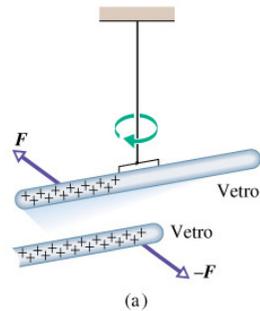


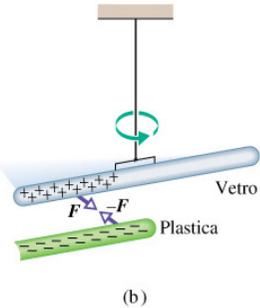
Le cariche elettriche

strofinato
con seta

repulsiva

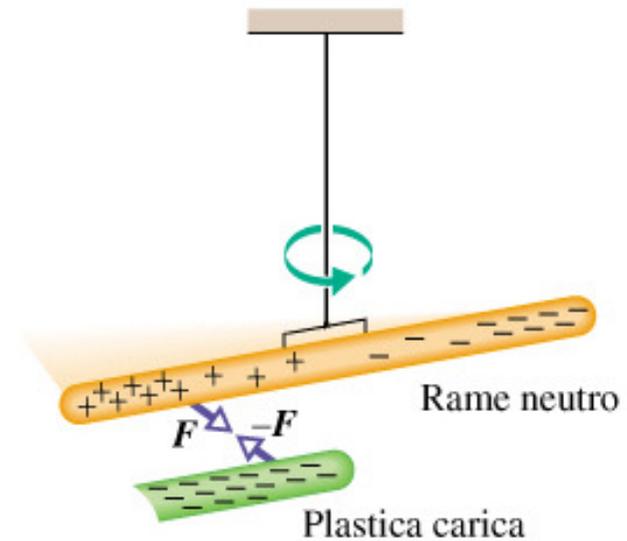


attrattiva



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

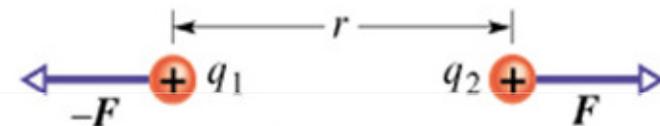
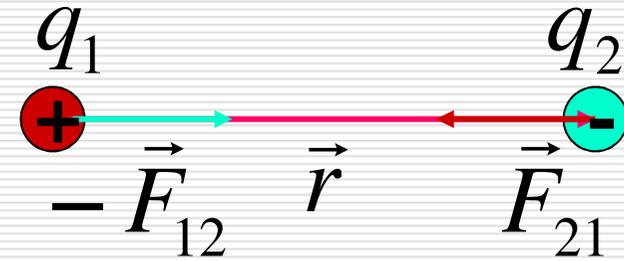
$$\epsilon_{materiale} : \epsilon_{relativa} = \frac{\epsilon_{materiale}}{\epsilon_0}$$

Unità di misura della carica (S.I.)

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

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

$\epsilon_{relativa}$ adimensionale



(a) Repulsione



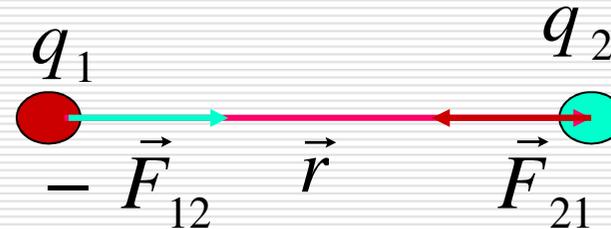
(b) Repulsione



(c) Attrazione

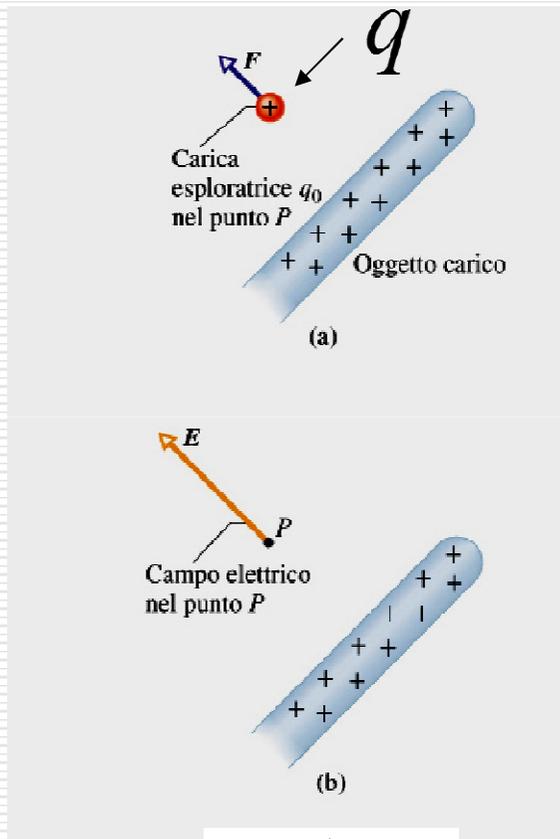
Alcuni ordini di grandezza...

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



- 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



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

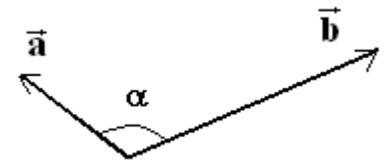
Alcuni valori di campo elettrico

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}

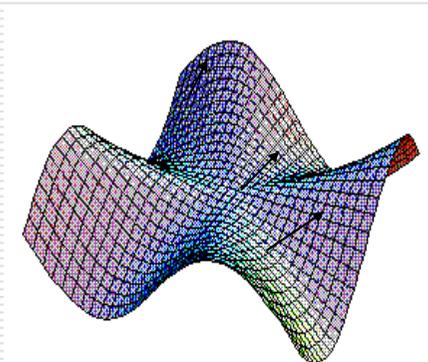
Flusso del campo elettrico attraverso una superficie

VETTORE SUPERFICIE : direzione = quella perpendicolare alla superficie stessa; modulo = area della superficie.

Per una mattonella piana il verso può essere scelto a piacere: è però importante ricordare che per le superfici *chiuse* (per esempio, un palloncino) il verso positivo è quello che guarda all'esterno, quello negativo all'interno. Generalizzazione a una superficie non piana: la si divide in parti abbastanza piccole da poterle considerare piane (v. figura) e si applica la definizione precedente. Il vettore superficie risultante è allora la somma vettoriale di tutti i contributi di ciascuna parte.



