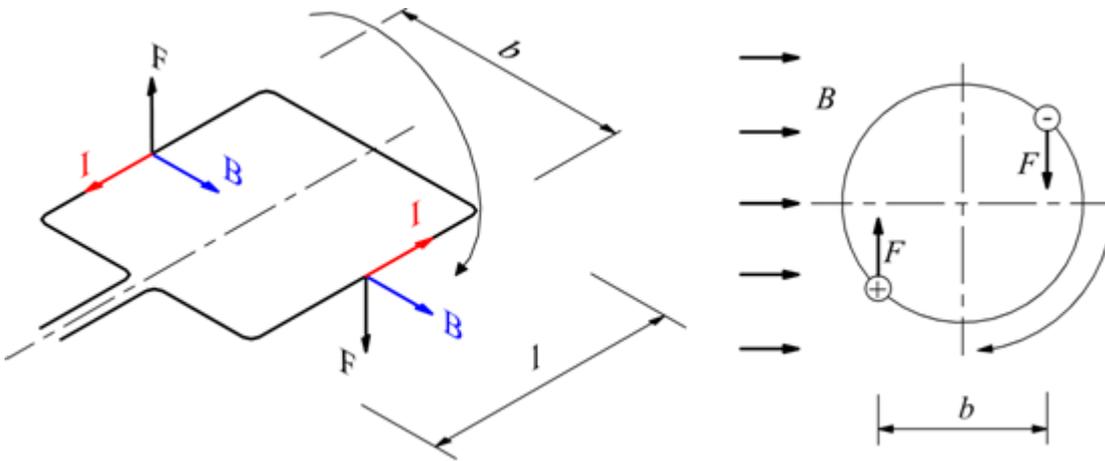


## MOTORE IN CORRENTE CONTINUA

Dalle regole della fisica è noto che un conduttore di lunghezza  $l$ , percorso da una corrente  $I$  e collocato in un campo magnetico con vettore induzione  $B$ , è soggetto ad una forza  $F$  che ha direzione perpendicolare al piano formato da  $B$  ed  $I$ .

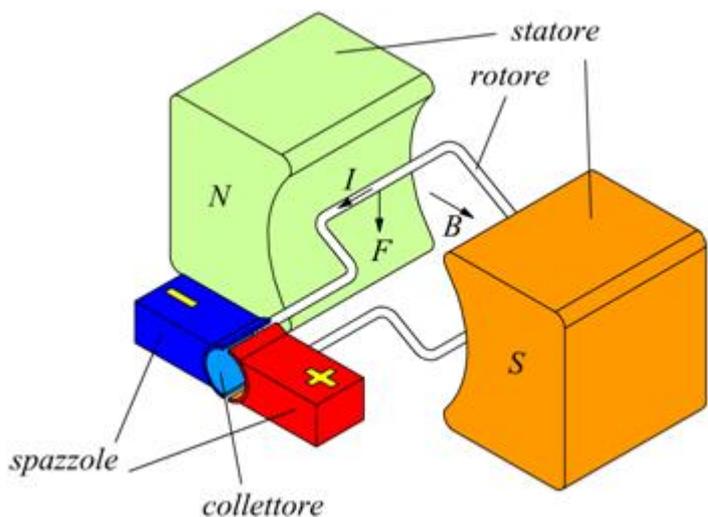


Questo fenomeno è spesso associato alla regola della mano sinistra, dove il dito pollice, l'indice e il medio sono ricondotti all'orientamento ai tre vettori FBI. Se  $\alpha$  è l'angolo fra i vettori  $I$  e  $B$ , si ha  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha$ .

Dalla figura si nota che nella spira  $B$  e  $I$  sono ortogonali fra loro, per cui  $\sin(90^\circ)=1$  si ha, dunque  $F = BI l$ : la spira è dunque soggetta ad una coppia motrice  $C_m$ :

$$C_m = Fb$$

Si ha il moto fino a quando i due vettori  $F$  diventano collineari (quando la spira è in posizione verticale) poi bisogna trovare la maniera per farlo proseguire.

