

5 Le forze esercitate da campi magnetici su conduttori percorsi da corrente

le PAROLE della FISICA

forza esercitata dal campo magnetico  force exerted by a magnetic field
 motore elettrico  electric motor
 corrente continua  direct current
 corrente alternata  alternating current

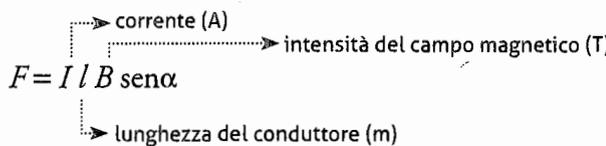


A partire dall'esperienza di Faraday, sappiamo che **un campo magnetico esercita una forza su un conduttore percorso da corrente.**

Sperimentalmente si trova che:

- il modulo della forza che agisce su ogni tratto di lunghezza l del conduttore è direttamente proporzionale all'intensità di corrente I , alla lunghezza del conduttore l , al modulo del vettore campo magnetico e al seno dell'angolo α formato dalla direzione del campo e dalla direzione del conduttore:

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



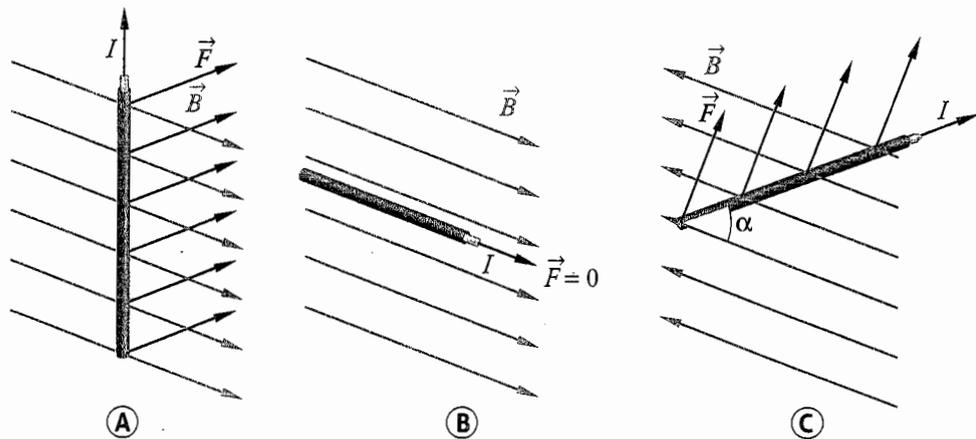
- la direzione della forza è sempre perpendicolare al piano contenente il conduttore e il vettore campo magnetico (**Fig. 26**);
- il verso della forza è determinato da una *regola della mano destra* molto simile a quella applicata per determinare la forza su una carica in moto: se con il pollice indichiamo il verso della corrente I e con l'indice quello del campo magnetico il medio, aperto, indica il verso della forza.

Poiché il modulo della forza è proporzionale al seno dell'angolo α , il suo valore è massimo quando il conduttore è perpendicolare alla direzione del campo ($\sin 90^\circ = 1$), mentre è nullo se il conduttore è parallelo al campo ($\sin 0^\circ = 0$)

TUTOR
Disegno attivo

Figura 26

- A** La forza è massima quando il conduttore è perpendicolare alla direzione del campo magnetico.
B La forza è nulla quando il conduttore è parallelo alla direzione del campo magnetico.
C Se la direzione del campo e la direzione del conduttore formano un angolo α , la forza è $F = I l B \sin \alpha$.



Analogie tra la forza agente su un conduttore e la forza di Lorentz

La forza che agisce sul conduttore percorso da corrente corrisponde alla somma delle forze di Lorentz che agiscono sulle singole particelle cariche da cui è composta la corrente: sappiamo infatti che la corrente consiste nel moto delle cariche elettriche. Limitandoci al caso più semplice, in cui il campo è perpendicolare al moto della particella carica e alla direzione del conduttore, è possibile trovare molte analogie tra le relazioni:

$$F = qvB \quad \text{e} \quad F = IlB$$

- 1) la forza è perpendicolare al piano in cui si trovano i vettori \vec{v} e \vec{B} nel caso della particella carica, e al piano contenente la direzione del conduttore (e quindi la direzione della corrente) e il vettore \vec{B} nel caso del conduttore;
- 2) la forza è in entrambi i casi proporzionale all'intensità del campo magnetico \vec{B} ;
- 3) la forza è proporzionale al prodotto qv (per la particella carica) e Il (per il conduttore) e queste due quantità hanno la stessa unità di misura: $C \cdot \frac{m}{s} = \frac{C}{s} \cdot m = A \cdot m$;
- 4) il verso della corrente corrisponde al verso della velocità della particella carica (positiva).

esempio 6

Determina intensità, direzione e verso della forza agente su un filo di lunghezza $l = 50 \text{ cm}$, percorso dalla corrente $I = 2 \text{ A}$ e che forma un angolo $\alpha = 45^\circ$ con la direzione del campo magnetico \vec{B} , di intensità pari a $0,1 \text{ T}$.

