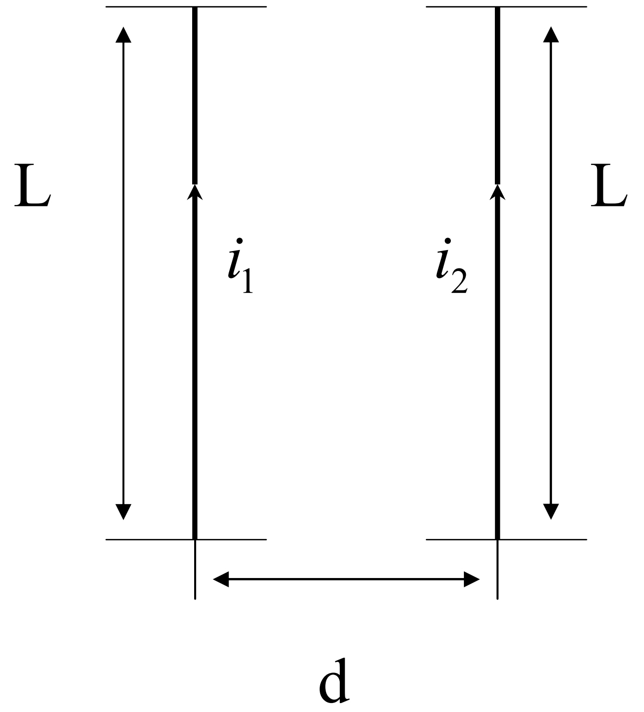
Magnetismo

$$F_{12} = K\frac{i_1 i_2 L}{d}$$



per il terzo principio della dinamica, tale forza è uguale in modulo a quella che il filo 2 esercita sul filo 1,

$$\frac{F_{12}}{L} = \frac{F_{21}}{L} = K\frac{i_1 i_2}{d}$$

$$K = \mu_0/2\pi$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-6}\,\frac{V \cdot s}{A \cdot m}$$

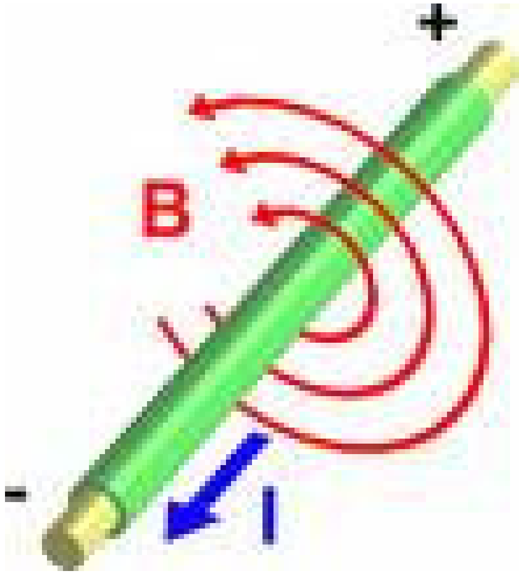
$$\frac{F_{12}}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 i_2}{d}$$

In questa espressione si descrive una forza che si esercita fra due oggetti posti a una certa distanza.
Analogamente alla legge di Coulomb, essa può venire interpretata in termini di campo

$$\frac{F_{12}}{L} = \left(\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1}{d}\right) i_2$$

B campo di induzione magnetica

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1}{d}$$

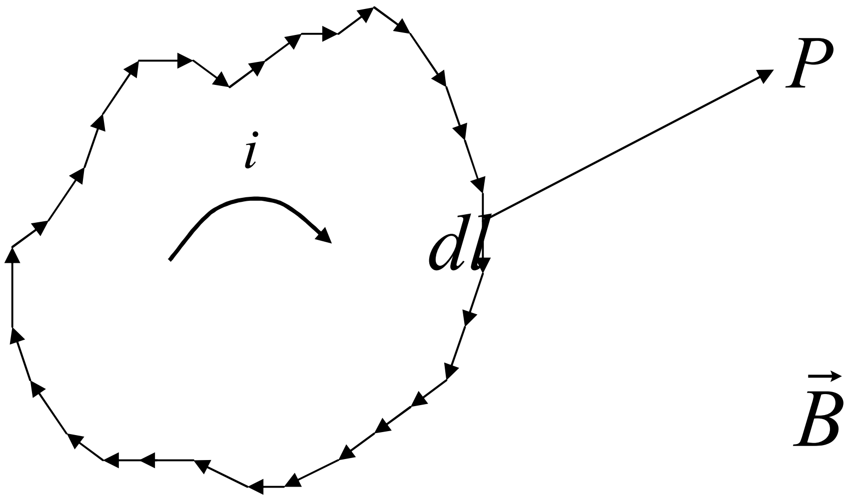


$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{r}$$

$$F = BiL$$

un filo percorso da corrente origina nelle sue circostanze un campo di induzione magnetica a simmetria cilindrica inversamente proporzionale alla distanza dal filo
Tale campo si manifesta attraverso una forza che si esercita su un filo percorso da corrente, cioè su cariche elettriche in moto.

