CAMPO MAGNETICO

Proprietà della magnetite (Fe_3O_4): attira a sé materiali ferrosi o altre sostanze dette ” **magnetiche**”

Poli del magnete = parti in cui si evidenzia tale proprietà

Proprietà magnetiche possono venire indotte in una bacchetta di ferro avvicinandola alla magnetite: la bacchetta “magnetizzata” costituisce un magnete artificiale (calamita o ago magnetico)

Sperimentalmente si osserva che tra due magneti si esercita una forza $\Rightarrow$

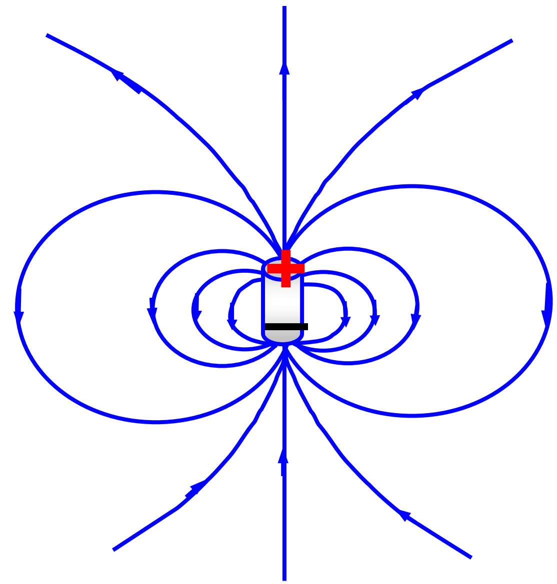
Ogni magnete crea nello spazio circostante un campo di forze non elettrostatiche le cui linee di forza sembrano provenire da due “poli”

Esperienza con limatura di ferro in presenza di una calamita:

i singoli frammenti aghiformi si magnetizzano nella direzione della loro lunghezza, si orientano nella direzione del campo, come un dipolo magnetico, e si addensano dove il campo è più intenso

Si ottiene una rappresentazione dell’andamento geometrico delle linee di campo mediante la limatura magnetizzata

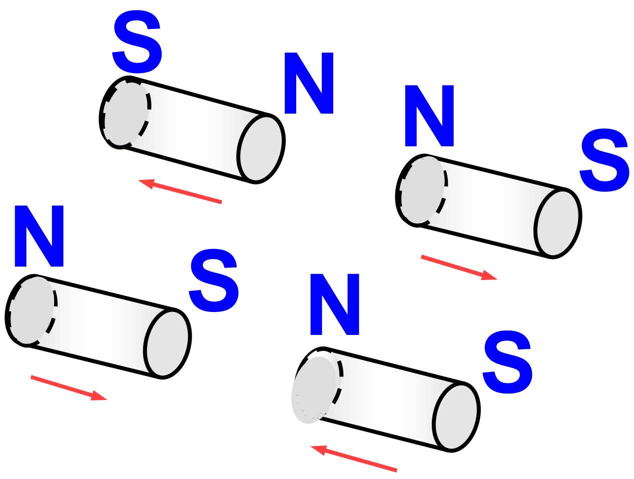
Linee di forza del campo magnetico generato da un magnete



In analogia con il campo elettrostatico i poli dei magneti possono venire pensati come **masse magnetiche,** di segni opposti, che agiscono come sorgenti del campo

Sperimentalmente si verifica che:

le forze tra magneti sono repulsive o attrattive; poli dello stesso segno si respingono, poli di segno opposti si attirano

