

# Magnetismo

- Vicino a Magnesia, in Asia Minore, si trovava una sostanza capace di attrarre il ferro
- Due sbarrette di questo materiale presentano poli alle estremità, che si attraggono o si respingono come le cariche elettriche
- Ogni sbarretta presenta sempre entrambi i poli, e tagliandola in due parti ciascuna ha i due poli
- I poli sono chiamati polo nord e polo sud
- Finora non è stato possibile trovare particelle con un polo solo (monopoli magnetici)

# Ferromagneti

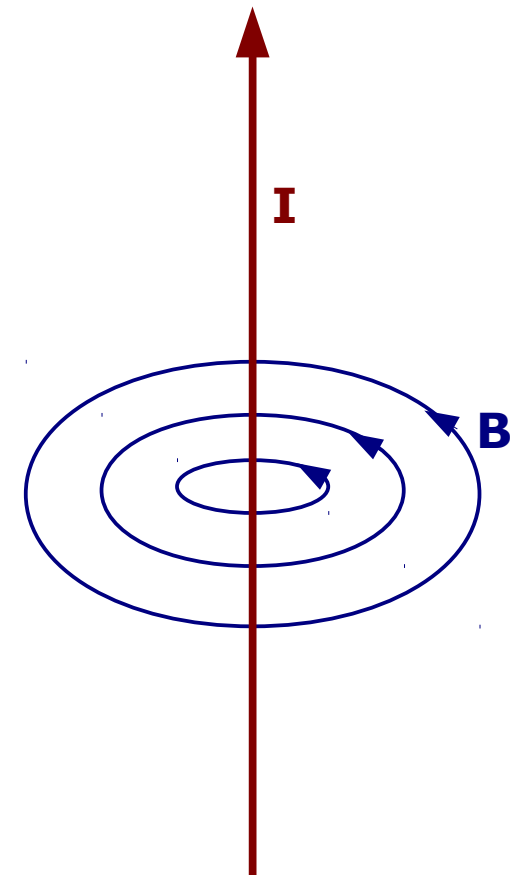
- Il ferro, il cobalto e il gadolinio, tra gli altri, possono generare forti campi magnetici
- Il campo magnetico può essere visualizzato con limatura di ferro, che si dispone parallelamente alle linee del campo
- Una bussola è un magnete che si allinea al campo magnetico terrestre

# Campo magnetico terrestre

- La Terra si comporta come un enorme magnete
- Il suo polo magnetico è abbastanza vicino al polo geografico
- L'angolo tra il nord magnetico e geografico è la declinazione magnetica. In Italia è meno di  $1^\circ$ , ma in Islanda può raggiungere i  $90^\circ$ .
- Il polo magnetico si inverte ogni tanto (ogni qualche centinaio di migliaia di anni) e questo permette la datazione di alcune rocce
- Il campo magnetico non è esattamente parallelo alla superficie, il che impone che le bussole siano fatte diversamente per l'emisfero nord e sud

# Correnti elettriche e campi magnetici

- Nel 1820 Oersted dimostra che una corrente elettrica continua genera un campo magnetico
- Un filo rettilineo percorso da corrente dà origine a un campo magnetico posto sul piano perpendicolare al filo
- Il campo è tangente alle circonferenze centrate nel filo, quindi queste sono le sue linee di campo
- Si trova che il verso del campo magnetico è dato dalla *regola della mano destra*



# Forza su un circuito

- Si può far passare una corrente elettrica in un filo posto in un campo magnetico costante
- Si trova che il magnete esercita una forza sul filo
- La forza è perpendicolare a  $B$ , in modo che  $B$ ,  $I$  (verso della corrente) e la forza formino una terna come  $x$ ,  $y$  e  $z$
- Il verso è determinato da una diversa regola della mano destra
- $F = I L B \sin(\theta)$  dove  $L$  è la lunghezza del tratto di filo considerato
- Mettendo insieme tutto trovo

$$\vec{F} = I \vec{L} \wedge \vec{B}$$

# Forza su una carica elettrica

- La corrente è data da

$$I = nqS\vec{v}$$

- per cui

$$\vec{F} = nqSL\vec{v} \wedge \vec{B}$$

- $nSL$  è il numero di cariche nel tratto del circuito su cui agisce la forza, per cui su ogni carica agisce la Forza di Lorentz

