Università degli Studi di Perugia
Facoltà di Medicina e Chirurgia

Fisica

Leonello Servoli

Leonello.servoli@pg.infn.it

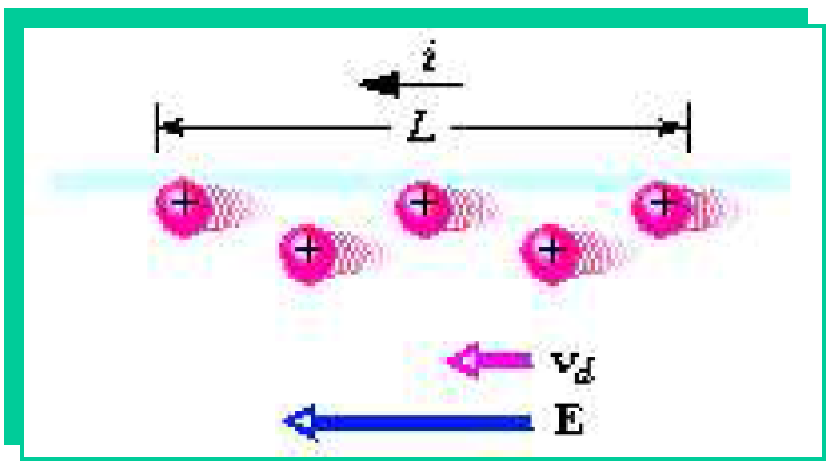
Tel.: 0039-348-3345847

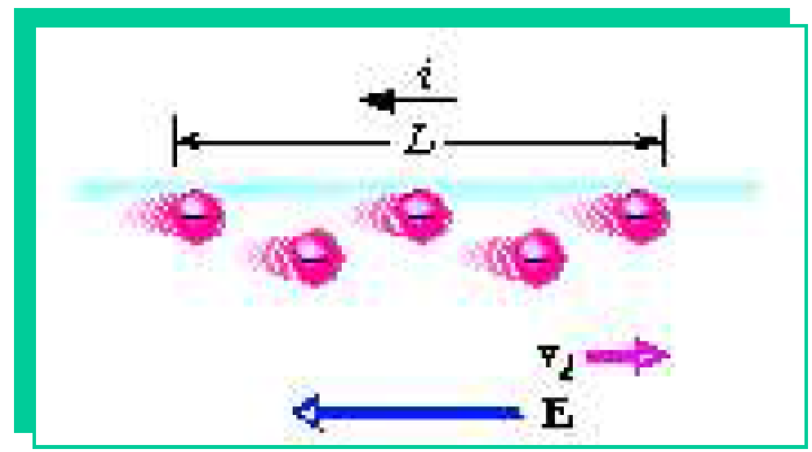
http://www.fisica.unipg.it/~servoli

10 novembre	**15-18**	**7**
13 novembre	**16-18**	**8**
17 novembre	**16-18**	**9**
24 novembre	**15-18**	**10**
27 novembre	**15-18**	**11**
2 dicembre (martedì)	**15-18**	**12**
5 dicembre (venerdì)	**15-18**	**13**
12 dicembre (venerdì)	**14-17**	**14**

CORRENTE ELETTRICA (1)

Applicando una d.d.p. ai capi di un filo conduttore, poiché in esso vi sono delle cariche libere di muoversi, si produce una ***corrente elettrica***.





PER CONVENZIONE: Il verso della corrente è quello del moto delle cariche positive (opposto a quello delle cariche negative).

CORRENTE ELETTRICA (2)

La corrente elettrica è quindi un flusso di cariche elettriche ed è definita come la carica che passa nell'unità di tempo in una sezione del conduttore

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Se i è costante la corrente è definita *continua*

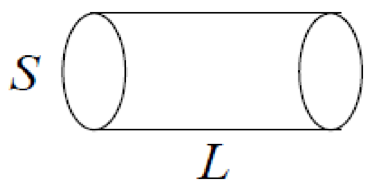
$$[i] = Cs^{-1} = A$$

Ampère

CORRENTE ELETTRICA (3)

Nei metalli sono i cosiddetti *elettroni di conduzione* che si muovono sotto l'azione del campo elettrico.

Supponiamo di avere una velocità media di migrazione v e di avere n elettroni per unità di volume



$$i = \frac{Q}{t} = \frac{enSL}{L/v} = enSv$$

Consideriamo un filo di rame di raggio r

$r = 10^{-3}\, m$ $\qquad 1\, uma = 1.66 \cdot 10^{-27}\, Kg$

$i = 10\, A$ $\qquad e = 1.6 \cdot 10^{-19}\, C$

$\rho = 8.9 \cdot 10^{3}\, Kg\, m^{-3}$ $\qquad M = 64\, uma$

$$n = \frac{8.9 \cdot 10^{3}}{64 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}} = 8.4 \cdot 10^{28}\, m^{-3}$$

$$v = \frac{i}{en\pi r^{2}} = 2.4 \cdot 10^{-4}\, m\, s^{-1}$$

Una velocità piuttosto bassa: ~4200 s (più di 1h) per percorrere 1 m.

Quando si preme l'interruttore la lampada si accende "subito"

v~3 10^8 m/s !!!

CORRENTE ELETTRICA (4)

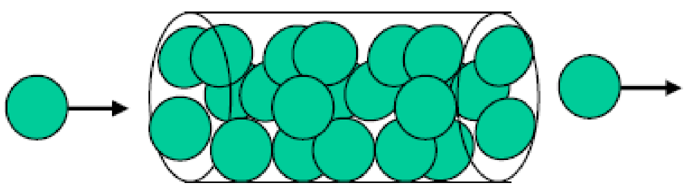
I conduttori metallici si possono considerare costituiti da un reticolo entro il quale si può muovere, quasi liberamente, un "gas di elettroni" (Gas di Fermi) originato dal fatto che più elettroni appartenenti alle orbite più esterne dei singoli atomi, quando questi si avvicinano per costituire un cristallo metallico, si svincolano pressoché totalmente dal proprio atomo originario.

Metallo	ρ_e elettronica (elettroni/m^3)*10^{28}	ρ_a atomica (atomi/m^3)*10^{28}	ρ_e/ρ_a
Alluminio	18.1	6.0	3
Argento	5.9	5.9	1
Litio	4.6	4.6	1
Oro	5.9	5.9	1
Rame	8.4	8.4	1
Zinco	13.2	6.5	2

A titolo indicativo, nella tabella viene riportata la densità di questo gas di elettroni per alcuni metalli, la corrispondente densità atomica (numero di atomi per unità di volume) e il rapporto fra i due valori. Tale rapporto consente di evidenziare il numero medio di elettroni liberi donati da ciascun atomo al gas di Fermi.

CORRENTE ELETTRICA (5)

La similitudine meccanica del gas di Fermi è un tubo metallico riempito di sfere metalliche indeformabili. Se si prova ad inserire, da una parte del tubo, un'altra sfera, nei tempi legati agli urti fra le sfere, ne uscirà un'altra dalla parte opposta.



Il fatto sperimentale che il segnale elettrico (l'urto fra le sferette metalliche nel modello) si propaghi ad una velocità $\sim 3 \cdot 10^8$ m/s ci dice che le cariche si scambiano fra loro luce (fotoni).

Un conduttore percorso da corrente è neutro elettricamente!!!!

RESISTENZA ELETTRICA (1)

Se applichiamo ad un conduttore una d.d.p. ΔV=cost allora $E=\Delta V/d$ e quindi la forza che agisce sulle cariche è costante. ***Dunque gli elettroni si dovrebbero muovere di moto accelerato e la corrente dovrebbe crescere!***

Invece si nota sperimentalmente che se la d.d.p. è costante lo è anche la corrente

⇓

DEVE ESISTERE UNA "FORZA D'ATTRITO"

RESISTENZA ELETTRICA (2)

Questa “forza di attrito” è descritta dalla cosiddetta
RESISTENZA ELETTRICA

R è uno scalare

$$R = \frac{V}{i}$$

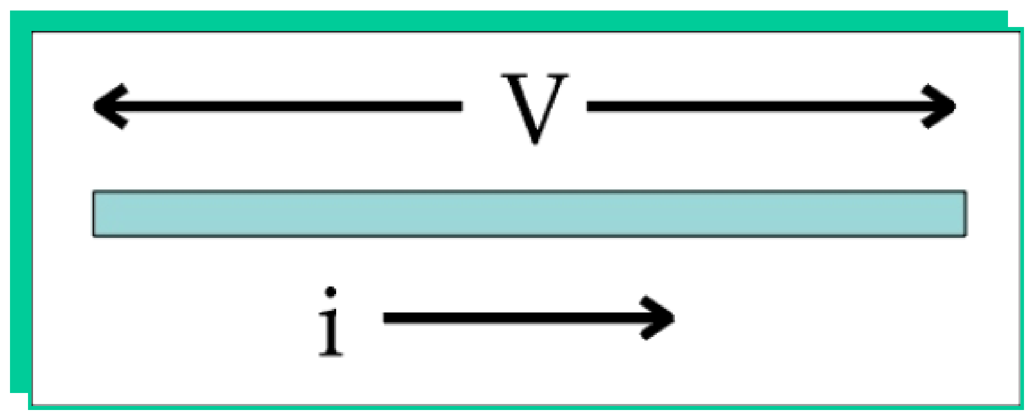
$$[R] = \frac{Volt}{Ampère} = Ohm = \Omega$$

LEGGI DI OHM

1ª legge di Ohm:

In un conduttore metallico l'intensità della corrente elettrica è proporzionale alla d.d.p. applicata ai suoi estremi.

