

Elettromagnetismo

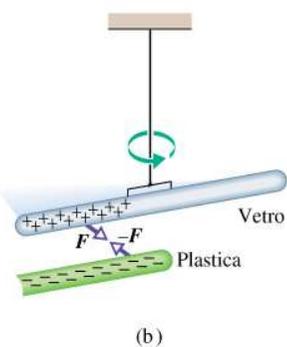
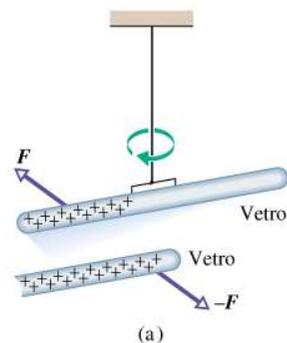
- **Elettrostatica, circuiti elettrici ed elementi di elettromagnetismo.**
- **Forze tra cariche elettriche e legge di Coulomb.**
- **Campo e potenziale elettrico.**
- **Campi elettrici nei materiali e costante dielettrica.**
- **Capacità e condensatori. Capacità equivalente di condensatori in serie e parallelo.**
- **Generatori di forza elettromotrice.**
- **Differenza di potenziale, corrente, resistenza e legge di Ohm.**
- **Resistenza equivalente di resistori in serie e parallelo.**
- **Effetto Joule e potenza dissipata.**
- **Campo magnetico e magneti permanenti.**
- **Campo magnetico generato da una corrente elettrica.**
- **Forza agente su una carica e su correnti elettriche in un campo magnetico.**

Le cariche elettriche

repulsiva

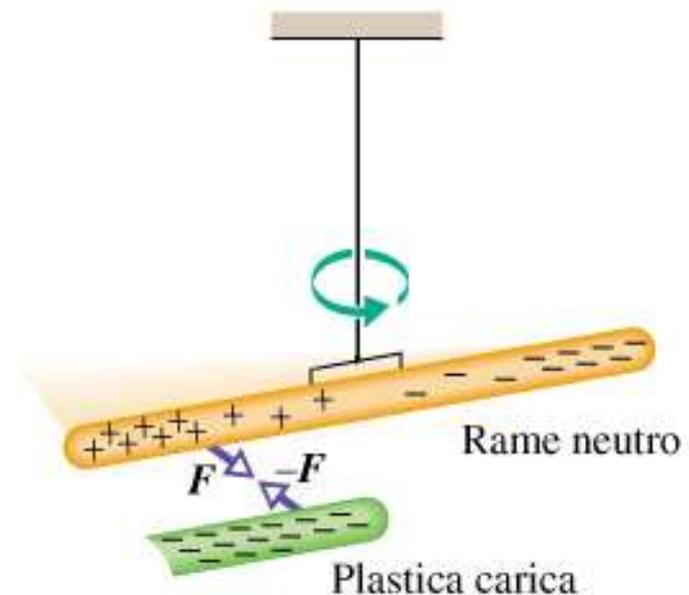
attrattiva

strofinato con seta



strofinato con materiale acrilico

Cariche di due tipi:
+ **Positiva**
- **Negativa**



Forza di Coulomb

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ϵ_0 = costante dielettrica del vuoto

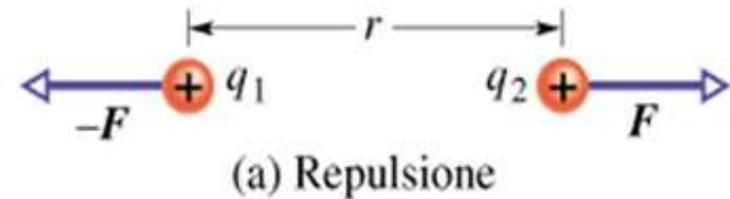
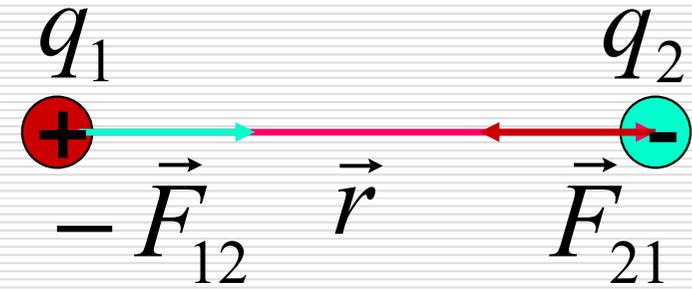
$$\epsilon_{materiale} : \epsilon_{relativa} = \frac{\epsilon_{materiale}}{\epsilon_0}$$

Unità di misura della carica (S.I.)

Coulomb	simbolo	C
---------	---------	---

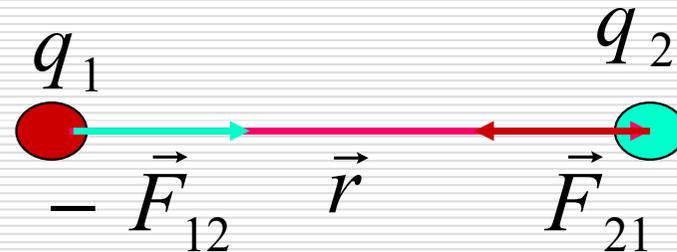
$$\epsilon_{materiale} \quad \frac{C^2}{Nm^2}$$

$\epsilon_{relativa}$ adimensionale



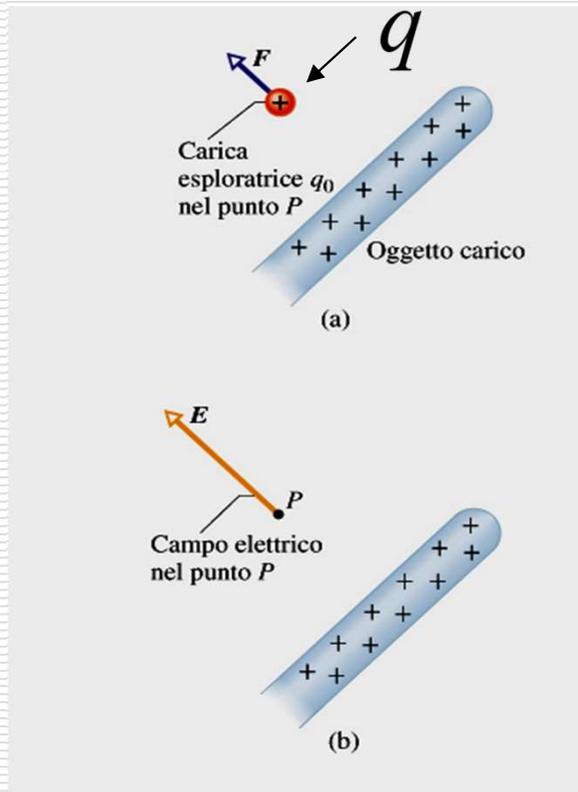
Alcuni ordini di grandezza...

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2 C^2}$$



- Se $q_1 = q_2 = 1 \text{ C}$ e $r = 1 \text{ m}$ abbiamo $F = 9 \cdot 10^9 \text{ N}$
- Per $q_p = q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (protone ed elettrone), e con $r = 1 \text{ m}$, abbiamo per la forza elettrica $F_{el} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$
- Sempre per il protone e l'elettrone, essendo le masse rispettivamente $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ e $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, la forza gravitazionale risulta $F_{grav} = 3,6 \cdot 10^{-47} \text{ N} !!$
- La gravità è dunque **TRASCURABILE** rispetto alla forza elettrica, ma l'Universo è incredibilmente **NEUTRO** e le cariche si annullano reciprocamente, lasciando la gravità padrona del campo (non esistono masse negative).

Campo elettrico

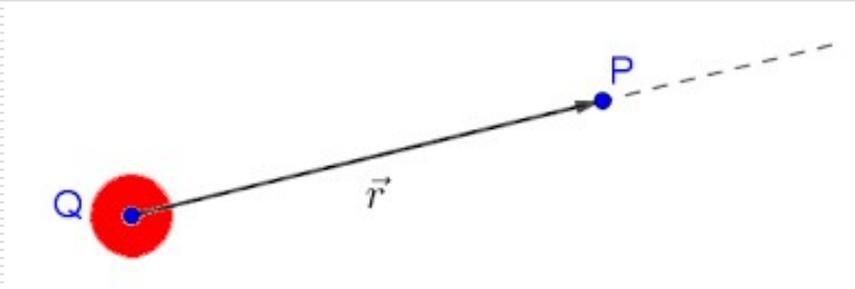


$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left(\frac{N}{C} \right)$$

Alcuni valori di campo elettrico	
Campo	Valore (N/C)
Sulla superficie di un nucleo di uranio	$3 \cdot 10^{21}$
In un atomo di idrogeno, a un raggio di $5.29 \cdot 10^{-11}$ m	$5 \cdot 10^{11}$
Minimo valore per la scarica elettrica in aria	$3 \cdot 10^6$
Sul rullo carico di una fotocopiatrice	10^5
Vicino a un pettine di plastica caricato	10^3
Nella bassa atmosfera	10^2
All'interno di un filo di rame in circuiti elettrici domestici	10^{-2}

Campo elettrico generato da una carica Q

Il campo elettrico, dato da $\vec{E} = \vec{F}/q$, è un **vettore** che descrive come la carica Q modifica lo spazio e permette di determinare l'effetto su qualunque altra carica.

