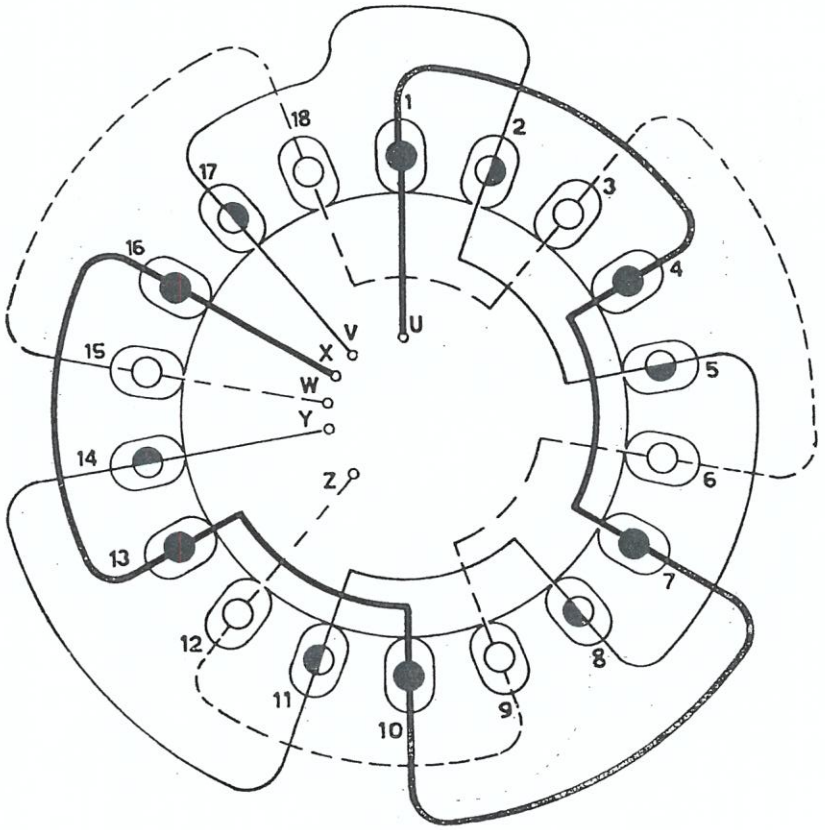
Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Avvolgimento poco conveniente.

6 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

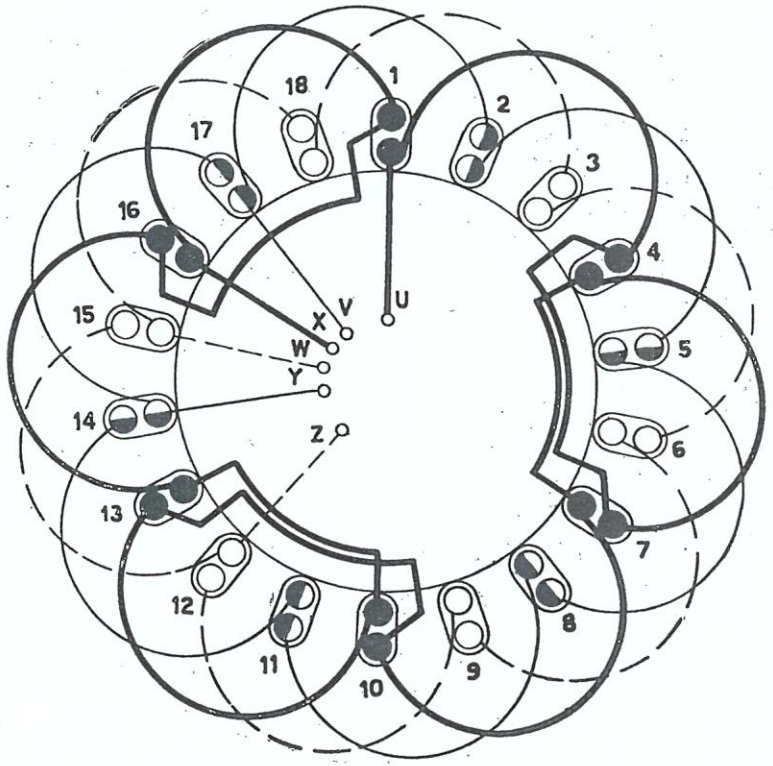
Avvolgimento in 2 ordini con matassa storta - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento viene eseguito di norma del tipo a corona (v. Tavola LXVI), *perchè di più rapida esecuzione; comunque si attua, come tutti gli altri avvolgimenti, ad* 1 *cava/polo . fase, solo per soluzioni di ripiego.*

6 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



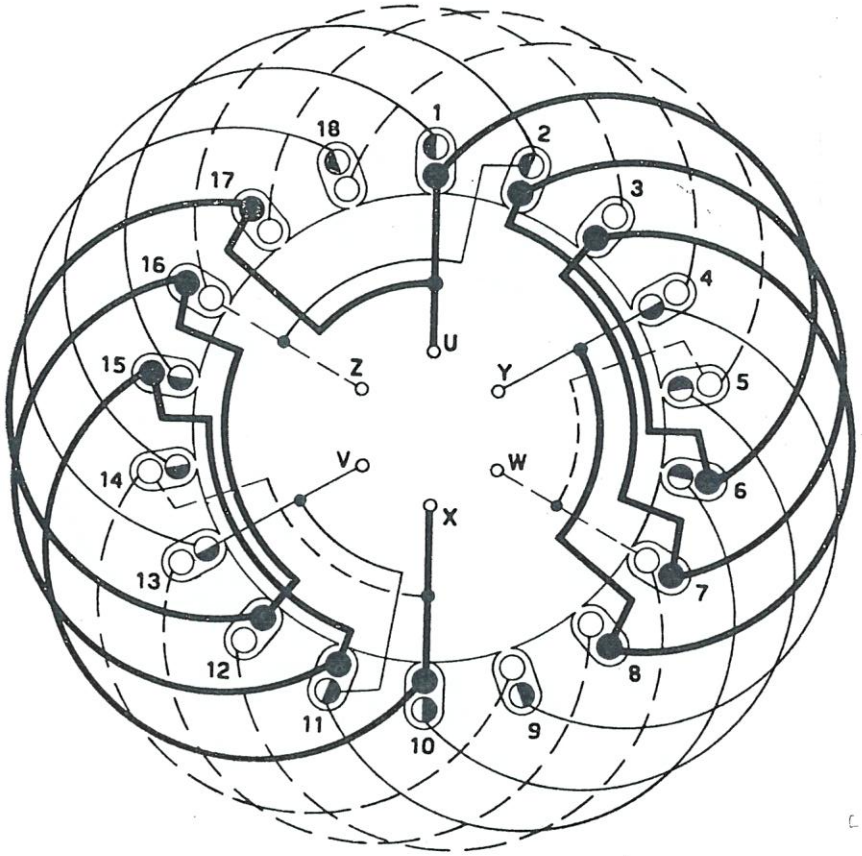
1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 polarità - 4 e 2 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 4 poli: 3 matasse/gruppo - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}844$ - Fattore di passo (*) $K_p=0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$. Poli omonimi (tipo A). Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

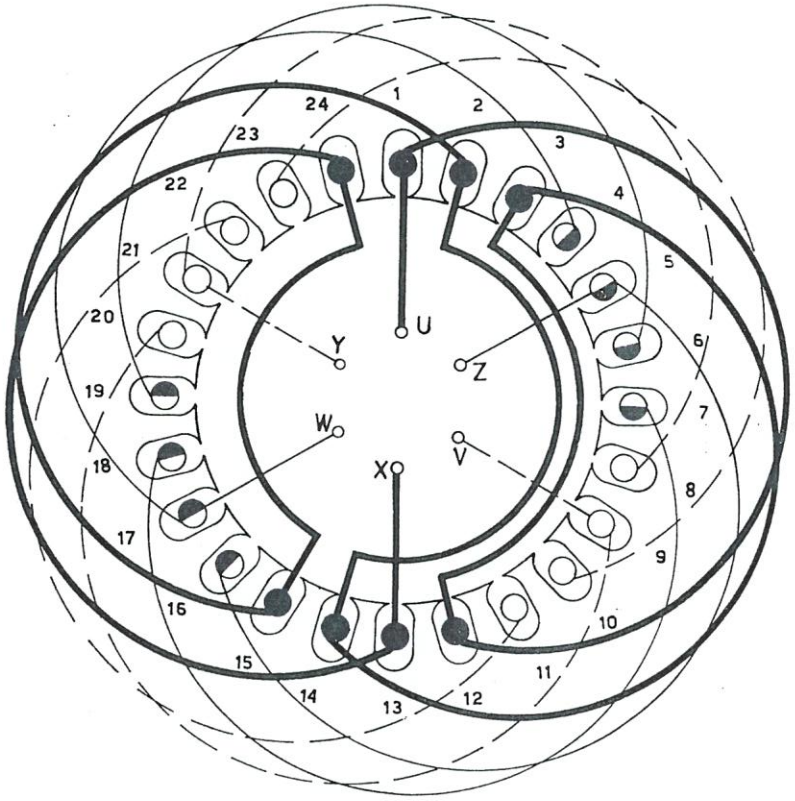
Funzionamento a 2 poli: 3 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=5/9$ - Fattore di passo $K_p=0{,}766$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}735$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V. W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Di norma questo collegamento si adotta per il funzionamento a potenza variabile.

(*) *Il fattore di passo ha lo stesso valore di quello dell'avvolgimento con passo* 1÷5.

2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷12
Collegamento serie - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}958$.

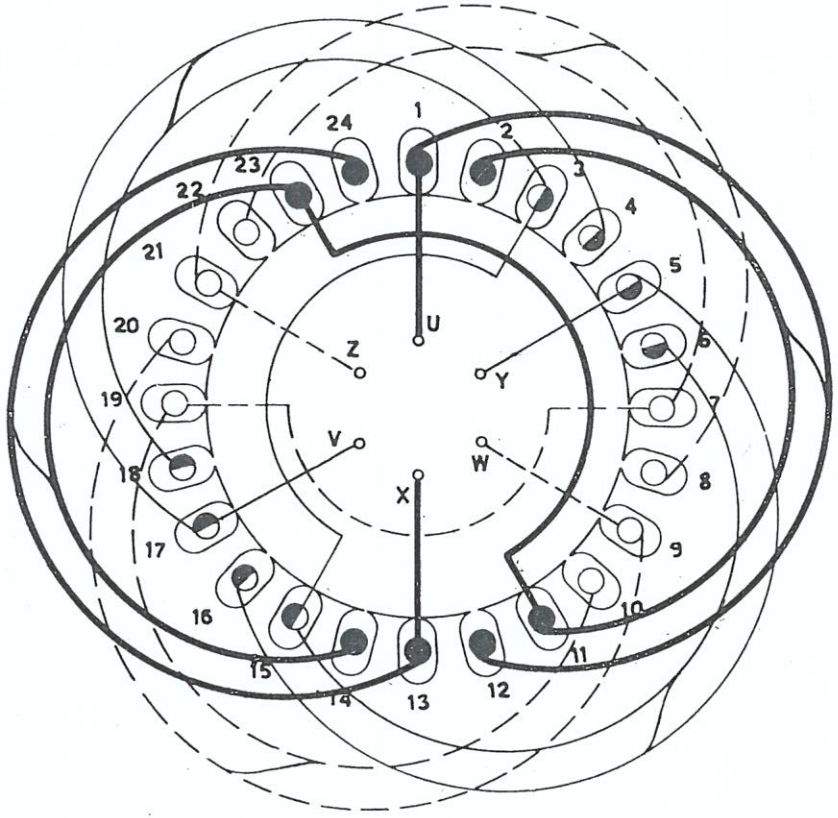
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo schema è adottato dalla Ansaldo-San Giorgio. E' valevole per tutti gli avvolgimenti ad 1 matassa/cava a poli alternati (tipo B) con 4 cave/polo . fase (4 *poli* - 48 *cave* - v. Tavola CLXIX; 6 *poli* - 72 *cave* - v. Tavola CCVI; *ecc.*).

2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12 e 1÷10 - Collegamento serie - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}958$.

Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse per fase.

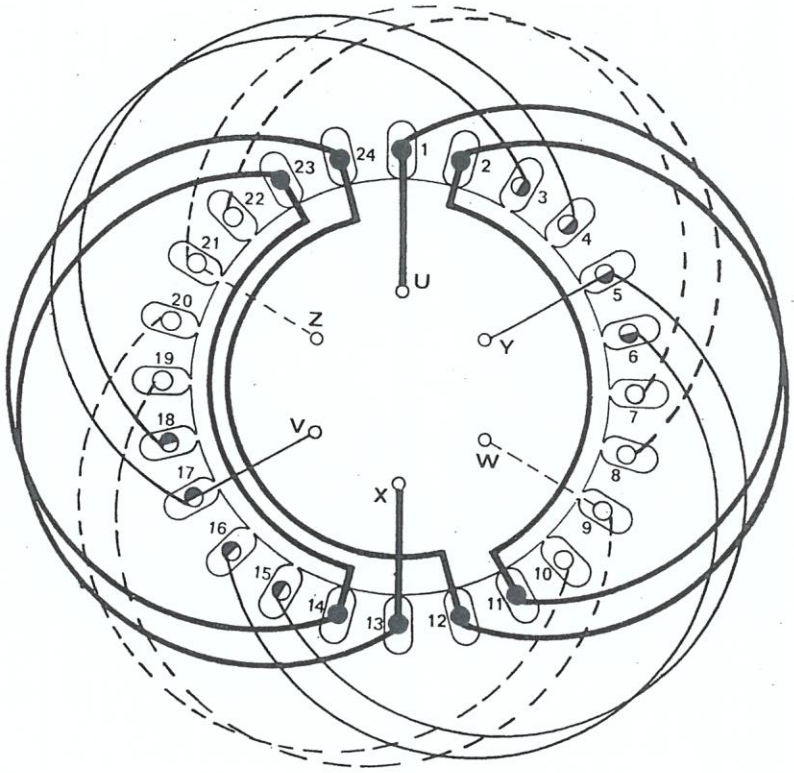
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

La disposizione a corona è da preferire a quella in 3 ordini.

Questo schema è valevole per tutti gli avvolgimenti a 1 matassa/cava a poli alternati (tipo B) con 4 cave per polo-fase (4 poli - 48 cave; 6 poli - 72 cave; ecc.).

2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷11 Collegamento serie - 6 morsetti



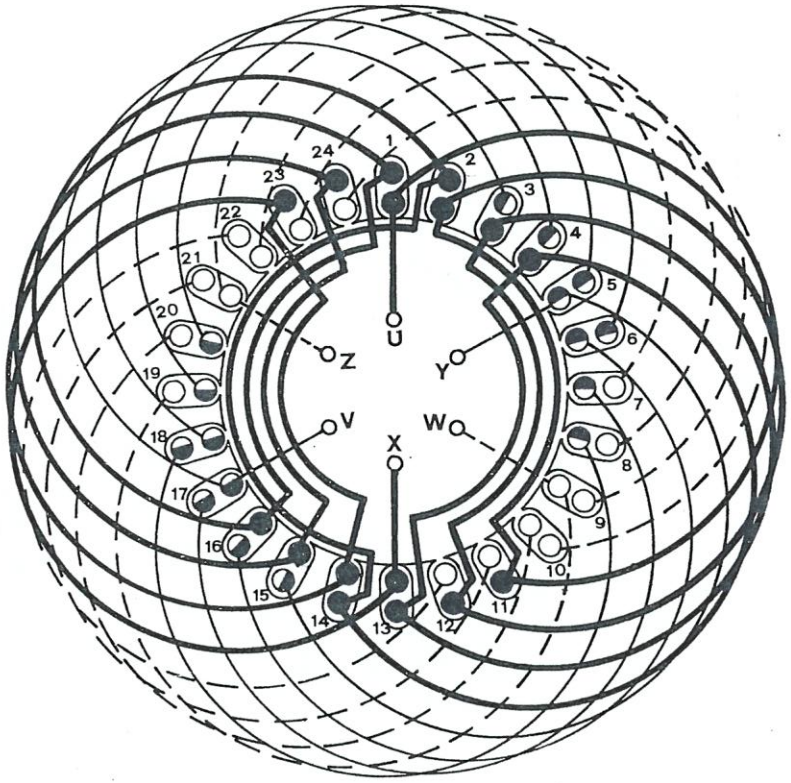
4 cave/polo fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}958$.

Avvolgimento a corona speciale (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 11 Collegamento serie - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=10/12 - Fattore di passo K_p=0,966 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,925.

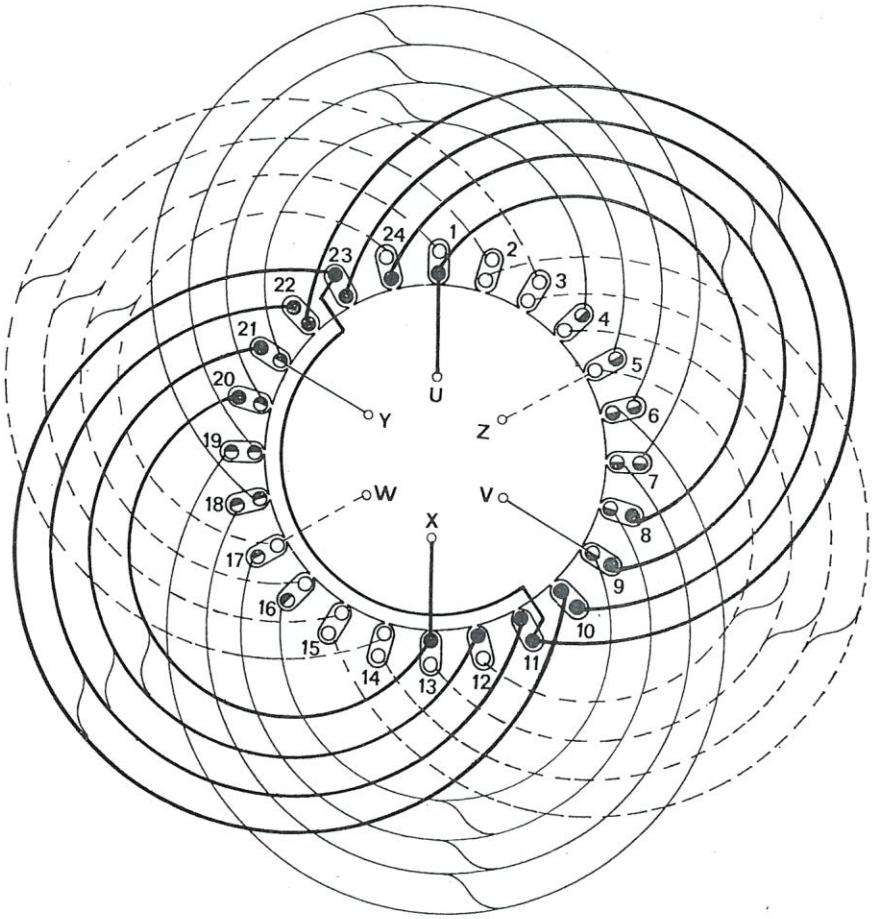
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo schema è adottato dalla ASGEN.

2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷8, 1÷10, 1÷12 e 1÷14 - Collegamento serie - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=10/12 - Fattore di passo K_p=0,966 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,925.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse per fase.

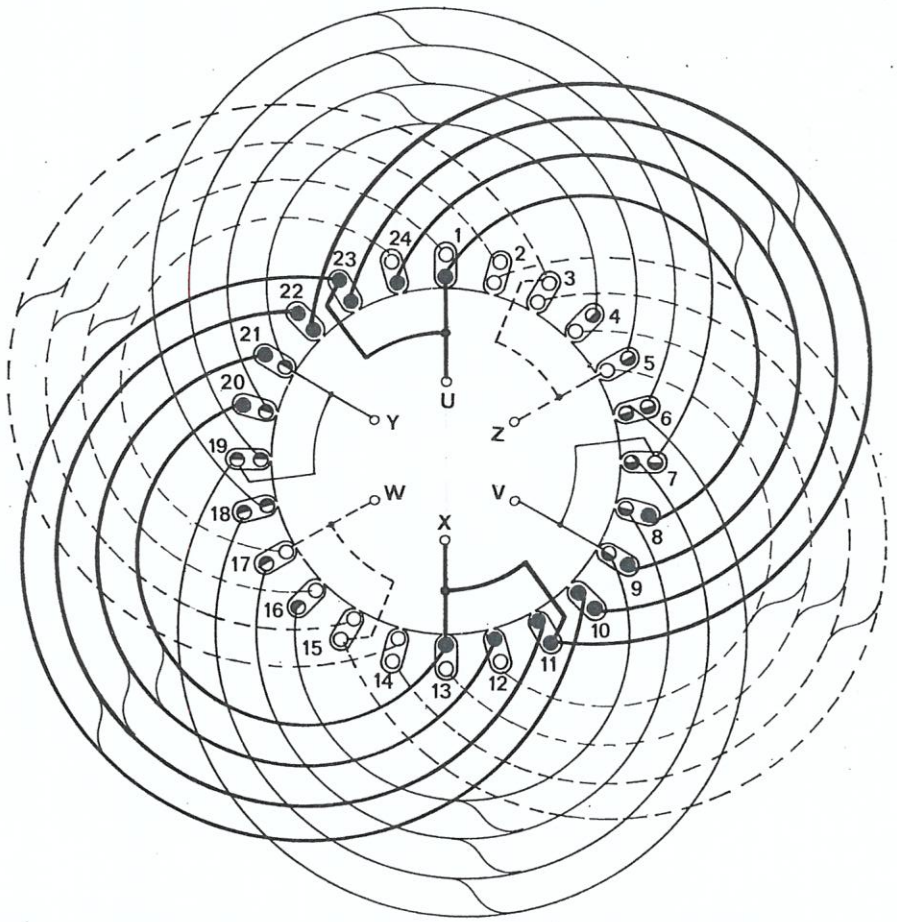
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(*Schema Tecnomasio Italiano Brown Boveri*)

La Brown Boveri chiama questo schema: « avvolgimento statore a gruppi a passo raccorciato = 10, con fattore totale di avvolgimento = 0,925.

2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷8, 1÷10, 1÷12 e 1÷14 - Collegamento parallelo - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}958$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=10/12$ - Fattore di passo $K_p=0{,}966$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}925$.

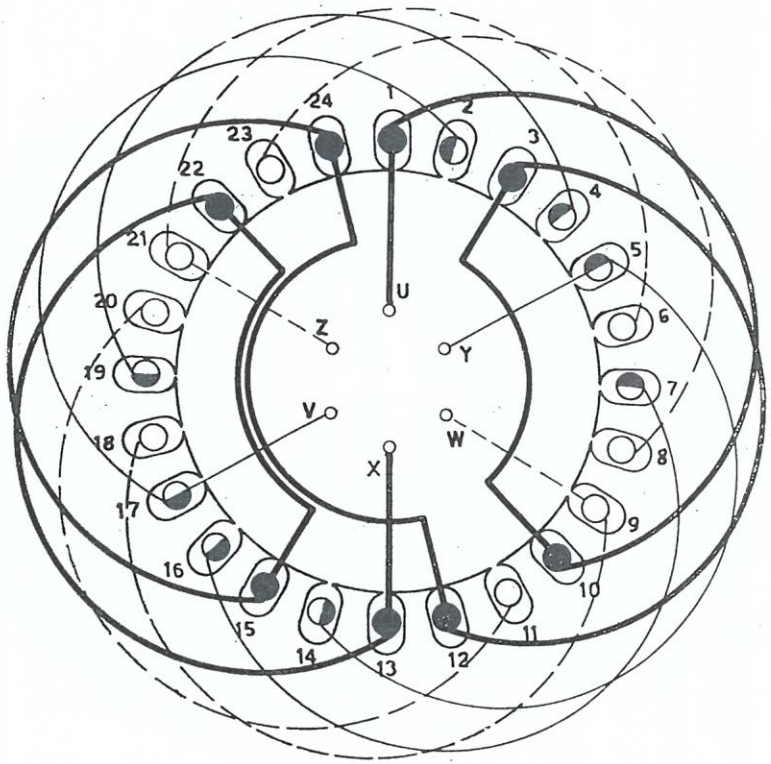
Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(*Schema Tecnomasio Italiano Brown Boveri*)

2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 Collegamento serie - 6 morsetti



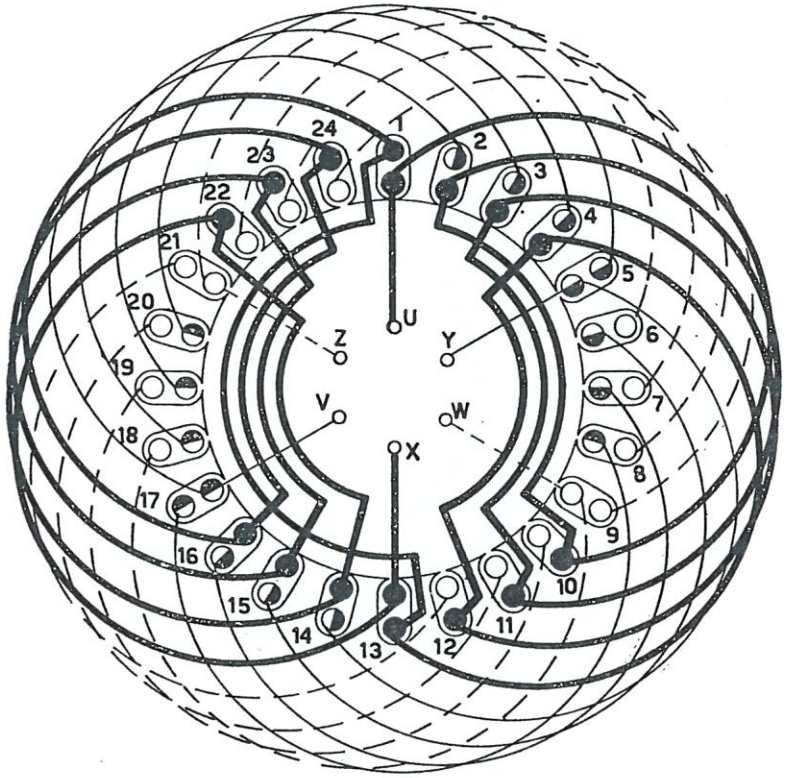
4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}958$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=9/12$ - Fattore di passo $K_p=0{,}924$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}885$. (Col calcolo trigonometrico $K_a=0{,}892$).

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10
Collegamento serie - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=9/12 - Fattore di passo K_p=0,924 - Fattore di avvolgimento K_a= 0,885.

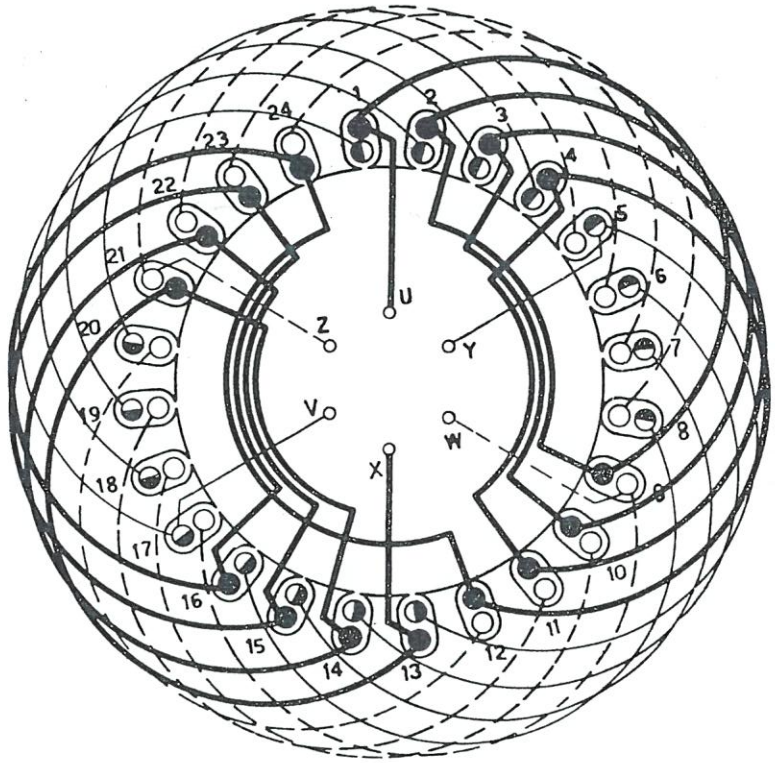
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Naturalmente questo avvolgimento, come tutti gli avvolgimenti a 2 matasse cava a passo raccorciato, richiede un buon isolamento tra le matasse della stessa cava.

2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9
Collegamento serie - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=8/12 - Fattore di passo K_p=0,866 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,830.

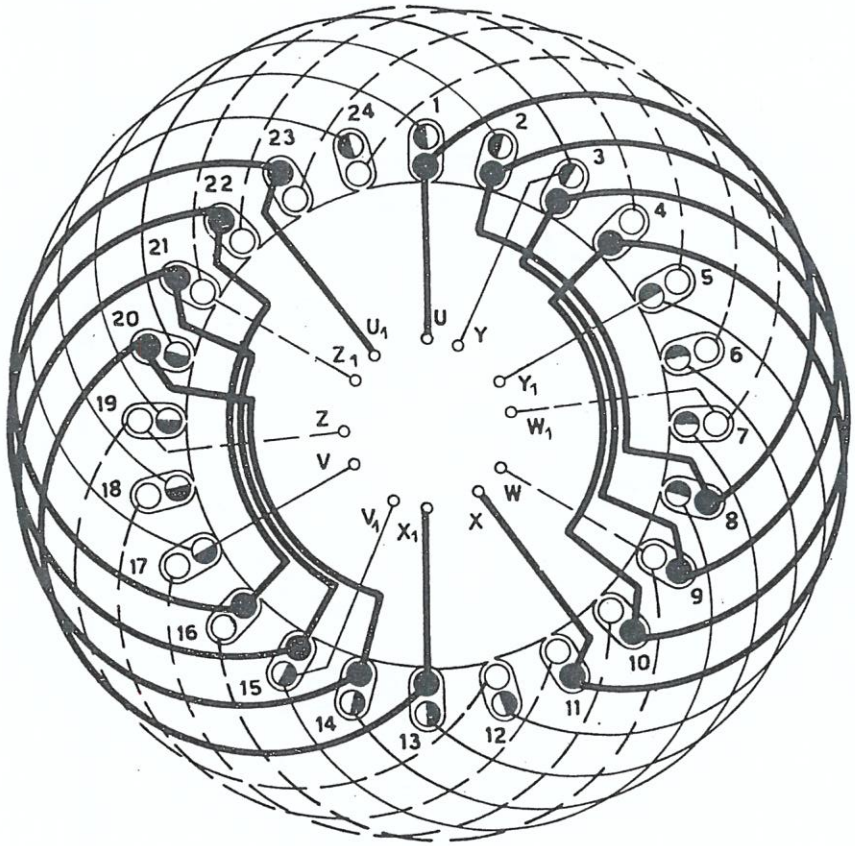
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici (8 . 15°=120°).

Questo avvolgimento dà risultati soddisfacenti e consente una certa economia di rame.

2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento 12 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=7/12 - Fattore di passo K_p=0,793 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,760.

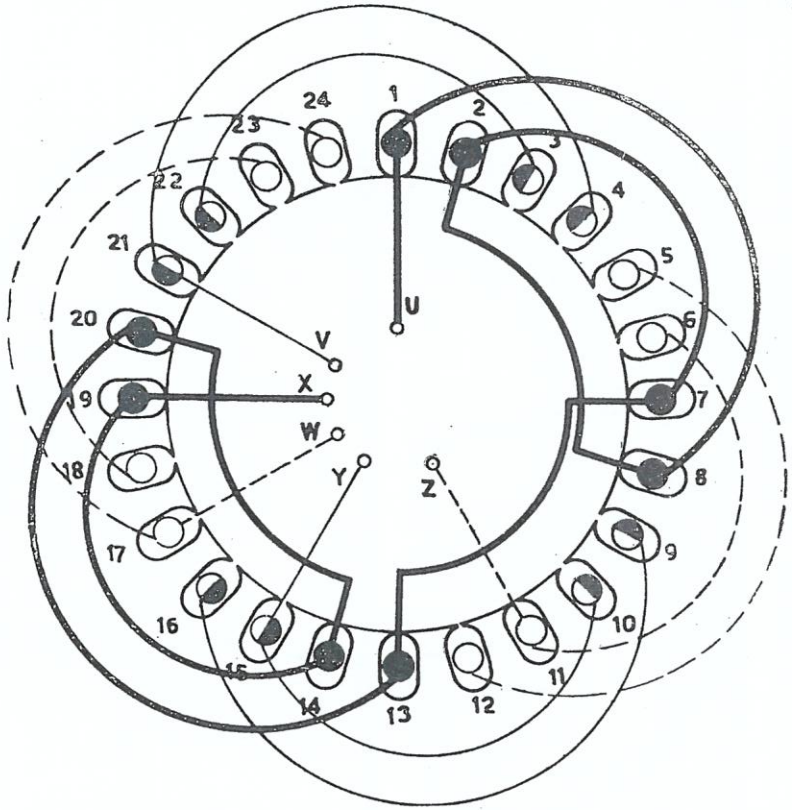
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: doppio triangolo, doppia stella, triangolo, stella.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Sono da preferire i due avvolgimenti precedenti (*Tavole LXXVII e LXXVIII*).

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1 ÷ 8 e 1 ÷ 6
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 2 matasse per fase.

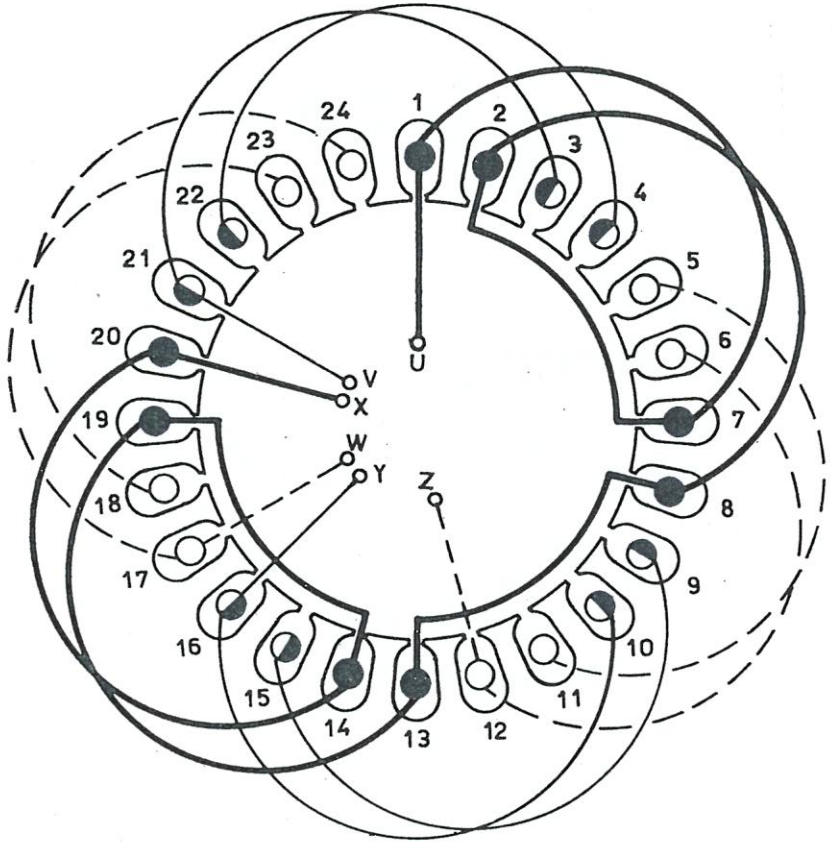
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo schema è valevole per tutti gli avvolgimenti ad 1 matassa/cava, a poli omonimi (tipo A), con 2 cave per polo-fase (6 *poli* - 36 *cave, v. tav.* CXXVIII; 8 *poli* 48 *cave, v. tav.* CLXXIII; 10 *poli* - 60 *cave*; 12 *poli* - 72 *cave*; 14 *poli* - 84 *cave*; *ecc.*); *varia solo il numero dei gruppi di matasse per fase. È in applicazione di questo criterio (valido, in linea di massima, per tutti gli schemi di avvolgimento) che abbiamo omesso molti schemi specialmente a passo intero, ricavabili da quelli fondamentali riportati.*

Molti riavvolgitori preferiscono a questo schema quello della tavola LXXXI.

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



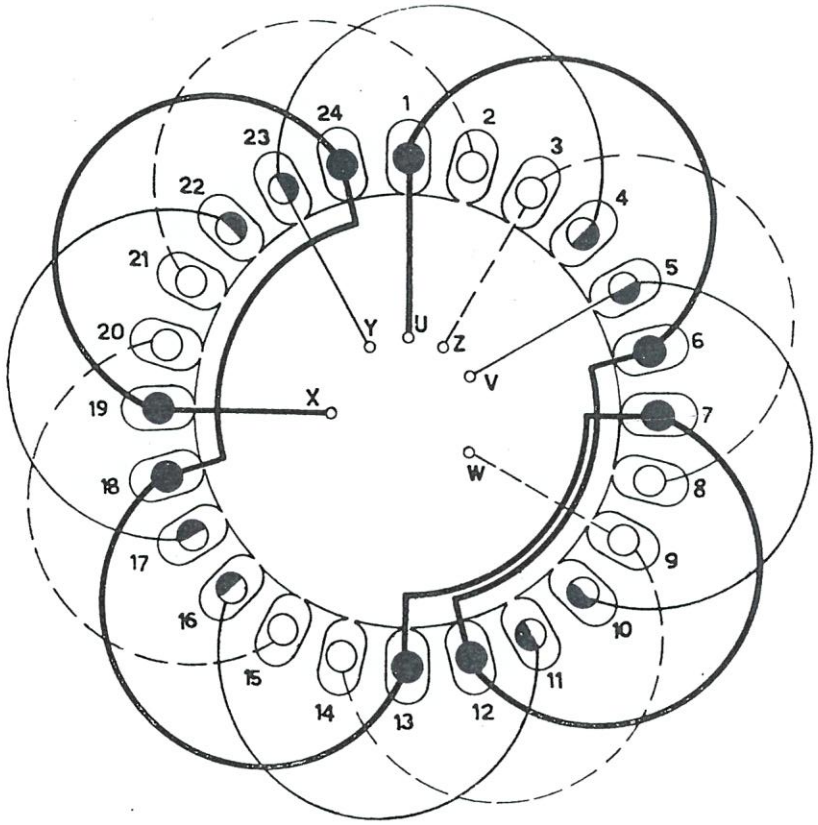
2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

Avvolgimento a corona speciale (matasse eguali) - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

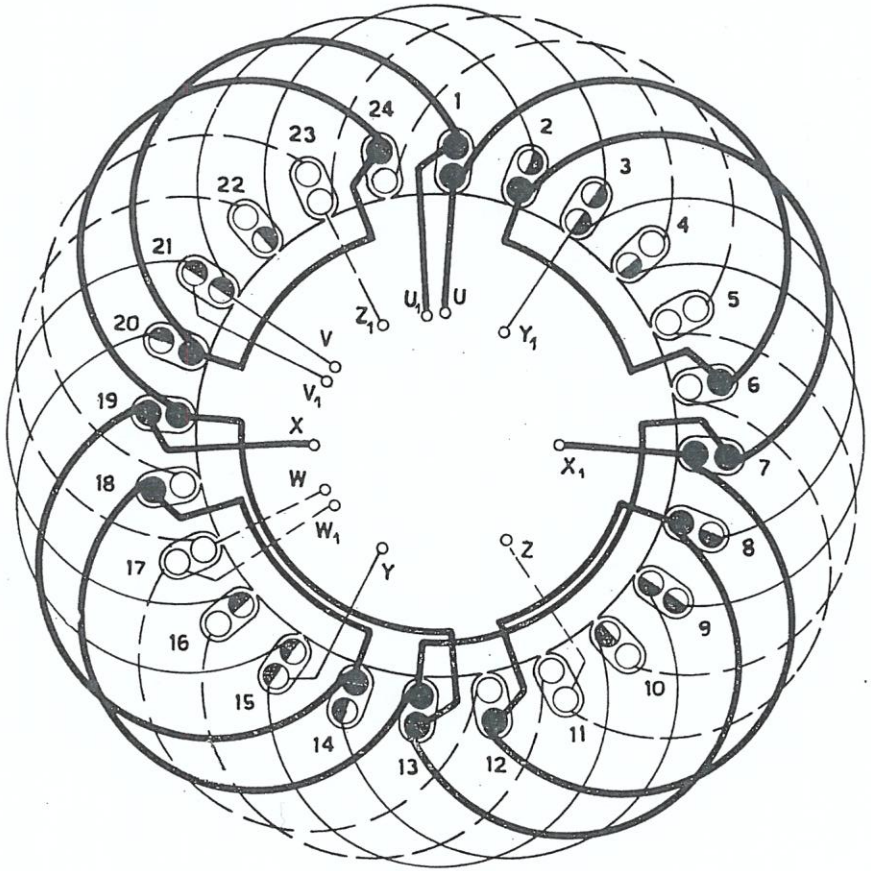
Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo schema è valevole per tutti gli avvolgimenti ad 1 matassa/cava, a poli alternati, con 2 cave per polo-fase (6 *poli* - 36 *cave, v. tav.* CXXX; 8 *poli* - 48 *cave*; 10 *poli* - 60 *cave; ecc.*).

4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento 12 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,966 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=5/6 - Fattore di passo K_p=0,966 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,933.

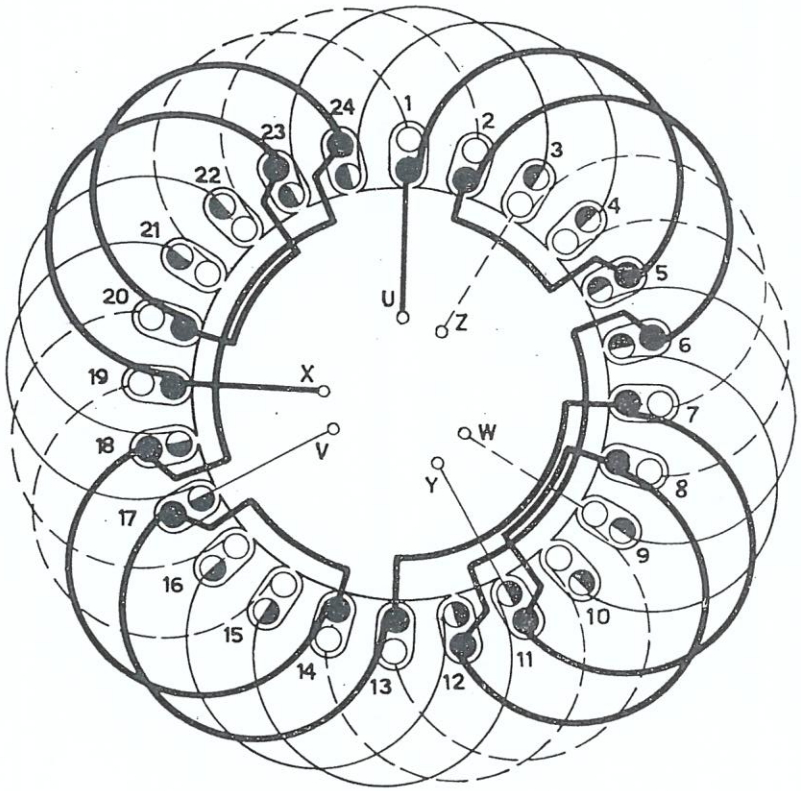
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: doppio triangolo, doppia stella, triangolo, stella.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento richiede un po' più di rame di quello ad 1 *matassa/cava e precisamente nel rapporto* 0,966/0,933.

4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,966 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=4/6 - Fattore di passo K_p=0,866 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,837.

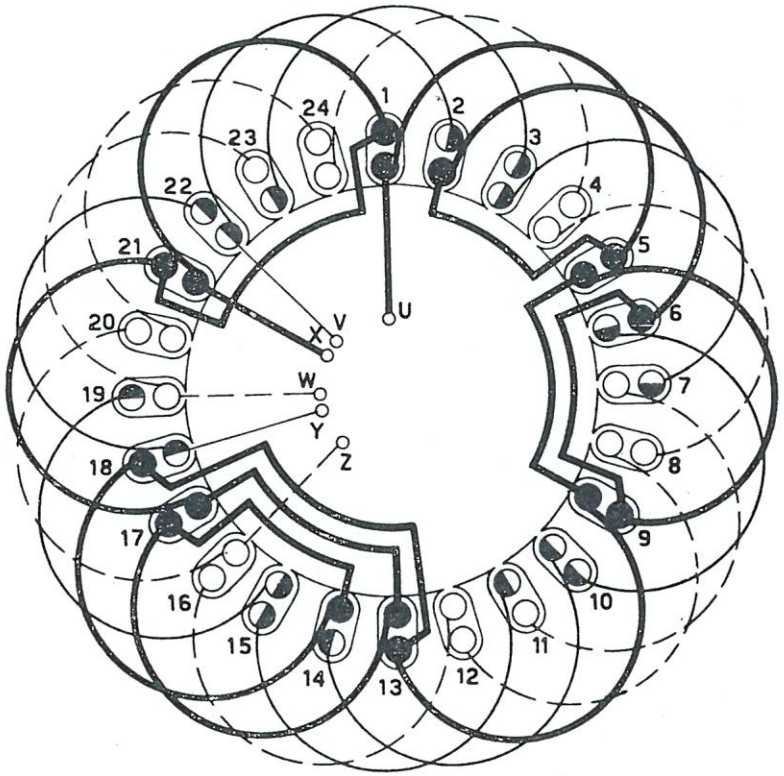
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici (2q+6q).

I capi della 2ª *fase* V *e* Y *potrebbero uscire dalle cave* 5 (V) *e* 23 (Y).

6 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



4 matasse/settore - Passo intero - Fattore d'avvolgimento medio K_a=0,937 (0,943 per 2 fasi e 0,924 per la terza fase).

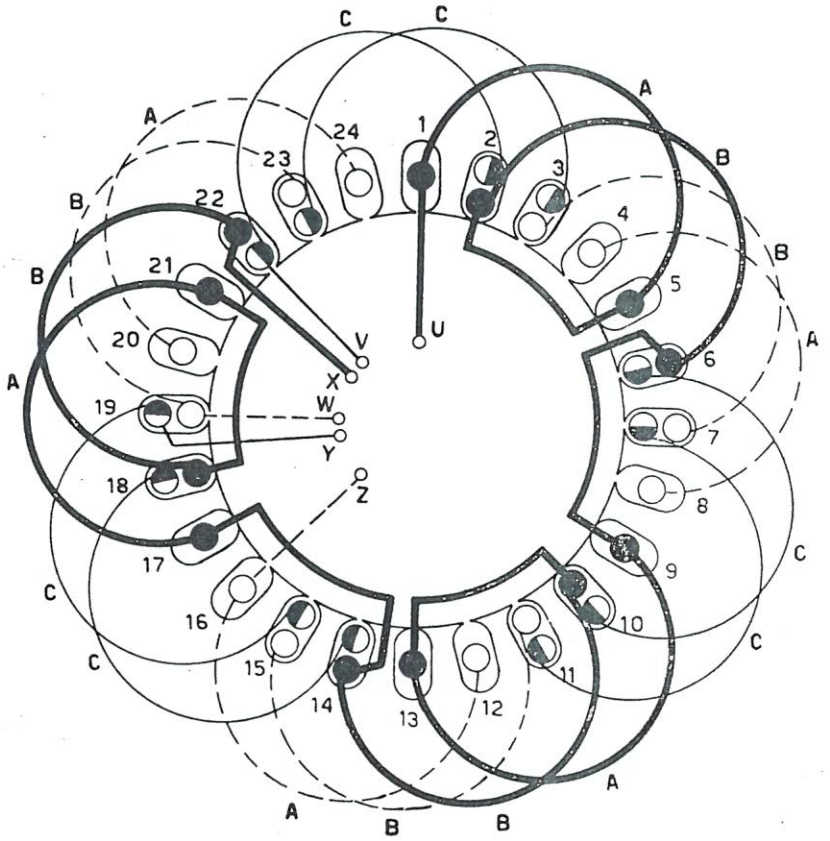
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Avvolgimento dissimmetrico.

Il funzionamento risulta abbastanza buono.

6 poli - 24 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



Fattore d'avvolgimento medio K_a=0,937 (0,943 per 2 fasi e 0,924 per la terza fase).

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di 2 matasse per fase.

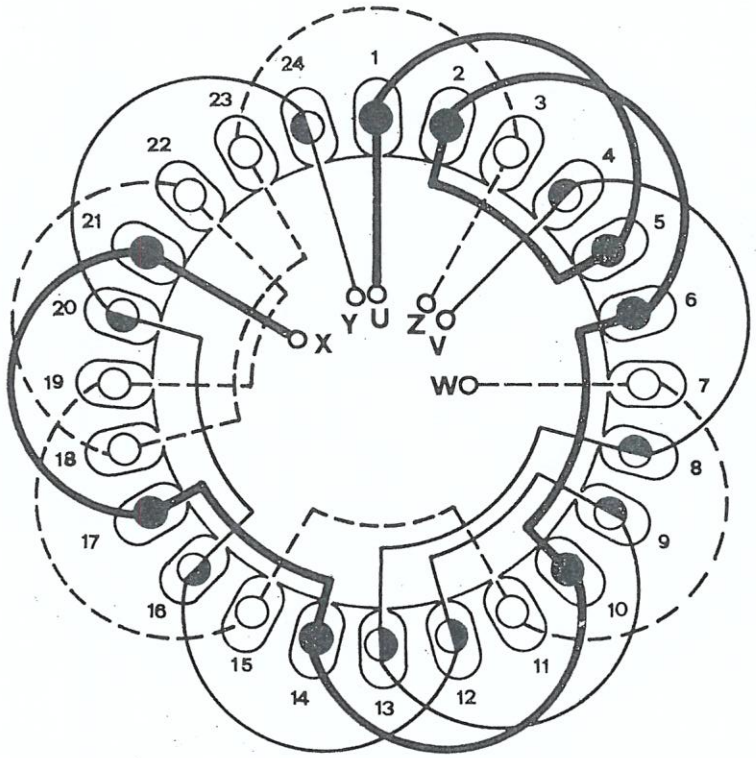
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Avvolgimento dissimmetrico.

Le matasse **A** saranno composte di **Z**/4 spire, le matasse **B** di **Z**/12 e le matasse **C** di **Z**/6 spire, ossia B=A/3 e C=2 . A/3=2 B.

Anche questo avvolgimento assicura un funzionamento accettabile.

6 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 5
Collegamento serie - 6 morsetti



4 matasse/settore - Passo intero - Fattore di avvolgimento medio K_a=0,937 (0,943 per 2 fasi e 0,924 per la terza fase).

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di matasse disuguali (2 di 1 matassa e di 1 di 2 matasse).

Collegamento della fase: stella o triangolo.

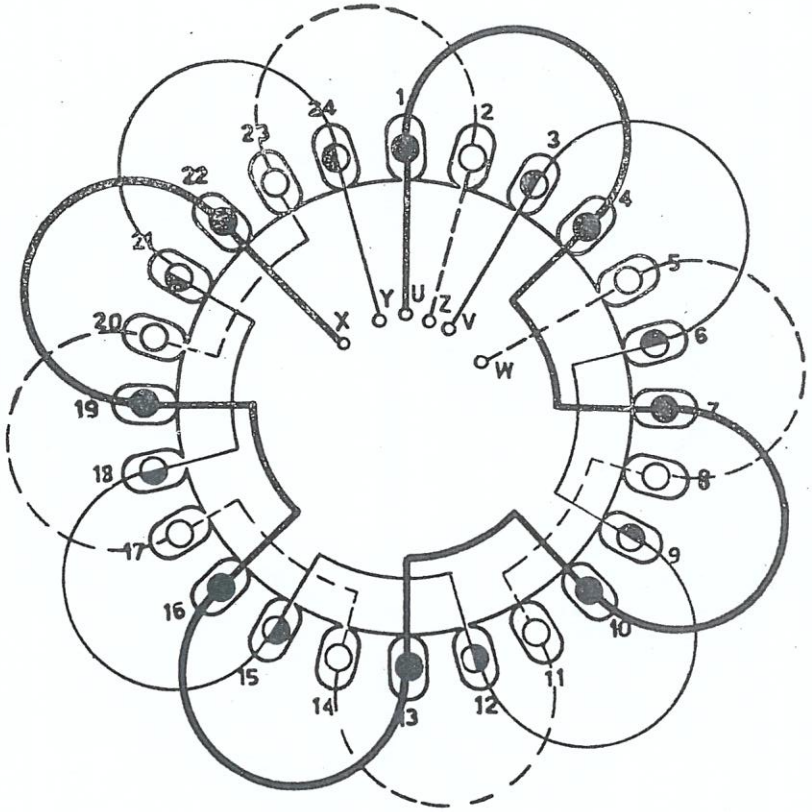
Distanza tra i capi delle fasi 135° elettrici.

Avvolgimenti dissimmetrici.

Il funzionamento risulta migliore (meno rumoroso) *dei due precedenti.*

Schema rilevato da un motorino costruito da una ditta svedese.

8 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 4
Collegamento serie - 6 morsetti



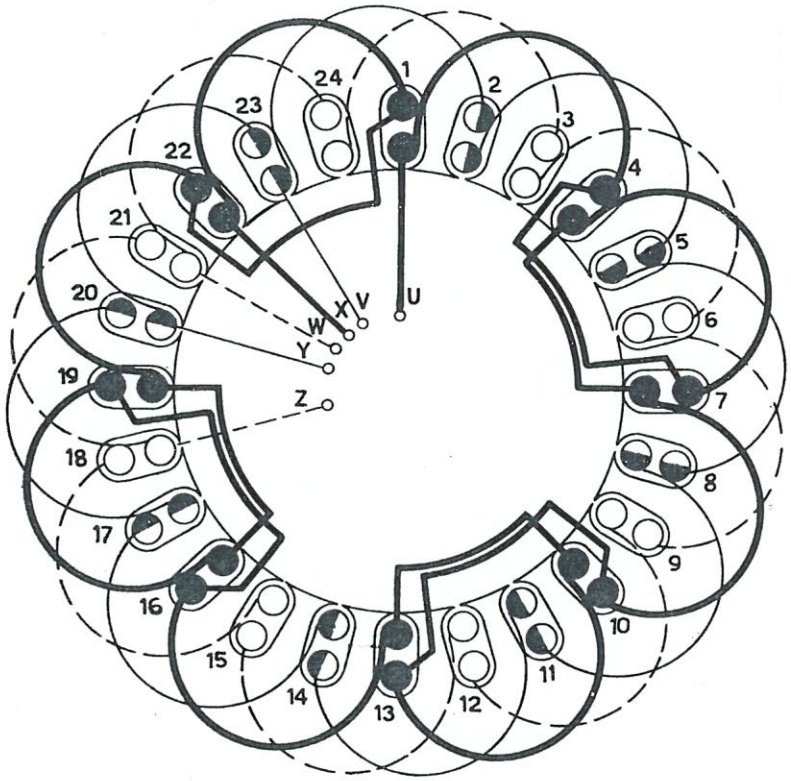
1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=1.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

8 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 Collegamento serie - 6 morsetti



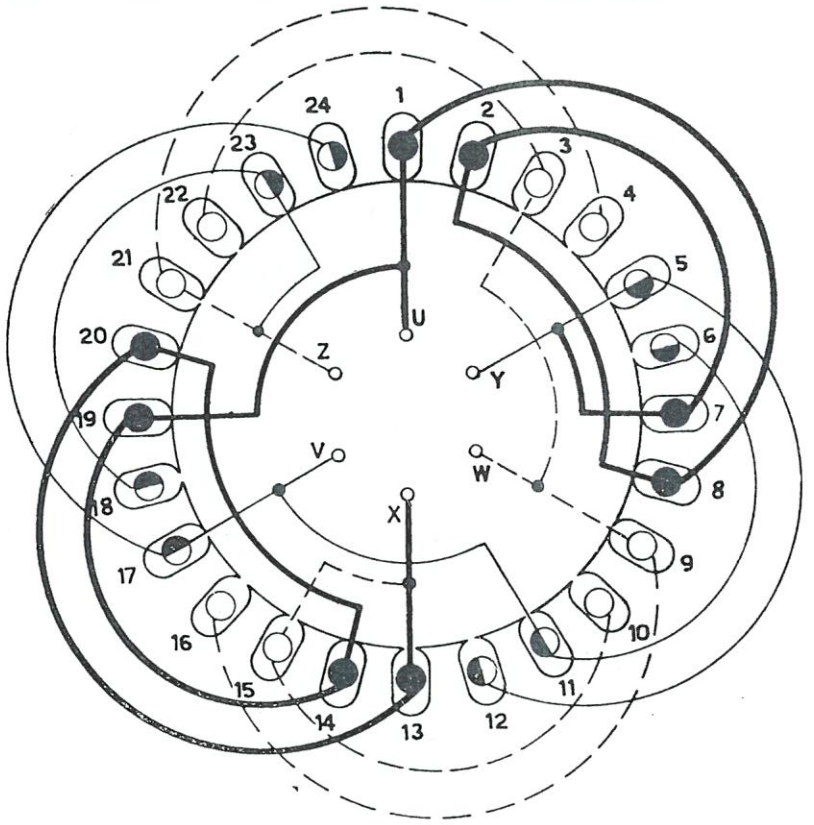
1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale).

Funzionamento a 4 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}966$ - Poli omonimi (tipo A).

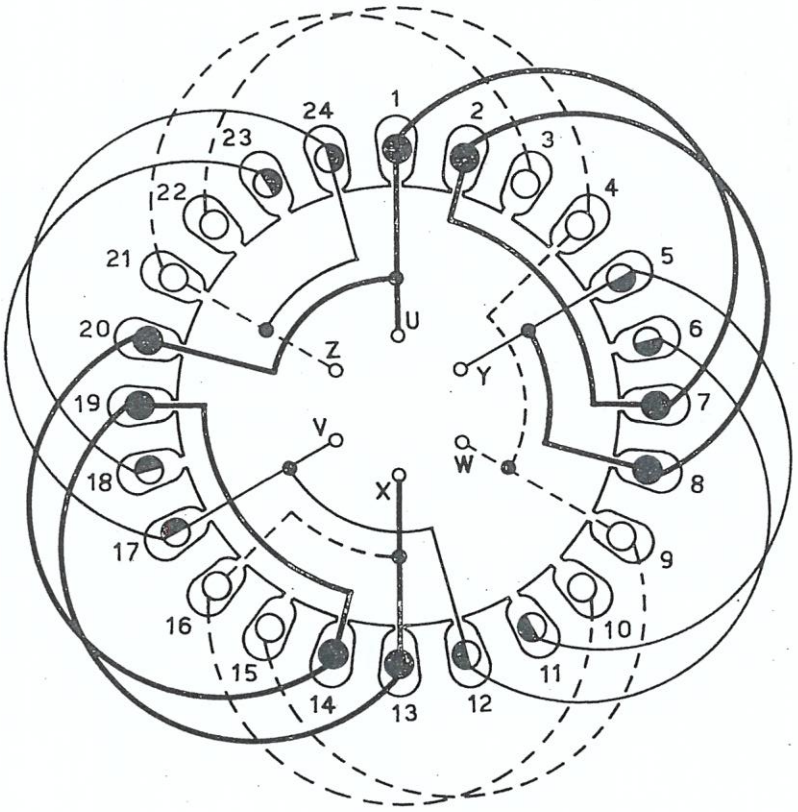
Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}701$ (*) - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

(*) $$K_a=K_p=\frac{\text{sen } 90°\frac{7}{12}+\text{sen } 90°\frac{5}{12}}{2}=\frac{0{,}793+0{,}609}{2}=0{,}701$$

2 polarità - 4 e 2 poli - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona speciale (matasse eguali).

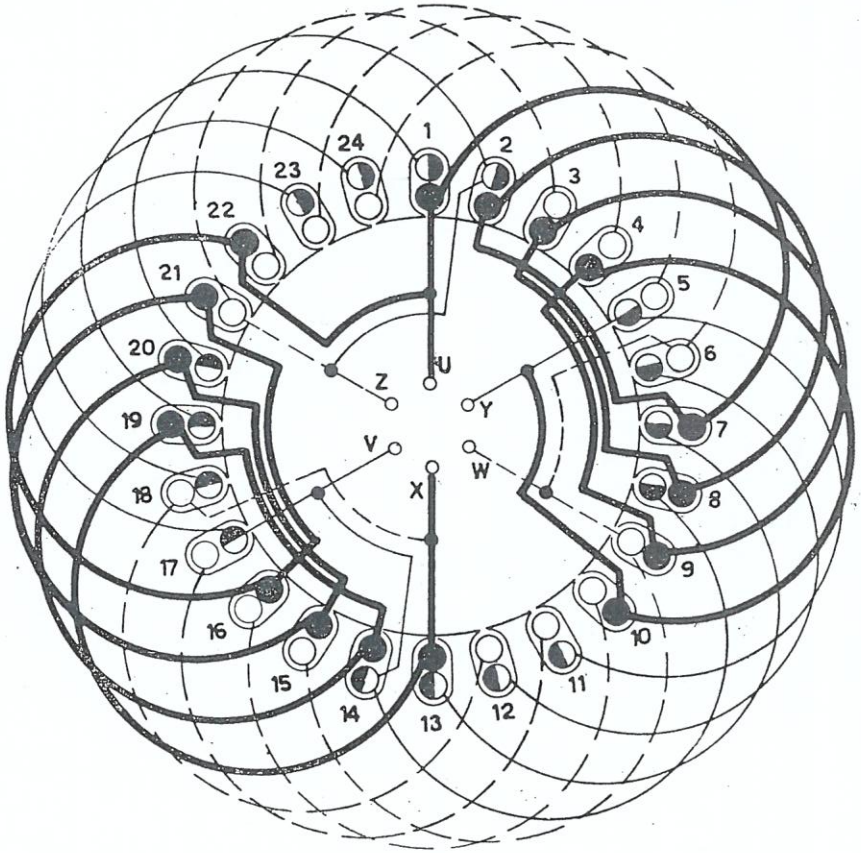
Funzionamento a 4 poli: 2 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,701 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 4 poli: 4 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,837 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

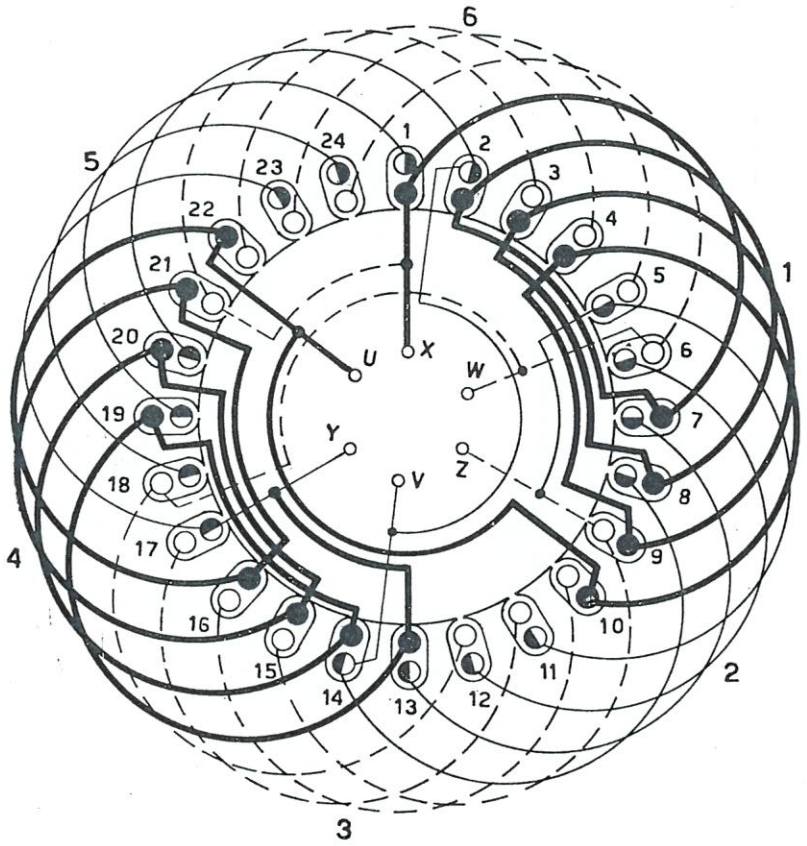
Funzionamento a 2 poli: 4 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,677 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Di uso normale per funzionamento a potenza variabile.

Con la stessa ripartizione, ripetuta 2 volte, si ottiene l'8 e 4 poli con 48 cave, ripetute 3 volte, il 12 e 6 poli con 72 cave, ecc.

2 polarità - 4 e 2 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 4 poli YY - 2 poli Δ - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 4 poli: 4 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}837$ - Poli omonimi (Tipo A).

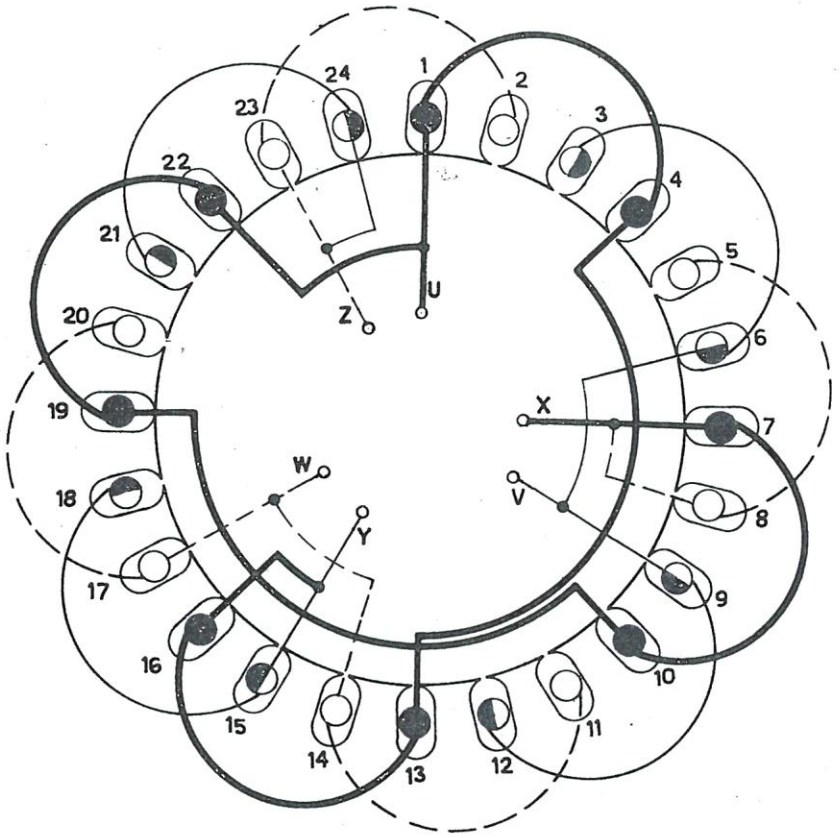
Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Funzionamento a 2 poli: 4 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}958$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}707$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}677$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Preferito per funzionamento a potenza costante.

2 polarità - 8 e 4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali).

Funzionamento a 8 poli: 1 matassa/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$. - Poli omonimi (tipo A).

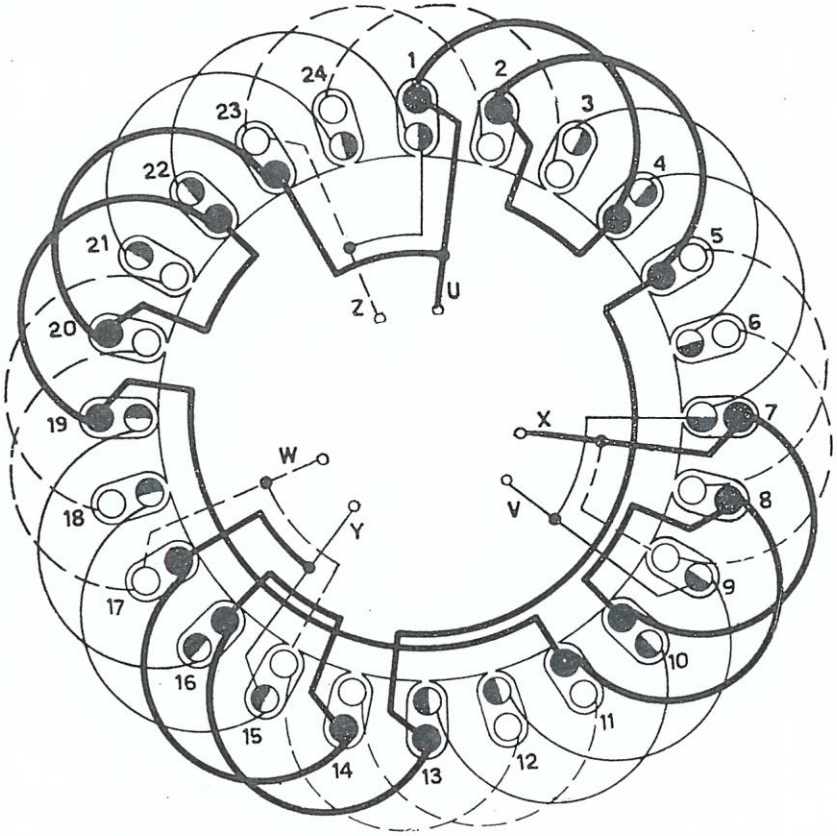
Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 1 matassa/gruppo - Passo raccorciato - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0{,}5$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}707$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Per funzionamento a potenza variabile. (Schema da adottare solo per soluzioni di ripiego).

2 polarità - 8 e 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 2 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,866 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

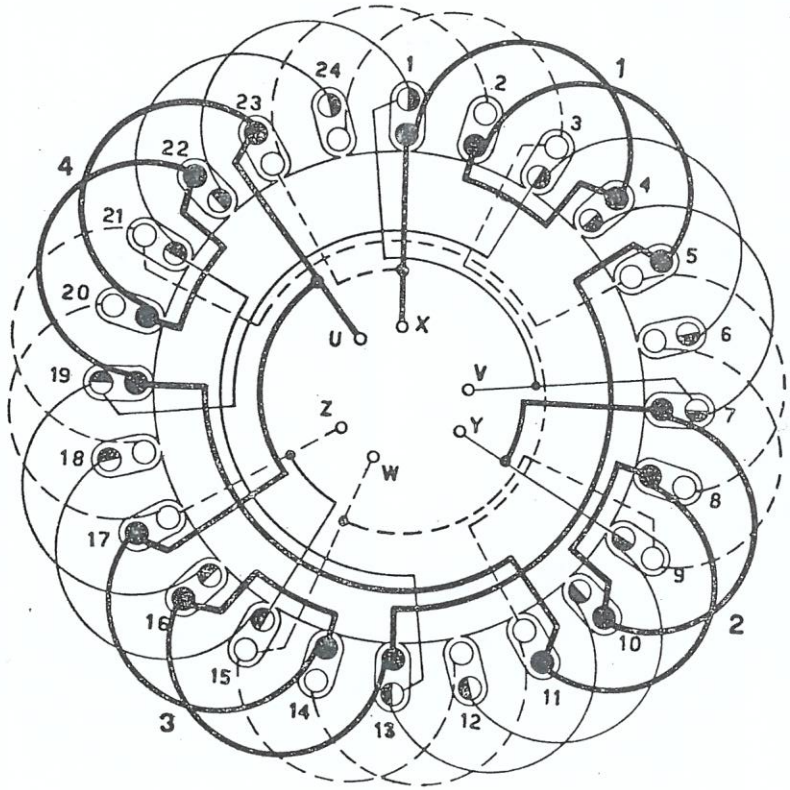
Funzionamento a 4 poli: 2 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,966 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,683 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Per funzionamento a potenza variabile.

Ripartizione valida per 48 *cave a* 16 *ed* 8 *poli.*

2 polarità - 8 e 4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento 8 poli a YY - 4 poli a Δ - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali-spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 2 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,866 - Poli omonimi (tipo A).

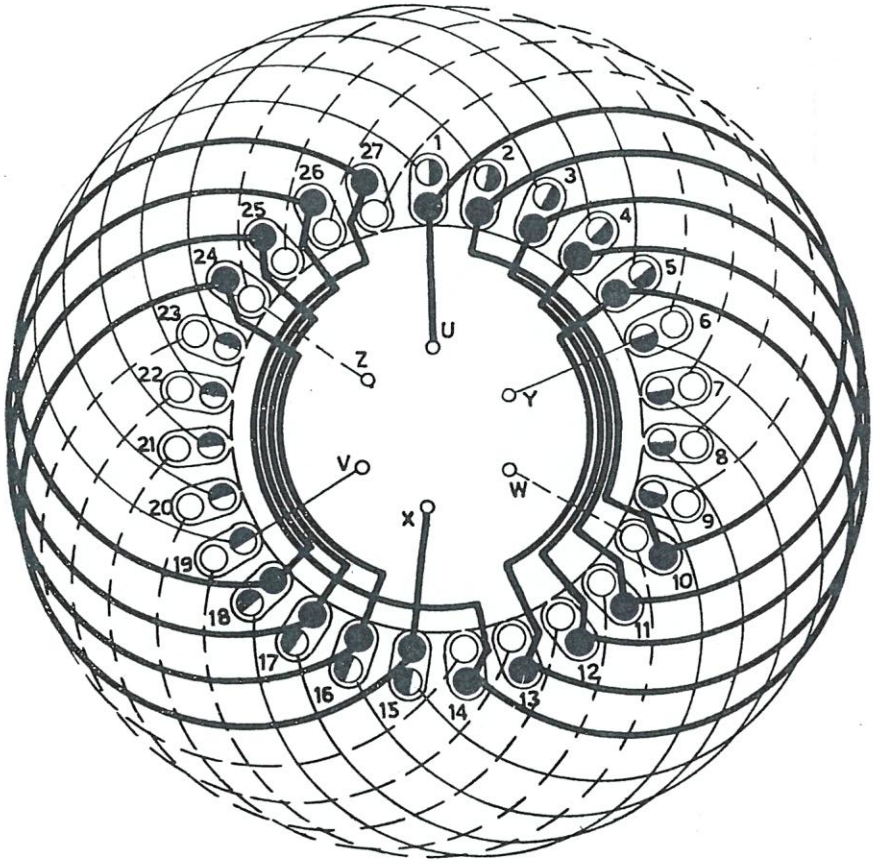
Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Funzionamento a 2 poli: 2 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,966 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=½ - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore di avvolgimento K_a=0,683 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Per funzionamento a potenza costante.

2 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10
Collegamento serie - 6 morsetti



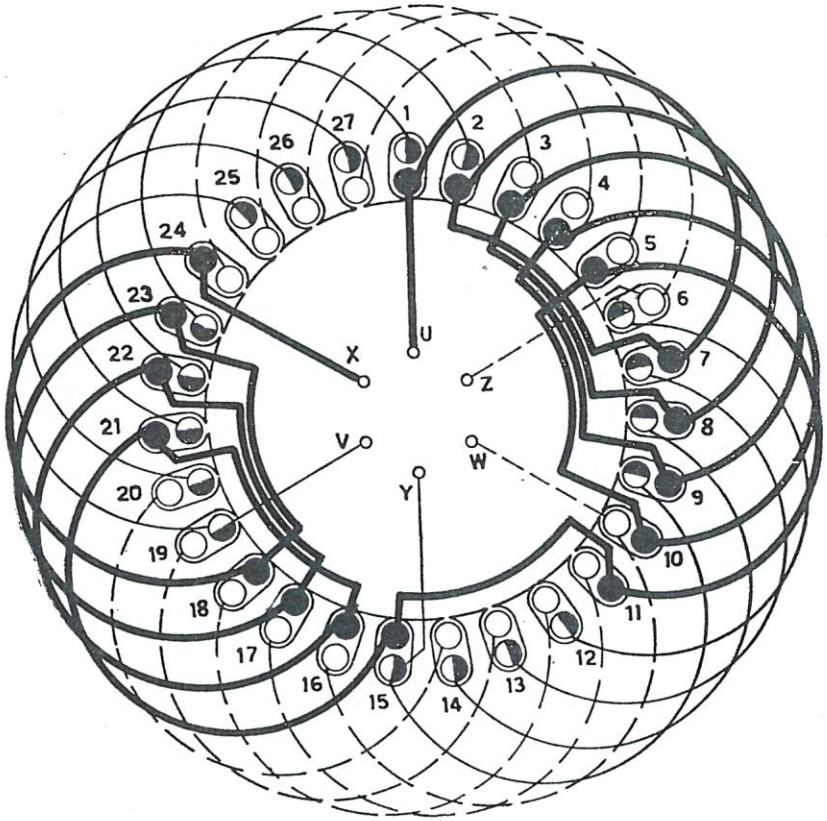
9 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,955 - Coefficiente di raccorciamento $y_c\tau$=9/13,5=2/3 - Fattore di passo K_p=0,866 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,827.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 4 matasse ed 1 di 5 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



9 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d= 0,834 - Coefficiente di raccorciamento $y_c\tau$=6/6,75=8/9 - Fattore di passo K_p= 0,985 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,821.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 4 matasse e 1 di 5 matasse).

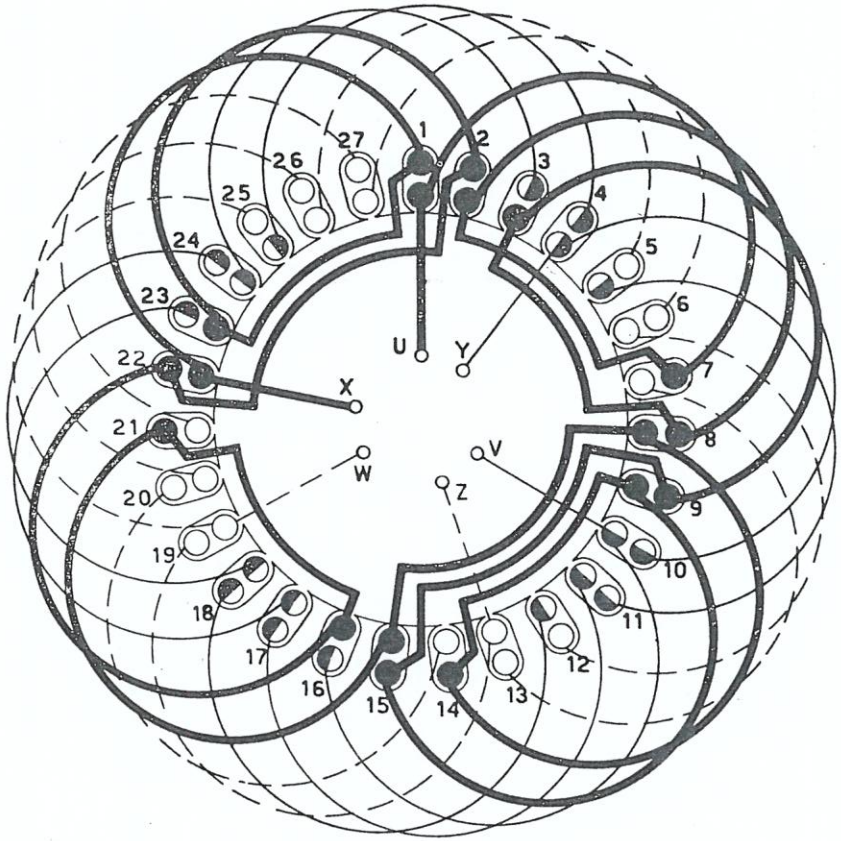
Fase	Sequenza	
I	5	4
II	4	5
III	5	4

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici (8 . **q**).

Questo avvolgimento non è consigliabile perchè richiederebbe molto più rame di quello a poli alternati con lo stesso passo. Gli avvolgimenti a 2 matasse si fanno di norma a poli alternati.

4 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



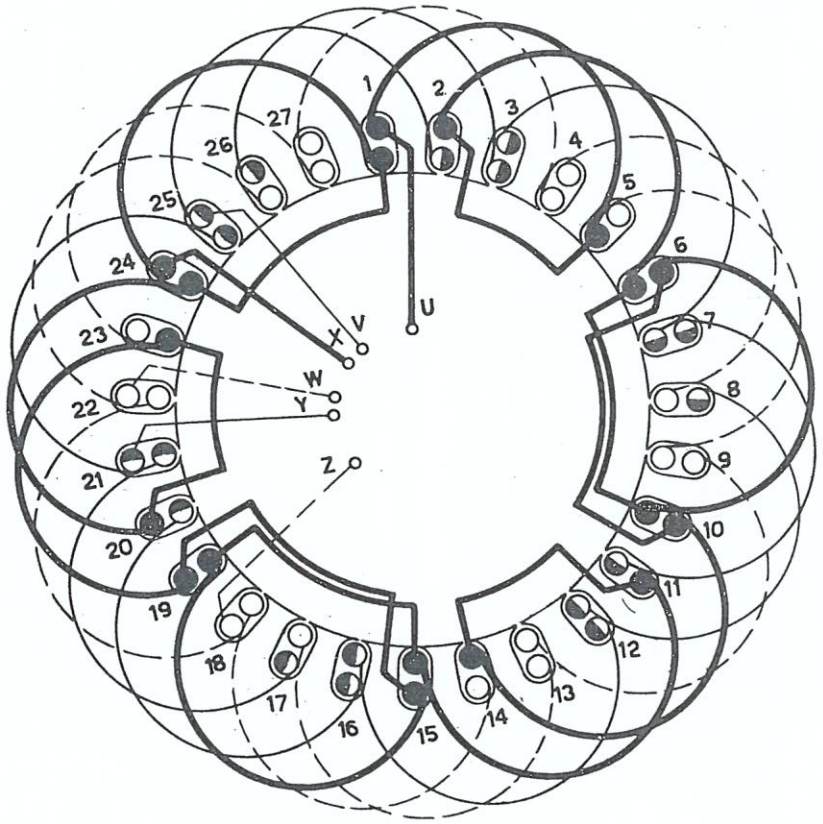
9 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c\tau=6/6,75=8/9$ - Fattore di passo $K_p=0,985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,941$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (3 di 2 matasse e 1 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

6 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore dl distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/4,5$ - Fattore di passo $K_p=0,985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,946$.

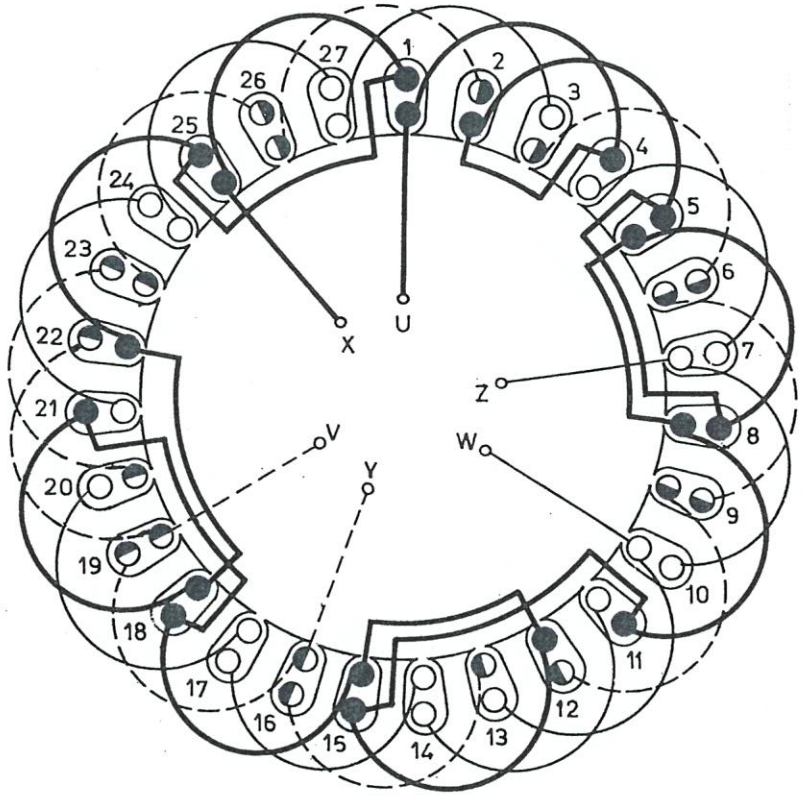
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (3 di 1 matassa e 3 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Fase	Sequenza	
I	2	1
II	1	2
III	2	1

8 poli - 27 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



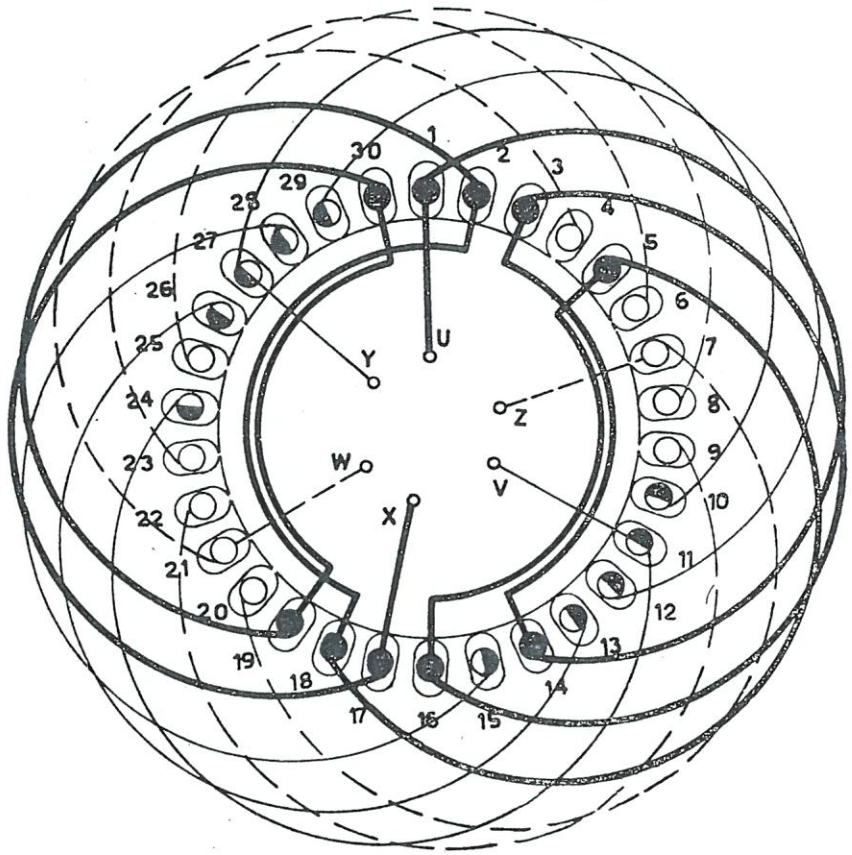
9 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=3/3{,}375=8/9$ - Fattore di passo $K_p=0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}941$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (7 di 1 matassa e 1 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

2 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷14
Collegamento serie - 6 morsetti



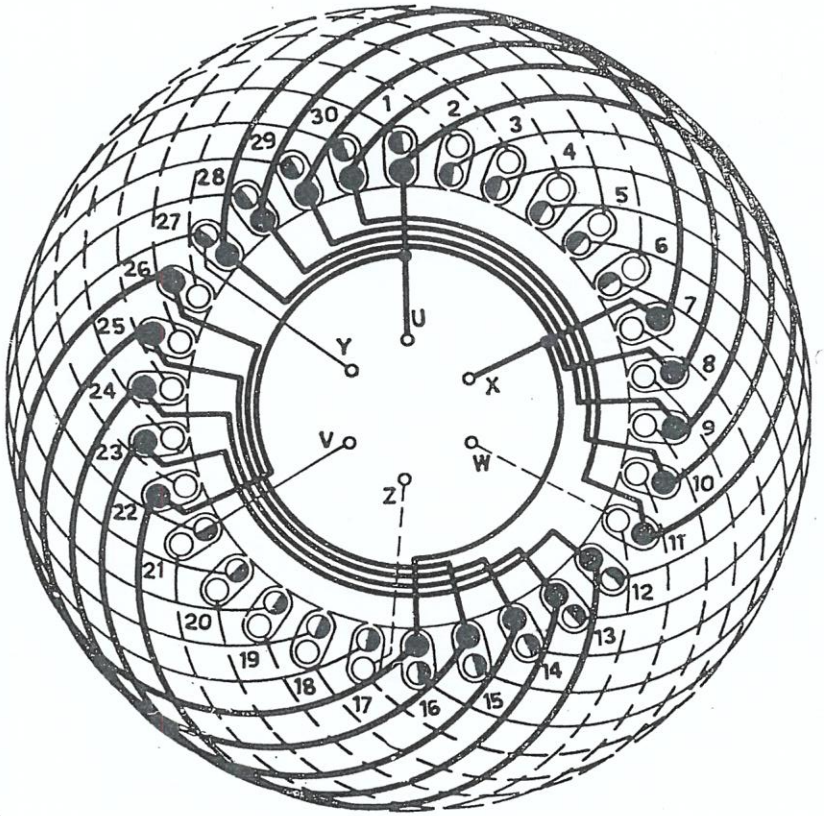
5 cave/polo·fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=13/15$ - Fattore di passo $K_p=0{,}978$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}936$. (Col calcolo trigonometrico $K_a=0{,}938$).

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 2 matasse e 1 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷11
Collegamento parallelo - 6 morsetti



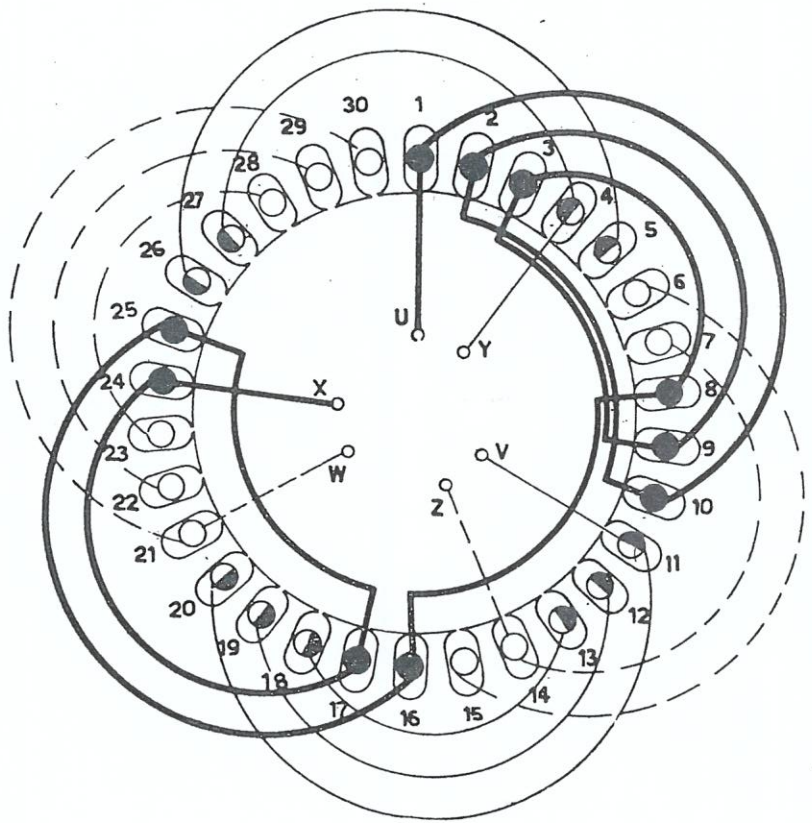
5 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=10/15$ - Fattore di passo $K_p=0{,}866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}829$

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 5 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



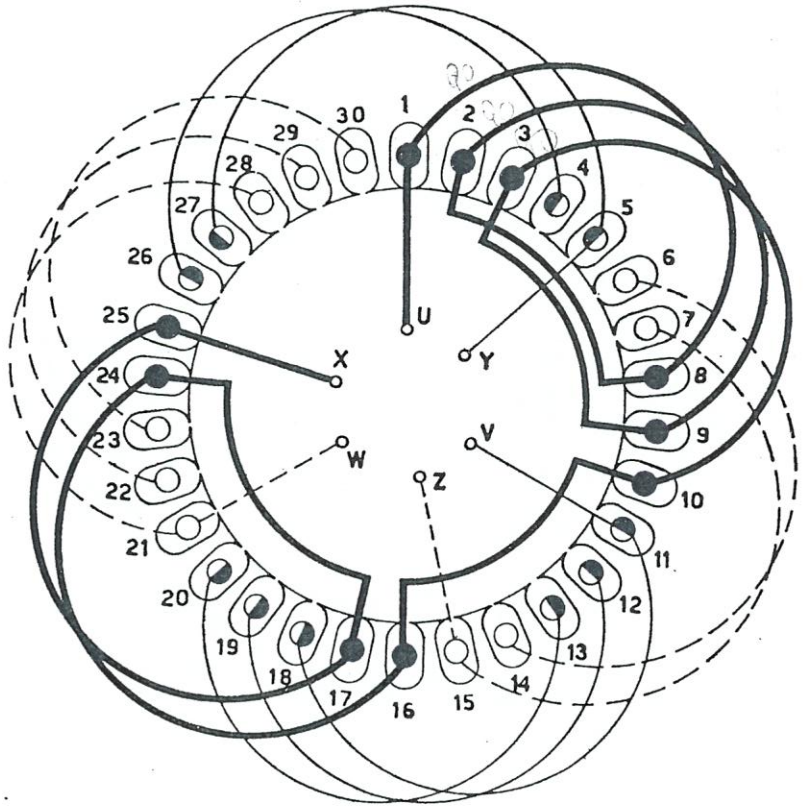
5 matasse/settore - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}952$.

Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 2 matasse e 1 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

4 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷9 ed 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



5 matasse/settore - Fattore di ripartizione K_d=0,957 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ= 8/7,5 e 7/7,5 - Fattore di passo K_p=0,995 - Fattore di avvolgimento K_a=0,952.

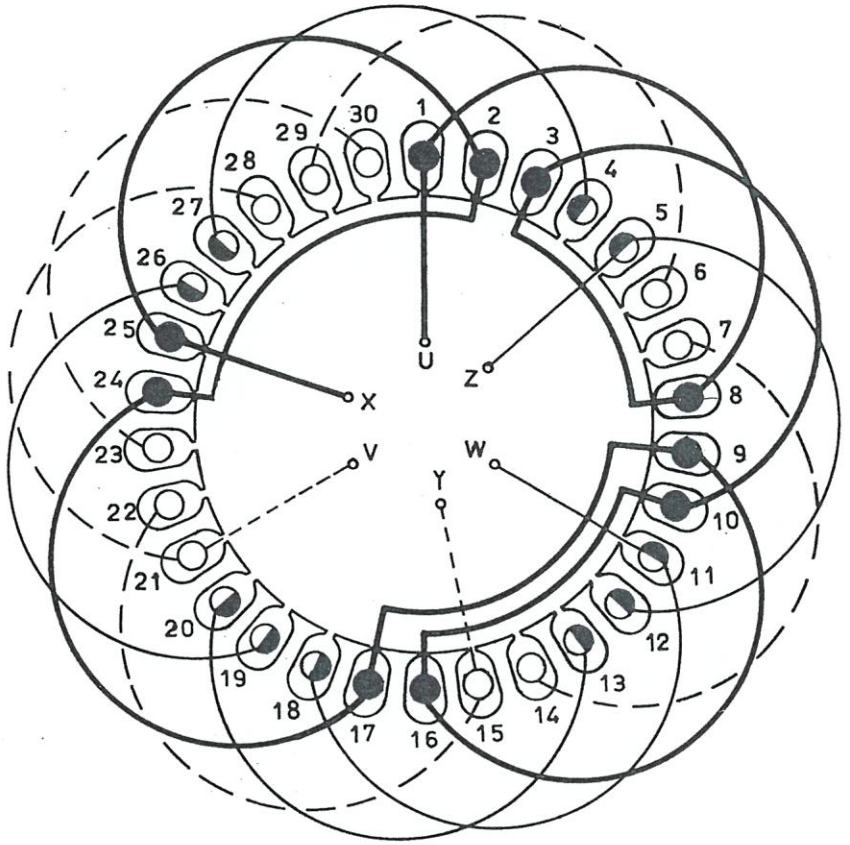
Avvolgimento a corona speciale - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 3 matasse ed 1 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Questo tipo di avvolgimento, adottato dalla Marelli in motori di recente costruzione, è di più rapida esecuzione del tipo concentrico ed oggi viene di norma ad esso preferito.

4 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



5 matasse/settore - Fattore di ripartizione K_d=0,957 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ= 7/7,5 - Fattore di passo K_p=0,995 - Fattore di avvolgimento K_a=0,952.

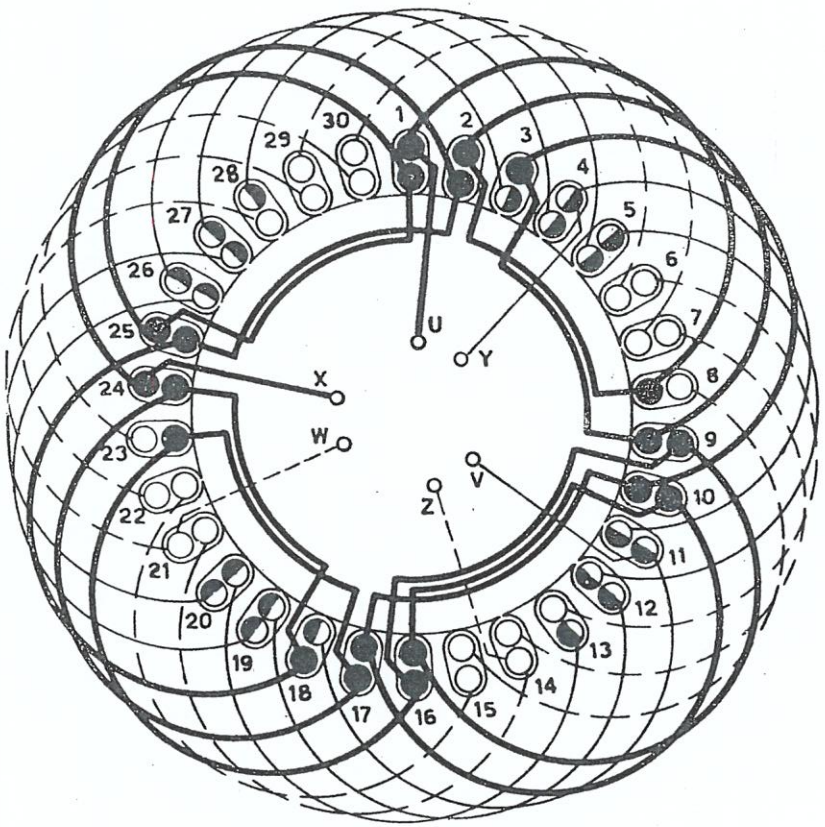
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (3 di 1 matassa e 1 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Schema adottato dalla ASGEN.

4 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,957 - Coefficiente di raccorciamento $y_c\tau$/=7/7,5 - Fattore di passo K_p=0,9945 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,952.

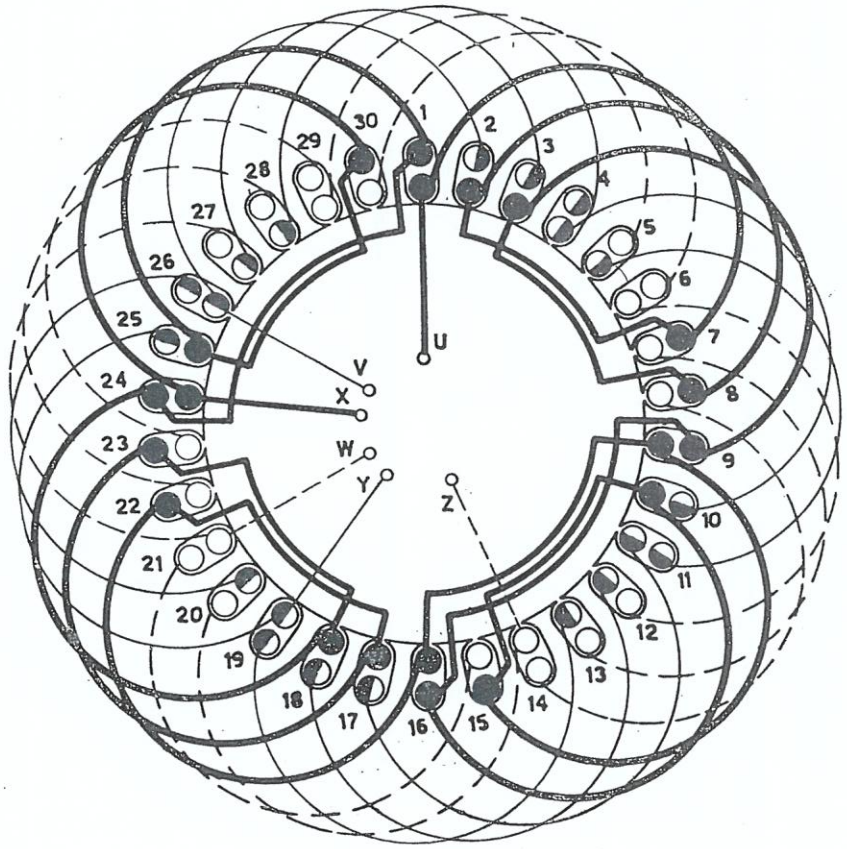
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 gruppi di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici

Questo schema è valevole per: 8 *poli* - 60 *cave;* 12 *poli* - 90 *cave; ecc., varia solamente il numero dei gruppi di matasse per fase.*

4 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



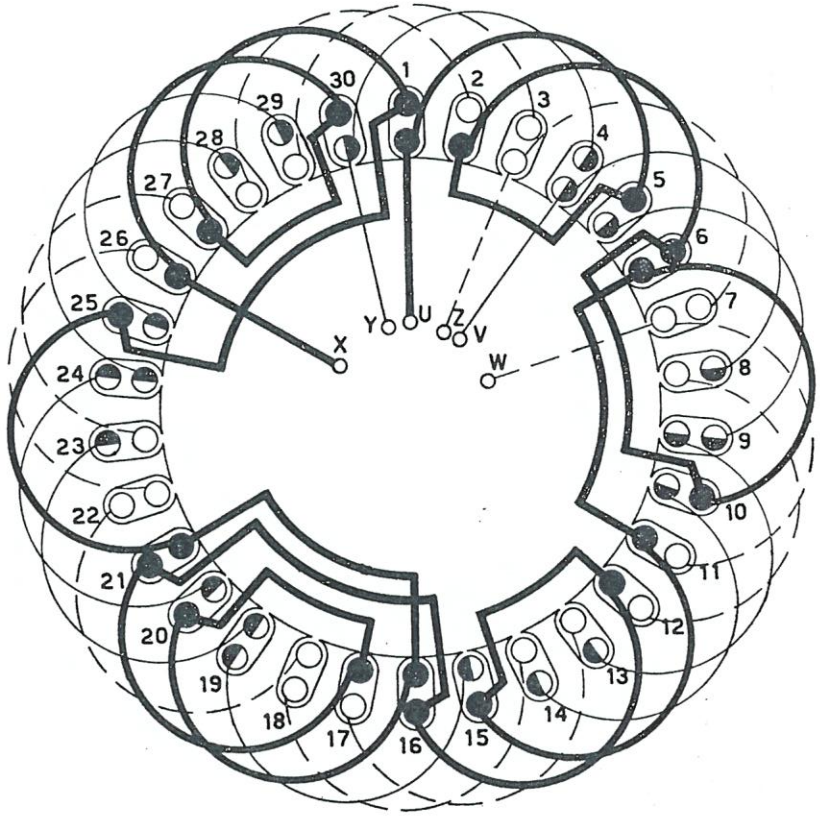
5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,957 - Coefficiente di raccorciamento $y_c\tau$/=6/7,5 - Fattore di passo K_p=0,951 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,91.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



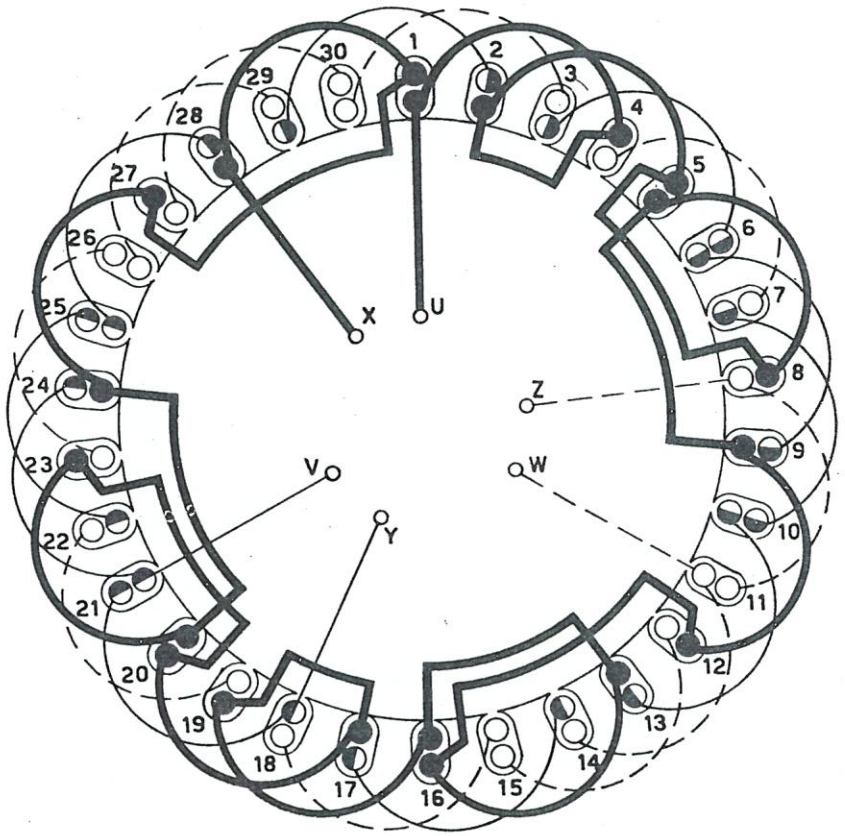
5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,957 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=4/5 - Fattore di passo K_p=0,951 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,910.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 1 matassa e 4 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Avvolgimento disimmetrico.

8 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



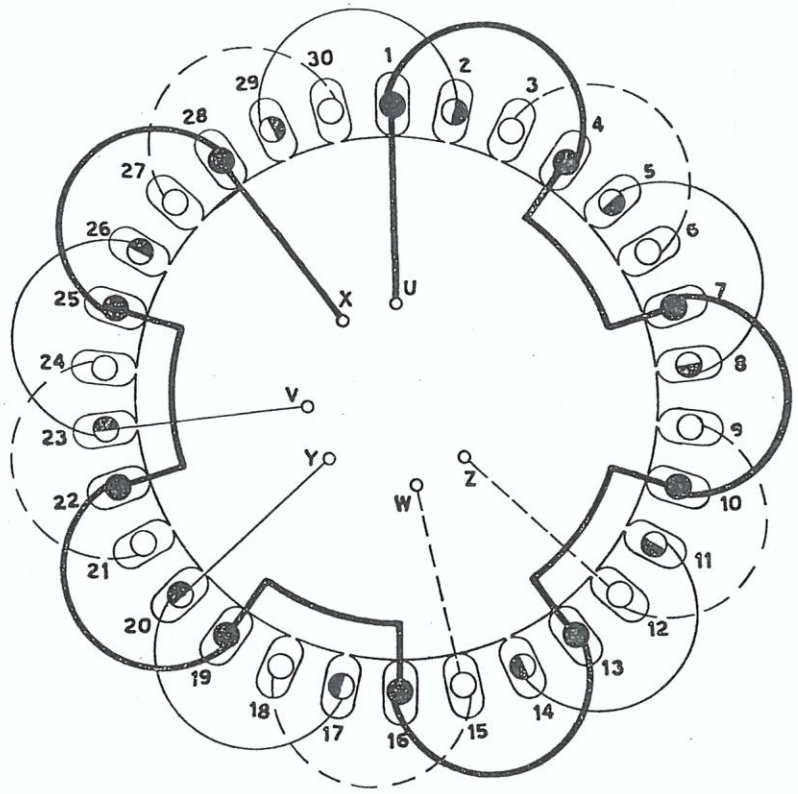
5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,957. Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=3/3,75 - Fattore di passo K_p=0,951 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,910.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (6 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

10 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

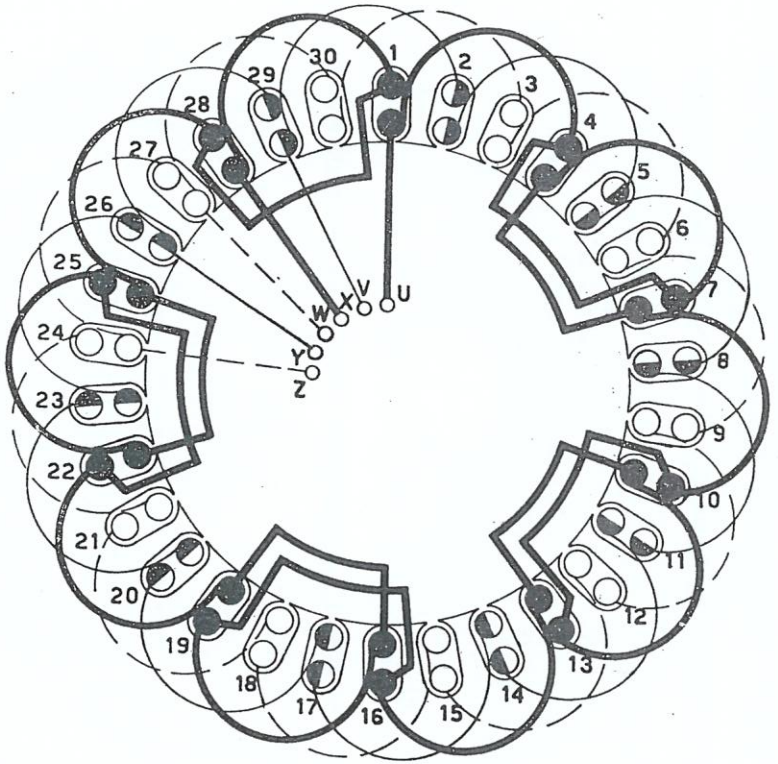
Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli omonimi (tipo A) - 5 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Avvolgimento da adottare solo dietro richiesta e come soluzione di ripiego.

10 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



1 cava/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$.

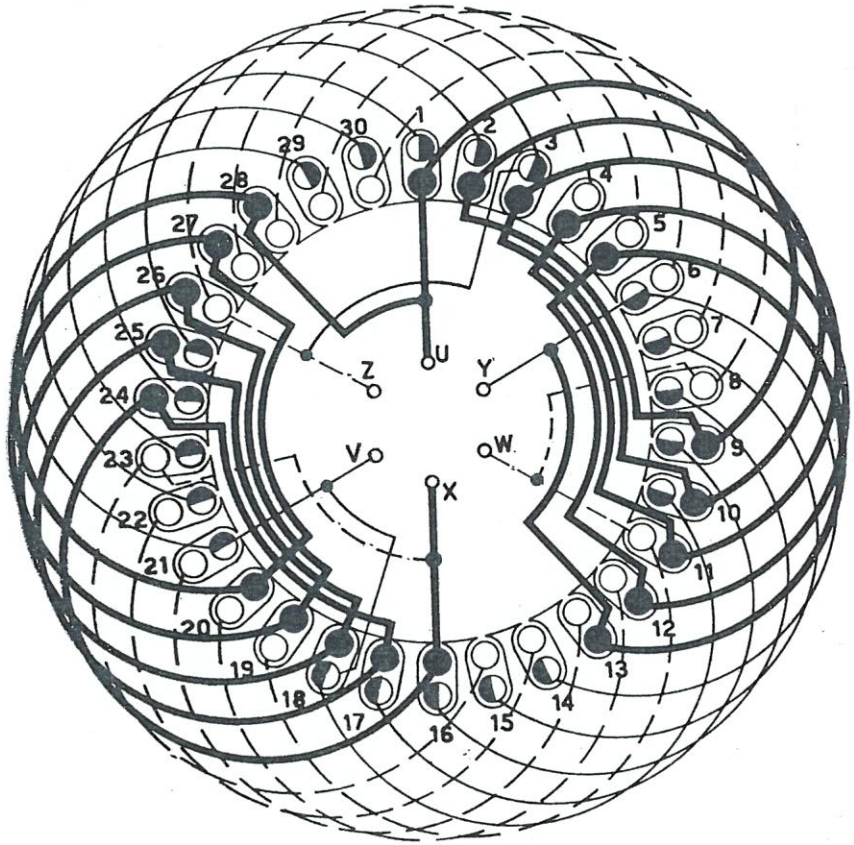
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Avvolgimento poco conveniente.

2 polarità - 4 e 2 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

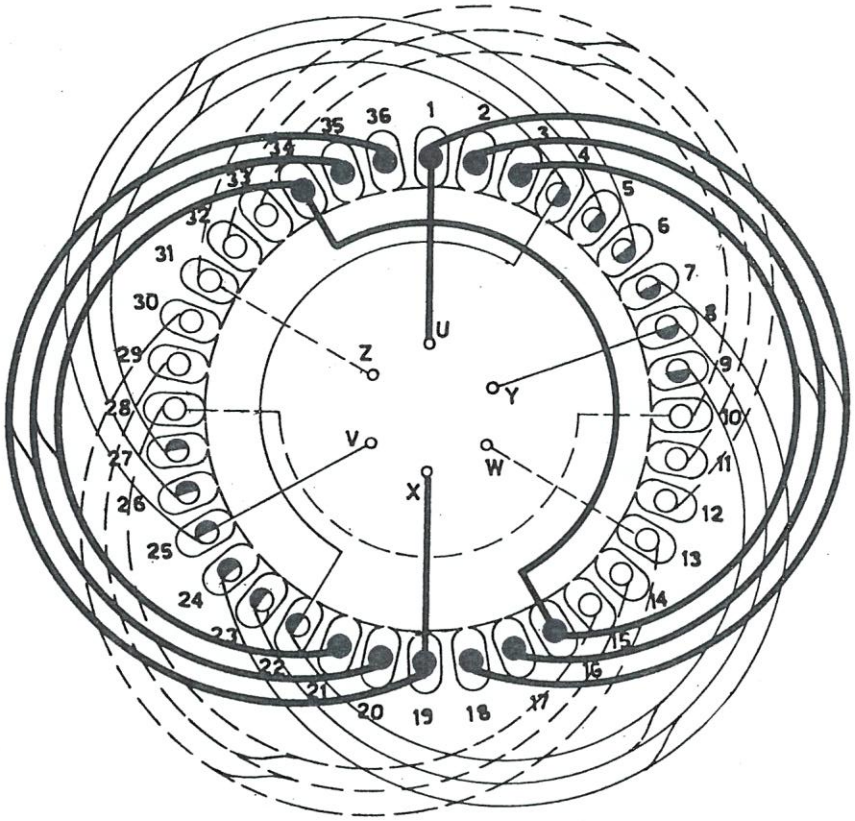
Funzionamento a 4 poli: 5 matasse/gruppo - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}833$ - Fattore di passo $K_p=0{,}995$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}829$ - Poli omonimi (tipo A) - Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 5 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=8/15$ - Fattore di passo $K_p=0{,}743$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}711$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Di norma per funzionamento a potenza variabile.

2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷18, 1÷16 e 1÷14 - Collegamento serie - 6 morsetti



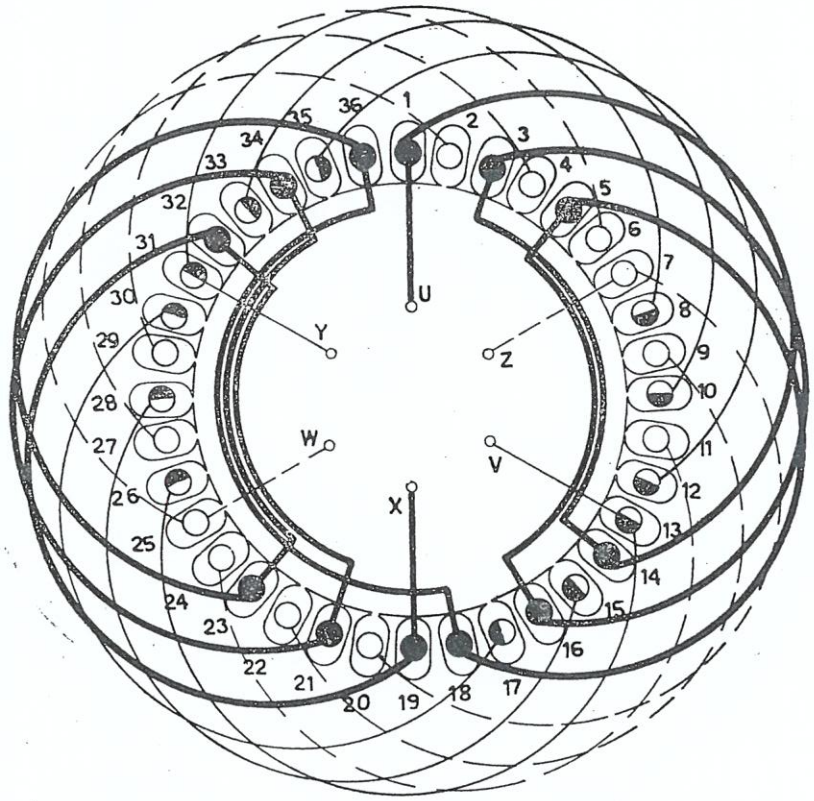
6 cave/polo . fase - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}956$.

Avvolgimento concentrico a corona oppure in 3 ordini (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷14
Collegamento serie - 6 morsetti



6 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=13/18$ - Fattore di passo $K_p=0,906$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,866$. (Col calcolo trigonometrico $K_a=0,863$).

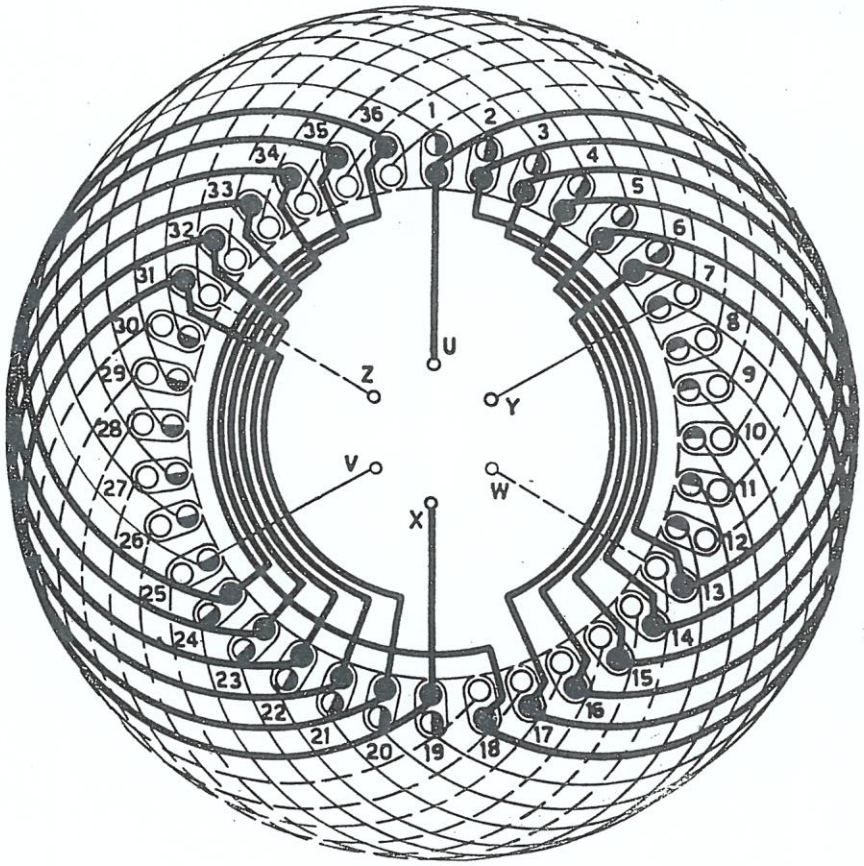
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento consente una sensibile economia di rame rispetto a quello della tavola precedente ed è inoltre notevolmente migliore dal punto di vista estetico. Comunque è da preferire sempre il tipo a 2 matasse/cava.

2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷13
Collegamento serie - 6 morsetti



6 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=12/18$ - Fattore di passo $K_p=0,866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,828$.

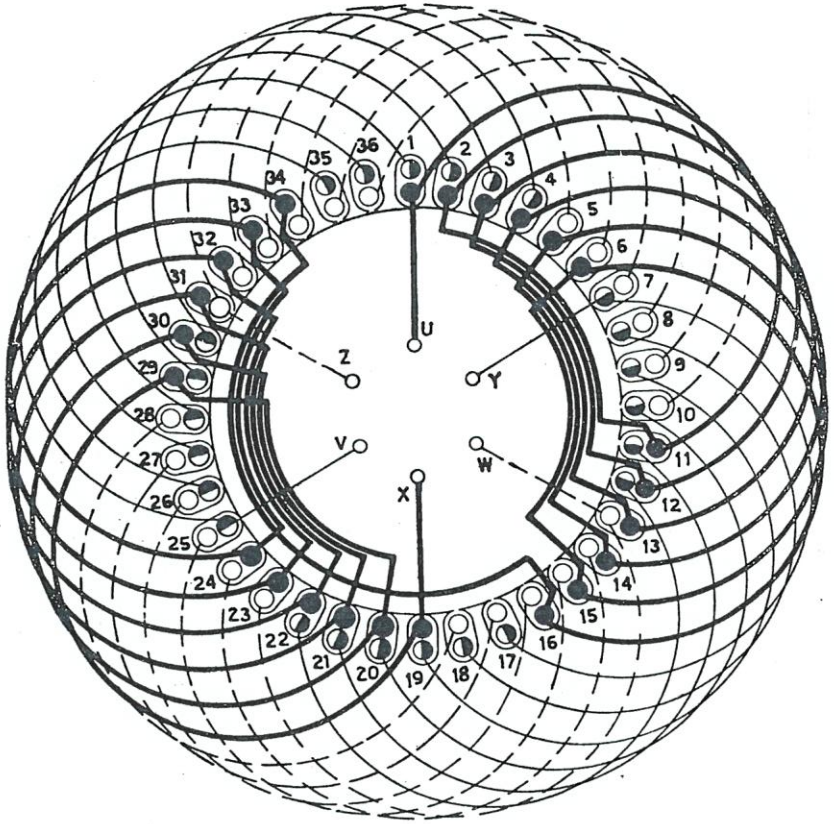
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 6 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

La Brown Boveri adotta il passo 1÷15 ($K_a=0,956 \cdot 0,940=0,899$).

2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷11
Collegamento serie - 6 morsetti



6 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=10/18$ - Fattore di passo $K_p=0,766$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,732$.

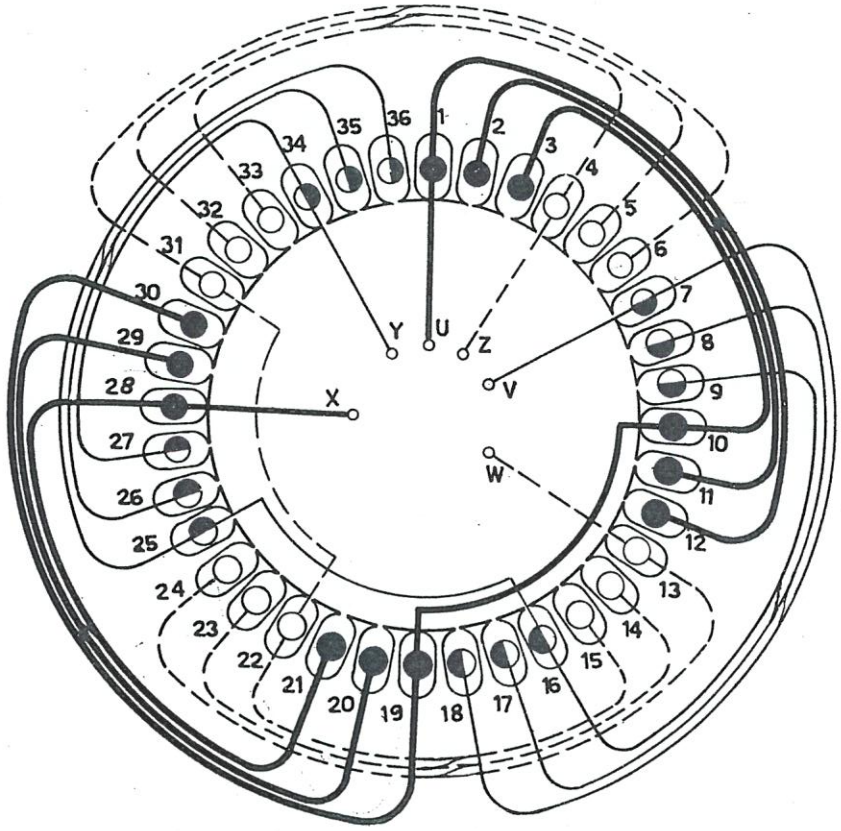
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 6 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Malgrado il forte raccorciamento del passo il funzionamento è buono.

4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,960$.

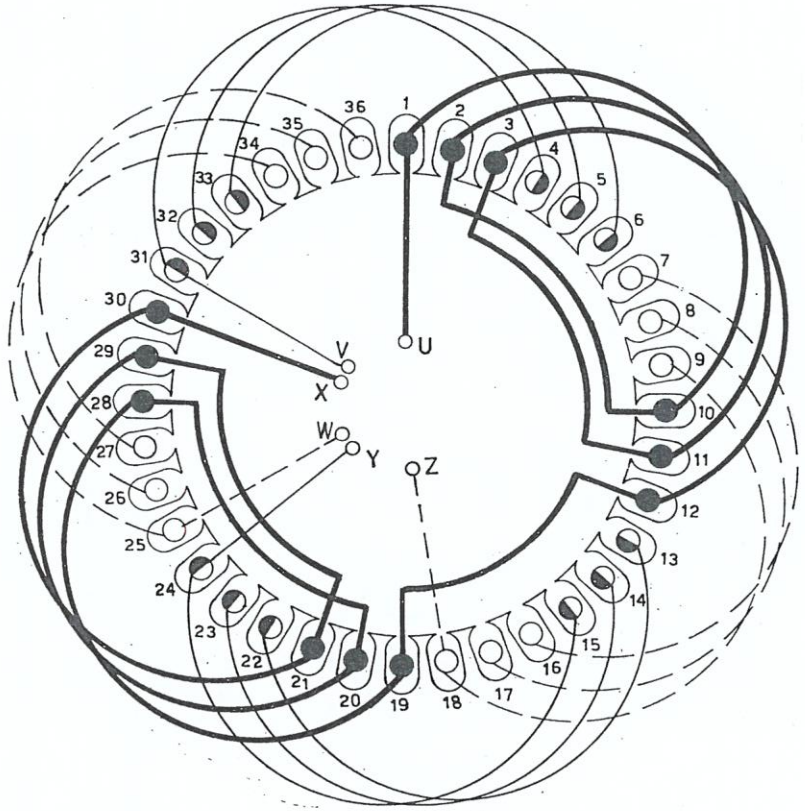
Avvolgimento concentrico in 2 ordini oppure a corona (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo sistema, prima molto diffuso, è ancora adottato dalla Marelli.

4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10
Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}960$.

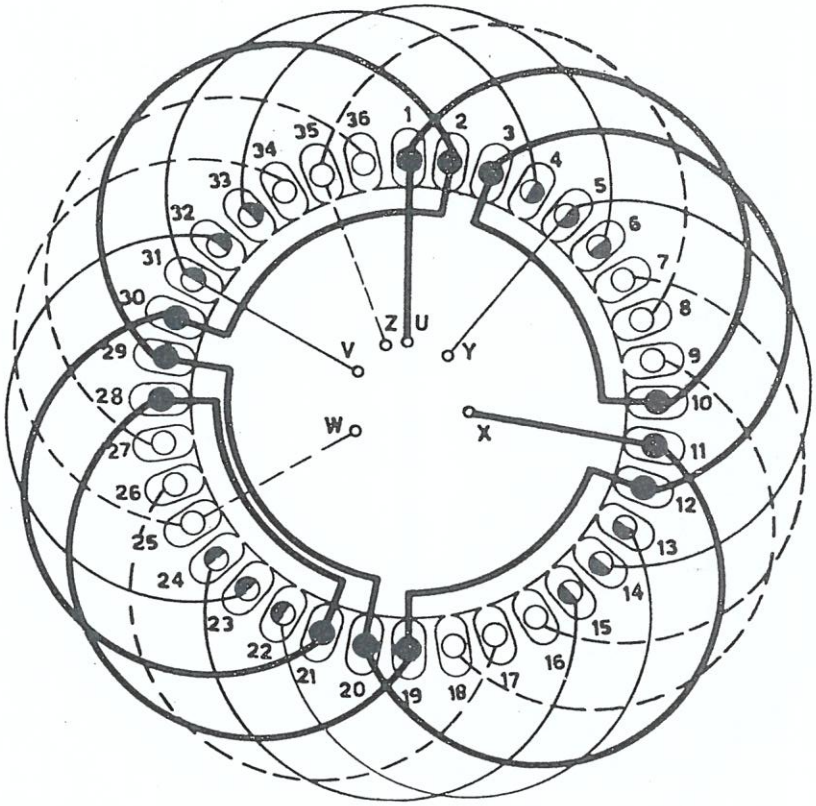
Avvolgimento a corona speciale (matasse eguali) - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 3 matasse/fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento viene spesso preferito a quello della tavola precedente perchè di più rapida esecuzione.

4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10
Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}960$.

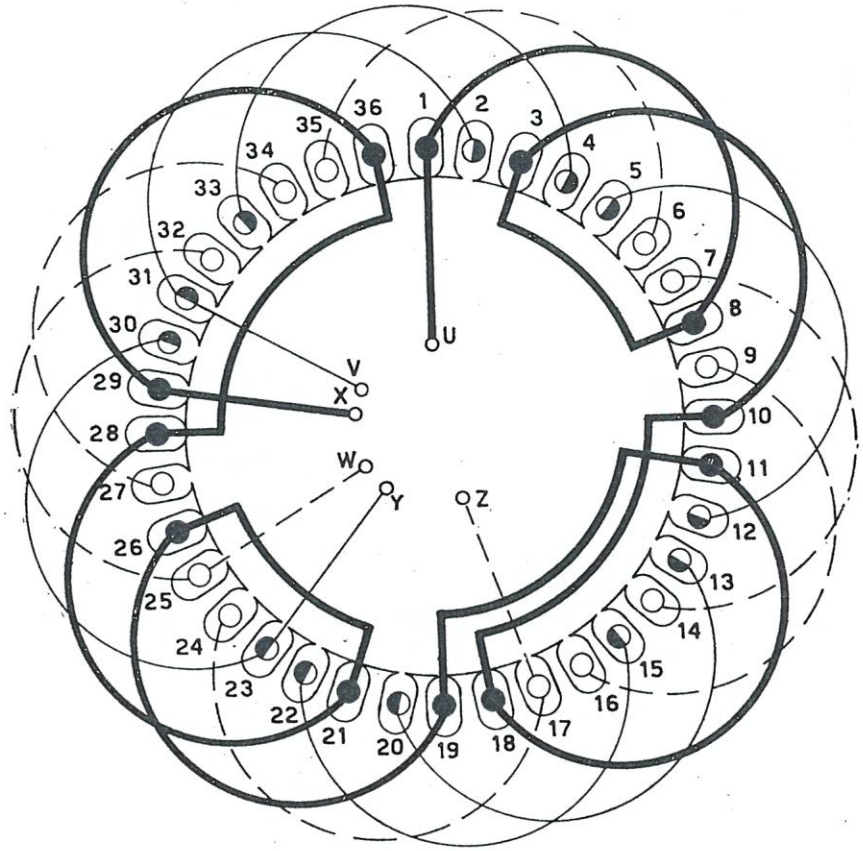
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento consente una certa economia rispetto a quello della tavola precedente con eguali ottime condizioni di funzionamento. Questo schema è adottato dalla Marelli e dalla ASGEN.

4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



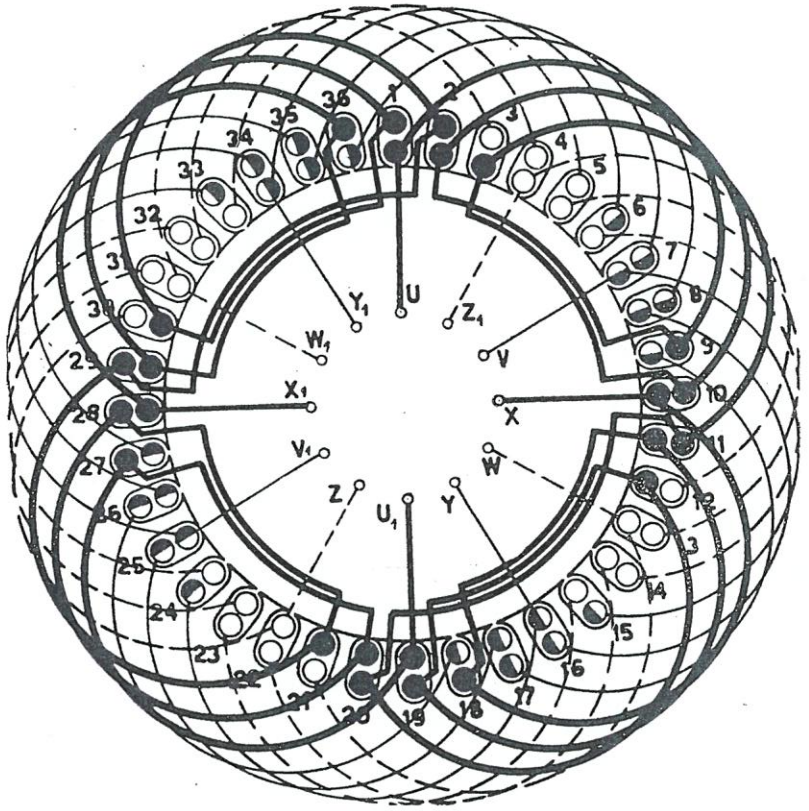
3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=7/9 - Fattore di passo K_p=0,940 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,902. (Col calcolo trigonometrico K_a=0,906).

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9
Collegamento 12 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=8/9 - Fattore di passo K_p=0,985 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,946.

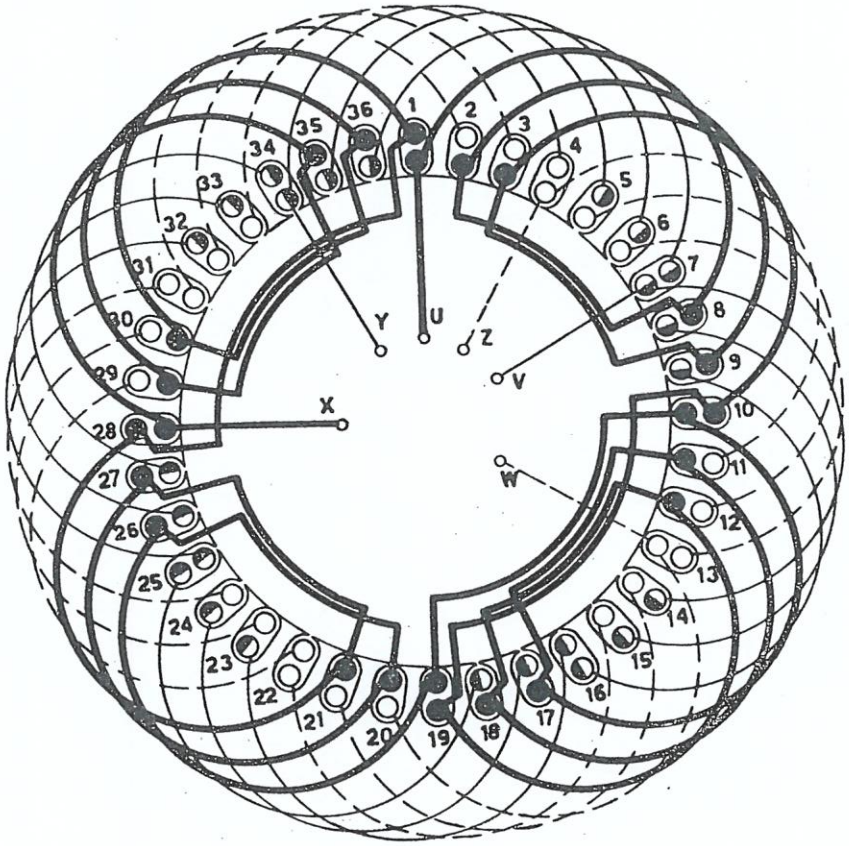
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: doppio triangolo, doppia stella, triangolo, stella.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Di solito questo avvolgimento si esegue con collegamento a 6 morsetti.

4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/9$ - Fattore di passo $K_p=0,940$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,902$.

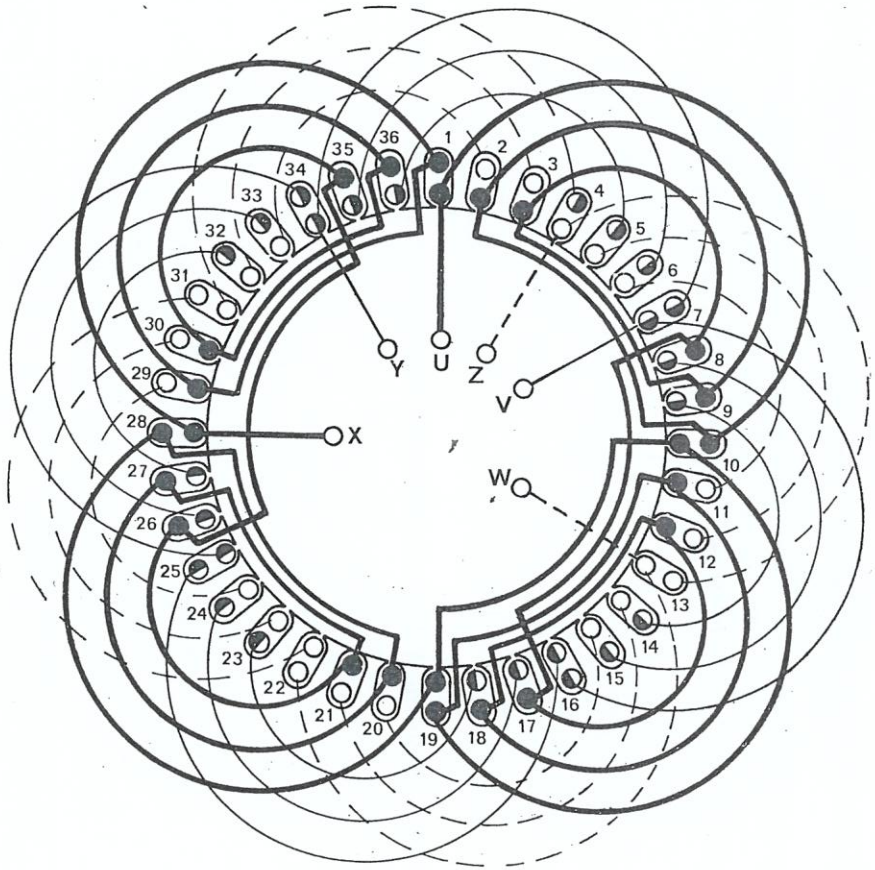
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Molte case costruttrici preferiscono questo avvolgimento a quello della tavola seguente.

4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/9$ - Fattore di passo $K_p=0,940$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0,902$.

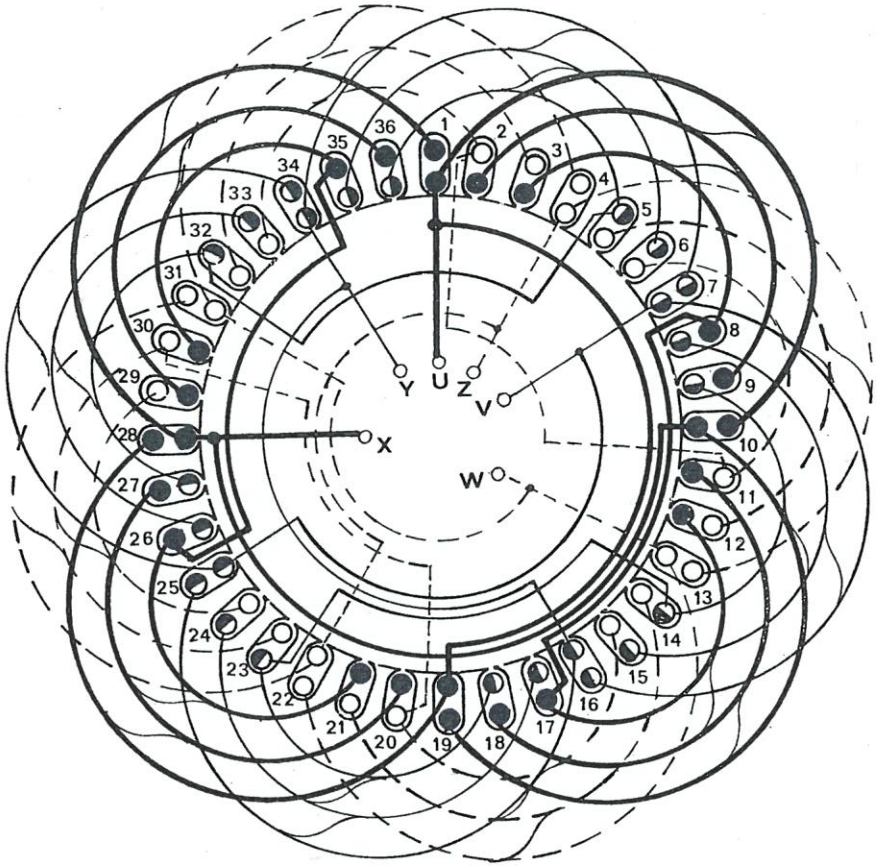
Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Marelli SA 146)

4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento 2// - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/9$ - Fattore di passo $K_p=0,940$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,902$.

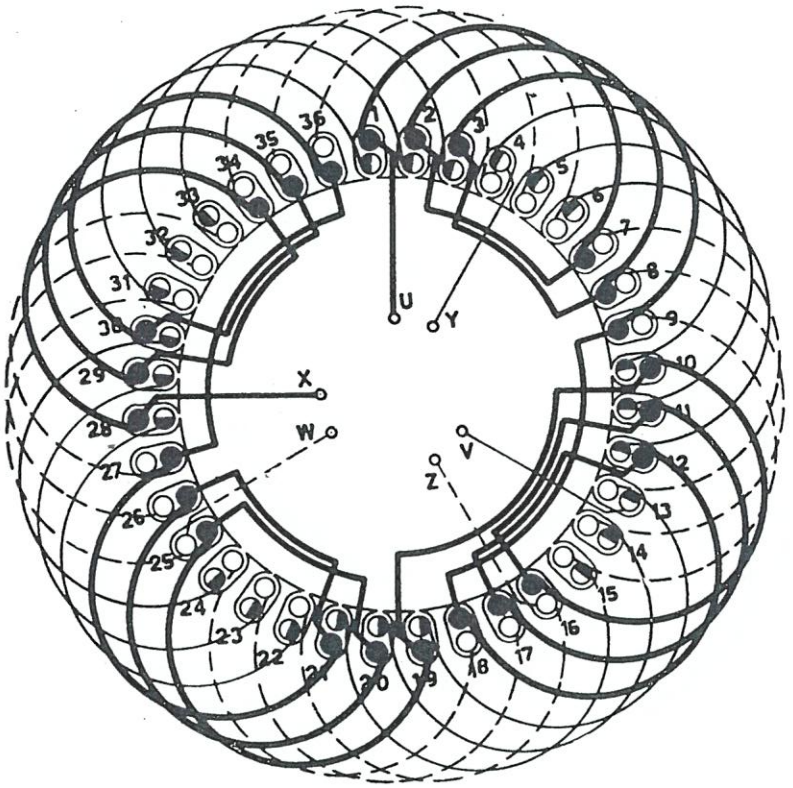
Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Marelli SA 146)

4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 Collegamento serie - 6 morsetti



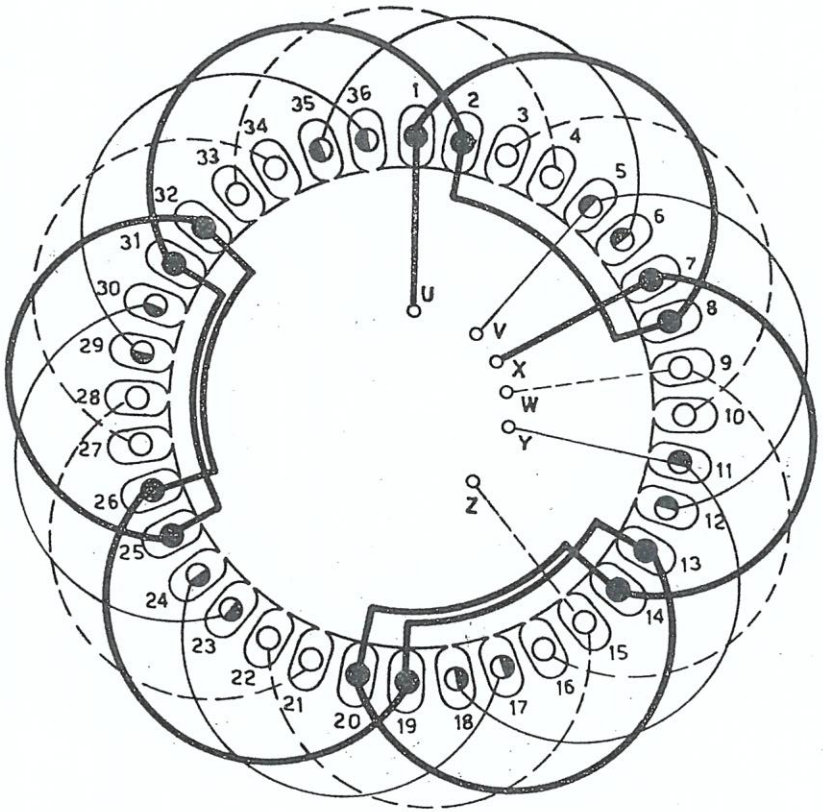
3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=6/9$ - Fattore di passo $K_p=0,866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,831$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



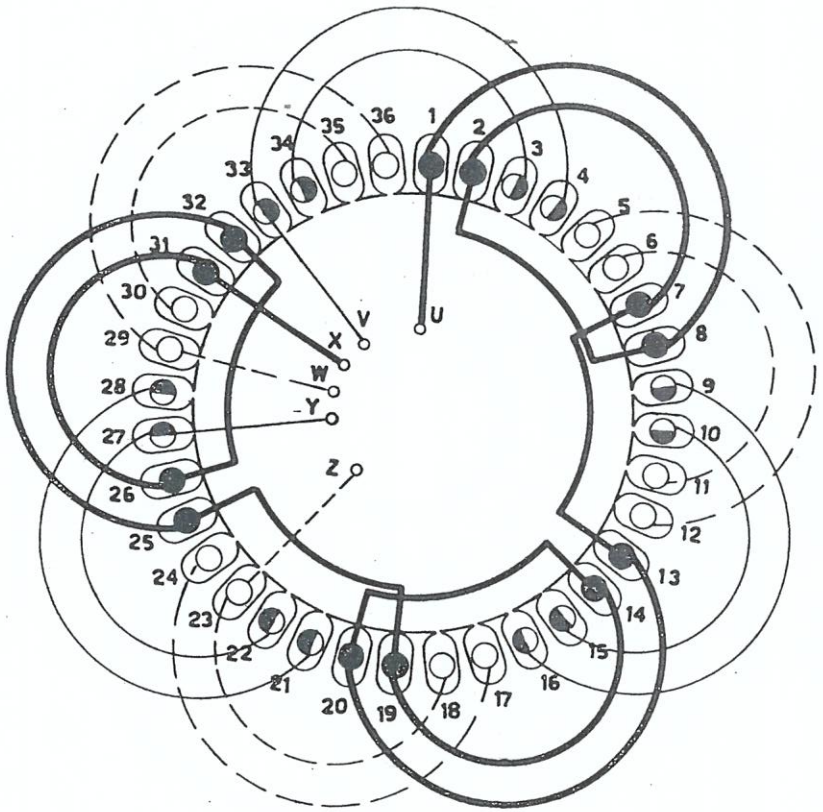
2 cave/polo . fase - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}966$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



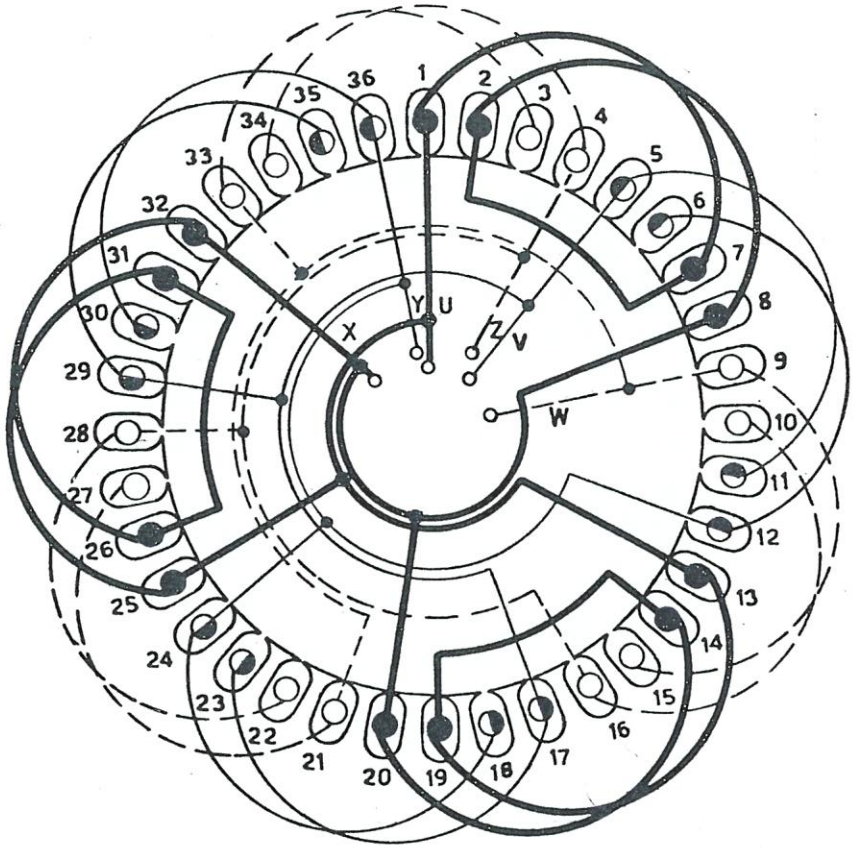
2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}966$.

Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento parallelo - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

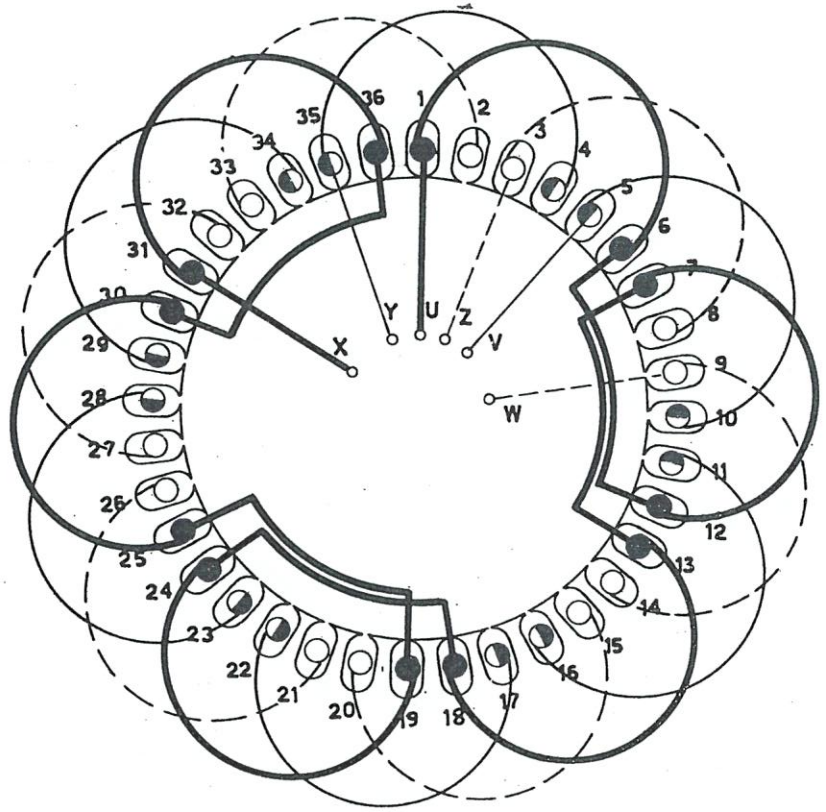
Avvolgimento a corona speciale (matasse eguali - spirali embricate) - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Naturalmente questo avvolgimento si può fare anche con collegamento serie, come quello della tavola precedente, e viene da molti ad esso preferito perchè è di più rapida esecuzione.

6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 1 matassa per fase.

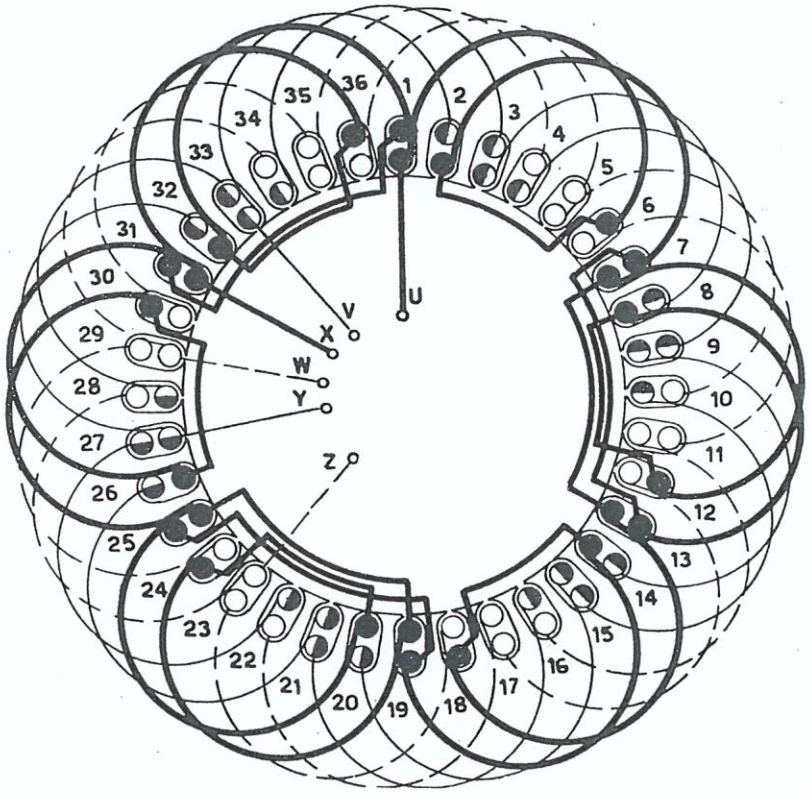
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento consente una certa economia di rame rispetto ai tre precedenti.