$$\boxed{V = R \cdot i}$$



LEGGI DI OHM

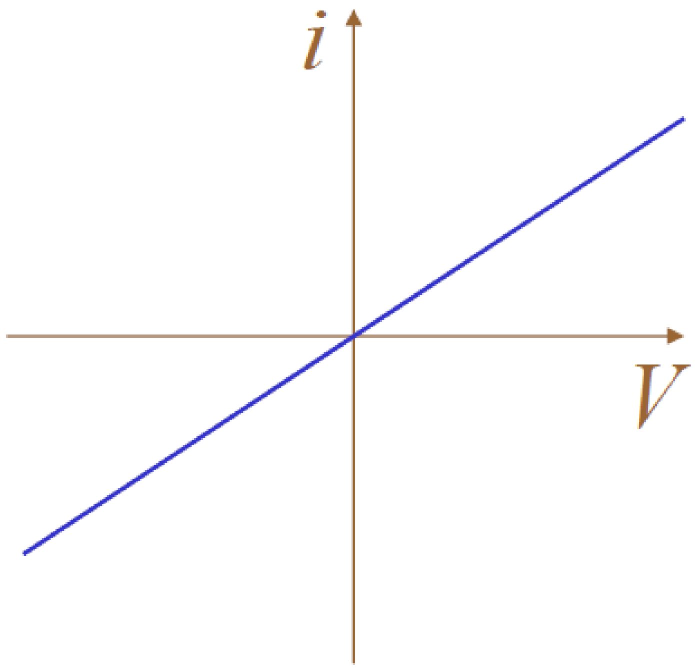
2ª legge di Ohm:
La resistenza di un conduttore metallico, di lunghezza *d* ed area della sezione *A*, è data dalla formula

$$\boxed{R = \rho \frac{d}{A}}$$

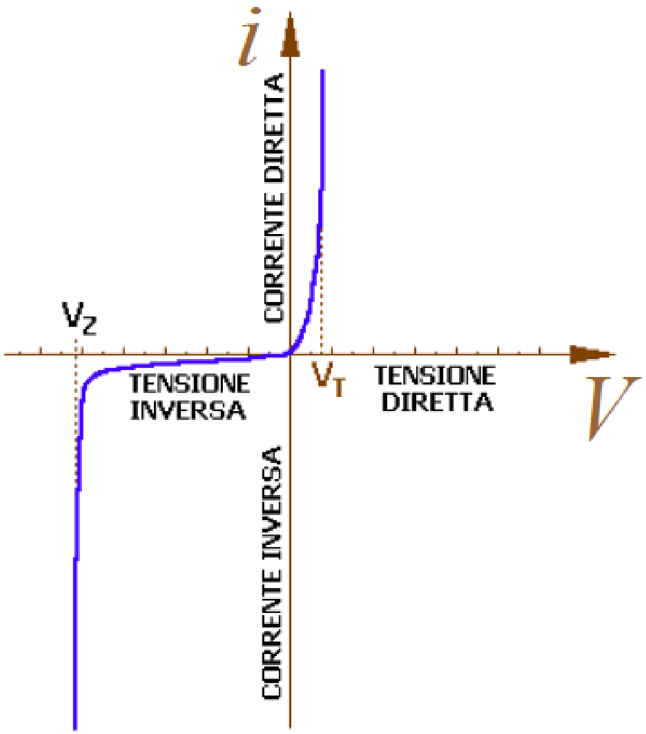
ρ si chiama ***resistività,*** dipende dalla natura del materiale e dalla sua temperatura.

RESISTENZA ELETTRICA (3)

Conduttori ohmici



Diodi raddrizzatori



RESISTIVITA'

La resistività ρ si misura in $\Omega \cdot m$ e dipende dalla temperatura. Per T=300 °K

	Materiale	ρ $(\Omega \cdot m)$
conduttori	Argento	$1.5\ 10^{-8}$
	Rame	$1.7\ 10^{-8}$
	Alluminio	$2.6\ 10^{-8}$
	Sangue	0.2
semiconduttori	Germanio	0.6
	Silicio	$2.3\ 10^{3}$
isolanti	Vetro	10^{14}

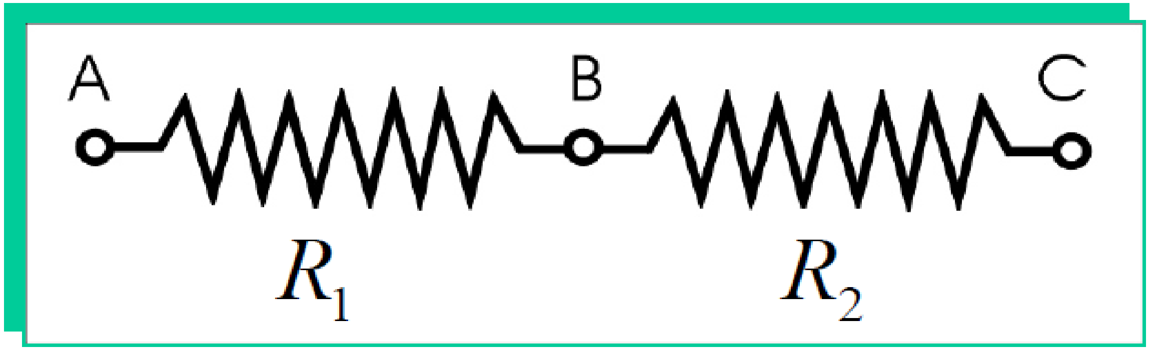
PRINCIPI DI KIRCHOFF

Un circuito elettrico è un percorso chiuso dove passa della corrente i

1. La somma algebrica delle variazioni di potenziale elettrico lungo un percorso chiuso è zero.

2. La somma delle correnti che entrano in un nodo deve essere eguale alla somma delle correnti che escono

RESISTENZE IN SERIE



DEFINIZIONE: Sono attraversate dalla stessa corrente

$$V_B - V_A = R_1 \cdot i \qquad V_C - V_B = R_2 \cdot i$$

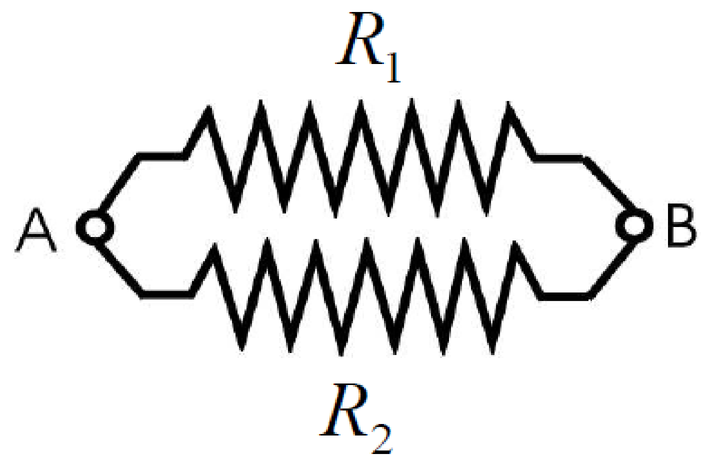
Sommando $$V_C - V_A = (R_1 + R_2) \cdot i$$

$$R_{equivalente} = R_1 + R_2$$

RESISTENZE IN PARALLELO

$$i_1 = \frac{V_B - V_A}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{V_B - V_A}{R_2}$$



DEFINIZIONE: Si trovano alla stessa differenza di potenziale

Sommando $$i = i_1 + i_2 = (V_B - V_A)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$R_{equivalente} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

EFFETTO JOULE

L'energia erogata dalla d.d.p. ***V*** per il passaggio della carica ***q* = *i*· *t***, è data dalla formula

$$L = V \cdot q = V \cdot i \cdot t = R \cdot i^2 \cdot t$$

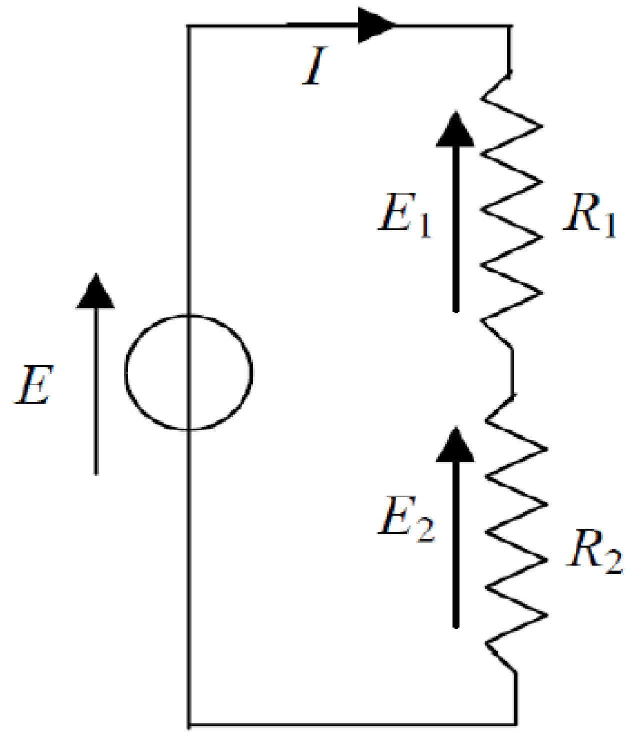
La potenza dissipata in calore è

$$P = \frac{L}{t} = R \cdot i^2$$

Esempio 1

Consideriamo il circuito di figura comprendente un generatore di tensione continua E e due resistenze R_1 e R_2.
$E=100$ V; $R_1=10\ \Omega$ e $R_2=15\ \Omega$.

Calcolare:
- la corrente totale circolante nel circuito;
- le correnti e le cadute di tensione sulle due resistenze;
- la potenza totale dissipata nel circuito.



Esempio 1 (cont..)

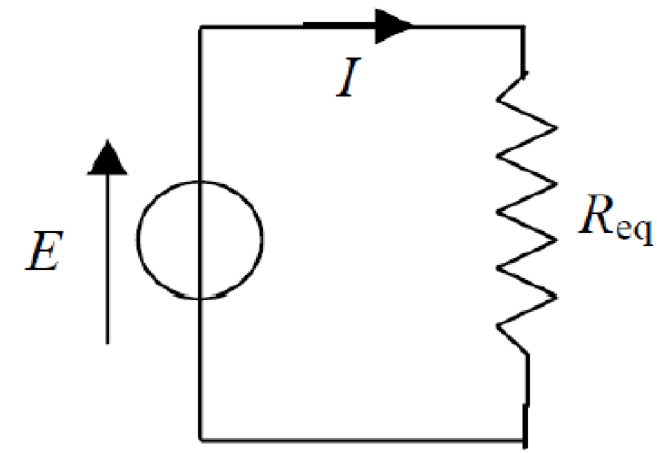
Le due resistenze R_1 ed R_2, sono collegate in serie, infatti attraverso di esse passa la stessa corrente. La resistenza equivalente di due resistori in serie è pari alla somma delle due resistenze:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 25\ \Omega$$

Il circuito originale è quindi equivalente al circuito di figura.

Possiamo quindi calcolare, usando una delle leggi di Ohm, la corrente totale circolante nel circuito

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{100}{25} = 4\ \text{A}$$



Esempio 1 (cont..)

La corrente circolante nelle due resistenze R_1 e R_2, per la definizione stessa di resistenze in serie, è la stessa in entrambe le resistenze ed è quella circolante in R_{eq} precedentemente calcolata.
La caduta di tensione sulle due resistenze si calcola applicando la legge di Ohm:

$$E_1 = R_1 I = 40 \text{ V}$$

$$E_2 = R_2 I = 60 \text{ V}$$

Si può facilmente verificare che $E=E_1+E_2$ come imposto dalla legge di Kirchoff.

Esempio 1 (cont..)

La potenza totale dissipata nel circuito è pari a

$$P = R_{eq} I^2 = 400 \ \text{W}$$

Essa è la somma delle potenze dissipate rispettivamente in R_1 e R_2:

$$P_1 = R_1 I^2 = 160 \ \text{W}$$

$$P_2 = R_2 I^2 = 240 \ \text{W}$$

$$P = P_1 + P_2 = 400 \ \text{W}$$

Si può dimostrare che la potenza totale dissipata nel circuito è pari alla potenza erogata dal generatore:

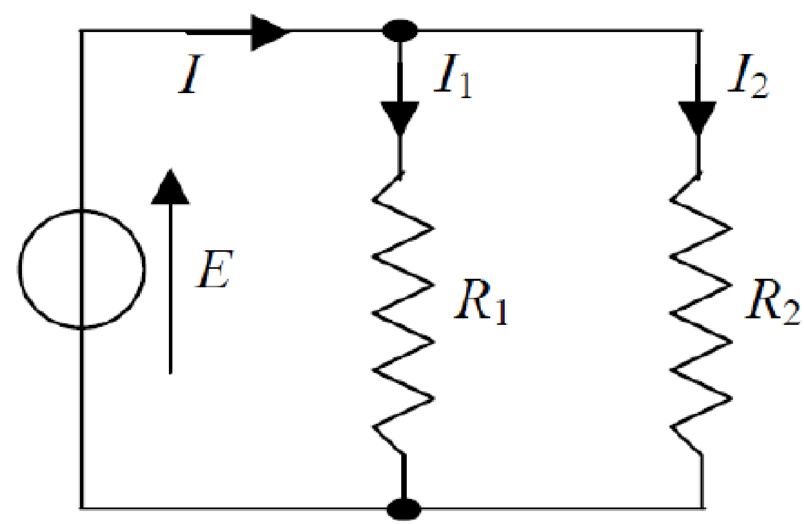
$$P_{gen} = EI = 400 \ \text{W}$$

Esempio 2

Consideriamo il circuito di figura comprendente un generatore di tensione continua E e due resistenze R_1 e R_2.
$E = 100\ V$; $R_1 = 10\ \Omega$ e $R_2 = 15\ \Omega$.

