



Macchina a collettore

3° parte

Lucia FROSINI

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università di Pavia
E-mail: lucia@unipv.it

Modalità degli avvolgimenti: embricato

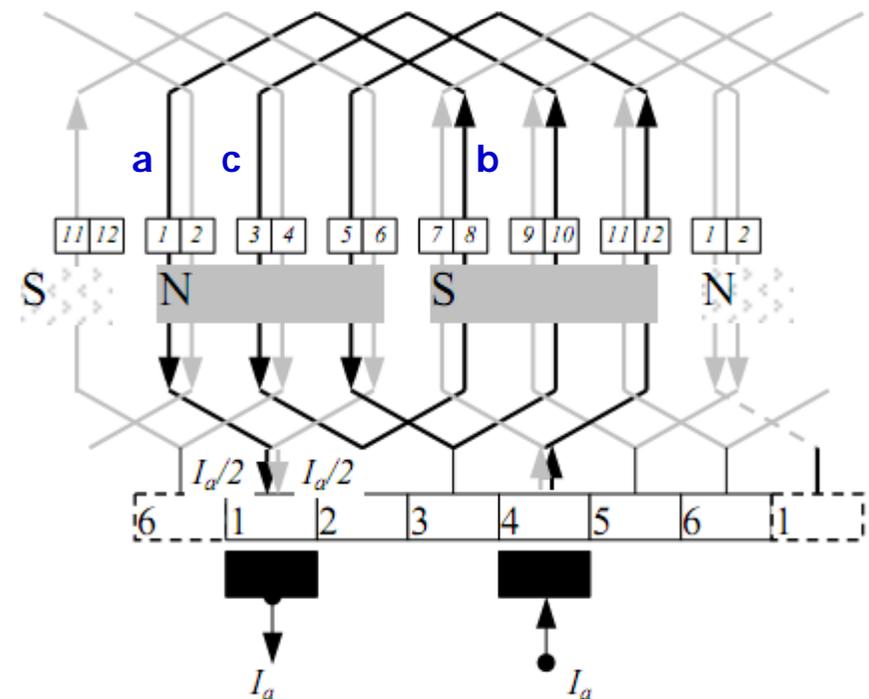
Riprendiamo il discorso degli avvolgimenti: abbiamo detto che ogni bobina, ogni sezione e ogni spira ha l'estensione di un passo polare.

Il rotore in figura ha 2 poli, 6 cave e 12 conduttori.

Siano **a** e **b** due lati di sezione (che in questo caso coincidono con i lati di spira) collegati tra loro con un collegamento posteriore. Il lato **a** sia dispari (**n. 1**, esterno) e il lato **b** pari (**n. 8**, interno).

Naturalmente **a** e **b** si trovano a distanza di un passo polare τ l'uno dall'altro, sotto due poli diversi.

Per costruire l'avvolgimento **embricato**, a partire da **b**, si "torna indietro" e si collega **b** al lato di sezione **c** (dispari, **n. 3**, esterno) adiacente ad **a**.



Modalità degli avvolgimenti: embricato

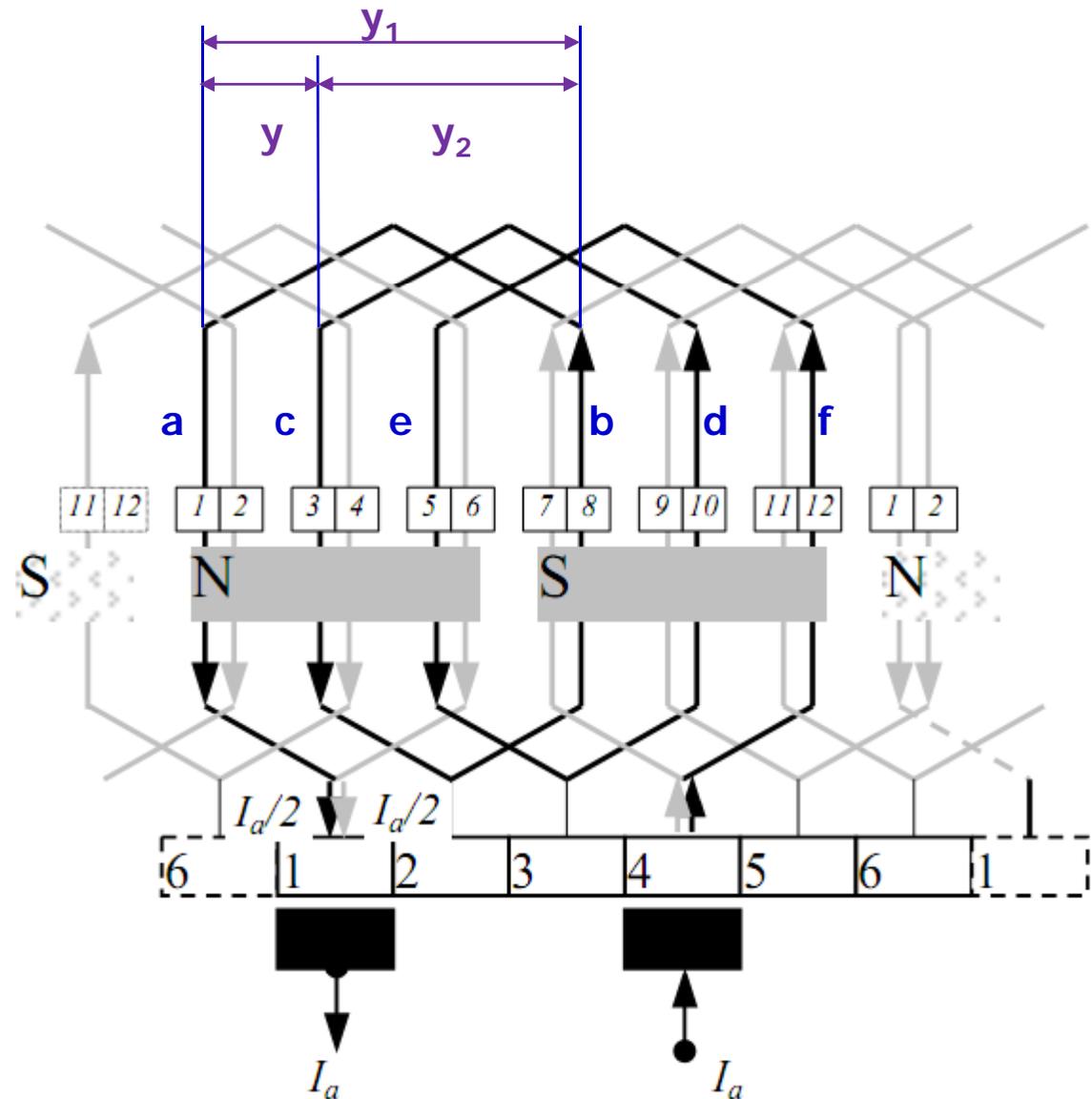
A sua volta il lato **c** è collegato al lato **d** (pari, **n. 10**, interno), sotto il polo successivo, a distanza di un passo polare τ .

Da **d** si torna ad **e**, che a sua volta è collegato ad **f**.