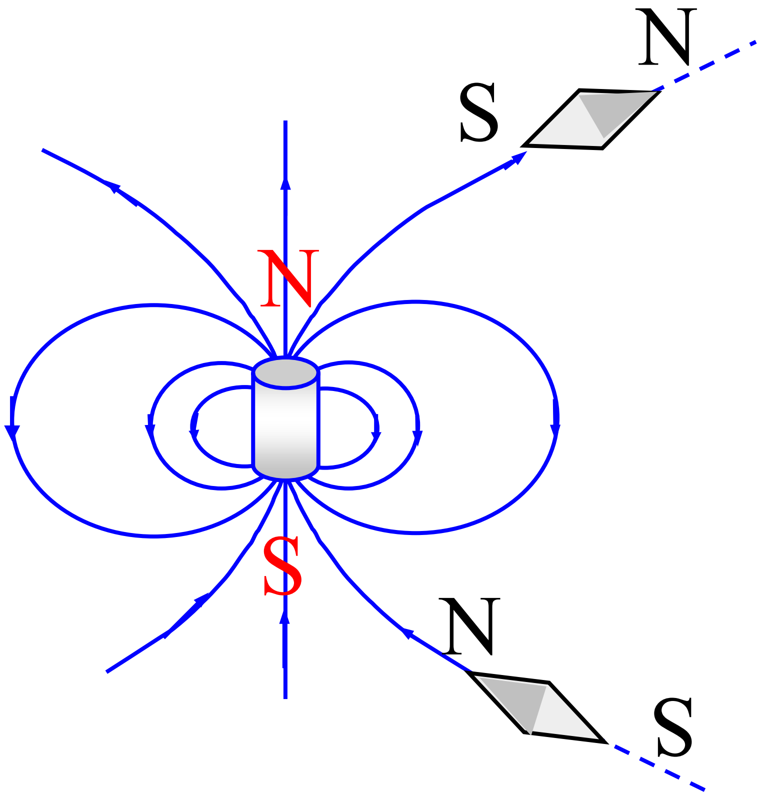


Ma a differenza del campo elettrostatico che deriva **sempre** da cariche elettriche, **non esiste in natura alcuna carica magnetica**

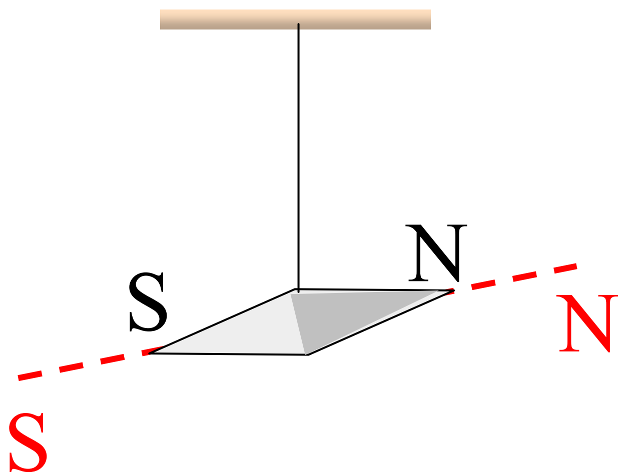
Scomponendo un magnete in parti più piccole si ottengono sempre nuovi magneti, ognuno con entrambi i poli

Elemento costitutivo dei magneti: dipolo magnetico elementare, caratterizzato da un momento di dipolo magnetico **m**

Si deducono le proprietà di un campo magnetico dal comportamento di aghi magnetizzati che, immersi in un campo, si orientano come dipoli elementari nella direzione del campo



Un ago magnetizzato, libero di ruotare, si dispone lungo una direzione prossima a quella del meridiano terrestre del luogo ⇒ esiste un campo magnetico terrestre



Poli di un ago magnetizzato

Si definisce

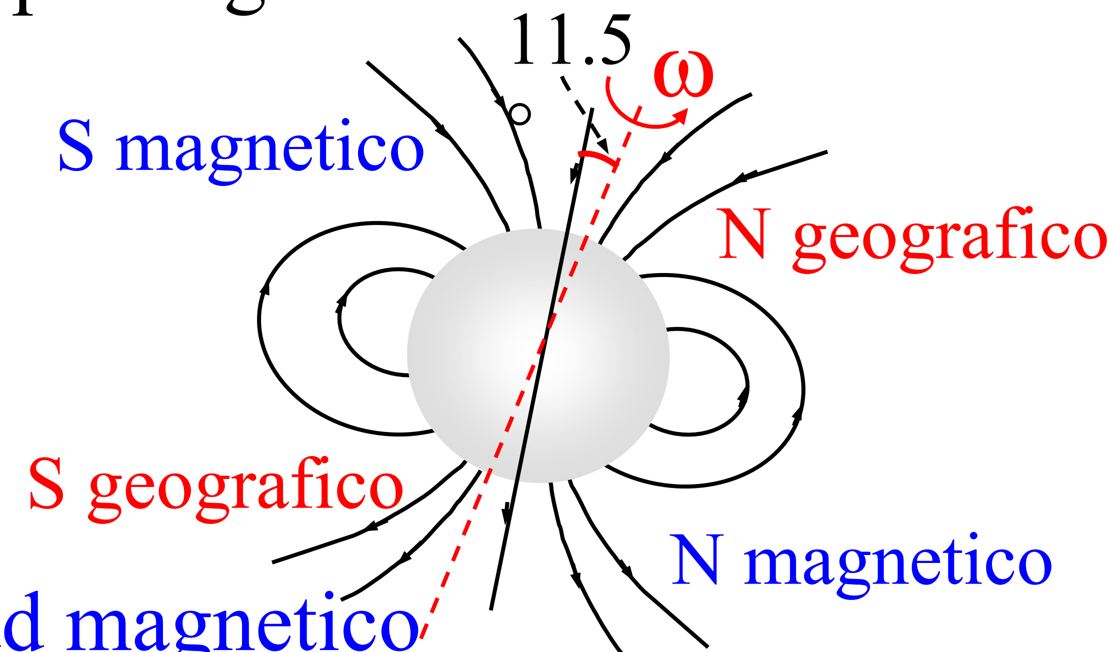
polo nord il polo che si orienta verso **il nord geografico**

polo sud il polo che si orienta verso **il sud geografico**

La Terra si comporta come un magnete, il cui asse forma un angolo di circa 11.5° con l'asse di rotazione terrestre