Calcolare:

- la corrente totale circolante nel circuito;
- le correnti e le cadute di tensione sulle due resistenze;
- la potenza totale dissipata nel circuito.



Esempio 2 (cont..)

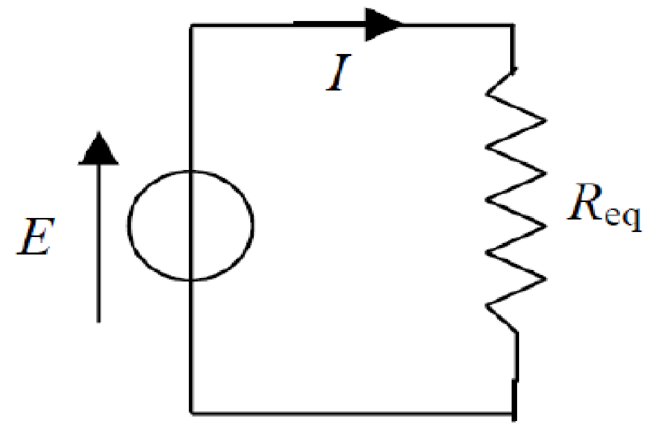
Le due resistenze R_1 ed R_2, sono collegate in parallelo, infatti sono poste alla stessa ddp. La resistenza equivalente di due resistori in parallelo è:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 6\ \Omega$$

Il circuito originale è quindi equivalente al circuito di figura.

Possiamo quindi calcolare, usando una delle leggi di Ohm, la corrente totale circolante nel circuito

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{100}{6} = 16.67\ \text{A}$$



Esempio 2 (cont..)

Le correnti circolanti nelle due resistenze R_1 e R_2, si calcolano applicando la legge di Ohm:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = 10 \ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = 6.67 \ \text{A}$$

La caduta di tensione sulle due resistenze, per la definizione stessa di resistenze in parallelo, è la stessa per entrambe.

Si può facilmente verificare che $I=I_1+I_2$ come imposto dalla legge di Kirchoff.

Esempio 2 (cont..)

La potenza totale dissipata nel circuito è pari a

$$P = R_{eq} I^2 = 1667 \ \ \mathrm{W}$$

Essa è la somma delle potenze dissipate rispettivamente in R_1 e R_2:

$$P_1 = R_1 I^2 = 1000 \ \ \mathrm{W}$$

$$P_2 = R_2 I^2 = 667 \ \ \mathrm{W}$$

$$P = P_1 + P_2 = 1667 \ \ \mathrm{W}$$

Si può dimostrare che la potenza totale dissipata nel circuito è pari alla potenza erogata dal generatore:

$$P_{gen} = EI = 1667 \ \ \mathrm{W}$$

Stufetta

Quindi se avete due resistenze R_1 ed R_2 e con loro volete costruire una stufa, vi conviene collegare le due resistenze in

PARALLELO

$$P_{parallelo} = 1667 \ \text{W}$$

$$P_{serie} = 400 \ \text{W}$$

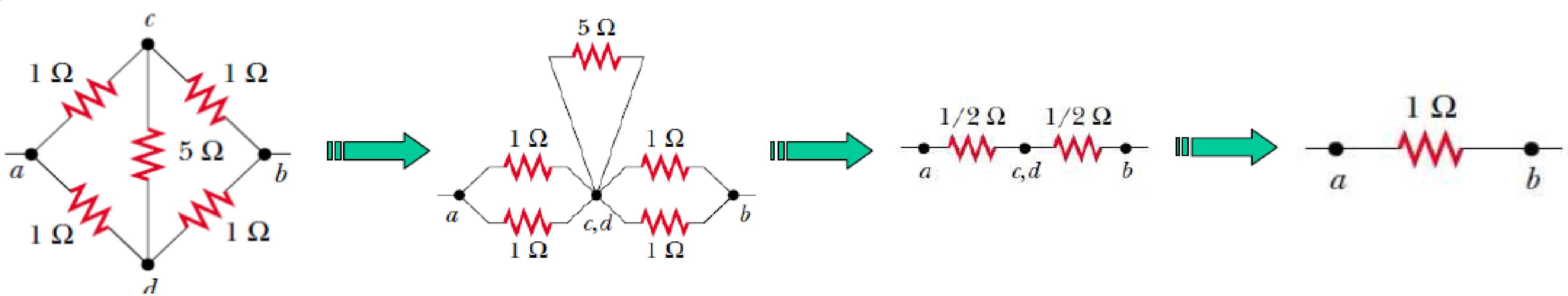
Esempio 3

Consideriamo le cinque resistenze connesse come in figura. Supponendo che la corrente entri in a, quanto vale la resistenza equivalente fra i punti a e b?

SIMMETRIA

La corrente arriva in a e si divide in parti eguali nei rami ac ed ad. Quindi la d.d.p. fra c e d deve essere zero.

Dunque la resistenza da 5 W è come se non ci fosse



CAPACITÀ ELETTRICA

Quando ad un conduttore isolato viene conferita una carica elettrica Q, esso assume un potenziale V.

Si definisce capacità elettrica

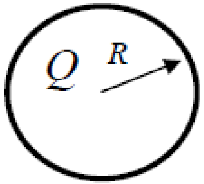
$$C = \frac{Q}{V}$$

Dipende solo dalla forma geometrica del conduttore e dal mezzo dielettrico nel quale è immerso

Unità di misura della capacità elettrica nel S.I.

$$1 \text{ farad} = 1 \text{ F} = 1 \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}}$$

CAPACITA' ELETTRICA: esempio



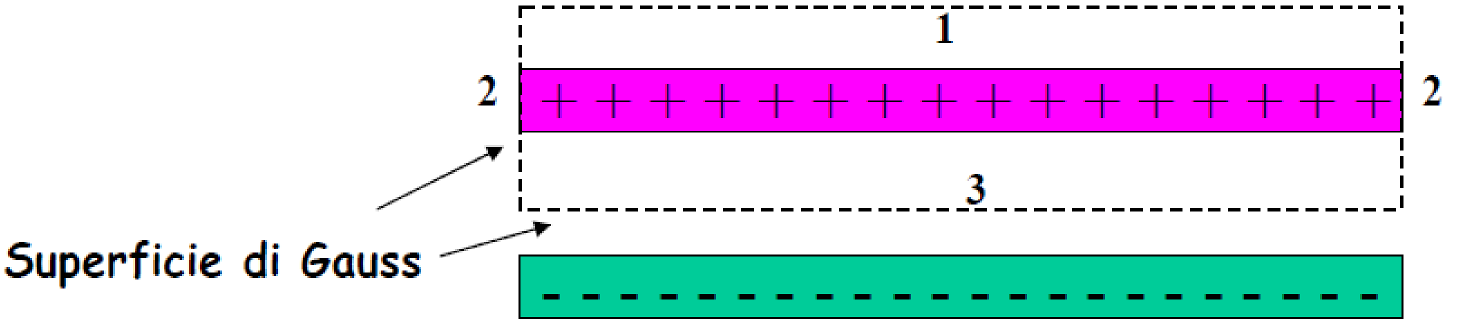
Consideriamo una sfera conduttrice di raggio R caricata con una carica Q immersa nel vuoto.

Abbiamo visto che il potenziale V sulla sfera vale

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}$$

$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\varepsilon_0 R$$

CONDENSATORE PIANO (2)



$$\Phi_1 = 0 \quad \text{perchè } \vec{E} = 0$$

$$\Phi_2 = 0 \quad \text{perchè } \vec{E} \perp \vec{n}$$

$$\Phi_3 = S \cdot E = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$V = E \cdot d = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} d$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

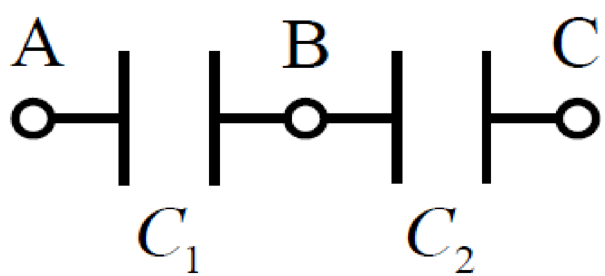
CAPACITA' ELETTRICA

La capacità non dipende dalla carica, ma solo dalle caratteristiche geometriche del conduttore e dal mezzo dielettrico in cui è immerso.

La capacità di un conduttore scarico è eguale a quella di quando è carico.

