

Lezione 17 - Circuiti

- Un circuito è un dispositivo, anche complesso, in cui si fa circolare corrente elettrica in modo da trasformare energia elettrica in altre forme di energia utilizzabili da vari apparecchi:
 - lampadine
 - motori
 - riscaldatori elettrici
 - altri circuiti...
- Per mantenere un flusso di cariche in un circuito, cioè una corrente, occorre un *generatore di forza elettromotrice (f.e.m.)*

Generatori di f.e.m.

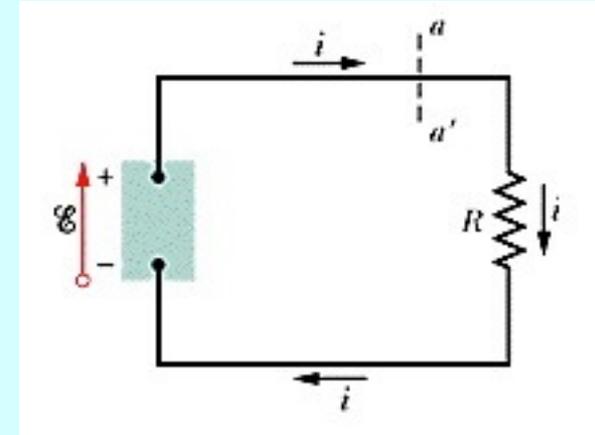
- Un generatore di f.e.m. è un apparecchio che è in grado di mantenere una ddp a spese di una qualche riserva di energia:
 - batteria (energia chimica)
 - generatore di corrente (energia meccanica)
 - cella fotovoltaica (energia elettromagnetica)
 - cella a combustibile (combustibile)
 - termopila (differenza di temperatura) ...

Azione di un generatore di f.e.m

- In un circuito elementare un generatore di f.e.m. sposta i portatori di carica positivi dal polo a potenziale minore a quello a potenziale maggiore: per fare questo il generatore compie un lavoro a spese della sua riserva di energia
- Nel circuito in figura, in un intervallo di tempo dt il generatore sposta una carica dq dal polo negativo a quello positivo compiendo un lavoro dL
- La f.e.m è definita da:

$$\mathcal{E} = \frac{dL}{dq}$$

illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano



La carica dq attraversa la superficie a-a' nell'intervallo di tempo dt

Le f.e.m si misurano in Volts

Esempio di trasferimento energetico

Esempio di circuito con due batterie ricaricabili, un resistore ed un motore elettrico

