

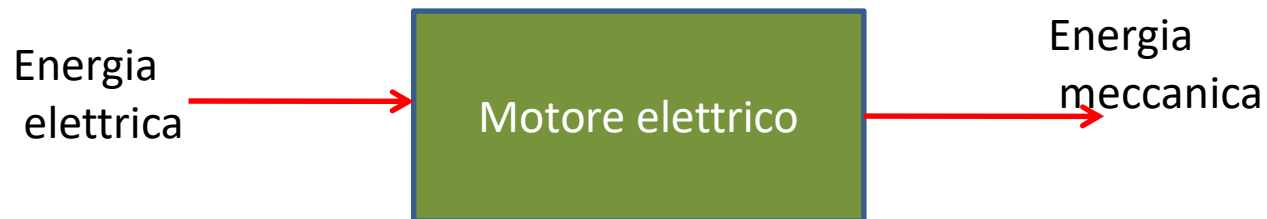
**Motore elettrico**

# Macchine

- Una macchina è un dispositivo che converte energia da una forma a un'altra.
- Le macchine elettriche convertono energia elettrica in energia meccanica e viceversa.
- I motori elettrici sono macchine che convertono energia elettrica in energia meccanica.
- I dispositivi che convertono energia meccanica in energia elettrica vengono detti generatori

# Motore elettrico

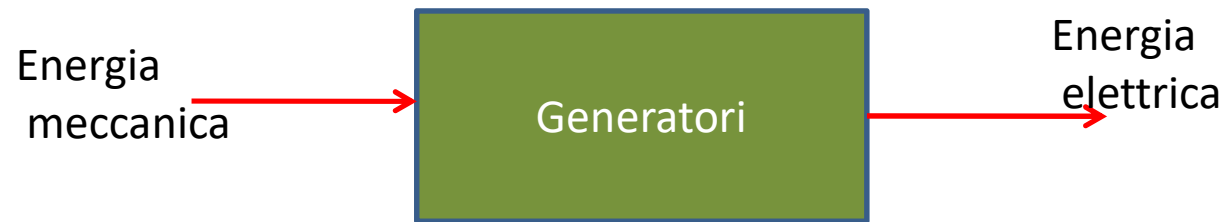
- Le macchine elettriche si classificano in:
  - Rotanti
  - Statiche



# Generatori

Anche in questo caso viene fatta la seguente classifica:

- Rotanti
- Statici (es. i trasformatori)

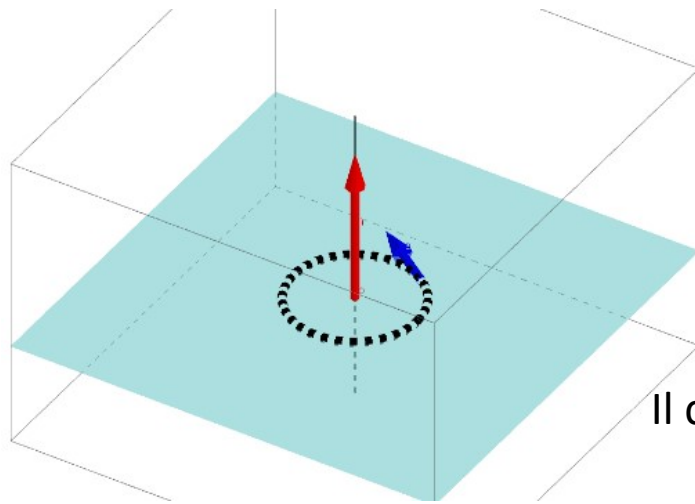


# Ulteriori classifiche

- Le macchine e i generatori possono essere classificati in:
  - Macchine o generatori in corrente continua
  - Macchine o generatori in corrente alternata
- I generatori in corrente continua sono detti dinamo
- I generatori in corrente alternata sono detti alternatori

