

15. Campo magnetico

1 Il campo magnetico statico

Il fenomeno magnetico cui siamo tutti familiari è quello in cui l'ago di una bussola si dispone verso il nord. A tale fenomeno corrisponde la descrizione per cui l'ago della bussola sente l'azione del campo magnetico terrestre. Cerchiamo quindi di capire cosa è il campo magnetico. Facciamo un passo indietro e torniamo al campo elettrico. Consideriamo due cariche, una positiva ed una negativa, poste a distanza d l'una dall'altra. Il valore delle cariche è q in modulo. Il campo elettrico risultante delle due cariche è detto di dipolo ed ha la forma mostrata in figura (1). Supponiamo ora che, ad una

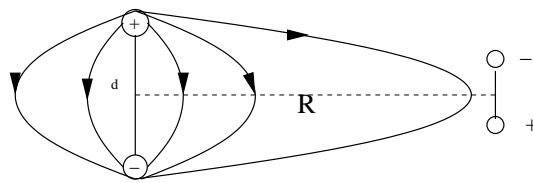


Figura 1: Campo elettrico di dipolo generato da due cariche di segno opposto.

distanza R molto grande rispetto a d , ci siano due cariche, una positiva ed una negativa, rigidamente connesse tra loro, ma libere di muoversi come un tutto unico. È chiaro che per effetto del campo elettrico le due cariche mobili si dispongono come mostrato in figura, cioè la carica positiva verso il basso e quella negativa verso l'alto. Tutto ciò può essere descritto nel seguente modo. Una coppia di cariche opposte rigidamente connesse forma un dipolo elettrico. Un dipolo è un vettore diretto dalla carica negativa verso quella positiva, come in figura (2). Possiamo quindi dire che un dipolo elettrico tende a disporsi nella direzione del campo elettrico. Torniamo ora ad occuparci del campo

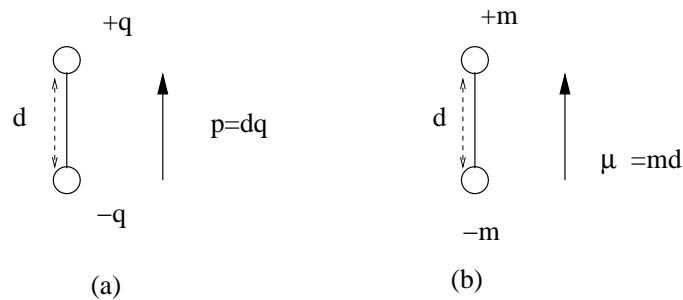


Figura 2: Dipolo elettrico (a sinistra) e dipolo magnetico.

magnetico. In analogia con le cariche elettriche possiamo immaginare l'esistenza delle cariche magnetiche, che indichiamo con m . Anche le cariche magnetiche possono essere

positive e negative. Possiamo allora introdurre il campo magnetico di una carica esattamente come fatto per il campo elettrico. In particolare due cariche magnetiche opposte rigidamente connesse formano un dipolo magnetico, come mostrato in figura (2). Un dipolo magnetico forma un campo magnetico simile al campo elettrico di un dipolo elettrico. Di conseguenza un secondo dipolo magnetico sente il campo magnetico del primo dipolo magnetico e tende ad orientarsi secondo le linee di forza del campo magnetico. La terra si comporta come un dipolo magnetico nel modo indicato in figura (3). L'ago

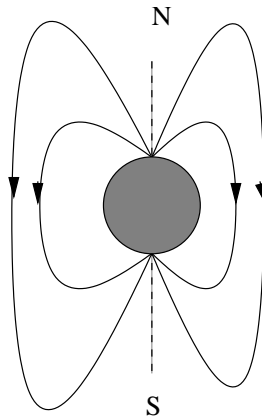


Figura 3: Campo magnetico terrestre.

di una bussola è anch'esso un dipolo magnetico che quindi tende a disporsi secondo le linee di forza del campo magnetico terrestre. La supposizione dell'esistenza di cariche magnetiche ci permette quindi di comprendere e descrivere diversi fenomeni magnetici. A differenza però del caso delle cariche elettriche, le cariche magnetiche non esistono mai individualmente, ma sempre a coppie di cariche opposte rigidamente connesse. In altre parole, esistono dipoli magnetici, ma non esistono monopoli magnetici. Come conseguenza il campo magnetico, indicato con B , è un campo vettoriale caratterizzato dalla condizione di avere flusso nullo attraverso una qualunque superficie chiusa, cioè

$$\Phi_B = 0. \quad (1)$$

In altre parole per B non esistono sorgenti e pozzi e le linee di forza devono essere linee chiuse esattamente come nel caso del campo elettrico in assenza di cariche.