Si definisce:

y_1 = passo posteriore tra i lati di una sezione

y_2 = passo anteriore tra la fine di una sezione e l'inizio della successiva.



Modalità degli avvolgimenti: embricato

$y = y_1 + y_2 =$ passo risultante tra due lati di sezione consecutivi appartenenti allo stesso strato.

Nel caso esaminato si ha:

$$y_1 = b - a = 8 - 1 = 7 \quad \rightarrow \quad \text{DISPARI}$$

$$y_2 = c - b = 3 - 8 = -5 < 0 \quad \rightarrow \quad \text{DISPARI}$$

$$y = y_1 + y_2 = c - a = 3 - 1 = 2 \quad \rightarrow \quad \text{PARI}$$

Nota: con y , y_1 o y_2 pari si rimane sullo stesso strato, altrimenti si cambia strato.

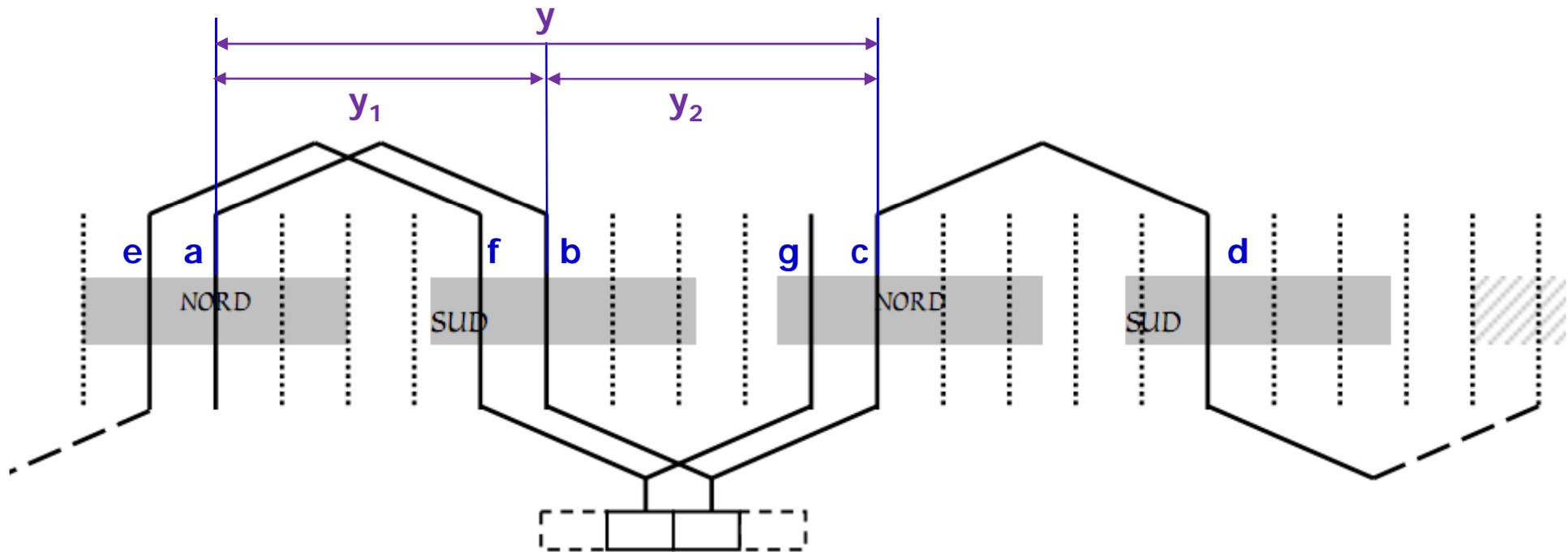
L'avvolgimento **embricato** (detto anche **parallelo**) è caratterizzato da:

- $y_2 < 0$
- numero di spazzole = numero poli
- numero vie interne di corrente = numero poli

Modalità degli avvolgimenti: ondulato

Per costruire l'avvolgimento **ondulato** invece, a partire da **b**, si "va avanti" e si collega **b** al lato di sezione **c** che si trova a distanza di un passo polare, sotto il polo successivo.

Si procede a collegare tutti i lati di sezione fra loro in questo modo.



Modalità degli avvolgimenti: ondulado

L'avvolgimento **ondulado** (detto anche **serie**) è caratterizzato da:

- $y_2 > 0$
- numero di spazzole = 2, sempre, indipendentemente dal numero poli
- numero vie interne di corrente = 2, sempre.

Avvolgimento embricato semplice

Torniamo all'avvolgimento **embricato**.

Si chiama SEMPLICE, l'avvolgimento embricato del tipo quello esaminato, in cui il lato di sezione **c** è adiacente al lato di sezione **a**, ossia il passo risultante è: $y = y_1 + y_2 = c - a = 3 - 1 = 2$.

A sua volta, questo avvolgimento può essere:

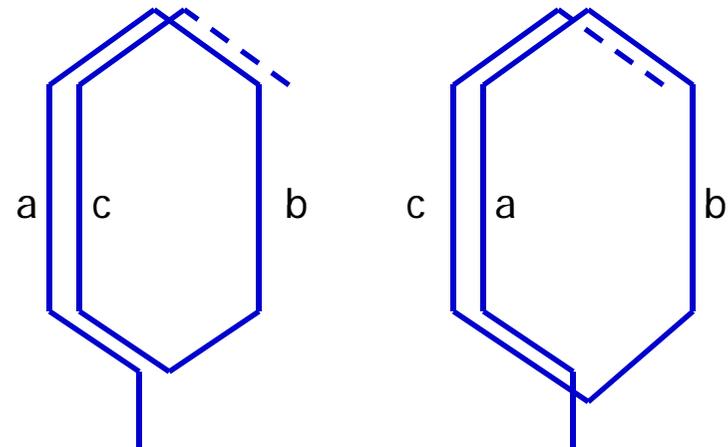
- progressivo, come nel caso esaminato, quando $|y_2| < y_1$ e $y > 0$ ($y=2$)

In questo modo l'avvolgimento risulta NON incrociato.

- regressivo, quando $|y_2| > y_1$ e $y < 0$ ($y=-2$)

L'avvolgimento risulta incrociato.