È adottato dalla Marelli. (Schema SA 129) anche con collegamento 2// e 3//.

6 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



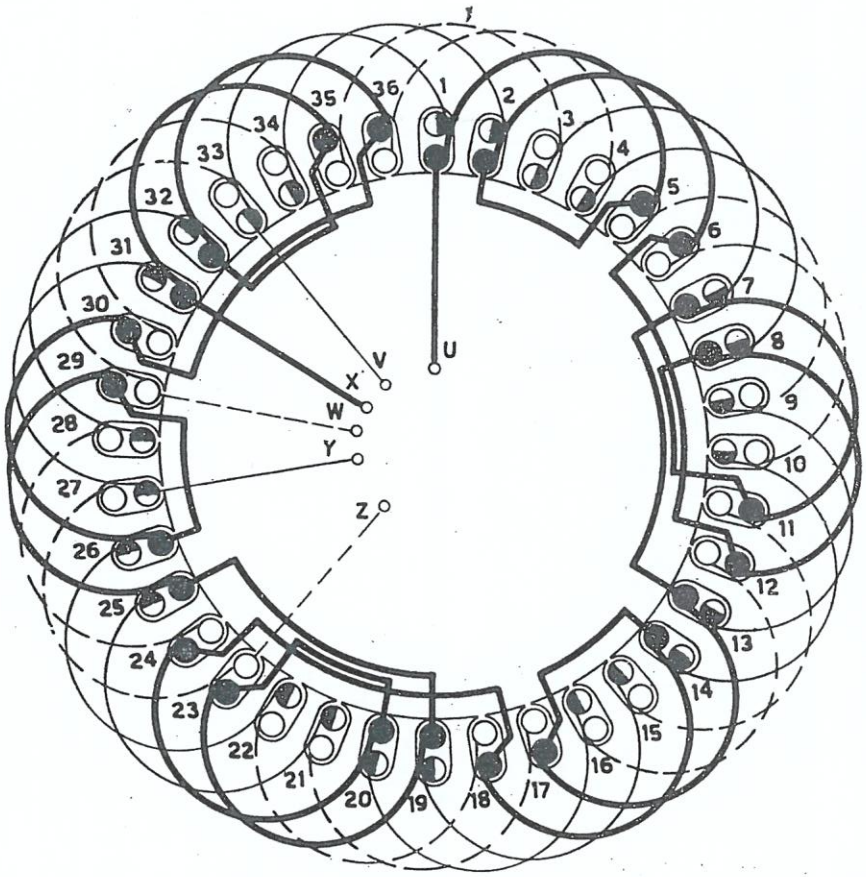
2 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}966$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=5/6$ - Fattore di passo $K_p=0{,}966$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}933$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



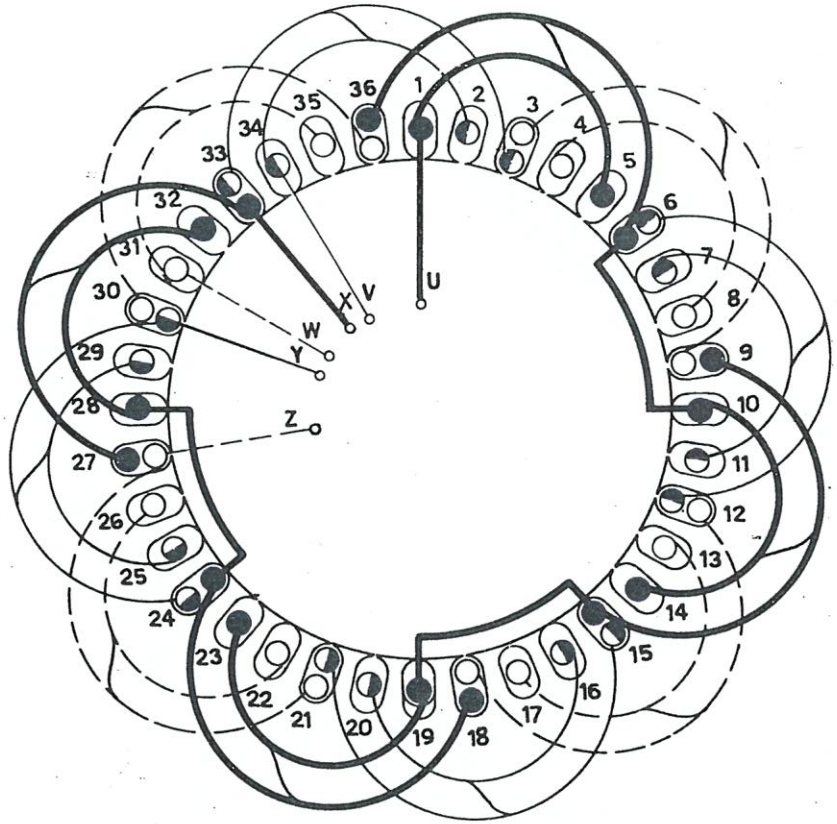
2 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}966$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/6$ - Fattore di passo $K_p=0{,}866$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}837$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

8 poli - 36 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7 e 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



2 matasse/gruppo (*) - Fattore d'avvolgimento K_a=0,946.

Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di 2 matasse per fase.

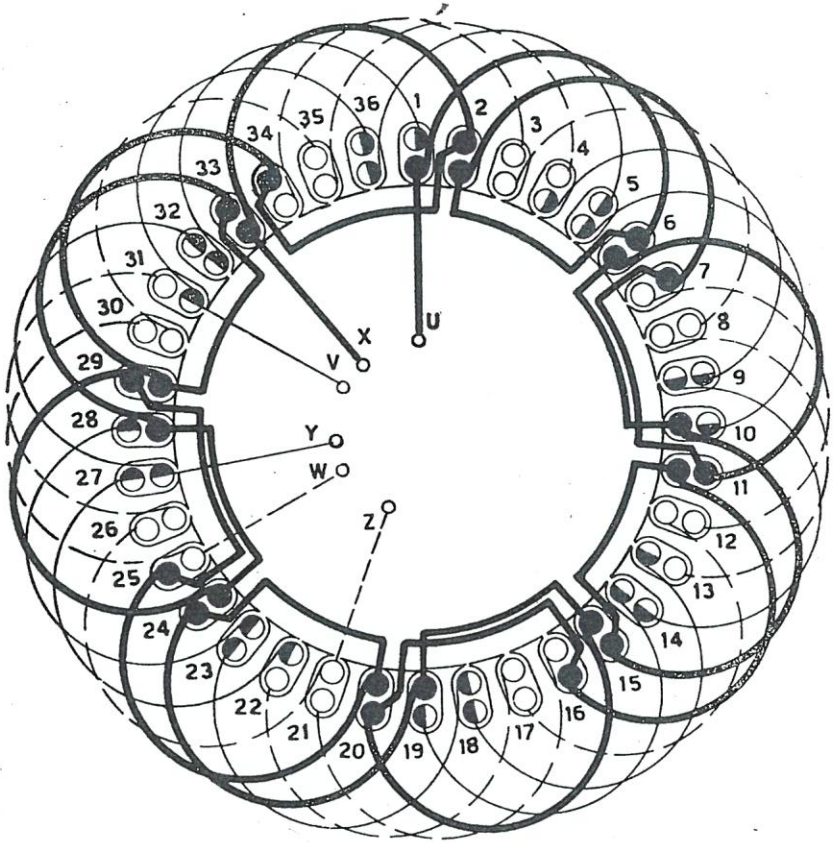
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

La Brown Boveri esegue questo avvolgimento con passi 1÷6 *e* 1÷4; *a tal uopo è sufficiente collegare* 1 *con* 32 *e* 36 *con* 33 *e così via - K_a rimane invariato.*

(*) *Le matasse con passo* 1÷7 *hanno metà spire di quelle con passo* 1÷5.

8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

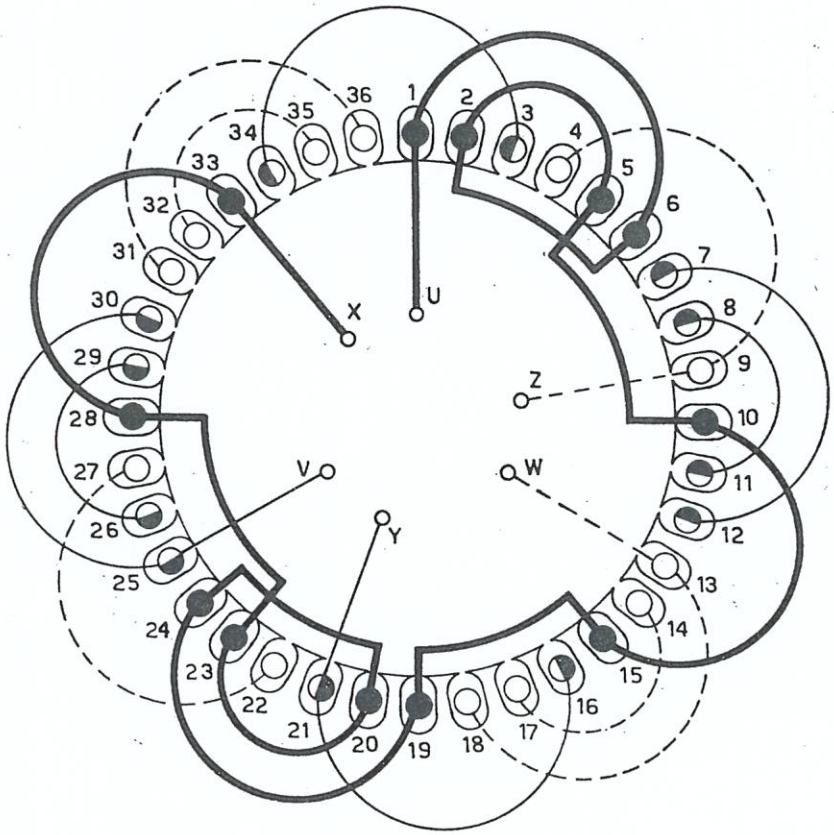
Distanza tra i capi delle fasi 120°+3 . 360° elettrici (2q+3 . 6q).

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 4 di 2 matasse).

3 matasse/settore - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Fattore di passo K_p=0,985 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,946.

Questo avvolgimento si può eseguire con passo 1÷5 (*adottato dalla Brown Boveri*). *Il fattore d'avvolgimento risulterebbe ancora* 0,946.

8 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷6 e 1÷4 Collegamento serie - 6 morsetti



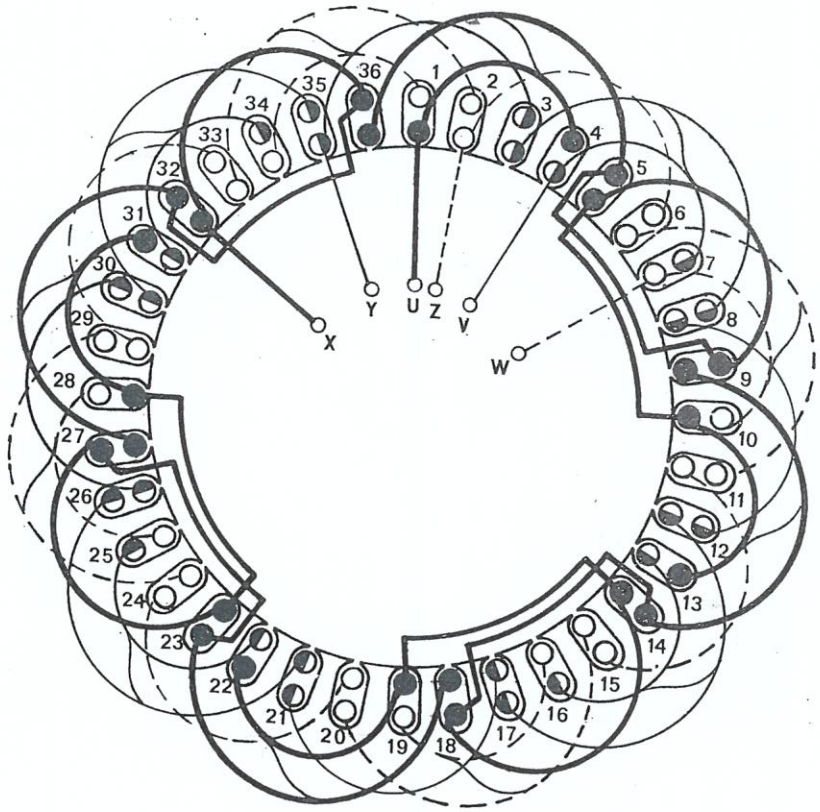
3 matasse/settore - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}946$.

Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷4 e 1÷6, 1÷5 - Collegamento serie - 6 morsetti



3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d = 0{,}960$ - Fattore di passo $K_p = 0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}946$.

Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 4 di 2 matasse).

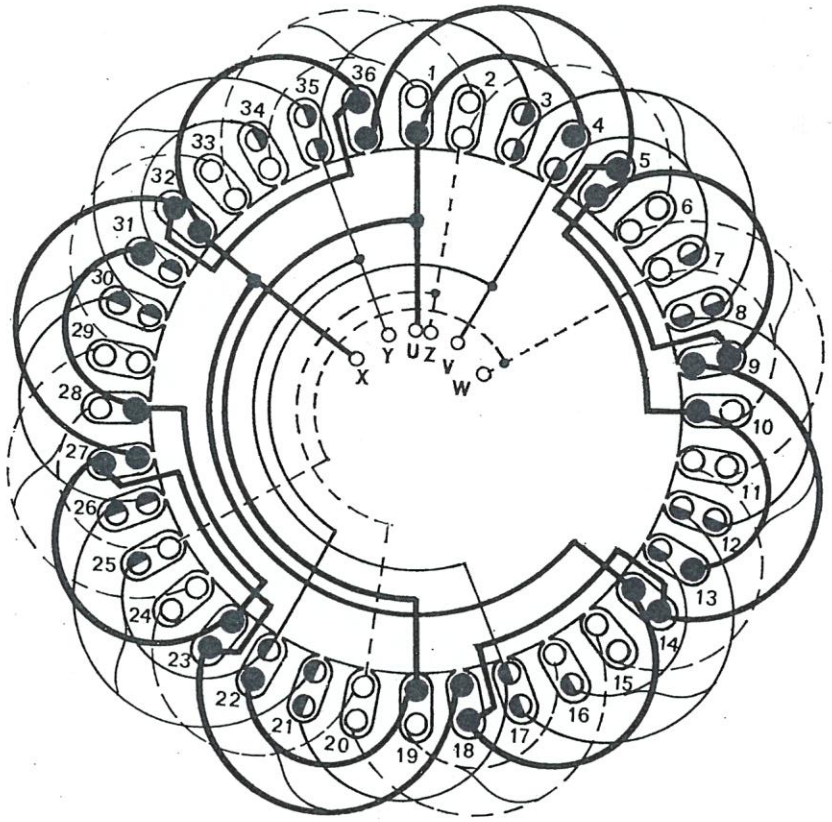
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Tecnomasio Italiano Brown Boveri)

Il T.I.B.B. indica questo avvolgimento con passo $= 4$ (*media di* $\frac{3+5+4}{3}$)

8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷4, 1÷6 e 1÷5 - Collegamento 2// - 6 morsetti



3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}960$ - Fattore di passo $K_p=0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}946$.

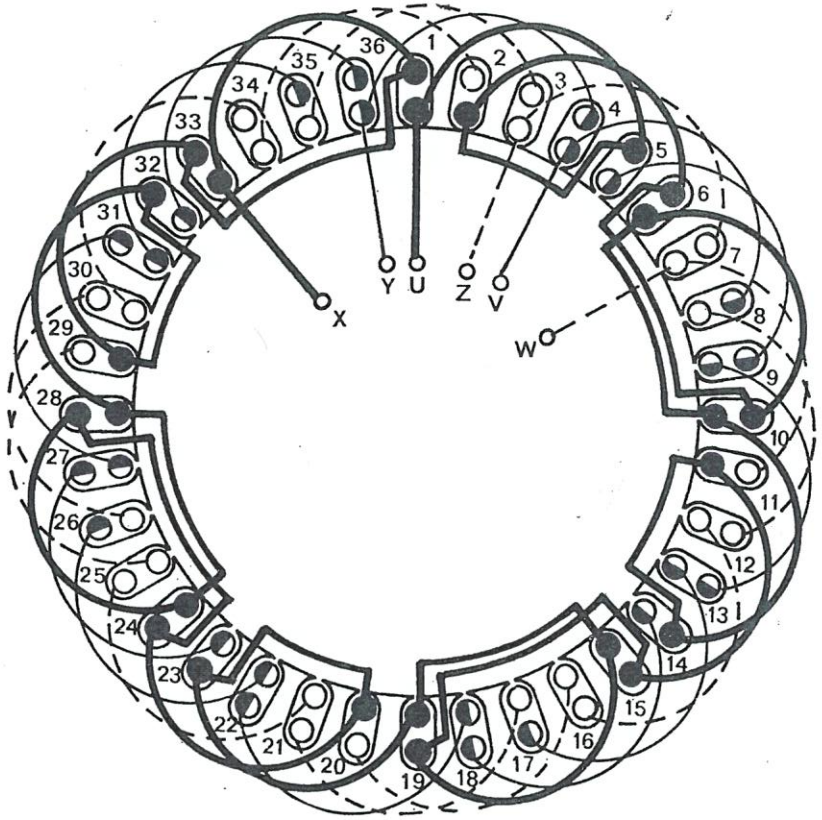
Avvolgimento concentrico a corona (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 4 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Tecnomasio Italiano Brown Boveri)

8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 Collegamento serie - 6 morsetti



3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/4{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}985$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}946$.

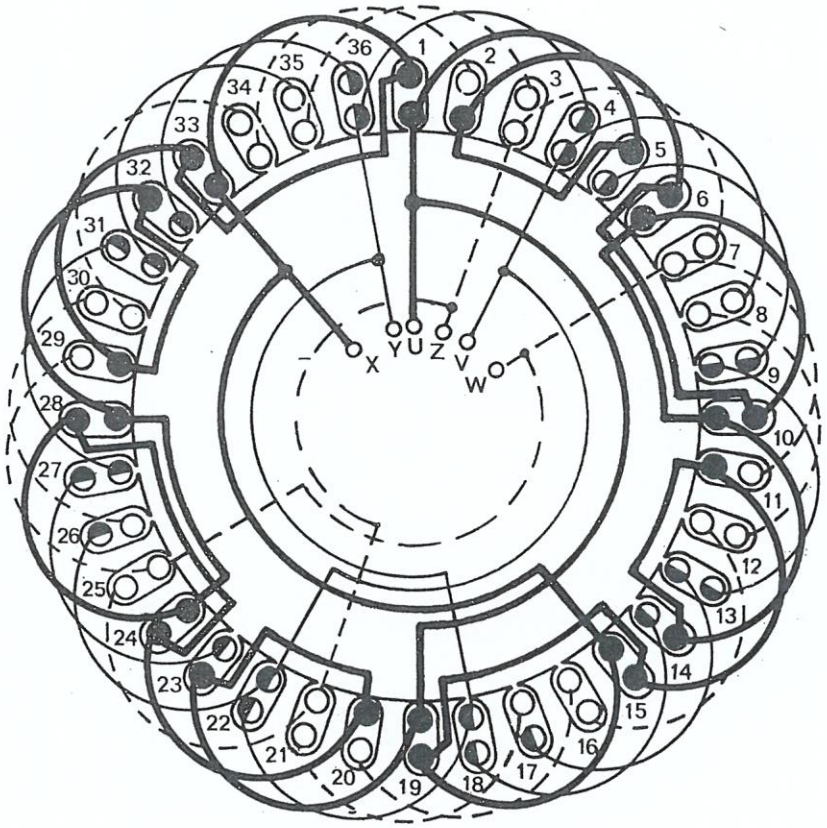
Avvolgimento a corona (spirali embricate - matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 4 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Marelli C.A. 343)

8 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento 2// - 6 morsetti



3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/4,5$ - Fattore di passo $K_p=0,985$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0,946$.

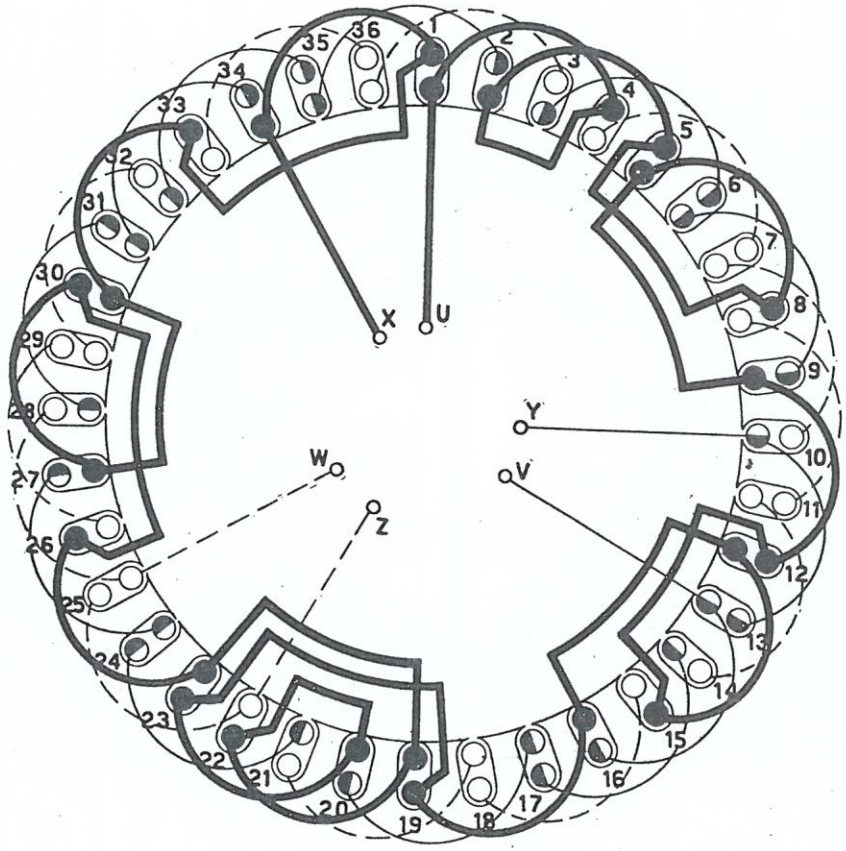
Avvolgimento a corona (spirali embricate - matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 4 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Marelli C.A. 343)

10 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4
Collegamento serie - 6 morsetti



6 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=3/3,6$ - Fattore di raccorciamento passo $K_p=0,966$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,923$.

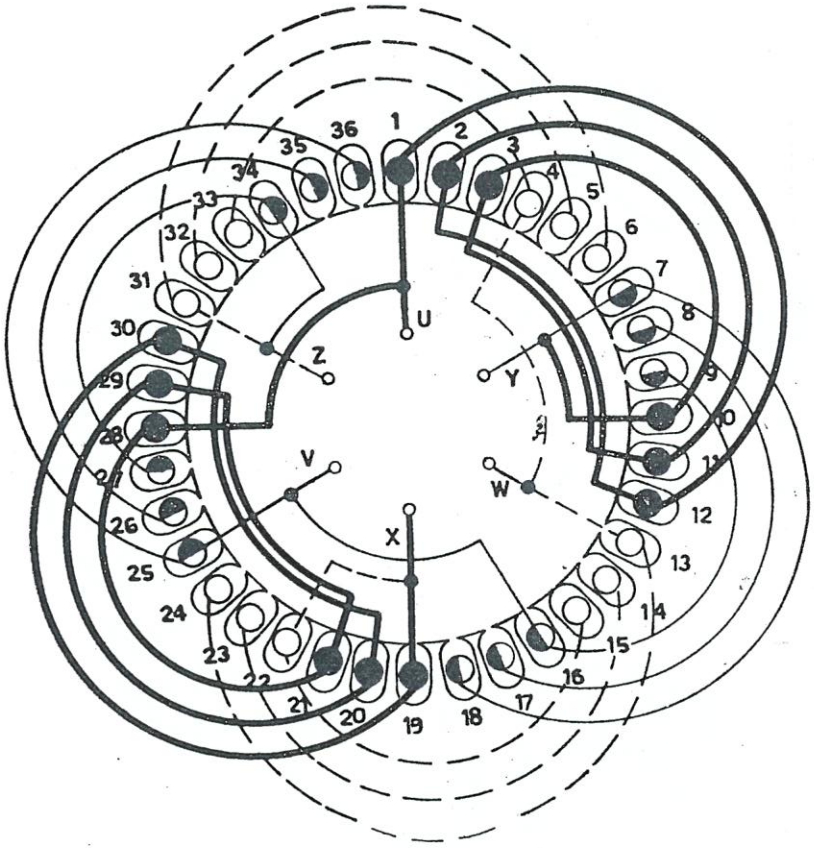
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di matasse per fase disuguali (8 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+3 . 360° elettrici.

Fase	Frequenza				
I	2	1	1	1	1
II	1	1	1	2	1
III	1	2	1	1	1

2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento concentrico a corona (spirale).

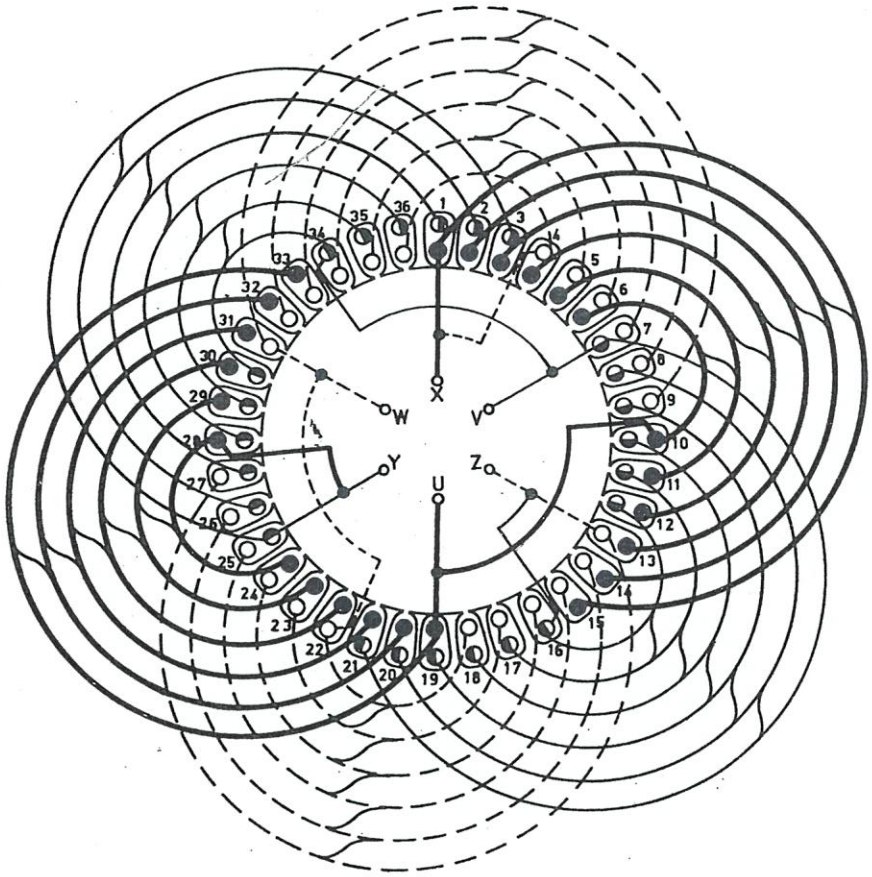
Funzionamento a 4 poli: 3 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}960$ - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 3 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}7$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷15, 1÷13, 1÷11, 1÷9, 1÷7 e 1÷5 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento concentrico a corona (spirale).

Funzionamento a 4 poli: 6 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$ - Poli omonimi (tipo A).

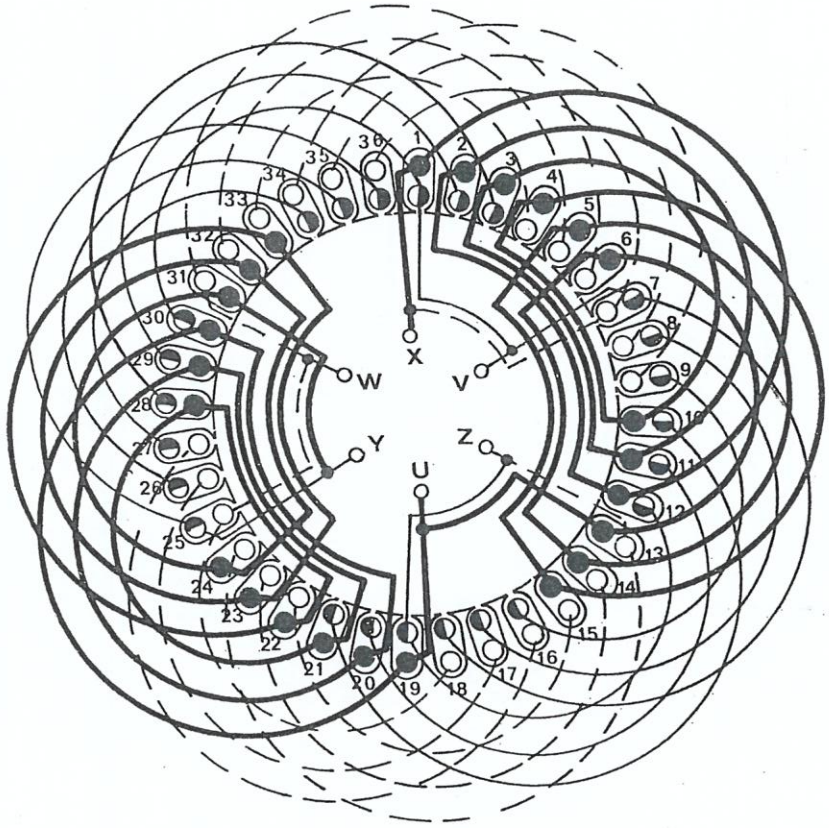
Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 6 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}676$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

(Schema adottato dall'Ansaldo - S. Giorgio)

2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento concentrico a corona speciale (spirale).

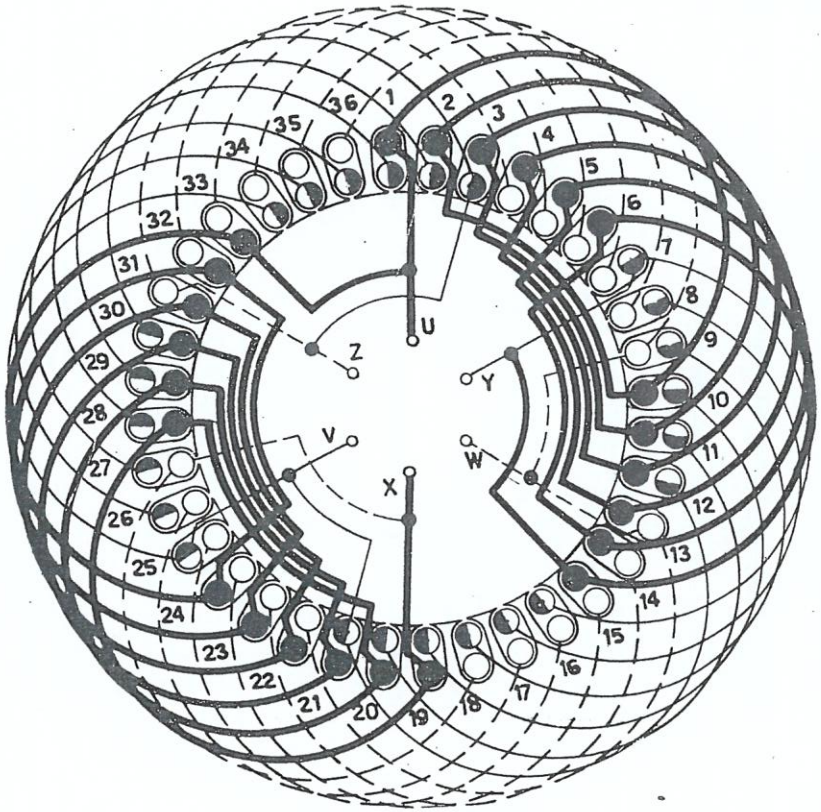
Funzionamento a 4 poli: 6 matasse/gruppo. Fattore d'avvolgimento K_a=0,831 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 6 matasse/gruppo. Fattore d'avvolgimento K_a=0,676 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cavé - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 4 poli Δ - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 4 poli: 6 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,831 - Poli omonimi (tipo A).

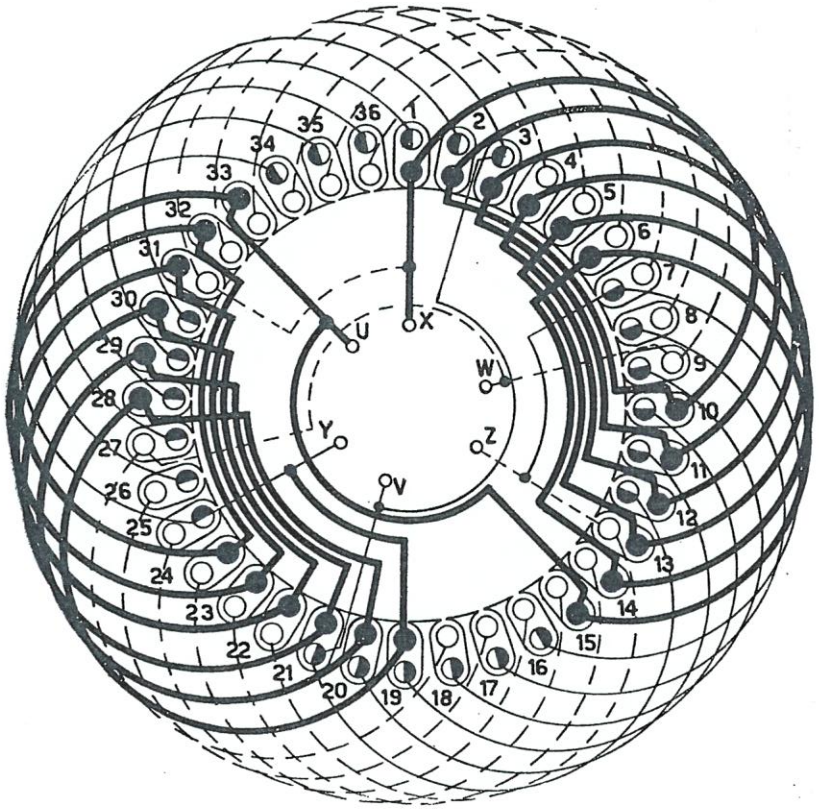
Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 6 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,956 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,676 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Per funzionamento a potenza variabile.

2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 4 poli YY - 2 poli Δ - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 4 poli: 6 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$ - Poli omonimi (tipo A).

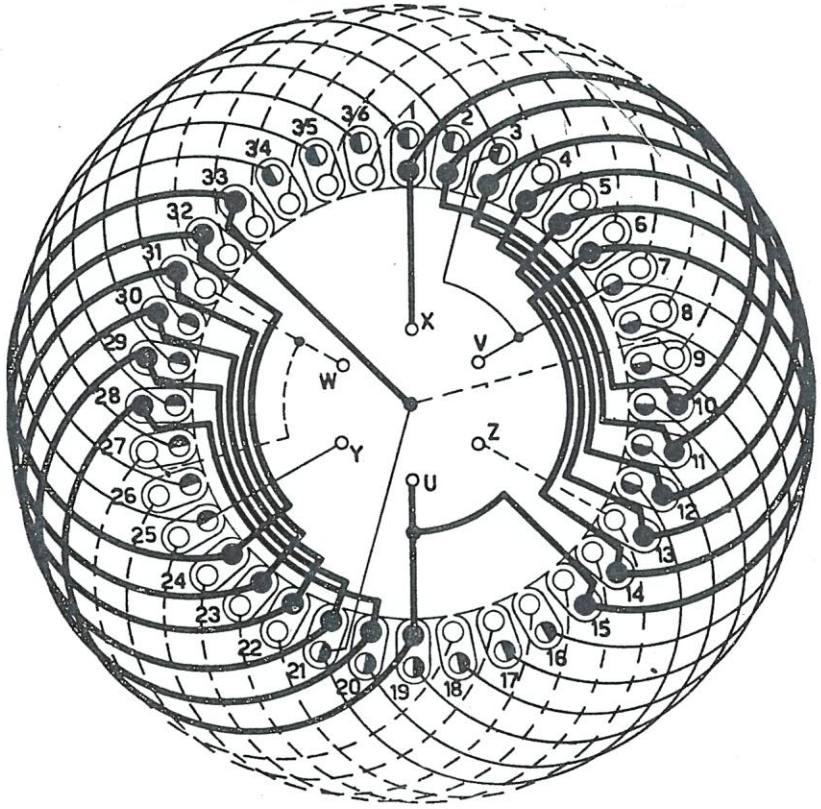
Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Funzionamento a 2 poli: 6 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento passo $y_c/\tau=0{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}707$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}676$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Per funzionamento a potenza costante.

2 polarità - 4 e 2 poli - 36 cave - 2 matasse/ cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento 4 poli Y - 2 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

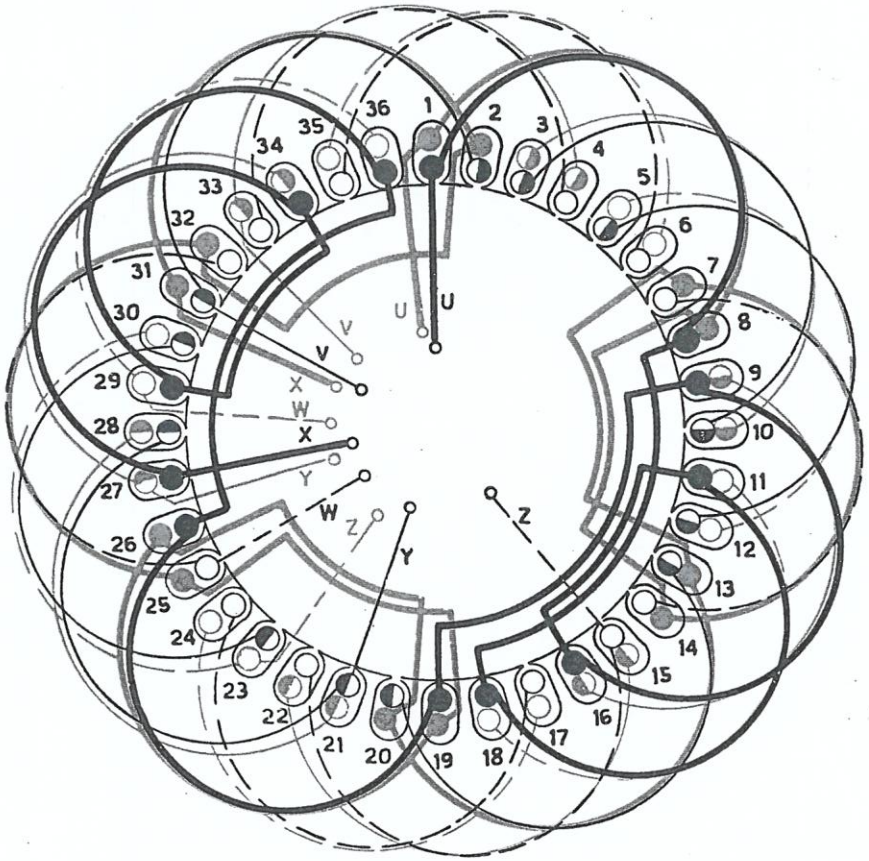
Funzionamento a 4 poli: 6 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$ - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a stella (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 2 poli: 6 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}707$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}676$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 2 avvolgimenti: 4 (nero) e 6 (rosso) poli - 36 cave 2 matasse/cava - 12 morsetti (v. tav. CXLVIII e CXLX)



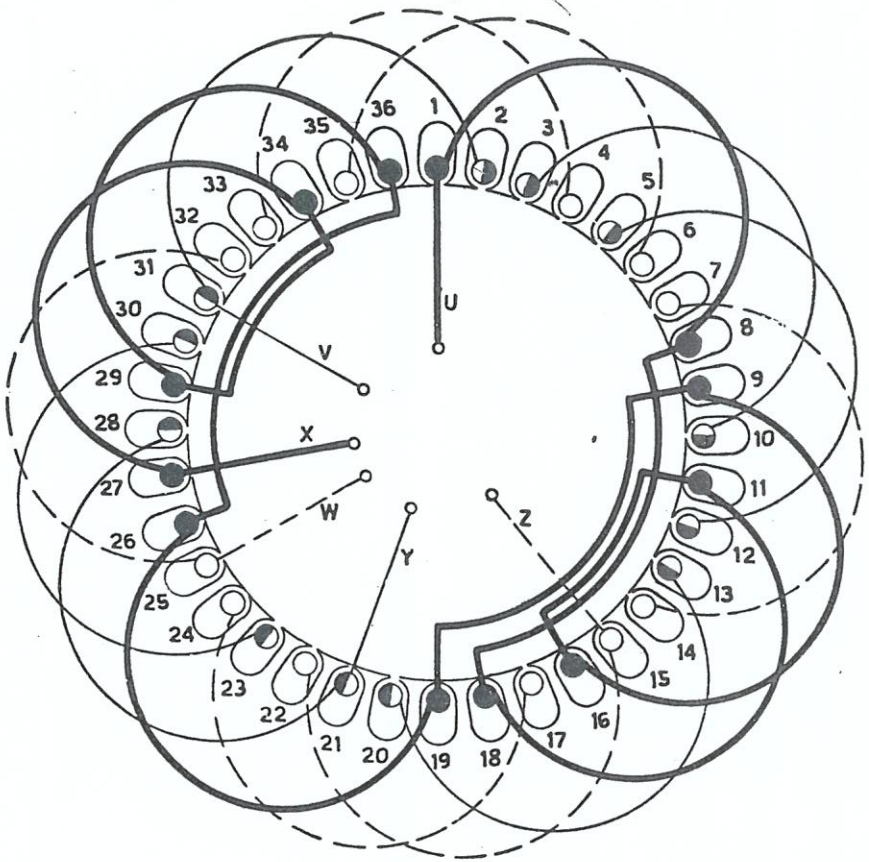
Particolarità di questo avvolgimento è la possibilità di esecuzione ad 1 matassa/cava e pertanto, riducendo a metà il numero delle matasse, si riduce sensibilmente la manodopera. Le matasse si eseguono di norma con 2 fili di diversa sezione e con numero di spire diverso, ma a tutti gli effetti l'avvolgimento è equivalente a 2 avvolgimenti indipendenti con matasse distinte, come è rappresentato nello schema. Naturalmente ogni matassa avrà 2 capi iniziali e 2 finali; i collegamenti si effettuano come se gli avvolgimenti fossero separati (v. tavola CXLVIII e CXLIX).

La O.M.C., per esempio, esegue il motore da 1,104 kW — a 4 e 6 poli — con 2 fili: uno con $\varnothing_{cu}$=0,7 mm e 70 spire/matassa (4 poli) e l'altro con $\varnothing_{cu}$=0,75 e 90 spire/matassa (6 poli). Naturalmente avvolte le 70 spire doppie, si taglia il filo di 0,7 mm e si procede soltanto con quello da 0,75 mm.

L'esecuzione delle matasse è semplicissima: si procede praticamente come se si trattasse di 2 fili in parallelo.

Ovviamente il metodo è valido per altri casi analoghi.

4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷8 Collegamento serie - 6 morsetti



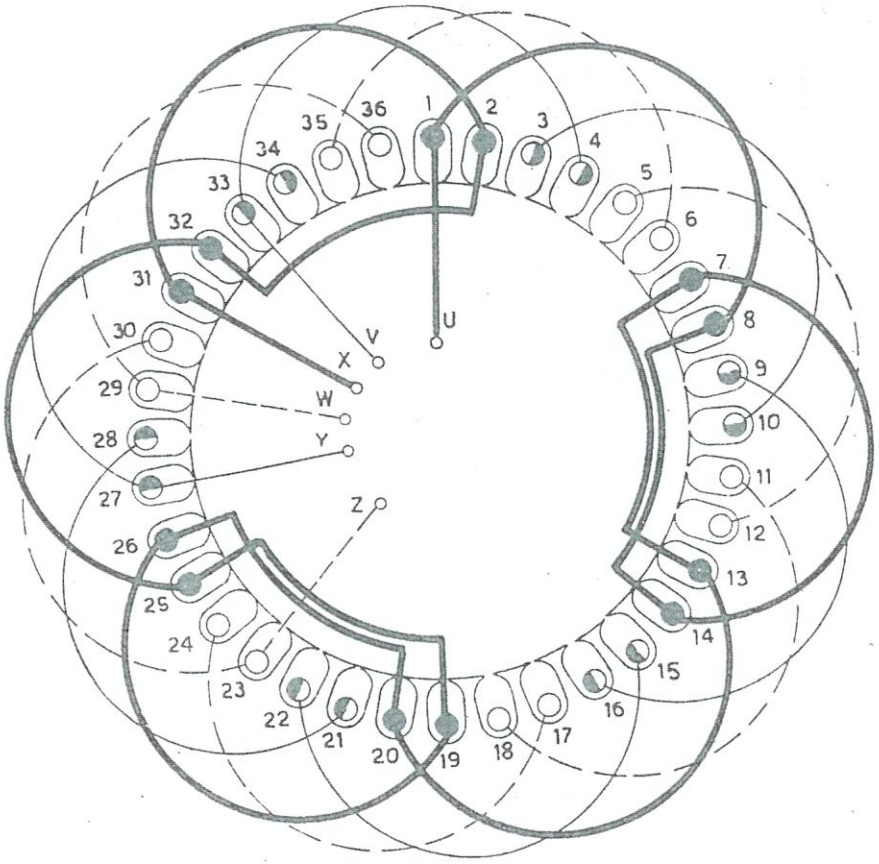
3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=7/9 - Fattore di passo K_p=0,940 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,902. (Col calcolo trigonometrico K_a=0,906).

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 1 matassa e 2 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 36 cave - 1 matassa/ cava - Passo avvolgimento 1÷8 Collegamento serie - 6 morsetti



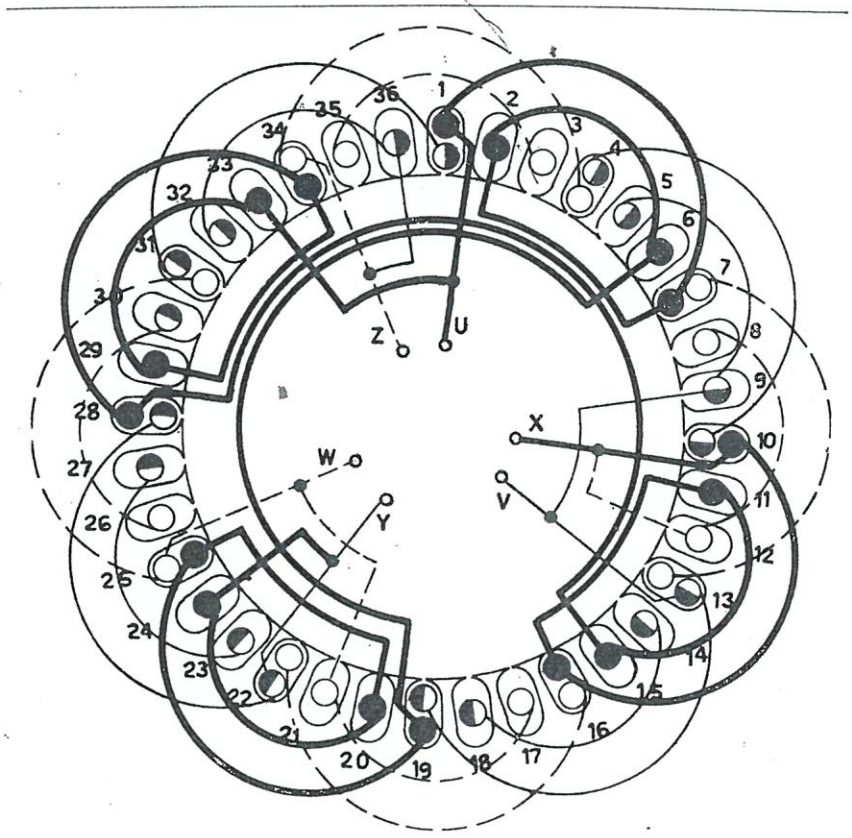
2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 polarità - 8 e 4 poli - 36 cave 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7 e 1÷5 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale).

Funzionamento a 8 poli: 2 matasse/gruppo (*) - Fattore d'avvolgimento K_a=0,946 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

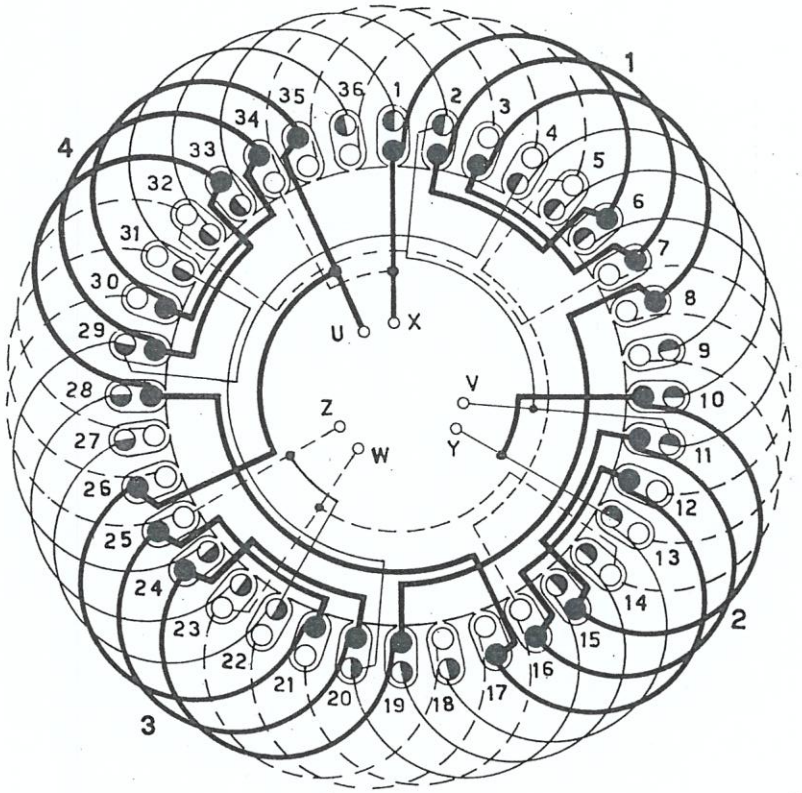
Funzionamento a 4 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,717 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

A questo avvolgimento è da preferire quello della tav. CLVI.

(*) *Le matasse con passo* 1÷7 *hanno metà spire di quelle con passo* 1÷5.

2 polarità - 8 e 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 Collegamento 8 poli YY - 4 poli Δ - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 3 matasse/gruppo - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}844$ - Fattore di passo $K_p=0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$ - Poli omonimi (tipo A).

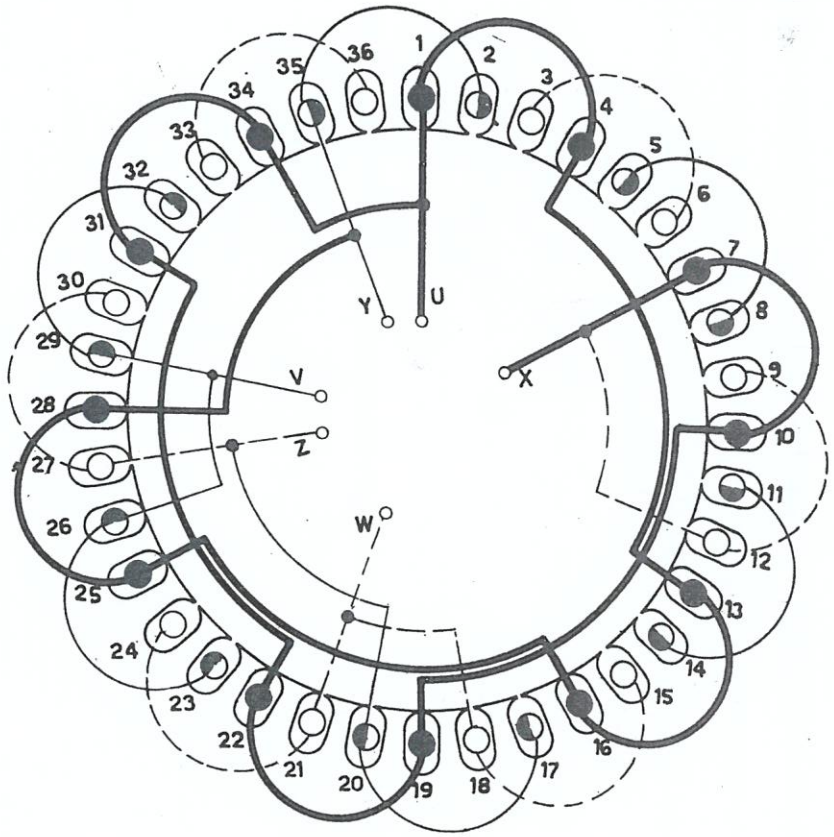
Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Funzionamento a 4 poli: 3 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=5/9$ - Fattore di passo $K_p=0{,}766$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}735$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri liberi.

Per funzionamento a potenza costante.

2 polarità - 12 e 6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali).

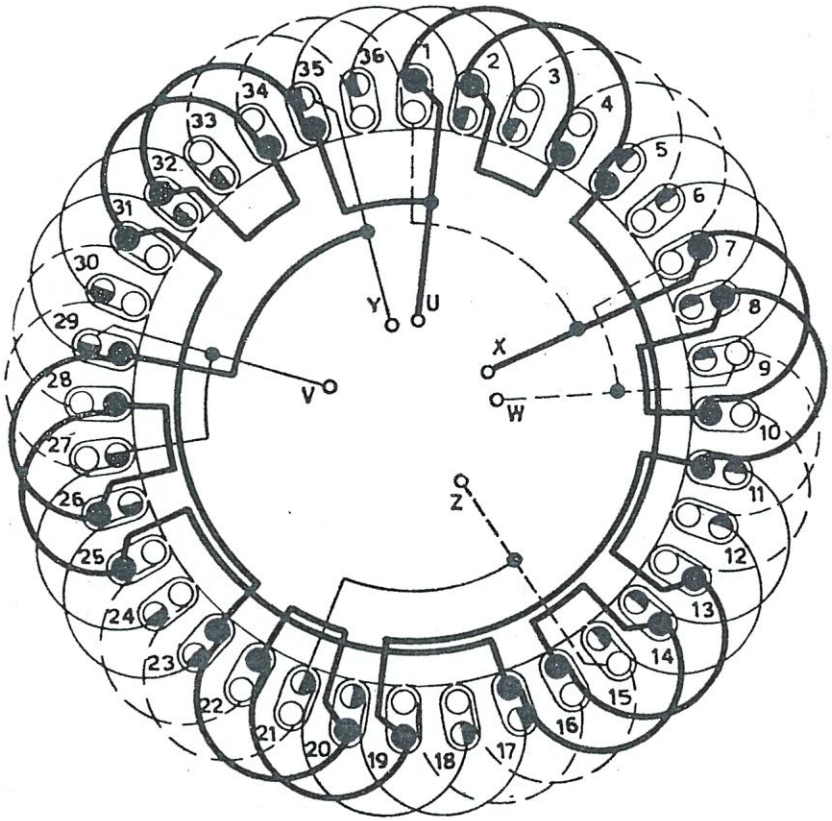
Funzionamento a 12 poli: 1 matassa/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$ - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 6 poli: 1 matassa/gruppo - Passo raccorciato - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0{,}5$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}707$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 12 e 6 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

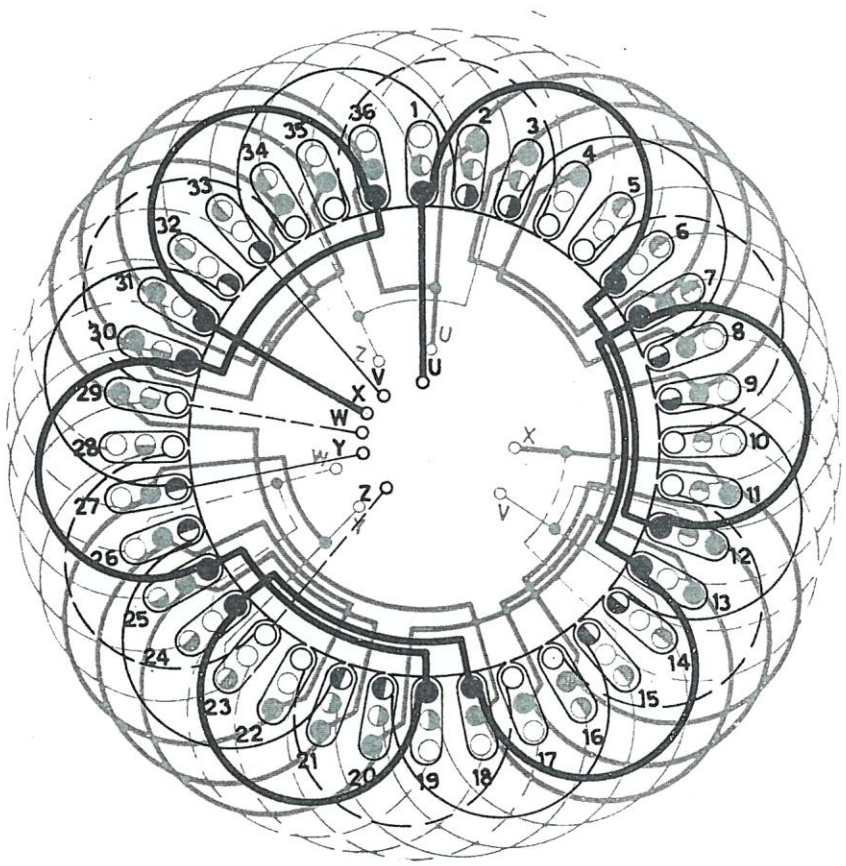
Funzionamento a 12 poli: 2 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,866 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 6 poli: 2 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,966 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,683 - Poli alternati (tipo B).

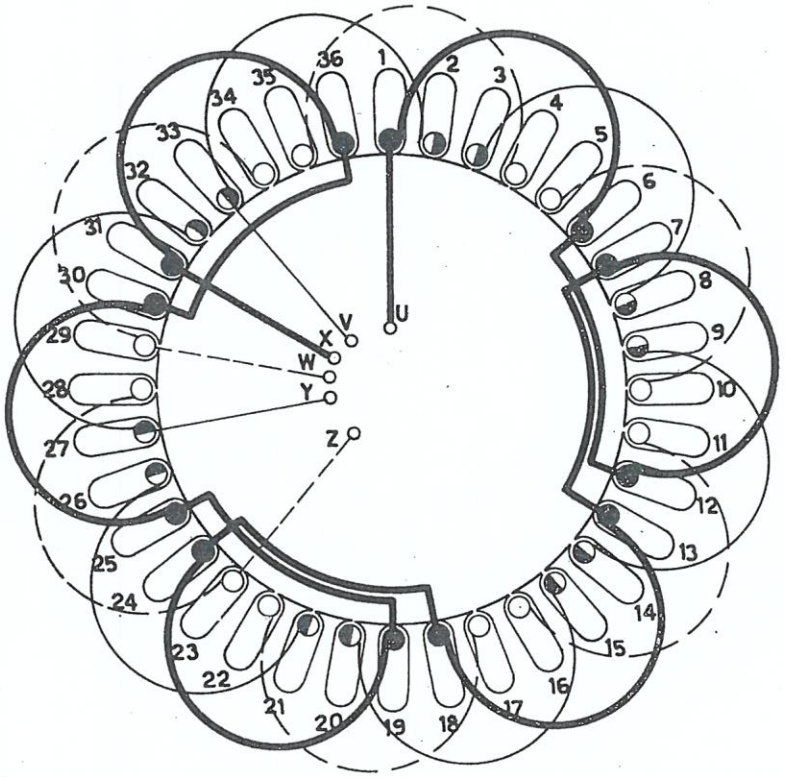
Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

3 polarità - 2 avvolgimenti - 6 (nero) - 8 e 4 (rosso) poli - 36 cave 3 matasse/cava - 12 morsetti (v. tavole CLV e CLVI)



Dote peculiare dei due avvolgimenti distinti è l'indipendenza delle caratteristiche costruttive e di funzionamento dei due avvolgimenti, cui fa riscontro una utilizzazione soltanto parziale del rame complessivamente disposto nelle cave.

6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



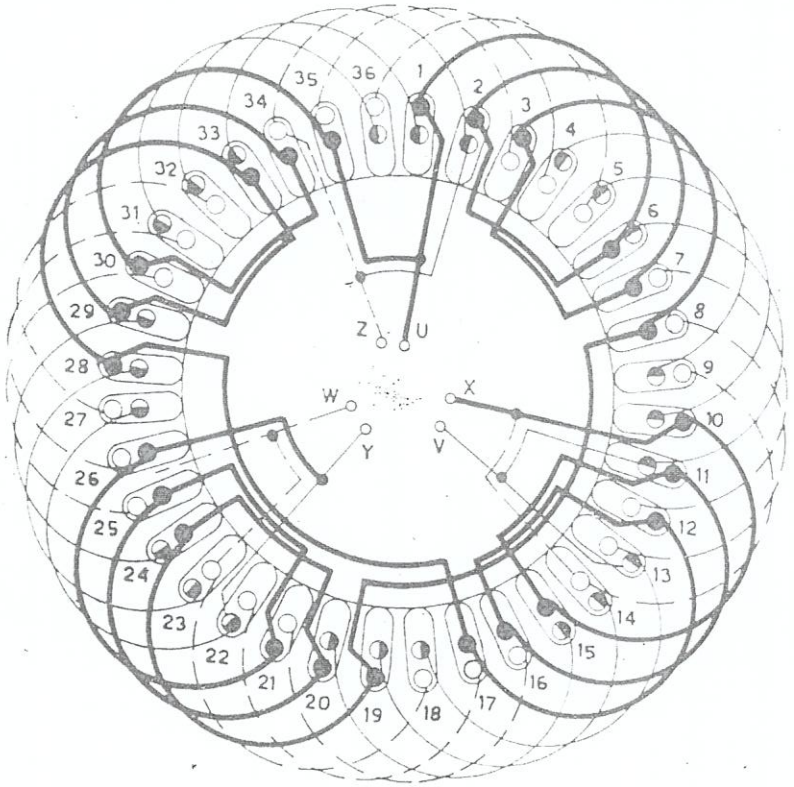
2 cave/polo . fase - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}966$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 1 matassa per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 polarità - 8 e 4 poli - 36 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

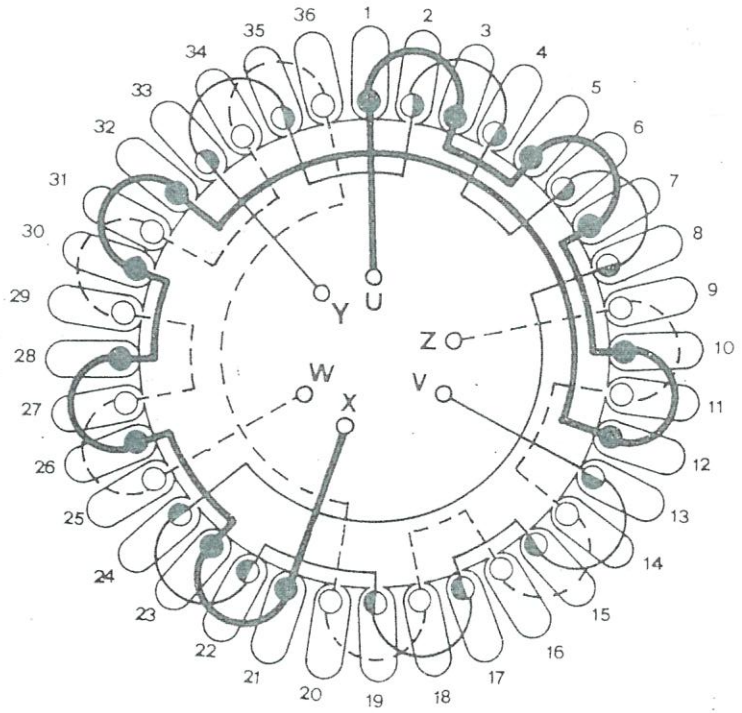
Funzionamento a 8 poli: 3 matasse/gruppo - Fattore di distribuzione $K_d = 0{,}844$ - Fattore di passo $K_p = 0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}831$ - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 3 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d = 0{,}960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau = 5/9$ - Fattore di passo $K_p = 0{,}766$ - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}735$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

3 polarità - 2 avvolgimenti - 16 - 8 e 4 poli (8 e 4 poli - v. tav. CLVI)
16 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 3
Collegamento serie - 6 morsetti



Fattore di avvolgimento K_a=0,930.

Avvolgimento speciale - 6 gruppi di 1 matassa per fase.

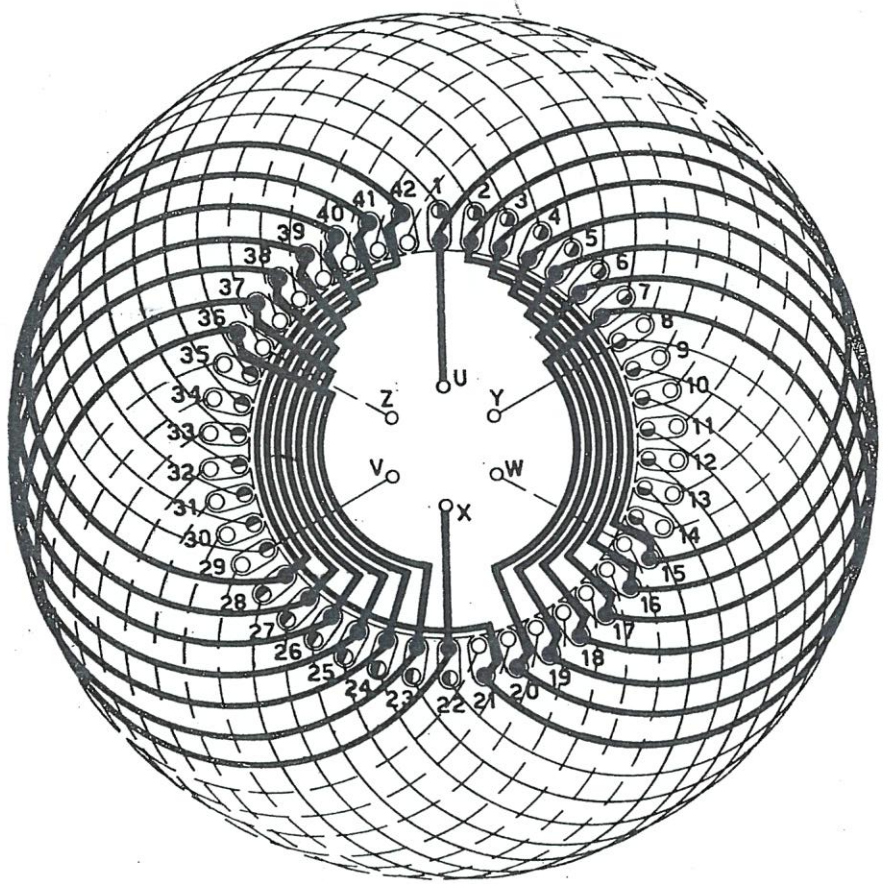
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+5 . 360° elettrici.

Motore Leroy per comando di una macchina utensile. P_n a 4 e 8 poli: 0,520 e 0,300 kW; 70 spire/matassa, 140 spire/cava; $\varnothing_{cn}$=0,30 mm; P_n a 16 poli: 0,150 kW; 120 spire/cava, $\varnothing_{cn}$ = 0,30 mm.

Tensione 380 V. ($\varnothing_{is}$ = 100 mm, $\varnothing_{es}$ = 160 mm, L_g = ~ 120 mm).

2 poli - 42 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 15
Collegamento serie - 6 morsetti



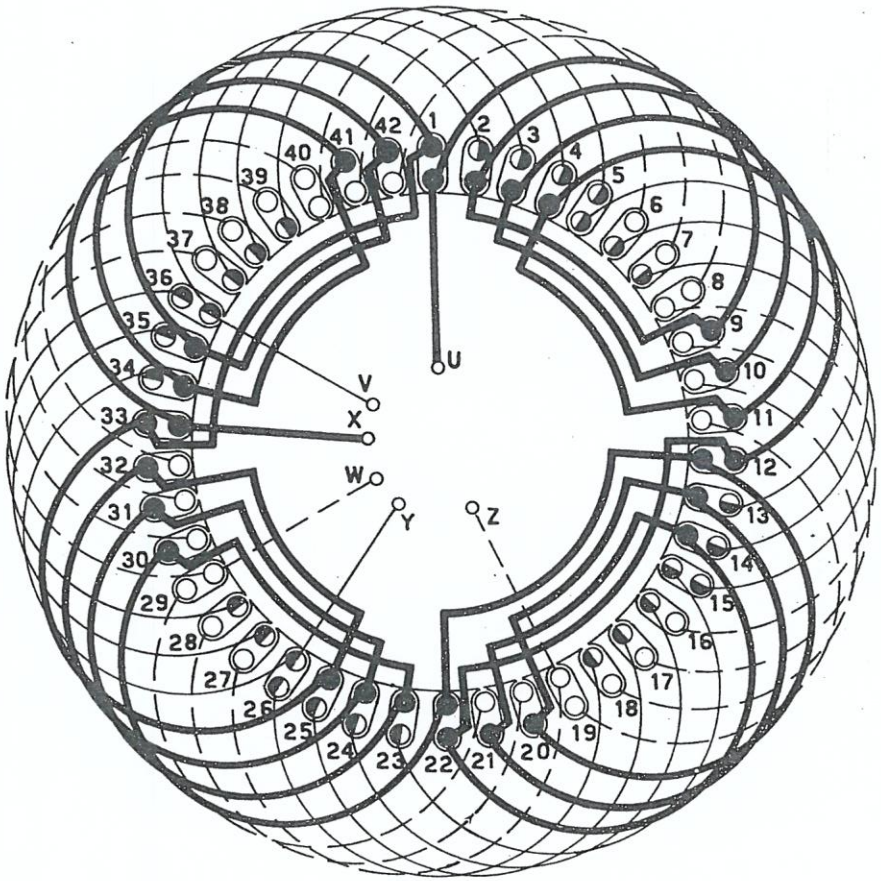
7 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,956 - Coefficiente K_a=0,828.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 7 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 42 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9
Collegamento serie - 6 morsetti



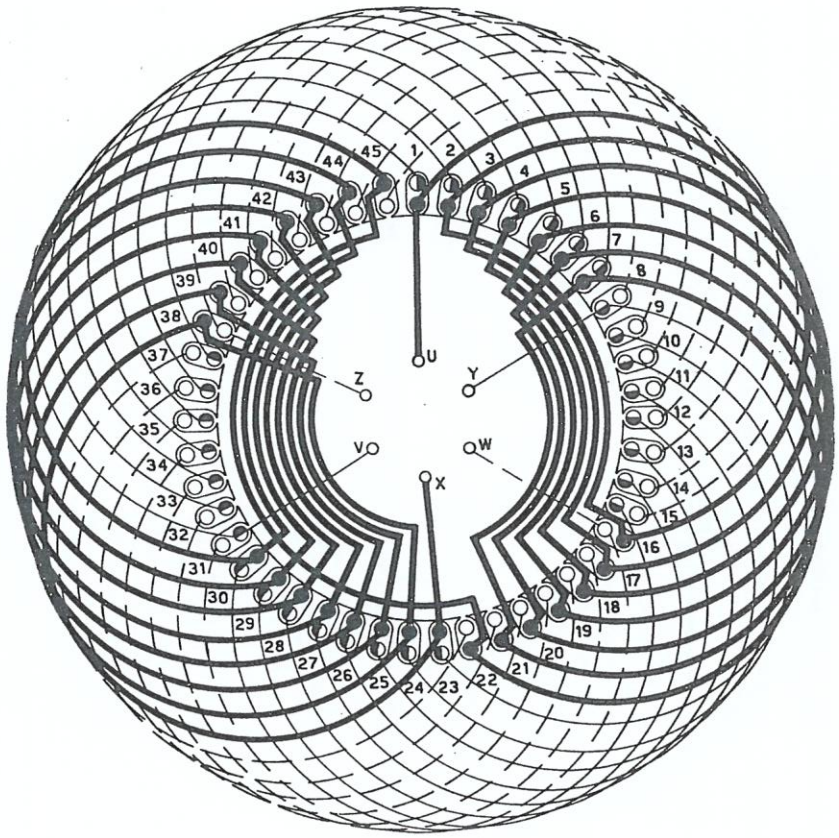
ciente di raccorciamento $y_c/\tau=8/10,5$ - Fattore di passo $K_p=0,931$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,890$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 3 matasse e 2 di 4 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷16
Collegamento serie - 6 morsetti



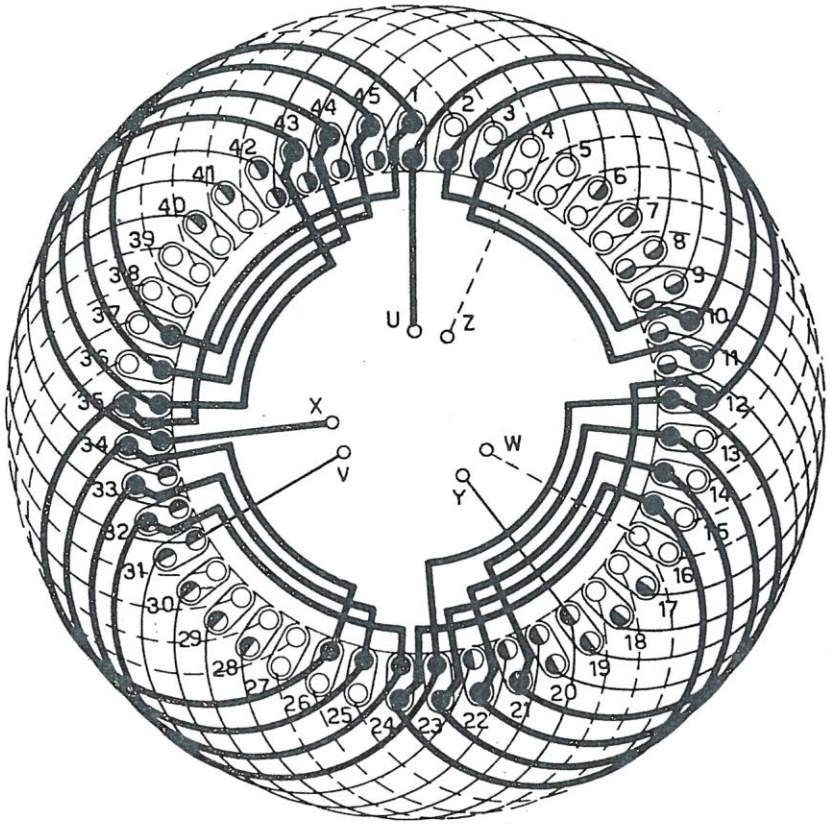
15 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=15/22,5$ - Fattore di passo $K_p=0,866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,827$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 7 matasse e 1 di 8 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10 Collegamento serie - 6 morsetti



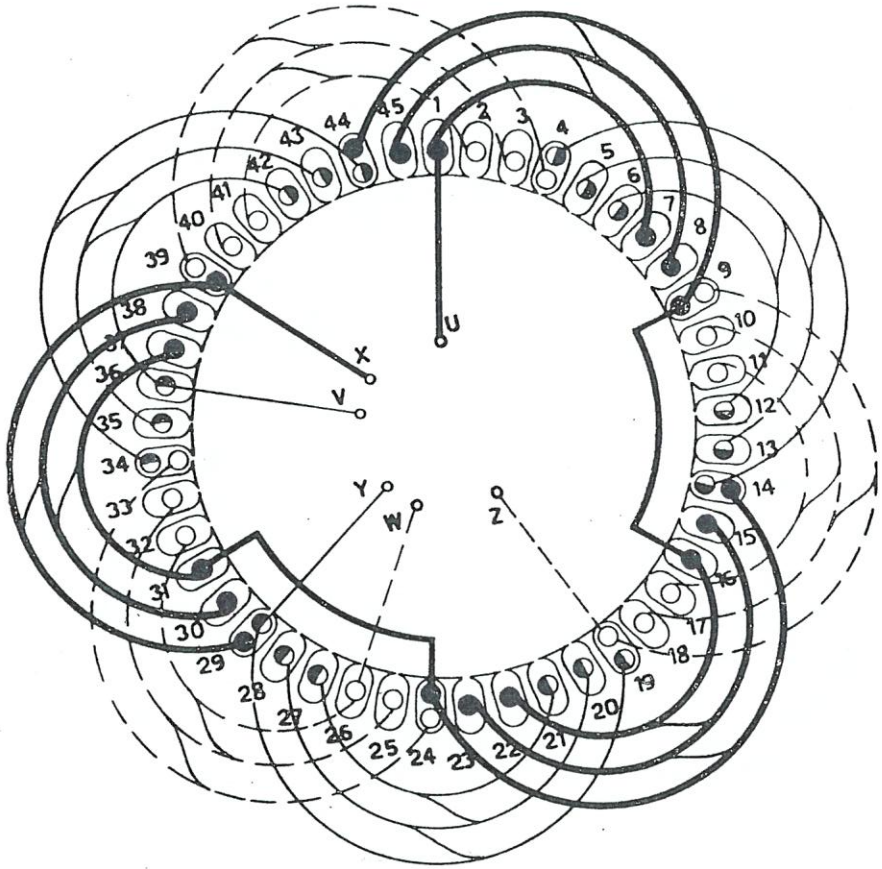
15 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=9/11,25$ - Fattore di passo $K_p=0,951$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,908$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 3 matasse e 3 di 4 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

6 poli - 45 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷11, 1÷9 e 1÷7 - Collegamento serie - 6 morsetti



3 matasse/settore (*) - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,952$.

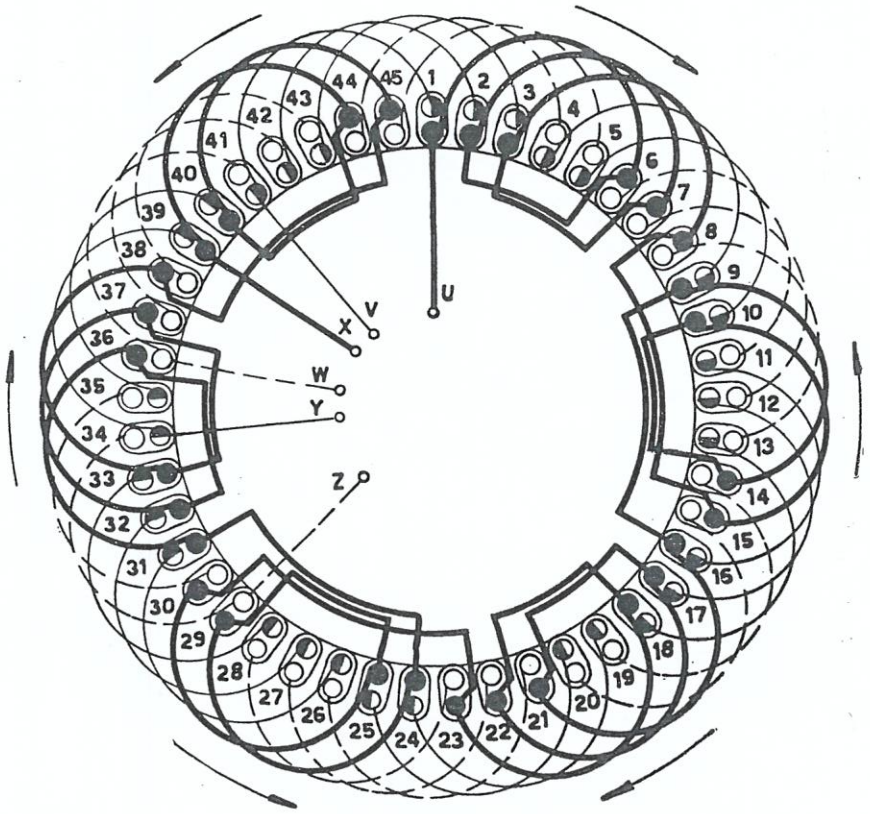
Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+2 . 360° elettrici.

(*) *Le matasse con passo* 1÷11 *hanno metà spire delle altre.*

6 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=6/9$ - Fattore di passo $K_p=0,866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,829$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (3 di 2 matasse e 3 di 3 matasse).

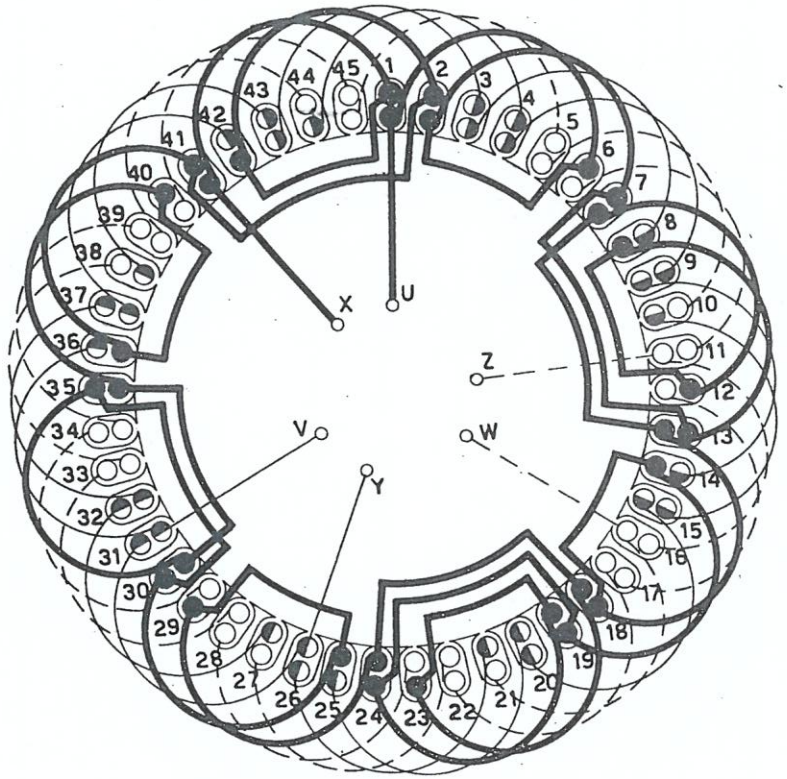
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (3 di 2 matasse e 3 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Fase	Sequenza	
I	3	2
II	2	3
III	3	2

8 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



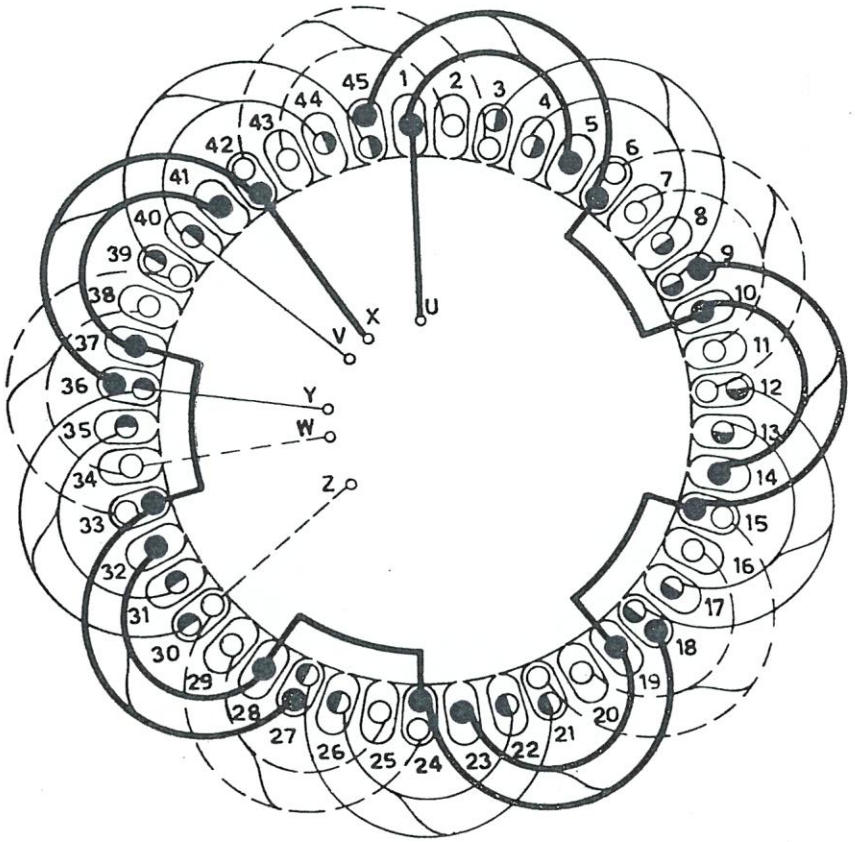
15 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=5/5,625$ - Fattore di passo $K_p=0,985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,941$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (1 di 1 matassa e 7 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

10 poli - 45 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7 e 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



2 matasse/gruppo (*) - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,946$.

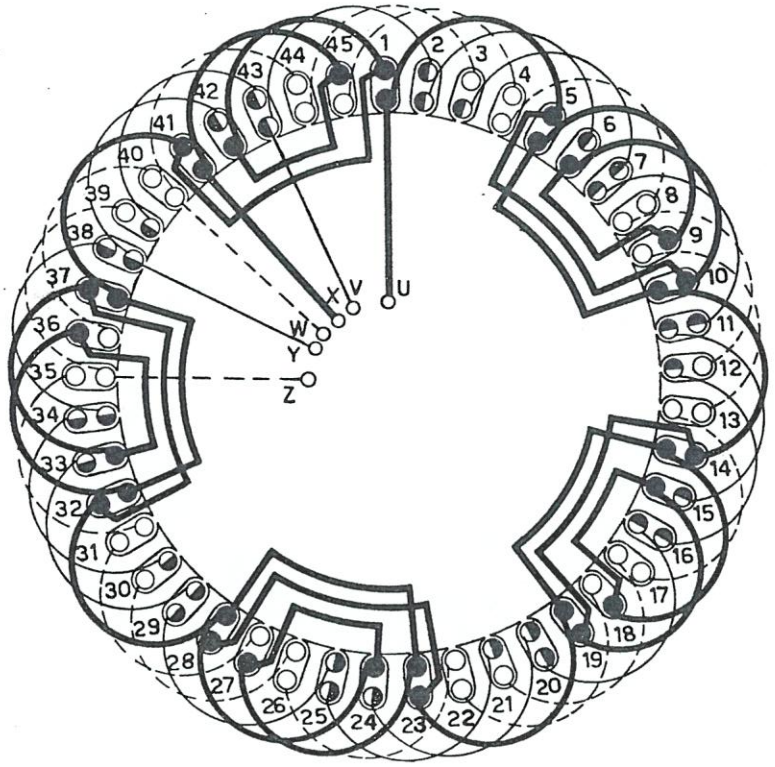
Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 5 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+4 . 360° elettrici.

(*) *Le matasse con passo* 1÷7 *hanno metà spire di quelle con passo* 1÷5.

10 poli - 45 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



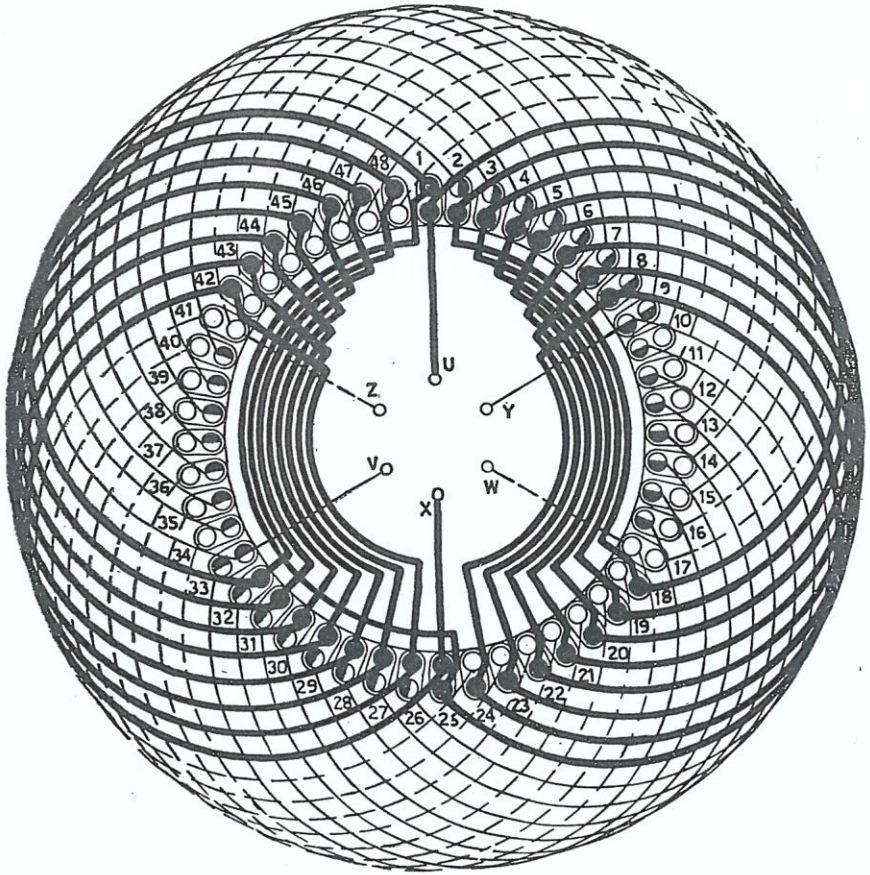
3 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,950$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/4,5$ - Fattore di passo $K_p=0,985$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0,946$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di matasse per fase disuguali (5 di 1 matassa e 5 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷18
Collegamento serie - 6 morsetti



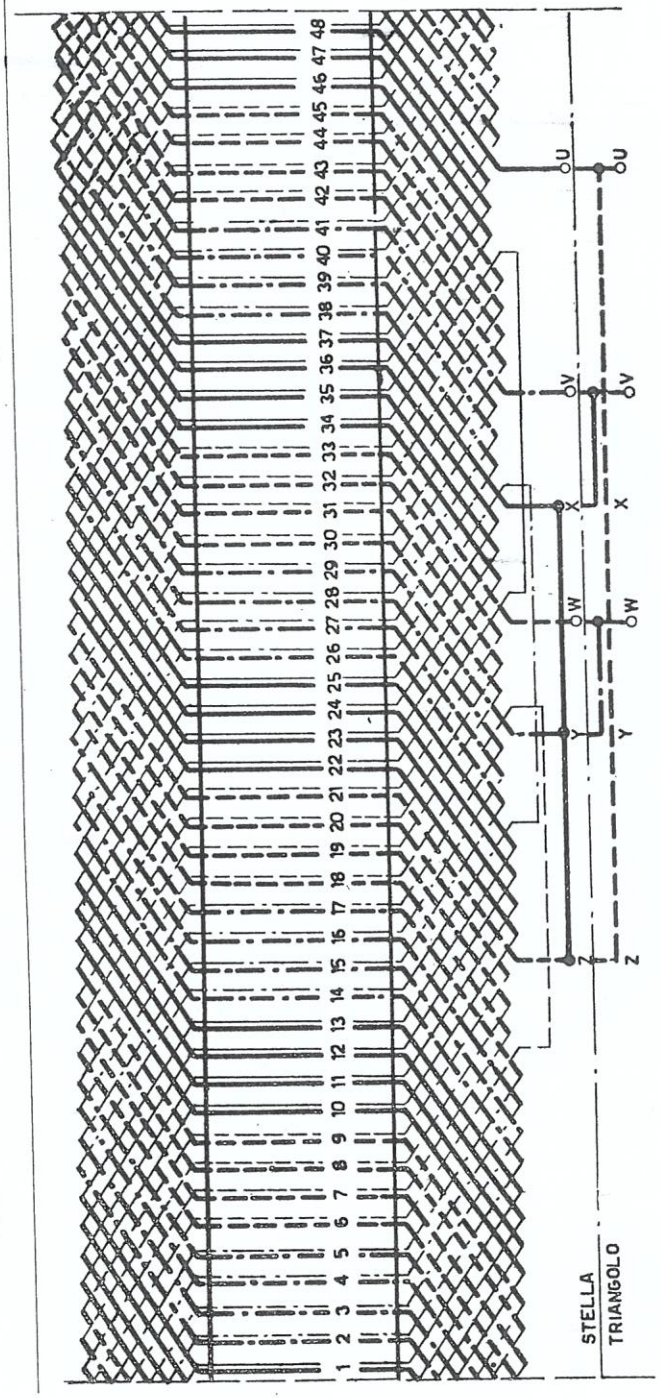
8 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,955 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=17/24 - Fattore di passo K_p=0,897 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,856.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 8 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

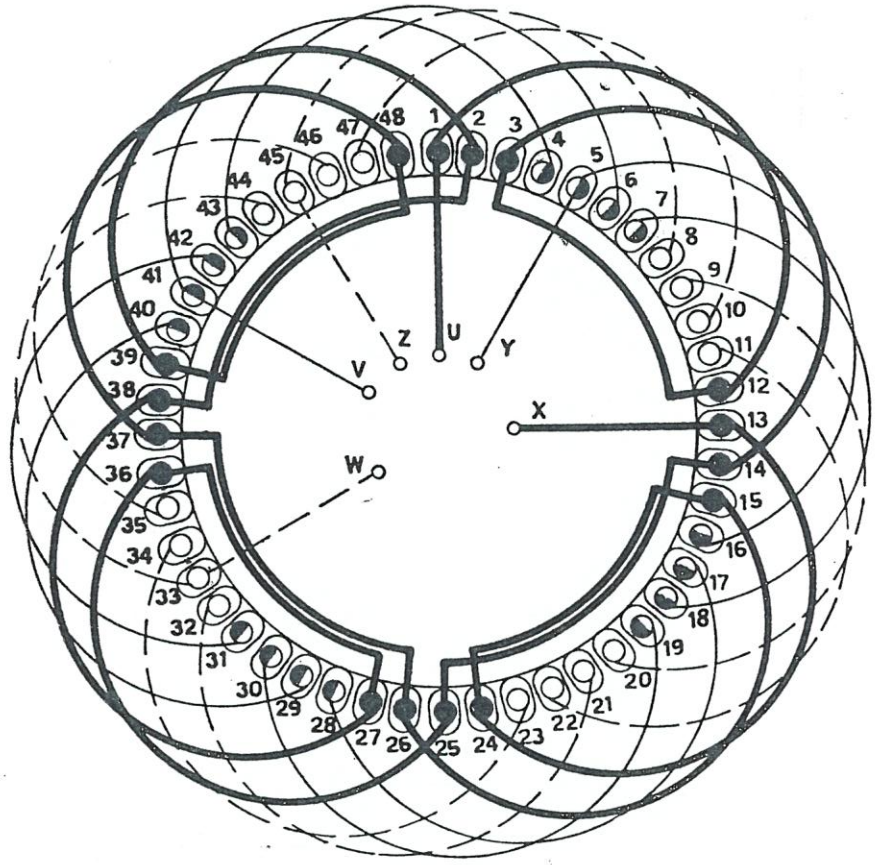
4 poli - 48 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,958.
Avvolgimento ondulato a regressione - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 4 spire per fase.
Collegamento delle fasi: stella o triangolo. Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Marelli)

4 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷12
Collegamento serie - 6 morsetti



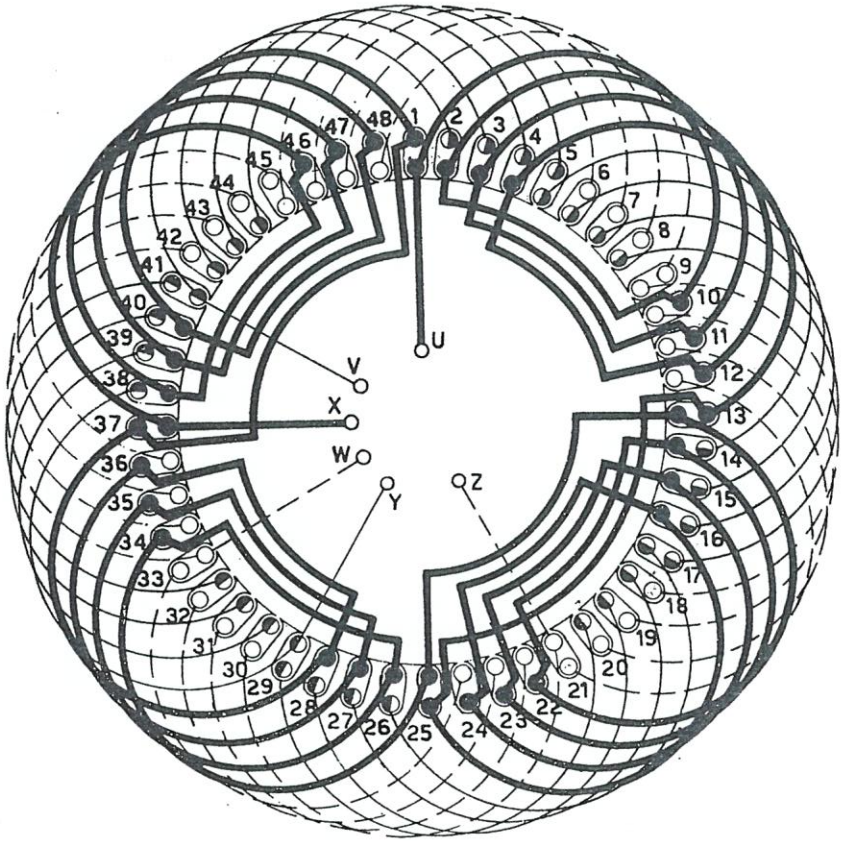
4 cave/polo . fase - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,958$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10
Collegamento serie - 6 morsetti



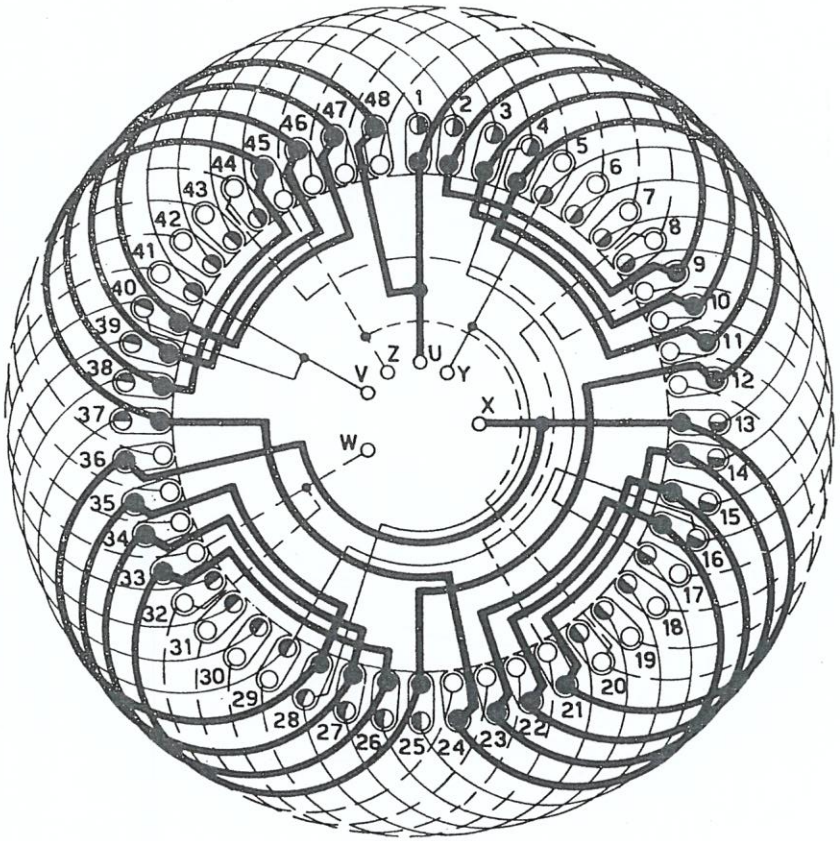
4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,958$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=9/12$ - Fattore di passo $K_p=0,924$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,885$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9
Collegamento serie-parallelo - 6 morsetti



4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento passo y_c/τ=8/12 - Fattore di passo K_p=0,866 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,830.

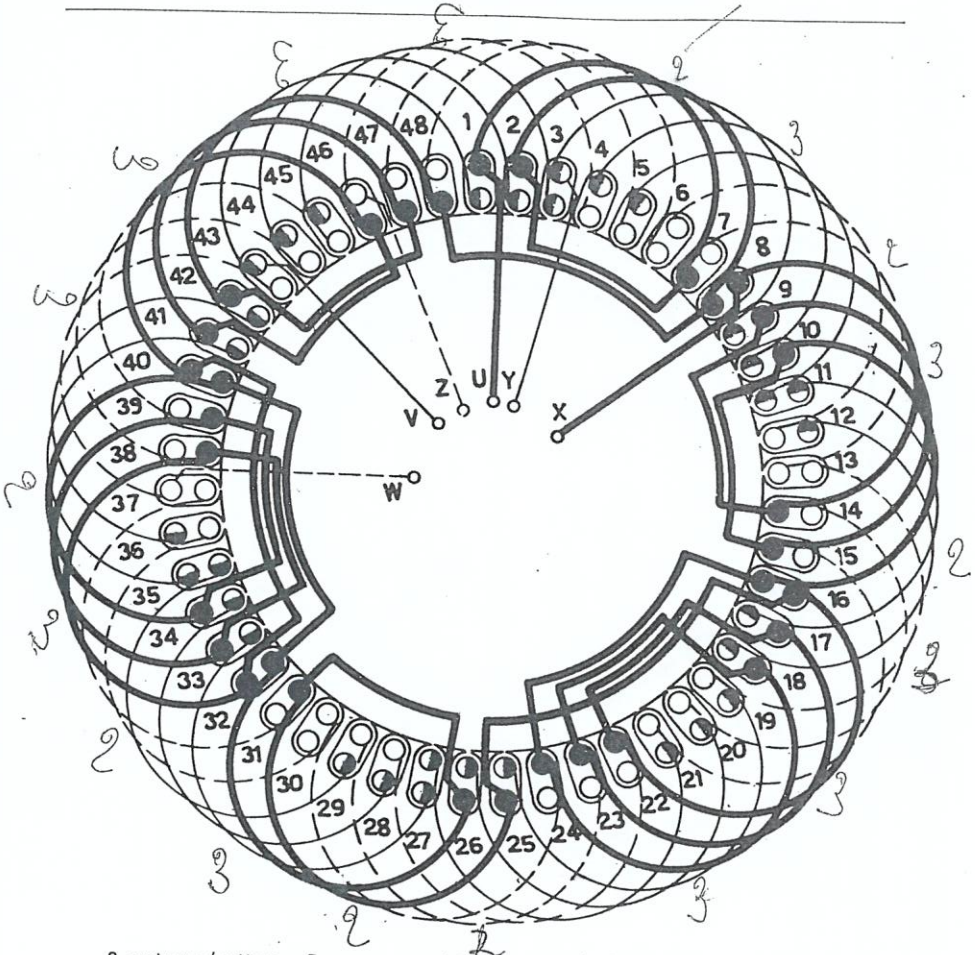
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(*Schema Marelli*)

6 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



8 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,955 - Coefficiente di raccormiamento y_c/τ=6/8 - Fattore di passo K_p=0,924 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,883.

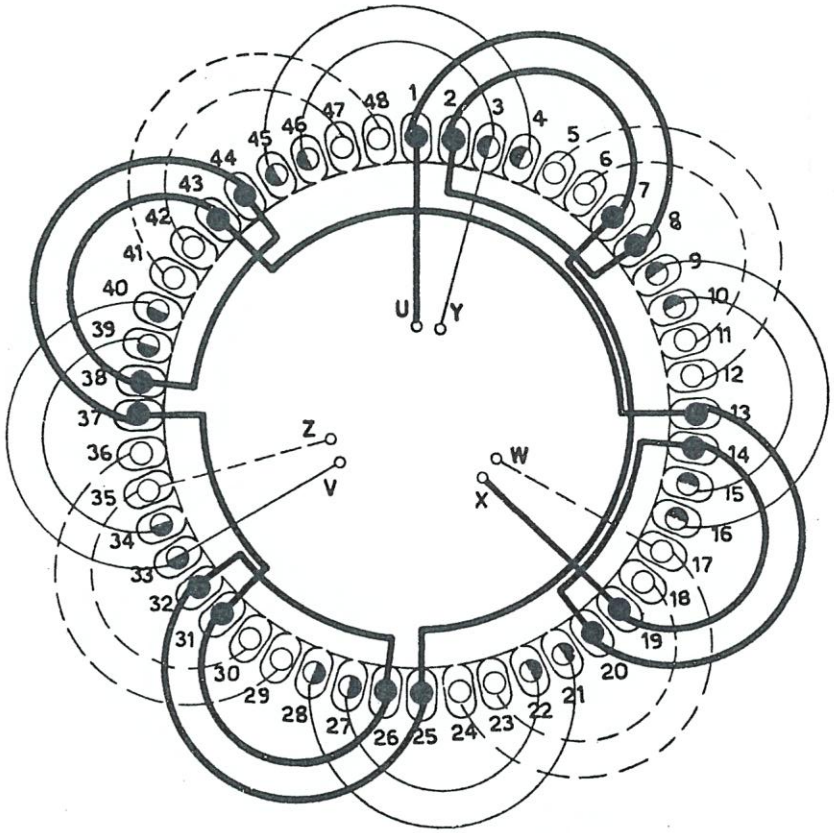
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 2 matasse e 4 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Avvolgimento dissimmetrico (*). (Schema Marelli)

(*) *La distanza tra i capi* U, V, W *è diversa da quella tra i capi* X, Y, Z, *ma il funzionamento risulta ottimo come per gli avvolgimenti perfettamente simmetrici.*

8 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

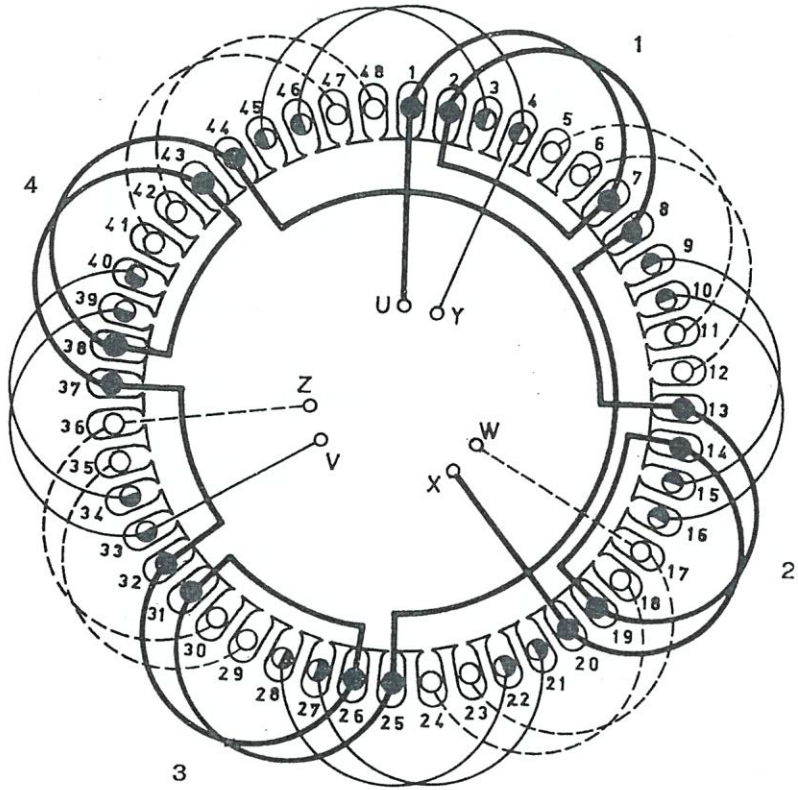
Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Per l'avvolgimento ad 1 *matassa/cava a poli alternati (tipo B) con passo* 1÷6 *vedansi le tavole* LXXXII *e* CXXX.

8 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

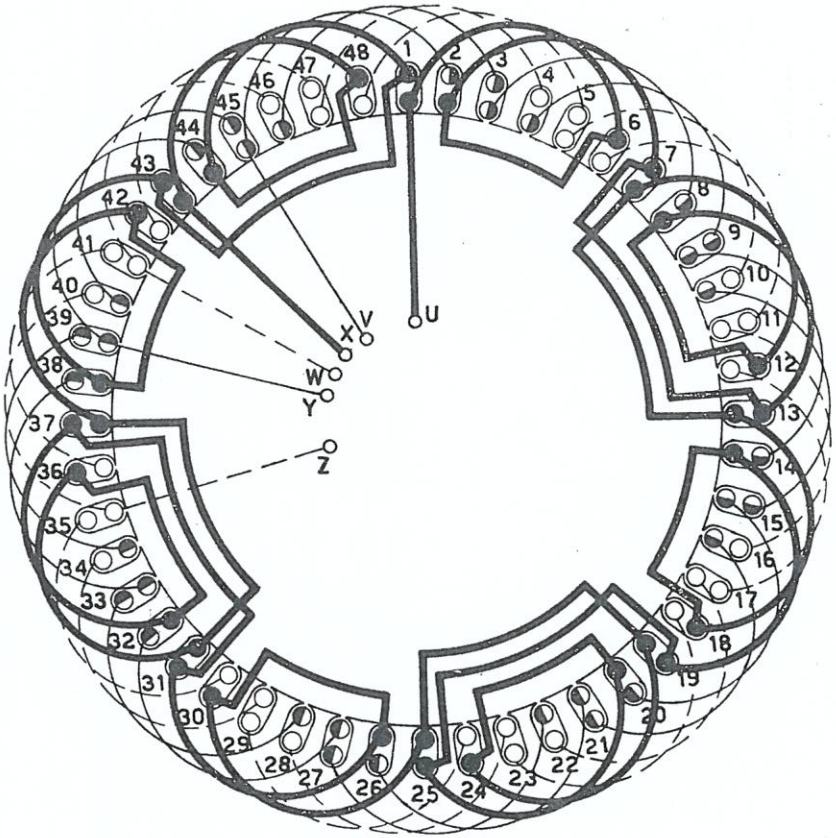
Avvolgimento a corona speciale (matasse eguali - spirali embricate) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Naturalmente la fine del 1° *gruppo (cava* 8) *può collegarsi con l'inizio del* 2° *gruppo (cava* 13), *la fine del* 2° (*cava* 20) *con l'inizio del* 3° *gruppo (cava* 25) *e così via.*

8 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



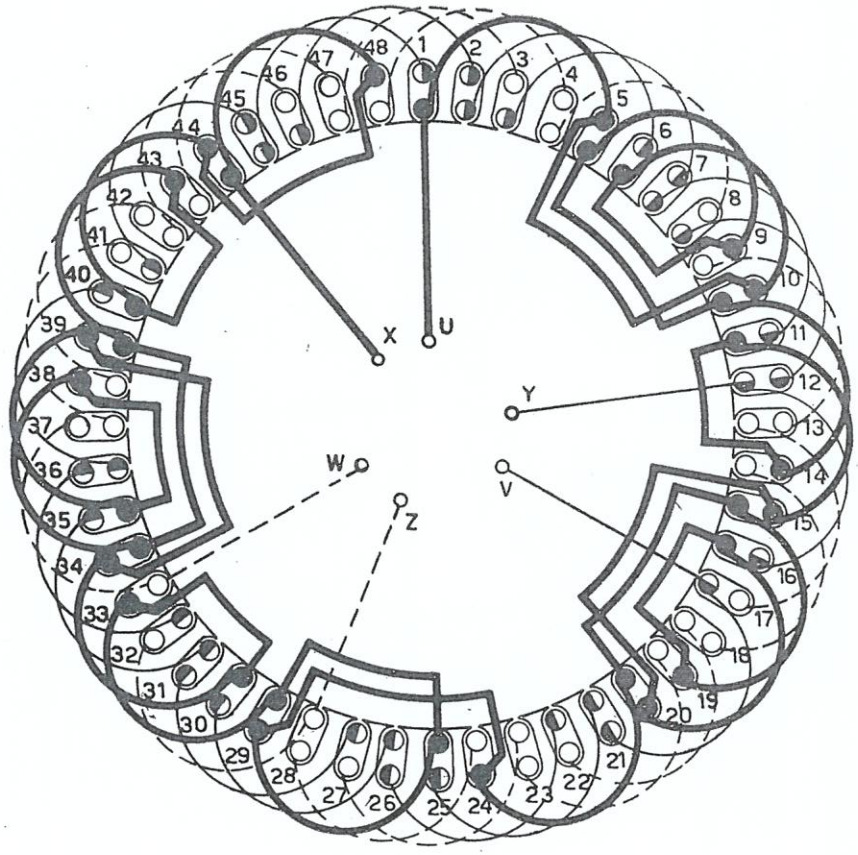
2 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,966$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=5/6$ - Fattore di passo $K_p=0,966$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,933$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

10 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 6 morsetti



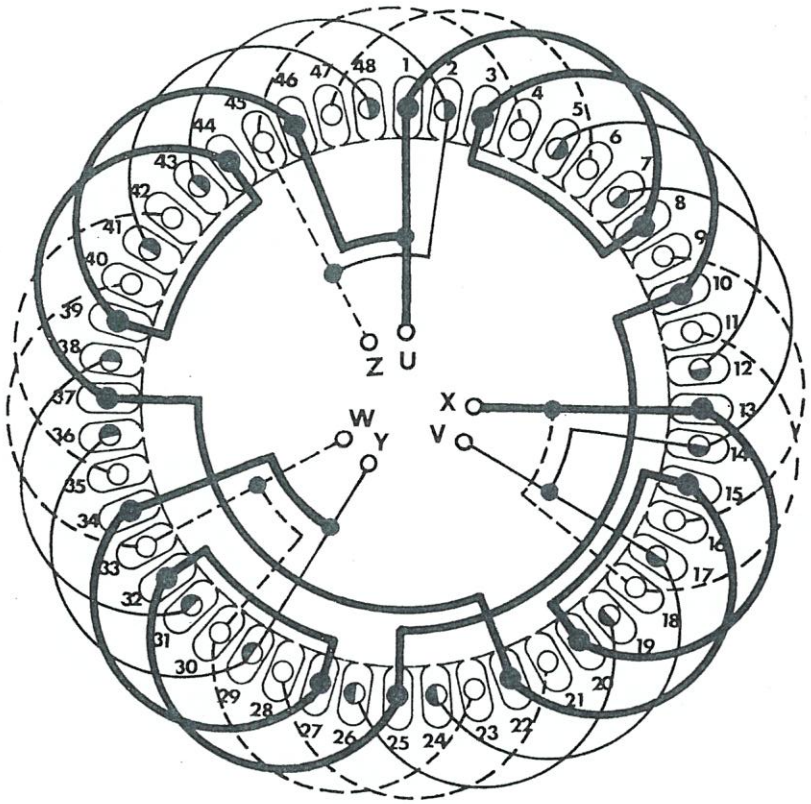
8 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=4/4,8$ - Fattore di passo $K_p=0,966$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,922$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 6 e di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+3 . 360° elettrici.

2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolg. 1 ÷ 8 Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

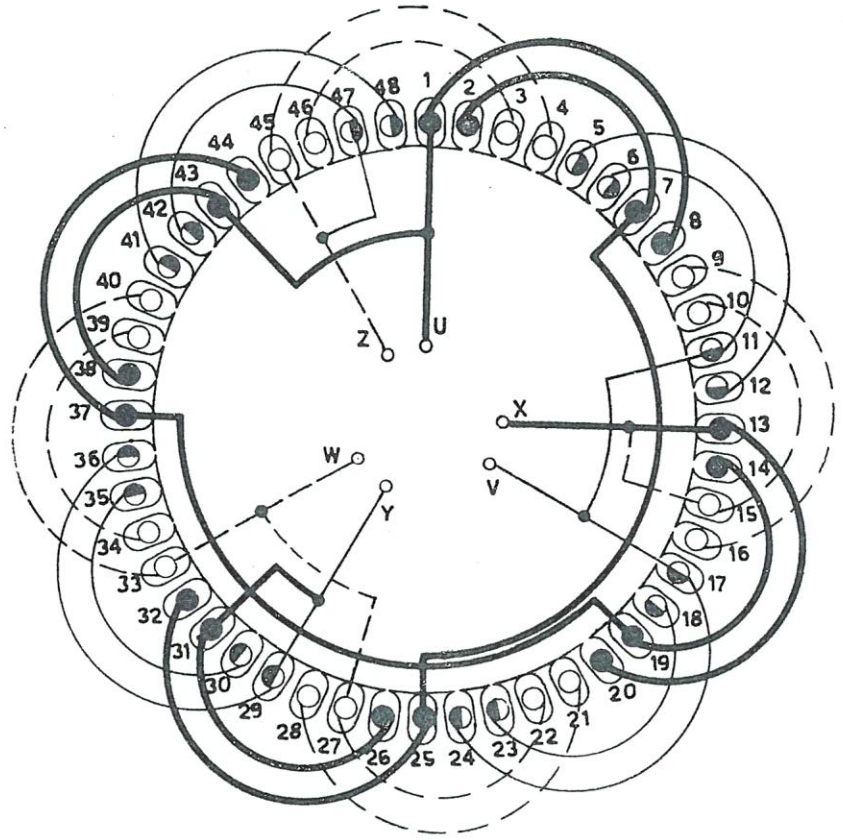
Funzionamento a 8 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,836 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore di avvolgimento K =0,766 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale).

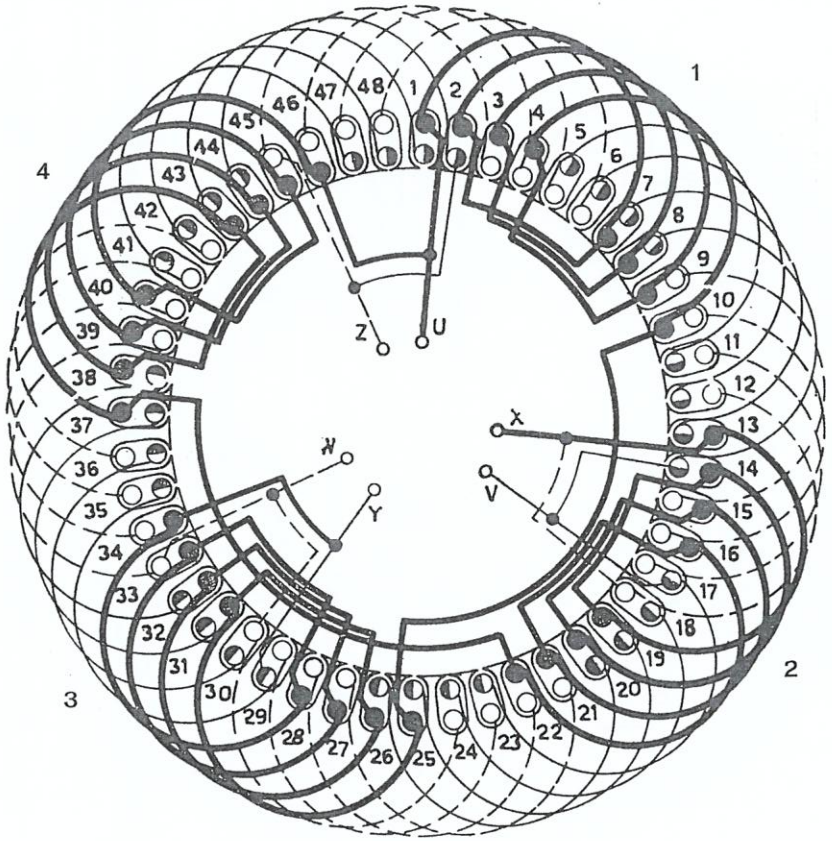
Funzionamento a 8 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,701 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 4 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,837 - Poli omonimi (tipo A).

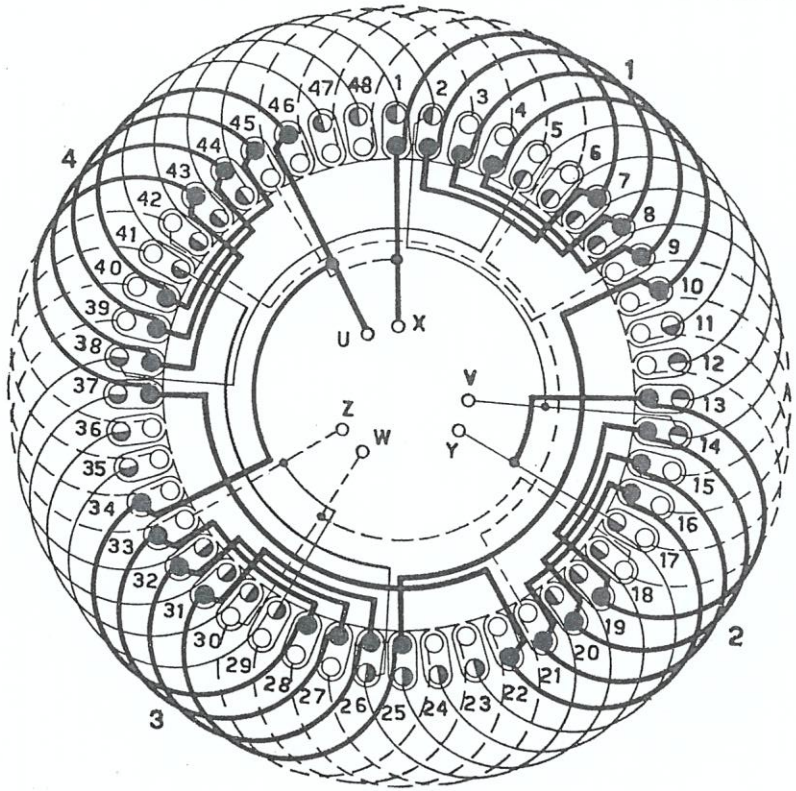
Collegamento a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 4 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,677 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella

Per funzionamento a potenza variabile.

2 polarità - 8 e 4 poli - 48 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento 8 poli YY - 4 poli Δ - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 4 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,837 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

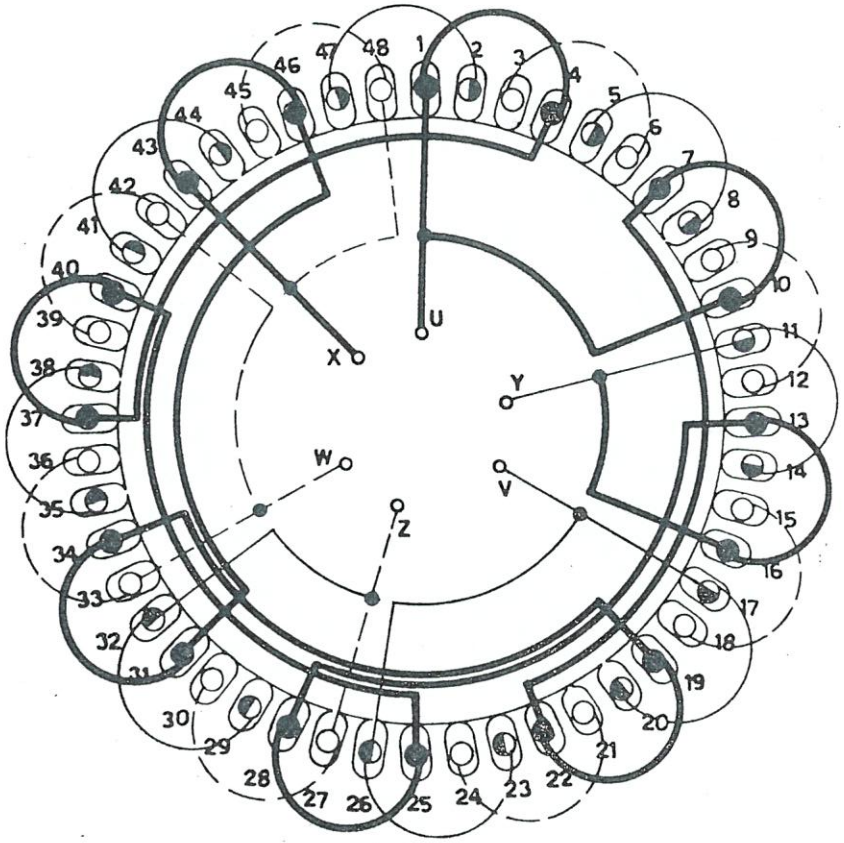
Funzionamento a 4 poli: 4 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore di avvolgimento K_a=0,677 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Per funzionamento a potenza costante.

Questo schema — adottato dalla Marelli — poteva dedursi facilmente dalla tav. XCIII. Ecco perchè riteniamo superfluo aggiungere altri schemi. Da questo schema tutti dovrebbero essere ormai capaci di passare a quello di 72 cave a 12 e 6 poli.

2 polarità - 16 e 8 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento 16 poli Δ - 8 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali).

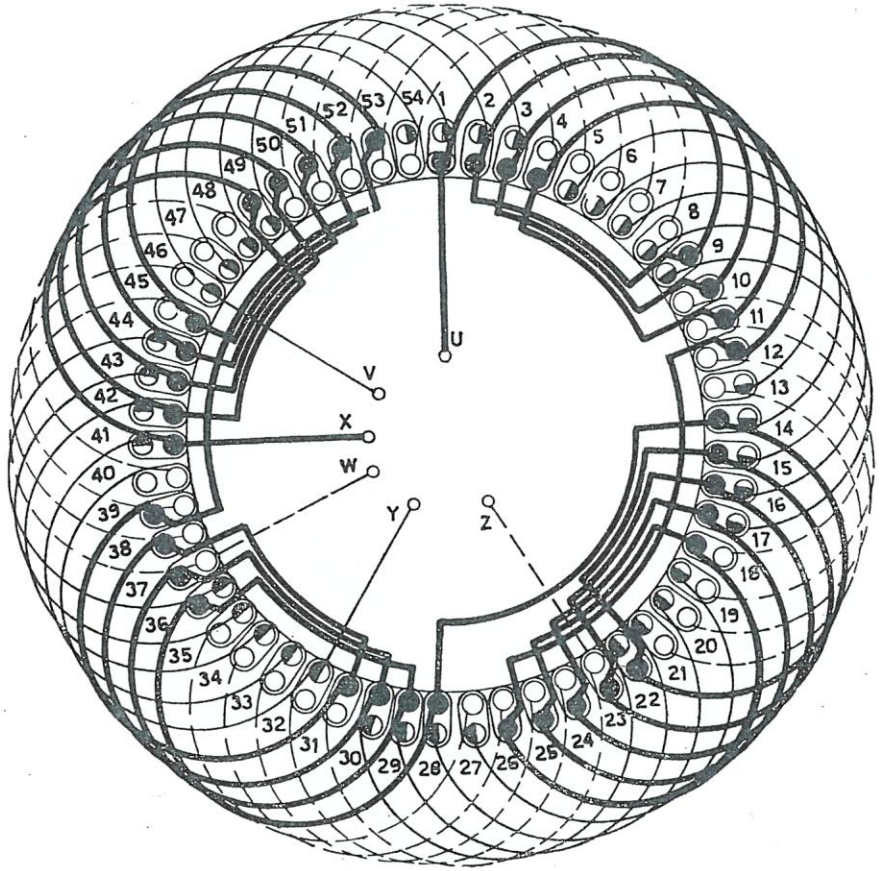
Funzionamento a 16 poli: 1 matassa/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=1$ - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 8 poli: 1 matassa/gruppo - Passo raccorciato - Coefficiente di raccorciamento $y_c\tau/=0,5$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,707$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

4 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 Collegamento serie - 6 morsetti



9 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=8/13,5$ - Fattore di passo $K_p=0,802$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,766$.

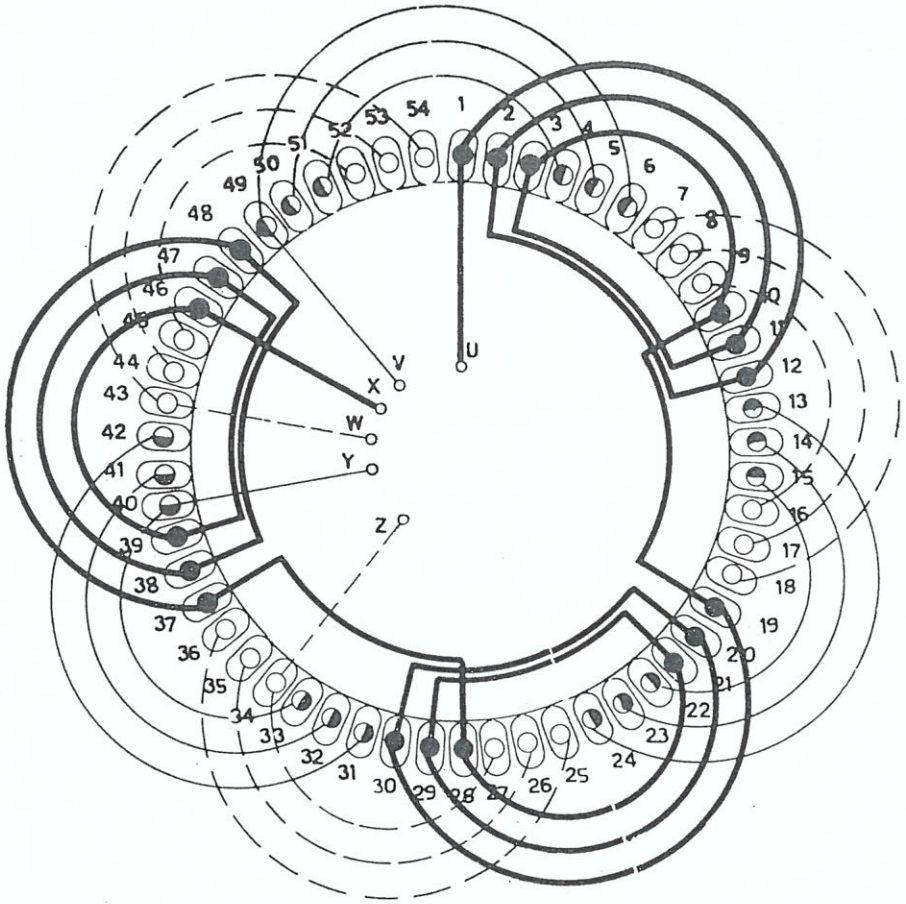
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 4 matasse e 2 di 5 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Lo stesso avvolgimento si può fare naturalmente con passo 1÷10, *oppure* 1÷11, 1÷12, 1÷13.

6 poli - 54 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,960.

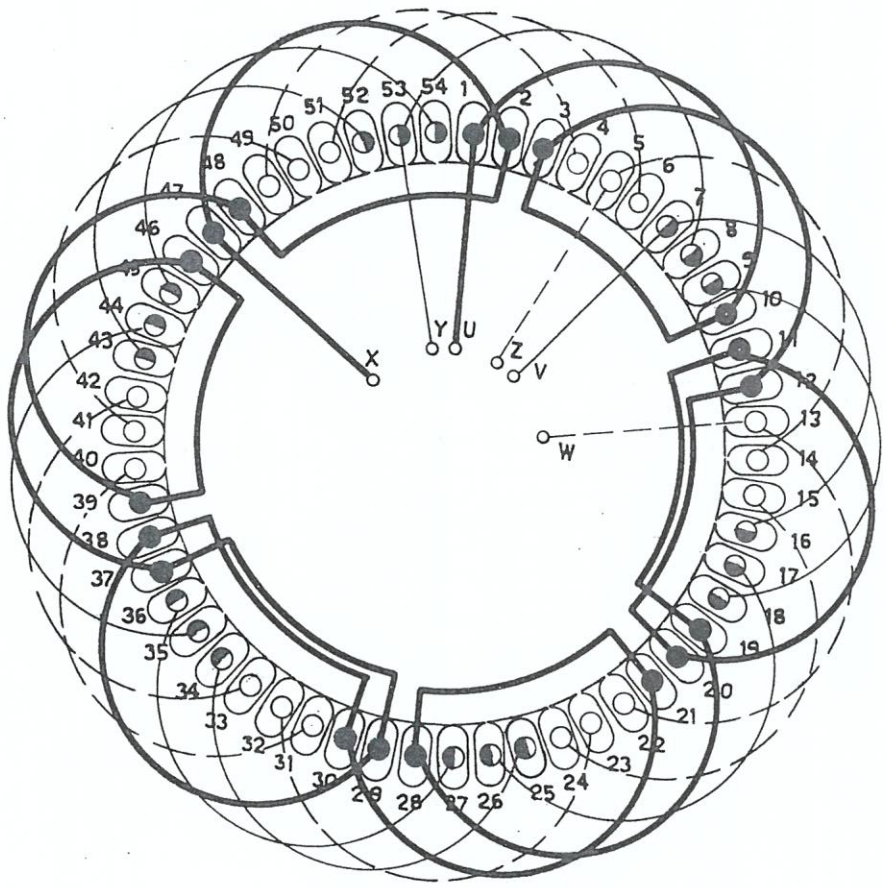
Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini con matassa storta (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 3 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo avvolgimento viene eseguito dalla Marelli anche con 3 paralleli corti.

6 poli - 54 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10 Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,960.

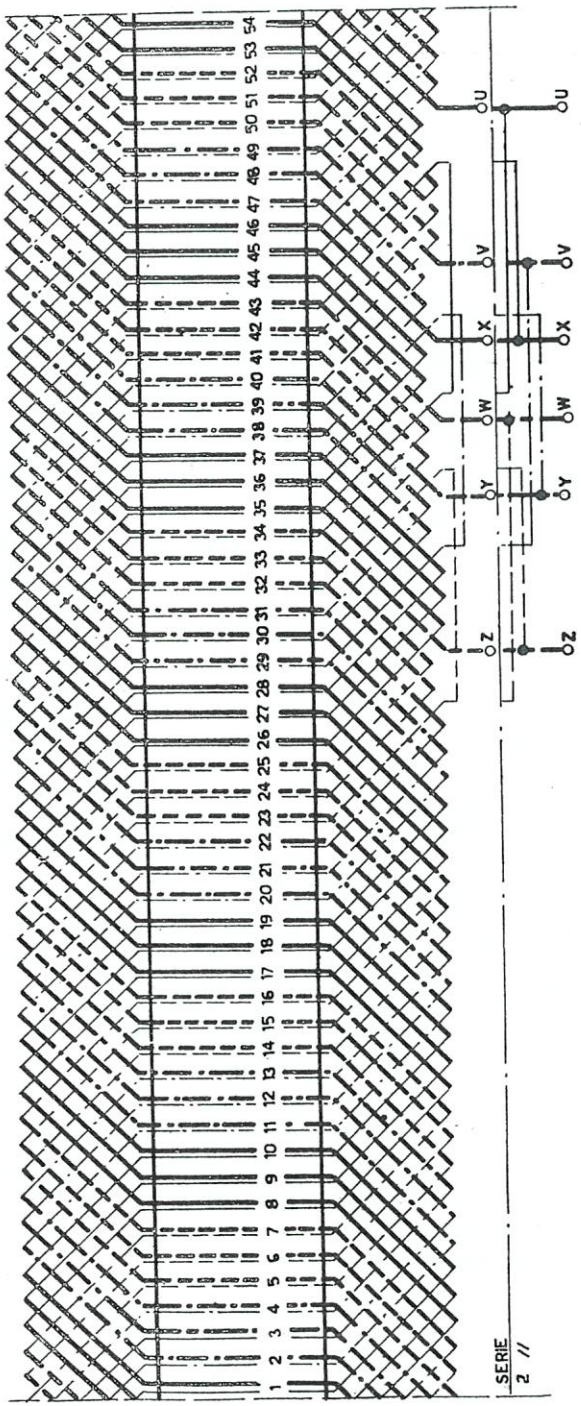
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (3 di 1 matassa e 3 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(*Schema adottato dalla* ASGEN - v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* » - n. 101).

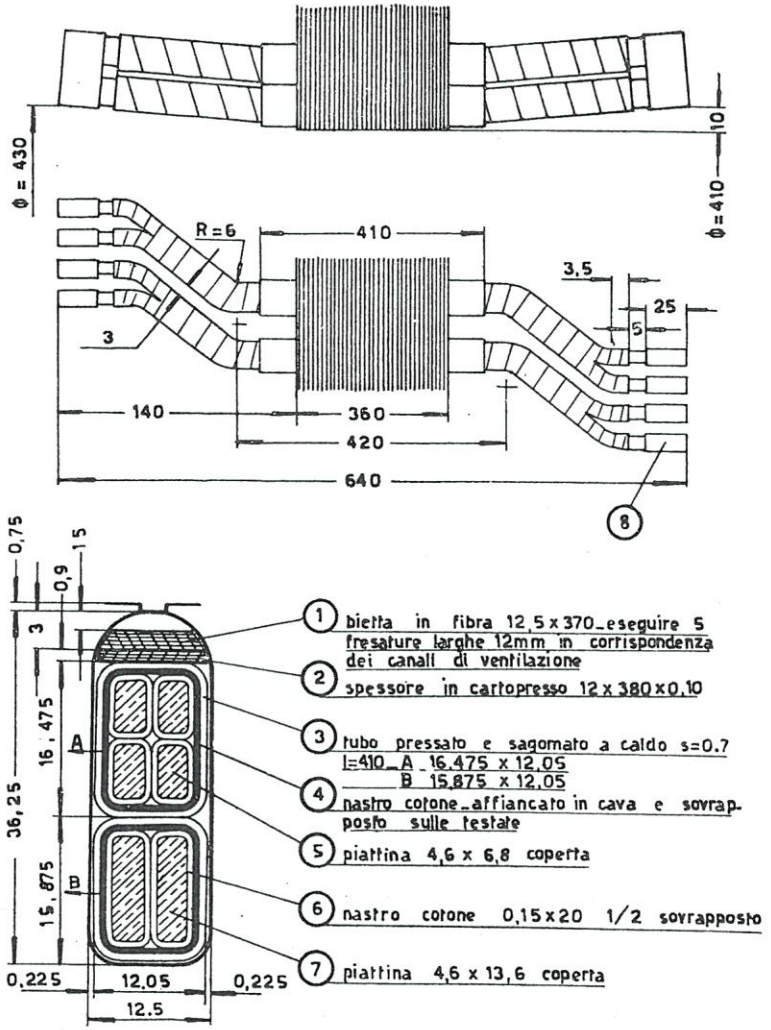
6 poli - 54 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Collegamento serie oppure serie-parallelo - 6 morsetti



3 cave/polo .fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}960$.
Avvolgimento ondulato a regressione - Poli alternati (tipo B).
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.
Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema Marelli)

Foglio di lavorazione dell'avvolgimento statorico trifase a sbarre della tavola CLXXXV



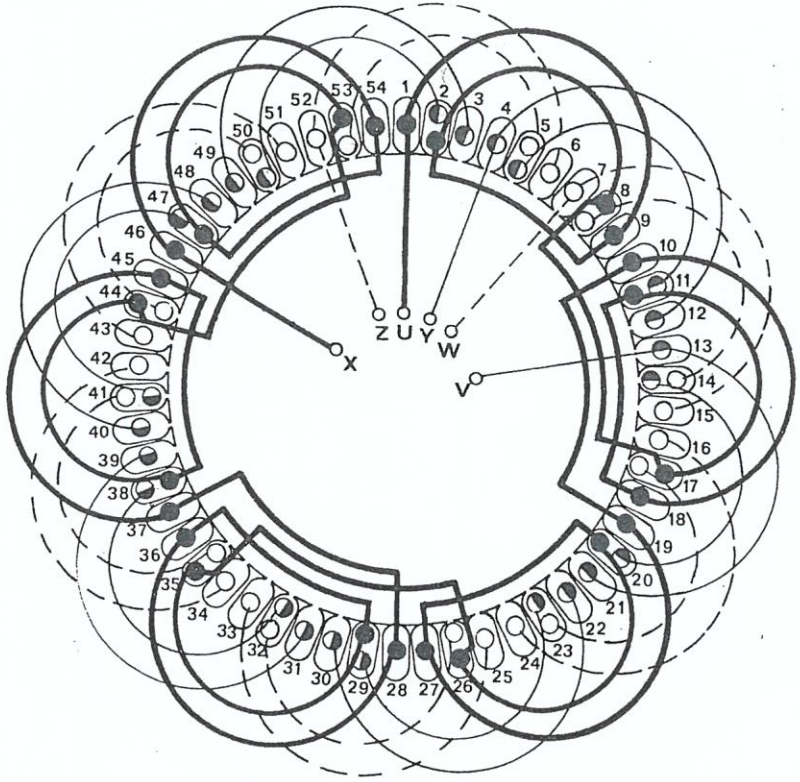
970 giri/min - 70,65 kW (96 cav) - 220 V - 240 A - 54 cave - Fili/cava 4 - Collegamento stella - 2// - Passo avvolgimento 1 ÷ 10.

Sviluppo di una piattina dopo l'intestatura 760 mm.

Sulle testate dell'avvolgimento non interporre spessori isolanti fra le piattine, ma permettere il passaggio dell'aria di ventilazione.

Connessioni nastrate con 1 IC/n (0,15×20) + 1 Co/n (0,1×18) sovrapposto - Schema delle connessioni tav. CLXXXV.

6 poli - 54 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷9 e 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



2 matasse/gruppo - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}946$.

Avvolgimento concentrico a corona oppure in due ordini (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 2 matasse per fase.

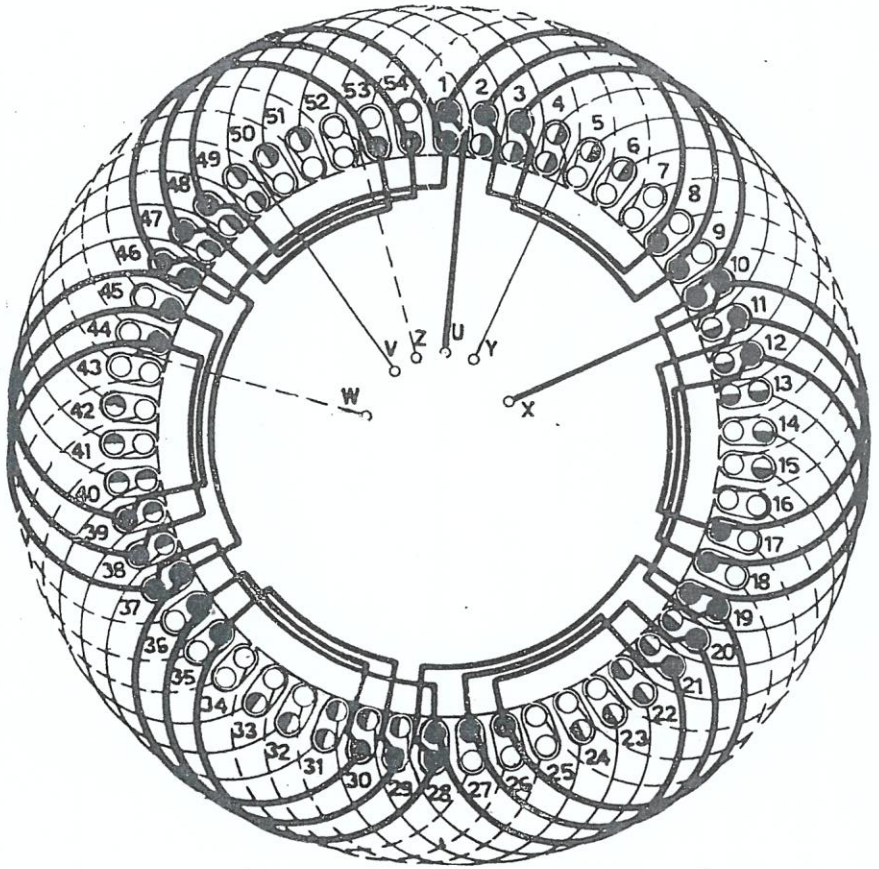
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema adottato dalla Ansaldo - San Giorgio).

Le matasse con passo 1÷7 *hanno metà spire di quelle con passo* 1÷9.

6 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



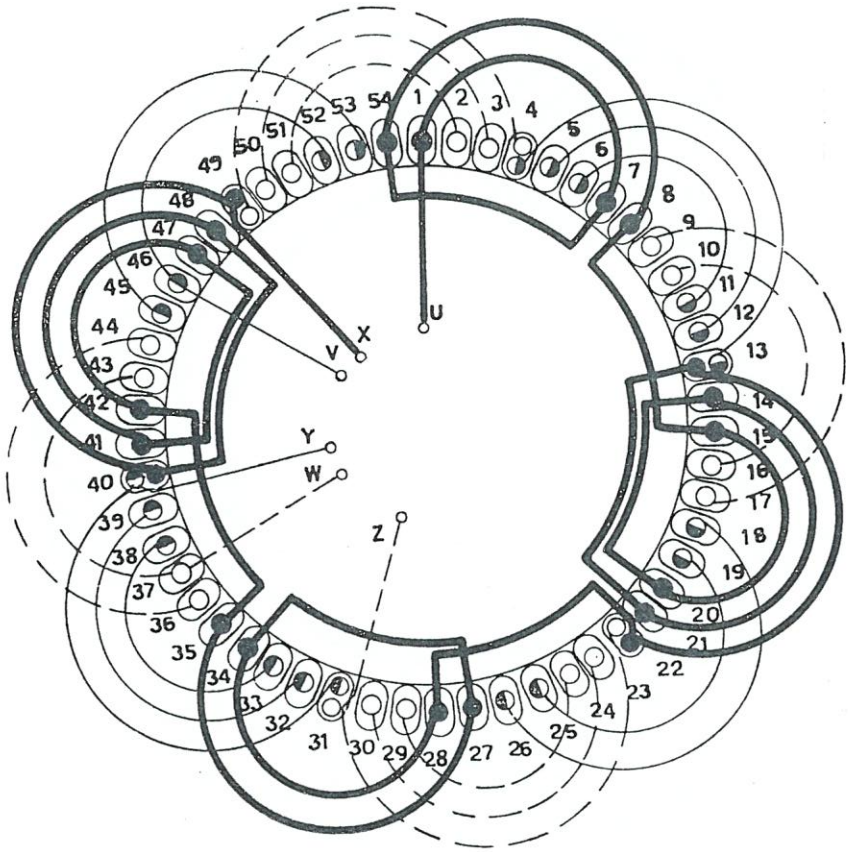
3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d = 0{,}960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau = 7/9$ - Fattore di passo $K_p = 0{,}940$ - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}902$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

8 poli - 54 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷9, 1÷7 e 1÷10 - 1÷8 - 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti



5 matasse/settore (*) - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}954$.

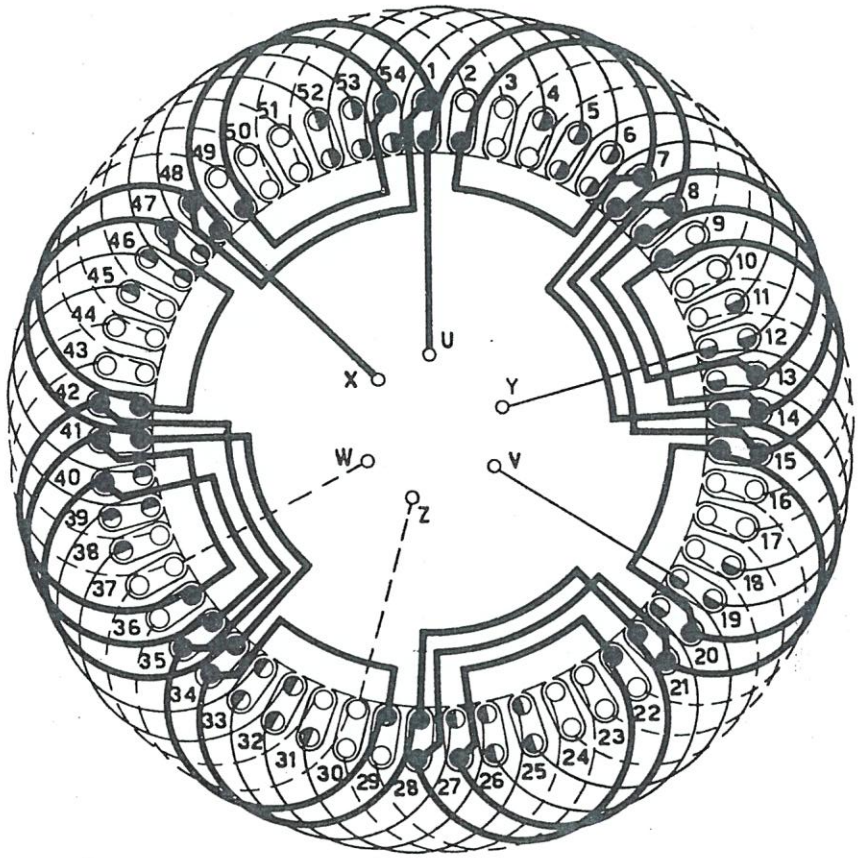
Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+3 . 360° elettrici.

(*) *Le matasse con passo* 1÷10 *hanno metà spire delle altre.*

8 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 Collegamento serie - 6 morsetti



9 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=6/6{,}75$ - Fattore di passo $K_p=0{,}985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}941$.

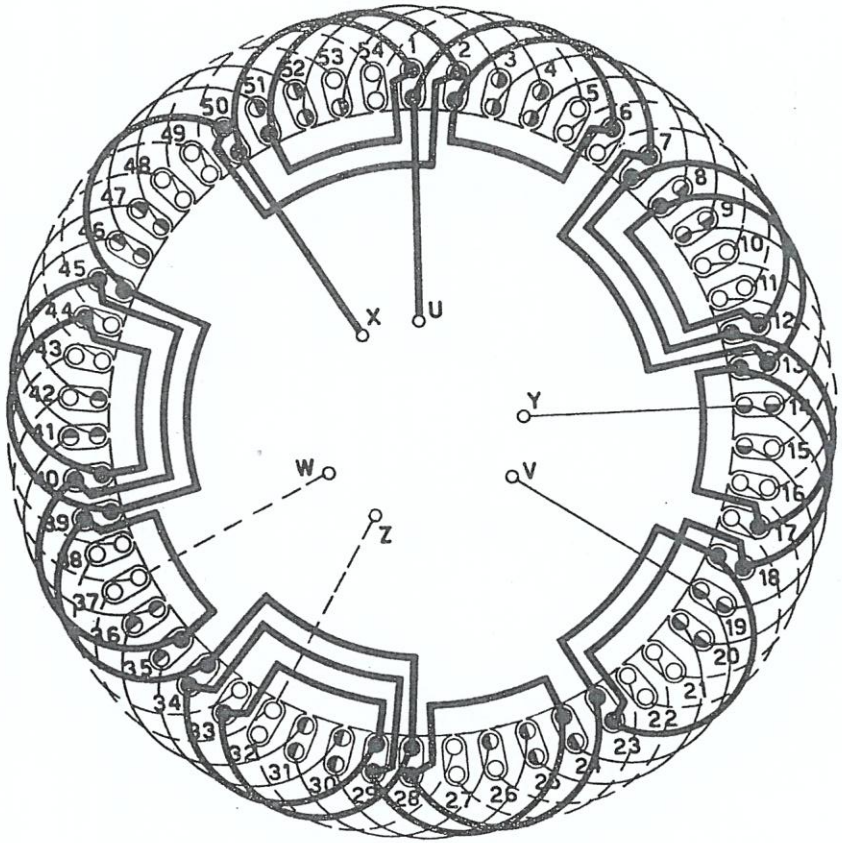
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (6 di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

(*Schema adottato dalla* ASGEN - v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* » - n. 92).

10 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



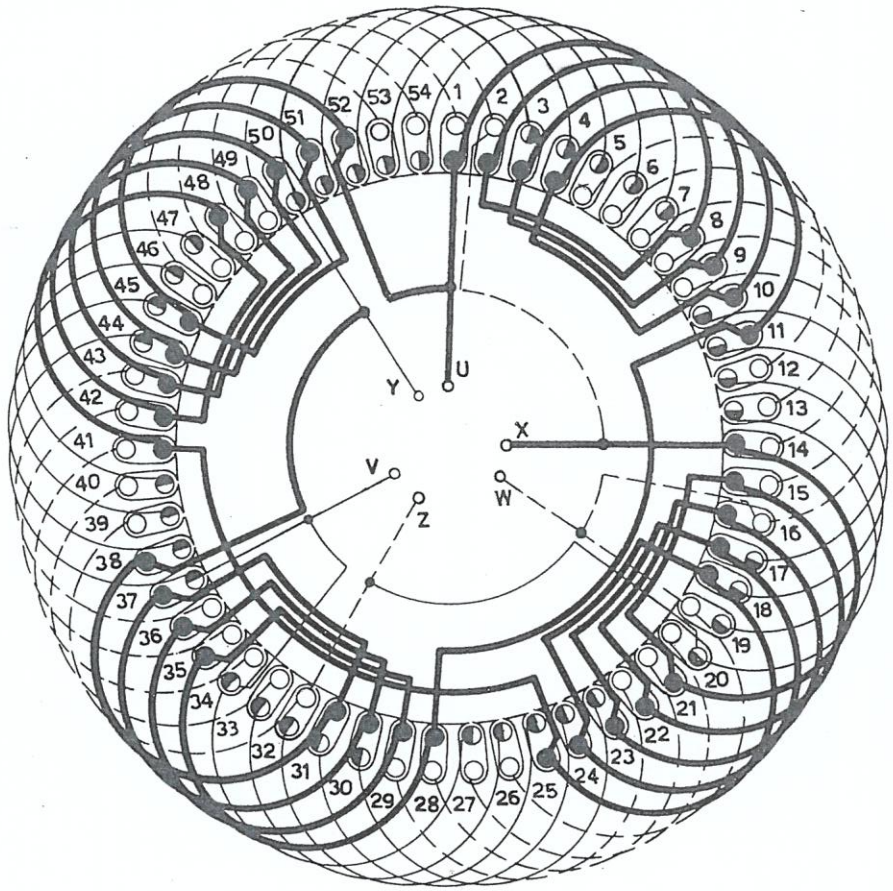
9 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,955 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=5/5,4 - Fattore di passo K_p=0,993 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,948.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 1 matassa e 8 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+3 . 360° elettrici.

