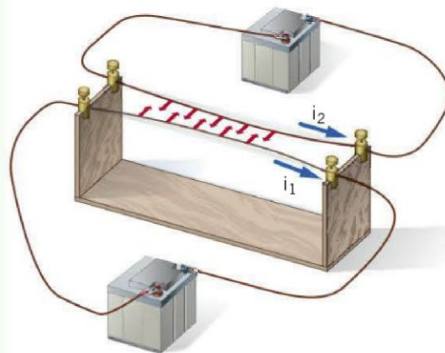
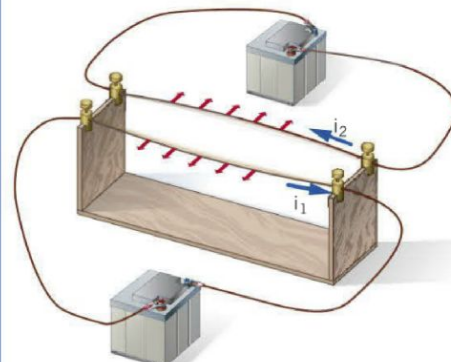


► Egli verificò che due fili rettilinei e paralleli si attraggono se sono percorsi da correnti nello stesso verso.



A

► Invece i due fili rettilinei e paralleli si respingono se conducono correnti elettriche che hanno versi opposti.



B

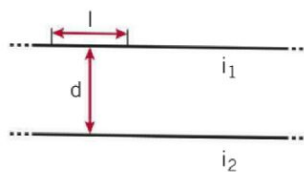


Figura 7 Grandezze fisiche che compaiono nella legge di Ampère.

Eseguendo l'esperimento con due fili molto più lunghi della distanza che li separa, si ottiene la **legge di Ampère** (figura 7):

il valore della forza che agisce su un tratto, lungo l , di uno dei fili è direttamente proporzionale alle due correnti che circolano; inoltre è inversamente proporzionale alla distanza d tra i fili.



La formula che esprime la legge di Ampère è, quindi,

$$F = k_m \frac{i_1 i_2}{d} l.$$

Per semplicità, immaginiamo di compiere l'esperimento di Ampère nel vuoto. In questa condizione, nel Sistema Internazionale è abituale porre

$$k_m = \frac{\mu_0}{2\pi},$$

dove μ_0 è una nuova costante, detta **permeabilità magnetica del vuoto**. Per essa è stato scelto un valore esatto:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}. \quad (1)$$

Quindi, nel Sistema Internazionale l'espressione usuale della forza di Ampère è:



permeabilità magnetica
del vuoto (N/A^2)

prima corrente (A)
seconda corrente (A)

forza (N)

lunghezza (m)
distanza (m)

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{d} l$$

(2)

ESEMPIO

Due fili paralleli, attraversati da correnti di intensità $i_1 = i_2 = 1 \text{ A}$, sono posti alla distanza $d = 1 \text{ m}$.

► Qual è il modulo F della forza elettrica che agisce su un tratto, di lunghezza $l = 1 \text{ m}$, di uno dei due fili?

Per trovare il valore di F sostituiamo i dati numerici nella formula (2):

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2 l}{d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} (1 \text{ A}) \times (1 \text{ A})}{2 \times 1} \times (1) = 2 \times 10^{-7} \text{ N}.$$

La definizione dell'ampere

Il valore della permeabilità magnetica del vuoto μ_0 non è misurato con un esperimento, ma è stato scelto convenzionalmente per definire in modo operativo l'unità di misura dell'intensità di corrente elettrica, cioè l'ampere. Come è mostrato nell'esempio precedente, con la scelta dell'equazione (1):

! una corrente ha intensità di 1 A se, circolando in due fili rettilinei e paralleli molto lunghi, che distano 1 m tra di loro, provoca una forza di $2 \times 10^{-7} \text{ N}$ su ogni tratto di filo lungo 1 m.