Poli magnetici = punti di intersezione tra tale asse e la superficie terrestre ≈ poli Nord e Sud geografici

Linee di forza del campo magnetico terrestre



Nord geografico ≡ sud magnetico

Sud geografico ≡ nord magnetico

Con una bilancia di torsione Coulomb determinò la forza attrattiva o repulsiva che si sviluppa tra le estremità ravvicinate di due sbarre magnetizzate lunghe e sottili, i cui poli, sede di ipotetiche “masse” magnetiche, si possono ritenere puntiformi

La forza tra due masse magnetiche puntiformi risultò identica a quella dell’elettrostatica ⇒ Determinazione del campo **H**

L’ impossibilità di isolare in natura monopoli magnetic ⇒ la difficoltà concettuale nel considerare **H** come **campo magnetico** ⇒ la necessità di definire il **campo magnetico B** in relazione alle azioni magnetiche generate dalle **correnti elettriche**, che risulteranno essere le sorgenti del campo

H, campo ausiliario, **campo magnetizzante** viene definito in presenza di materiali

Il primo legame tra i fenomeni elettrici e magnetici fu stabilito con la scoperta di Oersted, resa possibile dalla disponibilità di correnti generate mediante la pila di Volta:

un filo percorso da corrente esercita una forza su un ago magnetico posto nelle sue vicinanze e inoltre un filo percorso da corrente risente l’azione di una forza se è immerso in un campo magnetico

Gli studi di Oersted e di Ampère hanno portato a concludere che **tutti i fenomeni magnetici sono dovuti a correnti elettriche, cioè a cariche in movimento**

Le forze tra magneti si possono ricondurre ad interazioni fra correnti microscopiche presenti negli atomi (correnti amperiane)

Forza su una carica in moto in un campo magnetico – Definizione di B

Forza agente su una carica puntiforme in presenza di un magnete:

se la carica è ferma $\mathbf{F} = 0$

se la carica è in moto con velocità $\mathbf{v}$ $\mathbf{F} \neq 0$

Da osservazioni sperimentali risulta

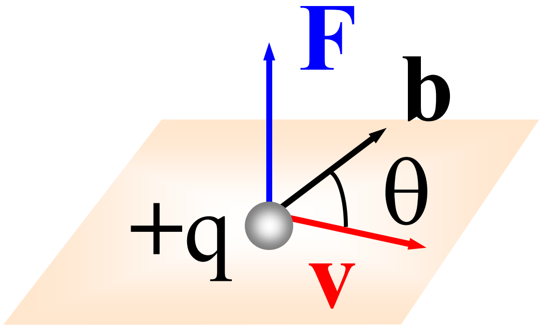
1) $F \propto$ alla carica q del corpo in moto

2) $F \propto$ al modulo v della velocità

3) $\mathbf{F} \perp$ al vettore velocità $\mathbf{v}$;

4) $\mathbf{F} \perp$ ad una direzione $\mathbf{b}$ che dipende solo dal punto P in cui si trova la carica

5) $F \propto \mathrm{sen}\theta$



$\mathbf{F}$ risulta massima quando $\mathbf{v} \perp \mathbf{b}$

Indichiamo con $F_\perp$ il valore massimo della forza

Se $\forall$ P dello spazio definiamo un vettore **B**, che abbia direzione **b** e modulo $\dfrac{F_\perp}{q\,v}$,

la forza magnetica si può scrivere

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

forza di Lorentz

Direzione di **B** $\equiv$ direzione di **v** per cui **F** risulta nulla

B = **B**(x,y,z) "campo magnetico"

(oppure " campo di induzione magnetica")

B campo vettoriale

Unità di misura di **B** nel S. I.:

$$\text{Tesla (T)} = \frac{\text{Ns}}{\text{Cm}} \qquad \text{oppure} \qquad \frac{\text{Weber}}{\text{metro}^2}$$

Weber unità per il flusso del campo **B**

Lavoro compiuto dalla forza di Lorentz

$$W = \int_1^2 \mathbf{F} \bullet d\,\mathbf{s} = \int_1^2 q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} \bullet \mathbf{v}\,dt = 0$$