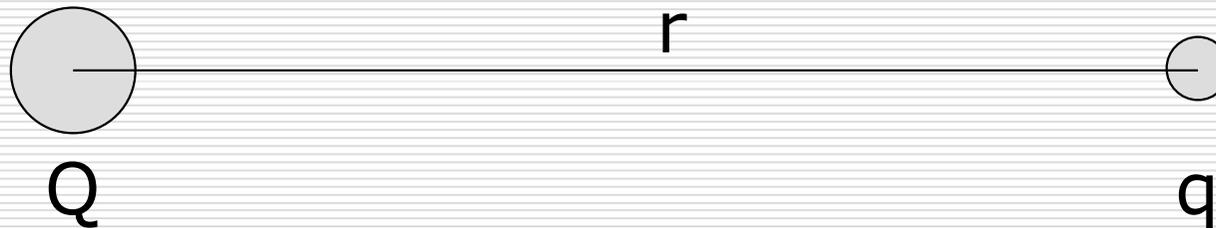


Ha:

- direzione e verso della forza
- modulo dato da

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

Azione del campo sulle cariche



$$E(q) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

$$E(Q) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

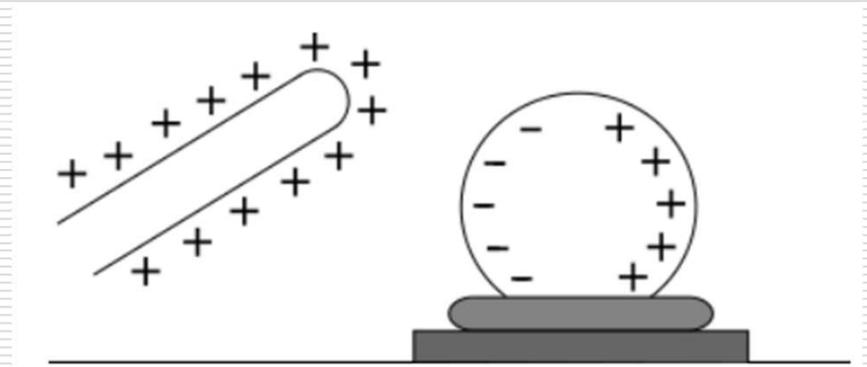
$$F = E(q) Q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2}$$

$$F = E(Q) q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2}$$

Induzione elettrostatica

L'induzione elettrostatica avviene quando si avvicina un corpo elettrizzato ad un conduttore scarico.

Se, per esempio, il corpo è elettrizzato positivamente, gli elettroni del conduttore risentono dell'attrazione della carica elettrica positiva e, liberi di muoversi, si spostano verso il corpo carico.

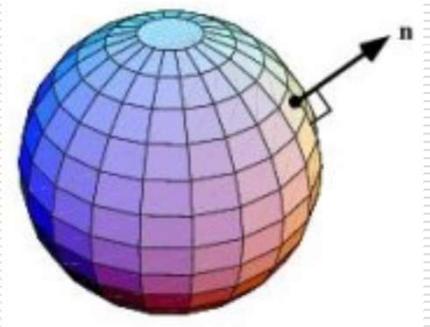
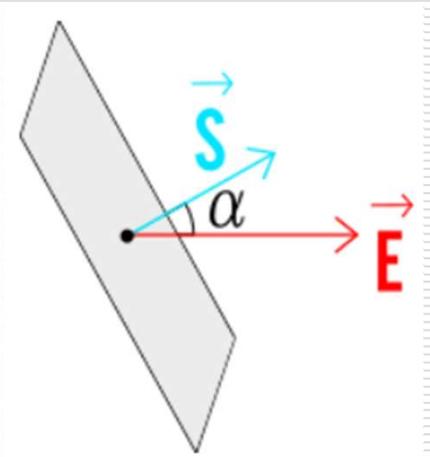
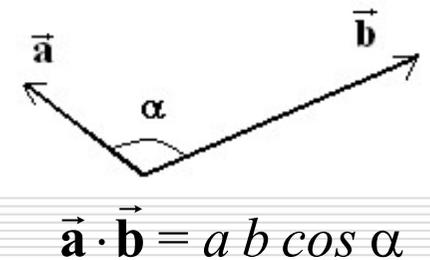


Flusso di un vettore attraverso una superficie

Simbolo: Φ

E' il prodotto scalare del vettore per la superficie; indica quanta parte del vettore "attraversa" la superficie.

Per le superfici "chiuse" (es. una scatola, un palloncino) si intende il vettore **uscente** dalla superficie.



Il teorema di Gauss

(campo elettrico)

Si applica solo a superfici **chiuse**, come per esempio una scatola.

Il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa S è pari al rapporto $q_{\text{int}}/\varepsilon_0$, dove q_{int} è la carica contenuta all'**interno** della superficie (e ε_0 è la costante dielettrica del vuoto).

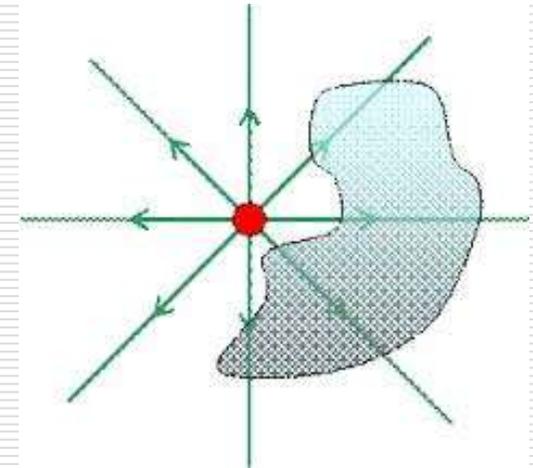
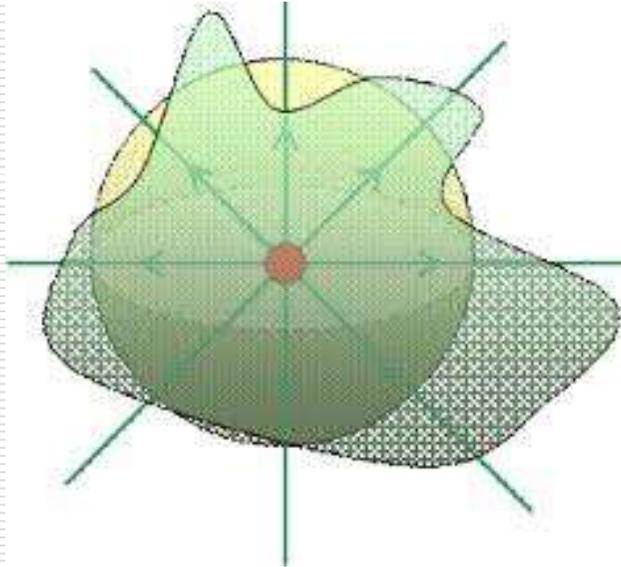
$$\Phi(\vec{E}) = \frac{q_{\text{int}}}{\varepsilon_0}$$

Il risultato del teorema vale anche per il campo gravitazionale e, in generale, per tutti i campi che hanno un andamento inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

Se non ci sono cariche all'interno della superficie

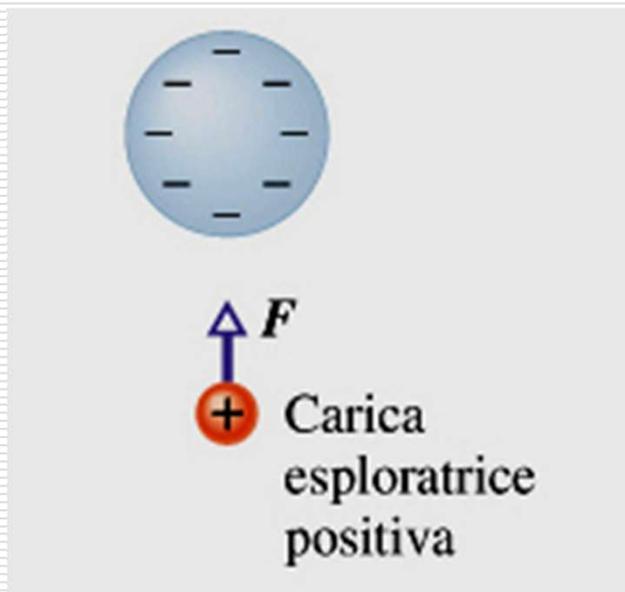
$$\Phi(\vec{E}) = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{E} = 0$$

Il teorema di Gauss



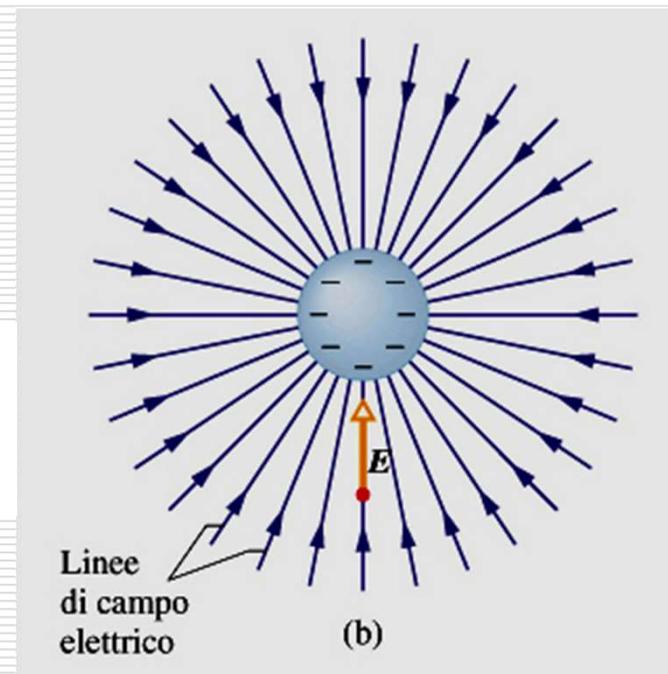
Il risultato del teorema si può interpretare come segue: il **flusso** è **diverso da zero** solo se la carica è **interna** alla superficie, mentre una carica esterna darà sempre flusso nullo, perché tutte le linee che entrano nella superficie debbono per forza anche uscirne.