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

# Unità di misura

- L'unità di misura è il Tesla ( $T$ ) pari  $N \cdot m / A$
- Un campo magnetico di  $1 T$  è molto grande, ragion per cui si usa il *gauss*

$$1 \text{ gauss} = 10^{-4} T$$

- Il campo magnetico terrestre è di circa  $0.5 \text{ gauss}$

# Campo generato da un filo rettilineo

- Sperimentalmente trovo che  $B$  è proporzionale a  $I/r$ .
- Scrivo la costante di proporzionalità come  $\mu_0 / 2\pi$
- In conclusione trovo la legge di Biot e Savart

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

- La costante universale  $\mu_0$  vale  $4\pi \cdot 10^{-7}$  nelle unità del sistema internazionale



# Forza tra fili paralleli

- Un filo percorso da corrente genera un campo

$$B_1 = (\mu_0 / 2\pi) I / r$$

- Il secondo filo subisce una forza per effetto di questo campo

$$F_{1 \rightarrow 2} = I_2 L_2 B_1$$

- La forza che agisce sul secondo filo dovuta al campo magnetico generato dal primo è quindi

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} L_2$$

- La forza è attrattiva o repulsiva a seconda che le correnti siano in verso uguale o opposto

# Unità di corrente e di carica

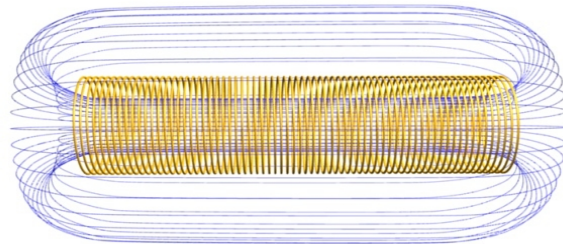
- Conoscendo  $\mu_0$  e la forza tra fili distanti  $r$ , se la corrente in ciascun filo è  $1\text{ A}$ , la forza che si esercita tra loro, per unità di lunghezza è data da

$$\frac{F_{1 \rightarrow 2}}{L_2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

- Questa è la definizione dell'Ampère
- Il Coulomb è definito ora come  
Coulomb=Ampère·secondo

# Solenoidi

- è un avvolgimento costituito da molte spire



- Se il solenoide è molto lungo e le sue spire molto vicine valgono alcune notevoli proprietà
  - Il campo magnetico è uniforme in tutto il solenoide
  - Il modulo vale  $B = \mu_0 n I$ , dove  $n$  è il numero di spire per unità di lunghezza e  $I$  la corrente
  - Fuori dal solenoide il campo è nullo

# Legge di Ampère

- Lega le correnti che passano in un circuito con il campo magnetico che producono
- Per il filo indefinito, se percorro una linea di campo trovo che

