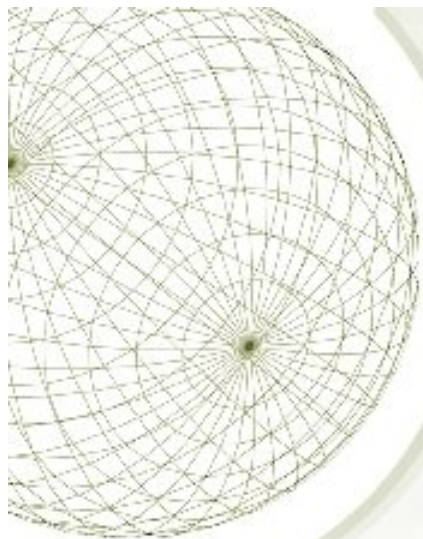
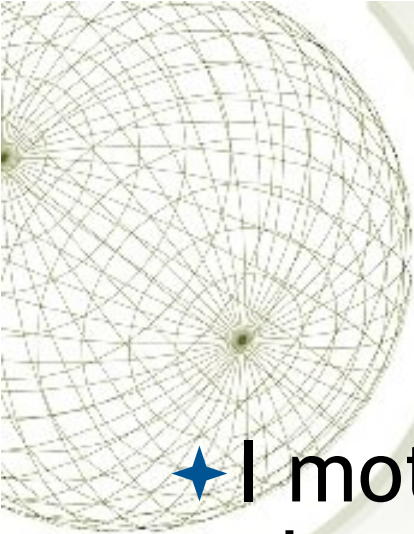




# ***Motori elettrici***

**.. E come costruirseli**

A decorative wireframe sphere is located in the top-left corner of the slide. It consists of a grid of intersecting lines forming a spherical shape.

# *Classificazioni*

★ I motori elettrici si possono classificare in diversi modi:

- ★ Potenza
- ★ Regime di velocità
- ★ Presenza di commutatori meccanici
- ★ Presenza di magneti permanenti
- ★ Tipo di alimentazione (c.c. o a.c.) e relativo moto del rotore (sincrono, asincrono)



# *Potenza*

- ★ Motori frazionari

- ★  $< 1\text{HP}$

- ★ Piccola potenza

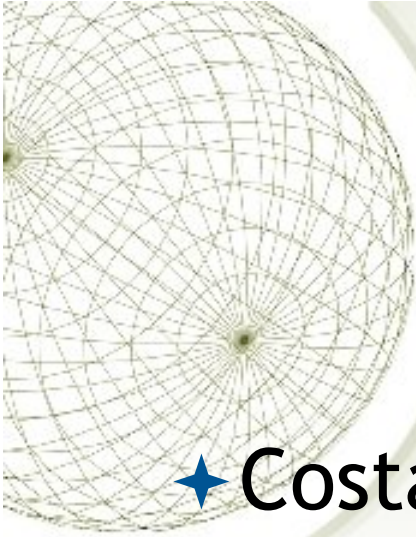
- ★ 1-100 kW

- ★ Media Potenza

- ★ 100-1000 kW

- ★ Grossa potenza

- ★  $> 1\text{MW}$

A decorative wireframe sphere is located in the top-left corner of the slide.

# *Velocità*

- ★ Costante

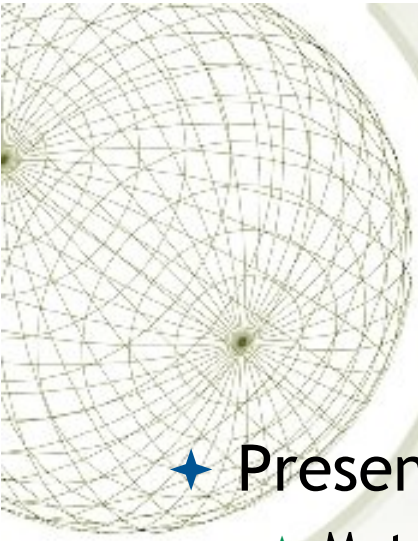
  - ★ Pompe...

- ★ Positiva e negativa

- ★ Variabile

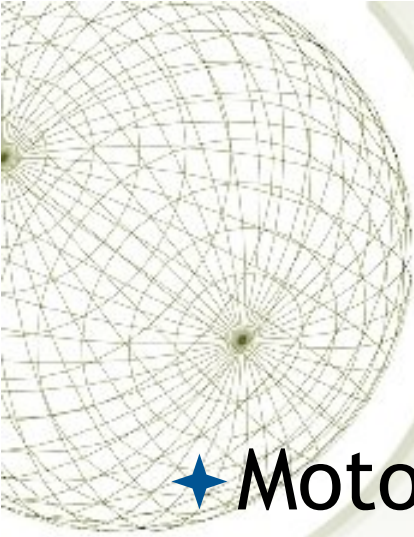
  - ★ Numero finito di velocità

  - ★ Variazione continua



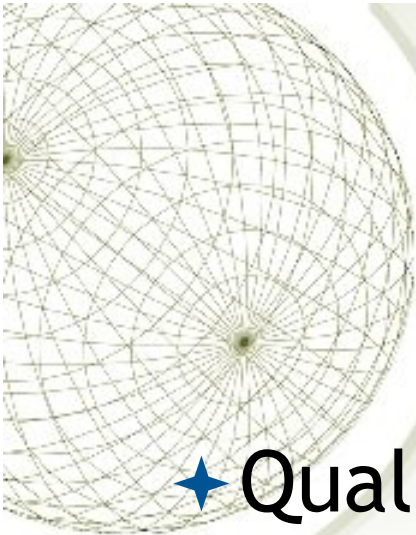
# *Tipologie...*

- ★ Presenza di commutatori meccanici
  - ★ Motori con spazzole
  - ★ Motori senza spazzole
- ★ Presenza di magneti
  - ★ Nel rotore
  - ★ Nello statore
- ★ Sincronia della rispetto alla pulsazione elettrica
  - ★ Motori sincroni  $\omega_e = p\omega_m$
  - ★ Motori asincroni  $\omega_e \neq p\omega_m$
- ★ Principio di generazione della coppia