Linee di forza del campo elettrico



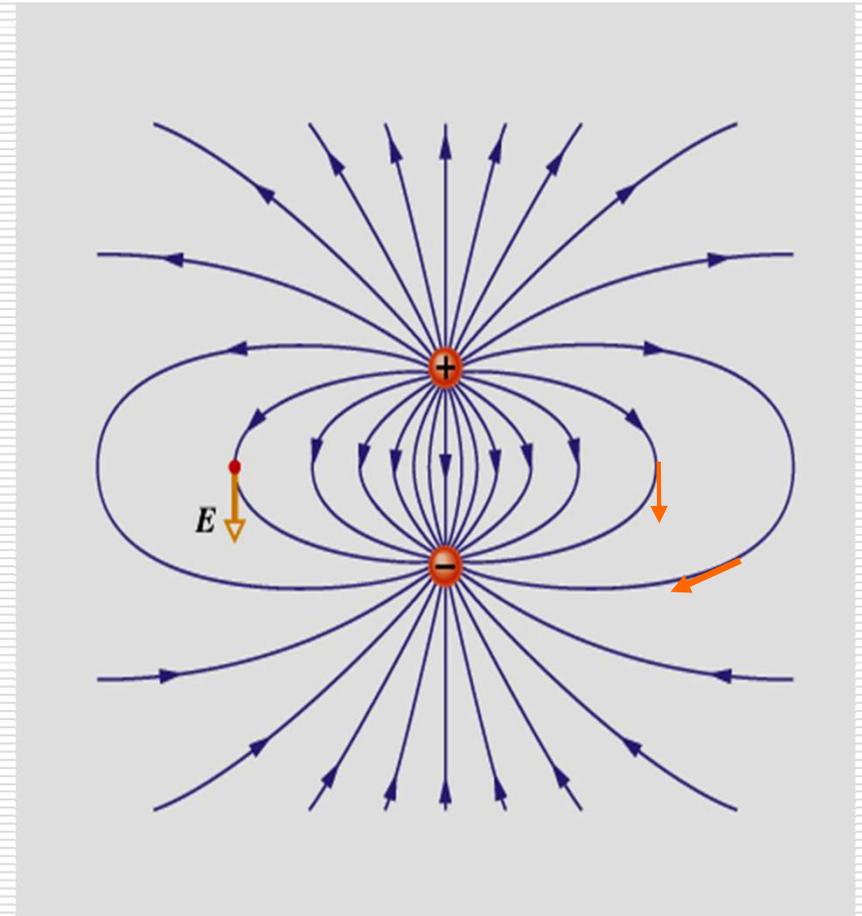
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left(\frac{N}{C} \right)$$

Il campo elettrico è tangente punto per punto alla linea di forza



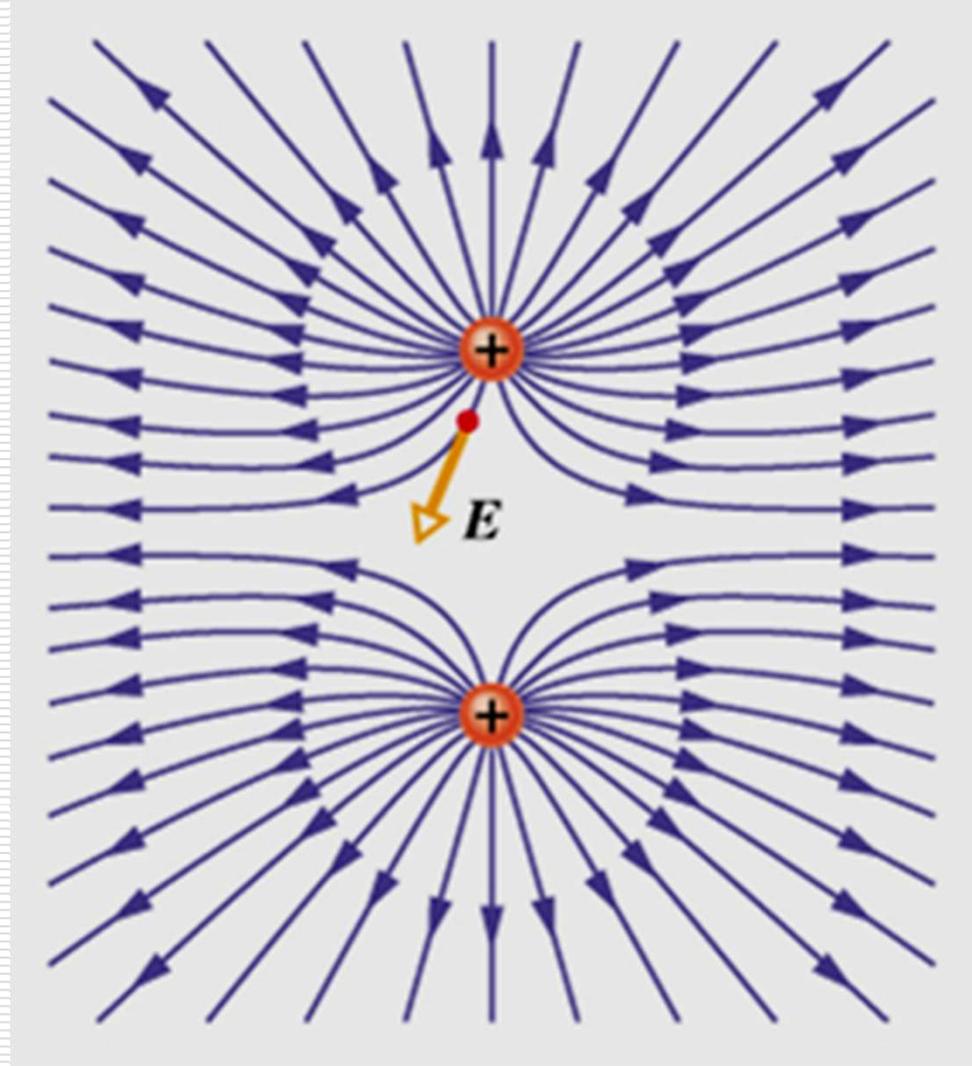
Linee di forza del campo elettrico

Cariche di segno opposto



Linee di forza del campo elettrico

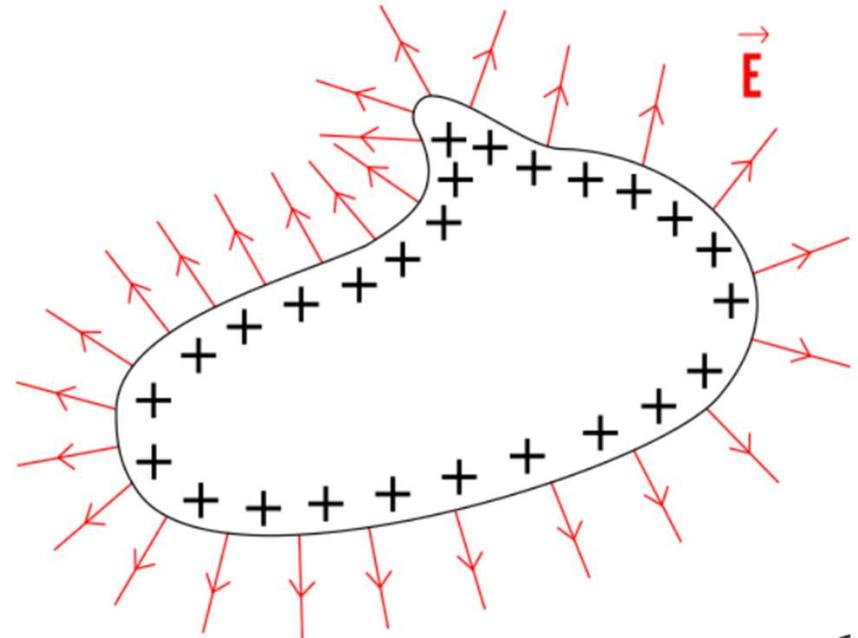
Cariche dello stesso segno



Conduttori in equilibrio

Conduttore in equilibrio: le cariche non si spostano.