2 polarità - 8 e 4 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 4 e 5 matasse/gruppo - Fattore di avvolgimento K_a=0,868 e 0,795 (Fattore d'avvolgimento medio K_a=0,831) - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

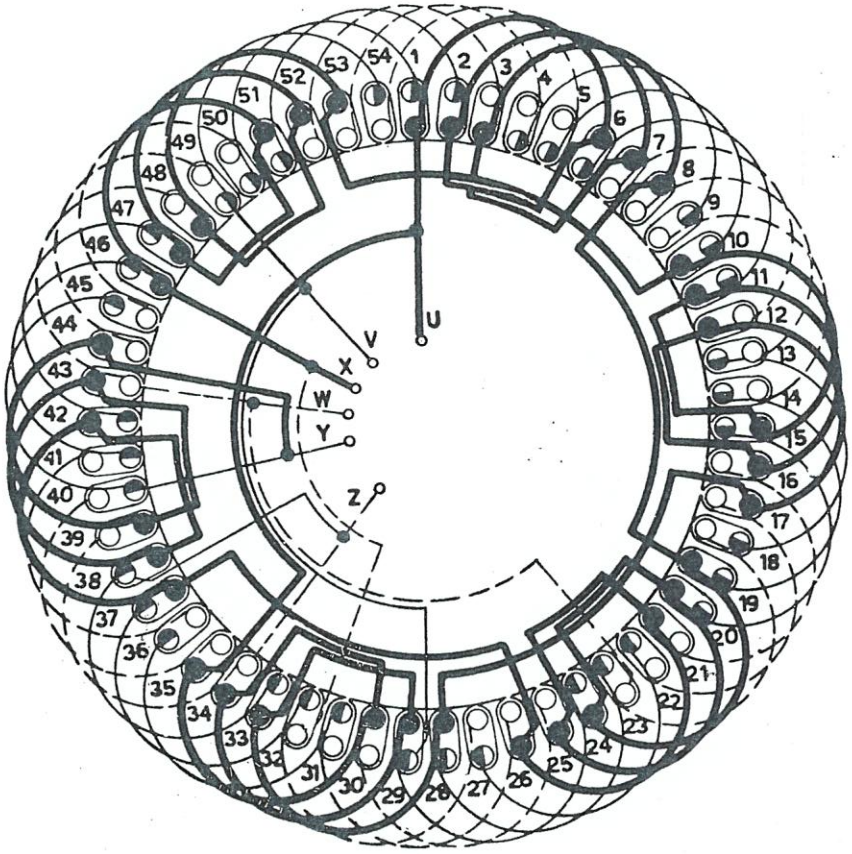
Funzionamento a 4 poli: 4 e 5 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,966 e 0,947 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=7/13,5 - Fattore di passo K_p=0,727 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,702 e 0,688 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

(*Schema Marelli*)

Questo avvolgimento richiede una particolare suddivisione dei fili/cava (in base ai due fattori di avvolgimento ed al numero delle matasse dei 2 rami in parallelo).

2 polarità - 12 e 6 poli - 54 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 12 poli: 3 matasse/gruppo - Fattore di distribuzione $K_d=0,844$ - Fattore di passo $K_p=0,985$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,831$ - Poli omonimi (tipo A).

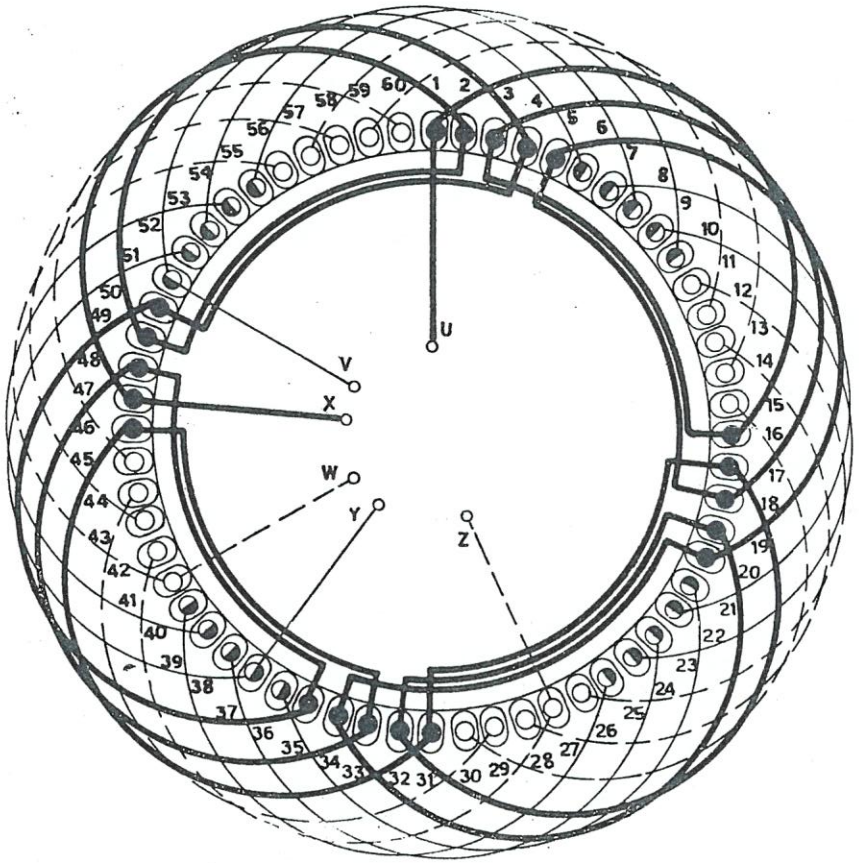
Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 6 poli: 3 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=5/9$ - Fattore di passo $K_p=0,766$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,735$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

(*Schema Marelli*)

4 poli - 60 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷16 Collegamento serie - 6 morsetti



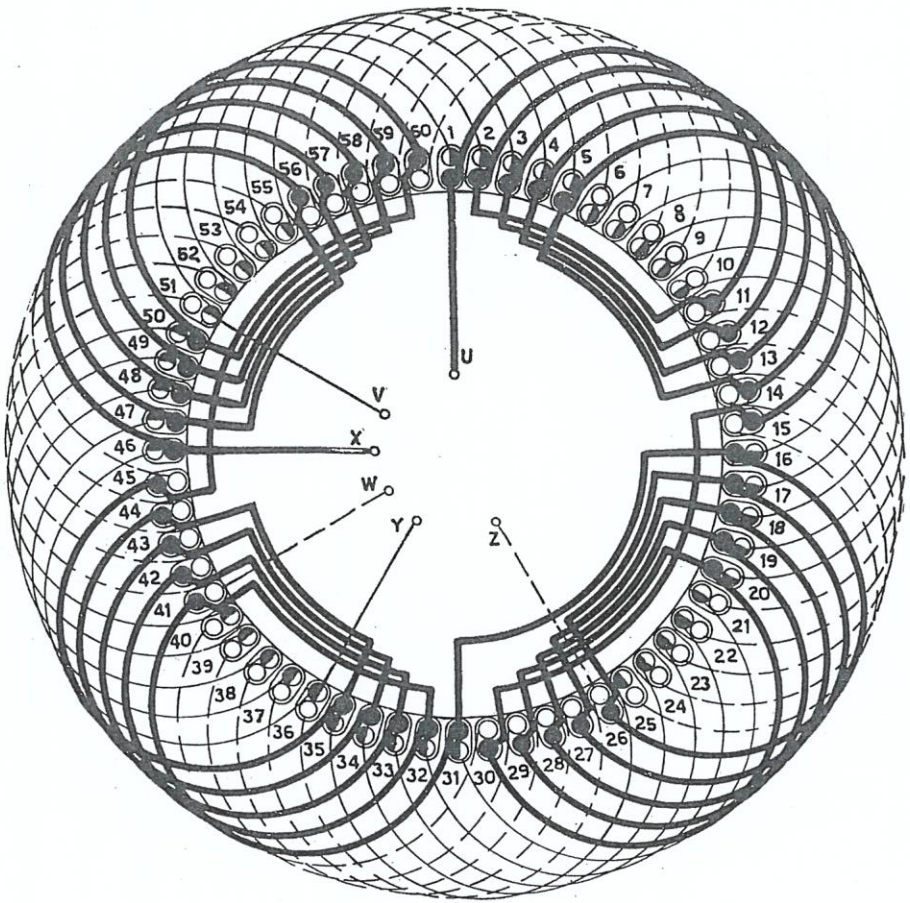
5 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,957$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

4 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷11
Collegamento serie - 6 morsetti



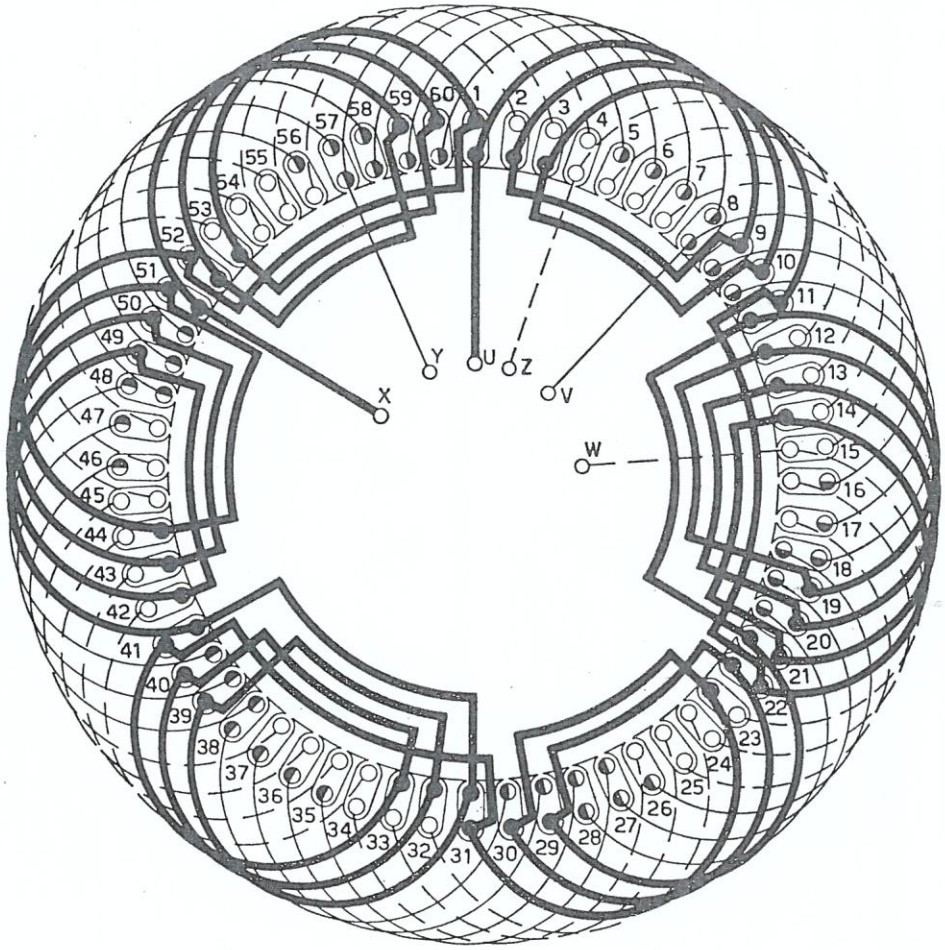
5 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,957 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=10/15 - Fattore di passo K_p=0,866 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,829.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 5 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9
Collegamento serie - 6 morsetti



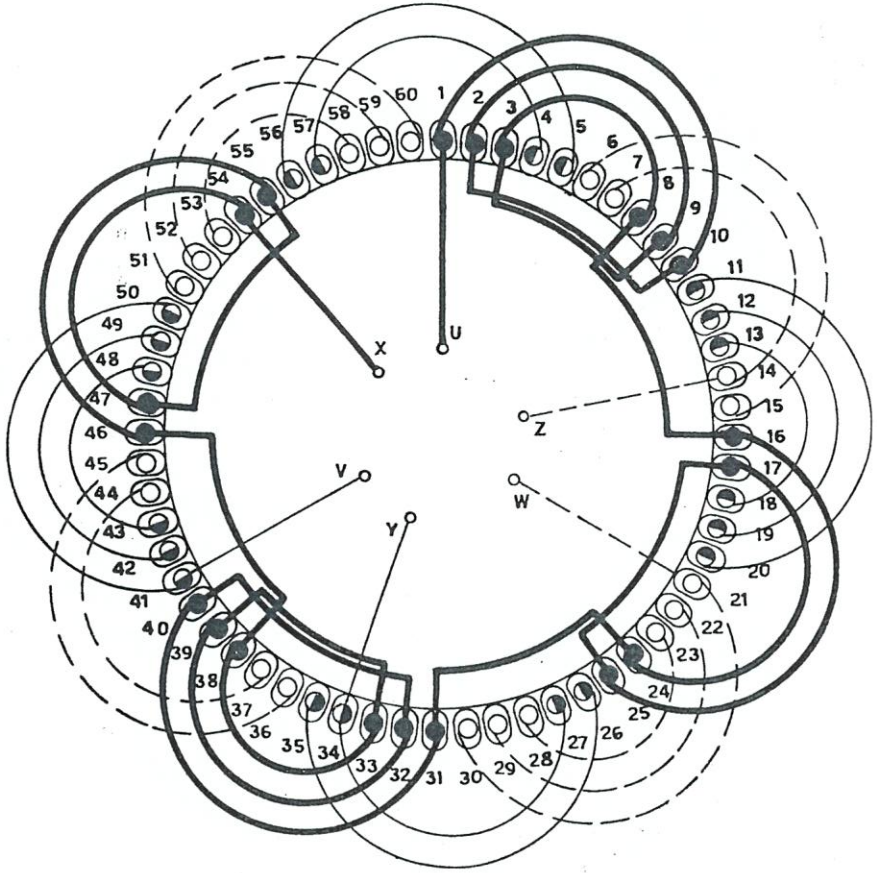
10 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,955 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=8/10 - Fattore di passo K_p=0,951 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,908.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 3 matasse e 2 di 4 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Avvolgimento dissimmetrico.

8 poli - 60 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti



5 matasse/settore - Fattore d'avvolgimento K_a=0,952.

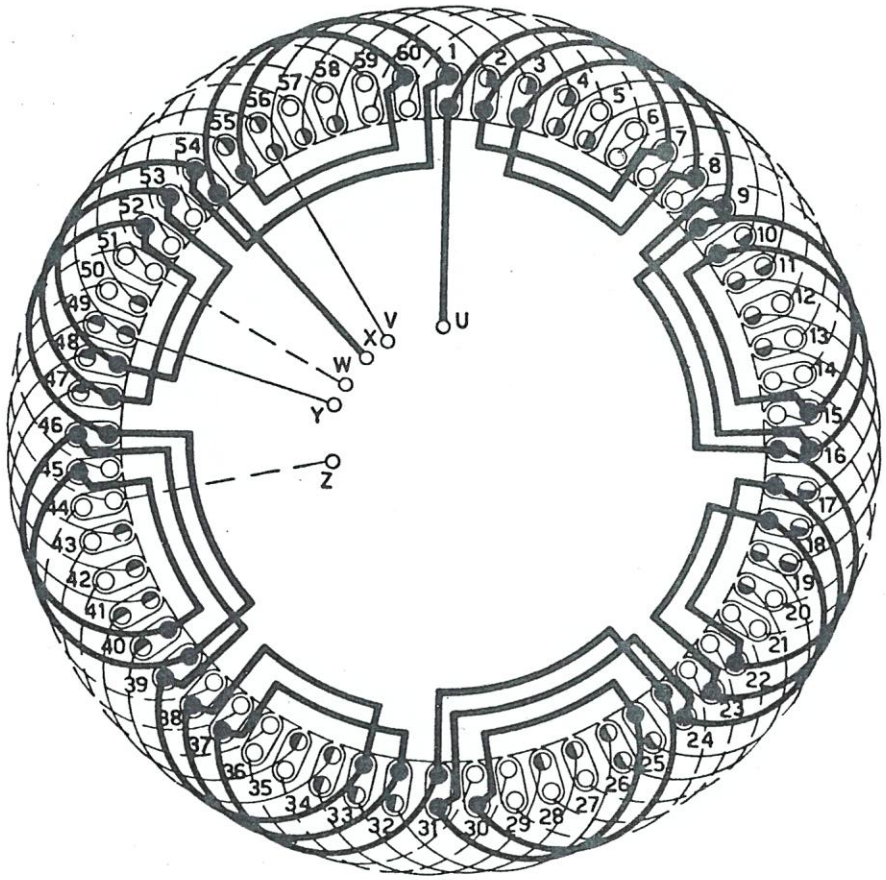
Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Fase	Sequenza			
I	3	3	2	2
II	2	3	3	2
III	2	2	3	3

8 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 Collegamento serie - 6 morsetti



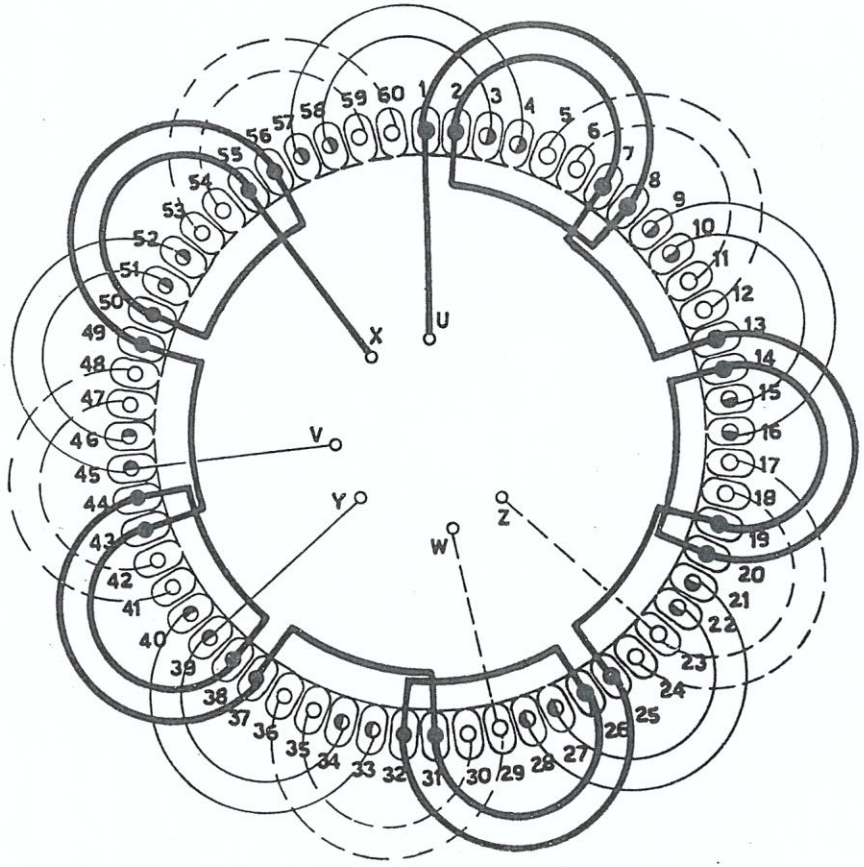
5 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d= 0,957 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=6/7,5 - Fattore di passo K_p=0,951 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,910.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 2 matasse e 4 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

10 poli - 60 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,966.

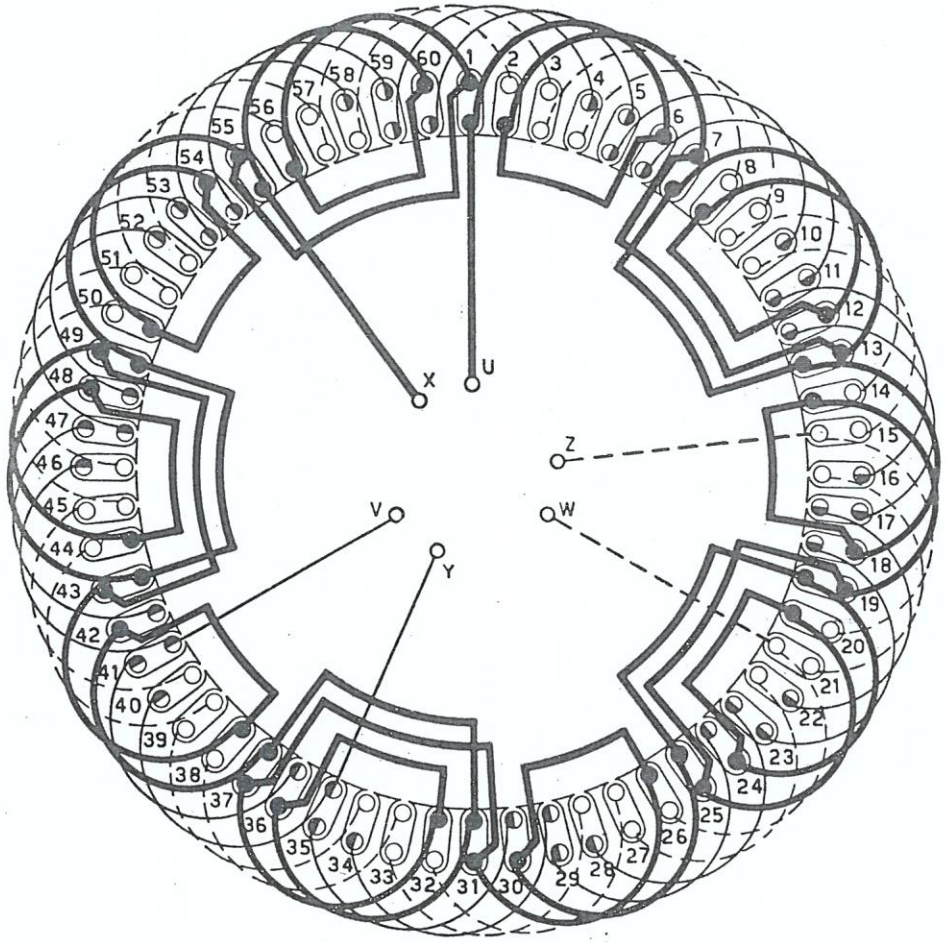
Avvolgimento concentrico a corona oppure in due ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 5 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Per l'avvolgimento ad 1 *matassa/cava a poli alternati* (*tipo B*) *con passo* 1÷6 *vedansi le tavole* LXXXII *e* CXXX.

10 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6
Collegamento serie - 6 morsetti



2 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,966 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=5/6 - Fattore di passo K_p=0,966 - Fattore di avvolgimento K_a=0,933.

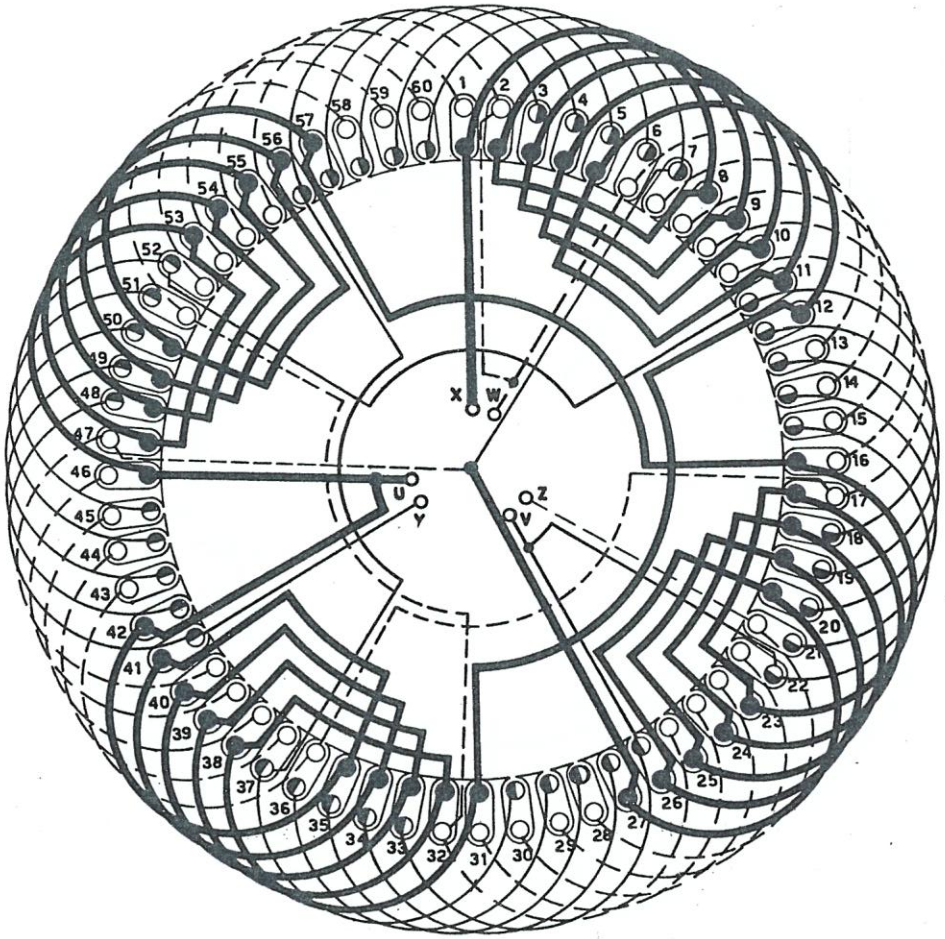
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+3 . 360° elettrici.

La Marelli esegue questo avvolgimento con collegamento 5// *lunghi.*

2 polarità - 8 e 4 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento 8 poli Y - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 5 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}833$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/7{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}995$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}829$ - Poli omonimi (tipo A).

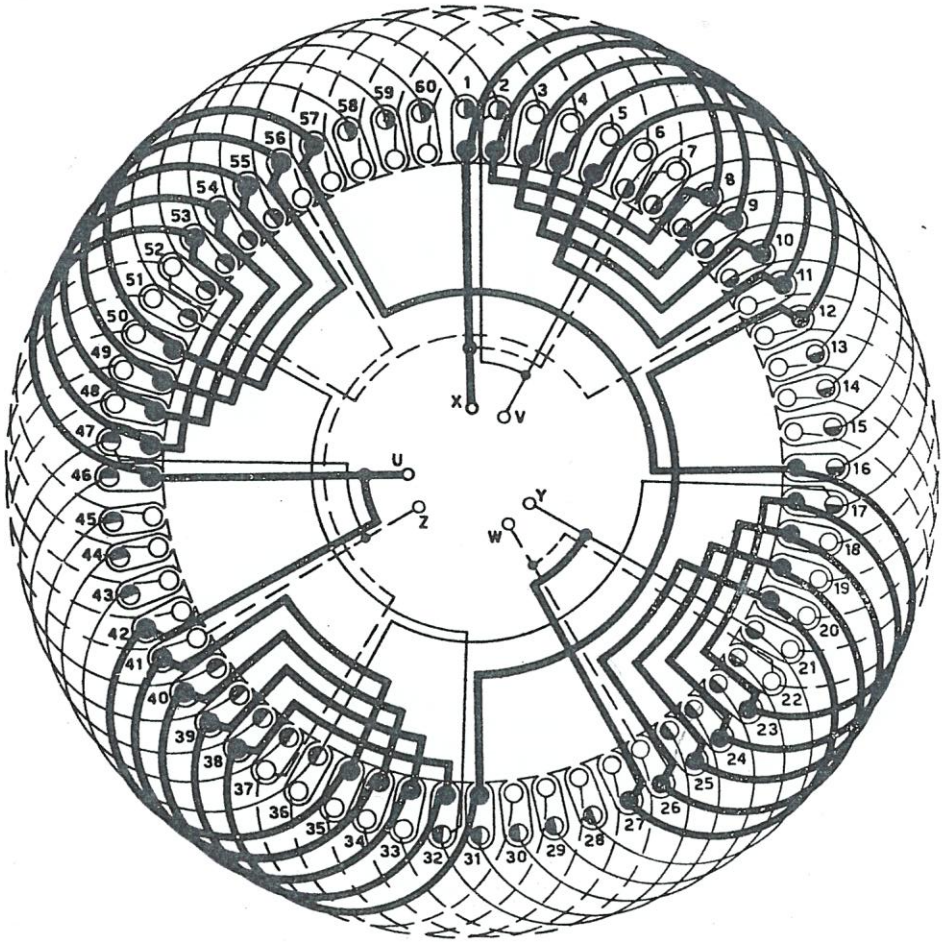
Collegamento normale a stella (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 5 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/15$ - Fattore di passo $K_p=0{,}669$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}640$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

(*Schema C.G.E.*)

2 polarità - 8 e 4 poli - 60 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

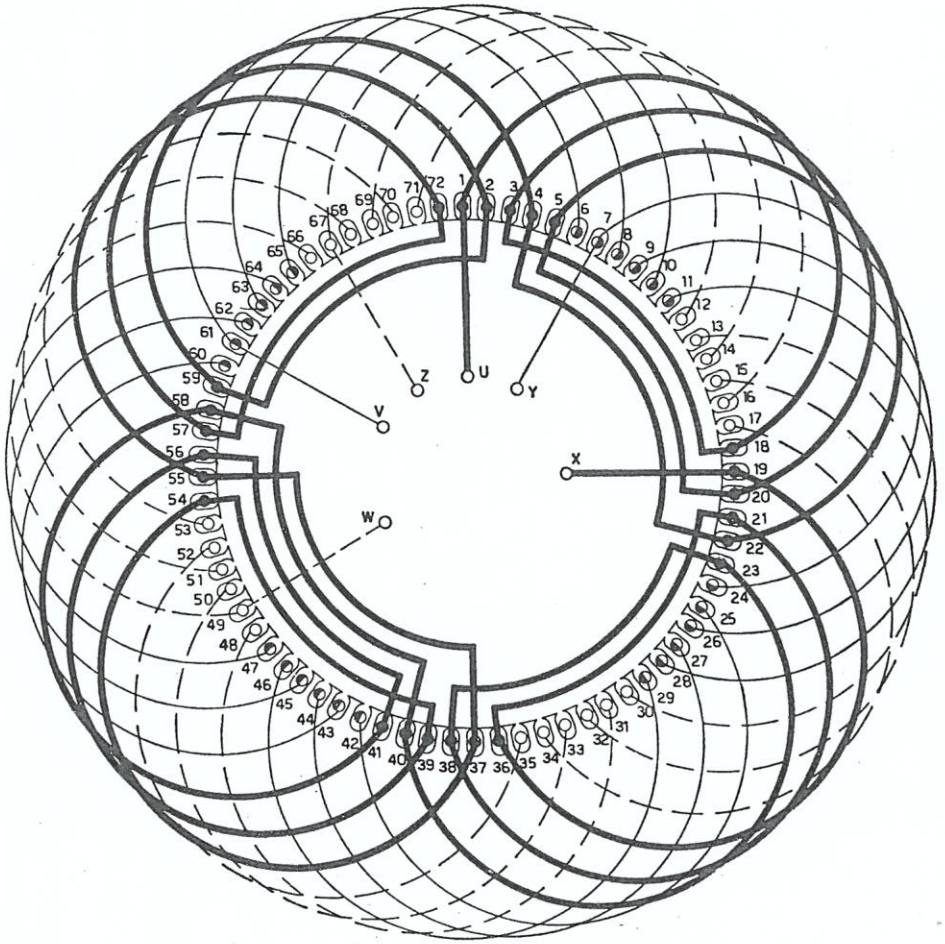
Funzionamento a 8 poli: 5 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}833$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/7{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}995$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}829$ - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 5 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore distribuzione $K_d=0{,}957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/15$ - Fattore di passo $K_p=0{,}669$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}640$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

4 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷18
Collegamento serie - 6 morsetti



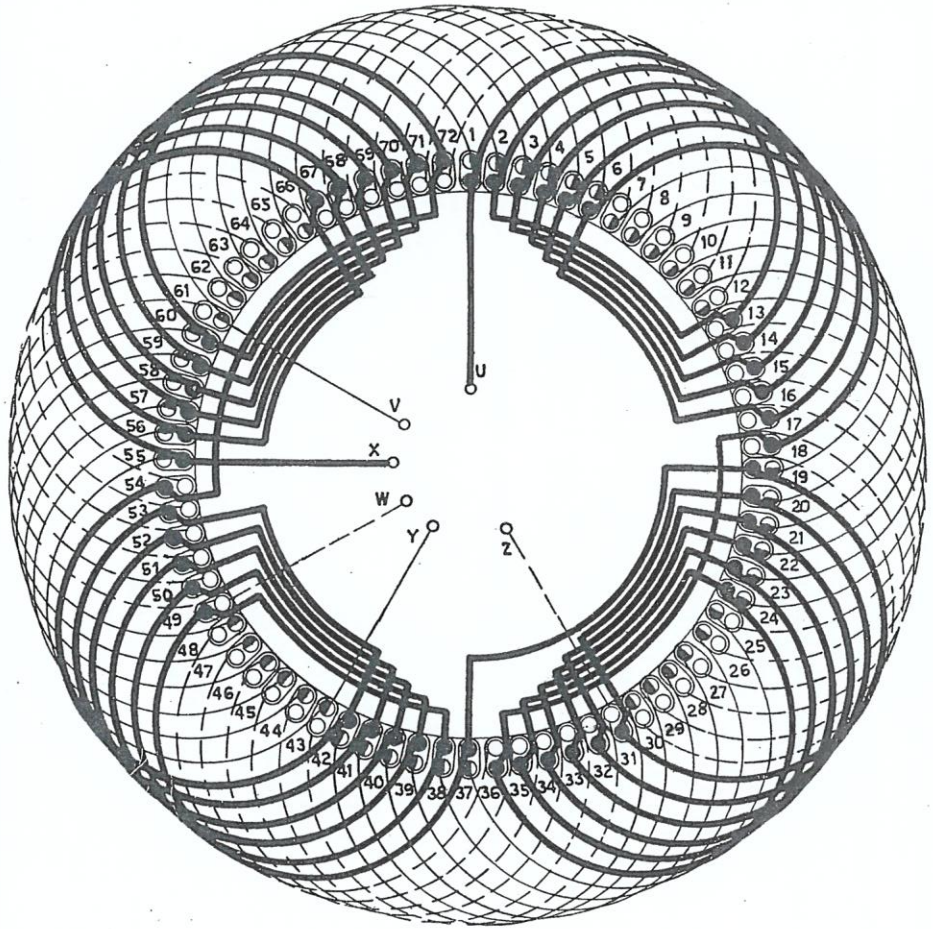
6 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}956$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici..

4 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷13
Collegamento serie - 6 morsetti



6 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d = 0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau = 12/18$ - Fattore di passo $K_p = 0{,}866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}828$.

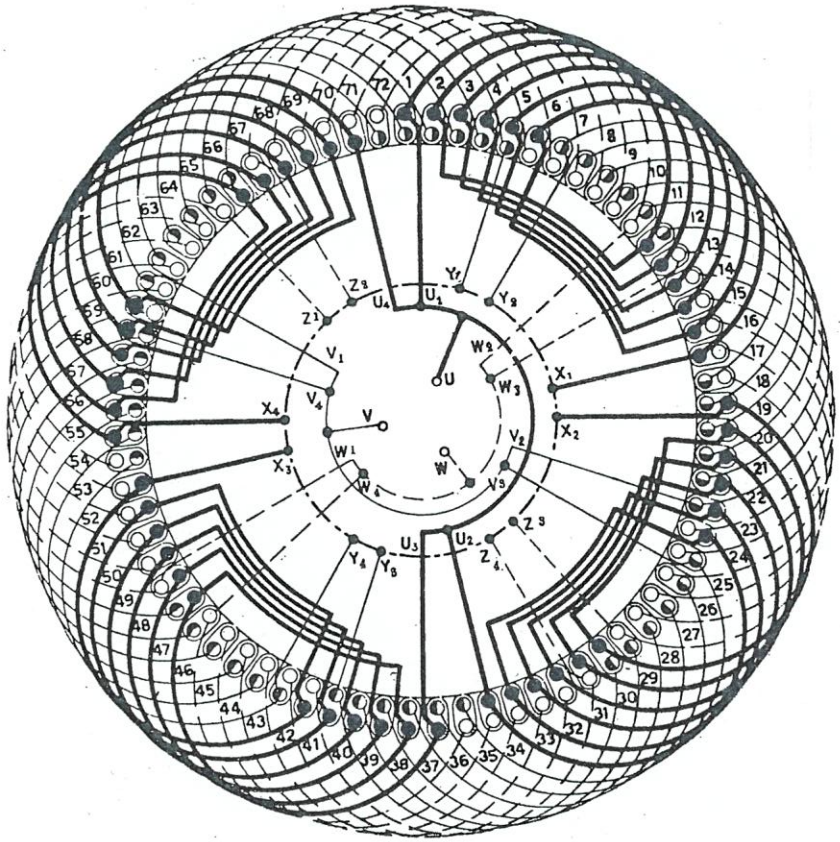
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - 4 gruppi di 6 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

La Marelli esegue questo avvolgimento con passo 1÷14.

4 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷12
Collegamento parallelo - 3 morsetti



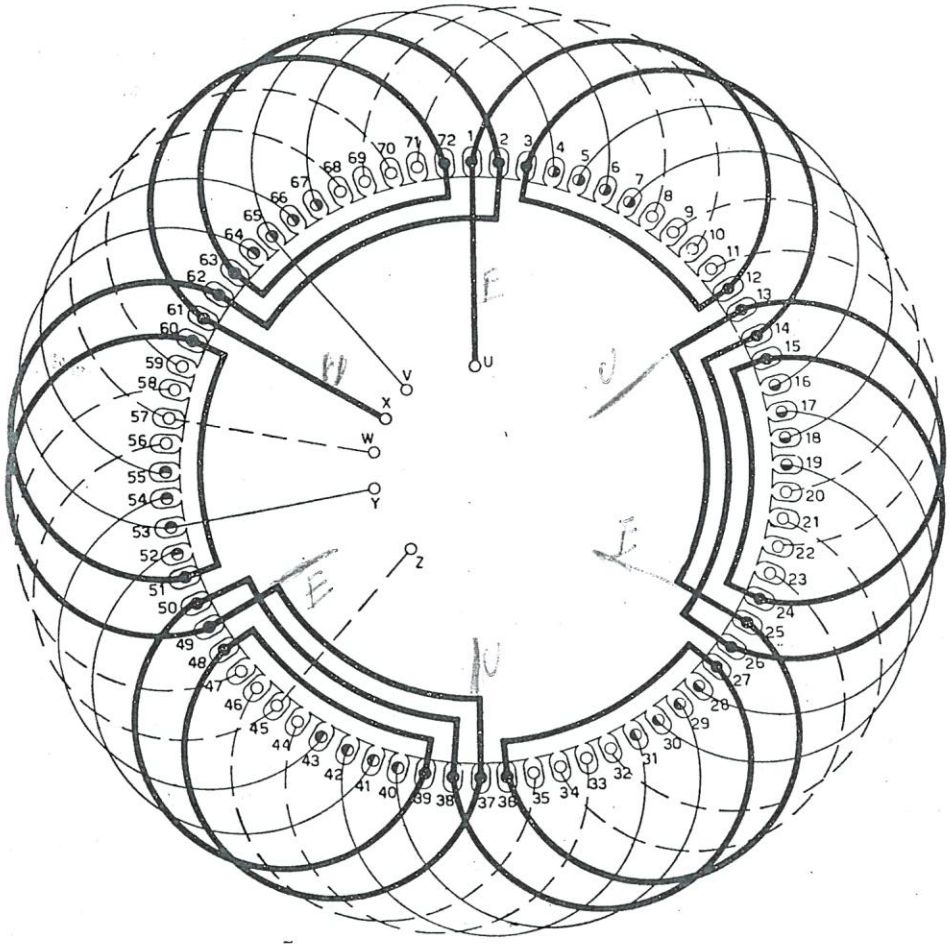
6 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=11/18$ - Fattore di passo $K_p=0,819$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,783$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 6 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: YYYY

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷12
Collegamento serie - 6 morsetti



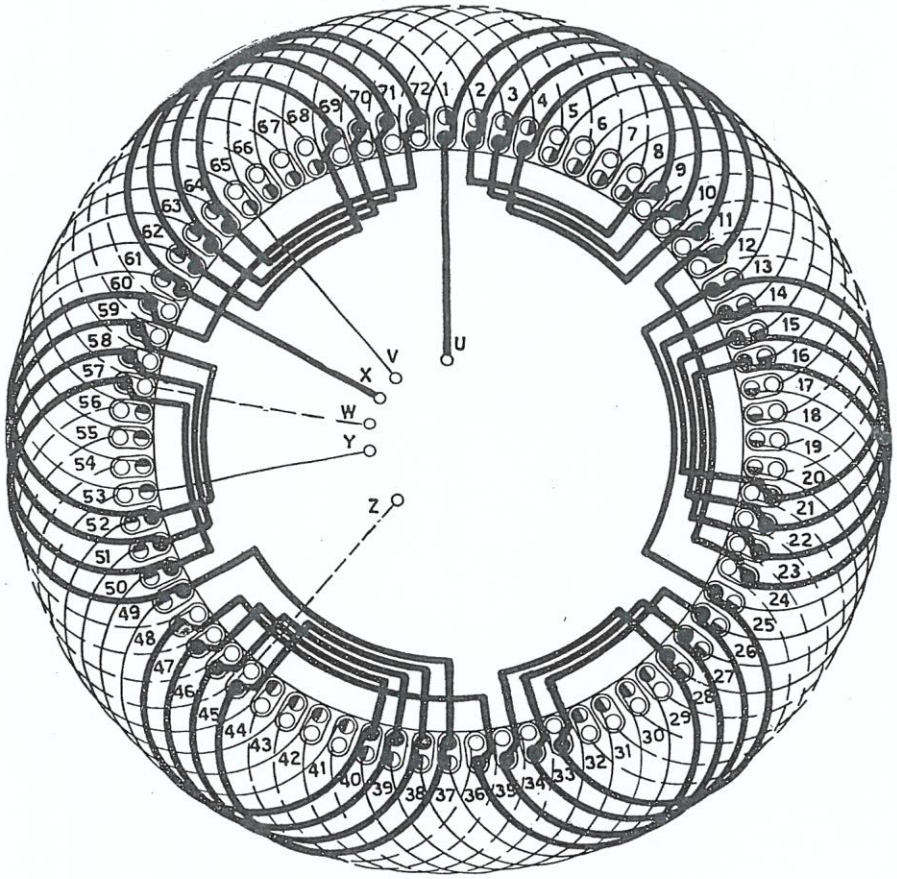
4 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,958$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 2 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 Collegamento serie - 6 morsetti



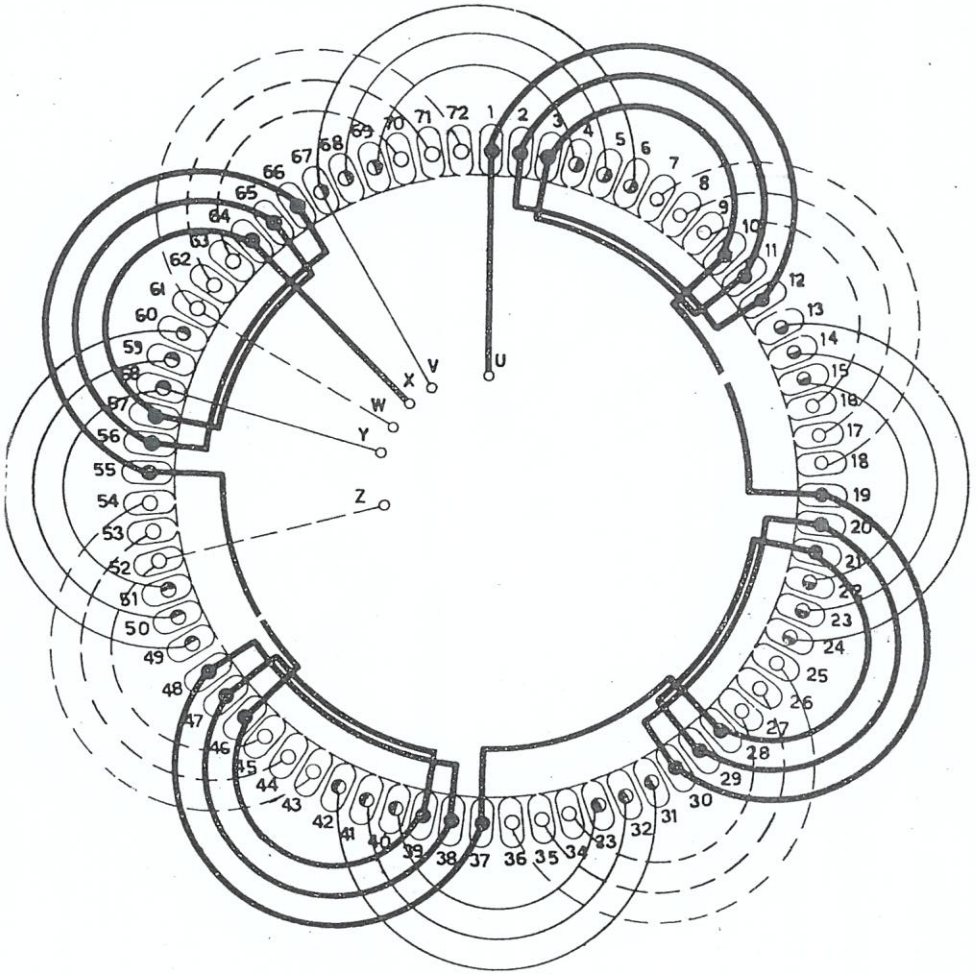
4 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,958 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=8/12 - Fattore di passo K_p=0,866 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,830.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 4 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

8 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 6 morsetti



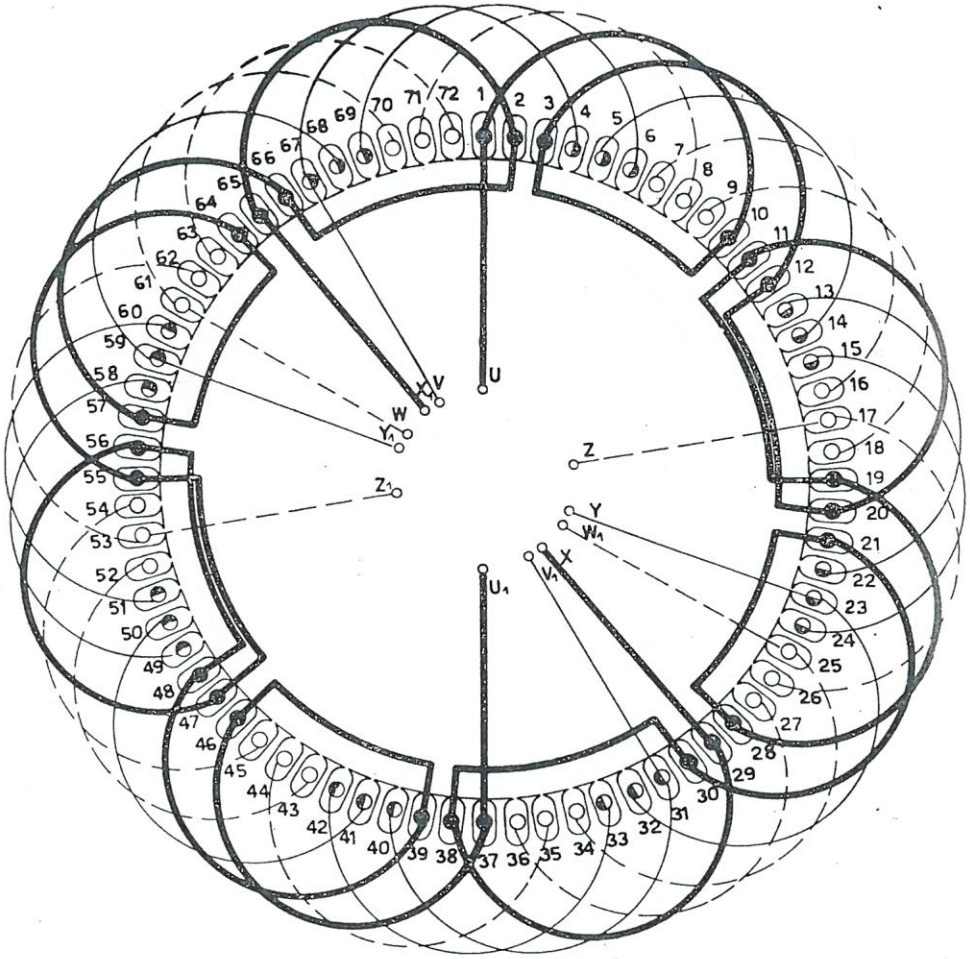
3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,960.

Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

8 poli - 72 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷10
Collegamento 12 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}960$.

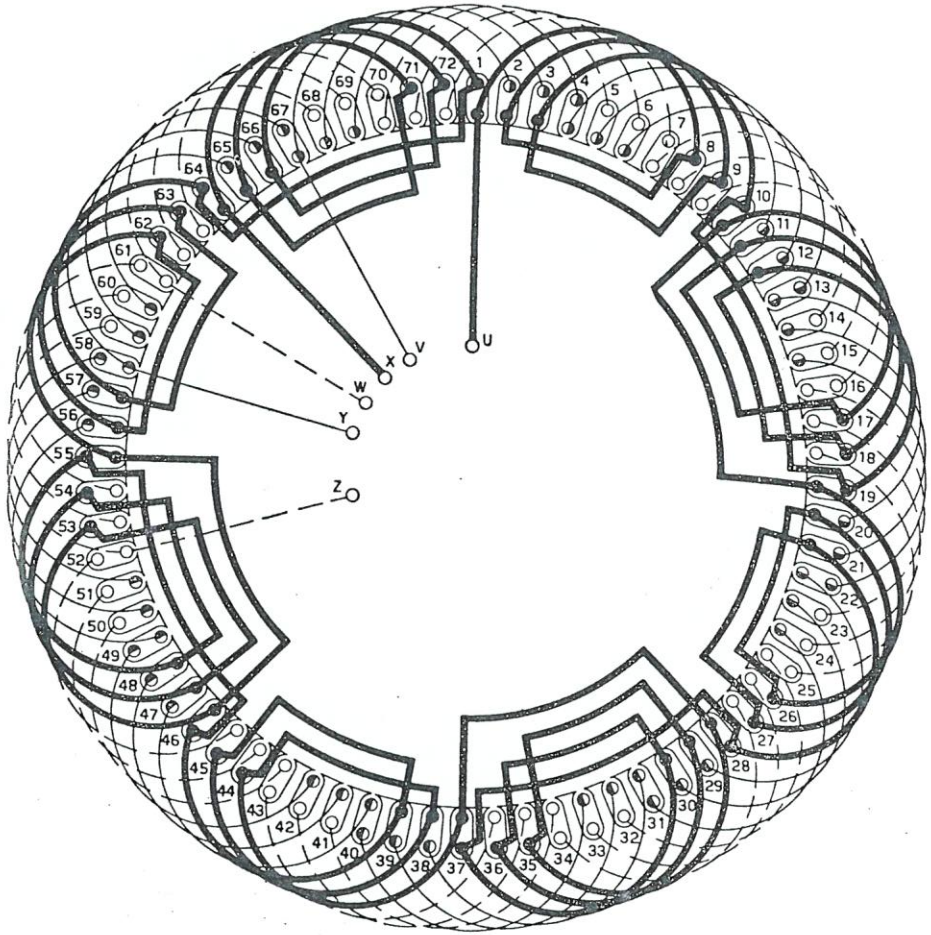
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 1 matassa e 4 di 2 matasse).

Collegamento delle fasi: doppio triangolo, doppia stella, triangolo, stella.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(*Sistema Marelli*)

8 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



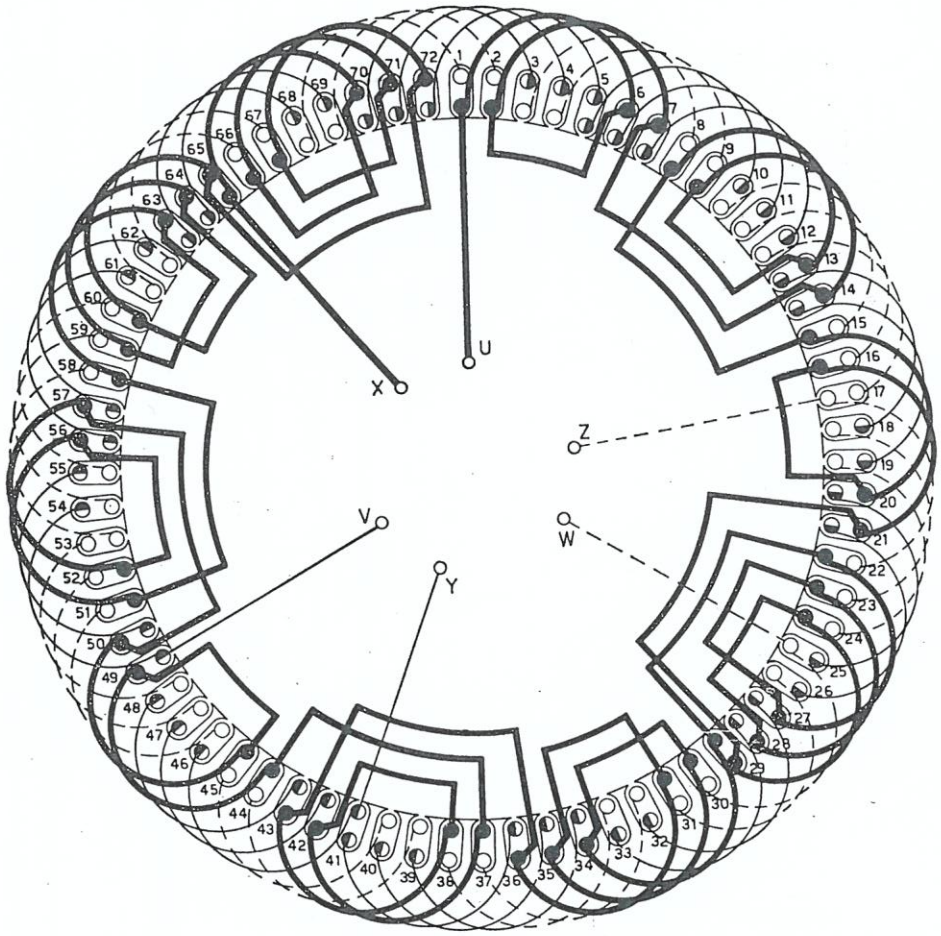
3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}960$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=7/9$ - Fattore di passo $K_p=0{,}940$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}902$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di 3 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

10 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 Collegamento serie - 6 morsetti



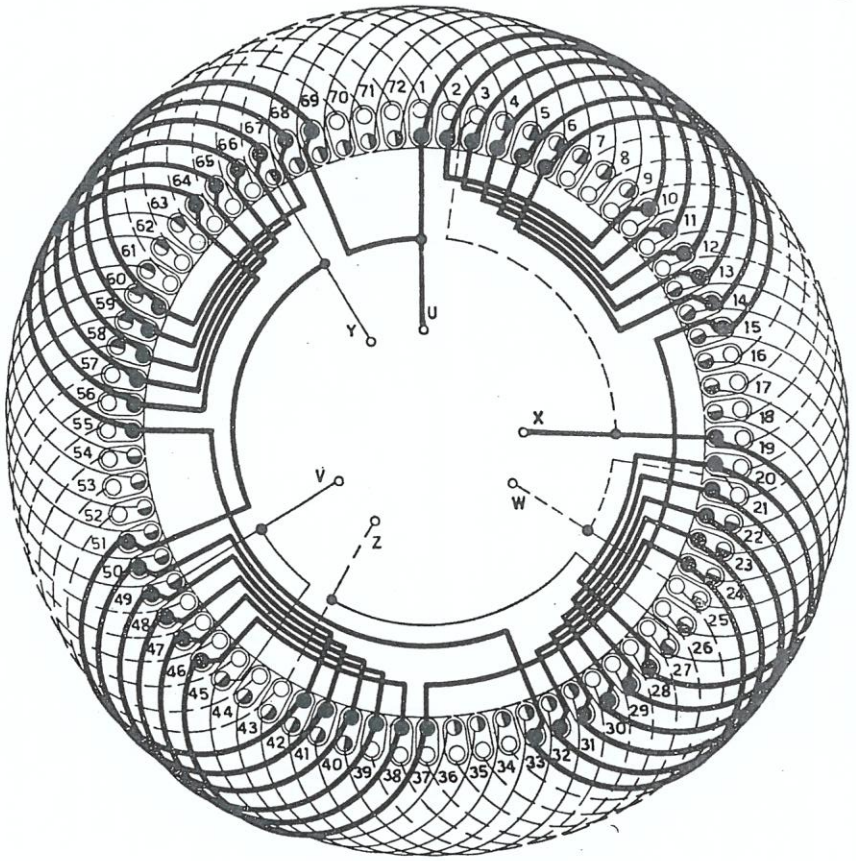
12 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=5/7{,}2$ - Fattore di passo $K_p=0{,}887$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}847$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di matasse per fase disuguali (6 di 2 matasse e 4 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

2 polarità - 8 e 4 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Collegamento 8 poli Δ - 4 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 8 poli: 6 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$ - Poli omonimi (tipo A).

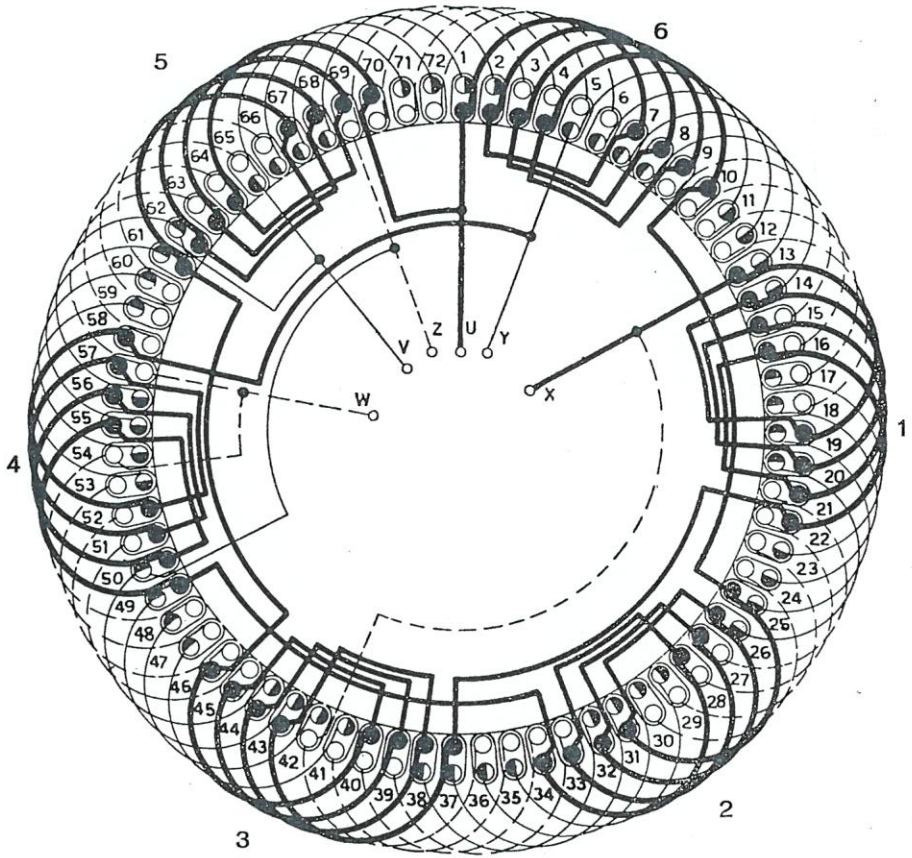
Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 4 poli: 6 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}707$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}676$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

(Schema C.G.E.)

2 polarità - 12 e 6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

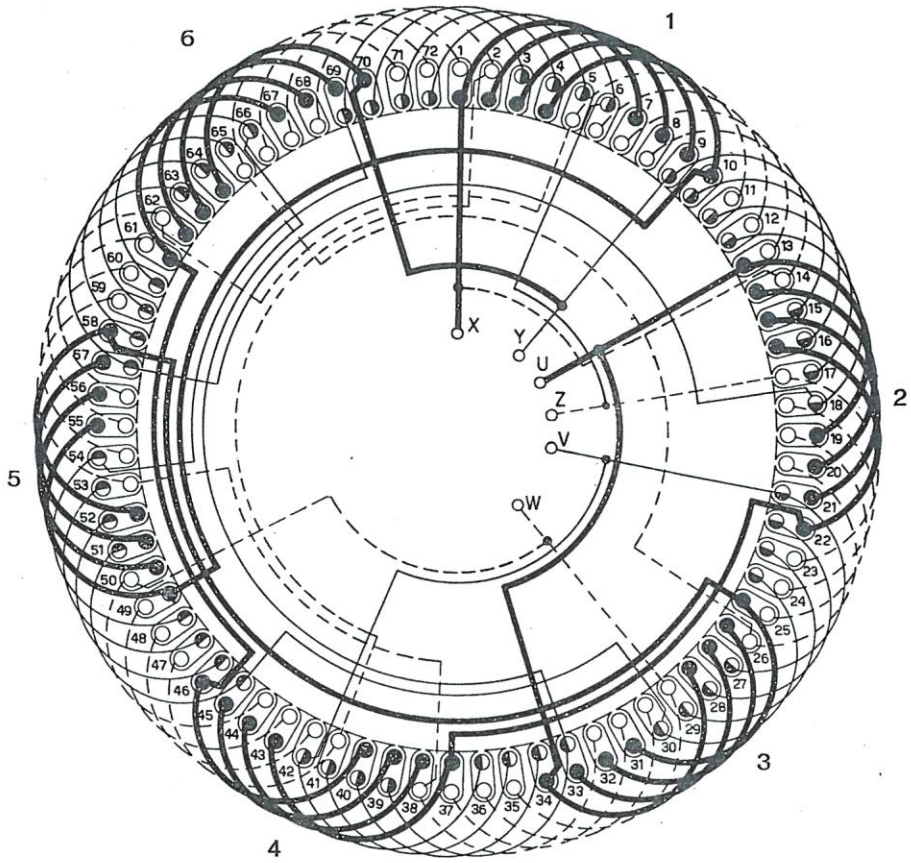
Funzionamento a 12 poli: 4 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,837 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

Funzionamento a 6 poli: 4 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,956 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore di avvolgimento K_a=0,677 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

2 polarità - 12 e 6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 12 poli Δ - 6 poli YY - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 12 poli: 4 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,837 - Poli omonimi (tipo A).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

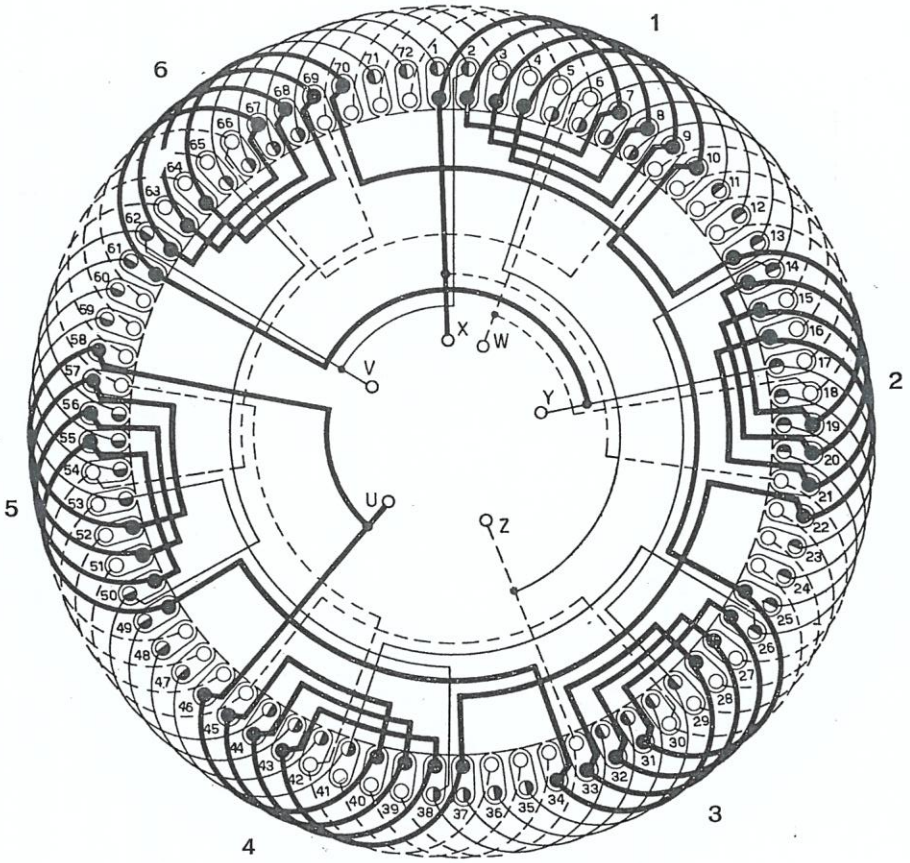
Funzionamento a 6 poli: 4 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,956 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=0,5 - Fattore di passo K_p=0,707 - Fattore di avvolgimento K_a=0,677 - Poli alternati (tipo B).

Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

(*Schema C.G.E. per funzionamento a potenza variabile*).

Questo avvolgimento è identico a quello della tavola precedente: è diverso soltanto il senso dei collegamenti dei gruppi di matasse (collegamenti estesi a tutte tre le fasi).

2 polarità - 12 e 6 poli - 72 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento 12 poli YY - 6 poli Δ - 6 morsetti



Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate).

Funzionamento a 12 poli: 4 matasse/gruppo - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}837$ - Poli omonimi (tipo A).

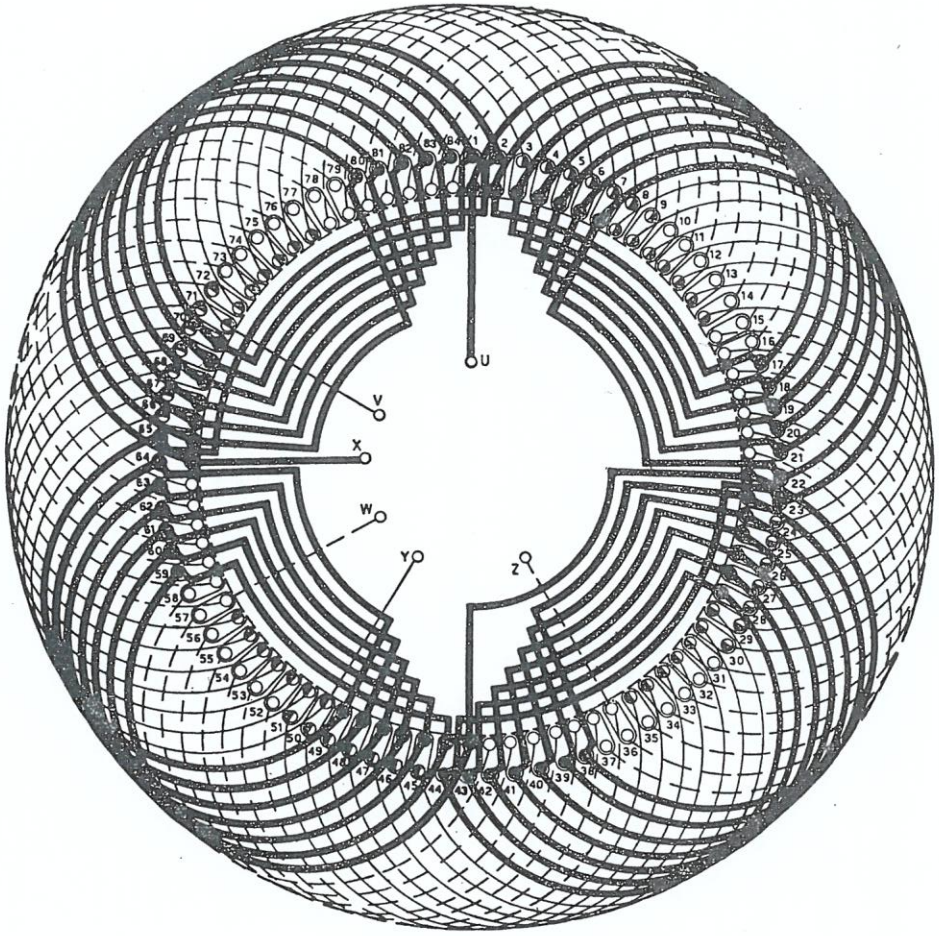
Collegamento a doppia stella - Morsetti U, V, W alla linea e gli altri 3 riuniti a stella.

Funzionamento a 6 poli: 4 matasse/gruppo - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=0{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}707$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}677$ - Poli alternati (tipo B).

Collegamento normale a triangolo (interno) - Morsetti X, Y, Z alla linea e gli altri 3 liberi.

(*Schema C.G.E. per funzionamento a potenza costante*).

4 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷17 Collegamento serie - 6 morsetti



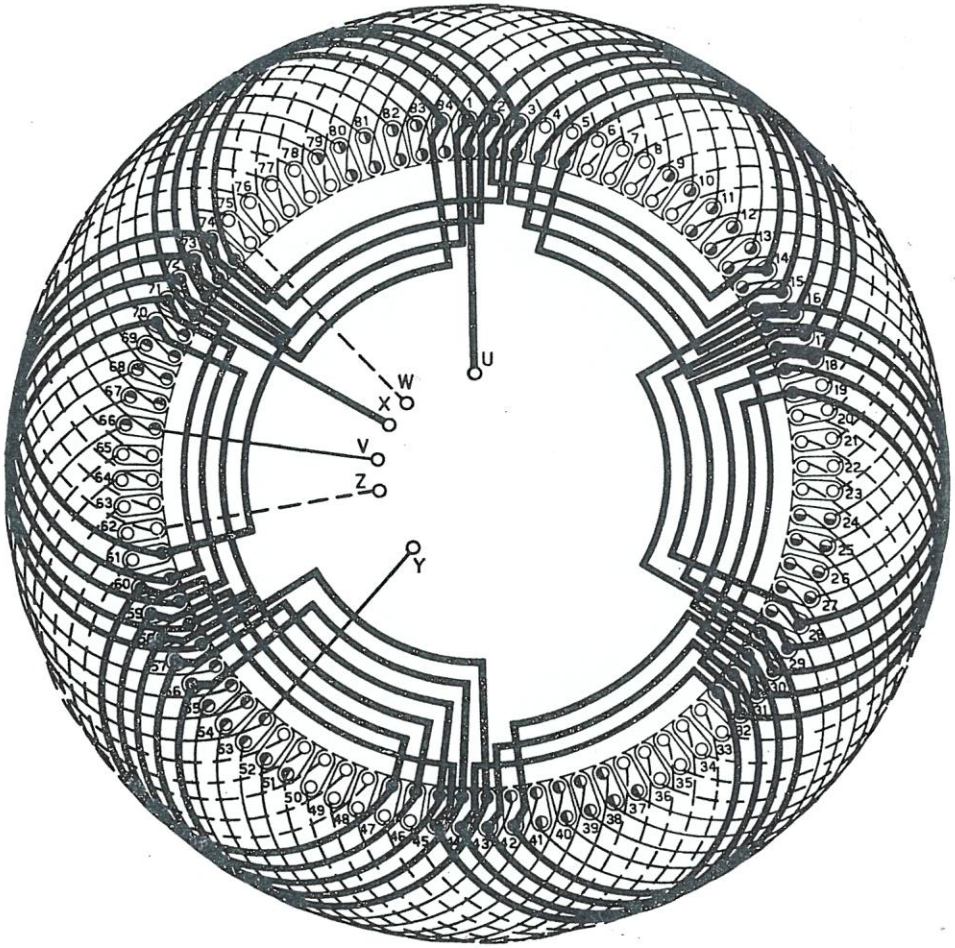
7 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=16/21$ - Fattore di passo $K_p=0{,}931$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}890$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 7 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷14
Collegamento serie - 6 morsetti

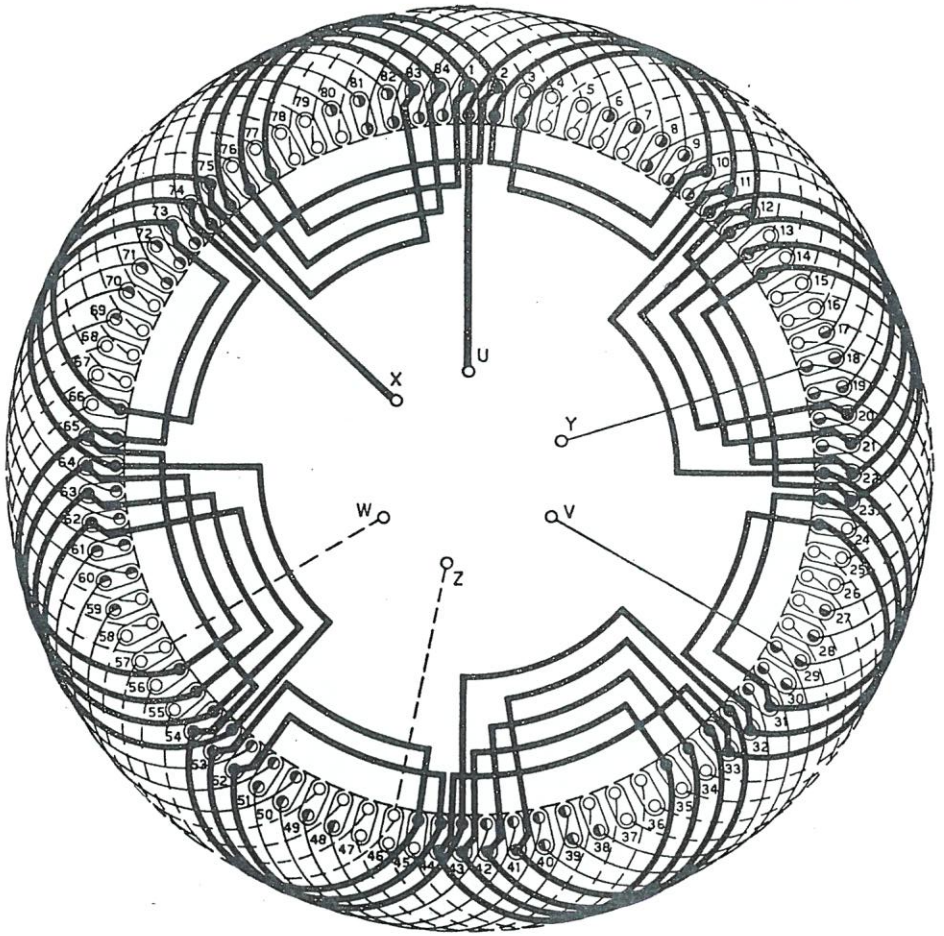


14 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,955 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=13/14 - Fattore di passo K_p=0,994 - Fattore di avvolgimento K_a=0,949.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 4 matasse e 4 di 5 matasse).

Avvolgimento dissimmetrico.

8 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷10
Collegamento serie - 6 morsetti



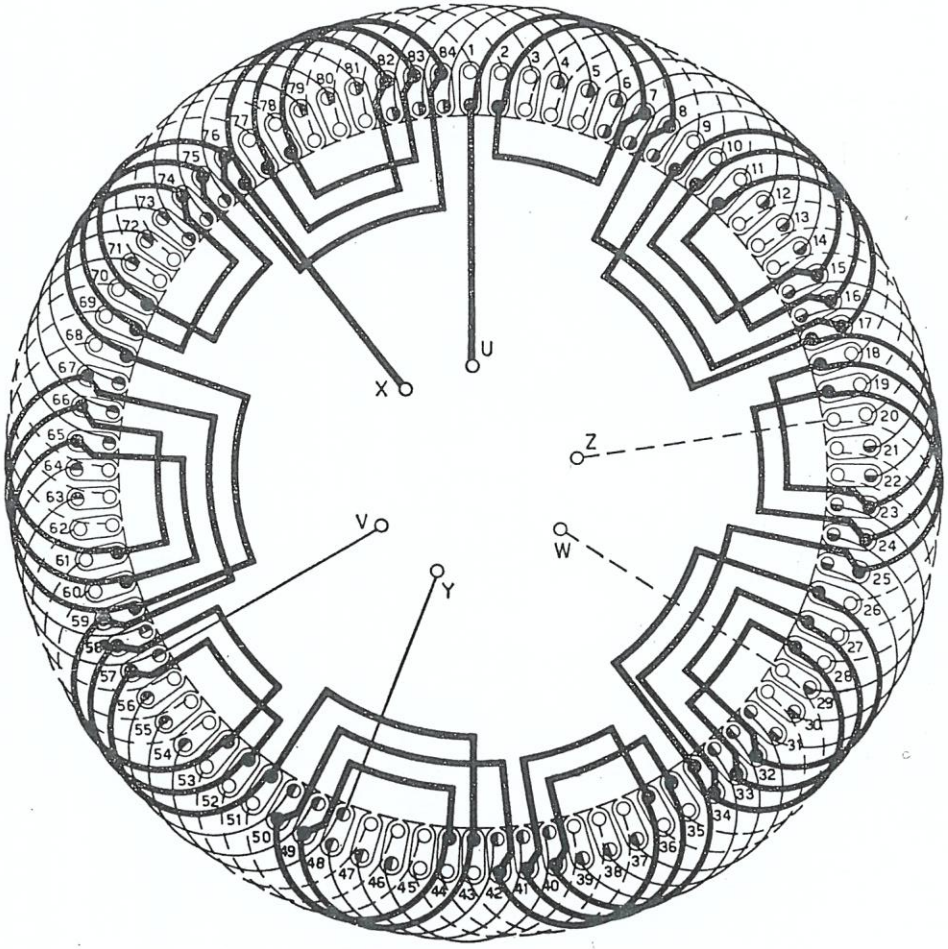
7 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d= 0,956 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=9/10,5 - Fattore di passo K_p=0,975 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,932.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (4 di 3 matasse e 4 di 4 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

10 poli - 84 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 6 morsetti



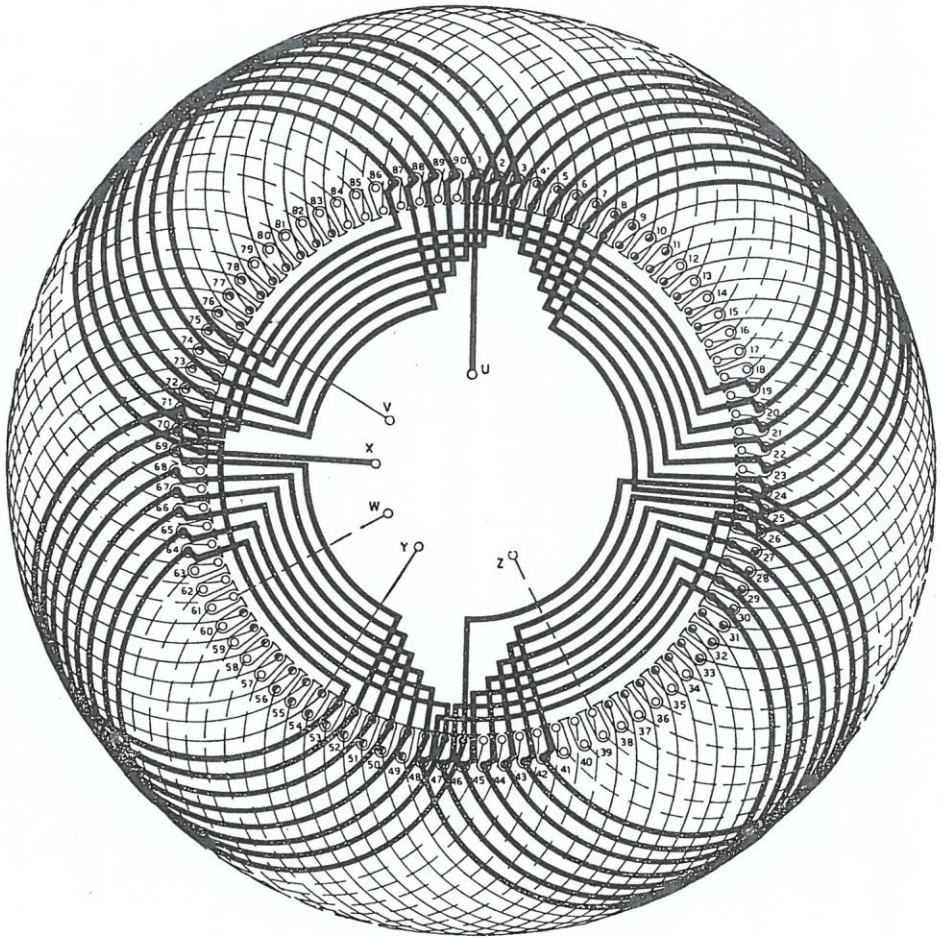
14 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=6/8{,}4$ - Fattore di passo $K_p=0{,}901$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}860$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 2 matasse e 8 di 3 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+3 . 360° elettrici.

4 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷19
Collegamento serie - 6 morsetti



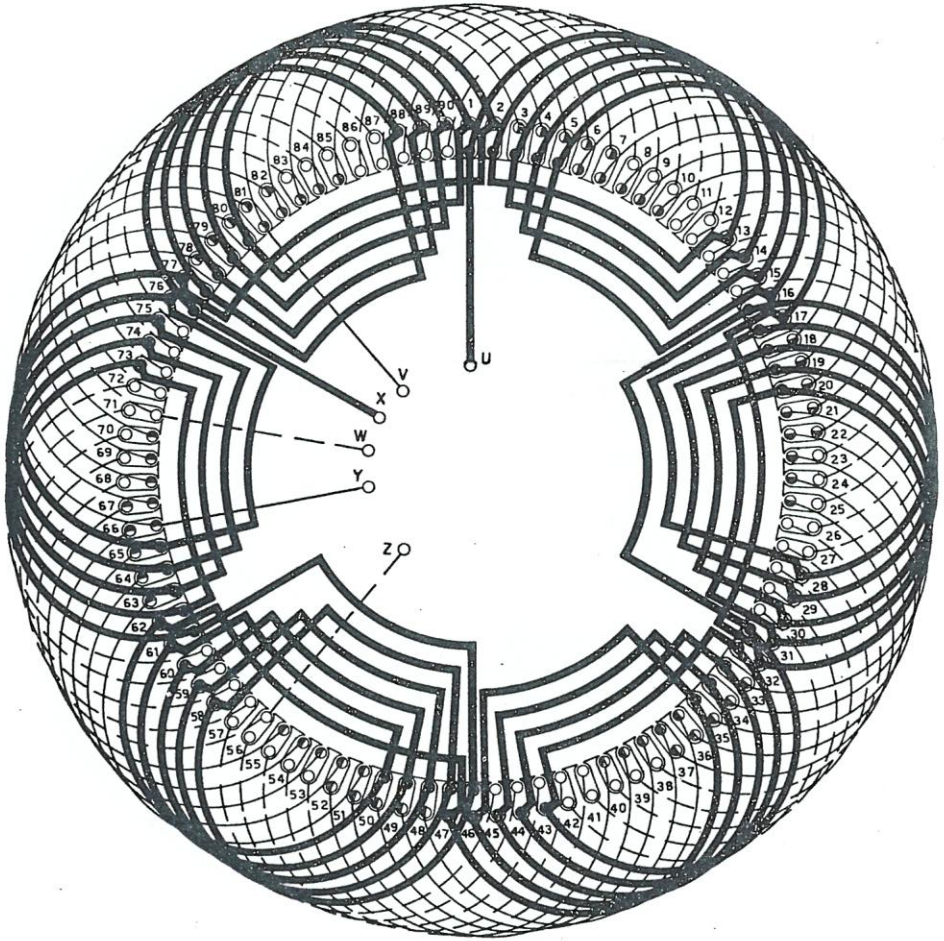
15 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=18/22{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}951$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}907$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 7 matasse e 2 di 8 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

6 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷13
Collegamento serie - 6 morsetti



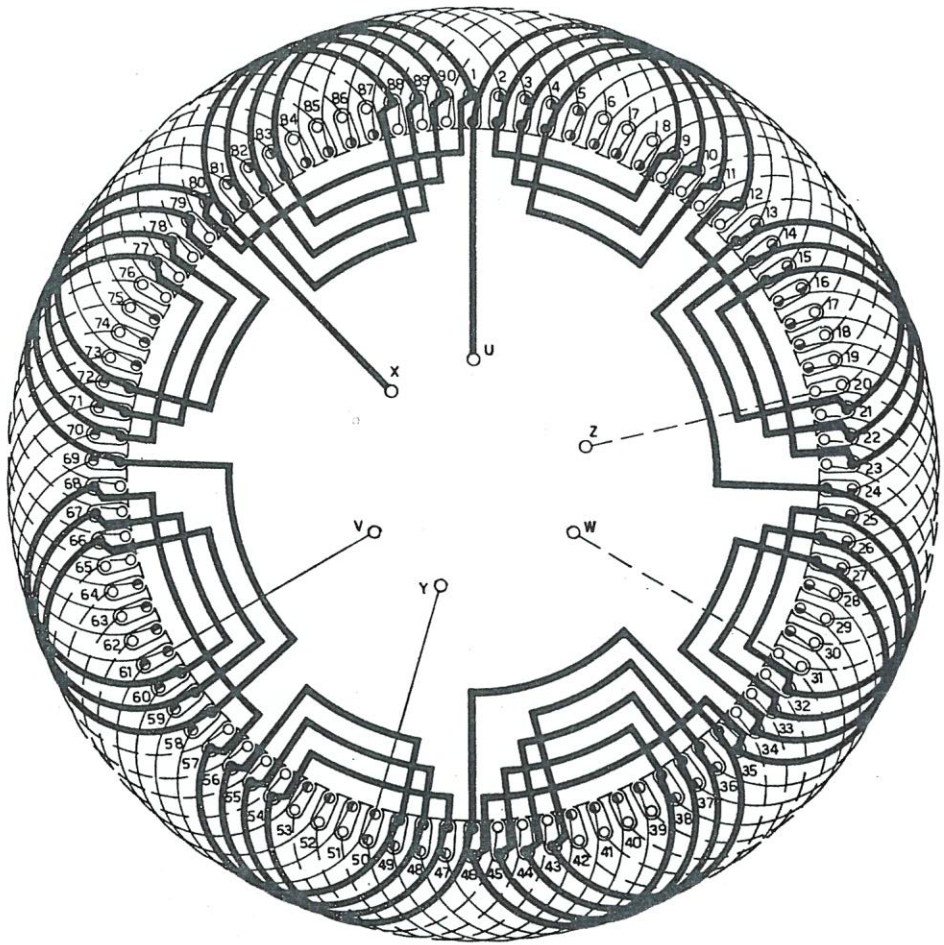
5 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,957$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=12/15$ - Fattore di passo $K_p=0,951$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,910$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 5 matasse per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

8 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9
Collegamento serie - 6 morsetti



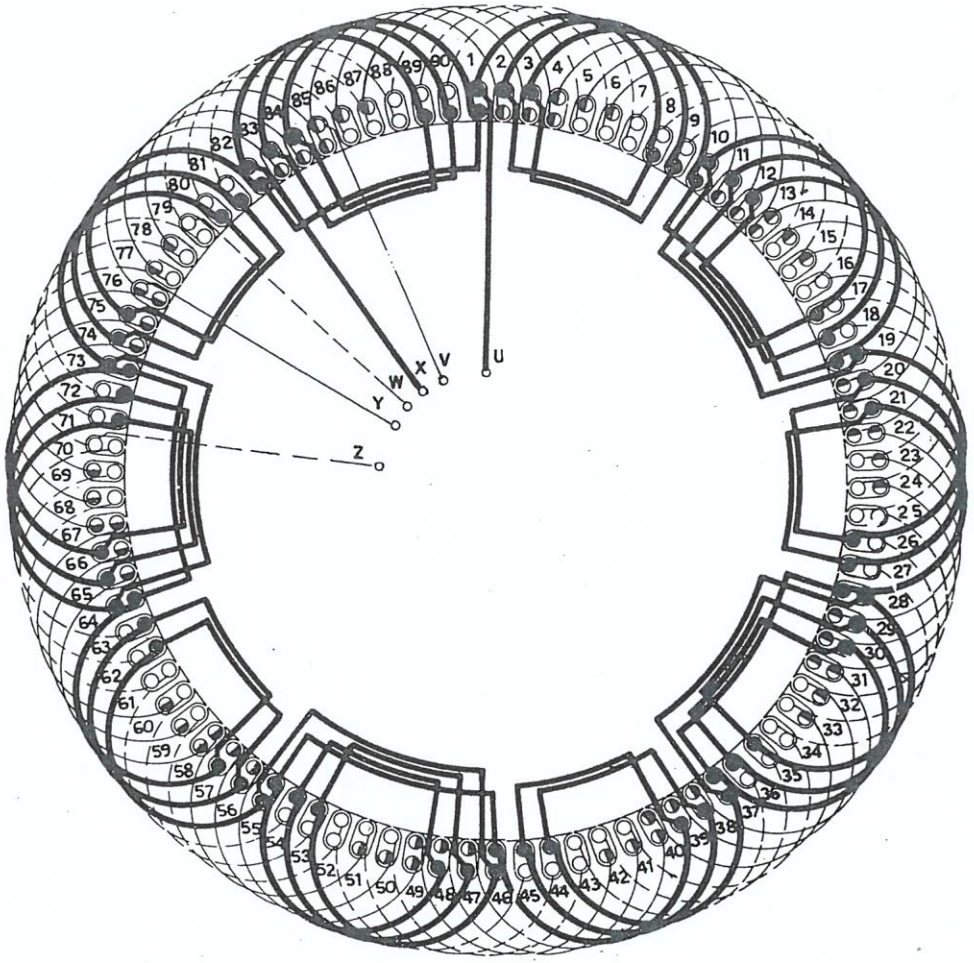
15 matasse/settore - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0,955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=8/11,25$ - Fattore di passo $K_p=0,899$ - Fattore di avvolgimento $K_a=0,859$.

Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di matasse per fase disuguali (2 di 3 matasse e 6 di 4 matasse).

Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

10 poli - 90 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie - 6 morsetti



3 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione K_d=0,960 - Coefficiente di raccorciamento y_c/τ=7/9 - Fattore di passo K_p=0,940 - Fattore d'avvolgimento K_a=0,902.

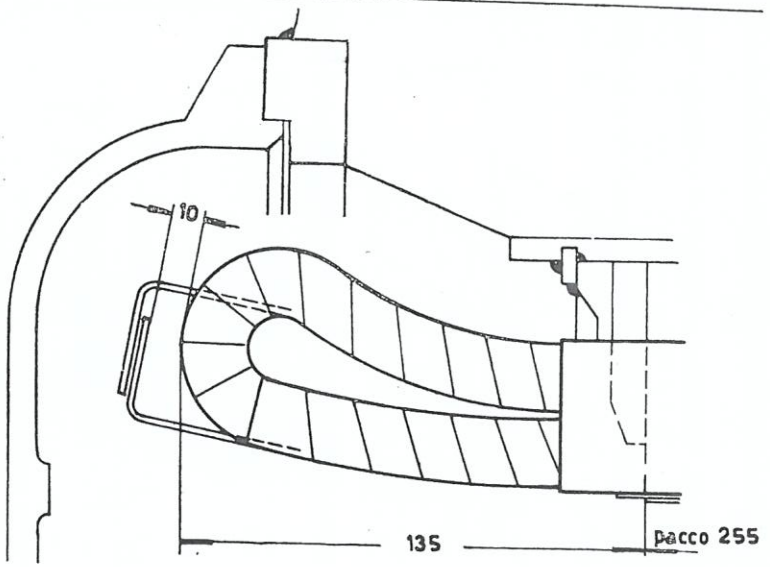
Avvolgimento a corona (matasse eguali - spirali embricate) - Poli alternati (tipo B) - 10 gruppi di 3 matasse per fase.

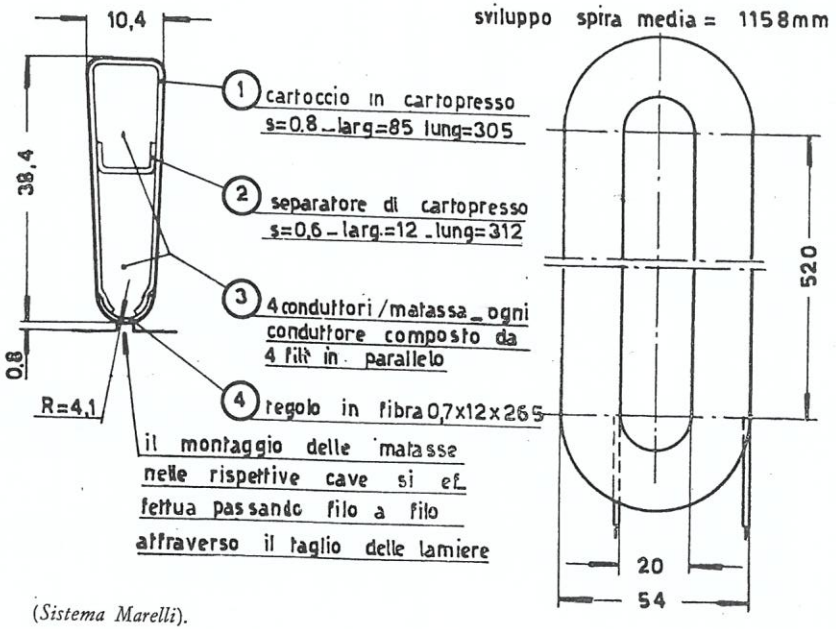
Collegamento delle fasi: stella o triangolo.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(*Vedi tavole* CCXXIV *e* CCXXV). (*Schema Marelli*)

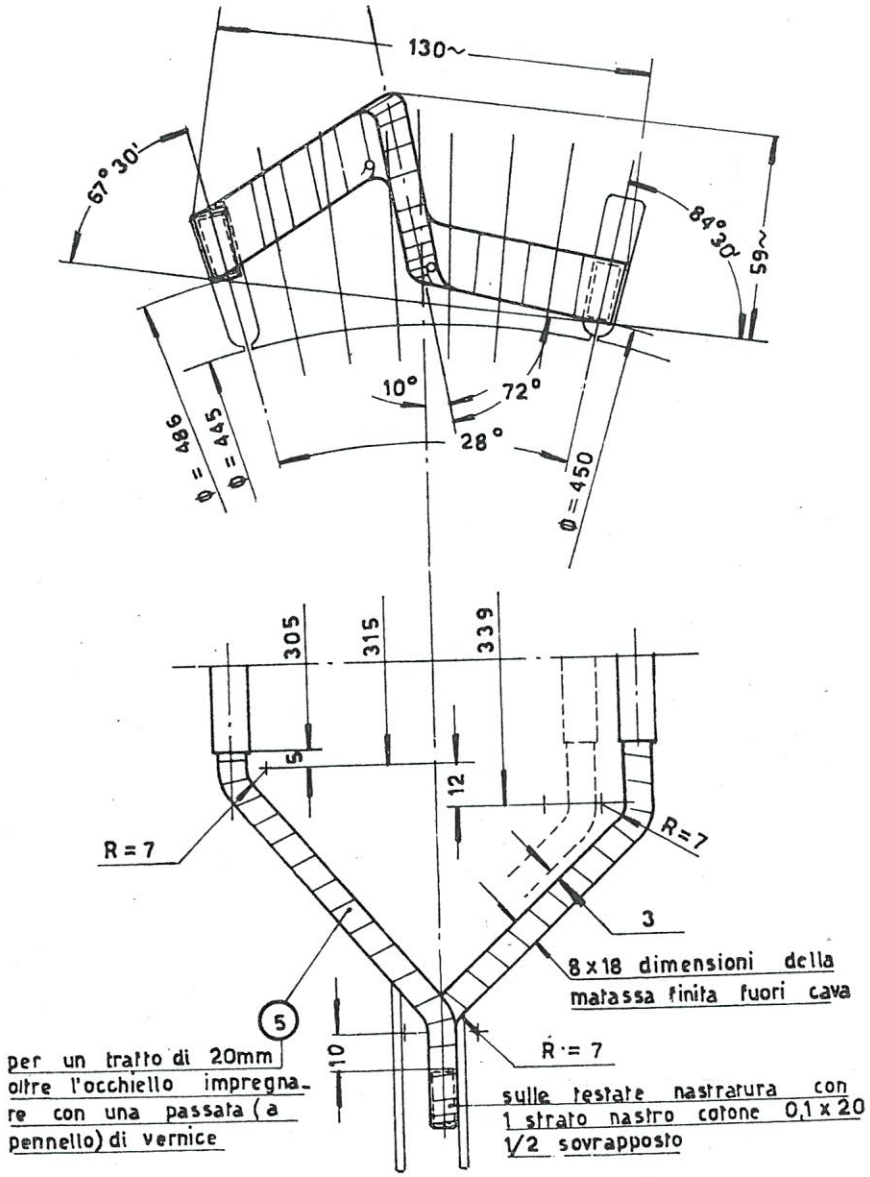
Foglio di lavorazione dell'avvolgimento statorico trifase a matasse della tavola CCXXIII (v. tav. CCXXV)



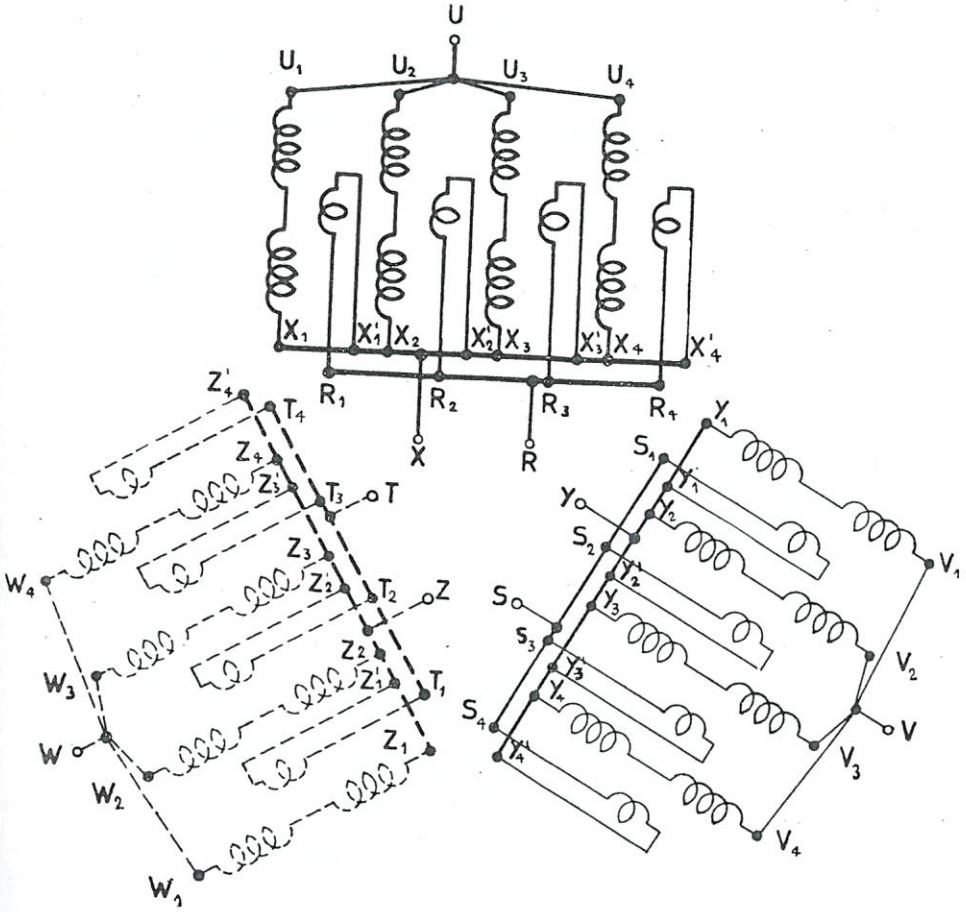


(*Sistema Marelli*).

Foglio di lavorazione dell'avvolgimento statorico a matasse della tavola CCXXIII (v. tav. CCXXIV)



Schema delle connessioni : avvolgimento statorico trifase per 2 frequenze della tavola CCXXVII



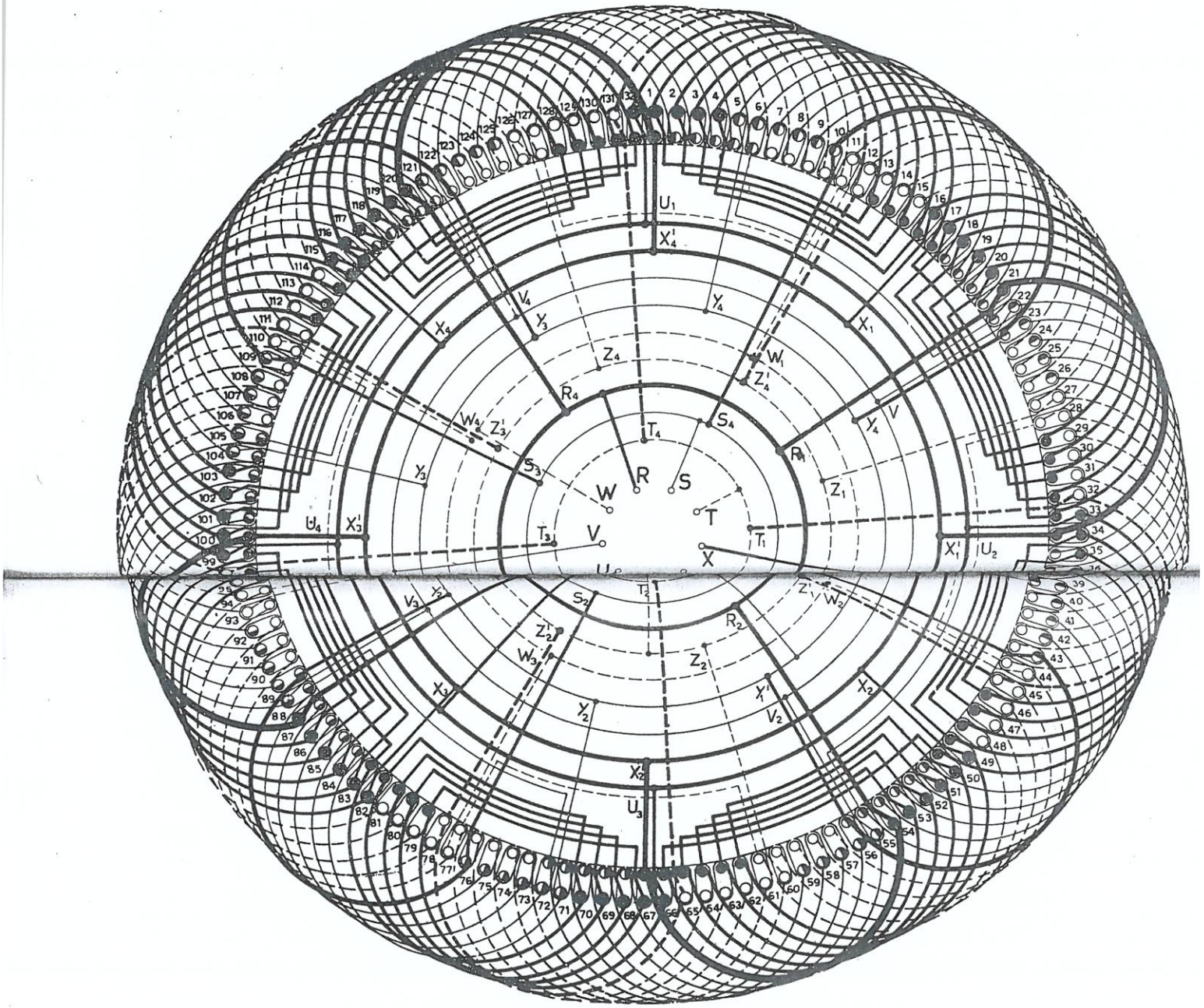
Nel funzionamento alla minore frequenza si aggiunge ad ogni circuito in parallelo una matassa in serie (matassa complementare).

Per la maggiore frequenza: X, Y, Z riuniti a stella e R, S, T liberi.

Per la minore frequenza: R, S, T riuniti a stella e X, Y, Z liberi.

AVVOLGIMENTO STATORICO TRIFASE (C.G.E.) PER 2 FREQUENZE

8 poli - 132 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷14 - Collegamento serie-parallelo - 9 morsetti



5,5 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d=0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau=13/16{,}5$ - Fattore di passo $K_p=0{,}945$ - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}903$.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di 5 matasse per fase per 50 p/s - 8 gruppi di matasse disuguali per 45 p/s (4 di 5 matasse e 4 di 6 matasse) - Gruppi di matasse in serie per fase 2.

Collegamento delle fasi: YYYY

Morsetti U, V, W alla linea.

Morsetti X, Y, Z terminali per funzionamento a 50 p/s

Morsetti R, S, T terminali per funzionamento a 45 p/s

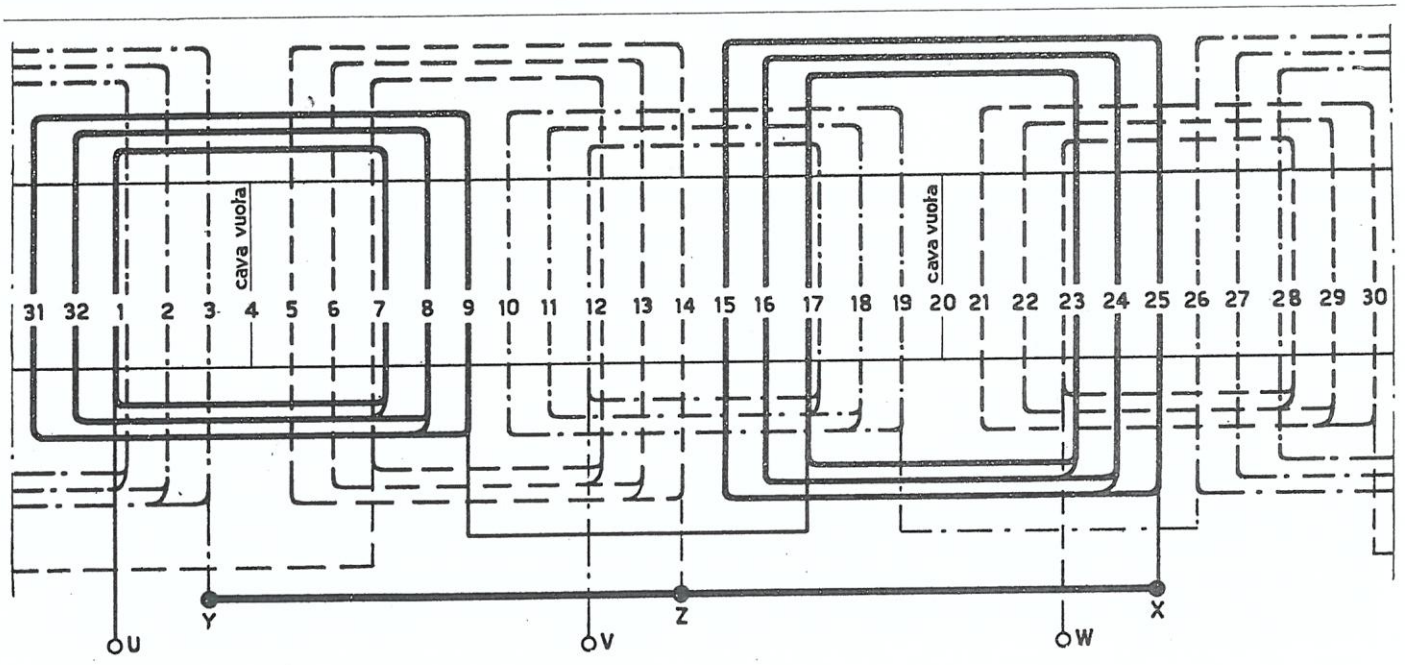
Questo avvolgimento presenta la particolarità di potere funzionare egualmente bene per 2 frequenze. Ogni fase è composta di 44 *matasse collegate come è indicato schematicamente nella tavola* CCXXVI.

Schemi d'avvolgimenti rotorici trifasi (*)

(*) Gli avvolgimenti rotorici a matasse sono identici agli avvolgimenti statorici (concentrici o a corona) e pertanto qui riportiamo alcuni schemi d'avvolgimenti a sbarre.

TAVOLA CCXXVIII

4 poli - 32 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8 e 1÷6; 1÷11, 1÷9 e 1÷7
Collegamento serie (2 cave vuote)



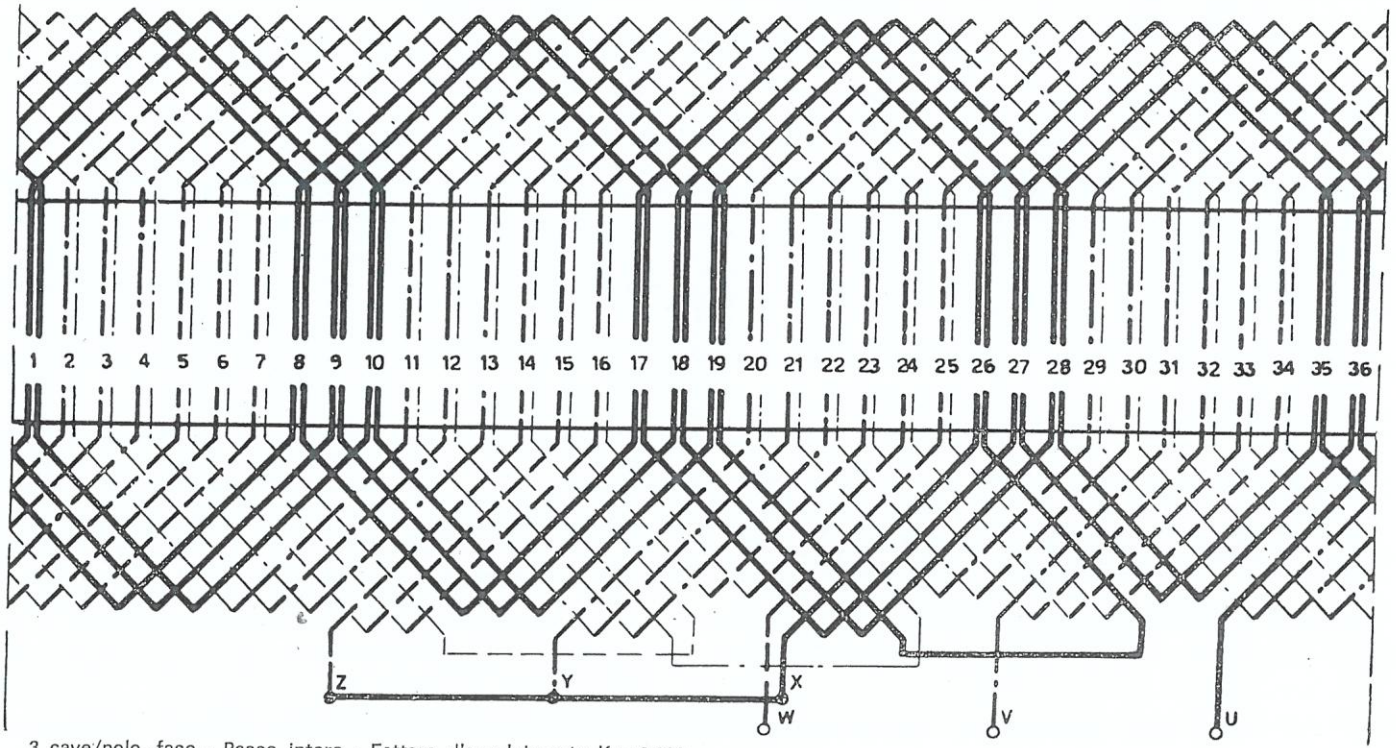
3 matasse/gruppo (*) - Fattori d'avvolgimento K_a=0,949 e 0,931.
Avvolgimento concentrico in 2 ordini - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 3 matasse per fase.
Collegamento delle fasi a stella.
Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

(*Schema C.G.E.*)

(*) *Le matasse interne hanno metà spire delle altre.*

TAVOLA CCXXIX

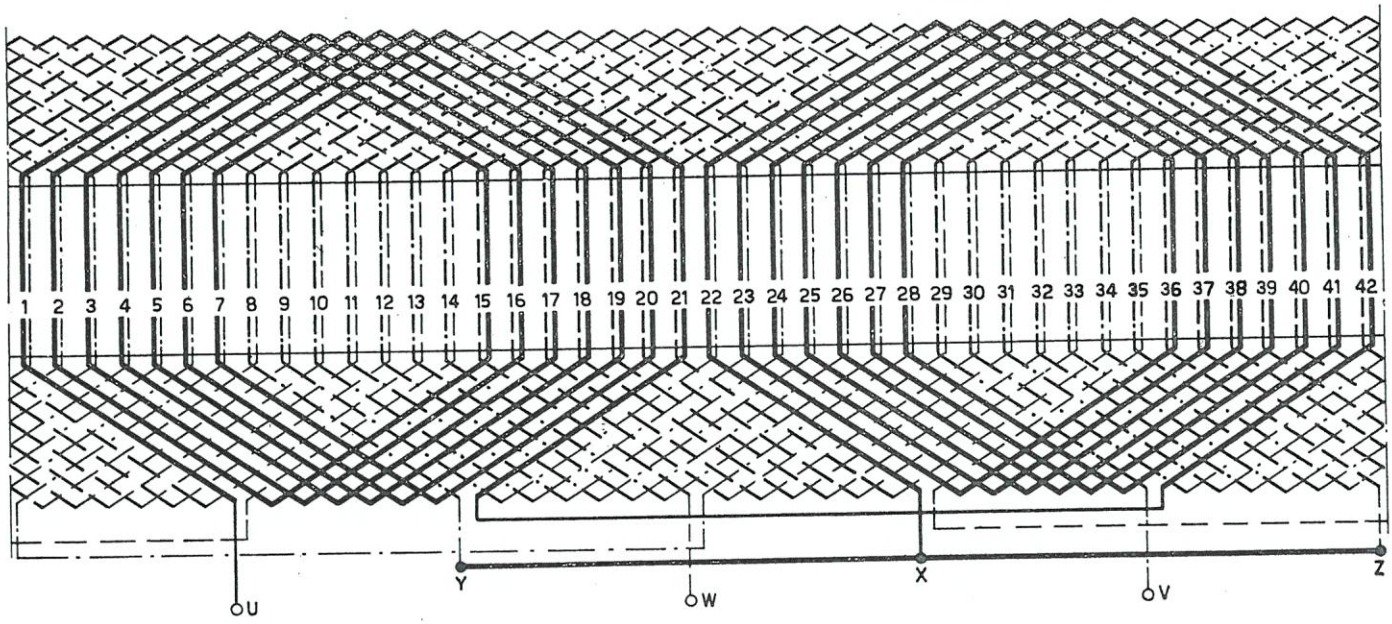
4 poli - 36 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie



3 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento K_a=0,960.
Avvolgimento ondulato a regressione - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 spire per fase.
Collegamento delle fasi a stella.
Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

Questo schema è valevole per tutti gli avvolgimenti rotorici a passo intero - 3 cave per polo-fase - 2 sbarre/cava.

2 poli - 42 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷15 - Collegamento serie



7 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d = 0{,}956$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau = 14/21$ - Fattore di passo $K_p = 0{,}866$ - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}828$.

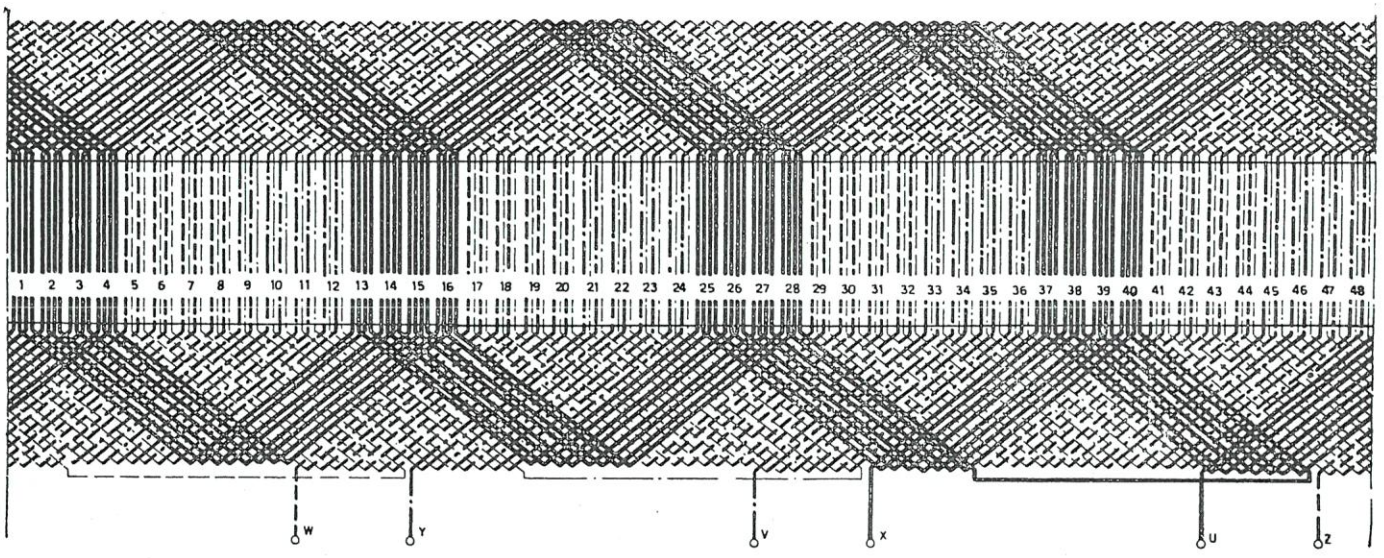
Avvolgimento embricato - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 7 spire per fase.

Collegamento delle fasi a stella.

Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

(Schema C.G.E.)

4 poli - 48 cave - 4 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie



4 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}958$.
Avvolgimento ondulato a regressione - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 8 spire per fase.
Collegamento delle fasi a stella.
Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

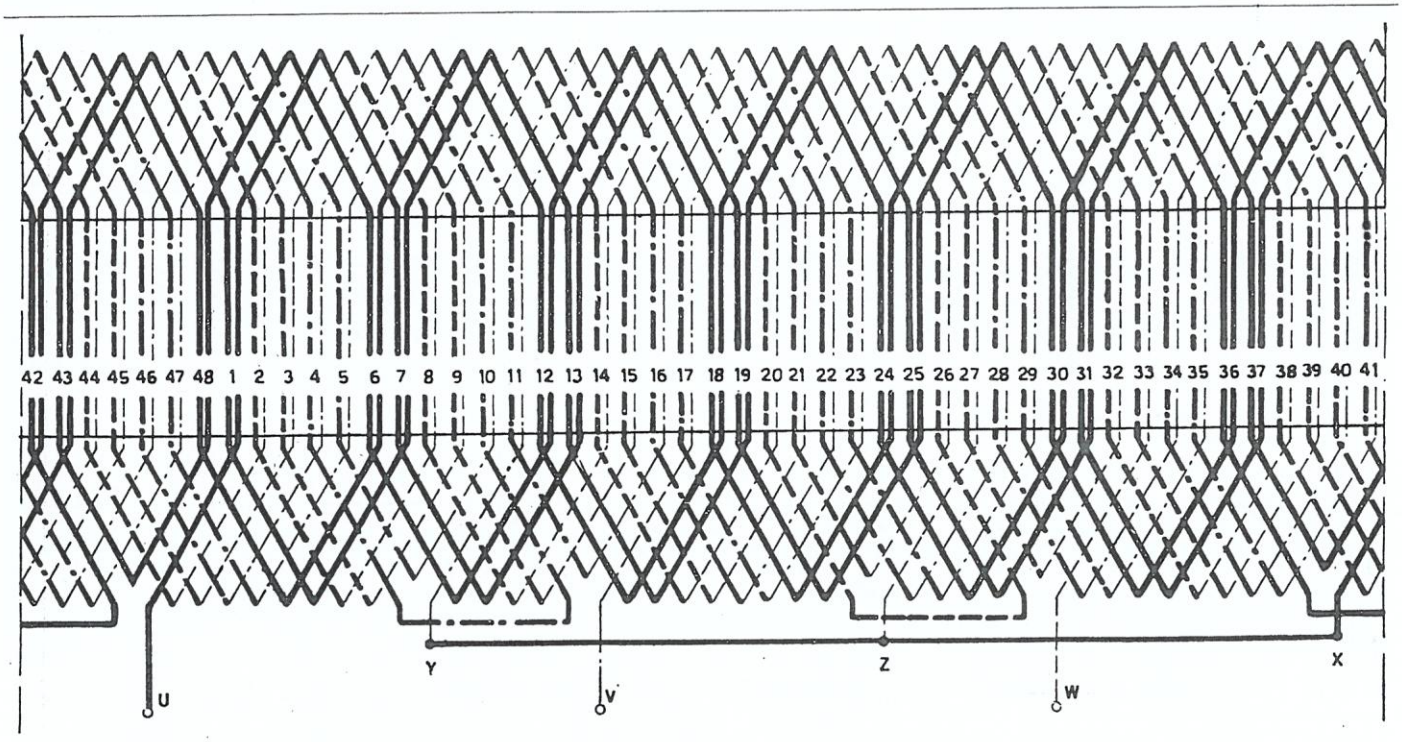
(Schema C.G.E.)

Questo schema è valevole per tutti gli avvolgimenti rotorici a passo intero - 4 cave per polo-fase - 4 sbarre/cava.

Numero poli	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Numero cave	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264
Numero barre	192	288	384	480	576	672	768	864	960	1056

TAVOLA CCXXXII

8 poli - 48 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie

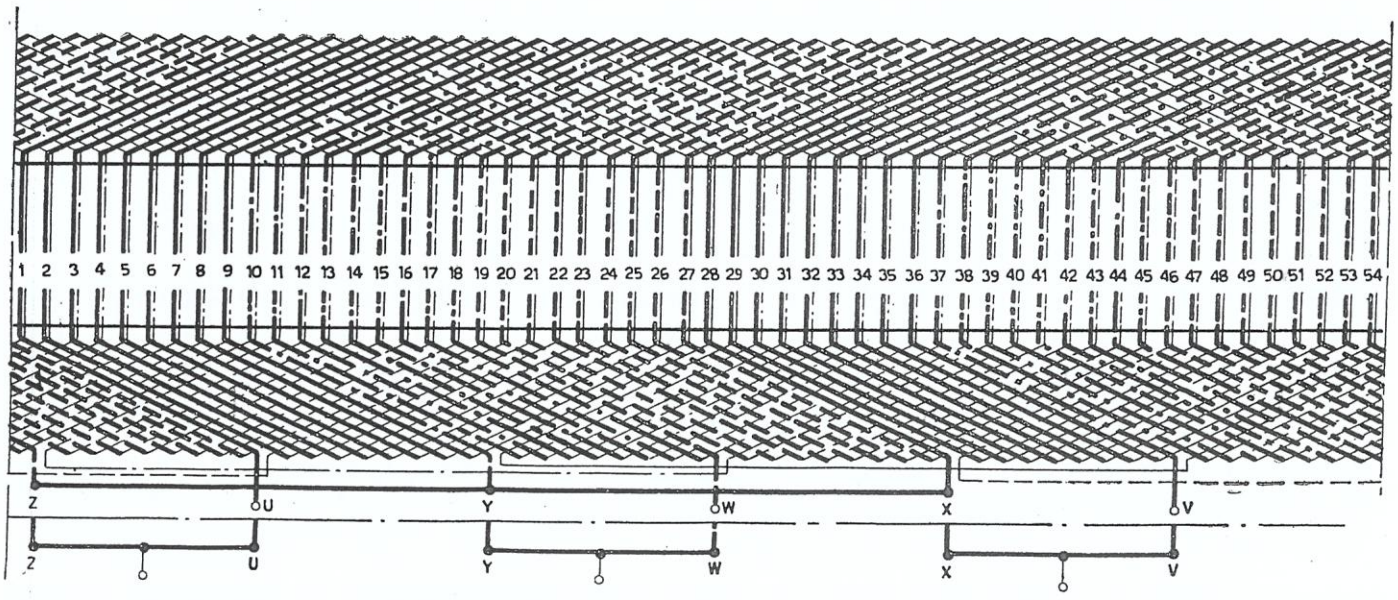


2 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}966$.
Avvolgimento ondulato a regressione - Poli alternati (tipo B) - 8 gruppi di 2 spire per fase.
Collegamento delle fasi a stella.
Distanza tra i capi delle fasi 120°+360° elettrici.

Questo schema è valevole per tutti gli avvolgimenti rotorici a passo intero - 2 cave per polo-fase - 2 sbarre/cava.

TAVOLA CCXXXIII

2 poli - 54 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷21 - Collegamento serie



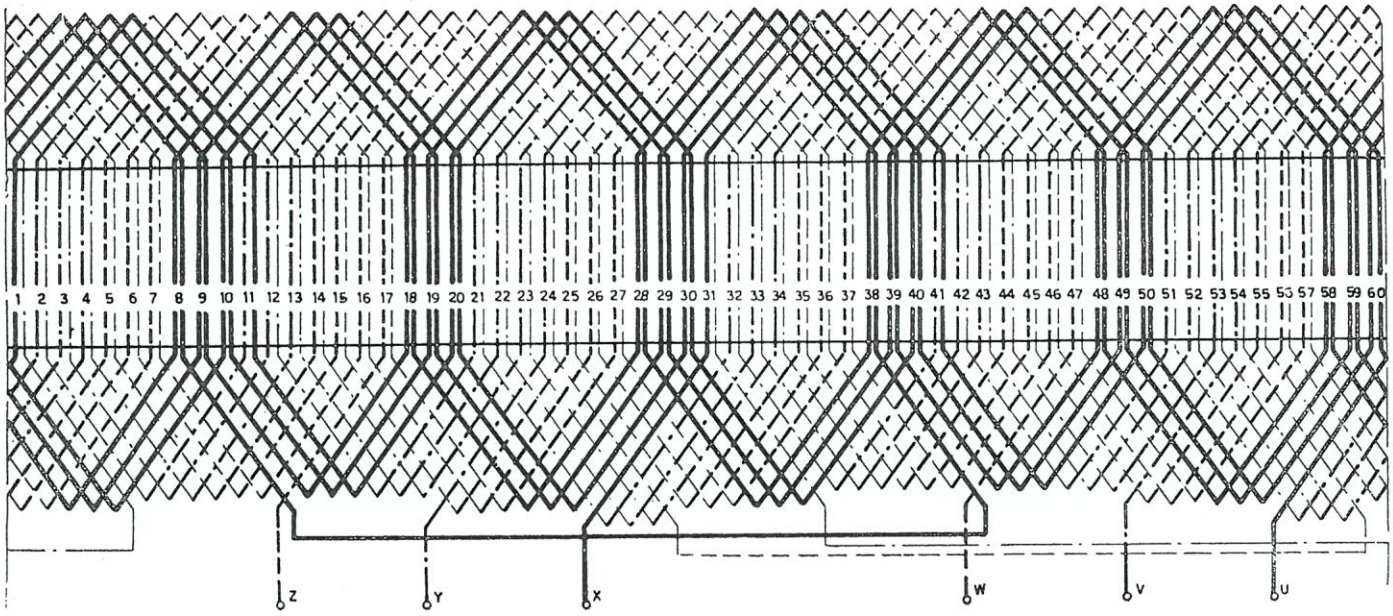
9 cave/polo . fase - Passo raccorciato - Fattore di distribuzione $K_d = 0{,}955$ - Coefficiente di raccorciamento $y_c/\tau = 20/27$ - Fattore di passo $K_p = 0{,}918$ - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}877$.

Avvolgimento embricato - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 9 spire per fase.

Collegamento delle fasi: stella o triangolo. Distanza tra i capi delle fasi 120° elettrici.

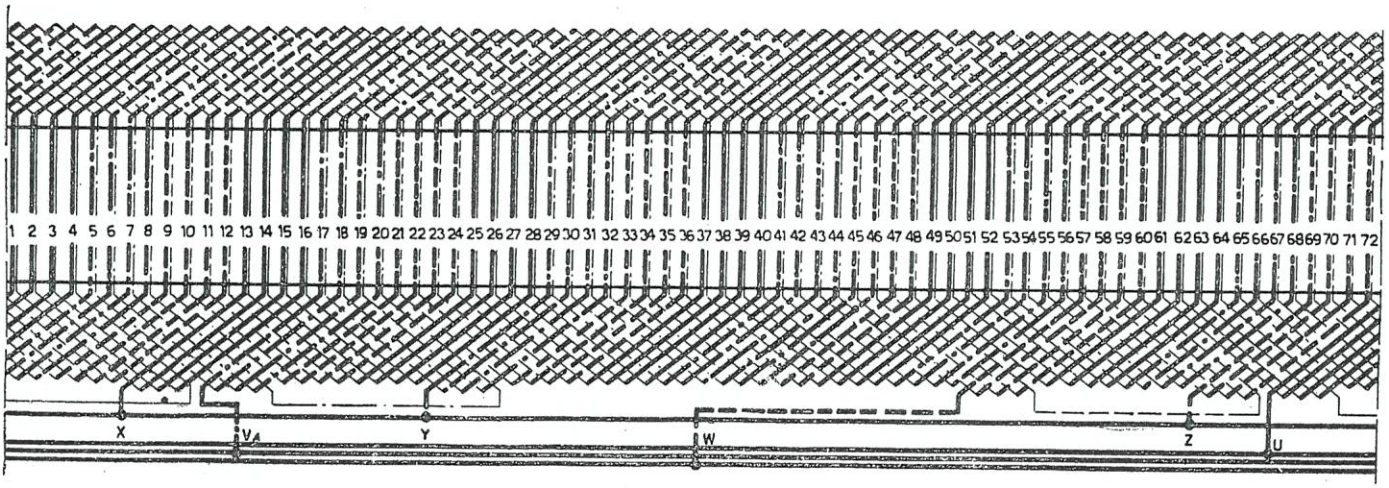
(*Schema Brown Boveri*)

6 poli - 60 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷11 - Collegamento serie



10 matasse/settore - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}956$.
Avvolgimento ondulato a regressione - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di spire per fase disuguali (4 di 3 spire e 2 di 4 spire).
Collegamento delle fasi a stella.
Avvolgimento dissimmetrico.

6 poli - 72 cave - 2 sbarre/cava - Passo avvolgimento 1÷13 - Collegamento serie



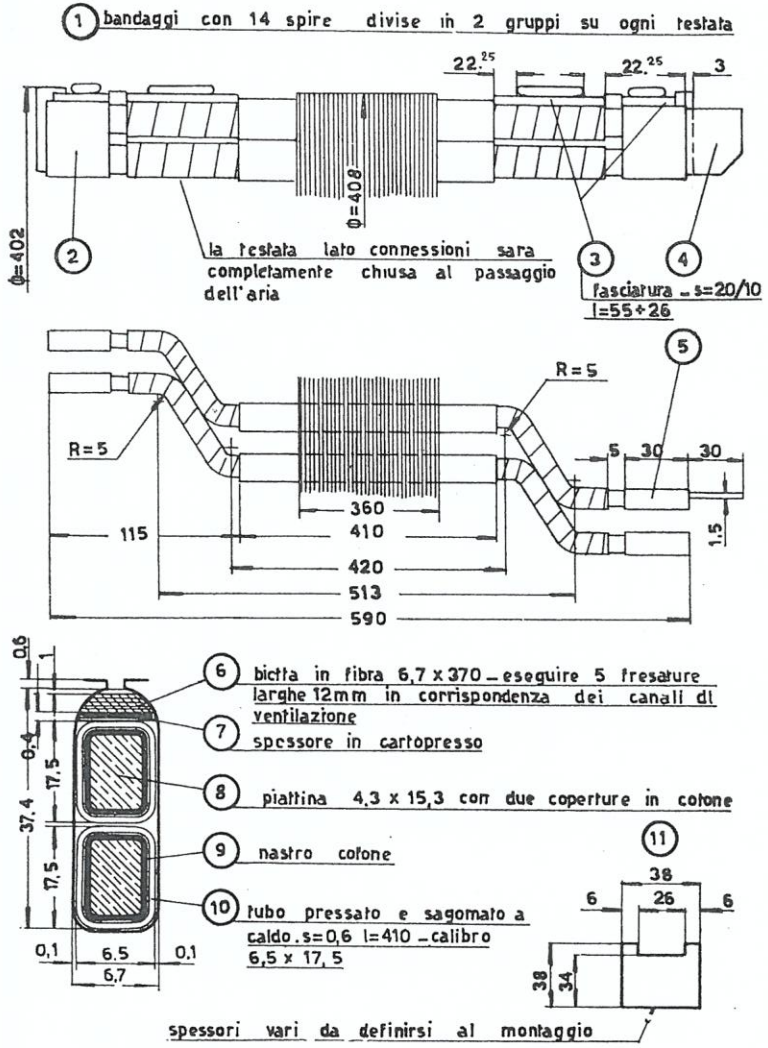
4 cave/polo . fase - Passo intero - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}958$.
Avvolgimento ondulato a regressione - Poli alternati (tipo B) - 6 gruppi di 4 spire per fase.
Collegamento delle fasi a stella.
Distanza tra i capi delle fasi 120°+2 . 360° elettrici.

Questo schema è valevole per tutti gli avvolgimenti rotorici a passo intero - 4 cave per polo-fase - 2 sbarre/cava.

Numero poli	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Numero cave	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264

(*Vedi tavola* CCXXXVI).

Foglio di lavorazione dell'avvolgimento rotorico trifase a sbarre della tavola CCXXXV

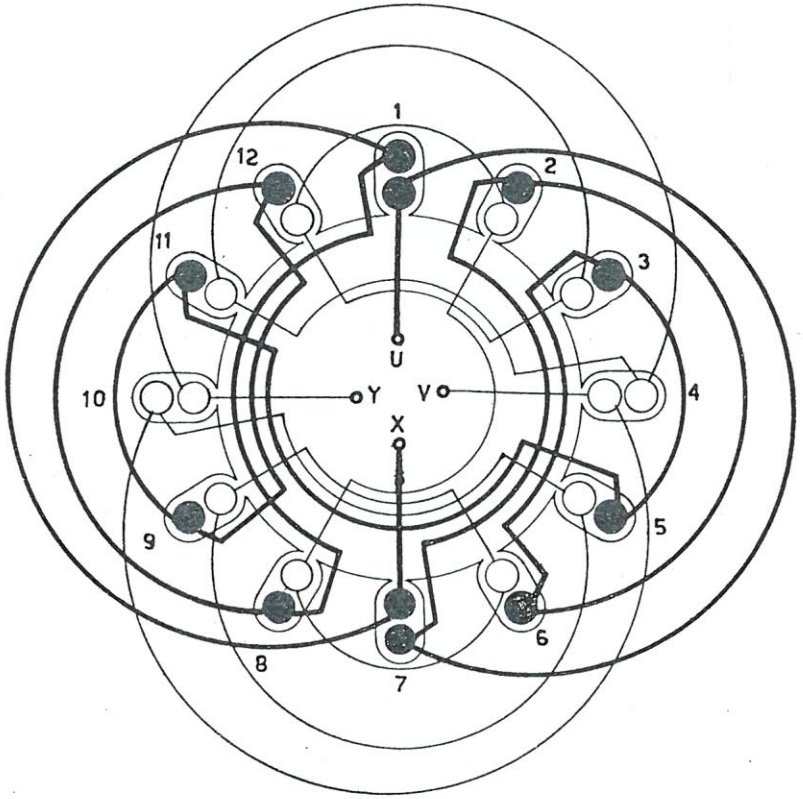


(2) Cassette rame - (3) Fasciature - (4) Palette - (5) Cassette per palette.

(*Sistema Marelli*)

Schemi d'avvolgimenti statorici monofasi

2 poli - 12 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷7, 1÷5 e 1÷3 - Collegamento serie - 4 morsetti

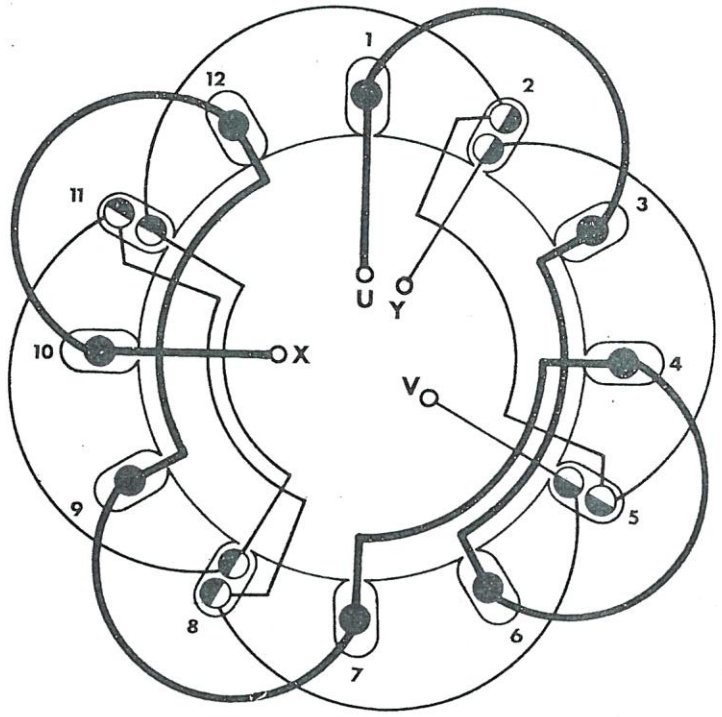


6 cave/polo - 5 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}746$.

Avvolgimento concentrico (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Identico all'avvolgimento principale.

4 poli - 12 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 3 Collegamento serie - 4 morsetti

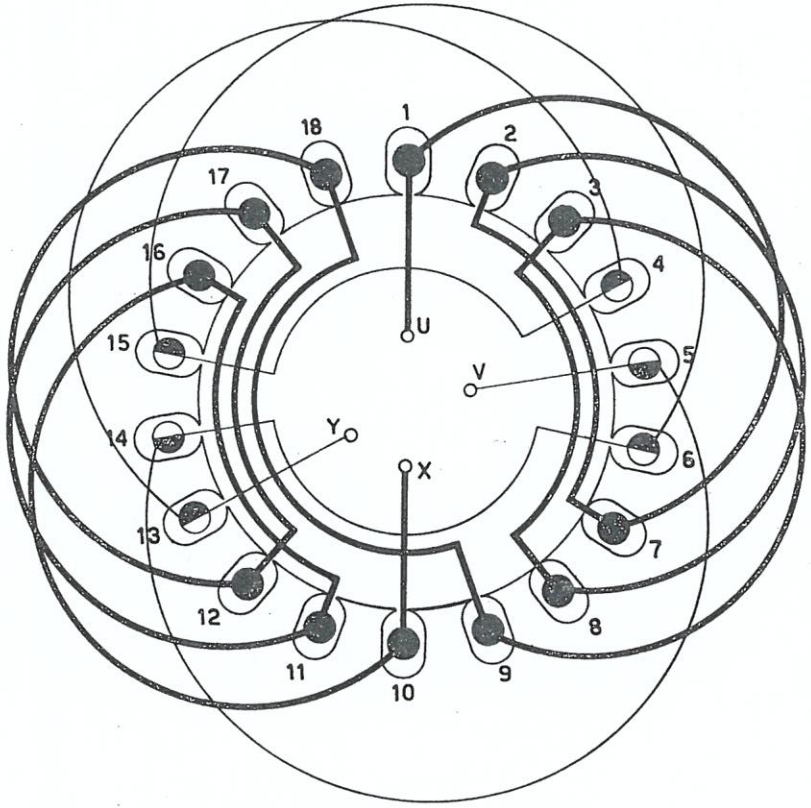


3 cave/polo - 2 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento K = 0,866.

Avvolgimento a spirale - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷4 - Collegamento serie - 1 cava avvolta per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a = 1$ - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa.

2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7 Collegamento serie - 4 morsetti

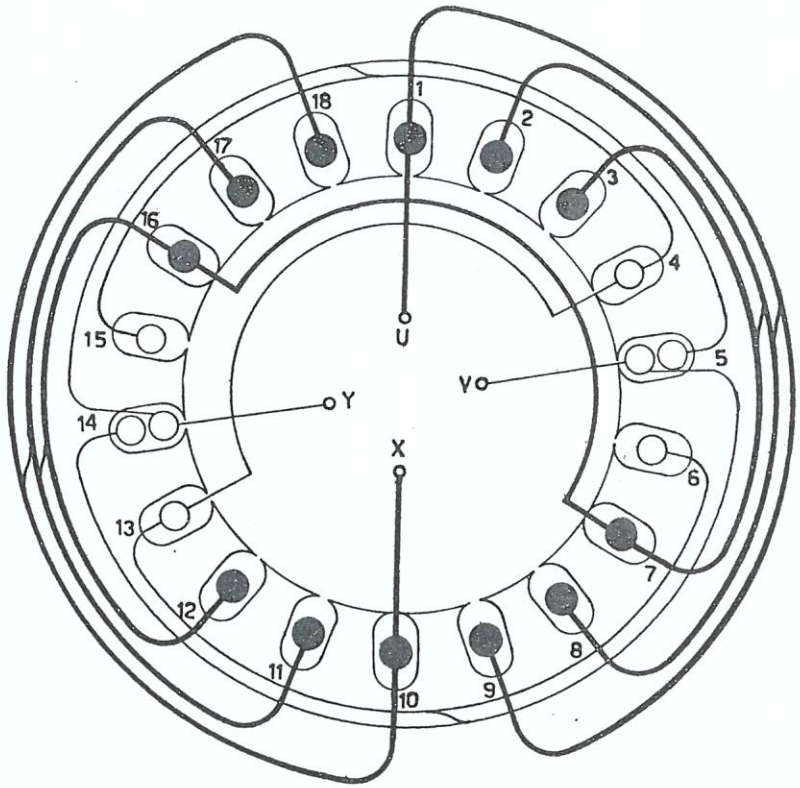


9 cave/polo - 6 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 3 cave avvolte per polo - Fattore di avvolgimento $K_a=0{,}960$ - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di matasse disuguali (1 di 2 matasse ed 1 di 1 matassa).

2 poli - 18 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷9, 1÷7 e 1÷5 - Collegamento serie - 4 morsetti



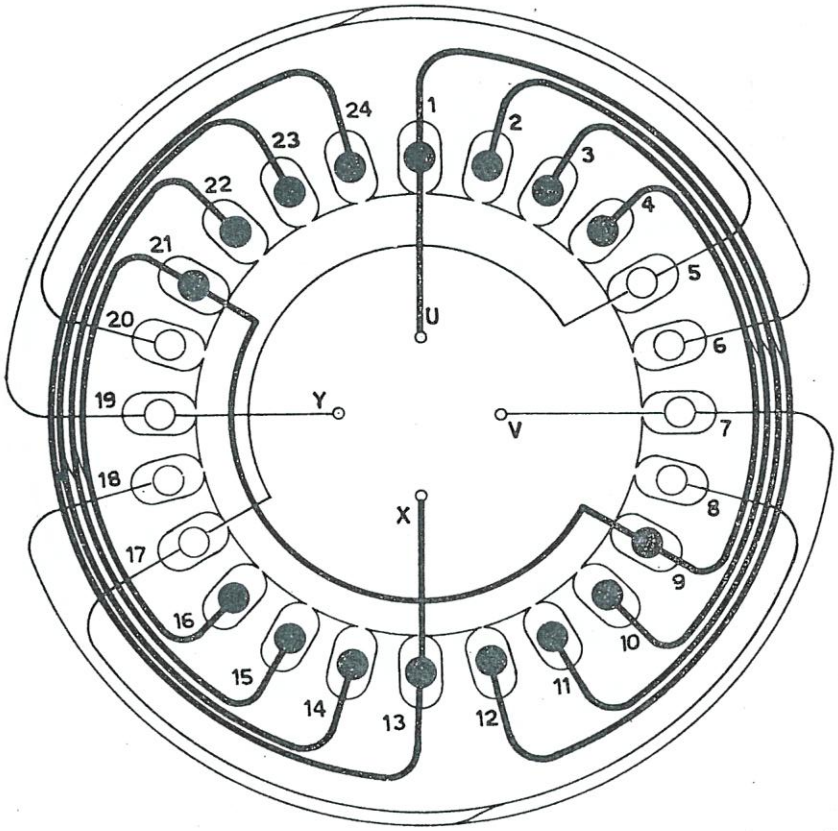
9 cave/polo - 6 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$.

Avvolgimento concentrico a corona oppure in due ordini (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passi avvolgimento 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 3 cave avvolte per polo (le matasse con passo 1÷10 hanno metà spire delle matasse con passo 1÷8) - $K_a=0{,}960$ - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse.

(*Schema Marelli - v. «Esempi costruttivi di motori asincroni» n. 57 e 59*).

2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷12, 1÷10, 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 4 morsetti

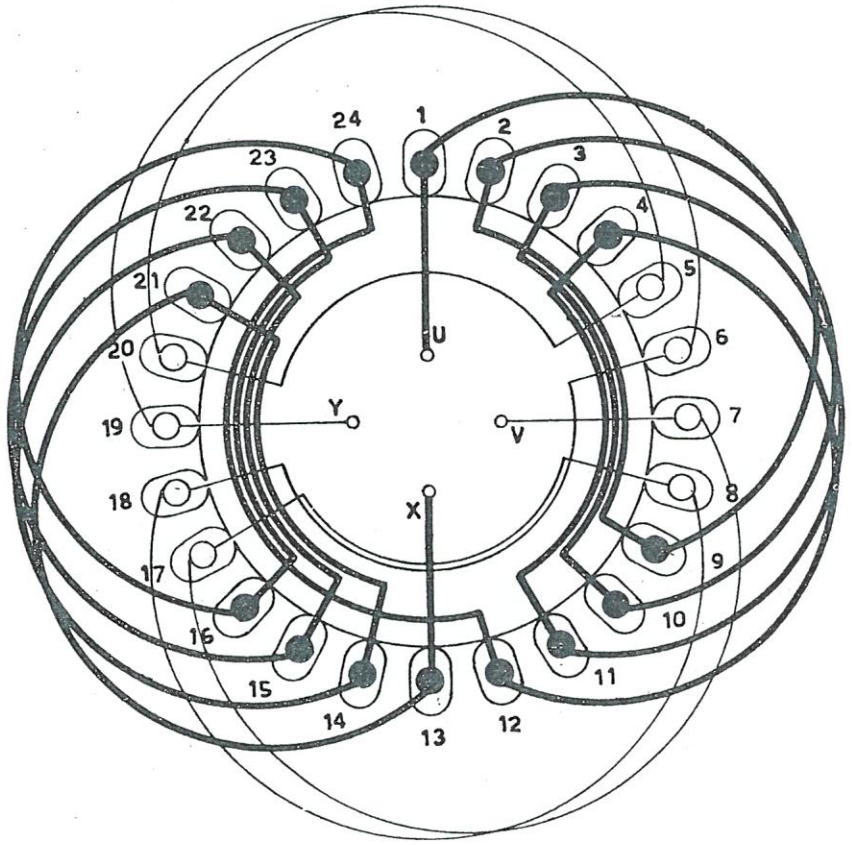


12 cave/polo - 8 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,829$.

Avvolgimento concentrico in 2 ordini (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passi avvolgimento 1÷12 e 1÷10 - Collegamento serie - 4 cave avvolte per polo - $K_a=0,958$ - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse.

2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷9 Collegamento serie - 4 morsetti

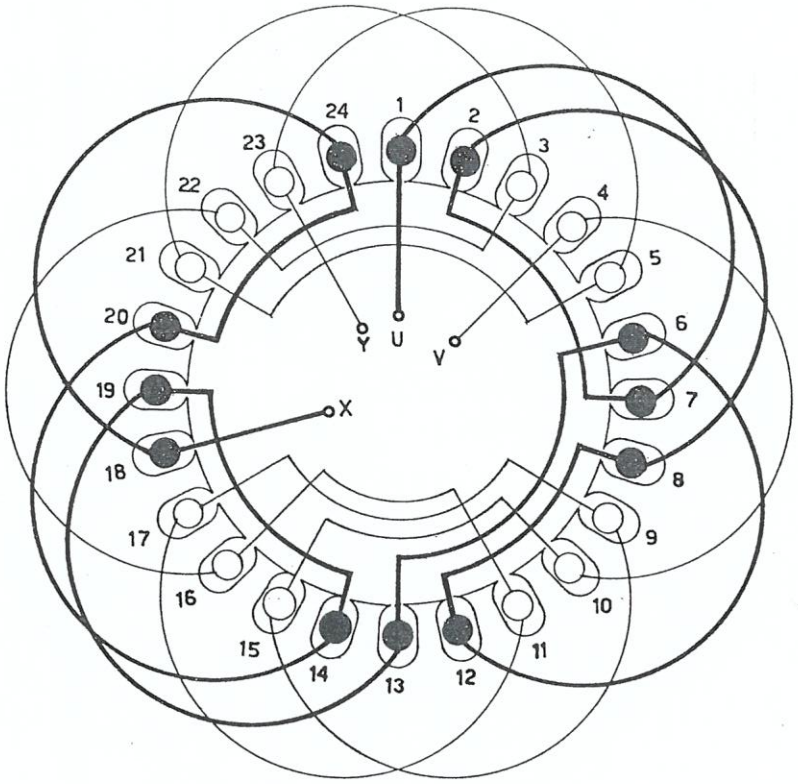


12 cave/polo - 8 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0,829$.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 4 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷10 - Collegamento serie - 4 cave avvolte per polo - $K_a=0,958$ - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 2 matasse.

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷7
Collegamento serie - 4 morsetti (motore bi-monofase)



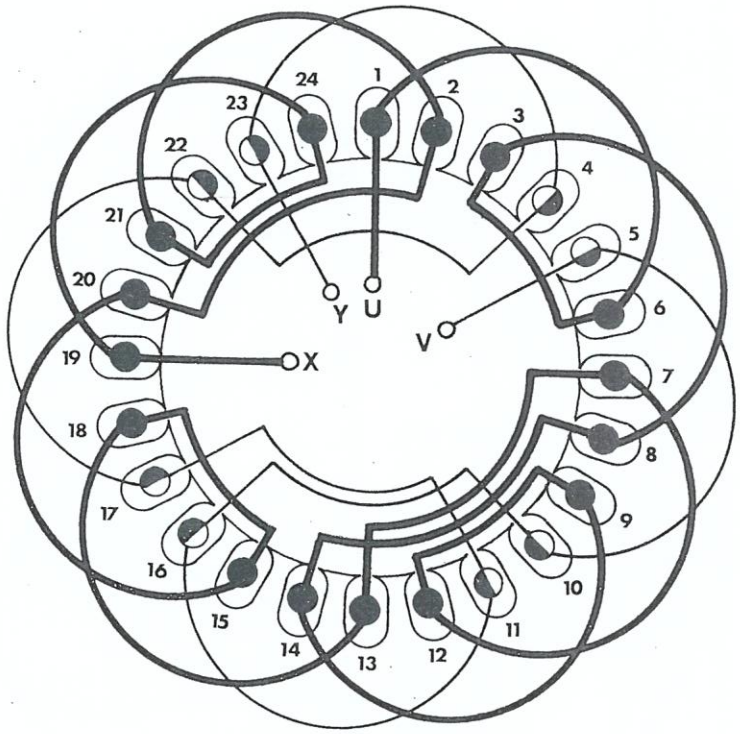
6 cave/polo - 3 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}910$.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse disuguali (2 di 2 matasse e 2 di 1 matassa).

Avvolgimento ausiliario (2ª fase) - Identico all'avvolgimento principale.

(*Schema Marelli - v. « Esempio costruttivo » N.* 60).

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6
Collegamento serie - 4 morsetti



6 cave/polo - 4 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a = 0{,}836$.

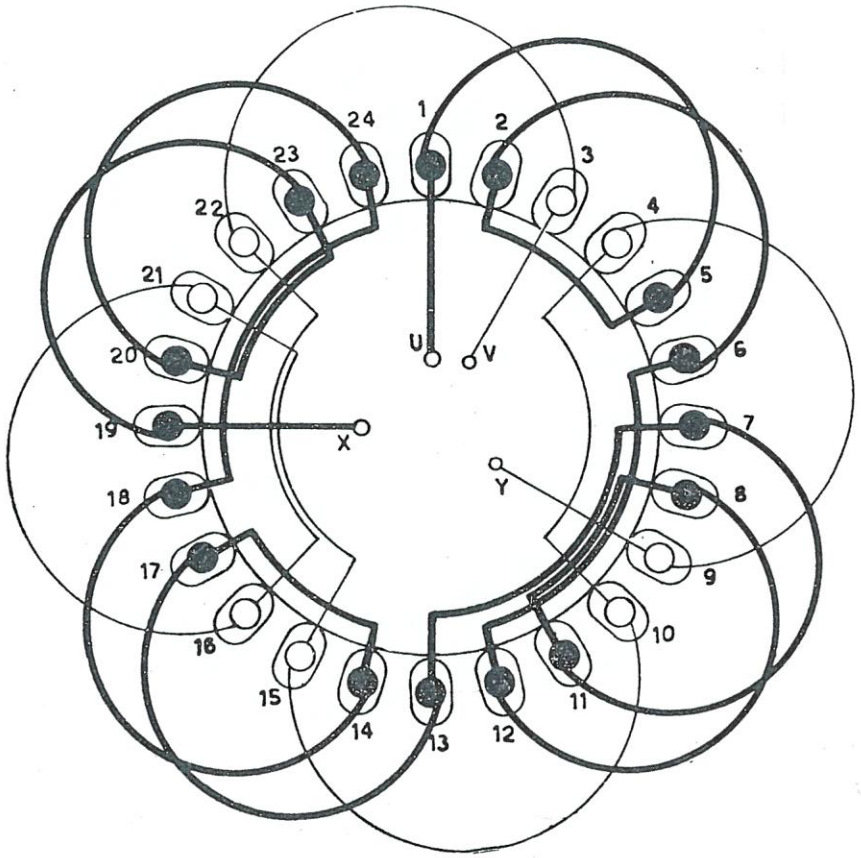
Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 2 cave avvolte per polo - $K_a = 0{,}966$ - Poli alternati (tipo B - 4 gruppi di 1 matassa.

Condensatore da 22,5 µF ($P_n = 0{,}736$ kW).

(*Shema adottato dalla Meta*).

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷5
Collegamento serie - 4 morsetti

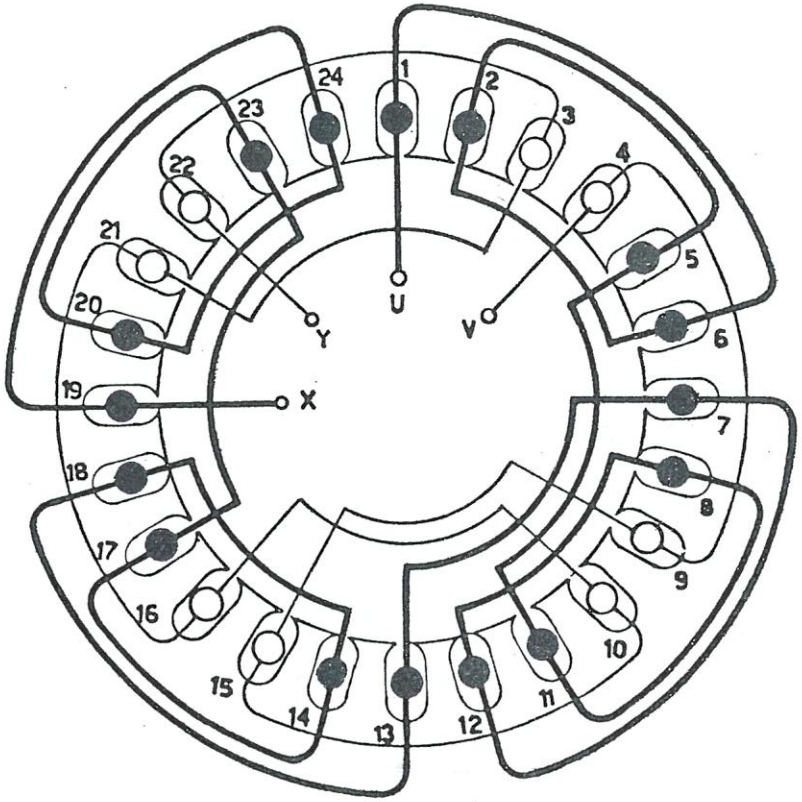


6 cave/polo - 4 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,836.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 2 cave avvolte per polo - K_a=0,966 - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa.