La definizione del coulomb

Lungo tutto lo studio dell'elettrostatica il coulomb di carica è stato trattato come un'unità di misura fondamentale, anche se non era stato definito in modo operativo. Una volta introdotte le correnti elettriche, l'ampere è stato considerato (provvisoriamente) come un'unità di misura derivata dal coulomb: per definizione, $1 \text{ A} = (1 \text{ C})/(1 \text{ s})$. Da questa definizione si ricava

$$1 \text{ C} = (1 \text{ A}) \times (1 \text{ s}).$$

Ora, avendo a disposizione l'ampere, che è una delle unità fondamentali del Sistema Internazionale, siamo in grado di dire che cosa è un coulomb di carica:

! un **coulomb** è la carica che attraversa, in un secondo, una sezione di un filo in cui è presente una corrente elettrica di intensità pari a un ampere.

La carica elementare

Con questa definizione la carica di un elettrone vale $-e = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

4 L'INTENSITÀ DEL CAMPO MAGNETICO

Usando un ago magnetico, sappiamo come determinare la direzione e il verso del campo magnetico $\vec{B}$. Rimane ora da definire il suo valore.

A questo scopo utilizziamo un pezzetto di filo elettrico rettilineo. La sua lunghezza è l e l'intensità di corrente che lo attraversa è i . Portiamo questo *filo di prova* nella zona dove c'è il campo magnetico che ci interessa studiare.

ESPERIMENTO VIRTUALE

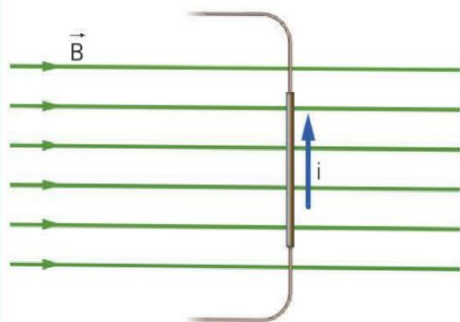
Fili magnetici

- Gioca
- Misura
- Esercitati

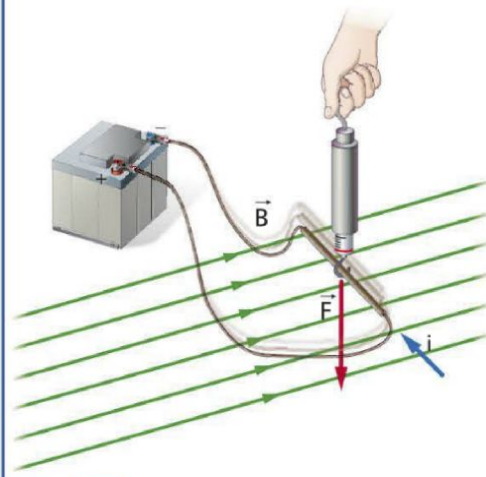


Gli esperimenti mostrano che la forza sul filo di prova dipende dall'angolo che esso forma con le linee di campo magnetico, e che il modulo della forza è massimo quando il filo è perpendicolare alla direzione di $\vec{B}$.

► Per operare in condizioni ben definite, poniamo il filo perpendicolare alle linee del campo magnetico.



► Un dinamometro ci permette di misurare la forza magnetica che agisce sul filo di prova percorso dalla corrente.



Gli esperimenti mostrano che il modulo della forza $\vec{F}$ raddoppia quando si raddoppia o la corrente i oppure la lunghezza l .

Definendo il modulo del campo magnetico B con la formula

$$B = \frac{F}{il}$$

si ottiene quindi un valore che non dipende dalla scelta di i ed l .

La grandezza B ha un valore che dipende solo dal campo magnetico presente e dal punto ove è posto il filo di prova.