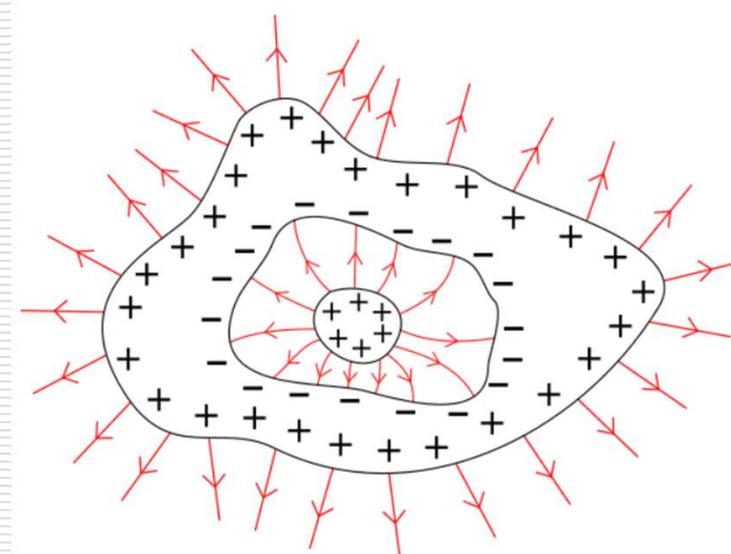
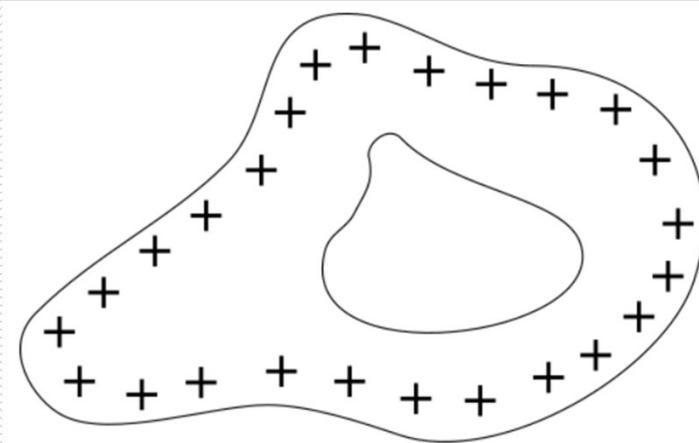
Di conseguenza non vi può essere campo elettrico all'interno del conduttore. Pertanto **se** il conduttore è carico, e quindi sono presenti delle cariche, esse possono essere **solo** sulla superficie esterna.



Conduttore cavo

Anche se il conduttore è cavo le cariche si dispongono **solo** sulla superficie esterna.

Se si porta una carica all'interno di un conduttore cavo neutro (con carica nulla), per induzione una carica di segno opposto si forma sulla superficie interna, e una carica uguale a quella interna si forma sulla superficie esterna. Il campo elettrico dentro il conduttore è sempre nullo.



Differenza di potenziale elettrico

Il campo elettrico è conservativo, ammette quindi energia potenziale. Si ha allora per il lavoro tra i punto A e B:

$$L = -\Delta E_p = -(E_B - E_A) = E_A - E_B$$

dividendo per q :

$$\frac{L}{q} = \frac{\vec{F}}{q} \cdot \Delta\vec{r} = \vec{E} \cdot \Delta\vec{r} = -\Delta V = V_A - V_B$$

ho la differenza di potenziale

$$\Delta V = \frac{\Delta E_p}{q}$$

la differenza di potenziale non dipende dal percorso seguito dalla carica, ma **solo** dalle sue posizioni iniziale e finale.

Potenziale elettrico di una carica

Per una carica puntiforme q il campo elettrico è:

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

e il potenziale è:

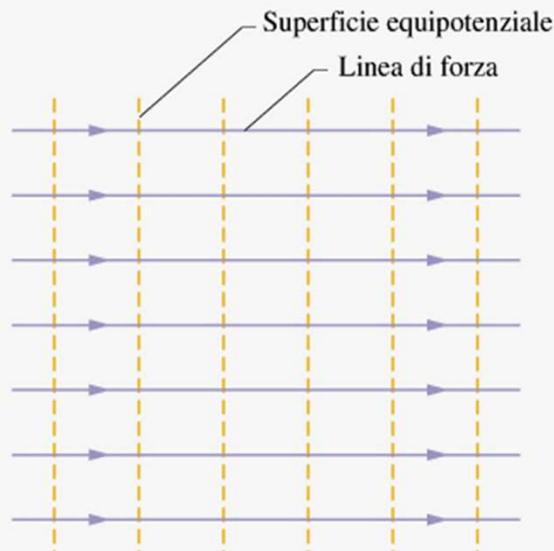
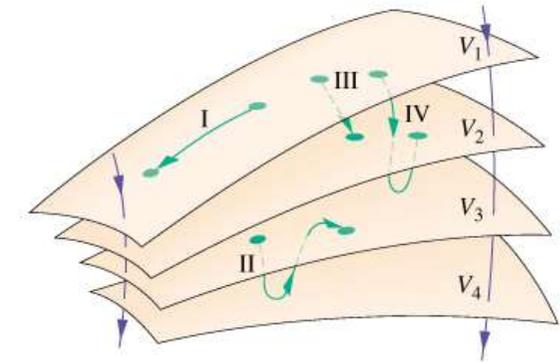
$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

Il potenziale tende a 0 quando $r \rightarrow \infty$

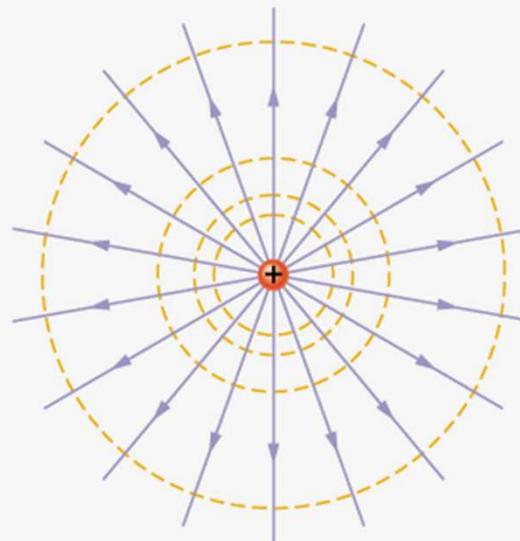
Il potenziale è una grandezza scalare; nel Sistema Internazionale la sua unità di misura è il Volt (V).

Superfici equipotenziali

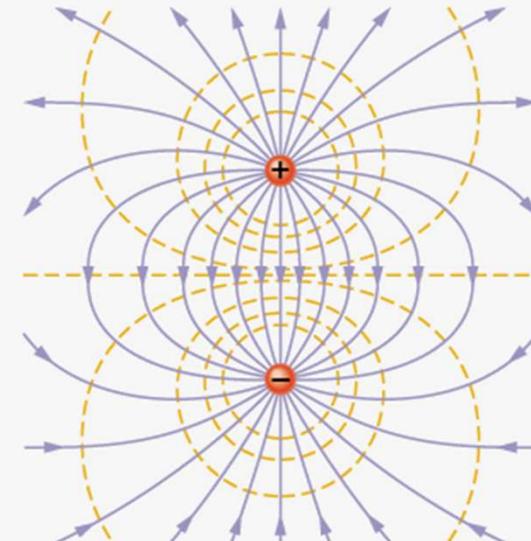
Sono costituite dai punti dello spazio che hanno lo stesso potenziale. Per la definizione del campo e del potenziale, tali superfici sono sempre perpendicolari alle linee del campo.



(a)



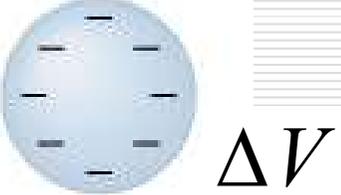
(b)



(c)

Capacità elettrica

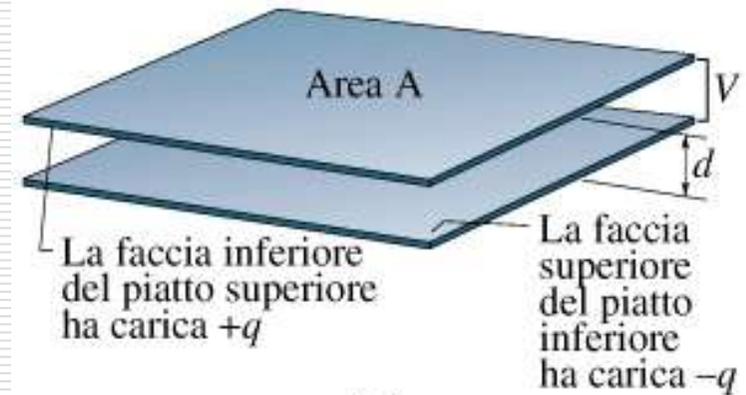
È il rapporto tra la carica e la differenza di potenziale di un conduttore, e la sua unità di misura è il *farad* (F) = *coulomb/volt*

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


Si chiama CONDENSATORE è una coppia di conduttori affacciati con cariche opposte. La configurazione può immagazzinare energia elettrostatica, proporzionale alla capacità del sistema. La capacità del condensatore piano in figura è

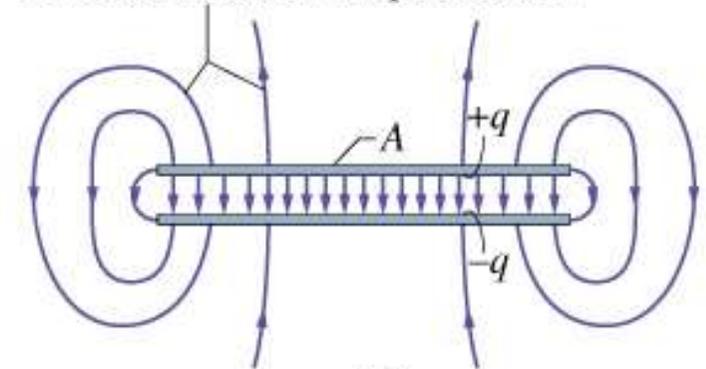
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

dove A è l'area delle piastre e d la loro distanza.