$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a b \cos \alpha$$



Il teorema di Gauss

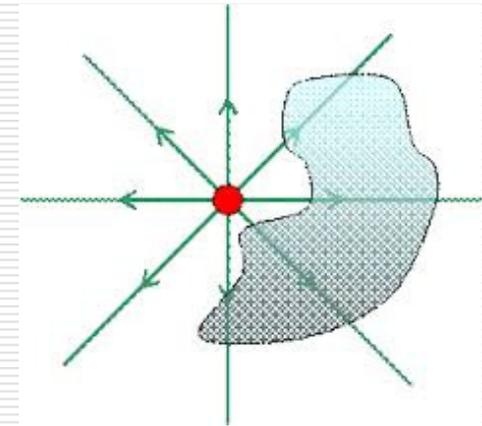
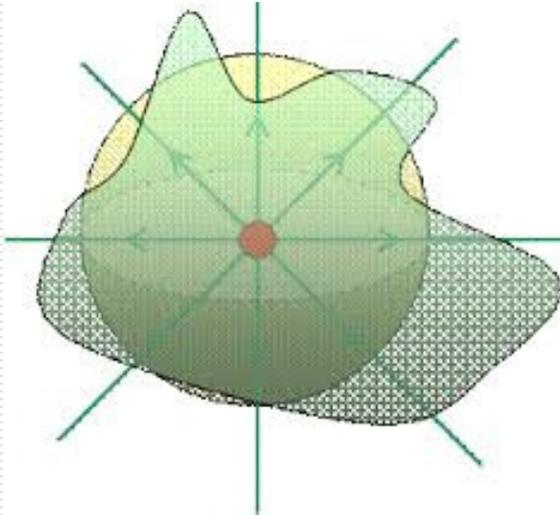
Si applica solo a superfici **chiuse**, come per esempio una scatola.

Il teorema stabilisce che il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa S è pari al rapporto $q_{\text{int}}/\epsilon_0$, dove q_{int} è la carica contenuta all'**interno** della superficie (e ϵ_0 è la costante dielettrica del vuoto).

$$\Phi(\vec{E}) = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

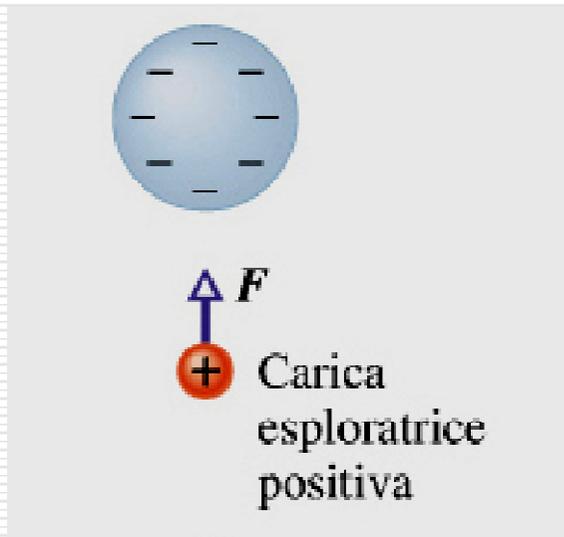
Il risultato del teorema vale anche per il campo gravitazionale e, in generale, per tutti i campi che hanno un andamento inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

Il teorema di Gauss



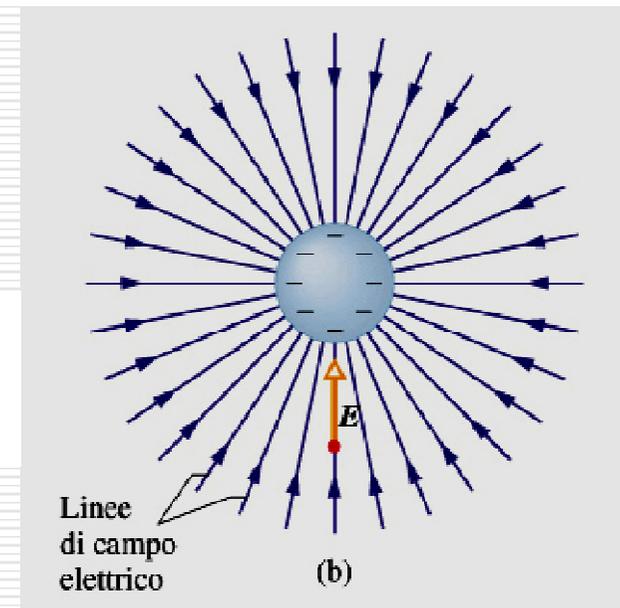
Il risultato del teorema si può interpretare come segue: il **flusso** è **diverso da zero** solo se la carica è **interna** alla superficie, mentre una carica esterna darà sempre flusso nullo, perché tutte le linee che entrano nella superficie debbono per forza anche uscirne.

Linee di forza del campo elettrico



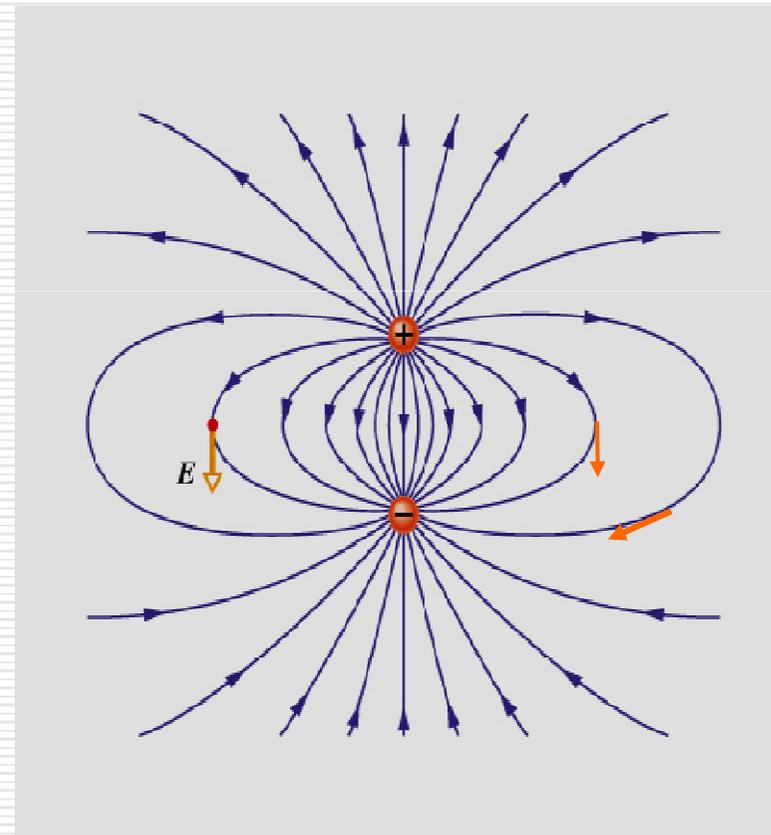
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left(\frac{N}{C} \right)$$