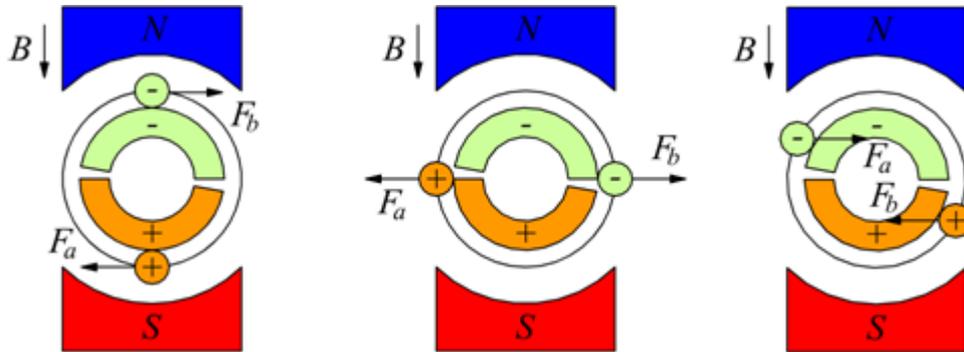


Come si nota, lo stesso lato della spira, ruota per quasi mezzo giro a contatto col polo positivo della spazzola, poi (superando la posizione verticale) lo stesso lato della spira commuta il suo contatto col polo negativo della spazzola, il senso della corrente si inverte, pertanto, nella spira stessa.

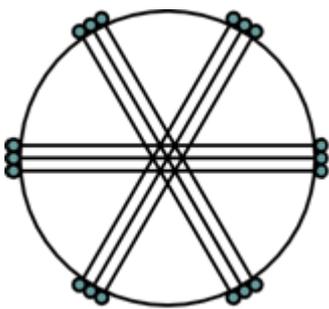
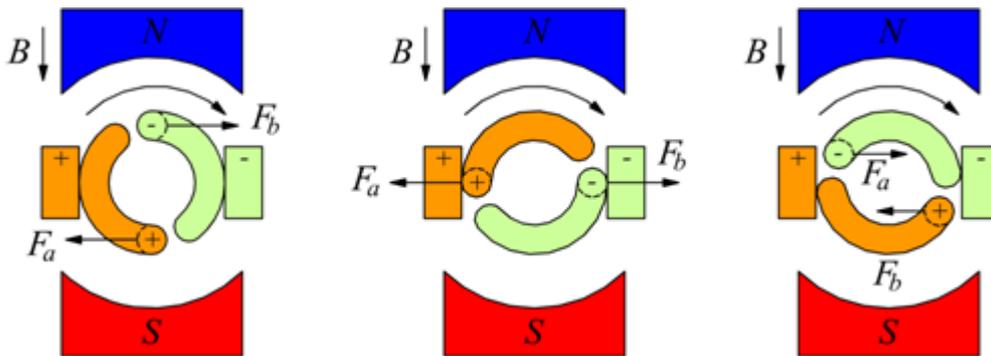
Questo implica, anche, una inversione delle due forze meccaniche, una volta raggiunta la posizione verticale. La commutazione della corrente nella spira, è

dunque, una azione indispensabile a mantenere costante la coppia di forze che alimenta il moto rotatorio (come si osserva dall'animazione).