# Breve introduzione al campo magnetico indotto

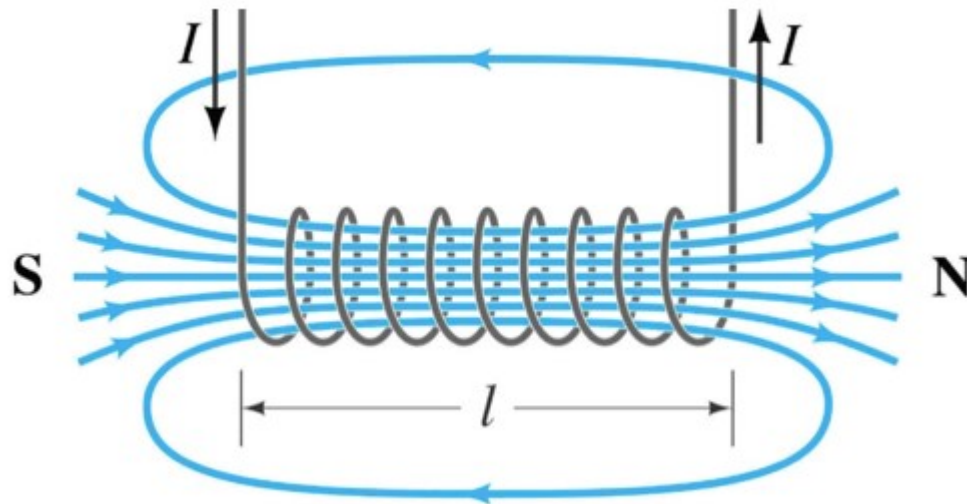
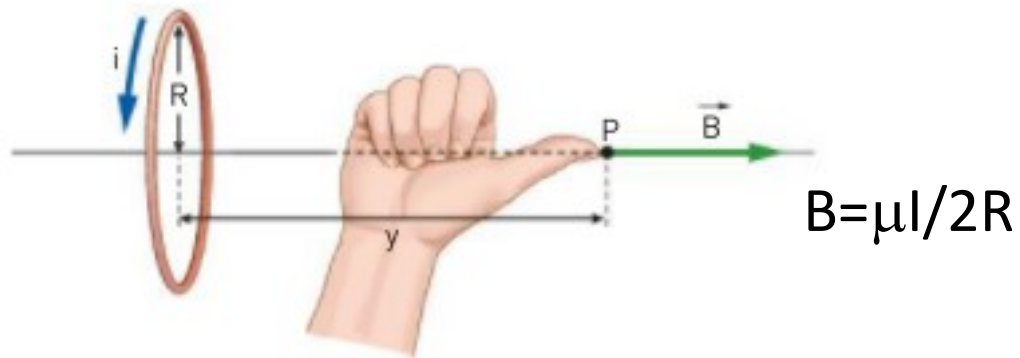
- Legge di Biot e Savart: ogni filo conduttore percorso da corrente  $I$  induce un campo  $B$  perpendicolare al filo e direttamente proporzionale ad  $I$  ed inversamente proporzionale alla distanza dal filo
- $B = \mu I / 2\pi d$  essendo:  $\mu$  la permeabilità del vuoto,  
 $I$  la corrente,  $d$  la distanza dal filo
- La legge di Biot e Savart è sperimentale e fu scoperta da Oersted nel 1820



Dalla figura si nota che se la corrente  $I$  va verso l'alto, il campo  $B$  ha verso antiorario

Il campo  $B$  si misura in Tesla

# Campo magnetico indotto in una spira e in un solenoide

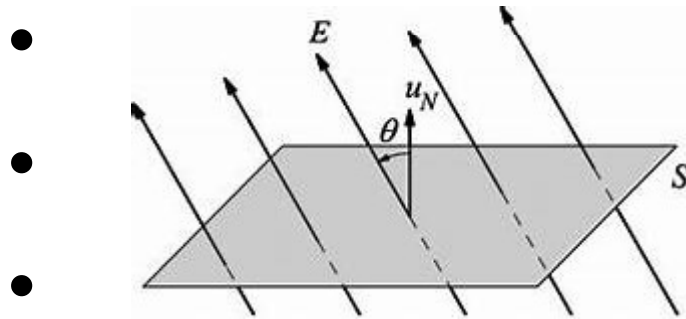


$$B = \mu NI / l = \mu n I$$

$$n = N / l$$

# Flusso di un campo

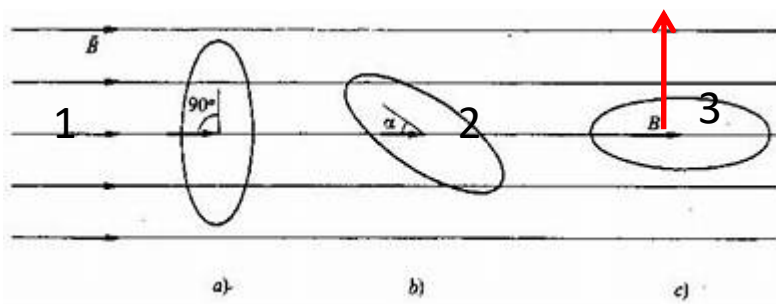
- Si definisce flusso di un campo  $E$  attraverso una superficie  $S$ , il prodotto tra la superficie, il campo e il coseno dell'angolo compreso