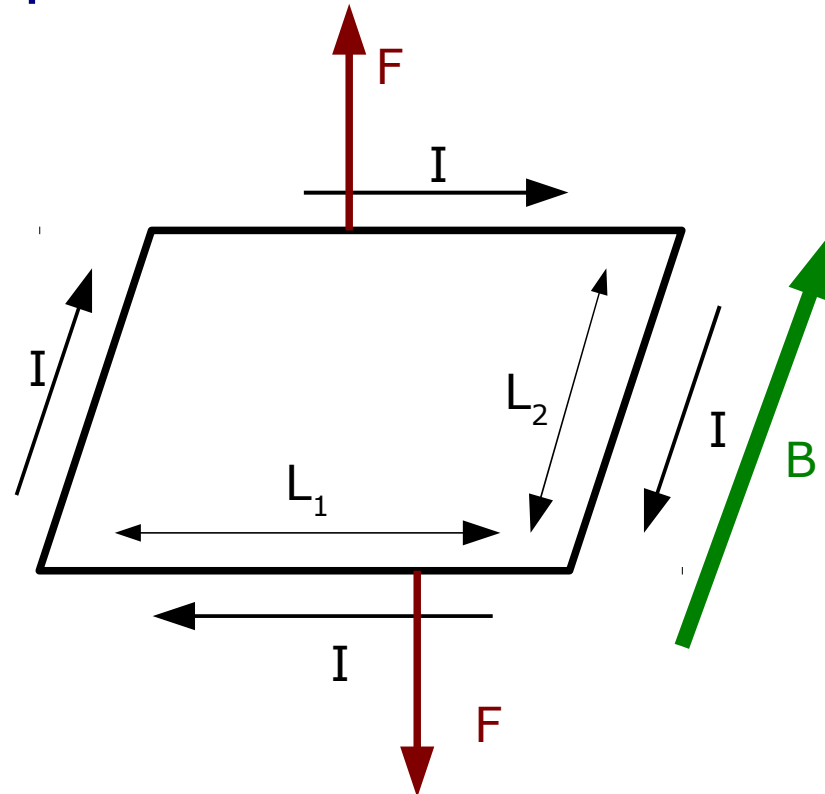
$$\sum_i \vec{B}_i \cdot \Delta \vec{x}_i = \mu_0 I$$

- Questa relazione si può generalizzare dicendo che per una generica linea chiusa  $C$  che concatena le correnti  $I_1, I_2, \dots, I_N$

$$\sum_k \vec{B}_k \cdot \Delta \vec{x}_k = \mu_0 \sum_k I_k$$

# Coppia di forze su una spira

- Se la spira è perpendicolare a  $\mathbf{B}$



- C'è una coppia di forze sulla spira e un momento

$$\tau = I L_1 L_2 B = I S B \quad \vec{\tau} = I S \vec{n} \wedge \vec{B}$$

# Coppia di forze su una spira -2-

- Se ho  $N$  spire sull'avvolgimento, il momento è  $N$  volte più grande
- La formula vale anche se  $\mathbf{B}$  non è nel piano della spira.
- La normale alla spire è ancora determinata con una regola della mano destra
- La spira si comporta come un ago magnetico, per cui le associo un momento magnetico

$$\vec{M} = N I A \vec{n}$$

# Moto di una particella per $B$ costante

- La forza sulla carica  $q$  è sempre perpendicolare alla velocità
- Questa è una caratteristica del moto circolare uniforme
- Calcolo il raggio di curvatura da  $a=v^2/R$
- $a = F/m = qvB/m$
- $R = v^2/a = mv^2/qvB = mv/qB$
- Il raggio di curvatura dipende sia dalla carica che dalla massa
- Su questa formula si basa lo spettrometro di massa, utile per separare gli isotopi

# Problemi

- I fili elettrici in casa possono modificare un campo magnetico?
- Si può mettere in moto un elettrone a riposo utilizzando solo il campo magnetico? E aumentare la sua velocità?
- Una carica viene deflessa dalla presenza di un campo. Come si fa a stabilire se è elettrico o magnetico?
- Cosa succede al campo magnetico in un solenoide se
  - a) si raddoppia il diametro delle spire
  - b) si raddoppia il passo delle spire
  - c) si raddoppia lunghezza del solenoide e numero di spire?



# Esercizi

- Quanto è la forza per unità di lunghezza su un filo percorso da una corrente di  $8.4\text{ A}$  e preperdicolare ad un campo magnetico di  $0.90\text{ T}$ ?
- Un elettrone di  $5\text{ MeV}$  di energia si muove in un campo magnetico di  $0.2\text{ T}$ . Determinare il raggio della sua traiettoria
- Un cavo dell'alta tensione trasporta  $95\text{ A}$  ed è sospeso a tralicci alti  $8.5\text{ m}$ . Trovare il campo magnetico a terra e confrontatelo con quello terrestre
- Dimostrate che il momento magnetico dell'elettrone che orbita attorno al nucleo dell'atomo di idrogeno è legato al momento angolare da  $M=(e/2m) L$