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷6 e 1÷4
Collegamento serie - 4 morsetti

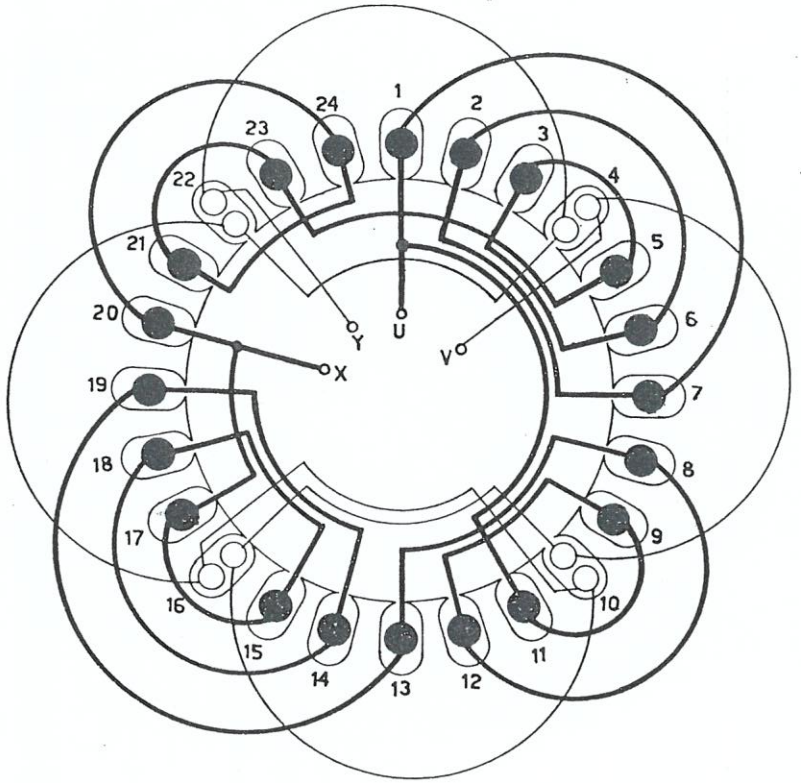


6 cave/polo - 4 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,836.

Avvolgimento a spirale - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 2 cave avvolte per polo - K_a=0,966 - Poli omonimi (tipo A) - 4 gruppi di 1 matassa.

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷7, 1÷5 e 1÷3 - Collegamento serie-parallelo - 4 morsetti



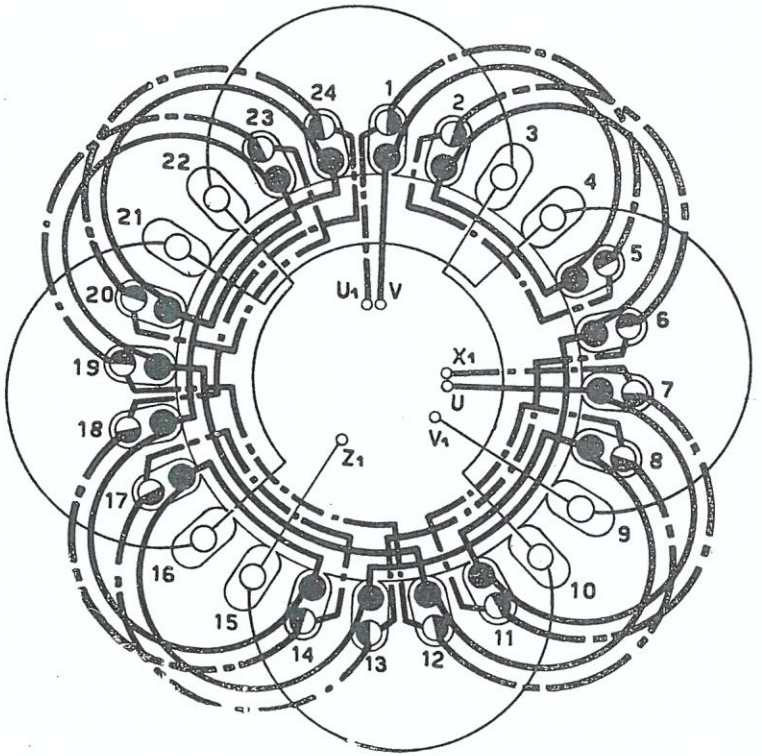
6 cave/polo - 5 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}746$.

Avvolgimento a spirale - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse disuguali (2 di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - 1 cava avvolta per polo - $K_a=1$ - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa.

(*Schema Marelli*)

4 poli - 24 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷5 Funzionamento a 2 tensioni



6 cave/polo - 4 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}836$.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B).

L'avvolgimento principale è diviso in due parti che possono essere collegate in serie (220 V) oppure in parallelo (110 V) (v. tav. CCXLIX).

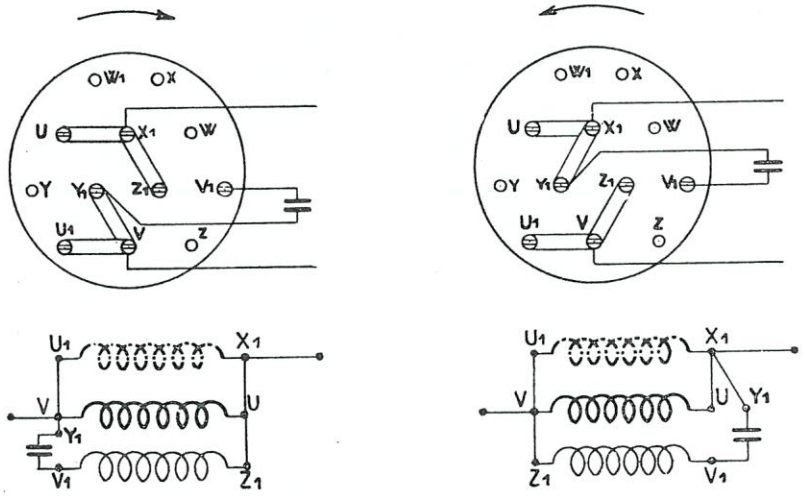
Avvolgimento ausiliario: Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 2 cave avvolte per polo - $K_a=0{,}966$ - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa - Condensatore permanentemente inserito.

(*Schema Marelli - v. «Esempi costruttivi di motori asincroni» - es.* n. 20).

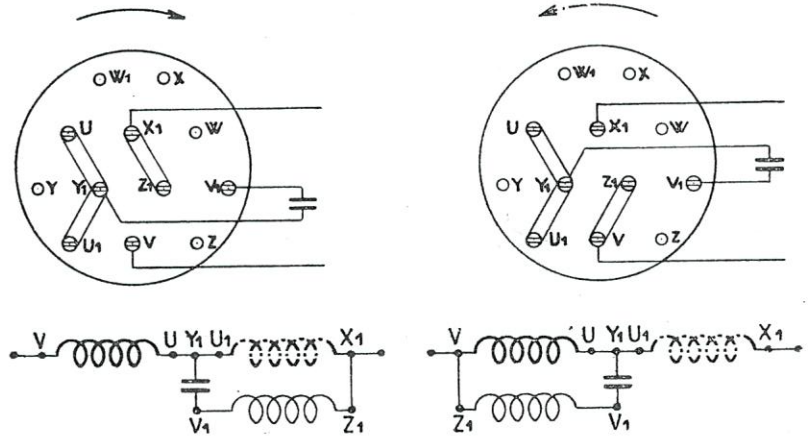
Disposizione delle piastrine sulla morsettiera e collegamenti relativi degli avvolgimenti

(Motore monofase Marelli della tavola CCXLVIII)

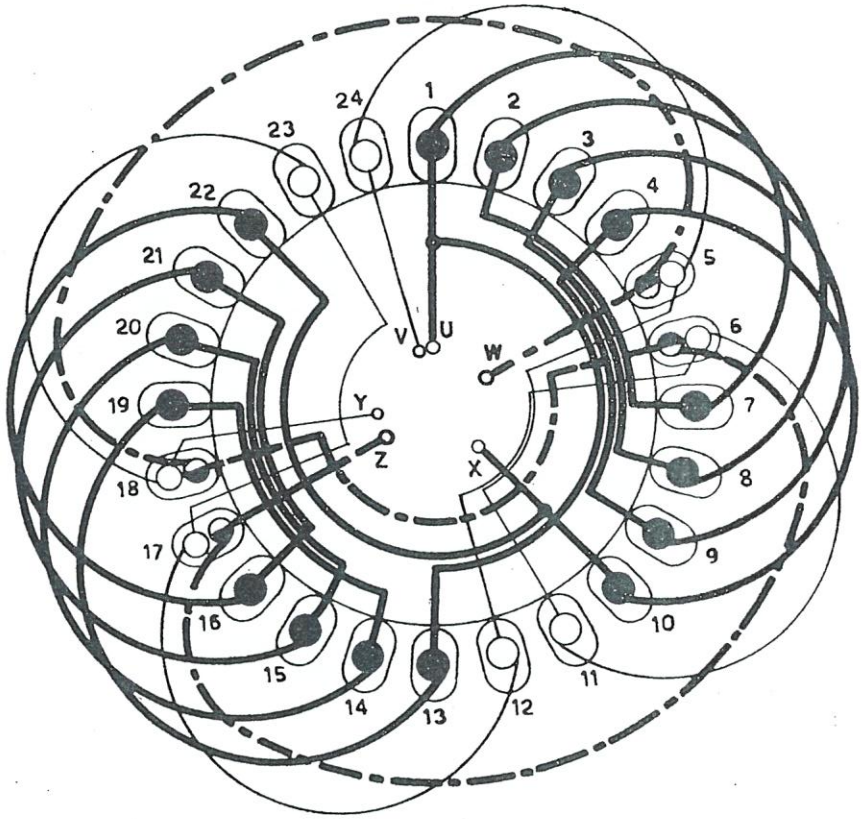
Funzionamento a 110 V



Funzionamento a 220 V



2 polarità - 2 avvolgimenti di lavoro - 4 e 2 poli - 24 cave 1 matassa/cava



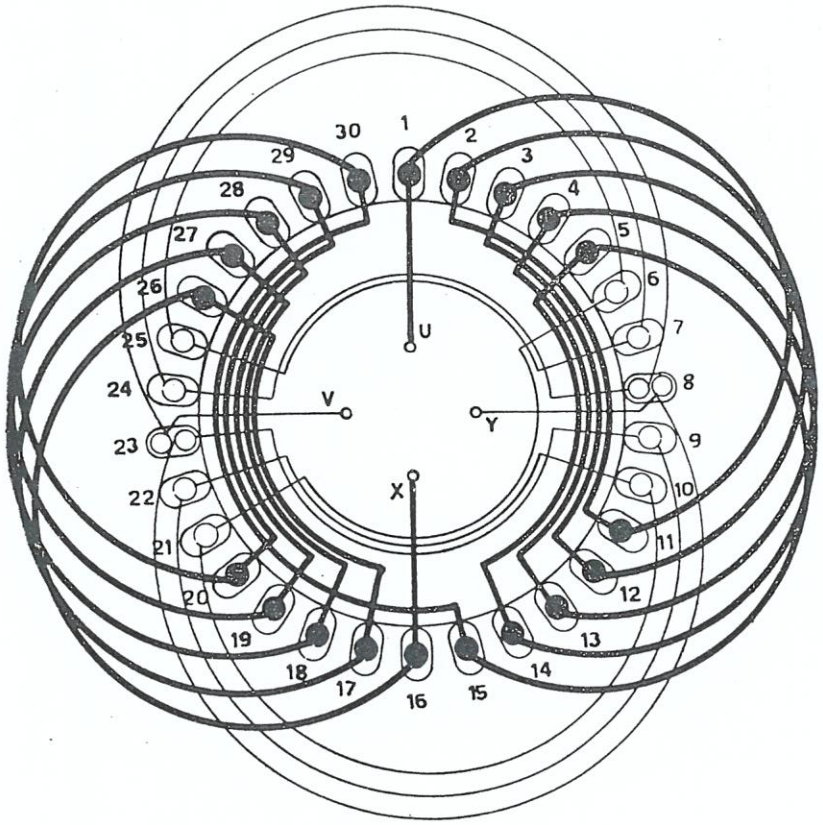
Avvolgimento di lavoro a 4 poli: Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento parallelo - 6 cave/polo - 4 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,836 - Avvolgimento a spirali embricate - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 4 matasse.

Avvolgimento di lavoro a 2 poli: Passo avvolgimento 1÷12 - Collegamento serie - 2 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,991 - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 1 matassa.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 2 cave avvolte per polo - K_a=0,966 - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 1 matassa (v. « Esempi costruttivi di motori asincroni » - es. n. 22).

I 6 morsetti vanno collegati ad un commutatore speciale - Pos. I avviamento - Pos. II funzionamento a 4 poli - Pos. III funzionamento a 2 poli.

2 poli - 30 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷11
Collegamento serie

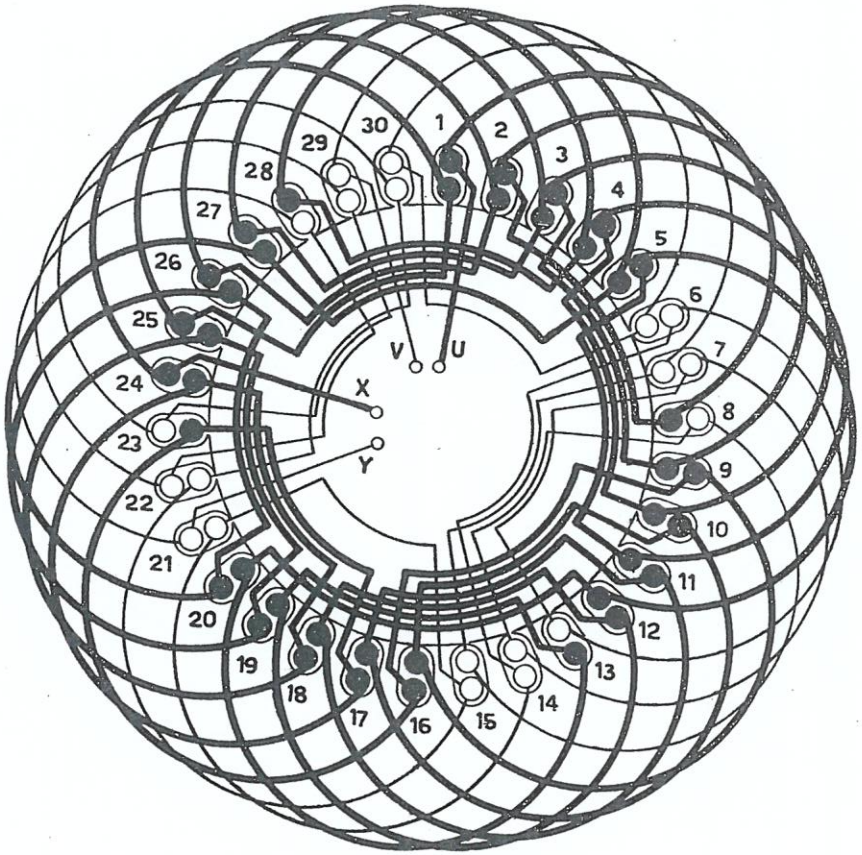


15 cave/polo - 10 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}828$.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 5 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passi avvolgimento 1÷16, 1÷14 e 1÷12 - Collegamento serie - 5 cave avvolte per polo - $K_a=0{,}957$ - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse.

4 poli - 30 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8
Collegamento serie



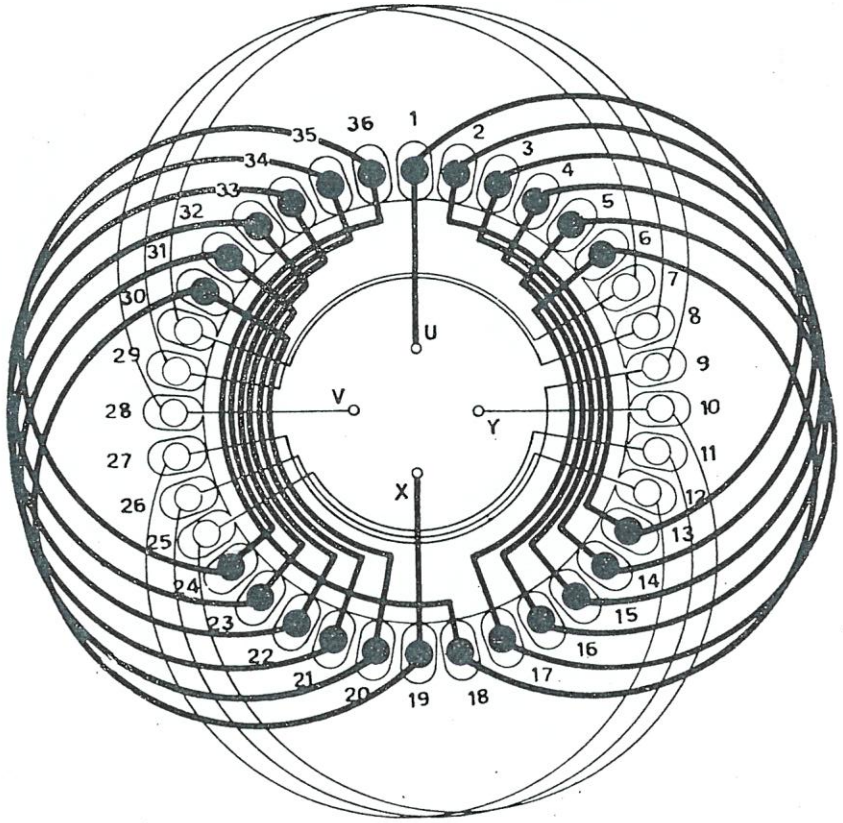
7,5 cave/polo - 5 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}833$ (*).

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 5 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷8 - Collegamento serie - 2,5 cave avvolte per polo - $K_a=0{,}962$ - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di matasse disuguali (2 di 2 matasse e 2 di 3 matasse).

(*) *Tenendo conto del fattore di passo* ($K_p=0{,}995$) *il fattore d'avvolgimento* $K_a=0{,}829$.

2 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷13 Collegamento serie

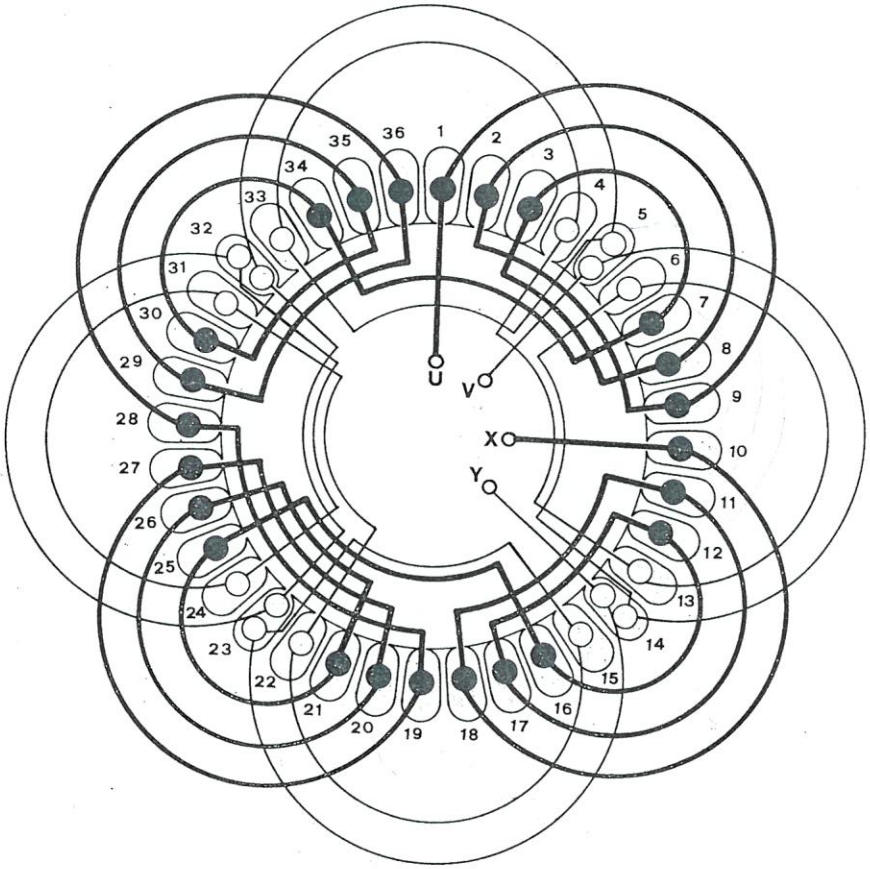


18 cave/polo - 12 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}828$.

Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 6 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passo avvolgimento 1÷16 - Collegamento serie - 6 cave avvolte per polo - $K_a=0{,}956$ - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse.

4 poli - 36 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷9, 1÷7 e 1÷5 - Collegamento serie



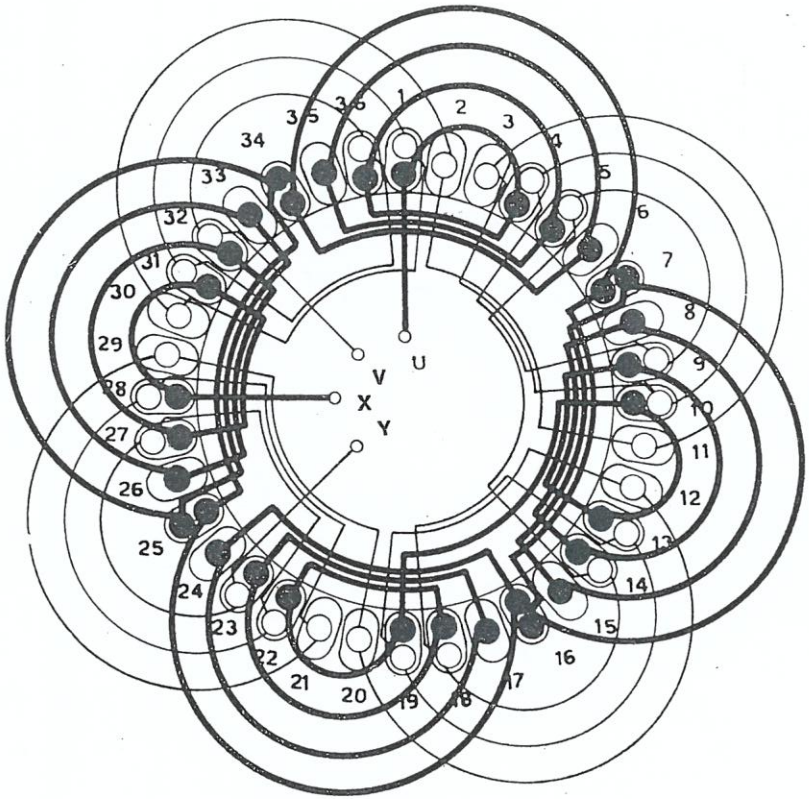
9 cave/polo - 6 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}831$.

Avvolgimento a spirale - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passi avvolgimento 1÷10 e 1÷8 - Collegamento serie - 3 cave avvolte per polo - $K_a=0{,}960$ - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse.

(*Schema Marelli - v. «Esempio costruttivo» n. 58*).

4 poli - 36 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1÷10, 1÷8, 1÷6 e 1÷4 - Collegamento serie



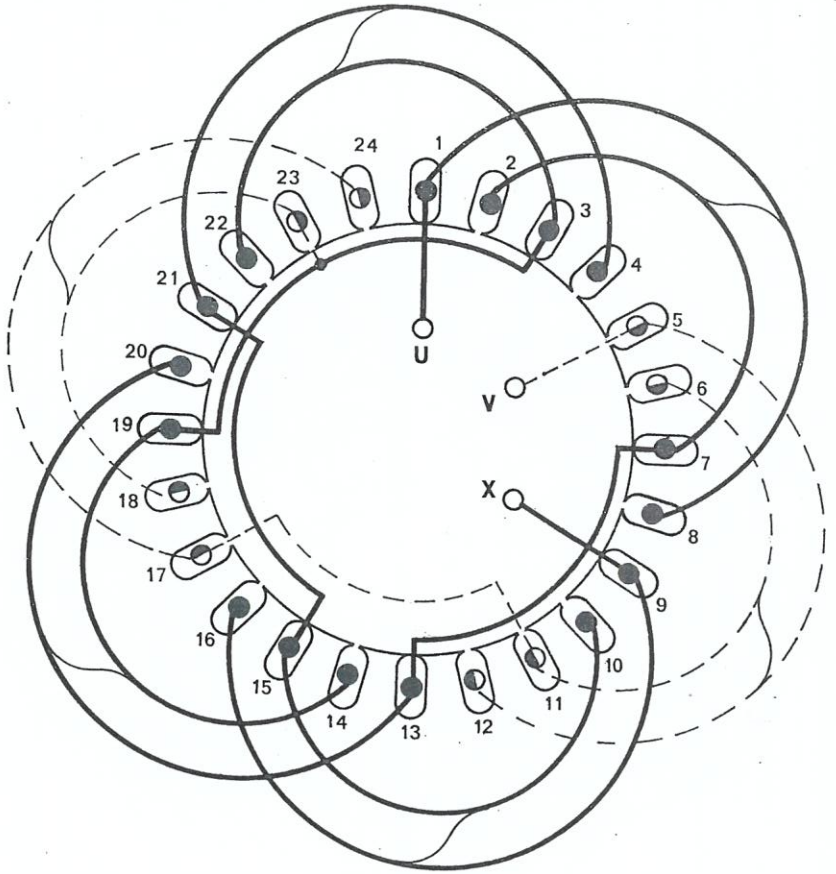
9 cave/polo - 7 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento K_a=0,773.

Avvolgimento a spirale - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 4 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passi avvolgimento 1÷9, 1÷7 e 1÷5 - Collegamento serie - 6 cave avvolte per polo - K_a=0,956 - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 3 matasse.

(*Schema Siemens - v. « Esempi costruttivi di motori asincroni » - es. n.* 21).

4 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 Collegamento serie



Avvolgimento principale: 6 cave/polo - 4 cave avvolte per polo - Fattore di avvolgimento K_a=0,836.

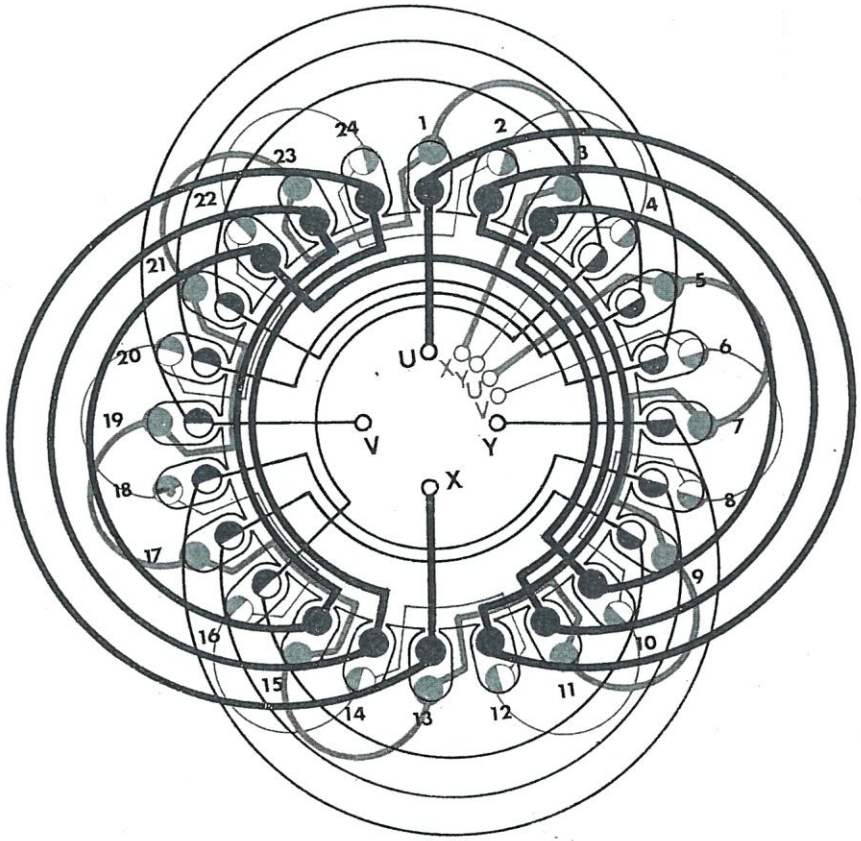
Avvolgimento concentrico a corona oppure in 2 ordini (spirale) - Poli alternati (tipo B) - 4 gruppi di 2 matasse.

Avvolgimento di avviamento: Passi avvolgimento 1÷8 e 1÷6 - Collegamento serie - 2 cave avvolte per polo - K_a=0,966 - Poli omonimi (tipo A) - 2 gruppi di 2 matasse.

Avvolgimento statorico monofase derivato dall'avvolgimento normale trifase a poli omonimi. Naturalmente questo sistema si può applicare a molti avvolgimenti trifasi da trasformare in monofasi.

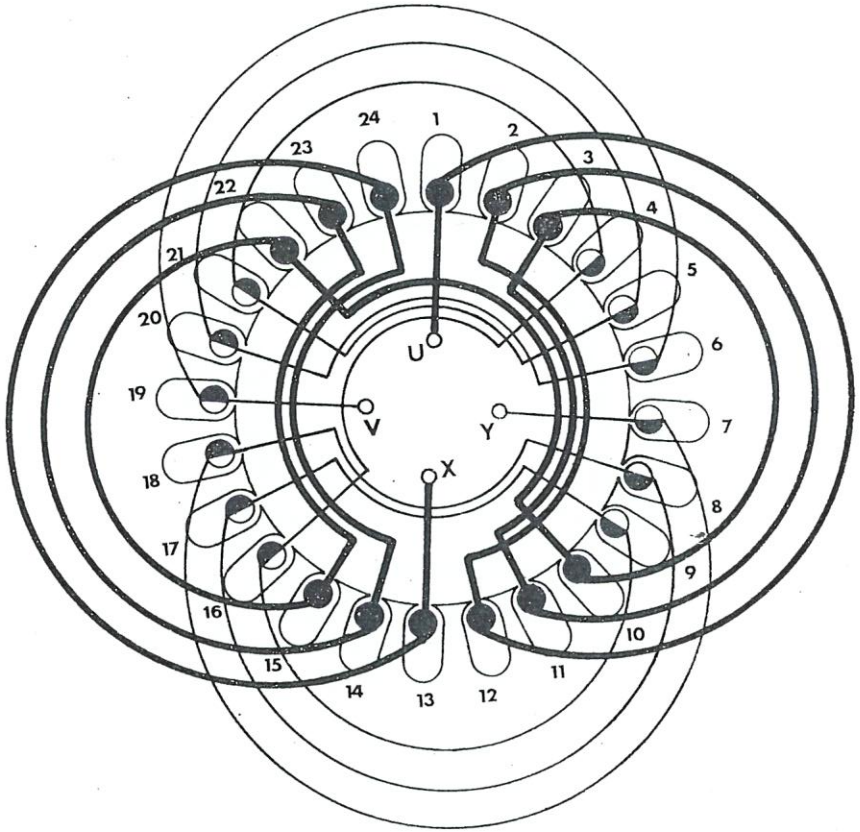
Il condensatore va inserito tra U *e* V *e tra* X *e* V *per inversione di rotazione - Alimentazione* U *ed* X.

2 polarità - 2 avvolgimenti di lavoro - 2 e 12 poli (per lavatrice) - 24 cave
2 matasse/cava (1 matassa/cava per ciascun avvolgimento)
(v. tav. CCLVIII e CCLIX)



Schemi di avvolgimento adottati per i motorini monofasi delle lavatrici Zoppas.

2 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 12, 1 ÷ 10 e 1 ÷ 8 - Collegamento serie

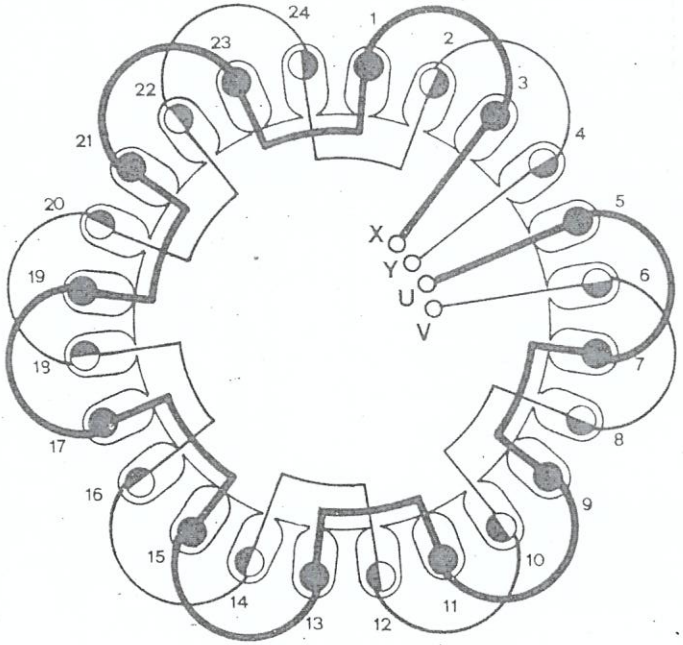


Avvolgimento principale: 12 cave/polo - 6 cave avvolte per polo - Fattore di avvolgimento $K_a = 0{,}902$

Avvolgimento concentrico a corona - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 3 matasse.

Avvolgimento ausiliario: identico a quello principale.

12 poli - 24 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 3
Collegamento serie

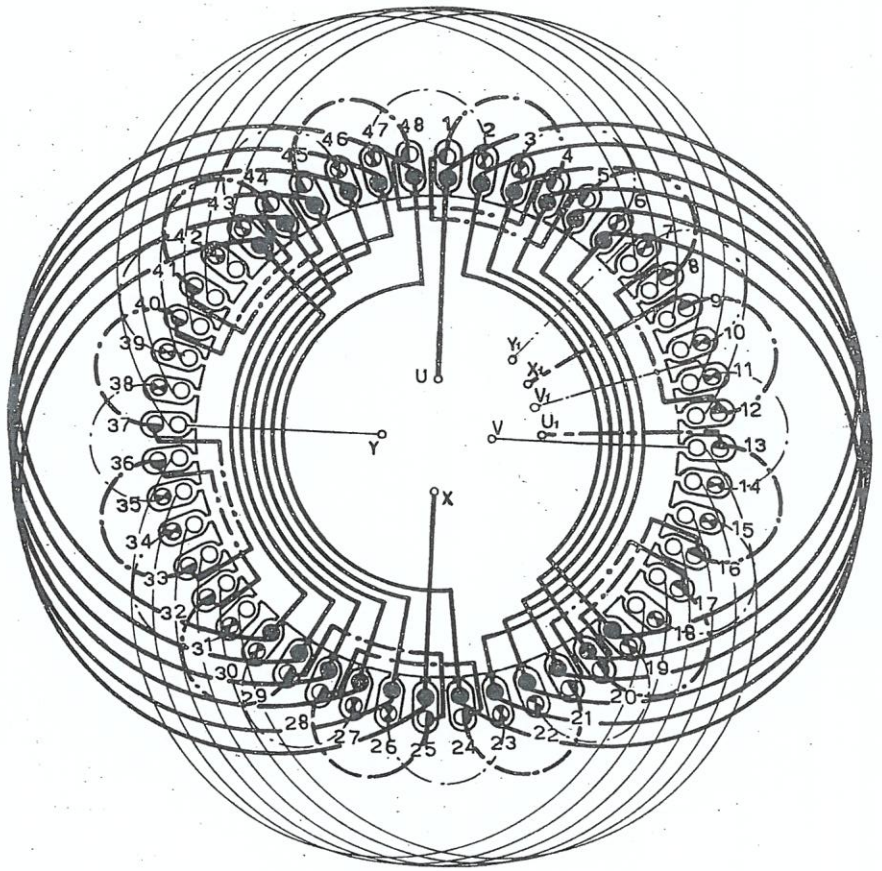


Avvolgimento principale: 2 cave/polo - 1 cava avvolta per polo - Fattore di avvolgimento $K_a=1$.

Avvolgimento a spirale - Poli omonimi (tipo A) - 6 gruppi di 1 matassa.

Avvolgimento ausiliario: identico a quello principale.

2 polarità - 2 avvolgimenti di lavoro - 2 e 12 poli (per lavatrice)
48 cave - 2 matasse/cava (1 matassa/cava per ciascun avvolgimento)



Avvolgimento principale a 2 poli: Passo avvolgimento 1÷19.

Collegamento serie - 24 cave/polo - 12 cave avvolte per polo - Fattore d'avvolgimento $K_a=0{,}901$.

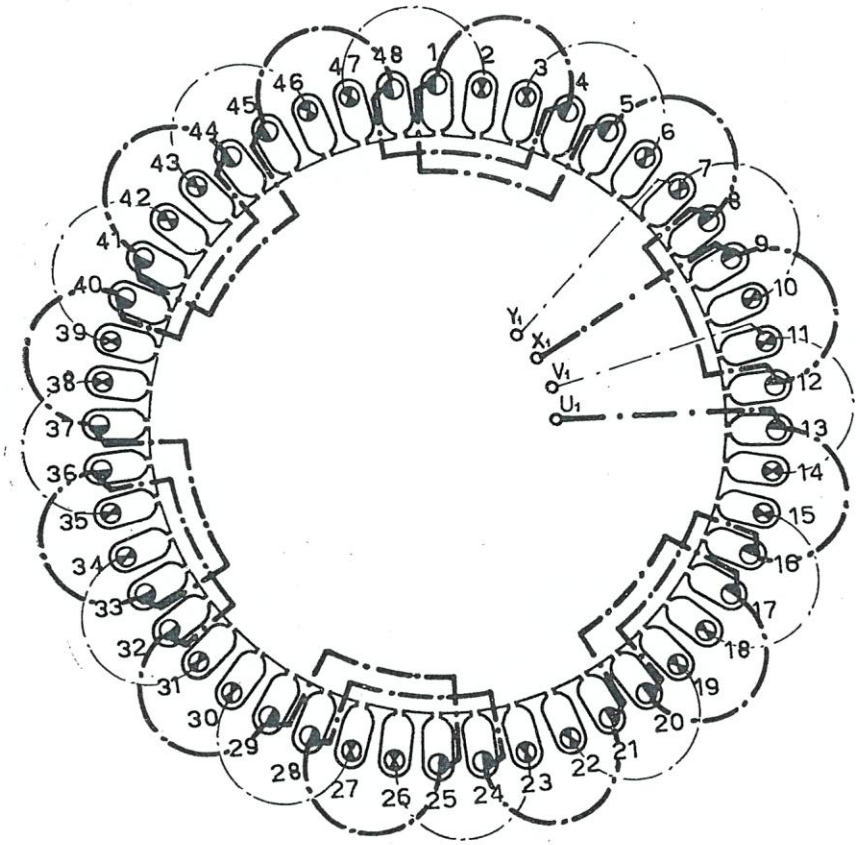
Avvolgimento a spirali embricate - Poli alternati (tipo B) - 2 gruppi di 6 matasse

Avvolgimento ausiliario: identico a quello principale.

Per i due avvolgimenti a 12 poli rimandiamo alla tavola seguente.

Condensatore permanente inserito da 20 μF - Tensione di lavoro 450 V.

12 poli - 48 cave - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷4 Collegamento serie



Avvolgimento principale: 4 cave/polo - 2 cave avvolte per polo - Fattore di avvolgimento K_a=0,924.

Avvolgimento a spirale - Poli alternati (tipo B) - 12 gruppi di 1 matassa.

Avvolgimento ausiliario: identico a quello principale.

Condensatore permanente inserito da 10 μF - Tensione di lavoro 450 V.

ESEMPI COSTRUTTIVI DI MOTORI ASINCRONI

Dati di targa, dimensioni principali e dati sugli avvolgimenti

1) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 3000 giri/min (a p. c. 2810 giri/min) - 50 p/s - Numero della fase 3 - Potenza nominale 0,368 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,83/1,06 A - Collegamento del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 65$ mm
Lunghezza	$L_g = 39$ »
Altezza corona	$h_c = 15$ »
Dimensioni cave	$h = 13$ » ; $b_m = 10$ »
Larghezza dente	$z = 5$ »
Numero cave 18	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 7 - Fili/cava 220 (Fili/matassa 110) - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}5$ mm - $\varnothing_{ci} = 0{,}55$ mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = = 1,300 kg - Densità di corrente = 5,42 A/mm².

2) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (O.E.S.) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1400 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,368 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,9/1,1 A - Collegamento del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 80$ mm
Lunghezza	$L_g = 58$ »
Altezza corona	$h_c = 13$ »
Dimensioni cave	$h = 16$ » ; $b_m = 8$ »
Larghezza dente	$z = 4{,}5$ »
Numero cave 24	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Fili/cava 165 - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}6$ mm - $\varnothing_{ci} = 0{,}65$ mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 1,800 kg - Densità di corrente = 3,89 A/mm².

3) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1400 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,368 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,82/1,05 A - Collegamento del primario a Δ/Y e del secondario in cortocircuito - Tipo chiuso a ventilazione esterna.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 70$	mm
Lunghezza	$L_g = 60$	»
Altezza corona	$h_c = 10$	»
Dimensioni cave	$h = 17$	»
	$b_m = 6$	»
Larghezza dente	$z_m = 4{,}5$	»
Numero cave 24		

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Fili/cava 135 - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}6$ mm - Filo di rame tondo smaltato - $\varnothing_{ci} = 0{,}66$ mm - Peso rame = 1,470 kg - Densità di corrente = 3,9 A/mm².

4) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Bezzi) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1410 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,368 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,63 A - Collegamento del primario a Y e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 74$	mm
Lunghezza	$L_g = 71$	»
Altezza corona	$h_c = 12$	»
Dimensioni cave	$h = 15$	»
	$b_m = 8$	»
Larghezza dente	$z = 4$	»
Numero cave 24		

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Fili/cava 92 - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}75$ mm - $\varnothing_{ci} = 0{,}82$ mm - Filo di rame tondo smaltato - Densità di corrente = 3,7 A/mm².

5) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1000 giri/min (a p. c. 935 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,368 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 290/500 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,5/0,89 A - Collegamento del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 89$	mm
Lunghezza	$L_g = 43{,}5$	»
Altezza corona	$h_c = 8{,}5$	»
Dimensioni cave	$h = 18$	»
	$b_m = 5{,}5$	»
Larghezza dente	$z_m = 5$	»
Numero cave 36		

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 5 - Collegamento serie - 6 morsetti - Fili/cava 244 (fili/matassa 122) - $\varnothing_{cn} = 0{,}45$ mm - Filo tondo di rame smaltato - Peso rame = 1,700 kg.

6) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (FIMET) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1400 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,810 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 380/220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 2,08/3,4 A - Collegamento del primario Y/Δ e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 90$	mm
Lunghezza	$L_g = 68$	»
Altezza corona	$h_c = 12$	»
Dimensioni cave	$h = 17$	»
	$b_m = 9$	»
Larghezza dente	$z = 4{,}5$	»
Numero cave 24		

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Fili/cava 115 - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}8$ mm - $\varnothing_{ci} = 0{,}88$ mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 2,520 kg - Densità di corrente = 4,1 A/mm².

7) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (O.M.C.) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500/750 giri/min (a p. c. 1400/700 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale

1,1/0,883 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 260 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 5/4,5 A - Collegamento del primario **YY** (4 poli)/Δ (8 poli) e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 110$ mm
Lunghezza	$L_g = 100$ »
Altezza corona	$h_c = 17$ »
Dimensioni cave	$h = 20$ »
	$b_m = 7$ »
Larghezza dente	$z_m = 5$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Fili/cava 122 (61 fili/matassa) - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}75$ mm - Filo di rame tondo smaltato - $\varnothing_{ci} = 0{,}83$ mm - Peso rame = 3,800 kg.

8) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1400 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 1,18 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 2,84 A - Collegamento del primario a **Y** e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 100$ mm
Lunghezza	$L_g = 56$ »
Altezza corona	$h_c = 11{,}5$ »
Dimensioni cave	$h = 19$ »
	$b_m = 8$ »
Larghezza dente	$z = 5$ »
Numero cave 30	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷7 - Collegamento serie - Fili/cava 98 (49 fili/matassa) - $\varnothing_{cn}$=0,85 mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 2,900 kg.

9) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1410 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 1,47 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 5,9/3,41 A - Collegamento del primario Δ/**Y** e del secondario in cortocircuito - Motore chiuso con ventilazione a mantello.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 100$ mm
Lunghezza	$L_g = 70$ »
Altezza corona	$h_c = 15$ » (B_{cs}=1,41 Wb/m²)
Dimensioni cave	$h = 18$ » (B_{δ}=0,83 Wb/m²)
	$b_m = 7$ »
Larghezza dente	$z = 5$ »
Numero cave 30	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 7 - Fili/cava 74 (37 fili/matassa) - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}95$ mm - Filo di rame tondo smaltato - $\varnothing_{ci} = 1$ mm - Peso rame = 3,600 kg - Densità di corrente = 4,8 A/mm².

10) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 3000 giri/min (a p. c. 2850 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 1,47 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 127/220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 10,5/5,8 A - Collegamento del primario Δ/**Y** e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 94$ mm
Lunghezza	$L_g = 48$ »
Altezza corona	$h_c = 20$ »
Dimensioni cave	$h = 15$ »
	$b_m = 9$ 9
Larghezza dente	$z = 4{,}5$ »
Numero cave 24	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 9 - Fili/cava 52 (26 fili/matassa) - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 1{,}15$ mm - $\varnothing_{ci} = 1{,}35$ mm - di rame tondo rivestito con 2 spirali di cotone - Densità di corrente = 5,59 A/mm².

11) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Pellizzari) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1400 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 2,2 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 8,3/4,8 A - Collegamento del primario Δ/**Y** e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 110$ mm
Lunghezza	$L_g = 95$ »
Altezza corona	$h_c = 17$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 8 - Fili/cava 44 (22 fili/matassa) - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 1{,}1$ mm - $\varnothing_{ci} = 1{,}2$ mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 3,200 kg - Densità di corrente = 5 A/mm².

12) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1420 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 2,32 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 9,3/5,4 A - Collegamento del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito - Motore chiuso con ventilazione a mantello.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 125$ mm
Lunghezza	$L_g = 67$ »
Altezza corona	$h_c = 17$ »
Dimensioni cave	$h = 18{,}5$ »
	$b_m = 7$ »
Larghezza dente	$z = 5{,}5$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Fili/cava 51 - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 1{,}1$ mm - Filo di rame tondo smaltato - $\varnothing_{ci} = 1{,}17$ mm - Peso rame = 3,800 kg - Densità di corrente = 5,65 A/mm² - $I_o = 2{,}7$ A.

13) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Pellizzari) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1000 giri/min (a p. c. 960 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 2,6 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 250 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 10 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 150$ mm
Lunghezza	$L_g = 130$ »
Dimensioni cave	$h = 22$ »
	$b_m = 12$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Fili/cava 48 - Collegamento serie - $\varnothing_{cn} = 1{,}5$ mm - Filo di rame tondo rivestito con 2 spirali di cotone.

14) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1425 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 2,95 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 6,45 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito - Motore chiuso con ventilazione a mantello.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 125$ mm
Lunghezza	$L_g = 85$ »
Altezza corona	$h_c = 15$ »
Dimensioni cave	$h = 18$ »
	$b_m = 7$ »
Larghezza dente	$z = 5{,}5$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Fili/cava 70 - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 0{,}95$ mm - Filo di rame tondo smaltato - $\varnothing_{ci} = 1$ mm - Peso rame = 4,200 kg - Densità di corrente = 5,2 A/mm² - $I_o = 3{,}6$ A.

15) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (S. Giorgio) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1440 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 5,15 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 440 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 10,2 A - Collegamento del primario a Y e del secondario in cortocircuito (costruzione 1951).

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 145$ mm
Lunghezza	$L_g = 113$ »
Altezza corona	$h_c = 23$ »
Dimensioni cave	$h = 21$ »
	$b_m = 14$ »
Larghezza dente	$z = 8{,}5$ »
Numero cave 24	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Fili/cava 46 - Fili// 2 - Collegamento serie - 6 morsetti - $\varnothing_{cn} = 1{,}15$ e $1{,}25$ mm - $\varnothing_{ci} = 1{,}37/1{,}47$ mm - Fili di rame tondo rivestiti con 2 spirali di cotone - Peso rame = 6,300 kg - Densità di corrente = 4,5 A/mm².

16) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (C. G. E.) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1440 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nomin. 7,36 kW - Servizio continuo - Tens. di alimentazione 655/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 14/8,1 A - Collegamento del primario Y/Δ e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 150$ mm
Lunghezza	$L_g = 160$ »
Altezza corona	$h_c = 21$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 9 - Fili/cava 34 (17 fili/matassa) - Fili // 2 - Collegamento 12 morsetti - $\varnothing_{cn} = 1{,}2$ mm - $\varnothing_{ci} = 1{,}32$ mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 9 kg - Densità di corrente = 3,6 A/mm².

17) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Pellizzari) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 3000 giri/min (a p. c. 2800 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 7,36 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 26 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 135$ mm
Lunghezza	$L_g = 102$ »
Altezza corona	$h_c = 31$ »
Dimensioni cave	$h = 20$ »
	$b_m = 8$ »
Larghezza dente	$z_m = 6$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento concentrico a corona - 1 matassa cava - Passi avvolgimento 1 ÷ 8, 1 ÷ 10 e 1 ÷ 12 - Fili/cava 20 - Fili // 3 - Collegamento 12 morsetti - $\varnothing_{cn} = 1{,}2 - 1{,}1 - 0{,}85$ mm - $\varnothing_{ci} = 1{,}30 - 1{,}2 - 0{,}93$ mm - Fili di rame tondo smaltati - Peso rame = 7,020 kg - Densità di corrente = 5,66 A/mm² (tipo autoventilato ma con ventole assai efficaci).

18) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1440 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 7,36 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 15 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito - Motore chiuso con ventilazione a mantello.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 175$ mm
Lunghezza	$L_g = 128$ »
Altezza corona	$h_c = 22$ »
Dimensioni cave	$h = 23$ »
	$b_m = 12$ »
Larghezza dente	$z = 5{,}5$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Fili // 2 - Fili/cava 78 (in serie 39) - Collegamento serie - $\varnothing_{cn} = 1{,}2$ mm - (sez. = 2 × 1,131 = 2,262 mm²) - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 11,340 kg - Densità di corrente = 3,83 A/mm².

19) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Pellizzari) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 2520-3000 giri/min (a p. c. 2400/2800 giri/min) - 42/50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 6,62/8,1 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 22/26 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 135$ mm
Lunghezza	$L_g = 105$ »
Altezza corona	$h_c = 31$ »
Dimensioni cave	$h = 20$ »
	$b_m = 8$ »
Larghezza dente	$z_m = 6$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passi avvolgimento 1 ÷ 14, 1 ÷ 16 e 1 ÷ 18 - Fili/cava 21 - Fili//3 - Collegamento 12 morsetti - $\varnothing_{cn} = 1{,}05$ mm - $\varnothing_{ci} = 1{,}1$ mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = = 6,780 kg - Densità di corrente = 4,88/5,76 A/mm².

20) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min (a p. c. 1370 giri/min) - Frequenza 50 p/s - Numero delle fasi 1 - Potenza nom. 0,147 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/110 V - Corrente assorbita alla potenza nom. 1,96/3,96 A - Collegamento del secondario in cortocircuito - Motore a condensatore permanente.

Dimensioni principali statore:

Diametro esterno	$\varnothing_e = 125$ mm
Diametro interno	$\varnothing_i = 70$ »
Lunghezza	$L_g = 39$ »
Altezza corona	$h_c = 8{,}5$ »
Dimensioni cave	$h = 17$ »
	$b_m = 7{,}5$ »
Larghezza dente	$z_m = 4{,}0$ »
Numero cave 24	

Dati sull'avvolgimento statorico. — 1 avvolgimento principale ed 1 ausiliario.

Avvolgimento principale. — Avvolgimento a corona distribuito in 16 cave - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 5 - Fili/cava 130 (Fili/matassa 65) - L'avvolgimento è diviso in due parti, ciascuna delle quali è collegata in serie a poli alternati (tipo B); le due parti possono essere collegate in serie (220 V) oppure in parallelo (110 V) (v. tavole CCXLVIII e CCXLIX) - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cu} = 0{,}6$ mm - Filo di rame smaltato.

Avvolgimento ausiliario. — Passo avvolgimento 1 ÷ 6 - Collegamento serie - Poli alternati (tipo B) - Spire/matassa 85 - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn} = 0{,}8$ mm - Filo di rame smaltato.

Abbiamo ritenuto utile riportare ancora i due esempi a 42 p/s che seguono perchè presentano qualche particolarità interessante (matasse con diverso numero di spire e 2 polarità con unico avvolgimento).

21) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (Siemens) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1260 giri/min (a p. c. 1200 giri/min) - 42 p/s - Numero delle fasi 1 - Potenza nominale 0,3 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 125 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 5,92 A - Collegamento del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 85$ mm
Lunghezza	$L_g = 72$ »
Dimensioni cave	$h = 17$ »
	$b_m = 5$ »
Numero cave 36	

Dati sull'avvolgimento statorico. — 1 avvolgimento di lavoro ed 1 di avviamento (v. tav. CCLV).

Avvolgimento di lavoro: Avvolgimento concentrico distribuito in 28 cave - 1 e 2 matasse/cava - Passi avvolgimento 1 ÷ 4, 1 ÷ 6, 1 ÷ 8 e 1 ÷ 10 - Collegamento serie - Fili // 4 - Spire totali in serie 336 (17 × 4, 23 × 4, 29 × 4, 15 × 4 a partire dalla matassa interna) - $\varnothing_{cn} = 0{,}55$ - $Sc = 0{,}2376 \times 4 = 0{,}9504$ mm² - Filo di rame tondo smaltato rivestito con 1 spirale di cotone.

Avvolgimento d'avviamento: Avvolgimento concentrico distribuito in 24 cave - Passi avvolgimento 1 ÷ 5, 1 ÷ 7 e 1 ÷ 9 - Collegamento serie - Spire totali 212 (11, 20 e 22 a partire dalla matassa interna) - $\varnothing_{cn} = 0{,}55$ mm - Filo tondo di rame smaltato rivestito con 1 spirale di cotone.

22) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono a 2 polarità - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1200 e 2400 giri/min - 42 p/s - Numero delle fasi 1 - Potenza nominale 0,124 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 160 V - Collegamento del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 90$ mm
Lunghezza	$L_g = 70$ »
Dimensioni cave	$h = 19$ »
	$b_m = 10$ »
Numero cave 24	

Dati sull'avvolgimento statorico. — 2 avvolgimenti di lavoro ed 1 di avviamento.

Avvolgimento a 4 poli: 2 gruppi in parallelo di 4 matasse in serie - Spire/matasse 60 - Diametro del filo = 0,7 mm.

Avvolgimento a 2 poli: 2 matasse - Spire/matassa 40 - Diametro del filo = 0,7 mm.

Avvolgimento d'avviamento: 4 matasse - Spire/matassa 17 - Diametro del filo = = 0,55 mm (v. tav. CCL).

Dobbiamo alla cortesia delle ditte BROWN BOVERI (*), COMPAGNIA GENERALE DI ELETTRICITÀ, E. MARELLI la possibilità di riportare i dati relativi a motori asincroni trifasi di costruzione recente. I dati si riferiscono, per ciascuna ditta, a motori della stessa potenza, tensione, frequenza e con lo stesso collegamento del primario e del secondario, ma di diversa polarità, e ciò per mettere in evidenza quelle differenze, di cui si è detto, che comporta la diversità di polarità.

Ringraziamo anche la F I M E T per averci fornito i dati di un motore a 2 velocità.

(*) Negli esempi n. 25 e 26 si nota subito che la corona dello statore è di altezza eccessiva per polarità da 6 ed 8 poli. Infatti da verifiche effettuate abbiamo rilevato che il valore dell'induzione è veramente basso (≈ 0,8 Wb/m²). Prospettato alla Brown Boveri il timore che si trattasse di tipi ormai sorpassati, ci è stato risposto testualmente in data 21-11-962: « Con riferimento alla Sua lettera sopra citata, Le comunichiamo che i dati caratteristici inviatiLe, relativi a nostri motori asincroni di costruzione protetta e potenze costanti di 2,2 e 4,4 kW, si riferiscono a macchine attualmente in costruzione. Effettivamente, ed in particolare i motori da 2,2 kW, sono macchine di progettazione non recente e possono benissimo dare l'impressione, a causa delle basse induzioni soprattutto nelle corone statoriche, di trattarsi di macchine di vecchio tipo.

Questi motori verranno, in futuro, sostituiti da una nuova serie, conforme alla Unificazione Elettrotecnica Italiana e dimensionata secondo le norme della Commissione Elettrotecnica Internazionale, di cui non possiamo fornirLe dati caratteristici essendo ancora in via di progettazione.

Motori asincroni Brown Boveri

23-24-25-26

	23	24	25	26
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1400	940	710
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	2,2	2,2	2,2	2,2
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	8,5	8,7	10	12
Corrente secondaria - A	205	163	180	182
Collegamento primario	triangolo	triangolo	triangolo	triangolo
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	163/80,6	189/112	210/127	236/154
Lunghezza » » »	85	75	105	105
Altezza corona » » »	18,7	17	19	17,5
Dimensioni cave » » »	22/10,5 × 7	21/8,1 × 5,6	22/9,3 × 7	23/10,5 × 8
Numero cave	24	36	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	79,3	111,5	126,3	153,2
Dimensioni cave » » »	12/4,8 × 3,1	11/4,2 × 3.2	12/5 × 4	14,5/5,5 × 4,2
Numero cave	28	46	46	46
Diametro albero - mm	30	35	35	39
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona sp.	a corona sp.	a corona sp.	a corona sp.
Matasse/cava	2	2	2	2
Passo avvolgimento	1÷11	1÷8	1÷6	1÷5
Fili/cava (Fili/matassa)	62 (31)	54 (27)	56 (28)	56 (28)
Collegamento	serie	serie	serie	serie
Diametro conduttore nudo - mm	1,05	1	1,5	1,25
Isolamento	Doppio smalto	Doppio smalto	Doppio smalto	Doppio smalto
Densità di corrente - A/mm²	5.65	6,4	5,6	5,6
Lunghezza spira media - m	0,56	0,40	0,43	0,5
Peso rame - kg	3,4	2,9	4,1	5,8
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta - mm²	44,6	38	49,8	65,6
Sezione anelli - mm²	200	150	180	175
Peso avvolgimento - kg	0,6	0,75	1,25	1,45
Densità di corrente A/mm²	4,6	4,5	3,65	2,8

Motori asincroni C. G. E.

27-28-29

	27	28	29
Dati di targa			
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2820	1430	940
Frequenza - p/s	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3
Potenza nominale - kW	2,2	2,2	2,2
Tensione di alimentazione - V	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	8,1	8,6	9,0
Collegamento primario	triangolo	triangolo	triangolo
Collegamento secondario	in cortocircuito	in cortocircuito	in cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore			
Diametro interno pacco statorico - mm	88	120	130
Lunghezza » » »	80	80	120
Altezza corona » » »	20,5	18,5	12,5
Dimensioni cave » » »	h=16,7; b_m=10	h=20,2; b_m=7,8	h=21; b_m=7,3
Numero cave	24	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	87,3	119,3	129,4
Dimensioni cave » » »	h=12,5; b_m=5,3	h=10; b_m=3,8	h=14,5; b_m=3,4
Numero cave	20	44	44
Dati sugli avvolgimenti			
Statore			
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	2	2	2
Passo avvolgimento	1÷9	1÷9	1÷6
Fili/cava (Fili/matassa)	58 (29)	44 (22)	48 (24)
Collegamento	serie	serie	serie
Diametro conduttore nudo - mm	1,1	1,15	1,2
Isolamento	Smalto sintetico all'acetale di vinile		
Densità di corrente - A/mm²	5,0	4,8	4,6
Lunghezza spira media - m	0,48	0,44	0,45
Peso rame - kg	2,9	3,3	4,1
Rotore			
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	60	35	47
Sezione anelli - mm²	147	120	160

Dati di targa	30	31	32	33
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2860	1420	950	715
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	3,7	3,7	3,7	3,7
Tensione di alimentazione - V	220/380	220/380	220/380	220/380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	13,3/7,7	14,2/8,2	15,1/8,7	16,1/9,3
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	228	170	138	142
Collegamento primario	tr/st	tr/st	tr/st	tr/st
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	110	125	158	190
Lunghezza » » »	58	80	77	88
Altezza corona » » »	25	17	16	13
Dimensioni cave » » »	h=20; b_m=11	h=20; b_m=7	h=20; b_m=5,5	h=27; b_m=7
Numero cave	24	36	54	60
Diametro esterno pacco rotorico - mm	109,1	124,2	157,2	189,2
Dimensioni cave » » »	h=17; b_m=4,5	h=17; b_m=3	h=14,5 b_m=2,5	h=22: b_m=3
Numero cave	29	46	72	76
Diametro albero - mm	42	42	60	65
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	2	1	1	2
Passo avvolgimento	1÷9	1÷10	1÷10	1÷7
Fili/cava (Fili/matassa)	56 (28)	37 (37)	31 (31)	32 (16)
Collegamento	serie	serie	serie	serie
Diametro conduttore nudo - mm	1,3	1,35	1,25	1,6
Isolamento	Smalto sintetico all'acetale di vinile			
Densità di corrente - A/mm²	5,8	5,75	7,0	4,3
Lunghezza spira media - m	0,572	0,542	0,476	0,492
Peso rame - kg	4,35	4,15	5,1	8,5
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	76	52	28	68
Sezione anelli - mm²	245	155	215	280
Peso - kg	0,7	0,8	1,2	2,3
Densità di corrente A/mm²	3,1	3,3	4,0	2,1

34) Dati di targa e dimensioni principali

Motore asincrono (FIMET) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 3000/1500 giri/min (a p. c. 2820/1440 giri/min) - Frequenza 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 3,3/2,6 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 260 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 10,6/8,9 A - Corrente secondaria alla potenza nominale 122/269 A - Collegamento del primario **YY** (2 poli) - Δ (4 poli) e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno pacco statorico	$\varnothing_i$ = 120 mm
Lunghezza » »	L_g = 88 »
Altezza corona » »	h_c = 20,5 »
Dimensioni cave » »	h = 21 »; b_m = 7,5 »
Numero cave 36	
Diametro esterno pacco rotorico	$\varnothing_{er}$ = 119,4 »
Dimensioni cave » »	h = 11,5 »; b_m = 3,5 »
Numero cave rotore 43	
Diametro albero	$\varnothing_a$ = 39 »

Dati sugli avvolgimenti. — *Statore* - Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1 ÷ 10 - Fili/cava 52 (fili/matassa 26) - Collegamento serie - Diametro conduttore nudo $\varnothing_{cn}$ = 1,2 mm - Isolamento « classe A » - Densità di corrente 4,5/4,7 A/mm² - Lunghezza spira media 0,49 m - Peso rame 4,7 kg.

Rotore - Materiale gabbia: alluminio presso-fuso - Sezione barre 37,7 mm² - Sezione anelli 133 mm² - Densità di corrente nelle barrette 3,2/3,6 A/mm² - Densità di corrente negli anelli 6,5/3,5 A/mm² - Peso gabbia 0,7 kg.

Ancora una volta abbiamo fatto appello alle nostre quattro più grandi ditte costruttrici di macchinario elettrico rotante, ANSALDO SAN GIORGIO, BROWN BOVERI, C. G. E. e MARELLI, per avere dati relativi a motori asincroni di costruzione più recente di quelli fornitici per la precedente edizione e come sempre tali ditte ci hanno fornito la loro cortese collaborazione, per la quale ci è gradito esprimere loro i più sentiti ringraziamenti (Gennaio 1963).

Anche per la IX edizione ci siamo rivolti alle maggiori ditte italiane per avere dati costruttivi sui motori di più recente fabbricazione. Mentre la MARELLI ci ha risposto che sono tuttora da ritenersi validi i dati forniti all'inizio del 1963 (v. es. n. 49 ÷ n. 60), l'ANSALDO SAN GIORGIO e la C. G. E. ci hanno inviato i dati degli esempi costruttivi dal n. 61 al n. 76, i quali rappresentano un prezioso ausilio per utili controlli di aggiornamento.

Rivolgiamo pertanto un vivo ringraziamento a queste due Ditte che ancora una volta si sono dimostrate sensibili ai problemi dei giovani che intendono approfondire la loro conoscenza nel campo degli avvolgimenti (Ottobre 1964).

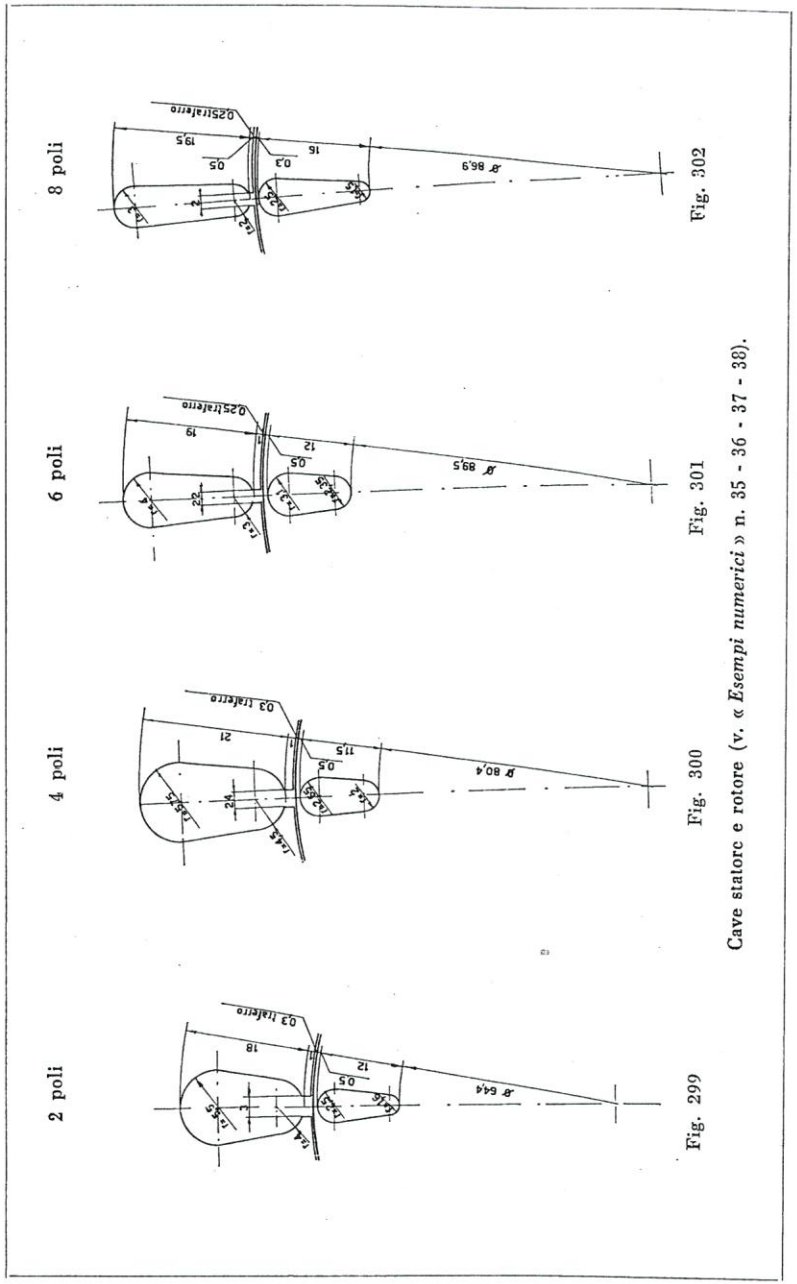
Anche per la XII edizione i nostri maggiori complessi industriali, *Tecnomasio ITALIANO BROWN BOVERI, E. MARELLI*, ASGEN, ci hanno concesso la loro collaborazione, di cui vivamente li ringraziamo, inviando dati costruttivi relativi a motori di fabbricazione recente (Gennaio 1969).

Motori asincroni Ansaldo-San Giorgio (*)

35-36-37-38 (Per la forma e le dimensioni delle cave vedansi le figg. 299-300-301-302).

	35	36	37	38
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1390	910	690
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	2,6	1,85	1,1	0,55
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	10,5	8,2	5,6	2,9
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	190	212	178	110
Collegamento primario	triangolo	triangolo	triangolo	triangolo
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	180	180	180	180
Diametro interno pacco statorico - mm	90	105	115	120
Lunghezza (**) » » »	65	65	65	65
Altezza corona » » »	26	15,5	12,5	10
Dimensioni cave » » »	18 × 11/8	21 × 11,5/9	19 × 8/6	19,5 × 6/4
Numero cave	24	24	36	48
Diametro esterno pacco rotorico - mm	89,4	104,5	114,5	119,5
Dimensioni cave » » »	12 × 5/3,2	11,5 × 5,3/4	12 × 6,2/4,7	16 × 5/3
Spessore dente statore - mm	4,5	6,3	4,7	4
Numero cave	28	30	28	38
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	1	1	1	1
Passo avvolgimento	1÷12 (intero)	1÷6 (intero)	1÷6 (intero)	1÷6 (intero)
Fili/cava (Fili/matassa)	52 (52)	83 (83)	76 (76)	83 (83)
Collegamento	Δ	Δ	Δ	Δ
Diametro conduttore nudo - mm	1,3	1,15	0,95	0,7
Isolamento	Formex D-AV	Formex D-AV	Formex	Formex
Densità di corrente - A/mm²	4,55	4,5	4,6	4,4
Lunghezza spira media - m	0,305	0,20	0,187	0,165
Peso rame - kg	4,45	4	3,22	2,2
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	—	—	—	—
Sezione anelli - mm²	—	—	—	—
Densità di corrente A/mm²	4,8	4,6	3,2	2,16

(*) Lamierini con cifra di perdita 2,3 W/kg.
(**) Fattore di stipamento = 0,95.



Cave statore e rotore (v. « *Esempi numerici* » n. 35 - 36 - 37 - 38).

Motori asincroni Ansaldo - San Giorgio

	Motori a doppia polarità			
	a potenza variabile		a potenza costante	
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2880	1410	2850	1420
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	2,2	1,48	1,48	1,48
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	9,6	9,2	9,2	9,2
Collegamento primario	doppia stella	triangolo	doppia stella	triangolo
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	180		180	
Diametro interno pacco statorico - mm	105		105	
Lunghezza » » »	65		65	
Altezza corona » » »	15,5		15,5	
Dimensioni cave » » »	21×11,5/9		21×11,5/9	
Spessore dente statore - mm	6,3		6,3	
Numero cave	24		24	
Diametro esterno pacco rotorico - mm	104,4		204,4	
Dimensioni cave » » »	11,5×5,3/4		11,5×5,3/4	
Numero cave	30		30	
Diametro albero - mm	33,9		33,9	
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona		a corona	
Matasse/cava	2		2	
Passo avvolgimento	1 ÷ 7		1 ÷ 8	
Fili/cava (Fili/matassa)	84 (42)		84 (42)	
Collegamento	doppia stella - triangolo		doppia stella - triangolo	
Diametro conduttore nudo - mm	1,15		1,15	
Isolamento	Formex D-AV		Formex D-AV	
Densità di corrente - A/mm²	4,6	5,05	4,4	5,05
Lunghezza spira media - m	0,560	0,440	0,580	0,460
Peso rame - kg	3,8		3,8	
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio		alluminio	
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	—		—	
Sezione anelli - mm²	—		—	

Motori asincroni Brown Boveri

(Costruzione protetta a potenza costante)

	41	42	43	44
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1420	940	710
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	4,4	4,4	4 ,4	4,4
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	15,7	16,2	19	21,2
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	230	185	213	222
Collegamento primario	Δ serie	Δ serie	Δ serie	Δ serie
Collegamento secondario	in cortocirc.	in cortocirc.	in cortocirc.	in cortocirc.
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	60	125	155	180
Lunghezza » » »	110	130	130	140
Altezza corona » » »	17,5	14	12	13,5
Dimensioni cave » » »	26×8/5	23×9,3/7	24×10,3/8,2	25×12,2/9,5
Numero cave	36	36	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	89	124,3	154,2	179,2
Dimensioni cave » » »	12×5,6/4,2	13×5/4	15×5,5/4,2	15×5/4
Numero cave	28	46	46	46
Diametro albero - mm	35	35	39	55
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona sp.	a corona sp.	a corona sp.	a corona sp.
Matasse/cava	1	2	2	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 15	1 ÷ 8	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Fili/cava (Fili/matassa)	3×25=75	2×32=64	2×34=68	2×36=72
Collegamento	3 fili // Δ serie	2 fili // Δ serie	2 fili // Δ serie	2 fili // Δ serie
Diametro conduttore nudo - mm	0,95	1,1	1,2	1,3
Isolamento	doppio smalto	doppio smalto	doppio smalto	doppio smalto
Densità di corrente - A/mm²	4,3	5	4,9	4,6
Lunghezza spira media - m	0,640	0,520	0,540	0,600
Peso rame - kg	5,6	5,2	6,8	9,5
Rotore				
Materiale gabbia	AL presso fuso	AL presso fuso	AL presso fuso	AL presso fuso
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	54	54,5	68	63
Sezione anelli - mm²	240	170	180	180
Peso - kg	0,8	1,25	1,6	1,7
Densità di corrente A/mm²	4,25	3,4	3,13	3,52

Motori asincroni C. G. E.

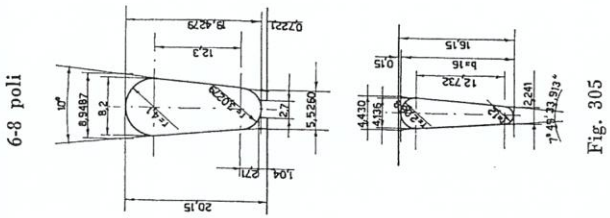
45-46-47-48

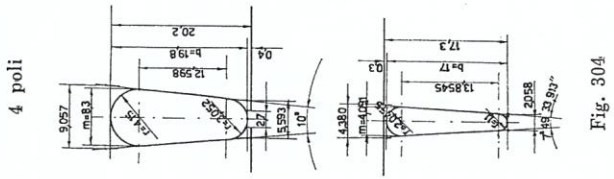
	45	46	47	48
Dati di targa	FL 5/2	FL 7/4	FL 11/6E	FL 17/8
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2800	1410	930	700
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	0,73	0,73	0,73	0,73
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	3,1	3,2	3,4	4,1
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	—	—	—	—
Collegamento primario	Δ	Δ	Δ	Δ
Collegamento secondario	in cortocirc.	in cortocirc.	in cortocirc.	in cortocirc.
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	72	85	95	130
Lunghezza » » »	50	70	75	65
Altezza corona » » »	18	11,5	14	12,5
Dimensioni cave » » »	8,2/11,2 × 17,2	6,2/9,8 × 17,2	4,6/7 × 19,7	5,8/8,8 × 21
Numero cave	18	24	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	71,4	84,5	94,5	129,4
Dimensioni cave » » »	5,2/4,6 × 10	3,8/3 × 7,5	3,4/2,5 × 10	4,2/2,5 × 14,5
Numero cave	14	32	44	44
Diametro albero - mm	20	20	26	28
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	spirale embricato	spirale embricato	spirale embricato	spirale embricato
Matasse/cava	2	2	2	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 7	1 ÷ 6	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Fili/cava (Fili/matassa)	136 (68)	112 (56)	94 (47)	102 (51)
Collegamento	serie	serie	serie	serie
Diametro conduttore nudo - mm	0,65	0,7	0,7	0,8
Isolamento	smalto formivex	smalto formivex	smalto formivex	smalto formivex
Densità di corrente - A/mm²	5,4	4,8	5,1	4,7
Lunghezza spira media - m	0,380	0,350	0,340	0,320
Peso rame - kg	1,45	1,7	2,1	2,8
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	44	23,1	27,8	46,7
Sezione anelli - mm²	130	155	130	160
Peso - kg	0,25	0,39	0,50	0,95
Densità di corrente A/mm²	—	—	—	—

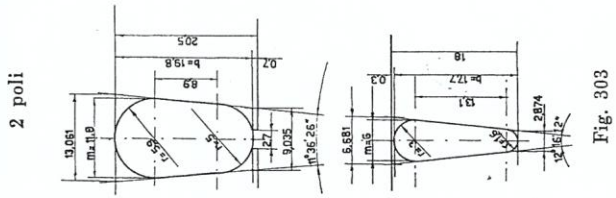
Motori asincroni Marelli

49-50-51-52 (Per la forma e le dimensioni delle cave vedansi le figg. 303-304-305).

	49	50	51	52
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2860	1420	945	705
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	4,1	2,94	1,84	1,32
Tensione di alimentazione - V	220/380	220/380	220/380	220/380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	14,8/8,6	11,6/6,7	8,1/4,7	7/4,05
Collegamento primario	tr./st.	tr./st.	tr./st.	tr./st.
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	110	125	132,7	132,7
Lunghezza » » »	64	64	64	64
Altezza corona » » »	24,5	17,3	13,35	13,35
Dimensioni cave » » »	19,8 × 11,8/10	19,8 × 8,3/6,1	19,43 × 8,2/6,05	19,43 × 8,3/6,1
Numero cave	24	36	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	109,1	124,2	132	132
Dimensioni cave » » »	17,7 × 6/3,2	17 × 4,09/2,2	16 × 4,14/2,4	16 × 4,14/2,4
Numero cave	29	46	46	46
Diametro albero - mm	42	42	42	42
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	2	1	1	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 9	1 ÷ 10	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Fili/cava (Fili/matassa)	50 (25)	46 (46)	61 (61)	80 (40)
Collegamento	6 morsetti	6 morsetti	6 morsetti	6 morsetti
Diametro conduttore nudo - mm	2 × 0,95	1,2	0,95	0,85
Isolamento	classe E-RV8 doppio strato Formivex all'acetale di vinile			
Densità di corrente - A/mm²	6,05	5,95	6,6	7,1
Lunghezza spira media - m	0,572	0,510	0,416	0,352
Peso rame - kg	4,35	3,9	3,1	3,1
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	78,435	51,2	50,6	50,6
Sezione anelli - mm²	185	161	144	144
Peso - kg	0,7	0,7	0,530	0,530
Densità di corrente A/mm²	3,18	3,66	3,13	3,15







Cave statore e rotore (v. « *Esempi costruttivi* » n. 49 - 50 - 51).

53-54-55-56

Dati di targa	53	54	55	56
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2870	1430	950	710
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	2,35	2,2	2,2	2,65
Tensione di alimentazione - V	220/380	220/380	220/380	220/380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	9/5,2	9,1/5,25	10/5,78	12,6/7,28
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	195	190	148	178
Collegamento primario	tr./st.	tr./st.	tr./st.	tr./st.
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	152	178	178	210
Diametro interno pacco statorico - mm	82	116	119	140
Lunghezza » » »	88	78	100	118
Altezza corona » » »	19,6	16,5	11,4	13,2
Dimensioni cave » » »	h = 14,9 b_m = 9,95	h = 14 b_m = 8,86	h = 17,6 b_m = 6,1	h = 21,3 b_m = 7,35
Numero cave	18	24	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	81,2	115,2	118,3	139,3
Dimensioni cave » » »	h = 15,8 b_m = 3,65	h = 14,8 b_m = 5,31	h = 17,9 b_m = 2,87	h = 20,15 b_m = 3,2
Numero cave	23	30	44	44
Diametro albero - mm	33	42	42	50
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	2	1	1	2
Passo avvolgimento	1÷ 7	1 ÷ 6	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Fili/cava (Fili/matassa)	70 (35)	62 (62)	45 (45)	42 (21)
Collegamento	serie	serie	serie	serie
Diametro conduttore nudo - mm	0,95	0,9	1	1,3
Isolamento	Smalto sintetico all'acetale di vinile			
Densità di corrente - A/mm²	7,34	8,28	7,4	5,5
Lunghezza spira media - m	0,512	0,434	0,404	0,428
Peso rame - kg	2	1,98	2,6	4,300
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	57	58	50,39	63,38
Sezione anelli - mm²	210	144	160	195
Peso - kg	0,590	0,713	0,990	1,450
Densità di corrente A/mm²	3,42	3,28	2,94	2,82

Motori asincroni Marelli

57-58-59-60

Dati di targa	Autoaviantisi con condens. per forte coppia		Autoaviantisi con condens. permanentemente inserito	
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2900	1450	2850	1450
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	1	1	1	1
Potenza nominale - kW	0,736	0,736	0,515	0,515
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	6	7	3,5	3,8
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	130	152	110	130
Diametro interno pacco statorico - mm	69	101	58	80
Lunghezza » » »	75	69	64	75
Altezza corona » » »	16,5	9,6	13,3	11,32
Dimensioni cave » » »	h = 13,5 b_m = 8,59	h = 15,4 b_m = 5,37	h = 12,2 b_m = 7,59	h = 13,18 b_m = 6,42
Numero cave	18	36	18	24
Diametro esterno pacco rotorico - mm	68,3	100,4	57,4	79,4
Dimensioni cave » » »	h = 11,15 b_m = 3,44	h = 15,2 b_m = 2,69	h = 10,4 b_m = 3,09	h = 10,9 b_m = 2,84
Numero cave	23	44	23	30
Diametro albero - mm	27	33	23	27
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	Concentrico	Concentrico	Concentrico	Embricato
Numero cave - marcia avviamento	12-6	24-12	12-6	12-12
Matasse/cava » »	1 - ½	1 - ½	1 - ½	1 - 1
Passo avvolg. » »	1÷9, 1÷7 e 1÷5 1÷10 e 1÷8	1÷9, 1÷7 e 1÷5 1÷10 e 1÷8	1÷9, 1÷7 e 1÷5 1÷10 e 1÷8	1 ÷ 7 - 1 ÷ 7
Fili/cava » »	52 - 104	34 - 68	65 - 144	64 - 64
Collegamento	serie	serie	serie	serie
Diametro conduttore nudo - marcia avviamento - mm.	1 - 0,65	1 - 0,7	0,75 - 0,5	0,7 - 0,7
Isolamento	Smalto sintetico all'acetale di vinile			
Densità di corrente - A/mm²	—	—	—	—
Lunghezza spira media - m	—	—	—	—
Peso rame - marcia avviamento - kg	0,840 - 0,420	1,100 - 0.550	0,580 - 0,550	0,550 - 0,550
Condensatore	elettrolitico	elettrolitico	carta-olio	carta-olio
Capacità μF	80	160	16	32
Tensione di Lavoro	220	220	400	400
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	36,4	40,15	30,95	29,85
Sezione anelli - mm²	135	120	117	72

Motori asincroni Ansaldo - San Giorgio

61-62-63-64

Dati di targa	61	62	63	64
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2,850	1,415	940	705
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	3,7	2,2	1,47	0,92
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	13,5	8,5	6,9	5
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	265	157	118	88
Collegamento primario	Δ	Δ	Δ	Δ
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	160	160	160	160
Diametro interno pacco statorico - mm	79	96	105	105
Lunghezza » » »	102	102	102	102
Altezza corona » » »	22,3	15	10,7	10,7
Dimensioni cave » » »	17,7×14,05/8,33	16,5×9,13/5,88	16,3×8,01/5,32	16,3×8,01/5,32
Numero cave	18	30	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	78,4	95,4	104,5	104,5
Dimensioni cave » » »	12,6×5,59/3,27	11,6×4,16/2,82	11,6×3,84/2,72	11,6×3,84/2,72
Numero cave	22	38	46	46
Diametro albero - mm	36	36	36	36
Spessore dente statore - mm	6,2	4,5	4,1	4,1
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	2	2	2	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 10	1 ÷ 8	1 ÷ 7	1 ÷ 5
Conduttori/cava	48	50	56	80
Fili in parallelo	3	2	2	1
Fili in cava	144	100	112	80
Conduttori per matassa	24	25	28	40
Diametro conduttore nudo - mm	2∅0,85+1∅0,8	1∅0,75+1∅0,8	1∅0,7+1∅0,65	∅ 0,8
Isolamento	Formvex - DAV	Formvex - DAV	Formvex : DAV	Formvex - DAV
Densità di corrente - A/mm²	4,77	5,2	5,56	5,73
Lunghezza spira media - m	0,302	0,240	0,207,5	0,203
Peso rame - kg	4,2	3,2	2,85	2,8
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	48	35	32,4	32,4
Sezione anelli - mm²	190	150	120	120
Peso - kg	0,600	0,800	0,800	0,800
Densità di corrente A/mm²	5,52	4,48	3,64	2,72

Motori asincroni Ansaldo - San Giorgio

Dati di targa	MOTORE A DOPPIA POLARITA'			
	a potenza variabile		a potenza costante	
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2.830	1.425	2,830	1.425
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	5,15	3,68	4,04	4,04
Tensione di alimentazione - V	380	380	380	380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	10,2	7,8	8,5	8,5
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	—	—	—	—
Collegamento primario	YY	Δ	YY	Δ
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	200		200	
Diametro interno pacco statorico - mm	122		122	
Lunghezza » » »	100		100	
Altezza corona » » »	19,5		19,5	
Dimensioni cave » » »	19×9,16/6,02		19×9,16/6,02	
Numero cave	36		36	
Diametro esterno pacco rotorico - mm	121,3		121,3	
Dimensioni cave » » »	12,4×4,32/3,12		12,4×4,32/3,12	
Numero cave	46		46	
Diametro albero - mm	48		48	
Spessore dente statore - mm	4,9		4,9	
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona		a corona	
Matasse/cava	2		2	
Passo avvolgimento	1 ÷ 10		1 ÷ 11	
Conduttori/cava	66		64	
Fili in parallelo	2		1	
Fili in cava	132		64	
Conduttori per matassa	33		32	
Diametro conduttore nudo - mm	0,75		1,05	
Isolamento	Formvex-DAV		Formvex-DAV	
Densità di corrente - A/mm²	5,76 - 5,1		4,9 - 5,7	
Lunghezza spira media - m	0,378		0,408	
Peso rame - kg	7,4		7,5	
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio		alluminio	
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	42		42	
Sezione anelli - mm²	210		210	
Peso - kg	1.200		1.200	
Densità di corrente A/mm²	—		—	

Motori asincroni C. G. E.

(Costruzione protetta)

Dati di targa	67	68	69	70
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2820	1410	940	700
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	1,5	1,5	1,5	1,5
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	5,8	5,8	6,5	7,6
Collegamento primario	Δ	Δ	Δ	Δ
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	88	95	130	130
Lunghezza » » »	55	75	80	110
Altezza corona » » »	20,5	14	12,5	12,5
Dimensioni cave » » »	8,2/11,2×16,7	4,6/7×19,7	5,8/8,8×21	5,8/8,8×21
Numero cave	24	36	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	87,3	94,5	129,4	129,4
Dimensioni cave » » »	7,3/4,7×14,5	3,4/2,5×10	4,2/2,5×14,5	4,2/2,5×14,5
Numero cave	20	44	44	44
Diametro albero - mm	26	26	28	28
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	spirale embr.	spirale embr.	spirale embr.	spirale embr.
Matasse/cava	2	2	2	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 9	1 ÷ 9	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Fili/cava (Fili/matassa)	80 (40)	58 (29)	62 (31)	58 (29)
Diametro conduttore nudo - mm	0,9	0,9	1,0	1,1
Isolamento	Smalto Formivex			
Densità di corrente - A/mm²	5,26	5,27	4,74	4,62
Lunghezza spira media - m	0,220	0,20	0,195	0,21
Peso rame - kg	2,4	2,4	3,1	3,7
Rotore				
Materiale gabbia	Alluminio	Alluminio	Alluminio	Alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	80	27,8	46,7	46,7
Sezione anelli - mm²	180	130	160	160
Peso - kg	0,46	0,5	1,0	1,15
Densità di corrente A/mm²	—	—	—	—

Motori asincroni C. G. E.

71-72-73-74 (Costruzione chiusa autoventilata)

	71	72	73	74
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2800	1400	930	700
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	1,5	1,5	1,5	1,5
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	5,6	5,8	6,7	7,4
Collegamento primario	Δ	Δ	Δ	Δ
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	88	95	130	130
Lunghezza » » »	65	80	75	110
Altezza corona » » »	20,5	14	12,5	12,5
Dimensioni cave » » »	8,2/11,2×16,7	4,6/7×19,7	5,8/8,8×21	5,8/8,8×21
Numero cave	24	36	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	87,3	94,5	129,4	129,4
Dimensioni cave » » »	7,3/4,7×14,5	3,4/2,5×10	4,2/2,5×14,5	4,2/2,5×14,5
Numero cave	20	44	44	44
Diametro albero - mm	30	30	40	40
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	spirale embr.	spirale embr.	spirale embr.	spirale embr.
Matasse/cava	2	2	2	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 9	1 ÷ 9	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Fili/cava (Fili/matassa)	74 (37)	54 (27)	62 (31)	58 (29)
Diametro conduttore nudo - mm	0,95	0,95	1,0	1,1
Isolamento	Smalto Formivex			
Densità di corrente - A/mm²	4,55	4,72	4,92	4,5
Lunghezza spira media - m	0,235	0,22	0,215	0,23
Peso rame - kg	2,65	2,7	3,3	4,0
Rotore				
Materiale gabbia	Alluminio	Alluminio	Alluminio	Alluminio
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	80	27,8	46,7	46,7
Sezione anelli - mm²	180	130	160	160
Peso - kg	0,5	0,52	1,0	1,15
Densità di corrente A/mm²	—	—	—	—

Motori asincroni C. G. E.

75-76 (Costruzione protetta)

	Doppia polarità con unico avvolgimento		Monofase con condensatore di avviamento	
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1410	1430	
Frequenza - p/s	50	50	50	
Numero delle fasi	3	3	1	
Potenza nominale - kW	2	1,4	0,25	
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	7,6	6,1	3,3	
Collegamento primario	doppia stella	triangolo	—	
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro interno pacco statorico - mm	95		85	
Lunghezza » » »	75		50	
Altezza corona » » »	14		11,5	
Dimensioni cave » » »	19×7/4,6		17,2×9,8/6,2	
Numero cave	36		24	
Diametro esterno pacco rotorico - mm	94,5		84,5	
Dimensioni cave » » »	10×3,4/2,5		7,5×3,8/3	
Numero cave	44		32	
Diametro albero - mm	26		20	
Dati sugli avvolgimenti			fase lavoro	fase ausiliaria
Statore				
Avvolgimento	a corona		a spirale concentrica	
Matasse/cava	2		—	—
Passo avvolgimento	1 ÷ 10		1÷7, 1÷5, 1÷3	1÷7, 1÷5, 1÷3
Fili/cava (Fili/matassa)	60 (30)		39 - 71 - 50	55 - 32 - 16
Collegamento	parallelo/serie		—	—
Diametro conduttore nudo - mm	0,9		0,95	0,5
Isolamento	Smalto Formivex		Smalto Formivex	
Densità di corrente - A/mm²	6/5,5		4,65	—
Lunghezza spira media - m	0,210		—	—
Peso rame - kg	2,6		1,05	0,20
Rotore				
Materiale gabbia	Alluminio		Alluminio	
Dimensioni barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	27,8		23,1	
Sezione anelli - mm²	130		155	
Peso - kg	0,5		0,34	
Densità di corrente A/mm²	—		—	

Motori asincroni Tecnomasio Italiano Brown Boveri (1968)

77-78-79-80 (Costruzione chiusa ventilata esternamente)

	77	78	79	80
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2860	1410	930	700
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	0,75	0,75	0,75	0,75
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	3,1	3,4	3,7	4,2
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	168	300	155	182
Collegamento primario	Δ serie	Δ serie	Δ serie	Δ serie
Collegamento secondario	in cortocirc.	in cortocirc.	in cortocirc.	in cortocirc.
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	126	126	138	155
Diametro interno pacco statorico »	70	80	94	107
Lunghezza » » »	60	75	80	100
Altezza corona » » »	18	11	10	—
Dimensioni cave » » »	15 × 6/3	12 × 5,7/3,4	12 × 6/3,6	13,5 × 6,6/3,6
Numero cave	24	24	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	69,6	79,6	93,6	106,5
Dimensioni cave » » »	9 × 3,5/2,1	12 × 4,7/1,7	12/15 × 3,12/3	13/16 × 3,3/3
Numero cave	28	18	46	46
Diametro albero - mm	19	19	24	28
Spessore dente statore - mm	—	—	—	—
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	concentrico	concentrico	concentrico	concentrico
Matasse/cava	2	1	1	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 11	1 ÷ 7	1 ÷ 7	1 ÷ 5
Conduttori/cava	84	92	80	86
Fili in parallelo	—	—	—	—
Conduttori per matassa	42	92	80	43
Diametro conduttore nudo - mm	0,5	0,55	0,62	0,65
Isolamento	doppio smalto	doppio smalto	doppio smalto	doppio smalto
Densità di corrente - A/mm²	9,1	8,27	7,1	7,33
Lunghezza spira media - m	0,410	0,380	0,350	0,355
Peso rame - kg	0,7	0,85	1,35	1,6
Rotore				
Materiale gabbia	Al-pressofuso	Al-pressofuso	Al-pressofuso	Al-pressofuso
Sezione barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	23,9	38	33,2	37,6
Sezione anelli - mm²	103	110	137	162
Peso - kg	0,233	0,284	0,512	0,75
Densità di corrente - A/mm²	7	7,9	4,7	4,85

Motori asincroni Marelli (1968)

81-82-83-84

	81	82	83	84
Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1415	950	700
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	1	1	1	1
Tensione di alimentazione - V	380	380	380	380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	1,9	2	2,15	2,5
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	—	—	—	—
Collegamento primario	stella	stella	stella	stella
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	130	130	152	165
Diametro interno pacco statorico »	69	80	101	109
Lunghezza » » »	59	75	69	90
Altezza corona » » »	16,6	11,5	9,6	10,4
Sezione cava » » mm²	100,63	76,43	78,32	93,78
Numero cave	18	24	36	36
Diametro esterno pacco rotorico mm	68,3	79,4	100,4	108,3
Sezione cava » » mm²	36,4	29,85	40,15	39,25
Numero cave	23	30	44	44
Diametro albero - mm	27	27	33	36
Spessore dente statore - mm	—	—	—	—
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	embricato	concentrico	embricato	embricato
Matasse/cava	2	1	1	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 7	1÷8 e 1÷6	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Conduttori/cava	114	94	85	80
Fili in parallelo	1	1	1	1
Conduttori per matassa	57	94	85	40
Diametro conduttore nudo - mm	0,65	0,58	0,65	0,7
Isolamento	doppio smalto sintetico			
Densità di corrente - A/mm²	5,72	7,57	6,47	6,49
Lunghezza spira media - m	—	—	—	—
Peso rame - kg	1,200	1,100	1,550	1,650
Rotore				
Materiale gabbia	Al	Al	Al	Al
Sezione barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	—	—	—	—
Sezione anelli - mm²	—	—	—	—
Induzione nel traferro - Wb/m²	0,839	0,881	0,856	0,842

Motori asincroni Marelli (1968)

Dati di targa	Motori a doppia polarità			
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1415	1415	695
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	1	0,75	0,5	0,35
Tensione di alimentazione - V	380	380	380	380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	1,8	1,45	0,93	1,15
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	—	—	—	—
Collegamento primario	doppia stella	triangolo	doppia stella	triangolo
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	130		130	
Diametro interno pacco statorico »	80		85,5	
Lunghezza » » »	75		75	
Altezza corona » » »	11,5		8	
Sezione cava » » mm²	75,43		62,17	
Numero cave	24		36	
Diametro esterno pacco rotorico - mm	79,4		85	
Sezione cava » » mm²	29,85		29,52	
Numero cave	30		44	
Spessore dente statore - mm	—		—	
Diametro albero - mm	27		27	
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	Dahlander		Dahlander	
Matasse/cava	2		2	
Passo avvolgimento	1 ÷ 7		1 ÷ 6	
Fili/cava	208		260	
Spire/matassa	104		130	
Diametro conduttore nudo - mm	0,4		0,3	
Isolamento	doppio smalto sintetico		doppio smalto sintetico	
Densità di corrente - A/mm²	—		—	
Lunghezza spira media - m	—		—	
Peso rame - kg	1,100		1,100	
Resistenza per fase (25° C) - Ω	43,5		122	
Rotore				
Materiale gabbia	Al	Al	Al	Al
Sezione barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	—	—	—	—
Sezione anelli - mm²	—	—	—	—
Induzione nel traferro Wb/m²	0,573	0,798	0,525	0,795

Motori asincroni Marelli (1968)

Dati di targa	Autoavviantesi con condensatore per forte coppia di spunto	Autoavviantesi con condensatore permanentemente inserito
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	1450	1400
Frequenza - p/s	50	50
Numero delle fasi	1	1
Potenza nominale - kW	0,66	0,8
Tensione di alimentazione - V	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	4,5	4,3
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore		
Diametro esterno pacco statorico - mm	130	130
Diametro interno pacco statorico »	85,5	80
Lunghezza » » »	75	75
Altezza corona » » »	8	11,5
Sezione cava » » mm²	62,17	76,43
Numero cave	36	24
Diametro esterno pacco rotorico - mm	85	79,4
Sezione cava » » mm²	29,52	29,85
Numero cave	44	30
Diametro albero - mm	27	27
Dati sugli avvolgimenti		
Statore		
Avvolgimento	concentrico (v. tav. 248)	embricato (v. tav. 238)
Numero cave - marcia/avviamento	24/12	12/12
Matasse per cava » »	1/1-2	1/1
Passo avvolgimento » »	1÷9, 1÷7 e 1÷5 1÷10 e 1÷8	1÷7
Fili per cava » »	40/96-48	64/64
Collegamento	serie	serie
Diametro conduttore nudo - marcia/avviamento - mm	0,8/0,5	0,7/0,7
Isolamento	doppio smalto sintetico	doppio smalto sintetico
Densità di corrente - A/mm²	—	—
Lunghezza spira media - m	—	—
Peso rame - marcia/avviamento - kg	0,800/0,400	0,550/0,550
Condensatore	elettrolitico	elettrolitico
Capacità - μF	80	32
Tensione di lavoro - V	220	400
Servizio del condensatore	intermittente	continuo
Resistenza - marcia/avviam. (25° C) Ω	5,3/18	6,7/6,7

Motori asincroni ASGEN (1968)

89-90-91-92

Dati di targa	89	90	91	92
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1430	940	700
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	4	4	4	4
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	15,5	16	18	10
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	220	185	164	158
Collegamento primario	triangolo	triangolo	triangolo	stella
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	180	180	200	260
Diametro interno » » »	89	109	135	178
Lunghezza » » »	94	124	146	110
Altezza corona » » »	25,5	16	14	19
Dimensioni cave » » »	20 × 11,5/7	19,5 × 10/6	18,5 × 9,6/6,7	22 × 8,1/5,7
Numero cave	24	30	36	54
Diametro esterno pacco rotorico - mm	88,3	108,4	134,4	177,4
Dimensioni cave » » »	14 × 5/3	18,5 × 4,2/1,8	12,5 × 5/4	23 × 5/4,3
Numero cave	28	38	46	62
Diametro albero - mm	42	42	48	60
Spessore dente statore - mm	5,2	5,5	5,4	4,8
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	2	2	2	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 11	1 ÷ 8	1 ÷ 6	1 ÷ 7
Coduttori/cava	38	34	30	54
Fili in parallelo	3	2	3	1
Fili in cava	114	68	90	54
Conduttori per matassa	19	17	15	27
Diametro conduttore nudo - mm	0,95	1,1	0,95	1,2
Isolamento	F - DAV	F - DAV	F - DAV	F - DAV
Densità di corrente A/mm²	4,15	4,65	5,07	4,42
Lunghezza spira media - m	0,305	0,28	0,275	0,27
Peso rame - kg	5,1	5	5,4	7,7
Rotore				
Materiale gabbia	Al	Al	Al	Al
Sezione barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	52	45	48,3	46
Sezione anelli - mm²	236	176	160	288
Densità di corrente - A/mm²	4,7	4,6	3,8	2,7
Flusso traferro - Wb	0,00705	0,006	0,0056	0,00415
Induzioni reali: traferro Wb/m²	0,74	0,8	0,775	0,77
Induzioni reali: corona statore »	1,55	1,5	1,5	1,1
Induzioni reali: denti » »	1,8	1,9	1,84	1,8

Motori asincroni ASGEN (1968)

93-94

Dati di targa	Motori a doppia polarità			
	a potenza variabile		a potenza costante	
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2850	1430	2850	1430
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	4,4	3,3	3,3	3,3
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	16	12	12	12
Corrente secondaria alla potenza nominale - giri/min	157	166	126,5	166
Collegamento primario	YY	Δ	YY	Δ
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statore - mm	180			
Diametro interno pacco statorico - mm	109			
Lunghezza » » »	124			
Altezza corona » » »	16			
Dimensioni cave » »	19,5 × 10/6			
Numero cave	30			
Diametro esterno pacco rotorico - mm	108,4			
Dimensioni cave » » »	18,5 × 4,2/1,8			
Numero cave	38			
Spessore dente statore - mm	5,55			
Diametro albero - mm	42			
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona		a corona	
Matasse/cava	2		2	
Passo avvolgimento	1 ÷ 8		1 ÷ 9	
Conduttori/cava	42		42	
Fili in parallelo	2		2	
Fili in cava	84		84	
Conduttori per matassa	21		21	
Diametro conduttore nudo - mm	1,0		1,0	
Isolamento	F-DAV		F-DAV	
Densità di corrente - A/mm²	5,1	4,42	4,42	4,42
Lunghezza spira media - m	0,284		0,284	
Peso rame - kg	5		5	
Rotore				
Materiale gabbia	Alluminio		Alluminio	
Sezione barretta (fusa in cava ovoidale) - mm²	52,6		52,6	
Sezione anelli - mm²	176	176	176	176
Peso - kg	—	—	—	—
Densità di corrente - A/mm²	4,1	4,3	3	4,3
Flusso traferro - Wb	0,00786	0,00545	0,0073	0,00535
Induzioni reali: traferro Wb/m²	0,515	0,72	0,48	0,705
Induzioni reali: corona statore »	1,93	1,37	1,79	1,35
Induzioni reali: denti » »	1,21	1,72	1,12	1,685

Motori asincroni Marelli (1972)

95-96-97-98

Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2880	1445	960	720
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	9	7,5	4	3
Tensione di alimentazione - V	220/380	220/380	220/380	220/380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	32.8/19	27.3/15.8	17/9.8	14.5/8.5
Collegamento primario	Δ/Y	Δ/Y	Δ/Y	Δ/Y
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	—	—	—	—
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	210	210	210	210
Diametro interno » » »	113	138	140	140
Lunghezza » » »	148	148	148	148
Altezza corona » » »	26.8	18.7	13.2	13.2
Dimensioni cave » » »	21 5 x 12.4/9.7	16.7 x 8.2/5.6	21.2 x 8.6/6.2	21.2 x 8 6/6,2
Numero cave	24	36	36	36
Diametro esterno pacco rotorico - mm	112	137.4	139.3	139.3
Dimensioni cave (esterna-interna) »	5,3;11,2x9,5/4,34	21,1 × 3,65/3,65	20,15 × 4,4/2	20,15 × 4,4/2,
Numero cave	30 - 15	28	44	44
Diametro albero - mm	50	50	50	50
Spessore dente statore - mm	5	6	6	6
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	concentrico	concentrico	embricato	embricato
Matasse/cava	2 - 1	2	1	2
Passo avvolgimento	1÷13, 1÷11, 1÷9	1÷10, 1÷8, 1÷6	1 ÷ 6	1 ÷ 5
Fili/cava (Fili/matassa)	20 (10-20)	20 (10)	28 (28)	36 (18)
Fili in parallelo	—	—	—	—
Diametro conduttore nudo - mm	5×1.06	2×1.18	2×1.12	2×1
Isolamento	Classe B - RV_2 doppio smalto poliesterimidico			
Densità di corrente - A/mm²	4.32	7.17	4.95	5.38
Lunghezza spira media - m	0.758	0.575	0.564	0.542
Peso rame - kg	7.25	4.1	5.05	5
Rotore				
Materiale gabbia	alluminio	alluminio	alluminio	alluminio
Dimensioni barretta (fuso in cava ovoidale) - mm²	22 - 80	74.2	63.38	63.38
Sezione anelli - mm²	297	215	195	195
Peso - kg	—	—	—	—
Densità di corrente - A/mm²	3.8	4	2.5	2.5
Flusso traferro - Wb per polo	0,0134	0.0091	0.0061	0.00472
Induzioni reali traferro - Wb/m²	0.800	0.945	0.925	0.965
Induzioni reali corona statore »	1.675	1.635	1.556	1.185
Induzioni reali denti » »	1.650	1.598	1.511	1.550

Motori asincroni ASGEN (1972)

99-100-101-102 (Per la forma e le dimensioni delle cave vedansi le figg. 306-307 e 308)

Dati di targa				
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2870	1440	970	720
Frequenza - p/s	50	50	50	50
Numero delle fasi	3	3	3	3
Potenza nominale - kW	7,5	7,5	7,5	7,5
Tensione di alimentazione - V	220	220	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	26	26,5	28	29
Collegamento primario	Δ	Δ	Δ	Δ
Collegamento secondario	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito
Corrente secondaria alla potenza nominale - A	255	195	182	168
Dimensioni principali statore e rotore				
Diametro esterno pacco statorico - mm	200	200	260	260
Diametro interno » » »	100	125	178	178
Lunghezza » » »	140	160	134	210
Altezza corona » » »	28,5	18,4	19	19
Dimensioni cave » »	fig. 306	fig. 307	fig. 308	fig. 308
Numero cave	24	36	54	54
Diametro esterno pacco rotorico - mm	99,20	124,30	177,2	177,4
Dimensioni cave » »	fig. 306	fig. 307	fig. 308	fig. 308
Numero cave	28	46	62	62
Diametro albero - mm	48	48	60	60
Spessore dente statore - mm	5,9	5,3	4,8	4,8
Dati sugli avvolgimenti				
Statore				
Avvolgimento	a corona	a corona	a corona	a corona
Matasse/cava	2	1	1	2
Passo avvolgimento	1 ÷ 11	1 ÷ 10	1 ÷ 10	1 ÷ 7
Fili/cava	96 [24]	80 [40]	51 [17]	64 [32]
Fili in parallelo	4	2	3	2
Diametro conduttore nudo - mm	1,1	0,95	1,25	1,1
Isolamento	D-AV	D-AV	D-AV	D-AV
Densità di corrente - A/mm²	3,96	5,40	4,40	4,40
Lunghezza spira media - m	0,38	0,33	0,3	0,35
Peso rame - kg	7,4	5,88	9	10,3
Rotore				
Materiale gabbia	Alluminio	Alluminio	Alluminio	Alluminio
Dimensioni barretta (fuso in cava ovoidale) - mm²	58,6	50	58	58
Sezione anelli - mm²	294	255	284	284
Peso - kg	1,15	1,65	2,9	3,9
Densità di corrente - A/mm²	4,34	3,9	3,14	2,90
Flusso traferro - Wb per polo	0,0108	0,00835	0,00655	0,00705
Induzioni reali traferro - Wb/m²	0,74	0,80	0,79	0,72
Induzioni reali corona statore »	1,45	1,53	1,40	0,96
Induzioni reali denti » »	1,78	1,80	1,84	1,68

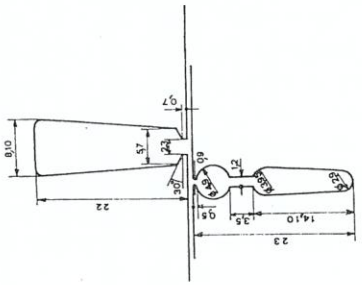


Fig. 308

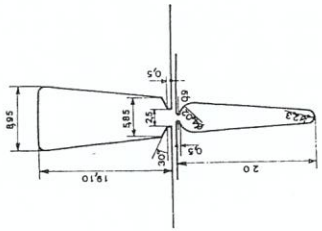


Fig. 307

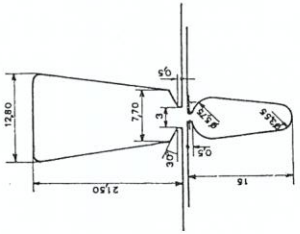


Fig. 306

Cave statore e rotore (« v. Esempi costruttivi » n. 99-100-101-102)

CAPITOLO DECIMO

COSTRUZIONE DEGLI AVVOLGIMENTI DEI MOTORI ASINCRONI

Generalità

Le cave dello statore sono comunemente del tipo semichiuso; le cave aperte si adottano solo nei motori a tensione elevata per ragioni di montaggio delle matasse. Tanto l'avvolgimento a strato unico che quello a due strati possono, a seconda della sezione dei singoli conduttori, essere *a matassa* o *a sbarre*.

L'avvolgimento a 2 matasse/cava si fa prevalentemente del tipo embricato (matasse eguali), ma s'incontra anche con una certa frequenza l'avvolgimento concentrico a corona; l'avvolgimento ad 1 matassa/cava può eseguirsi inoltre del tipo concentrico con teste in 2 ordini.

L'avvolgimento a sbarre è sempre del tipo ondulato ed è preferito l'ondulato a regressione.

L'esecuzione dell'avvolgimento a matasse può farsi in vari modi; i sistemi in uso sono: *avvolgimento calato attraverso il taglio; avvolgimento infilato o cucito; avvolgimento saldato; avvolgimento collocato*. I primi tre sistemi si usano con cave semichiuse, mentre l'ultimo (avvolgimento indiretto o con matasse preformate) trova applicazione solo con cave aperte. L'avvolgimento calato attraverso il taglio è di uso quasi generale per i motori di piccola potenza e quindi ci riferiremo prevalentemente ad esso nella trattazione che segue.

Per gli avvolgimenti a matasse dei motori di piccola e media potenza s'impiega ormai quasi sempre il filo tondo smaltato, ma si usa talvolta ancora il filo rivestito con 2 spirali di cotone ed anche il filo smaltato rivestito con spirale di cotone.

Avvolgimento infilato (*)

Questo avvolgimento si fa sempre del tipo concentrico. Le singole matasse vengono ottenute passando la cima del filo in una cava e poi nella cava corrispondente (secondo il passo d'avvolgimento) tante volte quante sono le spire componenti la matassa; indi si ripete l'operazione nelle cave adiacenti.

Quando lo spazio in cava (riservato al filo) è limitato, si usa riempire la cava, dopo avere applicato l'isolamento contro massa, con lunghi aghi di ferro, in numero eguale ai fili/cava e dello stesso diametro (**), oppure con aghi ricavati dallo stesso conduttore d'avvolgimento.

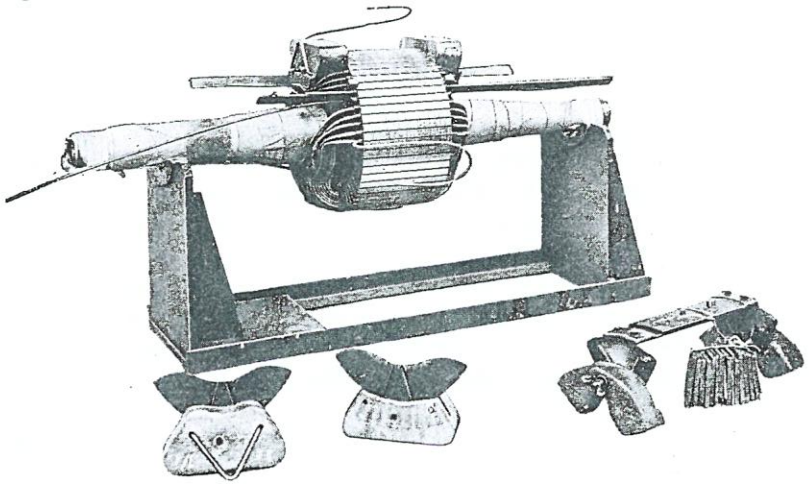


Fig. 309

Per l'esecuzione dell'avvolgimento si sfila ad ogni passaggio un ago e si infila al suo posto il conduttore; questo spinge l'ago e si sostituisce ad esso e quindi rimane diritto e ben teso in cava. Con questo sistema si ha la certezza di riuscire sempre a mettere a posto il numero di fili stabilito.

Sovente per agevolare lo scorrimento del conduttore e ridurre il pericolo di rovinare il rivestimento isolante si usa spalmare il conduttore con paraffina solida.

(*) L'avvolgimento infilato o cucito si usa evidentemente quando il taglio delle cave non consente il passaggio del conduttore, ossia quando non si può adottare l'avvolgimento calato attraverso il taglio.

(**) Il diametro del filo va misurato sul rivestimento isolante.

Per la costruzione dell'avvolgimento diretto s'impiegano delle sagome atte a dare un sicuro sostegno ai fili, in modo da fare assumere alle testate delle matasse la forma desiderata. Le sagome sono costituite da due parti che vanno opportunamente fissate sulle due fronti del pacco lamiere; per ogni avvolgimento occorrono due tipi di sagome, uno per le matasse piegate e l'altro per quelle diritte. La fig. 309 dà un'idea ben chiara della forma di queste sagome e del sistema di applicazione sul rotore.

Nell'avvolgimento concentrico in 2 ordini si eseguono prima le matasse corte o piegate e poi quelle lunghe o dritte; nell'avvolgimento in 3 ordini si eseguono prima le matasse corte, poi le medie ed infine le lunghe.

Costruzione delle matasse e sagome relative

La preparazione delle matasse per avvolgimenti statorici, con cave semiaperte o aperte, si esegue su apposite sagome. La forma delle sagome dipende dal tipo di matassa che si vuole ottenere.

Per la preparazione delle matasse si dispone la bobina del filo su uno svolgitoio e dopo avere ancorato il capo iniziale del filo sulla sagoma, montata di solito su un mulinello a mano o a motore provvisto di contagiri, si procede all'avvolgitura; ultimata l'operazione si effettuano le legature.

Sagome per avvolgimenti concentrici. — Le sagome, sempre del tipo scomponibile, sono composte di due sponde o fiancate e di un'anima. Ogni gruppo di matasse risulta costituito di solito da più elementi concentrici, generalmente di forma rettangolare a spigoli arrotondati, disposti in serie; quindi per la confezione delle matasse occorrerebbero tante sagome quanti sono gli elementi concentrici di ciascun gruppo. La confezione di più elementi concentrici risulta più spedita con una sagoma unica, costituita come è indicato nelle figg. 310 e 311. Per avvolgere le matasse di un gruppo (normalmente in numero eguale al numero di cave per polo-fase) si procede nel modo seguente: si collocano i nastri nelle apposite fessure, si avvolge la prima matassa e si effettuano le legature; quindi si dispongono sopra i tratti attivi due spessori di legno aventi dimensioni eguali o poco superiori alla distanza tra due cave adiacenti e si procede, senza tagliare il filo, alla confezione della seconda matassa elementare. Con lo stesso sistema si esegue eventualmente la terza matassa.

Alla sagoma della fig. 310 è da preferire però un tipo di sagoma simile a quella universale multipla, in uso per avvolgimenti a corona (v. tav. CCLXVI), ma con ceppi a gradini, tipo ormai di uso generale.

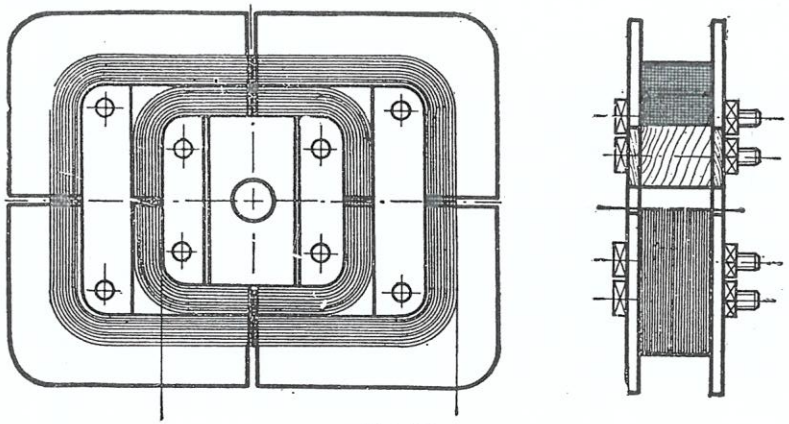


Fig. 310

La curvatura delle matasse, con particolare riferimento ai motori di grande potenza, si effettua in modo diverso a seconda che si vogliono ottenere matasse *dritte* o *piegate*.

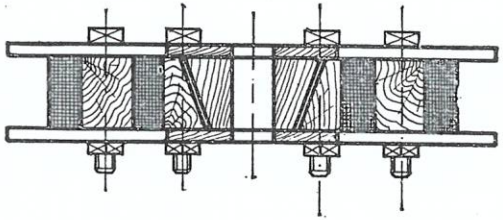


Fig. 311

La curvatura delle matasse dritte si effettua su di un blocco di legno avente la curvatura desiderata. Per la curvatura delle matasse piegate ad angolo retto s'impiega un blocco di legno provvisto di solchi per collocarvi i fasci o lati attivi. Dopo avere fissato i lati attivi della matassa a mezzo di adatti nottolini si esegue a mano la piegatura.

Qualora l'angolo di piegatura richiesto fosse diverso da 90° si applica al blocco di legno un pezzo sussidiario.

Normalmente la curvatura delle matasse in filo di diametro modesto si esegue a mano senza alcun attrezzo sussidiario.

Con l'impiego di sagome adatte è possibile ottenere le matasse nella forma definitiva con un'unica operazione.

Per la costruzione delle matasse storte s'impiegano sagome con anima avente profilo rispondente alla forma di questo tipo di matassa.

Sagome per avvolgimenti a corona. — Per la confezione delle matasse si usano due tipi di sagoma: il tipo *trapezoidale* ed il tipo *universale* (ovoidale).

La tav. CCLXII mostra una sagoma per matasse trapezoidali; le quote di massima si riferiscono ad un motore di 1,47 kW, con lunghezza della spira media di 0,65 m.

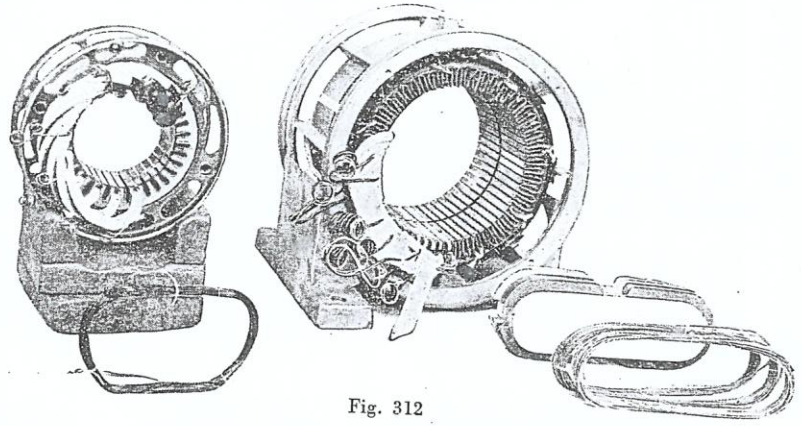


Fig. 312

Dimensionando opportunamente le testate della sagoma e con una serie di anime scelte razionalmente è possibile preparare con lo stesso dispositivo matasse per motori di diversa potenza.

La sagoma universale risulta costituita essenzialmente da un'asta provvista di due scanalature e da due ceppi. Le tavole CCLXIII e CCLXIV mostrano l'insieme ed i particolari costruttivi di una sagoma di questo tipo; i disegni quotati possono costituire una guida sicura per la costruzione di una sagoma universale.

La curvatura delle matasse trapezoidali si esegue normalmente a mano durante il montaggio, ma la forma si lascia invariata. Per le matasse preparate su sagoma universale è necessaria una seconda operazione per fare assumere alle matasse un'apertura eguale al passo d'avvolgimento; di solito però l'apertura delle matasse e la curvatura, o più propriamente la sagomatura, si eseguono a mano durante il montaggio sullo statore. In definitiva, la differenza tra i

due tipi è solo apparente, in quanto alle matasse ovoidali si fa assumere durante il montaggio una forma analoga a quella delle matasse trapezoidali.

Per la confezione delle matasse degli avvolgimenti con 2 o più cave per polo-fase è molto diffuso l'uso delle sagome multiple, le quali consentono di eliminare le giunzioni tra le matasse dello stesso gruppo, consentono cioè l'esecuzione delle matasse di ciascun gruppo



Fig. 313

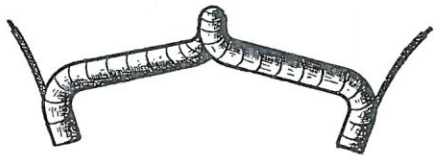


Fig. 314

in un'unica operazione senza tagliare il filo. La tav. CCLXV mostra un tipo assai semplice di *sagoma multipla* e le tavole CCLXVI e CCLXVII mostrano il complessivo ed i particolari costruttivi di una

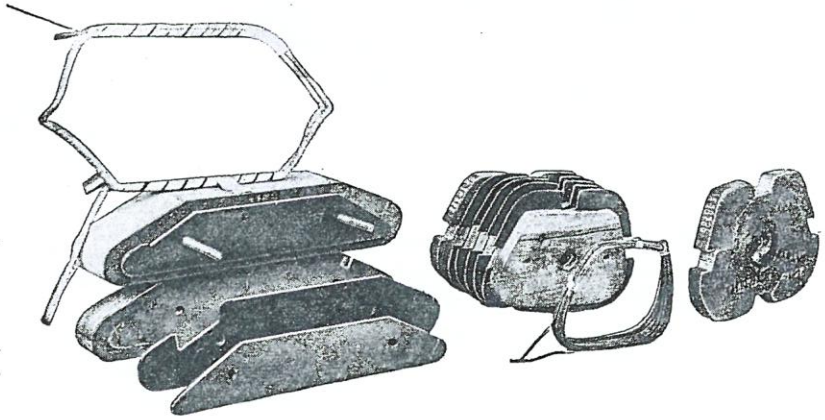


Fig. 315

sagoma multipla universale. Quest'ultimo tipo di sagoma accoppia alla semplicità costruttiva il pregio di consentire la confezione di matasse per motori di diversa potenza.

La fig. 312 mostra due statori in costruzione con matasse trapezoidali ed ovoidali.

Per avvolgimenti a matasse eguali del tipo a mantello e radiali s'impiegano le stesse sagome in uso per gli avvolgimenti indotti delle

macchine a corrente continua. Le testate delle matasse assumono dopo la piegatura l'aspetto indicato nelle figg. 313 e 314.

La fig. 315 mostra una sagoma per avvolgimenti a mantello, detta *sagoma ad oliva*, ed una sagoma multipla per matasse del tipo trapezoidale.

Isolamento in cava

Di solito per l'isolamento delle matasse dal pacco lamiere s'impiegano quasi esclusivamente i cosiddetti « nuovi materiali per isolamento cave » (mioflex, dielettrici combinati, triflexil, ecc.), di cui uno dei componenti è nella maggior parte dei casi la tritona (*).

Per la preparazione dei cartocci o diaframmi isolanti si tagliano dei rettangoli di dimensioni tali che i cartocci abbiano a sporgere dal pacco lamiere da 5 ÷ 8 mm. Se il taglio della cava lo permette i diaframmi si fanno sporgere radialmente dalle cave per qualche mm allo scopo di facilitare l'introduzione dei conduttori.

Ormai i cartocci o diaframmi formati con cartopresso oppure tritona e tela sterlingata separati si usano pochissimo per le ragioni già dette.

Comunque ricordiamo che la Marelli fino a non molto tempo fa impiegava per tensioni fino a 500 volt dei diaframmi dello spessore di 0,6 mm costituiti da due fogli di leatheroid, tra i quali veniva interposto un foglio di tela sterlingata da 0,2 mm. Qualora si voglia adottare questo tipo di cartocci è opportuno fare la lunghezza dei rettangolini di tela sterlingata di circa 10 mm maggiore di quella dei fogli di leatheroid, in modo da poterne rimboccare i bordi per circa 5 mm sul foglio interno di leatheroid. Questa disposizione riduce notevolmente le possibilità di strappi delle parti sporgenti.

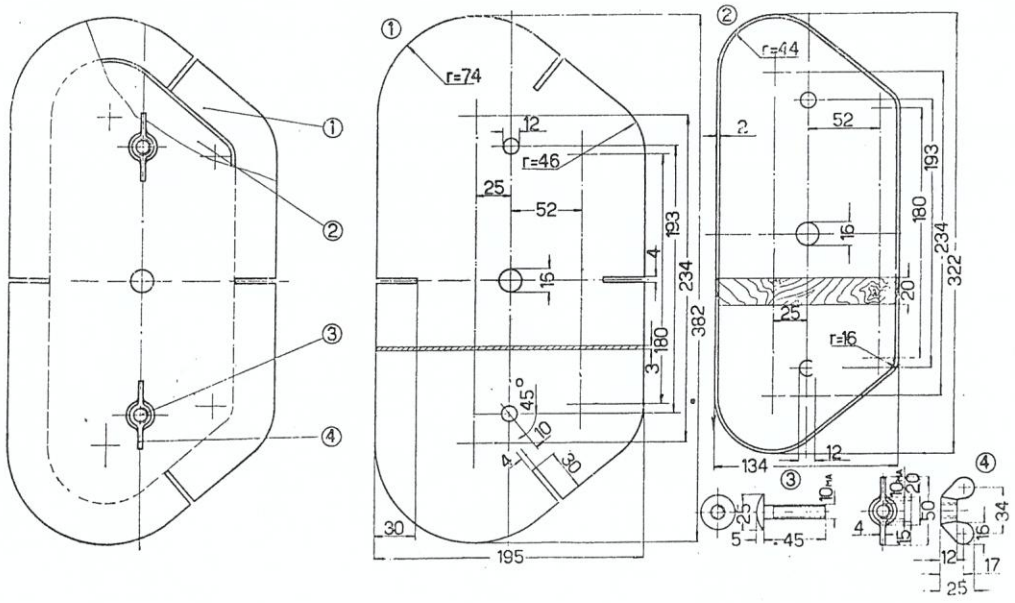
Un sistema molto efficace per non ledere i cartocci consiste nell'applicare sulle sporgenze una legatura di poche spire di spago ritorto oppure una corona circolare di cartopresso (**) di adatto spessore (3-4 strisce), ma sovente si usa rimboccare lo sporto dei cartocci in modo da irrigidire la parte che sporge dal ferro; questo sistema è di uso generale con cartocci formati dai nuovi materiali isolanti per cave.

(*) La tritona va posta sempre a contatto col ferro.

(**) Per ottenere detta corona si tagliano delle strisce di cartopresso della larghezza di circa 5 mm e con esse si forma la corona circolare che in genere va fasciata con nastri di cotone. La corona si applica sulle sporgenze dei cartocci, in modo da rimanere incastrata tra i diaframmi ed il gradino dell'anello pressapacco.

TAVOLA CCLXII

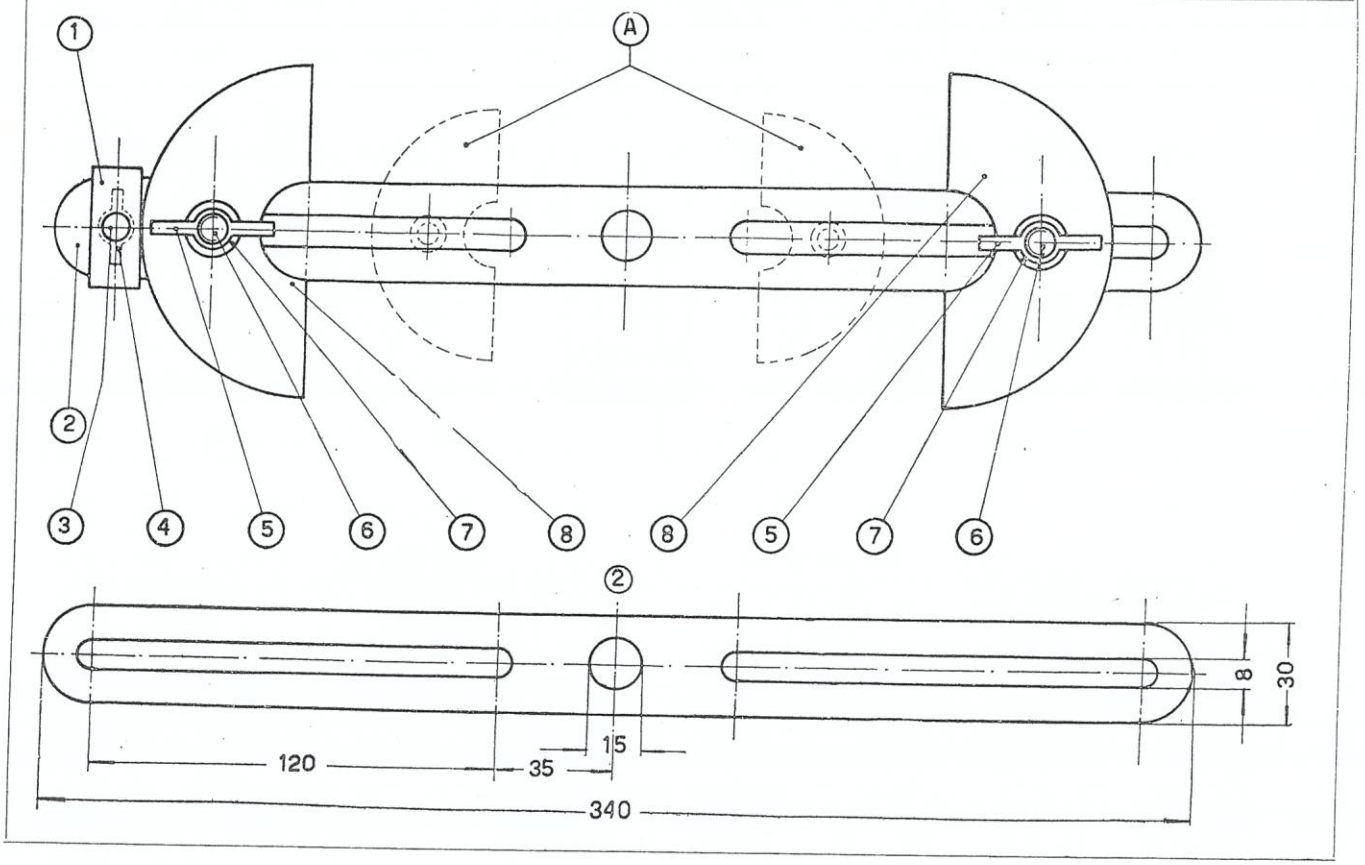
Sagoma trapezoidale



Pos.	DENOMINAZIONE
1	Sponda o fiancata
2	Anima
3	Bullone
4	Dado ad alette

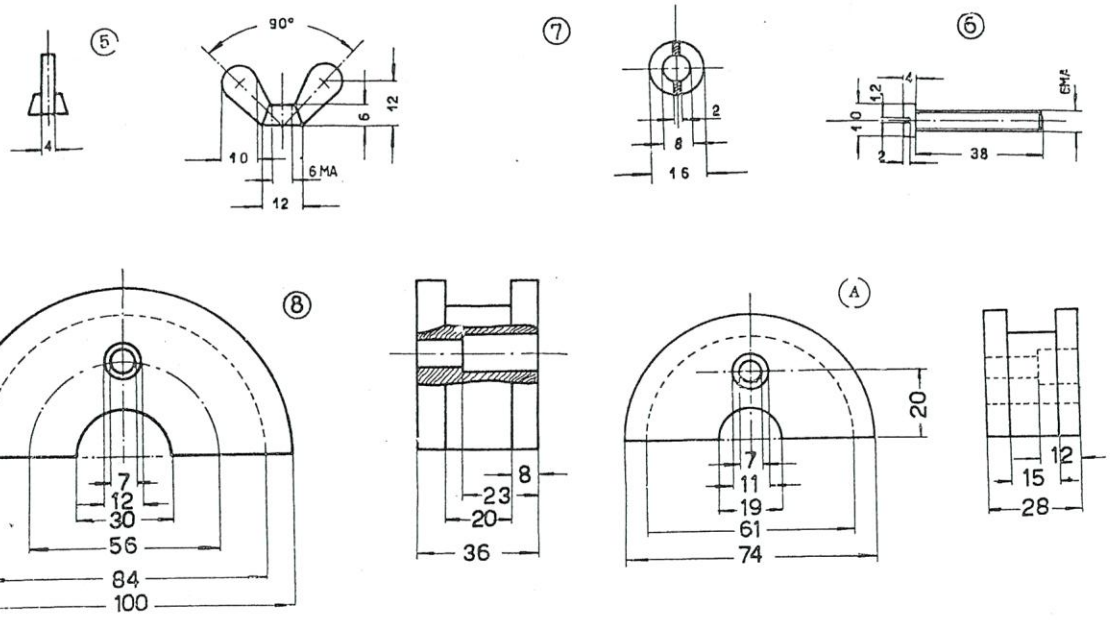
TAVOLA CCLXIII

Sagoma universale



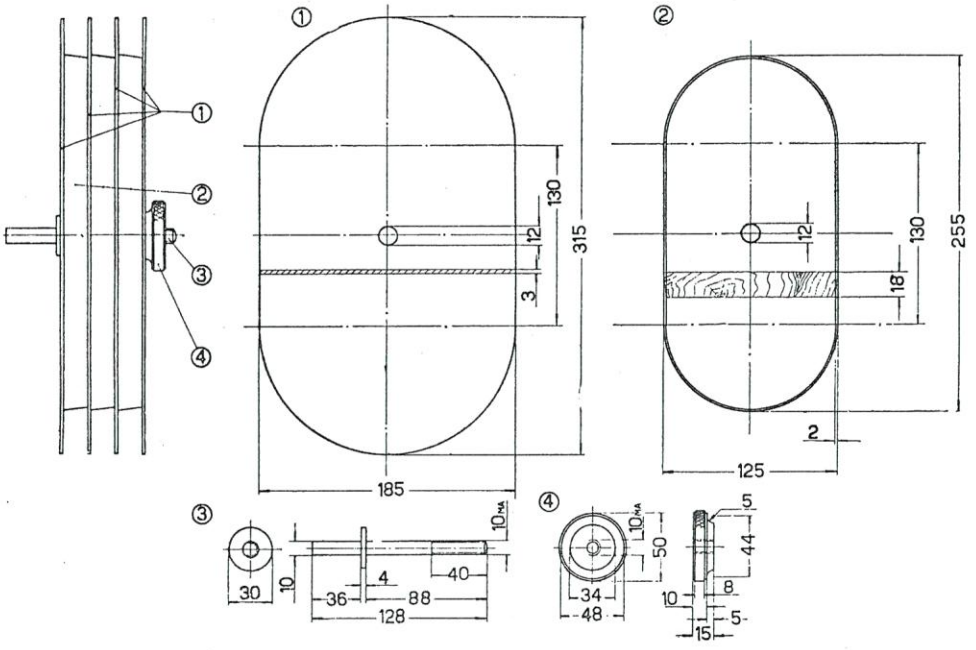
Sagoma universale

(Particolari costruttivi)



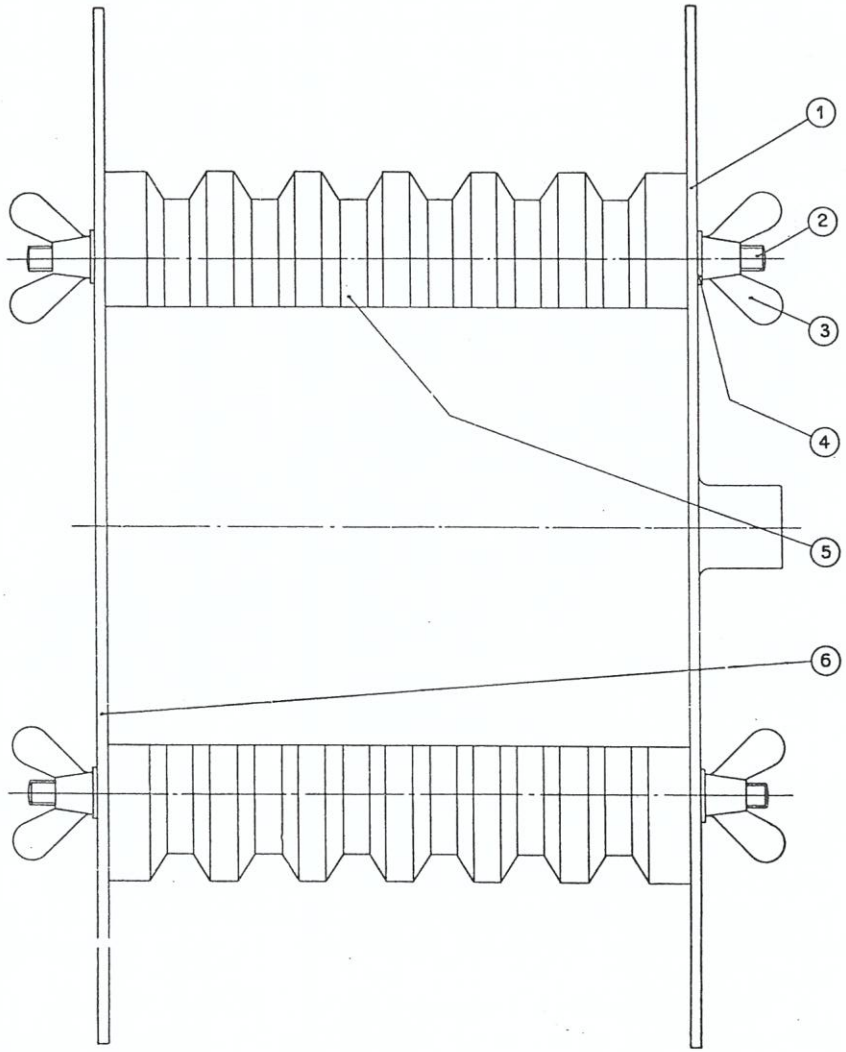
Pos.	DENOMINAZIONE	Pos.	DENOMINAZIONE	Pos.	DENOMINAZIONE
1	Cursore	4	Dado ad alette per cursore	7	Rondella
2	Asta	5	Dado ad alette	8	Ceppo
3	Vite d'arresto	6	Vite d'arresto	A	Ceppo

Sagoma multipla



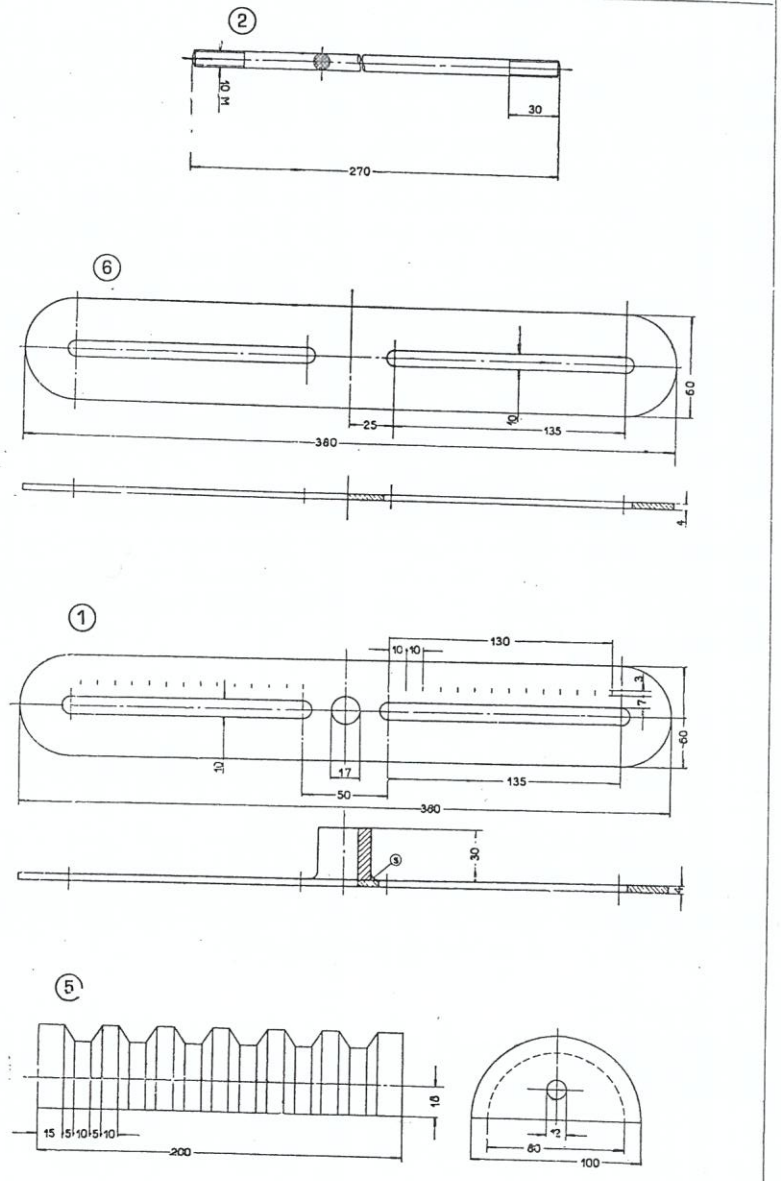
Pos.	DENOMINAZIONE
1	Sponda o fiancata
2	Anima
3	Perno filettato
4	Dado cilindrico zigrinato

Sagoma multipla universale



Pos.	DENOMINAZIONE	MATERIALE	QUANTITÀ
1	Asta con borchia	Acciaio	1
2	Perno	»	2
3	Dado ad alette	»	4
4	Rondella	»	4
5	Ceppo	Faggio	2
6	Asta	Acciaio	1

Sagoma multipla universale
(Particolari costruttivi)



Montaggio delle matasse

L'ordine di montaggio delle matasse varia col sistema di avvolgimento; in quello a corona a 2 matasse/cava l'ordine di successione nella sistemazione dei lati attivi delle matasse nelle cave è diverso da quello del tipo a strato unico.

Nell'avvolgimento a corona ad 1 matassa/cava s'introduce in una cava qualsiasi x, calando uno o più fili alla volta dal taglio, un lato di matassa, mentre il secondo lato si lascia fuori, quindi si salta una cava e si colloca il lato di un'altra matassa nella cava $x+2$ e così di seguito fino al completamento del passo, dopo di che si continua il montaggio, collocando, nelle cave distanziate di y_c, ambedue i lati di ciascuna matassa; per ultimi si collocano i lati lasciati fuori all'inizio del montaggio. Se si procedesse in modo diverso, collocando fino dall'inizio tutti e due i lati di matassa, la disposizione delle testate non risulterebbe uniforme, ma dal punto di vista elettrico non sussisterebbe alcuna differenza.

Un esempio renderà più chiaro l'ordine di montaggio. Con riferimento all'avvolgimento statorico rappresentato nello schema della tav. CXXX (6 poli - 36 cave - 1 matassa/cava . Passo avvolgimento 1÷6 - Collegamento serie - 6 morsetti) l'ordine di montaggio potrebbe essere il seguente:

$$\overset{\frown}{5-3}-\overset{\frown}{1-6}-\overset{\frown}{35-4}-\overset{\frown}{33-2}-\overset{\frown}{31-36}-\overset{\frown}{29-34}-\overset{\frown}{27-32}-\overset{\frown}{25-30}-\overset{\frown}{23-28}$$

$$\overset{\frown}{21-26}-\overset{\frown}{19-24}-\overset{\frown}{17-22}-\overset{\frown}{15-20}-\overset{\frown}{13-18}-\overset{\frown}{11-16}-\overset{\frown}{9-14}-\overset{\frown}{7-12}-10-8$$

Dall'esempio risulta che solo due matasse, la 1ª e la 2ª secondo l'ordine di montaggio, rimangono con un lato fuori e sono precisamente quelle che occupano le cave $\overset{\frown}{5-10}$ e $\overset{\frown}{3-8}$; i lati da allogare nelle cave 10 e 8 si collocano per ultimi (*).

(*) Naturalmente il montaggio potrà iniziarsi, nel nostro esempio, da una cava qualsiasi di ordine dispari procedendo nel senso antiorario, oppure da una cava qualsiasi di ordine pari procedendo nel senso orario; così iniziando dalla cava 6 si avrebbe:

$$6-8-\overset{\frown}{10-5}-\overset{\frown}{12-7}-\overset{\frown}{14-9}-\overset{\frown}{16-11}-\overset{\frown}{18-13}-\overset{\frown}{20-15}-\overset{\frown}{22-17}-\overset{\frown}{24-19}$$

$$\overset{\frown}{26-21}-\overset{\frown}{28-23}-\overset{\frown}{30-25}-\overset{\frown}{32-27}-\overset{\frown}{34-29}-\overset{\frown}{36-31}-\overset{\frown}{2-33}-\overset{\frown}{4-35}-1-3$$

Se l'avvolgimento è del tipo senza fasciatura (fig. 316) è buona regola praticare qualche legatura per tenere unite le varie spire delle matasse; di solito fra le testate delle matasse si dispongono delle strisce di leatheroid o di altro isolante per cave (separatori) dello spessore di 0,15÷0,30 mm per le tensioni ordinarie (*). Man mano che le matasse si sistemano nelle cave s'infilano sui capi i tubetti isolanti e si portano fuori dalle testate i capi stessi.



Fig. 316

Nell'avvolgimento del tipo fasciato, ormai poco usato, la nastratura delle testate si pratica solo per circa $^1/_3$ nelle matasse che rimangono con un lato fuori dalle cave (l'isolamento di serraggio si completa dopo avere montato il 2° lato di matassa), mentre le successive si fasciano per intero subito dopo averle introdotte nelle cave.

Nell'avvolgimento a 2 matasse cava si procede allo stesso modo dell'avvolgimento ad uno strato, senza saltare però alcuna cava, cioè s'introduce un lato di matassa dello strato inferiore nella cava successiva alla prima e l'altro si lascia fuori, e così di seguito per y_c cave; quindi si prosegue allo stesso modo collocando però ambedue

---

(*) Esistono in commercio nastri in rocchetti di Triflexil e simili per l'isolamento fra le testate delle matasse.

i lati di matassa, uno nello strato superiore di una cava e l'altro nell'inferiore della cava corrispondente. Evidentemente prima di mettere a posto i lati di matassa del secondo strato, ossia quelli che stanno verso il traferro, si applica l'isolamento fra gli strati; la larghezza del separatore si fa un po' maggiore di quella della cava, in modo da potere curvare i bordi verso il fondo cava (v. tav. CCXXIV). Resta così esclusa la possibilità di contatti tra le spire delle due matasse.

Infine si collocano i lati di matassa lasciati fuori all'inizio del montaggio.

Esempio. — Avvolgimento statorico per motore asincrono trifase - 4 poli - 18 cave - 2 matasse/cava - passo avvolgimento $1 \div 5$ (v. tav. LXV).

L'ordine di montaggio è ordinariamente il seguente (*):

1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 1 - 6 - 2 - 7 - 3 - 8 - 4 - 9 - 5 - 10 - 6 - 11 - 7

12 - 8 - 13 - 9 - 14 - 10 - 15 - 11 - 16 - 12 - 17 - 13 - 18 - 14 - 15 - 16 - 17 - 18

Un trattino sta ad indicare i fasci dello strato inferiore e due trattini quelli dello strato superiore.

Man mano che si montano le matasse si applicano i tubetti isolanti ai capi delle matasse e si portano fuori dalle testate; ad evitare errori nei collegamenti alcuni riavvolgitori usano applicare ad ogni capo delle matasse un *segnafilo* (*Cingo*) col numero relativo al fascio corrispondente, ed ai capi delle fasi dei segnafili con le lettere *U*, *V*, *W* e *X*, *Y*, *Z*.

Ultimato il montaggio delle matasse, si mettono a posto le *biette* o *zeppe* (**) di chiusura delle cave, s'infila su uno dei capi di ciascuna matassa un breve tratto di tubetto sterlingato da servire per l'isolamento delle giunzioni ed infine si effettuano le connessioni delle

(*) È superfluo specificare che il montaggio può iniziarsi da una cava qualsiasi purchè si proceda secondo il criterio esposto.

(**) Per la chiusura delle cave di statori e rotori si possono impiegare listelli oppure tegoli (v. tav. CCXXIV) di presspan, di fibra o di leatheroid, ma si prestano particolarmente bene le stecche di faggio evaporato che, per l'alta resistenza ed elasticità del materiale, consentono una rapida e facile messa in opera.

Le sagome standard sono la sezione semicircolare e la sezione a lunetta (per chiusura cave statori) con diametro da $3 \div 12$ mm e la sezione quadrata o rettangolare (per chiusura cave rotori) delle dimensioni da $2{,}7 \times 2{,}7$ mm a 5×6 mm.

matasse delle singole fasi (secondo lo schema). Le giunzioni si saldano a stagno.

I collegamenti dei capi delle 3 fasi con la morsettiera si fanno con treccia flessibile isolata, di sezione maggiore del conduttore d'avvolgimento; le giunture si saldano a stagno e si fasciano con nastro sterlingato e nastro cotone.

Per rendere più spedita e facile l'esecuzione dei collegamenti si usa segnare la testata delle matasse con gessi di diverso colore. Per gli avvolgimenti ad 1 matassa/cava alcuni preferiscono eseguire questa operazione sul taglio delle cave, cioè nella parte interna del pacco statorico, ed a scopo di controllo indicano a mezzo di frecce il senso delle correnti (per un istante generico). Negli avvolgimenti a 2 matasse/cava può essere utile prepararsi, prima di eseguire il collegamento delle matasse di ciascuna fase, uno specchietto del seguente tipo (v. tav. LXV):

U 1 5 2 6 10 6 10 14 11 15 1 15 X

V 7 11 8 12 16 12 16 2 17 3 7 3 Y

W 13 17 14 18 4 18 4 8 5 9 13 9 Z

I collegamenti tra gruppi di matasse sono indicati con archetto doppio e quelli tra matasse dello stesso gruppo con archetto semplice; è da tenere presente però che oggi di solito le matasse di ogni gruppo vengono confezionate senza tagliare il filo e pertanto non occorre la relativa connessione. Lo specchietto mostra chiaramente che i due capi che collegano in serie 2 gruppi di matasse appartengono entrambi allo strato inferiore (fondo cava) o a quello superiore.

Per tensioni fino a 500 V non è necessario distanziare i collegamenti.

Nell'avvolgimento concentrico in 2 ordini si montano prima le matasse piegate e poi quelle dritte.

Le operazioni di montaggio, fasciatura, ecc. sono le stesse degli avvolgimenti del tipo a corona o americano. Quando ogni gruppo è costituito da più matasse elementari, queste vengono avvicinate nelle testate e nastrate o legate saldamente insieme; fra le testate si interpongono delle strisce isolanti di cartopresso o leatheroid.

Avvolgimento ondulato

Lo si usa per avvolgimenti a sbarre. Normalmente si adotta l'avvolgimento ondulato a regressione a doppio strato.

La sbarra, trafilata su misura, si taglia in tratti un po' più lunghi dello sviluppo di una mezza spira e si raddrizza con cura su un piano metallico, dopo di che le due estremità vengono pulite e ravvivate a stagno; si procede quindi alla piegatura in modo da fare assumere alle semispire la forma definitiva solo da una parte.

L'isolamento viene generalmente effettuato mediante nastratura (con nastro cotone) lungo tutta la lunghezza della sbarra, ad eccezione di un breve tratto alle due estremità dove si dovrà eseguire la saldatura.

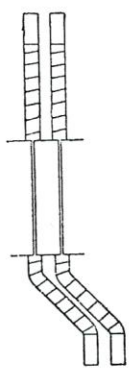


Fig. 317

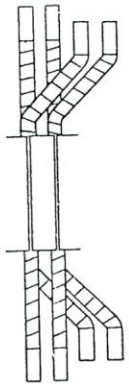


Fig. 318

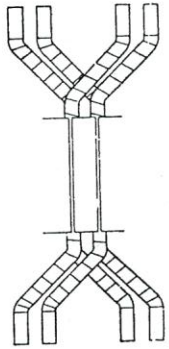


Fig. 319

Preparate tutte le semispire e predisposto in cava l'isolamento verso massa, si infilano le semispire dello strato inferiore (fondo cava), tenendo il lato piegato da una stessa parte (fig. 317), e si fissano in cava mediante tasselli di legno di sezione eguale a quella della sbarra; quindi si applica, se necessario, l'isolamento fra gli strati e si montano le simispire del secondo strato (verso il traferro), togliendo di volta in volta il tassello di legno. Il lato piegato va tenuto dalla parte opposta a quella dove si trova il lato piegato della semispira di fondo cava (fig. 318). Ultimato il montaggio, si passa alla piegatura dei tratti rettilinei (fig. 319), in modo da eseguire il passo previsto (*), ed infine si piegano i tratti da saldare, in guisa che

(*) La piegatura delle sbarre di fondo cava può essere fatta prima del montaggio del secondo strato.

essi vengano a trovarsi davanti al tratto analogo delle simispire corrispondenti dell'altro strato. Rimangono evidentemente liberi, cioè non accoppiati, gli estremi che costituiscono l'inizio o la fine di ciascuna fase.

Il collegamento fra le semispire corrispondenti può essere fatto sia mediante legature con filo di rame stagnato e successiva saldatura a stagno, sia mediante ghiere di rame dello stesso tipo in uso per le macchine a corrente continua. Per assicurare una perfetta aderenza tra la ghiera e le estremità delle sbarre (le semispire sono distanziate dall'isolamento) s'incastra nel tratto da saldare una zeppa di rame di spessore eguale a quello dello strato isolante interposto in cava; lo stesso scopo si raggiunge, senza la zeppatura, strozzando le ghiere in corrispondenza dell'intercapedine fra le due sbarre od ancora facendo le ghiere come in fig. 168. Nel caso di legature con filo si usa, sempre allo stesso fine, incrociare il filo fra le due sbarre, ossia avvolgere il filo a forma di 8.

Le operazioni di saldatura e rifinitura si eseguono con lo stesso sistema esposto per le macchine a corrente continua.

Le connessioni di regressione vanno eseguite con sbarre della stessa sezione dell'avvolgimento.