(a)

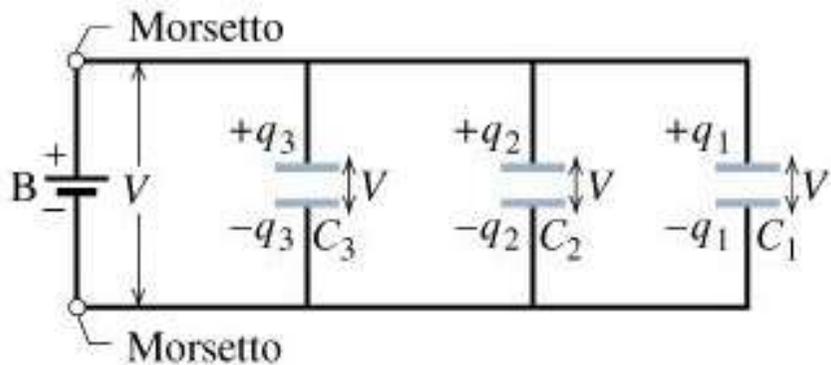
Linee di forza del campo elettrico



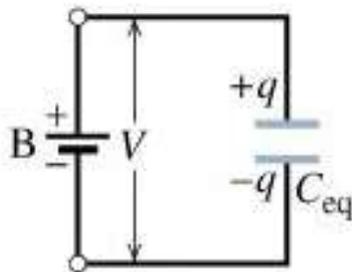
(b)

Condensatori in parallelo

(collegamento fra piastre allo stesso potenziale)



(a)



(b)

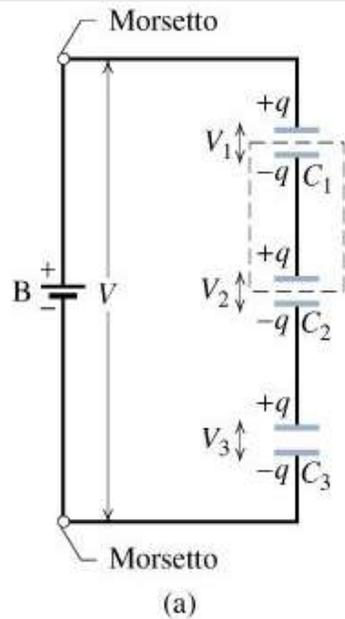
$$C_1 = \frac{q_1}{V} \quad C_2 = \frac{q_2}{V} \quad C_3 = \frac{q_3}{V}$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = \frac{q_1}{V} + \frac{q_2}{V} + \frac{q_3}{V} = \frac{q}{V} = C_{eq}$$

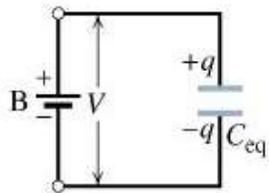
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$$

Condensatori in serie

(collegamento fra piastre con la stessa carica)



(a)



(b)

$$C_1 = \frac{q}{V_1} \quad C_2 = \frac{q}{V_2} \quad C_3 = \frac{q}{V_3}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} &= \frac{V_1}{q} + \frac{V_2}{q} + \frac{V_3}{q} = \\ &= \frac{V_1 + V_2 + V_3}{q} = \frac{V}{q} = \frac{1}{C_{eq}} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Considerazioni sulla capacità equivalente nei collegamenti di condensatori

Se i condensatori sono collegati in **parallelo** la **capacità equivalente** è la somma delle singole capacità; questo significa che **è maggiore della più grande tra le singole capacità**.

Se i condensatori sono collegati in **serie** il reciproco della capacità equivalente è la somma dei reciproci delle singole capacità; questo significa che **la capacità equivalente è minore della più piccola tra le singole capacità**.

In particolare se la capacità **C** di **n** condensatori in serie sono uguali, la capacità equivalente è

$$C_{eq} = C / n$$

Considerazioni sulla capacità equivalente nei collegamenti di condensatori

1. Considerati quattro condensatori C1, C2 rispettivamente di $8 \mu\text{F}$ e $12 \mu\text{F}$ in serie tra loro ed in parallelo con C3 di $20 \mu\text{F}$ e C4 di $5 \mu\text{F}$, qual è la capacità equivalente del sistema?
[MeC+OPD 2020-2021]

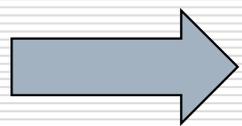
- A) $29,8 \mu\text{F}$
- B) $45 \mu\text{F}$
- C) $29,8 \text{ mF}$
- D) 45 mF
- E) $24,8 \mu\text{F}$

La corrente elettrica

È costituita da cariche che si muovono sotto l'azione della forza elettrica, che genera un campo elettrico e quindi una differenza di potenziale

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$



$$m\vec{a} = q\vec{E}$$

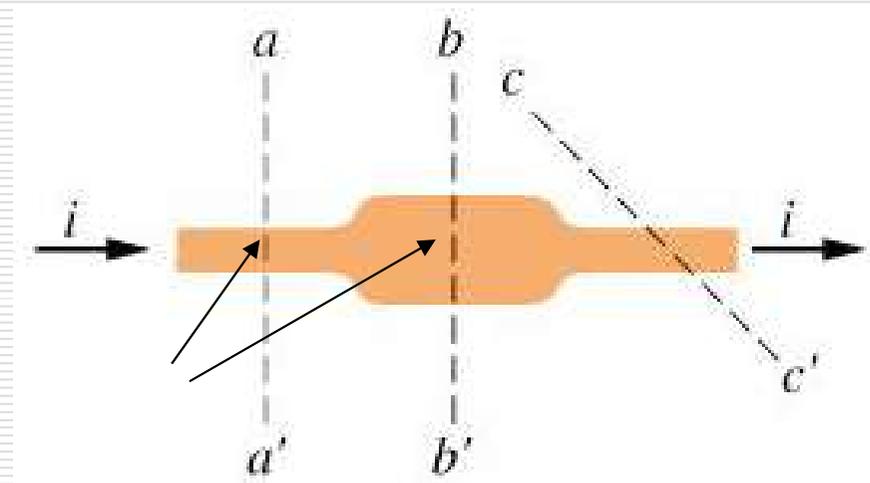
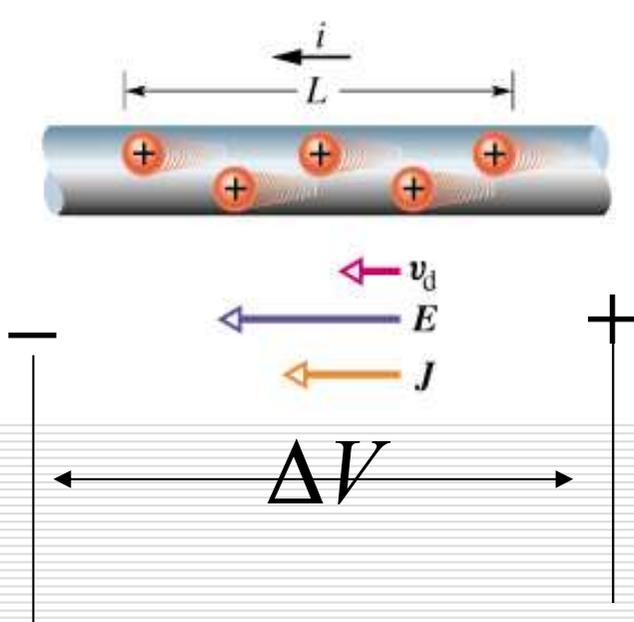


$$\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

Per un campo elettrico costante e uniforme $\vec{a} = \textit{costante}$ e il moto risultante è uniformemente accelerato

La corrente elettrica

Nella realtà le cariche elettriche che si muovono in un conduttore (elettroni) hanno un moto di deriva con velocità praticamente costante. Essi infatti vengono rallentati dalle interazioni reciproche, che a livello macroscopico si manifestano come resistenza al passaggio di corrente



La legge di Ohm

Per molti conduttori (non per tutti - non i semiconduttori, per esempio) esistono due leggi (Leggi di **Ohm**) che legano tra loro V , i e R