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



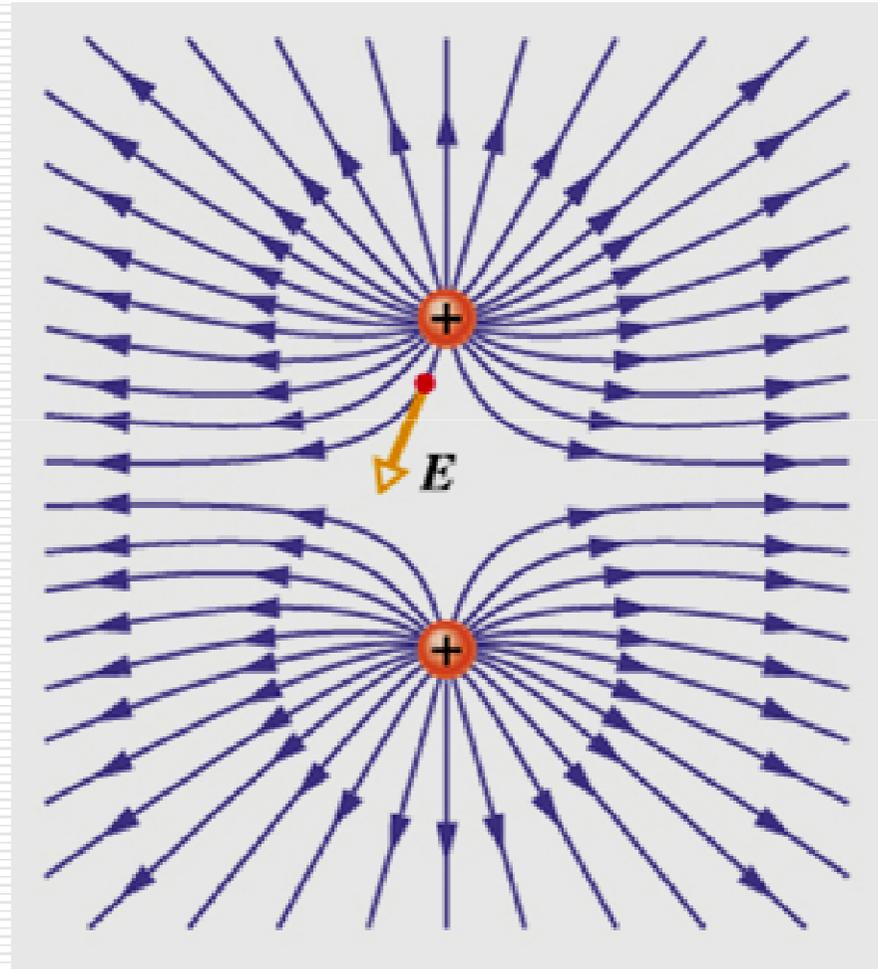
Linee di forza del campo elettrico

Cariche di segno opposto



Linee di forza del campo elettrico

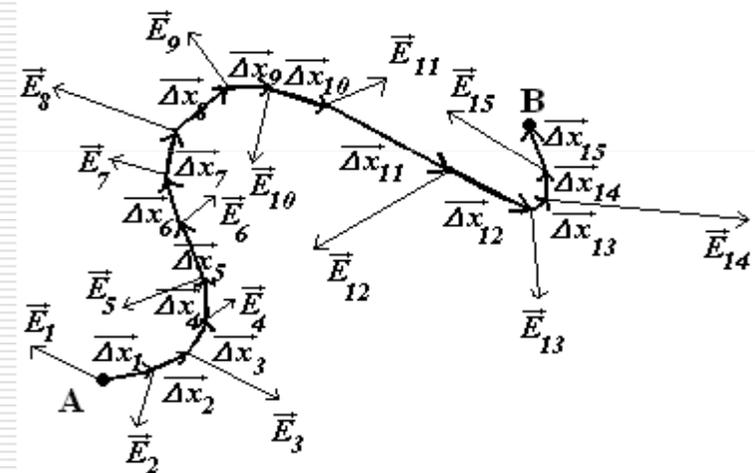
Cariche dello stesso segno



Potenziale elettrico

Una carica q che si trova in una zona dove è presente un campo elettrico \vec{E} si sposta sotto l'azione della forza $\vec{F} = q\vec{E}$ dal punto iniziale A fino ad un punto B , ad una distanza d da A .

Durante lo spostamento da A a B il valore del campo elettrico non resterà sempre costante, ma possiamo dividere la distanza d in un numero N di tratti abbastanza piccoli da riprodurre il percorso con la precisione desiderata. Moltiplicando scalarmente per il campo elettrico misurato in corrispondenza del trattino e sommando tutti i contributi troviamo infine la definizione di **differenza di potenziale** ΔV_{AB} :

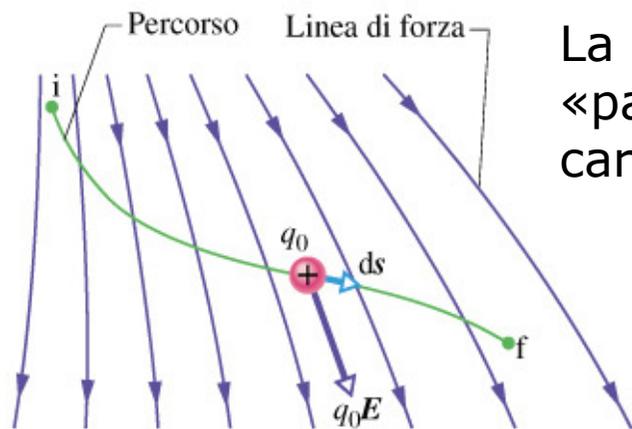


Esempio di calcolo di d.d.p. (con $N=15$)

$$\Delta V_{AB} = V_B - V_A = \vec{E}_1 \cdot \Delta \vec{x}_1 + \vec{E}_2 \cdot \Delta \vec{x}_2 + \vec{E}_3 \cdot \Delta \vec{x}_3 + \dots + \vec{E}_N \cdot \Delta \vec{x}_N = \sum_{n=1}^N \vec{E}_n \cdot \Delta \vec{x}_n$$

