

Complementi di Fisica - XIII Lezione

La forza esercitata sulle correnti dal campo magnetico

Le sorgenti del campo magnetico: correnti e magneti

I parte

Andrea Bettucci

7 maggio 2025

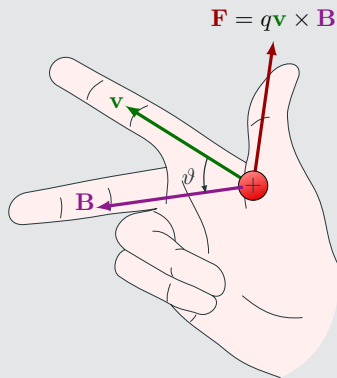
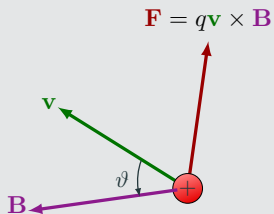
Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria
Sapienza Università di Roma

La forza esercitata sulle correnti dal campo magnetico

Forza su una carica in moto in un campo magnetico

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \Rightarrow F = qvB \sin \vartheta$$

- Poiché \mathbf{F} è perpendicolare sia a \mathbf{v} sia a \mathbf{B} , è perpendicolare al piano su cui giacciono questi due vettori.



Poiché una corrente è formata
da cariche in movimento,
un filo percorso da corrente
in un campo magnetico
è sottoposto a una forza!

Forza su filo rettilineo percorso da corrente in un campo magnetico uniforme

1. La forza è proporzionale alla corrente I . La forza su una corrente che scorre nel filo in una direzione ha il verso opposto a quella che si esercita su una corrente di eguale modulo che scorra nel filo in direzione opposta.
2. La forza è proporzionale alla lunghezza del filo ℓ .
3. La forza è perpendicolare al filo e al campo magnetico.
4. La forza è proporzionale a $\sin \vartheta$, dove ϑ è l'angolo fra il verso definito convenzionalmente positivo della corrente I (quello in cui si muovono le cariche positive) e il campo magnetico \mathbf{B} : se la corrente è parallela o antiparallela a \mathbf{B} , la forza è nulla.

Forza su filo rettilineo percorso da corrente in un campo magnetico uniforme

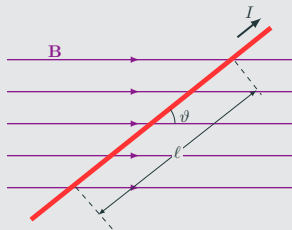
Queste osservazioni sperimentali possono essere sintetizzate come segue: quando una corrente I scorre in un filo rettilineo di lunghezza ℓ posto in un campo magnetico uniforme \mathbf{B} , la forza magnetica \mathbf{F} sul filo è:

$$\mathbf{F} = I(\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B}) \quad \Rightarrow \quad F = I\ell B \sin \vartheta$$

dove $\boldsymbol{\ell}$ è un vettore di modulo pari alla lunghezza del filo avente per verso quello convenzionalmente positivo della corrente.

Esempio

Si determini modulo direzione e verso della forza che si esercita sul filo rettilineo mostrato nella figura a lato percorso da una corrente I che si trova in un campo magnetico uniforme \mathbf{B} .



$$\mathbf{F} = I(\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B}) \quad \Rightarrow \quad F = I\ell B \sin \vartheta$$

Fissati I e \mathbf{B} la forza magnetica agente sul filo dipende dalla lunghezza del filo ℓ all'interno del campo magnetico e dall'angolo ϑ tra la direzione positiva della corrente e \mathbf{B} . Per l'esempio in figura la forza è perpendicolare allo schermo diretta verso l'interno. Per $\vartheta = 0^\circ$ o 180° la forza agente sul filo è nulla.