Rotore a gabbia

Gli anelli frontali di collegamento dei conduttori attivi vengono ottenuti piegando a cerchio, di costa, la sbarra di rame e saldandola a forte. Sulla corona degli anelli si praticano tanti fori quante sono le sbarrette della gabbia. Le sbarrette vengono tagliate a misura al seghetto e poi infilate nei fori del rotore. Messe a posto le sbarrette, si applicano gli anelli frontali e si ribadiscono mediante presselle ad incavo le estremità che sporgono dai fori degli anelli, in modo da ottenere teste arrotondate di dimensioni sufficienti per assicurare un collegamento meccanico rigido, ed infine si procede alla saldatura. Conviene stagnare preventivamente gli anelli e le estremità delle sbarre quando si voglia usare la saldatura a stagno. È preferibile però usare la saldatura a forte (è molto usata la saldatura in bronzo ed in ottone), perchè la brasatura offre migliori garanzie in caso di accidentale eccessivo riscaldamento del motore. Molte case costruttrici usano la saldatura autogena per il collegamento delle sbarrette rotoriche agli anelli frontali.

Gli anelli frontali vengono sovente piegati di piatto (*) ed il collegamento con le sbarrette rotoriche, poggianti sulla parte esterna degli anelli, viene fatto mediante saldatura. Il fissaggio delle sbarrette agli anelli con chiodi di rame ribaditi è del tutto abbandonato.

Sul rotore si calettano di solito le alette di ventilazione.

Nelle moderne costruzioni di piccola potenza (fino a ~ 10 kW) la gabbia viene preferibilmente costruita in alluminio, mediante colata del metallo sotto pressione (presso-fusione). La Marelli usa alluminio puro (oltre il 99%) e la colata per gravità con versamento mediante mestolo (il rotore viene preventivamente portato al color rosso nascente) direttamente nelle cave e nelle cavità di una forma metallica (fusione in conchiglia), in modo da ricavare, oltre alle sbarrette, gli anelli frontali e le alette di ventilazione (tav. CCLXVIII). Con fusioni ben riuscite si ottiene un blocco unico, praticamente indistruttibile.

Nei motori a gabbia le cave sono sovente inclinate (normalmente di un passo di cava) rispetto alle generatrici del pacco lamiere (**).

Con questa disposizione si attenua la tendenza del motore a fischiare e si eliminano le possibilità di punti morti allo spunto, cioè si migliora la prontezza dell'avviamento.

In alcune costruzioni in alluminio fuso le sbarrette hanno un andamento a spina di pesce, ossia sono per metà lunghezza del pacco lamiere inclinate in un senso e per l'altra metà in senso opposto.

Nei motori tipo Boucherot le due gabbie sono di solito in rame ed elettricamente distinte (tavola CCLXIX), ma si usano pure gabbie in alluminio ottenute mediante fusione, con anello frontale unico per entrambe le gabbie.

Nei motori per ascensori, per i quali sono richieste particolari caratteristiche della coppia in funzione dello scorrimento e notevole silenziosità, si ha una gabbia esterna normale, come nei motori a doppia gabbia, mentre al posto della gabbia interna si ha un avvolgimento a sbarre (isolate) chiuso su se stesso in cortocircuito.

Rotore avvolto

Per piccole e medie potenze è molto usato l'avvolgimento con matasse in filo nei due tipi: *a matasse concentriche in 2 ordini* ed

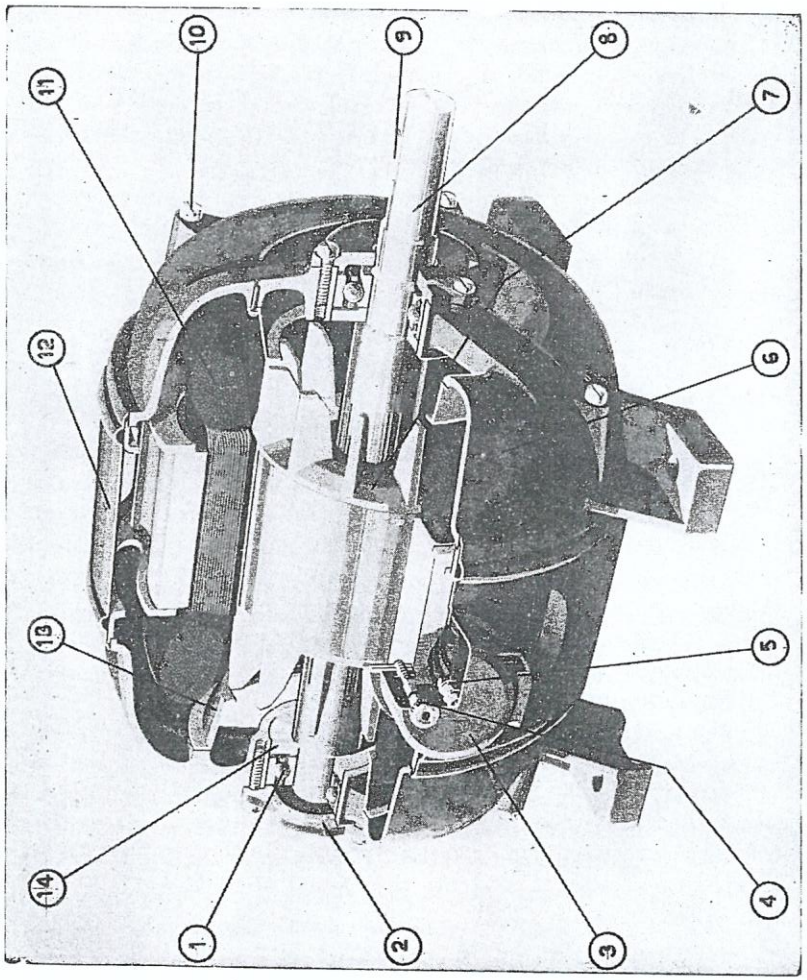
(*) Questi anelli possono essere ricavati vantaggiosamente da un cilindro cavo ottenuto di fusione.

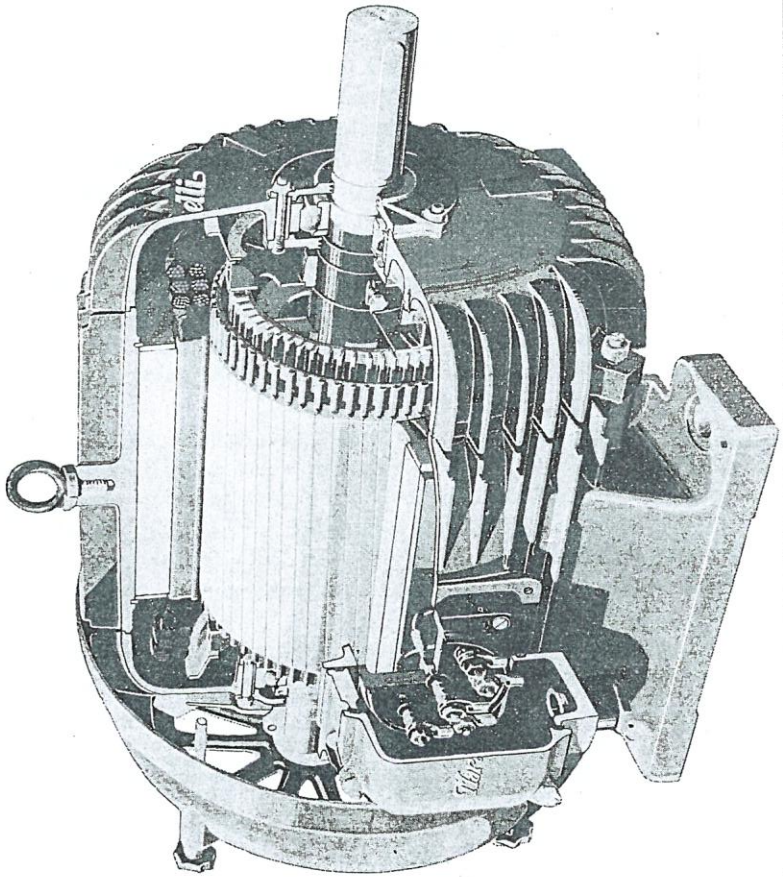
(**) A seconda della velocità di rotazione l'inclinazione delle cave varia da $1/4 \div 2$ passi di cava.

TAVOLA CCLXVIII

Motore asincrono in cortocircuito

Pos.	Denominazione
1	Cuscinetti a sfere
2	Flangia posteriore
3	Calotta copri-morsetti
4	Vite fissaggio-calotta
5	Morsetti statore
6	Coperchio
7	Flangia anteriore
8	Albero rotore
9	Linguetta di accoppiamento
10	Vite fissaggio coperchi
11	Matasse avvolgimento statore
12	Protezione a persiana
13	Cono di ventilazione
14	Anello estrazione cuscinetto





Motore asincrono a doppia gabbia (Marelli)
(costruzione chiusa con ventilazione esterna)

TAVOLA CCLXIX

a corona o americano. Il secondo consente di preparare le matasse su sagome analoghe a quelle in uso per gli avvolgimenti statorici dello stesso tipo; per il montaggio si procede con lo stesso metodo in uso per gli statori, però l'operazione richiede maggior cura, sia per evitare accavallature dei fili che per ottenere un avvolgimento meccanicamente equilibrato.

L'operazione di montaggio riesce facilitata mercè l'uso di dischi di legno tornito su cui si appoggiano le testate delle matasse, che vengono tolti ad avvolgimento ultimato.

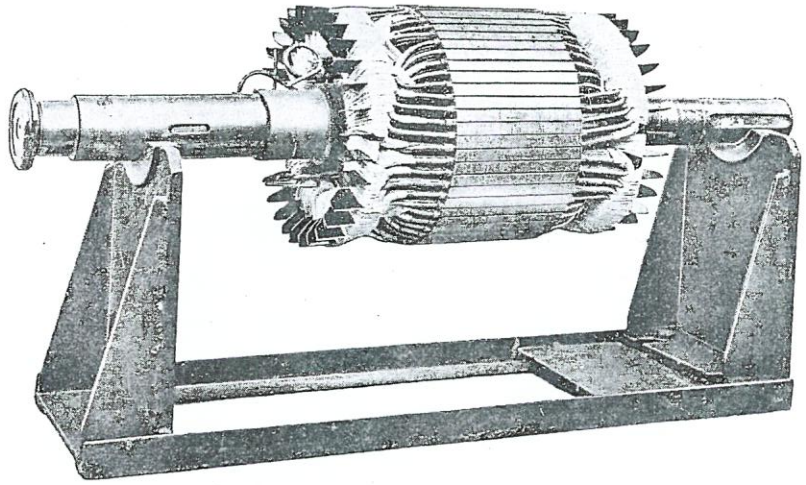


Fig. 320

Se lo spazio utile della cava risulta completamente riempito, la chiusura si effettua con tegoli di fibra per le piccole macchine e con biette di legno o di fibra per le macchine medie e grosse, in caso diverso si rende necessario l'uso di zeppe di riempimento.

Per neutralizzare l'azione della forza centrifuga si usano delle legature metalliche sulle parti sporgenti come negli avvolgimenti a corrente continua.

Gli avvolgimenti con matasse in 2 ordini si eseguono direttamente sul rotore, calando il filo dal taglio (sovente si usano più fili in parallelo) oppure infilandolo dall'estremità delle cave (avvolgimento cucito) quando il taglio non consente il passaggio del filo. Le cave in tal caso vengono preventivamente riempite con aghi metallici dello stesso diametro del filo. Di solito ogni matassa risulta costituita

da tre o quattro elementi. Per l'esecuzione delle matasse del primo ordine (piegate) si usano appositi sostegni delle testate, mentre per l'esecuzione di quelle dritte s'impiegano dei sostegni che hanno anche la funzione di sagome (v. fig. 309).

Per evitare possibilità di spostamenti delle matasse durante il funzionamento si usano cerchi metallici fasciati con nastri che vanno fissati alle testate delle matasse del secondo ordine con legature metalliche, interponendo fra le legature ed i fasci degli spessori isolanti; oggi si usano per queste legature o bandaggi, ripetiamo, nastri in fili di vetro impregnati.

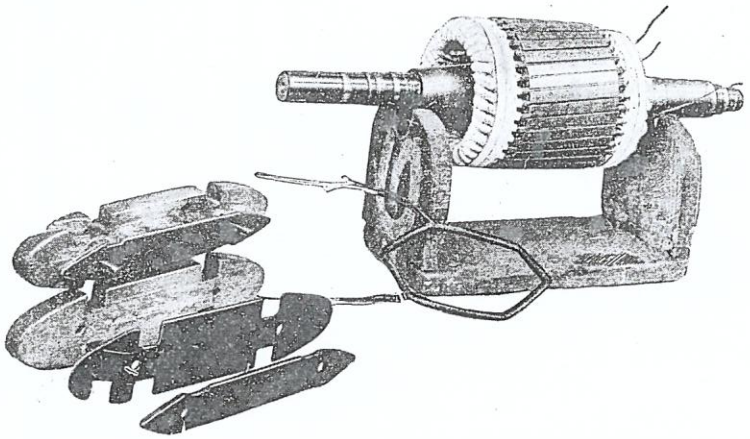
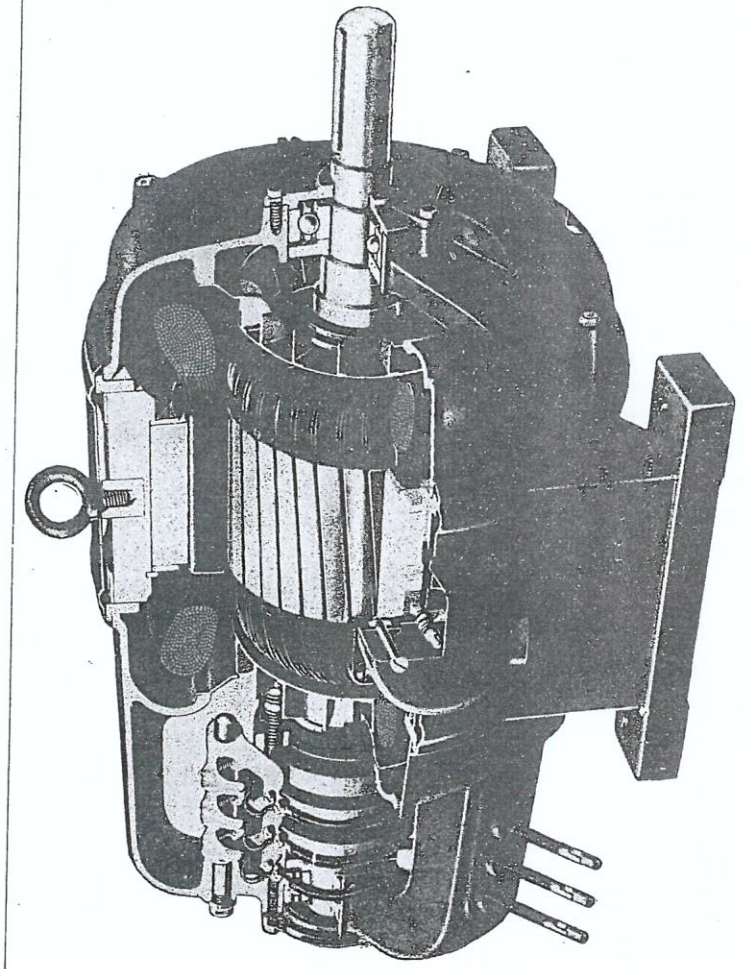


Fig. 321

Talvolta le alette di ventilazione vengono fissate agli anelli di ancoraggio delle testate (fig. 320).

Per l'avvolgimento ondulato a sbarre rimandiamo a quanto è stato detto per l'avvolgimento statorico dello stesso tipo. Talvolta l'avvolgimento rotorico si esegue del tipo *ondulato-embricato*, sia in filo che in piattina; le matasse assumono una forma simile a quella delle matasse delle macchine a corrente continua, però i capi di uscita vengono piegati verso l'esterno, sono cioè divaricati, come negli ondulati. Questo tipo di matassa viene chiamato *a zampe di rana*, La fig. 321 mostra una matassa di questo tipo, la sagoma relativa ed il rotore completo, compresi i bandaggi di sicurezza.

Nella tav. CCLXX è illustrato un motore ad anelli sezionato (con carcassa di vecchio tipo) di costruzione Marelli.



Motore asincrono ad anelli

Tavola CCLXX

Prove e rifiniture

Ultimato l'avvolgimento si eseguono le prove d'isolamento (isolamento fra le spire delle matasse, isolamento fra le fasi, isolamento delle fasi rispetto alla massa) e la prova di funzionamento a vuoto. Quindi si smonta il motore e dopo avere preessiccato l'avvolgimento si procede all'impregnazione secondo le modalità già esposte (v. « *Vernici* » a pag. 37 e seguenti).

In mancanza di una stufa si può preessiccare l'avvolgimento e poi essiccare la vernice inviando corrente nello statore (senza rotore); l'operazione si esegue applicando ai morsetti una tensione ridotta (circa 1/5 della tensione normale).

Verifiche

Prima di iniziare la costruzione in serie di un nuovo tipo di motore bisogna controllare, su un esemplare sperimentale, se le caratteristiche di funzionamento corrispondono alle previsioni. Per la costruzione di modesti quantitativi di motori di piccola potenza è sufficiente il controllo delle caratteristiche fondamentali in base al diagramma circolare.

Qualora le caratteristiche di funzionamento del motore non risultino soddisfacenti, i dati rilevati dal diagramma circolare suggeriscono, in linea di massima, le modifiche da apportare al dimensionamento delle varie parti della macchina.

DIAGRAMMA CIRCOLARE

Richiami e generalità

Il diagramma circolare ha una grande importanza per il fatto che da esso si possono dedurre, in maniera semplicissima, tutte le grandezze che interessano per il funzionamento del motore: *potenza, coppia motrice, rendimento* (*), *fattore di potenza, scorrimento.*

(*) Per il rendimento si ottiene una maggiore esattezza calcolando direttamente le singole perdite della macchina.

Il diagramma circolare si basa sul fatto che i vettori che rappresentano in grandezza e fase le correnti assorbite da un motore asincrono, rispetto al vettore della tensione, a partire da un punto comune O, hanno l'altro estremo su una circonferenza (*). In pratica è sufficiente limitare il diagramma al semicerchio corrispondente alle correnti assorbite dallo statore in diverse condizioni di funzionamento. Questo semicerchio si può tracciare anche in sede di progetto e da esso si possono trarre elementi utili per accertare se il motore è

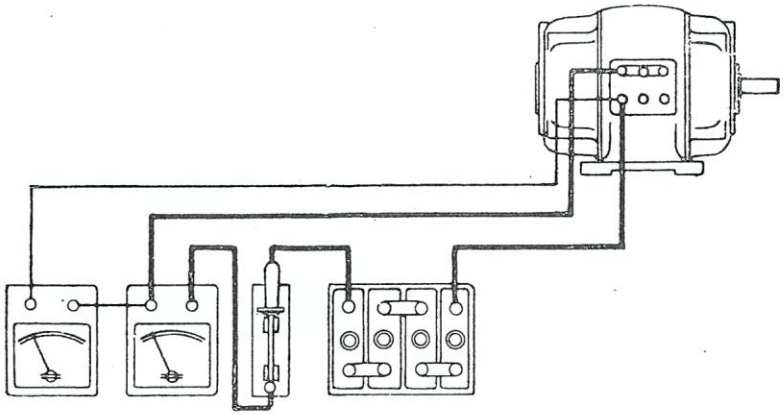


Fig. 322

ben dimensionato, ma la cosa riesce molto più semplice e precisa se la macchina è costruita.

Per tracciare il diagramma circolare completo è necessario conoscere due punti ed il centro del cerchio e la resistenza di una fase dello statore.

La misura della resistenza di una fase può eseguirsi col ben noto *metodo voltamperometrico* (con corrente continua), si misura cioè la tensione applicata e la corrente assorbita (fig. 322). Per motori a 6 morsetti il valore della resistenza di una fase si può avere direttamente dal rapporto V/I (valori di V e I letti sugli apparecchi), dato che tutti i capi delle 3 fasi sono facilmente accessibili (se il collegamento è a triangolo occorre togliere le 3 piastrine). Per motori a 3 morsetti il rapporto V/I dà un valore che è il doppio della

(*) Il diagramma di funzionamento dei motori asincroni a doppia gabbia e ad addensamento di corrente non è circolare e pertanto la costruzione classica del diagramma non è valida per questi motori (solo il primo tratto del diagramma — compreso tra $s = 0$ ed $s = 0{,}1$ — può ritenersi ancora circolare).

resistenza di una fase se il collegamento è a stella ed i 2/3 se il collegamento è a triangolo (*); quindi per collegamento a Y:

$$R_1 = \frac{V}{2 \cdot I} \ (\Omega)$$

e per collegamento a Δ:

$$R_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{I} \ (\Omega)$$

dove R_1 = resistenza di fase; V = tensione applicata o letta in volt; I = corrente in ampere.

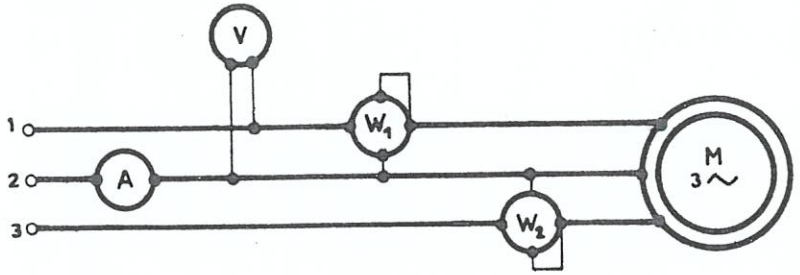


Fig. 323

Per individuare i due punti ed il centro della semicirconferenza si richiedono due misure sulla macchina, una con *funzionamento a vuoto* e l'altra con *rotore bloccato*, chiamate comunemente *prova a vuoto* e *prova in cortocircuito*. In entrambe le prove gli apparecchi di misura (2 wattmetri, 1 voltmetro ed 1 amperometro) vanno inseriti secondo lo schema della fig. 323; la fig. 324 rappresenta lo schema di montaggio degli apparecchi.

Nella prova a vuoto si alimenta il motore con tensione e frequenza normali, mentre nella prova in cortocircuito si applica una tensione dell'ordine del 20-40% (**) di quella normale (***), in modo da fare assorbire al motore all'incirca la corrente normale di pieno carico.

(*) La misura evidentemente va eseguita fra 2 morsetti.

(**) Se si applicasse la tensione normale, la corrente risulterebbe eccessiva per l'avvolgimento.

(***) Per motori di piccolissima potenza si può applicare la tensione normale anche nella prova in cortocircuito, purchè la prova venga eseguita con la massima speditezza, ma è sempre preferibile applicare una tensione ridotta.

Nella prova a vuoto il fattore di potenza $\cos \varphi_o$ risulta sempre minore di 0,5, pertanto la potenza assorbita P_o è data dalla differenza delle indicazioni dei due wattmetri (si sottrae la lettura minore dalla maggiore).

L'amperometro fornisce direttamente il valore della corrente a vuoto di fase I_{fo} se il collegamento è a stella, mentre per il collegamento a triangolo bisogna dividere per 1,73 il valore letto, cioè:

collegamento a Y: $I_{fo} = I_l$

collegamento a Δ: $I_{fo} = \frac{I_l}{1{,}73}$

dove I_{fo} = corrente di fase a vuoto in ampere; I_l = valore letto in ampere (corrente di linea).

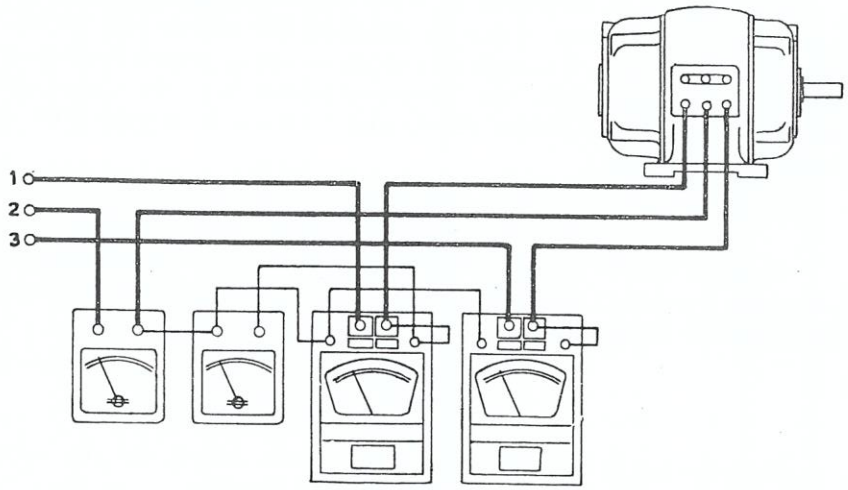


Fig. 324

Per il valore indicato dal voltmetro si ha evidentemente:

collegamento a Y: $V_f = \frac{V_l}{1{,}73}$

collegamento a Δ: $V_f = V_l$

dove: V_f = tensione di fase in volt; V_l = valore letto in volt (tensione concatenata).

In base ai valori letti si avrà:

$$P_o = 1{,}73\ V_l \,.\, I_l \cos \varphi_o$$

mentre in base ai valori di fase:

$$P_o = 3\,.\,V_f\,.\,I_{fo} \cos \varphi_o$$

Da quest'ultima relazione si ricava il valore di $\cos \varphi_o$ (*):

$$\cos \varphi_o = \frac{P_o}{3\ V_f\ I_{fo}}$$

Nelle considerazioni che seguono ci riferiamo per le **tensioni**, le **correnti** e le **resistenze** sempre ai valori di fase.

Dalla prova in cortocircuito, ossia con rotore bloccato, si viene a conoscere la corrente di fase I_{fl} assorbita dal motore con la tensione di cortocircuito V_{fcc}, quindi per conoscere la corrente effettiva di cortocircuito di fase I_{fcc}, che si otterrebbe con la tensione normale di fase V_f, si applica (dato che la caratteristica di cortocircuito è lineare) la relazione:

$$I_{fcc} = I_{fl} \frac{V_f}{V_{fcc}}$$

Essendo nota la potenza di cortocircuito P_{ccl}, cioè la potenza relativa alla tensione V_{fcc} ed alla corrente I_{fl}, si può conoscere il valore del fattore di potenza di cortocircuito $\cos \varphi_{cc}$:

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{ccl}}{3\ .\ V_{fcc}\ .\ I_{fl}}$$

La potenza di cortocircuito effettiva, corrispondente alla corrente reale di cortocircuito ed alla tensione normale V_f, risulta:

$$P_{cc} = 3\ .\ V_f\ .\ I_{fcc} \cos \varphi_{cc} = \frac{V_f \cdot I_{fcc}}{V_{fcc} \cdot I_{fl}}\ P_{ccl} = \left[\frac{I_{fcc}}{I_{fl}}\right]^2 P_{ccl}$$

Costruzione del diagramma circolare

Assumendo la direzione della tensione (verticale) come asse delle ordinate e la perpendicolare per l'origine dei vettori come asse

(*) Noto il valore di $\cos \varphi_o$, le tabelle trigonometriche forniscono il valore dell'angolo φ_o di cui la corrente ritarda rispetto alla tensione V_f.

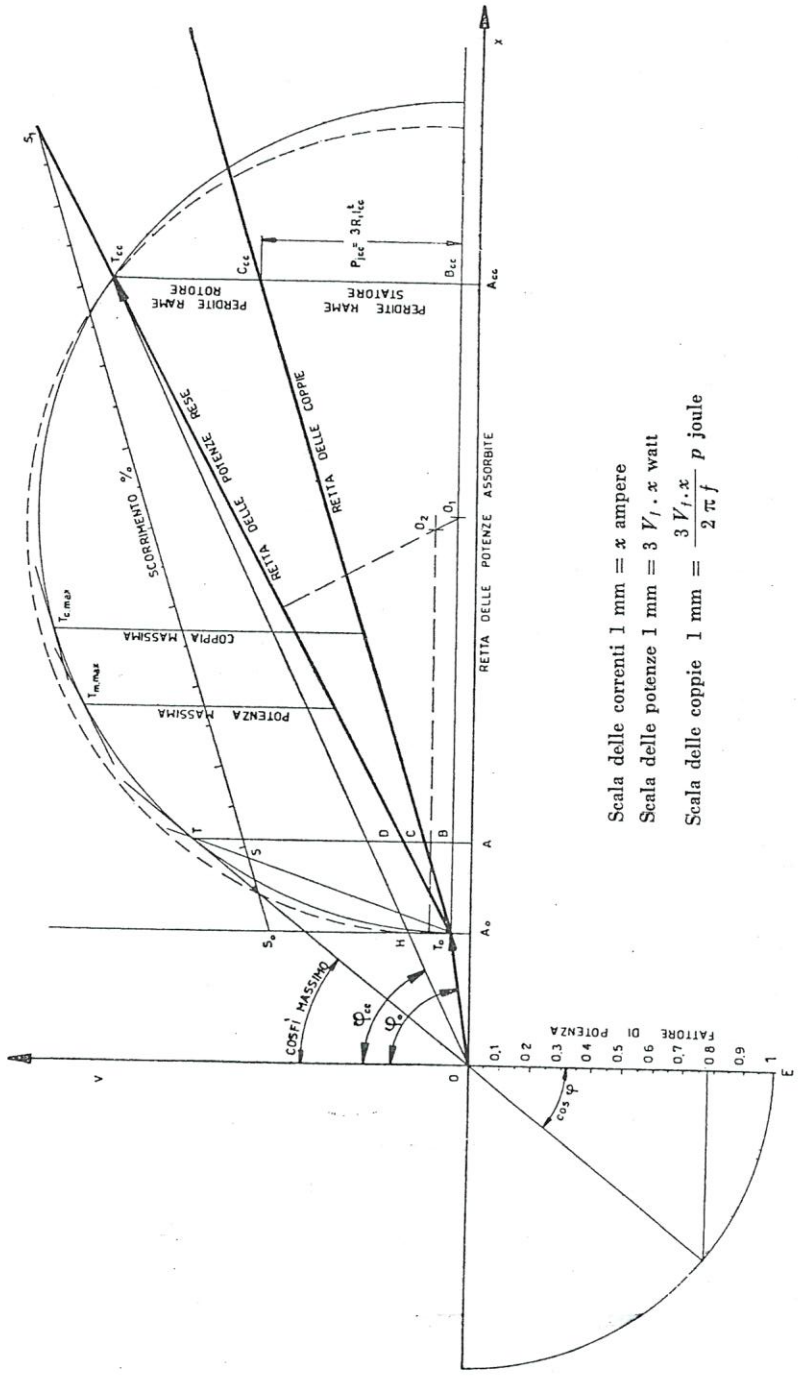


Fig. 325

delle ascisse (fig. 325), si riporta a partire dall'origine O, in una scala prefissata scelta ad arbitrio, il vettore I_{fo} (corrente di fase a vuoto) sfasato dell'angolo φ_o in ritardo rispetto alla tensione V_f. L'estremo di questo vettore (T_o) appartiene alla semicirconferenza. Si traccia quindi, sempre a partire da O e con la stessa scala, il vettore I_{fcc} in ritardo dell'angolo φ_{cc} rispetto a V_f; resta in tal modo determinato il secondo punto T_{cc} della semicirconferenza, corrispondente al funzionamento del motore con tensione normale e scorrimento uguale all'unità.

Il centro della semicirconferenza 0_1 è dato dal punto d'intersezione tra la parallela all'asse delle ascisse condotta dal punto T_o e la perpendicolare condotta dal punto di mezzo della congiungente $\overline{T_o T_{cc}}$, che rappresenta una corda della semicirconferenza.

Ad ogni punto T dell'arco di cerchio compreso tra T_o e T_{cc} corrisponde un valore della corrente di fase I_f assorbita dal motore ed un valore del fattore di potenza $\cos\varphi$ (*). La potenza assorbita dal motore è espressa da:

$$P_{ass} = 3\, V_f . I_f . \cos\varphi$$

Essendo la tensione V_f costante, la potenza assorbita è proporzionale al prodotto $I_f . \cos\varphi$, il quale sul diagramma circolare è rappresentato dalla ordinata del punto T rispetto all'asse delle ascisse, ossia dal segmento $\overline{TA}$.

Se nella scala delle intensità di corrente 1 mm = x ampere, la lunghezza in mm del segmento $\overline{OT}$ moltiplicata per x indicherà la corrente assorbita da una fase dello statore; l'ordinata corrispondente ad una data corrente $\overline{OT}$ dà direttamente la componente attiva e precisamente $\overline{TA} . x = I_f \cos\varphi$, mentre la componente reattiva o magnetizzante è $\overline{OA} . x = I_f \operatorname{sen}\varphi$. Pertanto l'equazione della potenza assorbita può scriversi:

$$P_{ass} = 3 . V_f . x . \overline{TA}\ \text{(W)}$$

ossia nella scala $3.V_f.x$ il segmento $\overline{TA}$ rappresenta la potenza totale assorbita dal motore.

Ne consegue che ogni ordinata come $\overline{TA}$ di ciascun punto dell'arco di cerchio compreso tra T_o e T_{cc} rappresenta, nella scala

(*) Il valore del fattore di potenza dipende esclusivamente dal valore della corrente assorbita e quindi dalle condizioni di carico del motore.

$\boxed{3 V_f . x}$, la potenza assorbita dal motore per ognuna delle infinite condizioni di funzionamento relative a scorrimenti compresi tra **0** (velocità di sincronismo) (*) ed **1** (rotore bloccato). Pertanto l'asse delle ascisse viene comunemente chiamato **retta delle potenze assorbite.**

Nel funzionamento a vuoto la potenza assorbita ($P_o = 3 V_f . I_{fo} \cos\varphi_o$) è rappresentata dal segmento $\overline{T_o A_o}$ (**) e nel funzionamento in cortocircuito ($P_{cc} = 3\, V_f\, I_{fcc} \cos\varphi_{cc}$) dal segmento $\overline{T_{cc} A_{cc}}$.

Nel funzionamento in cortocircuito (rotore bloccato) tutta la potenza assorbita va dissipata in calore, ma siccome si può ritenere che le perdite nel ferro siano ancora rappresentate dal segmento $\overline{T_o A_o} = \overline{B_{cc} A_{cc}}$ si ha che il segmento $\overline{B_{cc} T_{cc}}$ rappresenta la somma delle perdite nel rame dello statore e del rotore. Basta valutare la perdita per effetto joule nello statore per avere la separazione delle perdite nel rame.

Nota la resistenza R_1 e la corrente di cortocircuito di una fase dello statore I_{fcc}, si ha la perdita per effetto joule nel rame dello statore:

$$P_{jcc} = 3\, R_1\, I^2_{fcc}\ \text{(W)}$$

Siccome nella scala delle potenze 1 mm = $3 . V_f . x$ (watt), la potenza $P_{jcc} = 3 . R_1 . I^2_{fcc}$ è rappresentata nel diagramma circolare da un segmento:

$$\overline{B_{cc} C_{cc}} = \frac{P_{jcc}}{3\, V_f . x}\ \text{(mm)}$$

Le perdite per effetto joule nell'avvolgimento rotorico rimangono espresse dal segmento $\overline{C_{cc} T_{cc}}$.

Tracciata la retta $\overline{T_o C_{cc}}$, si deduce facilmente che quando il motore funziona nelle condizioni di carico rappresentate dal punto T le perdite nel rame dello statore corrispondono al segmento $\overline{BC}$ e quelle nel rame del rotore al segmento $\overline{CD}$, mentre le perdite meccaniche e nel ferro sono rappresentate dal segmento $\overline{AB}$. Ne deriva che il segmento $\overline{AD}$ rappresenta le perdite totali del motore.

(*) In effetti il punto T_o non corrisponde alla velocità di sincronismo. Affinchè il rotore possa assumere la stessa velocità del campo rotante occorrerebbe fornirgli con una motrice ausiliaria una potenza pari alle perdite meccaniche del rotore. In pratica si ritiene però che il punto T_o, corrispondente alle condizioni di funzionamento spontaneo a vuoto, coincida con quello di funzionamento alla velocità di sincronismo.

(**) Le perdite a vuoto del motore (pari alla potenza assorbita) sono rappresentate praticamente dalle perdite meccaniche e dalle perdite nel ferro dello statore (le perdite nel ferro del rotore e le perdite nel rame sono trascurabili).

Siccome il segmento $\overline{AT}$ rappresenta la potenza assorbita ne discende che il segmento $\overline{DT}$ rappresenta, nella stessa scala, *la potenza resa*, ossia la potenza disponibile all'albero del motore, mentre il segmento $\overline{CT}$ rappresenta la potenza trasmessa dal campo rotante al rotore; questa potenza $\left(P_t = \frac{2\pi f C}{p}\right)$ è esattamente proporzionale alla *coppia motrice* C e quindi il segmento $\overline{CT}$ fornisce nella scala 1 mm $= \frac{3.V_f.x.p}{2\pi f}$ (joule) la misura della coppia C.

La retta $\overline{T_o T_{cc}}$ viene detta **retta delle potenze rese** e la retta $\overline{T_o C_{cc}}$ **retta delle coppie.**

Interpretazione del diagramma circolare

L'asse delle ascisse e le semirette uscenti dall'origine O e passanti per T_{cc} e C_{cc} costituiscono, come si è detto, delle linee di riferimento importanti e vengono chiamate:

$\overline{OA_{cc}}$ (asse delle ascisse) – *retta o linea delle potenze assorbite;*

$\overline{T_oC_{cc}}$ – *retta o linea delle coppie* (*);

$\overline{T_oT_{cc}}$ – *retta o linea delle potenze rese.*

Ad ogni punto dell'arco $\widehat{T_oT_{cc}}$ corrisponde un valore della corrente di fase assorbita dal motore (**) ed un determinato fattore di potenza cos φ.

Il diagramma circolare consente di dedurre, nella scala delle potenze (1 mm $= 3\,V_f.x$ watt), le seguenti grandezze:

Potenza assorbita: segmento compreso tra T e la retta delle potenze assorbite ($\overline{TA}$);

(*) La retta delle coppie $\overline{T_o C_{cc}}$ divide tutti i segmenti come $\overline{BD}$ in due parti; la parte $\overline{BC}$ rappresenta la perdita per effetto joule nello statore (corrispondente alla condizione di funzionamento rappresentata dal punto T) e la parte $\overline{CD}$ le perdite nel rame del rotore. Il segmento $\overline{DT}$ rappresenta la potenza meccanica sviluppata dal rotore, nella medesima scala della potenza statorica; infatti la retta $\overline{T_o T_{cc}}$ contiene i punti a vuoto T_o e in cortocircuito T_{cc} per i quali è nulla la potenza meccanica sviluppata.

(**) Se si frenasse gradualmente il motore fino a bloccarlo, il punto generico T, estremo del vettore della corrente di fase assorbita dallo statore alle varie condizioni di carico, si sposterebbe da T_o verso T_{cc}.

Perdite a vuoto: segmento compreso tra l'orizzontale per T_o e la retta delle potenze assorbite ($\overline{BA}$);

Perdite rame statore: segmento compreso tra la retta delle coppie e l'orizzontale per T_o ($\overline{CB}$);

Perdite rame rotore: segmento compreso tra la retta delle potenze rese e quella delle coppie ($\overline{DC}$);

Potenza meccanica: segmento compreso tra l'estremo del vettore della corrente e la retta delle potenze rese ($\overline{TD}$).

Dal diagramma si possono rilevare inoltre con buona approssimazione il *valore della coppia motrice*, nella scala delle coppie $\left(1 \text{ mm} = \frac{3\,V.x.p}{2\pi f} \text{ joule}\right)$, il *rendimento*, lo *scorrimento* ed il *fattore di potenza* cos φ.

Coppia motrice: segmento compreso tra l'esterno del vettore della corrente e la retta delle coppie ($\overline{TC}$);

Rendimento: rapporto tra il segmento che rappresenta la potenza meccanica e quello che rappresenta la potenza statorica o assorbita $\left(\eta = \frac{\overline{TD}}{\overline{TA}}\right)$.

Scorrimento: rapporto tra i segmenti $\overline{CD}$ e $\overline{CT}$ $\left(s\% = \frac{\overline{CD}}{\overline{CT}}\,100\right)$.

Lo scorrimento è zero quando il punto T coincide con T_o ed è eguale ad uno quando coincide con T_{cc}.

Lo scorrimento percentuale può leggersi direttamente su una parallela alla retta delle coppie (*) in corrispondenza dell'intersezione S della semiretta condotta da T_o e passante per l'estremo del vettore della corrente.

Si tenga presente che nelle buone costruzioni lo scorrimento a pieno carico assume i valori medi riportati nella tabella LX.

(*) Si tracciano la tangente alla semicirconferenza nel punto T_o (parallela all'asse delle ordinate) ed una parallela alla retta delle coppie fino ad incontrare il prolungamento della $\overline{T_o T_{cc}}$. Il segmento $\overline{S_o S_1}$ si divide in 10 oppure in 100 parti eguali. Il punto S_1 corrisponde alla condizione di funzionamento con rotore bloccato, cioè con scorrimento eguale all'unità o 100%, ed il punto S_0 al sincronismo, ossia con scorrimento eguale a zero.

Fattore di potenza: può essere letto sul segmento $\overline{OE}$ in corrispondenza dell'intersezione con la perpendicolare abbassata dal punto in cui il prolungamento del vettore della corrente $\overline{OT}$ incontra l'arco di cerchio (*).

Diagramma circolare corretto

L'esperienza dimostra che il diagramma circolare semplificato considerato precedentemente è sufficiente per le deduzioni pratiche necessarie al costruttore. Si raggiunge una maggiore approssimazione nei risultati col diagramma circolare corretto; questo si ottiene spostando opportunamente il centro del cerchio e lasciando invariate tutte le altre linee di riferimento. Per determinare il centro del cerchio corretto è sufficiente tracciare, con il solito sistema, i vettori I_{fo} e I_{fcc} e condurre da T_o la parallela all'asse delle ordinate (v. fig. 325), la quale interseca nel punto H il vettore $\overline{OT_{cc}}$. Dal punto di mezzo del segmento T_oH si traccia la parallela all'asse delle ascisse fino ad incontrare la perpendicolare al punto medio di $\overline{T_oT_{cc}}$. Il punto di intersezione 0_2 (**) costituisce il centro del cerchio corretto in sostituzione di 0_1.

Le differenze tra i due diagrammi possono risultare sensibili nei motori molto piccoli (resistenza statorica elevata) specialmente se la corrente magnetizzante è forte.

Osservazioni. — Si tenga presente che il motore asincrono viene costruito in modo che nel funzionamento a pieno carico si abbia il massimo fattore di potenza. Questa condizione corrisponde sul diagramma al punto di contatto T della tangente condotta alla semicirconferenza dall'origine O. Il vettore $\overline{OT}$ rappresenta quindi la corrente di fase di pieno carico alla quale compete il massimo fattore di potenza.

Il punto T_{mmax} (ottenuto conducendo la tangente alla semicirconferenza parallela alla retta delle potenze rese) corrisponde alla condizione di funzionamento con potenza meccanica massima; il punto T_{cmax} (ottenuto conducendo la tangente alla semicirconferenza parallela alla retta delle coppie) corrisponde alla condizione di funzionamento con coppia massima.

Il rapporto tra la coppia massima e quella normale sta ad indicare la capacità di sovraccarico del motore.

Il fattore di potenza di cortocircuito è normalmente superiore a quello a vuoto, quindi l'angolo φ_{cc} è minore di φ_o.

La corrente a vuoto può raggiungere valori dell'ordine di $^1/_3$ di quella di pieno carico e talvolta anche maggiore di $^1/_2\ I_{pc}$, mentre la corrente di cortocircuito può risultare da $2{,}5 \div 7$ volte la corrente normale.

La misura della corrente a vuoto va eseguita su tutte e 3 le fasi perchè i valori differiscono spesso fra loro, specie nei piccoli motori.

Nella prova in cortocircuito il valore della corrente varia con la posizione del rotore rispetto allo statore.

È buona norma dunque spostare lentamente il rotore durante la prova ed eseguire almeno due letture, in corrispondenza delle due posizioni in cui si ha il massimo scarto (si fa la media dei valori letti).

(*) L'arco di cerchio va tracciato con centro in O ed apertura ad arbitrio. Il segmento intercettato sulla parte negativa dell'asse delle ordinate ($\overline{OE}$) va diviso in 10 parti eguali.

(**) La costruzione del cerchio corretto è segnata nella fig. 325 con linea tratteggiata.

ESEMPIO DI VERIFICA DI UN MOTORE ASINCRONO TRIFASE
mediante il diagramma circolare

Data di targa. — Motore asincrono - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1400 giri/min. - 50 p/s. - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,368 kW - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,92 A - Collegamento del primario a Y e del secondario in cortocircuito.

Prova a vuoto: tensione 220 V; corrente $I_{fo} = 0{,}85$ A; $P_1 = 108$ W; $P_2 = -74{,}25$ W.

Prova in cortocircuito: tensione letta 100 V, quindi $V_{fcc} = 57{,}8$ V; corrente $I_{fl} = 1{,}915$ A; $P_1 = 162{,}2$ W; $P_2 = -6{,}5$ W.

Resistenza di una fase a 75° C: $R_1 = 8{,}57\ \Omega$.

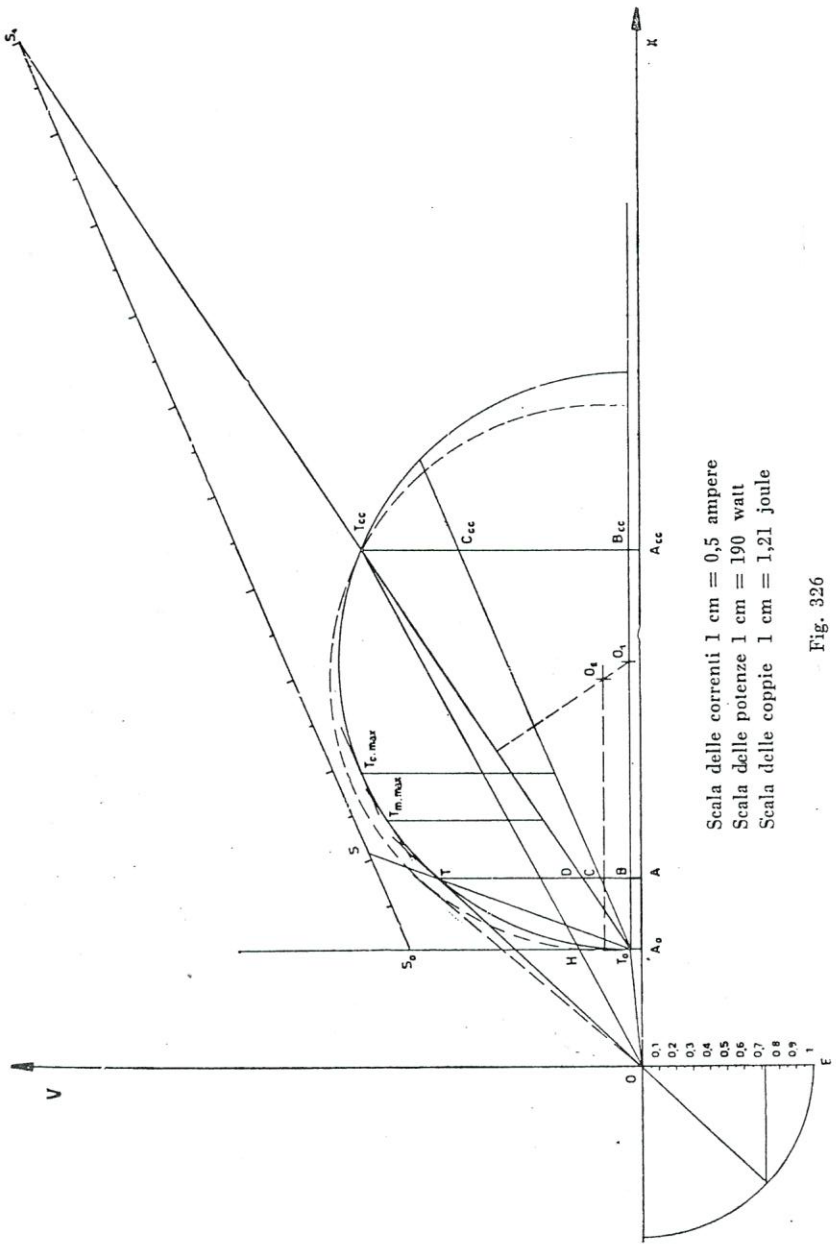


Fig. 326

Costruzione del diagramma. — In base ai valori rilevati nella prova a vuoto si ha:

$$I_{fo} = 0{,}85 \text{ A}; \quad V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{220}{1{,}73} = 127 \text{ V}; \quad P_o = P_1 + P_2 = 33{,}75 \text{ W}$$

$$\cos \varphi_o = \frac{P_o}{3\, V_f\, I_{fo}} = \frac{108 - 74{,}25}{3 \,.\, 127 \,.\, 0{,}85} = \sim 0{,}1045$$

$$\varphi_o = \sim 84$$

Alla tensione normale V_f corrisponde la corrente di cortocircuito:

$$I_{fcc} = \frac{V_f}{V_{fcc}} \,.\, I_{fl} = \frac{127}{57{,}8} \,.\, 1{,}915 = 4{,}21 \text{ A}$$

Il fattore di potenza risulta:

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{ccl}}{3 \,.\, V_{fcc} \,.\, I_{fl}} = \frac{155{,}7}{3 \,.\, 57{,}8 \,.\, 1{,}915} = 0{,}469$$

Scelta la scala delle intensità di corrente pari a 0,5 A/cm, si avrà:

$$\overline{OT_o} = 1{,}7 \text{ cm} \quad \text{con} \quad \varphi_o = 84°$$
$$\overline{OT_{cc}} = 8{,}42 \text{ cm} \quad \text{con} \quad \varphi_{cc} = 62°$$

Tracciando l'asse del segmento $\overline{T_o T_{cc}}$ (fig. 326) si ha nell'intersezione con l'orizzontale condotta per T_o il centro 0_1 del cerchio.

La scala delle potenze e delle coppie, in base alla scala adottata per le correnti, risultano rispettivamente:

$$1 \text{ cm} = 3 \,.\, 127 \,.\, 0{,}5 = \sim 190 \text{ W}$$

$$1 \text{ cm} = \frac{190 \,.\, 2}{6{,}28 \,.\, 50} = 1{,}21 \text{ Joule}$$

cioè: 190 W/cm e 1,21 j/cm.

Per tracciare la retta delle coppie bisogna determinare la perdita per effetto joule nello statore con la corrente reale di cortocircuito, ossia:

$$P_{fcc} = 3 \,.\, R_1 \,.\, I^2_{fcc} = 3 \,.\, 8{,}57 \,.\, 17{,}72 = 456 \text{ W}$$

Quindi:

$$\overline{B_{cc}C_{cc}} = \frac{456}{190} = 2{,}4 \text{ cm}$$

Congiungendo il punto T_o con C_{cc} avremo la retta delle coppie, mentre la retta delle potenze rese è data dalla congiunzione $\overline{T_oT_{cc}}$.

Fissando sulla semicirconferenza i punti T, T_{mmax} e T_{cmax}, corrispondenti rispettivamente alle condizioni di funzionamento con cosφ *massimo*, con *potenza meccanica massima* e con *coppia massima*, si vengono ad avere tutti gli elementi di giudizio sulle caratteristiche fondamentali del motore.

Dal diagramma si possono rilevare i seguenti elementi fondamentali:

1.° fattore di potenza a pieno carico = 0,72 circa;

2.° rendimento a pieno carico = 69,5%.

3.° coppia di avviamento = 1,7 joule, pari a circa 0,6 volte la coppia normale;

4.° coppia massima = 3,4 joule, pari a circa 1,2 volte la coppia normale;

5.° corrente di cortocircuito I_{fcc} = 4,21 A, pari cioè a circa 2,2 volte la corrente di pieno carico;

6.° scorrimento a pieno carico = 10,5%.

La capacità di sovraccarico del motore è scarsa ed anche la coppia di avviamento lascia a desiderare, per cui le proprietà risultanti debbono ritenersi piuttosto mediocri.

CAPITOLO UNDICESIMO

DIMENSIONAMENTO DEL PACCO LAMIERE DEI MOTORI ASINCRONI

CALCOLO DELLE DIMENSIONI FONDAMENTALI DEL PACCO STATORICO

Diametro interno e lunghezza assiale

Per la determinazione preliminare della lunghezza assiale geometrica L_g e del diametro all'intraferro $\varnothing_i$ del pacco lamiere statorico dei motori asincroni trifasi normali, cioè del tipo autoventilato, si possono adoperare varie formule (*); la più semplice, valida sia per motori di piccola che per motori di grande potenza, che assicura sempre risultati soddisfacenti, è la seguente:

$$\varnothing_i . L_g = \frac{p \cdot \Phi_\delta}{B_\delta} \text{ (m}^2\text{)} = 10.000 \frac{p \cdot \Phi_\delta}{B_\delta} \text{ (cm}^2\text{) (**)}$$

dove: p = numero coppie polari; Φ_δ = flusso in weber per polo nel traferro; B_δ = induzione in Wb/m^2 nel traferro; $\varnothing_i$ = diametro interno del pacco lamiere statorico; L_g = lunghezza assiale geometrica del pacco lamiere, esclusi gli eventuali canali di ventilazione.

(*) Tutte le formule di dimensionamento hanno carattere di primo orientamento. In base ad alcune verifiche, che verranno specificate più avanti, può rendersi necessario in seguito qualche lieve ritocco.

(**) Ammessa una distribuzione sinusoidale del flusso, dalla relazione:

$$\Phi_\delta = \frac{2}{\pi} B_\delta . S_p = \frac{2}{\pi} . B_\delta . \frac{\pi \varnothing_i}{2p} . L_g = \frac{B_\delta \cdot \varnothing_i \cdot L_g}{p} \text{ (Wb)}$$

si ha appunto:

$$\varnothing_i . L_g = \frac{p \cdot \Phi_\delta}{B_\delta} \text{ (m}^2\text{)} = \frac{p \cdot \Phi_\delta}{B_\delta} 10^4 \text{ (cm}^2\text{)}$$

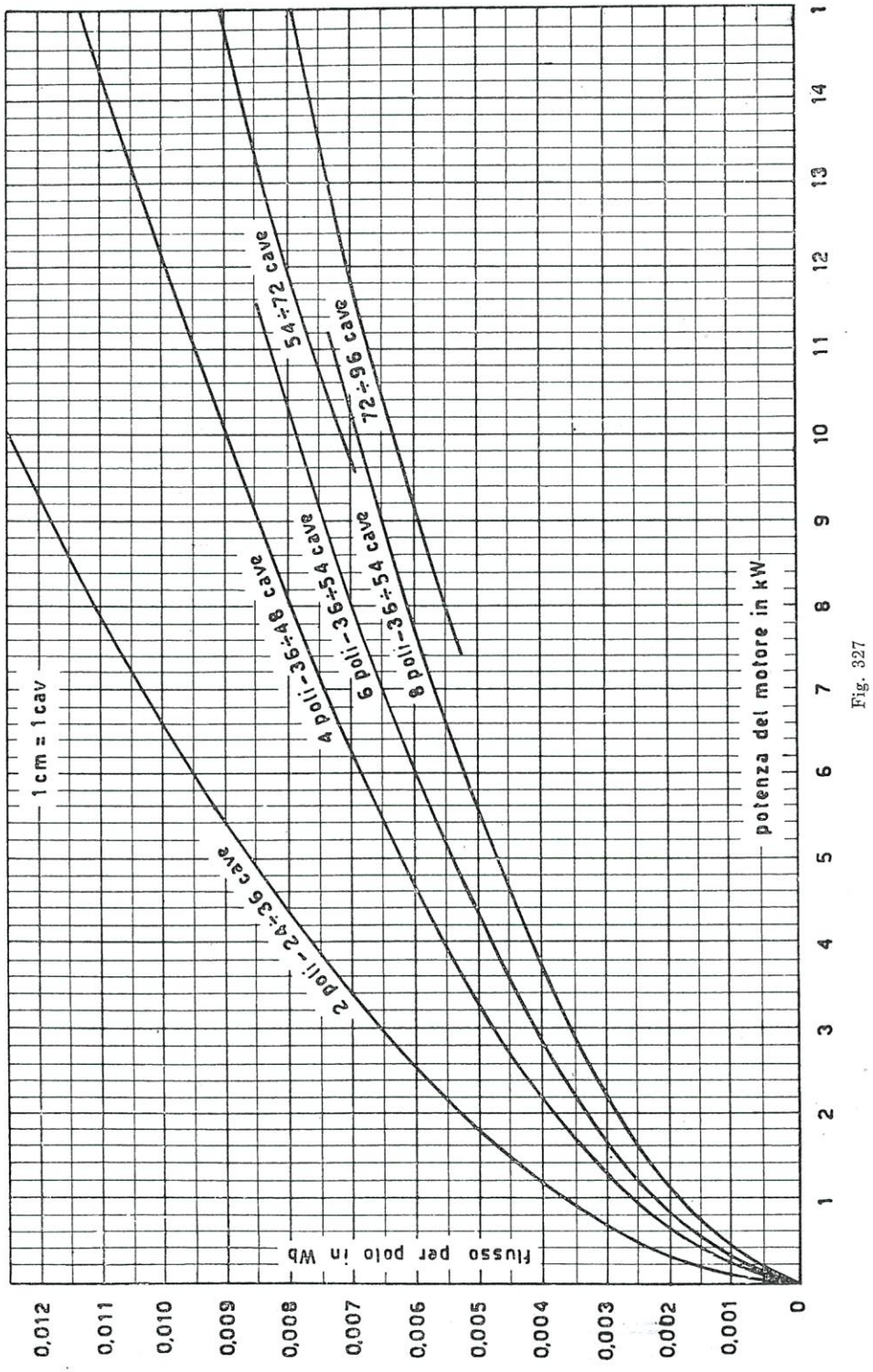


Fig. 327

I valori del flusso per polo nel traferro Φ_δ, in funzione della potenza e del numero delle cave e per un determinato rapporto tra coppia massima e coppia normale, si possono rilevare da grafici sperimentali. Nella fig. 327 sono riportate le curve del flusso, dovute all'ing. *Possa* (*), per una coppia massima doppia di quella di pieno carico (**) e per potenze fino a 20 cav.

I valori del flusso della fig. 327 possono considerarsi ancora pienamente validi (v. « Esempi costruttivi dei motori asincroni ») ed in armonia con i valori dell'induzione nel traferro che si adottano per i motori moderni (***).

Per l'induzione B_δ consigliamo i valori riportati nella tabella XXXIX, ma possono adottarsi anche valori sensibilmente superiori.

Valori di B_δ

TABELLA XXXIX

Numero poli $2p$	Induzione nel traferro B_δ in Wb/m²	OSSERVAZIONI
2	0,80 ÷ 0,68	I valori più elevati dell'induzione si adottano di solito per le piccole potenze.
4	0,88 ÷ 0,74	
6 - 8	0,84 ÷ 0,72	

Per fissare i valori del diametro all'intraferro e della lunghezza assiale del pacco lamiere statorico, noto il loro prodotto $\varnothing_i . L_i$, si terrà conto che nelle buone costruzioni normali i valori del rapporto $L_i/\varnothing_i$, in funzione del numero dei poli $2p$, sono compresi tra i limiti indicati nella tabella XL (****).

(*) Vedi « L'*Elettrotecnica* » N. 2 del 1931.

(**) Qualora si desideri una coppia massima maggiore o minore del doppio di quella di pieno carico occorre aumentare o diminuire il valore del flusso. Infatti la coppia massima che un motore può sviluppare cresce proporzionalmente al quadrato del flusso e precisamente, a parità di ogni altra condizione, si ha:

$$C_M = K . \Phi_\delta^2$$

ossia la coppia massima varia con legge quadratica in funzione del flusso.

(***) Dai dati gentilmente fornitici alla fine del 1971 dalla ASGEN e nel 1972 dalla Marelli si rileva che i valori del flusso dei motori moderni coincidono praticamente con quelli della fig. 327.

In effetti i valori del flusso adottati dalla Marelli risultano anche superiori a quelli indicati dalle quattro curve della fig. 327, ma anche i valori delle induzioni nel traferro sono un po' più alti dei valori massimi della tabella XXXIX.

(****) Si tenga presente che si possono avere ottime condizioni con rapporti $L_i/\varnothing_i$ minori o maggiori di quelli riportati nella tabella.

Valori del rapporto $L_g/\varnothing_i$

TABELLA XL

Numero poli $2p$	Rapporto $L_g/\varnothing_i$	
	Valori normali	Valori raccomandati
2	0,65 ÷ 1,5 (*)	0,7 ÷ 1,2
4	0,5 ÷ 1,15	0,55 ÷ 1,0
6	0,45 ÷ 0,95	0,5 ÷ 0,90
8	0,4 ÷ 0,85	0,45 ÷ 0,80

È da tener presente che per i motori asincroni trifasi IEC-UNEL, tanto nella esecuzione *media* (M), che in quella *larga* (L), sovente il rapporto $L_g/\varnothing_i$ supera l'unità anche per i 6 e gli 8 poli.

Stabilito il valore K_r del rapporto $L_g/\varnothing_i$ si ha evidentemente:

$$\varnothing_i . L_g = K_r . \varnothing_i^2$$

e quindi:

$$\varnothing_i = \sqrt{\frac{\varnothing_i . L_g}{K_r}} \text{ (m)} = \sqrt{10.000 \frac{p . \Phi_\delta}{K_r B_\delta}} \text{ (cm)}$$

Noto il prodotto $\varnothing_i . L_g$ ed il diametro all'intraferro del pacco statorico (**) si determina la lunghezza assiale:

$$L_g = K_r . \varnothing_i = \frac{\varnothing_i . L_g}{\varnothing_i} \text{ (cm)}$$

I valori del prodotto $\varnothing_i . L_g$ in cm^2 in funzione della potenza, per polarità da 2 ÷ 8 poli, possono anche dedursi direttamente dalla fig. 328.

Facciamo rilevare che i valori di $\varnothing_i . L_g$ dei motori asincroni trifasi di costruzione piuttosto recente sono quasi sempre compresi entro i limiti indicati dalla corrispondente fascia.

(*) Nei motori moderni a 2 poli abbiamo riscontrato valori limiti del rapporto $L_g/\varnothing_i$ di 0,53 in qualche tipo della Marelli e di 1,22 in un tipo della Brown Boveri. E' bene tener presente che nelle macchine corte si possono adottare densità di corrente maggiori di quelle lunghe.

(**) Eventuali variazioni del diametro interno del pacco statorico devono essere accompagnate da una variazione inversa della lunghezza assiale, in modo cioè da mantenere il loro prodotto eguale al valore calcolato.

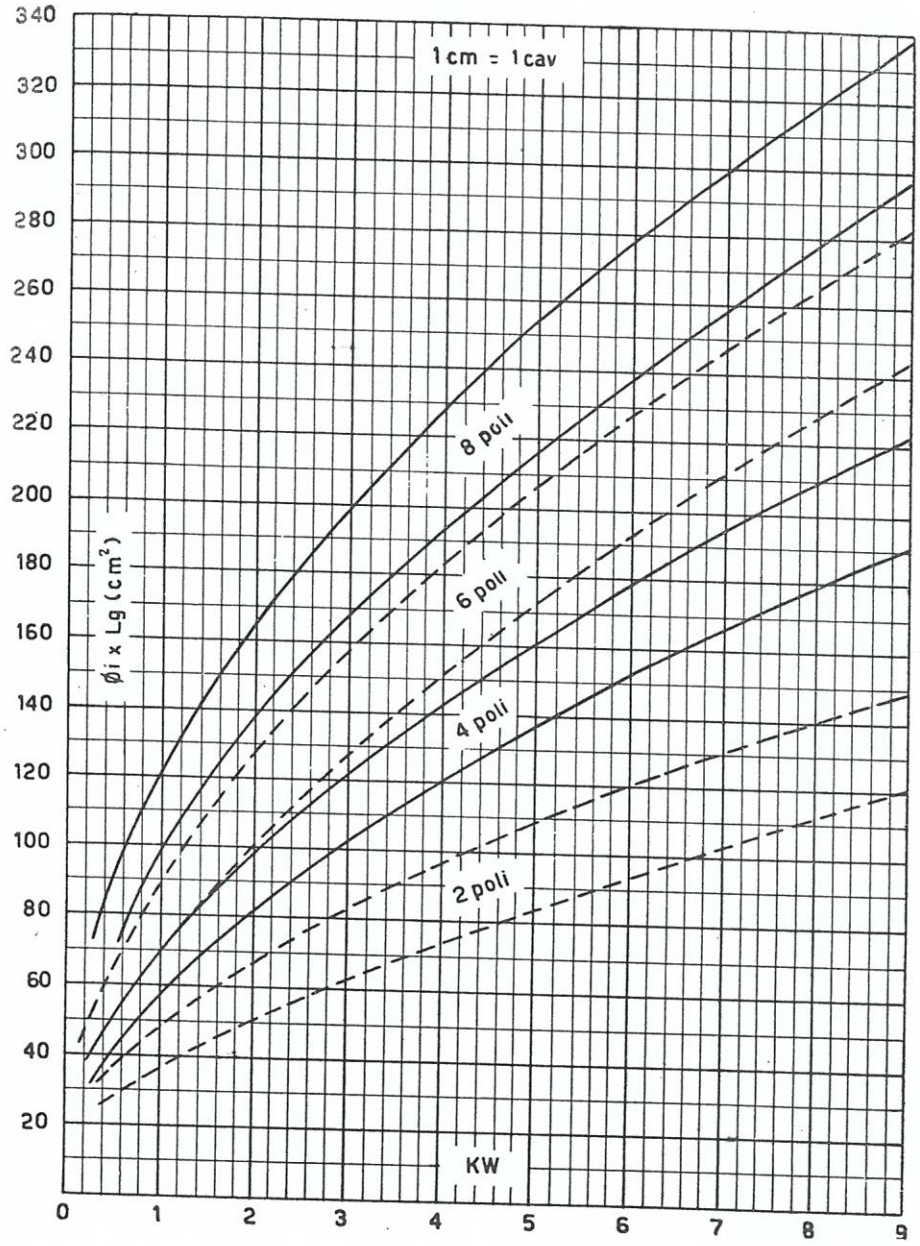


Fig. 328

I quattro grafici sono stati tracciati applicando il criterio da noi esposto, però per le curve inferiori di ciascuna polarità sono stati adottati i valori più alti della induzione. Noi consigliamo di attenersi, in linea di massima, ai valori medi del prodotto $\varnothing_i . L_g$, tenendo presente però che la tendenza di tutti i costruttori è orientata verso i valori più bassi del suddetto prodotto. Su questo orientamento influisce in misura notevole il fattore economico ed in misura meno sensibile il costante, continuo miglioramento della qualità delle lamiere.

Per i motori monofasi si può seguire lo stesso criterio di dimensionamento, considerando però una potenza fittizia pari ad 1,5 di quella effettiva. Infatti, a parità di dimensioni geometriche, la macchina monofase dà i 2/3 della potenza della macchina trifase.

Osservazioni

Qualche tecnico consiglia di basarsi oggi su valori del flusso sensibilmente inferiori a quelli proposti a suo tempo dall'ing. Possa, ma non sarà superfluo far rilevare che le curve della fig. 327 possono ritenersi tuttora valide e pienamente rispondenti alle esigenze economiche che impongono, per ragioni di concorrenza, di ridurre il costo dei motori. Ciò si può ottenere naturalmente adottando per l'induzione valori più elevati di quelli in uso per il passato. Noi ci siamo attenuti a questo criterio, confortati anche dal fatto che i risultati che si ottengono con il nostro metodo e con i valori da noi consigliati concordano quasi perfettamente con quelli delle nostre migliori ditte.

A titolo informativo facciamo presente che è possibile da una macchina razionalmente dimensionata ricavarne un'altra di potenza diversa, basandosi sui « principi di similitudine geometrica ».

Infatti in due macchine perfettamente simili negli elementi geometrici principali, ossia con induzioni, densità di corrente e velocità angolari immutate, la potenza varia con l'esponente 4 delle dimensioni lineari (*); il peso, com'è noto, varia con la 3ª potenza delle dimensioni lineari e conseguentemente esso varia con l'esponente 3/4 della potenza; le perdite, essendo proporzionali al peso, variano con l'esponente 3/4 della potenza. Ne deriva che: col crescere della potenza il costo, riferito all'unità di potenza, diminuisce

(*) v. G. Someda. — « Elementi di costruzione delle macchine elettriche » Ed. Pàtron.

ed il rendimento aumenta. Questa è la ragione essenziale che giustifica la preferenza, dove è possibile, per le unità di grande potenza.

Si tenga comunque presente che le leggi di similitudine vanno bene per le dimensioni principali e per variazioni non eccessivamente grandi. Queste leggi consentono anche di effettuare delle verifiche di massima dopo aver calcolato le dimensioni principali di una macchina.

Traferro

Il valore minimo del traferro δ in mm può determinarsi con la formula:

$$\delta\ (*) = 0{,}0055 \frac{\varnothing_i}{\sqrt{2p}} \quad (\varnothing_i \text{ in mm})$$

È bene tener presente che un piccolo traferro consente di ridurre la corrente a vuoto del motore e di migliorarne il fattore di potenza, ma comporta anche maggiori perdite nel ferro, per pulsazione del flusso (**), ed inoltre non dà la dovuta sicurezza meccanica perchè può dare luogo ad eventuali strisciamenti. Naturalmente il valore minimo del traferro, per ragioni di sicurezza, aumenta con la velocità. Per conciliare queste esigenze fra loro contrastanti conviene adottare, specialmente per le macchine di piccolo diametro, valori del traferro leggermente superiori a quelli dedotti col metodo suesposto. Per le macchine di piccola potenza (***), da $2 \div 8$ poli, consigliamo pertanto di attenersi ai valori indicati nella fig. 329. Si tratta di valori medi dedotti da costruzioni recenti delle ditte italiane più accreditate.

(*) Il valore del traferro δ cresce anche, sebbene in misura ridottissima, con la lunghezza L_g del pacco lamiere, quindi è opportuno aumentare leggermente il valore di δ quando il rapporto $L_g/\varnothing_i$ (v. tabella XL) risulta assai alto. Il Correggiari (v. *F. Correggiari - « Costruzione di macchine elettriche »* - Ed. « La Goliardica ») consiglia di adottare per il traferro un valore all'incirca eguale a quello dedotto dalle espressioni:

$$\delta = 0{,}1 + 0{,}225 \sqrt[3]{P_n} \qquad (\text{per } 2p = 2)$$

$$\delta = 0{,}1 + 0{,}145 \sqrt[3]{P_n} \qquad (\text{per } 2p \geq 2)$$

dove P_n rappresenta la potenza nominale in kW.

(**) La fluttuazione del flusso, dovuta alla dentatura dei nuclei, produce un sibilo magnetico sensibile con traferro piccolo.

(***) Anche nei motori di piccola potenza il valore del traferro raramente si fa minore di 0,2 mm.

Il diametro esterno del rotore sarà ovviamente eguale a quello interno del pacco statorico diminuito del doppio della lunghezza del traferro, ossia:

$$\varnothing_{er} = \varnothing_i - 2\,\delta \text{ (mm)}$$

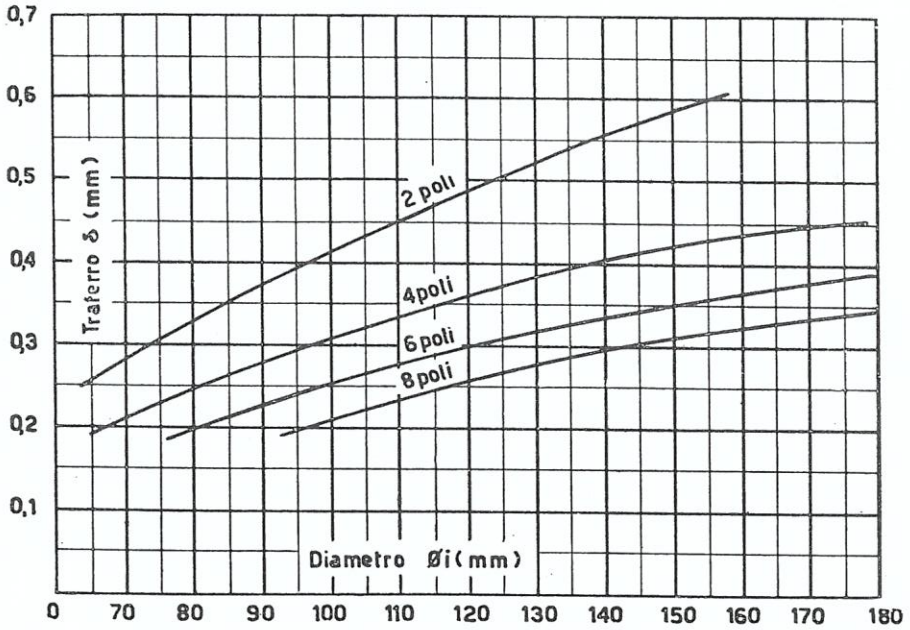


Fig. 329

Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni

Il breve cenno sul dimensionamento del pacco lamiere può essere sufficiente per determinare, in base alla potenza, le dimensioni fondamentali della parte magnetica di un motore e, quindi, procedere all'acquisto del voluto quantitativo di lamierini già tranciati e pronti per il montaggio. Per le piccole potenze esistono, come si è detto nelle premesse, varie ditte che possono effettuare forniture di lamierini per tutte le esigenze.

Nelle tabelle XLI e XLII sono riportati i dati e le caratteristiche dei lamierini tranciati della *serie* MEC e nella tabella XLIII una parte della serie normale della ditta Fergodino; nelle tabelle XLIV e XLV gli stessi elementi per la serie MEC di produzione rispettivamente Terzago e Volonterio.

La Fergodino adotta per le cave dello statore sia il tipo con fondo cava piano — chiamato dalla ditta cava triangolare — sia la cava ovale; è maggiormente richiesto il lamierino con cava ovale perchè l'isolamento cava non richiede cartocci appositamente sagomati ed anche per il fatto che si ottengono coefficienti di riempimento cava più elevati.

È da rilevare che tutte le ditte specializzate nella tranciatura dei lamierini continuano la produzione della numerosa serie normale, perchè molti formati sono ancora assai richiesti.

In genere le dimensioni delle cave e della corona dello statore della serie normale sono un po' maggiori di quelle dei motori di pari diametro interno delle nostre migliori case costruttrici di motori elettrici, però non è consigliabile la adozione di induzioni elevate, nei vari tronchi del circuito magnetico, senza una sicura preventiva conoscenza delle proprietà magnetiche.

Per i pacchi statorici e rotorici con lamierini delle serie MEC, già impaccati con uno dei sistemi di cui si è detto nel cap. II°, oppure per i complessi (*) corrispondenti per dimensioni e potenze a quanto è stabilito dalle norme IEC-UNEL (tabelle 13133/71 - 13117/71), si nota che il dimensionamento è fatto di solito in base a valori dell'induzione nel traferro piuttosto alti.

Le tabelle XLVI, XLVII e XLVIII, pur riferendosi principalmente ai « dati di avvolgimento per motori trifasi IEC-UNEL », integrano in certo qual senso le tabelle XLI, XLII, XLIV e XLV, perchè contengono, oltre la grandezza MEC ed i diametri dei lamierini, le « lunghezze assiali o spessori dei pacchi » in dipendenza delle potenze fissate dalle suddette « norme ».

Le tabelle XLVI, XLVII e XLVIII consentono delle verifiche di massima sia sul « dimensionamento del pacco lamiere », sia sul « calcolo degli avvolgimenti » di cui si dirà nel prossimo capitolo.

Nella tabella XLVI sono indicati anche alcune caratteristiche a carico nominale dei complessi della Fergodino (corrente assorbita, rendimento, fattore di potenza).

(*) I complessi possono essere completi di ventola, scudi, coprimorsetti, ecc., oppure essere costituiti soltanto dalla carcassa col pacco statorico e dal rotore pressofuso.

Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Fergodino)

(Lamierino magnetico - spessore di 0,5 mm)

TABELLA XLI

Grandezza MEC	Caratteristiche lamierini statore							Caratteristiche lamierini rotore						Num. poli
	Diametro esterno × Diametro interno $\varnothing_e$mm × $\varnothing_i$mm	Num. cave n_{cs}	Alt. cor. h_{cs}	Dente Larg. mm	Dente Alt. mm	Sez. cava mm²	Peso unit. gr	Num. cave n_{cr}	Alt. cor. h_{cr}	Dente Larg. mm	Dente Alt. mm	Sez. cava mm²	Peso unit. gr	Diam. foro albero mm	2p
56	80 × 40	12	10,5	4,6	9,5	82	9,5	17	4	2	6,5	23,2	3,0	15	2
	80 × 45	24	6,3	2,8	11,2	49	8,4	22	5,9	2,8	9,1	23	3,8	15	4
63	90 × 45	12	9,1	4,9	13,4	113	14	18	5,6	2,6	7,9	31	4,02	18	2
	90 × 45	18	11,8	3,5	10,7	63	14,06	22	4,5	2,1	9,0	30	3,2	18	2
	90 × 45	24	11,5	2,7	11,0	52	14,23	18	4	3,0	9,5	25	5	18	2
	90 × 50	24	9	3,3	11,0	50	15	22	6,2	3,3	9,8	22,5	4,7	18	4
	90 × 57	24	6,5	3,9	10,0	50	12	18	8,5	5,1	11	37	7,03	18	4
71	110 × 58	18	13,5	4,6	12,5	82	34,4	23	7,1	3	10,9	44	6,5	22	2
	110 × 66	24	9,3	4,5	12,7	63,5	18	30	12,7	3,2	9,3	30	8,5	22	4
	110 × 70	36	8,1	2,3	11,9	50	17	28	13,8	3,7	10,2	33	9,5	22	6
80	122 × 64	24	17	3,7	12,0	74,4	26	18	7	5	11	43	11	28	2
	130 × 64	24	21	3,7	12,0	74,4	30	18	7	5	11	43	11	28	2
	130 × 69	18	16,7	5,7	13,8	99,3	34,4	23	9,3	4,1	11,2	44	9,3	28	2
	130 × 80	24	11,6	5,9	13,4	78,7	25	30	14,8	4,1	11,2	31	13,8	28	4
	130 × 86	36	8,2	3,9	13,8	66	20,5	44	16,2	2,7	12,8	30,7	17	28	6
90	140 × 70	24	19,7	3,9	15,3	100	36	18	3,6	5	14,9	47	8	33	2
	140 × 71	18	17,5	5,8	17,0	150	32,7	23	4,8	4,5	14,2	39,7	8,4	33	2
	140 × 90	24	11,2	6	13,8	100	27,8	30	14,3	4	14,2	49	16,8	33	4
	140 × 90	36	8,7	3,8	16,3	84	23,8	26	13,1	5,8	15,4	40	18,4	33	6

Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Fergodino)

(Lamierino magnetico - spessore di 0,5 mm)

TABELLA XLII

Grandezza MEC	Caratteristiche lamierini statore							Caratteristiche lamierini rotore						Num. poli
	Diametro esterno × Diametro interno $\varnothing_e$mm × $\varnothing_i$mm	Num. cave n_{cs}	Alt. cor. h_{cs}	Dente Larg. mm	Dente Alt. mm	Sez. cava mm²	Peso unit. gr	Num. cave n_{cr}	Alt. cor. h_{cr}	Dente Larg. mm	Dente Alt. mm	Sez. cava mm²	Peso unit. gr	Diam. foro albero mm	2p
100*	152 × 80	24	20,6	4,7	15,4	117	40,8	18	8	5,6	15,5	72	10,3	33	2
	152 × 82	18	19,8	7	15,2	139	41	23	8,1	5	16,4	49	12,3	33	2
	152 × 90	36	14,7	4,2	16,3	87	32,8	28	10,7	5,1	17,8	55	14,8	33	4
	152 × 96	24	14,2	6,8	14,2	97,5	35	30	17,2	5,2	14,3	42	24,0	33	4
	152 × 101	36	9,7	4,8	15,8	75	34	44	16,6	3,4	15,9	34,5	27,5	36	6
100**	165 × 88	24	21,3	5,8	17,2	148	46	18	6	6,4	20	104	52,4	36	2
	165 × 98	36	14,8	5	18,7	85	39	28	15,8	5,8	15,2	45,6	20,9	36	4
	165 × 109	36	10,5	5,2	17,5	94	35,6	44	20,6	3,8	15,9	40	30,8	36	6
112	178 × 96 (1)	24	23	5,7	18	142,2	54	30 + 15	12	5 - 8	18 (5,3 + 9)	78,2	27	36	2
	178 × 110	36	16	5,2	18	97	53	28	17,9	6,1	19,1	57	21,6	36	4
	178 × 115	24	17,2	8,1	14,3	109	46,7	30	20,5	6,5	19	48	29	36	4
	178 × 118	36	12,6	4,7	17,4	118	43	46	27,7	3,6	13,3	42,5	26	36	6
132	200 × 110	24	25,5	7	19,5	167	73,2	28	14,7	6	19,3	66	22	42	2
	200 × 127	36	18,8	5,5	17,7	115	56,4	46	24,5	4,1	18	50	46	42	4
	200 × 135	36	11,2	6,2	21,3	140	44,8	46	25	4	21,5	65,5	38,2	42	6
160	250 × 140 (2)	36	35,3	6	19,7	176	99	30	16,3	6,7	23,7 (5,3 + 12,3)	84	40	60	2
	250 × 165	48	22,2	6,2	20,3	103	119	58	31,5	4	21	65	74	60	4
	250 × 175	54	15,7	6,3	21,8	111	89,3	38	36,1	8,8	21,4	49,5	100,5	60	6

* La grandezza 100 con $\varnothing_e$=152 mm è la grandezza 90 della vecchia serie MEC

** La Fergodino utilizza il lamierino con $\varnothing_e$=165 mm per fare la grandezza 100 per le ditte Marelli e AEG.

(1) Rotore a doppia gabbia (v. fig. 20).

(2) Rotore a doppia gabbia (v. fiig. 21).

Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie normale (ditta Fergodino)

TABELLA XLIII

(Lamierino magnetico spessore di 0,5 mm)

Caratteristiche lamierini statore							Caratteristiche lamierini rotore							
Diametro esterno × Diametro interno $\varnothing_e$mm × $\varnothing_i$mm	Numero cave n_{cs}	Altezza corona h_{cs}	Dente Larghezza mm	Dente Altezza mm	Sezione cava mm²	Peso unitario gr	Numero cave n_{cr}	Altezza corona h_{cr}	Dente Larghezza mm	Dente Altezza mm	Sezione cava mm²	Peso unitario gr	Diametro foro albero mm	Numero poli 2p
150 × 80	24	15,5	5	19,5	144	34	30	12,5	3,4	15	45	—	25	4
150 × 83,5	24	13	5	20,25	140	29	30	18,5	3,5	10,75	40	—	25	4
150 × 90	36	7,5	3,85	22,5	132	26,3	30	18,5	4	14	49	—	25	8 - 6
173 × 95	24	19	5,5	20	190	44,7	30	—	—	—	—	—	33	4 - 2
173 × 100	24	15,2	6,4	21,3	180	40	30	21,5	5	12	45	—	33	4
173 × 110	36	9,7	5	21,8	147	—	30	16,5	6 (m)	17,5	60	—	42	8 - 6
190 × 95	24	25,5	6,5	22,0	197	51,25	30	18,5	4,5	15	56	19	28	2
190 × 100	24	23	6,2	22,0	200	50,40	46	22	3	14	40	21,6	28	2
190 × 115	36	15,5	4,8	22	152	43	28	25,0	6,5	15	49	26	35	4
190 × 120	36	14,4	5,4	20,6	152	39	46	27	3,7	14	47	31	38	6 - 4
190 × 127	36	11	5,4	20,5	146	37,5	46	24	4,2	18,5	58	34	42	8 - 6
200 × 110	24	22	6,5	23	240	58,5	46	24	3,5	14,5	40	28,3	33	4 - 2
200 × 115	24	20,5	7	22	240	55,5	30	21	6,5	18,5	63	35	36	4 - 2
200 × 125	36	17	5,2	20,5	140	47,5	46	28	4	15,5	50	33	38	6 - 4
200 × 127	36	15,6	5,3	20,9	140	47	46	24	4,2	18,5	58	34	42	6 - 4
200 × 135	36	11,2	5,6	21,3	164	42	45/46	25	4	21,5	76	39	42	8 - 6
220 × 115	36	17	5	35,5	175	72,5	46	21	3,2	15,5	49	26	42	4
220 × 127	36	19	6,4	27,5	195	65	46	24	4,2	18,5	58	34	42	4
220 × 140	36	15,7	6	24,3	220	47,5	46	18,5	4,2	21,5	78	42	60	6 - 4
243 × 140	36	21,5	6,7	30	240	102	46	19	4	21	76	44	60	4
243 × 155	36	21,5	6,8	22,5	179	80	46	30	5,2	17,5	66	46	60	4
243 × 162	36	18	6,8	22,5	203	66	46	26,5	5,8	24,5	82	51	60	4
270 × 150	36	36,5	6	23,5	203	99	46	24	5	21	76,5	41	60	2
270 × 175	48	15,8	7	31,7	210	78,5	46	33	7	24,5	90	67	60	6 - 4
270 × 175	36	22	7,8	25,5	245	85	46	33	7	24,5	90	70	60	4 - 2
300 × 175	36	36,6	6,8	26,2	233	145	46	27,5	6,5	30	60	65	60	2
300 × 200	36	18,8	8,8	31,2	345	90	58	40	6	25	80	121	70	6 - 4
300 × 200	48	23,5	6,5	26,5	205	99	58	40	6	25	80	121	70	4 - 2
350 × 250	72	17,5	4,3	32,5	250	100	96	64,5	11,2 - 6,6	30,5 (3,5 - 12,3) fenditura = 13,7	65	105	60	8
380 × 250	72	32,5	4,3	32,5	250	215	96	64,5	11,2 - 6,6	30,5 (3,5 - 12,3) fenditura = 13,7	65	105	60	4 - 6

Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Terzago)

(Lamierino magnetico con cifra di perdita 2,3 W/kg - spessore 0,5 mm - isolato con vernice)

TABELLA XLIV

Grandezza MEC	Caratteristiche lamierini statore							Caratteristiche lamierini rotore							Numero poli 2p
	Diametro esterno × Diametro interno $\varnothing_e$mm × $\varnothing_i$mm	Numero cave n_{cs}	Altezza corona h_{cs}	Dente Larghezza mm	Dente Altezza mm	Sezione cava mm²	Peso unitario gr	Numero cave n_{cr}	Altezza corona h_{cr}	Dente Larghezza mm	Dente Altezza mm	Sezione cava mm²	Peso unitario gr	Diametro foro albero mm	
56	80 × 40	12	10	5,0	10	74	10,7	18	5,0	2,9	7,0	15	3,0	16	2
	80 × 45	24	6,5	2,65	11	47	8,7	22	6,0	2,65	8,5	18	3,9	16	4
63	90 × 47	24	12	2,9	9,5	38	14,0	18	4,5	3,6	9,0	22	4,0	20	2
	90 × 52	24	7,4	3,4	11,6	52	10,5	22	6,0	3,5	10,0	21	5,0	20	4-8
71	107 × 55	24	13,25	3,3	12,75	66	19,0	18	5,5	4,0	11,0	33	5,3	22	2
	107 × 62	24	9,25	4,0	13,25	72	15,9	22	8,0	3,9	12,0	33	7,2	22	4-8
80	122 × 64	24	16,75	3,65	12,25	73	25,8	18	7,0	5,0	11,0	38	7,5	28	2
	122 × 75	24	11,6	4,9	11,9	73	20,3	28	13,5	5,1	10,0	34	11,7	28	4
	122 × 83	36	8,0	3,6	11,5	50	16,3	42	14,9	2,9	12,6	26	14,0	28	6-8
90	138 × 69	24	19,7	3,9	14,8	100	33,5	18	6,0	5,3	12,5	47	8,0	32	2
	138 × 83	36	12,5	3,75	15,0	69	27,0	28	10,5	4,6	15,0	40	13,6	32	4
	138 × 90	36	8,5	3,95	15,5	78	22,0	42	14,75	3,35	14,25	30	16,0	32	6-8
100	152 × 80	24	20,5	4,6	15,5	117	40,8	18	5,5	5,7	15,5	72	10,3	38	2
	152 × 91	36	13,25	4,2	17,25	87	32,7	28	7,5	4,8	19,0	55	14,8	38	4
	152 × 102	36	9,5	4,4	15,5	87	26,2	42	14,9	3,8	17,1	39	20,9	38	6-8
112	173 × 92	24	24	5,4	16,5	138	52,5	18	7,0	7,0	20	95	14,8	38	2
	173 × 104	36	16	5,0	18,5	102	43,4	28	11,0	5,8	22	67	21,2	38	4
	173 × 115	36	11,5	5,3	17,5	106	36,0	42	19,4	4.5	19,1	46	28,6	38	4-6
132	210 × 124	24	27	6,75	16	168,0	—	18	20	10	18	128,3	—	48	2
	210 × 140	36	18,5	6,0	16,5	116,9	—	28	24	8,15	22	100,0	—	48	2

Dati e caratteristiche dei lamierini tranciati per motori asincroni - Serie MEC (ditta Volonterio)

TABELLA XLV

Grandezza MEC	Caratteristiche lamierini statore							Caratteristiche lamierini rotore							Numero poli 2p
	Diametro esterno × Diametro interno $\varnothing_e$mm × $\varnothing_i$mm	Numero cave n_{cs}	Altezza corona h_{cs}	Dente Larghezza mm	Dente Altezza mm	Sezione cava mm²	Taglietto cava mm	Numero cave n_{cr}	Altezza corona h_{cr}	Dente Larghezza mm	Dente Altezza mm	Sezione cava mm²	Sezione anelli mm²	Diametro foro albero mm	
56	80 × 40	18	9,75	2,9	10,25	56,8	1,8	22	4,0	2,16	8,5	17,2	60	15	2
	80 × 45	24	6,5	2,7	11,0	48,6	1,6	22	6,0	2,8	9,0	17,7	66	15	4
63	90 × 45	24	11,5	2,6	11,0	49,7	1,7	18	4,1	2,6	9,4	25,2	76	18	2
	90 × 50	24	9,0	3,3	11,0	49,2	1,7	22	5,2	3,3	12,25	39,9	76	18	4
71	106.5 × 55	24	13,25	3,32	12,5	65,7	2,0	18	6,1	4,10	11,4	33,9	110	20	2
	106.5 × 62	24	8,75	4,0	13,5	72,0	1,8	22	8,75	4,10	12,25	32,2	120	20	4
80	125 × 62	24	18,0	3,5	13,5	81,4	2,0	18	6,1	4,62	12,4	42,4	120	25	2
	125 × 70	24	10,5	5,3	17,0	97,5	1,5	30	10,5	3,4	12,0	29,8	120	25	4
	125 × 80	36	9,7	3,5	12,8	55,9	1,5	30	14,75	4,4	12,55	29,4	97	25	6
90	135 × 70	24	17,15	3,9	15,35	107,0	2,0	18	5,1	5,0	14,90	60,0	202	30	2
	135 × 80	36	12,0	3,63	15,5	70,0	1,8	28	9,6	4,41	15,4	35,3	355	30	4
	135 × 90	36	8,25	3,8	14,25	70,5	1,8	26	14,6	5,75	15,4	43,2	94	30	6
100	150 × 80	24	19,5	4,36	15,5	110,0	2,0	18	8,0	5,9	14,0	69,4	210	36	2
	150 × 90	36	13,7	4,15	16,3	79,8	1,8	28	9,2	5,1	17,8	47,5	201	36	4
	150 × 103	36	9,0	4,4	14,5	79,8	1,8	34	17,45	5,1	16,05	41,6	116	36	6 - 8
112	173 × 90	24	23,0	5,0	18,5	150,0	2,7	30	11,6	3,2	14,4	51,1	212	38	2
	173 × 103	36	17,7	4,9	17,5	93,1	2,5	28	14,65	6,2	17,85	63,2	315	38	4
	173 × 115	36	12,8	5,3	16,4	93,3	2,5	34	22,3	6,3	16,2	45,2	126	38	6 - 8
132	200 × 110	36	28,1	4,1	17,5	112,2	2,2	30	7,4	5,0	22,6	65,7	315	50	2
	200 × 125	36	20,0	5,9	17,4	107,7	2,0	28	15,6	7,3	21,9	67,5	304	50	4
	200 × 135	36	14,3	6,8	18,3	114,5	2,0	34	22,8	7,2	19,7	61,4	170	50	6 - 8

Dati di avvolgimento per motori asincroni trifasi IEC-UNEL (ditta Fergodino)

(chiusi ventilati esternamente, con rotore in cortocircuito 220/380 V - 50 p/s)

TABELLA XLVI

Grandezza MEC	Dati sui pacchi statorici			Dati di avvolgimento						Caratteristiche a carico nominale		
	Dimensioni pacco statore $\varnothing_e$mm × $\varnothing_i$mm	Lunghezza pacco mm	Numero cave n_{cs}	Numero poli 2p	Passo avvolgim.	Potenza cav	Potenza kW	Numero fili/cava	Diametro fili $\varnothing_{cn}$ mm	Corrente assorbita a 220/380V	Rendimento %	Fattore di potenza cos φ
56	80 × 40	40 50	12	2	1÷6 1÷6	1/3 1/6	0,092 0,122	455 355	0,25 0,28	0,77/0,45 1,03/0,6	54 53	0,57 0,58
	80 × 45	40 50	24	4	1÷6 1÷6	1/12 1/8	0,062 0,091	397 315	0,25 0,28	0,88/0.51 1,05/0,91	61 60	0,65 0,62
63	90 × 45	40 50	12	2	1÷6 1÷6	1/4 1/3	0,184 0,245	390 310	0,30 0,35	1,3/0,75 1,56/0,9	69 69	0,6 0,66
	90 × 57	40 50	24	4	1÷6 1÷6	1/6 1/4	0,122 0,184	274 220	0,27 0,30	0,75/0,43 1,12/0,65	0,62 0,6	0,69 0,7
71	110 × 58	47 57	18	2	1÷8 1÷8	1/2 3/4	0,368 0,552	185 150	0,40 0,45	2,4/1,4 3,28/1,9	0.5 0,54	0,79 0,82
	110 × 66	47 57	24	4	1÷6 1÷6	1/3 1/2	0,245 0,368	220 166	0,40 0,45	1,4/0,81 1,9/1,1	0,59 0,66	0,70 0,70
80	130 × 69	50 65	18	2	1÷8 1÷8	1 1,5	0,736 1,104	130 100	0,60 0,70	3,2/1,86 4,6/2,7	0,75 0.77	0,83 0,80
	130 × 80	50 65	24	4	1÷6 1÷6	3/4 1	0,552 0,736	140 109	0,53 0,60	2,7/1,6 3,2/1,9	0,70 0.70	0,72 0,70
	130 × 86	50 65	36	6	1÷6 1÷6	1/2 3/4	0,368 0,552	150 121	0,45 0,50	2,1/1,2 2,6/1,5	0,65 0,75	0,70 0,71
90	140 × 71	65 90	18	2	1÷8 1÷8	2 3	1,472 2,208	85 65	0,90 1,10	6/3,5 9,5/5,5	0,71 0,77	0,83 0,82
	140 × 90	65 90	24	4	1÷6 1÷6	1,5 2	1,104 1,472	97 72	0,75 0,85	5,2/3 6,8/4	0.76 0,76	0,76 0,78
	140 × 90	65 90	36	6	1÷6 1÷6	1 1,5	0,736 1,104	91 66	0,70 0,85	3,7/2,15 6,2/3,6	0,7 0,7	0,69 0,69
100	165 × 88	80	18	2	1÷9	4	2,944	2 × 29	2 × 0,85	11,4/0,6	0,8	0,81
	165 × 98	80 105	36	4	1÷8 1÷8	3 4	2,208 2,944	2 × 22 2 × 18	1,10 2 × 0,80	19,2/5,3 11,7/6,8	0,783 0,8	0,75 0,79
	165 × 109	80	36	6	1÷6	2	1,472	64	0,85	6,5/3,65	0,76	0,75
112	178 × 96	100	24	2	1÷9	5,5	4,043	2 × 18	2 × 1,10	16,8/9,7	0,82	0,76
	178 × 110	100	36	4	1÷8	5,5	4,043	15 + 15	2 × 1	17/10	0,81	0,8
	178 × 118	120	36	6	1÷6	3	2,208	44	1,10	8,3/4,8	0,8	0,75
132	200 × 110	90 120	24	2	1÷10 1÷10	7,5 10	5,520 7,350	2 × 17 13 + 13	2 × 1,10 4 × 0,95	21,2/12,3 27/15,6	0,81	0,77
	200 × 127	120 160	36	4	1÷6, 1÷8 e 1÷10 1÷10	7,5 10	5,520 7,360	13 + 13 18	3 × 0,95 2 × 1,30	20,3/11,8 27/15,7	0,82 0,86	0,88 0,8 0,81
	200 × 135	95 130 170	36	6	1÷6 1÷6 1÷6	4 5,5 7,5	2,944 4,043 5,520	45 37 25	2 × 0,95 2 × 1,05 2 × 1,20	12,6/7.3 17,3/10 24/13,9	0,81 0,79 0,8	0,76 0,77 0,76

Dati di avvolgimento per motori asincroni trifasi IEC-UNEL (ditta Terzago)

(chiusi ventilati esternamente - rotore in cortocircuito - lamierini MEC dal 56 al 132 - 220/380 V - 50 p/s)

TABELLA XLVII

Dati sui pacchi statorici				Dati di avvolgimento					
Grandezza MEC	Dimensioni pacco statore		Numero cave n_{cs}	Numero poli 2p	Passo avvolg.	Potenza		Numero fili/cava	Filo $\varnothing_{cn}$ mm
	$\varnothing_e$ (mm) × $\varnothing_i$ (mm)	Lunghezza Lg (m)				cav	kW		
56	80 × 40	45 55	12	2	1÷6	0,12 0,16	0,088 0,118	410 330	0,25 0,30
	80 × 45	45 55	24	4	1÷6 e 1÷8	0,08 0,12	0,058 0,088	358 290	0,25 0,28
	80 × 45	45 55	24	6	1÷5	0,05 0,08	0,037 0,059	2 × 265 2 × 215	0,20 0,22
63	90 × 47	50 60	24	2	1÷10 e 1÷12	0,25 0,33	0,184 0,245	152 126	0,35 0,38
	90 × 52	50 65	24	4	1÷6 e 1÷8	0,16 0,25	0,118 0,184	245 185	0,32 0,38
	90 × 52	50 65	24	6	1÷5	0,12 0,16	0,088 0,118	2 × 185 2 × 140	0,25 0,30
	90 × 52	50 65	24	8	1÷4	0,05 0,08	0,037 0,059	510 390	0,22 0,25
71	107 × 55	50 65	24	2	1÷10 e 1÷12	0,5 0,75	0,368 0,552	138 105	0,48 0,55
	107 × 62	55 75	24	4	1÷6 e 1÷8	0,33 0,5	0,245 0,368	196 142	0,42 0,50
	107 × 62	65 75	24	6	1÷5	0,25 0,33	0,184 0,245	2 × 122 2 × 105	0,38 0,42
	107 × 62	65 75	24	8	1÷4	0,12 0,16	0,088 0,118	350 300	0,32 0,45
80	122 × 64	60 80	24	2	1÷10 e 1÷12	1 1,5	0,756 1,108	94 70	0,60 0,70
	122 × 75	65 80	24	4	1÷6 e 1÷8	0,75 1	0,552 0,736	124 100	0,55 0,60
	122 × 83	70 85	36	6	1÷6	0,5 0,75	0,368 0,552	115 94	0,45 0,52
	122 × 83	70 85	36	8	1÷6	0,25 0,33	0,184 0,245	2 × 85 2 × 70	0,38 0,42
90 S	138 × 69	70 100	24	2	1÷10 e 1÷12	2 3	1,472 2,208	66 46	0,85 1,0
90 L	138 × 83	75 100	36	4	1÷8, 1÷10 e 1÷12	1,5 2	1,108 1,472	64 48	0,75 0,85
90 S	138 × 90	75 100	36	6	1÷6	1 1,5	0,736 1,108	88 72	0,65 0,75
90 L	138 × 90	75 100	36	8	1÷6	0,5 0,75	0,368 0,552	2 × 68 2 × 51	0,55 0,60
100 L	152 × 80	105	24	2	1÷10 e 1÷12	4	2,944	41	1,15
100 L	152 × 91	100 125	36	4	1÷8, 1÷10 e 1÷12	3 4	2,208 2,944	44 36	1,0 1,1
100 L	152 × 102	115 100	36	6	1÷6	2 1	1,472 0,736	58 2 × 43	0,90 0,70
100 L	152 × 102	125	36	8	1÷6	1,5	1,104	2 × 34	0,80
112 M	173 × 92	105	24	2	1÷10 e 1÷12	5,5	4,043	37	1,3
112 M	173 × 104	130	36	4	1÷8, 1÷10 e 1÷12	5,5	4,043	30	1,3
112 M	173 × 104	120	36	6	1÷6	3	2,208	50	1,0
112 M	173 × 115	130	36	8	1÷6	2	1,472	2 × 30	0,90
132 S	210 × 124	100	24	2	1÷7, 1÷9	7,5	5,520	2 × 29	2x0,75 e 1x0,70
132 S		120			1÷11	10,0	7,360	2 × 24	3 × 0,80
132 M		140			e 1÷13 (*)	12,5	9,200	2 × 20	4 × 0,75
132 S	210 × 140	130	36	4	1÷6, 1÷8	7,5	5,520	2 × 23	0,80 e 0,85
132 M		155			e 1÷10 (*)	10	7,360	2 × 19	3 × 0,75
132 M		180				12,5	9,200	2 × 17	1,4
132 S	210 × 150	120	36	6	1÷6	4	2,944	33	1,4
132 M		140				5,5	4,043	28	1,5
132 M		165				7,5	5,520	24	1,65

Colleg. parallelo

Esecuzione: S = stretta; M = media; L = larga.

(*) Avvolgimento a 2 matasse/cava.

Dati di avvolgimento per motori asincroni trifasi IEC-UNEL (ditta Volonterio)

(chiusi ventilati esternamente - rotore in cortocircuito - lamierini MEC dal 56 al 132 - 220/380 V - 50 p/s)

TABELLA XLVIII

Dati sui pacchi statorici				Dati di avvolgimento					
Grandezza MEC	Dimensioni pacco statore $\varnothing_e$ (mm) × $\varnothing_i$ (mm)	Lunghezza pacco statorico L_g (m)	Numero cave n_{cs}	Numero poli 2p	Passo Avvolg.	Potenza cav	Potenza kW	Numero fili/cava	Diametro filo $\varnothing_{cn}$ mm
56	80 × 40	45 55	18	2	1÷8 1÷8	1/8 1/6	0,092 0,122	310 245	0,28 0,32
	80 × 45	45 55	24	4	1÷6 1÷6	1/12 1/8	0,061 0,092	375 280	0,25 0,28
63	90 × 45	45 60	24	2	1÷10 1÷10	1/4 1/3	0,184 0,245	174 127	0,35 0,42
	90 × 50	45 60	24	4	1÷6 1÷6	1/6 1/4	0,122 0,184	260 205	0,27 0,32
71	106,5 × 55	50 65	24	2	1÷10 1÷10	1/2 3/4	0,368 0,552	126 98	0,45 0,55
	106,5 × 62	50 65	24	4	1÷6 1÷6	1/3 1/2	0,245 0,368	192 154	0,40 0,45
80	125 × 62	60 80	24	2	1÷10 1÷10	1 1,5	0,736 1,104	94 68	0,65 0,75
	125 × 70	60 80	24	4	1÷6 1÷6	3/4 1	0,552 0,736	138 105	0,55 0,65
	125 × 80	70 90	36	6	1÷6 1÷6	1/2 3/4	0,368 0,552	110 90	0,48 0,55
90 S L	135 × 70	75 100	24	2	1÷10 1÷10	2 3	1,472 2,208	68 51	0,85 2 × 0,70
90 S L	135 × 80	75 100	36	4	1÷10 1÷10	1,5 2	1,104 1,472	65 48	2 × 0,52 0,85
S L	135 × 90	75 100	36	6	1÷6 1÷6	1 1,5	0,736 1,104	97 73	0,65 0,75
L	150 × 80	100	24	2	1÷10	4	2,944	42	2 × 0,85
100 L	150 × 90	100 135	36	4	1÷10 1÷10	3 4	2,208 2,944	42 32	2 × 0,70 2 × 0,80
L	150 × 103	100	36	6	1÷6	2	1,472	62	2 × 0,60
L	150 × 103	100 135	36	8	1÷6 1÷6	1 1,5	0,736 1,104	2 × 53 2 × 41	0,60 0,70
112 M	173 × 90	100	24	2	1÷10	5,5	4,043	2 × 22	0,85/0,9
	173 × 103	130	36	4	1÷10	5,5	4,043	58 - 2//	0,60/0,65
	173 × 115	130	36	6	1÷6	3	2,208	42	0,70/0,75
	173 × 115	130	36	8	1÷6	2	1,472	2 × 29	0,60/0,65
S M	200 × 110	80 110	36	2	1÷15 1÷15	7,5 10	5,520 7,360	2 × 26 - 2// 2 × 18 - 2//	2 × 0,70 0,80/0,85
132 S M	200 × 125	120 160	36	4	1÷10 1÷10	7,5 10	5,520 7,360	52 - 2// 39 - 2//	2 × 0,70 0,80/0,85
S M L	200 × 135	90 125 170	36	6	1÷6 1÷6 1÷6	4 5,5 7,5	2,944 4,043 5,520	46 34 51 - 2//	2 × 0,80 3 × 0,75 0,75/0,80
S M	200 × 135	125 170	36	8	1÷6 1÷6	3 4	2,208 2,944	2 × 22 2 × 17	2 × 0,80 2 × 0,75

Esecuzione: S=stretta; M=media; L=larga.

Peso dei lamierini

Nota la lunghezza assiale dei pacchi le tabelle da XLI ÷ XLV consentono di determinare il peso dei lamierini occorrenti per ciascun motore.

Dato che i lamierini hanno di norma lo spessore di 0,5 mm il coefficiente di stipamento si può considerare pari a 0,95, vale a dire che il numero medio dei lamierini per ogni centimetro di spessore sarà di 19, o più semplicemente:

$$\text{numero lamierini} = \frac{L_g}{0{,}5} \cdot 0{,}95 = 2 \times 0{,}95 \cdot L_g$$

dove L_g va ovviamente espresso in millimetri.

peso pacco statore = num. lam. × peso unitario lam.
peso pacco rotore = num. lam. × peso unitario lam.

Potenza dei motori asincroni trifasi in funzione delle dimensioni del pacco lamiere

La formula di dimensionamento del pacco statorico può servire per stabilire la potenza di un motore sprovvisto di targa. Infatti:

$$\Phi_\delta = \frac{B_\delta \cdot \varnothing_i \cdot L_g}{p} \cdot 10^{-4} \text{ (Wb)}$$

Noti $\varnothing_i$, L_g, p e scelto B_δ dalla tabella XXXIX o meglio in base al passo polare (v. «*Calcolo degli avvolgimenti dei motori asincroni*»), si determina Φ_δ e dalla curva corrispondente della fig. 327 si desume il valore della potenza del motore. Anche per questo scopo riesce molto più semplice e rapido l'uso dei grafici della fig. 328. Naturalmente occorre verificare, specialmente quando il motore deve essere riavvolto per una diversa polarità, se l'induzione nella corona o nei denti si mantiene entro limiti accettabili (v. cap. XII).

Esempi:

1.° *Calcolo delle dimensioni fondamentali del pacco lamiere di un motore asincrono trifase a 4 poli della potenza di 1,104 kW (1,5 cav).*

Diametro interno statore. — In base ad una coppia massima pari a circa 2 volte quella normale, la fig. 327 dà un valore del flusso $\Phi_\delta = 0{,}00275$ Wb; scelto $B_\delta = 0{,}82$ Wb/m² (v. tabella XXXIX) ed il rapporto $L_g/\varnothing_i = 0{,}8$, si ha:

$$\varnothing_i \cdot L_g = 10.000 \frac{p \cdot \Phi_\delta}{B_\delta} = 10.000 \frac{2 \cdot 0{,}00275}{0{,}82} = 67{,}07 \text{ cm}^2$$

Della fig. 328 si rileva che il valore del prodotto $\varnothing_i \cdot L_g$ è compreso tra 60 e 73,5 cm².

$$\varnothing_i = \sqrt{\frac{\varnothing_i \cdot L_g}{K_r}} = \sqrt{\frac{67{,}07}{0{,}8}} = \sqrt{83{,}83} = 9{,}15 \text{ cm} = 91{,}5 \text{ mm}$$

Lunghezza assiale, traferro e peso lamierini — Scegliamo dalla tabella XLI il diametro più prossimo e precisamente il lamierino con diametro interno di 90 mm ed esterno di 140 mm (grandezza MEC 90), $n_c = 24$, $h_{cs} = 11{,}3$ mm, peso lamierino statorico 27,8 gr e del lamierino rotorico 16,8 gr.; quindi:

$$L_g = \frac{\varnothing_i \cdot L_g}{\varnothing_i} = \frac{67{,}07}{9} = 7{,}45 \text{ cm} = 74{,}5 \text{ mm}$$

Il valore minimo del traferro risulta:

$$\delta = 0{,}0055 \frac{\varnothing_i}{\sqrt{2p}} = 0{,}0055 \frac{90}{2} = 0{,}2475 \text{ mm}$$

Si può adottare un traferro di 0,25 mm oppure quello dedotto dalla fig. 329 (0,28 mm), ma è preferibile arrotondare il traferro a 0,3 mm.

Pertanto il rotore dovrà essere tornito per un diametro esterno:

$$\varnothing_r = \varnothing_i - 2\delta = 90 - 0{,}6 = 89{,}4 \text{ mm}$$

Il peso totale dei lamierini per ogni motore in base ad un fattore di stipamento di 0,95 risulterà:

numero lamierini = 2 . 74,5 . 0,95 = 141,55 = ∼142

peso pacco lamiere statore = 142 . 27,8 = 3947,6 gr = ∼ 3,950 kg
peso pacco lamiere rotore = 142 . 16,8 = 2385,6 gr = ∼ 2,400 kg

peso totale 6,350 kg

2.° *Motore asincrono trifase a 2 poli della potenza di 1,104 kW (1,5 cav).*

Diametro interno statore. — Dalla fig. 328 il valore medio del prodotto $\varnothing_i . L_g$ risulta di 45 cm^2 circa; adottando per il rapporto $L_g/\varnothing_i$ un valore pari a 0,95 si avrà:

$$\varnothing_i = \sqrt{\frac{45}{0,95}} = \sqrt{47,36} = 6,88 \text{ cm} = 68,8 \text{ mm}$$

Lunghezza assiale, traferro e peso lamierini. — Si potrebbe impiegare il lamierino della tabella XXXIX di grandezza MEC 80 con: $\varnothing_e = 130$ mm, $\varnothing_i = 69$ mm, $n_c = 18$, $h_{cs} = 16,6$ mm, peso unitario lamierino statorico 34,4 gr e del lamierino rotorico 9,3 gr; la lunghezza del pacco risulterebbe:

$$L_g = \frac{45}{6,9} = 6,52 \text{ cm} = 65,2 \text{ mm}$$

che si arrotonda a 65 mm.

Traferro:

$$\delta = 0,0055 \frac{69}{1,41} = 0,27 \text{ mm}$$

Dalla fig. 329 si otterrebbe praticamente lo stesso valore di δ. Il diametro esterno del rotore sarà quindi:

$$\varnothing_r = 69 - 2 . 0,27 = 68,45 \text{ mm}$$

Peso lamierini:

numero lamierini $= 2 . 0,95 . 65 = 123,5 = 124$

pacco statore $= 124 . 34,4 = 4265,6$ gr $= 4,270$ kg

pacco rotore $= 124 . 9,3 = 1153,2$ gr $= 1,160$ kg

Peso totale 5,430 kg

Si otterrebbero all'incirca gli stessi risultati adottando il lamierino di grandezza MEC 90 della tabella XLIV ($\varnothing_e = 138$ mm, $\varnothing_i = 69$ mm, $n_c = 24$, $h_{cs} = 19,7$ mm, peso unitario = 33,5 gr; peso unitario lamierino rotorico = 8 gr.

3.° *Calcolo delle dimensioni fondamentali di un motore asincrono monofase a 4 poli - potenza resa 0,368 kW.*

Diametro interno statore. — Trattandosi di un motore monofase il flusso va scelto in base ad una potenza pari ad 1,5 volte quella effettiva, ossia 552 W, e quindi Φ_δ risulta $\sim 0,00185$ Wb; per B_δ pari a 0,8 Wb/m^2 si ha:

$$\varnothing_i . L_g = 10.000 \frac{p . \Phi_\delta}{B_\delta} = 10.000 \frac{2 . 0,00185}{0,8} = 46,25 \text{ cm}^2$$

Dalla fig. 328 si rileva che il valore del prodotto $\varnothing_i . L_g$ è di solito compreso tra 42 e 52 cm^2.

$$\varnothing_i = \sqrt{\frac{46,25}{0,75}} = \sqrt{61,66} = 7,85 \text{ cm} = 78,5 \text{ mm}$$

Lunghezza assiale, traferro e peso lamierini. — Si potrebbe impiegare il lamierino del diametro interno di 80 mm ed esterno di 130 mm (grandezza MEC 80) con: $n_c = 24$, $h_{cs} = 11,6$ mm e peso unitario di 25 gr (v. tabella XLI); peso unitario del lamierino rotorico 13,8 gr.

$$L_g = \frac{46,25}{8} = 5,78 \text{ cm} = \sim 58 \text{ mm}$$

Il traferro dalla fig. 329 risulta di 0,25 mm.
Quindi il rotore dovrà avere un diametro esterno:

$$\varnothing_r = 80 - 2 . 0,25 = 79,5 \text{ mm}$$

Il numero dei lamierini per ogni pacco sarà:

numero lamierini $= 2 \times 58 \times 0,95 = 110$

e conseguentemente il peso dei lamierini per ciascun motore risulterà:

pacco statore $= 110 \times 25 = 2750$ gr $= 2,750$ kg

pacco rotore $= 110 \times 13,8 = 1518$ gr $= 1,520$ kg

peso totale 4,270 kg

Ovviamente si potrebbe impiegare il lamierino con $\varnothing_i = 75$ mm, $\varnothing_e = 122$ mm, $n_c = 24$, $h_{cs} = 11,6$ e peso unitario del lamierino statorico di 20,3 gr e di quello rotorico di 11,7 gr (v. tabella XLIV); naturalmente la lunghezza assiale risulterà superiore a 58 mm.

4.° *Determinare la potenza di un motore asincrono trifase a 4 poli avente il diametro interno del pacco statorico* $\varnothing_i = 145$ *mm e la lunghezza assiale* $L_i = 113$ *mm.*

In base ad una induzione nel traferro $B_\delta = 0{,}74$ Wb/m^2 (si tratta di un motore di costruzione non recente) si ha:

$$\Phi_\delta = \frac{B_\delta \cdot \varnothing_i \cdot L_i}{p} \cdot 10^{-4} = \frac{0{,}74 \cdot 14{,}5 \cdot 11{,}3}{2} \cdot 10^{-4} = 0{,}006062 \text{ Wb}$$

Il diagramma (v. fig. 327) dà una potenza minima di 4,8 kW, mentre il valore minimo della potenza in base al grafico della fig. 328 è di 5,2 kW (potenza effettiva 5,15 kW).

Qualora la polarità non fosse nota (*) (motore sprovvisto di avvolgimento e di targa) bisognerebbe, dopo avere calcolato il numero dei conduttori dell'avvolgimento statorico, determinare le induzioni nei vari tronchi del circuito magnetico od almeno nella corona dello statore. Se l'induzione della corona risultasse superiore al valore massimo ammesso (**) occorrerebbe ridurre il valore dell'induzione nel traferro, e conseguentemente la potenza, fino ad ottenere nella corona una induzione di valore accettabile. Per maggiori particolari rimandiamo al capitolo « *Calcolo degli avvolgimenti dei motori asincroni* ».

DIMENSIONAMENTO CORONA STATORE E CAVE STATORE E ROTORE

Per soddisfare numerose richieste che ci sono giunte, specialmente da parte di autodidatti, esporremo brevemente un criterio semplificato, ma che conduce sempre a risultati abbastanza buoni, per il dimensionamento degli altri elementi della parte magnetica dei motori asincroni e precisamente della corona statore e delle cave dello statore e del rotore.

Per il dimensionamento dell'albero consigliamo di attenersi alle dimensioni normalmente adottate dalle nostre migliori ditte per motori di pari potenza e velocità. Una indicazione di massima può dedursi altresì dalle tabelle XLI ÷ XLV e dagli esempi costruttivi di motori asincroni; nei lamierini del commercio, per potenze da 0,15 a 4-5 cav il foro per l'albero varia da 15 ÷ 40 mm.

Naturalmente bisogna tenere conto delle dimensioni commerciali dei cuscinetti; il diametro del foro dei cuscinetti a sfere e di quelli a rulli (v. tabelle UNI - N. 607) sono i seguenti: 10 - 12 - 15 - 17 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 mm e così via di 5 in 5 mm.

Per la migliore comprensione del procedimento da seguire, nel capitolo che segue riporteremo un esempio completo di dimensionamento di un motore asincrono trifase di piccola potenza.

(*) Per stabilire se il motore può essere riavvolto per la polarità richiesta possono servire, come primo orientamento, le tabelle da XLI ÷ XLV oppure gli « *Esempi costruttivi di motori asincroni* ».

(**) Naturalmente un valore troppo alto dell'induzione nella corona sta a significare che il motore era stato previsto per una polarità maggiore.

Cave statore

Per potere stabilire l'area occorrente per la cava dello statore occorre prima fissare il *numero delle cave per polo-fase q*, che di solito è compreso tra 2 e 5. Questa grandezza va scelta, come è noto, tenendo presente che un numero di cave per polo-fase piuttosto alto comporta una buona utilizzazione del materiale magnetico e consente di ottenere un buon fattore di potenza, per la diminuzione della reattanza, però il numero delle cave per polo-fase trova una limitazione nel fatto che all'aumentare di q si riduce la larghezza del dente che può risultare fragile, ossia non avere la dovuta consistenza meccanica, ma soprattutto nel fatto che il valore dell'induzione nei denti, con q alto, risulterebbe eccessiva.

La sezione della cava dello statore si ricava dalla relazione:

$$\text{sezione cava} = \frac{\text{sezione rame/cava}}{\text{coefficiente riempimento cava}}$$

Per determinare la sezione del rame per cava si calcola prima il *numero dei conduttori dell'avvolgimento* (v. « *Calcolo degli avvolgimenti dei motori asincroni* ») e quindi il *numero dei conduttori/cava*, poi la *sezione del conduttore* ed infine la *sezione rame/cava*, che è data, ovviamente, dal prodotto:

$$\text{sezione rame/cava} = \text{fili/cava} \times \text{sezione conduttore}$$

Per maggiori particolari rimandiamo al capitolo successivo, dove questa parte è trattata dettagliatamente, ed in modo particolare agli « *Esempi di calcolo di motori asincroni* ».

Nota l'area della sezione della cava se ne potrebbero fissare l'altezza e la larghezza media, sulla base di motori di pari potenza e velocità (v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* ») ed apportarvi poi qualche lieve ritocco se l'induzione nei denti o nella corona risultasse esagerata (maggiore di 1,8 - 1,9 Wb/m^2 per i denti e superiore ad 1,6-1,7 per la corona) oppure troppo bassa; in quest'ultimo caso si avrebbe una scarsa utilizzazione del materiale.

Noi consigliamo per cave di forma trapezoidale e denti di larghezza costante il seguente metodo semplificato. Dopo avere calcolato la sezione della cava si determina la larghezza del dente z_s in base al valore dell'induzione B_{ds}, che di solito si assume pari a 1,7 - 1,8 Wb/m^2, e precisamente:

$$S_{ds}=\frac{\Phi_{\delta e}}{B_{ds}}\ (m^2); \qquad z_s\ (*)=1{,}57\ \frac{2p\,.\,S_{ds}}{n_{cs}\,.\,L_a}\ (m)$$

oppure, più semplicemente:

$$z_s=\frac{B_\delta\,.\,L_g\,.\,\tau_{zs}}{L_a\,.\,B_{ds}}=\frac{B_\delta\,.\,\tau_{zs}}{Fs\,.\,B_{ds}}\ (m)$$

dove: $\Phi_{\delta e}$ = flusso effettivo nel traferro in Wb; S_{ds} = sezione denti statore in m^2; τ_{zs} = passo di dentatura in m; z_s = larghezza dente; n_{cs} = numero cave statore.

Per stabilire poi le dimensioni della cava si traccia, in iscala sufficientemente grande (normalmente 2:1), la circonferenza interna del lamierino statorico e si divide in n_{cs} parti equidistanti, e dopo avere tracciato altrettanti raggi, passanti per le divisioni suddette, si riporta la dimensione z_s a cavallo di tali raggi; si traccia quindi il taglietto della cava e tenendo presente che lo *spessore dei becchi o ponticello* si fa da 0,5 ÷ 1 mm sarà facile tracciare il raccordo con i fianchi della cava (il raggio del raccordo per piccole potenze si fa da 2,5 ÷ 4 mm). Infine in uno o due tentativi si riesce a determinare l'altezza della cava.

Si usa con una certa frequenza la soluzione con fondo cava concentrico alla circonferenza esterna del lamierino con raccordo ai fianchi della cava (raggio da 2 ÷ 3,5 mm), ma è pure molto in uso il tipo di cava con fondo semicircolare; in questo caso però l'altezza effettiva della corona si considera un po' maggiore del valore minimo (v. Capitolo XII).

(*) Per maggiori particolari rimandiamo al capitolo seguente: 1,57 = π/2 rappresenta l'inverso del coefficiente α.

Si tenga presente che nelle buone costruzioni la larghezza media della cava b_m è, di solito, compresa tra 0,6 e 0,8 del *passo di dentatura* τ_{zs} $\left(\tau_{zs}=\frac{\pi\,\varnothing_i}{p_{cs}}\right)$ e che il *rapporto tra l'altezza della cava* h_s e *la larghezza media* oscilla tra determinati limiti, come è indicato nella tabellina seguente:

Dimensioni cave statore

TABELLA XLIX

Numero cave - n_{cs} = ...	12 ÷ 30	36 ÷ 48	48 ÷ 60
Larghezza media cava - b_m = ...	(0,6 ÷ 0,8) τ_{zs}		
Altezza cava - h_s = ...	(2 ÷ 2,7) b_m	(2,3 ÷ 3) b_m	(2,5 ÷ 3,8) b_m
Larghezza taglietto cava - mm	1,5 ÷ 3,5		
Spessore becchi o altezza ponticello - mm	0,5 ÷ 1		

I suddetti valori possono riuscire utili come dati orientativi, ossia per un primo dimensionamento di massima.

Corona statore

L'altezza della corona dello statore h_{cs} si può determinare con lo stesso procedimento seguito per i denti dello statore e precisamente si prefissa il valore dell'induzione che si ritiene più idonea ed essendo noti sia la lunghezza attiva L_a del pacco lamiere, sia il valore effettivo del flusso $\Phi_{\delta e}$ si ha evidentemente:

$$h_{cs}=\frac{\Phi_{\delta e}}{2\,.\,L_a\,.\,B_{cs}}$$

I valori dell'induzione nella corona delle moderne costruzioni sono di solito compresi tra 1,3 e 1,6 Wb/m^2, ma oggi si tende ad aumentare tali valori (fino a 1,7 - 1,8 Wb/m^2), mentre nelle vecchie costruzioni i valori normali oscillano tra 1,2 e 1,4 Wb/m^2 (v. Capitolo XII « *Circuito magnetico ed induzioni massime* »).

Nota l'altezza della corona rimane fissato anche il diametro esterno del lamierino statorico e quindi si hanno tutti gli elementi per la preparazione degli stampi necessari per la tranciatura dei lamierini e per la punzonatura delle cave dello statore.

Infine ricordiamo che, a parità di diametro interno, l'altezza della corona diminuisce con l'aumentare del numero dei poli, all'incirca come è indicato nella tabella L. I dati di quessa tabella possono servire di orientamento per un dimensionamento di massima, per stabilire il numero dei poli di un motore sprovvisto dell'avvolgimento e della targa, ma soprattutto per eventuali controlli.

Altezza corona statore

TABELLA L

Numero poli	2	4	6	8
$\frac{\text{Altezza corona statore}}{\text{Diametro interno statore}} = \frac{h_{cs}}{\varnothing_i} =$	0,180 ÷ 0,320	0,120 ÷ 0,190	0,085 ÷ 0,130	0,075 ÷ 0,095

Il numero delle cave del rotore deve essere diverso da quello delle cave dello statore per evitare punti morti del rotore durante la fase di avviamento ed altri fenomeni secondari. Conviene adottare, per i motori a gabbia, numeri di cave appropriati in dipendenza del numero delle cave dello statore e del numero dei poli. Nella tabella LI sono indicati i valori che hanno dato buoni risultati pratici, ma si tenga presente che si usano altresì valori diversi da quelli riportati.

Cave rotore

Scelto il numero delle cave del rotore in base al numero dei poli, ossia alla velocità, ed al numero delle cave dello statore, si calcola la corrente per ogni sbarra e la relativa sezione (v. Cap. XII « *Calcolo dell'avvolgimento rotorico* »).

Tenendo conto che il taglietto delle cave del rotore si fa di solito da 0,5 ÷ 1 mm, l'altezza dei becchi da 0,5 ÷ 0,75 mm e che il rapporto tra altezza e larghezza della cava, nella maggior parte dei casi di gabbia in rame, si mantiene tra 2,6 e 4,5, con tendenza verso i valori più alti, riesce assai semplice tracciare le dimensioni

della cava del rotore. È buona norma prevedere, per facilità di montaggio, un piccolo gioco tra sbarra e pareti della cava.

Numero cave dei rotori trifasi (*)

TABELLA LI

Numero poli	2				4			6			8		
Numero cave dello statore	18	24	30	36	24	36	48	36	54	72	36	48	72
Numero cave del rotore	14 C.G.E. 16 22 M 23 M 24 26 28	16 18 20 C.G.E. 22 28 B B A 29 M 30 M A 31 32	22 24 37	22 24 28 B B 30 41 42 46	18 22 26 30 A M 31 32 C.G.E. 34	26 28 M 30 41 42 44 C.G.E. 46 B B M C.G.E. ASGEN	30 34 36 38 40 54 58 62	26 28 28 A 34 38 40 41 44 A C.G.E M 45 M 46 B B M	38 40 44 45 46 61 62 ASGEN (**) 64 68 70 72 M	50 52 56 58 62 63 82 86 92 94	44 M C.G.E 46 B B M	34 36 38 A 46 48 60	54 58 86 90 96

Consigliamo per disegnare razionalmente le cave di forma ovoidale (per gabbia in alluminio pressofuso) uno dei due metodi indicati nelle figg. 299 ÷ 305.

Naturalmente occorre poi controllare che l'induzione nei denti risulti soddisfacente, ossia nè troppo alta nè troppo bassa (v. tabella LXIV).

Fattore di potenza massimo

Il fattore di potenza di un motore assume il massimo valore quando il vettore della corrente nel diagramma circolare risulta tangente al cerchio.

(*) I numeri dispari danno luogo con maggiore facilità a vibrazioni rotoriche. Sono da preferire i numeri in neretto (v. G. Someda - « Costruzione delle macchine elettriche »).

Le sigle: M = Marelli; B.B. = Brown Boveri; C.G.E. = Compagnia Generale di Elettricità; A = Ansaldo - San Giorgio.

(**) La ASGEN adotta per l'8 poli: 54 cave per lo statore e 62 per il rotore.

Il valore massimo del fattore di potenza si può calcolare in sede di dimensionamento del motore con vari metodi, tutti più o meno approssimati a causa della incertezza nella valutazione di alcune grandezze; generalmente il calcolo del cos φ_{max} si basa sulla determinazione del *coefficiente di dispersione del flusso* σ_d (*), per la cui determinazione sono state proposte delle formule empiriche da Behn-Eschenburg, Behrend, Hobart, ecc. Noi abbiamo dato la preferenza al metodo di Behn-Eschenburg di cui riportiamo la formula del coefficiente di dispersione e quella del cos φ_{max}, senza addentrarci nell'argomento per non uscire dai limiti che ci siamo imposti, al solo scopo di conseguire una prima verifica, anche se piuttosto grossolana, sul dimensionamento della parte magnetica.

Le formule proposte da Behn-Eschenburg per il coefficiente di dispersione σ_d e per il cos φ_{max} sono:

$$\sigma_d = \frac{3}{x^2} + \frac{\delta}{y.x.\tau} + \frac{6.\delta}{L_a}$$

$$\cos \varphi_{max} = \frac{1}{2.\sigma_d + 1}$$

dove:

$$x = \frac{n_{cs}+n_{cr}}{2.2p} \; ; \qquad y = \frac{\text{taglietto cava statore} + \text{taglietto cava rotore}}{2} \text{ (cm)}$$

τ, δ ed L_a hanno i significati noti, ossia rispettivamente: passo polare, traferro e lunghezza assiale attiva del pacco statorico espressi in cm.

Per tenere conto del flusso disperso supplementare nelle testate degli avvolgimenti si suole maggiorare il valore di σ_d dal 10% al 15%.

(*) Il coefficiente di dispersione σ_d dipende dal flusso disperso nelle cave di statore, nel traferro, nelle cave di rotore, ecc.

CALCOLO DEGLI AVVOLGIMENTI DEI MOTORI ASINCRONI

Premesse

I riavvolgitori nel disfare un avvolgimento bruciato usano prendere nota di alcuni dati essenziali (tipo, tensione, frequenza, potenza, numero dei poli, numero delle cave, numero delle spire/matassa, diametro del conduttore, diametro e lunghezza del pacco lamiere, collegamento delle fasi), ma ne trascurano altri di notevole importanza (passo dell'avvolgimento, collegamento della fase, dimensioni delle cave, altezza della corona statorica). Anche coloro che hanno nel campo degli avvolgimenti dei motori asincroni una lunga pratica usano calcolare il numero dei conduttori dell'avvolgimento statorico con formule eccessivamente approssimate e la stragrande maggioranza non tiene conto nè del numero delle cave per polo-fase nè del valore del passo dell'avvolgimento.

In linea di massima i riavvolgitori non procedono quasi mai a verifiche, le quali si rendono necessarie anche nel caso di riavvolgimento con caratteristiche immutate, per premunirsi contro l'eventualità di ricadere negli stessi errori di chi ha effettuato il riavvolgimento precedente (non è raro il caso di macchine precedentemente riavvolte da gente poco scrupolosa o di scarsa capacità). Tutt'al più si limitano a riscontrare i dati, incompleti, rilevati in precedenza su macchine similari, ritenendo che a parità di potenza e di tipo di motore debba aversi, indipendentemente da altri fattori, l'eguaglianza del numero delle spire/matassa. Sovente poi procedono a modifiche del passo d'avvolgimento o del numero delle spire/matassa oppure del numero dei poli con una leggerezza imperdonabile.

Riteniamo pertanto che il migliore sistema per combattere questo dannoso empirismo consista, non in una trattazione approfondita dell'argomento, ma nell'inquadrare in forma semplice e chiara, accessibile a tutti, i problemi pratici che possono presentarsi al riavvolgitore ed indicare caso per caso il modo come risolverli, valendosi sì di formule semplificate, ma che uniscano alla speditezza di calcolo una sufficiente garanzia sulla attendibilità dei risultati.

Ci occuperemo pertanto dei problemi che si presentano più frequentemente al riavvolgitore, che sono i seguenti:

1) *riavvolgimento con caratteristiche immutate di un motore provvisto dell'avvolgimento bruciato;*

2) *riavvolgimento con cambio delle caratteristiche (cambio della tensione di alimentazione o della frequenza oppure di entrambe, modifica della velocità, cambio del passo d'avvolgimento);*

3) *riavvolgimento di un motore sprovvisto dell'avvolgimento statorico (calcolo dell'avvolgimento statorico);*

4) *riavvolgimento del rotore con caratteristiche immutate o con cambio delle caratteristiche (calcolo dell'avvolgimento rotorico).*

Infine per aderire come si è detto ai desideri di alcuni docenti ed autodidatti esporremo brevemente un metodo semplificato di calcolo per motori asincroni trifasi di piccola potenza con rotore a gabbia.

Prima di passare all'esame dei problemi suddetti è necessario illustrare brevemente le formule fondamentali di calcolo e le semplificazioni adottate.

Grandezze fondamentali di calcolo

Flusso ed induzione nel traferro. — Dalla espressione della *f e m*, noti tutti gli altri elementi, si ricava il valore del flusso Φ_δ nel traferro:

$$\Phi_\delta = \frac{E_f}{4 \cdot 1{,}11 \cdot K_a \cdot f \cdot N} \text{ (Wb)}$$

Si tenga presente però che la *f e m* E_f indotta a vuoto in ogni fase dello statore risulta leggermente inferiore alla tensione di fase V_f applicata; la differenza $\overline{V_f - E_f}$ rappresenta la caduta di tensione provocata prevalentemente dalla reattanza di dispersione della parte primaria. Questa caduta di tensione (che cresce con l'aumentare delle coppie polari) è sempre piccola; in linea di massima si può ritenere:

Numero poli	2	4	6	8	12	16
E/V	0,98	0,976	0,972	0,968	0,96	0,952

Quindi per una distribuzione sinusoidale del flusso si avrà:

$$\Phi_\delta = \frac{(0{,}952 \div 0{,}98)\, V_f}{4 \cdot 1{,}11 \cdot K_a \cdot f \cdot N} \text{ (Wb)}$$

Sovente però più che il valore del flusso interessa conoscere quello dell'induzione massima B_δ nel traferro che risulta:

$$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{\alpha \cdot \tau \cdot L_g} = \frac{\Phi_\delta}{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{\pi \varnothing_i}{2p} \cdot L_g} =$$

$$= \frac{\Phi_\delta}{\varnothing_i \cdot L_g} p = \frac{(0{,}952 \div 0{,}98)\, V_f \cdot p}{4{,}44 \cdot K_a \cdot f \cdot \varnothing_i \cdot L_g \cdot N} \text{ (Wb/m}^2\text{)}$$

dove: τ = passo polare; L_g = lunghezza geometrica del pacco lamiere in metri; $\varnothing_i$ = diametro interno dello statore in metri; K_a = fattore di avvolgimento; f = frequenza in p/s; N = numero spire in serie per fase; p = numero coppie polari; V_f = tensione applicata per fase in volt; α rappresenta un coefficiente che per campi sinusoidali è eguale a $2/\pi = 0{,}637$.

Si suol dire che $\alpha \cdot \tau$ sta ad indicare l'**arco polare ideale.**

Sostituendo al numero delle spire per fase dello statore il numero dei conduttori Z ($Z = 2N$) e conglobando i fattori numerici e la frequenza in un unico fattore C, l'espressione dell'induzione assume la forma:

$$B_\delta = \frac{V_f \cdot p}{C \cdot K_a \cdot \varnothing_i \cdot L_g \cdot Z} \text{ (Wb/m}^2\text{)}$$

È bene specificare subito che: *il valore dell'induzione nel traferro così calcolato rappresenta un valore apparente o fittizio, alquanto superiore a quello effettivo, tutte le volte che la curva di campo non è sinusoidale.* Ed oggi, nelle macchine moderne nelle quali il ferro è sovente notevolmente saturato, si ha l'appiattimento della curva di campo, il che comporta principalmente un aumento, spesso assai sensibile, del fattore α e conseguentemente del coefficiente C, come verrà specificato in seguito. Comunque, *questo valore apparente di B_δ è praticamente più utile di quello effettivo, specialmente per determinare il numero dei conduttori in serie per fase.* Il valore effettivo dell'induzione nel traferro $B_{\delta e}$ e quello negli altri tronchi del circuito magnetico occorrono in effetti solo per il calcolo della corrente a vuoto I_o, ossia per un controllo di massima.

Per la frequenza di 50 p/s e per curve di campo sinusoidali, si possono assumere, con sufficiente approssimazione, per il coefficiente C i seguenti valori:

Valore del coefficiente C

TABELLA LII

Numero poli	2	4	6	8	12	16
C =	113,5	114	114,5	115	116	117

L'induzione massima nel traferro risulterebbe costante per tutti i motori asincroni se fossero rispettate sempre alcune condizioni (*). In pratica però le condizioni esposte nella nota non si verificano mai, cosicchè l'induzione nel traferro varia, per quanto entro limiti non molto ampi, da motore a motore.

Da dati pratici, fornitici gentilmente dalla *E. Marelli* nel 1948, risulta che l'induzione massima effettiva nel traferro varia, per i motori costruiti in quell'epoca, come segue:

a) da 0,65÷0,55 Wb/m² nei motori a 2 poli con passo polare variabile da 18÷35 cm circa;

b) da 0,78÷0,68 Wb/m² nei motori a 4 poli con passo polare variabile da 10÷30 cm circa;

c) è all'incirca costante e eguale a 0,72 Wb/m² nei motori a 6 poli con passo polare da 7÷22 cm.

Nelle tabelle LIII, LIV e LV sono indicati i valori massimi dell'induzione del traferro in funzione del passo polare per motori

(*) L'induzione massima nel traferro di un motore asincrono è vincolata a due relazioni:

I. — funzione dell'induzione massima nei denti di statore e del rapporto fra larghezza della cava e passo di dentatura statorica;

II. — funzione dell'induzione massima nei denti di rotore, del rapporto fra larghezza della cava e passo di dentatura rotorica, del rapporto fra altezza di cava rotorica e diametro esterno di rotore.

Limitandoci per semplicità a considerare la prima relazione, fissato il valore massimo dell'induzione nei denti di statore e stabilito un rapporto costante fra larghezza della cava di statore e passo di dentatura di statore, l'induzione nel traferro risulterebbe costante per tutti i motori.

Risulta in pratica, e si può fissare come regola generale, che l'induzione nel traferro a parità d'induzione nei denti e di rapporto fra larghezza cava e passo di dentatura rotorica aumenta con l'aumentare delle coppie polari.

Induzioni massime nel traferro dei motori a 2 poli

TABELLA LIII

Passo polare: cm		6÷8	10	14	18	20	22	24	26	28	30	32	35
Induzione massima nel traferro (1) Wb/m²	Marelli	0,67	0,66	0,655	0,65	0,645	0,64	0,63	0,62	0,61	0,595	0,58	0,55
	C. G. E. Pellizzari	0,64	0,63	0,625	0,62	0,615	0,61	0,605	0,6	0,59	0,58	0,57	0,55
	Brown Boveri	0,63	0,62	0,615	0,61	0,605	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55	0,53

(1) Questi valori possono aumentarsi dal 15 al 20% per le nuove costruzioni.

Induzioni massime nel traferro dei motori a 4 poli (*)

TABELLA LIV

Passo polare: cm		6÷8	10	14	18	22	24	26	28	30
Induzione massima nel traferro Wb/m²	Marelli	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,72	0,70	0,68
	C. G. E. Pellizzari	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,7	0,68	0,66	0,64
	Brown Boveri	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66	0,64	0,62

Induzioni massime nel traferro dei motori da 6÷12 poli (*)

TABELLA LV

Passo polare: cm		6 ÷ 10	12 ÷ 18	20 ÷ 22
Induzione massima nel traferro Wb/m²	Marelli	0,73	0,72	0,71
	C. G. E. Pellizzari	0,71	0,70	0,69
	Brown Boveri	0,69	0,68	0,67

(*) Per le costruzioni più recenti i valori dell'induzione nel traferro indicati nelle tabelle possono essere maggiorati sensibilmente (in media circa il 10%).

costruiti dal 1946 al 1954-55 circa, mentre nelle costruzioni più recenti i limiti delle tabelle vengono spesso superati. Dai dati inviatici nel 1959 da alcune nostre grandi ditte (v. v *Esempi costruttivi di motori asincroni* ») abbiamo rilevato i valori dell'induzione apparente nel traferro riportati nella tabellina LVI e dai dati del 1962 quelli della tabella LVII. In quest'ultima tabella abbiamo riportato anche i valori della induzione nella corona e nei denti dello statore.

Induzioni nel traferro nei motori asincroni trifasi

TABELLA LVI

Numero poli		2	4	6	8
Induzione B_δ in Wb/m²	Brown Boveri ($P_n = 2{,}2$ kW)	0,62	0,78	0,675	0,72
	C. G. E. ($P_n = 2{,}2$ kW)	0,715	0,805	0,69	—
	Marelli ($P_n = 3{,}7$ kW)	0,815	0,905	0,885	0,785

L'induzione nella corona e nei denti è stata calcolata in base alla induzione apparente nel traferro B_δ (*), ma i valori della induzione nei denti stanno a significare, con qualche eccezione, che si ha una saturazione abbastanza sensibile nel ferro e che pertanto la curva di campo non sarà sinusoidale. Infatti si suol ritenere che si raggiunga la saturazione del ferro per un valore dell'induzione di circa 1,75 Wb/m². L'effetto più sostanziale, nel caso in esame, della saturazione del ferro consiste nel fatto che il flusso anzi che passare tutto attraverso i denti passa anche, sebbene in misura ridotta, attraverso le cave. Si può ritenere con sufficiente approssimazione che il flusso corrispondente all'induzione di 1,75 Wb/m² passi esclusivamente attraverso i denti, mentre la parte eccedente si ripartisce uniformemente tra cave e denti. Il metodo semplificato suesposto è pienamente accettabile se si pensa che anche seguendo metodi ben più rigorosi, e spesso molto laboriosi, si perviene a risultati poco diversi da quelli che si ottengono con tale metodo. Ed è per questa ragione che in seguito adotteremo questo criterio tutte le volte che l'induzione nei denti supererà il valore di 1,75 - 1,8 Wb/m². Comunque per maggiori particolari rimandiamo agli « esempi di calcolo ».

(*) Nei denti però si è tenuto conto, grosso modo, della saturazione.

Induzioni apparenti nei motori asincroni trifasi delle principali ditte italiane

TABELLA LVII

Ditta costrutt.	NUMERO POLI	2	4	6	8
Ansaldo-San Giorgio	Potenza - kW	2,6	1,85	1,1	0,55
	Induzione traferro B_δ - Wb/m²	0,83	0,88	0,87	0,76
	» corona statore B_{cs} »	1,52	1,59	1,42	1,22
	» denti statore B_{ds} »	1,89	1,9	1,84	1,52
Brown Boveri	Potenza - kW	4,4	4,4	4,4	4,4
	Induzione traferro B_δ - Wb/m²	0,72	0,68	0,75	0,73
	» corona statore B_{cs} »	1,94	1,59	1,68	1,30
	» denti statore B_{ds} »	1,62	1,63	1,66	1,76
C. G. E.	Potenza - kW	0,736	0,736	0,736	0,736
	Induzione traferro B_δ - Wb/m²	0,79	0,77	0,76	0,77
	» corona statore B_{cs} »	1,66	1,51	0,92	1,08
	» denti statore B_{ds} »	1,8	1,7	1,59	1,58
Marelli	Potenza - kW	2,35	2,2	2,2	2,65
	Induzione traferro B_δ - Wb/m²	0,77	0,89	0,92	0,95
	» corona statore B_{cs} »	1,68	1,64	1,69	1,35
	» denti statore B_{ds} »	1,66	1,73	1,73	1,81
Marelli	Potenza - kW	4,1	2,94	1,84	1,32
	Induzione traferro B_δ - Wb/m²	0,83	0,90	0,94	0,97
	» corona statore B_{cs} »	1,94	1,72	1,67	1,28
	» denti statore B_{ds} »	1,89	1,86	1,89	1,89

Le induzioni riportate nella tabella debbono considerarsi come valori di massima, specialmente quelle nei denti dello statore, data l'impossibilità, con i dati in nostro possesso, di determinare lo spessore del dente con assoluta precisione.

Dopo quanto si è detto si può senz'altro affermare che i valori effettivi delle induzioni nella corona saranno, nella maggior parte dei casi, sicuramente inferiori ai valori della tabella, e che anche quelli nei denti possono differire, sia pure di poco, da essi.

Comunque la tabella ci consente di trarre una prima importante conclusione e precisamente: *nelle costruzioni più recenti si ha senz'altro un aumento sensibile nei valori delle induzioni nei vari tronchi del circuito magnetico* (*); *questo aumento, e conseguentemente l'aumento della potenza per kg di materiale attivo, si deve, in linea di massima, al limite di sovraelevazione di temperatura consentita dalle Norme per i motori isolati in classe E*, isolamento oggi di uso generale.

Infine è bene mettere in evidenza che i valori delle induzioni nel traferro alle diverse polarità tendono ad uniformarsi. Naturalmente gli incrementi maggiori si sono avuti nei motori a 2 poli.

Conduttori/fase. — Dall'espressione dell'induzione segue:

$$Z = \frac{V_f \cdot p}{C \cdot K_a \cdot \varnothing_t \cdot L_g \cdot B_\delta}$$

dove **Z** rappresenta sempre il **numero dei conduttori in serie per fase.**

Nel caso di collegamento parallelo o serie-parallelo, per avere il numero totale dei conduttori di ciascuna fase bisogna moltiplicare il valore di Z per il numero dei paralleli; per il collegamento a doppia stella evidentemente si moltiplica per 2.

Quindi i valori dell'induzione servono sia per la verifica (riavvolgimento con caratteristiche immutate), sia per il calcolo del numero dei conduttori in serie per fase (riavvolgimento di un motore sprovvisto dell'avvolgimento statorico).

Per il calcolo del numero dei conduttori per fase dei motori costruiti fino al 1955-56 consigliamo i valori delle induzioni delle tabelle LIII, LIV e LV, mentre per i motori di recentissima costruzione, le induzioni apparenti nel traferro sono comprese quasi sempre entro i limiti indicati nella tabella LVIII e pertanto conviene attenersi ed essi per il dimensionamento di motori. Si tratta di valori di primo orientamento dedotti dalle nuove costruzioni di varie ditte italiane. Si è voluto espressamente specificare che si tratta di *valori minimi e massimi* per evitare ai meno esperti di

(*) Gli aumenti maggiori dei valori dell'induzione si hanno nella corona dello statore.

scendere al disotto dei minimi, perchè ciò comporterebbe una scarsa utilizzazione del materiale, e di superare i massimi, perchè si potrebbero poi avere riscaldamenti eccessivi ed inconvenienti vari. È vero che il notevole divario tra i due valori può lasciare perplessi sul valore più idoneo, ma l'indeterminatezza si riduce notevolmente conoscendo il tipo di materiale impiegato, il tipo di servizio a cui la macchina è destinata, ecc. Infatti, come è noto, il valore della

Valori normali delle induzioni apparenti nel traferro dei moderni motori asincroni trifasi

TABELLA LVIII

Numero poli	2		4		6		8	
Induzione minima e massima nel traferro in Wb/m²	0,70	0,83	0,75	0,94	0,74	0,92	0,74	0,92

Per i motori monofasi con condensatore di avviamento si adottano di norma per il traferro induzioni da 0,65÷0,75 Wb/m².

induzione, oltrechè dal tipo di lamierino, dipende dal tipo di servizio (continuo, di durata limitata, intermittente) e dal tipo di chiusura della macchina, dal sistema di raffreddamento ed anche dalle possibilità di sovraccarico in esercizio. In una macchina prevista per servizio intermittente o di durata limitata si riscontrano talora valori dell'induzione nel traferro ed anche densità di corrente negli avvolgimenti tanto elevati da far pensare ad un errato dimensionamento. In conclusione, l'indeterminatezza in questo caso ha lo scopo li lasciare maggiore elasticità di scelta, tutte le volte che si è costretti ad apportare determinate modifiche ad una macchina da riavvolgere.

Coefficiente di riempimento cava. — Per il coefficiente di riempimento cava delle macchine asincrone vale quanto è stato detto al riguardo per le macchine a corrente continua (v. pag. 284).

Il coefficiente di riempimento cava degli avvolgimenti statorici a doppio strato è un po' minore di quello degli avvolgimenti a strato unico, poichè tra i due strati va inserito un diaframma oppure l'isolamento delle matasse va previsto per la tensione totale, dato che negli avvolgimenti a passo raccorciato i due fasci di ogni cava appartengono di solito a fasi diverse.

Riportiamo nella tabella LIX i valori del coefficiente di riempimento cava degli avvolgimenti statorici e rotorici per tensioni fino a 500 V. Negli avvolgimenti in filo tondo, fino a 30/10, i valori più alti del coefficiente di riempimento cava si realizzano con fili smaltati ed i più bassi con quelli rivestiti con doppia spirale di cotone; per fili smaltati rivestiti con 1 spirale di cotone il coefficiente di riempimento assume valori medi tra quelli limite riportati nella tabella. Impiegando i nuovi materiali per isolamento cave si possono ottenere coefficienti di riempimento un po' più alti, ma al riguardo influisce pure l'abilità del riavvolgitore. Col nuovo sistema ideato dalla ditta americana Minesota si può avere un ulteriore aumento dei coefficienti di riempimento cava; si tratta di una speciale vernice ad elevato potere isolante ed adesivo (solo con utensili appuntiti si riesce a staccare o scalfire) che ricopre le cave, le due fronti del pacco lamiere e, per i rotori, la parte dell'albero su cui poggia l'avvolgimento.

Coefficienti di riempimento cava

TABELLA LIX

Tensione	Tipo di avvolgimento	Diametro del conduttore mm	Coefficiente di riempimento
fino a 500 volt	a matasse in filo tondo	0,5	0,28 ÷ 0,36
		0,8	0,30 ÷ 0,39
		1,0	0,32 ÷ 0,40
		1,5	0,34 ÷ 0,42
		2,0	0,36 ÷ 0,44
		3,0	0,39 ÷ 0,47
		4,0	0,42 ÷ 0,48
		5,0	0,46 ÷ 0,52
	a sbarra isolate	—	0,60 ÷ 0,65
	a sbarre nude (rotore a gabbia)	—	0,90 ÷ 095

Negli avvolgimenti a doppio strato la riduzione del coefficiente di riempimento cava è piccola con l'adozione di un separatore tra gli strati, mentre risulta sensibile rinforzando l'isolamento delle matasse perchè si riducono tanto l'altezza che la lunghezza utile della cava. Comunque si tenga presente che, eseguendo razionalmente il montaggio delle matasse, è possibile con fili isolati con smalto sintetico all'acetale di vinile migliorare i valori massimi del coefficiente di riempimento cava di circa il 5% e con isolamento cave speciale anche del 10-12%.

Scorrimenti in %. — Nelle buone costruzioni lo scorrimento a pieno carico assume i seguenti valori medi:

Scorrimenti in %

TABELLA LX

Potenza in kW	0,5	1	5	10	25	50
Scorrimento %	7 ÷ 10	6 ÷ 8	4 ÷ 5	3,5 ÷ 4,5	2,5 ÷ 4	2,5 ÷ 3,5

Rendimento e fattore di potenza. — I valori di η e del $\cos\varphi$ variano con la potenza e con il numero dei poli del motore. Nelle tabelle LXI e LXII sono indicati i valori del rendimento e del fattore di potenza dei motori asincroni trifasi con motore a gabbia, per funzionamento a pieno carico e per tensioni fino a 500 volt, di due grossi complessi industriali. Al fine di dare una idea più concreta dell'orientamento delle grandi ditte nella progettazione dei motori asincroni, abbiamo riportato nelle tabelle LXI e LXII anche il peso, le dimensioni d'ingombro e le caratteristiche di avviamento (rapporto tra coppia di avviamento e coppia nominale, rapporto tra corrente assorbita all'avviamento e corrente nominale e rapporto tra coppia massima e coppia nominale, ossia la capacità di sovraccarico del motore) fornitici alla fine del 1968 dalla ASGEN e nel 1972 dalla Brown Boveri. Questi dati valgono anche a mettere in chiara evidenza che il solo rendimento o il solo fattore di potenza — a parità di potenza, di tensione di alimentazione e di numero di poli — non sono sufficienti per utili raffronti.

Nelle figg. 330 e 331 sono indicati i valori di η e di $\cos\varphi$ per i motori monofasi ad induzione di piccola potenza.

Infine, dato che molte case costruttrici usano indicare la potenza dei motori in cav, abbiamo ritenuto opportuno includere ancora le tabelle LXIII e LXIV per la conversione dei cav in kW e viceversa.

(*) Di solito i motori con rotore avvolto ed anelli di avviamento di potenza superiore a 20 kW hanno un $\cos\varphi$ un po' più basso di quello indicato nelle tabelle LXI e LXII, ossia di quello dei motori con rotore in cortocircuito di pari potenza.

Caratteristiche a carico nominale e di avviamento, peso e dimensioni d'ingombro dei motori asincroni trifasi con rotore a gabbia normale fino a 500 V (Serie PM della ASGEN)

Serie unificata UNEL/MEC-IEC - Tensione (costruzione chiusa con ventilazione esterna - servizio continuo)

TABELLA LXI

	Grandezza MEC	Potenza cav	Potenza kW	Caratteristiche a carico nominale: Velocità giri/min	Fattore di potenza cos φ	Rendimento %	Corrente a 380 V A	Caratteristiche di avviamento: C_a/C_n	I_a/I_n	C_{max}/C_n	Peso circa kg	Dimensioni d'ingombro: Lunghezza mm	Larghezza massima mm	Altezza mm
Carcassa in alluminio e scudi in ghisa	63	0,25	0,184	2785 1355	0,73 0,68	65 66	0,58 0,63	2,2 2,1	4 3,5	3 2,4	5 5,5	218	178	133
	71	0,5	0,368	2800 1370	0,77 0,69	70 69	1,05 1,18	2,3 2,5	4,2 3,8	2,5 2,7	6,5 7	251	190	143
	80			905 695	0,65 0,57	64 65	1,3 1,5	2,1 1,8	3,4 3,2	2,4 2,3	9 14	280	206	160
	80	1,0	0,736	2815 1390	0,82 0,70	76 72	1,8 2,2	1,4 2,5	4,5 4,0	2,4 2,7	9 10,5	280	206	160
	90 S 100 L			915 695	0,67 0,69	74 71	2,3 2,3	2,0 1,8	3,7 4,0	2,5 2,2	13,5 20	305 376	233 261	181 205
	90 L 100 L	3	2,208	2840 1400	0,82 0,80	81 81	5,0 5,1	2,8 2,6	5,8 6,0	2,8 2,8	16,5 23	330 376	233 261	181 205
	112 M 132 S			950 700	0,78 0,75	78 76	5,5 5,8	2,5 1,9	5,0 4,5	2,8 2,2	37 58	396 458	300 337	262 307
	132 S	7,5	5,520	2870 1440	0,87 0,84	82 86	11,7 11,5	2,6 2,5	6,3 6,5	2,8 2,8	54 60	458	337	307
	132 M 160 M			960 710	0,77 0,77	81 85	13,5 12,5	2,7 2,0	6,3 5,0	2,0 2,4	70 121	496 650	337 432	307 372
Carcassa e scudi in ghisa	132 S 132 M	10	7,36	2880 1450	0,87 0,84	84 87	15,5 15,5	2,8 2,6	6,7 6,7	3,0 3,0	60 70	458 496	337 337	307 307
	160 M 160 L			960 720	0,80 0,77	88 87	16,0 17,0	2,5 2,1	5,8 5,5	2,8 2,5	115 140	650 650	432 432	372 372
	160 M	15	11,04	2890 1450	0,85 0,79	86 88	22,8 24,0	2,5 2,5	6,2 6,8	2,8 3,0	110 120	650	432	372
	160 L 180 L			965 730	0,80 0,77	89 87	23,0 25,0	2,7 2,2	6,5 5,5	3,0 2,6	140 185	650 830	432 470	372 418
	160 L 180 M	25	18,4	2900 1460	0,87 0,80	88 90	36,5 38,0	2,8 2,8	8,5 7,5	3,0 3,0	137 175	650 830	432 470	372 418
	200 L 225 S			970 735	0,82 0,80	91 90	37,0 39,0	2,5 2,0	6,3 5,5	2,8 2,6	215 325	888 850	540 600	462 510
	200 L 225 S	50	36,8	2930 1465	0,88 0,88	90 92	71 68	2,7 1,8	8,5 6,2	3,0 2,8	25 340	888 850	540 600	462 510
	250 M 280 S			975 735	0,86 0,82	92 92	71 74	2,0 2,0	6,7 6,7	2,8 2,5	450 610	910 1050	660 745	570 645
	280 S 280 S	100	73,6	2940 1470	0,91 0,90	90 92	139 137	2,3 1,7	7,7 6,7	2,9 2,7	590 640	1050	745	645
	315 S 315 M			980 735	0,88 0,82	93 92	140 150	1,7 2,0	6,3 6,8	2,6 2,8	845 880	1150 1150	815 815	714 714

C_a = coppia di avviamento; C_{max} = coppia massima; C_n = coppia nominale; I_a = corrente all'avviamento; I_n = corrente nominale di pieno carico.
Le dimensioni l'ingombro si riferiscono alla forma costruttiva B3 (compresi anello di sollevamento morsettiera e sporgenza d'albero).

