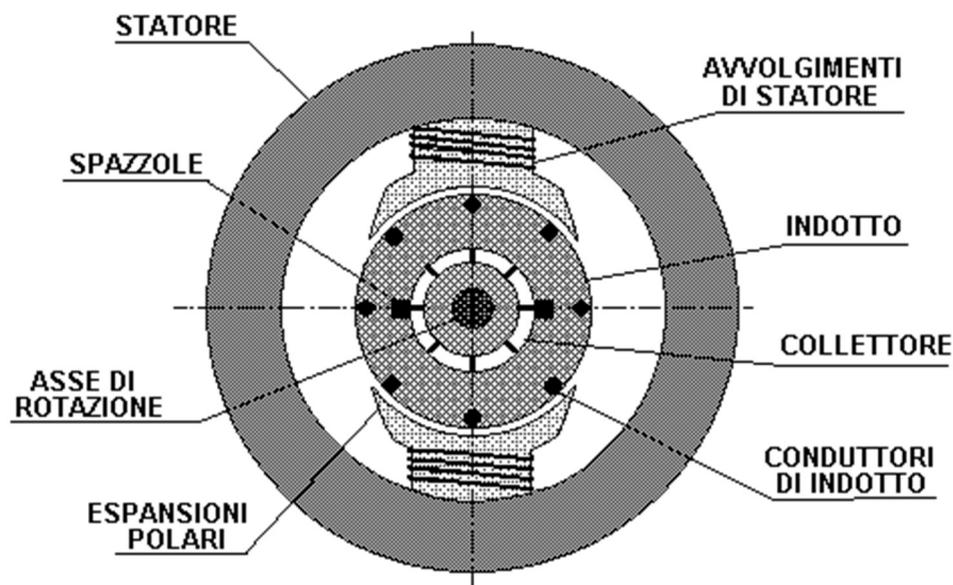


Motore elettrico in corrente continua

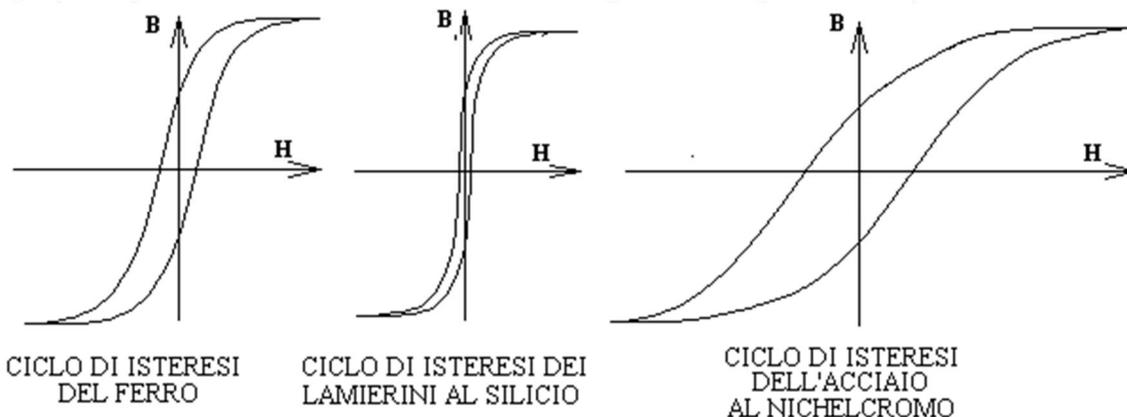
La struttura base di un motore a corrente continua è del tipo rappresentato nella figura seguente.



Lo statore è costituito da un monoblocco di acciaio, mentre le espansioni polari essendo soggette ad un flusso magnetico variabile, sono realizzate in lamierini al silicio al 4 % o 5 % per minimizzare le perdite per isteresi e correnti parassite.

Analogamente il rotore indotto, essendo anch'esso soggetto a flusso magnetico variabile, è realizzato in lamierini al silicio avvitati fra loro e fissati insieme attorno ad un asse meccanico di rotazione, realizzato in acciaio, ruotante su boccole di ottone o su cuscinetti a sfere per ridurre al minimo l'attrito.