# *Motori che studieremo*

- ★ Motore in c.c. con commutatore
- ★ Motore asincrono
- ★ Motore sincrono con commutazione elettronica (brushless)
- ★ Motore passo-passo
- ★ Motori lineari (direct drive lineari)
- ★ Motori coppia (direct drive rotativi)

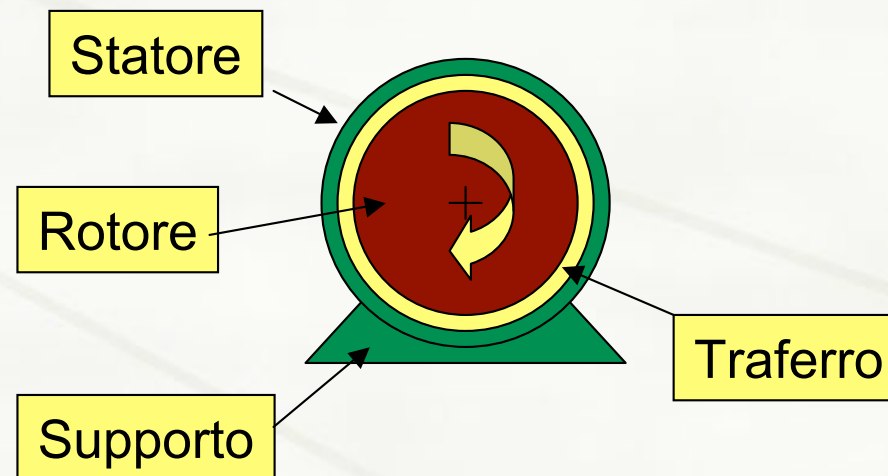


## *Generazione di coppia*

- ★ Qualunque motore sfrutta per la generazione di coppia l'interazione tra campi magnetici
- ★ Questi possono essere generati da magneti (o elettromagneti) o indotti (su materiale ferromagnetico immerso in un campo magnetico)

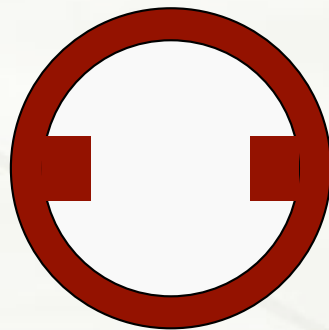
# *Struttura del motore*

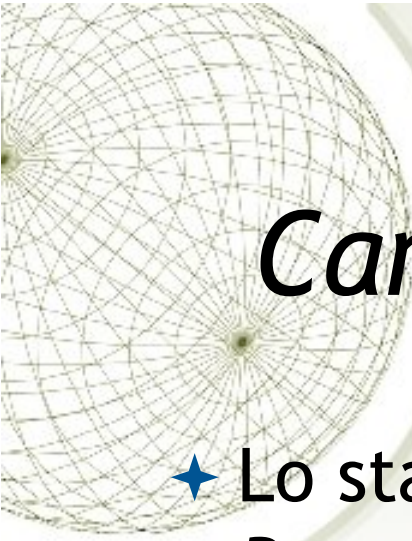
★ Consideriamo inizialmente i motori rotativi:



# *Struttura del motore*

- ★ Sia rotore che statore possono essere lisci o con sporgenze, detti “poli salienti”



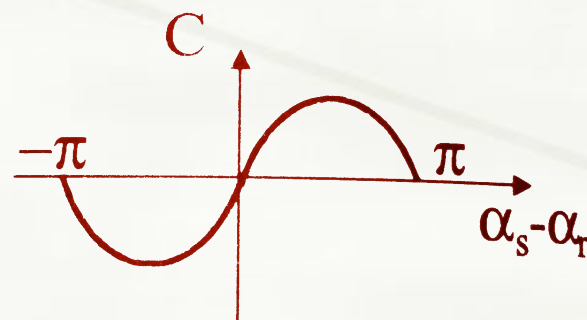
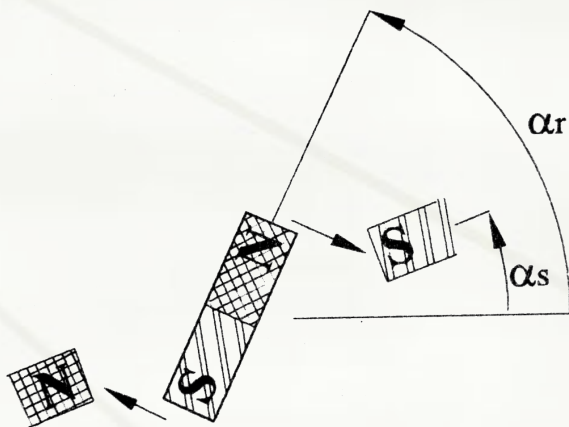