L'unità di misura di B

Dalla definizione precedente si può ricavare l'unità di misura di B :

!

campo magnetico
(N/(A·m) o T)

intensità
di corrente (A)

$B = \frac{F}{il}$

forza magnetica (N)

lunghezza (m)

(3)

La formula (3) mostra infatti che l'unità di misura del campo magnetico è il newton fratto ampere fratto metro (N/(A · m)).

Nel Sistema Internazionale questa unità di misura è detta anche *tesla* (simbolo T), dal nome del fisico e inventore serbo Nikola Tesla (1856-1943):

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Il campo magnetico di una piccola calamita è dell'ordine del centesimo di tesla, mentre un elettromagnete capace di sollevare un'auto raggiunge campi magnetici di due tesla.

ESEMPIO

Un filo rettilineo, di lunghezza $l = 1,0$ cm e percorso da una corrente di intensità $i = 0,26$ A è posto in un campo magnetico, in direzione perpendicolare a quella delle linee di campo nel punto in cui esso si trova. La forza magnetica che agisce sul filo ha modulo $F = 3,7 \times 10^{-4}$ N.

- Calcola il modulo B del vettore campo magnetico nella zona in cui si trova il filo.

Sostituendo i valori numerici nella formula (3), otteniamo

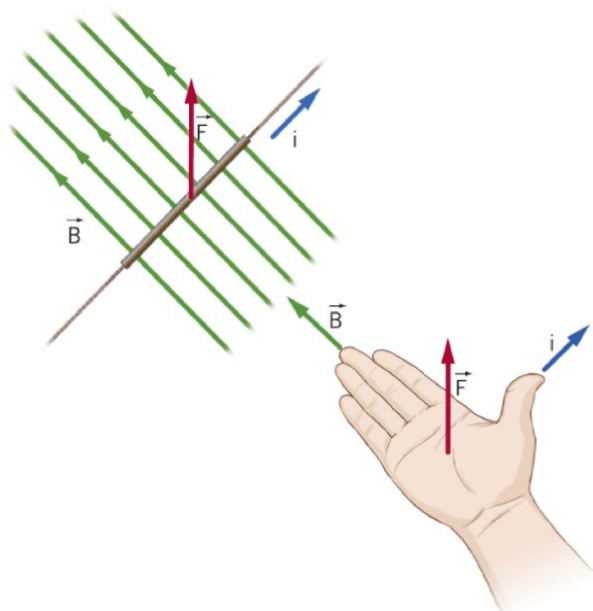
$$B = \frac{F}{il} = \frac{3,7 \times 10^{-4} \text{ N}}{(0,26 \text{ A}) \times (0,010 \text{ m})} = 0,14 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = 0,14 \text{ T}.$$

5 LA FORZA MAGNETICA SU UN FILO PERCORSO DA CORRENTE

Se conosciamo il campo magnetico, siamo in grado di calcolare la forza F che agisce su un pezzo di filo lungo l percorso da una corrente i . Quando il filo è *perpendicolare* alle linee del campo, subisce una forza di modulo

$$F = Bil. \quad (4)$$

Come è mostrato dagli esperimenti di Faraday, la direzione della forza è perpendicolare sia al campo magnetico, sia al filo e il verso è dato dalla regola della mano destra (figura 8).



ANIMAZIONE

L'intensità della forza magnetica (2 minuti)

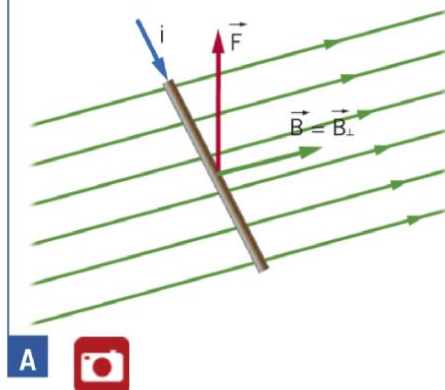


Figura 8 La regola della mano destra fornisce la direzione e il verso della forza magnetica che agisce su un filo percorso da corrente.