$$[B] = \frac{N}{A \cdot m}$$



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

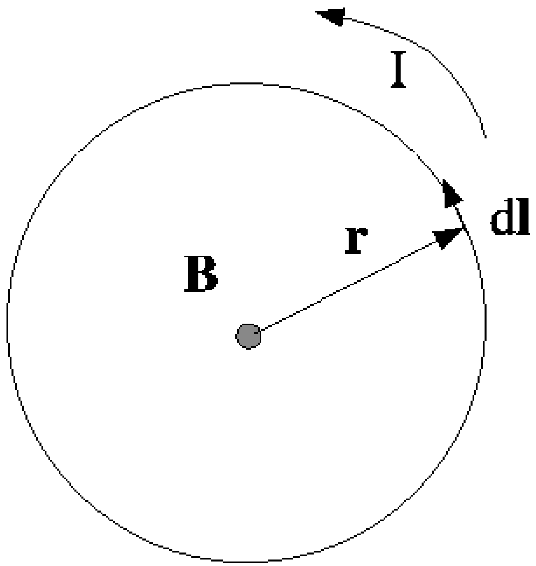
$$\vec{B}(P) = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

Il calcolo dei campi magnetici è , in generale, complicato

ma risulta semplice in casi simmetrici come il filo, la spira e il solenoide

Campi magnetici notevoli

Sull'asse di una spira circolare (nel punto centrale)



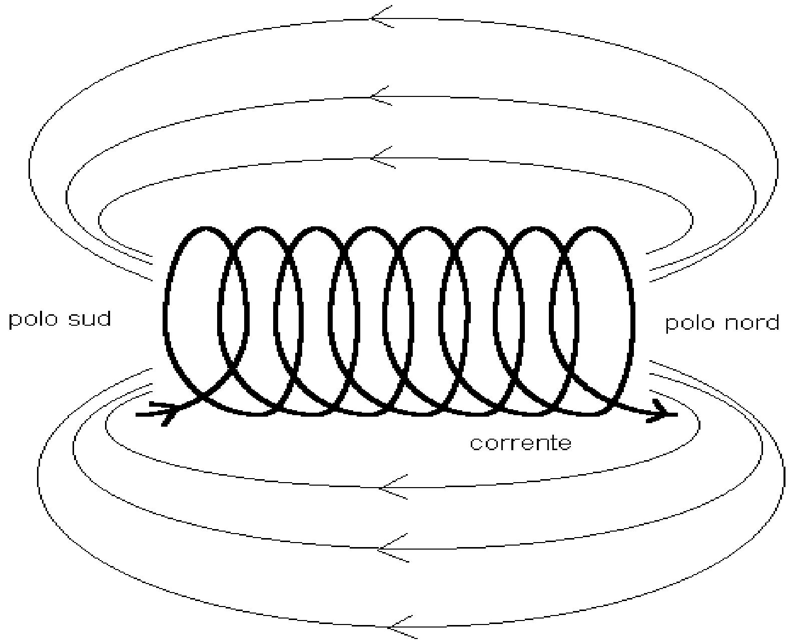
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

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

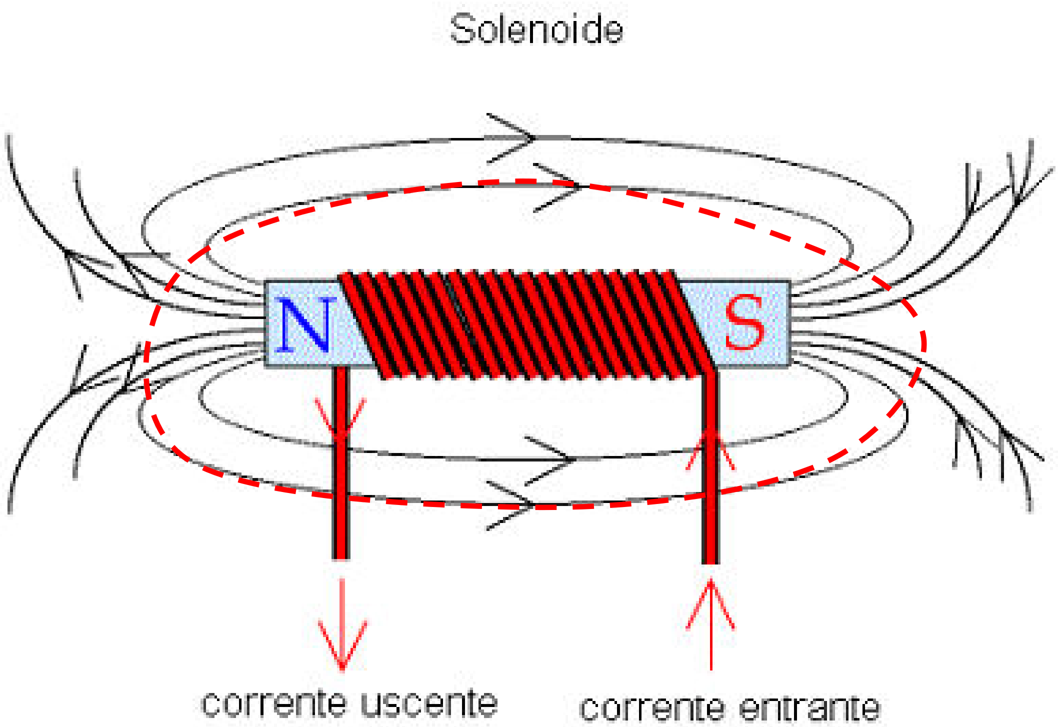
$$\vec{B}(P) = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{d\vec{l}}{r^2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{2\pi\, r}{r^2} = \frac{\mu_0 i}{2r}$$

Sull’asse del Solenoide

$$\vec{B} = \mu_0 N i$$



Poichè le linee di forza del campo magnetico sono chiuse, applicando il teorema di Gauss si ricava che il flusso di B attraverso ogni superficie chiusa è zero.



$$\oint \vec{B} \cdot \vec{n} dS = 0$$

La forza magnetica

Se immaginiamo di porre in una zona dello spazio in cui è presente un campo B un circuito percorso da una corrente i, su ogni elemento infinitesimo dl appartenente al circuito agisce una forza infinitesima che vale:

$$d\vec{F} = id\vec{l} \times \vec{B}$$

questa forza può essere espressa in funzione della velocità con cui si muove nel filo la carica dq .