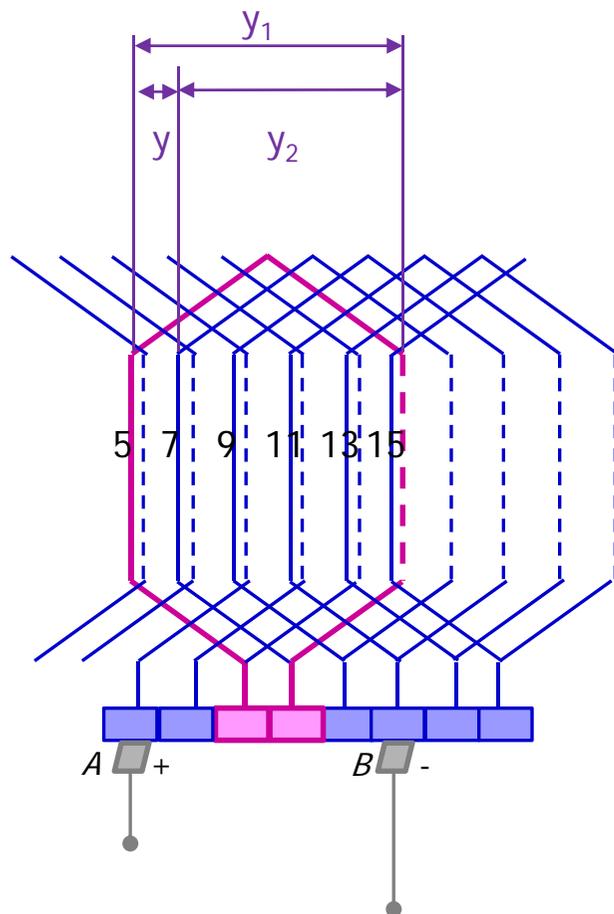
Nota: il tipo di passo, progressivo o regressivo, determina il senso di rotazione della macchina.



$y > 0$ progressivo $y < 0$ regressivo

Avvolgimento embricato semplice

Preferendo un avvolgimento con i capi non incrociati, per una maggiore facilità di isolamento, si utilizzano prevalentemente avvolgimenti embricati progressivi.



Come già detto, le sezioni abbracciano circa un passo polare, per raccogliere la massima f.e.m.

Consideriamo un avvolgimento embricato progressivo, con 2 lati attivi di sezione per cava, 4 poli, 20 cave e quindi 40 lati attivi (L_s) in tutto.

Il passo posteriore è dato da:

$$y_1 \approx \frac{L_s}{p} = \frac{40}{4} = 10$$

In realtà, si vuole che y_1 sia dispari, per avere un lato nello strato esterno e uno in quello interno.

Avvolgimento embricato semplice

Quindi si definisce il passo posteriore come:

$$y_1 = \frac{L_s - h}{p} \pm 1$$

dove h è un numero intero positivo ≥ 0 (solitamente il più piccolo) tale che y_1 sia dispari. Inoltre, si aggiunge 1 nel caso di avvolgimento progressivo e si toglie 1 nel caso di avvolgimento regressivo.

Dovendo essere il passo risultante $y = \pm 2$, il passo anteriore è dato da:

$$y_2 = y - y_1 = \pm 2 - \left(\frac{L_s - h}{p} \pm 1 \right) = -\frac{L_s - h}{p} \pm 1$$

Nel nostro caso si ha:

$$y_1 = \frac{L_s - h}{p} + 1 = \frac{40}{4} + 1 = 11$$

$$y = 2$$

$$y_2 = y - y_1 = 2 - 11 = -9$$

Avvolgimento embricato semplice

Anteriormente al rotore, calettato sull'albero, si trova il collettore.

Il collettore è realizzato con un certo numero di lamelle conduttrici, isolate tra loro, costituenti nel loro insieme una struttura cilindrica, isolata elettricamente dall'albero, ma rotante con esso.

Scopo del collettore è di permettere alle spazzole, che si appoggiano sopra di esso, di accedere elettricamente ai conduttori che fanno capo alle lamelle.

Le connessioni anteriori di ogni sezione dell'avvolgimento di rotore sono saldate alle rispettive lamelle: ciascuna lamella è in contatto con le due connessioni anteriori di due sezioni di avvolgimento contigue (la fine di una e il principio dell'altra).

Il collettore possiede quindi tante lamelle quante sono le sezioni dell'avvolgimento:

$$N_{lam} = \frac{L_s}{2}$$

Avvolgimento embricato semplice

Si definisce il passo al collettore come:

$$y_c = \frac{y_1 - y_2}{2} = \pm 1$$

ossia: il principio e la fine delle connessioni anteriori di una sezione sono collegati a due lamelle contigue.

Le spazzole sono pari al numero di poli:

$$N_{spaz} = p$$

ovvero sono pari al numero delle vie in cui si riesce a sommare tutte le f.e.m. dello stesso segno.

La corrente che percorre una spazzola si suddivide all'interno dell'avvolgimento in due vie parallele.

A partire dalla corrente di linea I_a , questa si suddivide nelle diverse spazzole, per cui la corrente su ciascuna spazzola vale:

$$I_{spaz} = \frac{I_a}{N_{spaz} / 2} = \frac{I_a}{p_p}$$

Avvolgimento embricato semplice

La corrente I_z che percorre ciascuna via è pari alla metà della corrente che entra in ciascuna spazzola:

$$I_z = \frac{I_{spaz}}{2} = \frac{I_a}{p}$$

Quindi, per un avvolgimento di questo tipo c'è un numero di vie in parallelo p, quanti sono i poli, viste dalla linea.

Naturalmente le spazzole sono equidistanti tra loro di un angolo meccanico pari a $360^\circ/p$.

L'avvolgimento embricato può essere utilizzato per macchine con elevate correnti, perché la corrente di linea è p volte maggiore di quella che attraversa le sezioni dell'avvolgimento.

Avvolgimento ondulato semplice

Torniamo all'avvolgimento **ondulato**.

Si chiama SEMPLICE, se, partendo da un lato di sezione e dopo un giro attorno al rotore, si perviene a un lato adiacente a quello iniziale.

Il lato iniziale e quello finale, dopo un giro (cioè dopo p_p passi y), devono distare 2 lati, ovvero:

$$y \cdot p_p = L_s \pm 2 \quad \rightarrow \quad y = \frac{L_s \pm 2}{p_p} \quad \text{PARI}$$

Il segno + vale per gli avvolgimenti progressivi, il segno – per i regressivi.

Poiché y deve essere pari, questa relazione è soddisfatta solo per determinati valori di L_s .

Per quanto riguarda y_1 e y_2 , si cerca di assumerli uguali, per meglio utilizzare l'avvolgimento:

$$y_1 \approx y_2 = \frac{y}{2} \quad \text{entrambi DISPARI}$$

Avvolgimento ondulato semplice

Il numero di lamelle è sempre pari al numero di sezioni dell'avvolgimento:

$$N_{lam} = \frac{L_s}{2}$$

Sono sempre sufficienti due spazzole, distanti N_{lam}/p lamelle, per raccogliere l'intera f.e.m. dell'indotto.

Per passare da una spazzola all'altra, sono quindi percorribili sempre e soltanto due vie di corrente, indipendentemente dal numero di poli.

La corrente I_z che percorre ciascuna via è pari alla metà della corrente di linea, mentre la corrente nelle spazzole è uguale alla corrente di linea:

$$I_z = \frac{I_{spaz}}{2} = \frac{I_a}{2} \quad I_{spaz} = I_a$$

Per ridurre questi valori, è possibile usare un numero (al massimo p) di spazzole in parallelo.