$$\varphi = E * S * \cos(\theta)$$

- 1  $\varphi = E * S * \cos(0)$

- 3  $\varphi = E * S * \cos(90)$

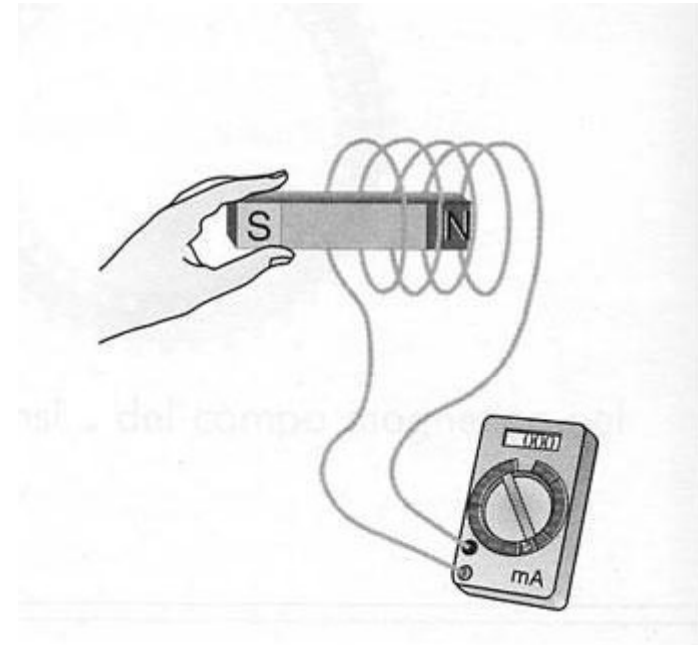
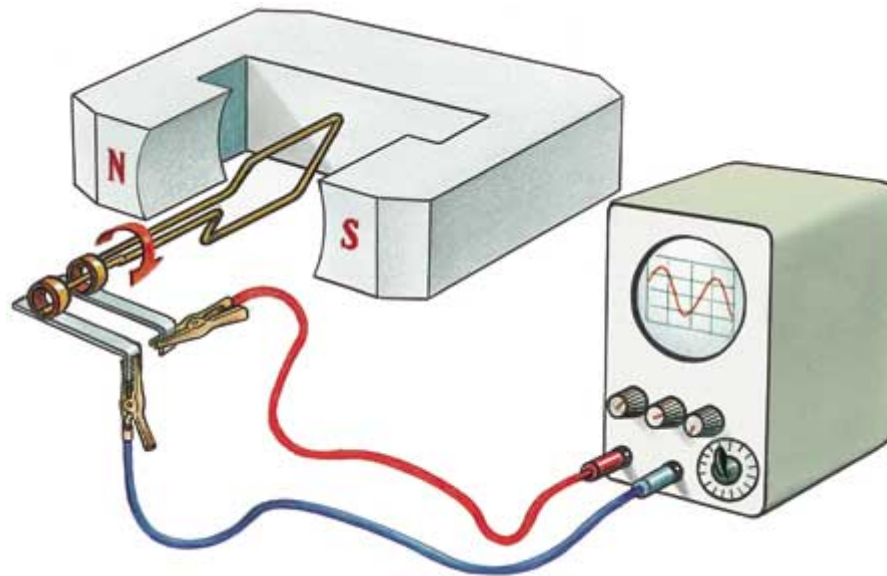
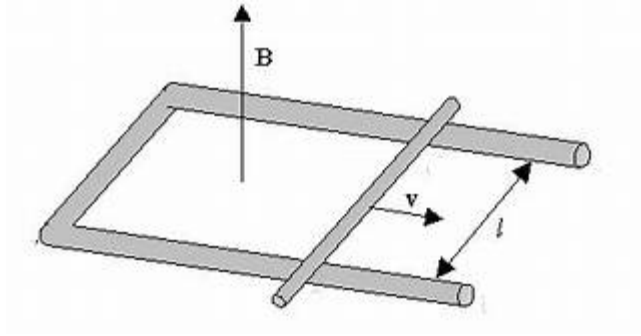




# Flusso variabile di un campo B

- Il flusso del campo magnetico può variare per uno dei seguenti motivi:
  - Cambia B
  - Cambia l'angolo di inclinazione tra il campo B e la superficie
  - Cambia la superficie
  - Cambia la distanza dalla sorgente

# Flusso variabile



# Legge di Faraday-Neumann

- La variazione del flusso del campo magnetico genera una forza elettromotrice indotta proporzionale alla variazione del flusso ed in verso opposto ad esso

$$fem_i = - \frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$$

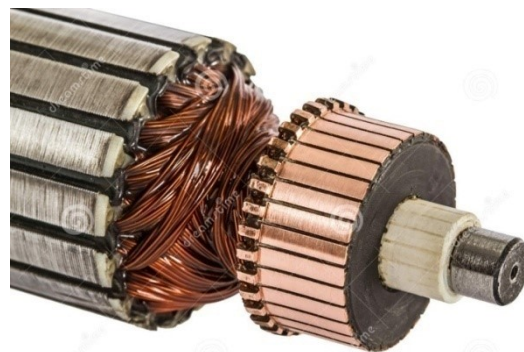
# Motore in corrente continua

- È una macchina elettrica rotante formato fondamentalmente da:

– Statore



– Rotore



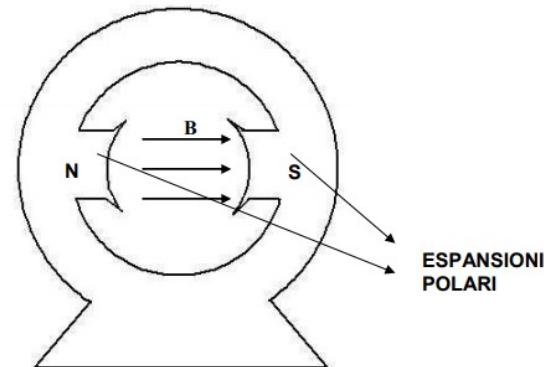
# Statore

È la parte fissa di una macchina formata da espansioni polari in grado di produrre un campo magnetico

