

no interpretare i campi magnetici delle calamite in termini di correnti interne elementari. Lo studio di questi modelli è alquanto complesso, quindi è preferibile studiare il campo magnetico generato da una corrente elettrica, che rappresenta il fenomeno elementare di base.

21.1 Il campo magnetico di un magnete

Nel capitolo 16 abbiamo visto che le cariche elettriche in quiete esercitano forze su altre cariche in quiete [forza di Coulomb, equazione (16.5)]. Per separare l'effetto che una carica Q produce nello spazio circostante dall'azione che essa esercita su un'altra carica q generica posta nelle sue vicinanze, si introduce il campo elettrico, che permette di scrivere la forza elettrostatica nella forma $\vec{F}_e = q\vec{E}$.

L'esperienza mostra che le calamite esercitano tra loro delle forze. In analogia con quanto detto per il campo elettrico, possiamo allora affermare che un magnete genera nello spazio un **campo magnetico**, che indicheremo con il simbolo \vec{B} . L'introduzione del campo magnetico permette di scrivere la forza magnetica separando l'effetto di ciò che consideriamo "sorgente" del campo — vale a dire il magnete o, come vedremo in seguito, la corrente elettrica — da ciò che è soggetto al campo, per esempio un altro magnete o un circuito elettrico o una carica in moto.

Vediamo ora con alcuni semplici esempi come è possibile determinare le linee di forza del campo magnetico. Sondiamo il campo generato, ad esempio, da una barretta magnetica utilizzando un aghetto magnetico come quello di una bussola, libero di ruotare senza attriti attorno ad un perno che passa per il suo centro. Come già detto nell'introduzione, si indica con polo nord magnetico la parte dell'aghetto che, in presenza del solo campo magnetico terrestre, punta verso il nord geografico (si veda il box verde sul campo magnetico terrestre).

Il campo magnetico della Terra è relativamente piccolo e nelle vicinanze di un magnete si può trascurare; quindi nel seguito non considereremo mai il suo contributo. Se si pone l'aghetto vicino al magnete, esso ruota fino a disporsi con una data inclinazione; per definizione la direzione del campo magnetico \vec{B} coincide con quella dell'aghetto, mentre il suo verso è tale che \vec{B} punti nel verso del polo nord dell'aghetto. Spostando l'aghetto in varie posizioni si possono ricostruire le linee di forza del campo che, ricordiamo, sono le linee a cui il campo è tangente, come indicato in figura 21.2.

In figura 21.3 indichiamo come sono fatte le linee di forza del campo magnetico generato dalla barretta magnetica. Esse sono linee chiuse che escono dal polo nord, entrano in quello sud e si chiudono all'interno del magnete. Questa è una proprietà che vale in generale:

le linee di forza del campo magnetico \vec{B} sono sempre linee chiuse.

Il campo è più intenso dove le linee di forza sono più dense. Come vedremo nel paragrafo 21.3, il fatto che le linee di forza siano sempre

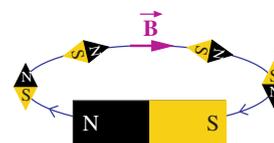


Figura 21.2

La direzione e il verso del campo generato dal magnete sono individuati dalla posizione dell'aghetto magnetico. In ogni punto il campo è tangente a una linea di forza (linea blu).

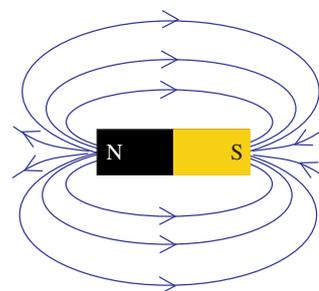


Figura 21.3

Le linee di forza del campo magnetico generato da una barretta magnetica sono dirette dal polo nord al polo sud magnetico e si chiudono all'interno del magnete.

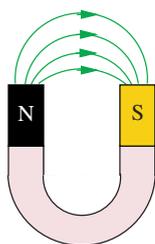


Figura 21.4
Le linee di forza del campo magnetico generato da un magnete a forma di ferro di cavallo.

linee chiuse è legato al fatto che **non esistono cariche magnetiche isolate**.

Il campo magnetico di una calamita dipende anche dalla sua forma; ad esempio la calamita a forma di ferro di cavallo disegnata nella figura 21.4 ha un campo \vec{B} diverso da quello della calamita della figura 21.3. Trovare una relazione tra l'intensità del campo magnetico e la forma della calamita, le sue dimensioni e la distanza da essa è alquanto difficile.