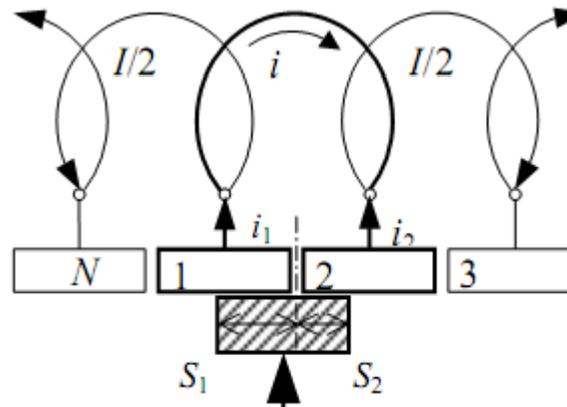
La commutazione con fenomeni induttivi

Riprendiamo il problema della commutazione.

Abbiamo detto che in ogni via interna circola una corrente I_z pari alla metà della corrente entrante in una spazzola (qualsiasi sia il tipo di avvolgimento).

Per il fenomeno della commutazione, nei lati di sezione facenti capo a una lamella, si avrà il rovesciamento della corrente ogni volta che una spazzola si sposta da una lamella a quella successiva.

In mezzo a questo rovesciamento, ci sarà un intervallo di tempo (tempo di commutazione t_c , nell'ordine dei millisecondi) in cui la spazzola mette in corto circuito i lati di sezione che hanno inizio e fine sulle due lamelle interessate dalla commutazione.



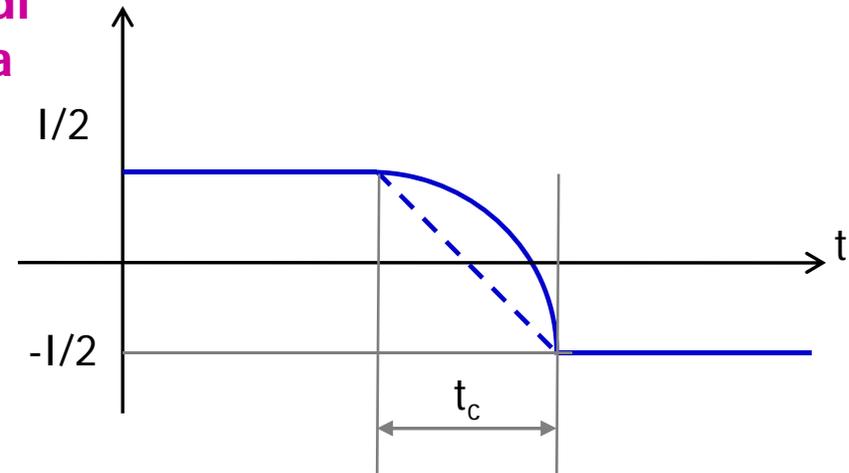
La commutazione con fenomeni induttivi

A causa della presenza di:

tensione di reattanza

- tensione indotta di autoinduzione,
- tensione indotta dovuta al flusso di reazione,

la commutazione non è lineare, ma ha un andamento tipo quello rappresentato in figura.



In questo modo si ha una forte non uniformità nella distribuzione della corrente sotto la spazzola:

- nella zona posteriore della spazzola (che sta abbandonando la lamella) la densità di corrente è molto grande (elevata corrente, piccola area di contatto),
- negli ultimi istanti di commutazione, la tensione di autoinduzione ($L di/dt$) nella sezione in commutazione è molto elevata.

La commutazione con fenomeni induttivi

Il primo fenomeno produce un forte addensamento della corrente nella zona di spazzola a contatto con la lamella che viene abbandonata e causa un fortissimo riscaldamento.

L'accrescimento della densità della corrente provoca nella zona di contatto, oltre al surriscaldamento, anche un aumento del campo elettrico (la relazione $E = \rho J$ lega il campo elettrico E al campo di corrente di densità J , dove ρ è la resistività del materiale).

Se il campo elettrico supera i limiti di rigidità del dielettrico circostante (aria) si ottiene l'innesco di un arco elettrico tra spazzola e lamella ancor prima che il contatto reciproco sia cessato (ionizzazione dell'aria, effetto corona).

Anche il secondo fenomeno contribuisce a far scoccare la scintilla fra l'esterno della spazzola e la lamella del collettore che ha appena abbandonato.

La commutazione con fenomeni induttivi

La presenza di arco elettrico (scintille) in fase di commutazione crea un serio problema per il corretto funzionamento della macchina a corrente continua, in quanto accelera l'usura di spazzole e collettore, e, in casi estremi, può portare al cortocircuito tra le due spazzole di polarità opposta attraverso la propagazione degli archi elettrici lungo tutto il collettore (flash al collettore).

Per evitare questi fenomeni, è necessario introdurre degli accorgimenti per rendere la commutazione più possibile lineare, ossia per ridurre (compensare) la tensione di reattanza:

- 1) La scelta di **spazzole di maggiore resistività** consente spesso di risolvere i problemi di cattiva commutazione. D'altra parte un'operazione di questo tipo porta necessariamente a peggiorare le perdite del motore.
- 2) Un'operazione equivalente all'aumento della resistenza del contatto spazzola-lamella può consistere in una riduzione della induttanza della spira in commutazione o in un aumento del tempo T di commutazione.

La commutazione con fenomeni induttivi

2.1) La **riduzione dell'induttanza** può essere ottenuta attraverso un opportuno disegno della sezione delle cave (cave aperte) oppure attraverso l'adozione (nel campo dei piccoli servomotori) di circuiti di indotto in aria (iron-less rotors);

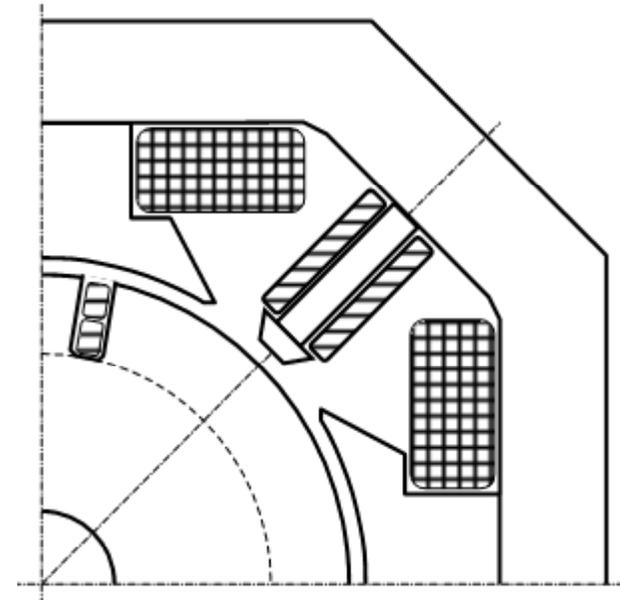
2.2) L'**aumento del tempo di commutazione** (a pari velocità di rotazione) si ottiene dimensionando la spazzola in modo che sia estesa per più di una lamella. Con questo si ha anche il vantaggio di ridurre la densità di corrente nella spazzola. Se però la spazzola ricopre più di una lamella, la commutazione non riguarda più una sola spira alla volta e la descrizione del fenomeno di commutazione si complica ulteriormente. Infatti, sulla spira in commutazione vengono ad agire, oltre alla f.e.m. di auto induttanza, le f.e.m. di mutua induttanza prodotte dalle altre spire vicine, anch'esse in fase di commutazione. La tensione di reattanza che agisce su una spira, risulta dalla somma di contributi sfasati nel tempo durante l'arco di commutazione.