Sostituendo i dati nella relazione $F = IlB \sin\alpha$ otteniamo:

$$F = IlB \sin\alpha \approx 2 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ T} \cdot 0,7 = 0,07 \text{ N}$$

La direzione della forza è sempre perpendicolare al piano contenente il conduttore e il vettore campo magnetico \vec{B} e il verso è determinato dalla regola della mano destra.

Interpretazione dell'esperienza di Ampère

Utilizzando la definizione di campo magnetico e l'espressione $F = IlB \sin\alpha$ per la forza esercitata da un campo magnetico su un filo percorso da corrente, possiamo interpretare l'esperienza di Ampère in termini di azione di campi magnetici su fili percorsi da correnti.

Consideriamo allora due fili, posti a distanza r e percorsi, rispettivamente, da una corrente I_1 (filo 1) e da una corrente I_2 (filo 2). Per semplicità supponiamo che le correnti siano entrambe dirette verso l'alto (Fig. 27).

Consideriamo quindi l'azione del campo magnetico \vec{B}_1 , generato dalla corrente che circola nel filo 1, sul filo 2. Il tratto l_2 del filo 2, percorso da una corrente I_2 , essendo immerso nel campo magnetico generato dal filo 1, risente di una forza di modulo pari a $F_2 = I_2 l_2 B_1$.

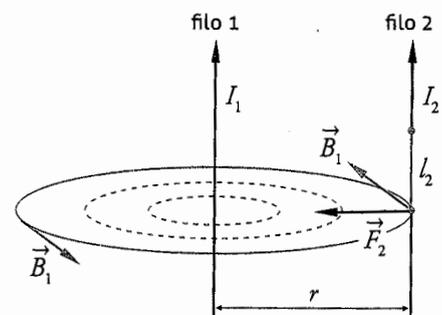


Figura 27

L'interazione fra due fili conduttori percorsi da corrente: per semplificare il disegno, si sono rappresentate solo le linee di forza del campo generato dal filo 1.

Il modulo del campo magnetico \vec{B}_1 è $B_1 = k \frac{I_1}{r}$.

Sostituendo questa relazione nell'equazione $F_2 = I_2 l_2 B_1$ si ottiene:

$$F_2 = I_2 l_2 B_1 = I_2 l_2 k \frac{I_1}{r} = k \frac{I_1 I_2 l_2}{r}$$

che coincide con la forza che agisce sul tratto di lunghezza l_2 del conduttore 2, trovata da Ampère.

Si spiega così anche il fatto che la costante k che compare nella legge di Ampère coincida con la costante trovata per il campo generato da un filo percorso da corrente. Si tratta di due fenomeni strettamente collegati.

Si può facilmente verificare che la forza \vec{F}_2 è diretta perpendicolarmente al filo 2 e al campo \vec{B}_1 e che il verso è diretto verso il filo 1.

Un risultato simmetrico si otterrebbe considerando la forza agente sul conduttore 1 a causa del campo \vec{B}_2 creato dalla corrente del conduttore 2.

Se le correnti hanno lo stesso verso le forze agenti su entrambi i conduttori sono attrattive, se invece le correnti hanno versi opposti le forze sono repulsive, come stabilito da Ampère.

L'azione di un campo magnetico su una spira percorsa da corrente

Vogliamo ora approfondire lo studio degli effetti che la forza generata da un campo magnetico ha su una **spira rettangolare** percorsa da corrente.

A causa del verso della corrente nei suoi differenti rami, **la spira è soggetta a una coppia di forze che tende a farla ruotare (Fig. 28).**

Le due forze \vec{F}_1 e \vec{F}_2 agiscono sui due tratti verticali della spira, mentre sui due tratti orizzontali non agiscono forze, perché il tratto del conduttore è parallelo al campo magnetico ($\sin \alpha = 0$).