Il silicio, presente in lega assieme al ferro dei lamierini, riduce l'area del ciclo di isteresi che è eguale all'energia persa per unità di volume nel nucleo ferromagnetico ad ogni ciclo compiuto.



Questi disegni chiariscono perché il nucleo magnetico dello statore, che è soggetto ad un flusso costante, si realizza in acciaio o in ferro, mentre i nuclei magnetici sottoposti a flusso variabile, si realizzino invece in lamierini al silicio.

Attorno alle espansioni polari sono avvolte le bobine dei campi di statore, che sono collegate in serie e la cui corrente continua determina il flusso magnetico all'interno del motore.

Le spazzole, costituite da carboncini di grafite, sono contatti striscianti sul collettore, che consentono l'immissione della corrente nei conduttori attivi del rotore determinando la coppia motrice e quindi la rotazione del motore.

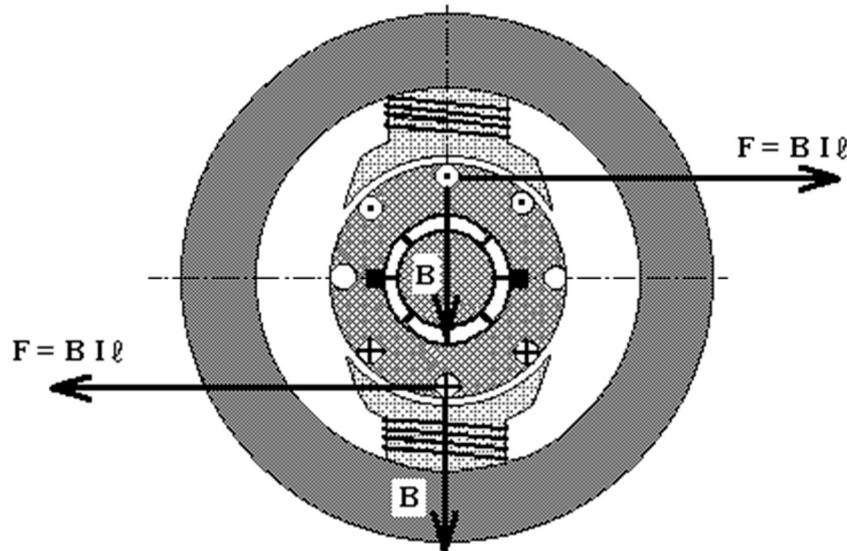
PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Si sa dall'Elettrotecnica che un conduttore I , percorso da corrente elettrica I , immerso in un campo magnetico di induzione B , è sottoposto ad una forza F di valore:

$$F = B I l \sin \alpha$$

La forma delle espansioni polari ci permette di ottenere $\alpha = 90^\circ$ e quindi $\text{sen}\alpha = 1$

Nel motore a corrente continua, gli avvolgimenti di statore, percorsi da corrente continua, determinano un flusso magnetico costante $\Phi = BS$ che entra nell'indotto investendo i conduttori attivi posti lungo la superficie esterna del rotore.



Questi, essendo attraversati dalla corrente di indotto, immessa attraverso le spazzole, sono soggetti alla forza F che moltiplicata per il braccio b costituito dal raggio del rotore, dà luogo alla coppia motrice:

$$C = b B I \ell$$

Se i conduttori attivi, esternamente disposti sono N , la coppia motrice sarà:

$$C_N = N b B I \ell$$

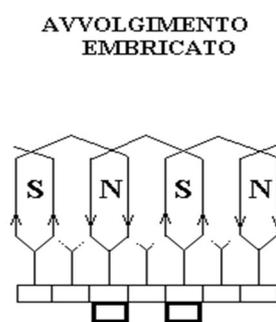
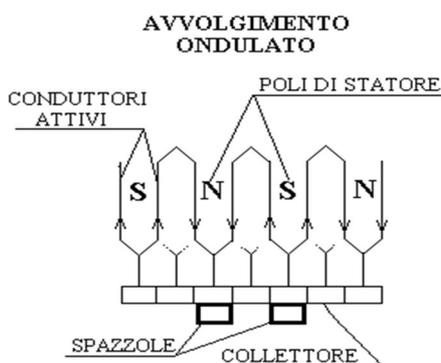
Il verso della forza si può determinare, ad esempio con la seguente regola della mano destra, in cui, ponendo le tre dita ad angolo retto tra loro, l'indice rappresenta l'induzione magnetica, il pollice la corrente elettrica, ed il medio la forza.