La commutazione con fenomeni induttivi

- 3) Una riduzione sensibile della densità di corrente al termine della commutazione e un corrispondente miglioramento delle condizioni di commutazione possono essere ottenuti attraverso l'iniezione, nella spira che commuta, di una f.e.m. atta a favorire l'inversione della corrente.

Questa operazione può essere attuata in modi diversi:

- 3.1) Attraverso la predisposizione di poli ausiliari, detti **poli di commutazione**. Questi vengono disposti con asse coincidente con l'asse interpolare della macchina; hanno piccole dimensioni trasversali e il loro numero è generalmente uguale a quello dei poli principali.



La commutazione con fenomeni induttivi

I **poli di commutazione** sono eccitati attraverso un avvolgimento percorso dalla stessa corrente di armatura (in serie).

In questo modo essi producono, nella zona di commutazione, un campo magnetico di verso e intensità tali da indurre nelle sezioni in commutazione delle f.e.m. in grado di controbilanciare le tensioni di reattanza.

Affinché ciò avvenga occorre che il nucleo non vada mai in saturazione.

Quando:

- la potenza della macchina è molto grande,
- la velocità di rotazione è elevata,
- le variazioni di carico sono notevoli e rapide,

allora le tensioni di reattanza assumono valori notevoli e i poli di commutazione non riescono da soli a determinare una buona commutazione.

La commutazione con fenomeni induttivi

3.2) Attraverso uno **spostamento delle spazzole** rispetto alla zona neutra, in modo da sfruttare le linee di campo prodotte dai poli principali per produrre la f.e.m. desiderata, che contrasti la tensione di reattanza, e quindi sia tale da aiutare l'inversione della corrente.

Lo spostamento utile delle spazzole deve quindi avvenire in direzioni opposte secondo che la macchina funzioni da motore o da generatore:

- ✓ nella direzione di marcia nel funzionamento come generatore;
- ✓ in direzione opposta al senso di marcia nel funzionamento da motore.

Tale accorgimento non può essere utilizzato quando la macchina è prevista per ruotare in entrambi i sensi di marcia.

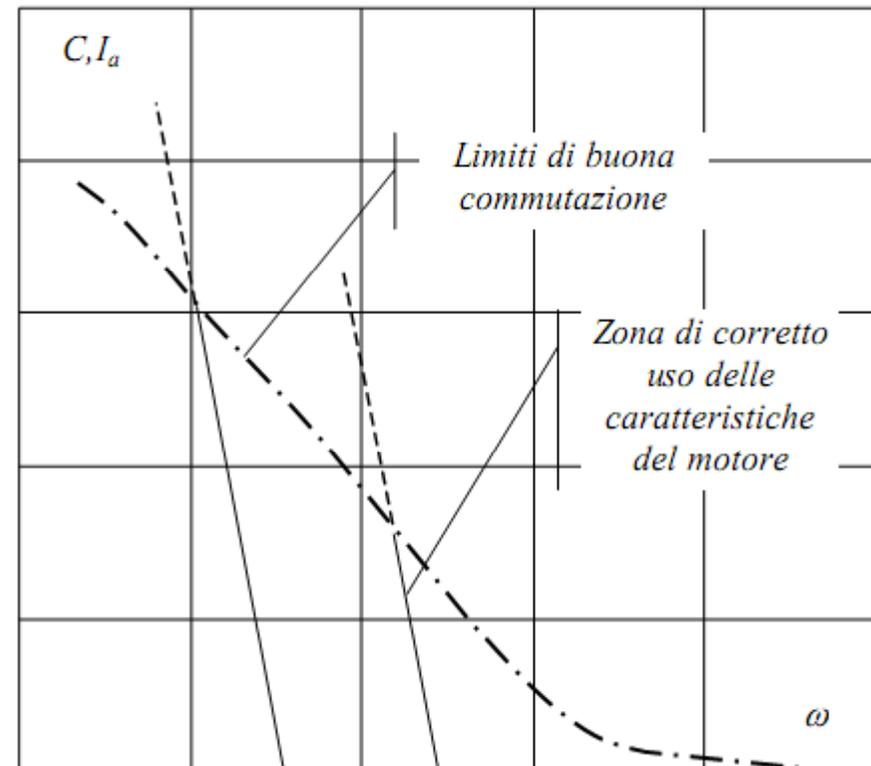
Inoltre, la posizione delle spazzole deve essere variata al variare della corrente circolante nella macchina, per avere sempre l'equilibrio tra le varie tensioni indotte.

La commutazione con fenomeni induttivi

In conclusione, si sottolinea che il fenomeno della commutazione limita in potenza le macchina a corrente in continua in quanto:

- la commutazione peggiora all'aumentare della velocità di rotazione;
- la commutazione peggiora all'aumentare della corrente di armatura (o della coppia prodotta).

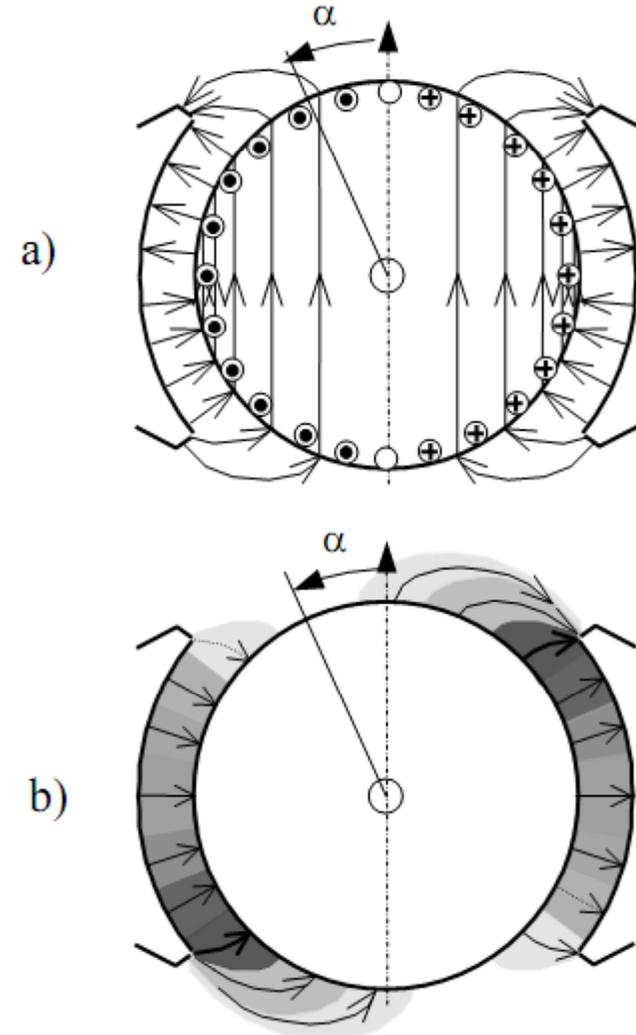
Nel piano I_a, ω (o nel piano C, ω) per un motore ad eccitazione fissa o a magneti permanenti, i limiti di impiego imposti dalla necessità di una buona commutazione sono del tipo illustrato in figura.