È costituito da materiale ferromagnetico come ferro, ghisa, acciaio

Oltre alle espansioni polari, esiste una parte dello statore che lo tiene ben fisso a terra

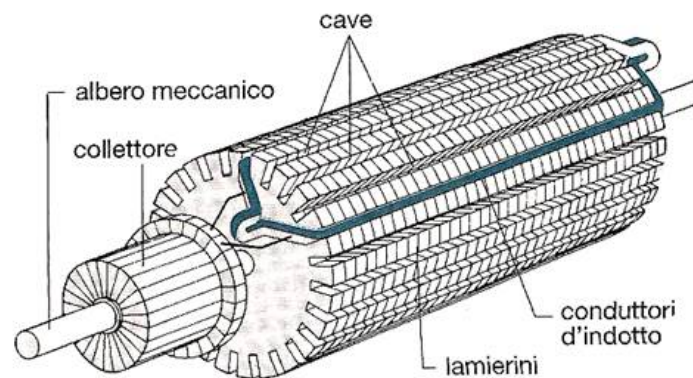
Le macchine di piccola potenza hanno uno statore con espansioni polari formate da magneti permanenti



Nelle macchine di potenza superiori il campo generato nello statore è dovuto alle correnti di eccitazione che circolano in conduttori elettrici posizionati in cavità nello statore

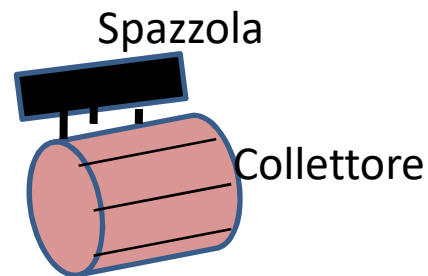
# Rotore

- E' costituito da un cilindro di materiale ferromagnetico posizionato all'interno dello statore, libero di ruotare intorno al proprio asse.
- Sul rotore si trovano apposite cave dove sono posizionati gli avvolgimenti conduttori detti avvolgimento di indotto
- Ai capi degli avvolgimenti di indotti dei quali si genera una forza elettromotrice quando il rotore è in movimento