Forza su filo non rettilineo percorso da corrente in un campo magnetico non uniforme

$$\mathbf{F} = I(\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B})$$

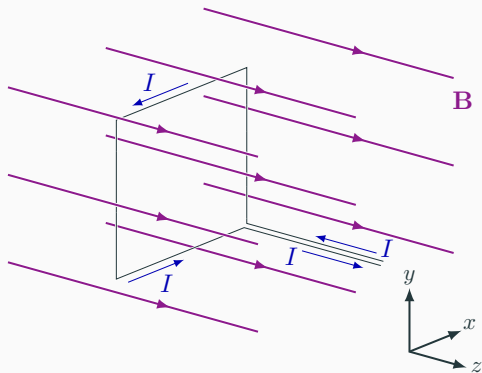
Questa relazione si applica nel caso in cui il campo magnetico sia uniforme e il filo rettilineo. Se \mathbf{B} non è uniforme o il filo non forma ovunque lo stesso angolo con la direzione del campo magnetico, la relazione va riscritta nella forma

$$d\mathbf{F} = I(d\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B})$$

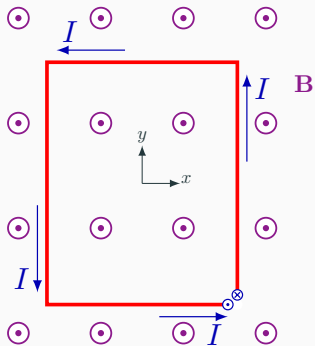
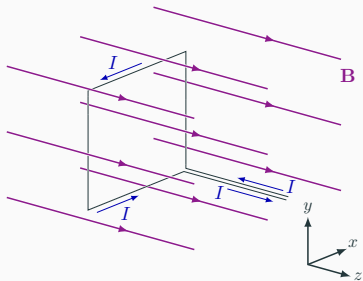
dove $d\mathbf{F}$ rappresenta la forza infinitesimale che agisce sull'elemento di lunghezza infinitesima $d\boldsymbol{\ell}$ del filo; dopodiché la forza totale agente sul filo sarà data da:

$$\int_{\text{filo}} d\mathbf{F} = I \int_{\text{filo}} (d\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B})$$

Spira percorsa da corrente in un campo magnetico uniforme

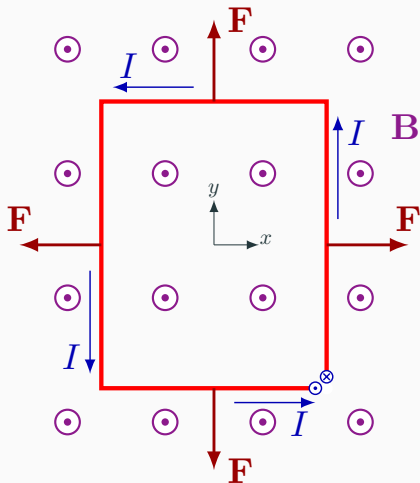


Spira percorsa da corrente in un campo magnetico uniforme

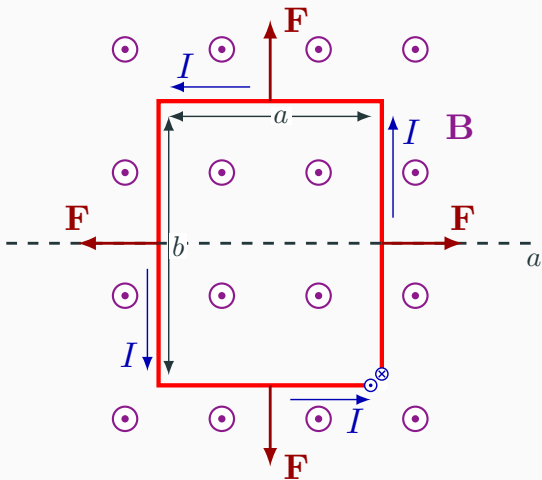


Spira percorsa da corrente in un campo magnetico uniforme

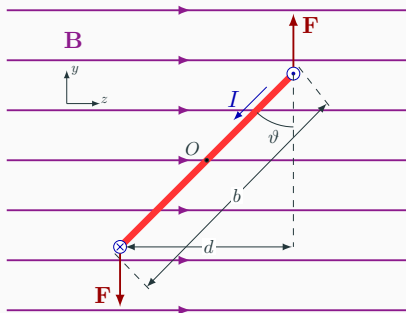
$$\mathbf{F} = I(\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B})$$