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow d\vec{F} = \frac{dq}{dt} d\vec{l} \times \vec{B} =$$

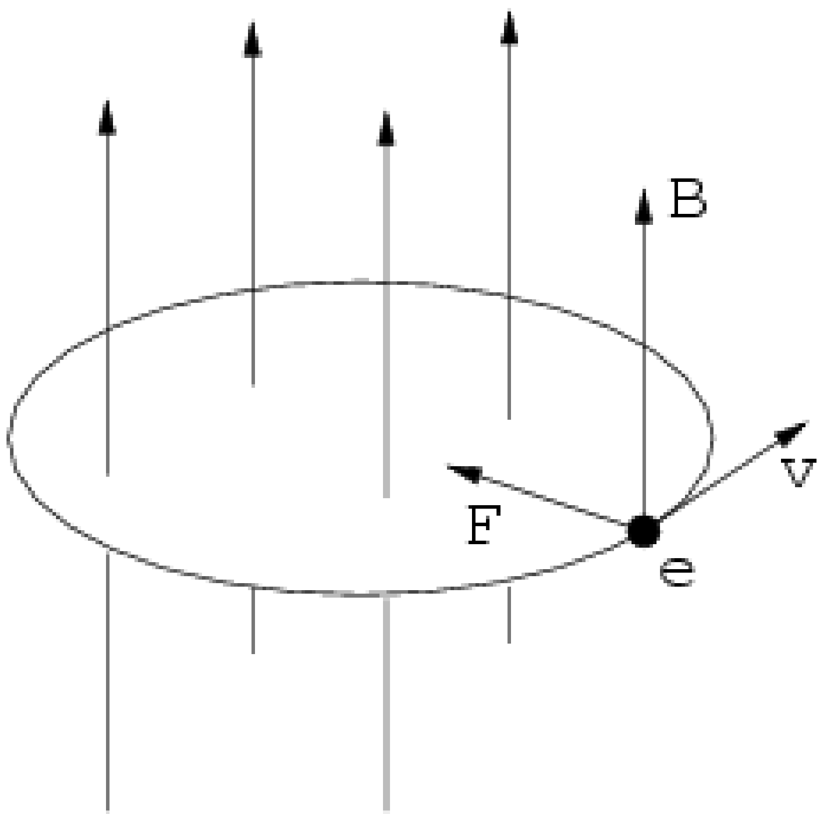
$$= dq \frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B}$$

$$= dq v \times \vec{B}$$

Generalizzazione al caso di una carica q che si muove a velocità v in un campo B (ad esempio un elettrone),

$$\vec{F} = qv \times \vec{B}$$

Moto di una particella carica in un campo magnetico



$$m\frac{v^2}{R} = qvB$$

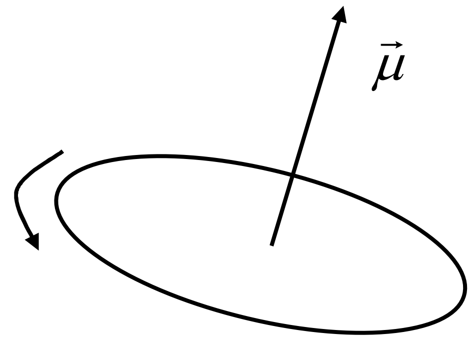
$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m}$$

Il dipolo magnetico

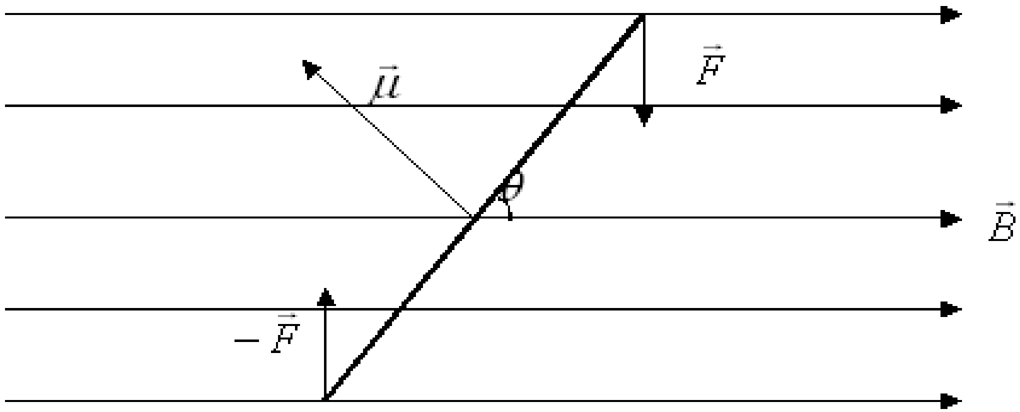
Si definisce, nel caso di un circuito chiuso, una grandezza detta “momento di dipolo magnetico”

$$\vec{\mu} = iA \qquad \text{circuito circolare } A=2\pi r^2$$



Se questo circuito viene immerso in un campo B, su di esso agisce una coppia di forze di momento

$$m = \vec{\mu} \times \vec{B}$$



Un circuito immerso in un campo B uniforme sente una forza che tende ad allineare il suo momento magnetico con il campo B.A questa configurazione si può, in analogia col dipolo elettrico, associare un’energia potenziale

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

Il concetto di momento magnetico è importante in quanto parecchi nuclei atomici hanno momenti magnetici diversi da zero.