Caratteristiche a carico nominale e di avviamento, peso e dimensioni d'ingombro dei motori asincroni trifasi con rotore in cortocircuito Serie unificata UNEL-MEC - Tensione massima 550 V (Serie QV della Brown Boveri)

(esecuzione chiusa ventilata esternamente - servizio continuo)

TABELLA LXII

Grandezza MEC	Potenza		Caratteristiche a carico nominale				Caratteristiche di avviamento				Peso circa kg	Dimensioni d'ingombro		
	cav	kW	velocità giri/min	fattore di potenza cos φ	Rendimento %	Coppia massima %	Coppia di spunto %		Corrente di spunto %			Lunghezza mm	Lunghezza massima mm	Altezza mm
							diretto	Y/Δ	diretto	Y/Δ				
80 2a 80 4b	1,0	0,736	2830 1410	0,88 0,75	75 74	230 230	200 200	55 60	500 400	150 120	15 15	284	191	159
90 S6a 100 L8			930 690	0,73 0,65	68 65	210 190	190 170	55 60	400 350	130 120	21 30	316 387	238 258	178 198
90 L2 100 L4	3,0	2,2	2850 1430	0,90 0,82	83 81	250 250	220 210	65 60	550 520	170 160	25 31	341 387	238 258	178 198
112 M6 132 S8			945 705	0,76 0,74	77 75	250 190	230 160	65 60	520 400	160 135	43 61	407 477	279 319	221 261
132 S2t 132 S4	7,5	5,5	2880 1445	0,90 0,86	86 86	260 275	230 220	70 65	680 600	200 180	56 61	477	319	261
132 M6a 160 M8b			960 710	0,78 0,77	83 84	300 220	220 160	60 40	580 500	160 150	75 126	515 604	319 409	261 323
132 S2 132 M4	10	7,36	2900 1450	0,91 0,86	87 87	300 300	250 250	75 70	680 650	200 200	62 72	477 515	319 319	261 261
160 M6b 160 L8b			960 710	0,83 0,78	85 85	300 240	180 170	45 60	550 500	160 170	126 143	604 648	409 409	323 323
160 M2a 160 M4	15	11	2900 1450	0,92 0,84	88 88	300 300	200 190	60 50	650 600	210 170	119 119	604	409	323
160 L6c 180 L8d			960 710	0,84 0,80	87 86	300 270	190 250	50 80	650 550	200 180	147 203	648 698,5	409 473	323 365
160 L2b 180 M4	25	18,4	2900 1450	0,93 0,84	89 89	300 300	230 200	70 55	700 650	250 200	151 171	648 660,5	409 473	323 365
200 L6b 225 S8b			970 715	0,86 0,82	90 89	300 270	200 250	55 70	600 600	170 190	248 336	745,5 804,5	516,5 578,5	414 465
200 L2b 225 S4	50	36,8	2940 1465	0,92 0,87	91 92	350 300	220 220	65 55	700 600	250 170	254 299	745,5 804,5	516,9 578,5	414 465
250 M6 280 S8			975 735	0,86 0,82	91,5 91,5	280 240	190 180	50 55	580 550	180 180	395 500	914 1024,5	629 680	516 570
280 S2b 280 S4	100	73,6	2950 1475	0,92 0,86	91 94	300 330	190 200	60 50	650 600	210 170	600 535	973,5	680	570
315 S6A 315 M8B			985 735	0,87 0,85	93 93	270 250	180 180	45 45	650 650	190 190	795 940	1099,5 1150,5	746 746	635 635

Nelle dimensioni d'ingombro non è compreso l'anello di sollevamento.

Fattore di potenza e rendimento dei motori asincroni monofasi

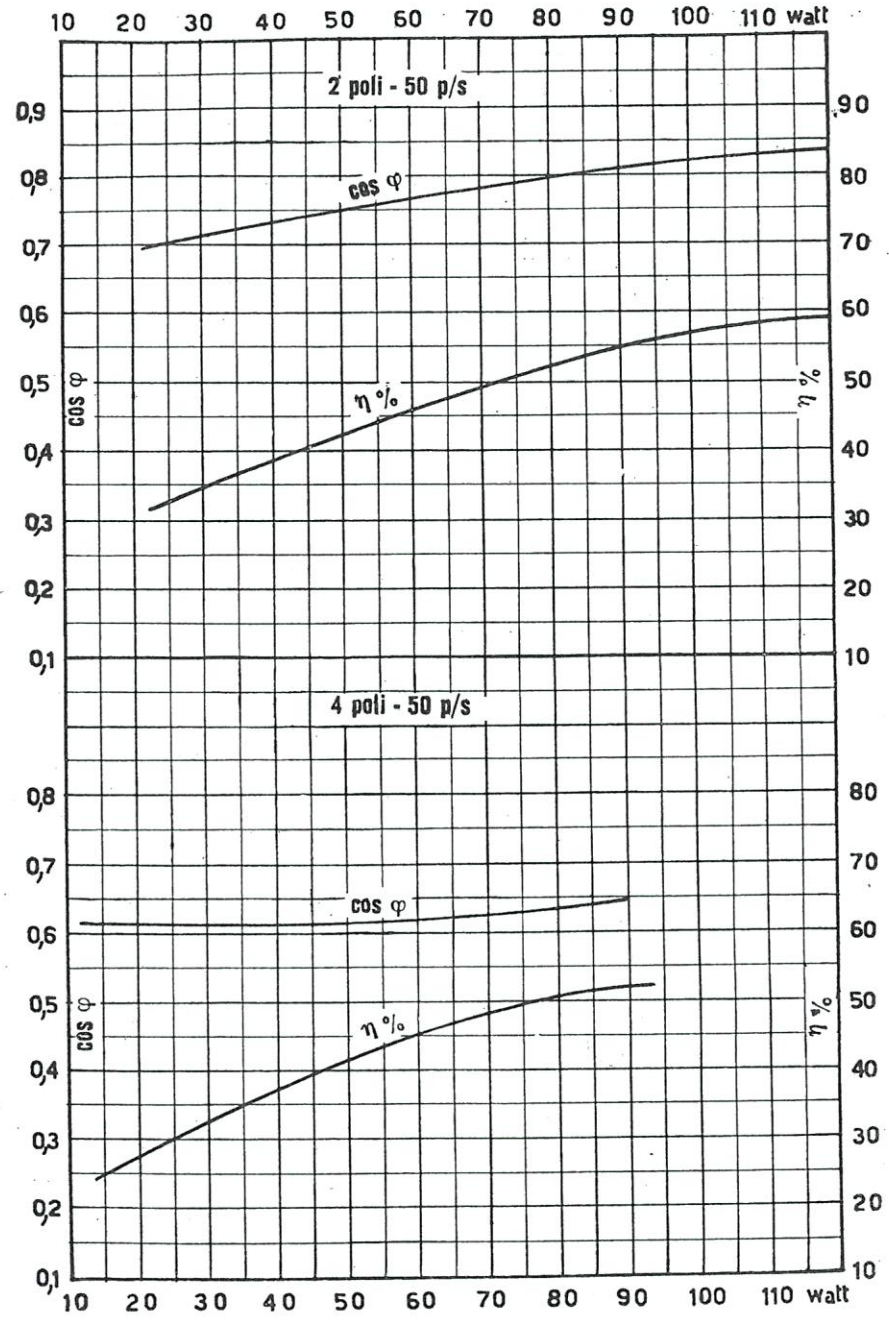


Fig. 330

Fattore di potenza e rendimento dei motori asincroni monofasi

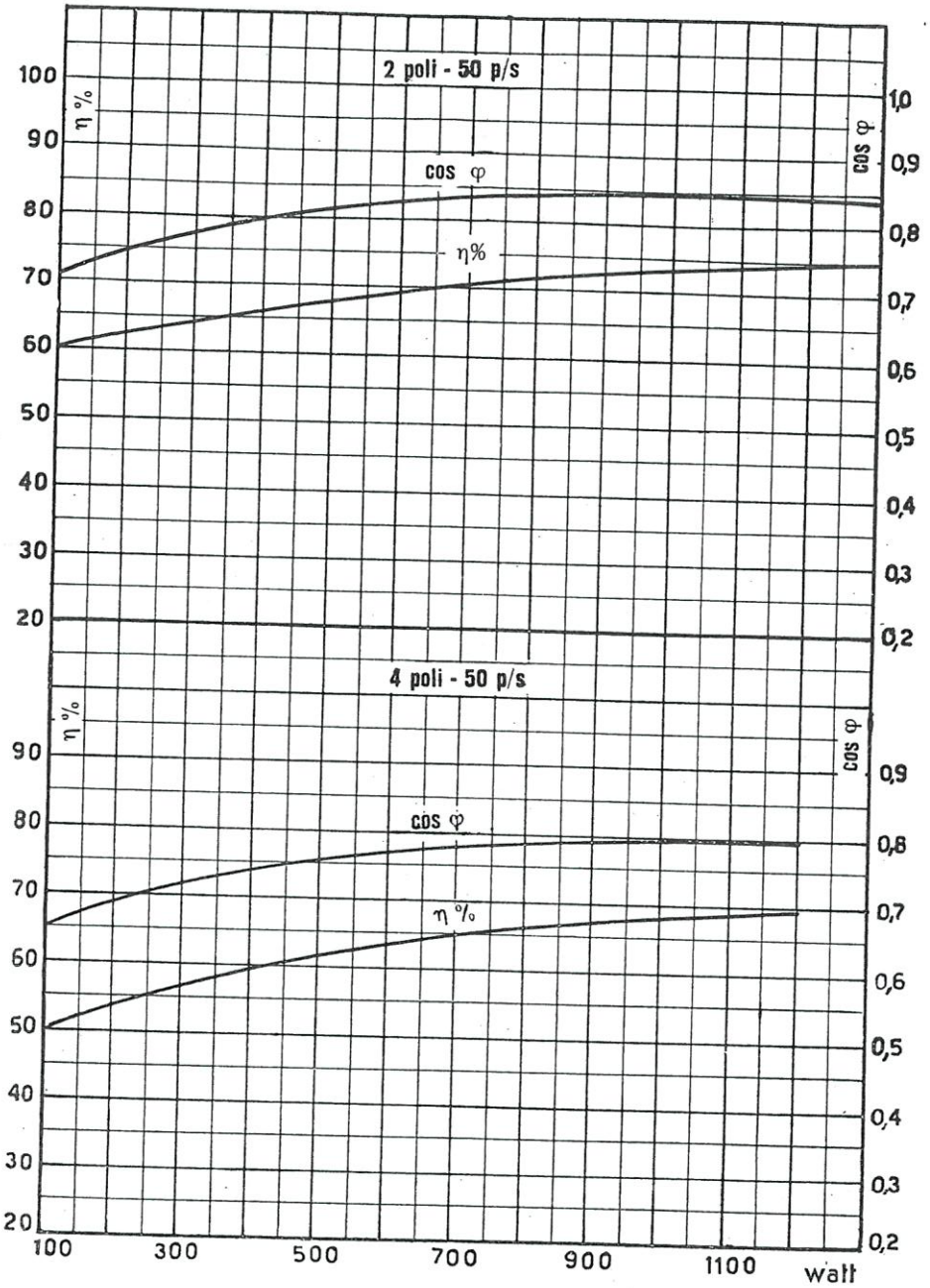


Fig. 331

Conversione dei cav in kW

TABELLA LXIII

cav	kW	cav	kW	cav	kW	cav	kW
0,25	0,184	4	2,944	9	6,624	17	12,512
0,5	0,368	4,5	3,312	9,5	6,992	18	13,248
0,75	0,552	5	3,68	10	7,360	19	13,984
1	0,736	5,5	4,043	11	8,096	20	14,720
1,25	0,920	6	4,416	12	8,832	21	15,156
1,5	1,104	6,5	4,784	13	9,568	22	16,192
2	1,472	7	5,152	14	10,304	23	16,928
2,5	1,840	7,5	5,520	15	11,040	24	17,664
3	2,208	8	5,888	16	11,776	25	18,390
3,5	2,576	8,5	6,256				

Conversione dei kW in cav

TABELLA LXIV

kW	cav	kW	cav	kW	cav	kW	cav
0,25	0,34	4	5,43	9	12,23	17	23,10
0,50	0,68	4,5	6,11	9,5	12,91	18	24,46
0,75	1,02	5	6,79	10	13,59	19	25,82
1	1,36	5,5	7,47	11	14,95	20	27,18
1,25	1,70	6	8,15	12	16,30	21	28,54
1,5	2,04	6,5	8,83	13	17,66	22	29,89
2	2,71	7	9,51	14	19,02	23	31,25
2,5	3,40	7,5	10,19	15	20,38	24	32,61
3	4,07	8	10,87	16	21,74	25	33,97
3,5	4,75	8,5	11,55				

Circuito magnetico ed induzioni massime

Il circuito magnetico delle macchine asincrone risulta costituito da 5 parti come quello delle macchine a corrente continua; pertanto s'intendono richiamate le stesse considerazioni esposte nelle generalità del « *Calcolo delle amperspire di eccitazione* ».

Le 5 parti costituenti il circuito magnetico sono:

1) *Corona rotore*
2) *Denti rotore*

} in lamierini normali o semilegati

3) *Traferro*

4) *Denti statore*
5) *Corona statore*

} in lamierini legati o semilegati

Il circuito magnetico si riferisce sempre ad un solo polo, cioè a metà del circuito magnetico completo, come è indicato nella fig. 332.

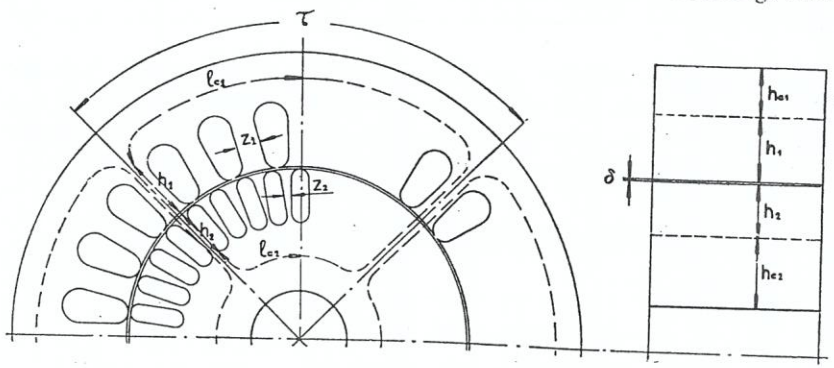


Fig. 332

Le induzioni adottate dai costruttori per le varie parti del circuito magnetico sono di norma comprese entro i limiti indicati nella tabella LXV, ma oggi, specialmente nei motori a 2 velocità, si superano spesso anche i valori massimi della tabella.

A titolo informativo riportiamo nella tabellina LXVI le induzioni per motori di piccola potenza (fino a 10 cav) adottate di norma dalla C.G.E. e nella tabellina LX quelle dell'Ansaldo-San Giorgio, segnalateci gentilmente a nostra richiesta nel 1966. Per le costruzioni più recenti vedansi gli « *Esempi costruttivi di motori asincroni* » dal n. 95 al n. 102 i cui dati ci sono stati forniti integralmente dalla Marelli e dall'ASGEN nel 1972.

Nelle macchine di piccola potenza, specialmente in quelle a 2, 4 e 6 poli, il pacco lamiere va montato direttamente sull'albero; ne deriva che il valore dell'induzione nella corona del rotore risulta, in

Induzioni ammesse nei motori asincroni

TABELLA LXV

Parte del circuito magnetico		Induzioni in Wb/m²
Corona statore		1,4 ÷ 1,8 (*)
Denti statore (**)	nel punto più stretto	1,5 ÷ 2,2
	a metà dente	1,3 ÷ 1,7
Denti statore di larghezza costante		1,6 ÷ 1,9
Denti rotore	alla base	1,6 ÷ 2,2
	a metà dente	1,4 ÷ 1,8
Denti rotore di larghezza costante		1,4 ÷ 1,85
Corona rotore		1,1 ÷ 1,5

tal caso, sempre inferiore al valore minimo indicato nella tabella LXV. Per il calcolo dell'induzione nei denti e nella corona del rotore si considera lo stesso flusso Φ_δ del traferro, mentre per i denti e la corona dello statore l'induzione va calcolata in base al flusso

Induzioni nei motori asincroni della C.G.E.

TABELLA LXVI

Parte del circuito magnetico	Induzioni in Wb/m²
Corona di statore	1,6 ÷ 1,8
Denti di statore	1,3 ÷ 1,4
Traferro non ridotto	0,6 ÷ 0,7
Denti di rotore	1,4 ÷ 1,5
Corona di rotore	1,4

(*) Nelle nuovissime costruzioni abbiamo riscontrato spesso valori dell'induzione nella corona compresi tra 1,6 e 1,7 Wb/m², con punte al di là di 1,9 Wb/m².

(**) Per statori con cave semichiuse il valore della induzione va calcolato, anzichè alla testa, nel punto più stretto del dente oppure a metà distanza tra il punto più stretto e la base del dente.

Φ_δ maggiorato del flusso di dispersione. In pratica si considera per lo statore un flusso:

$$\Phi_{cs} = (1+c)\,\Phi_\delta \text{ - per la corona}$$

$$\Phi_{ds} = \left(1+\frac{1}{3}c\right)\Phi_\delta \text{ - per la testa del dente o nel punto più stretto.}$$

c ha i seguenti valori:

0,021 - per motori a 2 e 4 poli;
0,027 - per motori a 6 poli;
0,030 - per motori a 8 poli.

Induzioni effettive nei motori asincroni dell'Ansaldo-San Giorgio in funzione del numero dei poli

TABELLA LXVII

Parte del circuito magnetico		Induzioni in Wb/m²			
		2	4	6	8
Traferro		0,73	0,74	0,75	0,76
Denti	statore	1,74	1,74	1,74	1,74
	rotore	1,85	1,85	1,85	1,85
Corona	statore	1,55	1,50	1,45	1,45
	rotore	1,3	0,75	0,65	0,5

Dalla lettera inviataci a suo tempo dall'Ansaldo-San Giorgio abbiamo avuto anche la conferma che: « attualmente la tendenza di molti costruttori europei è quella di ridurre i valori della induzione nei denti del rotore.

Di norma nelle nuove costruzioni lo spessore del dente è costante e di conseguenza anche l'induzione è praticamente costante. L'altezza della corona dello statore è talvolta, in queste costruzioni, prevista in modo da ottenere un'induzione eguale a quella nel dente.

Nei motori di piccola potenza con rotore a gabbia di alluminio pressofuso anche la larghezza del dente del rotore è normalmente costante.

Riavvolgimento di un motore con caratteristiche immutate

Se l'avvolgimento deteriorato è quello originario, cioè applicato dalla ditta costruttrice, non occorre alcuna verifica, quando

invece si presume che il motore sia stato riavvolto si rendono opportune alcune verifiche.

Se il numero delle coppie polari dell'avvolgimento è quello corrispondente alla velocità indicata sulla targa (*) è sufficiente determinare, in base ai dati dedotti sulla macchina da riavvolgere, il valore della induzione nel traferro; se il valore così determinato risulta eguale o minore di quello adottato normalmente dalla ditta costruttrice si può con tutta tranquillità rifare l'avvolgimento con lo stesso numero di conduttori e lo stesso passo d'avvolgimento. Nel caso invece che il valore di B_δ risulti troppo alto oppure troppo basso, conviene procedere al calcolo del numero dei conduttori come se il motore fosse sprovvisto dell'avvolgimento statorico.

Qualora, caso poco frequente, la polarità risultasse diversa da quella indicata sulla targa, si renderebbe indispensabile controllare inoltre se il valore dell'induzione nella corona dello statore oppure nei denti è accettabile.

Se il valore di B_{cs} è piuttosto basso mentre quello di B_δ è normale si può rifare l'avvolgimento in modo identico a quello bruciato, se invece il valore di B_{cs} è superiore ad 1.6 Wb/m² bisognerà procedere con lo stesso metodo che verrà indicato per la *modifica della velocità*. Per i motori moderni si possono accettare valori di B_{cs} fino ad 1,8 Wb/m².

Si tenga presente che le buone ditte costruttrici, disponendo di personale tecnico competentissimo, hanno tutto calcolato con grande precisione, quindi se si notano delle manchevolezze esse sono in genere da imputarsi a chi ha precedentemente rifatto l'avvolgimento.

Riavvolgimento con cambio delle caratteristiche

Cambio della tensione di alimentazione. — Essendo il numero dei conduttori per fase proporzionale alla tensione di alimentazione, a parità di potenza e di tutti gli altri fattori, sussiste la relazione:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

(*) Ricordiamo che tra il numero dei giri/min N, il numero delle coppie polari e la frequenza sussiste la relazione:

$$p = \frac{60 f}{N}$$

dove:

V_1 = tensione per la quale è avvolto il motore;
V_2 = tensione per la quale dev'essere riavvolto;
Z_1 = numero conduttori per fase o per matassa dell'avvolgimento alla tensione V_1.
Z_2 = numero conduttori per fase o per matassa alla tensione V_2.

Si avrà quindi:

$$Z_2 = Z_1 \frac{V_2}{V_1}$$

mentre la sezione primitiva S_1 dovrà essere sostituita con una sezione S_2 dedotta con la formula:

$$S_2 = S_1 \frac{V_1}{V_2}$$

Cambio della frequenza. — Indicando con l'indice 1 le grandezze dell'avvolgimento da sostituire e con l'indice 2 quelle del nuovo si ha:

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{f_1}{f_2}$$

Quindi il numero dei conduttori e la sezione da adottare per il nuovo avvolgimento saranno:

$$Z_2 = Z_1 . \frac{f_1}{f_2} \quad \text{ed} \quad S_2 = S_1 \frac{f_2}{f_1}$$

Questa modifica, oggi raramente richiesta, comporta in genere una variazione della potenza in misura all'incirca proporzionale al rapporto f_2/f_1.

Cambio della tensione e della frequenza. — In questo caso si può eseguire il calcolo del numero dei conduttori e della sezione del nuovo avvolgimento in due tempi; si suppone prima invariata la frequenza e si determina il numero dei conduttori per la nuova tensione, poi si ripete il calcolo in base alla nuova frequenza f_2; in conclusione, si eseguono separatamente prima la modifica della tensione e poi quella della frequenza.

Si perviene più speditamente allo stesso risultato applicando le due formule derivate dalle precedenti:

$$Z_2 = Z_1 \frac{V_2 . f_1}{f_2 \; V_1} \quad ; \quad S_2 = S_1 \frac{V_1 . f_2}{f_1 . V_2}$$

Queste formule mostrano che un avvolgimento a 220 V e 42 p/s funziona ugualmente bene a 260 V e 50 p/s e viceversa. Infatti i rapporti:

$$\frac{V_1}{f_1} = \frac{220}{42} = 5{,}238 \qquad \text{e} \qquad \frac{V_2}{f_2} = \frac{260}{50} = 5{,}20$$

presentano uno scarto trascurabile; ne consegue che:

$$\frac{V_2}{f_2} \cdot \frac{f_1}{V_1} = \frac{260}{50} \cdot \frac{42}{220} = \sim 1$$

ed infine:

$$Z_2 = Z_1 \qquad \text{e} \qquad S_2 = S_1$$

cioè non occorre nessuna variante nel numero dei conduttori. Passando dal funzionamento a 220 V e 42 p/s a quello a 260 V e 50 p/s si avrà un aumento di potenza del motore di circa il 16% ed una eguale diminuzione nel caso inverso; nel primo caso si avrà altresì un piccolissimo aumento della corrente magnetizzante ed un lieve aumento del fattore di potenza ($\cos\varphi$); nel secondo caso le cose risultano invertite.

Cambio del passo d'avvolgimento. — Nel caso che si voglia cambiare il passo d'avvolgimento di un motore da riavvolgere occorre variare il numero dei fili/cava (v. « *Fattore d'avvolgimento, fattore di distribuzione e fattore di passo* »).

A parità di ogni altra condizione si ha:

$$Z_2 = Z_1 \frac{K_{a1}}{K_{a2}}$$

dove K_{a_1} e K_{a_2} rappresentano rispettivamente i fattori d'avvolgimento del vecchio e del nuovo avvolgimento.

In questo caso non occorre di solito cambiare la sezione del filo d'avvolgimento, anche perchè la variazione dei fili/cava è sempre assai piccola.

Ricordiamo ancora che oggi si usa molto spesso il passo raccorciato per i vantaggi che esso presenta, particolarmente nei motori a 2 e 4 poli, anche dal punto di vista della robustezza meccanica dell'avvolgimento.

Modifica della velocità. — È noto che il numero dei giri di un motore è funzione del numero delle coppie polari e della frequenza della corrente di alimentazione. Pertanto nel caso che si debba riavvolgere un motore per la stessa tensione e frequenza, ma con diversa velocità (rapporto 1÷2; 2÷3 ecc., oppure 2÷1; 3÷2 ecc.), si rende necessario variare nel rapporto inverso il numero delle coppie polari. Questa modifica comporta in genere una variazione del numero dei conduttori per fase o per matassa e della sezione del conduttore. È bene specificare che tale modifica della caratteristica velocità può riserbare sgradevoli sorprese quando è fatta senza accertarsi preventivamente che siano soddisfatte alcune condizioni basilari. Al riguardo possono servire come guida di massima le seguenti considerazioni.

La modifica del numero dei poli determina una variazione del flusso nella corona e nei denti dello statore e del rotore e può produrre altresì alterazioni sostanziali nella distribuzione del flusso tanto da rendere il funzionamento del motore poco soddisfacente dopo la modifica.

Se il numero delle cave del rotore è inadatto per la polarità per cui si vuole riavvolgere il motore (il numero delle cave per polo-fase del rotore e quello dello statore devono essere primi fra loro) l'avviamento può risultare stentato e lo scorrimento elevato anche nel funzionamento a vuoto; talvolta si può determinare addirittura l'impuntamento, ossia il motore non riesce ad avviarsi.

Comunque è quasi sempre possibile aumentare il numero delle coppie polari, ossia riavvolgere un motore per un minore numero di giri/min, sempre che il numero delle cave dello statore lo consenta e sia accettabile la riduzione di potenza, talvolta assai notevole.

In linea di massima è possibile anche ridurre il numero di coppie polari, cioè riavvolgere un motore per un maggiore numero di giri/min; in molti casi però questa modifica è da scartarsi senz'altro, come per passaggi da 8 a 2 poli oppure da 6 a 2. Infatti nei motori in cui il ferro è portato a saturazione nella maggiore polarità, la riduzione delle coppie polari comporterebbe un eccessivo riscaldamento della corona dello statore, anche se il valore dell'induzione nel traferro venisse scelto assai basso (*).

Nel caso di riduzione della velocità non è necessaria alcuna verifica del valore dell'induzione nella corona dello statore, perchè esso si mantiene di solito, con i normali valori di B_δ, inferiore anche al valore minimo ammesso, mentre può essere opportuno controllare il valore della induzione nei denti dello statore specialmente nel caso che l'induzione scelta per la nuova polarità fosse sensibilmente più

(*) A parità di diametro esterno dello statore, ripetiamo, l'altezza della corona diminuisce con l'aumentare delle coppie polari.

alta di quella adottata per la primitiva polarità; l'aumento della induzione è necessario sovente per limitare la riduzione di potenza. Con lo stesso valore di B_δ o con valore poco diverso naturalmente non è necessario nessun controllo. Inoltre può rendersi utile determinare, almeno approssimativamente, il valore della potenza che potrà sviluppare il motore per la nuova polarità, al fine di potere giudicare sulla convenienza o meno della modifica.

Per il calcolo del numero dei conduttori e per la determinazione della potenza resa alla nuova polarità il procedimento più semplice è il seguente: scelto il tipo di avvolgimento ed il valore di B_δ, in base alla nuova polarità, si determina il numero dei conduttori in serie per fase ed il numero dei fili/cava:

$$Z = \frac{V \cdot p}{C \cdot K_a \cdot \varnothing_i \cdot L_g \cdot B_\delta}; \qquad \text{fili/cava} = \frac{3\,Z}{n_c}$$

Si determinano poi la sezione del conduttore e la corrente assorbita dal motore, in base alla stessa densità di corrente ed allo stesso coefficiente di riempimento cava della vecchia polarità, ed infine la potenza resa:

$$P_r = 1{,}73\ V \cdot I \cos\varphi \cdot \eta \ \text{(watt)}$$

Il controllo della induzione nei denti dello statore, se ritenuto necessario, può effettuarsi con la relazione:

$$B_{ds}(*) = \frac{\Phi_{\delta e}}{S_{ds}} = \frac{B_\delta \cdot \tau_{zs}}{Fs \cdot z_s} \ \text{(Wb/m}^2\text{)}$$

dove: B_δ = induzione apparente in Wb/m^2 nel traferro; τ_{zs} = passo di dentatura $\left(\tau_{zs} = \frac{\pi \varnothing_i}{n_{cs}}\right)$; Fs = fattore di stipamento (di solito pari a 0,95); z_s = spessore dente.

Si può prevedere in questo caso, e con una certa sicurezza, un funzionamento perfettamente regolare anche se l'induzione nei denti dello statore raggiunge o supera di poco i 2,1 Wb/m^2. Questo valore è piuttosto elevato, ma anche qui si tratta di un valore apparente o fittizio, superiore a quello effettivo, e ciò per le ragioni esposte precedentemente. Comunque nel caso che il valore dell'induzione nei denti risultasse ancora più elevato si potrà determinare il probabile valore effettivo di B_{ds} con il metodo che verrà esposto trattando del calcolo della « *corrente a vuoto* ».

(*) In effetti l'induzione nei denti dello statore dovrebbe determinarsi, come s'è detto, in base al valore effettivo dell'induzione nel traferro $B_{\delta e}$, ed in tal caso l'induzione nei denti non supera di solito il valore di 1.8 — 1,9 Wb/m^2. Qui si tratta soltanto di un controllo per acclarare se il funzionamento sarà poi accettabile ed è pertanto più che sufficiente determinare B_{ds} in base al valore apparente B_δ

Sovente, specialmente nel caso di motori di vecchio tipo, è possibile realizzare un migliore coefficiente di riempimento cava ed adottare inoltre una densità di corrente sensibilmente più elevata; di ciò è bene tener conto qualora occorra una potenza maggiore.

I valori del rendimento e del fattore di potenza possono essere desunti dalle tabelle LXI e LXII per i motori asincroni trifasi e dalle figg. 330 e 331 per i monofasi di piccola potenza.

Nel caso di riavvolgimento per una minore polarità, anzi che procedere a verifiche per accertarsi se il valore dell'induzione nella corona sia o meno accettabile, conviene stabilire il valore dell'induzione che si vuole ottenere nella corona dello statore (è preferibile non superare 1,5-1,6 Wb/m^2 per costruzioni non recenti) e determinare in base ad esso il valore più adatto dell'induzione nel traferro, ossia:

$$B_\delta(*) = \frac{2 \cdot S_{cs} \cdot p \cdot B_{cs}}{(1+c) \cdot \varnothing_i \cdot L_g} = \frac{2 \cdot L_a \cdot h_c \cdot p \cdot B_{cs}}{(1+c)\varnothing_i \cdot L_g} =$$

$$= \frac{2 \cdot Fs \cdot L_g \cdot h_c \cdot p \cdot B_{cs}}{(1+c)\varnothing_i \cdot L_g} = \frac{2\,(0{,}9 \div 0{,}95)\, h_c \cdot p \cdot B_{cs}}{(1+c)\varnothing_i} \ \text{(Wb/m}^2\text{)}$$

dove: S_{cs} = sezione corona statore; B_{cs} = induzione nella corona; h_c = altezza corona statore; $Fs = 0{,}9 \div 0{,}95$ = fattore di stipamento.

Il valore di B_δ risulta sempre notevolmente inferiore ai massimi ammessi. Per verifiche di massima il termine $(1+c)$ si può trascurare.

Noto B_δ si determinano il numero dei conduttori in serie per fase, il numero dei fili/cava, ecc. con lo stesso procedimento indicato per il riavvolgimento con aumento del numero delle coppie polari.

(*) Dalle relazioni:

$$\Phi_\delta = \frac{B_\delta \cdot \varnothing_i \cdot L_g}{p} \quad \text{e} \quad \Phi_{cs} = (1+c)\,\Phi_\delta = 2\,S_{cs} \cdot B_{cs}$$

deriva:

$$\frac{B_\delta \cdot \varnothing_i \cdot L_g}{p} = \frac{2\,S_{cs} \cdot B_{cs}}{1+c}$$

ed infine:

$$B_\delta = \frac{2 \cdot S_{cs} \cdot B_{cs} \cdot p}{(1+c)\varnothing_i \cdot L_g} \ \text{(Wb/m}^2\text{)}$$

Nel caso di cave con fondo all'incirca concentrico alla circonferenza esterna, l'altezza della corona si considera senz'altro eguale a quella rilevata con un calibro, ossia eguale alla distanza tra fondo cava e circonferenza esterna. Questo criterio, a nostro avviso, non è applicabile però se il fondo delle cave è semicircolare, e precisamente del tipo illustrato nelle figg. 299 ÷ 305, tipo oggi largamente usato dalle grandi ditte ed anche nella maggior parte dei lamierini tranciati del commercio.

Con cave a fondo semicircolare non si può considerare come altezza effettiva della corona il valore minimo rilevabile da una misura diretta, perchè così facendo si otterrebbe naturalmente una induzione di valore più elevato di quello effettivo; si potrebbe determinare il valore medio delle Asp/cm (media delle Asp/cm corrispondenti a diversi valori di hc) ma noi riteniamo sufficiente *considerare come altezza effettiva della corona quella che si otterrebbe con cave della stessa superficie ma con fondo piano o concentrico alla circonferenza esterna* oppure, ancora più semplicemente, *si può considerare come altezza effettiva della corona l'altezza fittizia che si ottiene maggiorando l'altezza minima della corona di 1/3 del raggio del semicerchio di fondo cava.* Questo metodo è naturalmente largamente approssimato, ma per la sua semplicità, siamo certi, verrà applicato sovente, mentre tutti i metodi troppo complessi finiscono per non essere poi applicati, specialmente quando si tratta di modifiche, ossia di casi singoli. I metodi scientifici si applicano solo per motori di nuova costruzione da eseguire in serie. Comunque da verifiche effettuate su motori razionalmente costruiti abbiamo constatato che il metodo semplificato dà risultati abbastanza attendibili.

Sebbene la riduzione del numero dei poli consenta sovente di potere riavvolgere il motore per una potenza maggiore di quella per la quale il motore è stato costruito, è sano criterio prudenziale mantenere la potenza invariata e se per particolari esigenze si richiede un aumento di potenza è buona norma mantenerlo in limiti inferiori al 30% (v. « *Esempi di riavvolgimento con cambio delle caratteristiche* »).

La modifica della velocità è richiesta normalmente per motori di piccola potenza con rotore in cortocircuito. Pertanto è da tenere sempre presente che la riduzione delle coppie polari determina, anche a parità di potenza, un aumento della intensità di corrente nei cerchi frontali, e quindi possono poi manifestarsi eccessivi riscaldamenti se la sezione dei cerchi non sia stata prevista con una certa larghezza; nel caso di aumento delle coppie polari è la densità

di corrente nelle sbarre che può risultare eccessiva alla nuova polarità.

Per motori con rotore ad anelli la modifica del numero delle coppie polari dello statore deve essere accompagnata da una corrispondente variazione nel rotore.

Talvolta, specialmente per motori a 6 poli, può essere conveniente per il rotore l'avvolgimento in bifase.

Riavvolgimento di un motore sprovvisto dell'avvolgimento statorico

(Calcolo dell'avvolgimento statorico)

Conduttori in serie per fase e conduttori/cava. — Stabilito il passo dell'avvolgimento, essendo indicati sulla targa la tensione e la frequenza di funzionamento ed il numero dei giri/min, si sceglie, in base al passo polare τ, il valore massimo dell'induzione nel traferro. Calcolato il fattore d'avvolgimento K_a si deduce rapidamente, con la nota formula, il numero dei conduttori in serie per fase:

$$Z = \frac{V_f \cdot p}{C \cdot K_a \cdot \varnothing_i \cdot L_g \cdot B_\delta}$$

ed il numero dei conduttori/cava:

$$\text{conduttori/cava} = \frac{3 \cdot Z}{n_c}$$

In questo caso non è necessario verificare se il valore dell'induzione nella corona oppure nei denti dello statore si mantiene entro i limiti ammessi, perchè in una macchina costruita razionalmente questa condizione è sempre soddisfatta.

Se il motore fosse sprovvisto, caso assai raro, anche della targa bisognerà stabilire, con i criteri esposti nel cap. XI, la presunta potenza del motore e controllare se il valore di B_{cs} (*) si mantiene entro limiti accettabili con la relazione:

$$B_{cs} = \frac{(1+c) \cdot \varnothing_i \cdot B_\delta}{2 \cdot Fs \cdot h_{cs} \cdot p} \ (\text{Wb/m}^2)$$

(*) Talvolta, ripetiamo, può rendersi necessario effettuare, il controllo per l'induzione nei denti.

Sezione del conduttore e lunghezza spira media. — Per il calcolo della sezione del conduttore dell'avvolgimento occorre determinare la potenza P_a assorbita dal motore:

$$P_a = \frac{P_n}{\eta \cdot \cos\varphi} \ (VA)$$

dove

P_n = potenza nominale del motore in watt;
η = rendimento previsto;
$\cos\varphi$ = fattore di potenza.

La corrente nominale del motore si determina con la nota relazione:

$$I_n = \frac{P_a}{1{,}73\ V} = \frac{P_n}{1{,}73\ V \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \ (A)$$

dove V = tensione concatenata o di linea, cioè tensione applicata ai morsetti.

La corrente I_f che percorre ciascuna fase vale:

$I_f = I_n$ - per collegamento a stella;
$I_f = I_n/\sqrt{3}$ - per collegamento a triangolo.

Quindi per cambiare il collegamento delle fasi da Δ a Y bisogna variare da V a $\sqrt{3}\,V$ la tensione applicata ai morsetti e ridurre la tensione da V a $V/\sqrt{3}$ nel passaggio dal collegamento a Y a quello a Δ.

La corrente di fase può determinarsi direttamente; infatti:

$$I_f = \frac{P_n}{3 \cdot V_f \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \ (A)$$

dove V_f rappresenta la tensione di fase o radiale.

In base alla densità di corrente σ si deduce il valore della sezione e precisamente:

$$S_c = \frac{I_f}{\sigma} \ mm^2$$

Dalle tabelle sui fili isolati a fine volume si ha direttamente il diametro del conduttore in mm. Evidentemente si sceglie quasi sempre il diametro commerciale più prossimo per eccesso.

Nel caso che il diametro risulti maggiore del taglio della cava si adottano due o più fili in parallelo oppure si effettua il parallelo di gruppi di matasse di ciascuna fase (parallelo esterno).

La densità di corrente è funzione delle condizioni di ventilazione; nei motori aperti di vecchio tipo la densità di corrente oscilla tra 3 e 4,5 A/mm², mentre oggi per i motori del tipo aperto o protetto con ventole di raffreddamento si adottano densità comprese tra 4,5 e 6 A/mm².

Con una ventilazione molto efficace sono accettabili valori della densità anche superiori ai 6 A/mm², ma è preferibile, per motori a funzionamento continuo, non superare detto limite. Nei motori di tipo chiuso è buona norma non superare i 4,5 A/mm² a meno che non si tratti di motori con isolamenti di classe F o H, ma nei motori con raffreddamento a mantello si adottano egualmente densità fino a 6 A/mm².

È indispensabile, dopo avere calcolato il numero dei conduttori/cava, determinare il coefficiente di riempimento cava. Se il valore dell'induzione nella corona ed il coefficiente di riempimento cava risultano compresi entro i limiti ammessi (*) il calcolo può essere accettato senza ritocchi; in caso diverso bisognerà apportarvi adeguate modifiche.

La lunghezza della spira media va calcolata con una formula analoga a quella in uso per gli avvolgimenti a corrente continua:

$$L_{spm} = 2\,(L_g + a \cdot \tau) \ (**) \ (metri)$$

dove « a » rappresenta una costante dipendente dal tipo di avvolgimento e dal passo y^c. In media si possono assumere per « a » i seguenti valori:

Avvolgimenti a corona o a matasse eguali: $a = 1{,}5 \div 1{,}75$ (***).
Avvolgimenti concentrici in 2 ordini: $a = 1{,}75 \div 2$.

Il termine $2.a.\tau$ rappresenta lo sviluppo frontale delle matasse; quindi si assumerà per « a » il valore maggiore per avvolgimenti a passo intero, mentre per quelli a passo raccorciato si sceglierà « a » tanto più piccolo quanto maggiore è il raccorciamento del passo. Per avvolgimenti a 2 poli con passo fortemente raccorciato consigliamo di adottare per « a » valori compresi tra 1,3 e 1,4.

(*) Un valore troppo basso del coefficiente di riempimento cava o dell'induzione nella corona dello statore oppure di entrambi sta ad indicare una scarsa utilizzazione della macchina.

(**) La lunghezza geometrica del pacco lamiere ed il passo polare vanno espressi in metri.

(***) Nei motori di piccola potenza a passo intero il valore di « a » varia tra 1,7 e 1,85.

Peso dell'avvolgimento ed Afc — In base alla lunghezza della spira media si determina la lunghezza totale del filo dell'avvolgimento ed il peso del rame:

$$\text{lungh. totale avvolg. (*)} = L_{spm} \,.\, 3\, Z/2 = L_{spm} \times \text{fili/cava} \times \frac{n_c}{2} \text{ (m)}$$

$$\text{peso} = \frac{\text{lunghezza totale}}{1000} \times \text{peso per 1000 metri (kg)}$$

Il peso per 1000 m dei fili isolati si ricava direttamente dalle tabelle di fine volume.

La densità lineare *Afc* si determina con la solita formula:

$$Afc = \frac{3 \,.\, Z \,.\, I_{fs}}{\pi \varnothing_t}$$

La densità lineare varia in funzione della potenza del motore; i valori adottati nelle buone costruzioni fino a pochi anni fa, con frequenza di 50 p/s, sono di solito sensibilmente inferiori a quelli riportati nella tabella LXVIII (quindi i dati in essa indicati debbono considerarsi come valori massimi delle costruzioni normali), mentre nelle costruzioni più recenti (v. « *Esempi costruttivi* ») abbiamo riscontrano i valori riportati nella tabella LXIX.

Densità lineare Afc

TABELLA LXVIII

Potenza - kW	0,25	0,5	1	5	10	25	50
Afc	140	170	200	250	280	330	350

Densità lineare Afc nei motori moderni

(v. « Esempi costruttivi di motori asincroni »)

TABELLA LXIX

Potenza - kW	0,55	1,1	1,5	1,85	2,2	2,94	3,7	4,4
Densità lineare Afc	160 ÷ 190	200 ÷ 250	210 ÷ 260	220 ÷ 270	225 ÷ 275	235 ÷ 280	250 ÷ 290	260 ÷ 300

(*) Se l'avvolgimento va eseguito con due fili eguali in parallelo bisognerà raddoppiare il valore della lunghezza totale del filo.

Calcolo dell'avvolgimento rotorico

Rotore in cortocircuito. — Per determinare le dimensioni della gabbia occorre conoscere il valore della corrente di pieno carico che si stabilisce nelle sbarre e negli anelli frontali. Per calcolare la corrente delle sbarre consigliamo la formula seguente:

$$I_{sb} = K \,.\, K_{as} \,.\, \frac{n_c \,.\, \text{fili/cava} \,.\, I_{fs}}{n_{cr}} \cos\varphi \text{ (A)}$$

dove:

K_{as} = fattore d'avvolgimento statorico;
$\cos\varphi$ = fattore di potenza a pieno carico;
n_c . fili/cava = numero totale conduttori statore;
I_{fs} = corrente di fase nello statore;
n_{cr} = numero cave rotore.

K rappresenta un coefficiente compreso di solito tra 0,9 e 0,95 (*).

Il valore massimo della corrente che si stabilisce in un anello della gabbia è eguale alla somma dei valori istantanei della corrente di metà delle sbarre per polo. Però questo valore massimo si verifica in zone ristrettissime dell'anello (tante volte ogni giro quanti sono i poli dello statore) e le sezioni di massima densità si spostano con la stessa velocità del rotore. Questa distribuzione della corrente nell'anello dà luogo, a pieno carico, ad una perdita equivalente a quella di una corrente efficace I_{an} (ritenuta sinusoidale) che percorra tutto l'anello; si considera come corrente di pieno carico in ogni anello il valore calcolato con la formula:

$$I_{an} = \frac{2}{\pi} \cdot I_{sb} \cdot \frac{n_{cr}}{2 \,.\, 2\, p} = 0{,}16\, I_{sb} \cdot \frac{n_{cr}}{p} \text{ (A)}$$

La sezione delle sbarre e degli anelli si determina sempre in base alla densità di corrente ammessa σ_r, cioè:

$$S_{sb} = \frac{I_{sb}}{\sigma_r} \text{ (mm}^2\text{)} \quad ; \quad S_{an} = \frac{I_{an}}{\sigma_r} \text{ (mm}^2\text{)}$$

(*) Il valore del coefficiente K è stato dedotto sperimentalmente, effettuando numerose verifiche su motori trifasi di recente costruzione, ma qualora si voglia ottenere una maggiore precisione si potrà determinare il valore di questo coefficiente mediante la relazione:

$$K = \left(1 + \frac{P_{meco}}{P_r}\right) \frac{\eta}{\cos\varphi_r \,(1 - s)}$$

dove: P_{meco} = perdite meccaniche e di ventilazione; P_r = potenza resa; η = rendimento; $\cos\varphi_r$ = fattore di potenza della corrente rotorica; s = scorrimento.

Si adottano di solito, malgrado le migliori condizioni di ventilazione rispetto allo statore, densità di corrente da 3 ÷ 4,5 a/mm² per gabbia in alluminio, mentre con gabbia in rame i valori normali sono compresi tra 4,5 e 6 A/mm² e con buona ventilazione si possono adottare densità fino a 7 A/mm².

Rotore ad anelli. — Il numero dei conduttori attivi in serie per ogni fase si determina, in base alla induzione nell'intraferro ed alla *f e m* indotta E_{fr} in ogni fase del rotore, con la stessa formula adottata nel calcolo dell'avvolgimento statorico, ossia:

$$Z_r = \frac{E_{fr} \cdot p}{C \cdot K_{ar} \cdot \varnothing_i \cdot L_g \cdot B_\delta}$$

Il valore della *f e m* del rotore si può scegliere ad arbitrio, ma in pratica il valore di E_{fr} si mantiene tra 100 e 250 V per piccole e medie potenze.

Per determinare il valore della corrente normale I_{fr} dell'avvolgimento rotorico può servire la seguente formula:

$$I_{fr} = \frac{Z_s}{Z_r} \cdot \frac{K_{as}}{K_{ar}} I_{fs} \cdot \cos\varphi \text{ (A)}$$

dove I_{fs} e Z_s rappresentano la corrente ed il numero di conduttori per fase dello statore, Z_r il numero di conduttori per fase del rotore, K_{as} e K_{ar} rispettivamente i fattori d'avvolgimento statorico e rotorico e cos φ il fattore di potenza a pieno carico.

La sezione dei conduttori va stabilita sempre in base alla densità di corrente:

$$S_{cr} = \frac{I_{fr}}{\sigma_r} \text{ (mm²)}$$

La densità di corrente si sceglie fra 5 e 7 A/mm², a seconda della velocità periferica del rotore e del sistema di raffreddamento. Con rotori provvisti di alette di raffreddamento si possono adottare anche densità di corrente più elevate.

Calcolo dell'avvolgimento statorico per motori a 2 velocità

Per il calcolo di un avvolgimento a 2 polarità si procede come per gli avvolgimenti normali, ossia si determina il numero dei conduttori in serie per fase con la solita formula, tenendo conto però di alcune particolarità che passiamo in rapida rassegna:

1) il numero dei conduttori per fase risulta diverso alle due polarità e quindi dei due valori bisogna adottare quello più grande per evitare valori delle induzioni troppo alti nel funzionamento all'altra polarità;

2) per il collegamento triangolo/doppia stella ($2p/p$ poli) e doppia stella/triangolo il maggior numero di conduttori per fase si ha sempre alla maggiore polarità mentre per il collegamento stella/doppia stella ($2p/p$ poli) si ottiene, almeno teoricamente, lo stesso valore;

3) per le migliori condizioni di raffreddamento è possibile adottare una densità di corrente un po' più alta alla maggiore velocità (sistema adottato da quasi tutte le migliori case costruttrici);

4) per la maggiore velocità il rendimento risulta un po' più basso che nei motori di pari potenza ad una sola polarità quando B_c supera i valori normali ed un po' più alto per la minore velocità, dato che i valori dell'induzione nella corona dello statore risultano di norma assai bassi;

5) per ottenere una discreta utilizzazione della parte magnetica anche alla minore velocità si suole di norma spingere l'induzione nella corona a valori abbastanza alti; normalmente si raggiunge e si supera 1,85 Wb/m², anzi l'Ansaldo-San Giorgio in qualche tipo tocca 1,95 e perfino 2,2 Wb/m² (*);

6) il procedimento di calcolo varia a seconda che si tratti di un motore ad una velocità a p poli che si voglia riavvolgere per 2 polarità, p e $2p$ poli, o che viceversa sia a $2p$ poli e si voglia riavvolgere per $2p$ e p poli. Nel primo caso, con riferimento al collegamento triangolo/doppia stella e doppia stella/triangolo (il collegamento stella/doppia stella, ripetiamo, è poco usato), si può fissare il valore di B_δ per $2p$ poli scegliendo un valore piuttosto alto (anche superiore ai massimi normali); nel secondo invece si fissa il valore di B_{δ} per la minore polarità, che di solito si sceglie da 1,8÷1,9 Wb/m².

(*) L'Ansaldo-San Giorgio al riguardo ci scrive (lettera del 30-7-1962): « Tali valori di induzione sono in accordo con la normale prassi costruttiva per i vari casi di funzionamento ».

Tenendo presenti queste considerazioni si eviterà di procedere per tentativi e tutt'al più sarà sufficiente effettuare poi qualche verifica, come sarà meglio specificato negli esempi di calcolo.

Infine si tenga presente che talvolta si rende necessario effettuare una verifica della densità di corrente negli anelli o nelle sbarre, come è stato già specificato a proposito della « *Modifica della velocità* ».

ESEMPI DI RIAVVOLGIMENTO CON CAMBIO DELLE CARATTERISTICHE

1) Cambio della tensione di alimentazione: *da 220 a 260 volt.*

Dati di targa. — Motore asincrono - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1400 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,368 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,63 A - Collegamento del primario a Y e del secondario in cortocircuito.

Dati sull'avvolgimento statorico bruciato. — Numero cave 24 - Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento $1 \div 6$ - Collegamento serie - 6 morsetti - Fili/cava 92 - Diametro del filo = = 0,75 mm (sez. = 0,4418 mm^2) - Filo di rame tondo smaltato - Densità di corrente = 3,7 A/mm^2.

A parità di tutti gli altri elementi si avrà:

$$Z_2 = 92 \cdot \frac{260}{220} = \sim 109$$

$$S_2 = 0{,}4418 \frac{220}{260} = 0{,}3738 \text{ mm}^2$$

Quindi per la tensione di 260 V occorreranno 109 fili/cava, con conduttore della sezione di 0,3738 mm^2. Si potrà adottare il filo tondo di 0,7 mm di diametro (sez. = 0,3849 mm^2) oppure, dato il basso valore della densità di corrente, il filo del diametro di 0,65 mm.

2) Cambio della frequenza: *da 42 a 50 p/s.*

Un motore asincrono trifase avvolto per una tensione di 220 V e 42 p/s con 87 fili/cava, della sezione di 0,636 mm^2 (passo intero e collegamento del primario a Y), si vuole riavvolgere per la stessa tensione e frequenza 50 p/s. Si avrà:

$$Z_2 = 87 \frac{42}{50} = 73$$

$$S_2 = 0{,}636 \frac{50}{42} = 0{,}757 \text{ mm}^2$$

Per la frequenza di 50 p/s (a parità di passo d'avvolgimento, collegamento, ecc.) occorrono 73 fili/cava; si adotterà la sezione commerciale di 0,7088 oppure quella di 0,7854, qualora si desideri un sensibile aumento della potenza.

3) Cambio della tensione e della frequenza: *da 380 V e 50 p/s a 220 V e 60 p/s.*

Un motore asincrono trifase avvolto per una tensione di 380 V e 50 p/s (collegamento a stella), con 114 fili/cava (2 matasse/cava) della sezione di 0,3318 mm^2 ($\varnothing_{cn} = 0{,}65$ mm) si deve riavvolgere per 220 V e 60 p/s. Si ha:

$$Z_2 = Z_1 \frac{V_2 \cdot f_1}{f_2 \cdot V_1} = 114 \frac{220 \cdot 50}{60 \cdot 380} = 55$$

$$S_2 = S_1 \frac{V_1 \cdot f_2}{f_1 \cdot V_2} = 0{,}3318 \frac{380 \cdot 60}{50 \times 220} = 0{,}6877 \text{ mm}^2$$

Se si vuole eseguire il nuovo avvolgimento a doppio strato si adotteranno 28 spire/matassa (fili/cava 56) della sezione di 0,7088 mm^2 ($\varnothing_{cn} = 0{,}95$ mm). Si è preferito il filo tondo con diametro di 0,95 mm (la sezione del filo con $\varnothing_{cn} = 0{,}9$ sarebbe stata troppo scarsa) per tenere conto anche dell'aumento di potenza nel passaggio da 50 a 60 p/s.

4) Cambio del passo di avvolgimento: *da $1 \div 12$ a $1 \div 10$*

(v. tavole LXX e LXXVI ed « *Esempi costruttivi di motori asincroni* » es. n° 35).

$$Z_2 = Z_1 \frac{K_{a1}}{K_{a2}} = 416 \frac{0{,}958}{0{,}892} = 446$$

$$\text{fili/cava} = \frac{446}{8} = 56$$

oppure:

$$\text{fili/cava} = 52 \frac{0{,}958}{0{,}892} = 56$$

5) **Cambio del passo di avvolgimento:** *da 1÷7 a 1÷5* (v. tavola CXXXII ed « *Esempi costruttivi di motori asincroni* », es. n° 63).

$$\text{fili/cava} = 112\,\frac{0{,}966}{0{,}837} = 129$$

6) **Modifica della velocità:** *da 1500÷3000 giri/min.*

Dati di targa e dimensioni principali. — Motore asincrono (C.G.E) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1430 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nomin. 2,2 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 8,6 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_i$ =	120 mm
Lunghezza	L_g =	80 »
Altezza corona	h_c =	18,5 »
Dimensioni cave	h =	20,2 »
	b_m =	7,8 »
Larghezza dente	z_m =	4,5 »

Numero cave: statore 36 - rotore 44

Dati sull'avvolgimento statorico e rotorico. — Avvolgimento a corona - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷9 - Collegamento serie - Fili/cava 44 - $\varnothing_{cn} = 1{,}15$ mm - Filo di rame tondo smaltato all'acetale di vinile - $\sigma = 4{,}8$ A/mm² - Sezione rame/cava = $= 44 . 1{,}0387 = 45{,}7$ mm².

Gabbia in alluminio - Sezione barretta (fusa in cava ovoidale) = 35 mm² - Sez. anelli = 120 mm² (v. « *Esempi costruttivi* », n. 28).

Il numero delle cave del rotore è piuttosto alto per un 2 poli a 36 cave, ma può ritenersi egualmente adatto per la nuova polarità.

Fili/cava e sezione conduttore. — Per evitare di procedere per tentativi conviene prefissare il valore della induzione nella corona dello statore e determinare $B_{\delta 2}$ per la nuova polarità; in base a $B_{cs} = 1{,}6$ Wb/m² (valore ormai usuale per le nuove costruzioni) si ha:

$$B_{\delta 2} = \frac{2 . Fs . h_c . p . B_{cs}}{(1+c)\varnothing_i} = \frac{1{,}9 . 0{,}0185 . 1{,}6}{1{,}021 . 0{,}120} = \frac{0{,}05624}{0{,}12252} = 0{,}459 \text{ Wb/m}^2$$

Per avvolgimento a 2 matasse/cava con passo 1÷16 si avrà:

$$Z = \frac{V_f . p}{C . K_a . \varnothing_i . L_g . B_\delta} = \frac{220}{113{,}5 . 0{,}923 . 0{,}12 . 0{,}08 . 0{,}459} = \frac{220}{0{,}4616} = 476$$

$$\text{fili/cava} = \frac{3 . 476}{36} = \frac{476}{12} = 39{,}67$$

Adottando 40 fili/cava (20 fili/matassa) e lo stesso coefficiente di riempimento cava della maggiore polarità, la sezione del filo nel funzionamento a 2 poli risulterà:

$$\text{sezione conduttore} = \frac{45{,}7}{40} = 1{,}1425 \text{ mm}^2$$

Potenza alla nuova polarità e densità di corrente nel rotore (verifiche). — Impiegando il filo con $\varnothing_{cn} = 1{,}2$ mm (sez. = 1,131 mm²) la corrente di fase, per una densità di 5 A/mm² (v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* », es. n. 27 e 28) sarà:

$$I_f = 1{,}131 . 5 = 5{,}655 \text{ A}$$

Prevedendo un $\cos\varphi = 0{,}82$ ed un rendimento $\eta = 0{,}81$ si avrà infine:

$$P_{n_2} = 3 V_f I_f . \cos\varphi . \eta = 660 . 5{,}655 . 0{,}82 . 0{,}81 = 2479 \text{ W}$$

La potenza, com'era prevedibile, risulta sensibilmente maggiore che nel funzionamento a 4 poli, però occorre acclarare se con tale potenza la densità di corrente negli anelli del rotore sarà accettabile prima di ritenere validi i risultati del calcolo. La probabile corrente nelle sbarre e negli anelli e le rispettive densità di corrente saranno:

$$I_{sb} = K . K_a . \frac{n_{cs} . \text{fili/cava} . I_{fs}}{n_{cr}} \cos\varphi = 0{,}94 . 0{,}923 \frac{36 . 40 . 5{,}655}{44} 0{,}82 =$$

$$= \frac{5793}{44} = 131{,}6 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{131{,}6}{35} = 3{,}76 \text{ A/mm}^2 \text{ (valore normale)}$$

$$I_{an} = 0{,}16 . I_{sb} . \frac{n_{cr}}{p} = 0{,}16 . 131{,}6 . 44 = 926{,}46 \text{ A}$$

$$\sigma_{an} = \frac{926{,}46}{120} = 7{,}72 \text{ A/mm}^2$$

Questo valore è decisamente eccessivo (i valori normali sono quasi sempre compresi tra 3,5 e 4,5 A/mm² con qualche punta verso i 5 A/mm² e, per i motori a 2 velocità, anche i 6 A/mm²) e pertanto, ad evitare eccessivi riscaldamenti, si rende necessaria una sensibile riduzione della potenza ottenuta col calcolo (solo per servizio intermittente o di durata limitata si può accettare la potenza di circa 3,5 cav). Per servizio continuo si potrebbe al massimo accettare la densità negli anelli di 5,5 A/mm² o tutt'al più di 6 A/mm² in considerazione che quella corrispondente nelle sbarre sarà assai bassa (inferiore ai 3 A/mm²). Così si avrebbe:

$$I_{an} = 120 \cdot 6 = 720 \text{ A}$$

$$I_{sb} = \frac{p \cdot I_{an}}{0{,}16 \cdot n_{cr}} = \frac{720}{0{,}16 \cdot 44} = \frac{720}{7{,}04} = 102{,}3 \text{ A}$$

$$I_{fs} = \frac{5{,}655 \cdot 102.3}{131{,}6} = 4{,}4 \text{ A}$$

Ed infine la potenza corrispondente del motore:

$$P_{nr} = 660 \cdot 4{,}4 \cdot 0{,}6642 = 1929 \text{ W}$$

Questo esempio ci mostra come nei motori con rotore in cortocircuito sia azzardato affermare che si può aumentare sempre la potenza nel caso di aumento della velocità.

Per questa modifica non è necessario il controllo dell'induzione nei denti dello statore perchè B_{ds} risulta sempre di valore modesto; infatti in base all'induzione apparente nel traferro di 0,46 Wb/m² si ha:

$$B_{ds} = \frac{B_\delta \cdot \tau_{ss}}{Fs \cdot z_s} = \frac{0{,}46 \cdot 0{,}01047}{0{,}95 \cdot 0{,}0045} = \frac{0{,}004816}{0{,}004275} = 1{,}12 \text{ Wb/m}^2$$

7) Modifica della velocità: *da 1500÷1000 giri/min.*

Dati di targa e dimensioni principali. — Come esercizio precedente.

Fili/cava e sezione conduttore. — Trattandosi di una macchina di costruzione relativamente recente, si può adottare una induzione di 0,74 Wb/m². Per avvolgimento a 2 matasse/cava con passo 1÷6 e collegamento a Δ si avrà:

$$Z = \frac{220 \cdot 3}{114{,}5 \cdot 0{,}933 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}74} = \frac{660}{0{,}75892} = 869$$

$$\text{fili/cava} = \frac{869}{12} = 72{,}4$$

Arrotondando a 72 l'induzione sarà di 0,744 Wb/m².

$$\text{sezione conduttore} = \frac{45{,}7}{72} = 0{,}635 \text{ mm}^2$$

Potenza ed induzioni. — Si potrà impiegare il filo del diametro di 0,9 mm (sez. = 0,6362 mm²) isolato in smalto; con densità di 4,8 A/mm², come per il 4 poli, si avrà:

$$I_n = 0{,}6362 \cdot 4{,}8 = 3{,}05 \text{ A}$$

Per $\eta = 0{,}74$ e $\cos\varphi = 0{,}75$ la potenza risulterà:

$$P_r = 3 \cdot 220 \cdot 3{,}05 \cdot 0{,}74 \cdot 0{,}75 = 1117 \text{ W}$$

La riduzione della potenza è forte, malgrado tutto, e ciò ci rende edotti della scarsa convenienza di modifiche di questo tipo.

Anche il bassissimo valore dell'induzione nella corona dello statore sta ad indicare una scarsa utilizzazione del materiale:

$$B_{cs} = \frac{(1+c)\varnothing_t \cdot B_\delta}{2 \cdot Fs \cdot h_c \cdot p} = \frac{1{,}027 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}744}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0185 \cdot 3} = \frac{0{,}09169}{0{,}10545} = 0{,}87 \text{ Wb/m}^2$$

Nei denti si avrà invece:

$$B_{ds} = \frac{0{,}744 \cdot 0{,}01047}{0{,}95 \cdot 0{,}0045} = \frac{0{,}00778968}{0{,}004275} = 1{,}82 \text{ Wb/m}^2$$

Il valore effettivo sarà di certo leggermente inferiore; comunque non sarebbe prudente aumentare l'induzione nel traferro e conseguentemente nei denti. Se necessario si può aumentare B_δ ma entro limiti piuttosto modesti; la riduzione di potenza sarà comunque sempre molto forte.

Correnti e densità nel rotore. — In questo caso non sarebbe necessario il controllo della densità di corrente nelle sbarre perchè, essendo la potenza alla nuova polarità circa la metà di quella primi-

tiva, si ha una forte riduzione della corrente di fase che bilancia praticamente l'aumento del numero dei fili per fase; per gli anelli si avrà sicuramente allora una densità inferiore ai valori usuali.

Infatti:

$$I_{sb} = 0{,}93 \cdot 0{,}933 \frac{36 \cdot 72 \cdot 3{,}05}{44} 0{,}75 = 117 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{117}{35} = 3{,}34 \text{ A/mm}^2 \text{ (valore normale)}$$

$$I_{an} = 0{,}16 \cdot 117 \cdot \frac{44}{3} = \frac{823{,}68}{3} = 274{,}56 \text{ A}$$

$$\sigma_{an} = \frac{274{,}56}{120} = 2{,}28 \text{ A/mm}^2$$

8) Modifica della velocità: *da 3000 a 1500 giri/min.*

Dati di targa. — Motore asincrono (Brown Boveri) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 2850 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 4,4 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 15,7 A - Collegamento del primario a triangolo e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore:

Diametro interno	$\varnothing_1 =$	90 mm
Lunghezza	$L_g =$	110 »
Altezza corona	$h_c =$	17,5 »
Dimensioni cave	$h =$	26 »
	$b_m =$	8,5 »

Numero cave: statore 36 - rotore 28

Dati sull'avvolgimento statorico e rotorico. — Avvolgimento a corona - 1 matassa/cava - Passo avvolgimento 1÷15 - Collegamento serie - Fili/cava 3 × 25 - Fili // 3 - $\varnothing_{cn} = 0{,}95$ mm (sez. = $= 3 \times 0{,}7088$ mm^2) - Filo di rame tondo smaltato all'acetale di vinile - $\sigma = 4{,}3$ A/mm^2.

Gabbia rotore in alluminio - Sezione barretta (fusa in cava ovoidale) $= 54$ mm^2 - Sezione anelli $= 240$ mm^2.

Fili/cava, sezione conduttore e potenza. — La sezione rame/cava del vecchio avvolgimento è quindi: $3 \cdot 25 \cdot 0{,}7088 = 53{,}16$ mm^2.

In base ad una induzione apparente nel traferro di 0,82 Wb/m^2 ed adottando un avvolgimento a 2 matasse/cava con passo 1÷8 e collegamento serie (v. tav. CXXIII), lo stesso coefficiente di riempimento cava e lo stesso collegamento del primario (Δ) si avrà:

$$Z = \frac{220 \times 2}{114 \cdot 0{,}902 \cdot 0{,}09 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}82} = \frac{440}{0{,}83476} = 527$$

$$\text{fili/cava} = \frac{527}{12} = \sim 44$$

$$\text{sezione conduttore} = \frac{53{,}16}{44} = 1{,}208 \text{ mm}^2$$

Si potrà impiegare il filo del diametro di 1,25 mm, smaltato all'acetale di vinile (sez. 1,2272 mm^2). Con densità di 5,2 A/mm^2 si avrà:

$$I_f = 1{,}2272 \cdot 5{,}2 = 6{,}38 \text{ A} \quad ; \quad I_n = 1{,}73 \cdot 6{,}38 = 11{,}04 \text{ A}$$

Per $\eta = 0{,}8$ e $\cos\varphi = 0{,}83$ la potenza del motore risulterebbe:

$$P_n = 1{,}73 \cdot 220 \cdot 11{,}04 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}83 = 2790 \text{ W}$$

Come si vede, malgrado l'aumento della induzione nel traferro e della densità di corrente, la riduzione di potenza è abbastanza forte; in genere però la riduzione di potenza per passaggi da 2 a 4 poli risulta accettabile.

Verifiche. — Le verifiche confermano che non si può aumentare oltre la potenza alla nuova polarità, mentre così i valori della induzione nei denti e della densità nelle sbarre rotoriche ci danno la certezza che il funzionamento sarà buono.

$$B_{ds} = \frac{0{,}82 \cdot 0{,}00785}{0{,}95 \cdot 0{,}0037} = \frac{0{,}006437}{0{,}003515} = 1{,}83 \text{ Wb/m}^2$$

$$I_{sb} = 0{,}93 \cdot 0{,}902 \cdot \frac{36 \cdot 44 \cdot 6{,}38}{28} \cdot 0{,}83 = \frac{7036{,}3}{28} = 251{,}3 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{251{,}3}{54} = 4{,}65 \text{ A/mm}^2$$

Per la corona e gli anelli non occorre alcun controllo (i valori risultano rispettivamente: $B_{cs} = 1{,}13$ Wb/m^2 e $\sigma_{an} = 2{,}34$ A/mm^2).

9) **Modifica della velocità:** *da 3000 a 1000 giri/min.*

Dati di targa e dimensioni principali. — Come esempio precedente.

Fili/cava e sezione conduttore. — Il numero delle cave del rotore va bene anche per la nuova polarità.

Adottando ancora l'induzione apparente nel traferro di 0,82 Wb/m², un avvolgimento a 2 matasse/cava con passo 1÷6 e collegamento serie (v. tav. CXXXI), lo stesso coefficiente di riempimento cava, lo stesso collegamento del primario (Δ) dell'avvolgimento originario ed una densità di corrente di 5 A/mm² si avrà:

$$Z = \frac{220 \times 3}{114{,}5 \,.\, 0{,}933 \,.\, 0{,}09 \,.\, 0{,}110 \,.\, 0{,}82} = \frac{660}{0{,}86723} = 761$$

$$\text{fili/cava} = \frac{761}{12} = 63{,}4$$

Arrotondando i fili/cava a 64 l'induzione apparente nel traferro risulterà di 0,812 Wb/m².

$$\text{sezione conduttore} = \frac{53{,}16}{64} = 0{,}8306 \text{ mm}^2$$

Si potrà adottare il filo di 1,05 mm di diametro (sez. = 0,8659 mm²) con doppio smalto, in previsione di un leggero aumento del coefficiente di riempimento cava.

Potenza, induzioni e densità di corrente (verifiche). — Per una densità di corrente di 5 A/mm² la corrente di fase risulta:

$$I_f = 0{,}8659 \,.\, 5 = 4{,}33 \text{ A}$$

Per $\eta = 0{,}77$ e $\cos\varphi = 0{,}78$ la potenza sarà:

$$P_n = 3 \,.\, 220 \,.\, 4{,}33 \,.\, 0{,}77 \,.\, 0{,}78 = 1716 \text{ W}$$

La riduzione della potenza, com'era prevedibile, è talmente forte da sconsigliare la modifica.

Comunque è bene mettere in risalto che non sarebbe possibile un maggiore sfruttamento del materiale dato che l'induzione nei denti è dell'ordine di grandezza normale per queste costruzioni e la densità di corrente nelle sbarre rotoriche è sensibilmente superiore ai valori medi in uso.

Naturalmente l'induzione nella corona dello statore sarà assai bassa e così pure la densità di corrente negli anelli del rotore; infatti:

$$B_{ds} = \frac{0{,}812 \,.\, 0{,}00785}{0{,}95 \,.\, 0{,}0037} = \frac{0{,}0063742}{0{,}003515} = 1{,}81 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cs} = \frac{1{,}027 \,.\, 0{,}09 \,.\, 0{,}812}{5{,}7 \,.\, 0{,}026} = \frac{0{,}075053}{0{,}1482} = 0{,}506 \text{ Wb/m}^2$$

$$I_{sb} = 0{,}93 \,.\, 0{,}933 \,\frac{36 \,.\, 64 \,.\, 4{,}33}{28}\, 0{,}78 = \frac{6752}{28} = 241 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{241}{54} = 4{,}46 \text{ A/mm}^2$$

$$I_{an} = 0{,}16 \,.\, 241 \,.\, \frac{28}{3} = 360 \text{ A} \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{360}{240} = 1{,}5 \text{ A/mm}^2$$

Si tenga presente che anche con valori un po' più alti delle induzioni e delle densità di corrente nell'avvolgimento statorico e nelle sbarre del rotore l'aumento di potenza sarà sempre modesto e che la riduzione di potenza rispetto alla polarità primitiva risulterà sempre assai forte, tanto che questi tipi di modifiche dovrebbero, in genere, scartarsi a priori.

ESEMPI DI CALCOLO DEGLI AVVOLGIMENTI

1) Motore ad 1 polarità.

Dati di targa - Motore asincrono (C.G.E.) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1430 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 2,2 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 8,6 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito (v. « *Esempi cotruttivi di motori asincroni* » es. n. 28).

Fili in serie per fase, fili/cava e sezione conduttore. — Il passo polare risulta:

$$\tau = \frac{\pi \varnothing_i}{2p} = \frac{3{,}14 \,.\, 12}{4} = 9{,}425 \text{ cm}$$

Trattandosi di un motore moderno (*), con questo valore di τ si può assumere per il traferro una induzione $B_\delta = 0{,}8$ Wb/m^2, quindi per avvolgimento a 2 matasse/cava con passo $1 \div 9$ ($K_a = 0{,}946$) si avrà:

$$Z = \frac{220 \cdot 2}{114 \cdot 0{,}946 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}8} = \frac{440}{0{,}82824} = 531$$

$$\text{fili/cava} = \frac{531}{12} = 44{,}2$$

Arrotondando i fili/cava a 44 il numero totale dei conduttori rimane fissato in 1584 (44×36).

In base ad una densità di corrente $\sigma = 4{,}8$ A/mm^2 si ha:

$$S_c = \frac{I_f}{\sigma} = \frac{4{,}97}{4{,}8} = 1{,}0354 \text{ mm}^2$$

Si adotterà pertanto la sezione commerciale di 1,0387 mm^2 (diametro del filo nudo $\varnothing_{cu} = 1{,}15$ mm); con filo di rame tondo smaltato è assicurata una discreta utilizzazione ed un comodo montaggio delle matasse.

L'isolamento verso massa può effettuarsi mediante un diaframma costituito da leatheroid e tela sterlingata oppure con uno dei nuovi materiali per isolamento cave.

Peso rame. — La lunghezza della spira media sarà:

$$L_{spm} = 2\,(0{,}08 + 1{,}55 \cdot 0{,}09425) = 0{,}45 \text{ m} \quad (**)$$

Pertanto la lunghezza totale dell'avvolgimento risulterà:

$$\text{lunghezza totale avvolgimento} = 0{,}45 \cdot 792 = 356{,}4 \text{ m}$$

che si arrotonda a 360 m per tenere conto delle connessioni.

Dalla tabella relativa si sa che 1000 m di conduttore del diametro di 1,15 mm isolato con doppio smalto pesano 9,503 kg, quindi:

$$\text{peso rame} = \frac{9{,}503}{1000} \cdot 360 = 3{,}42 \text{ kg}$$

(*) Costruzione del 1960.

(**) Prima di procedere alla confezione delle matasse la lunghezza della spira media va verificata sullo statore.

Afc, potenza, correnti rotoriche e densità di corrente. — Di norma, conoscendo i dati di targa, è sufficiente determinare i *fili/cava* e la *sezione del filo*. Infatti riavvolgendo un motore con caratteristiche immutate la potenza dovrà risultare eguale a quella primitiva ed i valori degli *Afc* e della densità di corrente nel rotore risulteranno certamente normali.

La densità lineare *Afc* è:

$$Afc = \frac{I_{fs} \cdot 3\,Z}{\pi \cdot \varnothing_i} = \frac{4{,}97 \cdot 1584}{3{,}14 \cdot 12} = \frac{7872{,}48}{37{,}699} = 209$$

Prevedendo un rendimento dell'80,5% ed un $\cos\varphi = 0{,}83$ la potenza risulterà:

$$P_n = 660 \cdot 4{,}97 \cdot 0{,}805 \cdot 0{,}83 = 2190 \text{ W}$$

La corrente rotorica vale:

$$I_{sb} = K \cdot K_a \frac{n_c \cdot \text{fili/cava} \cdot I_{fs}}{n_{cr}} \cos\varphi = 0{,}95 \cdot 0{,}946 \frac{1584 \cdot 4{,}97}{44} 0{,}83 = 133{,}4 \text{ A}$$

Si avrà quindi:

$$\sigma_{sb} = \frac{133{,}4}{35} = 3{,}8 \text{ A/mm}^2$$

La corrente dell'anello si può ritenere:

$$I_{an} = 0{,}16\, I_{sb} \frac{n_{cr}}{p} = 0{,}16 \cdot 133{,}4 \cdot \frac{44}{2} = 469{,}57 \text{ A}$$

Conseguentemente la densità di corrente risulta:

$$\sigma_{an} = \frac{469{,}57}{120} = 3{,}91 \text{ A/mm}^2$$

I valori di σ_{sb} e σ_{an} concordano con quelli adottati normalmente dalle grandi ditte.

2) Motore monofase ad 1 polarità con condensatore per forte coppia.

Dati di targa. — Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 2900 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 1 - Potenza nominale 0,736 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 6 A - Collegamento del secondario in cortocircuito (v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* », es. n. 57).

Dimensioni principali statore e rotore:

Diametro interno	$\varnothing_i = 69$ mm
Lunghezza	$L_g = 75$ »
Altezza corona	$h_c = 16{,}5$ »
Dimensioni cave	$h = 13{,}5$ »
	$b_m = 8{,}59$ »
Larghezza dente	$z_m = 6{,}45$ »

Numero cave: statore 18 - rotore 23

Rotore in alluminio pressofuso - Barre (fuse in cave ovoidali) di 36,4 mm² - Sezione anelli = 135 mm²

Fili/cava e sezione conduttore. — In base ad una induzione nel traferro di 0,72 Wb/m² e ad un fattore di avvolgimento di 0,831 (secondo tav. CCXXXV) il numero dei conduttori per l'avvolgimento principale risulta:

$$Z = \frac{220}{113{,}5 \,.\, 0{,}831 \,.\, 0{,}069 \,.\, 0{,}075 \,.\, 0{,}72} = \frac{220}{0{,}488 \,.\, 0{,}72} = \frac{220}{0{,}3514} = 626$$

$$\text{fili/cava} = \frac{626}{12} = 52{,}16$$

che si arrotonda a 52 (Z = 624) - Adottando una densità di corrente di 7,5 A/mm², ossia dello stesso ordine di grandezza che di norma usa la Marelli per queste costruzioni, si avrà:

$$S_s = \frac{6}{7{,}5} = 0{,}8 \text{ mm}^2$$

Si potrebbe adottare il filo del diametro di 1 mm (sez. = 0,7854 mm²).

Avvolgimento ausiliario e capacità del condensatore. — Seguendo il criterio adottato di norma dalla Marelli (eguale numero di spire per i due avvolgimenti) si potrà stabilire senz'altro in 624 il numero dei fili dell'avvolgimento ausiliario e conseguentemente si avrà:

$$\text{fili/cava} = \frac{624}{6} = 104$$

Prevedendo una sezione pari al 45% di quella dell'avvolgimento principale si ha:

$$\text{sezione conduttore} = 0{,}45 \,.\, 0{,}7854 = 0{,}3534 \text{ mm}^2$$

La sezione commerciale più prossima è di 0,3318 mm², a cui corrisponde il diametro di 0,65 mm.

La capacità idonea per una forte coppia di spunto sarà:

$$C = \frac{3.000 \,.\, I}{V} = \frac{3.000 \,.\, 6}{220} = \frac{18.000}{220} = 81{,}8 \ \mu F$$

Potrebbe adottarsi, come s'è detto a pag. 446, una capacità dell'80% di quella ottenuta col calcolo, ossia di 65-66 μF, ma siccome è richiesta specificatamente una forte coppia di avviamento è da preferire un condensatore della capacità di 80 μF (*) (valore adottato della Marelli).

Verifiche. — Le verifiche si rendono necessarie solo nel caso che i dati dedotti col calcolo non concordino all'incirca con quelli dell'avvolgimento applicato in precedenza. Quindi nel caso in esame non occorrerebbe alcuna verifica. È buona norma, ripetiamo, rifare l'avvolgimento senza la più piccola variante se l'avvolgimento deteriorato è quello originario ossia applicato in fabbrica. Comunque i valori di B_{cs}, B_{ds}, σ_{sb} e σ_{an} sono tali da lasciare tranquilli sul funzionamento del motore riavvolto, anzi essi sono piuttosto modesti e pertanto vi sarà un certo compenso con il valore della densità di corrente nello statore che è un po' alto.

Essendo il valore apparente di $B_\delta = 0{,}722$ Wb/m² il flusso risulta:

$$\Phi_\delta = S_\delta \,.\, B_\delta = 0{,}637 \,.\, 0{,}075 \,.\, 0{,}1084 \,.\, 0{,}722 = 0{,}0037391 \text{ Wb}$$

e quindi si avrà:

$$B_{ds} = \frac{0{,}0037391}{0{,}002635} = 1{,}42 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cs} = \frac{1{.}021 \,.\, 0{,}037391}{2 \,.\, 0{,}0165 \,.\, 0{,}07125} = \frac{0.0038176}{0{,}00235125} = 1{,}62 \text{ Wb/m}^2$$

$$I_{sb} = 0{,}95 \,.\, 0{,}831 \,.\, \frac{624 \,.\, 6 \,.\, 0.83 \text{ (**)}}{23} = \frac{2452.3}{23} = 106{,}6 \text{ A}$$

$$I_{an} = 0{,}16 \,.\, 106{,}6 \,.\, 23 = 392{,}3 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{106{,}6}{36{,}4} = 2{,}9 \text{ A/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{392{,}3}{132} = 2{,}9 \text{ A/mm}^2$$

(*) V. tabella XXXVII.

(**) Vedasi la fig. 331 per il valore di $\cos\varphi$.

3) Motore a 2 velocità.

Dati di targa e dimensioni principali. — Motore asincrono (Fimet) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 3000/1500 giri/min (a p.c. 2820/1440 giri/min) - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 3,3/2,6 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 260 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 10,6/8,9 A - Corrente secondaria alla potenza nominale 122/269 A - Collegamento del primario YY (2 poli) / Δ (4 poli) e del secondario in cortocircuito.

Dimensioni principali statore e rotore (v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* » es. n° 34):

Diametro interno pacco statorico . . . . $\varnothing_i = 120$ mm
Lunghezza » » . . . $L_g = 88$ »
Altezza corona » » . . . . $h_c = 20{,}5$ »
Dimensioni cave . . . . . $h = 21$ », $b_m = 7{,}5$ »
Numero cave 36

Diametro esterno pacco rotorico . . . . $\varnothing_{er} = 119{,}4$ »
Dimensioni cave . . . . . $h = 11{,}5$ », $b_m = 3{,}5$ »
Numero cave rotore 43

Sezione barre = 37,7 mm² - Sezione anelli = 133 mm² - Densità di corrente nelle barrette 3,2/3,6 A/mm² - Densità di corrente negli anelli 6,3/3,5 A/mm²

Numero conduttori dell'avvolgimento statorico e fili/cava. — Trattandosi di un motore previsto per funzionamento a 2 velocità si può prefissare il valore dell'induzione nella corona per la maggiore velocità e determinare il valore corrispondente di B_δ. Per avere una buona utilizzazione ad entrambe le polarità si può ammettere per la corona una induzione di 1,85 Wb/m², a cui corrisponde il seguente valore di $B_{\delta 2}$:

$$B_{\delta 2} = \frac{2 \cdot Fs \cdot h_c \cdot p \cdot B_{cs}}{(1+c) \cdot \varnothing_i} =$$

$$= \frac{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0205 \cdot 1{,}85}{1{,}021 \cdot 0{,}12} = \frac{0{,}0721}{0{,}1225} = 0{,}5886 = \sim 0{,}59 \text{ Wb/m}^2$$

Adottando un avvolgimento a corona a 2 matasse/cava con passo $1 \div 10$, nel funzionamento a 2 poli (v. tav. CXLIV) il fattore d'avvolgimento K_a è di 0,676 ed il collegamento a doppia stella. Pertanto si avrà:

$$Z = \frac{2 \cdot V_f}{C \cdot K_a \cdot \varnothing_i \cdot L_g \cdot B_{\delta 2}} = \frac{2 \cdot 150}{113{,}5 \cdot 0{,}676 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}088 \cdot 0{,}59} = \frac{300}{0{,}478} = 627$$

$$\text{fili/cava} = \frac{627}{12} = 52{,}25$$

Si eseguirà l'avvolgimento con 52 fili/cava (624 fili/fase). Nel funzionamento a 4 poli $B_{\delta 4}$ assume un valore (apparente) usuale per questi motori, mentre B_{cs} risulta inferiore ai valori normalmente in uso; infatti:

$$B_{\delta 4} = \frac{2 \cdot 260}{114 \cdot 0{,}831 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}088 \cdot 624} = \frac{520}{624} = 0{,}833 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{\delta 4} = \frac{0{,}833 \cdot 0{,}01047}{0{,}95 \cdot 0{,}00483} = 1{,}9 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cs4} = \frac{1{,}021 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}833}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0205 \cdot 2} = \frac{0{,}10206}{0{,}0779} = 1{,}31 \text{ Wb/m}^2$$

Sezione del conduttore. — La sezione della cava risulta:

$$\text{sezione cava} = 21 \cdot 7{,}5 = 157{,}5 \text{ mm}^2$$

Con filo smaltato il coefficiente di riempimento cava può assumersi pari a 0,38; pertanto si avrà:

$$\text{sezione rame/cava} = 157{,}5 \cdot 0{,}38 = 59{,}85 \text{ mm}^2$$

$$\text{sezione filo} = \frac{59{,}85}{52} = 1{,}154 \text{ mm}^2$$

Si adotterà il filo di 12/10 (sezione = 1,131 mm²). La densità di corrente risulterà di 4,5 e 4,7 A/mm² rispettivamente alle potenze di 3,3 e di 2,6 kW.

Peso rame. — La lunghezza della spira media sarà:

$$L_{spm} = 2 \cdot (0{,}088 + 1{,}65 \cdot 0{,}0943) = 0{,}49 \text{ mm}$$

quindi la lunghezza totale dell'avvolgimento risulterà:

$$\text{lunghezza totale avvolgimento} = 0{,}49 \cdot 52 \cdot 18 = 458 \text{ m}$$

Tenendo conto dei collegamenti occorreranno circa 460 m.

$$\text{peso rame} = 460\,\frac{10{,}180}{1000} = 4{,}682 = \sim 4{,}7 \text{ kg}$$

Correnti rotoriche e densità relative. — In questo caso non sarebbe necessaria la verifica della densità di corrente nelle sbarre e negli anelli del rotore dato che la gabbia è stata dimensionata per funzionamento a 2 e 4 poli, ma riteniamo opportuno effettuare anche qui i calcoli relativi per mettere in evidenza la concordanza tra i risultati a cui si perviene col metodo da noi indicato e quelli ottenuti dai tecnici altamente qualificati delle grandi ditte.

Funzionamento a 4 poli. — In base ad un coefficiente $K = 0{,}9$ e ad un fattore di potenza $\cos\varphi = 0{,}81$ si ha:

$$I_{sb} = 0{,}9 \,.\, 0{,}831\,\frac{36 \,.\, 52 \,.\, 8{,}9/1{,}73}{43}\,0{,}81 = \sim 135 \text{ A}$$

$$I_{an} = 0{,}16 \,.\, 135\,\frac{43}{2} = 464{,}4 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{135}{37{,}7} = 3{,}58 \text{ A/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{464{,}4}{133} = 3{,}49 \text{ A/mm}^2$$

Funzionamento a 2 poli. — Per $\cos\varphi = 0{,}85$ e $K = 0{,}92$ si ha:

$$I_{sb} = 0{,}92 \,.\, 0{,}676\,\frac{36 \,.\, 52 \,.\, 5{,}3}{43}\,0{,}85 = \sim 122 \text{ A}$$

$$I_{an} = 0{,}16 \,.\, 122 \,.\, 43 = 839{,}36 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{122}{37{,}7} = 3{,}23 \text{ A/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{839{,}36}{133} = 6{,}3 \text{ A/mm}^2$$

Si è adottato per il coefficiente K un valore un po' più elevato che nel funzionamento a 4 poli specialmente in considerazione del maggiore rendimento del motore nel funzionamento a 2 poli.

4) Motore a 2 poli da riavvolgere per 2 velocità - 2 e 4 poli.

Dati di targa e dimensioni principali. — Motore asincrono (Marelli) - Velocità di rotazione a p.c. 2860 giri/min - Frequenza 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 3,7 kW - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 13,3/7,7 A - Corrente secondaria alla potenza nominale 228 A - Collegamento del primario Y/Δ e del secondario in cortocircuito - (v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* » es. n° 30).

Dimensioni principali statore e rotore:

Diametro interno pacco statorico	. .	$\varnothing_i$ = 110	mm
Lunghezza » »	. .	L_g = 58	»
Altezza corona » »	. .	h_c = 25	»
Dimensioni cave » »	.	h = 20	»
		b_m = 11	»
Numero cave 24			
Diametro esterno pacco rotorico	. .	$\varnothing_{er}$ = 109,1	»
Dimensioni cave » »	.	h = 17	»
		b_m = 4,5	»
Numero cave 29			

Sezione sbarre = 76 mm² - Sezione anelli = 245 mm²

Modifiche. — Da riavvolgere a 2 velocità - 2 e 4 poli - f = = 50 p/s - Tensione 220 V - Collegamento Δ (4 poli)/YY (2 poli).

Numero conduttori/fase e fili/cava. — Trattandosi di una macchina a 2 poli di costruzione relativamente recente possiamo adottare un valore di $B_{\delta 4}$ piuttosto alto per il funzionamento a 4 poli (*) e precisamente pari a 0,92 Wb/m². Il numero dei conduttori per fase per avvolgimento a 2 matasse/cava, con passo 1÷7 (v. tav. XCII) e collegamento a Δ risulta:

$$Z = \frac{2 \,.\, 220}{114 \,.\, 0{,}837 \,.\, 0{,}11 \,.\, 0{,}058 \,.\, 0{,}92} = \frac{440}{0{,}56} = 786$$

$$\text{fili/cava} = \frac{786}{8} = 98{,}25$$

Arrotondando a 98 i fili/cava l'induzione apparente nel traferro sarà di 0,922 Wb/m² e conseguentemente nella corona si avrà:

$$B_{cs4} = \frac{1{,}021 \,.\, 0{,}11 \,.\, 0{,}922}{2 \,.\, 0{,}95 \,.\, 0{,}025 \,.\, 2} = \frac{0{,}10355}{0{,}095} = 1{,}09 \text{ Wb/m}^2$$

ossia un valore assai basso.

(*) Calcolando Z per 2 poli con gli stessi valori adottati dalla ditta costruttrice ($B_\delta = \sim 0{,}82$ Wb/m² e $B_{cs} = 1{,}94$ Wb/m²), con lo stesso passo e collegamento a doppia stella si avrebbe:

$$Z = \frac{2 \,.\, 127}{113{,}5 \,.\, 0{,}677 \,.\, 0{,}11 \,.\, 0{,}058 \,.\, 0{,}82} = \frac{254}{0{,}402} = 632$$

Anche adottando 80 fili/cava l'induzione nel traferro nel funzionamento a 4 poli risulterebbe eccessivamente elevata e precisamente di 1,14 Wb/m².

Nel funzionamento a 2 poli (collegamento a doppia stella) si avrà:

$$B_{\delta 2} = \frac{2 \cdot 127}{113{,}5 \cdot 0{,}677 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}058 \cdot 784} = \frac{254}{384{,}16} = 0{,}661 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cs2} = \frac{1{,}021 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}661}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}025} = \frac{0{,}0742369}{0{,}0475} = 1{,}56 \text{ Wb/m}^2$$

Questi valori sono piuttosto bassi per un motore a 2 velocità di costruzione recente ed inferiori anche a quelli adottati dalla ditta costruttrice per lo stesso motore ad una sola velocità, quindi sarebbe utile, per attenuare l'inevitabile riduzione di potenza che si manifesta in questi casi, aumentare un po' l'induzione $B_{\delta 4}$. Però l'induzione nei denti dello statore assume già un valore tale da sconsigliare anche un piccolo aumento di $B_{\delta 4}$. Infatti l'induzione apparente B_{ds4} risulta:

$$B_{ds4} = \frac{0{,}922 \cdot 0{,}0144}{0{,}95 \cdot 0{,}0062} = \frac{0{,}0132768}{0{,}00589} = 2{,}25 \text{ Wb/m}^2$$

Questo valore pur essendo abbastanza alto è accettabile perchè nel funzionamento a 2 poli B_{ds2} risulta piuttosto basso ed anche perchè il probabile valore effettivo di B_{ds4} sarà contenuto entro i limiti usuali per questi motori.

Sezione conduttore e potenza alle 2 velocità. — In base alla stessa sezione del rame/cava dell'avvolgimento originario si ha:

$$\text{sez. rame/cava} = 56 \times 1{,}327 = 74{,}31 \text{ mm}^2$$

$$S_c = \frac{74{,}31}{98} = 0{,}758 \text{ mm}^2$$

Si può adottare il filo smaltato all'acetale di vinile con diametro $\varnothing_{cn} = 1$ mm (sez. = 0,7854 mm^2).

Prevedendo per il funzionamento a 2 poli: $\eta = 0{,}79$, $\cos\varphi = 0{,}84$ e $\sigma = 5{,}7$ A/mm^2 e per il funzionamento a 4 poli: $\eta = 0{,}77$, $\cos\varphi = 0{,}81$ e $\sigma = 5{,}4$ A/mm^2 si avrà:

$$I_{f4} = 0{,}7854 \times 5{,}4 = 4{,}24 \text{ A}$$
$$I_{f2} = 0{,}7854 \times 5{,}7 = 4{,}48 \text{ A}$$
$$I_4 = 4{,}24 \times 1{,}73 = 7{,}33 \text{ A}$$
$$I_2 = 4{,}48 \times 2 = 8{,}96 \text{ A}$$
$$P_{n4} = 1{,}73 \cdot 220 \cdot 7{,}33 \cdot 0{,}77 \cdot 0{,}81 = 1737 \text{ W}$$
$$P_{n2} = 1{,}73 \cdot 220 \cdot 8{,}96 \cdot 0{,}79 \cdot 0{,}84 = 2259 \text{ W}$$

La potenza, malgrado l'elevato valore dell'induzione B_{ds4}, risulta notevolmente ridotta rispetto al funzionamento ad una velocità (a 4 poli meno della metà e a 2 poli da 5 a 3 cav circa).

Verifica delle correnti del rotore. - Funzionamento a 2 poli:

$$I_{sb} = 0{,}93 \cdot 0{,}677 \frac{24 \cdot 98 \cdot 4{,}48}{29} 0{,}84 = \frac{5572}{29} = 192 \text{ A}$$

$$I_{an} = 0{,}16 \cdot 192 \cdot 29 = 890{,}88 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{192}{76} = 2{,}52 \text{ A/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{890{,}88}{245} = 3{,}63 \text{ A/mm}^2$$

Funzionamento a 4 poli:

$$I_{sb} = 0{,}92 \cdot 0{,}837 \frac{24 \cdot 98 \cdot 4{,}24}{29} 0{,}81 = \frac{6210}{29} = 214 \text{ A}$$

$$I_{an} = 0{,}16 \cdot 214 \frac{29}{2} = 496 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{214}{76} = 2{,}81 \text{ A/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{496}{245} = 2{,}02 \text{ A/mm}^2$$

Com'era da prevedersi, i valori delle densità di corrente risultano sensibilmente inferiori a quelli che si adottano normalmente.

5) Motore a 4 poli da riavvolgere per 2 velocità - 2 e 4 poli.

Dati di targa e dimensioni principali. — Motore asincrono (C.G.E.) - Velocità di rotazione a p.c. 1430 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 2,2 kW - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 8,6 A - Collegamento del primario a Δ e del secondario in cortocircuito (v. « *Esempi costruttivi di motori asincroni* » esempio n° 28).

Modifiche. — Lo statore dovrà essere riavvolto per funzionamento a 2 velocità - 2 e 4 poli - 50 p/s - 380 V - Collegamento doppia stella (4 poli)/triangolo (2 poli).

Numero conduttori/fase e fili/cava. — In base ad una induzione nella corona pari a 1,8 Wb/m^2 nel funzionamento a 2 poli si avrà:

$$B_{\delta 2} = \frac{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0185 \cdot 1{,}8}{1{,}021 \cdot 0{,}12} = \frac{0{,}06327}{0{,}12252} = 0{,}516 \text{ Wb/m}^2$$

Per avvolgimento a corona con passo $1 \div 10$ (v. tav. CXLV) e collegamento a triangolo si avrà:

$$Z = \frac{380}{113.5 \,.\, 0.676 \,.\, 0,12 \,.\, 0,08 \,.\, 0,516} = \frac{380}{0,38} = 1000$$

$$\text{fili/cava} = \frac{1000}{12} = 83,33$$

che si arrotonda a 84 ($Z = 84 \times 12 = 1008$).

Nel funzionamento a 4 poli $B_{\delta 4}$ risulta:

$$B_{\delta 4} = \frac{2 \,.\, 2 \,.\, 220}{114 \,.\, 0,831 \,.\, 0,12 \,.\, 0,08 \,.\, 1008} = \frac{880}{916,67} = 0,96 \text{ Wb/m}^2$$

Questo valore è molto più alto di quello adottato dalla ditta costruttrice ($B_\delta = 0,8$ Wb/m^2) e pertanto si ritiene opportuno ridurre l'induzione $B_{\delta 4}$ a 0,9 Wb/m^2. Conseguentemente si avrà:

$$Z = \frac{880}{114 \,.\, 0,831 \,.\, 0,12 \,.\, 0,08 \,.\, 0,9} = \frac{880}{0,8185} = 1075$$

$$\text{fili/cava} = \frac{1075}{12} = 89,58$$

che si arrotonda a 90 ($90 \times 12 = 1080$); così l'induzione nel traferro $B_{\delta 4} = 0,896$ Wb/m^2. Con 1080 fili/fase l'induzione nella corona, sia nel funzionamento a 2 poli che a 4 poli, risulta inferiore ai valori normalmente in uso per motori moderni a 2 velocità, mentre l'induzione apparente nei denti assume un valore discretamente alto ed ogni ulteriore aumento delle sollecitazioni magnetiche potrebbe dare luogo ad inconvenienti vari. Infatti:

$$B_{\delta 2} = \frac{380}{113,5 \,.\, 0,676 \,.\, 0,12 \,.\, 0,08 \,.\, 1080} = \frac{380}{795,5} = 0,477 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cs2} = \frac{1,021 \,.\, 0,12 \,.\, 0,477}{2 \,.\, 0,95 \,.\, 0,0185} = \frac{0,058422}{0,03515} = 1,66 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cs4} = \frac{1,021 \,.\, 0,12 \,.\, 0,896}{2 \,.\, 0,95 \,.\, 0,0185 \,.\, 2} = \frac{0,10985}{0,0703} = 1,56 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{ds4} = \frac{0,896 \,.\, 0,01047}{0,95 \,.\, 0,0045} = \frac{0,009381}{0,004275} = 2,19 \text{ Wb/m}^2$$

Sezione del conduttore. — In base alla stessa sezione rame/cava dell'avvolgimento originario si ha:

$$\text{sez. rame/cava} = 1,0387 \,.\, 44 = 45,7 \text{ mm}^2$$

$$S_c = \frac{45,7}{90} = 0,508 \text{ mm}^2$$

Si adotterà il filo smaltato con $\varnothing_{cn} = 0,8$ mm (sezione $= 0.5027$ mm^2).

Potenza. — Prevedendo per il funzionamento a 2 poli: $\eta = 0,81$, $\cos\varphi = 0,83$ e $\sigma = 5,5$ A/mm^2 e per il funzionamento a 4 poli: $\eta = 0,79$, $\cos\varphi = 0,81$ e $\sigma = 5$ A/mm^2 si ha:

$$I_{f2} = 5,5 \,.\, 0,5027 = 2,76 \text{ A}$$

$$I_{f4} = 5 \,.\, 0,5027 = 2,51 \text{ A}$$

$$I_2 = 2,76 \,.\, 1,73 = 4,77 \text{ A}$$

$$I_4 = 2,51 \,.\, 2 = 5,02 \text{ A}$$

$$P_{n2} = 3 \,.\, 220 \,.\, 4,77 \,.\, 0,81 \,.\, 0,83 = 2116 \text{ W}$$

$$P_{n4} = 3 \,.\, 220 \,.\, 5,02 \,.\, 0,79 \,.\, 0,81 = 2120 \text{ W}$$

Si avrà praticamente una potenza costante e di poco inferiore a quella indicata dalla ditta costruttrice per il funzionamento ad una sola velocità.

Correnti rotoriche e densità relative. — Per funzionamento a 2 poli si avrà:

$$I_{sb} = 0,93 \,.\, 0,676 \frac{36 \,.\, 90 \,.\, 2,76}{44} 0,83 = \frac{466,6}{44} = 106 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{106}{35} = 3,03 \text{ A/mm}^2$$

$$I_{an} = 0,16 \,.\, 106 \,.\, 44 = 746,24 \text{ A}$$

$$\sigma_{an} = \frac{746.24}{120} = 6,21 \text{ A/mm}$$

Per funzionamento a 4 poli si avrà:

$$I_{ab} = 0{,}91 \cdot 0{,}831 \frac{36 \cdot 90 \cdot 2{,}51}{44} \cdot 0{,}81 = \frac{4981}{44} = 113{,}2 \text{ A}$$

$$\sigma_{ab} = \frac{113{,}2}{35} = 3{,}23 \text{ A/mm}^2$$

$$I_{an} = \frac{0{,}16 \cdot 113{,}2 \cdot 44}{2} = 398{,}46 \text{ A}$$

$$\sigma_{an} = \frac{398{,}46}{120} = 3{,}32 \text{ A/mm}^2$$

Nel funzionamento a 2 poli la densità di corrente negli anelli risulta un po' alta per gabbia in alluminio, ma per le migliori condizioni di raffreddamento degli anelli anche questo valore può ritenersi accettabile per motore a 2 velocità.

6) Motore a 4 poli da riavvolgere per 2 velocità - 4 e 8 poli.

Dati di targa e dimensioni principali. — Come esempio precedente.

Fili/cava, sezione conduttore e potenza. — Per potere effettuare utili raffronti assumeremo per la maggiore polarità lo stesso valore dell'induzione nel traferro dell'esempio precedente ed anche lo stesso collegamento per lo statore (doppia stella per la maggiore polarità e triangolo per la minore). Per avvolgimento a 2 matasse/cava con passo $1 \div 6$ si avrà:

$$Z = \frac{2 \cdot 4 \cdot 220}{115 \cdot 0{,}831 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}9} = \frac{1760}{0{,}8257} = 2131$$

$$\text{fili/cava} = \frac{2131}{12} = 177{,}58$$

che, trattandosi di avvolgimento a 2 matasse/cava, si arrotonda a 178.

$$S_e = \frac{45{,}7}{178} = 0{,}2567 \text{ mm}^2 \quad ; \quad Z_e = 178 \cdot 12 = 2136$$

Si impiegherà il filo di 0,58 mm, con sezione = 0,2642 mm^2. Prevedendo: $\eta_4 = 0{,}75$, $\cos\varphi_4 = 0{,}80$, $\eta_8 = 0{,}71$, $\cos\varphi_8 = 0{,}72$ ed una densità per entrambe le polarità di 5 A/mm^2 si avrà:

$$I_{f8} = I_{f4} = 0{,}2642 \cdot 5 = 1{,}32 \text{ A}$$

$$I_4 = 1{,}73 \cdot 1{,}32 = 2{,}28$$

$$I_8 = 2 \cdot 1{,}32 = 2{,}64 \text{ A}$$

$$P_{n4} = 3 \cdot 220 \cdot 2{,}28 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}80 = 903 \text{ W}$$

$$P_{n8} = 3 \cdot 220 \cdot 2{,}64 \cdot 0{,}71 \cdot 0{,}72 = 891 \text{ W}$$

La riduzione di potenza è troppo forte; dal confronto con l'esempio che precede si può affermare che la modifica della velocità è consigliabile solo per motori a 2 oppure a 4 poli da riavvolgere per 2 velocità non diverse da 2 e 4 poli.

Verifiche. — In questo caso non è necessaria la verifica dell'induzione nella corona perchè essa sarà sicuramente modesta tanto nel funzionamento a 8 poli che in quello a 4 poli; nel funzionamento a 4 poli l'induzione B_{cs4} sarà bassa per il fatto che anche il valore di $B_{\delta 4}$ è basso ($B_{\delta 4} = 0{,}442$ Wb/m^2 e $B_{cs4} = 0{,}77$ Wb/m^2). Anche la densità di corrente nelle sbarre nel funzionamento a 8 poli sarà inferiore ai valori usuali dato che la potenza risulta notevolmente ridotta (meno della metà della potenza originaria indicata sulla targa).

In casi del genere è invece indispensabile controllare se il valore dell'induzione nei denti dello statore nel funzionamento alla maggiore polarità si mantiene entro limiti passabili; nel funzionamento a 8 poli si avrà:

$$B_{\delta 8} = \frac{1760}{115 \cdot 0{,}831 \cdot 0{,}12 \cdot 0.08 \cdot 2136} = \frac{1760}{1959{,}56} = 0{,}898 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{ds8} = \frac{0{,}898 \cdot 0{,}01047}{0{,}95 \cdot 0{,}0045} = \frac{0{,}009402}{0{,}004275} = 2{,}2 \text{ Wb/m}^2$$

Anche qui l'induzione nei denti è un po' alta, ma non tanto da pregiudicare il regolare funzionamento del motore. Con valori un po' più bassi di B_{ds8} la riduzione di potenza risulterebbe ancora più forte.

Questi ultimi tre esempi di calcolo, relativi a motori normali ad una sola polarità da riavvolgere per 2 velocità, mostrano chiaramente che solo adottando per la maggiore polarità induzioni nel tra-

ferro superiori a quelle in uso per i motori ad una polarità, e conseguentemente portando l'induzione apparente nei denti verso i 2,1-2,2 Wb/m^2, si riesce a limitare la riduzione di potenza, che in molti casi risulta tuttavia ancora notevole.

Ad evitare di dover ripetere i calcoli qualora, in sede di controllo, l'induzione nei denti risultasse poi eccessiva, può riuscire utile prefissare il valore massimo dell'induzione nei denti per la maggiore polarità e determinare in base ad esso il corrispondente valore dell'induzione nel traferro.

Calcolo del reostato di avviamento

Normalmente il calcolo del reostato di avviamento va impostato in base a dati dedotti dal diagramma circolare. La resistenza da inserire su ogni fase del rotore per una data coppia di avviamento è determinata dalla relazione:

$$R_a = R_r\left(\frac{100}{s\%} - 1\right)$$

dove: R_a = resistenza di una fase del reostato in ohm; R_r = resistenza di una fase dell'avvolgimento rotorico in ohm; $s\%$ scorrimento in % corrispondente alla coppia richiesta, relativo però alla sola resistenza R_r dell'avvolgimento rotorico, ossia a reostato completamente escluso (anelli cortocircuitati).

Per ogni valore della coppia si ha direttamente dal diagramma circolare il valore dello scorrimento.

Per evitare la costruzione del diagramma circolare tratteremo di un metodo approssimato di facile e rapida applicazione e che conduce sempre a risultati accettabili.

Durante la marcia la coppia motrice è all'incirca proporzionale allo scorrimento; quindi ad ogni valore dello scorrimento $s\%$ corrisponde un determinato valore della coppia motrice. Si può ottenere all'avviamento, ossia con scorrimento 100%, la stessa coppia che si ha con un dato scorrimento in %, purchè la resistenza complessiva per fase del rotore $(R_a + R_r)$ stia alla resistenza per fase dell'avvolgimento (R_r) come lo scorrimento all'avviamento (100%) sta allo scorrimento $s\%$ prefissato, ossia:

$$\frac{R_a + R_r}{R_r} = \frac{100}{s\%}$$

pertanto la resistenza di avviamento vale ancora:

$$R_a = R_r\left(\frac{100}{s\%} - 1\right)$$

Quindi, tenuto anche conto che nelle buone costruzioni la coppia motrice normale di pieno carico è circa la metà della coppia massima e che lo scorrimento normale di pieno carico può essere dedotto dai dati di targa (*), è sempre possibile stabilire, in base alla coppia di avviamento richiesta, il valore più appropriato dello scorrimento.

La resistenza R_r si misura col solito metodo voltamperometrico.

Per potere determinare la sezione della resistenza d'avviamento bisogna conoscere l'intensità della corrente di avviamento nel rotore $(I_{avv.r})$. Questa intensità per una coppia di avviamento pari a quella di pieno carico vale:

$$I_{avv.r} = I_{fs}\frac{E_{fs}}{E_{fr}}$$

dove: I_{fs} = corrente di fase di pieno carico assorbita dallo statore; $E_{fs} = f\,e\,m$ di fase statorica, praticamente eguale alla tensione di fase applicata; $E_{fr} = f\,e\,m$ di fase del rotore. Questa $f\,e\,m$ si misura (a rotore fermo) con un voltmetro derivato tra due anelli; durante la misura bisogna girare lentamente il rotore fino ad ottenere il valore massimo (il valore della $f\,e\,m$ dipende dalla posizione del rotore rispetto allo statore).

Per valori della coppia di avviamento diversi da quello di pieno carico si può ritenere che la corrente assorbita dallo statore varii proporzionalmente alla coppia richiesta.

La resistenza di ciascuna fase del reostato va suddivisa in un certo numero di parti o sezioni, tanto maggiore quanto più alta è la potenza del motore. In pratica la ripartizione si fa quasi sempre in base alla tabella LXX.

(*) Noto il numero dei giri/min del campo rotante $n_o = \frac{60f}{p}$ (f = frequenza in p/s e p = paia poli) ed il numero dei giri/min del rotore n (indicato sulla targa) si ha lo scorrimento in % nel funzionamento a pieno carico:

$$s\% = \frac{n_o - n}{n_o}\,100$$

Lo scorrimento in % si può dedurre anche, approssimativamente, dalla tabella LX.

Numero sezioni del reostato di avviamento

TABELLA LXX

Potenza - kW	fino a 10	10 ÷ 25	25 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200
Numero delle sezioni	3 ÷ 4	5	6	7	8 ÷ 9

Per la suddivisione della resistenza d'avviamento consigliamo i valori della tabella LXXI.

Resistenza di ogni sezione in % della resistenza d'avviamento

TABELLA LXXI

Numero delle sezioni	Tratti iniziali ←								→ Tratti finali
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9
3	54	27	19	—	—	—	—	—	—
4	45	29	18	8	—	—	—	—	—
5	37	28	19	9	7	—	—	—	—
6	32	25	19	13	6,5	4,5	—	—	—
7	28	23	18	14	9	5	3	—	—
8	25	22	17	13	10	7	3,5	2,5	—
9	23	20	17	14	11	6,5	4	2,5	2

Diminuendo il valore dei tratti iniziali ed aumentando quello dei tratti finali si ha un reostato per accelerazione lenta.

Per la costruzione dei reostati si usano le solite leghe ad alta resistività (nichelina, cupromina, argentana, ecc.).

La resistività delle leghe (fili o piattine) impiegate nei reostati è compresa fra 0,3 e 0,6 $\Omega \cdot mm^2/m$ (il nichelcromo si usa in casi speciali). La densità di corrente dipende sia dal diametro del conduttore che dal tempo di avviamento. Per le leghe comunemente usate ($\rho = 0{,}4 \div 0.5\ \Omega \cdot mm^2/m$) la densità di corrente può dedursi della tabella LXXII.

Stabilita la densità di corrente σ si deduce il valore della sezione:

$$S_{ra} = \frac{I_{arv} \cdot r}{\sigma}$$

Note la sezione S_{ra}, la resistività ρ e la resistenza di avviamento per fase R_a, si determina la resistenza r delle singole sezioni (v. tabella LXXI) e la relativa lunghezza in metri:

$$l = \frac{S_{ra} \cdot r}{\rho} \text{ (m)}$$

Evidentemente l'operazione va ripetuta tante volte quante sono le sezioni del reostato.

Densità di corrente nei reostati d'avviamento

TABELLA LXXII

Potenza kW	Tempo d'avviamento s	Densità di corrente A/mm²	OSSERVAZIONI
0,736	6	16	I valori della densità di corrente si riferiscono ad una temperatura massima della resistenza di 150° C. Per 200° C, a parità di tempo di avviamento, la densità può essere aumentata del 25% e per 300° del 50%.
1,472	8	15	
3,68	12	13	
7,36	18	11	
14,72	23	10	
22,08	25	9,5	
29,44	28	9	
36,8	30	9	

È buona norma adottare per gli ultimi tratti una sezione un po' maggiore di quella ottenuta col calcolo, sia perchè le ultime sezioni rimangono in funzione più a lungo, sia perchè esse sono soggette ad essere sovraccaricate nelle manovre di avviamento troppo rapide o irregolari.

Le resistenze metalliche possono essere disposte sia in aria che in olio. Per i reostati in olio si possono adottare densità di corrente più elevate dato che l'olio ha una maggiore capacità termica ed un più elevato coefficiente di dispersione del calore dell'aria.

Nel caso siano previsti frequenti avviamenti del motore bisogna ridurre adeguatamente la densità di corrente.

Il volume d'olio è funzione della potenza del motore e della velocità di avviamento. In linea di massima si può ritenere sufficiente un volume pari ad ½ litro per kW di potenza del motore per avviamenti normali e 1 litro per kW per avviamenti molto lenti.

Esempio di calcolo di un reostato di avviamento (coppia di avviamento pari a quella normale di pieno carico). — Motore asincrono - Numero delle fasi 3 - Corrente assorbita alla potenza nominale 18,8 A - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220 V - Collegamento del primario e del secondario a Y.

Resistenza di fase del rotore: $R_r = 0{,}027\ \Omega$

$f\,e\,m$ di fase del rotore: $E_{fr} = 15{,}5$ V

Scorrimento in % a pieno carico: $s\% = 4{,}76\%$

Resistenza per fase del reostato:

$$R_a = R_r\left(\frac{100}{s\%} - 1\right) = 0{,}027\left(\frac{100}{4{,}76} - 1\right) = 0{,}027 \cdot 20 = 0{,}54\ \Omega$$

Corrente massima nel rotore all'avviamento:

$$I_{avv \cdot r} = I_{fs}\frac{V_{fs}}{E_{fr}} = 18{,}8\ \frac{127}{15{,}5} = 154\ \text{A}$$

In base alla potenza ($\sim$ 5 kW) possiamo adottare un reostato con 4 sezioni i cui valori risultano:

$$r_1 = 0{,}45 \times 0{,}54 = 0{,}243\ \ \Omega$$

$$r_2 = 0{,}29 \times 0{,}54 = 0{,}1566\ »$$

$$r_3 = 0{,}18 \times 0{,}54 = 0{,}0972\ »$$

$$r_4 = 0{,}08 \times 0{,}54 = 0{,}0432\ »$$

Per avviamento normale ($\sim$ 12 secondi) e temperatura massima della resistenza di 200° C, si può adottare una densità di corrente di 15 A/mm^2; quindi occorre una sezione:

$$S_{ra} = \frac{I_{avv \cdot r}}{\sigma} = \frac{154}{15} = 10{,}26\ \text{mm}^2$$

Impiegando della piattina di nichelina con $\rho = 0{,}5\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ le lunghezze dei singoli tratti o sezioni risultano:

$$l_1 = \frac{10{,}26 \cdot 0{,}243}{0{,}5} = 4{,}986\ \text{m}$$

$$l_2 = \frac{10{,}26 \cdot 0{,}1566}{0{,}5} = 3{,}21\ \text{m}$$

$$l_3 = \frac{10{,}26 \cdot 0{,}0972}{0{,}5} = 1{,}994\ \text{m}$$

$$l_4 = \frac{10{,}26 \cdot 0{,}0432}{0{,}5} = 0{,}886\ \text{m}$$

Totale 11,076 m

Quindi occorrono, per le 3 fasi, $\sim$ 33 m di nichelina della sezione di $\sim$ 10,26 mm^2.

CALCOLO COMPLETO DI UN MOTORE ASINCRONO

Dimensionamento del pacco lamiere e calcolo degli avvolgimenti

Per il dimensionamento del pacco lamiere e per il calcolo dell'avvolgimento statorico e di quello rotorico vale quanto è stato detto precedentemente. Per maggiore chiarezza riepiloghiamo brevemente il metodo da noi seguito.

1) Si calcola il valore del prodotto $\varnothing_i . L_g$ e poscia quello di $\varnothing_i$ e di L_g (v. cap. XI);

2) si determina il valore del traferro e quindi il diametro esterno del rotore;

3) scelto il numero di cave per polo-fase, si fissa il numero di cave dello statore ed in base al passo d'avvolgimento ritenuto più idoneo si determina il fattore d'avvolgimento K_a;

4) si determina il numero dei fili in serie per fase Z ed il numero dei fili/cava;

5) in base al valore del rendimento previsto ed a quello del fattore di potenza di pieno carico si calcola il valore della corrente di fase I_{fs} e la densità lineare Afc;

6) in base alla densità di corrente si determina la sezione del filo dell'avvolgimento statorico e quindi si sceglie la sezione commerciale più adatta, poi si trova la sezione rame/cava ed infine, in fun-

zione del coefficiente di riempimento cava, si stabilisce la sezione della cava dello statore;

7) si determina la larghezza dei denti, la forma e le dimensioni delle cave dello statore. Consigliamo, ripetiamo, di adottare denti di larghezza costante e cave di forma trapezoidale con fondo cava concentrico alla circonferenza esterna, raccordato ai fianchi con adatto raggio di curvatura, oppure cave con fondo semicircolare. Stabilita l'induzione nei denti B_{ds}, preferibilmente in prima approssimazione pari ad 1,7-1,75 Wb/ m^2, la larghezza del dente risulta, come si è già detto:

$$z_s = \frac{B_\delta \cdot L_g \cdot \tau_{zs}}{L_a \cdot B_{ds}} = \frac{B_\delta \cdot \tau_{zs}}{Fs \cdot B_{ds}} \text{ (m)}$$

oppure:

$$S_{ds} = \frac{\Phi_{\delta e}}{B_{ds}} \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{e} \quad z_s(*) = \frac{2\,p \cdot S_{ds}}{\alpha_e \cdot n_{cs} \cdot L_a} \text{ (m)}$$

quindi si stabilisce il taglio delle cave (**), in base al diametro del filo isolato, e lo spessore dei becchi e poscia si determina l'altezza dei denti h_{ds} (v. « *Esempi di calcolo* »).

8) si fissa l'altezza della corona in base all'induzione B_{cs} a pieno carico ritenuta più appropriata e precisamente:

$$h_c = \frac{(1+c)\,\Phi_{\delta e}}{2 \cdot L_a \cdot B_{cs}} \text{ (m)} \quad \text{oppure} \quad h_c = \frac{(1+c) \cdot \pi\, \varnothing_i \cdot B_{\delta e}}{2 \cdot Fs \cdot 2p \cdot B_{cs}} \alpha_e \text{ (m)}$$

e quindi il diametro esterno $\varnothing_e$ del lamierino:

$$\varnothing_e = \varnothing_i + 2\,h_{ds} + 2\,h_{cs}$$

tenendo conto anche dell'eventuale rettifica del pacco;

9) calcolato il valore della corrente nelle sbarre e negli anelli se ne determinano le relative sezioni; con gabbia in rame la forma delle sbarre sarà preferibilmente rettangolare, con rapporto tra altezza e larghezza compreso tra 3 e 5; con una ventolina la densità si terrà sui 5-6 A/mm^2 o poco più. Con gabbia in alluminio le cave sono quasi sempre di forma ovoidale e la densità di corrente è di norma compresa tra 3 e 4 A/mm^2, con qualche punta verso i 5 A/mm^2.

(*) Se la curva di campo può ritenersi sinusoidale $\alpha_e = \alpha = 2/\pi$ (per maggiori particolari vedasi « Effetto della saturazione magnetica del ferro ») potrà adottarsi la nota relazione:

$$z_s = 1{,}57 \cdot \frac{2\,p \cdot S_{ds}}{n_{cs} \cdot L_a} \text{ (m)}$$

(**) Il taglio delle cave si fa il più piccolo possibile (esso influisce sul coefficiente di Carter), compatibilmente però con la condizione che possa poi consentire un rapido montaggio dell'avvolgimento.

10) in base alle dimensioni delle sbarre si stabiliscono le dimensioni delle cave, prevedendo un lieve gioco per quelle in rame (circa 0,5 mm);

11) per il foro dell'albero consigliamo di attenersi ai valori indicati nelle tabelle XLI ÷ XLV; in linea di massima l'albero dev'essere tanto più largamente proporzionato quanto più piccolo è il traferro.

Osservazioni

Non abbiamo ritenuto opportuno esaminare compiutamente, da un punto di vista scientifico, un metodo razionale di calcolo di un motore asincrono sia perchè ciò esula dalle finalità dell'opera, sia perchè esistono già opere pregevoli per chi voglia formarsi cognizioni abbastanza profonde, ed anche perchè siamo piuttosto scettici sui risultati che possono ottenersi dall'applicazione indiscriminata di formule complesse ed eccessivamente teoriche.

Ricordiamo che gli elementi noti sono: potenza, tensione, frequenza e velocità di rotazione e che altri elementi basilari per un calcolo razionale sono: prezzo minimo di materie prime e di manodopera, rendimento e fattore di potenza elevati, capacità di sovraccarico e coppia di avviamento sufficienti, grande sicurezza di funzionamento.

La densità di corrente si terrà tanto più bassa quanto maggiore è lo spessore dell'isolamento in cava e la lunghezza del pacco lamiere.

Per limitare la reattanza è necessario tenere bassa la somma delle correnti per cava ($I_{cava} = I_f \cdot$ fili/cava); il valore di I_{cava} non deve superare i 600-700 ampere per i motori di piccola potenza a bassa tensione.

Se si vuole ottenere un motore robusto con una coppia massima elevata si sceglierà per l'induzione B_δ il valore più alto possibile; naturalmente risulterà assai elevata la corrente a vuoto e basso il fattore di potenza.

Qualora il valore del fattore di potenza risultasse però troppo basso si potrà ridurre, se possibile, il traferro, altrimenti non rimane che aumentare le dimensioni del circuito magnetico.

Per ottenere una capacità di sovraccarico ed un fattore di potenza elevati bisogna scegliere il rapporto $L_g / \varnothing_i$ alto e ciò comporta anche una economia di rame ed una riduzione delle perdite per effetto joule, però questa riduzione è in parte compensata da una maggiore perdita nel ferro (normalmente il peso del ferro dello statore aumenta con il rapporto $L_g / \varnothing_i$).

Per motori asincroni con rotore in cortocircuito di piccola potenza, ripetiamo, oggi si adotta quasi esclusivamente la costruzione chiusa con ventilazione esterna; la potenza di questo motore è praticamente dello stesso valore di quello di un motore di tipo aperto, a parità di caratteristiche e di condizioni di funzionamento (*).

Resistenza per fase dell'avvolgimento statorico e di quello rotorico ridotta a statore

La lunghezza totale dell'avvolgimento statorico sarà:

$$\text{lungh. avvolg. statorico} = L_{spm} \cdot 3\,Z/2 = L_{spm} \cdot \frac{n_c}{2} \cdot \text{fili/cava (m)}$$

e la resistenza per fase a 75° C:

$$R_s = 0{,}0213 \frac{\text{lunghezza totale}}{3 \cdot S_s} \ (\Omega)$$

oppure:

$$R_s = \frac{\text{resistenza per 1000 metri a 75°}}{1000} \cdot \frac{\text{lunghezza totale}}{3} \ (\Omega)$$

La resistenza a 75° C di una sbarra del rotore e quella di un anello saranno rispettivamente:

$$r_{sb} = \frac{0{,}0213 \cdot l_{sb}}{S_{sb}} \ (\Omega)$$

$$r_{an} = \frac{0{,}0213 \cdot \pi \varnothing_{an}}{S_{an}} \ (\Omega)$$

dove: l_{sb} = lunghezza di una sbarra in m diminuita all'incirca della larghezza di un anello; S_{sb} = sezione della sbarra in mm^2; $\varnothing_{an}$ = diametro medio dell'anello in m; S_{an} = sezione dell'anello in mm^2.

(*) Fino a non molto tempo fa la potenza di un motore ermeticamente chiuso a funzionamento continuo risultava poco più della metà di quella di un motore aperto, naturalmente a parità di dimensionamento (pacco lamiere ed avvolgimenti) e di classe d'isolamento.

La resistenza equivalente (*) totale di un rotore a gabbia risulta:

$$R_r = n_{cr} \cdot r_{sb} + 2\,r_{an} = n_{cr} \cdot r_{sb} + 0{,}2\,r_{an} \left(\frac{n_{cr}}{2p}\right)^2 (\Omega)$$

La resistenza di rotore ridotta ad una fase di statore sarà:

$$R_{rs}(**) = \frac{R_r}{3}\left(\frac{3\,Z}{n_{cr}} \cdot K_{as}\right)^2 (\Omega)$$

Reattanza per fase dello statore e del rotore ridotta a statore

Le reattanze di una macchina asincrona dipendono, come per le altre macchine dal flusso di dispersione del primario e del secondario; tali flussi sono concatenati rispettivamente soltanto con i conduttori dello statore o con quelli del rotore. Anche i procedimenti di calcolo più rigorosi e laboriosi non consentono di raggiungere una grande precisione a causa delle incertezze nella valutazione di alcuni elementi; pertanto noi ci atterremo alle formule approssimate del *Rebora*, basate su coefficienti desunti dall'esperienza, che assicurano sempre risultati abbastanza buoni. Le due formule sono le seguenti:

$$X_s = 2\pi f \cdot (\text{fili/cava})^2 \cdot q \cdot 2p \cdot L_a \cdot K \cdot 10^{-5} \ (\Omega)$$

$$X_{rs}(***) = (0{,}55 \div 0{,}60) \cdot f \cdot L_a \cdot \frac{Z^2}{n_{cr}} \cdot 10^{-4} \ (\Omega)$$

(*) R_r costituisce la resistenza equivalente perchè se essa fosse percorsa dalla corrente delle sbarre I_{sb} darebbe luogo alla stessa perdita nel rame che si avrebbe in r_{sb} ed r_{an} percorse rispettivamente dalle correnti I_{sb} e I_{an}. Infatti:

$$P_{cur} = n_{cr} \cdot r_{sb} \cdot I^2_{sb} + 2\,r_{an}\,I^2_{an} = \left[n_{cr} \cdot r_{sb} + 2\,r_{an}\left(0{,}32\,\frac{n_{cr}}{2p}\right)^2\right] I^2_{sb} =$$

$$= \left[n_{cr} \cdot r_{sb} + 0{,}2\,r_{an}\left(\frac{n_{cr}}{2p}\right)^2\right] I^2_{sb}$$

Il termine tra parentesi quadra costituisce appunto la resistenza equivalente totale.

(**) Nel rotore a gabbia tanto il fattore di distribuzione K_{dr} che il fattore di passo K_{pr} sono eguali all'unità e quindi anche $K_{ar} = 1$; infatti in un rotore a gabbia il numero delle fasi è eguale al numero di sbarre per paia poli, ossia a n_{cr}/p, e nel caso che n_{cr} e p siano primi fra loro il numero delle fasi è uguale a n_{cr}.

$$\left(q = \frac{n_{cr}}{\frac{n_{cr}}{p} \cdot 2p} = \frac{n_{cr} \cdot p}{n_{cr} \cdot 2p} = 1/2;\ \text{per } q = 1/2 \text{ si ha appunto } K_d = 1\right).$$

(***) Il valore di X_{rs} si mantiene di solito tra 0,4 e 0,5 di X_s, ossia $X_{rs} = (0{,}4 \div 0{,}5)\ X_s$.

dove: X_s e X_{rs} rappresentano rispettivamente la reattanza di una fase dello statore e del rotore ridotta a statore; f è la frequenza di linea in p/s; K è un coefficiente che per valori del traferro non superiori a 0,35 mm e per motori con pacco lamiere senza canali di ventilazione vale 0,51 per $q=2$ e 0,65 per $q=3$. Gli altri simboli hanno i significati noti.

Nelle buone costruzioni il rapporto tra la reattanza e la resistenza dello statore deve assumere all'incirca i seguenti valori:

Rapporti tra reattanza e resistenza dello statore

TABELLA LXXIII

Potenza - kW	0,5	1	2	3
$\frac{X_s}{R_s}$	0,8 ÷ 1	1 ÷ 1,5	1,2 ÷ 1,8	1,5 ÷ 2

Impedenza per fase totale o di cortocircuito

L'impedenza per fase totale Z_{cc} (ridotta a statore) sarà:

$$Z_{cc}=\sqrt{R^2_{cc}+X^2_{cc}}\ (\Omega)$$

dove:

$$R_{cc}=R_s+R_{rs}\ (\Omega)$$

$$X_{cc}=X_s+X_{rs}\ (\Omega)$$

Si tenga presente che nei motori a sbarre alte o a cave profonde, a causa del flusso disperso entro le cave, si ha all'avviamento una distribuzione di corrente non uniforme nelle sbarre e precisamente un addensamento di corrente nella parte verso il traferro e ciò comporta un aumento della resistenza ed una diminuzione della reattanza durante la fase di avviamento.

Nei motori in cortocircuito a cave profonde ed in quelli a doppia gabbia il diagramma di funzionamento, come s'è già detto, non è più circolare, se si esclude il primo tratto e precisamente quello per scorrimenti compresi tra 0 e 0,1; questo tratto si può ritenere ancora un arco di circolo, ma con raggio più piccolo di quello dei motori a gabbia normale. Ciò concorda col fatto che il fattore di potenza e la coppia massima nei motori a cave profonde ed a doppia gabbia risultano inferiori che nei motori a gabbia normale. Questa riduzione è però trascurabile nei motori di piccola potenza dove le barrette del rotore non superano di solito i 10-12 mm di altezza.

VERIFICHE

Premesse

Sarebbe sufficiente, per le piccolissime potenze (fino a 2,2 kW), controllare con il calcolo solamente il valore presunto del rendimento e dello scorrimento, poi, dopo avere costruito un primo esemplare, tracciare il diagramma circolare del motore in base alle prove a vuoto ed in cortocircuito ed eventualmente eseguire anche una prova della potenza resa alla dinamo-freno.

Dal diagramma circolare si possono desumere, con buona approssimazione, le caratteristiche del motore e conseguentemente si vengono ad avere elementi sufficienti per apportare eventuali modifiche.

Questo criterio è maggiormente valido in quanto nelle piccole officine, per ragioni economiche, è opportuno sfruttare un tipo di carcassa ed eventualmente lo stampo per la tranciatura dei relativi lamierini per due polarità (*) e per potenze del 20% in più o in meno di quella nominale, quindi si ha abbastanza elasticità per apportare delle modifiche anche dopo aver approntato stampi e modelli.

Comunque esporremo egualmente un metodo di verifica che unisce al pregio della semplicità quello di condurre sempre a risultati abbastanza approssimati; sarà possibile così tracciare il diagramma circolare anche in sede di progetto e quindi accertare a priori se le caratteristiche della macchina corrispondono alle previsioni o se almeno risultano soddisfacenti.

Facciamo osservare che per lo scorrimento ed il rendimento sono più attendibili i risultati ottenuti col calcolo.

Naturalmente le verifiche potrebbero eseguirsi anche per motori da riavvolgere.

(*) Queste soluzioni di ripiego comportano quasi sempre uno svantaggio dal punto di vista economico (v. « *Esempi di calcolo di motori asincroni* »).

Corrente e fattore di potenza di cortocircuito

La corrente dello statore a rotore bloccato ed il relativo fattore di potenza saranno:

$$I_{cc} = \frac{V_{fs}}{Z_{cc}} \text{ (A)}$$

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{R_{cc}}{Z_{cc}}$$

Corrente ideale di cortocircuito

Si chiama *corrente ideale di cortocircuito* I_{cci} la corrente di cortocircuito corrispondente ad una resistenza di cortocircuito nulla, ossia:

$$I_{cci} = \frac{V_{fs}}{X_{cc}}$$

Il diagramma circolare corretto taglia l'asse delle ascisse in un punto corrispondente all'estremo del vettore I_{cci}.

Rendimento

Per determinare il valore del rendimento è sufficiente tenere conto delle perdite seguenti:

1) *perdite nel ferro dello statore;*
2) *perdite meccaniche;*
3) *perdite nel rame dello statore;*
4) *perdite nel rame del rotore.*

Si ha pertanto:

$$\eta = \frac{P_n}{P_n + P_{pt}}$$

dove:

$$P_{pt} = P_{fe} + P_{mecc} + P_{cus} + P_{cur} \text{ (watt)}$$

Perdite nel ferro dello statore. — La valutazione di queste perdite va fatta con lo stesso criterio esposto per le macchine a corrente continua, ossia si calcola il volume della corona e dei denti separatamente e poscia si determina il peso relativo. In base al valore delle induzioni si rileva dalla fig. 184 la perdita corrispondente per kg di

lamierino e poi le perdite totali. Per tenere conto delle maggiori perdite dovute alla lavorazione delle lamiere le perdite nel ferro calcolate vanno moltiplicate per 2 e la perdita così ottenuta può ritenersi comprensiva anche delle piccole perdite per pulsazione di flusso nei denti. Nei motori di piccola potenza di cui ci occupiamo le cave sono sempre semichiuse e quest'ultima perdita è sempre trascurabile.

Perdite meccaniche (cuscinetti e ventilazione). — Con cuscinetti a sfere queste perdite possono ritenersi:

$$P_{mecc} = 0{,}6 \div 0{,}7 \, . \, P_n \sqrt{N} \text{ (watt)}$$

dove P_n = potenza nominale in kW ed N = numero di giri/min.

Perdite rame statore. — Queste perdite valgono:

$$P_{cus} = 3 \, R_s \, . \, I^2_{fs} \text{ (watt)}$$

Perdite rame rotore. — Le perdite nel rame del rotore a gabbia possono essere calcolate in base alla resistenza equivalente totale del rotore e precisamente:

$$P_{cur} = R_r \, . \, I^2_{sb} \text{ (watt)}$$

Scorrimento

La determinazione dello scorrimento $s\%$ a pieno carico può essere fatta con sufficiente approssimazione con la relazione:

$$s\% = \frac{P_{cur}}{P_n + P_{cur} + P_{mecc}}$$

dove: P_{cur} rappresenta le perdite nel rame del rotore nel funzionamento a pieno carico. P_n la potenza nominale e P_{mecc} le perdite meccaniche.

Corrente a vuoto

La corrente per fase I_o richiesta dal motore nel funzionamento a vuoto è la risultante della corrente magnetizzante I_μ, che dà luogo alla produzione del flusso principale Φ_δ, e della componente attiva I_a in fase con la tensione.

Conteggi relativi al circuito magnetico

TABELLA LXXIV

Parte del circuito magnetico	Sezione m^2	Induzione Wb/m^2	Lunghezza cm	Asp/cm	Asp/polo
Traferro	$S_\delta = \alpha \cdot L_g \cdot \tau$	$B_\delta = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_\delta}$	δ	—	$8.000 \cdot B_\delta \cdot \delta \cdot K_c$
Corona statore . . .	$S_{cs} = 2 \cdot h_{cs} \cdot L_a$	$B_{cs} = \dfrac{(1+c)\,\Phi_{\delta e}}{S_{cs}}$ oppure: $B_{cs} = \dfrac{(1+c)\,\varnothing_t \cdot B_\delta}{2 \cdot Fs \cdot h_{cs} \cdot p}$	$l_{cs} = \dfrac{\pi(\varnothing_e - h_{cs})}{2 \cdot 2p}$	v. figg. 180, 333 e 334	l_{cs} . Asp/cm
Denti statore	$S_{ds} = \alpha \cdot \dfrac{n_{cs}}{2p} L_a \cdot z_s$	$B_{ds} = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_{ds}}$ oppure: $B_{ds} = \dfrac{B_\delta \cdot L_g \cdot \tau_{zs}}{L_a \cdot z_s} = \dfrac{B_\delta \cdot \tau_{zs}}{Fs \cdot z_s}$	h_{ds}	»	h_{ds} . Asp/cm
Denti rotore	$S_{dr} = \alpha \cdot \dfrac{n_{cr}}{2p} L_a \cdot z_{r1/s}$	$B_{dr} = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_{dr}}$ oppure: $B_{dr} = \dfrac{B_\delta \cdot L_g \cdot \tau_{zr}}{L_a \cdot z_{r1/s}} = \dfrac{B_\delta \cdot \tau_{zr}}{Fs \cdot z_{r1/s}}$	h_{dr}	»	h_{dr} . Asp/cm
Corona rotore	$S_{cr} = 2 \cdot h_{cr} \cdot L_a$	$B_{cr} = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_{cr}}$ oppure: $B_{cr} = \dfrac{B_\delta \cdot \varnothing_t}{2 \cdot Fs \cdot h_{cr} \cdot p}$	$l_{cr} = \dfrac{\pi(\varnothing_{bd} - h_{cr})}{2 \cdot 2p}$	»	l_{cr} . Asp/cm
			Asp. totali per polo =		

Il valore della corrente I_a (*) dipende dalla potenza assorbita a vuoto dal motore, che rappresenta la somma delle perdite nel ferro P_{fe}, delle perdite meccaniche P_{mecc} e delle perdite nel rame a vuoto $P_{cu.o}$ (quest'ultima perdita è di solito piccola e viene in tal caso trascurata); si ha pertanto:

$$I_a = \frac{P_{fe} + P_{mecc} + P_{cu.o}}{3 \cdot V_{fs}} \text{ (A)}$$

dove $P_{cu.o}$ può ritenersi approssimativamente:

$$P_{cu.o} = 3 \cdot R_s \cdot I^2\mu \text{ (W)}$$

Per il calcolo della corrente magnetizzante occorre prima determinare il numero di amperspire relative ad un polo, ossia a metà di un circuito magnetico completo. La determinazione delle Asp per polo richiede dunque il preventivo calcolo del circuito magnetico che si effettua con lo stesso criterio seguito per le macchine a corrente continua ; si calcolano cioè le sezioni dei cinque tronchi del circuito magnetico, con le formule riportate nella 2ª colonna della tabella LXXIV, i cui simboli hanno i significati indicati precedentemente, e poscia, essendo noto il valore del flusso $\Phi_{\delta e}$ (**), le relative induzioni (v. fig. 332). Le induzioni nei denti dello statore e del rotore possono determinarsi direttamente in base alla induzione nel traferro, come è indicato nella 3ª colonna della tabella LXXIV dove sono riassunti i conteggi relativi al circuito magnetico per campi sinusoidali o quasi ($\alpha = 2/\pi$). Si calcola poi la lunghezza della corona dello statore e di quella del rotore, relative al circuito magnetico di un polo, ed essendo note le lunghezze del traferro δ, dei denti dello statore h_{ds} e del rotore h_{dr} si determinano le tensioni magnetiche parziali (Asp) in base ai valori di H (Asp/cm) desunti dalla fig. 333 per i motori di costruzione non recentissima (lamierini laminati a

---

(*) $$I_a = I_o \cos\varphi_o = \frac{P_o}{3\,V_{fs}} \text{ (A)}$$

dove:

$\cos\varphi_o$ = fattore di potenza a vuoto;
P_o = potenza assorbita a vuoto ($P_o = P_{fe} + P_{mecc} + P_{cu.o}$).

(**) Nel caso di riavvolgimento di un motore il valore del flusso più idoneo va determinato con la nota relazione:

$$\Phi_\delta = \alpha \cdot \tau \cdot L_g \cdot B_\delta \text{ (Wb)}$$

Il valore dell'induzione va scelto con i criteri esposti e tenendo conto sia del tipo di motore che dell'epoca di costruzione.

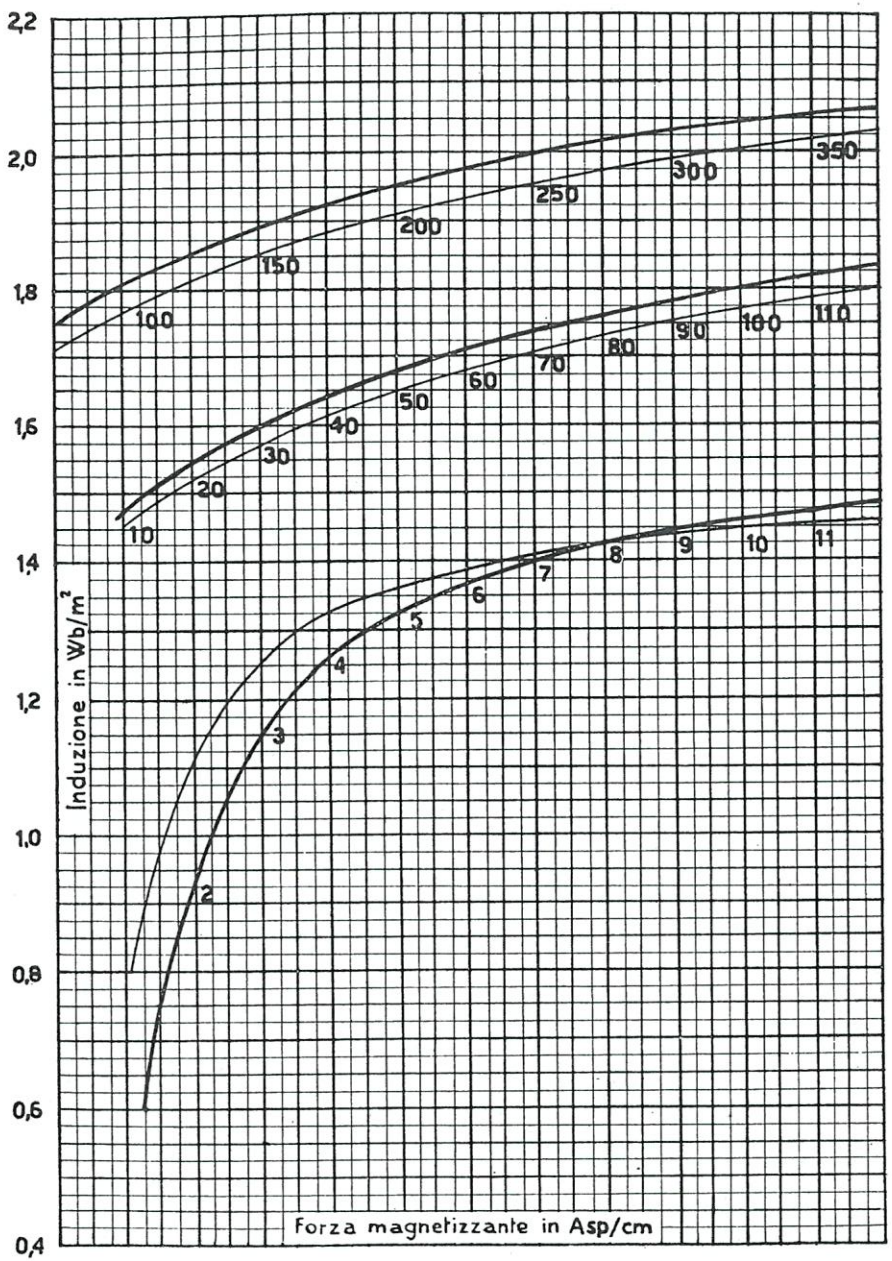


Fig. 333

caldo) e dalla fig. 334 per i motori moderni (lamierini laminati a freddo); i dati della fig. 334 sono stati ricavati da grafici fornitici cortesemente dalla Soc. Terni. Nella somma delle tensioni magnetiche parziali si avrà il valore delle Asp. per polo:

$$\text{Asp per polo} = 8.000 \cdot B_\delta \cdot \delta \cdot K_c + H_{cs} \cdot l_{cs} + H_{ds} \cdot h_{ds} + H_{dr} \cdot h_{dr} + H_{cr} \cdot h_{cr}$$

dove K_c rappresenta il *coefficiente di Carter* di cui si è detto nel calcolo delle macchine a corrente continua (*). Per le macchine asincrone bisogna però calcolare separatamente il valore di detto coefficiente per lo statore e per il rotore, dato che di norma entrambi sono provvisti di cave semichiuse; il loro prodotto rappresenta il coefficiente K_c totale.

Per motori di piccola potenza il valore di K_c è quasi sempre compreso fra 1,10 e 1,20, ossia l'addensamento del flusso in corrispondenza dei denti comporta un aumento dal 10% al 20% delle Asp relative al traferro. Se le cave del rotore sono di tipo chiuso il valore del coefficiente K_c può assumersi pari a 1,08.

Per le piccole potenze con denti del rotore di forma trapezoidale, si suole assumere come induzione nei denti quella corrispondente alla sezione situata ad 1/3 di h_{dr} a partire dal punto più stretto (**), oppure si applica il metodo di *Simpson* (v. nota a pag. 298); con gabbia in alluminio pressofuso le cave sono di solito di forma ovoidale, ripetiamo, ed i denti risultano così di larghezza costante.

La corrente magnetizzante per fase si determina con la relazione:

$$I_\mu = \frac{\text{Asp per polo}}{1{,}31 \cdot q \cdot K_{rp} \cdot \text{fili/cava}}$$

È bene specificare che non è possibile un calcolo rigoroso della corrente di magnetizzazione e che anche i metodi più laboriosi non consentono di prevederla con esattezza gran che maggiore di quella ottenibile col metodo semplificato da noi seguito.

Si tenga inoltre presente che la riluttanza del tratto relativo al traferro è sempre grande rispetto a quella degli altri tronchi del cir-

---

(*) Con cave semichiuse b_c rappresenta la larghezza del taglietto delle cave (v. a pag. 297).

(**) In pratica si è riscontrato che si raggiunge una sufficiente approssimazione ammettendo che la induzione nei denti di forma trapezoidale abbia un valore uniforme, uguale a quello che compete alla sezione situata ad 1/3 dell'altezza a partire dal punto più stretto.

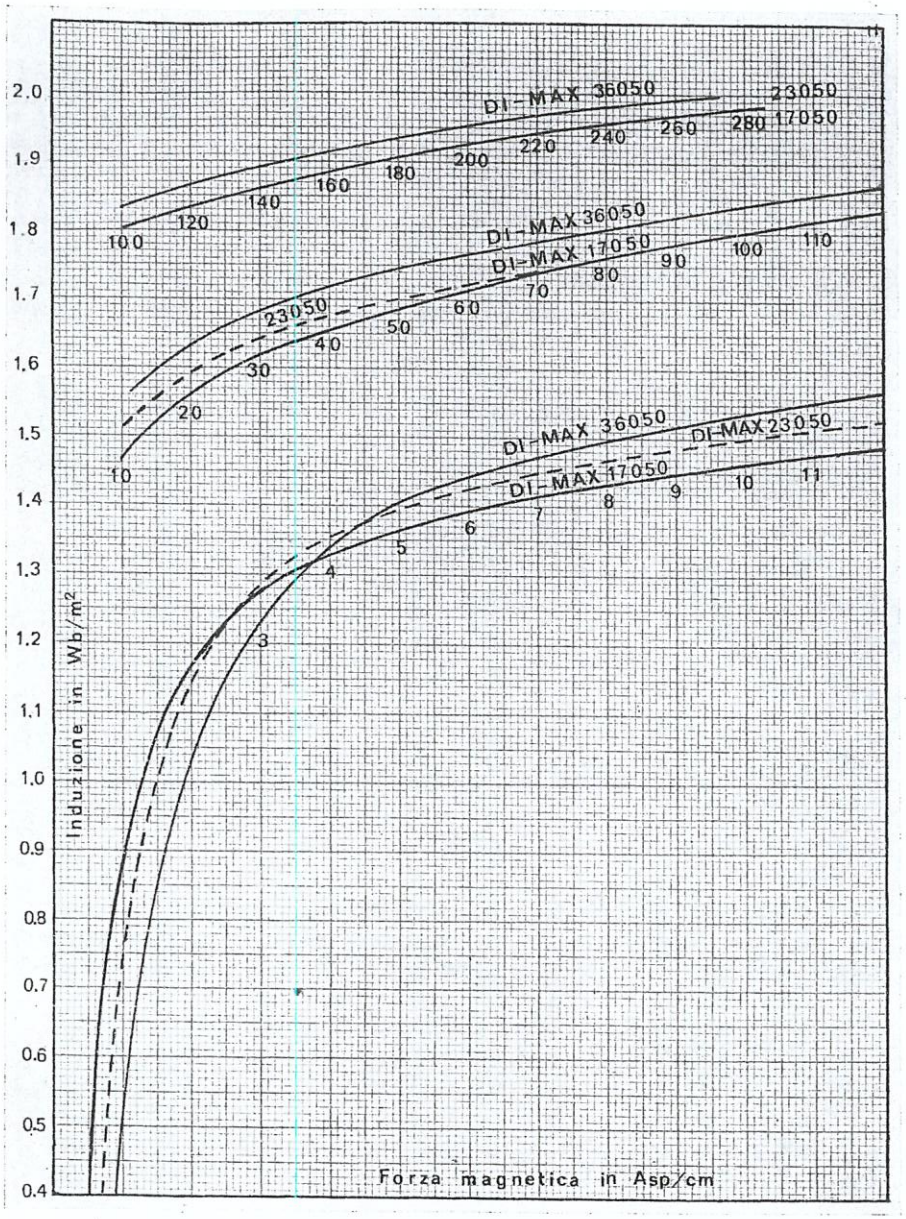


Fig. 334

cuito magnetico e pertanto la più piccola variazione nella lunghezza del traferro, che è sempre assai piccola, porta a notevoli variazioni della corrente magnetizzante.

I valori della corrente e del fattore di potenza a vuoto (*) saranno naturalmente:

$$I_o = \sqrt{I_{2\mu} + I^2_a} \text{ (A)} \quad ; \quad \cos\varphi_o = \frac{I_a}{I_o}$$

Effetto della saturazione magnetica del ferro

Abbiamo accennato a più riprese all'effetto che produce la saturazione del ferro e principalmente la saturazione nei denti e dello statore e del rotore. È noto che al riavvolgitore interessa normalmente stabilire il numero dei fili/cava e solo nel caso di modifica delle caratteristiche può rendersi necessario un controllo di massima dell'induzione in qualche tronco del circuito magnetico e per tutti questi problemi assai semplici abbiamo dato suggerimenti pratici ed esemplificazioni appropriate.

Nel caso invece di dimensionamento completo di un motore di nuova costruzione, è bene specificare ancora una volta che « il costruttore procede sempre per successive approssimazioni. Difficilmente il numero dei conduttori che si determina con la nota relazione al primo tentativo soddisfa alle varie esigenze della macchina; detto valore però serve come indicazione di massima, poi viene corretto o meglio variato opportunamente secondo i valori delle grandezze prescelte ed in conseguenza di ciò occorrerà ritoccare il flusso oppure apportare una adeguata modifica all'avvolgimento per giungere al risultato voluto ».

Effettuato quindi il dimensionamento di massima, si procede alle *verifiche* e principalmente alla determinazione del rendimento e della corrente a vuoto.

Un calcolo anche discretamente approssimato della corrente a vuoto I_o, come si è già detto, non è possibile se non si conoscono i valori effettivi delle induzioni nei vari tronchi del circuito magnetico. Tenuto conto che nella maggior parte dei casi dei motori moderni il ferro risulta di norma saturato, e conseguentemente la tensione magnetica dei denti assume valori abbastanza apprezzabili rispetto

(*) Generalmente il valore di I_o si mantiene tra 1/3 ed 1/5 di quello della corrente di pieno carico, ma per le piccole potenze (o per motori lenti) è circa 1/2 e, talvolta, anche i 2/3.

a quella del traferro (nella macchina asincrona si ha sempre un traferro assai piccolo), la curva di campo, come s'è detto, risulta appiattita ed il coefficiente α assume valori superiori a $2/\pi = 0{,}637$ ed in misura tanto maggiore quanto più forte è la saturazione. Il valore di α cresce in funzione del cosiddetto *fattore di saturazione* che può definirsi: *rapporto tra la somma delle Asp nel traferro e nei denti e le Asp nel traferro*, ossia:

$$K_{sa} = \frac{\text{Asp. traferro} + \text{Asp. denti}}{\text{Asp. traferro}}$$

Nelle macchine di costruzione non recente il fattore di saturazione è generalmente modesto (da $1{,}1 \div 1{,}3$), mentre in quelle costruite in questi ultimi anni esso può raggiungere valori abbastanza alti (superiori a 1,5 e talvolta assai prossimi a 2).

Naturalmente l'aumento di α, dovuto all'appiattimento della curva di campo, comporta una lieve diminuzione del *fattore di forma Ff*, per cui il coefficiente C cresce in misura minore di α; per $f = 50$ p/s esso varia al variare del fattore di saturazione K_{sa} come è indicato nella tabella LXXV.

Valori del coefficiente C in funzione di K_{sa} e di 2p

TABELLA LXXV

Fattore di saturazione $K_{sa} \rightarrow$	$\sim$1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Coeff. $C \rightarrow$ per $2p = 2$	113,5	116,5	119,5	122	124,5	126,5	128,5	131,5	134	136	137
Coeff. $C \rightarrow$ per $2p = 4$	114	117	120	122,5	125	127	129	132	134,5	136,5	137,5
Coeff. $C \rightarrow$ per $2p = 6$	114,5	117,5	120,5	123	125,5	127,5	129,5	132,5	135	137	138
Coeff. $C \rightarrow$ per $2p = 8$	115	118	121	123,5	126	128	130	133	135,5	137,5	138,5

Invece di considerare per ogni valore di K_{sa} il corrispondente valore di C (crescente in funzione di K_{sa} ed anche in dipendenza del numero dei poli $2p$) consigliamo di usare per C sempre i valori della tabella LII (riportati anche nella 1ª colonna della tabella LXXV) e moltiplicare poi il risultato per un fattore, minore dell'unità, che

abbiamo chiamato *fattore di riduzione dell'induzione* o *dei conduttori per fase* Fr. Nella tabella LXXVI sono riportati, oltre al *suddetto fattore di riduzione* Fr, *in funzione del fattore di saturazione* K_{sa}, il *coefficiente* α, *il fattore di forma Ff*, il *coefficiente effettivo* α_e che differisce da α perchè tiene conto della diminuzione del fattore di forma e precisamente $\alpha_e = \dfrac{\alpha \cdot Ff}{1{,}11}$.

