

3 La forza di Lorentz e il campo magnetico

le PAROLE della FISICA



- forza di Lorentz Lorentz force
- legge di Biot-Savart Biot-Savart law
- tesla tesla
- spira loop
- solenoido solenoid

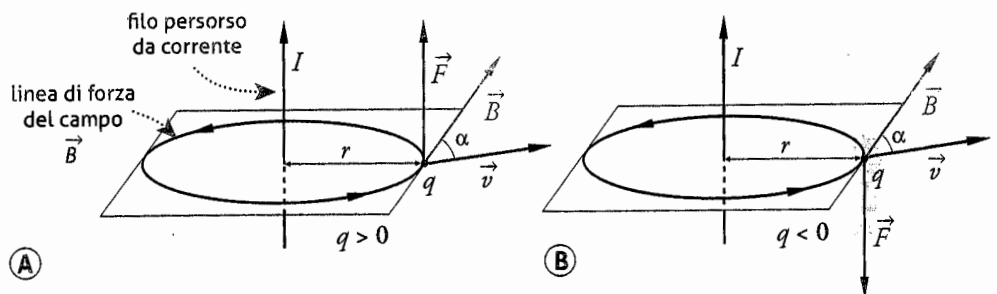
La forza di Lorentz

Immaginiamo di disporre nello spazio vuoto un filo rettilineo molto lungo, attraversato da una corrente di intensità I diretta verso l'alto. Sappiamo che esso genera un campo magnetico \vec{B} con linee di forza circolari concentriche con verso antiorario. In questo paragrafo indicheremo *come* determinare il *modulo* del campo magnetico, partendo dagli effetti misurabili che produce su una particella di carica q in moto.

Immaginiamo quindi che, a distanza r dal filo, una particella con carica elettrica positiva q si muova con velocità \vec{v} costante in modulo. Per semplificare lo studio, supponiamo che la direzione della velocità della particella giaccia nello stesso piano, perpendicolare al filo di corrente, che contiene anche il vettore \vec{B} . Si verifica sperimentalmente che (Fig. 15):

Figura 15

- A La forza cui è sottoposta la particella di carica q è perpendicolare al piano individuato da \vec{v} e da \vec{B} .
- B La forza che agisce su una particella con carica negativa in moto con velocità uguale in modulo, direzione e verso, ha verso opposto.



- la particella è sottoposta a una **forza perpendicolare al piano** contenente i vettori \vec{v} e \vec{B} ;
- il modulo della forza è uguale a:

$$F = k \frac{q I v \sin \alpha}{r}$$

intensità della corrente (A)
 carica elettrica (C) ← ↑ → velocità della carica (m/s)
 → distanza carica-filo (m)

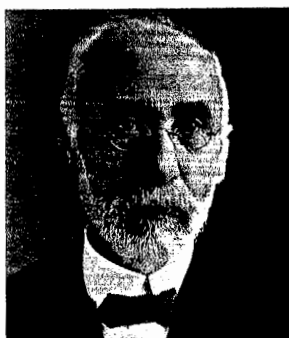


Figura 16
Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928).

PLUS
 Biografia
 Hendrik Antoon Lorentz

dove α è l'angolo tra il vettore velocità \vec{v} e il vettore \vec{B} . La forza così definita è detta **forza di Lorentz**, dal nome del fisico olandese Hendrik Antoon Lorentz (Fig. 16), che per primo la determinò. Il valore della costante k è $2 \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$ e coincide quindi con la costante determinata da Ampère. Daremo più avanti una spiegazione di questa "coincidenza".

Possiamo anche interpretare il termine $v \sin \alpha$ come la componente della velocità perpendicolare al vettore campo magnetico:

- la forza è quindi nulla se $v = 0$ (particella in quiete) o se $\alpha = 0$ (velocità della particella parallela alla direzione del campo magnetico), poiché in questo caso si ha $\sin(0^\circ) = 0$;
- la forza è massima quando $\alpha = 90^\circ$ (campo e velocità perpendicolari), poiché in questo caso si ha $\sin(90^\circ) = 1$.

Il **verso della forza** si ottiene con la **regola della mano destra** (Fig. 17): se con il pollice indichiamo il verso del vettore \vec{v} e con l'indice il verso del vettore \vec{B} , il medio, aperto perpendicolarmente alle altre due dita, indica il verso della forza. La forza che agisce su una particella con carica negativa in moto con velocità uguale in modulo, direzione e verso, ha semplicemente verso opposto.