Se volessimo considerare solo le due estremità della spira rotanti (e a contatto) sulla superficie delle lamelle del collettore, che in questo caso ipotizziamo fisse con lo statore, il contesto potrebbe essere come quello indicato in figura:



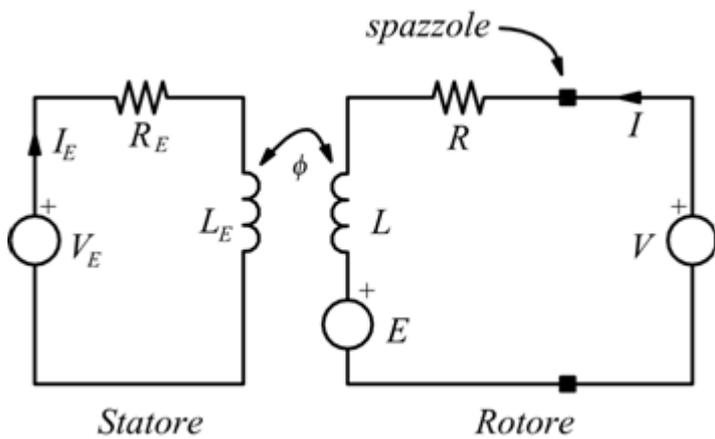
Nella realtà le due lamelle del collettore sono congiunte e solidali ai due estremi della spira rotante e sono a contatto con le spazzole che forniscono l'alimentazione elettrica:



Poi ci sono degli accorgimenti tecnologici che consentono di aumentare l'intensità della forza, sostituendo alla spira uno o più avvolgimenti anch'essi collegati alle spazzole. Questo insieme di avvolgimenti viene montato su un tamburo di materiale ferromagnetico che aumenta l'accoppiamento magnetico fra la parte mobile (rotore) e la parte fissa (statore) e viene denominato armatura.

Le funzioni del rotore e dello statore, possono essere invertite, mettendo i magneti sul rotore e l'armatura sullo statore, come avviene nel caso del motore brushless. Il dispositivo appena descritto, viene chiamato, motore ad eccitazione indipendente, in esso il campo magnetico  $B$  viene generato non da un magnete permanente (calamita) ma da un elettromagnete .

L'intero sistema può essere schematizzato come:



$V_E$  = tensione di campo (di eccitazione)  
 $I_E$  = corrente di campo  
 $L_E$  = bobina (elettromagnete) di campo  
 $I$  = corrente di armatura  
 $R$  = resistenza di armatura  
 $L$  = induttanza di armatura  
 $V$  = tensione di alimentazione di armatura  
 $E$  = forza controelettromotrice d'armatura  
 $\phi$  = flusso di campo

La f.c.e.m.  $E$  viene prodotta dall'induzione elettromagnetica, quando il motore ruota. Sull'armatura, trascurando  $L$  che a regime (in continua) è un corto, si ha:

$$V = RI + E$$

La forza controelettromotrice di armatura è ricondotta alla velocità angolare del rotore dalla:

$$E = K_E \omega$$

$$V = RI + K_E \omega$$

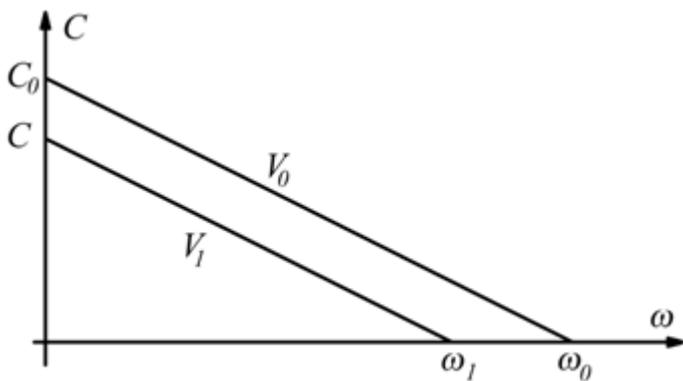
La costante elettrica  $K_E$  dipende dal flusso magnetico e dal numero di spire dell'avvolgimento. È un parametro fondamentale della macchina a corrente continua e si misura in  $V \text{ s/rad}$ ; in esso sono dunque raggruppate tutte le costanti costruttive della macchina. Posto che  $C$  sia la coppia motrice:

$$C = K_T I$$

si ha  $K_T = K_E$  le due costanti hanno una denominazione diversa solo per il fatto che si misurano in unità diverse:  $K_E$  in  $(V \text{ s/rad})$  mentre  $K_T$  in  $(N \text{ m/A})$   $K_T$  viene detta costante meccanica.