Come abbiamo accennato nell'introduzione, nel 1820 Oersted eseguì un esperimento fondamentale per la comprensione dei fenomeni magnetici; egli avvicinò un ago magnetico ad un filo percorso da corrente e notò che esso veniva deviato in maniera analoga a quanto avveniva nelle vicinanze di un magnete naturale. Da questo e dai successivi esperimenti di Ampère, si comprese che anche **la corrente elettrica genera un campo magnetico**. Lo studio dei fenomeni magnetici parte quindi dallo studio dei campi prodotti da correnti elettriche. In questo capitolo vedremo come si determina il campo magnetico generato da una corrente. Nel prossimo studieremo le forze che agiscono su fili percorsi da corrente e su cariche in moto in presenza di un campo magnetico esterno. Vedremo inoltre brevemente come si descrive il campo magnetico nella materia.

Il campo magnetico terrestre

Il primo a comprendere che la Terra si comporta come un grande magnete fu il fisico inglese W. Gilbert che nel 1660 propose questa teoria nel *De Magnete*, asserendo che per questo motivo l'ago della bussola si orienta in direzione nord-sud. Solo molti anni dopo, nel 1832, K. F. Gauss condusse uno studio dettagliato del campo magnetico terrestre tracciandone le linee di forza.

In pratica tale campo si può schematizzare come quello generato da una barra magnetica passante per il centro della Terra e inclinata di $11^\circ 30'$ rispetto all'asse di rotazione terrestre. Come abbiamo visto nel paragrafo 21.1, le linee di forza del campo generato da una barretta magnetica escono dal polo nord magnetico ed entrano nel polo sud (si veda la figura 21.3). Il verso delle linee di forza del campo magnetico terrestre mostrato in figura 21.5 mostra che il polo magnetico sud è situato nell'emisfero settentrionale. Tuttavia, è tradizione chiamare polo magnetico Nord quello che si trova nell'emisfero Nord e polo magnetico Sud quello che si trova nell'emisfero Sud, in accordo con i corrispondenti poli geografici. Il campo magnetico varia al variare della latitudine; esso è minimo all'equatore ($B \sim 3 \cdot 10^{-5}$ T) e massimo ai poli, dove è circa tre volte più intenso.

La sua origine non è ancora del tutto chiarita. Il contributo maggiore viene senz'altro dalla composizione interna della Terra, ed a questo si sommano i contributi delle correnti elettriche atmosferiche, che sono però molto inferiori. Inizialmente si era pensato che il nucleo della Terra fosse magnetizzato; tuttavia, a

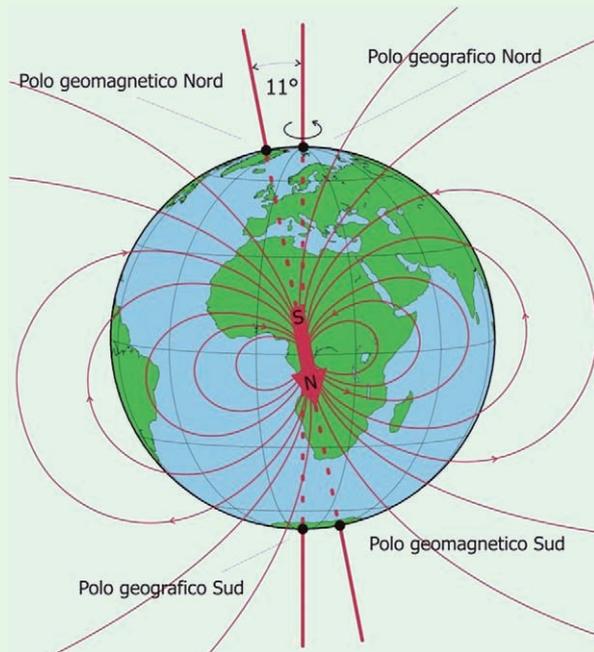


Figura 21.5
Linee di forza del campo magnetico terrestre.

profondità di qualche centinaio di chilometri si raggiungono temperature di oltre $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, alle quali qualsiasi minerale noto perde le sue qualità ferromagnetiche (si veda il paragrafo 22.5 per spiegazioni più dettagliate sul magnetismo nella materia).

Oggi si pensa piuttosto che il campo sia generato da correnti elettriche nel nucleo fluido e conduttore della Terra; tuttavia non è chiaro il meccanismo attraverso il quale queste correnti vengano prodotte e mantenute, e per quale motivo esse siano in grado di generare un campo che all'esterno appare come quello di un magnete che ha direzione quasi coincidente con quella dell'asse di rotazione terrestre. All'interno della Terra si presume che il campo abbia una struttura molto più complessa e assai diversa da quella che osserviamo in superficie.

Infine menzioniamo il fatto che il campo magnetico terrestre non è costante nel tempo. Esso subisce piccole variazioni diurne e presenta variazioni stagionali (massime d'estate e minime in inverno); inoltre varia in relazione all'attività solare. Le variazioni maggiori si sono però avute in ere geologiche passate; lo studio della magnetizzazione delle rocce (*paleomagnetismo*) ha mostrato che in passato esso ha subito diverse inversioni di polarità.

Prodotto vettoriale

Richiamiamo brevemente la definizione e le proprietà del prodotto vettoriale che useremo spesso nel seguito. Il prodotto