# *Campi magnetici nel motore*

- ★ Lo statore genera nel traferro una induzione  $B_s$
- ★ Al rotore è associata una induzione  $B_r$
- ★ I due vettori sono complanari e quando non sono allineati si genera una coppia
- ★ L'induzione rotorica può essere generata da magneti, elettromagneti o per induzione

# Generazione di coppia

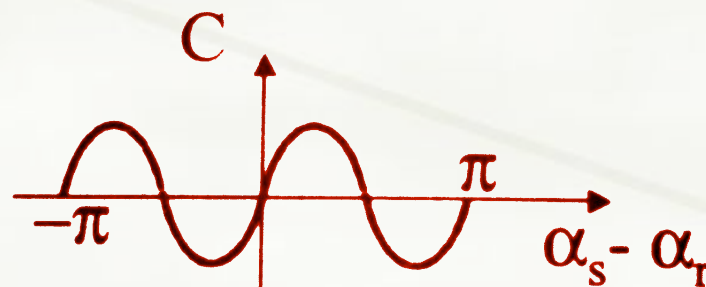
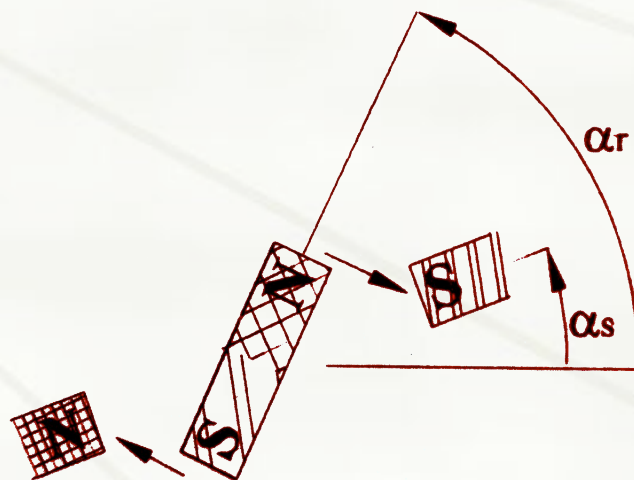
- ★ La coppia generata è legata all'intensità e all'orientazione dei due vettori
- ★ Nel caso di rotore magnetizzato:



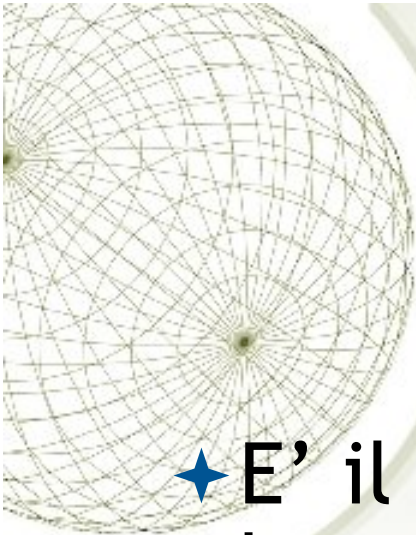
$$C \cong k_1 \sin(\alpha_s - \alpha_r)$$

# Generazione di coppia

- ★ Nel caso di rotore non magnetizzato
- ★ Il campo rotorico è sempre opposto a quello statorico



$$C \cong k_2 \sin 2(\alpha_s - \alpha_r)$$

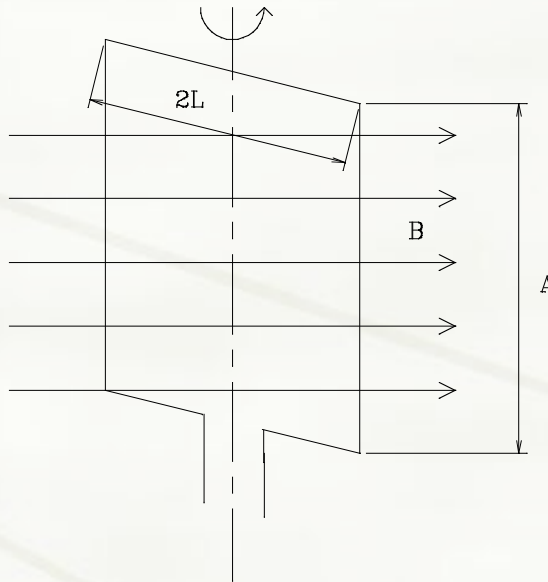


## *Motore in c.c.*

- ★ E' il più utilizzato in applicazioni a basso costo
- ★ Ne esiste una versione che funziona anche in c.a.:
  - ★ Motore universale (aspirapolveri, phon...)
- ★ Nasce dalla evoluzione del sistema costituito da una spira immersa in una zona a induzione costante

# *Motore in c.c.*

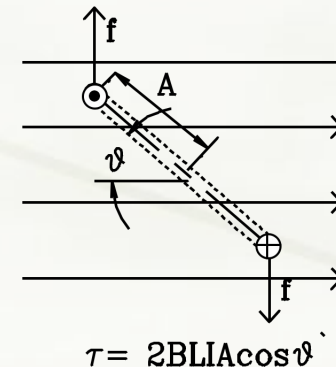
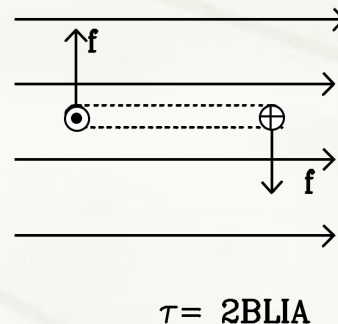
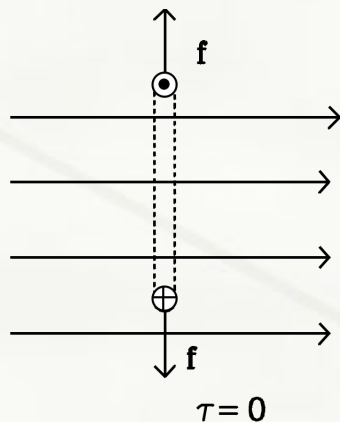
- ★ Consideriamo il sistema elementare:



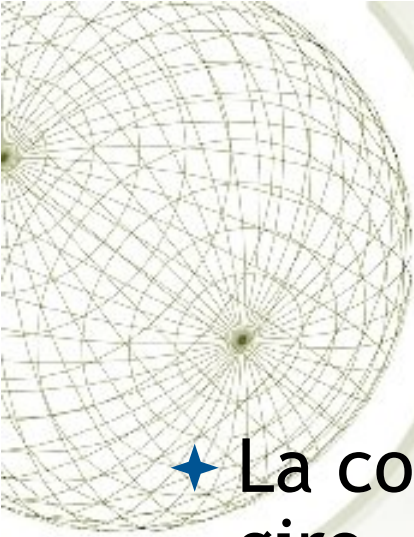
- ★ Se la spira è percorsa da corrente  $i$ , solo i suoi tratti verticali producono coppia

# Motore in c.c.

- ★ La coppia prodotta dipende dall'angolo tra normale della spira e linee di campo



$$\tau = 2 \cdot B \cdot L \cdot A \cdot I \cdot \cos \vartheta$$



## *Motore in c.c.*

- ★ La coppia prodotta ha valor medio nullo sul giro.
- ★ Non è un motore vero e proprio, capace di spingere in una direzione piuttosto che in un'altra
- ★ Il massimo c'è quando la spira è parallela alle linee di campo
- ★ La normale della spira viene anche definito “asse magnetico” della stessa

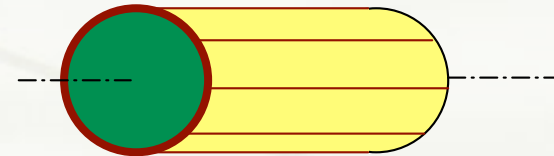
# *Motore c.c.*

★ Ci servirebbe un sistema per:

- ★ Cambiare il verso del campo statorico ad ogni mezzo giro
- ★ Cambiare il verso della corrente di rotore ad ogni mezzo giro

★ Collettore segmentato:

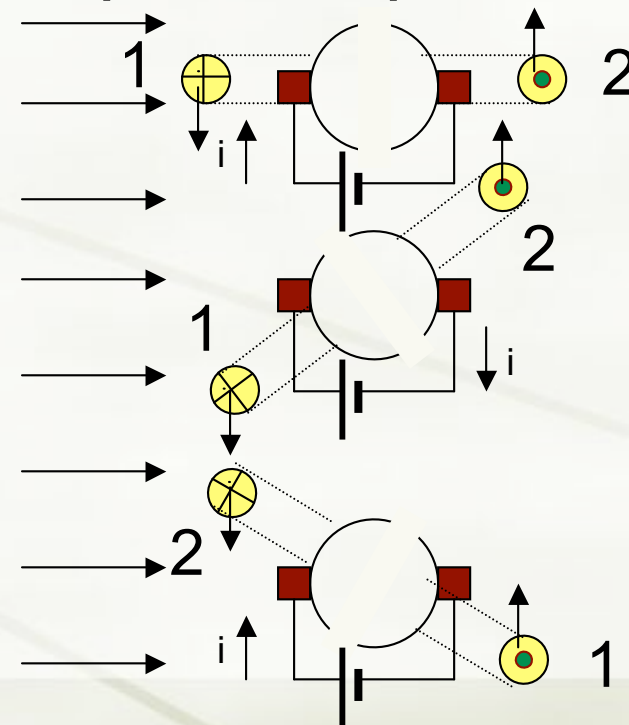
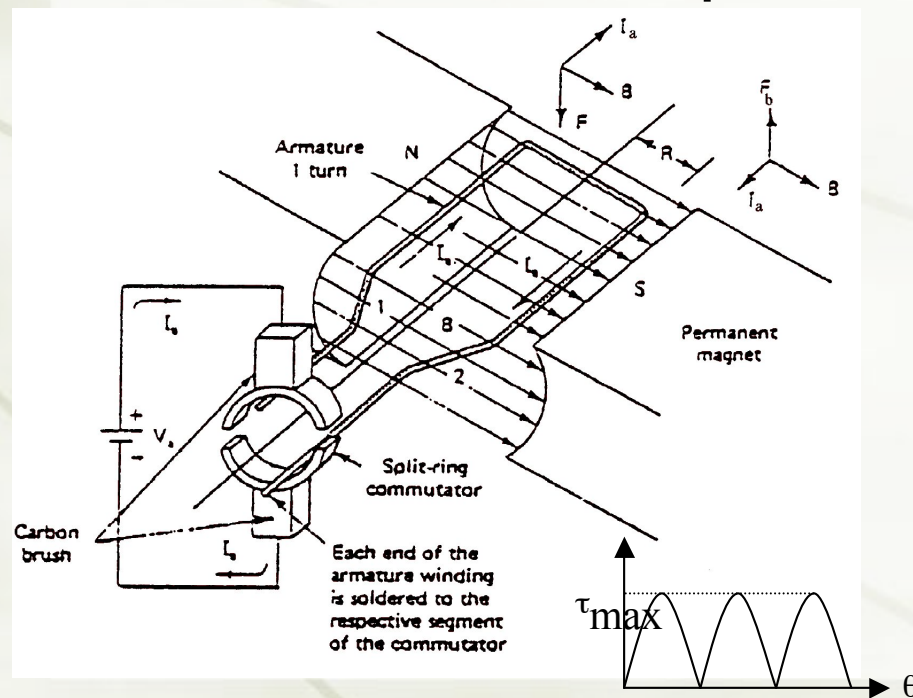
- ★ Lamelle disposte longitudinalmente su una superficie cilindrica
- ★ Isolate tra loro con mica o plastica