Per il teorema dell'Energia Cinetica

$$\Delta E_K = W = 0 \Rightarrow$$

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \text{ costante} \Rightarrow$$

il modulo della velocità deve rimanere costante

Unico effetto della forza magnetica è quindi quello di incurvare la traiettoria

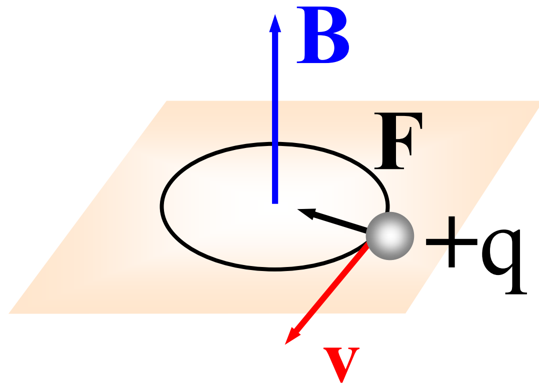
Se una carica si muove in presenza sia di un campo elettrico che di un campo magnetico per il principio di sovrapposizione la presenza di **E** non modifica l'azione di **B** e viceversa

$$\mathbf{F} = q\,(\mathbf{E} + \mathbf{v}\times\mathbf{B})$$

Moto di cariche elettriche in un campo magnetico

B campo magnetico uniforme

q carica puntiforme positiva di massa m in moto con velocità iniziale $\mathbf{v} \perp \mathbf{B}$



Se $\mathbf{E} = 0$ $\quad\quad \mathbf{F} = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

F giace nel piano $\perp$ a **B** che contiene il vettore $\mathbf{v} \Rightarrow$ il moto è piano

$\mathbf{F} \perp \mathbf{v}$ forza centripeta $\Rightarrow |\mathbf{v}| =$ costante

$$|\mathbf{F}| = m\frac{v^2}{R} = \text{costante} \Rightarrow$$

R raggio di curvatura costante

Il moto è circolare uniforme

$$\frac{v^2}{R} = \frac{F}{m} = \frac{q\,v\,B}{m} \quad \Rightarrow R = \frac{m\,v}{q\,B}$$

ω velocità angolare e T periodo sono indipendenti dalla velocità v e dal raggio R della traiettoria

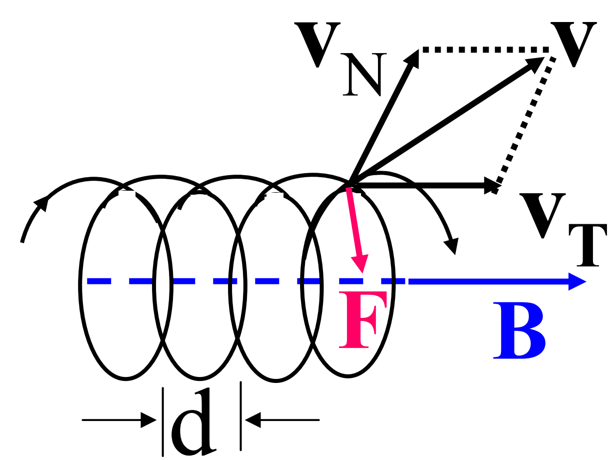
$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{q\,B}{m}$$

Moto elicoidale in un campo **B**

Particella carica in moto con velocità **v** in una regione in cui è presente un campo magnetico

B non ortogonale a **v**

La traiettoria è un'elica



Verifichiamo che, se il campo magnetico è uniforme, la traiettoria è un'elica cilindrica di raggio e passo costanti:

v_T componente di $\mathbf{v}$ // a $\mathbf{B}$

v_N " " $\perp$ a $\mathbf{B}$

$$\mathbf{v} = \mathbf{v_T} + \mathbf{v_N}$$

$$\mathbf{F} = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} = q\,(\mathbf{v_T} + \mathbf{v_N}) \times \mathbf{B} = q\,\mathbf{v_N} \times \mathbf{B}$$

La forza di Lorentz dà luogo ad un moto circolare uniforme in un piano $\perp$ a **B** con velocità $\mathbf{v}_N$

$$R = \frac{m\,v_N}{q\,B} = \frac{m\,v\sin\theta}{q\,B}$$

dove θ è l'angolo tra **v** e **B**

Essendo nulla la componente di **F** nella direzione di **B**, in tale direzione il moto è rettilineo uniforme con velocità $\mathbf{v}_T$

La composizione dei due moti è un moto elicoidale su un cilindro coassiale con **B**

Nel tempo pari al periodo del moto circolare uniforme la carica percorre un tratto d, passo dell'elica, nella direzione di **B**

Da $$\omega = \frac{qB}{m} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\,\pi\,m}{q\,B}$$

e quindi $$d = v_T T = \frac{2\,\pi\,mv\cos\theta}{q\,B}$$