Dalle equazioni precedenti si ha:

$$I = \frac{V - K_E \omega}{R} \rightarrow C = \frac{K_T}{R} (V - K_E \omega) \rightarrow V = C \frac{R}{K_T} + K_E \omega$$



La rappresentazione grafica che lega la coppia motrice alla velocità angolare per un dato valore della tensione di armatura è qui riportato:

### FUNZIONAMENTO A VUOTO

Allo spunto (all'avvio): la macchina è ferma ( $\omega=0$ )  $\rightarrow E=0$  nel circuito circola la

corrente 
$$I_S = \frac{V}{R}$$

detta anche corrente di spunto.

$$C_S = K_T I_S = K_T \frac{V}{R}$$

Ovviamente si avrà anche una coppia allo spunto:

A causa di questa coppia, il motore accelera e ruota sempre più velocemente, viene, dunque generata la forza controelettrica  $E = K_E \omega$  con corrente circolante:

$$I = \frac{V - K_E \omega}{R}$$

alla fine il motore raggiungerà la velocità di regime che in assenza di carico è:

$$V = E \rightarrow V = K_E \omega_0 \quad \omega_0 = \frac{V}{K_E} \quad \text{velocità a vuoto}$$

		<i>spunto</i>	<i>transitorio</i>	<i>vuoto</i>
<i>Velocità angolare</i>	$\omega$	0	$\omega < \omega_0$	$\omega = \omega_0 = \frac{V}{K_E}$
<i>Tensione</i>	$E$	0	$E = K_E \cdot \omega < V$	$E = K_E \cdot \omega = V$
<i>Corrente</i>	$I$	$I_S = \frac{V}{R}$	$I = \frac{V - E}{R} = \frac{V - K_E \cdot \omega}{R}$	$I = 0$
<i>Coppia</i>	$C$	$C_S = K_T \cdot I_S = K_T \frac{V}{R}$	$C = K_T \cdot \left( \frac{V - E}{R} \right)$	$C = 0$

## FUNZIONAMENTO SOTTO CARICO

Durante il funzionamento a vuoto la macchina ruota con corrente e coppia nulle, non c'è scambio di potenza fra la macchina e l'esterno.

Applicando una coppia resistente  $C_L$  il rotore rallenta con E e circola una corrente:

$$I = \frac{V - K_E \omega}{R}$$

che produce una coppia motrice  $C=C_L$ .

Il motore si stabilizza a quella velocità che gli permette di generare una coppia motrice esattamente uguale ed opposta a  $C_L$ . A regime dunque è  $C=C_L$ .

$$I = \frac{C_L}{K_T} \Rightarrow E = V - RI = V - R \cdot \frac{C}{K_T} \quad \text{ma} \quad \omega = \frac{E}{K_E} \quad \text{per cui:}$$

$$\omega = \frac{V - R \cdot \frac{C}{K_T}}{K_E} = \frac{V}{K_E} - \frac{RC}{K_T^2} = \omega_0 - \frac{RC}{K_T^2} \quad \text{ponendo} \quad H = \frac{R}{K_T^2} \quad \text{si ha}$$

$$\omega = \omega_0 - HC$$

H è denominata costante motore.

## POTENZA

$$P_A = P_U + P_m + P_e$$

$$\eta = \frac{P_U}{P_A} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_A = \text{Potenza assorbita} \\ P_U = \text{Potenza utile} \\ P_m = \text{Perdite meccaniche} \\ P_e = \text{Perdite elettriche (RI}^2\text{)} \end{array} \right.$$

Le perdite elettriche in particolare, sono costituite dalle perdite per effetto joule sul rotore e dalla potenza di eccitazione del circuito magnetico:

$$P_e = V_E I_E + RI^2$$

Talvolta non vengono assegnati i dati per il calcolo della potenza di eccitazione, così possiamo trascurare il suo contributo