V dipende linearmente da Q

CONDENSATORI IN SERIE



DEFINIZIONE:
Sono attraversati dalla stessa corrente

$$(V_B - V_A) = \frac{Q_1}{C_1}$$

$$(V_C - V_B) = \frac{Q_2}{C_2}$$

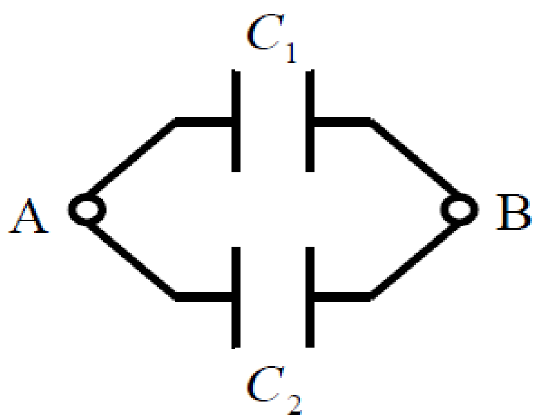
$$Q_1 = Q_2 = Q$$

Sommando

$$V_C - V_A = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$$

$$C_{equivalente} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

CONDENSATORI IN PARALLELO



DEFINIZIONE:
Si trovano alla stessa differenza di potenziale

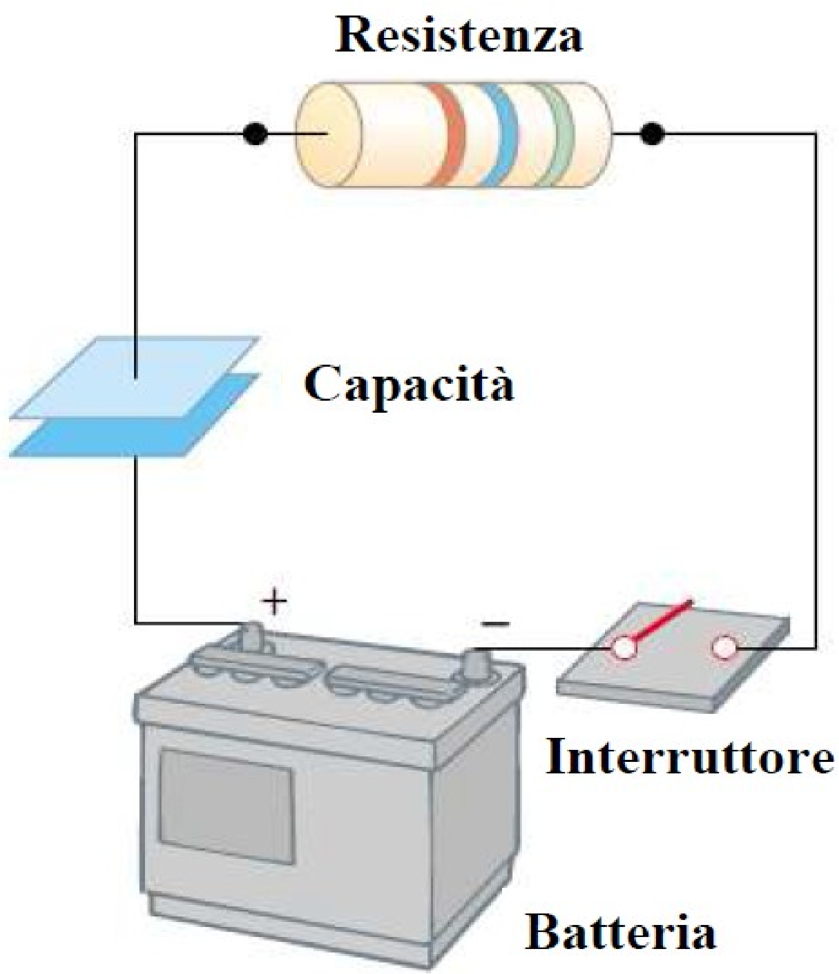
$$Q_1 = C_1(V_B - V_A) \qquad Q_2 = C_2(V_B - V_A)$$

Sommando $Q = Q_1 + Q_2 = C_1(V_B - V_A) + C_2(V_B - V_A) = (V_B - V_A)(C_1 + C_2)$

$$C_{equivalente} = C_1 + C_2$$

Circuiti RC

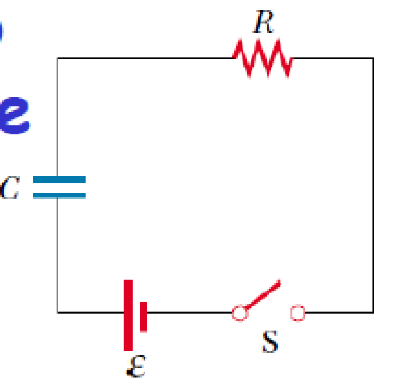
Finora abbiamo analizzato circuiti nei quali la corrente è costante nel tempo, ma nei circuiti contenenti condensatori, la corrente varia nel tempo.



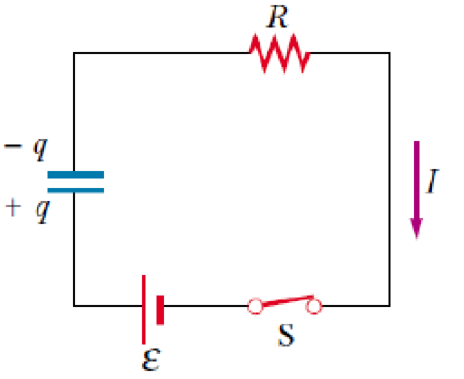
Il più semplice circuito RC è costituito da un combinazione in serie di una resistenza R, una capacità C, una batteria ε ed un interruttore S.

Circuiti RC: carica di un condensatore (1)

Assumiamo che all'inizio il condensatore C sia scarico. Nel circuito di figura non passa corrente fin quando l'interruttore S è aperto. Se al tempo t=0 viene chiuso l'interruttore, inizia a passare corrente nel circuito ed il condensatore comincia a caricarsi.



Notate che, durante la carica, la corrente non può passare attraverso il condensatore, perché lo spazio fra le due armature (isolante) è un circuito aperto.



La carica è trasferita, lungo i fili, sulle armature dal campo elettrico prodotto dalla batteria, fino a quando il condensatore è completamente carico.
La ddp del condensatore cresce mentre le armature si caricano.

Circuiti RC: carica di un condensatore (2)

La ddp del condensatore crescerà fino a raggiungere un valore eguale alla ddp prodotta dalla batteria. A questo punto sulle armature del condensatore ci sarà la carica massima e la corrente che gira nel circuito sarà zero.
Per un qualsiasi istante temporale dopo la chiusura dell'interruttore possiamo scrivere

$$(1) \qquad \varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0$$

dove q/C è la ddp ai capi del condensatore ed IR è quella ai capi della resistenza.

Circuiti RC: carica di un condensatore (3)

Usando l'equazione (1) possiamo calcolare la corrente iniziale che gira nel circuito.
Al tempo t=0, quando l'interruttore viene chiuso, la carica presente sulle armature del condensatore è zero e quindi la corrente I_0 che gira nel circuito è al massimo ed eguale a

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R} \qquad (\text{corrente a t} = 0)$$

Al tempo t=0 la ddp prodotta dalla pila è tutta ai capi della resistenza. Quano il condensatore è carico al suo valoremassimo Q, la corrente è zero e la ddp della batteria è identica alla ddp ai capi del condensatore. Ponendo I=0 nella (1) possiamo calcolare la carica Q massima del condensatore

$$Q = C\varepsilon \qquad (\text{carica max del condensatore})$$

Circuiti RC: carica di un condensatore (4)

Possiamo scrivere

$$C\varepsilon - q - \frac{dq}{dt}R = 0$$

da cui

$$\frac{dq}{dt} = \frac{C\varepsilon}{RC} - \frac{q}{RC} \quad \Rightarrow \quad \frac{dq}{dt} = -\frac{q - C\varepsilon}{RC} \quad \Rightarrow \quad \frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{dt}{RC}$$

integrando e ricordando che q(0)=0, avremo

$$\int_0^q \frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC}\int_0^t dt \quad \Rightarrow \quad \ln\left(\frac{q - C\varepsilon}{-C\varepsilon}\right) = -\frac{t}{RC}$$

Per la carica in funzione del tempo avremo

$$q(t) = C\varepsilon\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = Q\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

derivando avremo la corrente

$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R}e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Circuiti RC: carica di un condensatore (5)

Le soluzione della (1)

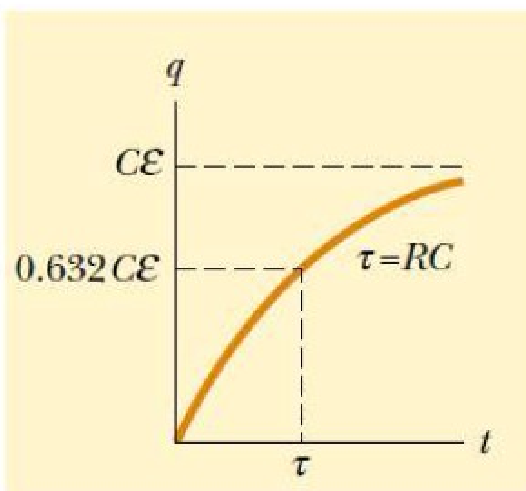
$$(1) \qquad \varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0$$

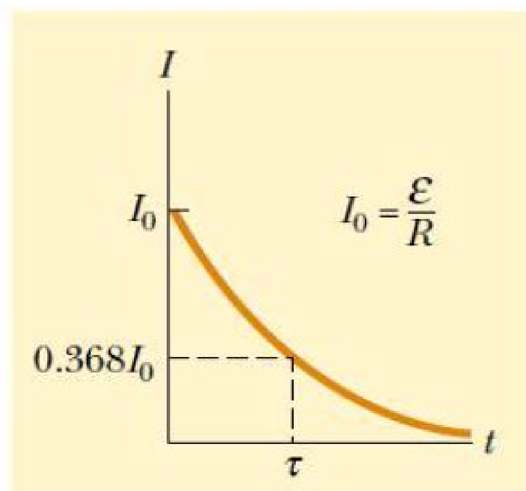
sono

$$q(t) = C\varepsilon\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = Q\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

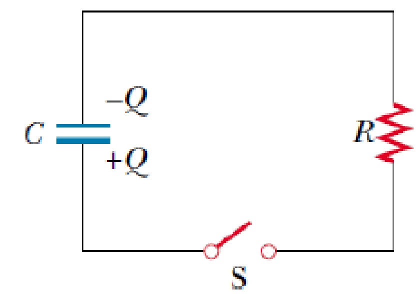
$$[\tau] = [RC] = \left[\frac{\Delta V}{I} \times \frac{Q}{\Delta V}\right] = \left[\frac{Q}{Q/\Delta t}\right] = [\Delta t] = \mathrm{T}$$

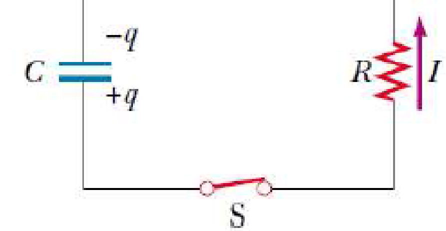




Circuiti RC: scarica di un condensatore (1)

Assumiamo che all'inizio il condensatore C sia **carico**. Nel circuito di figura non passa corrente fin quando l'interruttore S è aperto. Se al tempo t=0 viene chiuso l'interruttore, inizia a passare corrente nel circuito ed il condensatore comincia a scaricarsi.





La carica Q è la massima carica portata dal condensatore. Quando il circuito è chiuso passa corrente dalla resistenza e la carica sulle armature comincia a diminuire.

Circuiti RC: scarica di un condensatore (2)

Il circuito è identico a quello della carica del condensatore a parte la presenza della batteria. Per un qualsiasi istante temporale dopo la chiusura dell'interruttore possiamo scrivere

$$-\frac{q}{C}-IR=0 \qquad (2)$$

dove q/C è la ddp ai capi del condensatore ed IR è quella ai capi della resistenza.