Se i conduttori nella parte superiore dell'indotto sono percorsi da corrente uscente, nella parte inferiore lo sono da corrente entrante, perciò le due forze saranno rivolte una a destra e una a sinistra, come in figura, ma la coppia motrice totale sarà data dalla somma delle coppie di tutti i conduttori attivi disposti lungo il bordo dell'indotto.

La coppia motrice così prodotta, determina la rotazione dell'indotto, in tal modo però, i conduttori attivi percorsi da corrente uscente, si verranno ad allontanare dal polo Nord sotto il quale si trovavano e andrebbero a posizionarsi sotto il Sud determinando una coppia di valore opposto alla precedente che impedirebbe ogni ulteriore rotazione dell'indotto.

Per consentire invece che la coppia motrice abbia sempre lo stesso verso, che quindi i conduttori che vanno a posizionarsi sotto il polo Sud siano percorsi da corrente in verso opposto a quelli posizionati sotto il polo Nord, i conduttori non saranno attraversati da corrente di verso costante, ma il verso della corrente verrà continuamente invertito ogni mezzo giro da un commutatore rotante detto collettore, costituito da tante lamelle di rame disposte lungo il bordo del rotore, essendo da questo ben isolate.

A queste lamelle fanno capo tutti i conduttori attivi dell'indotto, e su queste lamelle strisciano le spazzole che consentono l'immissione della corrente continua da una struttura fissa, lo statore, ad una rotante,



l'indotto.

In realtà i conduttori di rotore possono considerarsi un unico avvolgimento effettuato attorno all'indotto con numerose prese intermedie che fanno capo alle lamelle del collettore.

Gli avvolgimenti di indotto hanno forme diverse da caso a caso, ma comunque possono sempre dividersi in due tipi fondamentali: avvolgimenti ondulati e avvolgimenti

embricati.

Immaginando di svilupparli in piano si ottengono disegni del tipo di quelli a lato

Dalla formula ricavata per la coppia motrice:

$$C = b N B I l$$

Si deduce che per aver un motore di considerevole coppia è necessario che lo statore produca una grande induzione magnetica **B** e che nell'indotto vi siano molti conduttori **N** percorsi da grande corrente **I**.

I conduttori di indotto sono allocati in apposite cave tracciate all'interno del rotore, pertanto se il loro numero deve essere alto, allora la sezione non può essere grande, e viceversa se devono essere percorsi da corrente intensa allora la loro sezione deve essere grande e nelle cave ne possono entrare pochi.

La scelta va naturalmente ottimizzata scegliendo caso per caso la soluzione più conveniente.

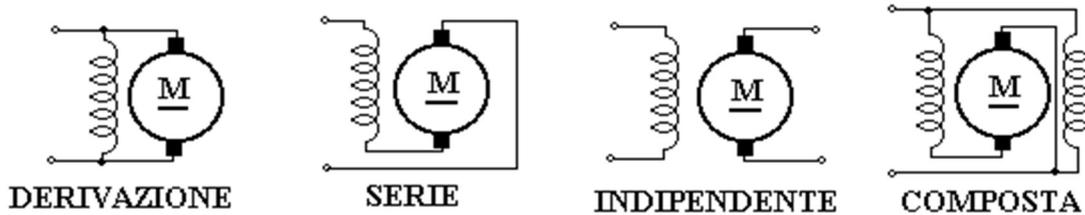
Se il motore è alimentato con bassa tensione, per esempio, allora si sceglie la soluzione di un solo conduttore ma di grande sezione per consentire il passaggio di correnti intense, come avviene nel motorino d'avviamento degli autoveicoli, mentre se l'alimentazione è a tensione più elevata, si preferiscono molti conduttori ma di sezione piccola.