Spira percorsa da corrente in un campo magnetico uniforme che può ruotare attorno all'asse a

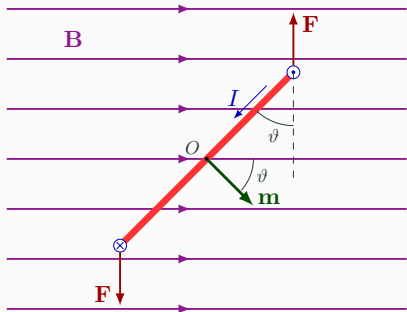


Spira percorsa da corrente in un campo magnetico uniforme



$$F = IaB \quad \Rightarrow \quad M = Fd = IaB(b \sin \vartheta) = IAB \sin \vartheta$$

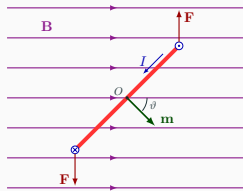
dove $A = ab$ è l'area della spira.



$$M = IAB \sin \vartheta$$

Se si definisce il **momento di dipolo magnetico** \mathbf{m} come un vettore di modulo IA , normale al piano della spira e diretto dalla parte dalla quale la corrente si vede circolare in senso antiorario, allora

$$\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

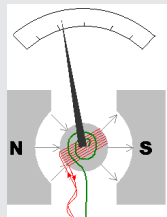


Momento di dipolo magnetico \mathbf{m} : $\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$

- Una spira piana percorsa da corrente posta in un campo magnetico è sottoposta a un momento torcente \mathbf{M} che tende ad allineare il momento di dipolo magnetico \mathbf{m} nella direzione del campo magnetico.
- **In un campo magnetico un ago magnetico e una spira si comportano allo stesso modo.**
- L'effetto di orientamento di \mathbf{m} nel campo magnetico è analogo all'effetto di orientamento di \mathbf{p} (momento di dipolo elettrico) in un campo elettrico: da qui il nome di momento di dipolo magnetico dato al vettore \mathbf{m} .

Il galvanometro

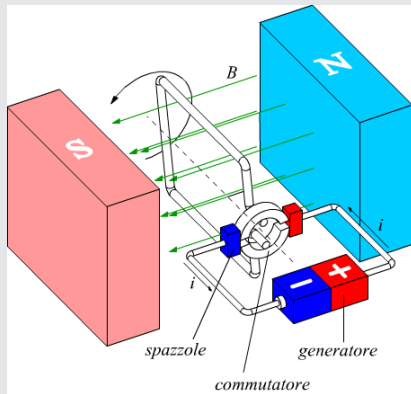
La base di ogni misuratore analogico (quelli dotati di una lancetta indicatrice sovrapposta a una scala graduata) quali amperometri, voltmetri, ohmmetri ecc. è il **galvanometro**.



Motori elettrici

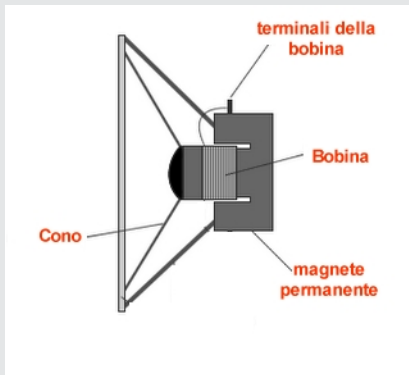
Un **motore elettrico** trasforma l'energia elettrica in energia meccanica (rotazionale). Il motore si basa sul momento torcente che agisce su una spira percorsa da corrente posta in un campo magnetico.