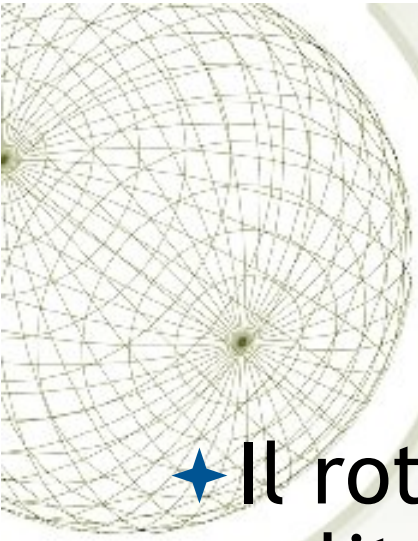


# Motore c.c.

## ★ Caso semplice:

### ★ Motore a due poli con spira semplice



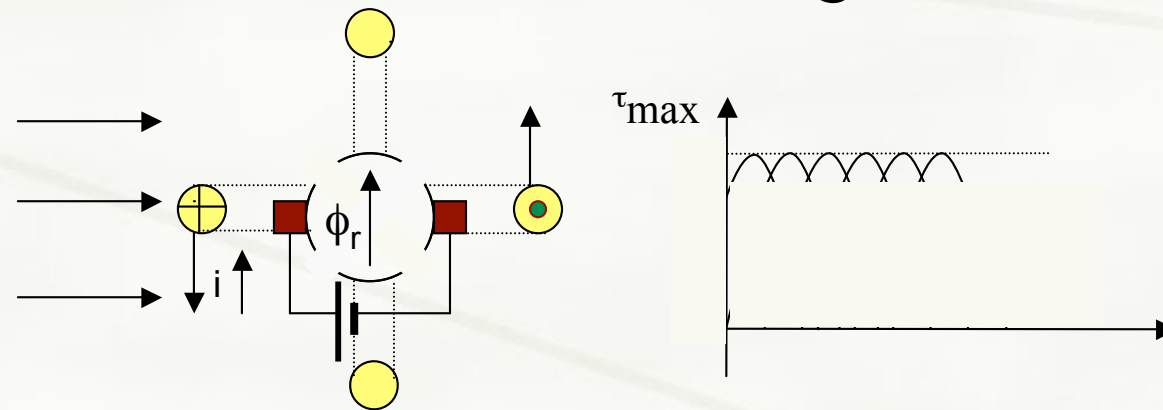


## *Motore c.c.*

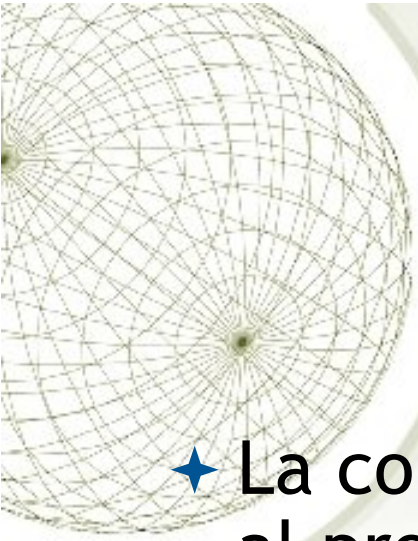
- ★ Il rotore è in realtà realizzato solitamente in materiale ferromagnetico, in modo da aumentare il flusso al traferro
  - ★ Gli avvolgimenti sono supportati dal materiale ferromagnetico
- ★ Inoltre, il collettore ha più di due segmenti, a ciascuno dei quali è associato un avvolgimento rotorico

# Motore c.c.

- ★ Supponiamo di avere due avvolgimenti:



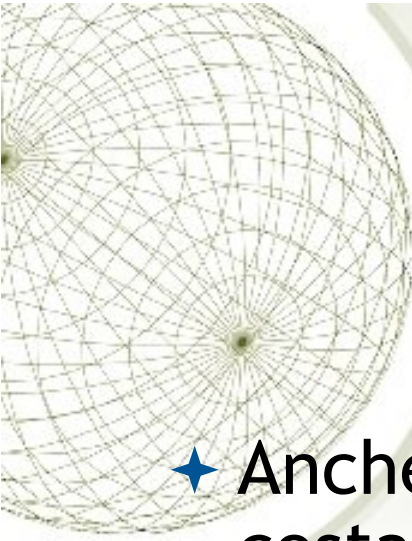
- ★ Ogni configurazione è attiva per un quarto di giro, attorno al valore max di coppia
- ★ Se si aumenta il numero di avvolgimenti e li si dispone opportunamente, la coppia generata è costante