Circuiti RC: scarica di un condensatore (3)

Nell'equazione (2) possiamo scrivere dq/dt al posto I, ottenendo

$$-R\frac{dq}{dt}=\frac{q}{C} \quad\Rightarrow\quad \frac{dq}{q}=-\frac{1}{RC}dt$$

integrando e ricordando che q(0)=Q, avremo

$$\int_Q^q\frac{dq}{q}=-\frac{1}{RC}\int_0^t dt \quad\Rightarrow\quad \ln\left(\frac{q}{Q}\right)=-\frac{t}{RC}$$

Per la carica in funzione del tempo avremo

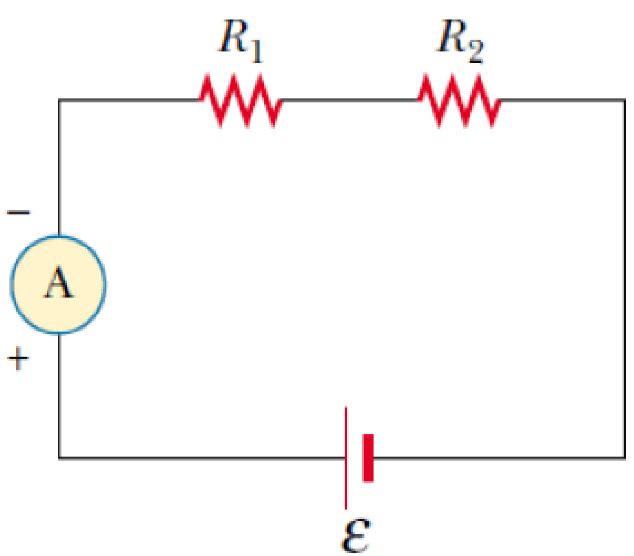
$$q(t)=Qe^{-\frac{t}{RC}}$$

derivando avremo la corrente

$$I(t)=\frac{dq}{dt}=\frac{d}{dt}\left(Qe^{-\frac{t}{RC}}\right)=-\frac{Q}{RC}e^{-\frac{t}{RC}}=-I_0e^{-\frac{t}{RC}}$$

Amperometro

L'amperometro ideale è un bipolo la cui *resistenza elettrica* è nulla e che misura la corrente che passa in un ramo di un circuito. Essendo a resistenza nulla la sua inserzione in serie a qualsiasi ramo del circuito non altera in alcun modo il funzionamento del circuito medesimo.

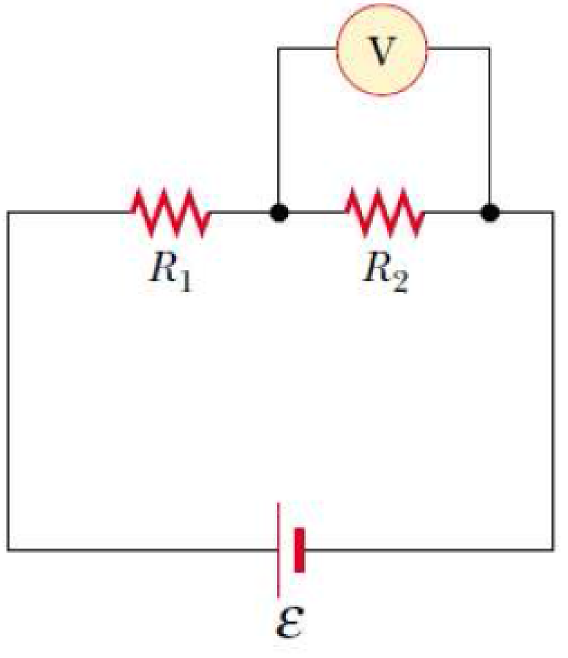


Nella realtà non esistono amperometri con resistenza interna nulla e nella configurazione di figura, la richiesta di $R_{int}=0$ equivale a

$$R_{int} << (R_1 + R_2)$$

Voltmetro

Il voltmetro ideale è un bipolo la cui *resistenza elettrica* è infinita e che misura la d.d.p. fra un punto ed un altro del circuito. Essendo a resistenza infinita la sua inserzione in parallelo a qualsiasi ramo del circuito non altera in alcun modo il funzionamento del circuito medesimo, perché attraverso il voltmetro non passa corrente.



Nella realtà non esistono amperometri con resistenza interna infinita e nella configurazione di figura, la richiesta di $R_{int}=\infty$ equivale a

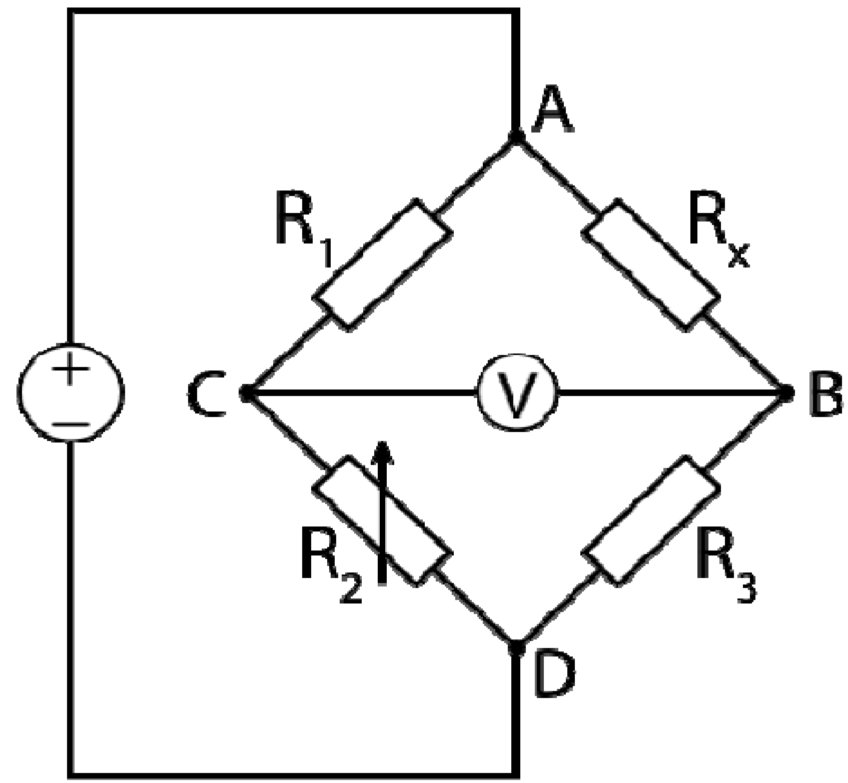
$$R_{int} >> R_2$$

Ponte di Wheatstone (1)

Il ponte di Wheatstone è un dispositivo elettrico che permette di misurare in modo preciso il valore di una resistenza elettrica R_x.

Si compone di un generatore di tensione che alimenta due rami resistivi posti in parallelo, composti da due resistori campione R_1 ed R_3 e una resistenza variabile R_2 di elevata precisione. Si pone quindi un volmetro a zero centrale tra i due punti C e B.

Si varia R_2 fin quando il voltmetro segna una $\Delta V_{CB}=0$.



PONTE BILANCIATO

Ponte di Wheatstone (2)

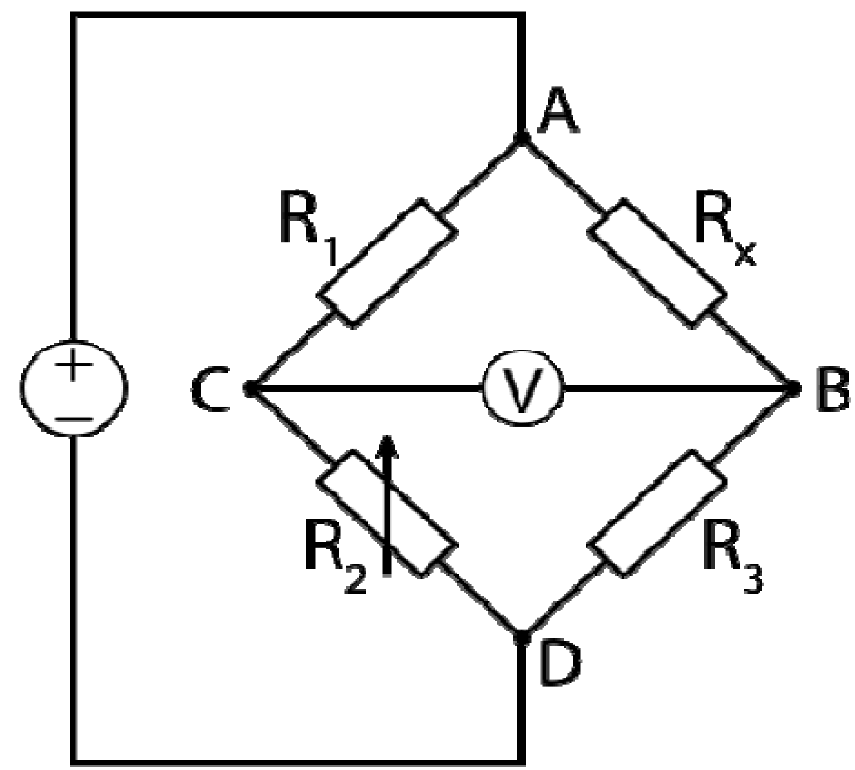
Quando il ponte è bilanciato possiamo scrivere

$$i_2 R_2 = i_3 R_3$$

$$i_2 R_1 = i_3 R_x$$

dividendo membro a membro, abbiamo

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$



Ponte di Wheatstone (3)

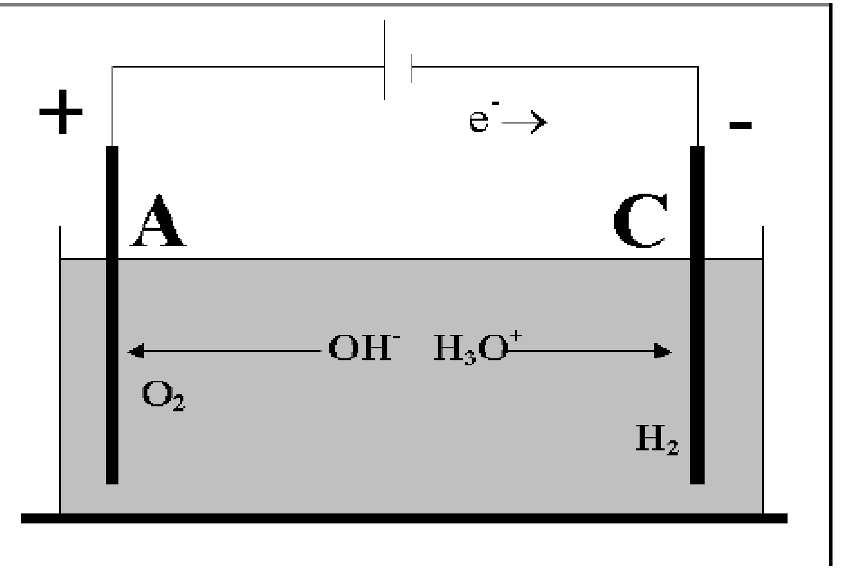
Il ponte di Wheatstone consente di eseguire misurazioni di resistenze di valore compreso tra circa 10 Ω e 1 MΩ con incertezze dell'ordine di alcune unità in 10^{-4}.

L'incertezza ottenibile peggiora quando si misurano resistenze di piccolo valore (inferiore alla decina di ohm) o di alto valore (superiore al megaohm).