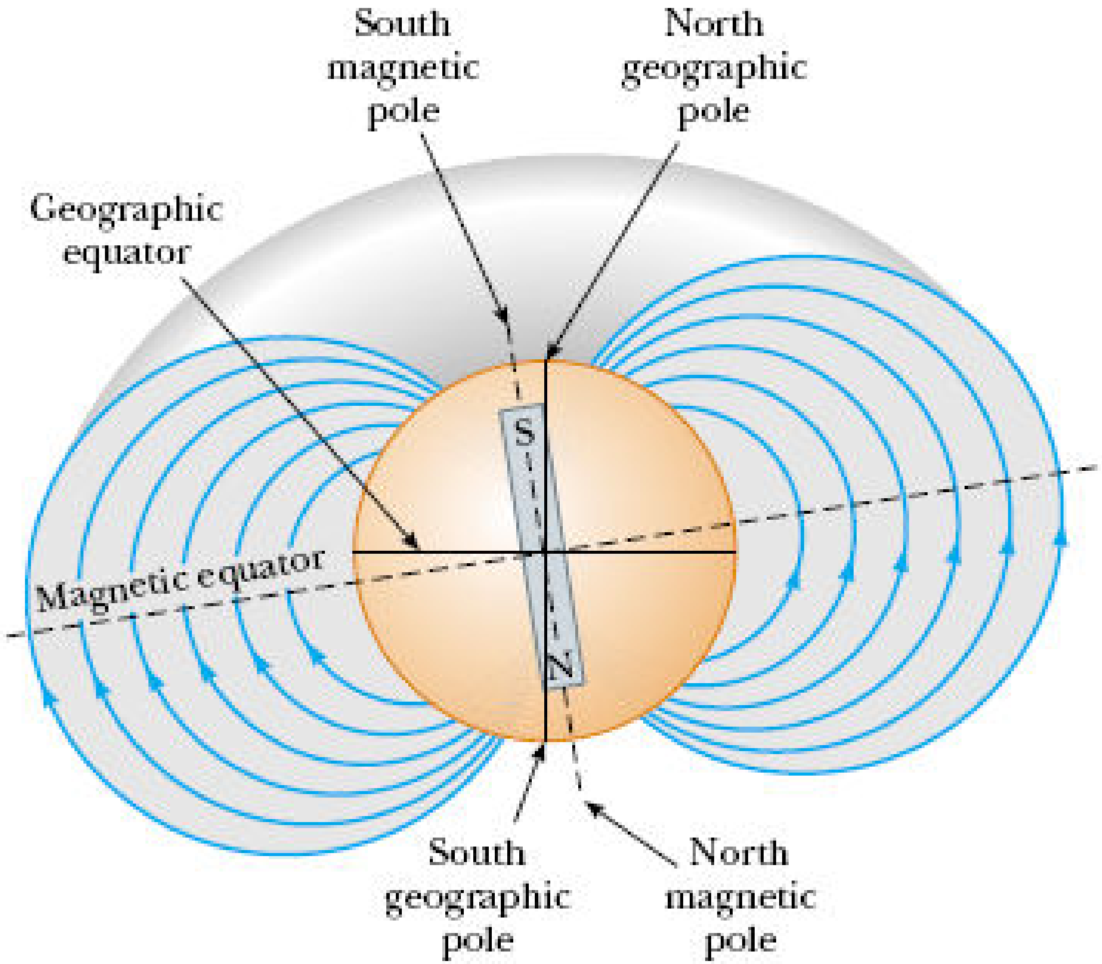
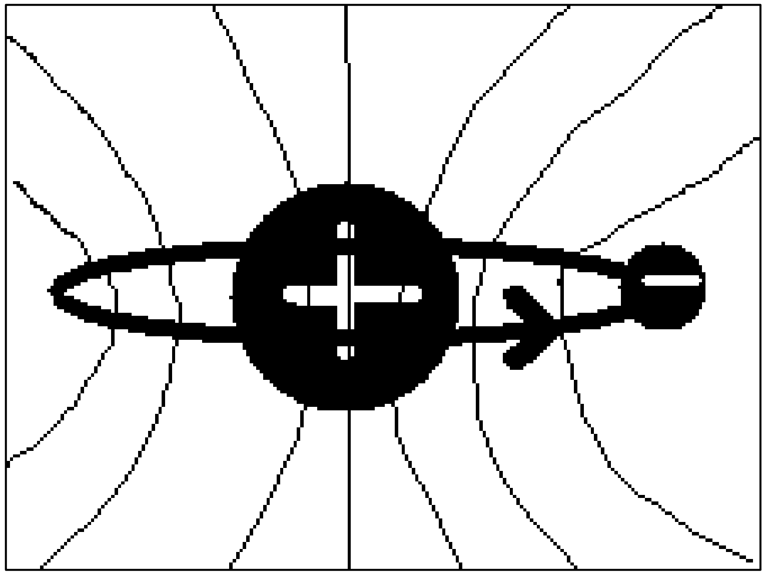