# *Motore c.c.*

- ★ La coppia disponibile risulta proporzionale al prodotto fra flusso rotorico e flusso statorico
- ★ Il primo può essere proporzionale alla corrente rotorica, mentre il secondo può essere generato da un magnete permanente o da un elettromagnete
- ★ Risultato:

$$C_m = k \Phi_r \Phi_s$$



# Motore c.c.

- ★ Anche la fem indotta risulta praticamente costante se si utilizza un numero elevato di avvolgimenti
- ★ Per la solita spira semplice risulta:

$$S_{\perp} = 2AL \sin\vartheta; \quad \Phi = B_s S_{\perp}; \quad \frac{d\Phi}{dt} = 2ALB_s \omega \cos\vartheta = -f.c.e.m.$$

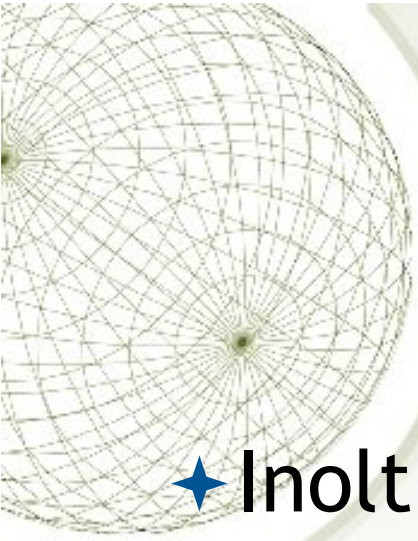
- ★ Con un numero elevato di avvolgimenti risulta:

$$f.c.e.m.(t) = K_e \omega(t) = k\Phi_s \omega(t)$$



## *Motore c.c.*

- ★ Va detto che una piccola variazione residua (sia di coppia che di fem) sono sempre presenti
  - ★ “ripple di coppia”
- ★ Le lamelle di collettore sono di rame, mentre le spazzole sono solitamente sinterizzare (grafite + metalli + ???)
- ★ Nello strasciamento, consumo e attrito variabile



## *Motore c.c.*

- ★ Inoltre, la giunzione metallo-grafite ha effetto raddrizzante (come un diodo) e un potenziale barriera
  - ★ Non conduce al di sotto di una certa tensione
- ★ Per avere un buon contatto, serve aria con un certo grado di umidità
  - ★ Non funziona in vuoto!



## *Motore c.c.*

- ★ Ad alte velocità, le molle che spingono le spazzole non hanno forza sufficiente per contrastare le forze centrifughe che nascono dall'impatto tra spazzole e bordi delle lamelle:
  - ★ Il contatto peggiora
  - ★ Velocità limitate!
- ★ Lo strofinio continuo provoca usura:
  - ★ E' necessario prevedere una manutenzione periodica

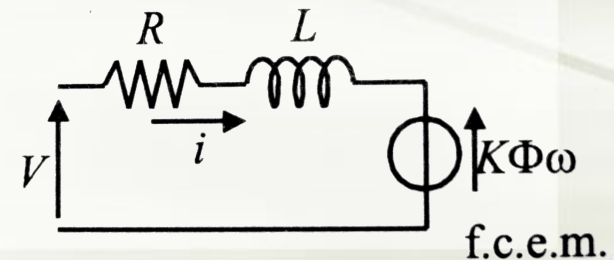
# Motore c.c.

★ Dal un punto di vista della sorgente di energia elettrica, il rotore è un circuito ohmico-induttivo con un generatore di fem (che si oppone alla corrente entrante)

★ Resistenza dei fili

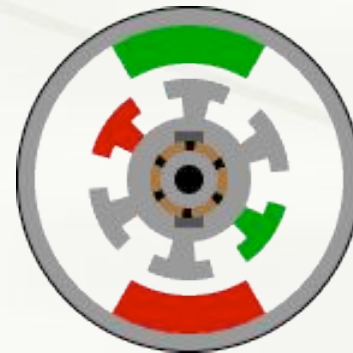
★ Induttanza del solenoide

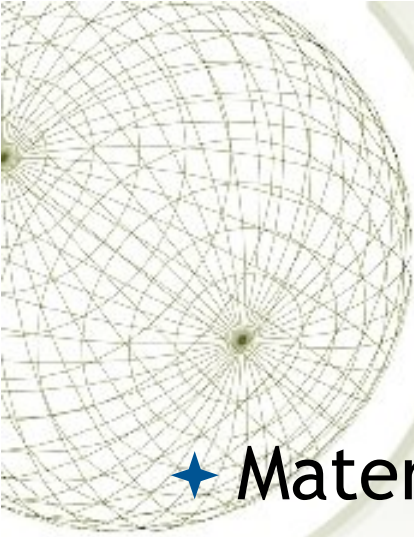
$$V_a(t) = Ri(t) + L \frac{di}{dt} + f.c.e.m.$$



# *Motore c.c.*

- ★ Il rotore è in contatto con un circuito induttivo
- ★ Quando si passa da una lamella all'altra, c'è scintillio
  - ★ Non adatto ad ambienti esplosivi!
  - ★ Provoca EMI