ELETTROLISI

L'elettrolisi dell'acqua avviene in una *cella elettrolitica*. L'acqua pura, benché sia poco dissociata, pur tuttavia contiene ioni H_3O^+ e OH^- in concentrazioni per ciascuna specie pari a 10^{-7} moli/litro. Si ha quindi che al passaggio di corrente elettrica gli ioni H_3O^+ migrano verso il catodo (*C*), ove avviene la semireazione di riduzione $2H_3O^+ + 2e^- \Rightarrow 2H_2O + H_2$, mentre gli OH^- si muovono verso l'anodo (*A*), dove ha luogo la semireazione di ossidazione $4OH^- \Rightarrow 4e^- + 2H_2O + O_2$. In definitiva, bilanciando gli elettroni nelle due semireazioni, la reazione d'ossidoriduzione che si realizza nella cella elettrolitica in cui ha luogo l'elettrolisi dell'acqua è

$$2H_2O \Rightarrow 2H_2 + O_2$$



MAGNETISMO

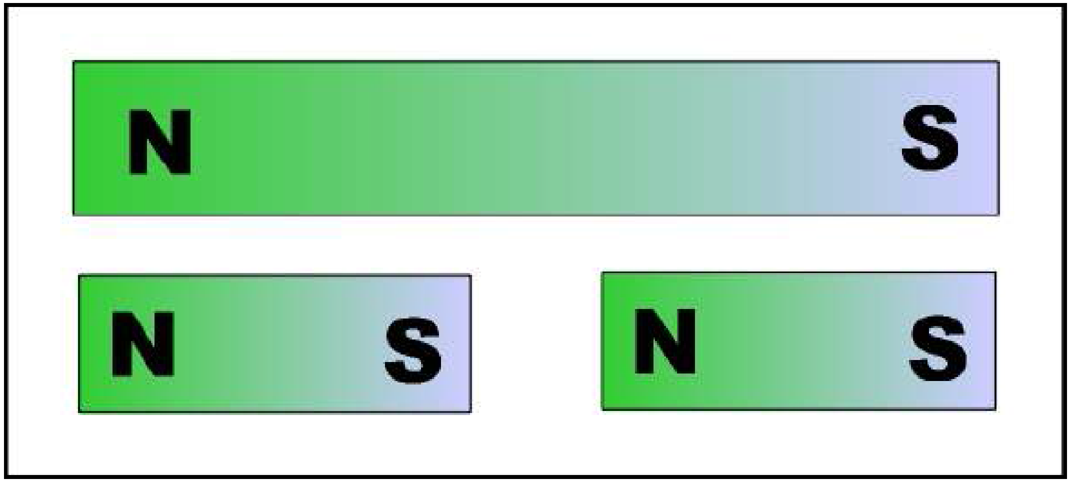
Alcuni materiali (calamite o magneti) hanno la proprietà di attirare pezzetti di ferro.

Le proprietà magnetiche si manifestano alle estremità del magnete, chiamate poli.

MAGNETISMO

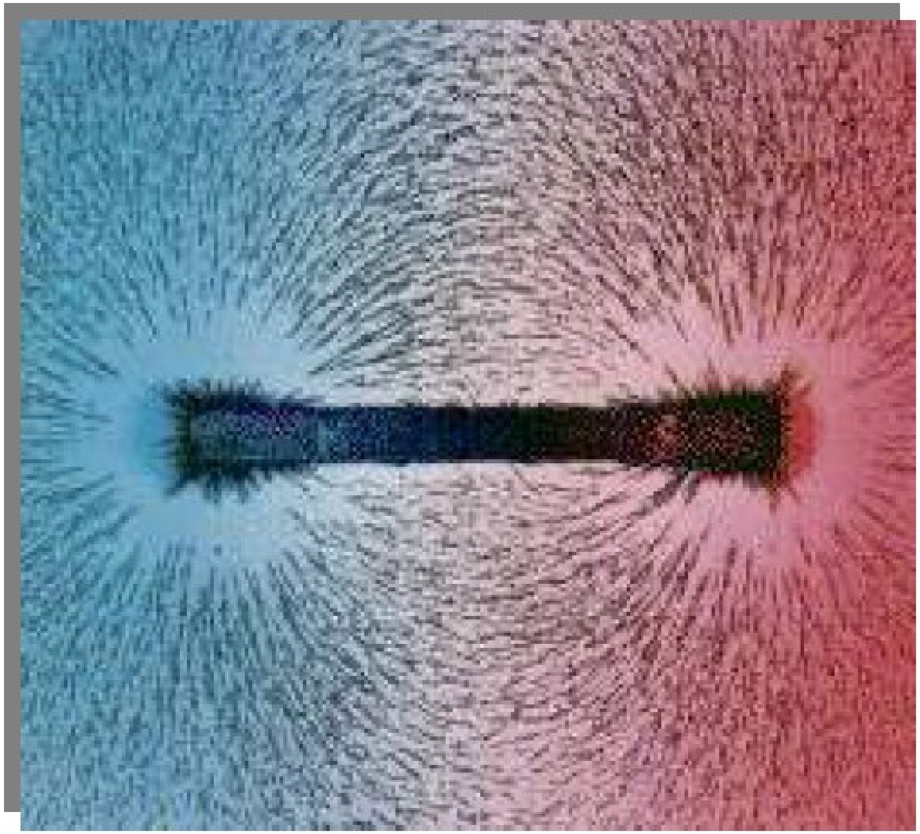
Le caratteristiche magnetiche presentano molte affinità con quelle elettriche, ma esistono anche sostanziali differenze.

Non è possibile isolare i poli magnetici.



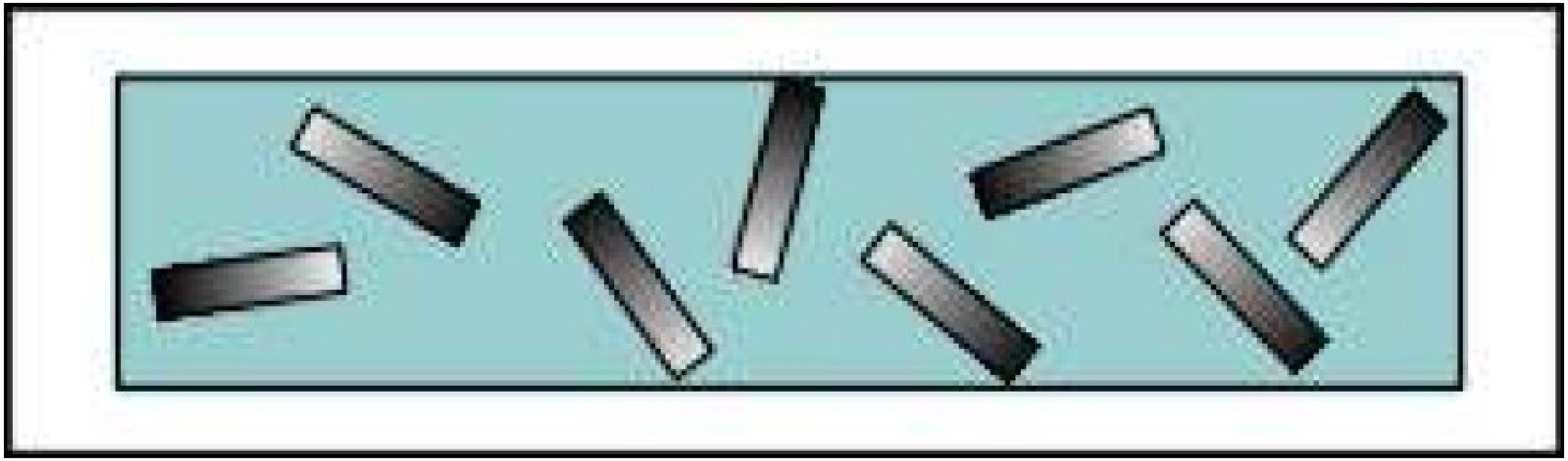
CAMPO MAGNETICO (1)

Un magnete crea nello spazio circostante un campo magnetico, così come una carica elettrica crea un campo elettrico.



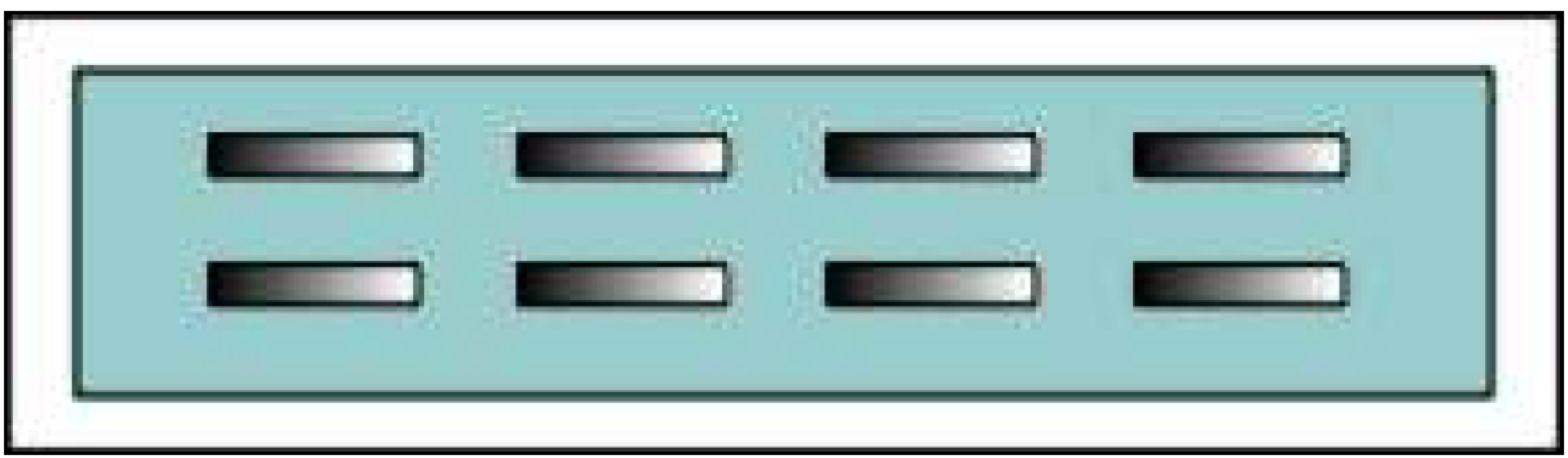
CAMPO MAGNETICO (2)

All'interno di un corpo i magneti elementari sono disposti disordinatamente per cui è nullo il campo magnetico risultante prodotto da essi.



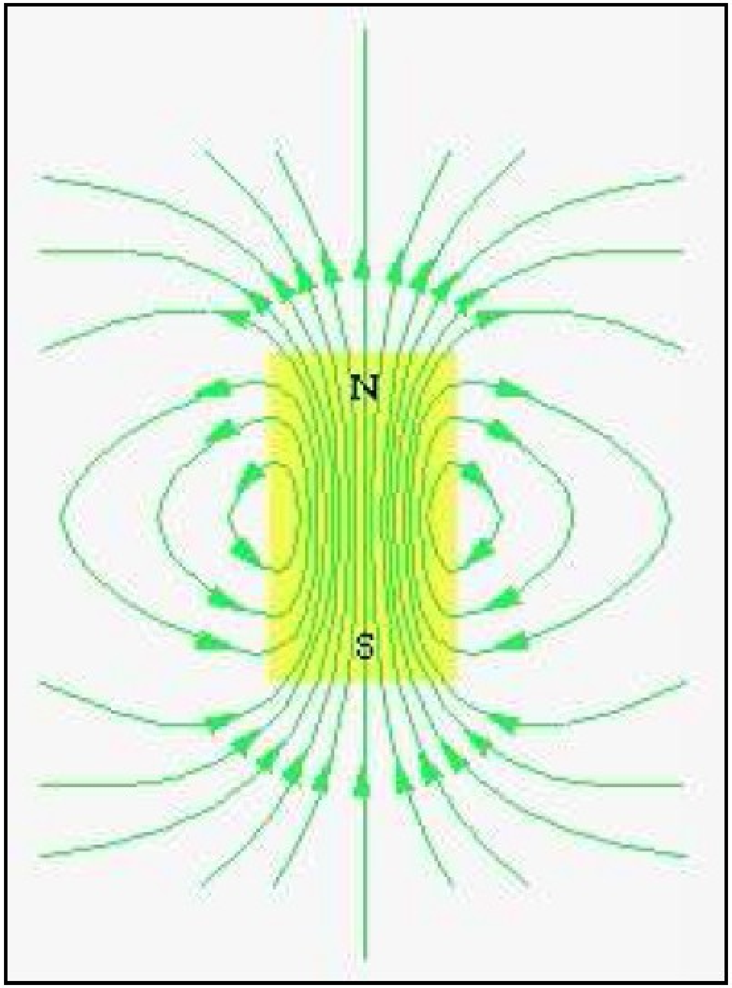
CAMPO MAGNETICO (3)

Se i magneti elementari sono anche parzialmente ordinati (temporaneamente o permanentemente), essi producono un campo magnetico risultante non nullo.