Fattore di riduzione Fr dell'induzione B_δ o dei conduttori per fase Z in funzione del fattore di saturazione K

TABELLA LXXVI

Fattore di saturazione $K_{sa} \rightarrow$	$\sim$1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4
Coefficiente $\alpha \rightarrow$	0,637	0,66	0,68	0,70	0,719	0,735	0,748	0,761	0,772	0,792	0,809	0,821
Fattore di forma $Ff \rightarrow$	1,11	1,102	1,094	1,087	1,081	1,075	1,07	1,065	1,06	1,052	1,045	1,04
Coefficiente effettivo $\alpha_e = \frac{\alpha \cdot Ff}{1{,}11} \rightarrow$	0,637	0,655	0,67	0,685	0,70	0,712	0,721	0,73	0,737	0,751	0,762	0,769
Fattore di riduzione Fr $\rightarrow$	**1,0**	**0,97**	**0,95**	**0,93**	**0,91**	**0,895**	**0,883**	**0,873**	**0,864**	**0,848**	**0,837**	**0,828**

I valori di C della tabella LXXV *per* $K_{sa} > 1$ si ottengono dal prodotto dei valori di C della 1ª colonna per il rapporto $\alpha_e/0{,}637$, mentre il *fattore di riduzione* Fr è dato dal rapporto $0{,}637/\alpha_e$.

Tutte le volte che si desideri raggiungere una discreta approssimazione nel calcolo della corrente a vuoto, oppure per controlli dei valori delle induzioni nei vari tronchi del circuito magnetico (opportuni talora nel caso di cambio di polarità), consigliamo il procedimento seguente: si prefissa il valore del fattore di saturazione, che di norma si assume eguale a 1,2 per valori piuttosto modesti e

1,4-1,5 per valori discretamente alti dell'induzione nel traferro, ed in base al corrispondente valore di Fr si calcolano B_δ e le tensioni magnetiche nel traferro e nei denti dello statore e del rotore, tensioni che consentono di determinare poi il relativo valore di K_{sa}; se questo valore coincide all'incirca con quello prefissato il valore di Fr, e quindi di α_e, è quello giusto, se invece i due valori differiscono molto fra loro occorre ripetere il calcolo con un valore di K_{sa} intermedio tra quello prefissato e quello ottenuto col calcolo (v. « *Esempi di calcolo dei motori asincroni* »).

Solo dopo avere trovato il probabile valore effettivo dell'induzione nel traferro ($B_{\delta e} = Fr \,.\, B_\delta$) si potrà determinare la tensione magnetica nella corona dello statore ed in quella del rotore.

Naturalmente il calcolo può essere iniziato supponendo che il fattore di saturazione sia eguale all'unità ed α, conseguentemente, pari a 0,637.

Tutti i metodi per tentativi (con o senza l'ausilio di grafici dedotti sperimentalmente) e successive approssimazioni sono piuttosto lunghi e pertanto, tenuto conto che per le piccole potenze e con gli usuali valori di B_δ il fattore di saturazione oscilla fra 1,3 e 1,6, in molti casi si può dedurre il valore effettivo dell'induzione nel traferro moltiplicando il valore apparente per un fattore di riduzione da $0{,}93 \div 0{,}883$, ossia:

$$B_{\delta_e} = (0{,}93 \div 0{,}883)\, B_\delta \ (\mathrm{Wb/m^2})$$

ed in base a questo valore di B_{δ_e} si determina poi l'induzione negli altri tronchi. Una valutazione approssimativa (a stima) è lecita per il calcolo delle Asp per polo, dato che si tratta di un controllo di massima, ma, se necessario, si potrà calcolare l'effettivo valore di K_{sa}. In ogni caso può essere utile la tabella LXXVII che, pur non differendo sostanzialmente dalla tabella XXIV, riesce di più immediata comprensione e alla quale consigliamo di ricorrere tutte le volte che α è maggiore di 0,637.

Diagramma circolare

Dai calcoli precedenti si hanno tutti gli elementi per tracciare il diagramma circolare e da esso si possono poi dedurre, almeno in prima approssimazione, alcune caratteristiche del motore che non è possibile desumere dal calcolo.

TABELLA LXXVII

Conteggi relativi al circuito magnetico con curva di campo appiattita per effetto della saturazione magnetica del ferro

Parte del circuito magnetico	Sezione m^2	Induzione Wb/m²	Lunghezza cm	Asp/cm	Asp/polo
Traferro	$S_\delta = \alpha_e \,.\, L_g \,.\, \tau$	$B_{\delta e} = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_\delta}$	δ	—	$8.000 \,.\, B_{\delta e} \,.\, \delta \,.\, K_e$
Corona statore . . .	$S_{cs} = 2 \,.\, h_{cs} \,.\, L_a$	$B_{cs} = \dfrac{(1+c)\,\Phi_{\delta e}}{S_{cs}}$ oppure: $B_{cs} = \dfrac{(1+c)\,.\,\pi\,\varnothing_t\,.\,B_{\delta e}}{2\,.\,Fs\,.\,h_{cs}\,.\,2p}\,\alpha_e$	$l_{cs} = \dfrac{\pi\,(\varnothing_e - h_{cs})}{2\,.\,2\,p}$	v. figg. 180, 333 e 334	l_{cs} . Asp/cm
Denti statore	$S_{ds} = \alpha_e \,.\, \dfrac{n_{cs}}{2p} L_a \,.\, z_s$	$B_{ds} = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_{ds}}$ oppure: $B_{ds} = \dfrac{B_{\delta e} \,.\, \tau_{zs}}{L_a \,.\, z_s} = \dfrac{B_{\delta e} \,.\, \tau_{zs}}{Fs \,.\, z_s}$	h_{ds}	»	h_{ds} . Asp/cm
Denti rotore	$S_{dr} = \alpha_e \,.\, \dfrac{n_{cr}}{2p} L_a \,.\, z_{r\,1/3}$	$B_{dr} = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_{dr}}$ oppure: $B_{dr} = \dfrac{B_{\delta e} \,.\, \tau_{zr}}{L_a \,.\, z_{r\,1/3}} = \dfrac{B_{\delta e} \,.\, \tau_{zr}}{Fs \,.\, z_{r\,1/3}}$	h_{dr}	»	h_{dr} . Asp/cm
Corona rotore	$S_{cr} = 2\,h_{cr} \,.\, L_a$	$B_{cr} = \dfrac{\Phi_{\delta e}}{S_{cr}}$ oppure: $B_{cr} = \dfrac{\pi\,\varnothing_t \,.\, B_{\delta e}}{2\,.\,Fs\,.\,h_{cr}\,.\,2\,p}\,\alpha_e$	$l_{cr} = \dfrac{\pi\,(\varnothing_{bd} - h_{cr})}{2\,.\,2\,p}$	»	l_{cr} . Asp/cm
				Asp. totali per polo =	

In breve il procedimento è il seguente. In base ai valori di I_o e di φ_o, oppure di I_μ e di I_a, si traccia il vettore $\overline{OT_o}$ ed in base all'angolo φ_{cc} si traccia il vettore $\overline{OT_{cc}}$ e la retta delle potenze rese. Il vettore $\overline{OT_{cc}}$ si può tracciare anche tirando da O una semiretta facente con la retta delle potenze assorbite un angolo α tale che:

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{R_{cc}}{X_{cc}}$$

Per tracciare la retta delle coppie si può determinare il punto C_{cc}, che si ottiene dividendo il segmento $\overline{B_{cc}\,T_{cc}}$ in due parti proporzionali a R_s ed R_{rs}, ossia:

$$\overline{B_{cc}\,C_{cc}} = \frac{R_s}{R_{cc}}\,\overline{B_{cc}\,T_{cc}}\ (\text{mm})$$

$$\overline{C_{cc}\,T_{cc}} = \frac{R_{rs}}{R_{cc}}\,\overline{B_{cc}\,T_{cc}}\ (\text{mm})$$

La retta passante per il punto T_o e per C_{cc} rappresenta la retta delle coppie.

Nel diagramma circolare corretto la retta delle coppie si può tracciare anche dopo avere determinato il punto T_∞, in base all'angolo φ_∞ (*) che OT_∞ forma con l'asse delle ordinate (v. fig. 335); il cos dell'angolo φ_∞ vale:

$$\cos\varphi_\infty = \frac{R_s}{\sqrt{R^2_s + X^2_{cc}}}$$

I due metodi per il tracciamento della retta delle coppie sono entrambi approssimati e quindi i risultati non sono sempre perfettamente coincidenti; considereremo pertanto il punto C_{cc} reale quello intermedio tra i due determinati con i metodi suddetti, ossia riterremo la retta delle coppie quella che passa per T_o e per il punto C_{cc} così ottenuto.

Infine si determina il punto T, corrispondente alle condizioni di funzionamento a pieno carico, in base alla potenza nominale del motore. Il segmento $\overline{OT}$ rappresenta la corrente di pieno carico e $\overline{T_oT}$ la corrente di rotore ridotta a statore.

(*) Come controllo si deve avere:

$$I_\infty = \frac{V_{fs}}{\sqrt{R^2_s + X_{cc}{}^2}}$$

Il vettore $\overline{OT_\infty}$ nella scala delle correnti rappresenta I_∞ ed il vettore $\overline{OT_{cci}}$ la corrente ideale di cortocircuito.

Le altre grandezze (coppia massima, cos φ e $s\%$) verranno determinate con i criteri esposti nel capitolo X.

Ripetiamo che il tracciamento del diagramma ha solamente lo scopo di prevedere in prima approssimazione il comportamento della macchina.

Riepilogo ed osservazioni sul calcolo degli avvolgimenti

1) Nel determinare il valore dell'induzione nel traferro, noto il numero dei conduttori per fase, si tenga sempre presente che quello dedotto con la nota relazione è un valore apparente. Il probabile effettivo valore di $B_{\delta e}$ può ottenersi, come si è detto, moltiplicando il valore apparente di B_δ per il fattore di riduzione **Fr** (v. tabella LXXVI) dopo avere calcolato il fattore di saturazione K_{sa}, ossia:

$$B_{\delta e} = B_\delta \,.\, Fr.\ (\text{Wb/m}^2)$$

Ma di solito, ripetiamo, al riavvolgitore non occorre il valore effettivo, anzi è preferibile che operi sempre con i valori apparenti perchè i calcoli risultano così molto semplici e sbrigativi ed è egualmente possibile fare i necessari raffronti.

2) Per il calcolo del numero dei conduttori in serie per fase il valore di B_δ va scelto in base ai valori della tabella LVIII, cioè in base al valore apparente ritenuto più idoneo a seconda dell'epoca di costruzione della macchina.

3) Per determinare il valore dell'induzione nella corona dello statore si faccia bene attenzione alla forma del fondo cava perchè essa influisce sensibilmente su B_{cs}. Nel caso di cave con fondo semicircolare non deve prendersi in considerazione l'altezza minima della corona, ma un valore più alto che, in prima approssimazione, nella maggior parte dei casi, può ritenersi eguale al valore minimo di h_c maggiorato di 1/3 del raggio del semicerchio di fondo cava, oppure, prudenzialmente, di 1/4 del raggio. Praticamente si ottengono così gli stessi valori ottenibili con calcoli assai laboriosi.

4) Nel caso di *cambio del numero dei poli,* bisogna distinguere due casi: aumento e diminuzione del numero dei poli. Nel primo caso il numero dei conduttori efficaci, a parità d'induzione nel traferro, aumenta, grosso modo, proporzionalmente a p, quindi la potenza alla nuova polarità sarà minore; ma, tenuto conto che l'induzione nella corona dello statore diminuisce di parecchio, si può

adottare un valore di B_δ un po' più alto al fine di contenere la riduzione di potenza (per valori di B_δ più alti di quelli in uso occorre poi controllare se l'induzione nei denti dello statore risulta accettabile). Nel caso di diminuzione del numero dei poli conviene prefissare, ripetiamo, il valore massimo dell'induzione nella corona dello statore per la minore polarità e determinare il valore corrispondente di B_δ; comunque per le ragioni già esposte è possibile ottenere una potenza sensibilmente maggiore alla nuova polarità, che però conviene contenere entro limiti molto modesti nei motori con rotore a gabbia per evitare riscaldamenti eccessivi degli anelli.

5) Per modifiche della velocità è buona norma, se possibile, un controllo di massima della densità di corrente nelle sbarre o negli anelli del rotore, nelle sbarre per l'aumento del numero dei poli e negli anelli nel caso di riavvolgimento per una minore polarità.

6) Nel calcolo della corrente a vuoto si può determinare il probabile valore effettivo di B_{δ_e} in base ad un fattore di saturazione medio di 1,2 - 1,3 per motori non recentissimi e di 1,4 - 1,6 per i motori moderni con induzione apparente nel traferro piuttosto alta, ma per motori di una certa potenza e specialmente per i prototipi di nuovi motori, dimensionati col metodo da noi consigliato, è opportuno determinare l'effettivo valore di B_{δ_e} per tentativi e successive approssimazioni e quindi calcolare, in base ad esso, i valori dell'induzione negli altri 4 tronchi del circuito magnetico. Si tenga inoltre presente che nel caso che il valore di B_{d_s} e B_{d_r} risultasse superiore a 1,75-1,8 Wb/m^2 una parte del flusso passerà attraverso le cave e conseguentemente il valore effettivo sarà minore e precisamente si considera che la differenza tra il valore ottenuto e 1,75 si distribuisca uniformemente tra cava e dente (si può considerare tanto la larghezza della cava che quella del dente in corrispondenza di metà altezza del dente, ossia della circonferenza corrispondente al diametro $\varnothing_i + h_{ds}$).

7) Per denti di statore di forma trapezoidale o quasi si dovrebbe considerare il valore dell'induzione ad 1/3 dal punto più stretto, ma per cave a fondo semicircolare si può, forse con maggiore esattezza, considerare la larghezza del dente in corrispondenza di metà altezza, ossia della circonferenza di diametro $\varnothing_i + h_{ds}$, dato che in pratica questa larghezza coincide con quella che si ha ad 1/3 dal punto più stretto; l'altezza del dente si può assumere pari alla differenza tra il raggio esterno e quello interno del lamierino diminuita dell'altezza della corona calcolata come si è detto sopra. La validità

di questa semplificazione deriva anche dal fatto che il punto più stretto si trova sempre a circa 3,5 – 5 mm dalla circonferenza interna del lamierino.

8) Nei motori a 2 polarità, normalmente a 2 e 4 poli per le piccole potenze, tutte le grandi ditte sono orientate verso lo stesso indirizzo e precisamente: per ottenere alla maggiore polarità una potenza non eccessivamente ridotta rispetto a quella che, a pari condizioni, si avrebbe ad una sola polarità, si adottano induzioni nel traferro tali per cui nel funzionamento a 2 poli l'induzione nella corona raggiunge e supera anche i 2 Wb/m^2, mentre nei denti il valore normale (ridotto) è di circa 1,9 Wb/m^2. Così i valori di 2,2 Wb/m^2 nella corona e di 1,95 Wb/m^2 nei denti sono ritenuti dall'Ansaldo-San Giorgio, per esempio, « valori di induzione in accordo con la normale prassi costruttiva ».

9) Nei motori moderni dato l'elevato valore dell'induzione nel traferro si ha sovente un flusso sensibilmente superiore rispetto ai motori di vecchio tipo e pertanto essi hanno una coppia massima molto elevata e spesso assai superiore a 2 volte quella normale di pieno carico.

10) L'Ansaldo-San Giorgio usa per i motori a 2 velocità, con unico avvolgimento, il collegamento a triangolo per la maggiore polarità e quello a doppia stella per la minore, sia per funzionamento a potenza variabile che per funzionamento a potenza costante.

ESEMPI DI CALCOLO DI MOTORI ASINCRONI

1) Motore da 0,736 kW a 4 poli

Dati di targa. — Motore asincrono - Velocità di rotazione alla potenza nominale circa 1410 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,736 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 3,55/2,05 - Collegamento del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito.

Premessa — Si è supposto di dovere utilizzare lo stesso pacco lamiere anche per la potenza di 0,920 kW (1,25 cav) e per la potenza di 0,736 kW per funzionamento a 2 poli, pertanto si ritiene opportuno stabilire il diametro interno e la lunghezza del pacco sta-

torico per la maggiore potenza, mentre tutti gli altri calcoli verranno fatti esclusivamente per la potenza di 0,736 kW a 4 poli. In seguito verranno eseguiti i calcoli essenziali (v. esempi 2 e 3) del motore della potenza di 0,920 kW a 4 poli e di quello a 2 poli, al fine di mettere in evidenza alcune particolarità sommamente utili per i giovani meno esperti.

Il problema in esame, proprio delle piccole officine a carattere artigianale, oggi si presenta meno frequentemente che nel passato, dato che si possono ordinare ed avere in breve tempo, come si è già detto, anche modesti quantitativi di pacchi lamellari delle dimensioni desiderate (v. « *Pacchi lamellari del commercio per motori asincroni* » da pag. 82 a pag. 87).

Diametro interno e lunghezza del pacco statorico

In base ad una coppia massima doppia di quella di pieno carico il valore del flusso nel traferro (v. fig. 327) risulta di circa 0,00245 Wb; potremo adottare, per un primo orientamento, un'induzione di 0,83 (*) Wb/m^2. Prefissando il rapporto $L_g/\varnothing_i$ pari a 0,83 si avrà:

$$\varnothing_i L_g = \frac{p \cdot \Phi_\delta}{B_\delta} 10^4 = \frac{2 \cdot 0{,}00245}{0{,}83} 10^4 = 59 \text{ cm}^2 \text{ (**)}$$

$$\varnothing_i = \sqrt{\frac{\varnothing_i L_g}{K_r}} = \sqrt{\frac{59}{0{,}83}} = \sqrt{71} = 8{,}4 \text{ cm} = 84 \text{ mm}$$

$$L_g = \frac{\varnothing_i L_g}{\varnothing_i} = \frac{59}{8{,}4} = 7{,}02 \text{ cm} = \sim 70 \text{ mm}$$

Stabilito così il diametro interno $\varnothing_i$ e la lunghezza geometrica L_g del pacco statorico, si potrebbe scegliere il lamierino del commercio ritenuto più idoneo. Questo sistema è da preferire senz'altro quando si tratta di produzioni limitate a poche centinaia o, al massimo, a qualche migliaio di esemplari all'anno; per le piccole potenze si trova sempre il lamierino adatto. Scelto il tipo di lamierino, si effettuano le solite verifiche, comprese quelle relative alle induzioni nelle corone e nei denti. Di solito la fornitura viene fatta

(*) Il valore dell'induzione — piuttosto alto è stato scelto tenendo conto che il pacco lamiere verrà utilizzato prevalentemente per la potenza di 0,736 kW a 4 poli.

(**) Dalla fig. 328 si rileva che il valore del prodotto $\varnothing_i L_g$ è compreso tra 55 e 65 cm^2.

con pacco statorico completo (dello spessore richiesto), ossia con pacco rivettato o inchiodato, e con pacco rotorico completo di gabbia in alluminio pressofuso.

Nel caso in esame andrebbe benissimo il lamierino della tabella XLIII con $\varnothing_i = 83{,}5$ mm e $\varnothing_e = 150$ mm ($h_c = 13$ mm, $n_c = 24$, ecc.) (*).

Diametro esterno rotore

Il traferro minimo risulta:

$$\delta = 0{,}0055 \frac{\varnothing_i}{\sqrt{2p}} = 0{,}0055 \frac{84}{2} = 0{,}231 \text{ mm}$$

Potremo quindi adottare un traferro di 0,25 mm (v. fig. 329); pertanto il diametro esterno del rotore dovrà risultare:

$$\varnothing_r = \varnothing_i - 2\delta = 84 - 0{,}5 = 83{,}5 \text{ mm}$$

Numero cave e fattore di avvolgimento dello statore

In base a un numero di cave per polo-fase pari a 2 il numero delle cave dello statore risulta:

$$n_{cs} = 3 \cdot 2p \cdot q = 3 \cdot 4 \cdot 2 = 24$$

Prevedendo un avvolgimento a corona a 2 matasse/cava con passo $1 \div 5$ (**) il fattore di distribuzione sarà di 0,966 e quello di passo di 0,866; pertanto il fattore di avvolgimento sarà:

$$K_a = K_d \cdot K_p = 0{,}966 \cdot 0{,}866 = 0{,}837$$

(*) Con un rapporto $L_g/\varnothing_i$ pari a 0,72 si ha:

$$\varnothing_i = \sqrt{\frac{59}{0{,}72}} = \sqrt{82 = 9{,}05 = 90{,}5 \text{ mm}};\ L_g = \frac{59}{90{,}5} = 65{,}2 \text{ mm}$$

Quindi si potrebbe impiegare il lamierino della serie MEC di grandezza 90 ($\varnothing_i = 90$ mm; $\varnothing_e = 140$ mm ; $n_c = 24$; $h_{cs} = 11{,}2$ mm) con $L_g = \sim 65$ mm (v. Tabella XLI).

(**) Come variante si potrebbe adottare il passo $1 \div 6$; in tal caso $K_a = 0{,}966 \cdot 0{,}966 = 0{,}933$. Inoltre si potrebbe fare l'avvolgimento ad 1 matassa/cava con passo $1 \div 6$ e si avrebbe così un ulteriore aumento di K_a ($K_a = 0{,}966$). A parità di induzione nel traferro diminuirebbe il numero dei fili per fase (per $K_a = 0{,}966$ si avrebbero 102 fili/cava) oppure a parità di fili per fase si ridurrebbe il valore dell'induzione nel traferro.

Fili in serie per fase, fili/cava e sezione cave statore

Adottando per il calcolo del numero dei fili/cava una induzione apparente di 0,83 Wb/m² (*) si avrà:

$$Z = \frac{2.220}{114 \cdot 0{,}837 \cdot 0{,}084 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}83} = \frac{440}{0{,}465678} = 944$$

$$\text{fili/cava} = \frac{944}{8} = 118$$

Prevedendo all'incirca un rendimento del 72,5% ed un fattore di potenza di 0,75, la corrente di fase sarà:

$$I_f = \frac{P_n}{3 \cdot V_f \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{736}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}725 \cdot 0{,}75} = \frac{736}{359} = 2{,}05 \text{ A}$$

Quindi la densità lineare risulterà:

$$Afc = \frac{3 \cdot Z \cdot I_f}{\pi \cdot \varnothing_i} = \frac{3 \cdot 944 \cdot 2{,}05}{3{,}14 \cdot 8{,}4} = \frac{5805{,}6}{26{,}4} = 219$$

ossia un valore normale per le nuove costruzioni.

Gli amperfili/cava risulteranno 241,9 e pertanto la reattanza assumerà un valore limitato (v. « Osservazioni » a pag. 847).

Con un sistema di raffreddamento normale, ossia con ventolina su una delle fronti del rotore, potremo adottare una densità di corrente di 5,2 A/mm², quindi la sezione del filo sarà:

$$S_c = \frac{2{,}05}{5{,}2} = 0{,}394 \text{ mm}^2$$

Adotteremo pertanto il filo del diametro di 0,7 mm (sezione = = 0,3849 mm²).

La sezione complessiva del rame/cava sarà:

$$\text{sezione rame/cava} = S_c \cdot \text{fili/cava} = 0{,}3849 \cdot 118 = 45{,}4 \text{ mm}^2$$

In base ad un coefficiente di riempimento cava pari a 0,325 (filo smaltato) la sezione della cava dovrà risultare:

$$\text{sezione cava} = \frac{45{,}4}{0{,}325} = 139{,}69 \text{ mm}^2$$

(*) Per motori a 4 poli il valore apparente dell'induzione nel traferro viene assunto frequentemente da 0,85 ÷ 0,87 Wb/m².

Lunghezza denti, forma e dimensioni cave statore

L'induzione apparente reale è di 0,83 Wb/m², quindi in base ad una induzione apparente nei denti di 1,87 Wb/m², prevedendo cave di forma trapezoidale e denti di larghezza costante o quasi, si avrà:

$$z_s = \frac{\tau_{zs} \cdot B_\delta}{Fs \cdot B_{ds}} = \frac{0{,}011 \cdot 0{,}83}{0{,}95 \cdot 1{,}87} = \frac{0{,}00913}{1{,}7765} = 0.0051393 \text{ m} = 5{,}1393 \text{ mm}$$

che si arrotonda a 5,15 mm.

Mediante tentativi o, meglio, in base ad elementi rilevabili dalle tabelle da XLI a XLV si stabilisce l'altezza del dente che nel nostro caso risulta di 19,3 mm.

La cava assumerà le dimensioni indicate nelle tavole CCLXXVI e CCLXXVII, ossia il fondo cava sarà semicircolare con raggio di 4,8 mm ed i raccordi ai fianchi della cava si faranno con archetti di raggio 3,457 mm; i becchi saranno di 0,755 mm ed il taglio della cava di 2,2 mm. La superficie della cava sarà (quasi esattamente):

$$\text{sup cava} = \frac{3{,}14 \cdot \frac{6{,}914^2}{4}}{2} + 10{,}288 \cdot 8{,}257 + \frac{3{,}14 \frac{9{,}6^2}{4}}{2} =$$

$$= 18{,}77 + 84{,}95 + 36{,}19 = 139{,}91 \text{ mm}^2$$

Si avrà quindi:

$$b_m = 8{,}25 = 0{,}75 \ \tau_{zs} \left(\tau_{zs} = \frac{3.14 \cdot 84}{24} = 11 \text{ mm}\right) \quad \text{ed} \quad h_s/b_m = 19{,}3/8{,}25 = 2{,}34$$

Questi valori sono compresi entro i limiti normalmente adottati (v. tabella XLIX).

Corona statore

Anche l'altezza della corona dello statore va stabilita in base al valore massimo dell'induzione che si ritiene più idonea in essa a pieno carico; fissato detto valore in 1,55 Wb/m², ossia un valore che consente una buona utilizzazione del materiale, si avrà:

$$\Phi_{\delta e} = 0{,}637 \cdot I_g \cdot \tau \cdot B_\delta = 0{,}637 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}066 \cdot 0{,}83 = 0{,}00244264 \text{ Wb}$$

$$h_{cs} = \frac{(1+c) \cdot \Phi_{\delta e}}{2 \cdot L_a \cdot B_{cs}} = \frac{1{,}021 \cdot 0{,}00244264}{2 \cdot 0{,}0665 \cdot 1{,}55} = \frac{0{,}002493935}{0{,}20615} = 0{,}0121 \text{ m} = 12{,}1 \text{ mm}$$

Il rapporto $h_{cs}/\varnothing_i = \frac{12,1}{84} = 0,144$ è compreso entro i limiti indicati nella tabella L.

Il diametro esterno del lamierino statorico sarà:

$$\varnothing_e = \varnothing_i + 2 \cdot h_{ds} + 2 \cdot h_{cs} = 84 + 38,6 + 24,2 = 146,8 \text{ mm}$$

Adotteremo un diametro esterno di 150 mm, per tenere conto dell'eventuale rettifica del pacco, ma soprattutto, ripetiamo, in previsione di utilizzare la stesso pacco per funzionamento a 2 poli (v. esempio 3 a fine capitolo). L'altezza effettiva della corona dopo tornitura sarà di 13,5 mm $\varnothing_e = \sim 149,6$ mm).

Dimensioni della gabbia e delle cave del rotore

Prevedendo per il rotore un numero di cave pari a 30, ossia 2,5 cave per polo-fase (*), la corrente nelle sbarre sarà:

$$I_{sb} = K \cdot K_{as} \frac{n_{cs} \cdot \text{fili/cava}}{n_{cr}} I_{fs} \cdot \cos\varphi = 0,95 \cdot 0,837 \frac{24 \cdot 118}{30} 2,05 \cdot 0,75 = 115,4 \text{ A}$$

In base ad una densità di 5,7 A/mm^2 si avrà:

$$S_{sb} = \frac{115,4}{5,7} = 20,24 \text{ mm}^2$$

Adotteremo una sbarra di rame trafilato di 8 mm × 2,5 mm. Il motore avrà quindi caratteristiche intermedie tra il tipo a gabbia normale e quello *a sbarre alte* e conseguentemente sarà assicurata una buona coppia di spunto.

Per potere utilizzare lo stesso pacco per una potenza più elevata (v. esempio 2) le cave possono farsi di forma rettangolare delle dimensioni di 10,5 mm × 3 mm (**) con taglietto di 0,75 mm e becchi di 0,5 mm, quindi l'altezza del dente sarà di 11 mm; le larghezze minima e massima del dente possono ritenersi di 3,437 e 5,744 mm.

(*) Il numero di cave per polo-fase del rotore e quello dello statore soddisfano alla condizione di essere primi fra loro.

(**) Normalmente con sbarre di 8 × 2,5 mm le cave si faranno all'incirca di 8,5 mm × × 3 mm. Naturalmente si possono adottare soluzioni diverse qualora si voglia realizzare un motore con particolari caratteristiche.

La corrente e la sezione degli anelli risultano:

$$I_{an} = \frac{0,16 \cdot I_{sb} \cdot n_{cr}}{p} = \frac{0,16 \cdot 115,4 \cdot 30}{2} = 276,96 \text{ A}$$

$$S_{an} = \frac{276,96}{5.7} = 48,57 \text{ mm}^2$$

Si adotterà una sezione di circa 49 mm^2 (16,3 × 3 mm = 48,9 mm^2).

Il foro dell'albero potrà farsi di 25 mm (v. tabella XLIII) e pertanto la corona del rotore risulta:

$$\varnothing_{bdr} = 83,5 - 2 \cdot 11 = 61,5 \text{ mm}$$

$$h_{cr} = \frac{61,5 - 25}{2} = \frac{36,5}{2} = 18,25 \text{ mm}$$

Peso rame

La lunghezza della spira media dell'avvolgimento statorico, dato il sensibile raccorciamento del passo, sarà:

$$L_{spm} = 2\,(0,07 + 1,6 \cdot 0,066) = 0,35 \text{ m}$$

quindi la lunghezza totale dell'avvolgimento ed il peso relativo risulteranno:

$$\text{lungh. totale avvol.} = 0,35 \frac{3 \cdot 944}{2} = 0,35 \cdot 1416 = 495,6 \text{ m} = \sim 500 \text{ m}$$

$$\text{peso rame} = \frac{500 \cdot 3,529}{1000} = 1,765 \text{ kg}$$

Il peso del rame del rotore sarà:

$$\begin{aligned} \text{peso sbarre} &= 30 \cdot 0,106 \cdot 20 \cdot 0,0089 = 0,566 \text{ kg} \\ \text{peso anelli} &= 2 \cdot 0,2 \cdot 48,9 \cdot 0,0089 = 0,174 \text{ »} \\ \text{peso totale} &= 0,740 \text{ kg} \end{aligned}$$

Calcolo del cos φ_{max}.

$$x = \frac{n_{cs} + n_{cr}}{2 \cdot 2p} = \frac{24 + 30}{2 \cdot 4} = \frac{54}{8} = 6,75$$

$$y = \frac{\text{taglietto cave statore} + \text{taglietto cave rotore}}{2} = \frac{0,22 + 0,075}{2} = 0,1475 \text{ cm}$$

$$\delta = 0,025 \text{ cm}; \quad L_a = 6,65 \text{ cm}; \quad \tau = \frac{3,14 \cdot \varnothing_i}{2p} = \frac{3,14 \cdot 8,4}{4} = \frac{26,376}{4} = 6,594 \text{ cm}$$

quindi σ_d risulta:

$$\sigma_d = \frac{3}{x^2} + \frac{\delta}{y \cdot x \cdot \tau} + \frac{6 \cdot \delta}{L_a} = \frac{3}{45{,}56} + \frac{0{,}025}{0{,}1475 \cdot 6{,}75 \cdot 6{,}594} + \frac{0{,}15}{6{,}65} =$$

$$= 0{,}0658 + 0{,}0038 + 0{,}0225 = 0{,}0921$$

Il valore approssimato del $\cos \varphi_{max}$ (maggiorando σ_d del 15%) sarà:

$$\cos \varphi_{max} = \frac{1}{2 \cdot \sigma_d + 1} = \frac{1}{2 \cdot 0{,}1006 + 1} = \frac{1}{1{,}212} = 0{,}82$$

Il valore di $\cos \varphi_{max}$ è buono, quindi il dimensionamento del pacco lamiere può ritenersi soddisfacente.

Peso lamierini

I dischi vengono ricavati da strisce della larghezza di 152 mm, quindi un lamierino statorico ed uno rotorico richiedono un quadrato di 152 mm × 152 mm; pertanto il peso lordo dei lamierini necessari per ogni motore sarà:

$$\text{peso lordo lamierini} = 2{,}3104 \cdot 0{,}005 \cdot 133 \cdot 7{,}75 = 11{,}89 \text{ kg}$$

Il peso del pacco statorico e quello del pacco rotorico saranno rispettivamente:

$$\text{peso pacco statorico} = \left(\pi \frac{\varnothing_e + \varnothing_i}{2} \cdot \frac{\varnothing_e - \varnothing_i}{2} - \text{sup. cava} \cdot n_{cs}\right) L_a \cdot \gamma =$$

$$= (3{,}14 \cdot 1{,}17 \cdot 0{,}033 - 0{,}0142 \cdot 24)\, 0{,}665 \cdot 7{,}8 = (1{,}213 - 0{,}351)\, 0{,}665 \cdot 7{,}75 = 4{,}41 \text{ kg}(*)$$

$$\text{peso pacco rotorico} = \left(\pi \frac{\varnothing_r + \varnothing_a}{2} \cdot \frac{\varnothing_r - \varnothing_a}{2} - \text{sup. cava} \cdot n_{cr}\right) L_a \cdot \gamma =$$

$$= (3{,}14 \cdot 0{,}545 \cdot 0{,}295 - 0{,}0945)\, 0{,}665 \cdot 7{,}8 = (0{,}505 - 0{,}0945)\, 0{,}665 \cdot 7{,}75 = 2{,}11 \text{ »}$$

$$\text{Peso totale} = 6{,}52 \text{ kg}$$

VERIFICHE

Induzioni effettive

Prima di effettuare le verifiche conviene determinare l'induzione effettiva nel traferro e negli altri tronchi del circuito magnetico.

(*) Nella superficie delle cave si è tenuto conto del taglietto; inoltre si è pure computata la superficie dei fori per la rivettatura dello statore (circa 0,01 dm²).

Prevedendo un *fattore di saturazione* K_{sa} pari ad 1,5, il *fattore di riduzione* Fr (v. tabella LXXVI) risulta di 0,895 e pertanto si avrebbe:

$$B_\delta = 0{,}895 \cdot 0{,}83 = 0{,}7429 = \sim 0{,}743 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{ds} = \frac{0.743 \cdot 0{,}011}{0{,}95 \cdot 0{,}00515} = \frac{0{,}008173}{0{,}0048925} = 1{,}67 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{dr} = \frac{0{,}743 \cdot 0{,}008744}{0{,}95 \cdot 0{,}00422} = \frac{0{,}0064968}{0{,}004009} = 1{,}62 \text{ Wb/m}^2$$

Le Asp/cm corrispondenti, con lamierini laminati a caldo (*) (v. fig. 333), risultano rispettivamente 47 e 36; in base ad una lunghezza effettiva dei denti di 1,7 e 1,1 cm e ad un coefficiente di Carter pari a 1,18 (**) si avrà:

$$K_{sa} = \frac{\text{Asp. traferro} + \text{Asp. denti}}{\text{Asp. traferro}} = \frac{8000 \cdot 0{,}025 \cdot 0{,}743 \cdot 1{,}18 + 1{,}7 \cdot 47 + 1{,}1 \cdot 36}{8000 \cdot 0{,}025 \cdot 0{,}743 \cdot 1{,}18} =$$

$$= \frac{175 + 80 + 40}{175} = \frac{295}{175} = 1{,}686$$

Essendo il valore di K_{sa} più alto del previsto si ripete il tentativo in base ad un valore intermedio fra i due; per $K_{sa} = 1{,}6$ si ha:

$$B_\delta = 0{,}883 \cdot 0{,}83 = 0{,}73289 = \sim 0{,}733 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{ds} = \frac{0{,}733 \cdot 0{,}011}{0{,}0048925} = \frac{0{,}008063}{0{,}0048925} = 1{,}648 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{dr} = \frac{0{,}733 \cdot 0{,}008744}{0{,}004009} = \frac{0{,}006409}{0{,}004009} = 1{,}6 \text{ Wb/m}^2$$

Le Asp/cm nei denti risultano rispettivamente (v. fig. 333): 41 e 30; pertanto si avrà:

$$\text{Asp. traferro} = 8000 \cdot 0{,}025 \cdot 0{,}733 \cdot 1{,}18 = 173$$

$$\text{Asp. denti statore} = 1{,}7 \cdot 41 = 70$$

$$\text{Asp. denti rotore} = 1{,}1 \cdot 30 = 33$$

ed infine:

$$K_{sa} = \frac{173 + 70 + 33}{173} = \frac{276}{173} = 1{,}595$$

(*) Con lamierini DI-MAX (laminati a freddo) le amperspire risulterebbero rispettivamente 27 e 18 (v. fig. 334), ed il fattore di saturazione K_{sa} assumerebbe un valore molto più basso.

(**) Il coefficiente di Carter (v. pag. 297) per lo statore risulta di 1,147 e per il rotore di 1,03 e quindi quello risultante è di 1,18.

ossia un valore che coincide praticamente con quello assunto. Pertanto i probabili valori effettivi risultano:

$$B_{\delta e} = 0{,}733 \text{ Wb/m}^2; \quad B_{ds} = 1{,}648 \text{ Wb/m}^2; \quad B_{dr} = 1{,}6 \text{ Wb/m}^2$$

Nella corona dello statore ed in quella del rotore si avrà:

$$B_{cs} = \frac{(1+c)\cdot\pi\varnothing_i \cdot B_{\delta e}}{2 \cdot Fs \cdot h_{cs} \cdot 2p} \alpha_e = \frac{1{,}021 \cdot 0{,}264 \cdot 0{,}733}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0151 \cdot 4} 0{,}721 = \frac{0{,}14245}{0{,}11476} = 1{,}24 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cr} = \frac{\pi\varnothing_i \cdot B_{\delta e}}{2 \cdot Fs \cdot h_{cr} \cdot 2p} \alpha_e = \frac{0{,}264 \cdot 0{,}733}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}01825 \cdot 4} 0{,}721 = 1 \text{ Wb/m}^2$$

oppure più semplicemente, essendo già noto il flusso (*):

$$B_{cs} = \frac{(1+c)\,\Phi_{\delta e}}{2 \cdot h_{cs} \cdot L_a} = \frac{1{,}021 \cdot 0{,}00244264}{2 \cdot 0{,}0151 \cdot 0{,}0665} = \frac{0{,}002493935}{0{,}0020083} = \sim 1{,}24 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cr} = \frac{\Phi_{\delta e}}{S_{cr}} = \frac{\Phi_{\delta e}}{2 \cdot h_{cr} \cdot L_a} = \frac{0{,}00244264}{2 \cdot 0{,}01825 \cdot 0{,}0665} = \frac{0{,}00244264}{0{,}00242725} = 1 \text{ Wb/m}^2$$

Resistenza per fase dello statore e del rotore

Resistenza per fase a 75° C dell'avvolgimento statorico. — In base alla lunghezza totale di 500 m la resistenza risulta:

$$R_s = \frac{0{,}0213 \cdot 500}{3 \cdot 0{,}3849} = \frac{10{,}65}{1{,}1547} = 9{,}223 \ \Omega$$

Resistenza di una sbarra e di un anello a 75° C:

$$r_{sb} = \frac{0{,}0213 \cdot l_{sb}}{S_{sb}} = \frac{0{,}0213 \cdot 0{,}09}{20} = 0{,}00009585 \ \Omega$$

$$r_{an} = \frac{0{,}0213 \cdot 3{,}14\,\varnothing_{an}}{S_{an}} = \frac{0{,}0213 \cdot 0{,}2}{48{,}9} = 0{,}0000871 \ \Omega$$

(*) Il flusso Φ_δ può ottenersi indifferentemente dalle due relazioni:

$$\Phi_{\delta e} = \alpha \cdot \tau \cdot L_g \cdot B_\delta = 0{,}637 \cdot 0{,}066 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}83 = 0{,}00244264 \text{ Wb}$$

oppure:

$$\Phi_{\delta e} = \alpha_e \cdot \tau \cdot L_g \cdot B_{\delta e} = 0{,}721 \cdot 0{,}066 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}733 = 0{,}00244164 \text{ Wb}$$

La lieve differenza è dovuta agli arrotondamenti.

Resistenza equivalente totale del rotore:

$$R_r = n_{cr} \cdot r_{sb} + 0{,}2 \cdot r_{an} \left(\frac{n_{cr}}{2p}\right)^2 = 30 \cdot 0{,}00009585 + 0{,}2 \cdot 0{,}0000871 \cdot 56{,}25 =$$

$$= 0{,}0028755 + 0{,}0009799 = 0{,}0038554 \ \Omega$$

Resistenza di rotore ridotta a statore:

$$R_{rs} = \frac{R_r}{3}\left(\frac{3 \cdot Z}{n_{cr}} K_{as}\right)^2 = \frac{0{,}0038554}{3}\left(\frac{2832}{30} \cdot 0{,}837\right)^2 = \frac{0{,}0038554}{3} \cdot 6243 = 8{,}023 \ \Omega$$

Reattanza per fase di statore:

$$X_s = 2\pi f \cdot (\text{fili/cava})^2 \cdot q \cdot 2p \cdot L_a \cdot K \cdot 10^{-5} =$$
$$= 314 \cdot 118^2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0{,}0665 \cdot 0{,}51 \cdot 10^{-5} = 11{,}862 \ \Omega$$

Reattanza del rotore ridotta a statore:

$$X_{rs} = 0{,}55 \cdot f \cdot L_a \frac{Z^2}{n_{cr}} \cdot 10^{-4} = 0{,}55 \cdot 50 \cdot 0{,}0665 \cdot \frac{944^2}{30} 10^{-4} = 5{,}432 \ \Omega$$

Impedenza del rotore ridotta a statore:

$$R_{cc} = R_s + R_{rs} = 9{,}223 + 8{,}023 = 17{,}246 \ \Omega$$
$$X_{cc} = X_s + X_{rs} = 11{,}862 + 5{,}432 = 17{,}294 \ \Omega$$

quindi:

$$Z_{cc} = \sqrt{17{,}246^2 + 17{,}294^2} = \sqrt{297{,}4 + 299{,}1} = \sqrt{596{,}5} = 24{,}42 \ \Omega$$

Corrente e fattore di potenza di cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{V_{fs}}{Z_{cc}} = \frac{220}{24{,}42} = 9 \text{ A}$$

$$\cos\varphi_{cc} = \frac{R_{cc}}{Z_{cc}} = \frac{17{,}246}{24{,}42} = 0{,}7062$$

$$\varphi_{cc} = \sim 45°\,5'$$

Corrente ideale di cortocircuito:

$$I_{cci} = \frac{V_{fs}}{X_{cc}} = \frac{220}{17{,}294} = 12{,}72 \text{ A}$$

Rendimento

Perdite nel ferro dello statore:

$$\text{volume corona} = \pi \varnothing_{mcs} \cdot h_{cs} \cdot L_a = 3{,}14 \cdot 1{,}361 \cdot 0{,}135 \cdot 0{,}665 = 0{,}384 \text{ dm}^3$$

$$\text{volume denti} = h_{ds} \cdot z_s \cdot L_a \cdot n_{cs} = 0{,}193 \cdot 0{,}0515 \cdot 0{,}665 \cdot 24 = 0{,}1586 \text{ dm}^3$$

$$\text{peso corona} = 0{,}384 \cdot 7{,}75 = 2{,}975 \text{ kg}$$

$$\text{peso denti} = 0{,}1586 \cdot 7{,}75 = 1{,}229 \text{ (*) »}$$

Impiegando lamierini normali per dinamo, ossia con cifra di perdita di 3,6 W/kg, con le induzioni effettive di 1,24 Wb/m² per la corona e di 1,648 Wb/m² per i denti le perdite teoriche risultano:

$$P_{fe \cdot cs} = 2{,}975 \cdot 5{,}3 = 16 \text{ W}$$

$$P_{fe \cdot ds} = 1{,}229 \cdot 9{,}5 = 12 \text{ »}$$

$$\text{totale} = 28 \text{ W}$$

Perdite effettive nel ferro dello statore:

$$P_{fe} = 2 \cdot 28 = 56 \text{ W}$$

Perdite meccaniche:

$$P_{mecc} = 0{,}7 \cdot 0{,}736 \sqrt{1500} = 0{,}7 \cdot 0{,}736 \cdot 38{,}73 = 20 \text{ W}$$

Perdite rame statore:

$$P_{cus} = 3 \cdot R_s \cdot I^2_{fs} = 3 \cdot 9{,}223 \cdot 2{,}05^2 = 116 \text{ W}$$

Perdite rame rotore:

$$P_{cur} = R_r \cdot I^2_{sb} = 0{,}0038554 \cdot 115{,}4^2 = 0{,}0038554 \cdot 13317 = 51 \text{ W}$$

Perdite totali e rendimento:

$$P_{pt} = 56 + 20 + 116 + 51 = 243 \text{ W}$$

(*) Il volume effettivo dei denti risulta un po' più alto (0,18886 dm³) e quindi anche il peso (1,47 kg), ma per la determinazione delle perdite è da preferire il metodo da noi seguito.

Quindi:

$$\eta = \frac{736}{736 + 243} = \frac{736}{979} = 0{,}75$$

Scorrimento

Lo scorrimento $s\%$ sarà:

$$s\% = \frac{P_{cur}}{P_n + P_{mecc} + P_{cur}} 100 = \frac{51}{736 + 20 + 51} 100 = \frac{51}{807} 100 = 6{,}3\ \%$$

Corrente a vuoto

Calcolo del circuito magnetico. — In base ad un coefficiente di correzione del traferro pari ad 1,18 e con lamiere per dinamo normali (3,6 W/kg) le Asp/polo risultano pari a 300; i conteggi relativi sono riassunti nella tabella che segue.

Corrente magnetizzante:

$$I_\mu = \frac{\text{Asp/polo}}{1{,}31 \cdot K_{rp} \cdot q \cdot \text{fili/cava}} = \frac{300}{1{,}31 \cdot 0{,}866 \cdot 2 \cdot 118} = \frac{300}{267{,}73} = 1{,}12 \text{ A}$$

$$P_{cu \cdot o} = 3 \cdot R_s \cdot I^2_\mu = 3 \cdot 9{,}223 \cdot 1{,}12^2 = 34{,}7 \text{ W}$$

$$I_a = \frac{P_{fe} + P_{mecc} + P_{cu \cdot o}}{3 V_{fs}} = \frac{56 + 20 + 34{,}7}{660} = \frac{110{,}7}{660} = 0{,}1677 \text{ A}$$

Corrente a vuoto:

$$I_o = \sqrt{1{,}12^2 + 0{,}1677^2} = \sqrt{1{,}2825} = 1{,}132 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_o = \frac{I_a}{I_o} = \frac{0{,}1677}{1{,}132} = 0{,}1481$$

$$\varphi_o = 81° 30'$$

oppure:

$$\text{tang}\,(90° - \varphi_o) = \text{cotg}\,\varphi_o = \frac{I_a}{I\mu} = \frac{0{,}1677}{1{,}12} = 0{,}1497$$

$$\varphi_o = 81° 30'$$

Conteggi relativi al circuito magnetico

(Motore da 0,736 kW)

TABELLA LXXVIII

Parte del circuito magnetico	Sezione m^2	Induzione Wb/m^2	Lunghezza cm	Asp/cm	Asp
Traferro . . .	$S_\delta = \alpha_e \cdot L_g \cdot \tau =$ $= 0{,}721 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}066 =$ $= 0{,}003391$	$B_{\delta e} = \frac{\Phi_{\delta_e}}{S_\delta} = \frac{0{,}00244264}{0{,}003391} =$ $= 0{,}733$	0,025	—	173
Corona statore	$S_{cs} = 2 \cdot h_{cs} \cdot L_a =$ $= 2 \cdot 0{,}0151 \cdot 0{,}0665 =$ $= 0{,}0020083$	$B_{cse} = \frac{(1+c)\,\Phi_{\delta e}}{S_{cs}} =$ $= \frac{1{,}021 \cdot 0{,}00244264}{0{,}0020083} =$ $= \frac{0{,}002493935}{0{,}0020083} = 1{,}24$	$l_{cs} = \frac{\pi\,(\varnothing_e - h_{cs})}{2 \cdot 2p} =$ $= \frac{3{,}14 \cdot 13.61}{8} =$ $= 5{,}34$	3,7	20
Denti statore	—	$B_{dse} = \frac{B_{\delta_e} \cdot \tau_{zs}}{Fs \cdot z_s} =$ $= \frac{0{,}733 \cdot 0{,}011}{0{,}95 \cdot 0{,}00515} =$ $= \frac{0{,}008063}{0{,}0048925} = 1{,}648$	1,7	41	70
Denti rotore	—	$B_{dre} = \frac{B_{\delta_e} \cdot \tau_{zr}}{Fs \cdot z\,{}^1\!/_3} =$ $= \frac{0{,}733 \cdot 0.008744}{0{,}95 \cdot 0{,}00422} =$ $= \frac{0{,}006409}{0{,}004009} = 1{,}6$	1,1	30	33
Corona rotore	$S_{cr} = 2 \cdot h_{cr} \cdot L_a =$ $= 2 \cdot 0{,}01825 \cdot 0{,}0665 =$ $= 0{,}00242725$	$B_{cre} = \frac{\Phi_{\delta_e}}{S_{cr}} =$ $= \frac{0{,}00244264}{0{,}00242725} = 1{,}0$	$l_{cr} = \frac{\pi\,(\varnothing_{bdr} - h_{cr})}{2 \cdot 2p} =$ $= \frac{3{,}14\,(6{,}15 - 1{,}825)}{8} =$ $= 1{,}7$	2,3	4
				Asp/polo =	300

Grandezze dedotte dal diagramma circolare

In base ai valori di I_o, φ_o, I_{cc}, φ_{cc} già calcolati ed al valore di I_f si costruisce il diagramma circolare (fig. 335). I valori suddetti sono:

$$I_o = 1{,}132 \text{ A}$$
$$\varphi_o = 81° 30'$$
$$I_{cci} = 12{,}72 \text{ A}$$
$$I_{cc} = 9 \text{ A}$$
$$\varphi_{cc} = 45° 5'$$
$$I_f = 2{,}05 \text{ A}$$

Si ha inoltre:

$$\cos \varphi_\infty = \frac{R_s}{\sqrt{R^2_s + X^2_{cc}}} = \frac{9.223}{\sqrt{9{,}223^2 + 17{,}294^2}} = \frac{9{,}223}{19{,}6} = 0{,}4705$$

$$\varphi_\infty = \sim 62°$$

E come controllo:

$$I_\infty = \frac{V_{fs}}{\sqrt{R^2_s + X^2_{cc}}} = \frac{220}{19{,}6} = 11{,}22 \text{ A}$$

$$3 \cdot R_s \cdot I^2_{cc} = 3 \cdot 9{,}223 \cdot 9^2 = 2241 \text{ W}$$

Con la corrente di 2,05 A si deducono dal diagramma le seguenti grandezze:

$P_n = \sim 0{,}760$ kW;
$\cos \varphi = 0{,}77$;
scorrimento a pieno carico = 6,2% (calcolato 6,3%);
rendimento a pieno carico = 76% (calcolato 75%);

Inoltre si ha:

coppia di avviamento = 12,32 joule, pari a 2,2 volte la coppia normale;
coppia massima = 14,57 joule, pari a 2,7 volte la coppia normale.

Quindi il motore avrà, presumibilmente, un buon rendimento, una notevole capacità di sovraccarico ed una forte coppia di spunto. Il dimensionamento può ritenersi dunque soddisfacente.

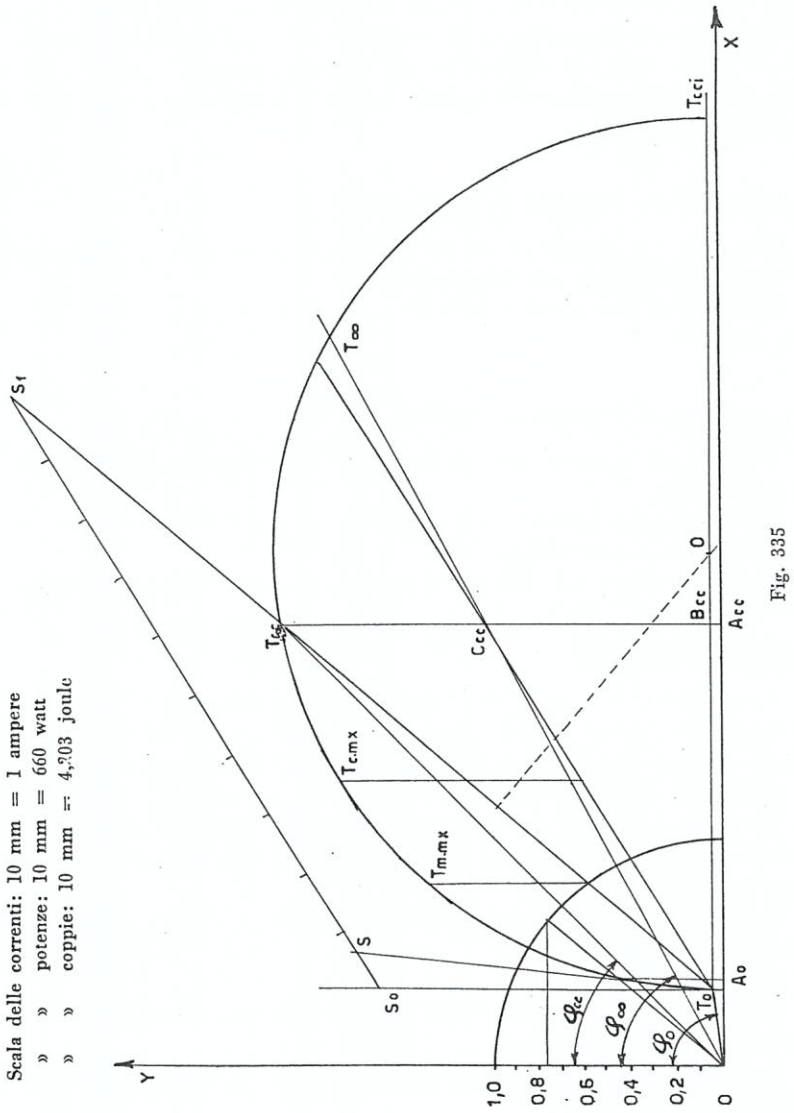


Fig. 335

Naturalmente alla potenza di 0,736 kW la corrente di fase sarà probabilmente inferiore a 2,05 A (tenendo sempre conto della non eccessiva attendibilità del diagramma circolare fatto in sede di progetto). Comunque nel caso in esame la maggiore potenza deve attribuirsi senz'altro al valore del rendimento che sarà certamente superiore a quello prudenziale preventivato.

Nelle tavole da CCXXI ÷ CCLXXVII sono rappresentati il complessivo ed i particolari costruttivi del motore in oggetto completo di carcassa ed albero. Ci siamo attenuti al tipo di carcassa in ghisa perchè di facile realizzazione. Nel dimensionamento abbiamo tenuto conto, come si è detto, della possibilità di sfruttare la stessa carcassa per una potenza maggiore (lunghezza del pacco lamiere fino a $\sim$ 90 mm).

Naturalmente si può variare a piacere la forma della carcassa e soprattutto quella degli scudi; si usa con una certa frequenza un tipo di scudo con una sola feritoia (per la circolazione dell'aria) nella parte inferiore; in tal caso i piedi di appoggio vengono ottenuti di fusione unitamente alla fascia della carcassa.

Oggi però, come s'è già detto, la carcassa si fa generalmente in lega leggera di tipo chiuso a ventilazione esterna.

Naturalmente si potrebbe sostituire il cuscinetto a rulli (v. tavola CCLXXI e particolare 4) con un cuscinetto a sfere e cambiare il sistema di bloccaggio di entrambi i cuscinetti; inoltre si potrebbe adottare un diverso sistema di bloccaggio del pacco rotorico sull'albero.

Variante

Gabbia in alluminio pressofuso. — Mantenendo invariati tutti gli elementi relativi allo statore, si potrebbe, per la potenza di 0,736 kW, prevedere anche la possibilità di fare la gabbia in alluminio pressofuso. In base ad una densità di corrente di 3,6 A/mm^2 tanto nelle sbarre che negli anelli si avrà:

$$\text{sezione cava} = \text{sez. sbarra} = \frac{115,4}{3,6} = 32,05 \text{ mm}^2$$

$$\text{sezione anelli} = \frac{276,96}{3,6} = 76,75 \text{ mm}^2$$

Con denti di larghezza costante di circa 4,22 mm (per avere una induzione nei denti piuttosto modesta secondo il nuovo indirizzo seguito da molti tecnici in Europa) le dimensioni delle cave, se-

condo il sistema indicato di solito negli « *Esempi costruttivi* » più recenti, potrebbero essere all'incirca:

$$11 \times 4/2{,}48 \text{ (mm)}$$

Infatti tenendo conto di 0,5 mm dell'altezza del ponticello si avrà:

$$\frac{3{,}14\left(\frac{4}{2}\right)^2}{2} + 7{,}26 \cdot \frac{4+2{,}48}{2} + \frac{3{,}14\left(\frac{2{,}48}{2}\right)^2}{2} =$$

$$= 6{,}283 + 23{,}522 + 2{,}415 = 32{,}22 \text{ mm}^2$$

Le figg. 299 ÷ 308 possono costituire una buona guida per disegnare la cava. Eseguito un disegno di massima, in iscala sufficientemente grande (generalmente 2:1 oppure 3:1), risaltano subito elementi atti a definire con precisione le dimensioni della cava, da cui ricavare poi il relativo punzone, come si vede chiaramente dalla tav. CCLXXVII, da cui si può rilevare anche uno dei sistemi di rappresentazione molto in uso presso le grandi ditte.

FOGLIO DI LAVORAZIONE

Dati di targa

Motore asincrono - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,736 kW - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 3,55/2,05 A - Collegamento del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito.

Pacco statorico:

Diametro esterno 150 mm - Dopo tornitura 149,6 mm - Lunghezza geometrica 70 mm - Spessore lamiere 0,5 mm - Isolamento smalto - Numero lamierini per pacco ∼ 133 - Peso netto lamierini 4,41 kg.

Impilatura e serraggio su spina secondo tavola I.

Pacco rotorico e gabbia:

Diametro esterno dopo tornitura 83,5 mm - Lunghezza geometrica 70 mm - Spessore lamiere 0,5 mm - Peso lamierini 2,11 kg.

Impilatura e serraggio su spina secondo tavola V - Sbarre di rame trafilato di 8 mm × 2,5 mm - Lunghezza sbarre 106 mm - Anelli frontali di cortocircuito in rame di 16,3 mm × 3 mm ricavati da un cilindro ottenuto di fusione oppure da sbarre trafilate - Le sbarrette vanno saldate agli anelli mediante brasatura con *lega union* - Saldare prima tutte le sbarre ad un anello, spingere l'altro anello contro il pacco con dispositivo della tavola V e saldare tutte le sbarre al secondo anello.

Montaggio pacco statorico sulla carcassa:

Carcassa in ghisa con 4 nervature di centraggio e bloccaggio (v. tavola CCLXXI e particolare 14).

Bloccaggio del pacco mediante chiavetta (v. tavola CCLXXI - particolare 1).

Montaggio pacco rotorico sull'albero:

Albero in acciaio cementato (vedi particolare 29 della tavola CCLXXV).

Bloccaggio del pacco rotorico mediante chiavetta e ghiera (v. tavola CCLXXIV e particolare 12).

Per i cuscinetti ed ogni altro particolare vedasi tabella LXXIX.

Avvolgimento statorico:

Isolamento in cava con cartocci (*) di tela sterlingata da 0,12 mm e leatheroid da 0,25 mm, della lunghezza di 90 mm. Dopo la rimboccatura la lunghezza dei cartocci sarà di 80 mm.

Zeppe di chiusura in faggio evaporato con sezione a lunetta.

24 matasse costituite da 59 spire in filo smaltato duroflex o formivex a doppia smaltatura di 7/10 (diametro massimo del filo isolato ∼ 0,78 mm).

Confezione matasse a coppie (senza tagliare il filo) su sagoma multipla universale.

Spira media 0,35 m.

Interporre fra le testate delle matasse diaframmi in leatheroid o triflexil di 0,15 - 0,2 mm.

Le giunzioni fra le matasse vanno saldate a stagno ed isolate con tubetto sterlingato.

Capi di collegamento alla morsettiera in cavetto calandrato della sezione di ∼ 1 mm².

(*) Per la confezione dei cartocci, nel caso che il montaggio delle zeppe riesca difficoltoso, impiegare uno dei nuovi materiali per isolamento cave.

Motore asincrono trifase da 0,736 kW

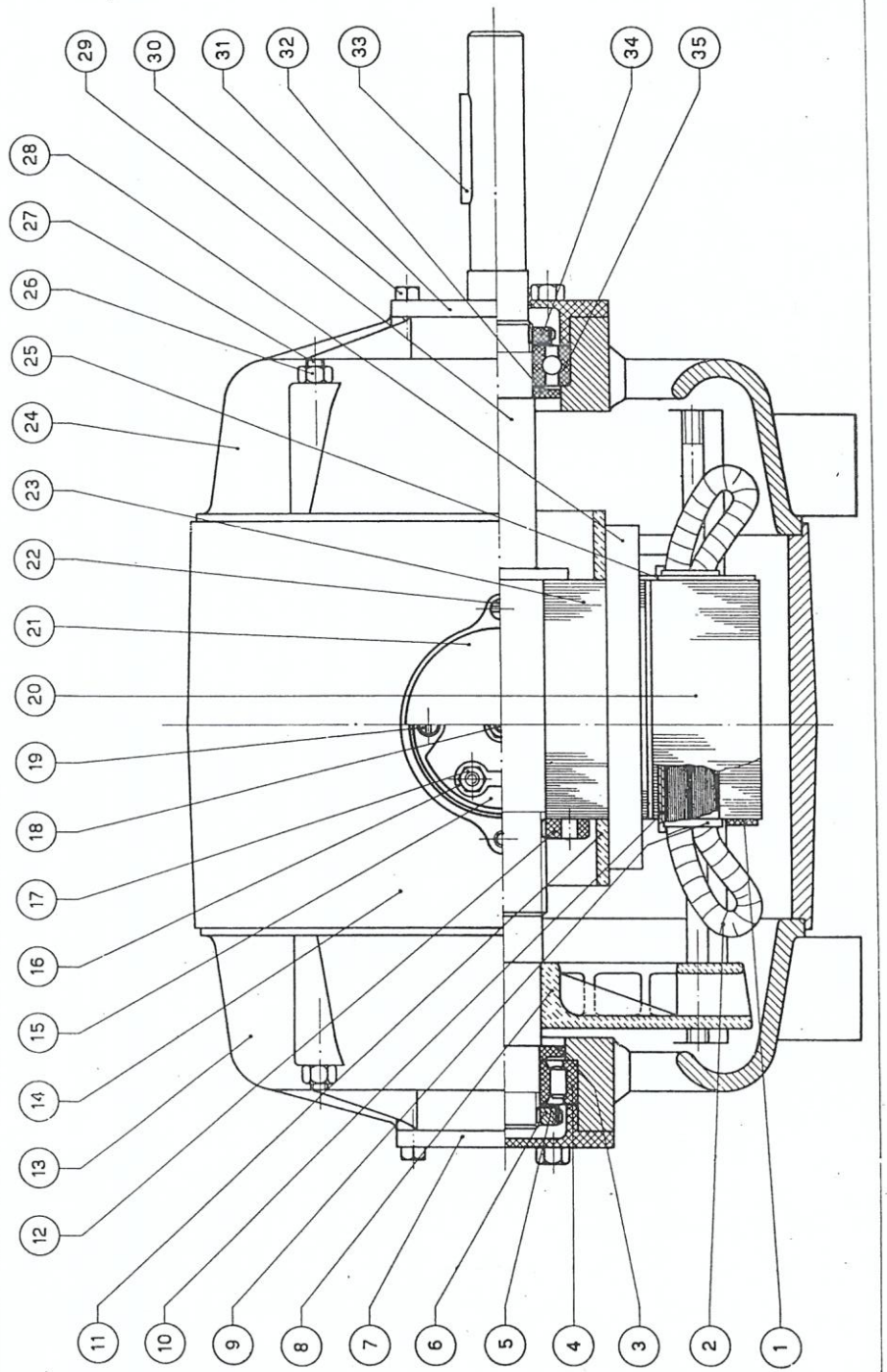


TAVOLA CCLXXI

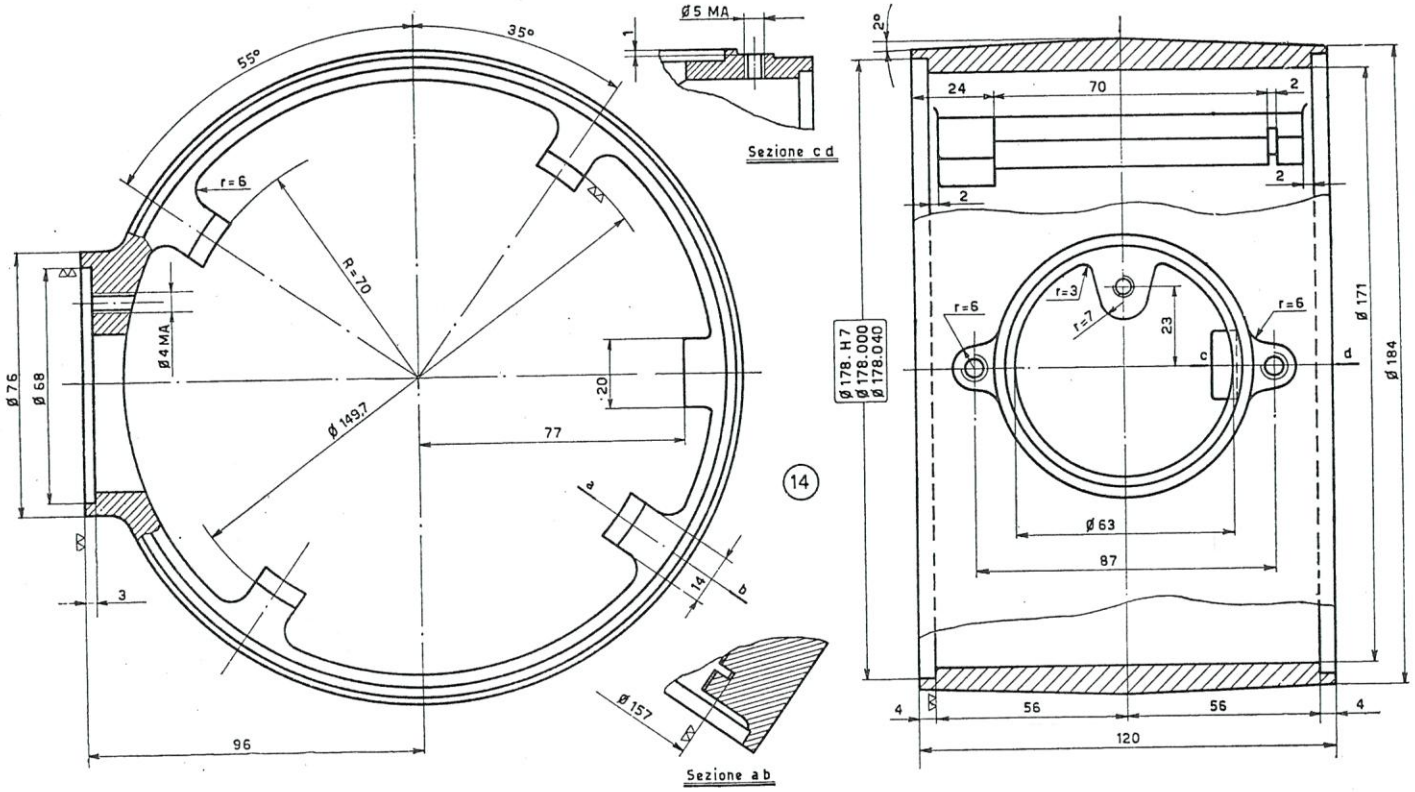
Motore asincrono trifase da 0,736 kW

TAVOLE CCLXXI ÷ CCLXXVII

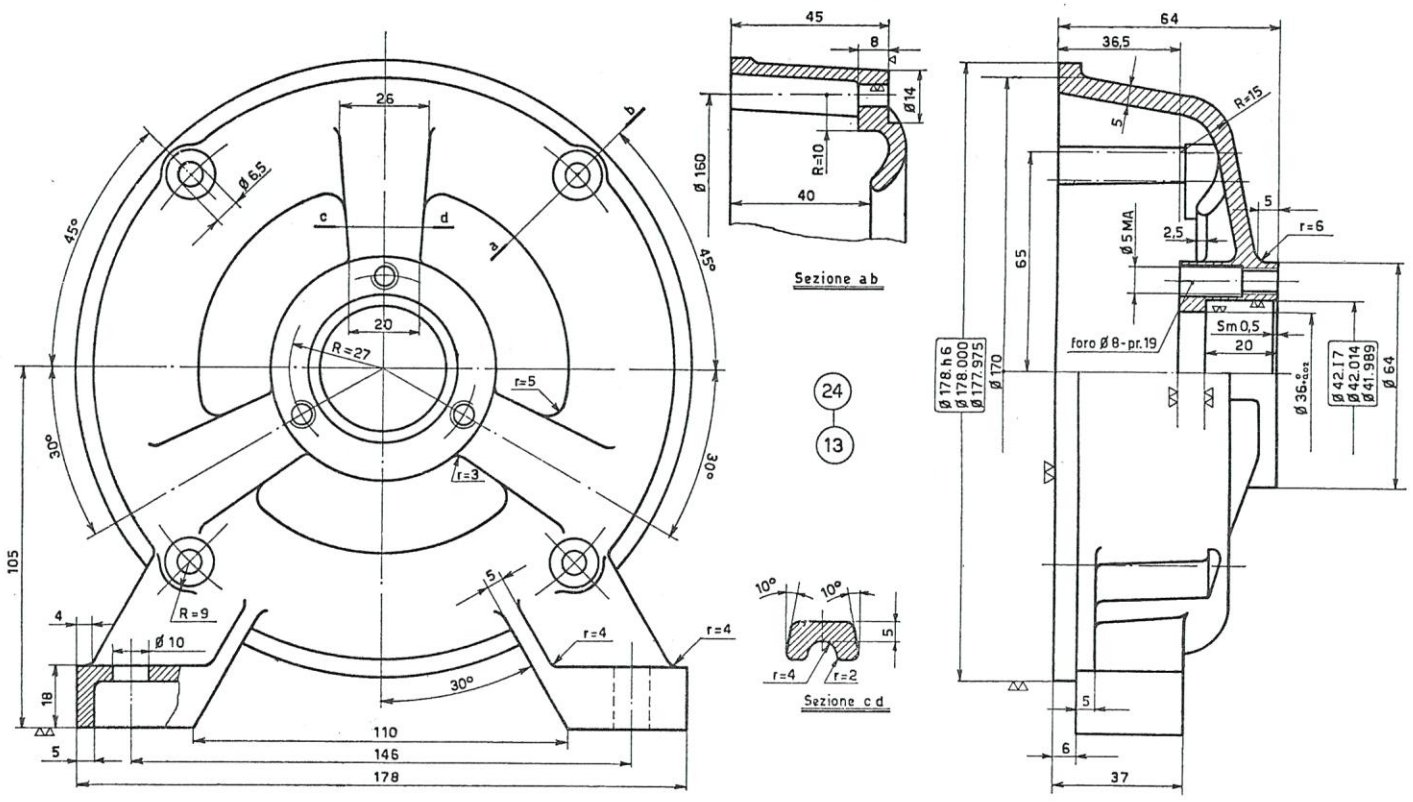
TABELLA LXXIX

Pos.	DENOMINAZIONE	Quantità	Materiale
1	Chiavette di serraggio pacco lamiere statore	4	Ferro
2	Matasse avvolgimento statore	24	Rame
3	Rondella paraolio lato opposto accoppiamento	1	Ferro
4	Cuscinetto a rulli RIV 15×42×13	1	Acciaio
5	Rondelle di sicurezza (arresto per ghiera)	2	Lam. acciaio
6	Ghiera di bloccaggio cuscinetto lato opp. accopp.	1	Acciaio trattato
7	Flangia di chiusura lato opposto accoppiamento	1	Ferro
8	Ventola	1	Alluminio
9	Isolamento cave	q. b.	Leatheroid e tela sterl.
10	Zeppe di chiusura cave	24	Faggio evaporato
11	Anelli di cortocircuito	2	Rame
12	Ghiera di bloccaggio lamierini rotore	1	Acciaio da costruzione
13	Scudo lato opposto accoppiamento	1	Ghisa
14	Carcassa	1	Ghisa
15	Morsettiera	1	Bachelite
16	Piastrine di collegamento	3	Ottone
17	Dadi per morsettiera	12	Ottone
18	Perni per morsettiera	6	Ottone
19	Vite di fissaggio morsettiera	1	Acciaio
20	Pacco lamiere statore	1	Lamiere per dinamo
21	Calotta coprimorsetti	1	Alluminio
22	Viti per fissaggio calotta coprimorsetti	2	Acciaio
23	Pacco lamiere rotore (con gabbia in rame)	1	Lamiere per dinamo
24	Scudo lato accoppiamento	1	Ghisa
25	Anello di serraggio pacco statore	1	Ferro
26	Dadi per tiranti di bloccaggio scudi	4	Acciaio
27	Tiranti bloccaggio scudi	4	Ferro trafilato
28	Sbarre gabbia rotore	30	Rame
29	Albero	1	Acciaio da costruzione
30	Bulloni di fissaggio flange di chiusura	6	Ferro trafilato
31	Flangia di chiusura lato accoppiamento	1	Ferro
32	Rondella paraolio lato accoppiamento	1	Ferro
33	Linguetta per accoppiamento	1	Ferro
34	Ghiera di bloccaggio cuscinetto lato accoppiamento	1	Acciaio trattato
35	Cuscinetto a sfere SKF 20×42×12	1	Acciaio

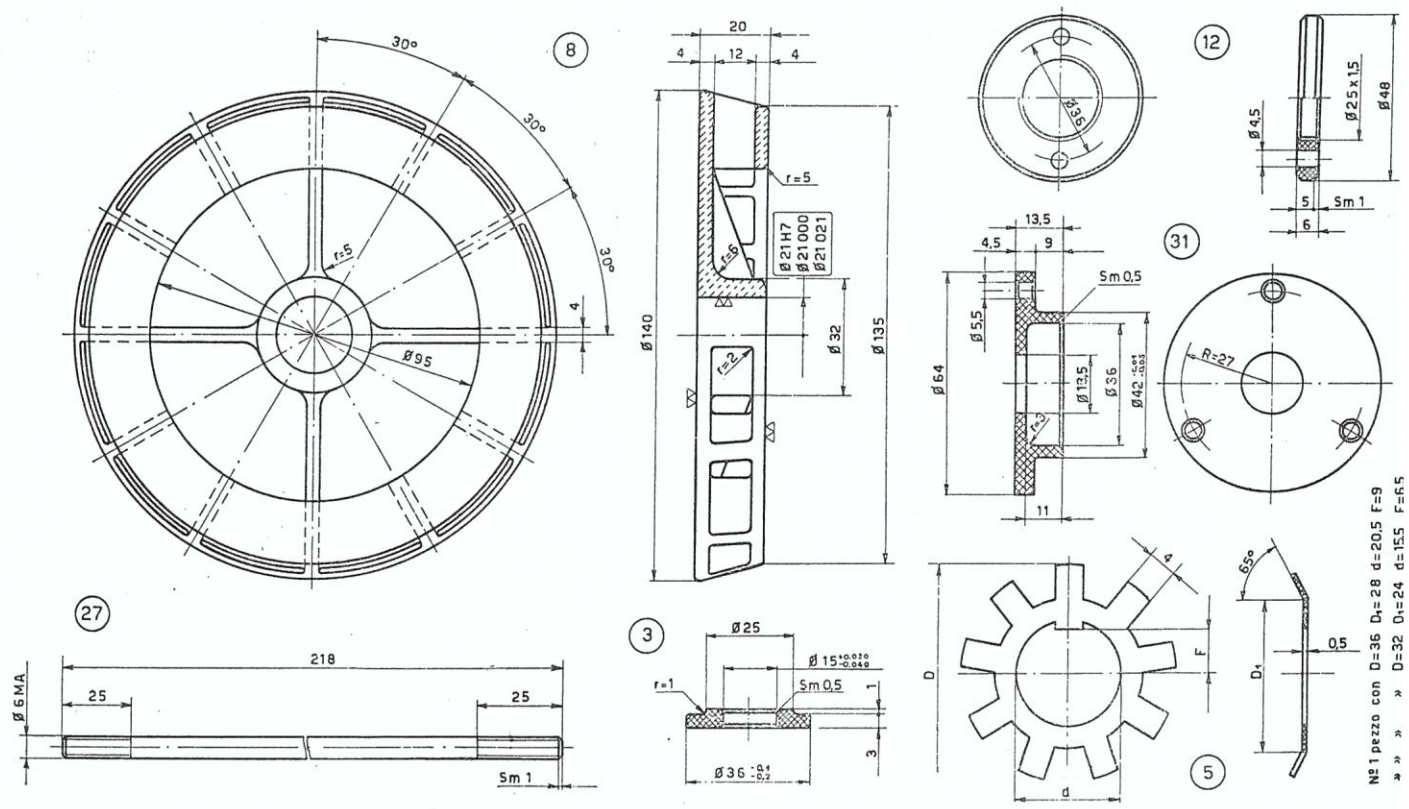
Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari



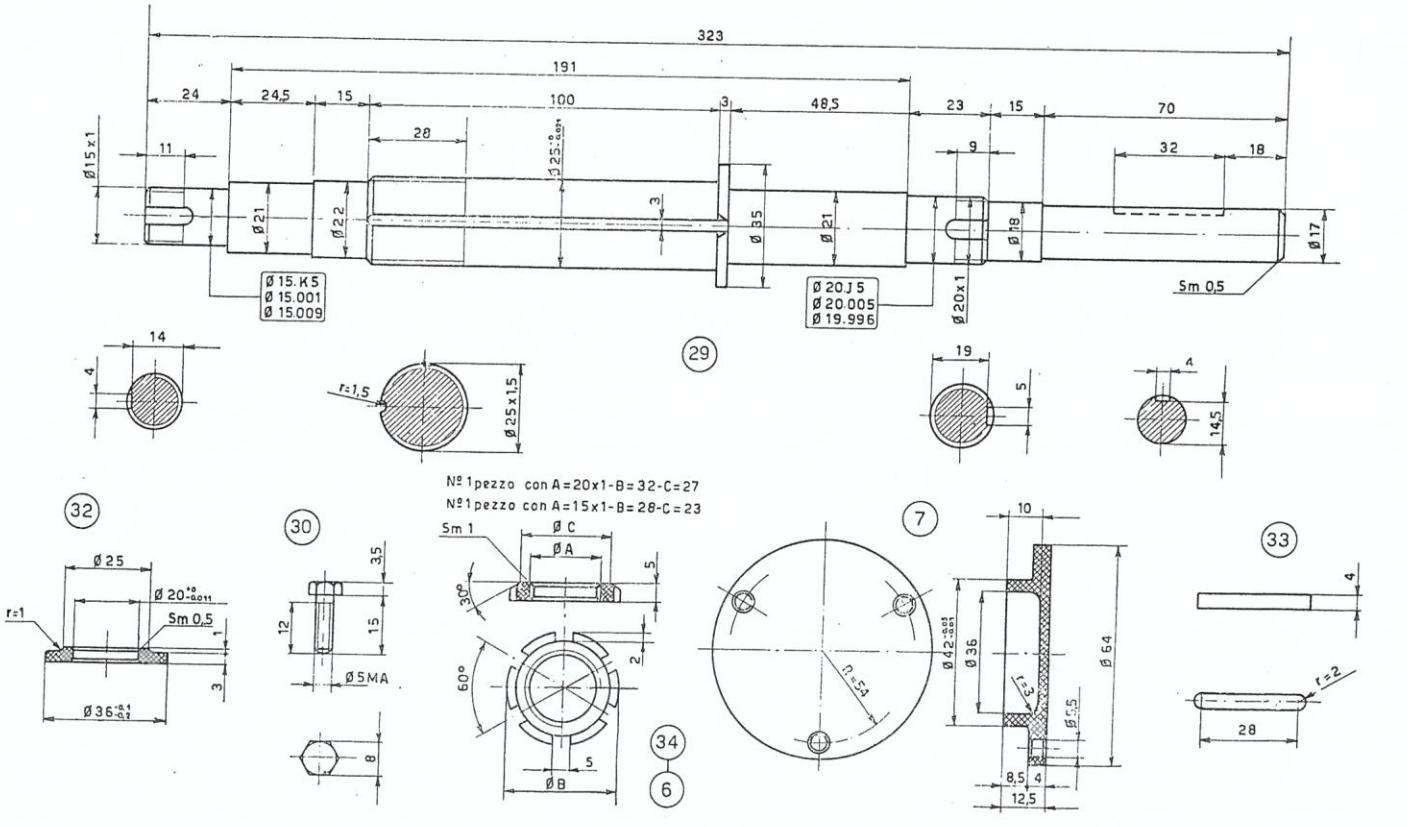
Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari



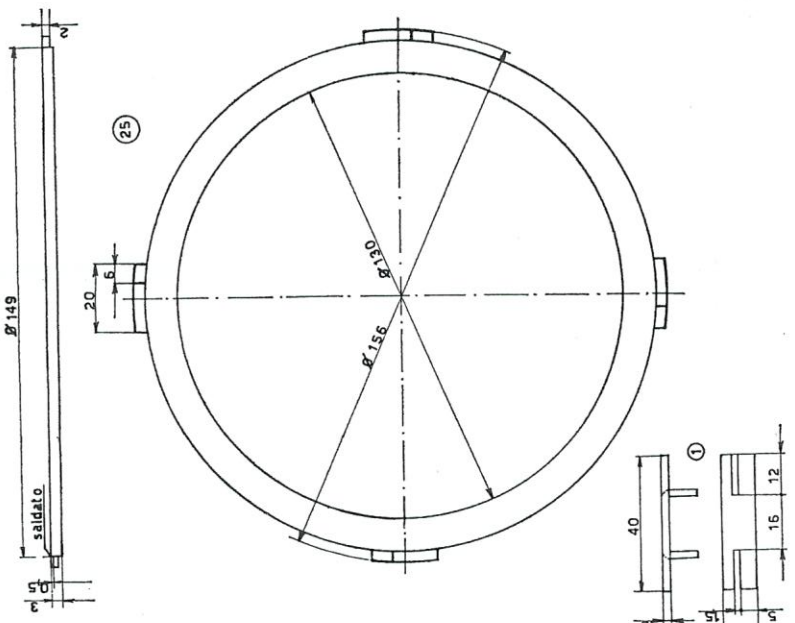
Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari



Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari

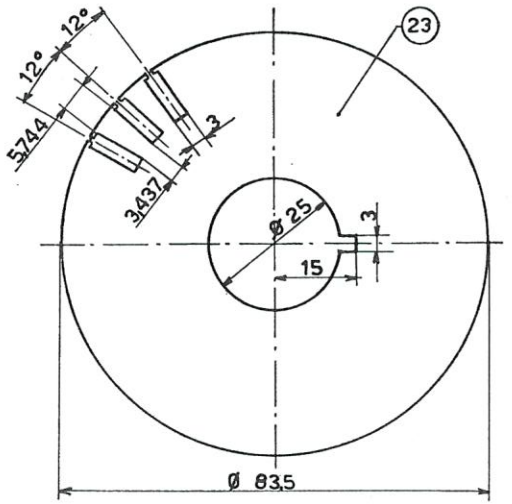


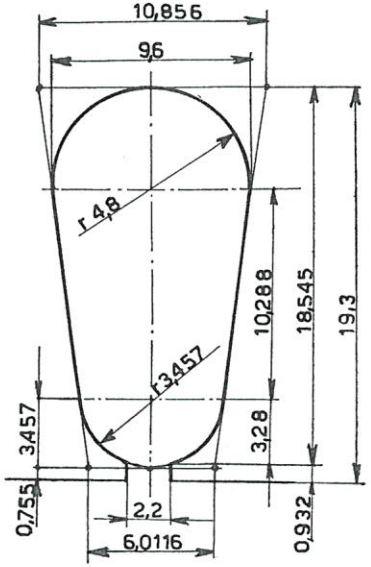
Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari



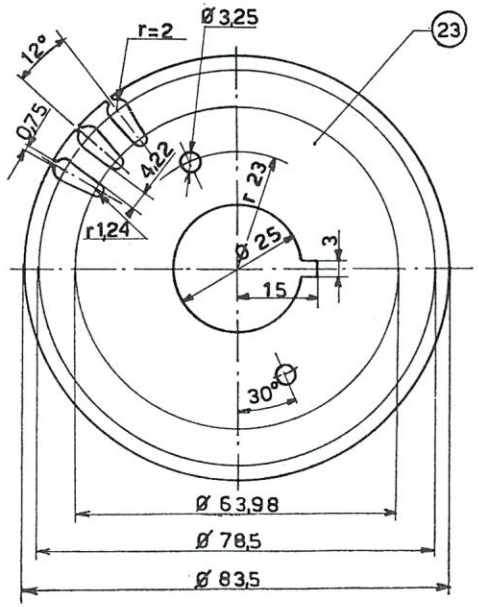
Motore asincrono trifase da 0,736 kW - particolari

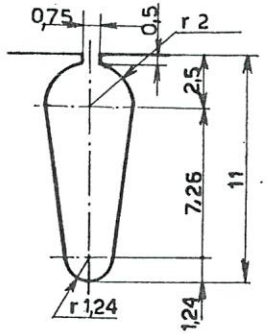
(lamierini rotore per gabbia in rame e per gabbia in alluminio pressofuso)





cava statore-scala 3:1





cava rotore-scala 3:1

2) Motore da 0,920 kW a 4 poli

Dimensioni del pacco statorico, del pacco rotorico e della gabbia in rame come nell'esempio precedente.

Dati di targa. — Motore asincrono - Velocità di rotazione alla potenza nominale 1500 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,920 kW (1,25 cav) - Servizio continuo - Tensione di alimentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 4,17/2,41 A - Collegamento del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito.

Fili in serie per fase, fili/cava ed Afc. — Con un avvolgimento a 2 matasse/cava e passo $1 \div 6$ e per una induzione nel traferro ancora di 0,83 Wb/m² si avrà:

$$Z = \frac{2 \cdot 220}{114 \cdot 0{,}933 \cdot 0{,}084 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}83} = \frac{440}{0{,}519} = 848$$

$$\text{fili/cava} = \frac{848}{8} = 106$$

Prevedendo un fattore di potenza di 0,78 ed un rendimento di 0,74, la corrente e gli *Afc* risultano:

$$I_f = \frac{P_n}{3 \cdot V_f \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{920}{660 \cdot 0{,}74 \cdot 0{,}78} = \frac{920}{380{,}95} = 2{,}41 \text{ A}$$

$$Afc = \frac{3 \cdot Z \cdot I_f}{\pi \cdot \varnothing_i} = \frac{3 \cdot 848 \cdot 2{,}41}{3{,}14 \cdot 8{,}4} = \frac{6131}{26{,}4} = 232 \text{ (accettabile)}$$

Sezione conduttore. — Per una densità di 5,2 A/mm² si avrà:

$$S_c = \frac{I_f}{\sigma} = \frac{2{,}41}{5{,}2} = 0{,}463 \text{ mm}^2$$

Si può adottare quindi il filo smaltato all'acetale di vinile di 0,75 mm (sez. = 0,4418 mm²). La densità effettiva risulterà così di 5,45 A/mm², ma se ritenuto utile si potrebbe impiegare il filo di 0,8 mm (sez. = 0,5027 mm²). Il coefficiente di riempimento cava risulterà con entrambe le soluzioni soddisfacente. Infatti:

$$\text{sez. rame/cava} = 0{,}4418 \times 106 = 46{,}83 \text{ mm}^2$$

$$\text{»} \quad \text{»} \quad \text{»} = 0{,}5027 \times 106 = 53{,}28 \text{ mm}^2$$

ed essendo la sezione della cava di 139,91 mm² il coefficiente di riempimento cava risulta rispettivamente di 0,334 e 0,38.

Induzione apparente nella corona e nei denti dello statore. — In base all'induzione apparente nel traferro si ha:

$$B_{cs} = \frac{1{,}021 \cdot 0{,}084 \cdot 0{,}83}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0151 \cdot 2} = \frac{0{,}0712}{0{,}05738} = 1{,}24 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{ds} = \frac{0{,}83 \cdot 0{,}011}{0{,}95 \cdot 0{,}00515} = \frac{0{,}00913}{0{,}0048925} = 1.866 \text{ Wb/m}^2$$

Questi valori ci confermano che il dimensionamento del circuito magnetico è adeguato anche per la potenza di 0,920 kW. Naturalmente il valore effettivo di B_{ds} sarà sensibilmente inferiore a quello apparente (praticamente $B_{dse} = \sim 1{,}65$ Wb/m² come nel caso precedente).

Correnti nelle sbarre e negli anelli.

$$I_{sb} = 0{,}95 \cdot 0{,}933 \cdot \frac{24 \cdot 106 \cdot 2{,}41}{30} \, 0{,}78 = 141{,}3 \text{ A}$$

$$I_{an} = \frac{0{,}16 \cdot 30 \cdot 141{,}3}{2} = 339{,}12 \text{ A}$$

Utilizzando tutta la sezione delle cave rotoriche si possono impiegare delle sbarrette di 10 mm × 2,5 mm, mentre gli anelli si possono fare ancora dello spessore di 3 mm e della larghezza di 20 mm. Le densità di corrente risulterebbero così pienamente soddisfacenti. Infatti:

$$\sigma_{sb} = \frac{141{,}3}{25} = 5{,}65 \text{ A/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{339{,}12}{60} = 5{,}65 \text{ A/mm}^2$$

3) Motore da 0,736 kW a 2 poli

Dimensioni del pacco statorico, del pacco rotorico e della gabbia rotorica (in rame) come nell'esempio precedente.

Dati di targa. — Motore asincrono - Velocità di rotazione alla potenza nominale 3000 giri/min - 50 p/s - Numero delle fasi 3 - Potenza nominale 0,736 kW - Servizio continuo - Tensione di ali-

mentazione 220/380 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 3,13/1,81 A - Collegamenti del primario Δ/Y e del secondario in cortocircuito.

Fili/fase, fili/cava, I_f ed Afc. — Dato che l'induzione nei denti sarà certamente assai modesta si può adottare per la corona dello statore (senza la maggiorazione applicata precedentemente) una induzione di 1,7 (*) Wb/m²; l'induzione B_δ nel traferro così risulta:

$$B_\delta = \frac{2 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0135 \cdot 1{,}7}{1{,}021 \cdot 0{,}084} = \frac{0{,}0436}{0{,}085764} = 0{,}508 \text{ Wb/m}^2$$

Con un avvolgimento a 2 matasse/cava con passo 1÷9 il fattore d'avvolgimento è di 0,83; pertanto si avrà:

$$Z = \frac{220}{113{,}5 \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}084 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}508} = \frac{220}{0{,}2814} = 782$$

$$\text{fili/cava} = \frac{782}{8} = 97{,}75$$

che si arrotonda a 98; l'induzione B_δ risulta così di 0,5067 Wb/m².

Prevedendo un rendimento di 0,76 ed un fattore di potenza di 0,81 la corrente di fase e gli *Afc* risultano:

$$I_f = \frac{736}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}81} = 1{,}81 \text{ A}$$

$$Afc = \frac{3 \cdot 784 \cdot 1{,}81}{3{,}14 \cdot 8{,}4} = \frac{4257{,}12}{26{,}4} = 161$$

L'induzione nei denti dello statore, com'era prevedibile, risulta molto bassa; infatti:

$$B_{ds} = \frac{0{,}5067 \cdot 0{,}07 \cdot 0.011}{0{,}00515 \cdot 0{,}0665} = \frac{0{,}00039}{0{,}000342475} = 1{,}13 \text{ Wb/m}^2$$

Sezione conduttore. — In base ad una densità di 5,2 A/mm² si ha:

$$S_c = \frac{1{,}81}{5{,}2} = 0{,}348 \text{ mm}^2$$

(*) Considerando anche qui l'altezza della corona maggiorata di 1,6 mm (1/3 del raggio di fondo cava) l'induzione nella corona risulterebbe di 1,52 Wb/m².

Si adotterà la sezione commerciale di 0,3849 mm² ($\varnothing_{cu}$ = = 0,7 mm), ma si potrebbe impiegare il filo di 0,65 mm (sezione 0,3318) oppure il filo di 0,68 mm; quindi:

$$\text{sezione rame/cava} = 0{,}3849 \times 98 = 37{,}72 \text{ mm}^2$$

Ne consegue che il fattore di riempimento risulterà assai basso e ciò sta ad indicare una scarsa utilizzazione dello spazio in cava.

Correnti nelle sbarre e negli anelli del rotore e densità relative. — In base alla gabbia in rame prevista per la variante precedente (potenza 0,920 kW) si ha:

$$I_{sb} = 0{,}95 \cdot 0{,}83 \frac{24 \cdot 98 \cdot 1{,}81}{30} \; 0{,}81 = \frac{2718{,}84}{30} = 90{,}63 \text{ A}$$

$$I_{an} = 0{,}16 \cdot 90{,}63 \cdot 30 = 435 \text{ A}$$

$$\sigma_{sb} = \frac{90{,}63}{25} = 3{,}63 \text{ A/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{an} = \frac{435}{60} = 7{,}25 \text{ A/mm}^2$$

Osservazioni

Il valore della densità di corrente negli anelli è un po' alto e quindi sarebbe opportuno impiegare per il funzionamento a 2 poli la barra di rame di 20 × 4 (sez. = ∼ 80 mm²) o, preferibilmente, quella di 25 × 4 (sez. = ∼ 100 mm²). Con quest'ultima soluzione si potrebbe aumentare sensibilmente la potenza del motore, dato che le dimensioni delle cave statoriche sono tali da consentire l'adozione di un conduttore di sezione maggiore e che anche le sbarre del rotore sono adatte per una corrente più elevata.

Infine non sarà superfluo far rilevare che l'impiego dello stesso pacco lamiere del 4 poli comporta un costo più elevato per la maggiore quantità di rame dell'avvolgimento statorico; infatti con una corona statorica adeguata per 2 poli ed un valore normale dell'induzione B si avrebbe una forte diminuzione del numero dei conduttori per fase; per $B_\delta = 0{,}75$ Wb/m² sarebbero occorsi circa 75 fili/cava anzi che 98 e conseguentemente si potrebbe aumentare di parecchio la sezione del filo.

Pertanto l'aumento della sola altezza della corona statorica consentirebbe o la riduzione del peso del rame dell'avvolgimento statorico oppure, dato anche il bassissimo valore dell'induzione nei denti per $B^\delta = 0{,}5067$ Wb/m², un forte aumento della potenza.

CAPITOLO TREDICESIMO

MOTORI ASINCRONI FRONTALI O A TRAFERRO ASSIALE

Premesse

Il motore frontale, detto sovente motore a traferro assiale, fu creato da una fabbrica americana intorno al 1940, e rientra per alcune sue caratteristiche nella categoria dei motori speciali. Non ha avuto il successo sperato nei confronti dei motori normali o a traferro radiale, essenzialmente perchè la produzione dei pacchi lamellari in grande serie presenta sensibili svantaggi dal punto di vista economico. Infatti per una certa produzione è necessario avere una batteria di *punzonatrici,* con un operatore per ogni macchina; il sistema di lavorazione comporta notevoli tempi morti, per fermo macchina ad ogni pacco finito, con forte aggravio del costo (*).

Da una analisi approfondita sulla parte economica nella produzione del pacco lamiere si arriva alla conclusione che questo tipo di motore può essere prodotto con buon profitto economico da parte delle piccole aziende artigiane, perchè con una sola punzonatrice possono fare tutta la loro piccola produzione (**), con un forte risparmio sul pacco lamellare, mentre per la media e la grande industria, in funzione della grande serie, il costo della manodopera risulta troppo gravoso.

I pacchi lamellari sono sempre ricavati da nastro magnetico su misura e da qui deriva la sfrido assai ridotto (circa il 25% rispetto al 50% dei motori normali); altro fattore, che può avere una certa importanza per gli artigiani che volessero costruire questo tipo di motore, è costituito dalla particolare facilità con cui si può effettuare la equilibratura del rotore (v. fig. 340 (***).

(*) Per un motore piccolo — per esempio con 52 cave complessive — il tempo di esecuzione dei due pacchi, statore e rotore, è di circa 15 volte superiore nei confronti dell'abituale *stampo a passo,* il quale su moderna pressa a 500 colpi al minuto produce ad ogni colpo un lamierino dello statore ed uno del rotore ancora uniti.

(**) Con un unico modello si possono ottenere svariate esecuzioni e forme costruttive.

(***) I fori ciechi che si vedono sull'anello di cortocircuito (v. tavole CCLXXVIII e CCLXXIX) sono stati praticati in sede di equilibratura del rotore.

Caratteristiche costruttive

La caratteristica dei motori frontali che colpisce a prima vista è costituita dalla notevole riduzione della lunghezza assiale rispetto ai motori normali a cui si contrappone un diametro esterno un po' maggiore; naturalmente a parità di potenza anche il peso risulta sensibilmente ridotto. In linea di massima la lunghezza assiale del motore frontale risulta dal 40% al 45% minore di quella del motore normale mentre il diametro esterno risulta maggiore dal 25% al 30%.

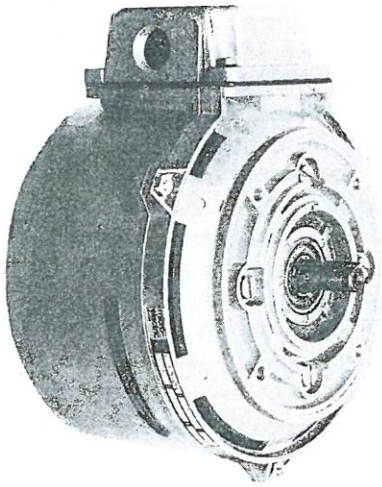


Fig. 336

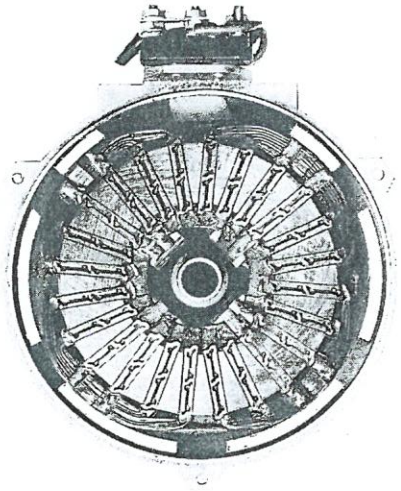


Fig. 337

La fig. 336 mostra una vista di un motore frontale monofase (*), ma sono le viste del pacco lamiere statorico (figg. 337 e 338) e del pacco rotorico (fig. 339) a dare una idea concreta della diversità costruttiva di questo tipo di motore rispetto a quello tradizionale. Le

(*) Questo motorino — prodotto dalla Micro-Electric di Zurigo ed offertoci gentilmente in omaggio dalla ditta Volonterio in occasione di una nostra visita allo stabilimento di Cornaredo — ci ha consentito di eseguire varie prove di funzionamento. Si tratta di un motorino della potenza di 120 watt, 220 volt, 50 p/s, 1300 giri/min ed aventi le seguenti dimensioni fondamentali: *Statore* - Diametro esterno 105 mm, diametro interno 60 mm, altezza nastro 22 mm, altezza corona 11 mm, dimensioni cave 5 mm × 5 mm, numero cave 24; *Rotore* - Diametro esterno 105 mm, dimensioni anelli di corto circuito 7 mm × 20 mm, numero cave 30.

La coppia di spunto è risultata molto buona (corrente assorbita a vuoto 0,56 A) ed il funzionamento abbastanza silenzioso.

figg. 337 e 338 mostrano chiaramente che nei motori frontali non si ha una vera e propria carcassa: lo statore, a forma di anello, è fissato ad un piatto o piastra di base (*), a forma di disco, dal lato accoppiamento; al piatto che funge praticamente da carcassa è fissata anche la morsettiera. Pertanto il motore frontale è particolarmente adatto per l'accoppiamento a flangia.

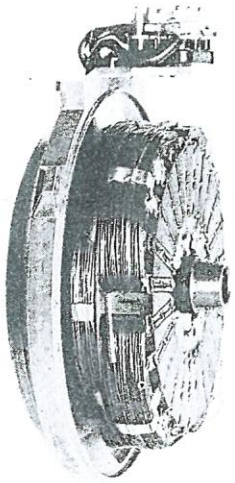


Fig. 338

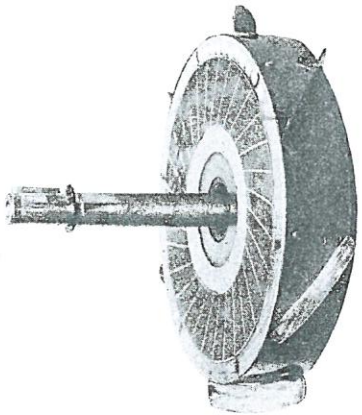


Fig. 339

Dalla fig. 339 si rileva che anche il rotore ha la forma di un disco molto robusto: infatti la lunghezza del rotore è molto piccola rispetto al diametro; infine la fig. 340, che mostra la piastra di base, lo statore ed il rotore uniti, completa il quadro visivo del motore frontale monofase. Tutto il complesso è coperto e protetto da una calotta, in alluminio o in lamiera di ferro, facilmente asportabile, fissata al piatto di base con delle viti.

L'aria di raffreddamento nei tipi con calotta in alluminio, entra di solito dalle feritoie praticate verso il bordo della calotta ed esce dalle feritoie della piastra di base (v. figg. 336 e 337), mentre nei tipi con calotta di ferro stampata — sistema largamente preferito — l'aria di raffreddamento entra dal centro della calotta e dopo avere lambito l'avvolgimento statorico esce dalle apposite feritoie praticate nella parte inferiore del piatto di base (v. fig. 345).

(*) Taluno usa il termine « coperchio » al posto di piatto o piastra di base.

Tanto il pacco dello statore che quello del rotore risultano in un solo pezzo: infatti i pacchi lamellari vengono ricavati, come si è detto, da un nastro magnetico fornito su misura dalle ditte produttrici di laminati. Il nastro continuo (bobina o rotolo) montato su un aspo svolgitore, viene punzonato ed avvolto — con operazione simultanea e continua — su un aspo avvolgitore fino ad ottenere le dimensioni desiderate per il pacco ed infine si blocca il nastro con chiodatura o con altro sistema.

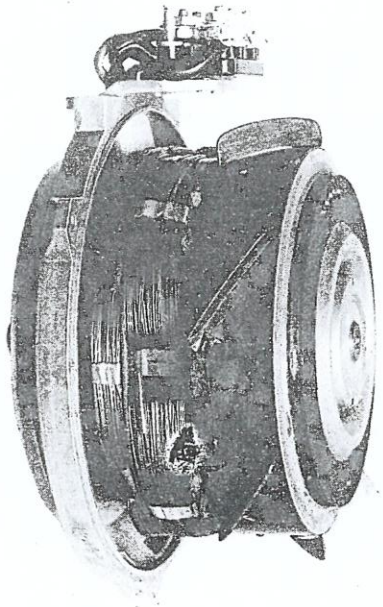


Fig. 340

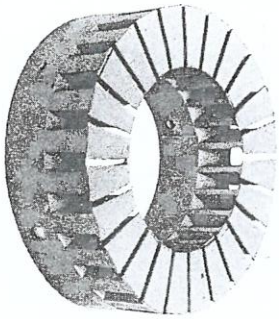


Fig. 341



Fig. 342

Le cave dello statore sono di solito del tipo semichiuso (fig. 341), ma si incontrano anche con una certa frequenza delle cave di tipo aperto (fig. 342); comunque il dente è sempre di forma trapezoidale, con spessore crescente dall'interno verso l'esterno dell'anello (*).

(*) L'aumento dello spessore del dente nei motori frontali è sincronizzato sulla macchina punzonatrice all'aumento del diametro del rotolo raccoglitore — che produce lo stesso pacco lamellare — e cioè aumentando il diametro del rotolo pacco aumenta la lunghezza dello scatto dente.

Le cave del rotore sono leggermente inclinate rispetto alle cave dello statore (v. fig. 339), in modo analogo praticamente al sistema in uso per i motori normali. La gabbia del rotore è di norma in alluminio presso-fuso.

Sovente sull'anello di cortocircuito esterno vengono fissate le alette di ventilazione; nei motori della Micro-Electric le alette di ventilazione sono in lamiera e fissate su un nastro — pure di lamiera — che va montato sull'anello di cortocircuito (fig. 339 e 340). Talvolta le alette di ventilazione vengono ricavate di fusione insieme alla gabbia del rotore.

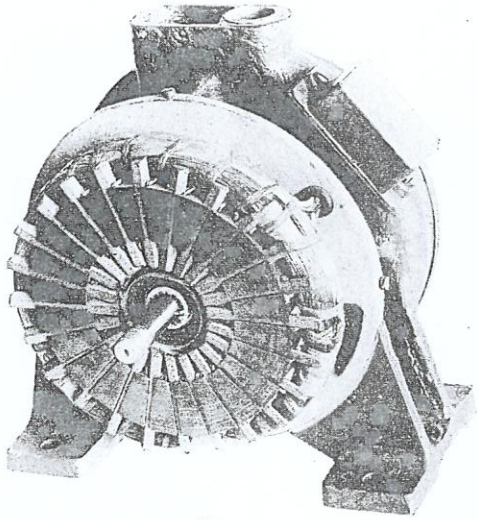


Fig. 343

Naturalmente essendo il diametro molto più grande delle ventole dei motori normali, l'azione raffreddante risulta molto più energica ed efficace.

Il momento di inerzia del rotore è ovviamente notevole, molto superiore che nei motori tradizionali, e ciò costituisce un vantaggio, perchè il rotore si comporta come un volano e conseguentemente il motore risente meno gli effetti delle punte di carico.

L'albero è molto più corto, ma più robusto che nei motori normali, perchè è soggetto oltre che alla sollecitazione torsionale anche alla spinta assiale.

Il piatto che funge da carcassa, come si è accennato, serve altresì da supporto al cuscinetto a sfere principale ed a quello sup-

plementare, come è dato rilevare dalla tavola CCLXXVIII (pos. 7 e 23); questa tavola rappresenta lo stesso motore delle fotografie che illustrano il capitolo e ne costituisce un utile complemento: si tratta di un motorino monofase della potenza di 0,120 kW, della Micro-Electric di Zurigo. Il disegno, in scala 1:1, dà una chiara idea delle parti componenti un motore frontale e la tavola CCLXXIX mostra alcuni particolari del rotore.

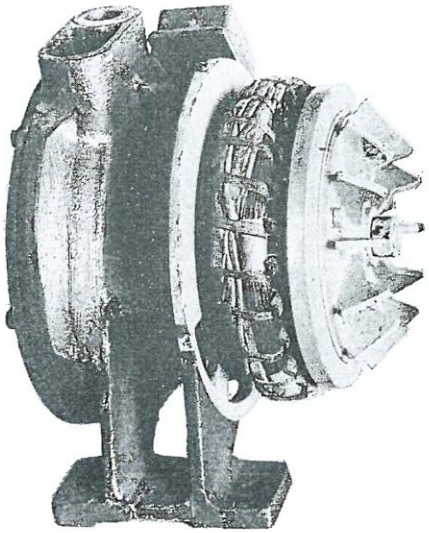


Fig. 344

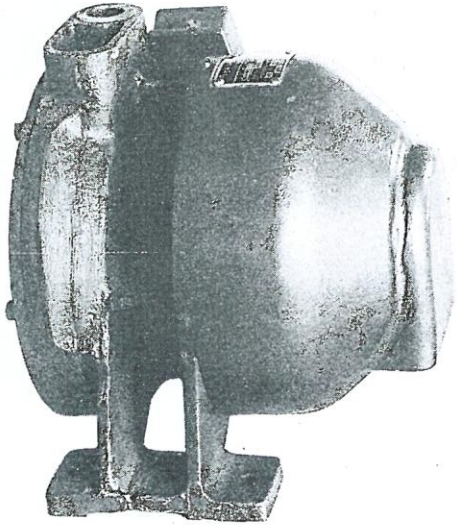


Fig. 345

Nelle figg. 343, 344 e 345 è illustrato un motore frontale di costruzione italiana, che differisce in alcuni particolari da quello della Micro-Electric; si tratta di un motore trifase della potenza li 0,368 kW, costruito dalla Remaf di Genova, applicato ad una pompa d'acqua. Le figg. 343, 344 e 345 mostrano rispettivamente: una vista di fronte dello statore, una vista laterale dello statore e del rotore ed infine l'elettropompa completa, con il coperchio di lamiera stampata. La particolarità più appariscente è la notevole sottigliezza del rotore, ma anche la forma della ventola differisce sostanzialmente dal tipo adottato dalla Micro-Electric.

Le figure riportate illustrano meglio di una minuziosa descrizione i particolari costruttivi dei motori frontali e pertanto riteniamo superfluo soffermarci oltre sulla parte costruttiva.

Per il dimensionamento del pacco lamiere statorico si segue lo stesso criterio dei motori normali; naturalmente la lunghezza geometrica L_g è qui rappresentata dalla larghezza della corona circolare, ossia dalla semidifferenza del diametro esterno e del diametro interno, mentre il diametro interno dei motori normali è qui rappresentato dal diametro medio della corona circolare, cioè dalla semisomma del diametro esterno e del diametro interno del pacco lamellare.

Avvolgimento statorico

Questi avvolgimenti sono per concetto e schema perfettamente identici a quelli dei motori normali. Di solito si adotta l'avvolgimento concentrico, tanto per i motori trifasi che per i motori monofasi (v. figg. 337 e 338). Naturalmente per la preparazione delle matassine si segue lo stesso sistema in uso per i motori normali, anche se la forma risulta un po' diversa dato il maggiore sviluppo delle testate esterne, mentre il montaggio è di una estrema facilità e rapidità dato che nei motori frontali si tratta di lavorare sopra un piatto aperto anzichè nell'interno di un cilindro cavo. Ciò vale ovviamente tanto nel caso di cave aperte che nel caso di cave semichiuse.

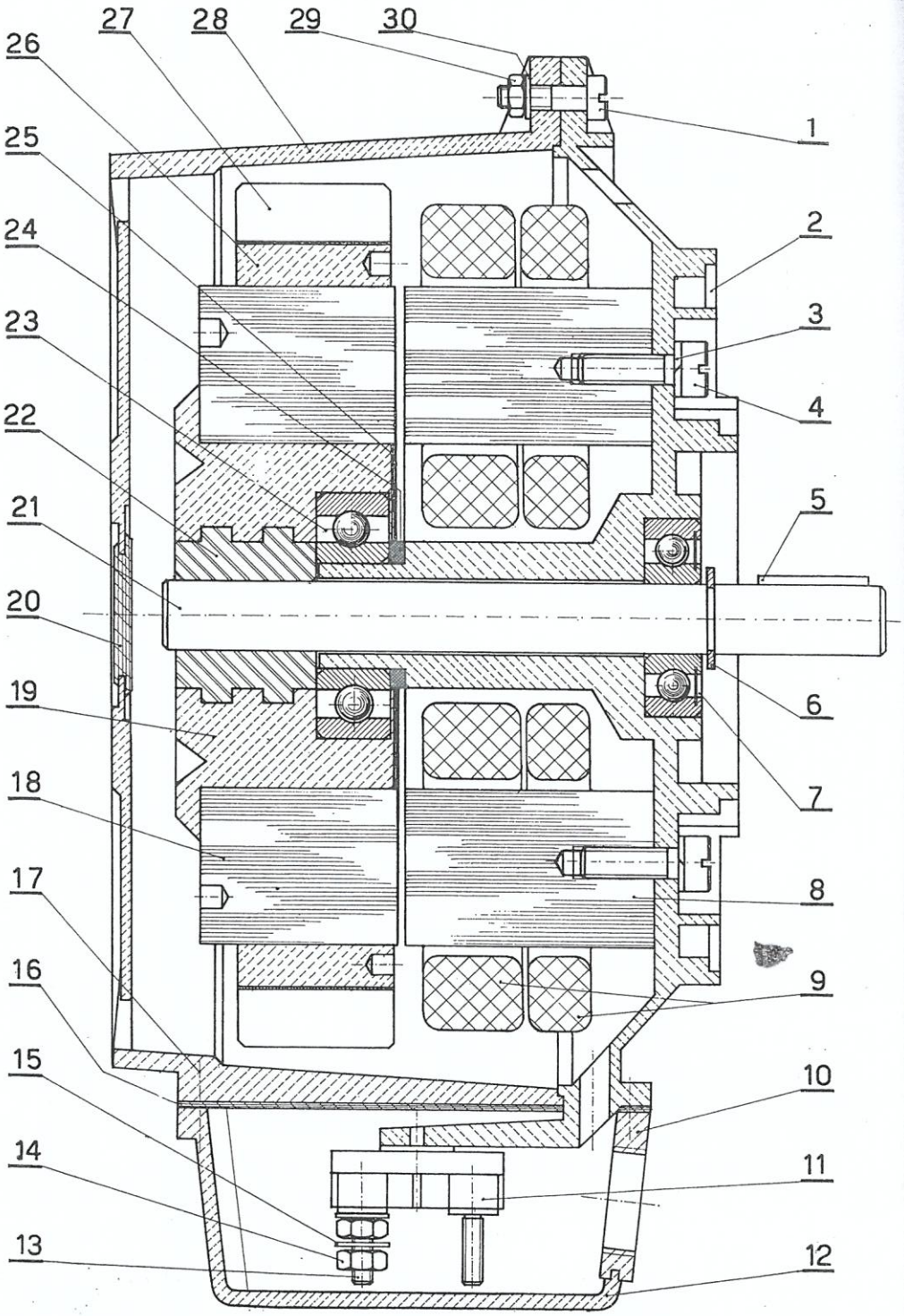
E' molto in uso il sistema di bloccaggio delle testate delle matasse a mezzo di tutte o di una parte delle zeppe di chiusura delle cave. Dalle fig. 337 si rileva che due zeppe per ogni polo sporgono dal pacco lamiere — sia all'esterno che all'interno — rendendo tutto l'avvolgimento perfettamente bloccato, mentre nel motore della Remaf sporgono tutte le zeppe (fig. 343).

Per il calcolo del numero dei conduttori in serie per fase si procede come per i motori asincroni tradizionali, con le varianti di cui si è detto nel paragrafo precedente; anche per il calcolo delle induzioni nei vari tronchi del circuito magnetico il procedimento rimane invariato.

Applicazioni. — Si è già accennato che i motori frontali sono particolarmente adatti per accoppiamento a flangia e quindi si prestano assai bene per montaggio sulle macchine operatrici. Naturalmente possono essere montati indifferentemente ad asse orizzontale oppure ad asse verticale.

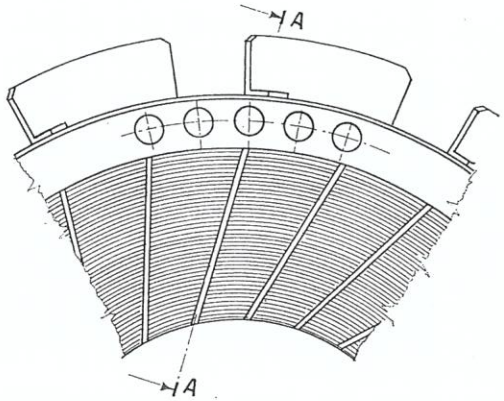
All'occorrenza possono essere montati su base con piedi e conseguentemente si potrebbero impiegare anche per accoppiamento a cinghia.

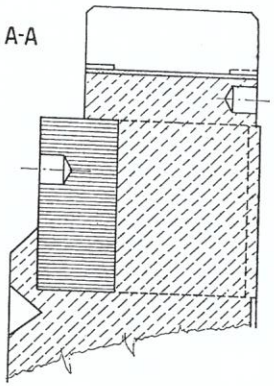
(Complessivo)



Motore asincrono monofase frontale o a traferro assiale

(Particolari del rotore)





Pos.	Denominazione	Materiale	Quant.
1	Vite	Fe 37	3
2	Corpo di sostegno	ALCU 5	1
3	Rosetta elastica	Fe 72	4
4	Vite	Fe 37	4
5	Chiavetta	Fe 60	1
6	Anello di sicurezza	C 72	1
7	Cuscinetto a sfere	RIV	1
8	Pacco statore	48 S5	1
9	Avvolgimenti statorici	Rame	—
10	Tassello (piastrina passacavo)	ALCU 5	1
11	Morsettiera	Bakelite	1
12	Calotta protezione morsettiera	ALCU 5	1
13	Vite prigioniera	Fe 32	6
14	Dado	Fe 32	6
15	Rosetta	Fe 32	12
16	Guarnizione	Gomma	1
17	Vite fissaggio calotta	Fe 37	4
18	Pacco rotore	48 S5	1
19	Nucleo porta statore	ALCU 5	1
20	Tappo	Gomma	1
21	Albero del motore	C 40	1
22	Boccola porta nucleo	Fe 50	1
23	Cuscinetto a sfere	RIV	1
24	Distanziale	Fe 32	1
25	Schermo protez. cuscinetto	Fe 40	1
26	Anello di cortocircuito	ALCU 5	1
27	Aletta di raffreddamento	Pe 40	6
28	Calotta di protezione	ALCU 5	1
29	Dado	Fe 37	3
30	Rosetta	Fe 37	3

Da quanto precede è facile dedurre che con un solo modello si possono realizzare varie forme costruttive ed ottenere svariate esecuzioni. Se necessario il motore può essere fornito con doppia sporgenza d'albero.

Per le applicazioni elettrodomestiche, in cui è essenziale o almeno auspicabile avere dimensioni d'ingombro ridotte, si può adottare il motore frontale monofase.

Infine è da tenere presente la possibilità di sfruttare la spinta assiale, che è abbastanza energica, per ottenere in modo semplicissimo la frenatura; potrebbe essere sufficiente applicare opportunamente sul rotore un anello di materiale adatto alla frizione ed un apposito riscontro sulla calotta di protezione.

Da tutto quanto si è detto emerge che alcune caratteristiche del motore frontale lo rendono utile e vantaggioso in vari casi. Ne è una conferma il fatto che alcune industrie, come la Remaf, hanno adottato questo nuovo tipo di motore.

Le applicazioni sperimentate e definite dalla Remaf sono le seguenti:

a) motori frontali per ventilatori speciali (a ingombro assiale ridotto) di piccola potenza - a 2/4 poli ($P_n = 0{,}1$ - 0,3 cav);

b) motori frontali circolatori d'acqua calda ($P_n = 0{,}05$ cav a 1400 giri/min);

c) motori frontali per lavatrici - 2/12 poli - ($P_n = 0{,}1$ - 0,3 cav);

d) motori frontali a freno frizione per macchine da cucire ad uso industriale a 2 poli ($P_n = 0{,}5$ - 0,75 cav);

e) motori frontali a 2 polarità - 4/8 poli - per macchine da maglieria;

f) motori frontali a 2 poli per pompe d'acqua ($P_n = 0{,}5$ cav).

Conclusioni

Per certe applicazioni il motore frontale presenta apprezzabili vantaggi pratici e precisamente:

a) consente la revisione, la pulizia e la lubrificazione del motore anche in marcia; a tal uopo è sufficiente asportare la calotta di protezione (*) e pertanto si ha il vantaggio di una manutenzione molto semplificata;

b) il numero dei pezzi costituenti il motore risulta minore che nei motori ordinari ed il ricambio è di attuazione assai semplice; gli americani usano dire che questo motore è costruito su una carcassa, non in una carcassa. La riduzione degli elementi non attivi fa sì che il peso del motore risulta sensibilmente ridotto, così come l'ingombro di cui si è detto.

Taluno ritiene, come si è accennato nelle premesse, che il motore frontale rientra nella categoria dei motori speciali principalmente per il fatto che è stata finora scartata la produzione in grande serie per l'oneroso costo della manodopera dei pacchi lamellari, ma in base alle caratteristiche elettriche del tutto eguali a quelle dei motori ordinari — a nostro parere — è da considerarsi un motore normale come quelli tradizionali a traferro radiale.

Riteniamo che possano riuscire utili i dati costruttivi relativi a motori a traferro assiale di piccola potenza e pertanto riportiamo i dati relativi a due motorini trifasi della Micro-Electric e di due motorini della Remaf (**), uno trifase (***) ed uno monofase a 2 velocità per lavatrici.

(*) La morsettiera è montata, ripetiamo, sulla parte fissa e quindi non occorre asportare i collegamenti per togliere la calotta di protezione.

(**) Dobbiamo alla cortesia del dott. ing. Luigi Frumento, consulente tecnico della Remaf di Genova (uno dei pochissimi tecnici italiani che abbia fatto approfonditi esperimenti su questi motori), la possibilità di disporre dei dati relativi a motori frontali di costruzione italiana, mentre i dati sui motori della Micro-Electric ci sono stati gentilmente forniti dalla Terzago Tranciatore.

(***) Si tratta del motorino che aziona la elettropompa delle figg. 343, 344, e 345.

ESEMPI COSTRUTTIVI DI MOTORI ASINCRONI FRONTALI O A TRAFERRO ASSIALE

(Motori della Micro-Electric)

Dati di targa		
Velocità di rotazione alla potenza nominale - giri/min	2860	1350
Frequenza - p/s	50	50
Numero delle fasi	3	3
Potenza nominale - kW	0,270	0,115
Tensione di alimentazione - V	220/380	220/380
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	0,75/0,43	0,35/0,20
Collegamento del primario	tr./st.	tr./st.
Collegamento del secondario	cortocircuito	cortocircuito
Dimensioni principali statore e rotore		
Diametro esterno pacco statorico - mm	122	122
Diametro interno » » »	61,5	61,5
Altezza nastro » » »	22	22
Altezza corona » » »	11	11
Dimensioni cave » » »	5 × 9	5 × 9
Numero cave	24	24
Diametro esterno pacco rotorico - mm	122	122
Diametro esterno rotore (compresso anello di cortocircuito)	137	137
Numero cave	24	24
Foro asse - mm	20	20
Traferro - mm	0,4	0,4
Dati sugli avvolgimenti		
Statore		
Avvolgimento	concentrico	concentrico
Matasse/cava	1	1
Passo avvolgimento	1÷10	1÷7
Fili/cava	240	480
Diametro conduttore nudo - mm	0,30	0,20
Isolamento	smalto	smalto
Rotore		
Materiale gabbia	alluminio	alluminio
Sezione anelli - mm²	140	140
Caratteristiche elettriche		
Corrente a vuoto	0,6	0,28
Scorrimento %	5	10
Rendimento %	76	70
Fattore di potenza	0,76	0,71
Sovratemperatura rame statore (servizio continuo senza ventilazione) °C	35	35

(Motori della Remaf)

Dati di targa	Motore per elettropompa	Motore per lavatrice a 2 velocità - 2 avvolgim.	
Velocità di rotazione alla velocità nominale - giri/min	2850	2750	400
Frequenza - p/s	50	50	
Numero delle fasi	3	1	
Potenza nominale - kW	0,368	0,140	0,060
Tensione di alimentazione - V	220/380	220	220
Corrente assorbita alla potenza nominale - A	2/1,15	3,3	1,17
Collegamento del primario	triangolo/st.	—	
Collegamento del secondario	cortocircuito	—	
Dimensioni principali statore e rotore			
Diametro esterno pacco statorico - mm	145	135	
Diametro interno » » »	85	80	
Altezza nastro » » »	50	50	
Altezza corona » » »	35	19	
Sezione cave » » mm²	90	240	
Numero cave	24	24	
Diametro esterno pacco rotorico - mm	145	135	
Diametro interno » » »	85	80	
Altezza nastro » » »	12,5	15	
Numero cave » » »	42	42	
Sezione cave » » mm²	—	35	
Traferro mm	0,35	0,35	
Dati sugli avvolgimenti			
Statore			
Avvolgimento	concentrico	concentrico	
Matasse/cava	1	1	
Passo avvolgimento	1÷10 e 1÷12	1÷6; 1÷8 1÷10; 1÷12	1÷3
Fili/cava	140	660	400
Collegamento	serie	serie	serie
Diametro conduttore nudo	0,45	0,55	0,45
Avvolgimento ausiliario passo	—	1÷10 e 1÷12	1÷3
Avvolgimento ausiliario fili/cava	—	760	400
Rotore			
Materiale gabbia	Alluminio	Alluminio	
Sezione barretta - mm²	—	35	
Sezione anelli - mm²	174	70	
Caratteristiche elettriche			
Corrente a vuoto - A	1,1/0,63	—	—
Scorrimento - %	5	8,5	20
Rendimento - %	0,66	0,20	0,26
Fattore di potenza	0,75	0,75	0,9

CAPITOLO QUATTORDICESIMO

MOTORI UNIVERSALI

Premesse

Il motore monofase in serie di piccolissima potenza è largamente usato in molte applicazioni: aspiratori, pompe, ventilatori, cesoie elettriche, ecc.; le maggiori potenze trovano le applicazioni più importanti negli apparecchi di sollevamento e nella trazione elettrica a corrente alternata monofase a bassa frequenza.

Il motore monofase in serie deriva direttamente dal tipo corrispondente a corrente continua, però ne differisce per alcune particolarità costruttive. Se si alimentasse con corrente alternata un normale motore in serie per corrente continua, il suo funzionamento lascerebbe molto a desiderare, anzi nella maggior parte dei casi risulterebbe assai difettoso.

Per i motori a corrente alternata è indispensabile applicare la costruzione laminata, estesa sovente all'intero circuito magnetico, e ridurre al minimo l'induttanza degli avvolgimenti (per ottenere un buon fattore di potenza). Per diminuire la reattanza dell'indotto e ridurre ad un valore modesto il campo trasverso, nei motori di una certa potenza, si applicano i noti avvolgimenti compensatori; per l'induttore è sufficiente ridurre al minimo il numero delle spire/polo.

Per rendere accettabile la commutazione ed ottenere un funzionamento soddisfacente si usano cave aperte e matasse di ampiezza minore rispetto agli avvolgimenti a corrente continua, cioè si adottano avvolgimenti a passo raccorciato. In tal modo si riduce l'area abbracciata dalle spire e conseguentemente anche l'induttanza (*).

Il fattore di potenza risulta tanto più elevato quanto minore è il numero dei poli ed elevata la velocità (v. fig. 355). La caratteristica meccanica è simile a quella dei motori in serie a corrente continua.

(*) Talvolta per aumentare la resistenza ohmica si usa costruire i collegamenti delle zone alle lamelle del collettore con leghe ad alta resistività.

Il motore monofase in derivazione non viene usato, ma non è detto che nel futuro non acquisti importanza.

I motori monofasi in serie di piccolissima potenza (di solito fino a $\sim$ 0,5 kW) vengono chiamati **motori universali**. Ci occuperemo con una certa larghezza di questi motorini perchè assai diffusi.

Generalità

Per motore universale s'intende un comando elettrico che è utilizzabile, a parità di tensione nominale, per corrente continua ed alternata. In Europa fino ad oggi i motorini universali in serie vengono costruiti bipolari (*).

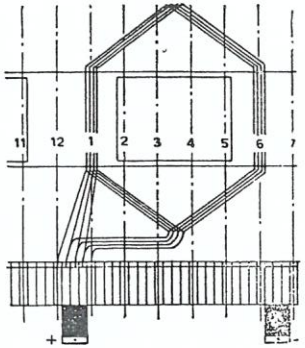


Fig. 346

Il circuito magnetico di questi motorini è sempre completamente laminato (**); i pacchi statorici sono quasi sempre a poli salienti, ma possono costruirsi del tipo a cave, cioè in modo analogo ai motori asincroni (***). L'avvolgimento indotto è di solito del tipo embricato semplice (v. « *Esempi costruttivi di motori universali* » a fine capitolo), identico a quello delle macchine a corrente continua di piccola potenza, e quindi s'intende richiamato tutto ciò che è stato detto al riguardo.

(*) I modelli di prova a 4 e 6 poli non hanno dato risultati soddisfacenti. Il loro vantaggio doveva consistere nel raggiungimento di giri bassi, fino a circa 1000, a parità di tensione e di coppia.

(**) Il pacco statorico è lamellato per ridurre le perdite attive nel ferro dovute alla corrente alternata.

(***) I tipi con cave richiedono, nel caso di inversioni di marcia, un avvolgimento di compensazione che aumenta il costo del motore.

Le spazzole sono fisse; esse vengono disposte di solito in corrispondenza del piano neutro o leggermente spostate. Pertanto le connessioni al collettore assumono l'andamento indicato nella fig. 346, cioè il capo uscente dalla mezzeria tra due espansioni polari, dovendo collegarsi con la lamella corrispondente alla posizione della spazzola, viene portato diritto o leggermente inclinato alla lamella che sta di fronte o quasi alla cava di uscita, mentre tutta l'inclinazione viene data all'altro capo delle zone (v. tavole XIV e XV).

Non mancano però esempi di costruzioni con spazzole disposte sull'asse dei poli (*).

I motori universali (a poli salienti) non portano nè poli ausiliari nè avvolgimenti compensatori.

La velocità viene scelta di solito superiore a 2500 giri/min.

Questi motorini hanno una forte coppia di avviamento ed un buon rendimento in rapporto alla potenza; sono molto diffusi per il comando di piccole macchine utensili ed offrono il vantaggio di non richiedere un avvolgimento di avviamento.

Possono essere costruiti per velocità comunque elevata (il numero di giri/min trova una limitazione nella velocità periferica per ragioni meccaniche).

Nei motori di piccola potenza non avviene il temuto aumento dei giri a vuoto, dato che le perdite per attrito sono tali da limitare i giri a vuoto a circa 2,5 n (n = giri/min a pieno carico).

A parità di numero cave e di conduttori/cava si migliora la commutazione aumentando il numero delle lamelle del collettore.

Particolarità costruttive e schemi di collegamento

La carcassa esterna, normalmente di ghisa o di alluminio, contiene il pacco lamiere che serve di guida per il flusso magnetico. Come materiale magnetico attivo si usa del lamierino magnetico con perdita carratteristica 3,6 W/kg e come materiale elettrico attivo serve principalmente il filo di rame e talvolta il filo di allumino o di zinco.

La fig. 347 mostra un lamierino per statore a poli salienti con il relativo lamierino del rotore (scala 1:2).

(*) Quando le spazzole sono disposte sul piano neutro i collegamenti alle lamelle si dicono diritti, quando sono disposte sull'asse dei poli si dicono 1/4 a destra oppure 1/4 a sinistra, quando invece le spazzole sono spostate di 1 o 2 lamelle rispetto al piano neutro i collegamenti alle lamelle si dicono comunemente 1 oppure 2 lamelle a destra o a sinistra.

Di solito le bobine di campo vengono piegate verso l'esterno e fissate solidamente allo statore mediante bandelle di ottone che abbracciano le due testate, come è chiaramente indicato nella fig. 348.

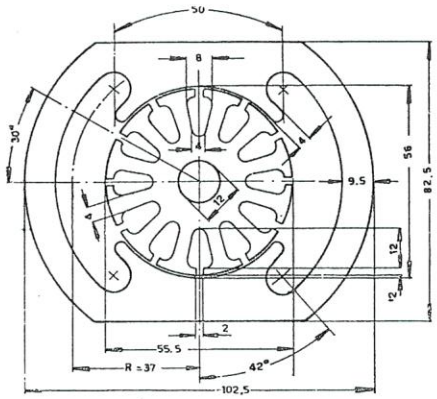


Fig. 347

Un motore universale ad alti giri (superiore a 5000 giri/min), con collegamento in serie semplice, può essere calcolato in maniera che i giri, a parità di tensione e di coppia, siano eguali tanto con alimentazione a corrente continua che a corrente alternata; con giri più bassi, da 5000 ÷ 1500, nella alimentazione a corrente alternata devono essere diminuite le spire del campo per diminuire la caduta induttiva.

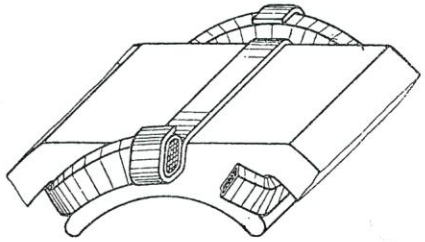


Fig. 348

Gli apparecchi che utilizzano motorini con velocità inferiore a 2500 giri/min devono richiedere una coppia quasi costante perchè a piccole variazioni della coppia resistente corrispondono forti scarti di velocità.

La fig. 349 mostra uno schema di collegamento, con frecce di direzione per campi e corrente, per rotazione destra di un motore universale ad alta velocità; la fig. 350 mostra lo stesso schema per rotazione sinistra, visto dal lato commutatore (tutti gli avvolgimenti sono considerati destrorsi). Le frecce indicate per corrente continua o per valori istantanei di corrente alternata dimostrano che anche con corrente alternata, nel caso ideale di sfasamento *zero*, la coppia rimane sempre positiva; questa oscilla intorno ad un valore medio con corrente alternata, mentre con corrente continua la coppia rimane costante.

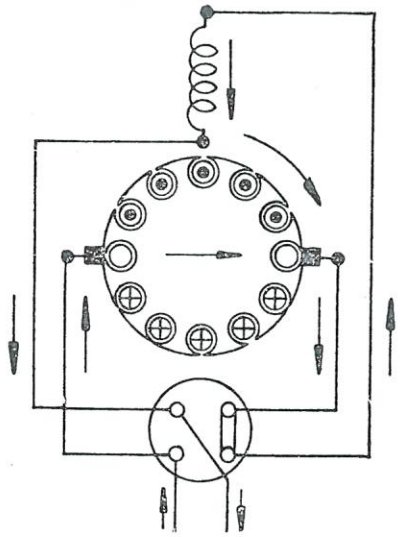


Fig. 349

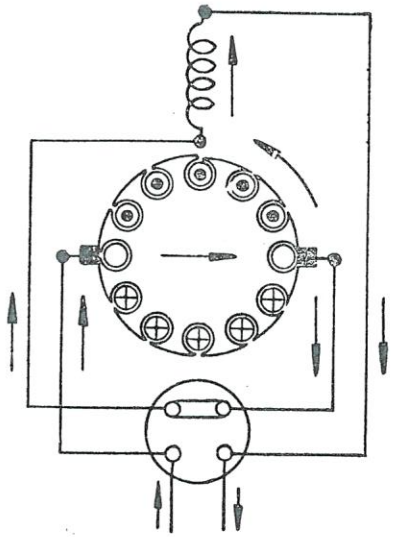


Fig. 350

Una inversione del senso di rotazione è possibile invertendo il senso della corrente in uno dei due avvolgimenti. Nella fig. 350 questo è stato fatto per l'avvolgimento dei campi.

La fig. 351 mostra lo schema di collegamento di un motore universale a basso numero di giri con spire di campo ridotte per l'alimentazione a corrente alternata. *Per 3000 giri/min occorrono circa la metà delle spire necessarie per l'alimentazione a corrente continua e per 1500 giri/min circa 1/4.*

Un motorino a collettore per corrente continua a 3000 giri/min funziona regolarmente con alimentazione a corrente alternata purchè si cambi il collegamento delle bobine di campo da serie in parallelo.

Si tenga presente che il valore nominale della corrente alternata a parità di coppia è più alto di quello della corrente continua, il che è dovuto al cos φ ed al rendimento più basso, quindi la sezione del filo per la corrente alternata deve essere più grande che per la corrente continua.

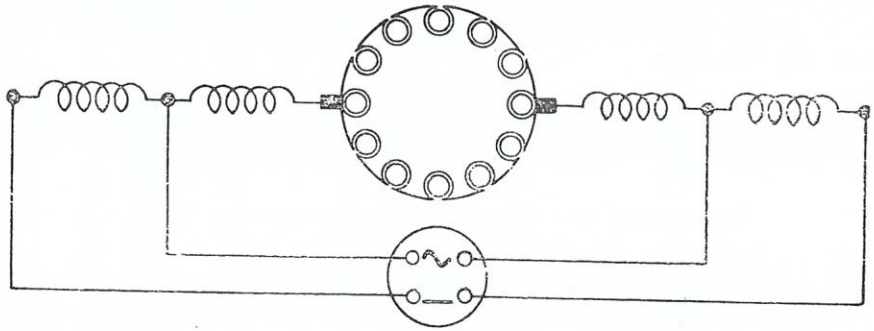


Fig. 351

La sezione attraverso il motore (fig. 352) permette di osservare la distribuzione della corrente nell'indotto ed i campi magnetici dei due avvolgimenti. Dalla fig. 352 si rileva che con spazzole spostate nel senso contrario alla rotazione (questo per ottenere *supercommutazione* e *tensione zero* per gli spigoli delle spazzole che lasciano la lamella) la amperspire longitudinali dell'indotto, disposte nella zona 2α, indeboliscono il campo di eccitazione, mentre le amperspire trasversali, situate nella zona $180°-2\alpha$, creano il campo trasversale. Questo storce il campo principale, mentre le amperspire longitudi-

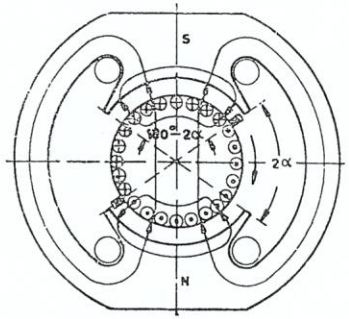


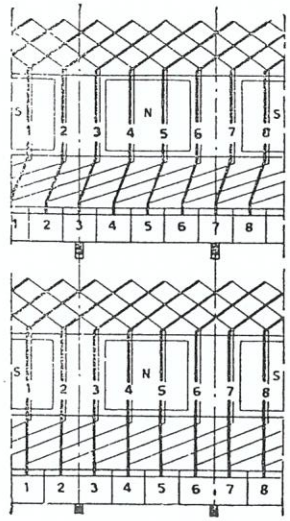
Fig. 352

nali producono un indebolimento diretto del campo di eccitazione con commutazione buona, ossia accelerata.

A parità di posizione delle spazzole, invertendo il senso della rotazione si ha una commutazione cattiva o ritardata ed inoltre contemporaneamente un rinforzo del campo di eccitazione. Questo fatto è equivalente ad una diminuzione dell'induttanza con rotazione giusta e ad un aumento d'induttanza con rotazione errata.

Collegamento a zero dell'indotto e messa a posto degli assi magnetici

Le spazzole normalmente sono fisse, quindi lo schema di avvolgimento, e conseguentemente il collegamento dei capi delle zone al collettore nell'esecuzione pratica, dev'essere eseguito in modo che l'asse magnetico dell'avvolgimento indotto venga a trovarsi nella posizione che assicura la migliore commutazione.



→ Fig. 353

Avvolgimento diametrale bipolare con salto d'indotto nullo, 8 cave e 8 lamelle; eguali caratteristiche nei due sensi di rotazione

→ Fig. 354

Avvolgimento eguale a quello della fig. 353, però con ½ lamella spostata verso destra

→ Senso di rotazione

La fig. 353 mostra lo schema di un indotto a tamburo con 8 cave diritte, 8 lamelle ed avvolgimento a matassine con lati diametrali. Se gli isolamenti delle lamelle 2-3 e 6-7 si trovano sotto la mezzeria delle spazzole le matasse corrispondenti si trovano a metà del tempo di commutazione ed i relativi lati attivi passano per la zona neutra geometrica. L'indotto forma perciò solamente un campo trasversale;

esso si comporta per i due sensi di rotazione in maniera identica. Questa disposizione viene chiamata *collegamento a zero dell'indotto*.

Nella fig. 354 il collettore è girato di mezza lamella a destra, il che corrisponde, rispetto al collegamento a *zero*, ad uno spostamento delle spazzole in senso contrario dello stesso angolo, e precisamente:

$$\frac{360°}{2.8} = \frac{180°}{8} = 22°30'$$

Ne consegue che la commutazione con spazzole nella zona neutra geometrica avviene anticipata o accelerata, per il fatto che l'indotto è collegato nel senso di rotazione (verso destra).

Una terza possibilità per la messa a posto della zona neutra può essere realizzata mediante lo spostamento del pacco lamiere statorico nel senso di rotazione, ottenendo così una anticipazione dei poli rispetto ai conduttori dell'indotto e conseguentemente la commutazione accelerata o anticipata. I 3 metodi esposti per la messa a posto degli assi magnetici dei 2 avvolgimenti possono essere scelti secondo le esigenze pratiche (*).

Gli schemi di collegamento delle figg. 353 e 354 per matassine con lati diametrali non vengono modificati per avvolgimenti con passo raccorciato, anzi, come si è detto, la commutazione migliora con questo tipo di avvolgimento.

Le considerazioni su esposte valgono anche per gli avvolgimenti a passo raccorciato e per indotti a cave inclinate ed hanno una grande importanza pratica.

Bisogna sfatare la leggenda che tutti siano in grado di costruire questi motorini e le piccole macchine in genere. Nelle grandi ditte costruttrici i motorini universali vengono derivati e messi a punto in base a prove eseguite su macchine campione calcolate come macchine a corrente continua. Inoltre i tecnici specializzati in queste costruzioni dispongono di curve di carattere generale, rilevate in seguito a confronti ed analisi su diversi campioni di motori alimentati a corrente alternata. Questi dati formano il patrimonio dell'esperienza di una ditta e vengono tenuti gelosamente segreti.

Sebbene il calcolo di queste piccole macchine sia ancora lontano da una forma rigorosa e definitiva, esporremo brevemente un metodo di calcolo degli avvolgimenti, semplice e discretamente approssimato, che ha dato finora risultati abbastanza soddisfacenti.

(*) Il collegamento a zero è richiesto per i motori reversibili per avere gli assi magnetici geometricamente neutrali. Questi motori sono poco usati.

Calcolo degli avvolgimenti

Il calcolo dell'avvolgimento indotto o rotorico e dell'avvolgimento induttore o statorico va condotto con lo stesso criterio esposto per le macchine a corrente continua, tenendo conto delle avvertenze che seguono.

1° - La *f e m* indotta E risulta notevolmente inferiore alla tensione applicata ai morsetti(*). Consigliamo i seguenti valori:

Valori della f e m indotta nei motori universali

TABELLA LXXX

Tensione di alimentazione - V	125	150	220	260
f e m indotta: E = V-ΔV	100	123	188	225

2° - Per il calcolo del numero dei conduttori dell'avvolgimento rotorico si adotta normalmente una induzione nel traferro B_δ di circa 0,4 Wb/m² e più precisamente: per riavvolgimenti di motori costruiti fino a non molti anni fa il valore di B_δ è compreso di solito fra 0,35 e 0,45 Wb/m², mentre in quelli di costruzione più recente esso si mantiene sui 0,5 Wb/m². Qualora però l'induzione nella corona risultasse inferiore a 1,45 Wb/m² o superiore a 1,9 Wb/m² si renderà necessario variare opportunamente il valore di B_δ.

La saturazione del ferro ha influenza benefica sul cos φ. Pertanto i motori universali vengono costruiti con saturazione relativamente alta, anche perchè in tal modo si realizza un migliore sfruttamento del materiale magnetico attivo.

3° - Le dispersioni sono sempre assai piccole (2÷5%) dato che i nuclei polari sono molto corti e la lunghezza delle linee di dispersione di contro è molto lunga; l'ammettenza della dispersione è dunque piccola.

(*) Taluno usa stabilire il valore della *f e m* indotta in dipendenza del numero di giri/min del rotore anzichè della tensione di alimentazione (E = 0,75 V fino a 6000 giri/min; 0,79 V per 8000 e 0,81 per 10000 giri/min). Noi riteniamo più razionale però il sistema da noi prescelto.

4° - Per il circuito magnetico è sufficiente considerare la lunghezza del traferro, misurata con buona precisione, la lunghezza della corona dello statore e quella dei denti del rotore; si trascura cioè la lunghezza del polo, che praticamente rimane conglobata nella lunghezza della corona dello statore, e quella della corona del rotore che è sempre assai piccola.

5° - Per motorini con velocità superiore a 5000 giri/min si applicano su ogni polo le spire ottenute col calcolo come per le macchine a corrente continua; per 4000 giri/min circa 3/4, per 3000 circa 1/2 e per 1500 giri/min si applicano solamente 1/4 delle spire necessarie per corrente continua.

Procedimento semplificato di calcolo degli avvolgimenti

Flusso nel traferro:

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot L_g \cdot b_{ep} \text{ (Wb)}$$

dove: L_g = lunghezza assiale del pacco statorico;
b_{ep} = ampiezza arco polare.

Numero conduttori dell'indotto:

$$Z = \frac{60 \cdot E}{n \cdot \Phi_\delta}$$

dove n rappresenta il numero dei giri al minuto.

Fili/cava e spire/zona:

$$\text{fili/cava} = \frac{Z}{n_c}$$

$$n_{spz} = \frac{Z}{2\,n_l} = \frac{Z}{m \cdot n_c} = \frac{\text{fili/cava}}{m}$$

Evidentemente tanto il numero dei fili/cava che quello delle spire/zona vanno arrotondati al numero intero più prossimo.

Talvolta potrebbe riuscire più sbrigativo prefissare il valore dell'induzione nella corona B_{cs} (circa 1,75-1,9 Wb/m² per funzionamento intermittente e 1,55-1,75 Wb/m² negli altri casi) e in base ad esso determinare il flusso e poscia Z. In tal caso si avrebbe:

$$\Phi_\delta = 2 \cdot L_a \cdot h_{cs} \cdot B_{cs} \text{ (Wb)}$$

Sezione conduttore dell'avvolgimento indotto. — Nel caso di riavvolgimento con caratteristiche immutate la corrente nominale assorbita si legge sulla targa, mentre nel caso di cambio delle caratteristiche va calcolata con la relazione:

$$I_n = \frac{P_n}{V \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{\text{watt resi}}{V \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \text{ (A)}$$

Dobbiamo alla cortesia della *Marelli* la possibilità di disporre di un grafico sui valori del rendimento e del fattore di potenza in funzione dei watt resi dal motore e del numero dei giri. I dati riportati nella fig. 355 si riferiscono a motori non recentissimi, ma sono tuttora pienamente validi (le curve contrassegnate 1, 2, 3, 4 si riferiscono a 4 motori di diversa potenza).

La sezione dell'avvolgimento indotto si determina in base alla densità di corrente σ, cioè:

$$S_c = \frac{I_n}{2 \cdot \sigma} \text{ (mm²)}$$

La densità di corrente si mantiene di solito tra 5 e 7 A/mm², ma nei motori a funzionamento intermittente si raggiungono e si superano talvolta i 9 A/mm². I valori più elevati della densità di corrente si adottano nei motori velocissimi.

Stabilito il numero dei fili/cava o delle spire/zona resta determinato il numero totale effettivo dei conduttori:

$$Z_{eff} = 2\,n_l \cdot n_{spz} = n_c \cdot \text{fili/cava}$$

ed il flusso effettivo nel traferro:

$$\Phi_{\delta e} = \frac{60 \cdot E}{n \cdot Z_{eff}} \text{ (Wb)}$$

In base al valore di $\Phi_{\delta e}$ si calcolano le amperspire di eccitazione.

Lunghezze e sezioni:

$$\text{lunghezza corona} = l_{cs} = \frac{\pi \varnothing_{mcs}}{4} \text{ (cm)}$$

$$\text{lunghezza traferro} = \delta \text{ (cm)}$$

$$\text{lunghezza denti} = h \text{ (cm)}$$

$$S_{cs} = Fs \cdot L_g \cdot h_{cs} \text{ (m²)}$$

$$S_\delta = \sim 0{,}9 \,.\, b_{ep} \,.\, L_g \ (\mathrm{m}^2)$$

$$S_d = Fs \,.\, \frac{b_{ep} + \delta}{\tau_z} \, L_g \,.\, z_m \ (\mathrm{m}^2)$$

dove: $\sim$ 0,9 rappresenta il valore medio del coefficiente di correzione del traferro; τ_z = passo di dentatura; z_m = spessore medio del dente; Fs = fattore di stipamento il cui valore oscilla fra 0,9 e 0,95.

È bene tenere presente che in alcuni tipi di lamierini del commercio il supporre la sezione della corona costante ed eguale a quella minima può portare ad una valutazione erronea delle Asp relative a questo tronco del circuito magnetico. In tal caso, specialmente se l'induzione risulta elevata, si ottiene una migliore approssimazione suddividendo il tronco relativo alla corona in due o tre parti a sezione quasi costante, ossia si procede come se la corona fosse costituita da due o tre tronchi in serie. In genere però il numero delle spire per polo calcolato col metodo semplificato suesposto risulta pressochè eguale a quello riscontrato nei motorini con avvolgimento originario.

Induzioni ed amperspire per polo:

$$B_{cs} = \frac{\Phi_{\delta e}}{2 \,.\, S_{cs}} \ ; \qquad B_\delta = \frac{\Phi_{\delta e}}{S_\delta} \ ; \qquad B_d = \frac{\Phi_{\delta e}}{S_d}$$

$$\mathrm{Asp/polo} = H_{cs} \,.\, l_{cs} + 8000 \, B_\delta \,.\, \delta + H_d \,.\, h$$

I valori di H_{cs} e H_d vengono dedotti sempre dalla fig. 180, oppure dalla 333 o dalla 334.

Spire/bobina:

$$n_{spb} = \frac{\mathrm{Asp/polo}}{I_n}$$

Nel caso di collegamento in parallelo delle bobine di campo bisogna raddoppiare il numero delle spire/bobina ottenute col calcolo.

Sezione conduttore dell'avvolgimento statorico ed osservazioni. — La sezione del conduttore dell'avvolgimento statorico va calcolata in base ad una densità di corrente da 3 ÷ 4,5 A/mm² (*).

(*) Per funzionamento continuo non bisogna superare i 3 A/mm² e solamente per funzionamento intermittente si adottano densità di 4-4,5 A/mm² e talvolta, per rapporti di intermittenza del 15-25%, anche di 5 A/mm².

Si costruiscono motorini universali per 2 o 3 velocità; in tal caso naturalmente occorre variare il numero delle spire delle bobine di campo a mezzo di un apposito commutatore. Normalmente una sola delle bobine è provvista di prese supplementari. Per funzionamento a 3 velocità si usa confezionare la bobina senza prese ausiliarie con il numero di spire che compete alla velocità media, mentre l'altra avrà un numero di spire eguale a due volte le spire di un polo per la minore velocità diminuito delle spire dell'altra bobina. Con lo stesso criterio si stabilisce il punto dove va praticata la presa corrispondente alla maggiore velocità.

Talvolta i motorini universali da riavvolgere sono sprovvisti della targa (*). Il calcolo degli avvolgimenti, in questo caso, va condotto nel modo seguente: si determina col solito sistema il numero dei conduttori totali (Z) dell'indotto ed il numero dei fili/cava; in base al coefficiente di riempimento cava si può determinare, con discreta approssimazione, la *sezione utile del rame per cava* e dal rapporto tra la sezione utile del rame ed il numero dei fili/cava si ricava la sezione del conduttore dell'avvolgimento; nel prodotto della densità di corrente prescelta (con i criteri esposti precedentemente) per la sezione del conduttore in mm² e per 2 (numero vie) si ha la corrente di pieno carico, ossia:

$$I_{pc} = 2 \,.\, S_e \,.\, \sigma \ (\mathrm{A})$$

In base a questo valore della corrente si calcola la sezione dell'avvolgimento induttore.

La fig. 355 consente di potere stabilire con buona approssimazione la potenza resa dal motore. Infatti, nota la tensione, la corrente di pieno carico ed il numero di giri/min, si può dedurre da essa un primo valore di η e di $\cos\varphi$ e quindi la potenza resa:

$$\mathrm{watt\ resi} = V \,.\, I_{pc} \,.\, \eta \,.\, \cos\varphi$$

Infine si controlla sul diagramma (v. fig. 355) se, con i watt resi calcolati, il rendimento ed il fattore di potenza assumono effettivamente i valori dedotti in prima approssimazione. In due o tre tentativi si riesce sempre a stabilire la potenza massima che può fornire il motore.

(*) Talvolta in motorini di piccolissima potenza è indicata solamente la tensione di alimentazione.

Fattore di potenza e rendimento dei motorini universali in funzione della velocità

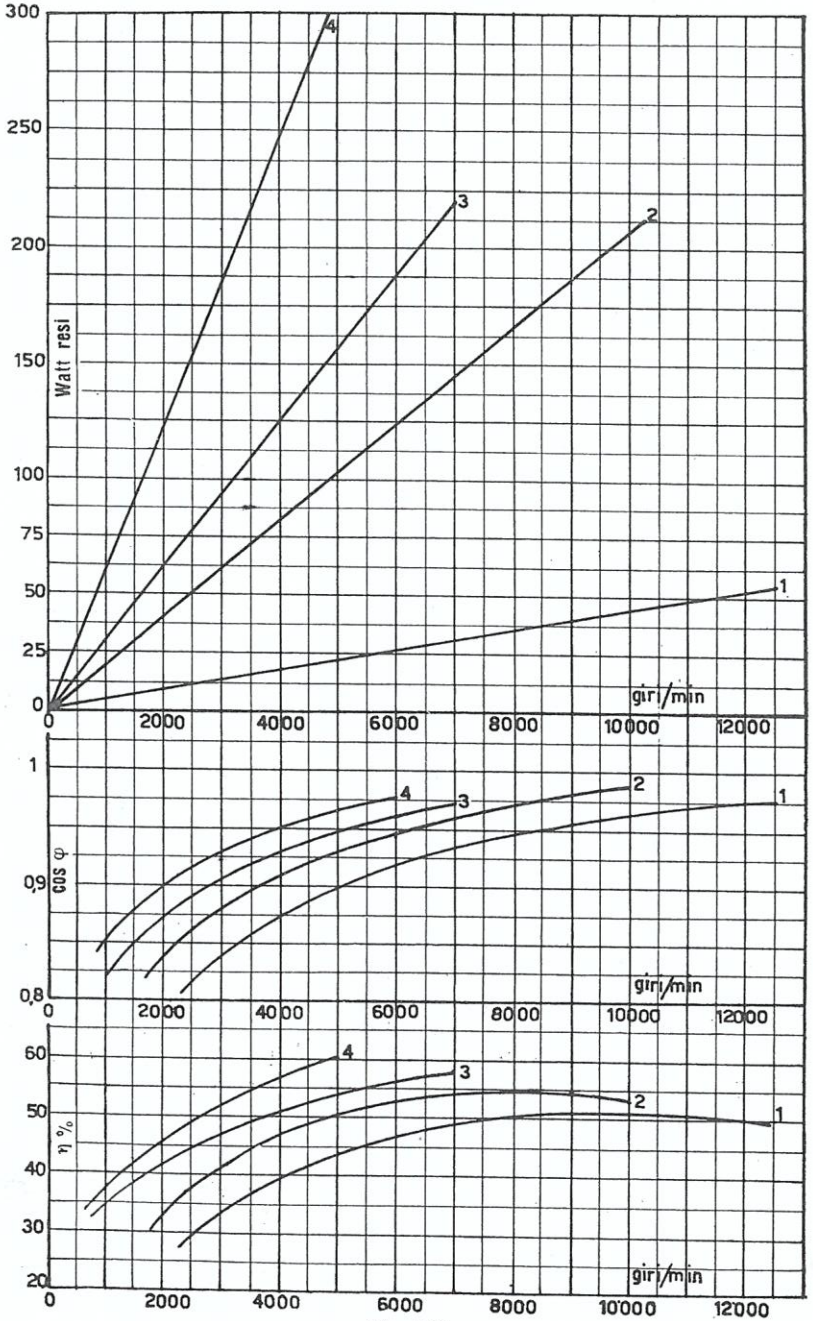


Fig. 355

Criteri di massima per il dimensionamento e la costruzione di un motorino universale

Nella tavola CCLXXX sono riportati i disegni quotati di una serie di lamierini per motorini monofasi a poli sporgenti esistenti in commercio. Il tipo 6 può servire per la costruzione di motorini della potenza di pochi watt, mentre con gli altri tipi si possono costruire motorini di varie potenze fino a circa 400-500 watt assorbiti con il lamierino tipo 1. Nella tabella LXXXI sono riportate le dimensioni fondamentali della serie normale e della serie progredita dei lamierini della Fergodino e nella fig. 356 il disegno completamente quotato dello statore e del rotore di uno di questi lamierini; la fig. 357 mostra il disegno del punzone delle cave (scala 3:1) da cui è possibile rilevare ogni più piccolo particolare.