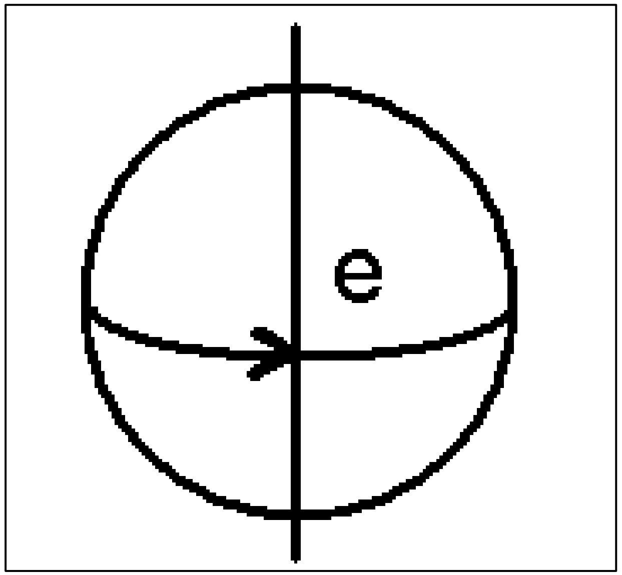
Figure 30.36 The Earth's magnetic field lines. Note that a south magnetic pole is near the north geographic pole, and a north magnetic pole is near the south geographic pole.

Magneti naturali: interpretazione microscopica

Gli atomi possono essere visti come generatori di campi magnetici (possiedono momento proprio):

1) per gli elettroni che ruotano attorno al nucleo
2) per lo spin magnetico degli elettroni (e del nucleo)





Magnetismo quantistico: spin

Ogni **elettrone** e **protone**, ha un momento magnetico proprio (momento di **spin**), come se "girando su se stesso" producesse una corrente. In realtà è un fenomeno puramente **quantistico**-relativistico, e non ha una spiegazione in termini di fisica classica.

I **nuclei** degli atomi possono avere momento di spin, e quindi rispondono a campi magnetici esterni, come nel caso della risonanza magnetica nucleare (**NMR**)

Proprietà magnetiche della materia

Dipendono dalla **disposizione dei dipoli magnetici** microscopici, e dalla loro **suscettibilità** ad allinearsi in presenza di un campo magnetico esterno.

Diamagnetici: si oppongono al campo magnetico esterno (effetto debole, praticamente nullo, $\mu_R \sim 1$)

Paramagnetici: hanno magnetismo proprio e rispondono ai campi esterni (effetto debole, $\mu_R \sim 1$)

Ferromagnetici: hanno magnetismo proprio dipendente dalla temperatura, e si allineano a un campo esterno aumentandone l'effetto: $\mu_R > 1$

I magneti permanenti:

Consideriamo un elettrone atomico (carica –e) ruotante attorno al nucleo su un'orbita circolare di raggio R. Indicando con m_e la sua massa e con v_e la sua velocità, tale elettrone possiede una quantità di moto $q_e = m_e v_e$ e un momento angolare che in modulo vale

$$l_e = m_e v_e R$$

Questa carica in moto circolare può essere descritta come una corrente di intensità

$$i = e / T$$

Dove il periodo di rotazione T

$$T = 2\pi R / v_e$$

$$i = \frac{e v_e}{2\pi R}$$

Tale corrente da luogo ad un momento magnetico di modulo

$$\mu_e = iA = \frac{e v_e \pi R^2}{2\pi R} = \frac{e v_e R}{2} = \frac{1}{2}\frac{e l_e}{m_e}$$