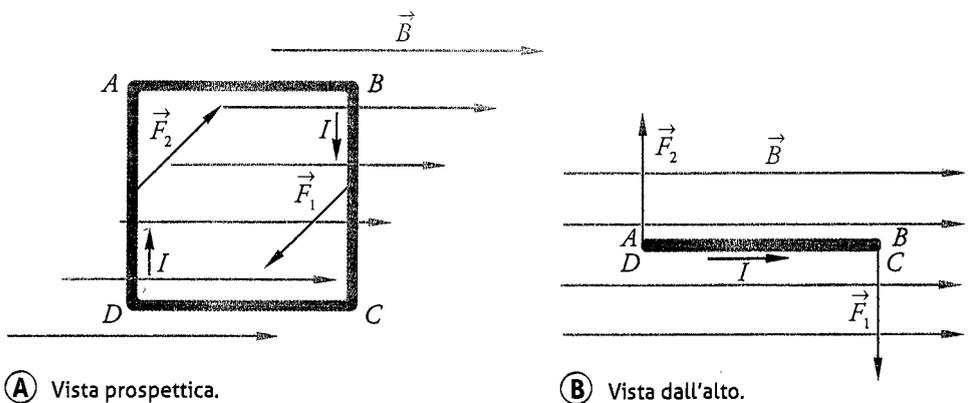


Figura 28

La coppia di forze agente sulla spira metallica rettangolare, disposta all'interno di un campo magnetico uniforme, è costituita dalle forze \vec{F}_1 e \vec{F}_2 che agiscono sui rami della spira perpendicolari al campo magnetico.

Ciò che accade è che la spira ruota fino a disporsi in un piano perpendicolare alle linee del campo \vec{B} (Fig. 29).

In questa posizione le forze tendono solamente a deformare la spira, non più a metterla in movimento. In altri termini, in questa situazione **il momento di tutte le forze è nullo**: la spira è in equilibrio.

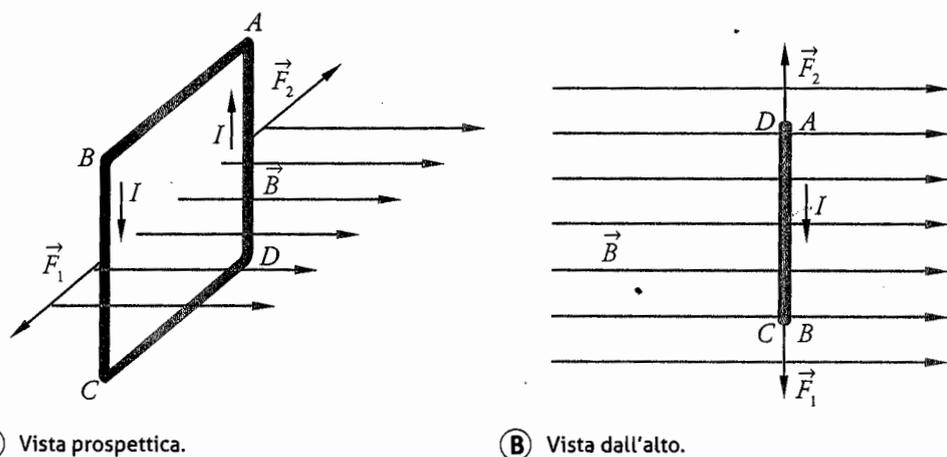


Figura 29
La spira è disposta in un piano perpendicolare alle linee del campo \vec{B} : in questa posizione il momento di tutte le forze è nullo e la spira è in equilibrio.

Il motore elettrico a corrente continua

I **motori elettrici** sono in grado di trasformare energia elettrica in energia meccanica (cinetica) e sono oggi largamente impiegati: dai veicoli agli elettrodomestici, il numero delle applicazioni è incalcolabile. In molti casi i motori elettrici sono preferiti ai motori meccanici per due importanti caratteristiche: sono silenziosi e poco inquinanti. Il primo motore elettrico a corrente continua fu realizzato da un insegnante di fisica americano, Joseph Henry (1797-1878), nel 1831.

Proviamo ora a esaminare il principio del suo funzionamento.

Facciamo una precisazione importante: il termine **corrente continua** non indica che la corrente è costante, ma solo che non cambia mai il suo verso, al contrario di ciò che avviene nella **corrente alternata**.

