

MACCHINE ROTANTI

MACCHINA RUDIMENTALE

Consideriamo un circuito chiuso da una barretta che si muove; tale circuito è attraversato da un campo magnetico come in figura:

$$\vec{F} = i \vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

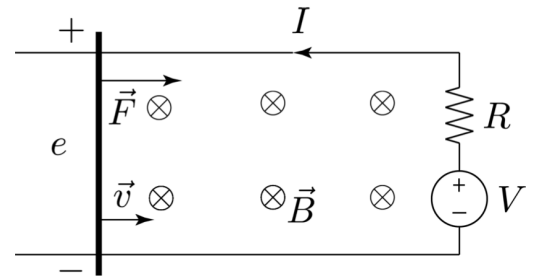
$$e = B \cdot \ell \cdot v \quad (\text{fem indotta})$$

Scriviamo l'equazione alla maglia (equilibrio elettrico) e l'equilibrio meccanico:

$$\vec{F} + \vec{F}_{\text{ext}} = 0 \quad I = \frac{V - e}{R}$$

FORZA APPLICATA

La macchina ha quindi due funzionamenti distinti.



FUNZIONAMENTO DA MOTORE

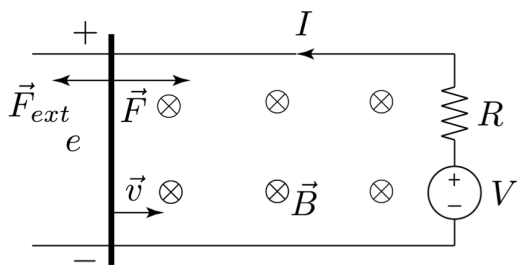
Consideriamo il caso in cui $V > e$ allora $I > 0$ e \vec{F} e \vec{v} sono equiversi. La potenza P del generatore ($V \cdot I$) è erogata (SISTEMI NON ASSOCIATI, $P > 0$) e quindi è trasformata in potenza meccanica ($\vec{F} \cdot \vec{v}$) ed in parte dissipata per effetto Joule.

La macchina funziona quindi da **MOTORE**, poiché produce potenza meccanica.

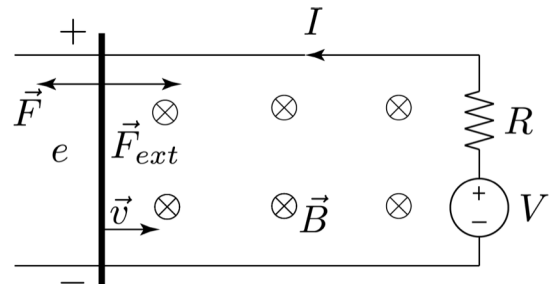
FUNZIONAMENTO DA GENERATORE

Consideriamo il caso invece in cui $e > V$ e $I < 0$, quindi \vec{F} e \vec{v} sono **contraversi**, la F_{ext} è applicata concorde a \vec{v} . La potenza meccanica è immessa nella macchina e $P = V \cdot I < 0$, quindi si comporta come un **GENERATORE**. (ossia sono io a "spingere" e la macchina a fare resistenza)

Motore



Generatore



⚠ Nel caso di $V = e$ si ha $I = 0$, $F = 0$ e $V = Blv_0$, con v_0 costante, la macchina non riceve né produce potenza (**EQUILIBRIO DINAMICO IDEALE**)

È possibile esprimere analiticamente il concetto applicando le leggi di Faraday e il 2° principio, poniamo il caso in cui $F_{\text{ext}} = F$ ($a = 0$, condizioni di equilibrio)

$$F = i l B \quad I = \frac{V - e}{R}$$

$$F_{\text{ext}} = B l \left(\frac{B l v_0 - B l v}{R} \right) = \frac{B l^2}{R} (v_0 - v)$$

$$v = v_0 - \frac{F_{\text{ext}}}{B l^2} \cdot R$$

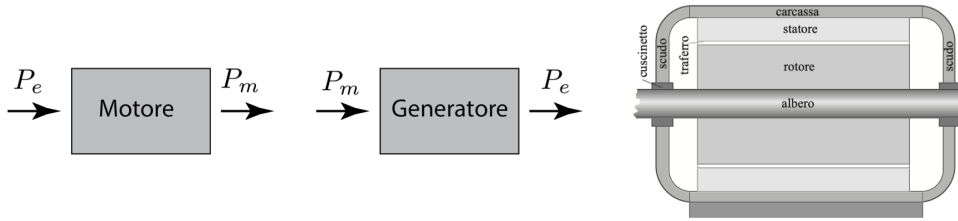
Se la F_{ext} è resistente, all'aumentare di F_{ext} diminuisce la v della barretta (macchina è motore), se $F_{\text{ext}} < 0$ si ha il generatore.

