

CAPITOLO
25FENOMENI MAGNETICI
FONDAMENTALI1 LA FORZA MAGNETICA E LE LINEE
DEL CAMPO MAGNETICO

Nell'antica Grecia, già ai tempi di Talete (VI secolo a.C.) era noto che un minerale di ferro, la *magnetite*, ha la proprietà di attirare oggetti di ferro. La magnetite è un **magnete naturale**.

In condizioni normali una sbarretta di acciaio non attira delle puntine di ferro, ma se la mettiamo a contatto con un pezzo di magnetite, acquista questa proprietà.

La sbarretta di acciaio si è così *magnetizzata* ed è divenuta un **magnete artificiale** o **calamita**.

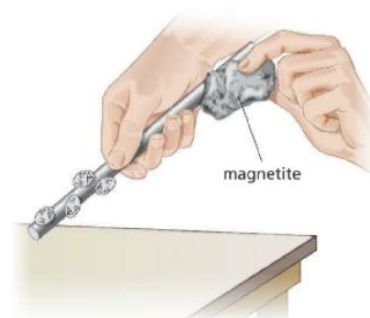


Figura 1 Una sbarretta di acciaio posta a contatto con un cristallo di magnetite attira piccoli oggetti di ferro.



Si chiamano **sostanze ferromagnetiche** i materiali che possono essere magnetizzati.

Sono sostanze ferromagnetiche il ferro, l'acciaio, il nickel, il cobalto e le loro leghe: per esempio, la lega di ferro, neodimio e boro con cui sono costruiti i **mageti** della fotografia a destra.



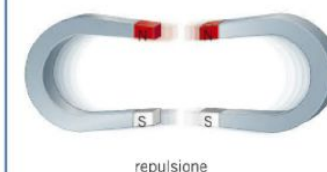
Central Scientific Company

Le forze tra i poli magnetici

Un **ago magnetico** è una piccola calamita che può ruotare attorno al suo centro. Si osserva che l'ago ruota fino a disporsi nella direzione Nord-Sud. L'estremo dell'ago magnetico che punta verso Nord si chiama **polo nord** dell'ago, l'altro estremo si chiama **polo sud**.

Ogni magnete ha un polo nord e un polo sud. Essi si individuano cercando le zone del magnete che esercitano un'azione più intensa sui poli di una calamita. Gli esperimenti mostrano che

▶ due poli nord o due poli sud, affacciati, si respingono;



A

▶ un polo nord e un polo sud, vicini tra loro, si attraggono.



B



Poli magnetici dello stesso tipo si respingono, poli magnetici di tipo diverso si attraggono.

Il campo magnetico

Una calamita esercita una forza magnetica su una seconda calamita. Usando lo stesso linguaggio che abbiamo già adoperato nel caso elettrico, diciamo che



ogni magnete genera nello spazio che lo circonda un **campo magnetico**.

Come quello elettrico, anche il campo magnetico è descritto da un vettore, che indicheremo con il simbolo $\vec{B}$.

Il campo magnetico terrestre

Il fatto che un ago magnetico, libero di muoversi, ruota fino a disporsi nella direzione Sud-Nord dimostra che esso è soggetto a un campo magnetico. In effetti, la Terra è un enorme magnete, che esercita i suoi effetti su tutti gli altri magneti posti nelle vicinanze.

In vicinanza del Polo Nord geografico c'è una zona, chiamata **polo nord magnetico** (figura 2), verso cui si dirigono i poli nord delle bussole. In modo corrispondente, nei pressi del Polo Sud geografico si trova il **polo sud magnetico**.



Nella zona del polo nord magnetico, il magnete-Terra ha un polo sud, visto che attira i poli nord di tutte le bussole.



ANIMAZIONE

I poli magnetici
(1 minuto e mezzo)

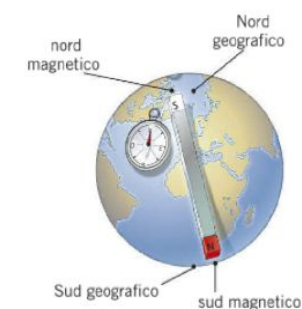


Figura 2 Il magnete-Terra ha un polo sud magnetico nella zona del Polo Nord geografico e viceversa.