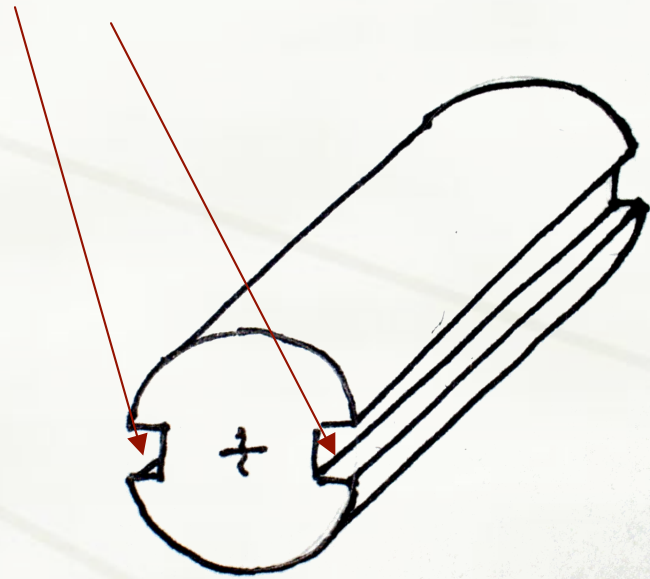
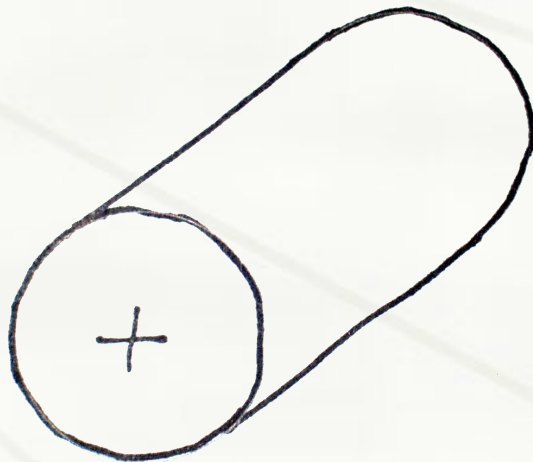
# *Bricolage*

## ★ Materiale:

- ★ 1 tappo di sughero cilindrico
- ★ 10 spilli
- ★ 3 m filo di rame smaltato diametro 0.2-0.3 mm  
(cannibalizzare vecchio trasformatore...)
- ★ 1 pila 1.5 V
- ★ 2 magneti (rubateli a vs fratellino...)
- ★ 1 tavoletta di legno

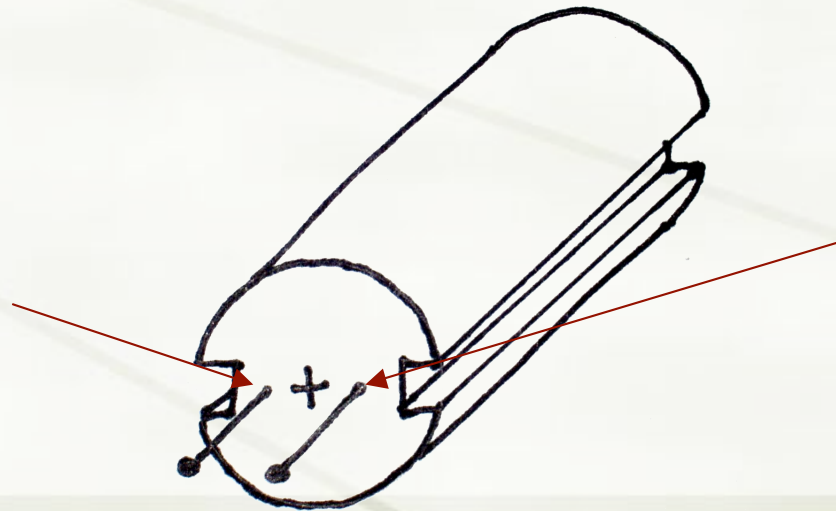
# *Bricolage*

- ★ Incidere il tappo longitudinalmente, in due punti diametralmente opposti



# *Bricolage*

- ★ Piantare due spilli in corrispondenza di due punti simmetrici rispetto l'asse principale, lungo la congiungente le due incisioni



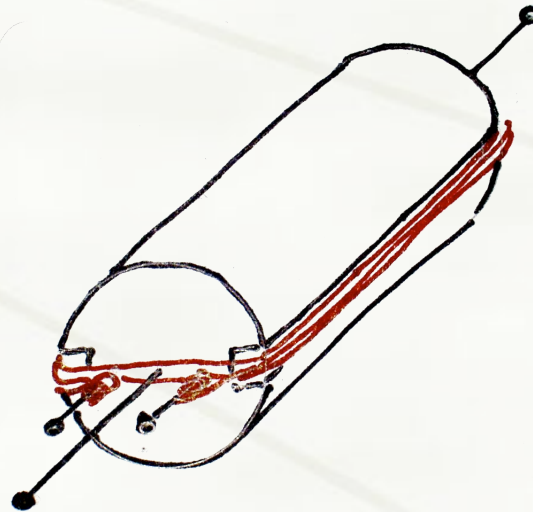
# *Bricolage*

- ★ Spellare i due estremi del filo di rame e avvolgerne uno attorno alla base del primo spillo. Avvolgere il filo di rame lungo le scanalature.