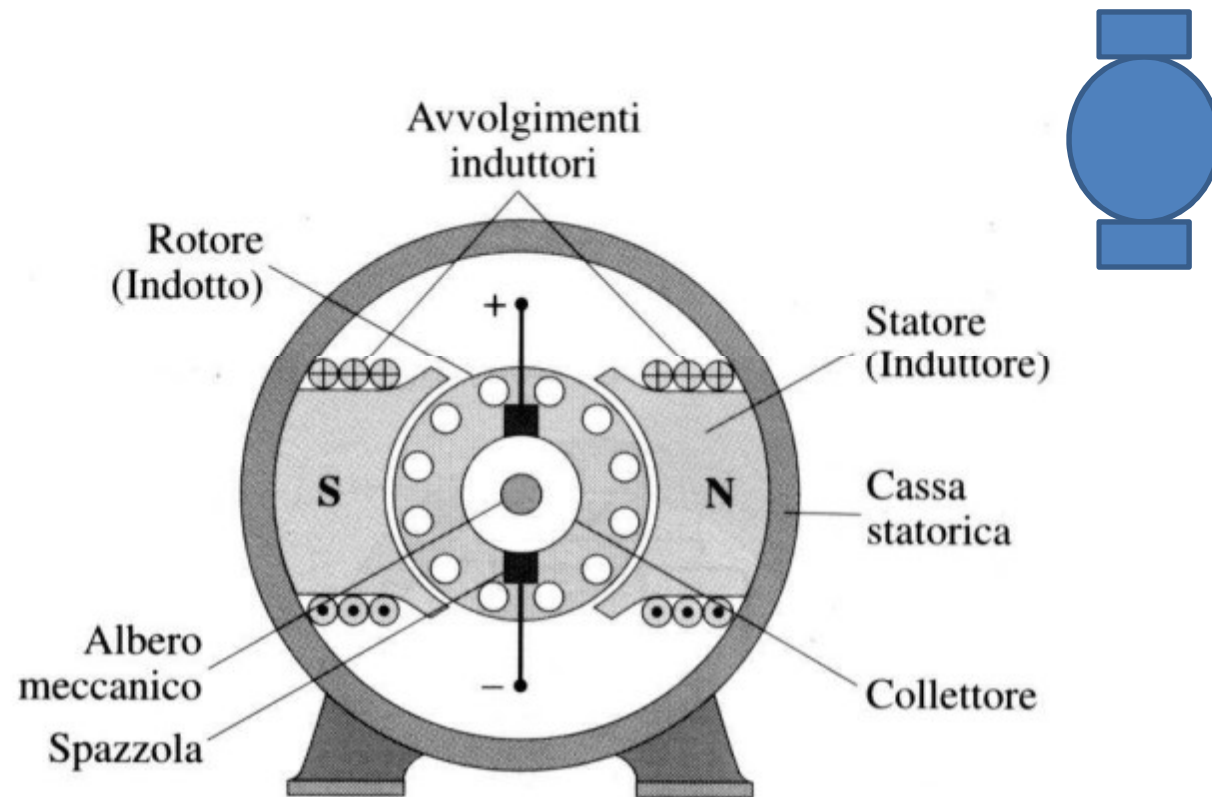
# Il collettore

- Il rotore è inserito tra le estensioni polari dello statore
- La zona tra statore e rotore è detta traferro ed è una parte in aria
- Sull'asse del rotore è posizionato il collettore che fornisce alimentazione agli avvolgimenti nelle cavità del rotore
- Il collettore è formato da lamelle conduttrici isolate tra loro attraverso un dielettrico es. la mica
- Le lamelle scivolano su spazzole fisse collegate all'alimentazione in corrente continua



- Le spazzole sono di grafite

# Motore in corrente continua

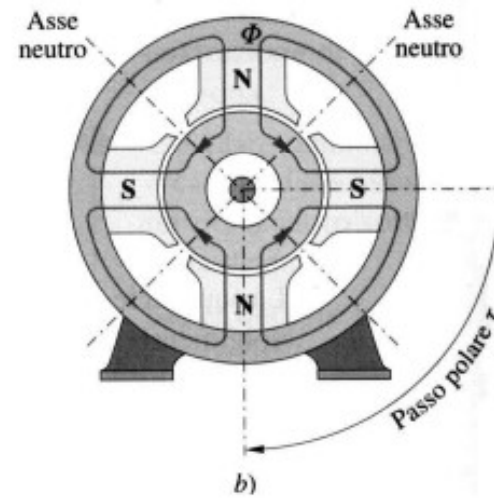
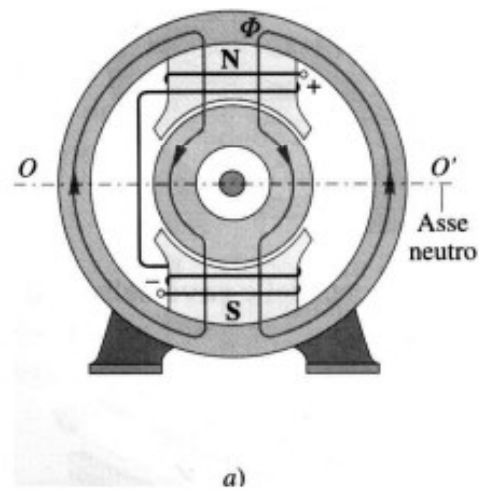




# Coppie polari

- Il numero di coppie polari è detta  $p$
- Uno statore con due poli uno Nord e l'altro Sud, ha una sola coppia polare
- Si definisce passo polare  $\tau$  la distanza angolare tra due espansioni polari adiacenti
- $\tau = 360^\circ/2p$

# Motori con 1 p e con 2 p



# Forza di Lorenz

- Una carica elettrica  $q$  che si muove su un piano formante un angolo  $\varphi$  con il campo magnetico indotto  $B$ , è soggetto ad una forza direttamente proporzionale al campo  $B$ , alla velocità  $V$  della particella