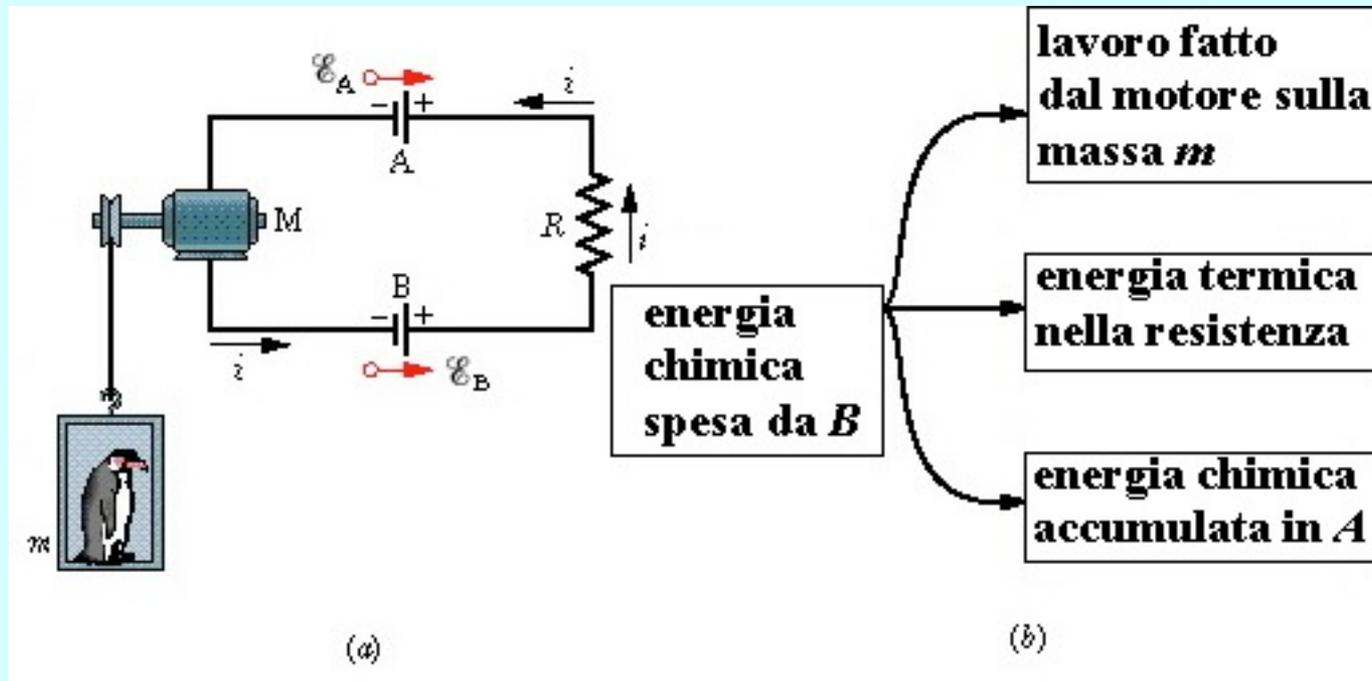


illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

Calcolo della corrente I

- Vediamo ora come si può calcolare la corrente i che circola in un semplice circuito a maglia singola
- Si parte dal punto a , che sarà ad un certo potenziale V_a , e si ritorna in a dopo aver compiuto un giro (in un verso qualsiasi) lungo la maglia: la somma delle ddp attraversate deve essere uguale a V_a

