

Sintesi del capitolo

Il magnetismo ha origine dal movimento delle cariche elettriche: una corrente elettrica genera un campo magnetico nello spazio circostante, come evidenziato dall'esperimento di Oersted. Le linee di campo attorno a un filo rettilineo percorso da corrente sono chiuse e circolari, con verso determinato dalla regola della mano destra.

Quando una carica q si muove in presenza di un campo magnetico $\mathbf{B}$ con velocità $\mathbf{v}$, essa è soggetta alla forza di Lorentz, descritta dall'espressione

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Questa forza è sempre perpendicolare sia alla velocità sia al campo magnetico e, di conseguenza, non modifica il modulo della velocità ma solo la sua direzione. Nel caso in cui la velocità sia perpendicolare al campo, la particella descrive un moto circolare uniforme, con raggio

$$r = \frac{mv}{qB}$$

e frequenza

$$f = \frac{qB}{2\pi m}$$

Le correnti elettriche immerse in un campo magnetico possono subire forze macroscopiche. In particolare, una spira di area A percorsa da corrente i è soggetta a un momento torcente che tende a orientarla nel campo magnetico. Questo effetto si descrive introducendo il momento magnetico della spira, per cui vale la relazione

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}, \text{ con } \mu = iA$$

Per descrivere quantitativamente il campo magnetico generato da una corrente i si utilizza la legge di Biot-Savart, che nella sua forma generale si scrive come

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

Essa mostra che il campo magnetico dipende dall'intensità della corrente, dalla geometria del conduttore e dalla distanza dal punto di osservazione. In casi di particolare simmetria si ottengono espressioni semplici, come nel caso del filo rettilineo infinito

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

della spira circolare

$$B = \frac{\mu_0 i}{2r}$$

e del solenoide ideale, per cui il campo all'interno è uniforme e vale

$$B = \mu_0 ni$$

Il fenomeno complementare è l'induzione elettromagnetica: una variazione nel tempo del flusso del campo magnetico attraverso un circuito genera una forza elettromotrice indotta. Questo principio è espresso dalla legge di Faraday-Neumann

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

in cui il segno negativo, introdotto dalla legge di Lenz, indica che la corrente indotta si oppone alla variazione del flusso che la produce.

I campi magnetici coinvolti nei fenomeni biologici coprono un intervallo estremamente ampio: si passa da valori dell'ordine di 10^{-13} T, tipici dell'attività cerebrale misurata con la magnetoencefalografia, fino a campi dell'ordine di 1-3 T utilizzati nella risonanza magnetica clinica, cioè circa 100.000 volte più intensi del campo magnetico terrestre ($\sim 10^{-5}$ T).

In ambito biomedico, il magnetismo trova numerose applicazioni. La risonanza magnetica si basa sull'interazione tra campi magnetici intensi e i momenti magnetici nucleari, mentre tecniche come la magnetoencefalografia e la magnetocardiografia permettono di rilevare i debolissimi campi generati dalle correnti biologiche. Anche la stimolazione magnetica transcranica sfrutta l'induzione elettromagnetica per generare correnti nei tessuti cerebrali senza contatto diretto.

Dal punto di vista biofisico, la membrana cellulare può essere interpretata come un sistema elettromagnetico: le correnti ioniche che attraversano la membrana e si propagano lungo le cellule generano campi magnetici, descritti dalla legge di Biot-Savart, mentre campi magnetici variabili possono indurre correnti nei tessuti secondo la legge di Faraday. Sebbene le forze magnetiche sulle singole cariche siano generalmente molto deboli rispetto a quelle elettriche, l'insieme di questi fenomeni è alla base di importanti tecniche diagnostiche e di stimolazione.