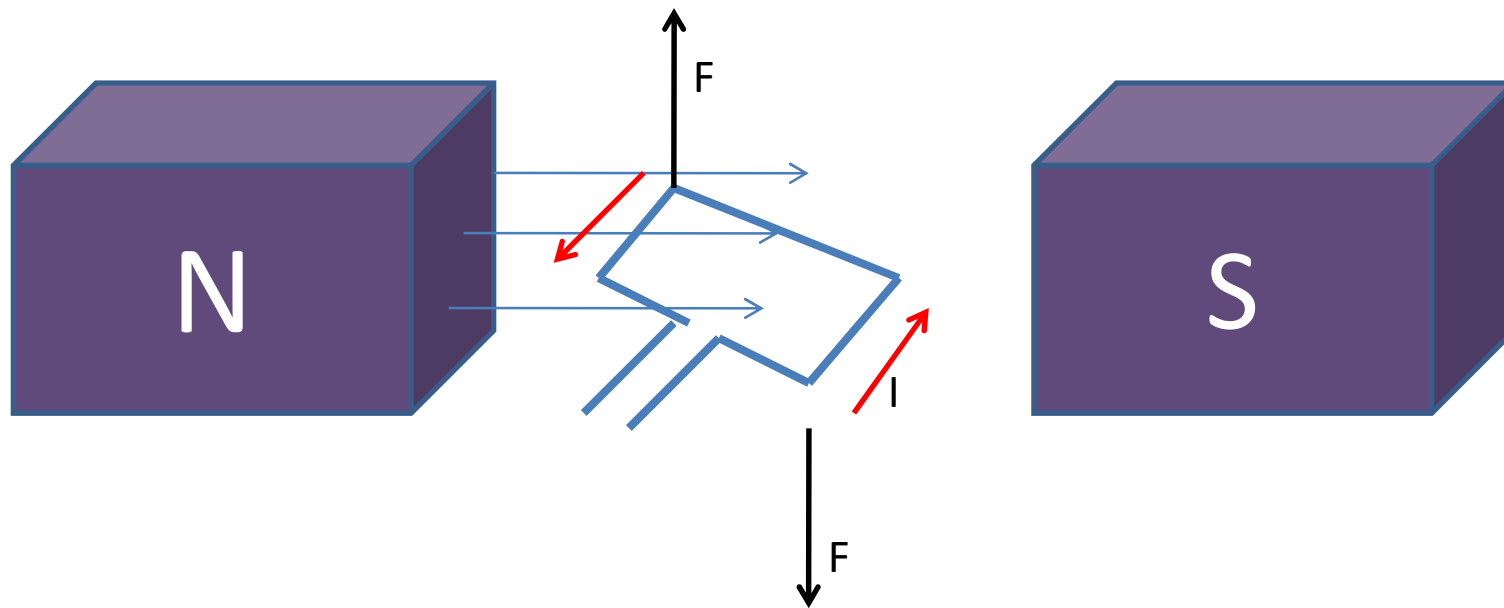
- $F = B * q * V \sin(\varphi)$

- $F = B * I * L \sin(\varphi)$

essendo  $L$  lunghezza del circuito e  $I$  l'intensità della corrente elettrica

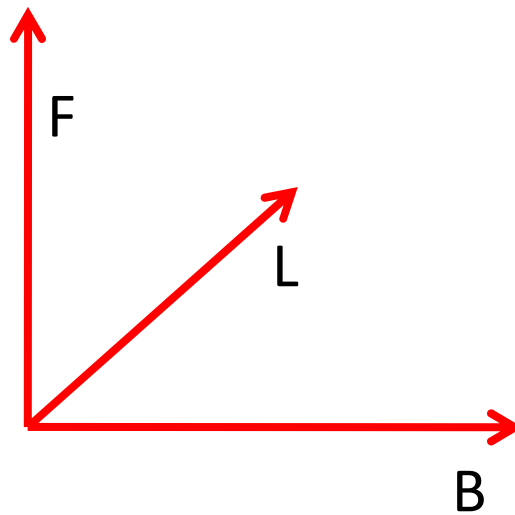
L'unico effetto di questa forza è una rotazione

# Legge di Lorenz



# Regola della mano sinistra

- Il verso della forza è regolata dalla regola della mano destra supponendo che la carica sia negativa



# Caratteristiche di un motore in c.c.

- La coppia C del motore è dato da:  $C = F \cdot 2 \cdot r = B \cdot L \cdot I \cdot 2 \cdot r = K_T \cdot \Phi \cdot I$

dove:

- $K_T$  è la caratteristica costruttiva del motore;
- $\Phi$  è il flusso del campo
- $I$  è la corrente

- Forza elettromotrice indotta:

$$E = K_E \cdot \Phi \cdot \omega$$

Dove  $K_T = K_E$  se si trascura le perdite nel traferro

- Rendimento  $\eta = P_U / P_A$  dove  $P_A = P_U + P_M + P_e$

$P_U$  = potenza utilizzata;  $P_A$  = potenza assorbita;  $P_M$  = potenza meccanica;  $P_e =$   
Potenza elettrica  $RI^2$