E, poiché la carica dell'elettrone è negativa

$$\vec{\mu}_e = -\frac{e\vec{l}_e}{2m_e}$$

Tenendo conto anche dello spin si ha

$$\vec{\mu} = -\frac{e\vec{l}}{m_e}$$

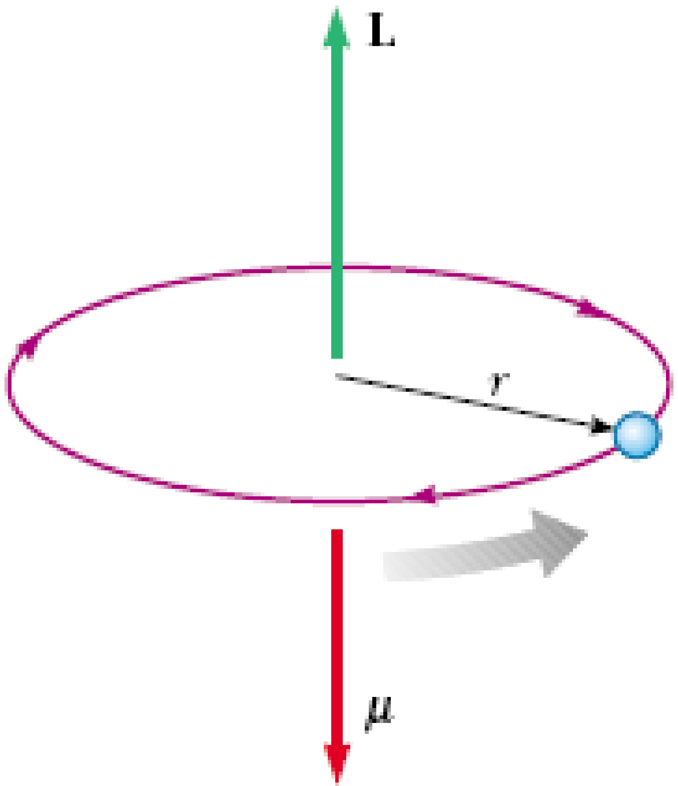


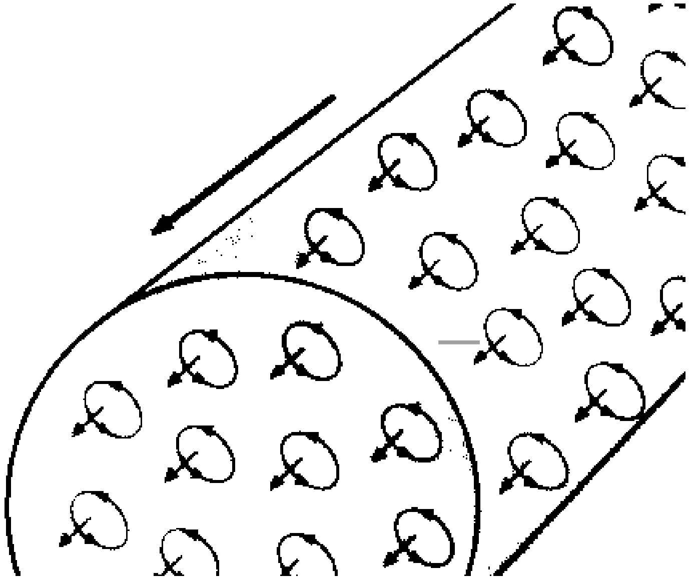
Figure 30.26 An electron moving in a circular orbit of radius r has an angular momentum $\mathbf{L}$ in one direction and a magnetic moment $\boldsymbol{\mu}$ in the opposite direction.

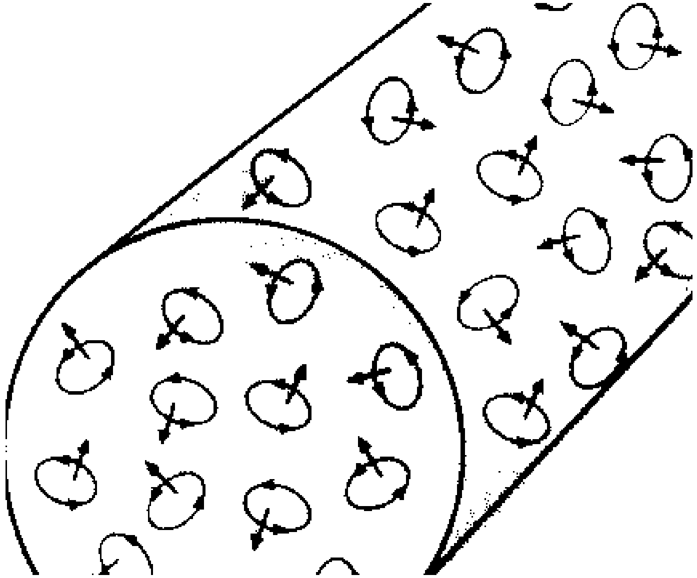
$$I = \frac{e}{T} = \frac{e\omega}{2\pi} = \frac{ev}{2\pi r}$$

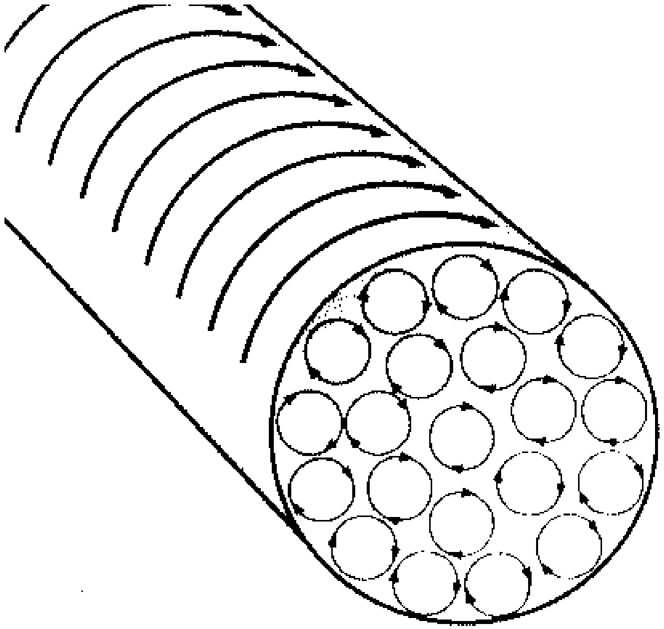
$$\mu = IA = \left(\frac{ev}{2\pi r}\right)\pi r^2 = \tfrac{1}{2}evr$$

$$L = m_e v r$$

$$\mu = \left(\frac{e}{2m_e}\right)L$$







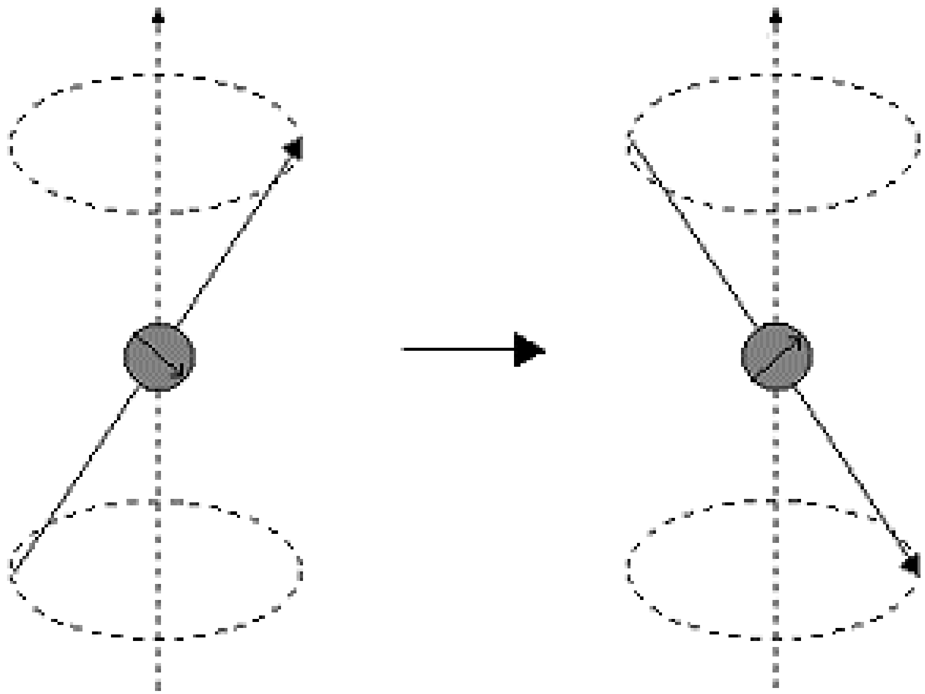
in presenza di campo magnetico esterno:

campo magnetico su carica in moto circolare uniforme aumenta o riduce la frequenza di rotazione di una quantità $\Delta\omega$, detta **frequenza di Larmor**

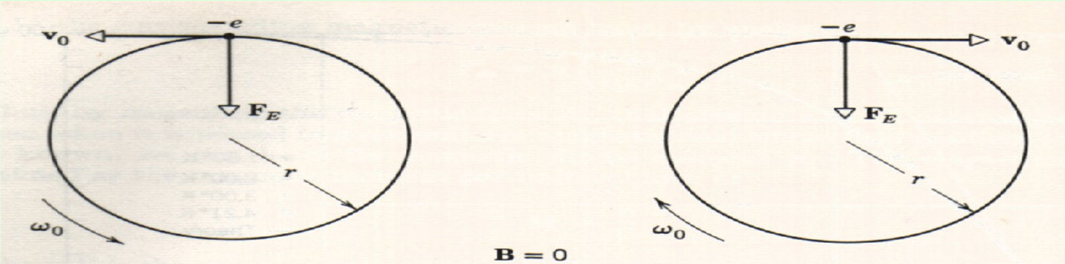
$$\Delta\omega = \frac{qB}{2m}$$

- ✓ un elettrone **aumenta** la frequenza $\Rightarrow$ genera **B maggiore**
- ✓ un elettrone **riduce** la frequenza $\Rightarrow$ genera **B minore**

$$\Rightarrow \quad \mathbf{B_{tot} \neq 0}$$



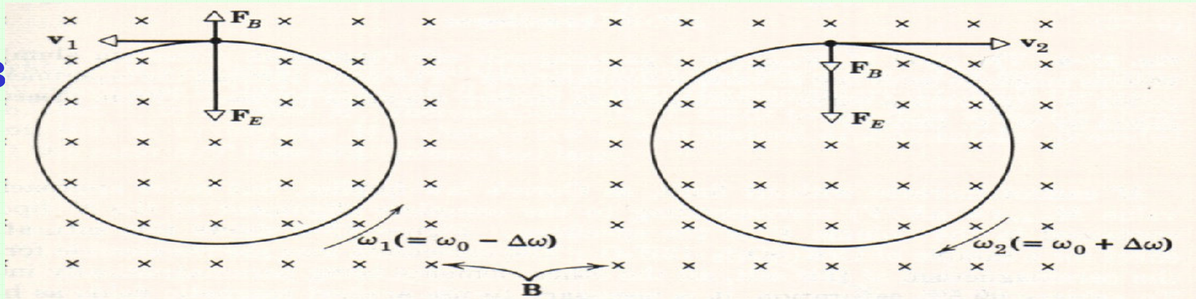
B_0= 0: forza elettrostatica tiene legati gli elettroni



ica
re

$$F_{tot} = qE = m\omega_0^2 r$$

B



$$F_{tot} = qE = m\omega_o^2 r \qquad \mathbf{B_0= 0}$$

$$F_{tot} = qE - qvB = m\omega^2 r \qquad \mathbf{B_0\neq 0}$$

$$qE - qvB = qE - q\omega rB = m\omega^2 r \qquad \omega r = v$$

$$\begin{Bmatrix} qE = m\omega_0^2 r \\ qE = q\omega rB + m\omega^2 r \end{Bmatrix} \qquad m\omega_0^2 r = q\omega rB + m\omega^2 r$$

$$qB\omega = m\left(\omega_0^2 - \omega^2\right) = m(\omega_0 - \omega)(\omega_0 + \omega)$$

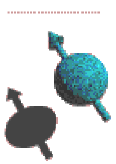
$$qB\omega = m\Delta\omega 2\omega$$

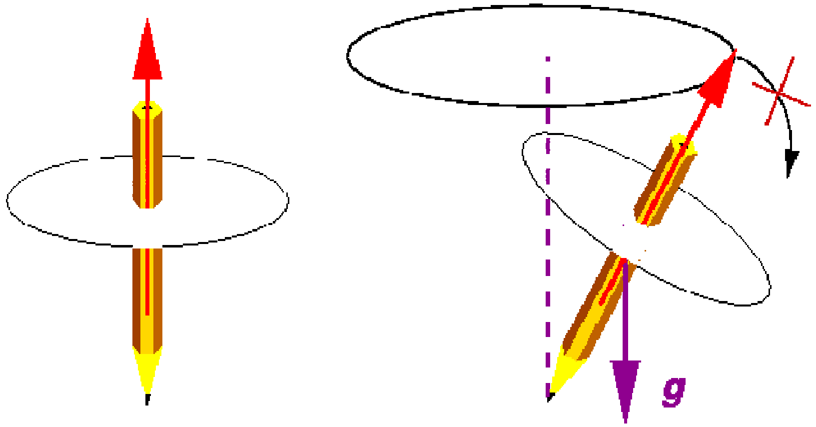
$$\boxed{\Delta\omega = \frac{qB}{2m}}$$