Potenziale elettrico

La cosa che rende tutto questo processo utile è che la differenza di potenziale non dipende dal percorso seguito dalla carica, ma **solo** dalle sue posizioni iniziale e finale. Questo fatto si esprime dicendo che il campo elettrostatico è **conservativo**. Il campo gravitazionale gode della stessa proprietà, ma **non** il campo magnetico.



La differenza di potenziale così definita è strettamente «parente» del lavoro $\mathcal{L} = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x}$ compiuto sulla carica q dalla forza elettrostatica. Infatti:

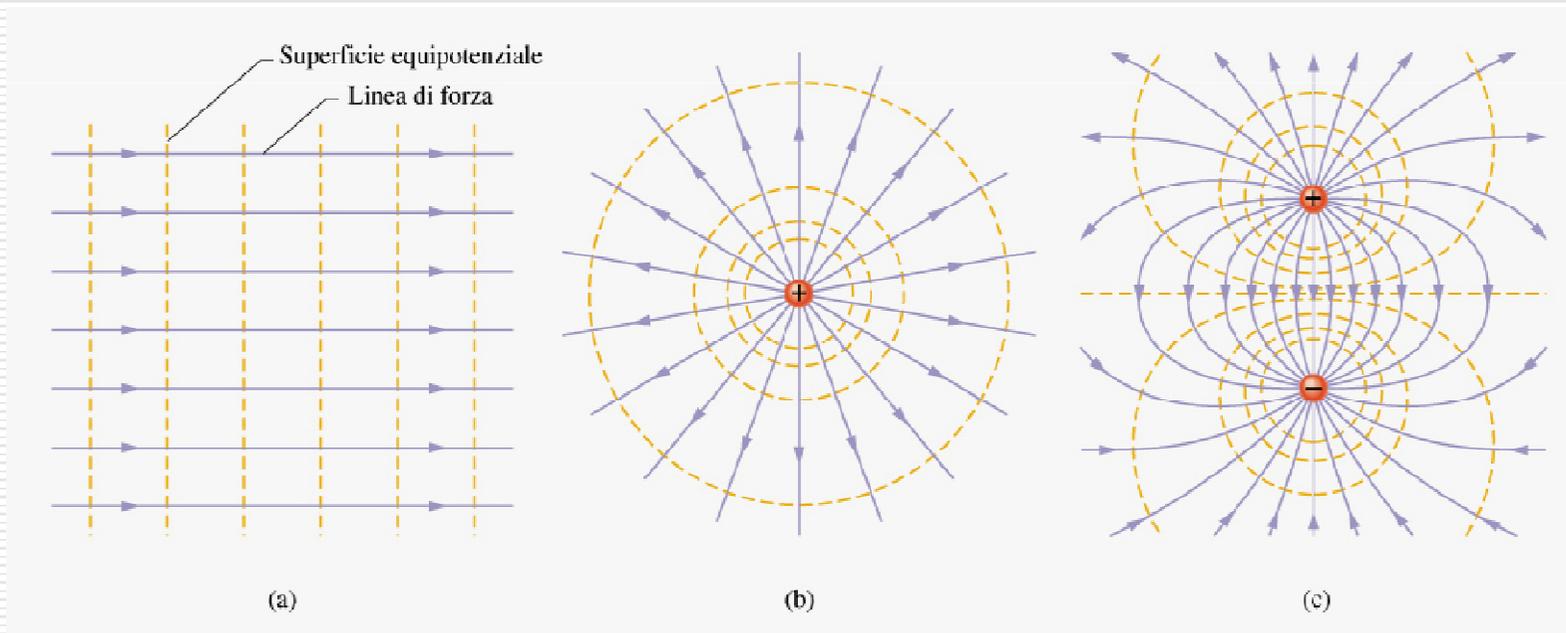
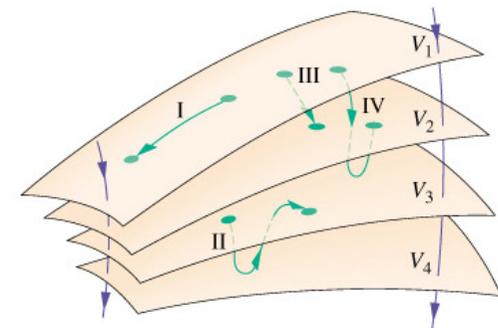
$$\Delta V = \vec{E} \cdot \Delta\vec{x} = \frac{\vec{F}}{q} \cdot \Delta\vec{x} = \frac{\mathcal{L}}{q}$$

Pertanto la differenza di potenziale si può definire come il lavoro per unità di carica compiuto dalle forze elettrostatiche.

Notiamo che solo la **differenza** di potenziale ha significato fisico; per fissare in ogni punto dello spazio valori precisi per il potenziale occorre definire arbitrariamente uno **zero**.

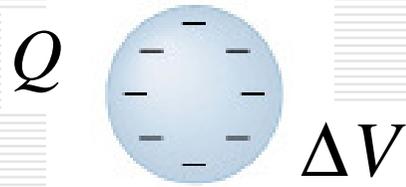
Superfici equipotenziali

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.