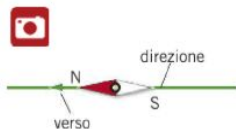


Figura 3 Un ago di bussola fornisce la direzione e il verso del campo magnetico.

La direzione e il verso del campo magnetico

Per esplorare le proprietà di un campo magnetico utilizziamo il **magnete di prova**, cioè un piccolo ago magnetico, che genera un campo abbastanza debole da non disturbare quello dovuto al sistema che intendiamo esaminare.

Se poniamo un magnetino di prova in un punto di un campo magnetico, osserviamo che l'ago ruota attorno al proprio centro fino a fermarsi, dopo qualche oscillazione, in una posizione di equilibrio.

Definiamo la direzione e il verso del campo magnetico nel punto:



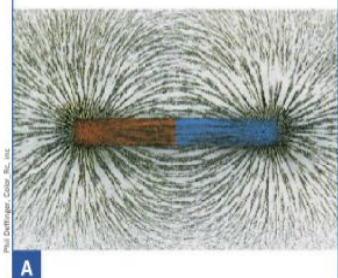
- la direzione è data dalla retta che unisce i poli nord e sud del magnete di prova;
- il verso va dal polo sud al polo nord del magnete di prova.

Il verso del campo magnetico, in sostanza, è quello indicato dalla freccia che è spesso disegnata sull'ago della bussola (**figura 3**).

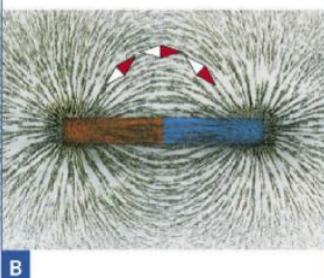
Le linee di campo

Possiamo visualizzare il campo magnetico mettendo della limatura di ferro vicino a una calamita.

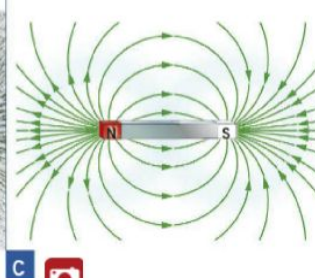
► La limatura di ferro disegna delle linee che si accumulano sui poli della calamita.



► Questo accade perché ogni frammento di ferro si magnetizza e si dispone lungo il campo.



► Schematizziamo il campo magnetico tracciando alcune linee che seguono i disegni della limatura.



Dal punto di vista matematico, le linee di campo magnetico si disegnano con lo stesso procedimento già visto per le linee di campo elettrico. La differenza è che, ora, al posto della carica di prova si usa un magnete di prova: partendo da un punto P , osserviamo la direzione e il verso del campo magnetico in tale punto. Poi spostiamo in tal senso l'ago di un tratto $\Delta \vec{s}$, molto piccolo, e determiniamo ancora il campo magnetico.

Ripetendo molte volte questa operazione e facendo tendere a zero la lunghezza di $\Delta \vec{s}$ otteniamo una linea come quella della **figura 4**.



Figura 4 I magneti di prova si dispongono in direzione tangente a una linea di campo magnetico.

Come conseguenza della definizione precedente, le **linee del campo magnetico** hanno le seguenti proprietà:



- in ogni punto sono tangenti alla direzione del campo magnetico;
- escono dai poli nord dei magneti ed entrano nei poli sud;
- la loro densità è direttamente proporzionale all'intensità del campo magnetico.