Saturazione dovuta alla reazione di indotto

Abbiamo detto che, nel passaggio da vuoto a carico, il motore a corrente continua subisce una smagnetizzazione parziale del flusso utile: poiché i campi di eccitazione e di armatura sotto metà espansione polare sono equiversi, mentre sotto l'altra metà sono opposti, il campo risultante al traferro si rafforza sotto mezzo polo e si indebolisce nella parte restante.

L'asse neutro (ossia l'asse geometrico passante per i punti dove si annulla il campo risultante al traferro) non coincide più con l'asse interpolare, ma risulta ruotato rispetto a quest'ultimo.



- a) Linee di campo dovute alla sola reazione d'indotto.
b) Campo risultante da eccitazione e reazione d'indotto.

Saturazione dovuta alla reazione di indotto

Idealmente, se fosse assente la saturazione, come conseguenza della simmetria dell'azione di eccitazione e della reazione d'indotto, l'entità del rafforzamento del campo sotto mezza espansione polare sarebbe compensata dal corrispondente indebolimento sotto l'altra metà.

Il flusso utile, cioè il flusso complessivo che attraversa il piano neutro, non verrebbe modificato.

In questa situazione, il flusso utile non dipenderebbe dalla corrente di armatura, ma solo da quella di eccitazione, ovvero $\Phi_u = \Phi_u (I_e)$.

Nella realtà, nelle zone di rafforzamento del campo possono subentrare fenomeni di saturazione che limitano localmente la crescita dell'induzione.

Questa saturazione locale implica che l'entità del rafforzamento del campo sotto mezza espansione polare è minore dal corrispondente indebolimento sotto l'altra metà.

Saturazione dovuta alla reazione di indotto

Tutto ciò comporta una riduzione del flusso complessivo che attraversa il piano delle spazzole e una conseguente riduzione della coppia fornita dal motore.

Si ha quindi un effetto **smagnetizzante** e **distorcente** della reazione d'indotto, che si può riassumere nel seguente legame funzionale:

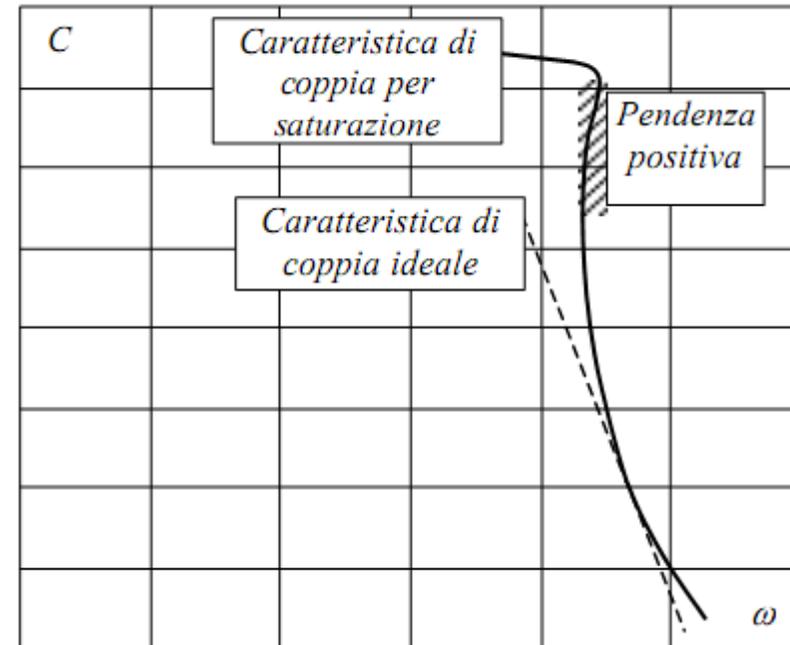
$$\Phi_u = \Phi_u (I_e , I_a).$$

Si osserva che:

- L'entità della smagnetizzazione è tanto maggiore quanto più è elevata la corrente di armatura.
- L'effetto smagnetizzante della reazione di indotto può essere quantificato come una riduzione equivalente della corrente di eccitazione.
- A causa della saturazione dovuta alla reazione d'indotto, i due avvolgimenti della macchina risultano magneticamente accoppiati.

Saturazione dovuta alla reazione di indotto

Se gli effetti della reazione di indotto sono intensi, si può avere una deformazione delle caratteristiche elettromeccaniche della corrente di armatura e della coppia prodotta al variare della velocità di rotazione.



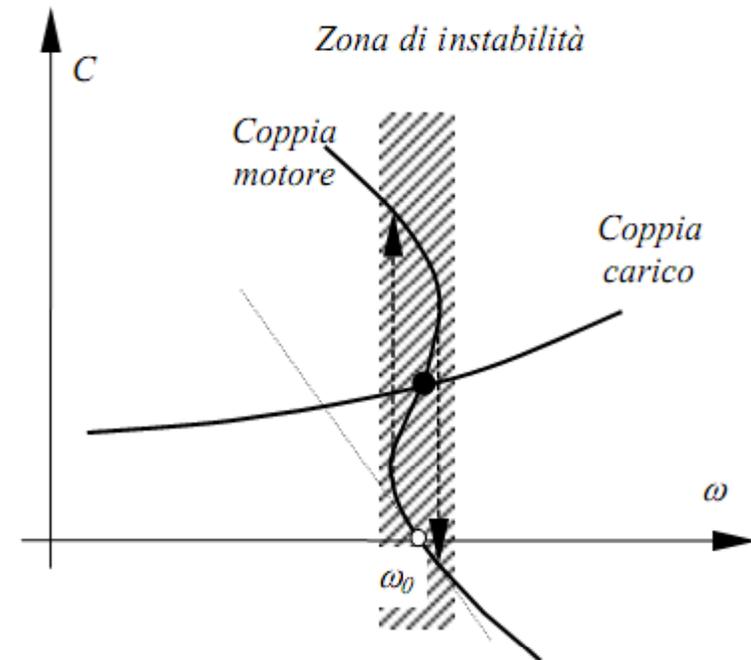
Carichi meccanici che intercettino la caratteristica del motore in corrispondenza di questo intervallo possono dar luogo ad un funzionamento instabile e irregolare lungo un ciclo limite.

Saturazione dovuta alla reazione di indotto

Lo studio della stabilità di funzionamento del motore in queste condizioni è abbastanza complicato, in quanto le variazioni di flusso utile si ripercuotono sull'avvolgimento di eccitazione e pertanto i due circuiti della macchina non possono essere ritenuti disaccoppiati.

Per eliminare o ridurre questo disturbo, possono essere adottate diverse soluzioni.

Una di queste è costituita dai poli di commutazione, che di fatto cercano di annullare il campo dovuto alla reazione di indotto, posizionando le bobine ausiliarie in modo da creare un campo opposto al precedente.