Analogamente si procede per gli avvolgimenti di statore, dove il flusso magnetico necessario è prodotto, per la legge di Hopkinson, dalle amperspire:

$$NI = R\Phi$$

Anche qui la forza magnetomotrice **NI** necessaria per produrre il flusso Φ , può essere prodotta da poche spire percorse da corrente intensa o da molte spire percorse da piccola corrente.

I due avvolgimenti, di statore e di rotore possono essere disposti, a seconda della convenienza, in varie connessioni ottenendosi quindi quattro tipi di eccitazione dei motori elettrici che corrispondono agli

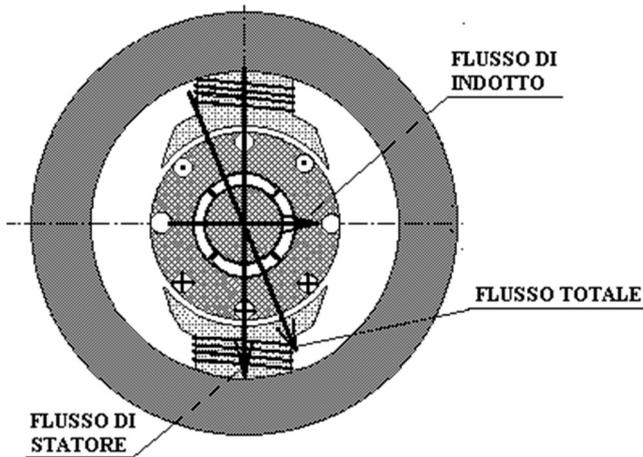


schemi seguenti:

Eccitazione dei motori in corrente continua

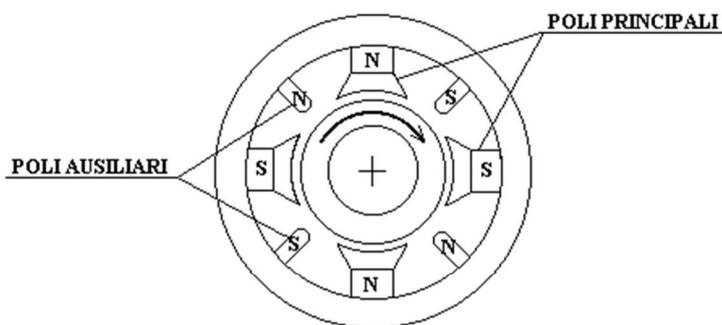
Reazione d'indotto

La corrente che attraversa l'avvolgimento d'indotto, però determina un nuovo flusso magnetico che va ad interagire con quello prodotto dallo statore determinandone una riduzione del valore, a causa della non linearità della caratteristica di magnetizzazione, ed un rotazione della direzione secondo il disegno seguente.



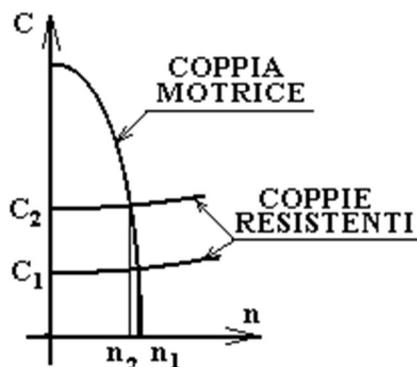
Si ovvia alla reazione d'indotto in varie maniere. Se il motore è di piccola potenza, la si può ignorare, determinando essa soltanto, a conti fatti, un lieve peggioramento del rendimento. Se il motore è di considerevole potenza, allora si può costituire un sistema di spazzole regolabili in posizione angolare in modo da compensare al meglio la reazione d'indotto.

Molto spesso si risolve il problema con l'aggiunta di coppie di poli ausiliari, posti nello statore, ma attraversati dalla corrente di indotto in verso tale da opporsi alla reazione stessa in modo di annullarne gli effetti quasi del tutto.