Confronto tra campo magnetico e campo elettrico

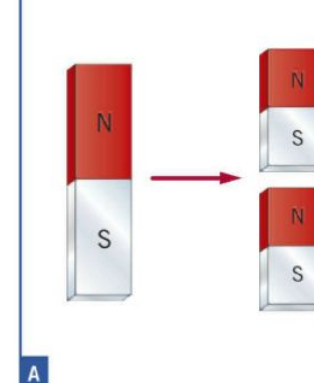
Il campo elettrico e il campo magnetico hanno proprietà simili:

- sono **campi di forza**, cioè campi che descrivono gli effetti di una forza (in un caso quella elettrica, nell'altro quella magnetica);
- entrambi possono essere descritti da linee di campo;
- esistono due tipi di poli magnetici, come esistono due tipi di carica elettrica;
- in modo analogo a quanto accade per le cariche elettriche, poli dello stesso tipo si respingono e di tipo diverso si attraggono;
- un conduttore scarico può essere elettrizzato da un corpo carico, come una sbarretta di acciaio può essere magnetizzata da una calamita.

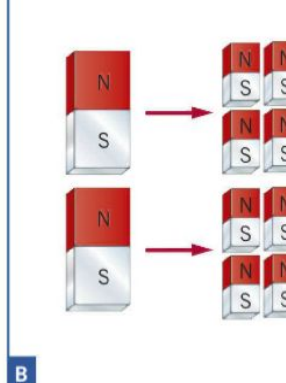
Però i due campi differiscono per aspetti molto importanti:

- quando si ha l'elettrizzazione per contatto, parte della carica elettrica del primo corpo passa al secondo; nella magnetizzazione di un oggetto ferromagnetico non si ha alcun passaggio di poli magnetici;
- mentre esistono oggetti carichi positivamente o carichi negativamente, una calamita ha **sempre entrambi** i poli sud e nord.

► Se dividiamo una calamita in due parti, ciascuno dei frammenti ha un polo nord e un polo sud.



► Suddividendo le due calamite piccole in quattro parti, otteniamo otto magneti, ciascuno con due poli.

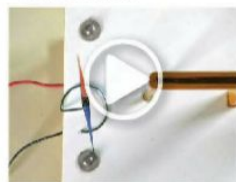


Non è possibile suddividere un magnete in modo da ottenere un polo nord isolato o un polo sud isolato.



IN LABORATORIO

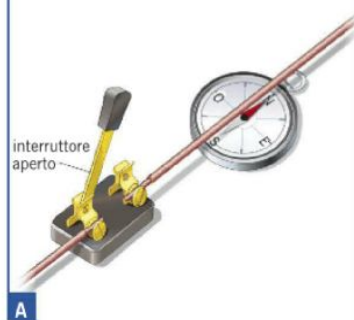
Il campo magnetico di un filo rettilineo percorso da corrente
 • Video (2 minuti)
 • Test (3 domande)



2 FORZE TRA MAGNETI E CORRENTI

Nel 1820 il fisico danese Hans Christian Oersted (1777-1851) scoprì un legame inaspettato tra fenomeni elettrici e fenomeni magnetici.

► Egli dispose un filo elettrico, collegato a una batteria, nella direzione nord-sud, sopra un ago magnetico.



► Quando faceva passare la corrente nel filo, l'ago ruotava, tendendo a disporsi perpendicolarmente al filo stesso.



L'esperienza di Oersted mette in luce che



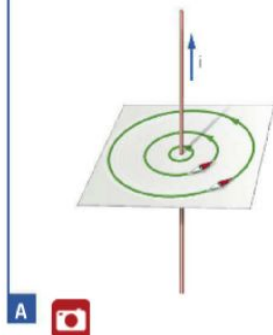
un filo percorso da corrente genera un campo magnetico.

Il campo magnetico generato dal filo è avvertito dall'ago della bussola, che si sposta in una nuova posizione di equilibrio.

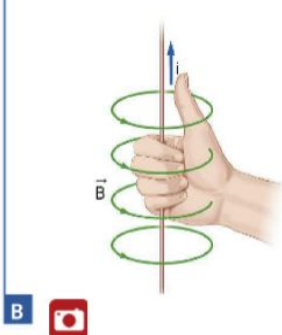
Il campo magnetico generato da un filo percorso da corrente

Spargendo della **limatura di ferro** su un cartoncino, otteniamo la forma delle linee del campo magnetico prodotto da un filo rettilineo.