CAMPO MAGNETICO (4)

Anche il campo magnetico può essere visualizzato mediante le linee di forza, come accade per il campo elettrico.



CAMPO MAGNETICO (5)

Il campo magnetico ***B*** può essere misurato dall'azione che esercita su una carica *q* in moto con velocità ***v.***

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

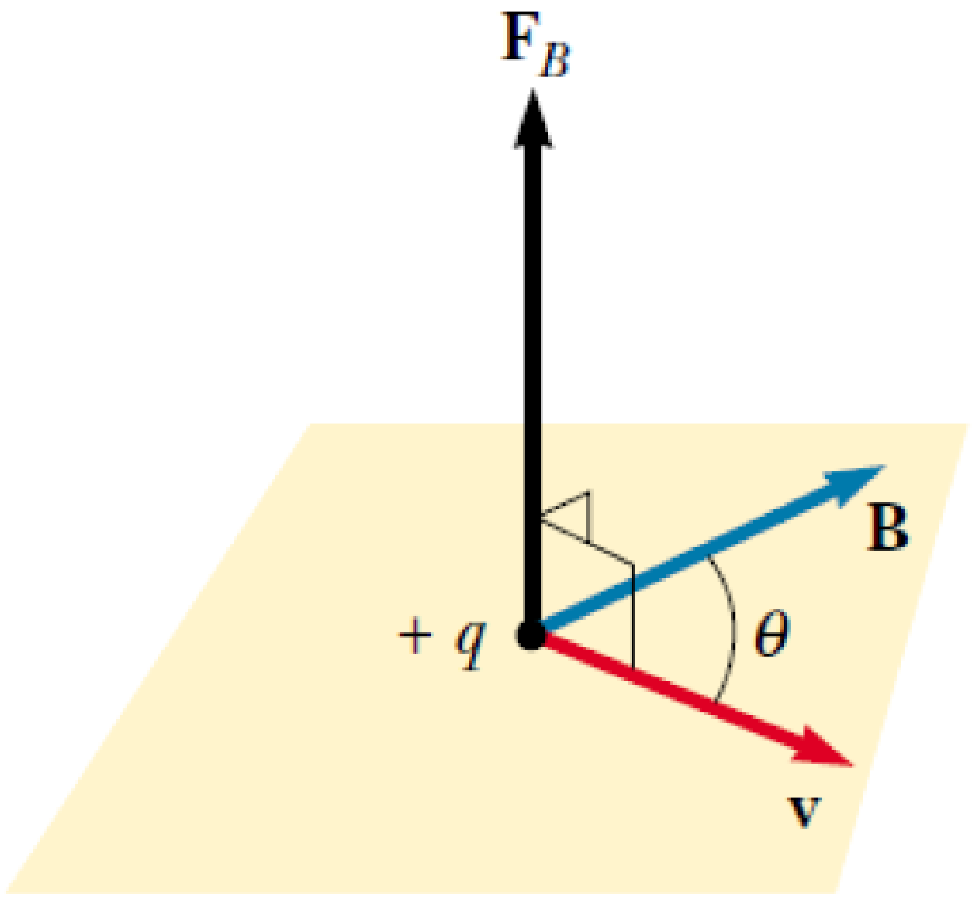
$$F = qvB \operatorname{sen} \alpha$$

α è l'angolo che il vettore velocità forma con il vettore campo magnetico.

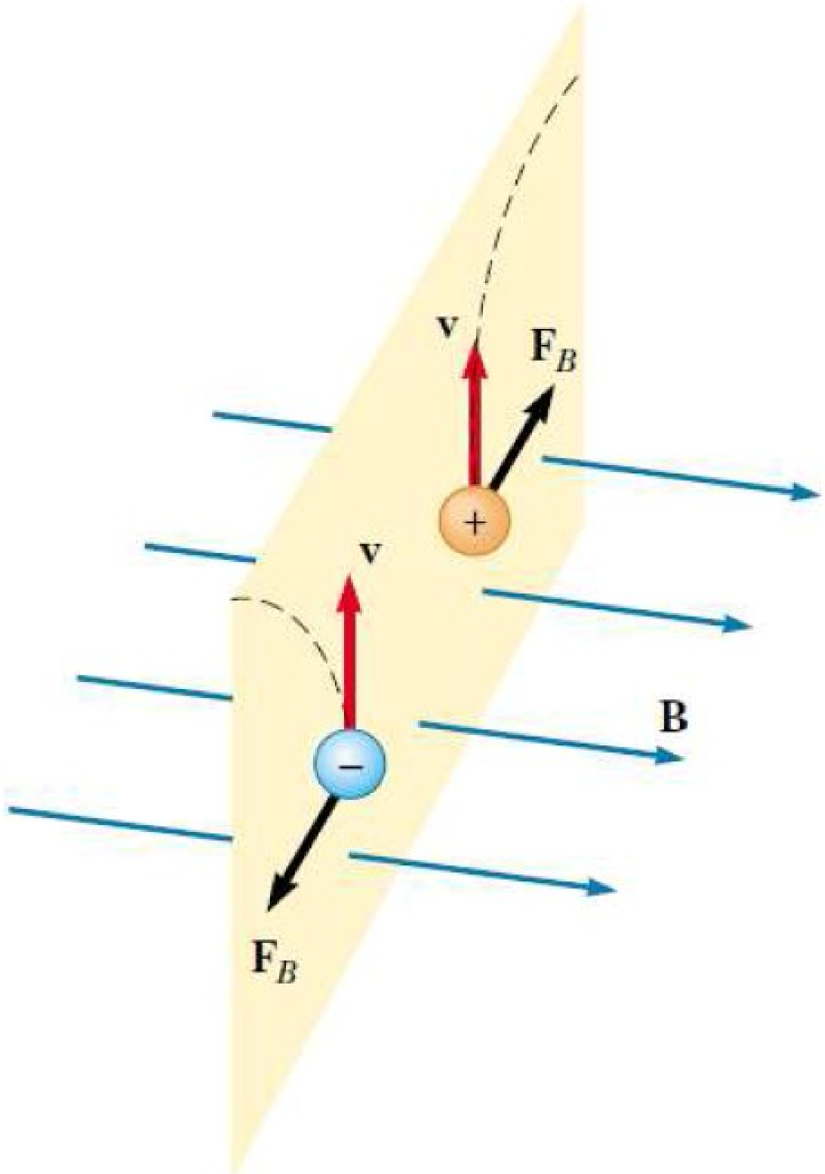
Legge di Lorentz

CAMPO MAGNETICO (6)

La direzione della forza di Lorentz F_B è ortogonale al piano individuato da v e B



CAMPO MAGNETICO (7)



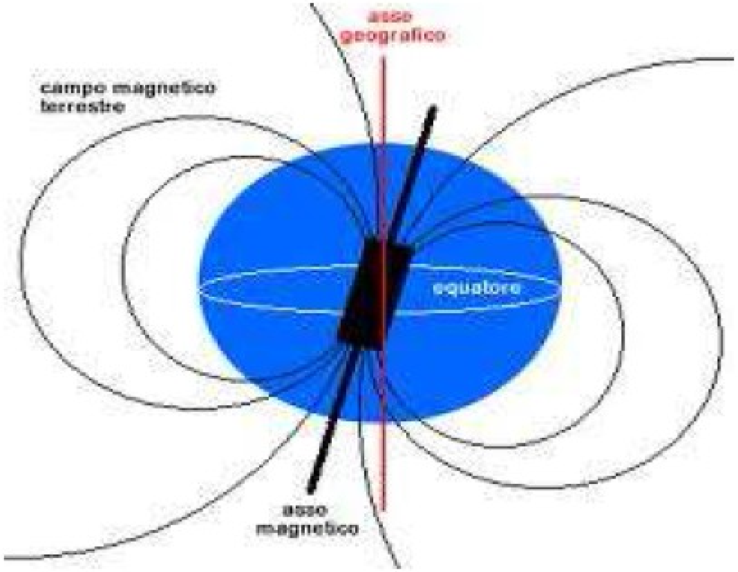
Due particelle di carica opposta che si muovono con la stessa velocità all'interno di un campo magnetico, sperimentano due forze di eguale intensità, direzione e versi opposti.

CAMPO MAGNETICO (8)

L'unità di misura del campo magnetico nel S.I. si chiama tesla (T). Altra unità di misura il gauss (G). [$1G=10^{-4}T$]

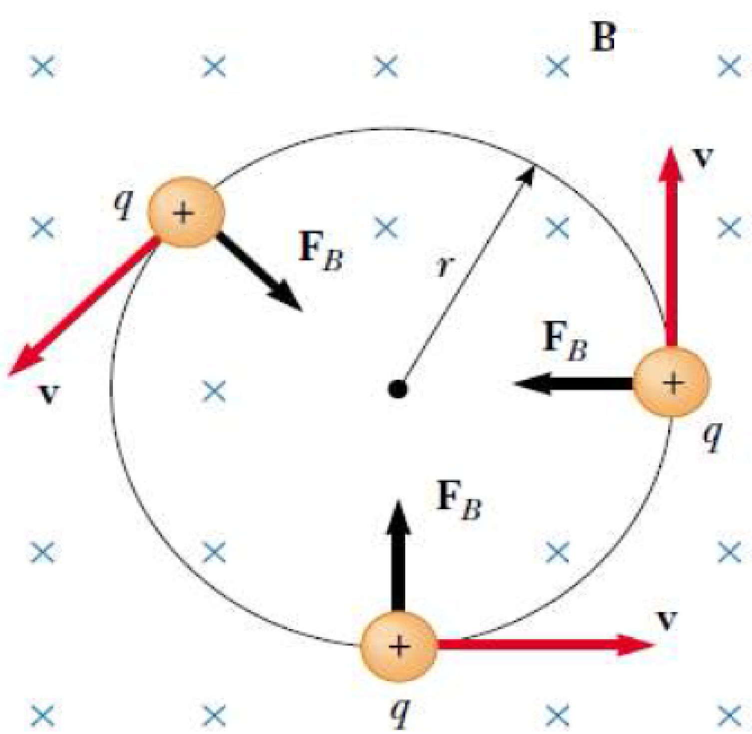
Il campo magnetico di 1 T esercita la forza di 1 N sulla carica elettrica di 1 C, che si muove con velocità di 1 m/s nella direzione del campo magnetico.