frequenza di Larmor

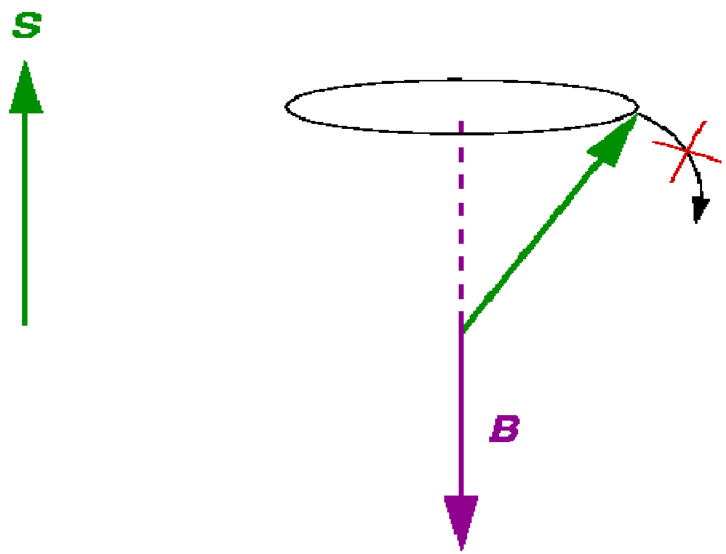
N.B.
si dimostra che:
*raggio r **costante**;
*vale anche per orbite in piani ⊥ **B_0**

La precessione, ovvero non sempre gli aghi si allineano



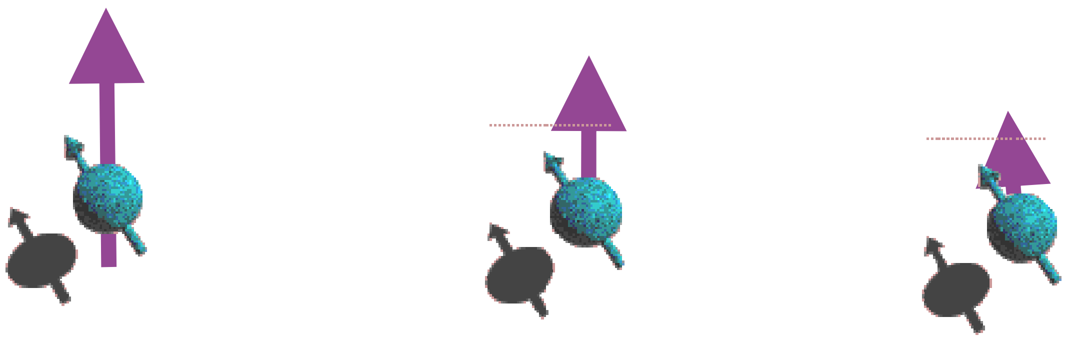


Trottola: il momento angolare precede attorno a **g**



protoni (^{1}H): lo spin precede attorno a **B**

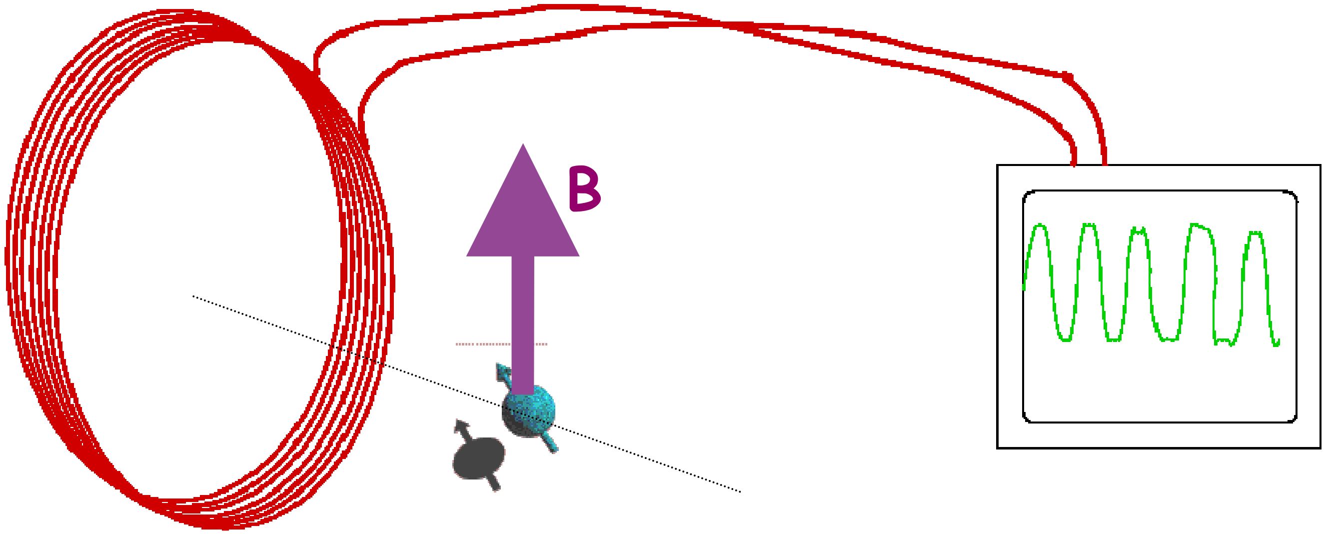
La frequenza di precessione e` regolata dal campo magnetico



$$\omega = \gamma B$$

Precessione di Larmor

Legge di Faraday



bobine di ricezione