Prima legge

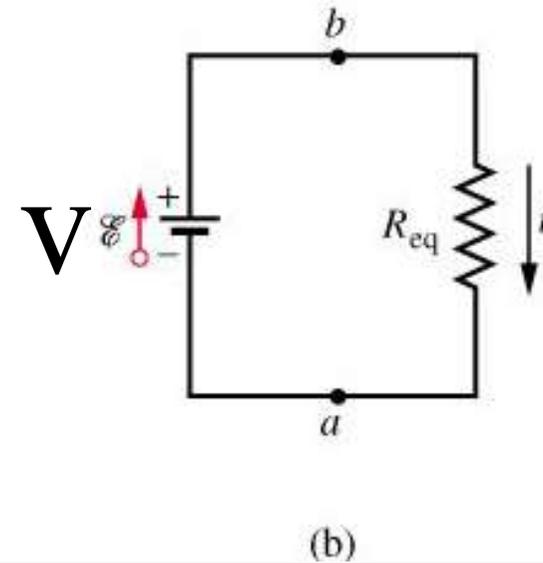
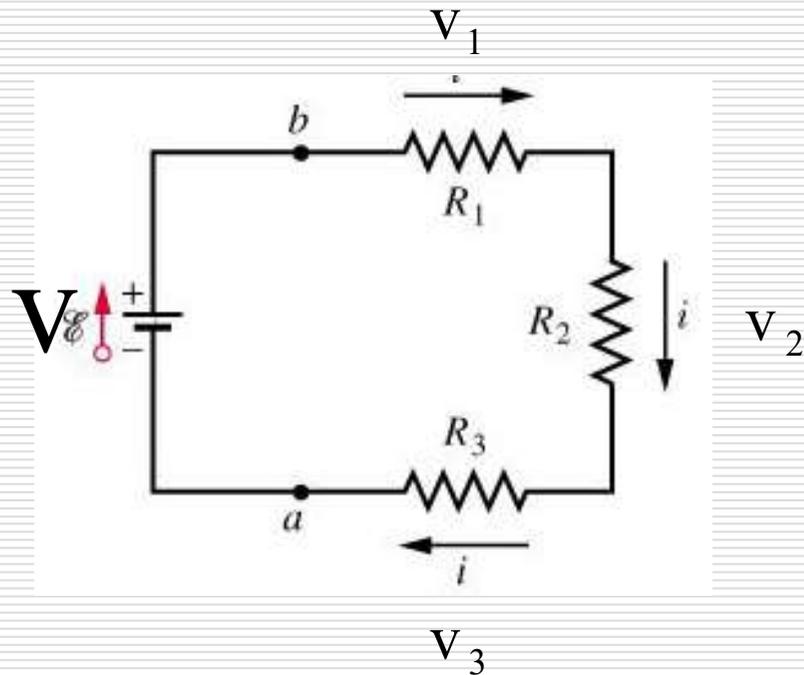
$$\frac{\Delta V}{i} = R$$

Seconda legge

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Per la 1^a legge la differenza di potenziale è proporzionale alla corrente; per la seconda, la resistenza è proporzionale alla **lunghezza** del conduttore e inversamente proporzionale alla sua **sezione** (area). La grandezza ρ è la **resistività** del materiale.

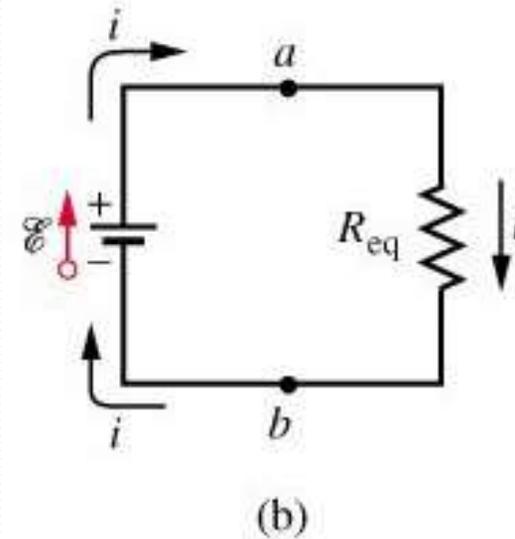
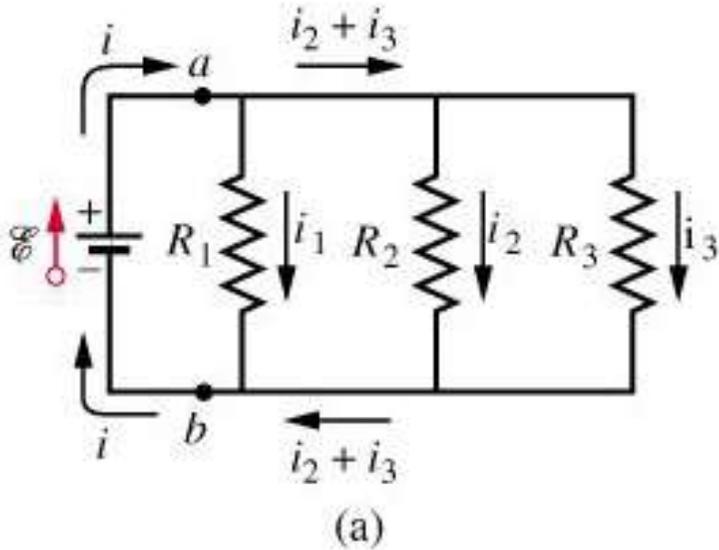
Resistenze in serie



$$R_{eq}i = V = V_1 + V_2 + V_3 = R_1i + R_2i + R_3i = (R_1 + R_2 + R_3)i$$

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

Resistenze in parallelo



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

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

Considerazioni sulla resistenza equivalente nei collegamenti di resistori

Se i resistori sono collegati in **serie** la **resistenza equivalente** è la somma delle singole resistenze; questo significa che **è maggiore della più grande tra le singole resistenze.**

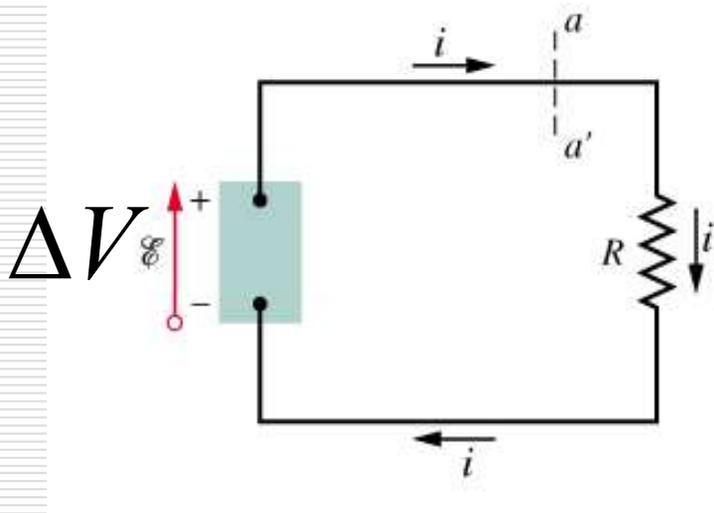
Se i resistori sono collegati in **parallelo** il reciproco della resistenza equivalente è la somma dei reciproci delle singole resistenze; questo significa che **la resistenza equivalente è minore della più piccola tra le singole resistenze.**

In particolare se la resistenza **R** di **n** resistori in parallelo sono uguali, la resistenza equivalente è

$$R_{eq} = R / n$$

Potenza elettrica - Effetto Joule

$$W = \frac{\mathcal{L}}{\Delta t} = \frac{q \cdot \Delta V}{\Delta t} = \frac{q}{\Delta t} \Delta V = i \cdot \Delta V = R i^2$$



$$[\text{W}] = \text{volt} \times \text{ampère} = \frac{\text{Joule}}{\text{secondo}} = \text{Watt}$$

Effetto Joule

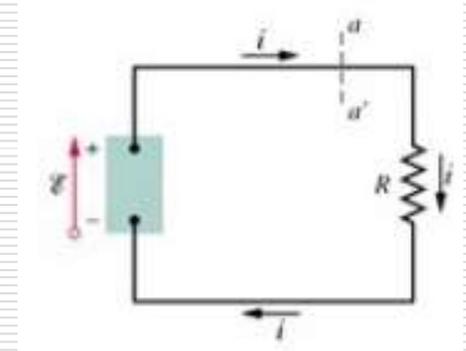
Potenza dissipata:

Il passaggio della corrente
riscalda il conduttore

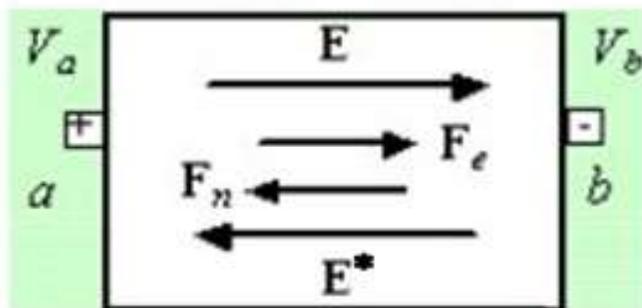
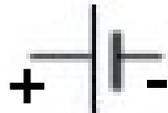
$$\frac{Q_{\text{calore}}}{t} = \frac{1}{4,186} \cdot R \cdot i^2 = \frac{1}{4,186} \frac{V^2}{R}$$

Generatori di f.e.m.

Per far passare una carica attraverso una resistenza occorre stabilire una d.d.p. tra le sue estremità. Per mantenere il flusso di cariche costante occorre mantenere costante la d.d.p. Un dispositivo in grado di mantenere costante la d.d.p. si chiama **generatore di forza elettromotrice (f.e.m.)**. Il termine forza elettromotrice ha origini storiche. Si noti tuttavia che esso ha le **dimensioni** di un **potenziale**, non di una forza.