<https://www.youtube.com/watch?v=WV2gul2SQNc>



L'altoparlante

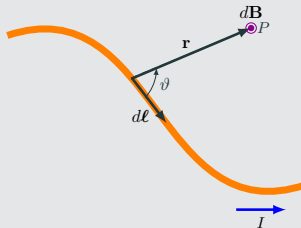
Un **altoparlante** funziona sul principio in base al quale un campo magnetico esercita una forza su un filo percorso da corrente.



Le sorgenti del campo magnetico: correnti e magneti - I parte

Campo magnetico generato da una corrente

Nel vuoto, il campo magnetico $d\mathbf{B}$ generato in un punto P dovuto alle cariche che fluiscono in elemento infinitesimo rettilineo $d\ell$ di un conduttore percorso da una corrente stazionaria I è dato da:



$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\ell \times \mathbf{r}}{r^3}$$

dove \mathbf{r} è il vettore posizione (di modulo r) che va dall'elemento $d\ell$ al punto P .

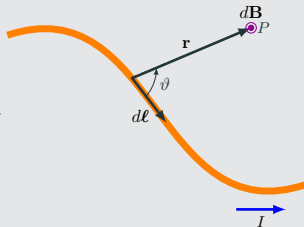
La costante μ_0 si chiama **permeabilità magnetica del vuoto**.

Nel Sistema Internazionale è

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$$

Campo magnetico generato da una corrente

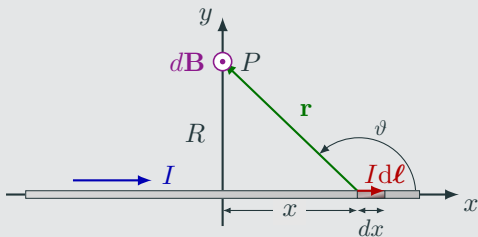
$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{r}}{r^3} \quad \Rightarrow \quad dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\ell \sin \vartheta}{r^2}$$



Il campo magnetico totale nel punto P si ottiene sommando vettorialmente i contributi di tutti gli elementi di lunghezza infinitesima nei quali può essere scomposto il filo:

$$\mathbf{B} = \int_{\text{filo}} d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{filo}} \frac{d\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

Esempio - Campo magnetico generato in un punto P a distanza R da un sottile filo infinitamente lungo percorso da una corrente I



Tutti gli elementi infinitesimi di filo di lunghezza $d\ell$ danno in P contributi $d\mathbf{B}$ diretti come in figura dove

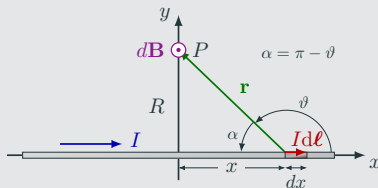
$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dx \sin \vartheta}{r^2}$$

cosicch 

$$B(P) = \int_{x=-\infty}^{x=+\infty} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dx \sin \vartheta}{r^2}$$

Campo magnetico generato in un punto P a una distanza R da un sottile filo infinitamente lungo percorso da una corrente I

$$B(P) = \int_{x=-\infty}^{x=+\infty} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dx \sin \vartheta}{r^2}$$



Ma le variabili x , r e ϑ non sono indipendenti:

$$r = \frac{R}{\sin \alpha} = \frac{R}{\sin \vartheta}$$

$$x = r \cos \alpha = -r \cos \vartheta = -R \frac{\cos \vartheta}{\sin \vartheta} \Rightarrow dx = -\frac{R}{\sin^2 \vartheta} d\vartheta$$

$$B(P) = -\frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_{\pi}^0 \sin \vartheta d\vartheta = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2) = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Campo magnetico generato in un punto P a una distanza R da un sottile filo infinitamente lungo percorso da una corrente I

Legge di Biot-Savart

$$B(P) = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Le linee di forza (linee di induzione) sono cerchi che giacciono in piani normali al conduttore, hanno centro nella traccia del conduttore sul piano e passano attraverso il punto in questione.