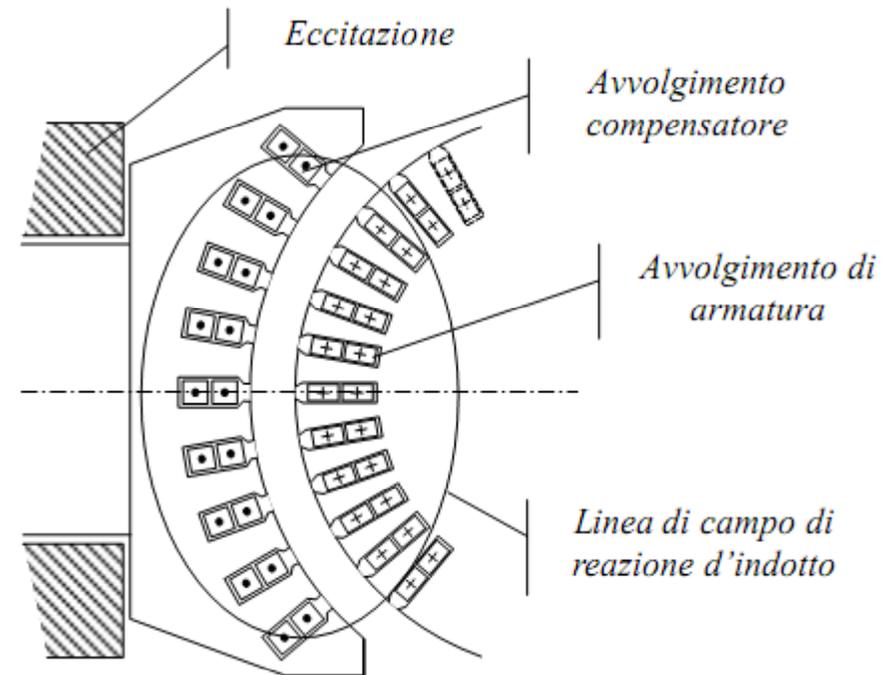


Saturazione dovuta alla reazione di indotto

Un'altra soluzione è basata sugli **avvolgimenti di compensazione**.

Questa soluzione è da ritenersi quella più efficiente nella soluzione del problema, ma è anche la meno economica e per questo viene adottata solo su macchine di grande potenza.

Le espansioni polari della macchina vengono scanalate e nelle cave viene distribuito un avvolgimento percorso dalla stessa corrente di armatura, ma in modo tale che i suoi conduttori siano percorsi dalla corrente in verso opposto a quella dei conduttori di indotto affacciati.



Saturazione dovuta alla reazione di indotto

La f.m.m. prodotta dagli avvolgimenti compensatori è uguale e contraria a quella dovuta alla reazione di indotto.

Quindi, la presenza dei conduttori disposti nelle espansioni polari e percorsi da corrente di armatura fa in modo che le linee di campo, che sarebbero prodotte dalla reazione d'indotto, non siano più sostenute da alcuna f.m.m.

In pratica, gli avvolgimenti compensatori neutralizzano la reazione di indotto.

Pertanto, l'effetto distorcente sotto le espansioni polari viene eliminato e con esso decadono i problemi di saturazione e smagnetizzazione locale.

Reazione di indotto coi magneti permanenti

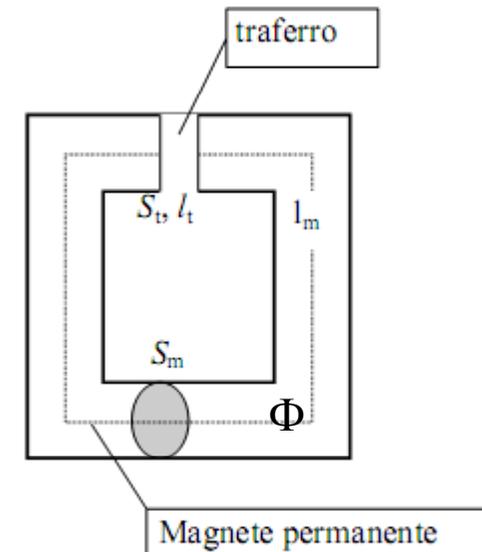
Un magnete permanente utilizzato per l'eccitazione di un motore in c.c. lavora nel 2° quadrante del piano B-H del suo ciclo di isteresi.

Il punto di lavoro è definito dall'intersezione della caratteristica magnetica del magnete permanente con la cosiddetta "retta di traferro".

Per la spiegazione della retta di traferro, si fa riferimento allo schema più semplice di elettromagnete e a due leggi fondamentali dell'elettromagnetismo:

$$\left[\begin{array}{l} H_m l_m + H_t l_t = 0 \quad \text{legge della circuitazione magnetica} \\ \Phi = B_m S_m = B_t S_t \end{array} \right.$$

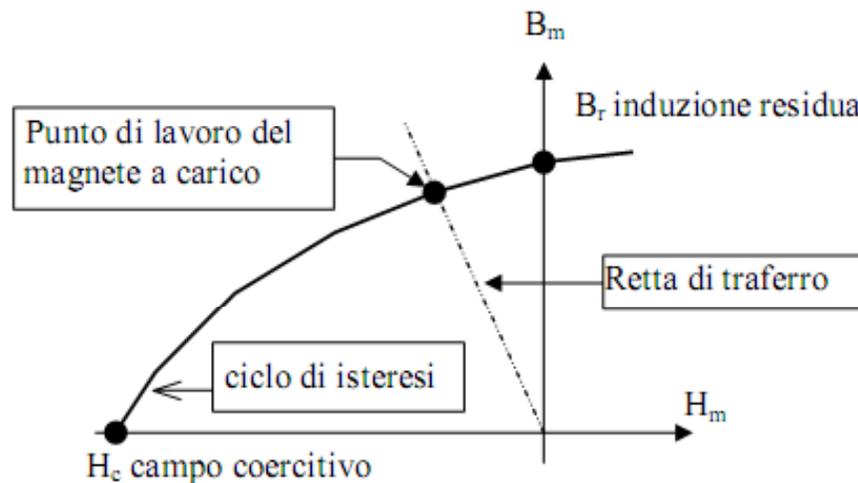
$$\Rightarrow B_m = B_t \frac{S_t}{S_m} = \mu_0 H_t \frac{S_t}{S_m} = -\mu_0 H_m \frac{l_m S_t}{l_t S_m}$$



Reazione di indotto coi magneti permanenti

Questa relazione, unitamente al ciclo di isteresi del materiale, consente di determinare il punto di lavoro del magnete (H_m , B_m) in relazione alla geometria del circuito magnetico in cui è inserito.

Oppure, fissato il punto di lavoro (H_m , B_m), consiste nella determinazione del volume di magnete necessario a produrre al traferro il flusso desiderato.