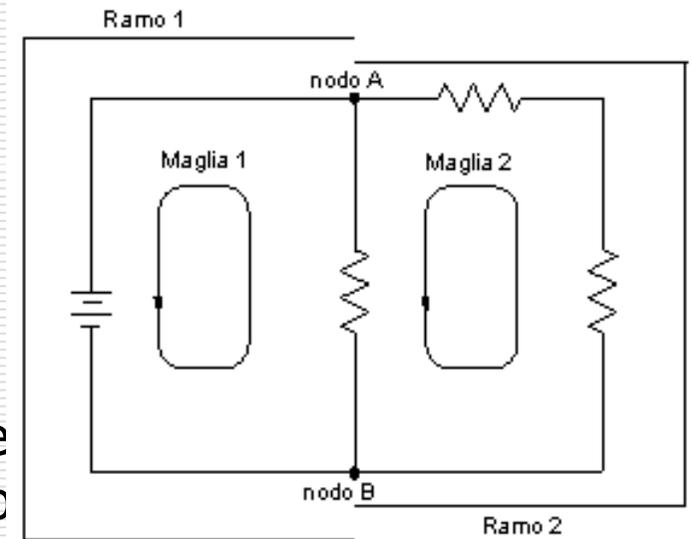
Il simbolo grafico è:



Un generatore di f e.m. è un **dispositivo** in grado di **mantenere una d.d.p. $V_a - V_b > 0$ costantemente**. Al suo interno un campo elettrico E^* , opposto al campo elettrostatico E , sposta le particelle cariche responsabili della formazione della d.d.p. Un esempio di generatore di f e.m. è una pila. $F_n = q E^*$ è una forza non conservativa. $qE^* =$ energia fornita dalla sorgente per portare la carica q dal punto b (polo negativo) al punto a (polo positivo).

Leggi di Kirchhoff

Una **rete** è un sistema composto da più conduttori percorsi da corrente e una o più sorgenti di f.e.m. (generatori); ogni conduttore prende il nome di **ramo della rete**, costituito da un di elemento attivo (generatore) o passivo (resistenza), o da più elementi disposti in serie. Un **nodo** è un punto dove si incontrano più rami. Una **maglia** è l'insieme di più rami della rete che formano un circuito chiuso



Prima legge di Kirchhoff (legge dei nodi)

La somma algebrica delle intensità di corrente convergenti in un nodo è nulla.

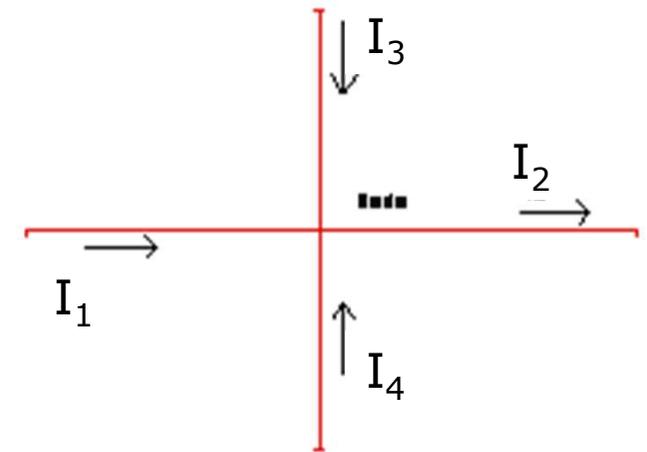
Seconda legge di Kirchhoff (legge delle maglie):

La somma algebrica delle f.e.m. agenti lungo i rami di una maglia è uguale alla somma algebrica dei prodotti delle intensità di corrente di ramo per le rispettive resistenze (del ramo).

Prima legge di Kirchoff

Le intensità di corrente dei rami di un nodo sono considerate positive se entranti nel nodo, negative se uscenti. In figura le correnti entranti sono I_1 , I_3 ed I_4 , la corrente uscente è I_2 . La prima legge di Kirchoff è:

$$\sum_{k=1}^4 I_k = I_1 - I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

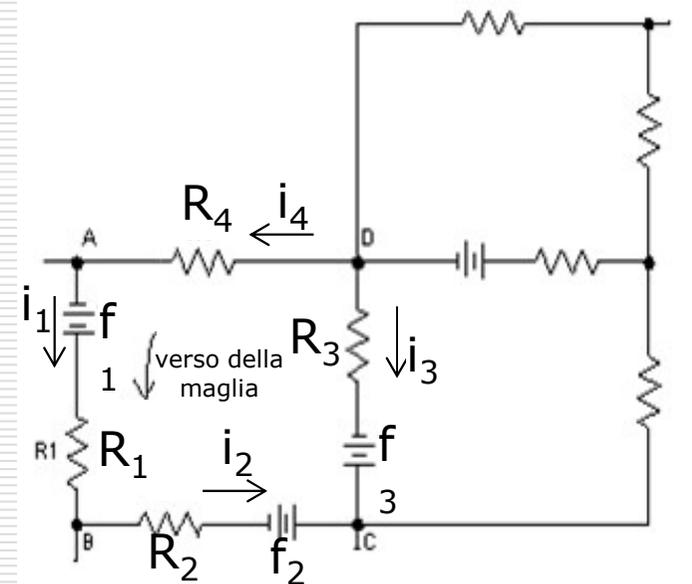


La legge dei nodi è una diretta conseguenza della **legge di conservazione della carica**; infatti la quantità di carica che entra in un nodo è uguale alla quantità di carica che ne esce; in altre parole nel nodo non c'è accumulo né diminuzione di carica. Per questo motivo, in un dato intervallo di tempo Δt , la corrente entrante in un nodo deve essere uguale a quella uscente.

Seconda legge di Kirchhoff

Si fissa arbitrariamente un verso di scorrimento nella maglia. Per ogni ramo valgono le seguenti definizioni:

- La corrente di ramo è positiva se concorde con il verso di percorrenza della maglia, altrimenti è negativa.
- Le forze elettromotrici sono positive se il verso di percorrenza della maglia attraversa i generatori dal polo negativo al polo positivo, altrimenti sono negative.



Consideriamo la maglia ABCD e fissiamo arbitrariamente come verso positivo di percorrenza quello antiorario.

La II legge di Kirchhoff è:

$$\sum_{k=1}^4 f_k = f_1 + f_2 - f_{34} = R_1 i_1 + R_2 i_2 - R_3 i_3 + R_4 i_4 = \sum_{k=1}^4 R_k i_k$$

La legge delle maglie è una diretta conseguenza della **legge di conservazione dell'energia**.

Legge di Biot Savart

Un filo rettilineo percorso da una corrente di intensità I genera un campo magnetico

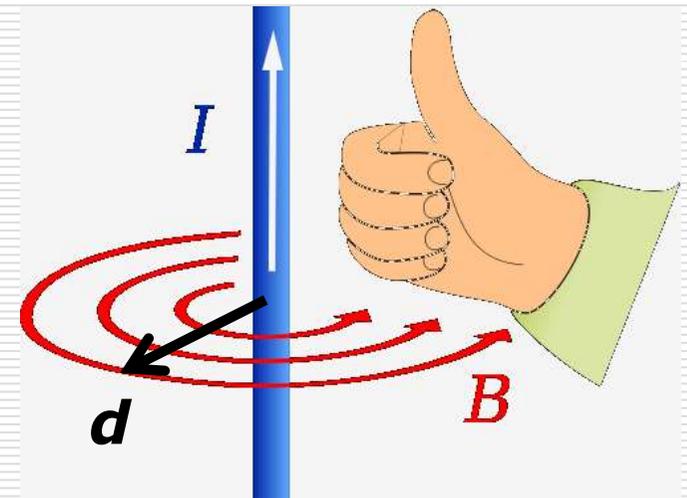
- di modulo

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

d è la distanza dal filo

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$ è la permeabilità magnetica del vuoto

- le linee del campo sono circonferenze concentriche al filo
- il verso è dato dalla regola della mano destra



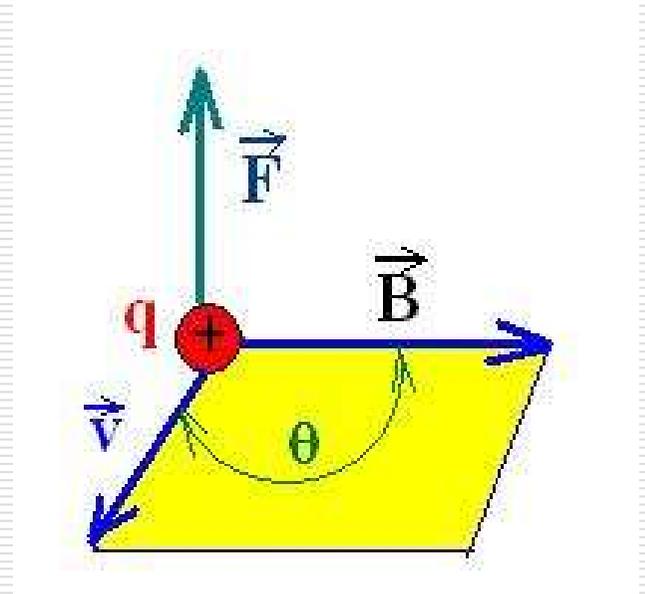
Forza di Lorentz

La forza di Lorentz opera su cariche elettriche in moto all'interno di un campo magnetico e si esprime con il prodotto vettoriale:

$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ il cui modulo è $F = q v B \sin \theta$ dove q indica la carica elettrica, v è il vettore velocità con cui essa si muove e B è il campo magnetico cui è sottoposta.