MACCHINE ROTANTI

Sono dispositivi composti da 3 unità principali:

1. STATORE: Parte fissa
2. ROTORE: Parte mobile, fissata in genere ad un albero rotante
3. TRAFERRO: Necessario per creare gioco e permettere la rotazione

I primi due prendono anche il nome di **induttore** e **indotto**, a seconda di chi genera il campo.



⚠ Carcassa e scudo servono ai fini di sicurezza della macchina

GENERAZIONE DI CAMPI MAGNETICI ROTANTI

In una macchina rotante si ha un'unità **INDUTTORE**, ossia ciò che genera il campo (tramite avvolgimenti o magneti), e l'**INDOTTO**, ossia ciò che genera le fem indotte, in cui scorrono le "correnti di indotto" che, interagendo con l'induttore danno luogo alla **COPPIA MECCANICA** (momento torcente):

$$C = I \cdot \frac{d\psi_r}{dt} = \text{COPPIA MOTRICE}$$

$$P = C \cdot \omega_r$$

NOTAZIONE:

- ω_r = Velocità angolare del rotore
- ω_c = Pulsazione del campo

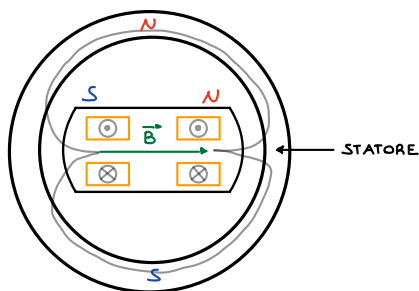
CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DAL ROTORE

Il campo magnetico rotante serve a generare correnti e fem nell'indotto e può essere generato tramite un magnete rotante con linee di campo \perp all'asse dell'albero oppure tramite un avvolgimento percorso da corrente continua (**corrente di eccitazione**).

Il secondo necessita di un generatore fisso di CC che produce la corrente tramite una serie di **contatti striscianti** (vedi dopo).

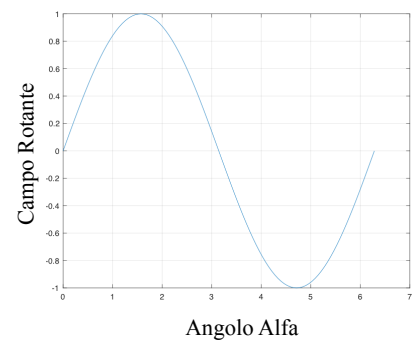
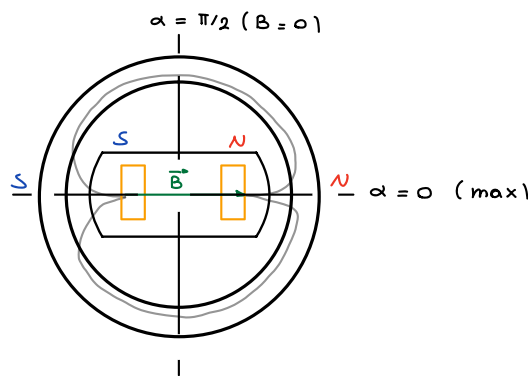
Il magnete realizza quindi una **COPPIA POLARE**, con un polo N e S assegnati sul rotore e sullo statore; a questo punto si ha che in corrispondenza di due punti il campo magnetico è max (in uno + e nell'altro -), mentre in due punti è minimo.

MAGNETE CON AVVOLGIMENTO

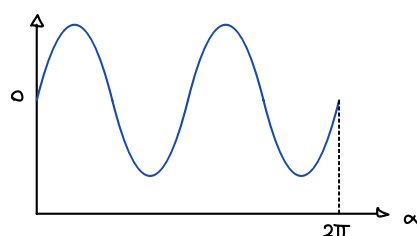
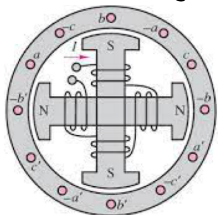