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

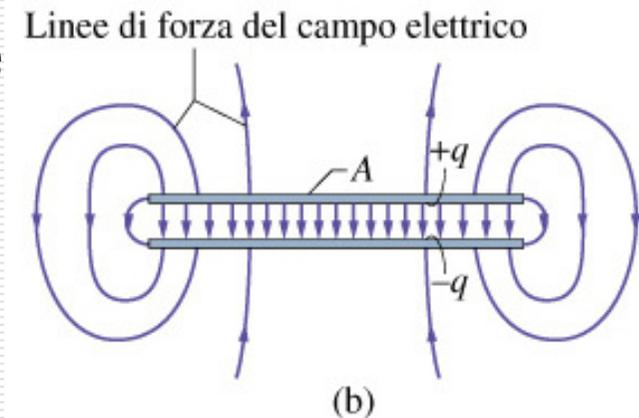
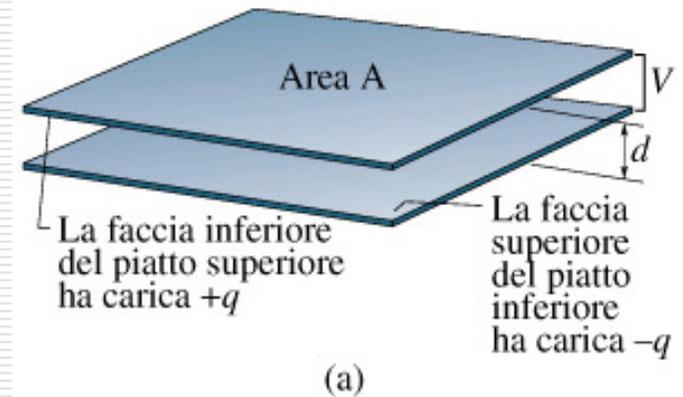


$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

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

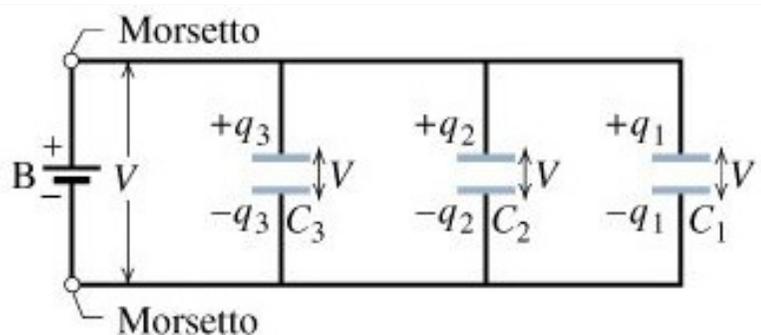
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

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

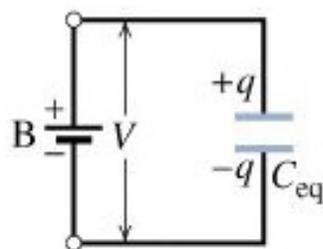


Condensatori in parallelo

(collegamento fra piastre allo stesso potenziale)



(a)



(b)

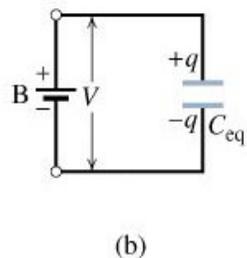
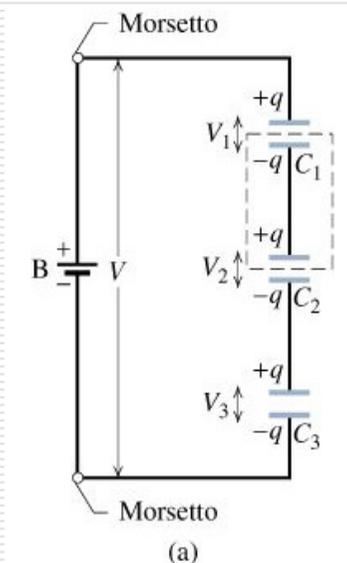
$$C_1 = \frac{q_1}{V} \quad C_2 = \frac{q_2}{V} \quad C_3 = \frac{q_3}{V}$$

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

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

Condensatori in serie

(collegamento fra piastre con la stessa carica)



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

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

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

La corrente elettrica

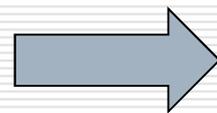
È costituita da cariche che si muovono sotto l'azione della forza elettrica, che genera un campo elettrico e quindi una differenza di potenziale

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

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



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

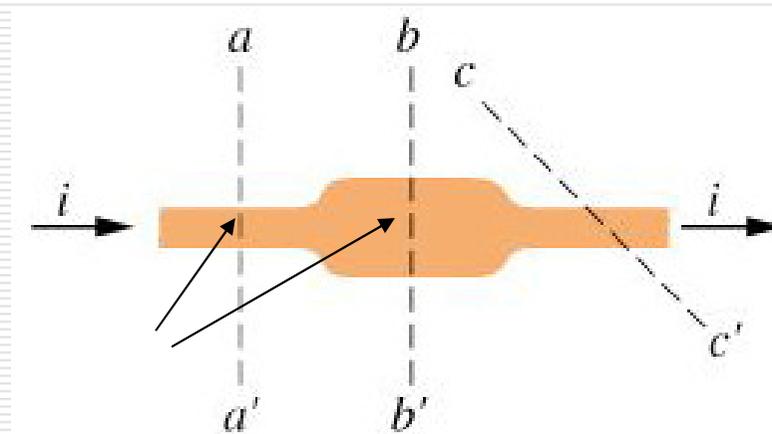
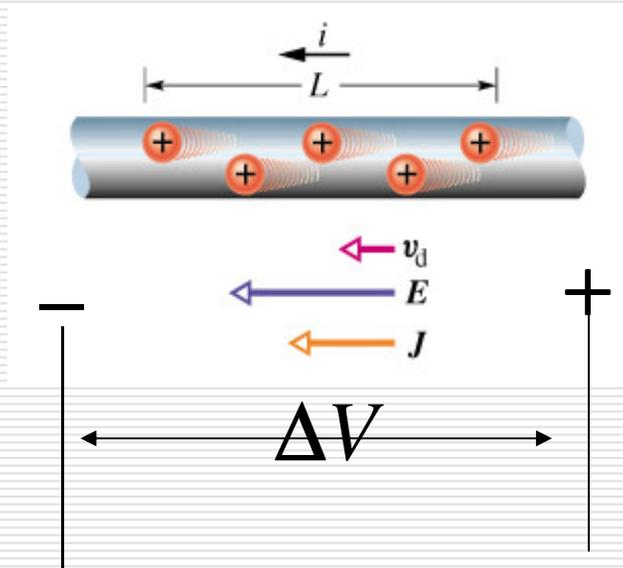