$$V_a = \mathcal{E} - ir - iR + V_a$$

$$i = \frac{\mathcal{E}}{r + R}$$

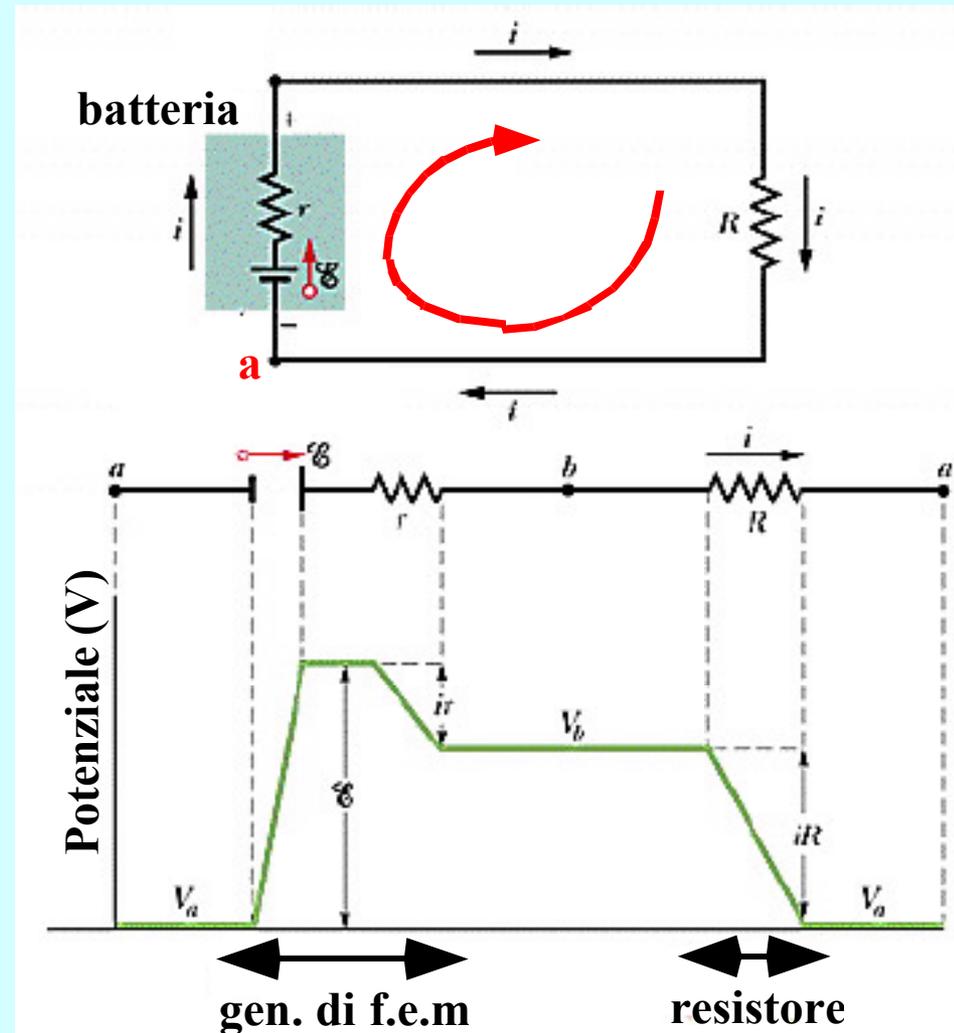


illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

Legge delle maglie

- Legge delle maglie o seconda legge di Kirchhoff:

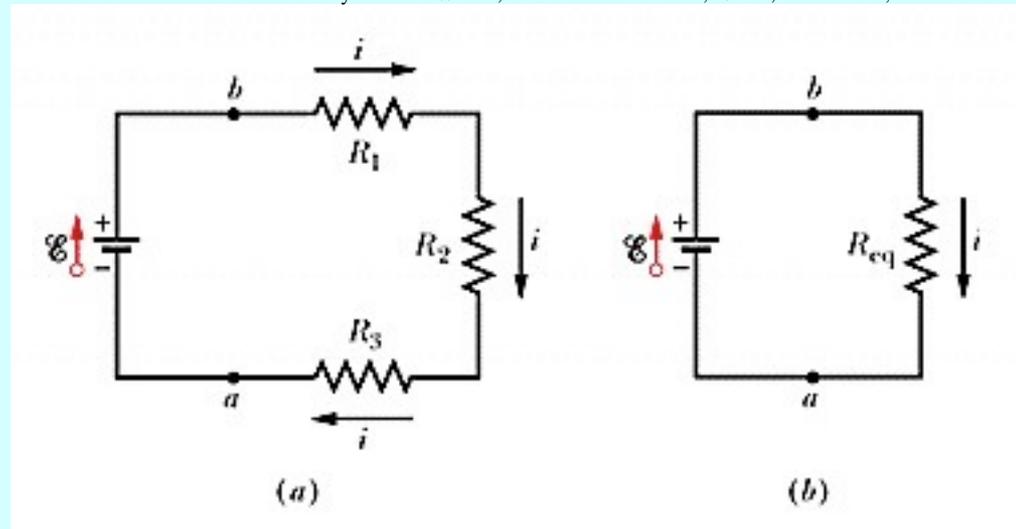
La somma algebrica delle ddp incontrate percorrendo un circuito chiuso è sempre nulla

- ddp della f.e.m.
 - la ddp attraverso un generatore di f.e.m è positiva se si passa dal polo negativo a quello positivo (negativa viceversa)
- ddp della resistenza
 - la ddp attraverso una resistenza R è $-iR$ se si passa nel verso della corrente, $+iR$ viceversa

Resistenze in serie

illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

- Due o più resistenze sono collegate in serie quando la somma delle singole ddp è pari alla ddp ai capi della combinazione di resistenze
- Si può ricavare facilmente la resistenza equivalente a quella delle tre resistenze del circuito (a):



Siccome

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R_{eq}}$$



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$\mathcal{E} - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0;$$

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Si generalizza poi a n resistenze in serie:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_n$$

Circuiti a più maglie e legge dei nodi

- Il circuito a lato ha due maglie (*bad* e *bcd*) e due nodi (*b* e *d*)
- Si utilizza la **legge dei nodi**, detta anche prima legge di Kirchhoff:

La somma delle correnti che entrano in un nodo è uguale alla somma delle correnti che escono dallo stesso