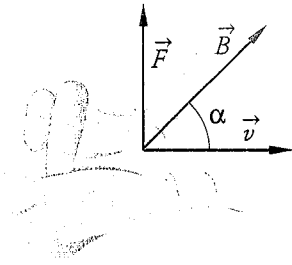


Figura 17
La regola della mano destra.

esempio 2

Determina l'intensità, la direzione e il verso della forza di Lorentz che agisce su un protone in moto con velocità \vec{v} uguale a 10^5 m/s, alla distanza di 0,5 m da un filo rettilineo percorso da un corrente di 2 A, sapendo che la direzione della velocità forma un angolo α di 30° con la direzione del campo \vec{B} .

La carica del protone è $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Il modulo della forza di Lorentz è uguale a:

$$F = k \frac{q I v \sin \alpha}{r} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2 \text{ A} \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,5}{0,5 \text{ m}} = 6,4 \cdot 10^{-21} \text{ N}$$

La direzione è perpendicolare al piano in cui giacciono i vettori \vec{v} e \vec{B} e il verso è quello determinato con la regola della mano destra.

Il campo magnetico generato da un filo percorso da corrente

A partire dalla forza di Lorentz possiamo definire l'intensità del campo magnetico \vec{B} , con un procedimento logico simile a quello seguito per definire l'intensità del campo elettrico \vec{E} . Il modulo del campo elettrico \vec{E} è, per definizione, il rapporto tra la forza che agisce su una particella carica di prova e la carica stessa, $E = \frac{F}{q}$.

Per una carica puntiforme Q , il modulo del campo \vec{E} è dato da:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1}{q} \cdot k \frac{Qq}{r^2} = k \frac{Q}{r^2}$$

dove F è il modulo della forza di Coulomb, Q la carica sorgente del campo e q la carica di prova. Il campo elettrico non dipende quindi dalla carica di prova q , ma solo dalla sorgente del campo Q e dalla posizione in cui effettuiamo la misura.

Ritorniamo allora alla forza di Lorentz.

Consideriamo il caso più semplice in cui $\alpha = 90^\circ$ e $\sin \alpha = 1$. In questa situazione l'espressione della forza di Lorentz diventa:

$$F = k \frac{q I v}{r}$$

Il modulo del campo magnetico \vec{B} , generato da un filo percorso da corrente, può essere allora definito come il rapporto tra la forza che agisce su una particella con

carica q in moto con velocità in modulo uguale a v , a distanza r dal filo percorso dalla corrente I , e il prodotto delle grandezze q e v (che dipendono unicamente dalla particella):

$$B = \frac{F}{qv} = k \frac{q I v}{q v r} = k \frac{I}{r}$$

$\xrightarrow{\text{corrente che circola nel filo (A)}}$
 $\xrightarrow{\text{distanza della particella di carica } q \text{ dal filo (m)}}$

Questa regola prende il nome di **legge di Biot-Savart** dal nome dei fisici francesi, Jean Baptiste Biot (1774-1862) e Felix Savart (1791-1841), che la determinarono nel 1820.

Il modulo del campo magnetico **non dipende quindi dalle grandezze relative alla particella in moto** (q e v), **ma unicamente dalla sorgente del campo** (la corrente I che circola nel filo) **e dalla distanza della particella dal filo** (r), così come il campo elettrico \vec{E} non dipende dalla carica di prova, ma unicamente dalla sorgente del campo e dalla posizione.

Dalla relazione $B = \frac{F}{qv}$ possiamo ricavare l'**unità di misura del campo magnetico** nel SI, che prende il nome di **tesla** (T):

$$\frac{\text{forza} \left(\frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right)}{\text{carica} \left(\frac{\text{C} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right)} = \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \text{m}} = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = \text{T}$$

$\xrightarrow{\text{velocità}}$

Possiamo esprimere a questo punto la **forza di Lorentz** in funzione del campo magnetico \vec{B} e delle grandezze relative alla particella carica in moto (q e v):

$$F = q v B \sin \alpha$$

$\xrightarrow{\text{carica (C)}}$
 $\xrightarrow{\text{campo magnetico (T)}}$
 $\xrightarrow{\text{velocità (m/s)}}$

dove α è l'angolo tra il vettore velocità \vec{v} e il vettore \vec{B} . Se $\alpha = 90^\circ$ ($\sin \alpha = 1$) si ha:

$$F = q v B$$

Il campo magnetico di una spira

Con il termine **spira** si intende un filo conduttore chiuso, generalmente di forma circolare. Se la spira è percorsa da corrente, si crea un campo magnetico. Si può dimostrare che l'intensità del campo al centro di una spira di raggio R percorsa da una corrente I è uguale a:

$$B = \frac{\pi k I}{R}$$

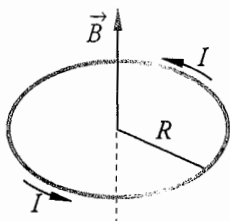


Figura 18

La direzione e il verso del vettore campo magnetico B generato da una spira percorsa dalla corrente in verso antiorario. Se il verso della corrente fosse orario, allora il vettore B sarebbe rivolto verso il basso.