$$\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

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 corrente elettrica

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

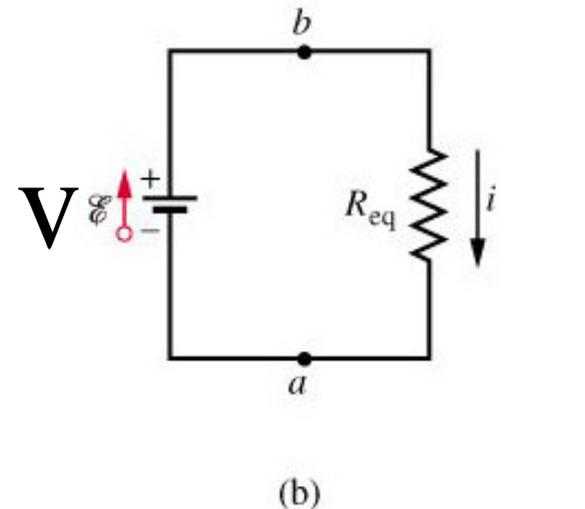
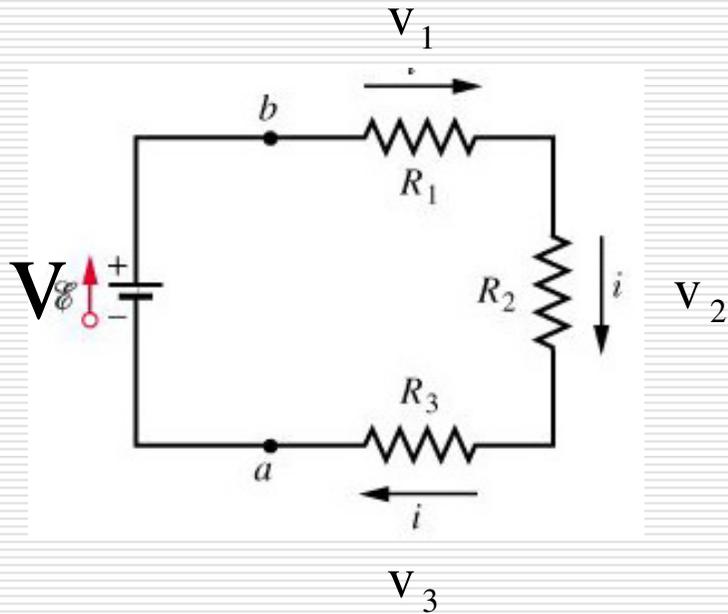
$$\frac{\Delta V}{i} = R$$

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.

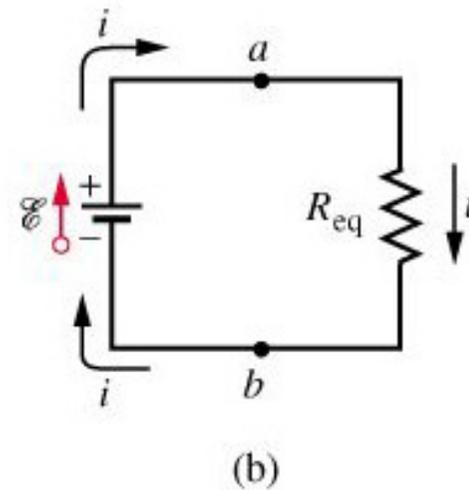
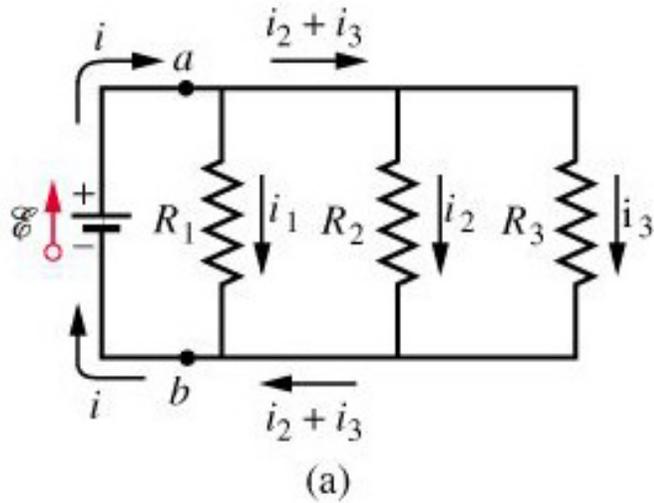
Resistenze in serie



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

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

Resistenze in parallelo

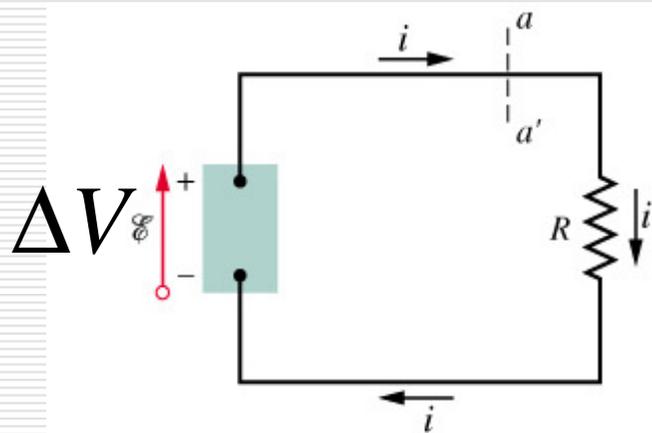


$$i = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

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

Potenza elettrica - Effetto Joule

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



$$\Delta V = R i \quad \text{Legge di Ohm}$$

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

Effetto Joule

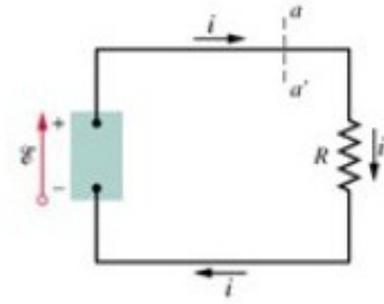
Potenza dissipata:

Il passaggio della corrente
riscalda il conduttore

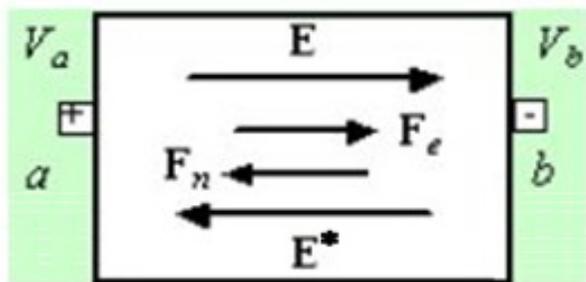
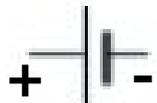
$$\frac{Q_{\text{calore}}}{t} = \frac{1}{4,186} \cdot R \cdot i^2 = \frac{1}{4,186} \frac{V^2}{R}$$

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.