- Essendo le maglie più di una occorrerà utilizzare anche la legge delle maglie per ottenere più equazioni:

nodo *b* $i_1 + i_3 = i_2$

maglia *bad* $\mathcal{E}_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0$

maglia *bdc* $-i_3 R_3 - i_2 R_2 - \mathcal{E}_2 = 0$

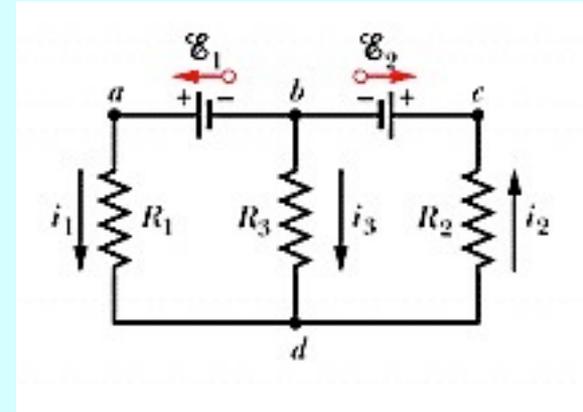
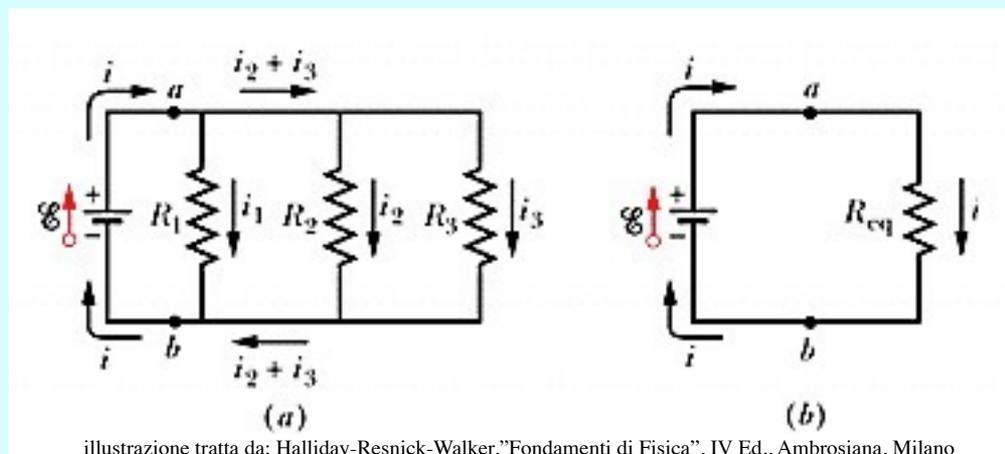


illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

Sistema di tre equazioni nelle tre incognite i_1 , i_2 ed i_3

Resistenze in parallelo

- Due o più resistenze sono collegate in parallelo quando la ddp applicata alla combinazione di resistenze è uguale alla ddp applicata alla singola resistenza



Nel circuito in figura abbiamo:

$$i_1 = \frac{V}{R_1} ; i_2 = \frac{V}{R_2} ; i_3 = \frac{V}{R_3}$$

Applicando la legge dei nodi al punto (a):

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Siccome:

$$i = \frac{V}{R_{eq}}$$

segue che

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Per n resistenze in parallelo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Voltmetri ed amperometri

- *Voltmetri* ed *amperometri* sono strumenti che consentono di misurare, rispettivamente, *ddp* e *correnti* all'interno di un circuito
- Per non perturbare il funzionamento del circuito occorre che:
 - i voltmetri abbiano una resistenza interna molto alta
 - gli amperometri abbiano una resistenza interna molto bassa