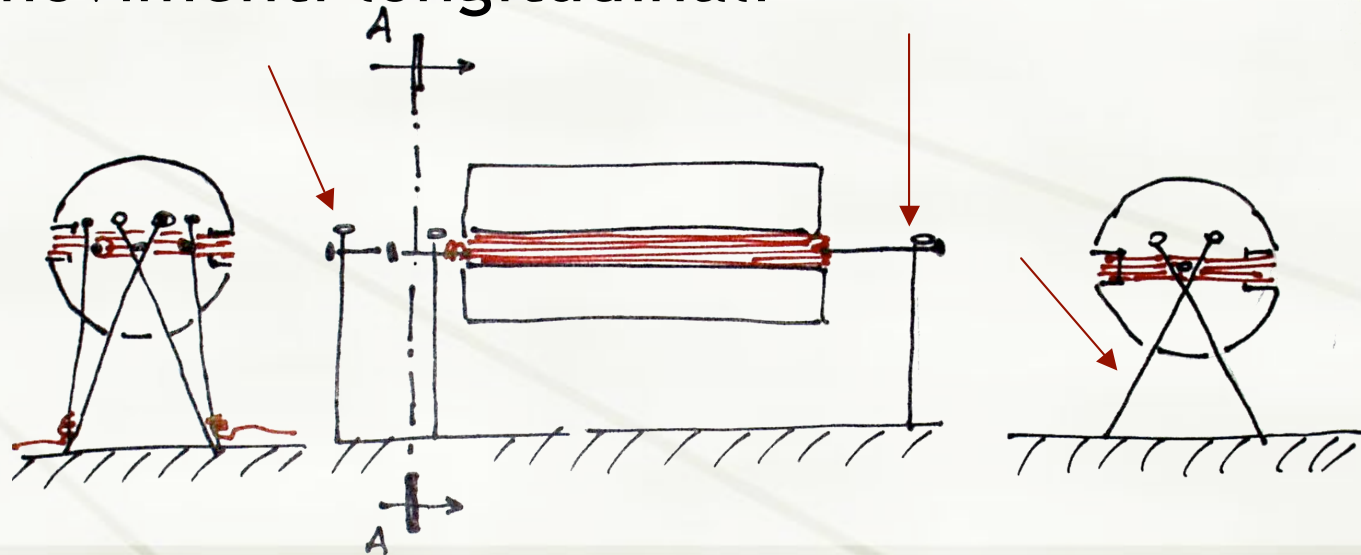
# *Bricolage*

- ★ Terminare l'avvolgimento sul secondo spillo. Inserire due spilli nelle due basi del cilindro, allineati con l'asse dello stesso.



# Bricolage

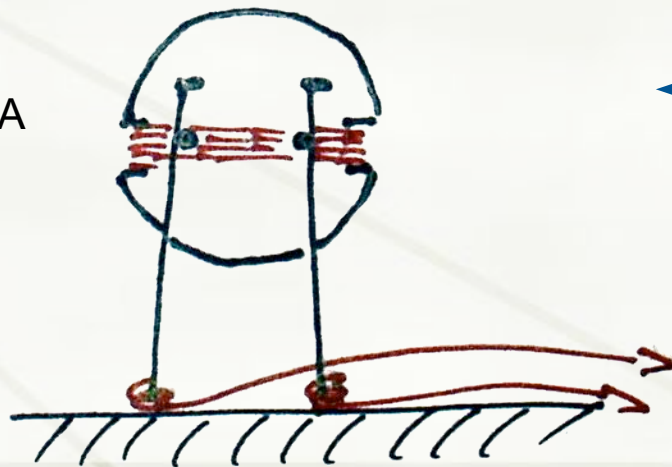
- ★ Realizzare il supporto al rotore con spilli messi a “X” sulla tavoletta di legno. Regolare la posizione in modo da impedire movimenti longitudinali



# Bricolage

- ★ Realizzare le spazzole con altri due spilli, messi in posizione quasi verticale. Devono premere con forza limitata sugli spilli dell'avvolgimento di rotore

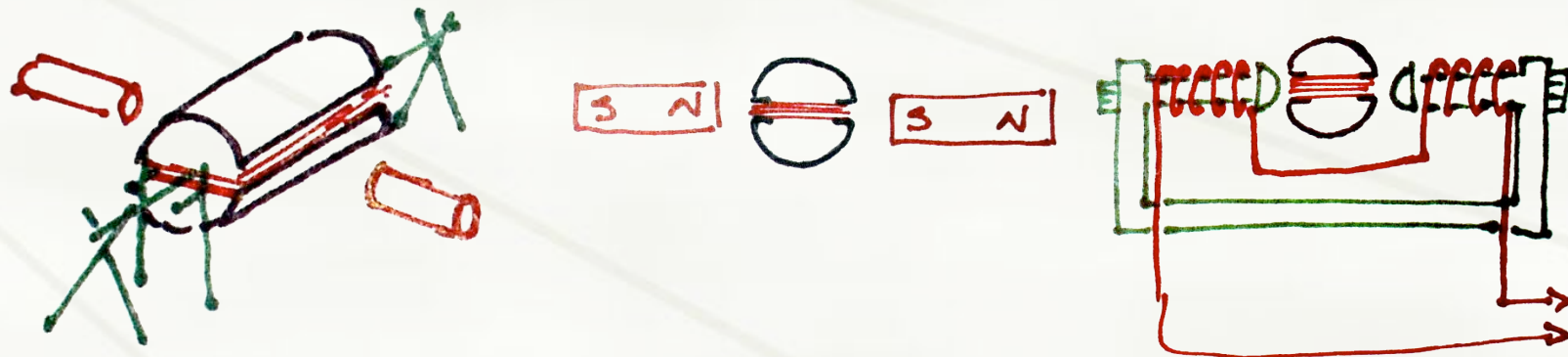
Sez. AA



- ★ Connettere le spazzole alla pila con altri due fili di rame.

# Bricolage

- ★ Per innescare la rotazione, il rotore va immerso nel campo statorico. Questo può essere generato con magneti permanenti o elettromagneti.



... e che la coppia sia con voi!

# *Bricolage*