- Velocità nominale:  $n =$  numero di giri al

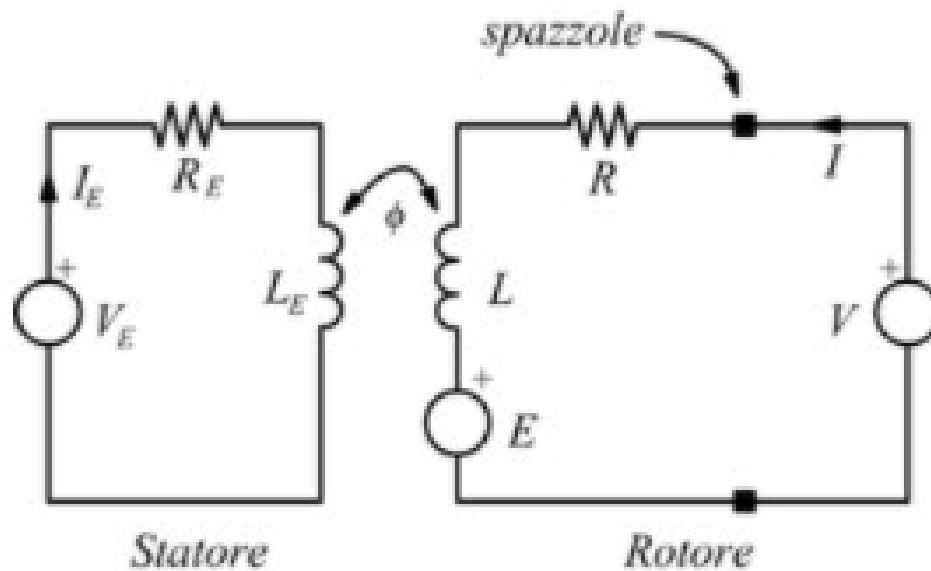
$$\omega = \frac{2\pi}{60} n$$

minuto

# Anello pacinotti

- L'anello Pacinotti, il primo generatore di corrente continua, fu inventato nel 1865 dal fisico Antonio Pacinotti, nato a Pisa nel 1841.
- La macchina ha la forma di un anello intorno al quale è avvolto un filo conduttore, indotto ruotante tra due magneti permanenti, induttore.
- All'esterno dell'anello l'avvolgimento non viene isolato, in modo da farvi scorrere due contatti striscianti, *spazzole* attraverso cui s'inviava corrente ai circuiti utilizzatori.
- Una delle caratteristiche più interessanti dell'anello di Pacinotti è quella di essere *reversibile*, cioè di poter funzionare sia da motore che da generatore o dinamo. Se infatti le spazzole vengono collegate ad una batteria di pile, l'anello si mette a girare ed è quindi in grado di compiere un lavoro meccanico.

# Schematizzazione di un motore



$V_E$  = 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 controelettrica d'armatura  
 $\phi$  = flusso di campo



# Relazione tra i parametri del motore

$$V = RI + E \quad I = \frac{V - E}{R} = \frac{V - K_E \omega}{R}$$

dove:  $E = K_E \omega$     $K_E = K_e \varphi$

Inoltre, la coppia motrice:  $C = K_T I = \frac{K_T}{R} (V - K_E \omega)$

si può dire che approssimativamente vale:  $K_T = K_E$

Quindi:  $V = C \frac{R}{K_T} + K_E \omega$

Quando la macchina è ferma e si dà alimentazione:  $\omega = 0$     $E = 0$     $I_s = \frac{V}{R}$     $\rightarrow$     $C_s = \frac{K_T V}{R}$

$I_s$  è la corrente di spunto    $C_s$  è la coppia di spunto

# Motore senza carico e con il carico

In assenza di carico, la macchina tende ad accelerare; aumenta quindi la forza controelettrica E

che tende a  $V \rightarrow I=0$   $V = E$   $V = K\omega_0 \rightarrow \omega_0 = \frac{V}{K_E}$

Se si applica un carico al motore, si vede che esso rallenta e la forza controelettrica tende a diminuire

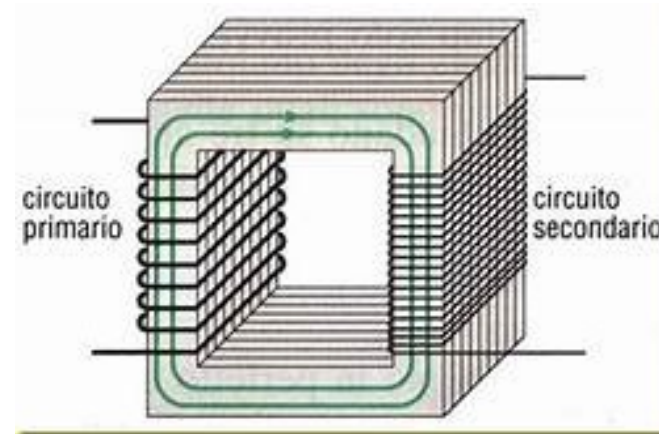
La coppia motrice viene chiamata  $C_L$  e valgono le seguenti relazioni:

$$I = \frac{C_L}{K_T} \quad E = V - RI = V - R \frac{C_L}{K_T}$$

essendo  $\omega = \frac{E}{K_E} \rightarrow \omega = \frac{V - \frac{RC_L}{K_T}}{K_E} = \frac{V}{K_E} - \frac{RC_L}{K_E K_T} = \omega_0 - \frac{RC_L}{K_T^2}$

# Trasformatore

- Il trasformatore è una macchina elettrica non rotante; trasforma una tensione variabile in un'altra variabile
- È costituito da due avvolgimenti su un nucleo metallico: avvolgimento primario e avvolgimento secondario.
- Il primario è collegato ad una tensione variabile in modo da generare un flusso variabile del campo B
- Il secondario non è collegato ad alcuna alimentazione e il flusso variabile del secondario, genera una forza elettromotrice indotta nel secondario
- Il rapporto tra la tensione nel secondario e quella nel primario è direttamente proporzionale al rapporto dei loro avvolgimenti