Si tenga presente che la potenza indicata sulla targa di questi motorini rappresenta sempre la potenza assorbita ($P_{targa} = V.I \cos\varphi$) e non quella resa e che la lunghezza del traferro si sceglie di solito tra 0,25 e 0,5 mm (i valori più alti si adottano per i motorini ad elevata velocità).

In commercio esistono i collettori adatti per questi motorini, sia per dimensioni che per numero lamelle, ed i relativi portaspazzole del tipo tubolare.

Per la costruzione artigianale di piccoli quantitativi di motorini a collettore di modesta potenza c'è convenienza economica provvedendo all'acquisto dei lamierini già impaccati; per stabilire le dimensioni fondamentali del circuito magnetico consigliamo uno dei due procedimenti approssimati che passiamo ad esporre brevemente.

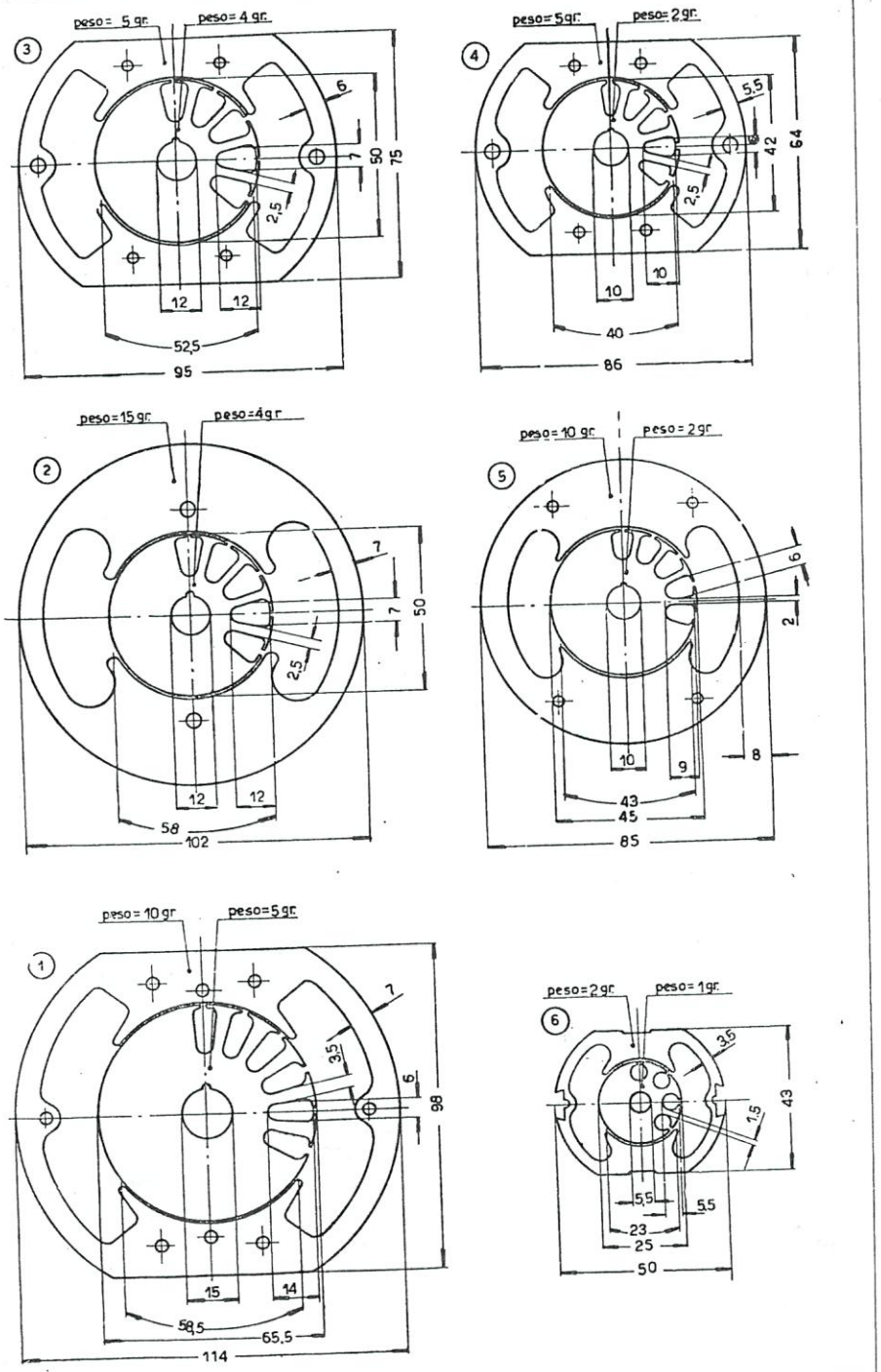
1) Note: la potenza resa (P_r) o applicata ($P_a = P_r/\eta$), la tensione applicata V, la velocità n in giri/min a pieno carico, si può determinare il diametro esterno del rotore $\varnothing_e$ e la corrispondente lunghezza geometrica L_g, applicando il solito criterio, ossia tenendo conto delle sollecitazioni magnetiche ed elettriche, delle condizioni di raffreddamento e della velocità periferica del motore. Anche in questo caso s'impiega la formula in uso per le altre macchine rotanti, e precisamente:

$$\varnothing_e^2 . L_g = K_m \frac{P_a}{n} 10^4$$

dove: $\varnothing_e$ ed L_g vanno espressi in cm e K_m rappresenta il coefficiente di macchina, che tiene conto appunto degli elementi di cui si è già detto e specialmente di Afc e B_δ.

TABELLA CCLXXX

Lamierini per motorini universali a poli sporgenti



Lamierini per motori monofasi a collettore (Ditta Fergodino)

TABELLA LXXXI

STATORE				ROTORE						
Dimensioni esterne	Espansione polare	Larghezza		Diametro esterno	Numero cave	Dente		Superficie cave circa	Foro albero	Traferro
		polo	corona			Largh.	Altezza			
mm × mm	mm	mm	mm	mm	n_c	mm	mm	mm²	mm	mm
Serie normale										
52 × 43	28	18,5	4,05	25,15	8	1,7	7,475	30	4,05	0,375
70 × 55	—	—	—	38,7	12	—	—	—	10	—
80 × 64	—	—	—	40,5	12	—	—	—	10	—
95 × 50	—	—	—	51	12	—	—	—	12	—
100 × 80	60	41	8	52,4	12	2,8	14,2	75	12,1–14,1	0,3
115 × 98	—	—	—	64,3	16	—	—	—	15	—
$\varnothing_e = 100$	—	—	—	52,2	12	—	—	—	12	—
140 > 114	—	—	—	70,5	20	—	—	—	15	—
Serie progredita										
64 × 51	40	26, 5	4,5	35,1	8	2,6	10,05	54	6,1	0,4
64 × 51	40	26, 5	4,5	35,1	12	1,8	9,35	33	6,1	0,4
70 × 50	40	33	5	37,9	12	2,1	10,25	42	7,1	0,4
70 × 50	40	33	5	37,9	12	2,1	8,45	37	10,1	0,3
80,7 × 61	40	34	5,6	40,9	12	2,5	9,4	40	10,1	0,35
81 × 70	50	37	5,5	45,8	12	2,65	10,4	50	13,5	0,5
87 × 76	50	37	5,5	45,8	12	2,7	11,70	55	10	0,35
94,6 × 68,5	50	42	6	49,9	12	3,3	12,85	66	12,1	0,35
115 × 93,6	60	44	8	64,8	16	3,3	12,8	80	15,1	0,3
115 × 93,6	60	44	8	64,8	16	3,25	15,5	80	15	0,3
136 × 104,7	73	55	11,5	68,4	18	3,25	14,2	69	15,1	0,45
140 × 113,4	75	50	12,6	70,3	20	2,7	15	78	15,1	0,35
149 × 104	90	71	14	81	20	4,7	12,1	62	15,1	0,4
149 × 119	90	71	14	81	20	4,7	12,1	62	15	0,4

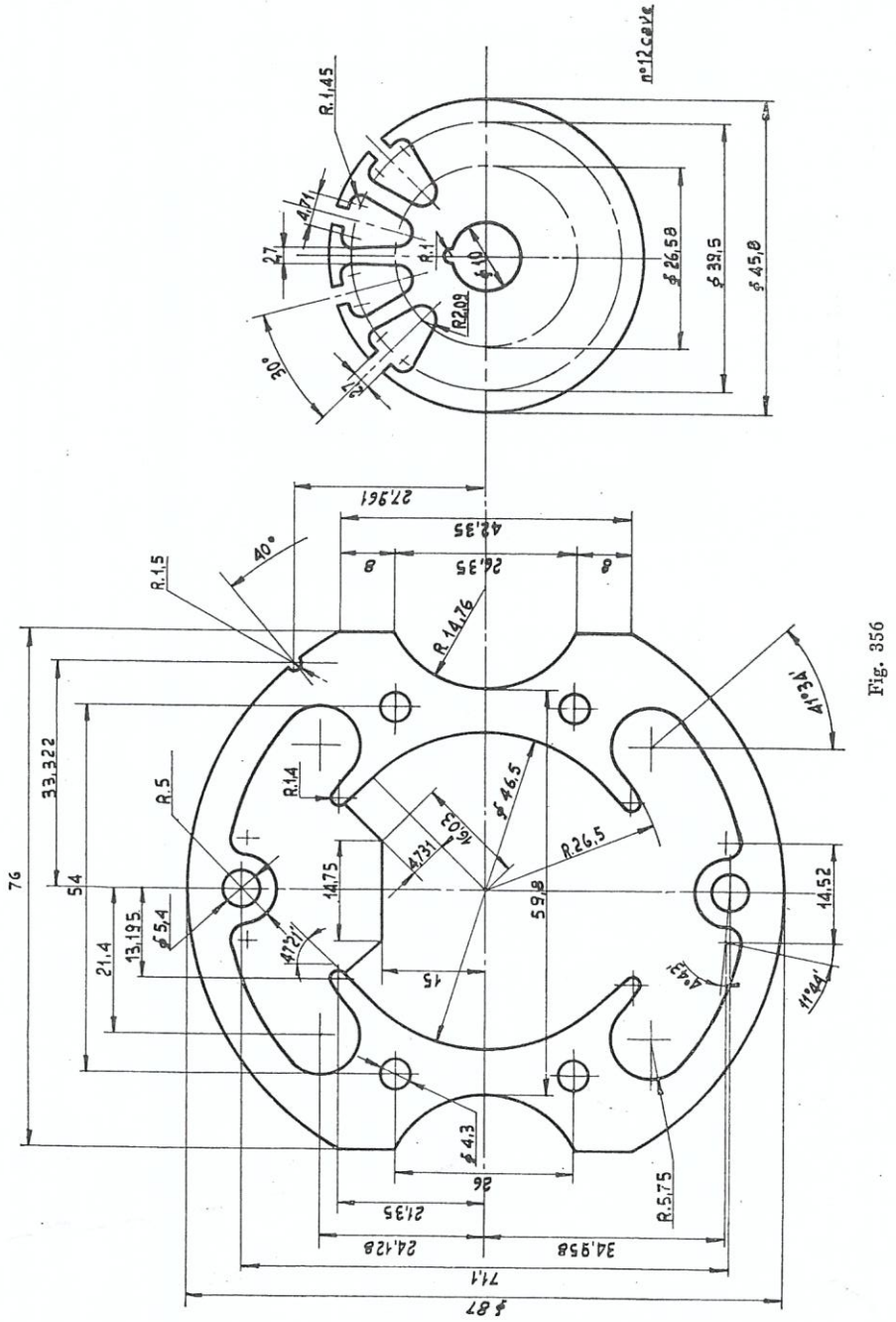


Fig. 356

Per i piccoli motori, da circa 100 a 300 W resi, si può applicare la formula approssimata seguente:

$$\varnothing_e^2 \cdot L_g = 0{,}15 \div 0{,}22 \, \frac{P_n}{n \cdot B_\delta} \, 10^4$$

Per il dimensionamento del pacco lamiere si dà all'induzione nel traferro B_δ un valore da $0{,}5 \div 0{,}6$ Wb/m^2. Di solito si suole prefissare il rapporto $L_g / \varnothing_e$ e sovente si fa $L_g = \varnothing_e$, ma si usano pure valori di detto rapporto notevolmente superiori o inferiori ad 1 (*).

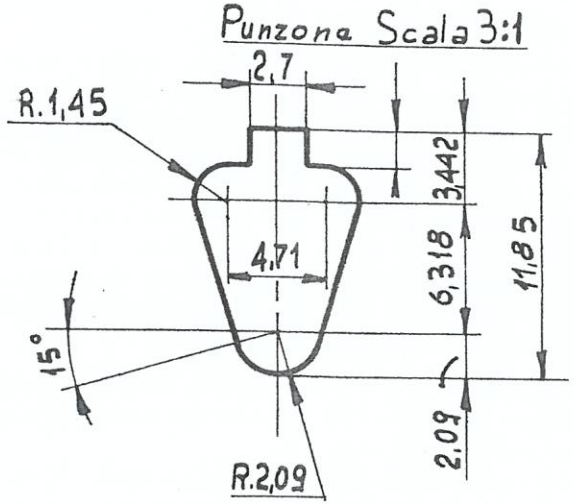


Fig. 357

In genere però per esigenze d'ingombro inerenti al dispositivo su cui va applicato il motorino è obbligata una delle due dimensioni L_g oppure $\varnothing_e$ (il diametro esterno del rotore è legato, per un dato lamierino, al diametro esterno dello statore) di modo che, fissata una di esse, l'altra rimane determinata in conseguenza, come si vedrà meglio negli « esempi di calcolo ».

Quindi si calcolano gli avvolgimenti con lo stesso metodo esposto per i motorini provvisti della sola targa.

(*) Un rapporto $L_g / \varnothing_e$ basso è vantaggioso agli effetti elettromagnetici, mentre un rapporto piuttosto alto consente di realizzare una certa economia.

Se il valore dell'induzione nella corona dello statore è compreso tra 1,45 e 1,9 Wb/m² (*) (i valori più alti si adottano per motorini a funzionamento intermittente) ed il valore del coefficiente di riempimento cava risulta accettabile, si può senz'altro passare alla parte esecutiva, in caso diverso si apportano le modifiche suggerite dai valori ottenuti per queste due grandezze (**). Il coefficiente di riempimento cava per questi avvolgimenti, applicati direttamente sull'armatura, è sempre inferiore, a parità di diametro del filo, a quello che si ha nelle altre macchine rotanti; per diametri da 0,3 ÷ 0,45 mm abbiamo riscontrato valori del coefficiente di riempimento cava compresi tra 0,15 e 0,20, mentre per diametri maggiori i valori normali sono compresi tra 0,2 e 0,3.

2) Un metodo ancora più semplice, anche se essenzialmente empirico, è il seguente: si sceglie il lamierino del commercio ritenuto più idoneo e si stabilisce, basandosi su costruzioni similari che hanno dato buoni risultati, la lunghezza geometrica L_g; fissato poi il valore dell'induzione nella corona dello statore B_{cs}, si determina il flusso Φ_δ ed infine si calcolano Z, i fili/cava o le spire/zona e la sezione del filo d'avvolgimento con lo stesso procedimento seguito per il riavvolgimento di questi motorini. Se il coefficiente di riempimento cava risulta di valore normale, il calcolo può ritenersi accettabile, in caso diverso si apporteranno opportuni ritocchi.

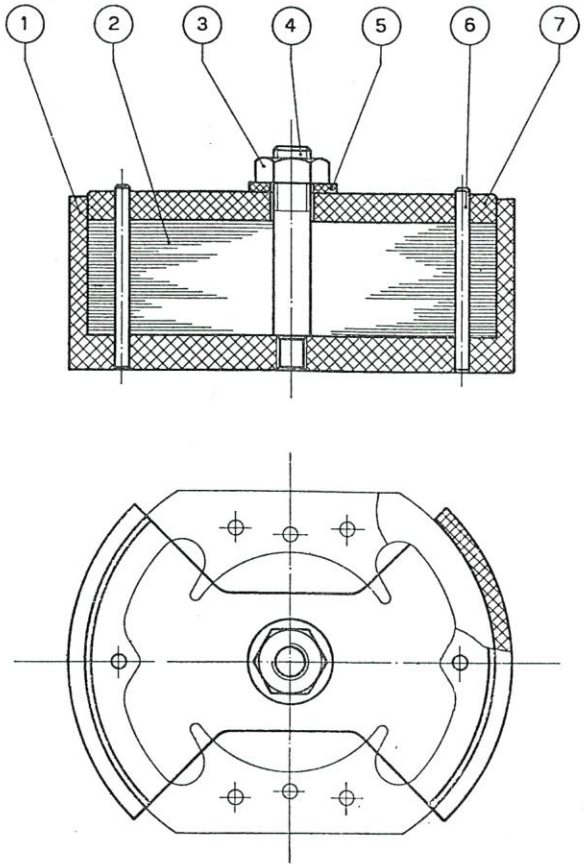
Indipendentemente dal metodo seguito, il dimensionamento sarà ritenuto definitivo solo dopo che saranno state eseguite con esito favorevole varie prove di collaudo.

Il numero delle lamelle del collettore va scelto in base alla potenza del motorino. Per ottenere una buona commutazione, ripetiamo, bisogna tenere basso il numero di spire/zona; ecco perchè di solito si fa $n_l = 2.n_c$ per le piccole potenze, mentre per potenze superiori ai 100 W il numero delle lamelle al collettore si sceglie sovente pari a 4 volte il numero delle cave e talvolta anche a $6.n_c$ (v. « *Esempi costruttivi di motori universali* » a fine capitolo); solo per le piccolissime potenze (qualche diecina di watt al massimo) si impiegano collettori con $n_l = n_c$.

(*) Nei motorini di recente costruzione si riscontrano talvolta induzioni nella corona anche superiori a 1,8 Wb/m², ma di solito questi motorini scaldano molto; per funzionamento intermittente, con rapporto d'intermittenza inferiore al 40%, si può arrivare però anche ad 1,85 e talvolta anche a 1,9 Wb/m².

(**) Se B_{cs} risulta elevato si aumenta L_g, se invece è il coefficiente di riempimento cava troppo alto si sceglie un lamierino con cave di dimensioni maggiori, se possibile, oppure si aumenta L_g; infatti, a parità di induzione nel traferro, l'aumento di L_g consente di ridurre il numero dei fili/cava.

Dispositivo per l'impilatura ed il serraggio del pacco statorico dei motorini universali



Pos.	DENOMINAZIONE DEI PARTICOLARI	Quantità	Materiale
1	Incastellatura	1	Acciaio
2	Pacco lamiere	1	Lamiere per dinamo
3	Dado UNI	1	Acciaio
4	Tirante prigioniero	1	Acciaio
5	Rondella	1	Acciaio
6	Spine centraggio	2	Acciaio
7	Piastra pressa-pacco	1	Acciaio

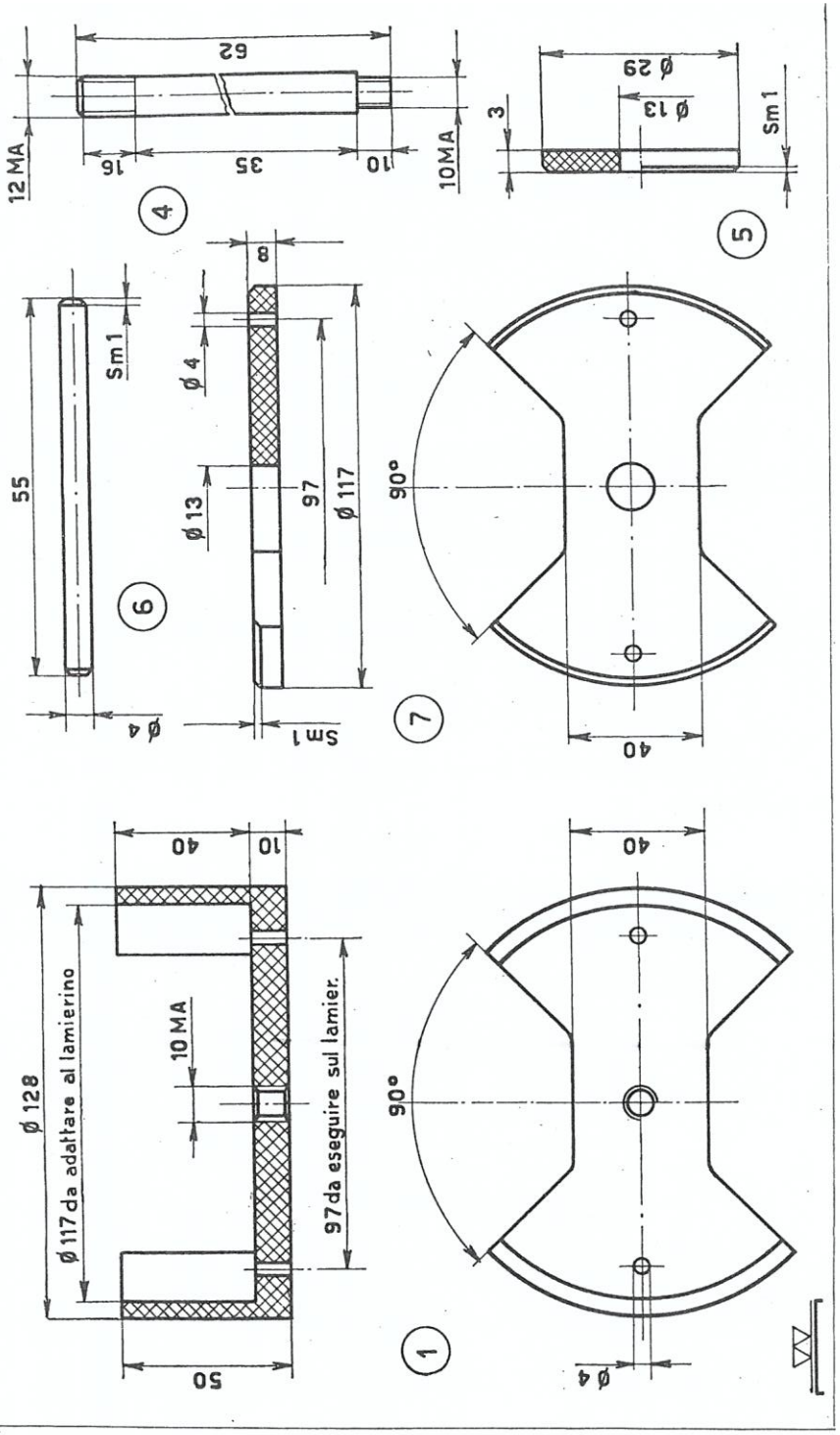


Tavola CCLXXXII

Dispositivo per l'impilatura ed il serraggio del pacco statorico dei motorini universali - Particolari

Per l'impilatura ed il serraggio del pacco statorico di questi motorini riesce molto utile l'attrezzo della tav. CCLXXXI; nella tavola CCLXXXII sono riportati i relativi particolari costruttivi. Le quote si riferiscono al lamierino n. 1 della tav. CCLXXX (v. « *Esempi costruttivi dei motorini universali* », es. n. 6). Naturalmente, dopo aver effettuato il serraggio a mezzo del dado si applicano i chiodini, normalmente costituiti da tubicini di rame ricotto.

Per l'esecuzione dell'avvolgimento indotto vale quanto è stato detto all'inizio del cap. VI sugli avvolgimenti diretti delle macchine bipolari a corrente continua. Generalmente si preferisce l'avvolgimento a V, ma si usano anche l'avvolgimento a sezioni parallele e quello a passo diametrale.

ESEMPI DI CALCOLO

1) Riavvolgimento di un motore sprovvisto degli avvolgimenti.

Dati di targa e dimensioni principali. — Motore a collettore in serie - Velocità di rotazione alla potenza nominale 4000 giri/min - 50 p/s - Potenza nominale 0,300 kW - Tensione di alimentazione 125 V - Servizio intermittente - Corrente assorbita alla potenza nominale 2,6 A.

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 55,5	mm
	Lunghezza	L_g	= 75	»
	Dimensioni cave	h	= 12	»
		b_m	= 6,5	»
	Spessore medio dente	z_m	= 4,2	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 52	mm
	Altezza corona	h_{cs}	= 8	»
	Diametro esterno	$\varnothing_{es}$	= 102,5	»
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 78	»
	Traferro	δ	= 0,35	»

Numero cave 12 - Numero lamelle 48

Calcolo dell'avvolgimento indotto

Flusso nel traferro:

$$\Phi_\delta = 0{,}42 \times 0{,}078 \times 0{,}052 = 0{,}0017 \text{ Wb}$$

Numero conduttori indotto:

$$Z = \frac{60 \times 100}{4000 \times 0{,}0017} = 882$$

Numero spire/zona:

$$n_{spz} = \frac{882}{2 \times 48} = 9{,}18$$

Pertanto si adotteranno 9 spire/zona.

Sezione dell'avvolgimento indotto. — In base ad una densità di 8 A/mm² si avrà:

$$S_i = \frac{2{,}6}{2 \times 8} = 0{,}162 \text{ mm}^2$$

Si adotterà quindi un conduttore del diametro di 0,45 mm (sez. = 0,159 mm²).

Flusso effettivo nel traferro:

$$\Phi_{\delta_e} = \frac{60 \times 100}{864 \times 4000} = 0{,}001736 \text{ Wb}$$

Calcolo dell'avvolgimento induttore

Lunghezze e sezioni:

lunghezza corona: $l_{cs} = \frac{3.14 \times 9{,}45}{4} = 7{,}4$ cm

» traferro: $\delta = 0{,}035$ cm

» denti: $h = 1{,}3$ cm

$$S_{cs} = 0{,}9 \times 0{,}078 \times 0{,}008 = 0.0005616 \text{ m}^2$$

$$S_\delta = 0{,}9 \times 0{,}052 \times 0{,}078 = 0{,}00365 \text{ m}^2$$

$$S_d = 0{,}9 \times \frac{52 + 0{,}35}{14{,}53} \times 0{,}075 \times 0{,}0042 = 0{,}00102 \text{ m}^2$$

Induzioni ed amperspire per polo:

$$B_{cs} = \frac{0{,}001736}{2 \times 0{,}0005616} = 1.545 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_\delta = \frac{0{,}001736}{0{,}00365} = 0{,}475 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_d = \frac{0.001736}{0{,}00102} = 1{,}7 \text{ Wb/m}^2$$

$$\text{Asp/polo} = 27 \cdot 7{,}4 + 8000 \cdot 0{,}475 \cdot 0{,}035 + 68 \cdot 1{,}3 = 421$$

Per diminuire la caduta induttiva le Asp/polo vengono ridotte del 24%; quindi le spire/polo risultano:

$$\text{Spire/polo} = \frac{0{,}76 \times 421}{2{,}6} = 123$$

Sezione conduttore dell'avvolgimento induttore:

$$S_{ep} = \frac{2.6}{4{,}5} = 0{,}577 \text{ mm}^2$$

Si adotterà il conduttore di 0,85 mm di diametro (sez. = 0,5675 mm²).

2) **Riavvolgimento di un motorino sprovvisto degli avvolgimenti e della targa:** 125 V e 6000 giri/min (corona statore in acciaio).

Dimensioni principali:

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 32	mm
	Lunghezza	L_g	= 18	»
	Dimensioni cave	h	= 9	»
		b_m	= 4	»
	Spessore medio dente	z_m	= 3,2	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 36	mm
	Altezza corona	h_{cs}	= 5,5	»
	Diametro esterno	$\varnothing_{es}$	= 85	»
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 18	»
	Traferro	δ	= 0,25	»

Numero cave 8 - Numero lamelle 8

Calcolo dell'avvolgimento indotto — Flusso nel traferro, spire/zona e fili/cava:

$$\Phi_\delta = 0{,}38 \times 0{,}036 \times 0{,}018 = 0{,}0002462 \text{ Wb}$$

$$Z = \frac{60 \times 100}{6000 \times 0{,}0002462} = 4062$$

$$n_{spz} = \frac{4062}{16} = 254$$

$$\text{fili/cava} = \frac{4062}{8} = 508$$

Sezione conduttore. - In base ad un fattore di riempimento cava di 0,18 (data la piccolissima potenza) si ha:

$$\text{sez. utile rame/cava} = \text{sez. cava} \times \text{fattore di riempimento} = 36 \times 0{,}18 = 6{,}48 \text{ mm}^2$$

$$S_c = \frac{6{,}48}{508} = 0{,}01256 \text{ mm}^2$$

Si adotterà la sezione commerciale più prossima, cioè 0,01327 (diametro conduttore $\varnothing_{cn}$ = 0,13 mm).

Corrente di pieno carico - Con una densità di $\sim$ 7 A/mm^2 la corrente risulta:

$$I_{pc} = 0{,}01327 \times 7 \times 2 = \sim 0{,}186 \text{ A}$$

Calcolo dell'avvolgimento induttore — Lunghezze, sezioni, induzioni e Asp/polo:

lunghezza traferro: $\delta = 0{,}025$ cm

lunghezza dente: $h = 1{,}0$ cm

lunghezza corona statore: $l_{cs} = \frac{3{,}14 \times 8}{4} = 6{,}28$ cm

Sezione traferro: $S_\delta = 0{,}9 \times 0{,}036 \times 0018 = 0{,}0005832$ m^2

Sezione denti: $S_d = 0{,}9 \times \frac{36 + 0.25}{12{,}56} \times 0{,}0032 \times 0{,}018 = \sim 0{,}00015$ m^2

Sezione corona statore: $S_{cs} = 0.9 \times 0{,}0055 \times 0{,}018 = 0{,}0000891$ m^2

$$B_\delta = \frac{0{,}0002462}{0{,}0005832} = 0{,}422 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_d = \frac{0{,}0002462}{0{,}00015} = 1{,}64 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{cs} = \frac{0{,}0002462}{2 \times 0{,}0000891} = 1{,}38 \text{ Wb/m}^2$$

$$\text{Asp/polo} = 8000 \,.\, 0{,}422 \,.\, 0{,}025 + 47 \,.\, 1 + 22{,}5 \,.\, 6{,}28 = 273$$

$$\text{spire/polo} = \frac{273}{0{,}186} = 1467$$

Sezione conduttore avvolgimento induttore:

$$\text{sezione conduttore} = \frac{0{,}186}{4} = 0{,}046 \text{ mm}^2$$

Quindi si adotterà un conduttore di rame smaltato del diametro di 0,24 oppure di 0,25 mm.

3) **Dimensionamento pacco lamiere e calcolo degli avvolgimenti:** $P_n = 200$ W - f = 50 p/s - Tensione = 220 V - n = 5.000 giri/min - Servizio intermittente.

Dimensionamento pacco lamiere. — In base a $B_\delta = 0{,}5$ Wb/m^2 e $K_m = 0{,}18$ si avrà:

$$\varnothing_e^2 \,.\, L_g = 0{,}18 \frac{P_n}{n \,.\, B_\delta} 10^4 = 0{,}18 \frac{200}{5000 \,.\, 0{,}5} 10^4 = \frac{36}{0{,}25} = 144 \text{ cm}^3$$

Fissata in 5,5 cm la lunghezza del pacco $\varnothing_e$ risulta:

$$\varnothing_e^2 = \frac{\varnothing_e^2 \,.\, L_g}{L_g} = \frac{144}{5{,}5} = 26{,}2 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing_e = \sqrt{26{,}2} = 5{,}1 \text{ cm}$$

Si potrebbe adottare il lamierino della serie normale (v. tabella LXXXI con dimensioni esterne dello statore di 95 mm × 50 mm e $\varnothing_e$ = 51 mm, ma è da preferire il lamierino della serie progredita con dimensioni esterne di 94,6 mm × 68,5 mm, b_{ep} = 50 mm, h_e =

6 mm; $\varnothing_e = 49{,}9$ mm; numero cave = 12, sez. cava = 66 mm^2 e $\delta = 0{,}35$ mm - Con quest'ultimo lamierino lo spessore del pacco sarà portato a 58 mm - Infatti:

$$L_g = \frac{144}{\varnothing_e^2} = \frac{144}{24{,}9} = 5{,}78 \text{ cm} = \sim 58 \text{ mm}$$

Calcolo degli avvolgimenti. — Avvolgimento rotorico. — Ad evitare di procedere per tentativi conviene prefissare il valore dell'induzione nella corona dello statore; per $B_{cs} = 1{,}8$ Wb/m^2 si ha:

$$\Phi_\delta = 2 \,.\, 0{,}9 \,.\, 0{,}058 \,.\, 0{,}006 \,.\, 1{,}8 = 0{,}0011275 \text{ Wb}$$

$$Z = \frac{60 \,.\, 188}{5000 \,.\, 0{,}0011275} = \frac{11280}{5{,}6375} = 2000$$

Per assicurare una buona commutazione si adotterà un collettore con 36 lamelle; conseguentemente il numero di spire/zona risulta:

$$n_{sps} = \frac{2000}{2 \,.\, 36} = 27{,}78$$

che si arrotonda, naturalmente, a 28, per cui i fili/cava e quelli totali risultano rispettivamente 168 e 2016; il flusso effettivo $\Phi_{\delta e}$ sarà:

$$\Phi_{\delta e} = \frac{11280}{5000 \,.\, 2016} = 0{,}001119 \text{ Wb}$$

Alla potenza nominale (assorbita) di 200 W la corrente sarà (v. fig. 355 - curve 2):

$$I = \frac{P_n}{V \,.\, \cos\varphi} = \frac{200}{220 \,.\, 0{,}92} = \sim 1 \text{ A}$$

In base ad una densità di 7 A/mm^2 la sezione dell'avvolgimento rotorico risulta:

$$S_c = \frac{1}{2 \,.\, 7} = 0{,}0714 \text{ mm}^2$$

S'impiegherà quindi il filo di 0,3 mm (sez. = 0,07069 mm^2)

$$\text{sez. rame/cava} = 168 \,.\, 0{,}07069 = 11{,}88 \text{ mm}^2$$

$$\text{coeff. riempimento cava} = \frac{11{,}88}{66} = 0{,}18$$

Questo valore ci assicura una comoda esecuzione dell'avvolgimento e ci dà anche conferma della buona utilizzazione del materiale impiegato.

Avvolgimento statorico. — Lunghezze e sezioni:

$$l_{cs} = 4{,}3 \text{ cm (misurata sul lamierino)}$$

$$\delta = 0{,}035 \text{ cm} \quad ; \quad h = 1{,}285 \text{ cm} = \sim 1{,}3 \text{ cm}$$

$$S_{cs} = 0{,}9 \,.\, 0{,}058 \,.\, 0{,}006 = 0{,}0003132 \text{ m}^2$$

$$S_\delta = 0{,}9 \,.\, 0{,}058 \,.\, 0{,}050 = 0{,}00261 \text{ m}^2$$

$$S_d = 0{,}9 \,.\, \frac{0{,}05 + 0.0035}{0{,}01306} \,.\, 0{,}058 \,.\, 0{,}0033 = 0.0008085 \text{ m}^2$$

Le induzioni saranno quindi:

$$B_{cs} = \frac{0{,}001119}{2 \,.\, 0{,}0003132} = 1{,}79 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_{\delta e} = \frac{0{,}001119}{0{,}00261} = 0{,}1287 = \sim 0{,}43 \text{ Wb/m}^2$$

$$B_d = \frac{0{,}001119}{0{,}0008085} = 1{,}384 \text{ Wb/m}^2$$

Dalla fig. 333 si ha:

$$\text{Asp/polo} = 93 \,.\, 4{,}3 + 8000 \,.\, 0{,}43 \,.\, 0{,}035 + 6{,}5 \,.\, 1{,}3 = 400 + 120 + 9 = 529$$

$$\text{spire/polo} = \frac{529}{1} = 529$$

che si può arrotondare a 500.

Con collegamento in serie delle due bobine ed in base ad una densità di corrente di 4,5 A/mm^2 si avrà infine:

$$S_{cp} = \frac{1}{4{,}5} = 0{,}222 \text{ mm}^2$$

S'impiegherà pertanto il filo smaltato all'acetale di vinile di 0,55 mm (sez. = 0,2376).

ESEMPI COSTRUTTIVI DI MOTORI UNIVERSALI

1) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore monofase a collettore in serie (Gutris - per macchine da cucire) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 3500 giri/min (a vuoto 7800 giri/min) - 50 p/s - Potenza nominale 0,045 kW - Servizio intermittente - Tensione di alimentazione 125 V - Corrente assorbita a vuoto 0,55 A.

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 35	mm
	Lunghezza	L_g	= 56,5	»
	Dimensioni cave: h	h	= 8,5	»
	Dimensioni cave: b_m	b_m	= 4,5	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 37	mm
	Altezza corona	h_{cs}	= 5.3	
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 55	»
	Diametro esterno	$\varnothing_{es}$	= 75	»
	Traferro	δ	= 0,25	»

Numero cave 11 - Numero lamelle 22 - Spazzole perpendicolari all'asse dei poli

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - Passo avvolgimento 1÷6 - Spostamento 1 lamella nel senso di rotazione (verso sinistra) - Fili/cava 100 - Fili/zona 50 - Diametro del filo = 0,25 mm - Filo di rame smaltato.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 208 - Collegamento serie - Diametro conduttore = 0,5 mm - Densità a p.c. = 3,2 A/mm².

2) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore monofase a collettore in serie per macchine da cucire (KABA) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 4000 giri/min (a vuoto 10.000 giri/min) - 50 p/s - Potenza nominale 50 W - Servizio intermittente - Tensione di alimentazione 125 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 0,8 A (a vuoto 0,25 A).

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 38	mm
	Lunghezza	L_g	= 51	»
	Dimensioni cave: h	h	= 7,3	»
	Dimensioni cave: b_m	b_m	= 5	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 40	mm
	Altezza corona	h_{cs}	= 5	»
	Dimensioni esterne	$\varnothing_{es}$	= 70x50	»
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 51	»
	Traferro	δ	= 0,3	»

Numero cave 12 - Numero lamelle 24

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato doppio - 2 matasse/cava - 2 zone/matassa - Passo avvolgimento 1÷6 - Spire/matassa 108 - Fili/cava 216 - Diametro del filo = 0,2 mm - Filo di rame tondo smaltato - Passo lamelle 1÷3.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 220 - Collegamento parallelo - Diametro del conduttore = 0,4 mm - Filo di rame tondo smaltato.

3) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore monofase a collettore in serie (Pellizzari) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 4000 giri/min - 50 p/s - Potenza nominale 0,300 kW - Servizio intermittente - Tensione di alimentazione 125 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 2,6 A.

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 55,5	mm
	Lunghezza	L_g	= 75	»
	Dimensioni cave: h	h	= 12	»
	Dimensioni cave: b_m	b_m	= 6,5	»
	Apertura cava		2	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 51	»
	Altezza corona	h_{cs}	= 8	»
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 78	»
	Traferro	δ	= 0,35	»

Numero cave 12 - Numero lamelle 48

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - 4 zone/matassa - Passo avvolgimento 1÷6 - Spire/matassa 36 - Fili/cava 72 - Diametro del filo = 0,45 mm - Filo di rame smaltato.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 125 - Collegamento serie - Diametro conduttore = 0,8 mm - L_{spmp} = 0,28 m - Peso rame = 0,320 kg.

4) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore a collettore in serie per frullatutto (Bercev) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 2300 - 6400 - 8000 giri/min (a vuoto 4200 - 7800 - 10200 giri/min) - Potenza massima 0,330 kW - Tensione di alimentazione 125 V - 50 p/s - Servizio intermittente - Correnti assorbite alla potenza nominale 1,7 - 2,1 e 2,8 A (a vuoto 1,2 - 1,4 e 1,6 A).

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 49,7	mm
	Lunghezza	L_g	= 54	»
	Dimensioni cave: h	h	= 10	»
	Dimensioni cave: b_m	b_m	= 6,5	»
	Larghezza dente	z	= 2,7	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 52	mm
	Diametro esterno	$\varnothing_{es}$	= 94	»
	Altezza corona	h_{cs}	= 6	»
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 53	»
	Traferro	δ	= 0,3	»

Numero cave 12 - Numero lamelle 24

Peso totale lamierini 1,400 kg.

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷6 - Spire/matassa 42 - Fili/cava 84 - Diametro del filo = 0,5 mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame 0,190 kg.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 240 e 305 - Prese sulla bobina di 305 spire alla 190ª, 235ª e 305ª - Collegamento serie - Diametro conduttore nudo = = 0,65 mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 0,415 kg (0,180+0,235).

5) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore monofase a collettore in serie (San Giorgio) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 4600 giri/min - 50 p/s - Potenza nominale 0,300 kW - Servizio intermittente - Tensione di alimentazione 125 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 3 A.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$	= 50	mm
Lunghezza indotto	L_g	= 72	»
Dimensioni cave — h	h	= 12	»
Dimensioni cave — b_m	b_m	= 7	»
Traferro	δ	= 0,5	»

Numero cave 12 - Numero lamelle 48

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - 4 zone/matassa - Passo avvolgimento 1÷6 - Spire/matassa 44 - Fili/cava 88 - Diametro del filo = = 0,45 mm - Filo di rame tondo smaltato e rivestito con 1 spirale cotone - Peso rame = 0,300 kg.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 120 - Collegamento serie - Diametro del filo = 0,85 mm (smaltato) - Peso rame = 0,400 kg.

6) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore monofase a collettore in serie (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 4600 giri/min - 50 p/s - Potenza nominale 0,300 kW - Servizio intermittente - Tensione di alimentazione 220 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 1,4 A.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$	= 51	mm
Lunghezza indotto	L_g	= 54	»
Dimensioni cave — h	h	= 12	»
Dimensioni cave — b_m	b_m	= 6,5	»
Traferro	δ	= 0,5	»

Numero cave 12 - Numero lamelle 48

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - 4 zone/matassa - Passo avvolgimento 1÷6 - Spire/matassa 80 - Fili/cava 160 - Diametro del filo = = 0,3 mm (smaltato rivestito con spirale di cotone) - Peso rame = 0,190 kg.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 220 - Collegamento serie - Diametro del filo = 0,7 mm (smaltato) - Peso rame = 0,360 kg.

7) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore a collettore in serie per lucidatrice (C.G.E.) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 5020 giri/min (a vuoto 7600 giri/min) - Tensione di alimentazione 125 V - Servizio intermittente - Corrente assorbita alla potenza nominale da 2,2 a 2,6 A (a vuoto 0,8 A).

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 64,5	mm
	Lunghezza	L_g	= 31	»
	Dimensioni cave — h	h	= 14	»
	Dimensioni cave — b_m	b_m	= 5,9	»
	Spessore medio dente	z_m	= 4	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 58	mm
	Altezza corona	h_{cs}	= 6,5	»
	Diametro esterno	$\varnothing_{es}$	= 115	»
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 31	»
	Traferro	δ	= 0,25	»

Numero cave 16 - Numero lamelle 32

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - Passo avvolgimento 1÷8 - Spire/matassa 52 - Fili/cava 104 - Diametro del filo = 0,55 mm - Filo di rame smaltato - Peso rame = 0,350 kg.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 210 - Collegamento serie - Diametro conduttore nudo = 0,85 mm - Filo di rame tondo smaltato - Peso rame = 0,270 kg.

8) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Come l'esempio precedente, ma per tensione di alimentazione a 220 V.

Sono state apportate le seguenti varianti:

Rotore - Spire/matassa 92 - Fili/cava 184 - Fili/zona 46 - Diametro conduttore nudo = 0,40 mm - Densità di corrente = 5,6 A/mm².

Statore - Spire/bobina 290 - Diametro conduttore nudo = 0,6 mm - Densità di corrente = 4,9 A/mm².

Malgrado l'elevata densità di corrente nello statore, inevitabile per ragioni di spazio, il funzionamento è risultato ottimo.

9) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore monofase a collettore in serie (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 5400/5600 giri/min - 42/50 p/s - Potenza nominale 0,610 kW - Servizio intermittente - Tensione di alimentazione 240/250 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 2,8 A.

Rotore	Diametro esterno	$\varnothing_e$	= 65	mm
	Lunghezza	L_g	= 73	»
	Dimensioni cave — h	h	= 12	»
	Dimensioni cave — b_m	b_m	= 7	»
Statore	Espansione polare	b_{ep}	= 71	»
	Altezza corona	h_{cs}	= 10	»
	Diametro esterno	$\varnothing_{es}$	= 129,5	»
	Lunghezza pacco	L_{gs}	= 73	»
	Traferro	δ	= 0,5	»

Numero cave 15 - Numero lamelle 90

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - 6 zone/matassa - Passo avvolgimento 1÷8 - Spire/matassa 48 - Fili/cava 96 - Diametro del filo = = 0,5 mm - Filo di rame smaltato rivestito con 1 spirale di cotone.

Statore bipolare a poli sporgenti. — Spire/bobina 150 - Collegamento serie - Diametro del conduttore = 1,1 mm - Filo di rame rivestito con 2 spirali di cotone - Peso rame = 0,510 kg.

10) **Dati di targa e dimensioni principali.** — Motore monofase a collettore in serie (Marelli) - Velocità di rotazione alla potenza nominale 5750 giri/min - 50 p/s - Potenza nominale 0,635 kW - Servizio intermittente - Tensione di alimentazione 125 V - Corrente assorbita alla potenza nominale 5,35 A.

Diametro esterno indotto	$\varnothing_e$	= 65	mm
Lunghezza indotto	L_g	= 67	»
Dimensioni cave — h	h	= 12	»
Dimensioni cave — b_m	b_m	= 7	»
Espansione polare	b_{ep}	= 68	»
Traferro	δ	= 0,5	»

Numero cave 15 - Numero lamelle 60

Dati sugli avvolgimenti. — *Rotore.* — Tipo embricato - 2 matasse/cava - 4 zone/matassa - Passo avvolgimento 1÷7 - Spire/matassa 30 - Fili/cava 60 - Diametro del filo = = 0,75 mm (smaltato rivestito con spirale di cotone) - Peso rame = 0,400 kg.

Statore bipolare a poli sporgenti - Spire/bobina 149 - Collegamento parallelo - Diametro del filo = 1 mm (smaltato).

CAPITOLO QUINDICESIMO

GUASTI DEL MACCHINARIO ELETTRICO CAUSE - RICERCHE E RIPARAZIONI RELATIVE

Generalità

Accenniamo ai guasti (*) che più frequentemente si riscontrano durante il funzionamento delle macchine elettriche e diamo le norme di massima per la pronta localizzazione e per la riparazione relativa.

I guasti possono avere origine varia e manifestarsi sotto forme assai diverse. Le cause dei guasti sono talvolta accidentali, ma più frequentemente vanno ricercate nella trascuratezza e nell'incompetenza del personale addetto alle manovre. Il fenomeno si verifica quindi più sovente nei piccoli impianti industriali. È buona regola iniziare le ricerche per la localizzazione dei guasti ispezionando anzitutto accuratamente i morsetti del circuito esterno, poi i portaspazzole, le spazzole, il collettore e quindi l'indotto. Talvolta bisogna estendere le ricerche all'induttore ed all'incastellatura e possibilmente al circuito esterno. Questo va detto per le dinamo, ma qualunque sia il tipo di macchina il criterio di massima rimane sempre quello di seguire nell'ispezione della macchina il percorso inverso della corrente.

Nel caso di sostituzione totale o parziale dell'avvolgimento indotto o di quello induttore bisogna, in linea di massima, eseguire il nuovo avvolgimento perfettamente eguale a quello distrutto. Pertanto nel disfare un avvolgimento avariato è necessario prendere nota di tutti i dati caratteristici.

(*) In molti casi non si tratta di veri e propri guasti, ma piuttosto di funzionamento non perfettamente regolare dovuto a piccoli difetti. Si tenga presente però che le più picole irregolarità rappresentano sempre i prodromi di guasti più o meno gravi, se non s'interviene tempestivamente ad eliminare anche la più lieve causa di funzionamento anormale.

MACCHINE A CORRENTE CONTINUA

I difetti di funzionamento che si verificano più frequentemente sono:

a) *scintillio alle spazzole*;
b) *riscaldamento anormale;*
c) *funzionamento rumoroso*;
d) *la dinamo non eroga corrente;*
e) *il motore non si avvia.*

a) Scintillio alle spazzole

1) *Carico eccessivo.* — Portare il carico al valore normale.

2) *Posizione errata dell'arco delle spazzole.* — Spostare il piano di commutazione.

3) *Pressione ineguale o non adatta delle spazzole sul collettore oppure appoggio intermittente delle stesse.* — Verificare le viti dei portaspazzole che tendono sempre ad allentarsi oppure regolare la pressione delle spazzole.

4) *Cattivo isolamento tra le spazzole.* — Smontare i portaspazzole e pulire accuratamente oppure cambiare gli isolatori che separano i portaspazzole dalla macchina.

5) *Le spazzole non appoggiano con tutta la loro superficie sul collettore.* — si rimedia facendo appoggiare le spazzole su un foglio di carta vetrata fine disposto sul collettore in rotazione, con la faccia rodente dalla parte delle spazzole.

6) *Collettore sporco o rugoso.* — Le scintille sono intermittenti e variabili di posizione. Nel primo caso è sufficiente sgrassare il collettore con uno straccio imbevuto di benzina; talvolta può essere opportuno pulire con carta vetrata molto fine.

Se il collettore è leggermente ruvido si può rimediare con una leggera limatura, seguita da alcune passate con carta vetrata per rendere ben liscia la superficie, mentre per rugosità accentuate o per collettori ovalizzati è indispensabile la tornitura o, meglio, la rettifica mediante smerigliatura. Questa operazione può eseguirsi a mezzo di una pietra di carborundum a grana fine, con la superficie di lavoro a curvatura eguale a quella del collettore.

Si fa girare la macchina con mezzo esterno, a spazzole sollevate, e si preme la pietra di carborundum, tenendola dietro una fila di portaspazzole e spostandola lentamente in senso assiale. Si esegue poi la rifinitura con carta vetrata molto fine, fissata ad un blocchetto di legno avente la curvatura del collettore.

Prima di rimettere le spazzole nella loro sede occorre pulire dalla polvere tutti i portaspazzole ed il collettore.

Bisogna evitare che la polvere di rame venga aspirata dalla macchina durante l'operazione di smerigliatura.

7) *Saldature tra avvolgimento indotto e lamelle del collettore difettose o dissaldate.* — Nel primo caso si noterà un annerimento delle lamelle corrispondenti alle saldature difettose. Ripassare le saldature. Se invece è interrotto l'avvolgimento indotto si noteranno coppie di lamelle contigue segnate dallo scintillio. Le interruzioni possono essere localizzate con la « *prova di continuità dei circuiti* » (v. capitolo VI « *Collaudo degli avvolgimenti indotti* »).

8) *Lamelle del collettore spostate radialmente.* — Appoggiando la punta di una matita sul collettore in rotazione si sentirà vibrare la matita. Ripassare o ritornire il collettore (dopo serraggio).

9) *Cortocircuiti nell'indotto.* — I cortocircuiti fra le spire o fra le zone sono di solito dovuti a riscaldamenti eccessivi oppure a sovratensioni, ma possono essere prodotti da un isolamento non adeguato o difettoso.

I cortocircuiti nell'indotto danno luogo nei motori, oltre che allo scintillio, ad un assorbimento di corrente superiore al normale, con conseguente bruciatura parziale o totale dell'avvolgimento.

L'odore di vernice bruciata è un indizio certo di cortocircuiti nell'indotto.

La ricerca e localizzazione del guasto si effettua con la prova elettromagnetica oppure con quella elettrica, con lo stesso sistema esposto per il collaudo degli avvolgimenti indotti.

In caso di bruciatura di qualche matassa non rimane altro che provvedere alla sostituzione degli elementi avariati.

10) *L'indotto va a massa.* — Ciò accade quasi sempre per contatto tra qualche spira e il fondo della cava. La ricerca è lunga e paziente. Con una lampada o, meglio, con un millivoltmetro si ricercano le zone difettose. La riparazione può effettuarsi interponendo un foglio di mica tra avvolgimento e pacco lamiere.

11) *Eccitazione insufficiente.* — Contatti fra le spire o cattivo isolamento delle bobine eccitatrici oppure eccessiva resistenza del circuito induttore. Diminuire la resistenza oppure migliorare l'isolamento delle bobine.

L'inconveniente può manifestarsi dopo una riparazione con sostituzione dell'avvolgimento induttore, per avere impiegato, nella costruzione delle bobine, filo di sezione non adeguata.

12) *Errato collegamento dei poli principali ed ausiliari.* — Un errato collegamento delle bobine di campo produce sempre un funzionamento irregolare e scintillio alle spazzole. Nei motori si ha sempre una velocità superiore alla normale, mentre nelle dinamo non si riesce ad ottenere la tensione di targa.

Dal senso della corrente si determina facilmente la polarità e quindi riesce semplice rifare i collegamenti.

13) *Cortocircuiti nell'induttore e dissimmetrie di flusso.* — I cortocircuiti possono essere prodotti da varie cause accidentali (umidità, eccessivi riscaldamenti, ecc.), ma di solito sono prodotti dalle extracorrenti di apertura. Si evita la formazione di scariche tra le spire chiudendo l'avvolgimento in cortocircuito anzichè interromperlo quando si arresta la macchina.

Le dissimmetrie di flusso sono dovute a contatti di spire o, meno frequentemente, ad un diverso numero di spire delle bobine (errori nel riavvolgimento). L'ineguale distribuzione di flusso è particolarmente sentita nelle macchine con avvolgimento embricato o in serie-parallelo, senza collegamenti equipotenziali, e dà luogo, come s'è detto precedentemente, ad intense correnti di compensazione tra le spazzole omonime.

14) *Eccessiva velocità.* — Nei motori l'eccessiva velocità può essere determinata dall'interruzione del circuito di eccitazione oppure da diminuzione o mancanza del carico; l'interruzione dell'avvolgimento induttore dà luogo ad una fortissima reazione d'indotto ed a notevole assorbimento di corrente.

Nelle dinamo una velocità superiore a quella di targa produce un aumento di tensione nell'indotto e tra le lamelle del collettore, con conseguente peggioramento della commutazione.

15) *Ossidazione del rame del collettore, cagionata da esalazioni di CO o di H_2S.* — Tali esalazioni possono essere causa di una diminuzione di conducibilità del rame e quindi di forte scintillio tra spazzole e collettore. Pulire la superficie del collettore con carta vetrata finissima, evitando di originare con tale abrasione delle ondulazioni sulla superficie stessa, che deve rimanere levigatissima, ma sempre rigorosamente cilindrica.

16) *Mica sporgente.* — Se la mica sporge dalla superficie cilindrica del collettore impedisce la continuità di contatto delle spazzole; oltre allo scintillio si ha un funzionamento rumoroso. Occorre eseguire una ripassatura o approfondimento della mica. Questa operazione può effettuarsi con una lama di seghetto di spessore appropriato oppure con una fresa per mica tenuta da un sostegno adatto. Ultimata l'operazione occorre togliere la mica dai fianchi delle lamelle, smussare lo spigolo vivo delle lamelle stesse e pulire accuratamente il solco della fresatura.

b) Riscaldamento anormale

Tutte le macchine soggette ad attrito si riscaldano durante il funzionamento, ma nelle macchine elettriche si aggiungono altre cause di riscaldamento: resistenza ohmica, isteresi, correnti parassite. Queste cause non si possono eliminare, mentre altre dovute a fattori diversi, ma sempre anormali, bisogna sopprimerli per non danneggiare le macchine con un eccessivo riscaldamento.

Le cause possono essere:

1) *Cuscinetti usurati.* — Procedere alla sostituzione.

2) *Difettoso funzionamento degli anelli degli oleatori.* — Verificare la lubrificazione e rimediare.

3) *Difetto di ventilazione.* — Verificare il funzionamento della ventilazione.

4) *Umidità nell'avvolgimento indotto.* — L'umidità riduce li grado d'isolamento degli avvolgimenti e può determinare lo screpolamento delle vernici: l'inconveniente dà luogo ad un riscaldamento anormale dell'indotto.

Quando una macchina è mantenuta per lungo tempo in riposo in luoghi umidi, è buona norma sottoporla a prove d'isolamento prima di rimetterla in funzione; qualora l'isolamento lasci a desiderare si rende necessaria l'essicazione della macchina. Questa operazione si pratica entro apposite stufe, dopo avere tolto tutte le parti deformabili col calore (anelli, piastre di caucciù, ecc.).

Se le vernici risultano molto screpolate occorre procedere ad una nuova impregnazione con adatta vernice.

5) *Eccessiva eccitazione.* — Ridurre la corrente di eccitazione mediante la manovra del reostato. Si tenga presente che di solito a pieno carico una piccola parte di resistenza deve restare inclusa nel circuito di eccitazione.

6) *Cortocircuiti nell'indotto.* — Eventuali contatti tra lamella e lamella o tra lamelle e manicotto, dovuti a distruzione dell'isolante o a materia conduttrice interposta, oppure contatti tra le spire, ecc., provocano sempre un riscaldamento eccessivo di tutto l'avvolgimento.

7) *Cortocircuiti nell'induttore.* — Un cortocircuito, anche di poche spire di una bobina, provoca un aumento della corrente di eccitazione e conseguentemente determina l'aumento della temperatura delle bobine. Le spire interne evidentemente si riscaldano in misura maggiore ed il loro isolamento va peggiorando; si generano così altri contatti ed un maggiore riscaldamento che porta inevitabilmente alla bruciatura delle bobine.

Non appena si nota un riscaldamento eccessivo, specialmente se accompagnato da odore di bruciaticcio, occorre fermare la macchina e procedere ad una accurata ispezione di tutte le parti ed alle solite verifiche per la localizzazione del guasto.

c) Funzionamento rumoroso

È noto che le macchine elettriche, ed in particolar modo quelle a corrente continua, hanno un funzionamento dolce e silenzioso, quindi un funzionamento rumoroso, specialmente nei motori, è indizio di irregolarità da ricercare ed eliminare. I rumori possono essere causati da:

1) *Vibrazioni per allentamento dei bulloni di ancoraggio* — Serrare i bulloni.

2) *Stridìo alle spazzole per eccessiva pressione o perchè il collettore è rugoso.* — Variare la pressione o smerigliare il collettore.

3) *Sfregamento dell'indotto contro le scarpe polari.* — Controllare l'intraferro con le apposite stecche calibrate di acciaio. Generalmente l'inconveniente è dovuto all'usura dei cuscinetti. Sostituire gli stessi.

4) *Ingranamento dei rulli o delle sfere dei cuscinetti.* — Variare la tensione della cinghia.

5) *Indotto non equilibrato.* — Smontare l'indotto e procedere alla equilibratura.

6) *La dinamo vibra a carico e non a vuoto.* — Piazzamento mal fatto o giunto elastico rovinato. Controllare l'allineamento degli assi della dinamo e del motore di comando e le condizioni del giunto.

d) La dinamo non eroga corrente

1) *Spazzole fuori posto.* — Variare la posizione. La giusta posizione è quella di minore scintillio.

2) *Numero dei giri dell'indotto assai basso.* — Può dipendere da slittamento della cinghia oppure dalla motrice.

3) *Insufficiente magnetismo residuo dovuto ad inversione del senso di rotazione o a smagnetizzazione per cause varie.* — Se la dinamo è eccitata in serie unire i morsetti in cortocircuito, negli altri casi procedere alla magnetizzazione mediante pile od accumulatori.

4) *Il campo è stato invertito per errore.* — Rimettere al giusto posto le connessioni del campo alla morsettiera.

5) *Interruzione nell'induttore o nell'indotto.* — L'interruzione viene rilevata facilmente con la « *prova di continuità dei circuiti* ».

e) Il motore non s'avvia

1) *Interruzione del reostato di avviamento.* — Verificare il reostato di avviamento ed i conduttori di collegamento col motore.

2) *Attrazioni dell'indotto contro le espansioni polari.* — Eccessivo consumo dei cuscinetti. Verificare e rimediare.

3) *Errori di connessione del reostato.* — Cambiare le connessioni.

4) *Interruzioni o cortocircuiti nell'indotto oppure nell'induttore.* — Un cortocircuito nell'indotto produce un avviamento lento ed a strappi oppure lo impedisce del tutto. Anche il cortocircuito di una sola bobina eccitatrice provoca un avviamento anormale. Verificare i circuiti e riparare il guasto.

ALTERNATORI

Un anormale funzionamento degli alternatori può essere causato da guasti negli avvolgimenti dell'indotto o dell'induttore oppure nella eccitatrice.

I difetti di funzionamento più frequenti sono:

a) *variazioni brusche ed irregolari di tensione*;
b) *l'alternatore non dà la tensione richiesta a carico*;
c) *l'alternatore non dà tensione.*

a) Variazioni brusche ed irregolari di tensione

1) *Brusche variazioni del carico.* — Verificare se staccando il carico le variazioni di tensione permangono a vuoto.

2) *Contatti difettosi fra spazzole ed anelli.* — Anelli consumati o deformati oppure spazzole eccessivamente consumate. Assicurare un buon contatto eliminando il difetto rilevato.

3) *Il contatto mobile del reostato di eccitazione non tocca in modo sicuro sui contatti fissi.* — Verificare i contatti e tutto il circuito di eccitazione serrando bene i morsetti e le giunzioni.

4) *Funzionameno difettoso dell'eccitatrice.* — Vedi difetti delle macchine a corrente continua.

b) L'alternatore non dà la tensione richiesta a carico

1) *Cortocircuito su una parte del circuito di eccitazione dell'alternatore.* — Controllare tutte le bobine dei poli induttori, misurandone la resistenza o la caduta di tensione in corrente continua.

2) *Cortocircuiti di spire nelle matasse statoriche.* — Sono dovuti ad insufficiente isolamento tra gli strati delle matasse. Il guasto produce vibrazioni e rumori caratteristici. Localizzare il guasto ed eseguire la riparazione isolando le spire oppure sostituendo le matasse avariate.

3) *Errori di connessione di matasse della stessa fase.* — Può capitare nel ricambio di una matassa avariata per scambio dei capi di uscita. L'errore genera uno squilibrio tra le fasi. Il senso di uscita dei capi permette di individuare rapidamente se una matassa è invertita.

4) *L'eccitatrice non dà la tensione normale* — Vedi difetti delle macchine a corrente continua.

c) L'alternatore non dà tensione

1) *Interruzione di una fase dell'alternatore.* — Se la connessione è a stella, dei tre voltmetri uno solo segna la tensione, se a triangolo si nota un aumento di carico sulle fasi che funzionano normalmente.

Generalmente le interruzioni negli avvolgimenti sono dovute a giunzioni imperfette o, meno frequentemente, a cortocircuiti nelle matasse per contatti prodotti da cattivo isolamento oppure per cause esterne.

In un alternatore bifase l'interruzione di una fase farà funzionare lo stesso da monofase.

Ricercare il guasto con un provacircuiti e procedere alla riparazione.

2) *Circuito d'eccitazione interrotto.* — Verificare tutto il circuito d'eccitazione, compreso l'induttore dell'alternatore. Generalmente l'interruzione è dovuta a giunzioni dissaldate.

3) *Induttore cortocircuitato ai suoi capi.* — Può essere avvenuta una doppia massa in modo che la corrente d'eccitazione non percorra le bobine eccitatrici.

4) *Cortocircuito fra gli anelli.* — Guasto dovuto a cattiva manutenzione. Eliminare la pasta conduttrice (misto di polvere ed olio) che chiude gli anelli in cortocircuito.

MOTORI ASINCRONI

Le anormalità di funzionamento più frequenti sono:

a) *il motore non si avvia*;
b) *il motore non tiene il carico*;
c) *riscaldamento anormale*;
d) *funzionamento rumoroso.*

a) **Il motore non si avvia**

1) *Interruzione di una fase dello statore.* — L'interruzione di una fase rende l'avvolgimento monofase ed il motore non s'avvia. Questo guasto provoca un assorbimento di corrente superiore al normale nelle altre due fasi ed un forte riscaldamento, mentre la fase interrotta rimane fredda. Quindi se il motore non si avvia e si rilevano le condizioni suddette non conviene eseguire prove di avviamento, per non sottoporre a dannosi riscaldamenti l'avvolgimento. Per localizzare il guasto si ricorre al solito dispositivo della lampada in serie o al provacircuiti a suoneria (se i collegamenti - a stella o a triangolo - sono interni bisogna disfare le connessioni relative). Trovata la fase interrotta si procede con lo stesso sistema alla ricerca della matassa in cui si è manifestata l'interruzione.

Generalmente le interruzioni si producono nelle testate delle matasse; pertanto conviene sfasciare le testate della matassa interrotta per rendersi conto se sussiste la possibilità di una riparazione senza procedere alla sostituzione.

2) *Connessioni errate.* — Bisognerebbe escludere la possibilità di errori nelle connessioni, ma in pratica sono piuttosto frequenti i casi di scambio fra i due capi di uscita di una fase. Questo errore di connessione può dar luogo ad un sistema trifase a 60° (p. es.: se si scambiassero i capi V e Y nel collegamento a stella si avrebbe U, Y, W alla linea e X, V, Z riuniti a stella, cioè la distanza angolare frai i capi principio risulterebbe la metà che col collegamento giusto) oppure ad un sistema monofase (una fase cortocircuitata), ecc.

La mancanza di avviamento può essere dovuta ad errore nelle connessioni dei gruppi di matasse di ogni fase oppure nelle connessioni delle matasse di ciascun gruppo. Lo schema dell'avvolgimento consente di individuare le connessioni errate e sarà una preziosa guida nell'esecuzione dei nuovi collegamenti.

3) *Reostato d'avviamento interrotto.* — Controllare la continuità delle resistenze e l'aderenza dei contatti mobili sui contatti fissi.

4) *Rotore sfregante contro lo statore.* — L'eccessivo consumo dei cuscinetti, data la piccolezza del traferro (nei motori di piccola e media potenza esso è sempre inferiore al millimetro), porta il rotore a sfregare contro lo statore. Naturalmente il rotore rimane bloccato per effetto dell'attrazione magnetica.

Il guasto è rivelato da eccessivo assorbimento di corrente. Alla chiusura dell'interruttore si sente un colpo secco causato dall'urto del rotore contro lo statore. Procedere subito alla riparazione dei cuscinetti.

5) *Interruzione dell'avvolgimento rotorico.* — L'interruzione di una fase rende l'avvolgimento monofase ed il motore non si avvia. La interruzione può avvenire nelle matasse, negli attacchi agli anelli, nel reostato o per mancanza di contatto tra una spazzola ed il relativo anello.

Controllare la continuità del reostato con un prova-circuiti. La verifica del rotore si esegue con un voltmetro o con una lampada inserita a turno tra due anelli, con lo statore sotto tensione ed il reostato staccato.

b) **Il motore non tiene il carico**

1) *Tensione troppo bassa.* — La velocità diminuisce fortemente all'aumentare del carico, perchè la potenza, a parità degli altri fattori, è proporzionale alla tensione di linea. La diminuzione del numero dei giri può essere notevole anche per carichi inferiori al normale.

2) *Errata connessione delle fasi.* — Se il numero dei conduttori dell'avvolgimento statorico è stato calcolato per collegamento a triangolo, il motore non sopporta il carico, a parità di tensione di linea, con collegamento a stella. La coppia motrice risulta notevolmente diminuita, come se la tensione fosse ridotta da V a $V/\sqrt{3}$. Effettuare il collegamento delle fasi a triangolo.

3) *Dissaldature nella gabbia.* — Capita normalmente nei motori a gabbia con sbarrette saldate a stagno agli anelli frontali di cortocircuito. Questo fatto determina un aumento di resistenza del rotore ed il motore riscalda più del solito; la velocità risulta sempre inferiore a quella normale.

4) *Interruzione di una fase nell'avvolgimento rotorico dopo l'avviamento.* — L'interruzione di una fase del rotore ad anelli, durante il funzionamento sotto carico, dà luogo ad una diminuzione graduale della velocità; il guasto è facilmente individuabile perchè il motore produce un rumore caratteristico, specialmente non appena si ferma, ed ancora perchè riesce normalmente ad avviarsi a vuoto. Per la localizzazione del guasto si dispongono tre amperometri

tra gli anelli del rotore ed il reostato di avviamento. Nel funzionamento a vuoto i tre amperometri segnano di solito tre correnti eguali, mentre sotto carico la diminuzione di velocità è accompagnata dallo squilibrio delle tre correnti e precisamente l'amperometro corrispondente alla fase interrotta scende a zero e gli altri due segnano un aumento d'intensità. L'inconveniente è causato di solito da giunzioni difettose; in tal caso infatti l'aumento di corrente dovuto all'applicazione di un certo carico determina un riscaldamento anormale della giunzione e può provocare l'interruzione della fase di cui fa parte.

c) Riscaldamento anormale

1) *Interruzione di una fase.* — Il motore emette un rumore cupo caratteristico (marcia in monofase) mentre la velocità diminuisce sensibilmente; esso assorbe una notevole corrente e riscalda fortemente, fino a bruciare l'avvolgimento nel funzionamento sotto carico. Fermare immediatamente il motore e procedere alla riparazione.

L'uso di adatti salvamotori costituisce il sistema più efficace per prevenire i pericoli di bruciatura degli avvolgimenti.

2) *Collegamento a triangolo anzichè a stella.* — La corrente assorbita risulta superiore a quella normale, dovendosi produrre una *f c e m* 1,73 volte quella richiesta col collegamento a stella. Disfare le connessioni delle fasi per eseguire il collegamento a stella.

3) *Connessioni errate.* — Errori nelle connessioni delle fasi o nelle matasse di una fase oppure l'ineguaglianza nel numero delle spire delle fasi danno luogo a squilibri nelle correnti assorbite. Generalmente l'assorbimento risulta superiore al normale ed il riscaldamento abbastanza sensibile.

L'ineguaglianza delle correnti potrà essere rilevata, durante la marcia del motore, mediante tre amperometri inseriti sulle fasi.

Talvolta l'ineguaglianza può essere determinata da cortocircuiti di spire in una fase.

Rifare le giuste connessioni oppure sostituire le matasse difettose.

4) *Cortocircuiti nel rotore.* — Si manifestano prevalentemente nei motori ad anelli con matasse in filo. Contatti di matasse o di spire di una certa entità provocano un aumento di corrente nello statore, specialmente durante l'avviamento, ed un forte riscaldamento.

5) *Contatti difettosi tra sbarrette e cerchi frontali.* — Le correnti indotte nelle sbarrette del rotore a gabbia sono di notevole entità, ma la tensione è assai bassa. Quindi la resistenza di contatto, tra sbarrette e cerchi frontali di cortocircuito, dev'essere molto piccola. Contatti incerti provocano un riscaldamento sensibile, che può determinare la fusione dello stagno ed una diminuzione di velocità.

L'inconveniente non si manifesta nei motori con saldatura a forte ed in quelli con gabbia in alluminio ottenuta per colata a pressione.

d) Funzionamento rumoroso

1) *Rotore squilibrato.* — Il difetto si manifesta con rumore periodico, tanto più accentuato quanto maggiore è lo squilibrio del rotore, ed eccessive vibrazioni del motore. Questa anormalità è dovuta di solito ad un riavvolgimento difettoso del rotore. Per evitare la rapida usura delle bronzine o dei cuscinetti bisogna procedere alla equilibratura del rotore.

2) *Corrosione delle bronzine.* — L'usura delle bronzine oppure dei cuscinetti dà luogo ad un ronzio continuo o intermittente.

Riparare la bronzina o sostituire il cuscinetto per evitare guasti di maggiore entità.

L'eccessiva usura può portare il rotore a sfregare contro lo statore.

3) *Allentamento del pacco lamiere.* — Serrare le corone circolari che costituiscono le flangiature del pacco lamiere rotorico.

4) *Induzioni eccessive.* — Un valore elevato dell'induzione dà luogo ad un funzionamento rumoroso. Le cause principali che producono un aumento dell'induzione sono: sovraccarico, tensione superiore alla normale, frequenza troppo bassa.

Un motore sovraccarico assorbe una corrente superiore a quella normale; l'aumento delle amperspire determina una sollecitazione elettromagnetica eccessiva ed un funzionamento rumoroso.

Una tensione superiore alla normale produce gli stessi effetti del sovraccarico. Il funzionamento a frequenza troppo bassa, cioè inferiore a quella per la quale il motore è stato costruito, equivale a sottoporre la macchina ad una tensione superiore alla normale.

APPENDICE

TABELLE SUI CONDUTTORI ISOLATI TABELLE MATEMATICHE E TABELLE TRIGONOMETRICHE

Tabelle sui conduttori isolati

Nelle tabelle LXXXII, LXXXIII e LXXXIV sono riportati il diametro del filo nudo e la relativa sezione, il bispessore dell'isolante, il diametro esterno massimo (*) ed il peso in kg/km (**) dei *fili isolati con smalto all'acetale di vinile* (Duroflex M-3, Formivex ecc.). Nella tabella LXXXV sono riportati gli stessi dati per i fili isolati con smalto oleoresinoso, nella tabella LXXXVI i dati relativi ai fili isolati con tessili (1 e 2 spirali di cotone, 1 e 2 spirali di seta, smalto-cotone e smalto-seta) della ditta Pirelli e nella tabella LXXXVII quelli della ditta SAFI. Dal confronto di queste due ultime tabelle si può rilevare che a parità di tipo di isolamento le differenze tra i valori corrispondenti sono trascurabili.

La tabella LXXXVIII riporta i valori della resistenza, a 20° ed a 75° C, dei fili di rame tondo in ohm/1000 m fino a 5 mm di diametro. Infine nella tabella LXXXIX e XC sono indicate le sezioni e le dimensioni delle piattine smaltate Duroflex di costruzione SAFI (***).

Il tipo di conduttore più usato per gli avvolgimenti statorici, anzi di uso generale per motori piccoli e medi, è senza alcun dubbio quello all'acetale di vinile con smaltatura doppia, mentre per rotori con velocità fino a 3000 giri/min è da preferire quello con smaltatura tripla; il filo con smaltatura quadrupla viene impiegato solamente

---

(*) Il diametro esterno massimo è dato dalla somma: diametro nominale del filo + tolleranza sul diametro + bispessore isolante + tolleranza sul bispessore.

(**) I pesi sono approssimati e sono dati dai fabbricanti a titolo indicativo.

(***) L'Unel ha pubblicato fin dal 1958 delle tabelle sulle « Piattine di rame nude a spigoli arrotondati per avvolgimenti elettrici », ma in pratica è più utile disporre dei dati sulle piattine esistenti in commercio o che si possono richiedere ai fabbricanti.

nei casi di tensioni di esercizio rilevanti o con sollecitazioni meccaniche violente (vibrazioni o forze centrifughe).

Il filo isolato con 2 spirali di cotone si usa per i grossi motori, ma i fili isolati con tessili s'impiegano anche per le parti rotanti e quando macchine ed apparecchiature elettriche sono soggette, durante il funzionamento, a vibrazioni di qualsiasi natura (*) (l'isolamento con seta si usa per i fili sottili).

Per fili sottilissimi o addirittura capillari si adotta generalmente lo smalto oleoresinoso.

Siccome i fili isolati con tessili, anche dopo l'impregnamento, non presentano una elevata rigidità dielettrica, quando la differenza di potenziale fra spira e spira raggiunge valori discretamente elevati si preferisce talvolta l'impiego del filo isolato con smalto-cotone o con smalto-seta.

La superiorità dei fili isolati all'acetale di vinile sta, ripetiamo, principalmente nelle qualità meccaniche e nella maggiore resistenza al calore, mentre dal punto di vista elettrico il filo smaltato di tipo oleoresinoso può considerarsi veramente ottimo e superiore, a parità di spessore dello smalto, a quello del tipo sintetico.

Tabelle matematiche e trigonometriche

Si è ritenuto opportuno riportare le tabelle matematiche (quadrati, radici quadrate, circonferenze ed aree del cerchio) perchè esse consentono una maggiore speditezza in alcuni calcoli.

Le tabelle trigonometriche (seno e coseno) saranno utili per stabilire la forma e le dimensioni delle matasse a mantello, per il calcolo del fattore d'avvolgimento, ecc.

(*) Il campo d'impiego dei fili isolati con tessili è determinato dalla loro caratteristica di permettere una completa penetrazione delle vernici impregnanti; questo fatto è della massima importanza quando si richiede un avvolgimento compatto.

Tabelle sui conduttori isolati

Filo nudo		Smaltatura singola			Smaltatura doppia			Smaltatura tripla			Smaltatura quadrupla		
$\varnothing_{cn}$ mm	Sezione mm²	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km
0,08 *	0,00503	0,005	0,098	0,04805	0,016	0,104	0,04947	0,025	0,116	0,0507	—	—	—
0,09 *	0,00636	0,006	0,109	0,06030	0,017	0,117	0,06220	0,026	0,128	0,0639	—	—	—
0,10 *	0,00785	0,007	0,120	0,07395	0,018	0,129	0,07711	0,028	0,141	0,0799	—	—	—
0,11 *	0,00950	0,008	0,132	0,09012	0,019	0,143	0,09321	0,030	0,155	0,0958	—	—	—
0,12 *	0,01131	0,009	0,144	0,1070	0,020	0,154	0,1149	0,030	0,166	0,1221	—	—	—
0,13	0,01327	0,010	0,154	0,1250	0,022	0,167	0,1286	0,033	0,177	0,1318	—	—	—
0,14 *	0,01539	0,010	0,165	0,1443	0,022	0,178	0,1497	0,036	0,189	0,1547	—	—	—
0,15	0,01767	0,011	0,175	0,1657	0,023	0,189	0,1713	0,036	0,201	0,1764	—	—	—
0,16 *	0,02011	0,012	0,186	0,1884	0,025	0,200	0,1945	0,038	0,213	0,2002	—	—	—
0,17	0,02270	0,013	0,198	0,2125	0,025	0,213	0,2196	0,038	0,225	0,2265	—	—	—
0,18 *	0,02545	0,013	0,208	0,2376	0,027	0,225	0,2469	0,043	0,237	0,2558	—	—	—
0,19	0,02835	0,014	0,218	0,2640	0,028	0,235	0,2744	0,043	0,249	0,2842	—	—	—
0,20 *	0,03142	0,015	0,229	0,2918	0,030	0,247	0,3034	0,045	0,261	0,3138	—	—	—
0,21	0,03464	0,015	0,240	0,3217	0,032	0,258	0,3339	0,045	0,276	0,346	—	—	—
0,22 *	0,03801	0,015	0,251	0,3531	0,033	0,268	0,3666	0,045	0,286	0,379	—	—	—
0,23	0,04153	0,015	0,262	0,3852	0,033	0,280	0,3992	0,045	0,298	0,413	—	—	—
0,24	0,04524	0,015	0,272	0,4187	0,033	0,290	0,4333	0,050	0,308	0,448	—	—	—
0,25 *	0,04909	0,016	0,282	0,4535	0,033	0,303	0,4695	0,050	0,320	0,486	0,065	0,344	0,498
0,26	0,05309	0,016	0,293	0,4898	0,034	0,313	0,5045	0,050	0,330	0,523	—	—	—
0,27	0,05725	0,016	0,303	0,5283	0,034	0,324	0,5464	0,050	0,342	0,560	—	—	—
0,28 *	0,06158	0,017	0,315	0,5683	0,035	0,336	0,5871	0,053	0,354	0,604	0,070	0,379	0,616
0,29	0,06605	0,018	0,326	0,6088	0,035	0,347	0,6282	0,053	0,366	0,647	—	—	—
0,30	0,07069	0,018	0,336	0,6507	0,035	0,358	0,6717	0,055	0,376	0,690	—	—	—
0,32 *	0,08042	0,018	0,357	0,7387	0,035	0,380	0,7620	0,055	0,398	0,782	0,075	0,423	0,797
0,35 *	0,09621	0,020	0,389	0,8834	0,040	0,411	0,9089	0,060	0,430	0,931	0,075	0,458	0,949
0,38	0,11341	0,020	0,420	1,024	0,040	0,444	1,068	0,063	0,463	1,093	—	—	—
0,40 *	0,1257	0,020	0,440	1,150	0,040	0,466	1,183	0,063	0,485	1,209	0,080	0,513	1,230
0,42	0,1385	0,020	0,463	1,267	0,040	0,488	1,316	0,063	0,508	1,331	—	—	—
0,45 *	0,1590	0,022	0,494	1,456	0,045	0,522	1,492	0,065	0,542	1,523	0,085	0,569	1,545
0,48	0,1810	0,022	0,525	1,653	0,045	0,552	1,694	0,065	0,572	1,726	—	—	—
0,50 *	0,1964	0,023	0,546	1,794	0,050	0,574	1,836	0,065	0,595	1,868	0,085	0,623	1,916

I valori contrassegnati con asterisco sono da preferirsi.

TABELLA LXXXIII

Filo di rame smaltato all'acetale di vinile (Duroflex, Formivex, ecc.)

Filo nudo		Smaltatura singola			Smaltatura doppia			Smaltatura tripla			Smaltatura quadrupla		
$\varnothing_{cn}$ mm	Sezione mm²	Bispessore isolante minimo mm	Diametro estero mas. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mess. ca mm	Peso totale circa kg/km
0,52	0,2124	0,023	0,567	1,937	0,050	0,595	1,981	0,065	0,615	2,018	0,085	0,653	2,071
0,55	0,2376	0,024	0,599	2,166	0,050	0,626	2,212	0,070	0,647	2,251	0,090	0,685	2,309
0,58 *	0,2642	0,024	0,630	2,408	0,050	0,659	2,454	0,070	0,678	2,499	0,090	0,718	2,557
0,60	0,2827	0,025	0,650	2,576	0,055	0,679	2,628	0,070	0,700	2,670	0,095	0,738	2,735
0,63 *	0,3117	0,025	0,681	2,836	0,055	0,710	2,887	0,070	0,731	2,933	0,095	0,770	2,995
0,65	0,3318	0,025	0,702	3,018	0,055	0,731	3,074	0,070	0,752	3,121	0,095	0,792	3,186
0,68	0,3632	0,030	0,733	3,302	0,055	0,761	3,360	0,070	0,784	3,410	0,095	0,822	3,484
0,70 *	0,3849	0,030	0,754	3,496	0,055	0,783	3,529	0,075	0,805	3,609	0,095	0,845	3,686
0,75	0,4418	0,030	0,808	4,010	0,055	0,836	4,077	0,075	0,861	4,134	0,100	0,902	4,216
0,80 *	0,5027	0,030	0,858	4,557	0,060	0,889	4,633	0,080	0,911	4,693	0,100	0,952	4,780
0,85	0,5675	0,030	0,909	5,141	0,060	0,940	5,224	0,080	0,964	5,288	0,105	1,008	5,385
0,90 *	0,6362	0,030	0,961	5,760	0,060	0,994	5,848	0,085	1,014	5,922	0,105	1,059	6,021
0,95	0,7088	0,030	1,011	6,411	0,060	1,044	6,510	0,085	1,068	6.587	0,110	1,113	6,695
1,00 *	0,7854	0,030	1,061	7,098	0,060	1,096	7,205	0,085	1,120	7,286	0,110	1,164	7,401
1,05	0,8659	0,030	1,115	7,822	0,065	1,151	7,935	0,090	1,175	8,023	0,110	1,221	8,145
1,10 *	0,9503	0,030	1,166	8,588	0,065	1,202	8,698	0,090	1,226	8,787	0,115	1,271	8,919
1,15	1,0387	0,030	1,217	9,378	0,065	1,252	9,503	0,090	1,277	9,594	0,115	1,324	9,731
1,20	1,1310	0,030	1,268	10,200	0,065	1,304	10,33	0,090	1,328	10,43	0,115	1,375	10,57
1,25 *	1,2272	0,030	1,318	11,060	0,065	1,354	11,21	0,090	1,380	11,31	0,115	1,427	11,45
1,30	1,327	0,030	1,369	11,960	0,065	1,404	12,11	0,090	1,430	12,22	0,120	1,479	12,37
1,35	1,431	0,030	1,421	12,900	0,065	1,456	13,04	0,090	1,483	13,16	0,120	1,531	13,32
1,40 *	1,539	0,035	1,471	13,860	0,065	1,507	14,02	0,090	1,534	14,14	0,120	1,583	14,30
1,45	1,651	0,035	1,526	14,880	0,065	1,562	15,03	0,090	1,588	15,16	0,125	1,639	15,35
1,50	1,767	0,035	1,577	15,900	0,065	1,613	16,08	0,090	1,641	16,21	0,125	1,689	16,40
1,55	1,887	0,035	1,628	17,000	0,065	1,663	17,16	0,090	1,691	17,30	0,125	1,741	17,49
1,60 *	2,011	0,035	1,678	18,110	0,065	1,713	18,28	0,090	1,743	18,42	0,125	1,791	18,62
1,65	2,137	0,035	1,729	19,250	0,065	1,765	19,42	0,090	1,793	19,56	0,125	1,842	19,77

I valori contrassegnati con asterisco sono da preferirsi.

1,12 = 0,984 1,06 = 0,882

0,52 = 0,964 1,18 = 1,022

Filo di rame smaltato all'acetale di vinile (Duroflex, Formivex, ecc.)

Filo nudo		Smaltatura singola			Smaltatura doppia			Smaltatura tripla			Smaltatura quadrupla		
Ø cn mm	Sezione mm²	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso totale circa kg/km	Bispessore isolante minimo mm	Diametro esterno mass. ca mm	Peso lo circa kg/km
1,70	2,270	0,040	1,779	20,420	0,070	1,815	20,60	0,095	1,843	20,76	0,125	1,894	20,97
1,75	2,405	0,040	1,834	21,630	0,070	1,870	21,82	0,095	1,901	21,98	0,125	1,949	22,20
1,80 *	2,545	0,040	1,884	22,880	0,070	1,922	23,09	0,100	1,951	23,24	0,130	2,001	23,48
1,90	2,835	0,040	1,984	25,470	0,075	2,022	25,69	0,105	2,052	25,86	0,130	2,105	26,11
2,00 *	3,142	0,040	2,086	28,220	0,075	2,124	28,45	0,105	2,155	28,63	0,130	2,207	28,90
2,10	3,464	0,040	2,187	31,100	0,075	2,226	31,35	0,105	2,257	31,54	0,135	2,311	31,82
2,20 *	3,801	0,040	2,288	34,120	0,075	2,327	34,38	0,105	2,357	34,59	0,135	2,412	34,89
2,30	4,155	0,040	2,394	37,290	0,075	2,434	37,57	0,105	2,465	37,79	0,140	2,521	38,11
2,40	4,574	0,040	2,494	40,590	0,075	2,534	40,88	0,105	2,566	41,11	0,140	2,621	41,44
2,50 *	4,909	0,040	2,594	44,020	0,075	2,636	44,34	0,105	2,667	44,58	0,140	2,725	44,93
2,60	5,309	0,040	2,694	47,600	0,075	2,736	47,93	0,105	2,770	48,19	0,140	2,825	48,56
2,70	5,726	0,040	2,795	51,320	0,075	2,838	51,66	0,105	2,870	51,93	0,140	2,925	52,30
2,80 *	6,158	0,040	2,898	55,190	0,075	2,938	55,54	0,110	2,970	55,82	0,145	3,028	56,02
2,90	6,605	0,040	2,999	59,190	0,075	3,038	59,56	0,110	3,071	59,84	0,145	3,128	60,24
3,00	7,069	0,040	3,101	63,130	0,075	3,139	63,71	0,110	3,171	64,00	0,145	3,228	64,42
3,10	7,548	0,045	3,209	67,52	0,080	3,241	67,76	0,115	3,277	68,01	0,150	3,332	68,3
3,20	8,042	0,045	3,310	71,94	0,080	3,343	72,25	0,115	3,379	72,74	0,150	3,434	72,7
3,30	8,553	0,045	3,411	76,50	0,080	3,445	76,82	0,115	3,482	77,01	0,150	3,535	77,4
3,40	9,079	0,045	3,512	81,20	0,080	3,546	85,53	0,115	3,583	81,73	0,150	3,638	82,1
3,50	9,621	0,045	3,614	86,04	0,080	3,648	86,38	0,115	3,686	86,59	0,150	3,742	86,9
3,60	10,179	0,045	3,715	91,01	0 080	3,750	91,46	0,115	3,785	91,57	0,150	3,844	91,9
3,80	11,341	0,045	3,921	101,4	0,080	3,953	101,7	0,115	3,988	102,0	0,150	4,048	102,3
4,00	12,566	0,045	4,124	112,3	0,080	4,156	112,7	0,120	4,193	112,9	0,155	4,233	113,3
4,20	13,854	0,045	4,327	123,8	0,080	4,359	124,2	0,120	4,398	124,5	0,155	4,458	124,9
4,50	15,904	0,045	4,631	142,1	0,080	4,665	142,6	0,120	4,703	142,8	0,155	4,764	143,3
4,80	18,096	0,045	4,935	161,7	0,080	4,971	162,1	0,120	5,009	162,4	0,160	5,070	162,9
5,00	19,635	0,045	5,138	175,4	0,080	5,175	175,9	0,125	5,214	176,2	0,160	5,274	176,6

I valori contrassegnati con asterisco sono da preferirsi.

TABELLA LXXXV

Filo di rame smaltato oleoresinoso (tolleranze normali)

Filo nudo		Filo smaltato			Filo nudo		Filo smaltato		
Ø cn mm	Sezione mm²	Bispessore mm	Diametro esterno massimo mm	Peso kg/km	Ø cn mm	Sezione mm²	Bispessore mm	Diametro esterno massimo mm	Peso kg/km
0,03	0,00071	0,008	0,044	0,006839	0,63 *	0,3117	0,045	0,692	2,831
0,04 *	0,00126	0,009	0,055	0,01199	0,65	0,3318	0,045	0,712	3,012
0,05 *	0,00196	0,010	0,066	0,01858	0,68	0,3632	0,045	0,742	3,293
0,06 *	0,00283	0,011	0,077	0,02660	0,70 *	0,3849	0,045	0,762	3,487
0,07 *	0,00385	0,011	0,088	0,03591	0,75	0,4418	0,050	0,821	4,007
0,08 *	0,00503	0,012	0,100	0,04680	0,80 *	0,5027	0,050	0,871	4,553
0,09 *	0,00636	0,013	0,111	0,05912	0,85	0,5675	0,050	0,921	5,134
0,10 *	0,00785	0,014	0,122	0,07288	0,90 *	0,6362	0,055	0,976	5,760
0,11 *	0,00950	0,015	0,134	0,08806	0,95	0,7088	0,055	1,026	6,411
0,12 *	0,01131	0,015	0,144	0,1044	1,00 *	0,7854	0,055	1,076	7,097
0,13	0,01327	0,016	0,155	0,1225	1,05	0,8659	0,060	1,136	7,830
0,14 *	0,01539	0,017	0,167	0,1420	1,10 *	0,9503	0,060	1,186	8,587
0,15	0,01767	0,018	0,178	0,1630	1,15	1,0387	0,060	1,236	9,381
0,16 *	0,02011	0,019	0,189	0,1854	1,20	1,1310	0,060	1,286	10,20
0,17	0,02270	0,020	0,200	0,2091	1,25 *	1,2272	0,060	1,336	11,07
0,18 *	0,02545	0,020	0,210	0,2341	1,30	1,327	0,060	1,386	11,96
0,19	0,02835	0,020	0,220	0,2602	1,35	1,431	0,060	1,436	12,89
0,20 *	0,03142	0,020	0,230	0,2879	1,40 *	1,539	0,065	1,493	13,87
0,21	0,03464	0,022	0,242	0,3178	1,45	1,651	0,065	1,547	14,88
0,22 *	0,03801	0,022	0,252	0,3483	1,50	1,767	0,065	1,597	15,91
0,23	0,04153	0,024	0,264	0,3813	1,55	1,887	0,065	1,647	16,99
0,24	0,04524	0,024	0,274	0,4146	1,60 *	2,011	0,065	1,697	18,10
0,25 *	0,04909	0,025	0,285	0,4498	1,65	2,137	0,070	1,752	19,25
0,26	0,05309	0,025	0,295	0,4859	1,70	2,270	0,070	1,802	20,43
0,27	0,05725	0,025	0,305	0,5234	1,75	2,405	0,070	1,857	21,64
0,28 *	0,06158	0,025	0,317	0,5623	1,80 *	2,545	0,070	1,907	22,89
0,29	0,06605	0,025	0,327	0,6026	1,90 *	2,835	0,075	2,012	25,50
0,30	0,07069	0,025	0,337	0,6444	2,00 *	3,142	0,075	2,115	28,24
0,32 *	0,08042	0,028	0,361	0,7340	2,10	3,464	0,075	2,215	31,11
0,35 *	0,09621	0,028	0,391	0,8761	2,20 *	3,801	0,075	2,315	34,13
0,38	0,11341	0,032	0,425	1,034	2,30	4,155	0,080	2,425	37,32
0,40 *	0,1257	0,034	0,447	1,146	2,40	4,574	0,080	2,525	40,62
0,42	0,1385	0,034	0,470	1,261	2,50 *	4,909	0,080	2,625	44,05
0,45 *	0,1590	0,036	0,502	1,448	2,60	5,309	0,080	2,725	47,63
0,48	0,1810	0,036	0,532	1,646	2,70	5,726	0,080	2,825	51,35
0,50 *	0,1964	0,040	0,556	1,778	2,80 *	6,158	0,080	2,925	55,20
0,52	0,2124	0,040	0,577	1,932	2,90	6,605	0,080	3,025	59,20
0,55	0,2376	0,040	0,607	2,159	3,00	7,069	0,080	3,125	63,34
0,58 *	0,2642	0,045	0,642	2,404					
0,60	0,2827	0,045	0,662	2,570					

I valori contrassegnati con asterisco sono da preferirsi.

Filo di rame tondo rivestito (Pirelli)

Filo nudo		1 spirale cotone 1 C		2 spirali cotone 2 C		1 spirale seta 1 S		2 spirali seta 2 S		Smalto + 1 spirale cotone - E 1 C		Smalto + 1 spirale seta - E 1 S	
$\varnothing_{cm}$ mm	Sezione mm²	Diametro esterno medio ca mm	Peso totale circa kg/km	Diametro esterno medio ca mm	Peso totale circa kg/km	Diametro esterno medio ca mm	Peso totale circa kg/km	Diametro esterno medio ca mm	Peso totale circa kg/km	Diametro esterno medio ca mm	Peso totale circa kg/km	Diametro esterno medio ca mm	Peso totale circa kg/km
0,10	0,00785	0,22	0,1068	0,30	0,1448	0,14	0,07782	0,17	0,08612	0,23	0,1099	0,15	0,08088
0,11	0,00950	0,23	0,1235	0,31	0,1635	0,15	0,09298	0,18	0,1020	0,24	0,1271	0,17	0,09658
0,12	0,01131	0,24	0,1415	0,32	0,1835	0,16	0,1095	0,19	0,1192	0,26	0,1454	0,18	0,1134
0,14	0,01539	0,26	0,1828	0,34	0,2278	0,18	0,1468	0,21	0,1579	0,28	0,1880	0,20	0,1520
0,16	0,02011	0,28	0,2288	0,36	0,2768	0,20	0,1908	0,23	0,2023	0,30	0,2354	0,22	0,1974
0,18	0,02545	0,30	0,2813	0,38	0,3323	0,22	0,2393	0,25	0,2523	0,32	0,2891	0,24	0,2471
0,20	0,03142	0,32	0,3383	0,40	0,3923	0,24	0,2933	0,27	0,3037	0,34	0,3469	0,26	0,3019
0,22	0,03801	0,34	0,4019	0,42	0,4589	0,26	0,3532	0,29	0,3687	0,36	0,4123	0,28	0,3656
0,25	0,04909	0,37	0,5064	0,45	0,5684	0,29	0,4544	0,32	0,4704	0,39	0,5198	0,32	0,4678
0,28	0,06158	0,40	0,6224	0,48	0,6934	0,32	0,5672	0,35	0,5850	0,42	0,6393	0,35	0,5821
0,30	0,07069	0,42	0,7104	0,50	0,7794	0,34	0,6494	0,37	0,6684	0,44	0,7264	0,37	0,6654
0,35	0,09621	0,47	0,9483	0,57	1,025	0,39	0,8793	0,42	0,9023	0,50	0,9691	0,42	0,9001
0,40	0,1257	0,52	1,221	0,62	1,306	0,44	1,145	0,47	1,170	0,56	1,250	0,47	1,174
0,45	0,1590	0,57	1,530	0,67	1,621	0,49	1,449	0,52	1,473	0,61	1,564	0,53	1,483
0,50	0,1964	0,62	1,873	0,72	1,972	0,54	1.780	0,57	1,811	0,66	1,915	0,58	1,822
0,55	0,2376	0,67	2,250	0,77	2,357	0,59	2,150	0,62	2,183	0,71	2,297	0,63	2,197
0,60	0,2827	0,72	2,663	0,82	2,777	0,64	2,554	0,67	2,590	0,77	2,720	0,69	2,611
0,70	0,3848	0,82	3,593	0,92	3,723	0,74	3,467	0,77	3,510	0,87	3,659	0,79	3,533
0,80	0,5027	0,92	4,698	1,02	4,808	0,84	4,523	0,88	4,570	0,97	4,782	0,89	4,607
0,90	0,6362	1,02	5,911	1,12	6,033	0,94	5,717	0,98	5,769	1,08	6,015	1,0	5,821
1,00	0,7854	1,12	7,263	1,22	7,397	1,04	7,049	1,08	7,107	1,18	7,378	1,10	7,164
1,10	0,9503	1,22	8,755	1,32	8,900	1,14	8,522	1,18	8,586	1,28	8,894	1,20	8,661
1,20	1,131	1,32	10,38	1,42	10,54	1,24	10,13	1,28	10,20	1,38	10,53	1,30	10,28
1,40	1,539	1,52	14,07	1,62	14,24	1,44	13,77	1,48	13,85	1,59	14,26	1,51	13,96
1,60	2,011	1,74	18,32	1,84	18,52	1,64	18,01	1,68	18,08	1,81	18,54	1,71	18,23
1,80	2,545	1,94	23,20	2,04	23,50	1,85	22,78	1,89	22,84	2,01	23,46	1,92	23,04
2,00	3,142	2,14	28,56	2,24	28,89	2,05	28,10	2,09	28,16	2,22	28,87	2,12	28,41
2,20	3,801	2,34	34,48	2,44	34,84	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50	4,909	2,64	44,42	2,74	44,82	—	—	—	—	—	—	—	—
2,80	6,158	2,94	55,61	3,04	56,41	—	—	—	—	—	—	—	—
3,00	7,069	3,16	63,77	3,30	64,62	—	—	—	—	—	—	—	—
3,50	9,621	3,66	86,61	3,80	87,59	—	—	—	—	—	—	—	—
4,00	12,566	4,16	113,0	4,30	114,1	—	—	—	—	—	—	—	—
4,50	15,904	4,66	142,8	4,80	144,9	—	—	—	—	—	—	—	—
5,00	19,635	5,16	176,1	5,30	178,5	—	—	—	—	—	—	—	—

Filo di rame tondo rivestito (SAFI)

Filo nudo		2 spirali cotone 2 C	Smalto + cotone E 1 C	Smalto + seta E 1 S	Smalto + cotone E 1 C	2 spirali seta 2 S	2 spirali cotone 2 C	Filo nudo	
$\varnothing_{cm}$ mm	Sezione mm²	Diametro max mm	Diametro max mm	Diametro max mm	Diametro max mm	Diametro max mm	Diametro max mm	$\varnothing_{cm}$ mm	Sezione mm²
0,03	0,00071	—	—	0,078	—	0,10	—	1,15	1,0387
0,04	0,00126	—	—	0,088	—	0,11	—	1,20	1,1310
0,05	0,00196	—	—	0,099	—	0,12	—	1,25	1,2272
0,06	0,00283	—	—	0,110	—	0,13	—	1,30	1,327
0,07	0,00385	—	—	0,122	—	0,14	—	1,35	1,431
0,08	0,00503	—	—	0,133	—	0,15	—	1,40	1,539
0,09	0,00636	—	—	0,144	—	0,16	—	1,45	1,651
0,10	0,00785	—	—	0,156	0,201	0,17	—	1,50	1,767
0,11	0,00950	—	—	0,168	0,2135	0,18	—	1,55	1,887
0,12	0,01131	—	—	0,180	0,225	0,19	—	1,60	2,011
0,13	0,01327	—	—	0,191	0,2365	0,20	—	1,70	2,270
0,14	0,01539	—	—	0,203	0,248	0,21	—	1,80	2,545
0,15	0,01767	—	—	0,215	0,260	0,22	—	1,90	2,835
0,16	0,02011	—	—	0,225	0,270	0,23	—	2,00	3,142
0,18	0,02545	—	—	0,245	0,290	0,25	—	2,10	3,464
0,20	0,03142	—	0,35	0,265	0,310	0,27	—	2,20	3,801
0,22	0,03801	0,37	—	0,290	0,325	0,29	—	2,30	4,155
0,25	0,04909	0,40	—	0,320	0,365	0,32	—	2,40	4,574
0,28	0,06158	0,43	—	0,352	0,397	0,35	—	2,50	4,909
0,30	0,07069	0,45	—	0,372	0,417	0,37	—	2,60	5,309
0,32	0,08042	0,47	—	0,392	0,437	0,39	—	2,70	5,726
0,35	0,09621	0,50	—	0,429	0,474	0,42	—	2,80	6,158
0,38	0,11341	0,53	—	0,459	0,504	0,45	—	2,90	6,605
0,40	0,1257	0,55	—	0,479	0,524	0,47	—	3,00	7,069
0,42	0,1385	0,57	—	0,499	0,544	0,49	—	3,10	7,548
0,45	0,1590	0,60	—	0,536	0,581	0,52	—	3,20	8,042
0,48	0,1810	0,63	—	0,566	0,611	0,55	—	3,30	8,553
0,50	0,1964	0,70	—	0,581	0,631	0,58	—	3,40	9,079
0,52	0,2124	0,72	—	0,606	0,651	0,60	—	3,50	9,621
0,55	0,2376	0,75	—	0,644	0,689	0,63	—	3,60	10,179
0,58	0,2642	0,78	—	0,674	0,719	0,66	—	3,70	10,752
0,60	0,2827	0,80	—	0,694	0,739	0,68	—	3,80	11,341
0,62	0,3019	0,82	—	0,714	0,759	0,70	—	3,90	11,946
0,65	0,3318	0,85	—	0,744	0,789	0,73	—	4,00	12,566
0,68	0,3632	0,88	—	0,774	0,819	0,76	—	4,10	13,203
0,70	0,3849	0,90	—	0,794	0,839	0,78	—	4,20	13,854
0,75	0,4418	0,95	—	0,857	0,902	0,83	—	4,30	14,522
0,80	0,5027	1,00	—	0,907	0,952	0,88	—	4,40	15,205
0,85	0,5675	1,05	—	0,957	1,002	0,93	—	4,50	15,904
0,90	0,6362	1,10	—	1,007	1,052	0,98	—	4,60	16,614
0,95	0,7088	1,15	—	1,057	1,102	1,03	—	+,70	17,349
1,00	0,7854	1,30	—	1,107	1,152	1,08	—	4,80	18,096
1,05	0,8659	1,35	—	1,157	1,202	1,13	—	4,90	18,857
1,10	0,9503	1,40	—	1,226	1,272	1,18	—	5,00	19,635

TABELLA LXXXVIII

Resistenza elettrica dei fili di rame tondo in ohm/1000 m·α

Diametro nudo $\varnothing_{cn}$ mm	20° C Valore nominale	75 °C Valore nominale	Diametro nudo $\varnothing_{cn}$ mm	20° C Valore nominale	75 °C Valore nominale	Diametro nudo $\varnothing_{cn}$ mm	20° C Valore nominale	75 °C Valore nominale	Diametro nudo $\varnothing_{cn}$ mm	20° C Valore nominale	75 °C Valore nominale
0,025	35796	43535	0,42	126,64	154,01	1,65	8,204	9,977	3,35	1,989	2,419
0,03	24813	30044	0,45	110,29	134,13	1,70	7,727	9,397	3,40	1,932	2,350
0,04	13958	16975	0,48	96,93	117,87	1,75	7,293	8,869	3,45	1,870	2,274
0,05	8933,0	10864	0,50	89,33	108,64	1,80	6,892	8,382	3,50	1,823	2,217
0,06	6203,6	7537,5	0,52	82,59	100,43	1,85	6,524	7,936	3,55	1,772	2,155
0,07	4555,8	5554,9	0,55	73,83	89,79	1,90	6,187	7,524	3,60	1,723	2,095
0,08	3489,4	4243,7	0,58	66,39	80,47	1,95	5,876	7,146	3,65	1,677	2,030
0,09	2757,1	3353,1	0,60	62,04	75,44	2,00	5,582	6,789	3,70	1,631	1,984
0,10	2233,3	2716,0	0,62	58,10	70,66	2,05	5,273	6,413	3,75	1,587	1,930
0,11	1845,7	2244,6	0,65	52,86	64,29	2,10	5,064	6,159	3,80	1,547	1,881
0,12	1550,8	1886,1	0,68	48,29	58,73	2,15	4,831	5,875	3,85	1,507	1,833
0,13	1321,8	1607,5	0,70	45,68	55,55	2,20	4,614	5,611	3,90	1,468	1,785
0,14	1139,7	1386,0	0,72	43,07	52,38	2,25	4,411	5,364	3,95	1,431	1,740
0,15	992,64	1207,2	0,75	39,70	48,28	2,30	4,221	5,133	4,00	1,396	1,698
0,16	872,20	1060,7	0,78	36.71	44,64	2,35	4,036	4,909	4,05	1,361	1,655
0,17	772,64	939,67	0,80	34,89	42,44	2,40	3,877	4,715	4,10	1,341	1,631
0,18	689,19	838,16	0,85	30,91	37,59	2,45	3,722	4,526	4,15	1,295	1,576
0,19	619,22	753,10	0,90	27,57	33,53	2,50	3,573	4,345	4,20	1,266	1,540
0,20	558,24	678,90	0,95	24,75	30,10	2,55	3,455	4,202	4,25	1,237	1,504
0,21	506,64	616,18	1,00	22,33	27,16	2,60	3,304	4,018	4,30	1,207	1,468
0,22	461,42	561,16	1,05	20,26	24,64	2,65	3,181	3,869	4,35	1,180	1,435
0,23	422,33	513,64	1,10	18,26	22,45	2,70	3,063	3,725	4,40	1,154	1,403
0,24	387,71	471,51	1,13	17,52	21,31	2,75	2,954	3,593	4,45	1,128	1,371
0,25	357,30	434,53	1,15	16,87	20,52	2,80	2,848	3,464	4,50	1,103	1,341
0,26	330,38	401,79	1,20	15,51	18,86	2,85	2,739	3,331	4,55	1,079	1,312
0,28	284,83	346,40	1,25	14,29	17,36	2,90	2,656	3,230	4,60	1,055	1,283
0,30	248,13	301,76	1,30	13,22	16,08	2,95	2,566	3,121	4,65	1,043	1,268
0,32	218,10	265,24	1,35	12,26	14,91	3,00	2,481	3,018	4,70	1,011	1,230
0,34	193,19	234,95	1,40	11,39	13.86	3,05	2,399	2,918	4,75	0,9898	1,204
0,35	182,31	221,75	1,45	10.62	12,92	3,10	2,324	2,826	4,80	0,9693	1,179
0,36	172,30	209,54	1,50	9.926	12,07	3,15	2,250	2,746	4,85	0,9491	1,154
0,38	154,67	188,10	1,55	9.295	11,30	3,20	2,181	2,652	4,90	0,9310	1,132
0,40	139,58	169,75	1,60	8.722	10,61	3,25	2,113	2,570	4,95	0,9103	1,107
—	—	—	—	—	—	3,30	2,051	2,494	5,00	0,8933	1,086

TABELLA LXXXIX

Piattine di rame smaltate duroflex (SAFI)

Sezione mm²	Dimensioni mm × mm	Raggio arrot. mm	Sezione mm	Dimensioni mm × mm	Raggio arrot. mm
1,12	0,60 × 2,00	0,30	6,38	1,20 × 5,50	0,50
1,78	1,00 × 2,00	0,50	6,51	1,80 × 4,00	0,90
1,95	0,50 × 4,00	0,25	6,53	0,60 × 11,00	0,30
2,28	1,00 × 2,50	0,50	6,53	1,50 × 4,50	0,50
2,32	0,60 × 4,00	0,30	6,66	2,20 × 3,50	1,10
2,38	1,40 × 2,00	0,70	6,79	2,00 × 3,50	0,50
2,58	1,35 × 2,20	0,675	7,00	1,40 × 5,30	0,70
2,69	1,20 × 2,50	0,60	7,03	1,70 × 4,50	0,85
2,71	0,90 × 3,20	0,45	7,05	2,00 × 3,80	0,80
2,78	1,00 × 3,00	0,50	7,14	2,00 × 4,00	1,00
2,84	0,70 × 4,20	0,35	7,15	2,20 × 3,50	0,80
2,93	1,10 × 2,90	0,55	7,20	1,90 × 4,20	0,95
2,98	1,00 × 3,20	0,50	7,28	1,50 × 5,00	0,75
3,06	0,80 × 4,00	0,40	7,45	2,50 × 3,20	0,80
3,28	1,00 × 3,50	0,50	7,49	1,20 × 6,50	0,60
3,61	0,95 × 4,00	0,90	7,77	1,50 × 5,50	0,75
3,70	1,10 × 3,70	0,55	7,78	1,00 × 8,00	0,50
3,78	1,00 × 4,00	0,50	7,94	1,80 × 4,80	0,90
3,89	1,20 × 3,50	0,60	8,09	1,20 × 7,00	0,60
3,99	1,85 × 2,55	0,925	8,20	2,50 × 3,50	0,80
4,01	1,50 × 3,00	0,75	8,45	2,00 × 4,50	0,80
4,32	1,50 × 3,20	0,75	8,52	1,50 × 6,00	0,75
4,34	1,80 × 2,80	0,90	8,57	2,40 × 3,80	0,90
4,34	1,20 × 3,80	0,60	8,66	2,50 × 4,00	0,80
4,48	1,70 × 3,00	0,85	9,25	3,20 × 3,20	1,25
4,66	0,80 × 6,00	0,40	9,27	1,00 × 10,00	0,80
4,77	1,50 × 3,50	0,75	9,30	1,20 × 8,00	0,60
4,77	1,90 × 2,80	0,80	9,45	2,00 × 5,00	0,80
4,78	0,90 × 5,50	0,45	9,69	3,20 × 3,20	0,80
4,78	1,00 × 5,00	0,50	9,78	1,00 × 10,00	0,50
4,94	2,00 × 2,90	1,00	9,89	1,20 × 8,50	0,60
5,09	1,20 × 4,50	0,60	10,03	2,50 × 4,60	0,80
5,19	1,65 × 3,50	0,825	10,08	1,40 × 7,50	0,70
5,21	1,60 × 3,60	0,80	10,20	1,70 × 6,00	0,85
5,25	2,00 × 2,90	0,80	10,29	1,50 × 7,00	0,50
5,44	1,74 × 3,50	0,87	10,43	1,70 × 6,50	0,85
5,70	2,50 × 2,50	0,80	10,45	2,00 × 5,50	0,80
5,75	2,25 × 2,80	0,80	10,45	2,20 × 5,00	0,80
5,78	1,80 × 3,60	0,90	10,54	3,00 × 4,00	1,30
5,81	1,50 × 4,20	0,75	10,65	1,60 × 7,00	0,80
5,87	1,90 × 3,50	0,95	10,65	2,80 × 4,00	0,80
6,05	2,00 × 3,30	0,80	10,77	1,50 × 7,50	0,75
6,18	1,70 × 4,00	0,85	11,15	2,50 × 5,00	1,25
6,29	1,00 × 6,50	0,50	11,45	2,00 × 6,00	0,80
6,34	1,10 × 6,00	0,55	11,45	3,00 × 4,00	0,80

TABELLA XC

Piattine di rame smaltate duroflex (SAFI)

Sezione mm²	Dimensioni mm × mm	Raggio arrot. mm	Sezione mm²	Dimensioni mm × mm	Raggio arrot. mm
11,48	1,40 × 8,50	0,70	18,08	1,70 × 11,00	0,85
11,55	2,20 × 5,50	0,80	18,20	2,50 × 7,50	0,80
11,56	3,00 × 4,50	1,50	19,45	2,00 × 10,00	0,80
11,70	3,50 × 3,50	0,80	19,45	2,50 × 8,00	0,80
11,78	1,50 × 8,00	0,50	20,25	1,60 × 13.00	0,80
11,95	2,50 × 5,00	0,80	20,60	2,30 × 9,20	0,80
12,05	2,80 × 4,50	0,80	20,78	1,40 × 15,00	0,50
12,13	1,70 × 7,50	0,85	21,05	2,70 × 8.00	0,80
12,27	1,50 × 8,50	0,75	21,16	2,50 × 9,00	1,25
12,45	2,00 × 6,50	0,80	21,45	2,00 × 11,00	0,80
12,48	1,40 × 9,20	0,70	21,95	3,00 × 7,50	0,80
12,65	2,40 × 5,50	0,80	22,40	2,50 × 9,50	1,25
12,94	3,00 × 4,50	0,80	22,40	4,10 × 5,60	0,80
12,97	2,60 × 5,20	0,80	22,55	2,20 × 10,50	0,80
13,07	3,00 × 5,00	1,50	22,76	4,00 × 6.00	1,20
13,83	1,70 × 8,50	0,85	22,85	3,60 × 6,50	0,80
14,01	2,80 × 5,20	0,80	23,25	2,80 × 8,50	0,80
14,63	2,70 × 6,00	1,35	23,45	2,00 × 12,00	0,80
14,79	1,50 × 10,00	0,50	23,66	2,50 × 10,00	1,25
14,85	2,20 × 7,00	0,80	23,92	1,90 × 13,00	0,95
14,95	2,50 × 6,20	0,80	24,45	2,50 × 10,00	0,80
15,14	1,10 × 14,00	0,55	25,05	1,60 × 16,00	0,80
15,14	2,00 × 8,00	1,00	25,07	3,00 × 9.00	1,50
15,20	3,50 × 4,50	0,80	26,45	2,70 × 10.00	0,80
15,24	1,30 × 12,00	0,65	26,95	2,50 × 11,00	0,80
15,44	2,70 × 6,30	1,35	27,45	2,00 × 14.00	0,80
15,45	4,00 × 4,00	0,80	29,45	2,00 × 15.00	0,80
15,65	2,70 × 6,00	0,80	29,45	3,00 × 10,00	0,80
15,70	2,50 × 6,50	0,80	29,45	2,50 × 12,00	0,80
15,85	1,80 × 9,20	0,90	31,45	2,00 × 16,00	0,80
15,95	2,20 × 7,50	0,80	31,45	4,00 × 8,00	0,80
16,01	2,30 × 7,20	0,80	31,85	2,70 × 12,00	0,80
16,02	1,50 × 11,00	0,75	32,20	2,10 × 15.60	0,80
16,41	1,80 × 9,50	0,90	32,45	3,00 × 11,00	0,80
16,56	2,20 × 8,00	1,10	34,76	4,50 × 8,00	1,20
16,62	3,50 × 5,50	1,75	35,45	3,00 × 12,00	0,80
16,95	2,50 × 7,00	0,80	36,56	3,60 × 10,50	1,20
17,00	2,70 × 6,50	0,80	37,95	3,50 × 11,00	0,80
17,05	3,20 × 5,50	0,80	41,30	2,70 × 15,50	0,80
17,30	2,10 × 8,50	0,80	41,45	3,00 × 14,00	0,80
17,45	3,00 × 6,00	0,80	42,65	2,70 × 16,00	0,80
17,45	2,00 × 9,00	0,80	44,45	3,00 × 15,00	0,80
17,84	1,30 × 14,00	0,65			

Tabelle matematiche e trigonometriche

TABELLA XCI

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
1	1	1,0000	3,142	0,7854	**51**	2601	7,1414	160,22	2042,82
2	4	1,4142	6,283	3,1416	**52**	2704	7,2111	163,36	2123,72
3	9	1,7321	9.425	7,0686	**53**	2809	7,2801	166,50	2206,18
4	16	2,0000	12,566	12,5664	**54**	2916	7,3485	169,65	2290,22
5	25	2,2361	15,708	19,6350	**55**	3025	7,4162	172,79	2375,83
6	36	2,4495	18,850	28,2743	**56**	3136	7,4833	175,93	2463,01
7	49	2,6458	21,991	38,4845	**57**	3249	7,5498	179,07	2551,76
8	64	2,8284	25,133	50,2655	**58**	3364	7,6158	182,21	2642,08
9	81	3,0000	28,274	63,6173	**59**	3481	7,6811	185,35	2733,97
10	100	3,1623	31,416	78,5398	**60**	3600	7,7460	188,50	2827,43
11	121	3,3166	34,558	95,0332	**61**	3721	7,8102	191,64	2922,47
12	144	3,4641	37,699	113,097	**62**	3844	7,8740	194,78	3019,07
13	169	3,6056	40,841	132,732	**63**	3969	7,9373	197,92	3117,25
14	196	3,7417	43,982	153,938	**64**	4096	8,0000	201,06	3216,99
15	225	3,8730	47,124	176,715	**65**	4225	8,0623	204,20	3318,31
16	256	4,0000	50,265	201,062	**66**	4356	8,1240	207,35	3421,19
17	289	4,1231	53,407	226.980	**67**	4489	8,1854	210,49	3525,65
18	324	4,2426	56,549	254,469	**68**	4624	8,2462	213,63	3631,68
19	361	4,3589	59,690	283,529	**69**	4761	8,3066	216,77	3739,28
20	400	4,4721	62,832	314,159	**70**	4900	8,3666	219,91	3848,45
21	441	4,5826	65,973	346,361	**71**	5041	8,4261	223,05	3959,19
22	484	4,6904	69,115	380,133	**72**	5184	8,4853	226,19	4071,50
23	529	4,7958	72,257	415,476	**73**	5329	8,5440	229,34	4185,39
24	576	4,8990	75,398	452,389	**74**	5476	8,6023	232,48	4300,84
25	625	5.0000	78,540	490.874	**75**	5625	8,6603	235,62	4417,86
26	676	5,0990	81,681	530,929	**76**	5776	8,7178	238,76	4536,46
27	729	5,1962	84,823	572,555	**77**	5929	1,7750	241,90	4656,63
28	784	5,2915	87,965	615,752	**78**	6084	8,8318	245,04	4778,36
29	841	5,3852	91,106	660,520	**79**	6241	8,8882	248,19	4901,67
30	900	5,4772	94,248	706,858	**80**	6400	8,9443	251,33	5026,55
31	961	5,5678	97,389	754,768	**81**	6561	9,0000	254,47	5153,00
32	1024	5,6569	100,531	804,248	**82**	6724	9,0554	257,61	5181,02
33	1089	5,7446	103,673	855,299	**83**	6889	9,1104	260,75	5410,61
34	1156	5,8310	106,814	907,920	**84**	7056	9,1652	263,89	5541,77
35	1225	5,9161	109,956	962,113	**85**	7225	9,2195	267,04	5674,50
36	1296	6,0000	113,097	1017,88	**86**	7396	9,2736	270,18	5808,80
37	1369	6,0828	116,239	1075,21	**87**	7569	9,3274	273,32	5944,68
38	1444	6,1644	119,381	1134,11	**88**	7744	9,3808	276,46	6082,12
39	1521	6,2450	122,522	1194,59	**89**	7921	9,4340	279,60	6221,14
40	1600	6,3246	125,66	1256,64	**90**	8100	9,4868	282,74	6361,73
41	1681	6,4031	128,81	1320,25	**91**	8281	9,5394	285,88	6503,88
42	1764	6,4807	131,95	1385,44	**92**	8464	9,5917	289,03	6647,61
43	1849	6,5574	135,09	1452,20	**93**	8649	9,6437	292,17	6792,91
44	1936	6,6332	138,23	1520,53	**94**	8836	9,6954	295,31	6339,78
45	2025	6,7082	141,37	1590,43	**95**	9025	9,7468	298,45	7088,22
46	2116	6,7823	144,51	1661,90	**96**	9216	9,7980	301,59	7238,23
47	2209	6,8557	147,65	1734,94	**97**	9409	9,8489	304,73	7389,81
48	2304	6,9282	150,80	1809,56	**98**	9604	9,8995	307,88	7542,96
49	2401	7,0000	153,94	1885,74	**99**	9801	9,9499	311,02	7697,69
50	2500	7,0711	157,08	1963,50	**100**	10.000	10.0000	314,16	7853,98

TABELLA XCII

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
101	10201	10,0499	317,30	8011,85	**151**	22801	12,2828	474,38	17907,9
102	10404	10,0995	320,44	8171,28	**152**	23104	12,3288	477,52	18145,8
103	10609	10,1489	323,58	8332,29	**153**	23409	12,3693	480,66	18385,4
104	10816	10,1980	326,73	8494,87	**154**	23716	12,4097	483,81	18626,5
105	11025	10,2470	329,87	8659,01	**155**	24025	12,4499	486,95	18869,2
106	11236	10,2956	333,01	8824,73	**156**	24336	12,4900	490,09	19113,4
107	11449	10,3441	336,15	8992,02	**157**	24649	12,5300	493,23	19359,3
108	11664	10,3923	339,29	9160,88	**158**	24964	12,5698	496,37	19606,7
109	11881	10,4403	342,43	9331,32	**159**	25281	12,6095	499,51	19855,7
110	12100	10,4881	345,58	9503,32	**160**	25600	12,6491	502,65	20106,2
111	12321	10,5357	348,72	9676,89	**161**	25921	12,6886	505,80	20358,3
112	12544	10,5830	351,86	9852,03	**162**	26244	12,7279	508,94	20612,0
113	12769	10,6301	355,00	10028,7	**163**	26569	12,7671	512,08	20867,2
114	12996	10,6771	358,14	10207,0	**164**	26896	12,8062	515,22	21124,1
115	13225	10,7238	361,28	10386,9	**165**	27225	12,8452	518,36	21382,5
116	13456	10,7703	364,42	10568,3	**166**	27556	12,8841	521,50	21642,4
117	13689	10,8167	367,57	10751,3	**167**	27889	12,9228	524,65	21904,0
118	13924	10,8628	370,71	10935,9	**168**	28224	12,9615	527,79	22167,1
119	14161	10,9087	373,85	11122,0	**169**	28561	13,0000	530,93	22431,8
120	14400	10,9545	376,99	11309,7	**170**	28900	13,0384	534,07	22698,0
121	14641	11,0000	380,13	11499,0	**171**	29241	13,0767	537,21	22965,8
122	14884	11,0454	383,27	11689,9	**172**	29584	13,1149	540,35	23235,2
123	15129	11,0905	386,42	11882,3	**173**	29929	13,1529	543,50	23506,2
124	15376	11,1355	389,56	12076,3	**174**	30276	13,1909	546,64	23778,7
125	15625	11,1803	392,70	12271,8	**175**	30625	13,2288	549,78	24052,8
126	15876	11,2250	395,84	12469,0	**176**	30976	13,2665	552,92	24328,5
127	16129	11,2694	398,98	12667,7	**177**	31329	13,3041	556,06	24605,7
128	16384	11,3137	402,12	12868,0	**178**	31684	13,3417	559,20	24884,6
129	16641	11,3578	405,27	13069,8	**179**	32041	13,3791	562,35	25164,9
130	16900	11,4018	408,41	13273,2	**180**	32400	13,4164	565,49	25446,9
131	17161	11,4455	411,55	13478,2	**181**	32761	13,4536	568,63	25730,4
132	17424	11,4891	414,69	13684,8	**182**	33124	13,4907	571,77	26015,5
133	17689	11,5326	417,83	13892,9	**183**	33489	13,5277	574,91	26302,2
134	17956	11,5758	420,97	14102,6	**184**	33856	13,5647	578,05	26590,4
135	18225	11.6190	424,12	14313,9	**185**	34225	13,6015	581,19	26880,3
136	18496	11,6619	427,26	14526,7	**186**	34596	13,6382	584,34	27171,6
137	18769	11,7047	430,40	14741,1	**187**	34969	13,6748	587,48	27464,6
138	19044	11,7473	433,54	14957,1	**188**	35344	13,7113	590,62	27759,1
139	19321	11,7898	436,68	15174,7	**189**	35721	13,7477	593,76	28055,2
140	19600	11,8322	439,82	15393,8	**190**	36100	13,7849	596,90	28352,9
141	19881	11,8743	442,96	15614,5	**191**	36481	13,8203	600,04	28652,1
142	20164	11,9164	446,11	15836,8	**192**	36864	13,8564	603,19	28952,9
143	20449	11,9583	449,25	16060,6	**193**	37249	13,8924	606,33	29255,3
144	20736	12.0000	452,39	16286,0	**194**	37636	13,9284	609,47	29559,2
145	21025	12,0416	455,53	16513,0	**195**	38025	13,9642	612,61	29864,8
146	21316	12,0830	458,67	17441,5	**196**	38416	14,0000	615,75	30171,9
147	21609	12,1244	461,81	16971,7	**197**	38809	14,0357	618,89	30480,5
148	21904	12,1655	464,96	17203,4	**198**	39204	14,0712	622,04	30790,7
149	22201	12,2066	468,10	17436,6	**199**	39601	14,1067	625,18	31102,6
150	22500	12,2474	471,24	17671,5	**200**	40000	14,1421	628,32	31415,9

TABELLA XCIII

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
201	40401	14,1774	631,46	31730,9	**251**	63001	15,8430	788,54	49480,9
202	40804	14,2127	634,60	32047,4	**252**	63504	15,8745	791,68	49875,9
203	41209	14,2478	637,74	32365,5	**253**	64009	15,9060	794,82	50272,6
204	41616	14,2829	640,88	32685,1	**254**	64516	15,9374	797,96	50670,7
205	42025	14,3178	644,03	33006,4	**255**	65025	15,9687	801,11	51070,5
206	42436	14,3527	647,17	33329,2	**256**	65536	16,0000	804,25	51471,9
207	42849	14,3875	650,31	33653,5	**257**	66049	16,0312	807,39	51874,8
208	43264	14,4222	653,45	33979,5	**258**	66564	16,0624	810,53	52279,2
209	43681	14,4568	656,59	34307,0	**259**	67081	16,0935	813,67	52685,3
210	44100	14,4914	659,73	34636,1	**260**	67600	16,1245	816,81	53092,9
211	44521	14,5258	662,88	34966,7	**261**	68121	16,1555	819,96	53502,1
212	44944	14,5602	666,02	35298,9	**262**	68644	16,1864	823,10	53912,9
213	45369	14,5945	669,16	35632,7	**263**	69169	16,2173	826,24	54325,2
214	45796	14,6287	672,30	35968,1	**264**	69696	16,2481	829,38	54739,1
215	46225	14,6629	675,44	36305,0	**265**	70225	16,2788	832,52	55154,6
216	46656	14,6969	678,58	36643,5	**266**	70756	16,3095	835,66	55571,6
217	47089	14,7309	681,73	36983,6	**267**	71289	16,3401	838,81	55990,2
218	47524	14,7648	684,87	37325,3	**268**	71824	16,3707	841,95	56410,4
219	47961	14,7986	688,01	37668,5	**269**	72361	16,4012	845,09	56832,2
220	48400	14,8324	691,15	38013,3	**270**	72900	16,4317	848,23	57255,5
221	48841	14,8661	694,29	38359,6	**271**	73441	16,4621	851,37	57680,4
222	49284	14,8997	697,43	38707,6	**272**	73984	16,4924	854,51	58106,9
223	49729	14,9332	700,58	39057,1	**273**	74529	16,5227	857,65	58534,9
224	50176	14,9666	703,72	39408,1	**274**	75076	16,5529	860,80	58964,6
225	50625	15,0000	706,86	39760,8	**275**	75625	16,5831	863,94	59395,7
226	51076	15,0333	710,00	40115,0	**276**	76176	16,6132	867,08	59828,5
227	51529	15,0665	713,14	40470,8	**277**	76729	16,6433	870,22	60262,8
228	51984	15,0997	716,28	40828,1	**278**	77284	16,6733	873,36	60698,7
229	52441	15,1327	719,42	41187,1	**279**	77841	16.7033	876,50	61136,2
230	52900	15,1658	722,57	41547,6	**280**	78400	16,7332	879,65	61575,2
231	53361	15,1987	725,71	41909,6	**281**	78961	16,7631	882,79	62015,8
232	53824	15,2315	728,85	42273,3	**282**	79524	16,7929	885,93	62458,0
233	54289	15,2643	731,99	42638,5	**283**	80089	16,8226	889,07	62901,8
234	54756	15,2971	735,13	43005,3	**284**	80656	16,8523	892,21	63347,1
235	55225	15,3297	738,27	43373,6	**285**	81225	16,8819	895,35	63794,0
236	55696	15,3623	741,42	43743,5	**286**	81796	16,9115	898,50	64242,4
237	56169	15,3948	744,56	44115,0	**287**	82369	16,9411	901,64	64692,5
238	56644	15,4272	747,70	44488,1	**288**	82944	16,9706	904,78	65144,1
239	57121	15,4596	750,84	44862,7	**289**	83521	17,0000	907,92	65597,2
240	57600	15,4919	753,98	45238,9	**290**	84100	17,0294	911,06	66052,0
241	58081	15,5242	757,12	45616,7	**291**	84681	17,0587	914,20	66508,3
242	58564	15,5563	760,27	45996,1	**292**	85264	17,0880	917,35	66966,2
243	59049	15,5885	763,41	46377,0	**293**	85849	17,1172	920,49	67425,6
244	59536	15,6205	766,55	46759,5	**294**	86436	17,1464	923,63	67886,7
245	60025	15,6525	769,69	47143,5	**295**	87025	17,1756	926,77	68349,3
246	60516	15,6844	772,83	47529,2	**296**	87616	17,2047	929,91	68813,4
247	61009	15,7162	775,97	47916,4	**297**	88209	17,2337	933,05	69279,2
248	61504	15,7480	779,11	48305,1	**298**	88804	17,2627	936,19	69746,5
249	62001	15,7797	782,26	48695,5	**299**	89401	17,2916	939,34	70215,4
250	62500	15,8114	785,40	49087,4	**300**	90000	17,3205	942,48	70685,8

TABELLA XCIV

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
301	90601	17,3494	945,62	71157,9	**351**	123201	18,7350	1102,7	96761,8
302	91204	17,3781	948,76	71631,5	**352**	123904	18,7617	1105,8	97314,0
303	91809	17,4069	951,90	72106,6	**353**	124609	18,7883	1109,0	97867,7
304	92416	17,4356	955,04	72583,4	**354**	125316	18,8149	1112,1	98423,0
305	93025	17,4642	958,19	73061,7	**355**	126025	18,8414	1115,3	98979,8
306	93636	17,4929	961,33	73541,5	**356**	126736	18,8680	1118,4	99538,2
307	94249	17,5214	964,47	74023,0	**357**	127449	18,8944	1121,5	100098
308	94864	17,5499	967,61	74506,0	**358**	128164	18,9209	1124,7	100660
309	95481	17,5784	970,75	74990,6	**359**	128881	18,9473	1127,8	101223
310	96100	17,6068	973,89	75476,8	**360**	129600	18,9737	1131,0	101788
311	96721	17,6352	977,04	75964,5	**361**	130321	19,0000	1134,1	102354
312	97344	17,6635	980,18	76453,8	**362**	131044	19,0263	1137,3	102922
313	97969	17,6918	983,32	76944,7	**363**	131769	19,0526	1140,4	103491
314	98596	17,7200	986,46	77437,1	**364**	132496	19,0788	1143,5	104062
315	99225	17,7482	989,60	77931,1	**365**	133225	19,1050	1146,7	104635
316	99856	17,7764	992,74	78426,7	**366**	133956	19,1311	1149,8	105209
317	100489	17,8045	995,88	78923,9	**367**	134689	19,1572	1153,0	105785
318	101124	17,8326	999,03	79422,6	**368**	135424	19,1833	1156,1	106362
319	101761	17,8606	1002,2	79922,9	**369**	136161	19,2094	1159,2	106941
320	102400	17,8885	1005,3	80424,8	**370**	136900	19,2354	1162,4	107521
321	103041	17,9165	1008,5	80928,2	**371**	137641	19,2614	1165,5	108103
322	103684	17,9444	1011,6	81433,2	**372**	138384	19,2873	1168,7	108687
323	104329	17,9722	1014,7	81939,8	**373**	139129	19,3132	1171,8	109272
324	104976	18,0000	1017,9	82448,0	**374**	139876	19,3391	1175,0	109858
325	105625	18,0278	1021,0	82957,7	**375**	140625	19,3649	1178,1	110447
326	106276	18,0555	1024,2	83469,0	**376**	141376	19,3907	1181,2	111036
327	106929	18,0831	1027,3	83981,8	**377**	142129	19,4165	1184,4	111628
328	107584	18,1108	1030,4	84496,3	**378**	142884	19,4422	1187,5	112221
329	108241	18,1384	1033,6	85012,3	**379**	143641	19,4679	1190,7	112815
330	108900	18,1659	1036,7	85529,9	**380**	144400	19,4936	1193,8	113411
331	109561	18,1934	1039,9	86049,0	**381**	145161	19,5192	1196,9	114009
332	110224	18,2209	1043,0	86569,7	**382**	145924	19,5448	1200,1	114608
333	110889	18,2483	1046,2	87092,0	**383**	146689	19,5704	1203,2	115209
334	111556	18,2757	1049,3	87615,9	**384**	147456	19,5959	1206,4	115812
335	112225	18,3030	1052,4	88141,3	**385**	148225	19,6214	1209,5	116416
336	112896	18,3303	1055,6	88668,3	**386**	148996	19,6469	1212,7	117021
337	113569	18,3576	1058,7	89196,9	**387**	149769	19,6723	1215,8	117628
338	114244	18,3848	1061,9	89727,0	**388**	150544	19,6977	1218,9	118237
339	114821	18,4120	1065,0	90258,7	**389**	151321	19,7231	1222,1	118847
340	115600	18,4391	1068,1	90792,0	**390**	152100	19,7484	1225,2	119459
341	116281	18,4662	1071,3	91326,9	**391**	152881	19,7737	1228,4	120072
342	116964	18,4932	1074,4	91863,3	**392**	153664	19,7990	1231,5	120687
343	117649	18,5203	1077,6	92401,3	**393**	154449	19,8242	1234,6	121304
344	118336	18,5472	1080,7	92940,9	**394**	155236	19,8494	1237,8	121922
345	119025	18,5742	1083,8	93482,0	**395**	156025	19,8746	1240,9	122542
346	119716	18,6011	1087,0	94024,7	**396**	156816	19,8997	1244,1	123163
347	120409	18,6279	1090,1	94569,0	**397**	157609	19,9249	1247,2	123786
348	121104	18,6548	1093,3	95114,9	**398**	158404	19,9499	1250,4	124410
349	121801	18,6815	1096,4	95662,3	**399**	159201	19,9750	1253,5	125036
350	122500	18,7083	1099,6	96211,3	**400**	160000	20.0000	1256,6	125664

TABELLA XCV

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
401	160801	20,0250	1259,8	126293	**451**	203401	21,2368	1416,9	159751
402	161604	20,0499	1262,9	126923	**452**	204304	21,2603	1420,0	160460
403	162409	20,0749	1266,1	127556	**453**	205209	21,2838	1423,1	161171
404	163216	20,0998	1269,2	128190	**454**	206116	21,3073	1426,3	161883
405	164025	20,1246	1272,3	128825	**455**	207025	21,3307	1429,4	162597
406	164836	20,1494	1275,5	129462	**456**	207936	21,3542	1432,6	163313
407	165649	20,1742	1278,6	130100	**457**	208849	21,3776	1435,7	164030
408	166464	20,1990	1281,8	130741	**458**	209764	21,4009	1438,8	164748
409	167281	20,2237	1284,9	131382	**459**	210681	21,4243	1442,0	165468
410	168100	20,2485	1288,1	132025	**460**	211600	21,4476	1445,1	166190
411	168921	20,2731	1291,2	132670	**461**	212521	21,4709	1448,3	166914
412	169744	20,2978	1294,3	133317	**462**	213444	21,4942	1451,4	167639
413	170569	20,3224	1297,5	133965	**463**	214369	21,5174	1454,6	168365
414	171396	20,3470	1300,6	134614	**464**	215296	21,5407	1457,7	169093
415	172225	20,3715	1303,8	135265	**465**	216225	21,5639	1460,8	169823
416	173056	20,3961	1306,9	135918	**466**	217156	21,5870	1464,0	170554
417	173889	20,4206	1310,0	136572	**467**	218089	21,6102	1467,1	171287
418	174724	20,4450	1313,2	137228	**468**	219024	21,6333	1470,3	172021
419	175561	20,4695	1316,3	137885	**469**	219961	21,6564	1473,4	172757
420	176400	20,4939	1319,5	138544	**470**	220900	21,6795	1476,5	173494
421	177241	20,5183	1322,6	139205	**471**	221841	21,7025	1479,7	174234
422	178084	20,5426	1325,8	139867	**472**	222784	21,7256	1482,8	174974
423	178929	20,5670	1328,9	140531	**473**	223729	21,7486	1486,0	175716
424	179776	20,5913	1332,0	141196	**474**	224676	21,7715	1489,1	176460
425	180625	20,6155	1335,2	141863	**475**	225625	21,7945	1492,3	177205
426	181476	20,6398	1338,3	142531	**476**	226576	21,8174	1495,4	177952
427	182329	20,6640	1341,5	143201	**477**	227529	21,8403	1498,5	178701
428	183184	20,6882	1344,6	143872	**478**	228484	21,8632	1501,7	179451
429	184041	20,7123	1347,7	144545	**479**	229441	21,8861	1504,8	180203
430	184900	20,7364	1350,9	145220	**480**	230400	21,9089	1508,0	180956
431	185761	20,7605	1354,0	145896	**481**	231361	21,9317	1511,1	181711
432	186624	20,7846	1357,2	146574	**482**	232324	21,9545	1514,2	182467
433	187489	20,8087	1360,3	147254	**483**	233289	21,9773	1517,4	183225
434	188356	20,8327	1363,5	147934	**484**	234256	22,0000	1520,5	183984
435	189225	20,8567	1366,6	148617	**485**	235225	22,0227	1523,7	184745
436	190096	20,8806	1369,7	149301	**486**	236196	22,0454	1526,8	185508
437	190969	20,9045	1372,9	149987	**487**	237169	22,0681	1530,0	186272
438	191844	20,9284	1376,0	150674	**488**	238144	22,0907	1533,1	187038
439	192721	20,9523	1379,2	151363	**489**	239121	22,1133	1536,2	187805
440	193600	20,9762	1382,3	152053	**490**	240100	22,1359	1539,4	188574
441	194481	21,0000	1385,4	152745	**491**	241081	22,1585	1542,5	189345
442	195364	21,0238	1388,6	153439	**492**	242064	22,1811	1545,7	190117
443	196249	21,0476	1391,7	154134	**493**	243049	22,2036	1548,8	190890
444	197136	21,0713	1394,9	154830	**494**	244036	22,2261	1551,9	191665
445	198025	21,0950	1398,0	155528	**495**	245025	22,2486	1555,1	192442
446	198916	21,1187	1401,2	156228	**496**	246016	22,2711	1558,2	193221
447	199809	21,1424	1404,3	156930	**497**	247009	22,2935	1561,4	194000
448	200704	21,1660	1407,4	157633	**498**	248004	22,3159	1564,5	194782
449	201601	21,1896	1410,6	158337	**499**	249001	22,3383	1567,7	195565
450	202500	21,2132	1413,7	159043	**500**	250000	22,3607	1570,8	196350

TABELLA XCVI

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
501	251001	22,3830	1573,9	197136	**551**	303601	23,4734	1731,0	238448
502	252004	22,4054	1577,1	197923	**552**	304704	23,4947	1734,2	239314
503	253009	22,4277	1580,2	198713	**553**	305809	23,5160	1737,3	240182
504	254016	22,4499	1583,4	199504	**554**	306916	23,5372	1740,4	241051
505	255025	22,4722	1586,5	200296	**555**	308025	23,5584	1743,6	241922
506	256036	22,4944	1589,6	201090	**556**	309136	23,5797	1746,7	242795
507	257049	22,5167	1592,8	201886	**557**	310249	23,6008	1749,9	243669
508	258064	22,5389	1595,9	202683	**558**	311364	23,6220	1753,0	244545
509	259081	22,5610	1599,1	203482	**559**	312481	23,6432	1756,2	245422
510	260100	22,5832	1602,2	204282	**560**	313600	23,6643	1759,3	246301
511	261121	22,6053	1605,4	205084	**561**	314721	23,6854	1762,4	247181
512	262144	22,6274	1608,5	205887	**562**	315844	23,7065	1765,6	248063
513	263169	22,6495	1611,6	206692	**563**	316969	23,7276	1768,7	248947
514	264196	22,6716	1614,8	207499	**564**	318096	23,7487	1771,9	249832
515	265225	22,6936	1617,9	208307	**565**	319225	23,7697	1775,0	250719
516	266256	22,7156	1621,1	209117	**566**	320356	23,7908	1778,1	251607
517	267289	22,7376	1624,2	209928	**567**	321489	23,8118	1781,3	252497
518	268324	22,7596	1627,3	210741	**568**	322624	23,8328	1784,4	253388
519	269361	22,7816	1630,5	211556	**569**	323761	23,8537	1787,6	254281
520	270400	22,8035	1633,6	212372	**570**	324900	23,8747	1790,7	255176
521	271441	22,8254	1636,8	213189	**571**	326041	23,8956	1793,8	256072
522	272484	22,8473	1639,9	214008	**572**	327184	23,9165	1797,0	256970
523	273529	22,8692	1643,1	214829	**573**	328329	23,9374	1800,1	257869
524	274576	22,8910	1646,2	215651	**574**	329476	23,9583	1803,3	258770
525	275625	22,9129	1649,3	216475	**575**	330625	23,9792	1806,4	259672
526	276676	22,9347	1652,5	217301	**576**	331776	24,0000	1809,6	260576
527	277729	22,9565	1655,6	218128	**577**	332929	24,0208	1812,7	261482
528	278784	22,9783	1658,8	218956	**578**	334084	24,0416	1815,8	262389
529	279841	23,0000	1661,9	219787	**579**	335241	24,0624	1819,0	263298
530	280900	23,0217	1665,0	220618	**580**	336400	24,0832	1822,1	264208
531	281961	23,0434	1668,2	221452	**581**	337561	24,1039	1825,3	265120
532	283024	23,0651	1671,3	222287	**582**	338724	24,1247	1828,4	266033
533	284089	23,0868	1674,5	223123	**583**	339889	24,1454	1831,6	266948
534	285156	23,1084	1677,6	223961	**584**	341056	24,1661	1834,7	267865
535	286225	23,1301	1680,8	224801	**585**	342225	24,1863	1837,8	268783
536	287296	23,1517	1683,9	225642	**586**	343396	24,2074	1841,0	269703
537	288369	23,1733	1687,0	226484	**587**	344569	24,2281	1844,1	270624
538	289444	23,1948	1690,2	227329	**588**	345744	24,2487	1847,3	271547
539	290521	23,2164	1693,3	228175	**589**	346921	24,2693	1850,4	272471
540	291600	23,2379	1696,5	229022	**590**	348100	24,2899	1853,5	273397
541	292681	23,2494	1699,6	229871	**591**	349281	24,3105	1856,7	274325
542	293764	23,2809	1702,7	230722	**592**	350464	24,3311	1859,8	275254
543	294849	23,3024	1705,9	231574	**593**	351649	24,3516	1863,0	276184
544	295936	23,3238	1709,0	232428	**594**	352836	24,3721	1866,1	277117
545	297025	23,3452	1712,2	233283	**595**	354025	24,3926	1869,2	278051
546	298116	23,3666	1715,3	234140	**596**	355216	24,4131	1872,4	278986
547	299209	23,3880	1718,5	234998	**597**	356409	24,4336	1875,5	279923
548	300304	23,4094	1721,6	235858	**598**	357604	24,4540	1878,7	280862
549	301401	23,4307	1724,7	236720	**599**	358801	24,4745	1881,8	281802
550	302500	23,4521	1727,9	237583	**600**	360000	24,4949	1885,0	282743

TABELLA XCVII

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
601	361201	24,5153	1888,1	283687	**651**	423801	25,5147	2045,2	332853
602	362404	24,5357	1891,2	284631	**652**	425104	25,5343	2048,3	333876
603	363609	24,5561	1894,4	285578	**653**	426409	25,5539	2051,5	334901
604	364816	24,5764	1897,5	286526	**654**	427716	25,5734	2054,6	335927
605	366025	24,5967	1900,7	287475	**655**	429025	25,5930	2057,7	336955
606	367236	24,6171	1903,8	288426	**656**	430336	25,6125	2060,9	337985
607	368449	24,6374	1906,9	289379	**657**	431649	25,6320	2064,0	339016
608	369664	24,6577	1910,1	290333	**658**	432964	25,6515	2067,2	340049
609	370881	24,6779	1913,2	291289	**659**	434281	25,6710	2070,3	341084
610	372100	24,6982	1916,4	292247	**660**	435600	25,6905	2073,5	342119
611	373321	24,7184	1919,5	293206	**661**	436921	25,7099	2076,6	343157
612	374544	24,7386	1922,7	294166	**662**	438244	25,7294	2079,7	344196
613	375769	24,7588	1925,8	295128	**663**	439569	25,7488	2082,9	345237
614	376996	24,7790	1928,9	296092	**664**	440896	25,7682	2086,0	346279
615	378225	24,7992	1932,1	297057	**665**	442225	25,7876	2089,2	347323
616	379456	24,8193	1935,2	298024	**666**	443556	25,8070	2092,3	348368
617	380689	24,8395	1938,4	298992	**667**	444889	25,8263	2095,4	349415
618	381924	24,8596	1941,5	299962	**668**	446224	25,8457	2098,6	350464
619	383161	24,8797	1944,6	300934	**669**	447561	25,8650	2101.7	351514
620	384400	24,8998	1947,8	301907	**670**	448900	25,8844	2104,9	352565
621	385641	24,9199	1950,9	302882	**671**	450241	25,9037	2108,0	353618
622	386884	24,9399	1954,1	303858	**672**	451584	25,9250	2111,2	354673
623	388129	249600	1957,2	304836	**673**	452929	25,9422	2114,3	355730
624	389376	24,9800	1960,4	305815	**674**	454276	25,9615	2117,4	356788
625	390625	25,0000	1963,5	306796	**675**	455625	25,9898	2120,6	357847
626	391876	25,0200	1966,6	307779	**676**	456976	26,0000	2123,7	358908
627	393129	25,0400	1969,8	308763	**677**	458329	26,0192	2126,9	359971
628	394384	25,0599	1972,9	309748	**678**	459684	26,0384	2130,0	361035
629	395641	25,0799	1976,1	310736	**679**	461041	26,0576	2133,1	362101
630	396900	25,0998	1979,2	311725	**680**	462400	26,0768	2136,3	363168
631	398161	25,1197	1982,3	312715	**681**	463761	26,0960	2139,4	364237
632	399424	25,1396	1985,5	313707	**682**	465124	26,1151	2142,6	365308
633	400689	25,1595	1988,6	314700	**683**	466489	26,1343	2145,7	366380
634	401956	25,1794	1991,8	315696	**684**	467856	26,1534	2148,8	367453
635	403225	25,1992	1994,9	316692	**685**	469225	26,1725	2152,0	368528
636	404496	25,2190	1998,1	317690	**686**	470596	26,1916	2155,1	369605
637	405769	25,2389	2001,2	318690	**687**	471969	26,2107	2158,3	370684
638	407044	25,2587	2004,3	319692	**688**	473344	26,2298	2161,4	371764
639	408321	25,2784	2007,5	320695	**689**	474721	26,2488	2164,6	372845
640	409600	25,2982	2010,6	321699	**690**	476100	26,2679	2167,7	373928
641	410881	25,3180	2013,8	322705	**691**	477481	26,2869	2170,8	375013
642	412164	25,3377	2016,9	323713	**692**	478864	26,3059	2174,0	376099
643	413449	25,3574	2020,0	324722	**693**	480249	26,3249	2177,1	377187
644	414736	25,3772	2023,2	325733	**694**	481636	26,3439	2180,3	378276
645	416025	25,3969	2026,3	326745	**695**	483025	26,3629	2183,4	379367
646	417316	25,4165	2029,5	327759	**696**	484416	26,3818	2186,5	380459
647	418609	25,4362	2032,6	328775	**697**	485809	26,4008	2189,7	381553
648	419904	25,4558	2035,8	329792	**698**	487204	26,4197	2192,8	382649
649	421201	25,4755	2038,9	330810	**699**	488601	26,4386	2196,0	383746
650	422500	25,4951	2042,0	331831	**700**	490000	26,4575	2199,1	384845

TABELLA XCVIII

n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
701	491401	26,4764	2202,3	385945	**751**	564001	27,4044	2359,3	442965
702	492804	26,4953	2205,4	387047	**752**	565504	27,4226	2362,5	444146
703	494209	26,5141	2208,5	388151	**753**	567009	27,4408	2365,6	445328
704	495616	26,5330	2211,7	389256	**754**	568516	27,4591	2368,8	446511
705	497025	26,5518	2214,8	390363	**755**	570025	27,4773	2371,9	447697
706	498436	26,5707	2218,0	391471	**756**	571536	27,4955	2375,0	448883
707	499849	26,5895	2221,1	392580	**757**	573049	27,5136	2378,2	450072
708	501264	26,6083	2224,2	393692	**758**	574564	27,5318	2381,3	451262
709	502681	26,6271	2227,4	394805	**759**	576081	27,5500	2384,5	452453
710	504100	26,6458	2230,5	395919	**760**	577600	27,5681	2387,6	453646
711	505521	26,6646	2233,7	397035	**761**	579121	27,5862	2390,8	454841
712	506944	26,6883	2236,8	398153	**762**	580644	27,6043	2393,9	456037
713	508369	26,7021	2240,0	399272	**763**	582169	27,6225	2397,0	457234
714	509796	26,7208	2243,1	400393	**764**	583696	27,6405	2400,2	458434
715	511225	26,7395	2246,2	401515	**765**	585225	27,6586	2403,3	459635
716	512656	26,7582	2249,4	402639	**766**	586756	27,6767	2406,5	460837
717	514089	26,7769	2252.5	403765	**767**	588289	27,6948	2409,6	462041
718	515524	26,7955	2255,7	404892	**768**	589824	27.7128	2412,7	463247
719	516961	26,8142	2258,8	406020	**769**	591361	27,7308	2415,9	464454
720	518400	26,8328	2261,9	407150	**770**	592900	27,7489	2419,0	465663
721	519841	26,8514	2265,1	408282	**771**	594441	27,7669	2422,2	466873
722	521284	26,8701	2268,2	409415	**772**	595984	27,7849	2425,3	468085
723	522729	26,8887	2271,4	410550	**773**	597529	27,8029	2428,5	469298
724	524176	26,9072	2274,5	411687	**774**	599076	27,8209	2431,6	470513
725	525525	26,9258	2277,7	412825	**775**	600625	27,8388	2434,7	471730
726	527076	26,9444	2280,8	413965	**776**	602176	27,8568	2437,9	472948
727	528529	26,9629	2283,9	415106	**777**	603729	27,8747	2441,0	474168
728	529984	26,9815	2287,1	416248	**778**	605284	27,8927	2444,2	475389
729	531441	27,0000	2290,2	417393	**779**	606841	27,9106	1447,3	476612
730	532900	27,0185	2293,4	418539	**780**	608400	27,9285	2450,4	477836
731	534361	27,0370	2296,5	419686	**781**	609961	27,9464	2453,6	479062
732	535824	27,0555	2299,6	420835	**782**	611524	27,9643	2456,7	480290
733	537289	27,0740	2302,8	421986	**783**	613089	27,9821	2459,9	481519
734	538756	27,0924	2305,9	423138	**784**	614656	28,0000	2463,0	482750
735	540225	27,1109	2309,1	424293	**785**	616225	28,0179	2466,2	483982
736	541696	27,1293	2312,2	425447	**786**	617796	28,0357	2469,3	485216
737	543169	27,1477	2315.4	426604	**787**	619369	28,0535	2472,4	486451
738	544644	27,1662	2318,5	427762	**788**	620944	28,0713	2475,6	487688
739	546121	27,1846	2321,6	428922	**789**	622521	28,0891	2478,7	488927
740	547600	27,2029	2324,8	430084	**790**	624100	28,1069	2481,9	490167
741	549081	27,2213	2327,9	431247	**791**	625681	28,1247	2485,0	491409
742	550564	27,2397	2331,1	432412	**792**	627264	28,1425	2488,1	492652
743	552049	27,2580	2334,2	433578	**793**	628849	28,1603	2491,3	493897
744	553536	27,2764	2337,3	434746	**794**	630436	28,1780	2494,4	495143
745	555025	27,2947	2340,5	435916	**795**	632025	28,1957	2497,6	496391
746	556516	27,3130	2343,6	437087	**796**	633616	28,2135	2500,7	497641
747	558009	27,3313	2346,8	438259	**797**	635209	28,2312	2503,8	498892
748	559504	27,3496	2349,9	439433	**798**	636804	28,2489	2507,0	500145
749	561001	27,3679	2353,1	440609	**799**	638401	28,2666	2510,1	501399
750	562500	27,3861	2356,2	441786	**800**	640000	28,2843	2513,3	502655