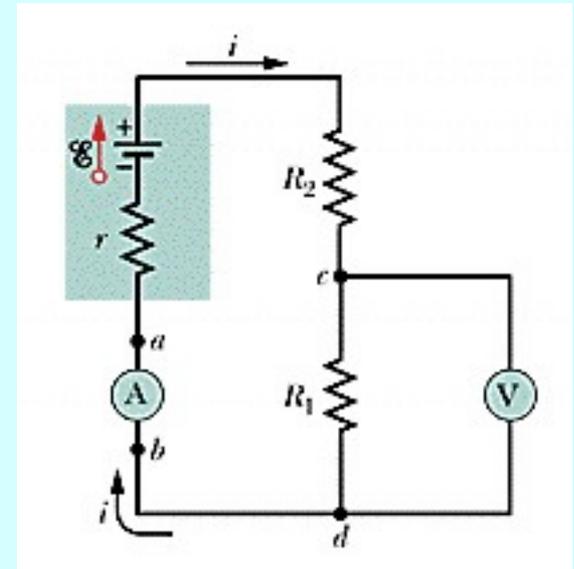


illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

Il campo magnetico

- L'esperienza mostra che esistono dei corpi, chiamati *magneti*, in grado di esercitare a distanza forze su altri magneti o su corpi ferrosi
- Interpretiamo questo fatto dicendo che un **magnete** genera nello spazio circostante un **campo magnetico**
- Due comuni tipi di magneti:
 - elettromagneti: usano corrente per produrre un campo magnetico
 - magneti permanenti: generano un campo magnetico senza bisogno di correnti

Sorgenti del campo magnetico

- Si potrebbe pensare, in analogia con l'elettrostatica, che esistano delle *cariche magnetiche (monopoli magnetici)* che generano il campo: queste cariche tuttavia non sono mai state trovate
- I campi magnetici si possono instaurare in due modi:
 - una corrente (un flusso di cariche in moto) genera sempre un campo magnetico
 - gli elettroni posseggono un campo magnetico intrinseco: in certe sostanze (i magneti permanenti) i campi degli elettroni sono allineati in modo che la somma dei campi elementari dia un campo macroscopico non nullo
(nella maggior parte delle sostanze i campi magnetici degli elettroni si sommano in modo da dare un campo macroscopico nullo)

Definizione del campo magnetico **B**

- Da una serie di esperimenti si deduce che particelle cariche in moto attraverso un campo magnetico subiscono una forza (detta *forza di Lorentz*) dovuta alla presenza del campo
- Si può allora definire il vettore campo magnetico **B** misurando la forza **F** che esso esercita su una carica di prova (positiva) q in moto con velocità \mathbf{v} :

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

Forza di Lorentz

Dal modulo di B: $B = \frac{F}{|q|v}$

si definiscono le unità di misura di B

$$[B] = 1 \frac{\text{newton}}{(\text{coulomb})(\text{metro} / \text{s})} = \text{tesla} = 1 \text{ T}$$

Forza di Lorentz e campo magnetico

- La *regola della mano destra* aiuta a capire le relazioni spaziali tra velocità, forza e campo