► In un piano perpendicolare al filo percorso dalla corrente le linee del campo magnetico sono circonferenze concentriche al filo.



► Il verso convenzionale delle linee di campo, si ottiene puntando il pollice nel senso della corrente. Le altre dita si chiudono nel verso del campo.



L'esperienza di Faraday

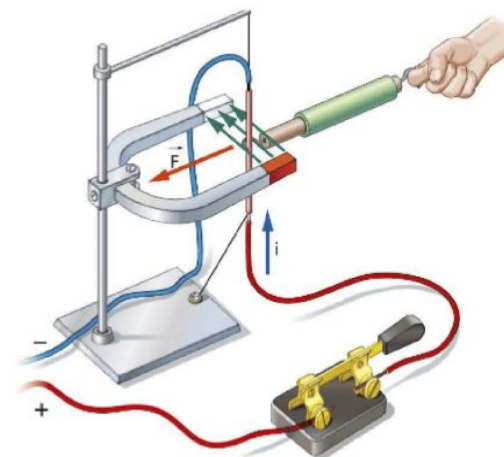
Nel 1821 il fisico inglese Michael Faraday scoprì che



un filo percorso da corrente, in un campo magnetico, subisce una forza.

Mettiamo un filo metallico in un campo magnetico, in direzione perpendicolare alle linee di campo.

Se diamo corrente al filo, su di esso agisce una forza perpendicolare sia al filo stesso sia alle linee di campo magnetico (figura 5).



ANIMAZIONE

Esperimento di Faraday
(1 minuto)



Figura 5 Un filo percorso da corrente immerso in un campo magnetico subisce una forza.

Il verso della forza magnetica che si esercita su un filo rettilineo percorso da corrente è dato dalla **regola della mano destra** (figura 6). Ponendo:



- il pollice della mano destra nel verso della corrente,
- le altre dita nel senso delle linee di campo magnetico,
- il verso della forza è quello che esce dal palmo della mano.

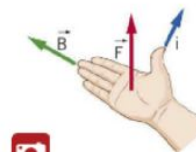


Figura 6 Regola della mano destra per determinare il verso della forza magnetica.

3 FORZE TRA CORRENTI

Le esperienze di Oersted e di Faraday mostrano che esiste una relazione tra corrente elettrica e campo magnetico, perché una corrente elettrica

- genera un campo magnetico,
- subisce una forza magnetica.

Ci si può aspettare, allora, che esista una forza magnetica tra due fili percorsi da corrente: infatti, ciascuno di essi genera un campo magnetico e subisce la forza del campo creato dall'altro.

La verifica sperimentale di questo fenomeno fu fatta dal fisico francese André Marie Ampère una settimana dopo essere venuto a conoscenza dell'esperimento di Oersted.

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

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

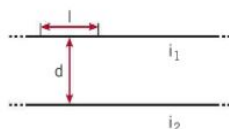
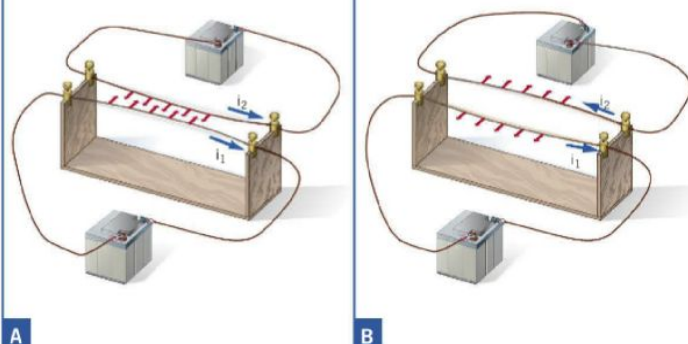


Figura 7 Grandezze fisiche che compaiono nella legge di Ampère.

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)

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

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):

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

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.