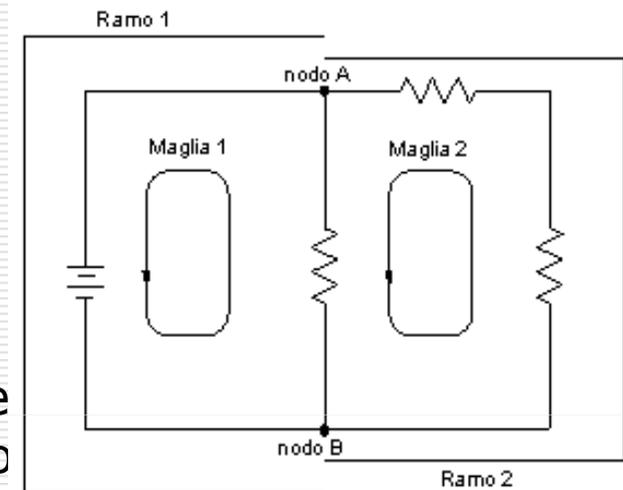
Il simbolo grafico è:



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.

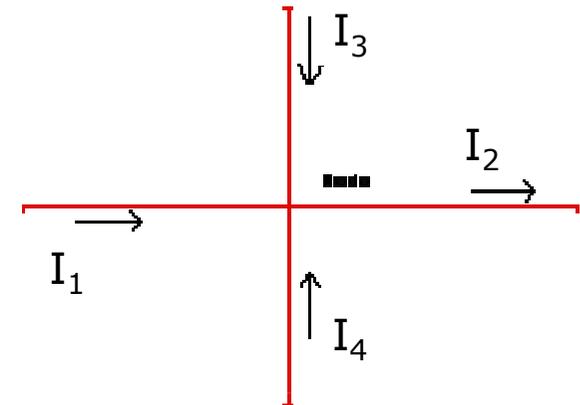
Seconda legge di Kirchhoff (legge delle maglie):

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:

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

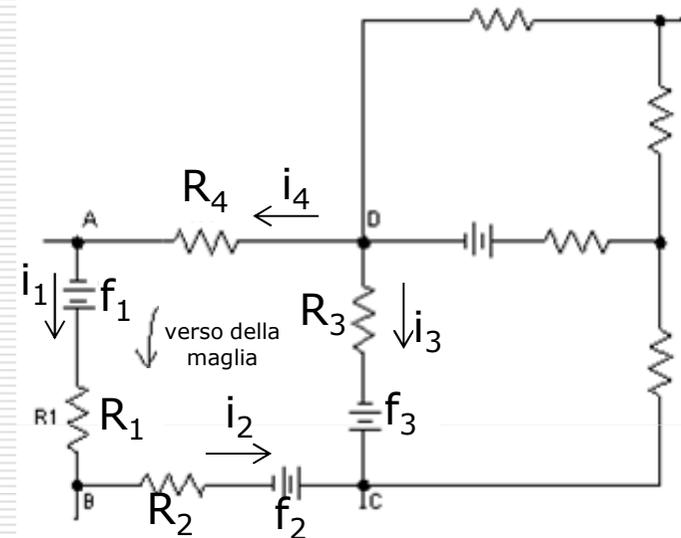


La legge dei nodi è una diretta conseguenza della legge di conservazione della carica; infatti la quantità di carica che entra in un nodo è uguale alla quantità di carica che ne esce; in altre parole nel nodo non c'è accumulo né diminuzione di carica. Per questo motivo, in un dato intervallo di tempo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

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

Effetti della corrente elettrica

La corrente elettrica produce tre tipi di effetti:

- effetto **termico**
- effetto **chimico**
- effetto **magnetico**

Effetti termici della corrente

Il passaggio di corrente elettrica provoca:

- effetto termico (effetto Joule): al passaggio della corrente in una resistenza si ha la trasformazione dell'energia elettrica trasportata dalla corrente in energia termica (sviluppo di calore): $W = i^2 R$. Il calore prodotto è direttamente proporzionale al quadrato dell'intensità della corrente e alla resistenza elettrica dell'elemento attraversato dalla corrente. L'effetto Joule è sfruttato nelle stufe elettriche e in una varietà di altri apparecchi come forni elettrici, asciugacapelli, macchine lavatrici e così via.
- effetto luminoso: quando il conduttore percorso da corrente si riscalda a una temperatura sufficientemente elevata, emette luce, cioè si ha l'effetto luminoso. Nelle lampadine elettriche (a incandescenza), dove la corrente riscalda un filamento di tungsteno alla temperatura di circa $2.700\text{ }^{\circ}\text{C}$, si ha emissione di luce bianco-gialla.

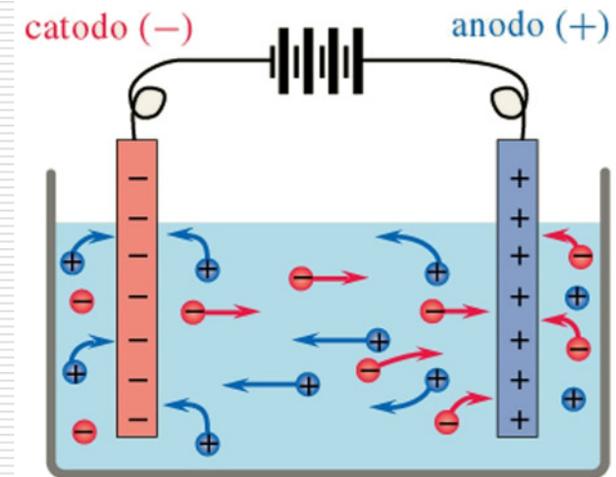
Effetti chimici della corrente

L'effetto chimico della corrente provoca il fenomeno dell'**elettrolisi**: al passaggio della corrente in certe sostanze avvengono trasformazioni chimiche. Esempi:

- le molecole dell'acqua possono venire decomposte negli atomi dei due elementi che le costituiscono, idrogeno e ossigeno
- il cloruro di sodio NaCl può essere separato in forma di sodio (Na^+) e cloro (Cl^-)

Due lamine di metallo collegate ad un generatore e ad un utilizzatore all'interno di una bacinella d'acqua distillata, non registrano passaggio di corrente poiché l'acqua distillata non favorisce il passaggio della corrente.