La direzione della forza di Lorentz è perpendicolare al piano su cui giacciono i vettori velocità e campo magnetico; il suo verso è dato dalla regola della mano destra se la carica è positiva, nel verso opposto se la carica è negativa.

Il lavoro svolto dalla forza di Lorentz è nullo in quanto la forza è sempre perpendicolare alla direzione dello spostamento.

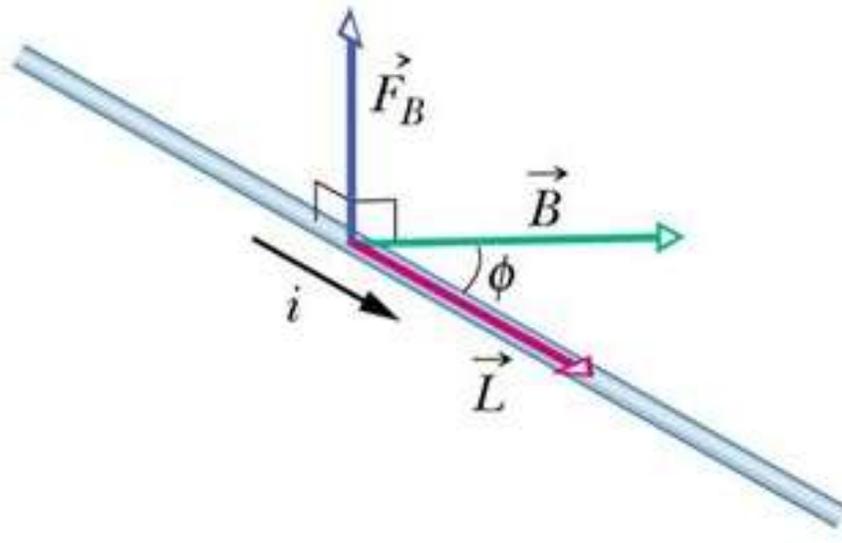
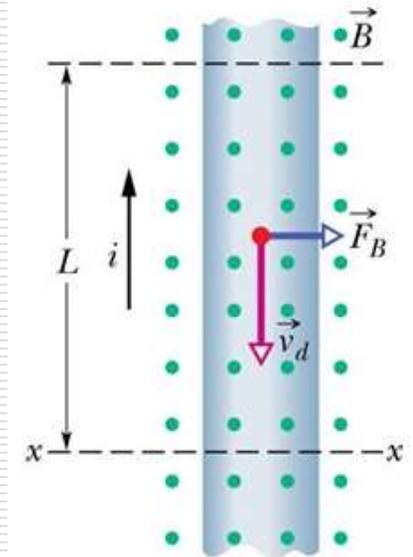


Forza magnetica su un filo percorso da corrente

In un tratto di filo rettilineo di lunghezza L è contenuta una carica

$$q = i \cdot t = i \cdot \left(\frac{L}{v_d} \right)$$

dove v_d è la velocità di deriva degli elettroni.

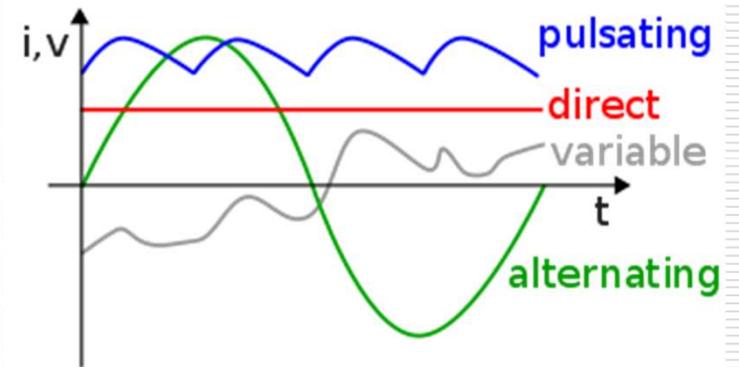


Utilizzando tale espressione nella forza di Lorentz e spostando la vettorialità da \vec{v} a \vec{L} si ottiene:

$$\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}$$

Correnti alternate

Corrente alternata (CA o AC dall'[inglese](#): *Alternating Current*) è una corrente in cui il flusso di elettroni inverte la propria direzione continuativamente nel tempo. In corrente alternata il flusso di elettroni inverte la propria direzione, con un'alternanza che avviene con frequenza fissa (tipicamente 50 Hz o 60 Hz)

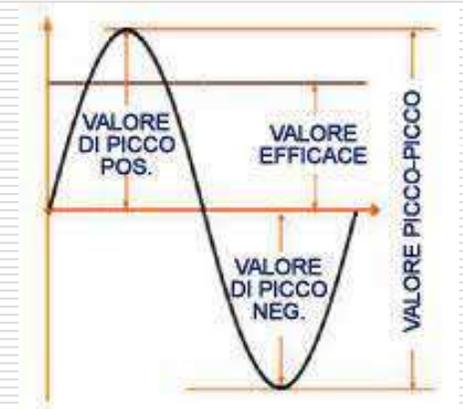


L'utilizzo della corrente alternata deriva da:

- efficienza nel trasporto, soprattutto su lunghe distanze, se effettuato ad elevate tensioni raggiungibili abbastanza facilmente con l'utilizzo di trasformatori;
- gli alternatori sono costruttivamente più semplici e hanno rendimento più elevato rispetto alle dinamo;
- i vantaggi di un sistema trifase.

Per **intensità efficace** di una corrente alternata si intende quel valore di corrente che, attraversando una resistenza elettrica, produrrà lo stesso effetto termico di una corrente continua.

$$I_{eff} = I_M / \sqrt{2}$$



MeC+OPD 2016/17

Le potenze utilizzate dai seguenti elettrodomestici sono:

$P(\text{ferro da stiro}) = 1 \text{ kW}$

$P(\text{televisore}) = 150 \text{ W}$

$P(\text{lavatrice}) = 2,5 \text{ kW}$

$P(\text{forno elettrico}) = 1.500 \text{ W}$

Se vengono collegati alla rete domestica (220 V), quale degli elettrodomestici è

attraversato da una corrente di intensità maggiore?

- A) Sono attraversati tutti dalla stessa corrente
- B) Il ferro da stiro
- C) Il televisore
- D) La lavatrice
- E) Il forno elettrico

MeC+OPD 2015/16

Due particelle cariche e isolate sono poste, nel vuoto, a una certa distanza. La forza elettrostatica tra le due particelle è di 4,0 N.

Quale sarebbe il valore della forza elettrostatica se la distanza tra le particelle fosse dimezzata?

- A) 4,0 N
- B) 8,0 N
- C) 16,0 N
- D) 1,0 N
- E) 2,0 N

MeC+OPD 2014/15

Quando due resistenze elettriche (rispettivamente uguali a R e $4R$) sono collegate in serie, la resistenza equivalente della combinazione è pari a 50Ω . Se le medesime resistenze fossero collegate in parallelo, quale sarebbe la resistenza equivalente?

- A) 8Ω
- B) 10Ω
- C) 12Ω
- D) 32Ω
- E) 50Ω

MeC+OPD 2014/15

Quale/i dei seguenti prodotti tra grandezze ha/ hanno le stesse unità di misura di un lavoro?

1. Pressione \times volume
2. Massa \times variazione di altezza
3. Carica \times differenza di potenziale

- A) Solo 1
- B) Solo 1 e 3
- C) Solo 2
- D) Solo 3
- E) Solo 2 e 3

MeC+OPD 2013/14

Un cavo percorso da corrente in un campo magnetico può subire una forza dovuta al campo. Perché tale forza non sia nulla quale condizione ulteriore deve essere soddisfatta?

- A) La corrente deve alternarsi
- B) L'angolo tra il cavo e il campo magnetico deve essere di 90 gradi
- C) Il campo magnetico non deve cambiare
- D) Il cavo deve essere dritto
- E) L'angolo tra il cavo e il campo magnetico non deve essere zero

LTPS 2016/17

La resistenza di un filo lungo 6 metri è pari a 10 ohm. Se si applica ai suoi estremi una differenza di potenziale pari a 20 V, quanto vale la corrente che attraversa il filo?

- A) 2 A
- B) 10 W
- C) 20 A
- D) 0,5 A
- E) 20 W

MeC+OPD 2020/21

All'interno di una sfera conduttrice di raggio r uniformemente carica (positivamente) viene posta una carica negativa q a distanza $r/2$ dal centro. Come si muove, se si muove, la carica q ?

- A) Rimane ferma
- B) Si muove lungo il diametro verso la superficie della sfera passando dal centro
- C) Si muove lungo il diametro verso la superficie della sfera allontanandosi dal centro
- D) Si muove lungo il diametro per spostarsi al centro della sfera
- E) Non è possibile rispondere in quanto non è nota l'intensità della carica sulla sfera