- ⊗ = Corrente entrante
- ⊙ = Corrente uscente

MAGNETE PERMANENTE



Un modo per raddoppiare la pulsazione è aggiungere le coppie polari, ad esempio un sistema con 2 coppie polari è il seguente, che ha $\omega = 2\omega_r$. Ossia in caso di campo generato dal rotore si ha:



$$\omega_c = \omega_r \cdot P$$

CASO DI ROTORE

($P = n^\circ$ coppie polari)

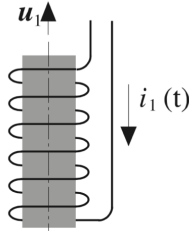
CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DALLO STATORE (TEOREMA DI GALILEO - FERRARIS)

Consideriamo un solenoide posto attorno a un conduttore attraversato da una corrente alternata sinusoidale, questo genera un B :

$$i_1(t) = I_M \cos(\omega t)$$

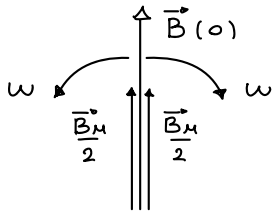
$$B_1(t) = B_M \cos(\omega t) \cdot \mu_1$$

$$\text{con } B_M = I_M \cdot n \text{ (solenoidale)}$$

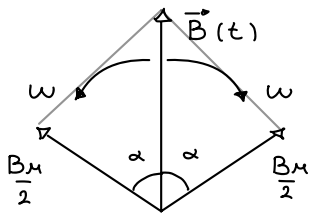


Consideriamo come se il valore di B sia la somma di due vettori di modulo $B_M/2$ (costante) che ruotano uno in senso orario e uno antiorario.

1. $t = 0 \rightarrow \vec{B} = B_M$



2. In un istante generico si avrà quindi: $t = \alpha/\omega$



In questo modo si ottiene un campo B variabile in modulo ma di direzione fissa (lungo l'asse dello statore).

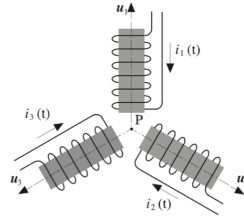
Consideriamo ora 3 induttori come quello precedente, orientati a 120° tra loro e percorsi da una terna simmetrica diretta di correnti:

$$i_1(t) = I_M \cos(\omega t)$$

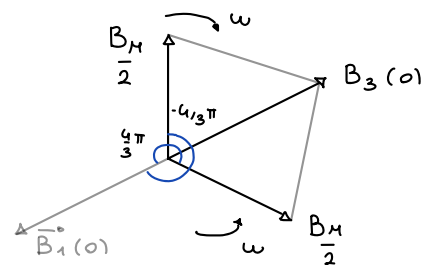
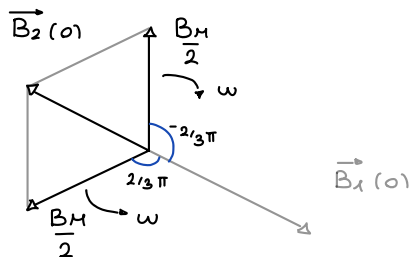
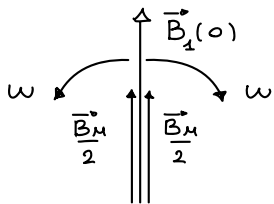
$$\omega = \omega_r$$

$$i_2(t) = I_M \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi)$$

$$i_3(t) = I_M \cos(\omega t - \frac{4}{3}\pi)$$



All'istante $t = 0$ si ha (uso la scomposizione di prima):



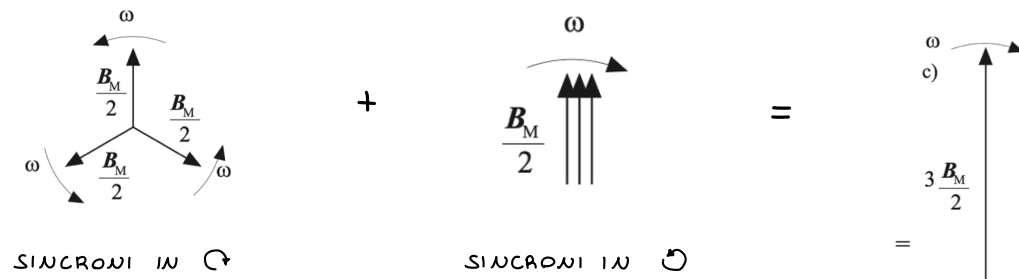
$$B_1(t) = B_M \cos(\omega t)$$

$$B_2(t) = B_M \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi)$$

$$B_3(t) = B_M \cos(\omega t - \frac{4}{3}\pi)$$

Il campo complessivo è dato dalla somma dei tre B . Notiamo che:

- Vettori **sincroni** (ossia allo stesso istante) in senso antiorario danno $B = 0 \quad \forall t$
- Vettori in senso orario sono allineati e danno origine a un $B = \frac{3}{2} B_M$



Ossia si origina un campo magnetico con modulo $\frac{3}{2} B_M$ e $\omega = \omega_R$.

$$\omega = \omega_R$$

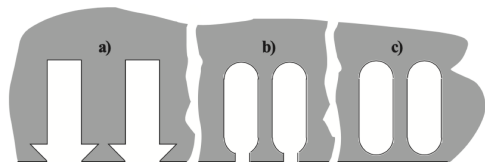
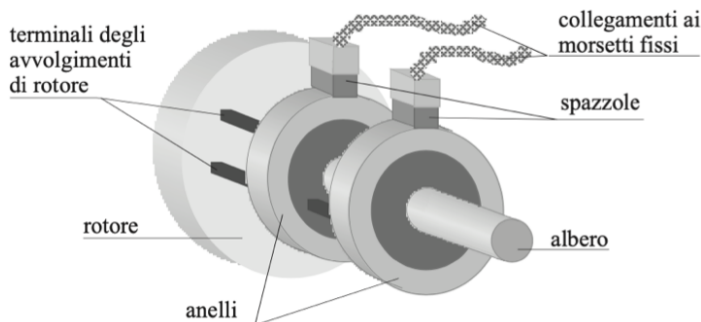
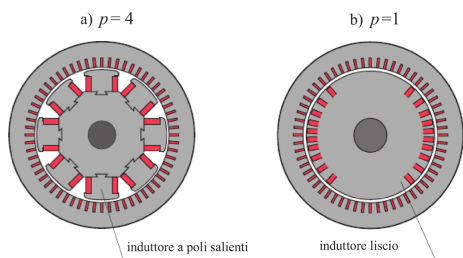
CASO DI CAMPO ROTANTE PRODOTTO DA UNO STATORE CON UTILIZZO DI TRE AVVOLGIMENTI CONCENTRICI SFASATI DI $\pi/3$ E ATTRAVERSATI DA UNA TERNA SIMMETRICA DI CORRENTI

$$\omega = \omega_R / P$$

CASO DI CAMPO ROTANTE PRODOTTO DA UNO STATORE CON UTILIZZO DI PIÙ TERNE DI AVVOLGIMENTI (P = numero di terne)

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

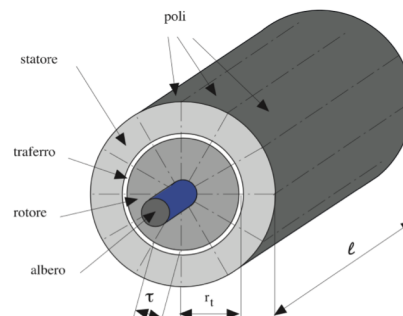
1. L'induttore può essere **LISCIO** o a **POLI SALIENTI** (ossia c'è spazio tra i poli) e le cave (sedi dei magneti) sono di varie forme
2. Alla base dei collegamenti dei morsetti ci sono spazzole che generano correnti tramite contatti striscianti.



3. Statore, rotore e traferro costituiscono il **CIRCUITO MAGNETICO**, cui nucleo è laminato e traferro più piccolo possibile

4. Il flusso medio polare si stima come:

$$\Phi = Z B l \quad \text{con} \quad Z = \text{semipasso polare}$$



POTENZE E RENDIMENTI

$$P_{mecc} = C\omega_r$$

$$P = VI, VI \cos \varphi, \sqrt{3} VI \cos \varphi$$

P_{Cu-i} , perdite negli avvolgimenti di indotto

P_{Cu-e} , perdite negli avvolgimenti di induttore

P_{Fe} , perdite per isteresi e correnti parassite nel ferro (di indotto ed induttore)

P_{attr} , perdite per attrito

P_{ven} , perdite per ventilazione

Rendimento da generatore

$$\eta = \frac{P}{P_{mecc}} = \frac{P}{P + P_{dis}}$$

Rendimento da motore

$$\eta = \frac{P_{mecc}}{P} = \frac{P_{mecc}}{P_{mecc} + P_{dis}}$$