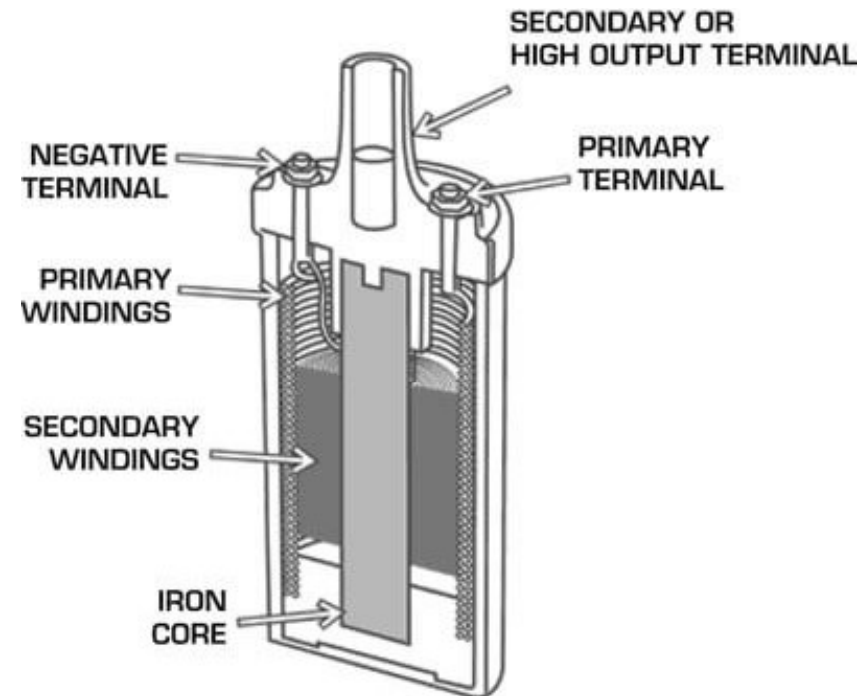
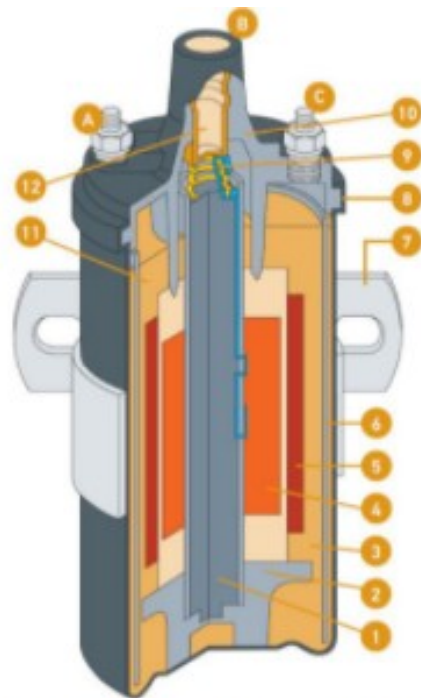


$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

# Bobina auto

- La bobina d'accensione è simile a quella di un trasformatore.
- Il compito della bobina d'accensione è quello di indurre una tensione alta da una bassa.
- La bobina è formata da un nucleo di ferro, un avvolgimento primario, un avvolgimento secondario e i collegamenti elettrici.
- Il nucleo di ferro è formato da lamine e ha il compito di rinforzare il campo magnetico.
- Il nucleo di ferro è avvolto da un sottile avvolgimento secondario di 50.000 spire di rame isolato, di circa 0,05-0,1 mm di spessore.
- L'avvolgimento primario consiste di un filo di rame verniciato di circa 0,6-0,9 mm di spessore ed è avvolto intorno all'avvolgimento secondario.
- La resistenza ohmica primaria della bobina è di circa 0,2-3,0  $\Omega$  e quella secondaria di circa 5-20 k $\Omega$ .
- Il rapporto di avvolgimento da avvolgimento primario a secondario è di 1:100. La struttura tecnica può variare a seconda del campo di utilizzazione della bobina di accensione.
- La corrente primaria che passa attraverso l'avvolgimento primario viene attivata e disattivata mediante l'interruttore di accensione. L'intensità della corrente viene determinata dalla resistenza della bobina.
- La rapidissima direzione della corrente causata dall'interruttore cambia il campo magnetico nella bobina e induce un impulso di tensione che viene trasformato in un impulso di alta tensione mediante l'avvolgimento secondario. Questo, attraverso il cavo d'accensione arriva allo spinterometro di una candela d'accensione per accendere in un motore Otto la miscela di carburante e aria.
- L'intensità dell'alta tensione indotta dipende dalla velocità della modifica del campo magnetico, dal numero di avvolgimenti della bobina secondaria e dallo spessore del campo magnetico. La tensione d'induzione di apertura dell'avvolgimento primario oscilla fra 300 e 400 volt. L'alta tensione della bobina secondaria può essere, a seconda della bobina d'accensione, di fino a 40 KV.

# Bobina auto



1 Nucleo di ferro, 2 Massa isolante, 3 Massa colabile, 4 Avvolgimento secondario, 5 Avvolgimento primario, 6 Lamiera di rivestimento, 7 Clip di fissaggio, 8 Alloggiamento, 9 Contatto a molla alta tensione, 10 Coperchio isolante, 11 Materiale isolante, 12 Uscita alta tensione, A Morsetto 15, B Morsetto 4, C Morsetto 1