La Terra produce un campo magnetico di ~0.5 G



CAMPO MAGNETICO (9)

Una carica elettrica che si muove con una velocità perpendicolare ad un campo magnetico uniforme compie una traettoria circolare. Supponiamo (come in figura) che il campo B sia ortogonale al foglio, allora la carica subisce l'azione di una forza F_B costante in modulo e sempre ortogonale alla velocità ed a B, cioè una forza centripeta



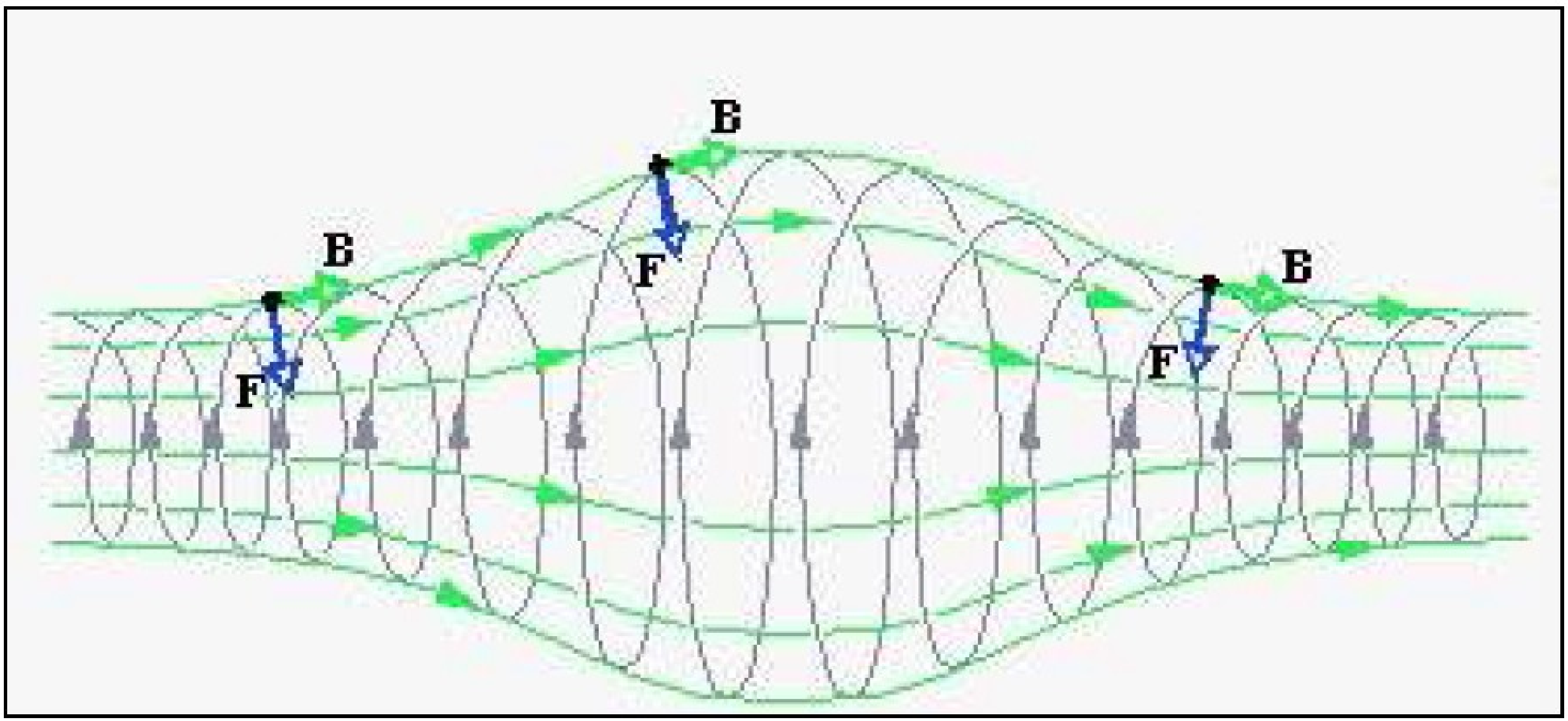
$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} = m\vec{a}_{centripeta}$$

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

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

CAMPO MAGNETICO (10)

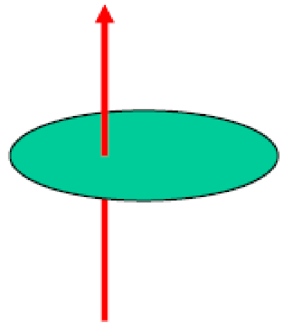
Moto di una carica elettrica in un campo magnetico.



TEOREMA DELLA CIRCUITAZIONE (1)

Il teorema della circuitazione del campo magnetico B (detto anche *Legge di Ampère*) dice che l'integrale di linea di B lungo una qualsiasi linea chiusa C è eguale alla somma algebrica delle correnti **concatenate** con la linea chiusa moltiplicata per la costante di permeabilità magnetica del vuoto μ_0

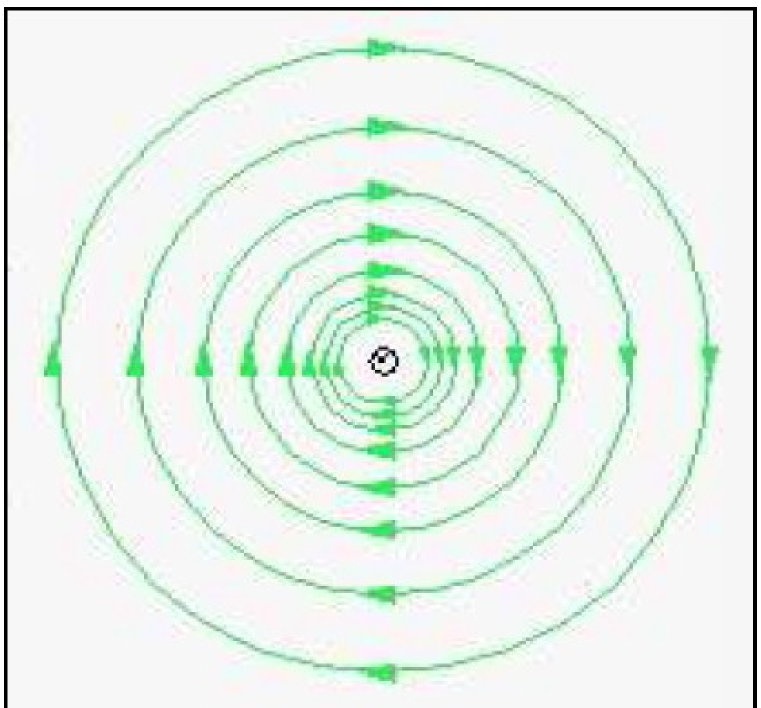
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum_n i_n$$



$$\mu_0 = 4\pi\, 10^{-7} \quad \mathrm{T\ m\ A^{-1}}$$

TEOREMA DELLA CIRCUITAZIONE (2)

Consideriamo un filo rettilineo percorso da una corrente i. Esso genera, sperimentalmente, un campo magnetico le cui linee di forza sono dei cerchi concentrici intorno al filo (in figura il filo entra nel piano del foglio).



tangente ad esse e per ragioni di simmetria costante in modulo, quindi su di un cerchio di raggio r

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint_C B\, ds = B \oint_C ds = B 2\pi r = \mu_0 i$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$ **Legge di Biot-Savart**

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (1)

Il fenomeno dell'induzione elettromagnetica è descritto dalla *legge di Faraday-Neumann*. Consideriamo una spira di superficie S ed un campo magnetico B, possiamo calcolare il flusso del campo attraverso la superficie della spira, come

$$\Phi_S(\vec{B}) = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (2)

Legge di Faraday-Neumann

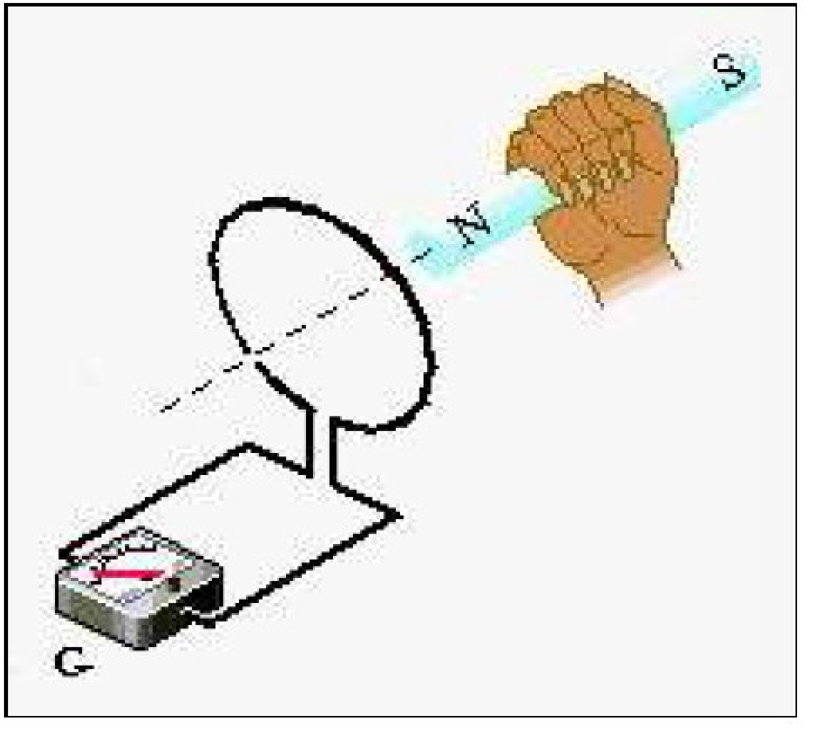
$$\frac{d\Phi_S(\vec{B})}{dt} = -V_i$$

La variazione nel tempo del flusso del campo magnetico attravreso una spira produce una d.d.p indotta nella spira stessa.
È importante notare come un campo magnetico costante non dia origine al fenomeno dell'induzione. È necessario che il magnete o il circuito vengano mossi, consumando energia meccanica.

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (3)

Il segno meno della legge di Faraday-Neumann indica la d.d.p. produce una corrente che a sua volta produce un campo magnetico indotto tale da opporsi alla causa che lo ha prodotto.

$$\frac{d\Phi_S(\vec{B})}{dt} = -V_i$$



INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (4)

Questo fatto rispetta il *principio di conservazione dell'energia*.

Se il circuito è aperto, non si ha flusso di corrente e non si ha dissipazione di energia per effetto Joule. Per lo stesso motivo non si ha una forza di reazione alla variazione di campo magnetico ed il movimento del magnete o del circuito non compie lavoro.

Se invece si ha una circolazione di corrente nel circuito con dissipazione di energia, la variazione di campo magnetico subirà una resistenza e richiede di compiere un lavoro per attuarsi. In base a questo principio un generatore consuma tanta energia meccanica quant'è l'energia elettrica in uscita (trascurando le perdite per attrito ed effetto Joule).