2 Origine del campo magnetico

Un dipolo magnetico è osservabile sperimentalmente, ma le cariche che lo compongono non lo sono. Dunque le cariche magnetiche non esistono, anche se sono utili concettualmente per capire la natura del campo magnetico. Ma se le cariche magnetiche non esistono, qual è l'origine di un dipolo magnetico e del campo magnetico. Il campo magnetico è un campo vettoriale. Sappiamo già che il suo flusso è nullo. Per descrivere

completamente il campo magnetico dobbiamo definire la circolazione per ogni curva chiusa. Sperimentalmente Oersted trovò che la circolazione del campo magnetico lungo una curva chiusa è pari alla corrente che attraversa la superficie racchiusa dalla curva chiusa, cioè

$$C = \mu_0 I, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ kg m s}^{-2} \text{ A}^{-2}. \quad (2)$$

Poichè parliamo di campo magnetico statico, la corrente deve essere costante. Come esempio di applicazione dell'equazione (2), consideriamo il caso di un filo infinito percorso da corrente come illustrato in figura (4). Il fatto che il filo della corrente è infinito

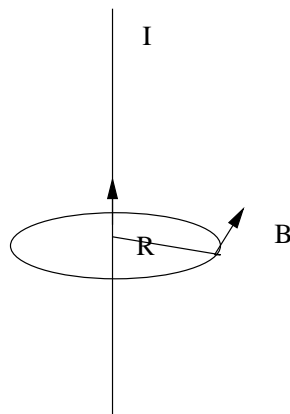


Figura 4: Campo magnetico generato da un filo percorso da corrente.

conferisce al sistema una cosiddetta simmetria *assiale*, cioè il sistema deve restare identico a se stesso per una rotazione attorno all'asse individuato dal filo della corrente. Per determinare il campo magnetico dobbiamo quindi trovare una configurazione di linee di forza che rispettino tale simmetria assiale. Poichè le linee di forza devono essere curve chiuse in virtù della proprietà di flusso nullo, tali linee di forza devono essere circonferenze con centro sull'asse del filo. Allora l'equazione (2) diventa

$$C = 2\pi R B = \mu_0 I$$

da cui

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}, \quad (3)$$

che è nota come legge di Biot e Savart.

3 La forza di Lorentz

Cariche in moto generano un campo magnetico. È lecito chiedersi se il campo magnetico produce un effetto su cariche in moto. La risposta è affermativa ed è la forza di Lorentz. Consideriamo un sistema di assi cartesiani in tre dimensioni, come in figura (5). Per

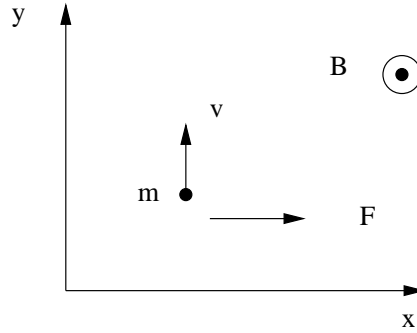


Figura 5: Geometria della forza di Lorentz.

comodità di disegno nel piano del foglio abbiamo gli assi x e y e l'asse z è diretto in modo perpendicolare al foglio ed orientato verso chi legge. Immaginiamo che esista un campo magnetico uniforme con le linee di forza dirette lungo l'asse z . Immaginiamo inoltre che un punto materiale di massa m e carica q abbia, ad un dato istante, velocità v diretta lungo l'asse delle y positive. Allora il campo magnetico esercita una forza diretta lungo l'asse delle x positive di intensità

$$F_L = qvB. \quad (4)$$

È importante ricordare che la forza di Lorentz è sempre perpendicolare alla velocità del punto e del campo magnetico. Poiché la forza è sempre perpendicolare alla velocità, in base alla seconda legge di Newton, anche l'accelerazione è sempre perpendicolare alla velocità. Ciò è esattamente quanto accade nel moto circolare uniforme dove l'accelerazione è data da

$$a = \frac{v^2}{R}. \quad (5)$$

D'altro canto per la seconda legge di Newton

$$a = \frac{qvB}{m} \quad (6)$$

da cui

$$\frac{v}{R} = \frac{qB}{m} \quad (7)$$

o anche, ricordando che $\omega = 2\pi/T = v/R$,

$$\omega = \frac{qB}{m} \quad (8)$$

detta pulsazione di ciclotrone.