L'intensità del campo magnetico è dunque **direttamente proporzionale alla corrente I** e **inversamente proporzionale al raggio R della spira**.

La direzione del campo, nel centro della spira, è perpendicolare al piano che contiene la spira; il verso si ottiene con la **regola della mano destra**, dove questa volta però il pollice indica il verso del campo magnetico e le dita della mano chiusa il verso della corrente (**Fig. 18**).

Il campo magnetico di un solenoide

Un **solenoide** è un avvolgimento costituito da un filo conduttore avvolto a elica su un materiale isolante da un punto di vista elettrico (Fig. 19).

Nel suo insieme, un solenoide equivale a un sistema di spire circolari tutte uguali affiancate l'una all'altra. Nel caso la lunghezza del solenoide sia molto maggiore del suo raggio, il **campo magnetico è uniforme** al suo interno (costante in modulo, direzione e verso in ogni punto) e trascurabile all'esterno.

All'interno del solenoide la direzione delle linee di forza del campo è parallela al suo asse, mentre il verso è dato dalla *regola della mano destra*: se le dita della mano, chiudendosi, indicano il verso della corrente che circola nel solenoide, il pollice indica il verso del campo magnetico (Fig. 20). Il campo magnetico all'interno di un solenoide può essere considerato come la somma vettoriale dei campi magnetici generati da ogni singola spira.



Figura 19

Un solenoide da laboratorio a sezione circolare: le spire di filo conduttore sono avvolte su un cilindro cavo di materia plastica, isolante dal punto di vista elettrico.

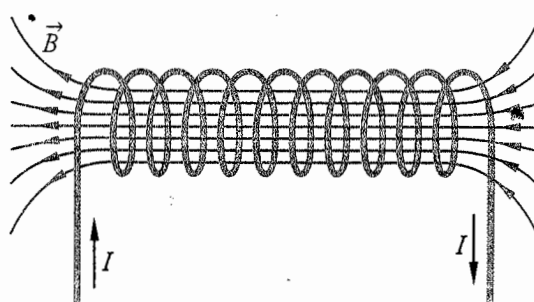


Figura 20

Le linee di forza del campo magnetico generato da un solenoide: il campo è praticamente uniforme all'interno del solenoide e nullo all'esterno.

L'intensità del campo magnetico all'interno del solenoide è uguale a:

$$B = \frac{2\pi k I N}{l}$$

→ corrente nel solenoide (A)
→ numero di spire del solenoide
→ lunghezza del solenoide (m)

dove N è il numero delle spire del solenoide, I la corrente che lo attraversa e l la sua lunghezza.

Indicando con $n = \frac{N}{l}$ il numero di spire per unità di lunghezza, l'equazione precedente può anche essere scritta come $B = 2\pi k I n$:

L'intensità del campo è direttamente proporzionale alla corrente I e al numero di spire per unità di lunghezza (n).

esempio 3

Determina l'intensità del campo magnetico all'interno di un solenoide composto da 100 spire, lungo 50 cm e attraversato da una corrente di 4 A.

L'intensità del campo magnetico all'interno del solenoide è uguale a:

$$B = \frac{2\pi k I N}{l} = \frac{6,28 \cdot \left(2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}\right) \cdot 4 \text{ A} \cdot 100}{0,5 \text{ m}} \approx 10^{-3} \text{ T}$$

PLUS

Laboratorio
Il campo magnetico generato da una corrente continua

RAGIONA RISPONDI



- Una particella con carica q e velocità \vec{v} si muove all'interno di un campo magnetico \vec{B} : la forza di Lorentz è massima se la velocità è perpendicolare al campo magnetico oppure se è parallela? Spiega perché.
- Il numero delle spire di un solenoide viene raddoppiato, e nello stesso tempo è raddoppiata la sua lunghezza. Il campo magnetico all'interno del solenoide aumenta, diminuisce o rimane costante?