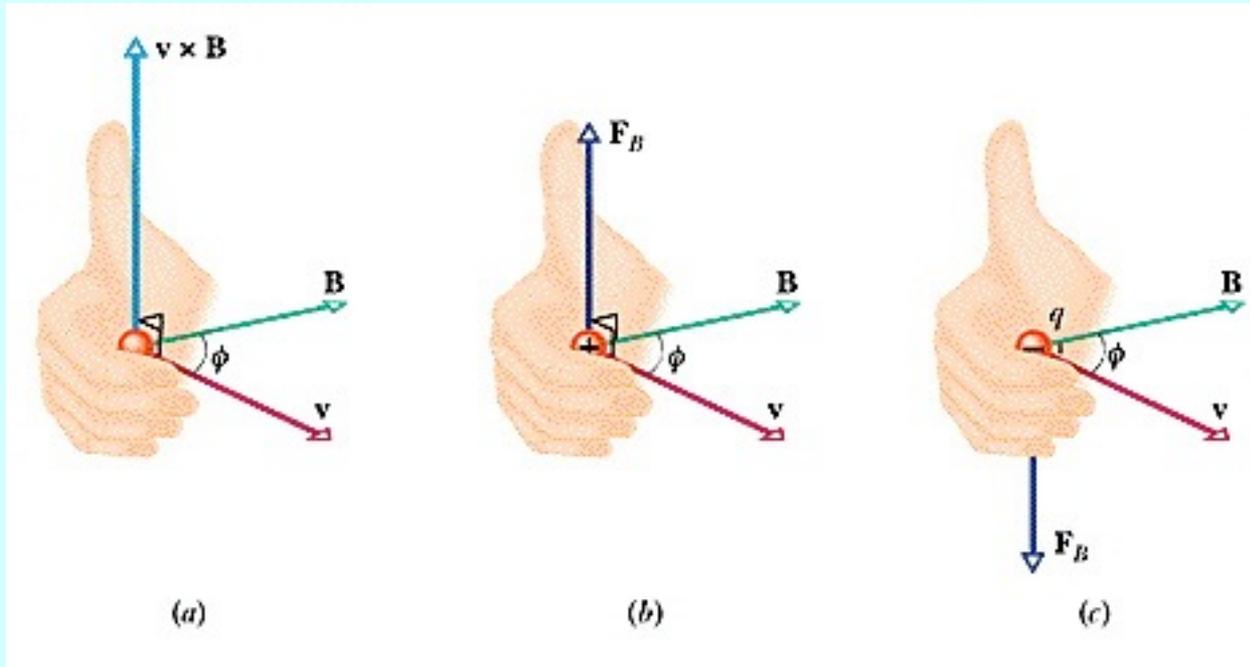


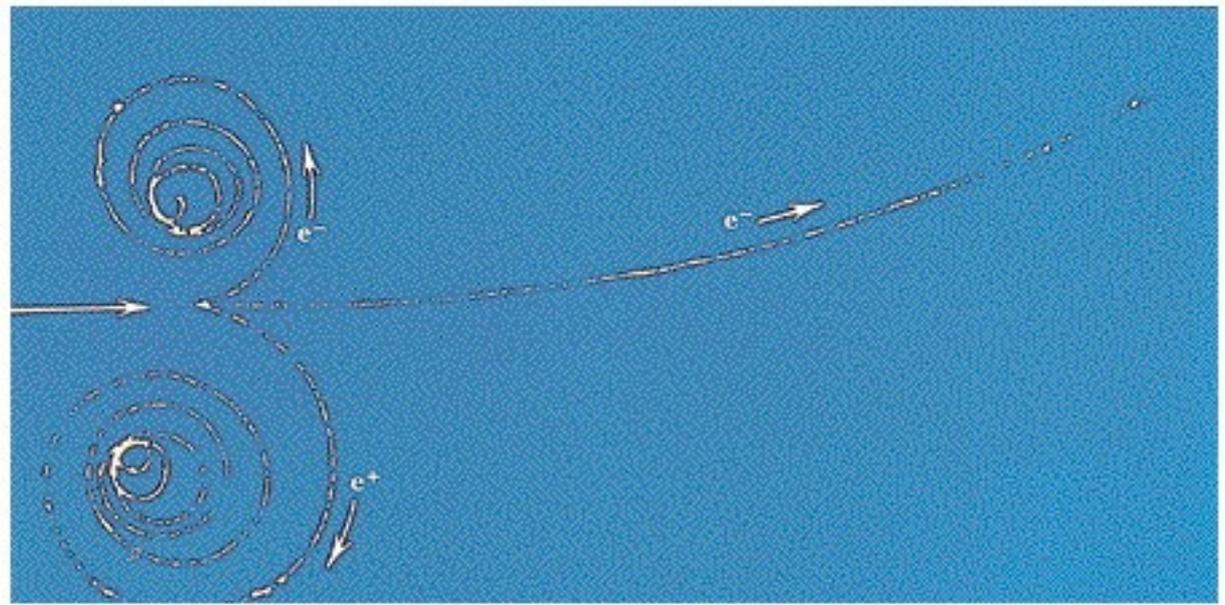
illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

- Notare che \mathbf{F} è sempre ortogonale a \mathbf{v} e quindi non può far variare l'energia cinetica della particella

Forza di Lorentz

Carica in moto in un campo magnetico uniforme

- Data la forma della forza di Lorentz, si vede che una particella carica in moto in un campo magnetico uniforme compie una traiettoria curva (a spirale)