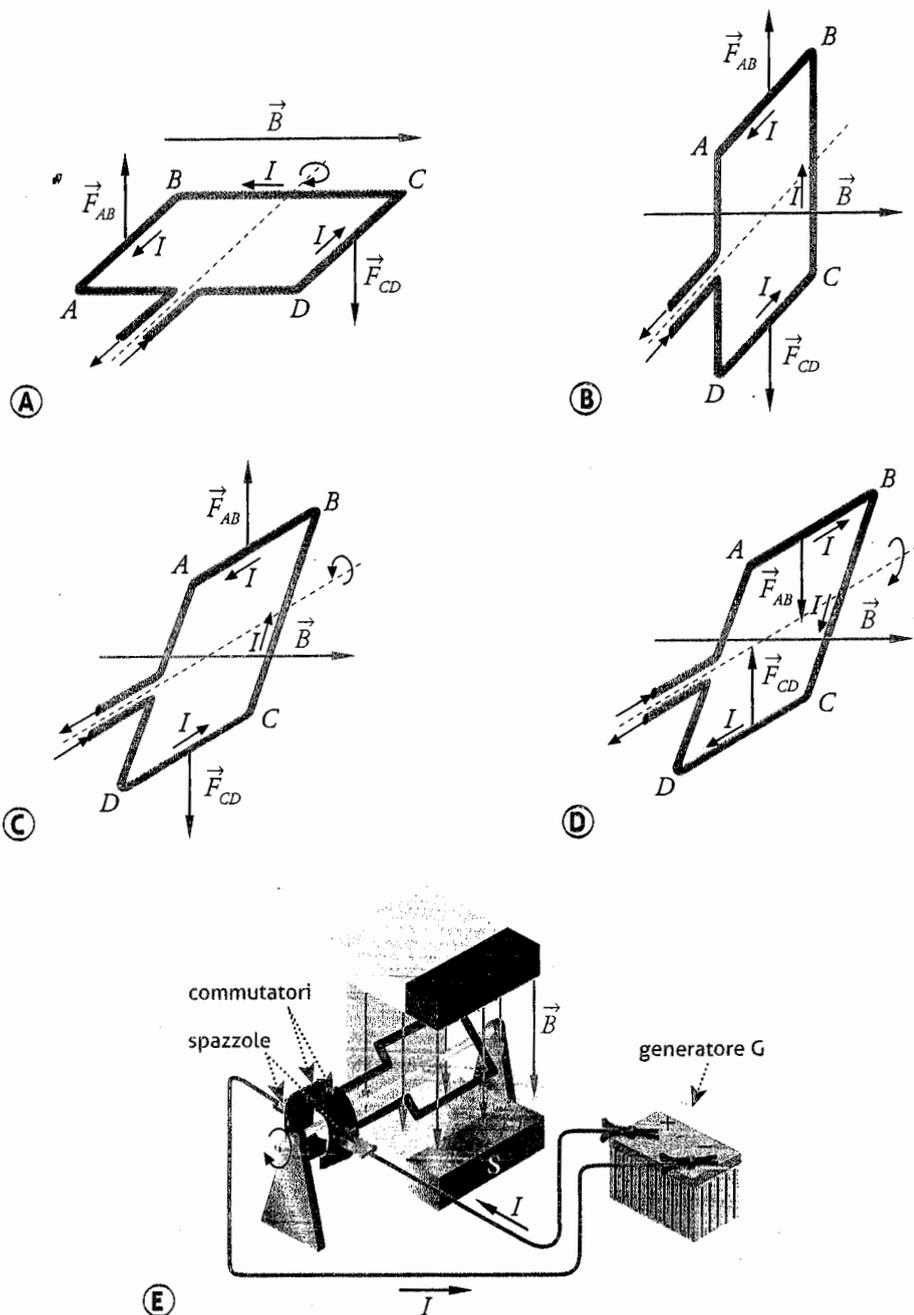
Sappiamo che su una spira conduttrice percorsa da corrente e immersa in un campo magnetico costante agiscono due forze che costituiscono una coppia in grado di metterla in rotazione (Fig. 30A).

La spira ruota fino a disporsi perpendicolarmente alla direzione del campo magnetico (Fig. 30B), ma per inerzia continua il suo movimento poco oltre questa posizione di equilibrio.

Tuttavia, superata la posizione perpendicolare al campo, le forze agenti sulla spira tendono a contrastarne il moto e a riportarla nuovamente indietro in posizione perpendicolare al campo (Fig. 30C).

È tuttavia possibile mantenere la rotazione, ovvero l'azione motrice della coppia di forze, a condizione che nel momento in cui la spira supera la posizione di

equilibrio, si inverte il verso della corrente. In questo caso anche la coppia di forze agenti inverte il proprio verso e la rotazione si mantiene (**Fig. 30D**). Per invertire il verso della corrente è possibile collegare la spira al generatore di corrente attraverso contatti solidali con la spira, detti **commutatori**, che *strisciano* su apposite **spazzole** collegate al generatore, in modo che ogni mezzo giro si inverta la polarità della corrente (**Fig. 30E**).



TUTOR
Disegno attivo

Figura 30
Il funzionamento del motore elettrico.

**RAGIONA
RISPONDI**

- 1 A quali forze è sottoposta una spira percorsa da corrente in un campo magnetico?
- 2 In un motore elettrico, da che cosa è generata la coppia di forze che mette in movimento la spira? Come si mantiene la sua rotazione?