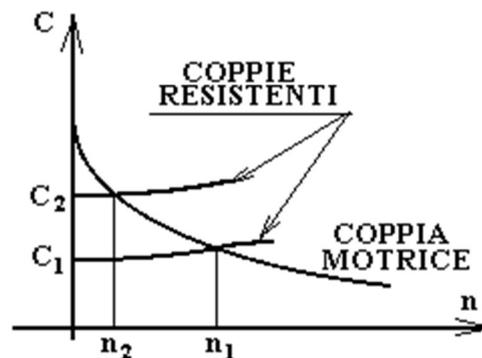


CARATTERISTICHE MECCANICHE

**MOTORE CON
ECCITAZIONE
IN DERIVAZIONE**



**MOTORE CON
ECCITAZIONE
SERIE**



I tipi di eccitazione più usati sono quella serie e quella in derivazione, sia per la loro semplicità, che per le loro ottime caratteristiche meccaniche che si riportano di seguito.

I motori con eccitazione serie sono indicati per la trazione tranviaria in quanto consentono, al variare del carico, una considerevole escursione di velocità che, partendo da fermi li porta alla massima velocità, mentre quelli con eccitazione in derivazione sono indicati per quelle apparecchiature meccaniche industriali ove è essenziale disporre di una velocità costante.

I due tipi di motori sono stabili, quello in serie però non deve essere mai portato al massimo della velocità senza alcuna coppia resistente perché la velocità massima in teoria è illimitata e quindi potrebbe non essere sopportabile dalla struttura meccanica della macchina.

I motori elettrici in corrente continua possono avere una o più coppie polari.

RENDIMENTO

Il rendimento di un motore si definisce come il rapporto fra la potenza resa all'asse P_{MECC} , cioè quella meccanica, e quella ricevuta che è quella elettrica P_{EL}

$$\eta = \frac{P_{MECC}}{P_{EL}} = \frac{P_{MECC}}{P_{MECC} + P_{AV} + P_{JROT} + P_{JSTAT} + P_{FE} + P_{COLL} + P_{ADD}}$$

La potenza meccanica sviluppata all'asse è: $P_{MECC} = \frac{CZ\pi n}{60}$

Le perdite P_{AV} sono dovute all'attrito e ventilazione.

Tutti i motori elettrici necessitano di ventilazione per il raffreddamento degli avvolgimenti di statore e di rotore surriscaldati per effetto Joule.

Le perdite per effetto Joule nel rotore sono:

$$P_{JROT} = R_{ROT} I^2_{ROT}$$

Le perdite Joule nello statore sono:

$$P_{JSTAT} = R_{STAT} I^2_{STAT}$$

P_{FE} sono le perdite nel ferro del rotore, perché quelle dello statore sono trascurabili.

P_{COLL} sono le perdite meccaniche per l'attrito delle spazzole sul collettore e per il calore sviluppato dalle scintille dovute all'autoinduzione.

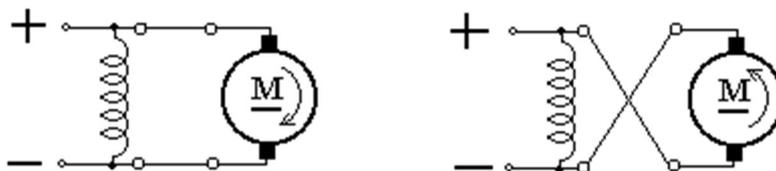
P_{ADD} sono le perdite addizionali dovute all'isteresi e alle correnti parassite indotte sulla bulloneria di cablaggio. ecc.

VERSO DI ROTAZIONE DEI MOTORI

I motori in corrente continua ruotano per effetto dell'interazione fra i flussi magnetici di statore e di rotore, determinati dalla corrente di statore e di rotore rispettivamente.

Per invertire il verso di rotazione, nel caso di eccitazione indipendente, è sufficiente invertire la polarità di uno solo degli avvolgimenti, mentre negli altri casi è necessario disporre di un invertitore che mantenendo costante il verso di una delle due correnti, inverte soltanto l'altra.

L'esempio che segue è relativo all'eccitazione in derivazione.



Per le basse potenze sono molto diffusi motori con magneti permanenti sullo statore.