Si osserva invece passaggio di corrente se si aggiunge del comunissimo sale da cucina (NaCl): il sale si discioglie nell'acqua in forma di sodio (Na^+) e cloro (Cl^-); il primo ione viene attratto dal **catodo** (la lamina collegata al polo negativo del generatore), mentre il secondo dall' **anodo** (la lamina collegata al polo positivo del generatore). Durante questo spostamento, gli elettroni della corrente elettrica vengono trasportati dagli **ioni**: vi è quindi passaggio di corrente in un liquido solo in presenza di ioni positivi e negativi.



Effetti magnetici della corrente

Il passaggio di corrente elettrica lungo un conduttore crea un campo magnetico (**elettromagnetismo**).

È stato il fisico danese Oersted a scoprire questo fenomeno: egli notò che l'ago di una bussola mutava drasticamente la sua direzione quando si trovava vicino ad un conduttore nel quale passava della corrente elettrica.

Il fenomeno inverso, invece, fu scoperto da Faraday, il quale capì che sia il movimento di una calamita all'interno di un solenoide, cioè, un conduttore isolato sotto forma di spirale, sia lo spostamento di un circuito elettrico privo di un generatore in un campo magnetico, inducevano la corrente nel filo conduttore (**induzione elettromagnetica**). Quest'ultimo fenomeno viene sfruttato soprattutto per produrre energia elettrica, come nel caso della **dinamo**: la ruota della bicicletta fa girare un asse sul quale vi è una calamita che, girando, induce la corrente elettrica nel solenoide avvolto intorno ad essa; da qui la corrente viaggia fino all'utilizzatore, una semplice lampadina. Il processo inverso della dinamo invece, è riscontrabile nel **motore elettrico**: il motore trasforma l'energia elettrica in meccanica, sfruttando sempre alcuni fenomeni magnetici.

Legge di Biot Savart

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

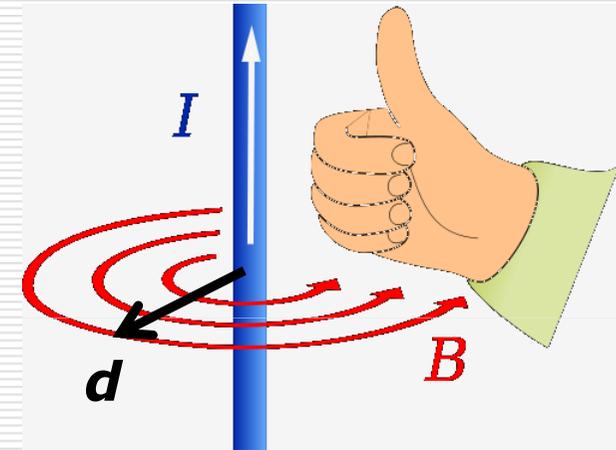
- di modulo

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

d è la distanza dal filo

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

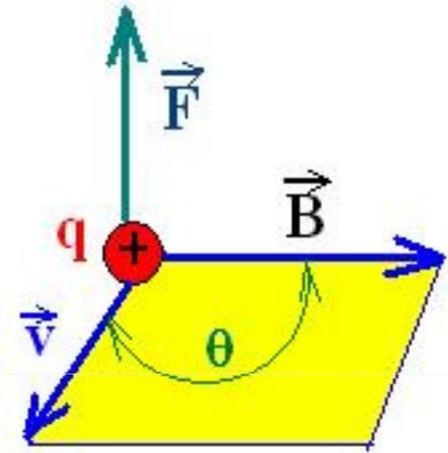
- le linee del campo sono circonferenze concentriche al filo
- il verso è dato dalla regola della mano destra



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 $F = qvB \sin \theta$ 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.

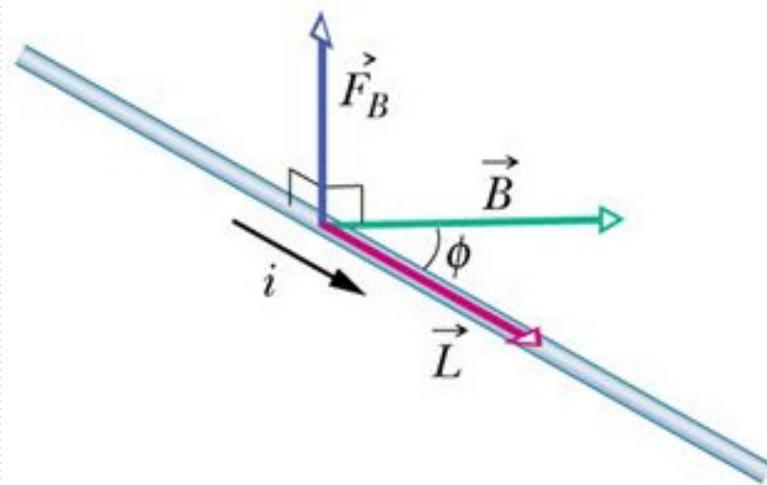
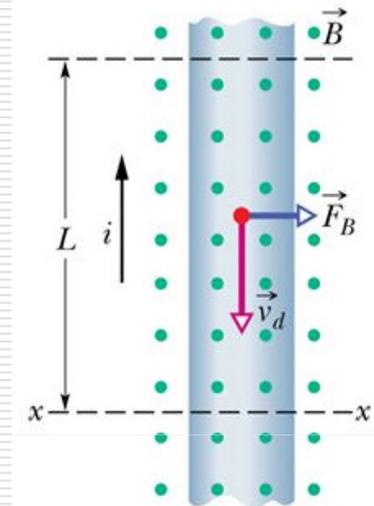
Il lavoro svolto dalla forza di Lorentz è nullo in quanto la forza è sempre perpendicolare alla direzione dello spostamento.

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:

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

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