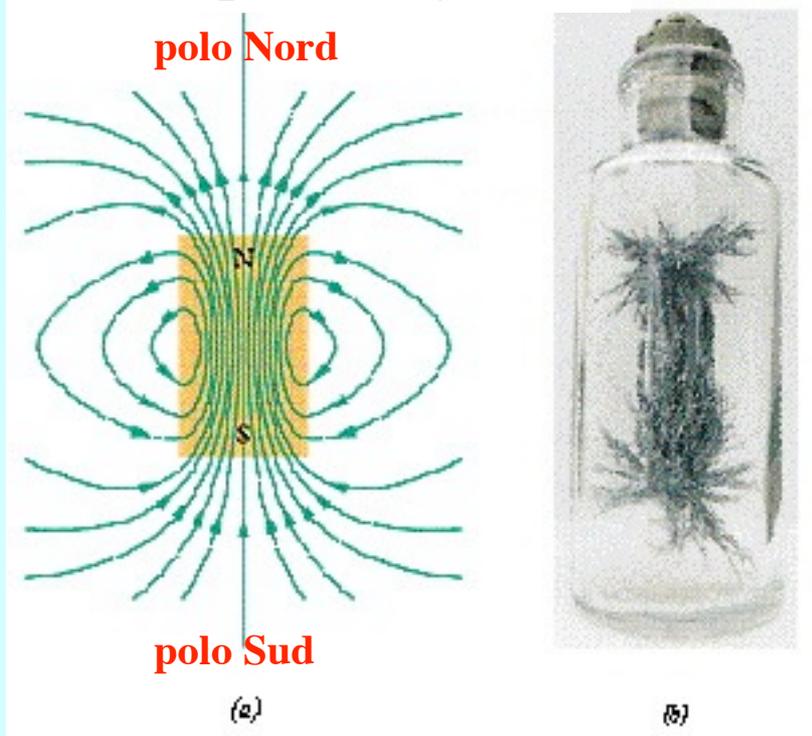
deflessione di e^-

illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

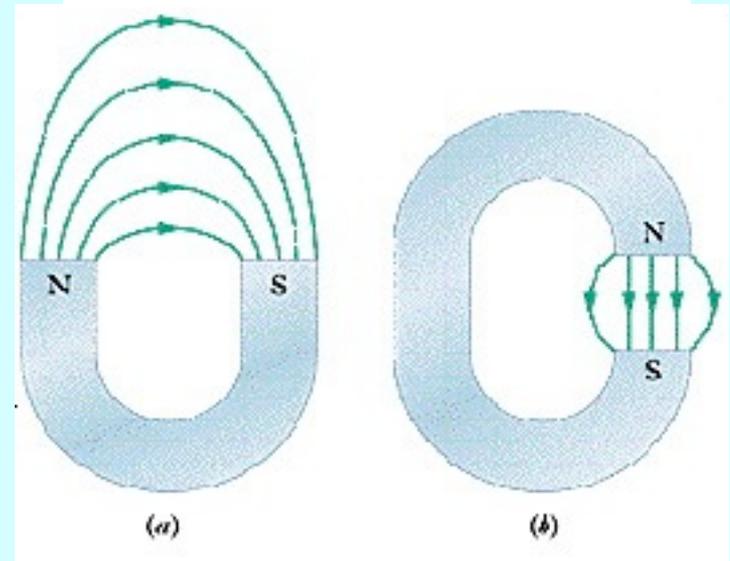
Linee di campo magnetico

- Dato che non esistono cariche magnetiche, il *magnete elementare* è un **dipolo magnetico** formato da un **polo Nord** ed un **polo Sud**
- Le linee di forza del campo escono dal polo nord ed entrano in quello sud e sono sempre linee continue chiuse: non esistono cioè sorgenti puntiformi del campo magnetico **B**

Dipolo magnetico



Magneti permanenti



illustrazioni tratte da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

Campi magnetici in natura e non

superficie di una stella di neutroni	10^8 T
magnete superconduttore di PVLAS	8 T
grande elettromagnete	1.5 T
vicino ad una barretta magnetica	10^{-2} T
superficie terrestre	10^{-4} T
spazio interstellare	10^{-10} T
camera magneticamente schermata	10^{-14} T