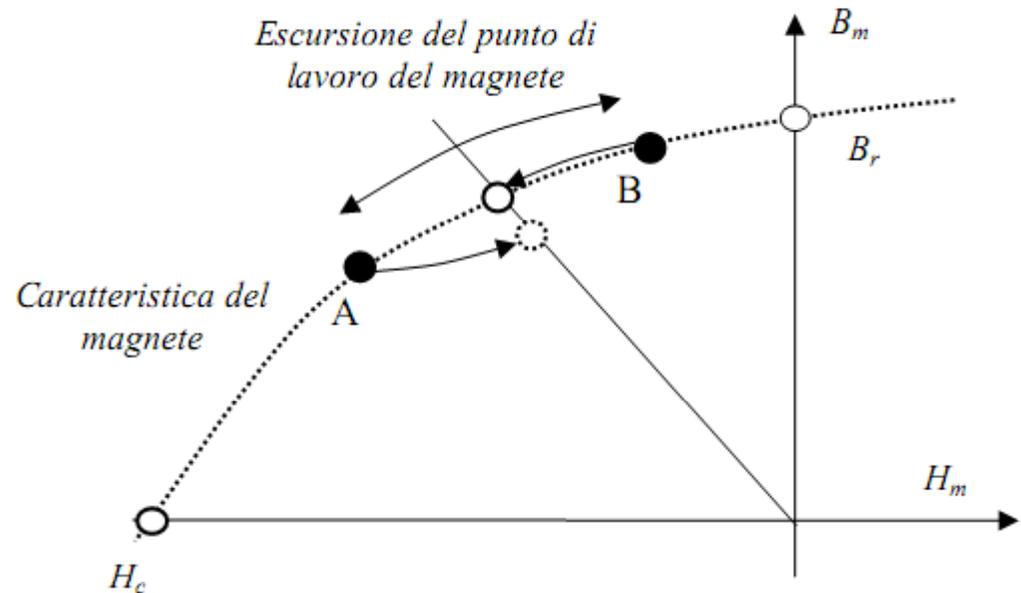


Reazione di indotto coi magneti permanenti

Quando il motore viene caricato, la reazione d'indotto tende a modificare la distribuzione di campo sotto i poli di eccitazione.

Quindi le diverse porzioni del magnete affacciate al traferro vengono ad essere sottoposte ad una azione di magnetizzazione-smagnetizzazione.

Il punto di lavoro del magnete nel piano B_m , H_m non è più unico, ma una porzione del magnete tenderà a sovramagnetizzarsi per l'azione concorde della reazione d'indotto (punto B) e l'altra porzione subirà, invece, una smagnetizzazione per la corrispondente azione discorde della reazione d'indotto (punto A).

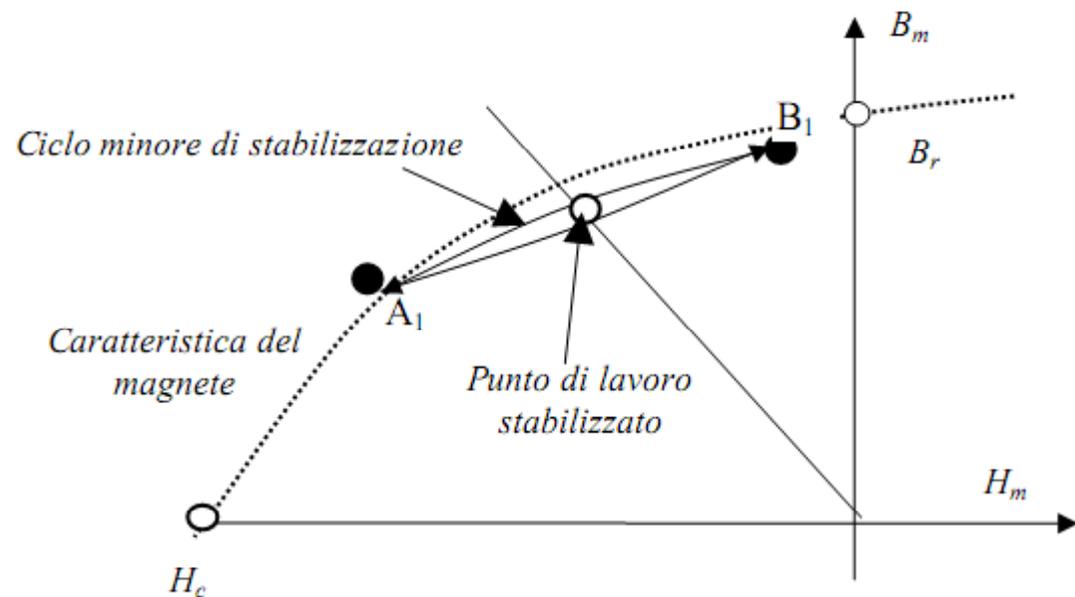


Reazione di indotto coi magneti permanenti

Quando il motore torna al suo funzionamento a vuoto e la reazione d'indotto scompare, la porzione di magnete che aveva subito la smagnetizzazione non riesce a tornare esattamente alle condizioni iniziali a causa dell'isteresi magnetica del materiale.

La curva di ritorno del magnete per il punto A risulta più bassa della curva di andata.

Come conseguenza, il flusso prodotto dal magnete permanente subisce una attenuazione definitiva: si dice che il motore si è "smagnetizzato".



Reazione di indotto coi magneti permanenti

Solitamente i costruttori di motori sottopongono il magnete, montato sulla macchina, ad un ciclo di stabilizzazione, sottoponendolo a successive fasi di lavoro con correnti di armatura di segno opposto.

In conseguenza a questa operazione, il magnete non lavorerà più sulla sua caratteristica originaria, ma su un ciclo di isteresi parziale (ciclo minore) leggermente più basso.

Pertanto, se si ha cura di mantenere l'impiego del motore con assorbimenti contenuti di corrente, il magnete non subirà alcun degrado significativo delle sue prestazioni.

Se invece la corrente assorbita supera i limiti consentiti dal processo di stabilizzazione, l'effetto smagnetizzante risulterà permanente e il magnete recupererà solo una parte della sua induzione al cessare dell'azione smagnetizzante.

Reazione di indotto coi magneti permanenti

In questo caso il motore non sarà più in grado di funzionare correttamente alla sua potenza di targa.

I costruttori forniscono il valore di corrente massima tollerabile dal motore da questo punto di vista sotto la voce "*massima corrente prima della smagnetizzazione*".

Poiché il ciclo di stabilizzazione del magnete è tipicamente poco pronunciato e approssimabile con un andamento rettilineo e il traferro equivalente (aria + magnete) è molto alto, non si osservano vistosi fenomeni di riduzione del flusso utile tipici del funzionamento a carico dei motori con eccitazione elettrica.

Per questo motivo, nei motori a magneti permanenti è possibile definire, indipendentemente dal carico e con una certa precisione, un coefficiente di proporzionalità tra corrente d'armatura e coppia.

Reazione di indotto coi magneti permanenti

Per rendere più robusti i motori contro i rischi di smagnetizzazione, sono state proposte ed adottate diverse soluzioni costruttive.

Esse sono basate sull'allontanamento del magnete dalla zona in cui si manifesta l'effetto distorcente della reazione d'indotto.

Queste forme costruttive sono in grado di proteggere il magnete contro il rischio di smagnetizzazione, ma consentono una più facile saturazione della dentatura di rotore e una maggiore variabilità della costante di coppia nel passaggio da vuoto a carico.