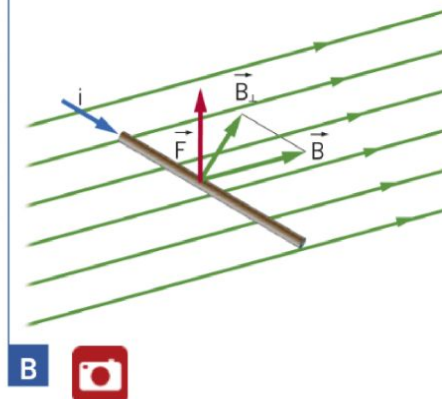
Se il filo non è perpendicolare al campo magnetico, la forza è più piccola. Ciò che conta non è il valore del campo magnetico, ma quello della sua componente $B_{\perp}$ perpendicolare al filo. Nel caso generale la formula diventa

$$F = B_{\perp} il. \quad (5)$$

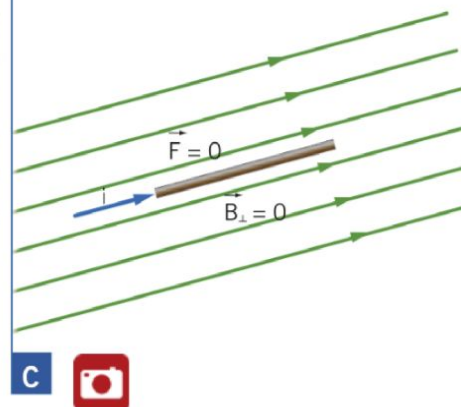
► Quando $\vec{B}$ è perpendicolare al filo si ha $B_{\perp} = B$ e la forza magnetica ha il valore massimo.



► Se il campo $\vec{B}$ è inclinato rispetto al filo, $B_{\perp}$ è minore di B e la forza magnetica ha un valore minore.



► Se $\vec{B}$ è parallelo al filo si ha $B_{\perp} = 0$: la forza magnetica è nulla su un filo parallelo al campo.



L'operazione di prodotto vettoriale permette di esprimere con una sola formula tutte le caratteristiche (direzione, verso e modulo) di un vettore che ha le proprietà indicate nelle figure. Tale formula è

$$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}, \quad (6)$$

dove $\vec{l}$ è un vettore che ha la direzione e la lunghezza del filo rettilineo, e il verso della corrente i . L'intensità di $\vec{F}$ è data anche dalla formula

$$F = Bil \sin \alpha, \quad (7)$$

dove α è l'angolo compreso tra i vettori $\vec{l}$ e $\vec{B}$.

ESEMPIO

Un filo rettilineo di lunghezza $l = 36,4 \text{ cm}$ e attraversato da una corrente elettrica $i = 4,15 \text{ A}$, è posto in direzione perpendicolare alle linee di un campo magnetico di modulo $B = 5,62 \times 10^{-2} \text{ T}$.

- Calcola il valore F della forza magnetica che agisce sul filo.
- Il problema si risolve con la formula (4) o, in modo equivalente, ponendo $\sin(90^\circ) = 1$ nella formula (7).
- Allora possiamo calcolare la forza magnetica:

$$F = Bil = (5,62 \times 10^{-2} \text{ T}) \times (4,15 \text{ A}) \times (0,364 \text{ m}) = 8,49 \times 10^{-2} \text{ N}.$$

6 IL CAMPO MAGNETICO DI UN FILO PERCORSO DA CORRENTE

Conoscendo la forza magnetica che agisce su un filo percorso da corrente, siamo in grado di capire perché due fili rettilinei e paralleli si attraggono quando sono attraversati da correnti che circolano nello stesso verso e si respingono quando le correnti hanno versi opposti.

Ricorda che le linee del campo magnetico generato da un filo sono circonferenze concentriche al filo e perpendicolari a esso.