

Corso di Elettrotecnica Generale

Capitolo 1 - I circuiti elettrici

- 1 - Costituzione della materia ed origine dei fenomeni elettrici
- 2 - Interazioni tra cariche elettriche; Legge di Coulomb
- 3 - Generatore elettrico
- 4 - Tensione elettrica
- 5 - Corrente elettrica
- 6 - Convenzioni sulla corrente e sui potenziali elettrici
- 7 - [Resistenza elettrica](#); Legge di Ohm
- 8 - Resistività dei materiali; [Calcolo della resistenza](#) dei conduttori
- 9 - Influenza della temperatura sulla resistenza elettrica

Capitolo 1 - I circuiti elettrici

Costituzione della materia ed origine dei fenomeni elettrici

Tutti i fenomeni elettrici derivano dalle forze che interagiscono fra alcune delle particelle che sono presenti negli atomi della materia. Tali particelle sono i protoni e gli elettroni. Esse costituiscono le cariche elettriche elementari, denominate "positive" e "negative".



Protone : carica elettrica elementare POSITIVA

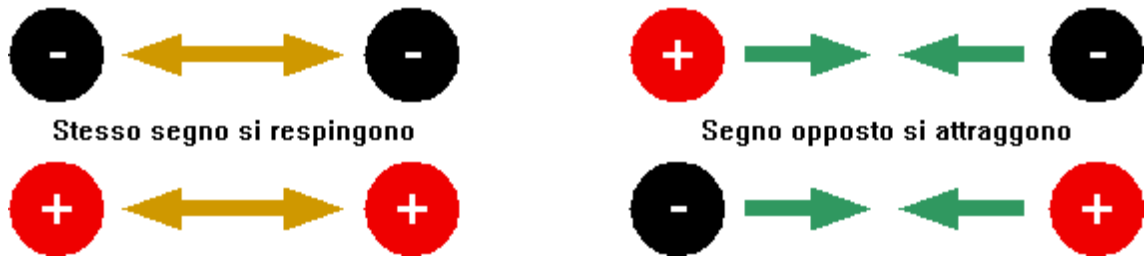


Elettrone : carica elettrica elementare NEGATIVA

Le cariche elettriche hanno la seguente proprietà:

"cariche d'eguale segno si respingono, di segno opposto si attraggono"

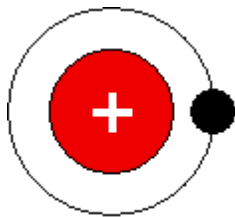
Inoltre: tutte le azioni che sono emanate da una carica positiva, sono eguali ed opposte a quelle che sarebbero prodotte da una carica negativa, considerate nelle stesse condizioni.



Ne segue che ogni corpo in cui siano compenstrate cariche elettriche positive e negative in eguale numero non rilevano all'esterno alcuna delle proprietà specifiche delle cariche elementari che lo costituiscono, in pratica si presenta elettricamente neutro.

Quando invece si trovano raggruppate cariche elettriche positive e negative in numero diverso, il complesso presentano le proprietà delle cariche elementari di maggior numero, e si dice allora che il corpo è elettrizzato.

Un atomo può essere concepito come un minuscolo sistema solare (modello di Bohr, si veda il fisico danese in foto): nel centro dell'atomo, al posto del sole, si trova il nucleo; intorno allo stesso ruotano, a distanze diverse, come i pianeti intorno al sole, gli elettroni.



H - Idrogeno

Oltre al protone e all'elettrone esiste una terza particella costitutiva della materia, che è chiamata neutrone in quanto essa è elettricamente neutra.

La prima orbita elettronica è sempre occupata al massimo da due soli elettroni; la seconda orbita invece può raggiungere il numero massimo di otto elettroni; le eventuali altre orbite successive sono tali da contenere sempre un ben determinato numero d'elettroni, completato il quale si passa a un'altra orbita, fino all'ultima che potrà essere completa o incompleta secondo i casi.

Naturalmente, ogni corpo si presenta elettricamente neutro, poiché ciascuno dei suoi atomi è formato da tanti elettroni quanti sono i protoni del nucleo.

In condizioni opportune però ad un atomo elettricamente neutro può essere sottratto uno o più elettroni satelliti.

In tal caso l'atomo si presenterà elettrizzato positivamente poiché vengono a prevalere in esso le cariche positive del nucleo rispetto alle cariche negative periferiche.



Si dirà quindi che un corpo è elettrizzato positivamente quando ad esso sia stato sottratto un certo numero di elettroni: è invece elettrizzato negativamente ogni corpo il quale poserà un certo numero di elettroni in eccesso.

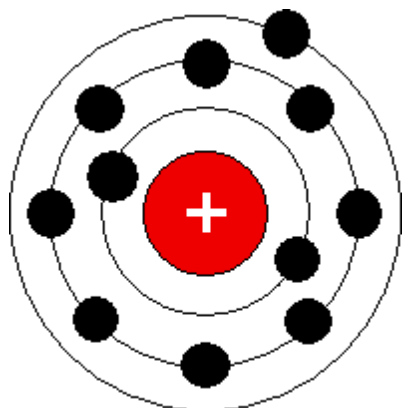
La carica elettrica o quantità d'elettricità di un corpo è sempre data dall'eccesso Q di cariche elettriche positive o negative che esso contiene, rimanendo sottinteso il fatto che in ogni corpo allo stato neutro esiste sempre un eguale numero di cariche positive e negative.

Ai fini delle applicazioni pratiche è di grande importanza la possibilità di realizzare facilmente il trasferimento delle cariche dal punto in cui sono liberate ad un altro, oppure la possibilità opposta di impedire lo spostamento delle cariche stesse.

Entrambe queste possibilità sono sfruttate nella tecnica utilizzando, nel primo caso, i cosiddetti materiali conduttori, e nel secondo i materiali isolanti.

I materiali conduttori

Si denotano, con il nome di conduttori, quei corpi che si lasciano facilmente attraversare dalle cariche elettriche e sono capaci di guidarle secondo determinati percorsi utili.



Na - Sodio

I materiali conduttori, e in particolare i metalli, sono caratterizzati dalla presenza, al loro interno, di un certo numero d'elettroni liberi, in altre parole, totalmente svincolati dai rispettivi nuclei.

Ciò è reso possibile dal fatto che nei metalli alcuni elettroni periferici vengono a trovarsi in zone interatomiche in cui le azioni esercitate su di essi dai nuclei circostanti si elidono a vicenda: gli elettroni presenti in tali zone possono così muoversi liberamente e dare luogo al fenomeno della conduzione.

I materiali isolanti

Si denotano con il nome d'isolanti quei corpi attraverso cui l'elettricità non può trasmettersi e propagarsi, e perciò sono impiegati a sostenere i conduttori delle macchine elettriche, delle linee e degli apparecchi, affinché le stesse cariche che li attraversano non abbiano a disperdersi.

I materiali semiconduttori

Oltre ai materiali conduttori e agli isolanti, nella tecnica sono ampiamente utilizzati anche i materiali semiconduttori, così chiamati per le loro proprietà intermedie fra i conduttori e gli isolanti.

Interazioni tra cariche elettriche – La legge di Coulomb



Come si è già osservato, la proprietà fondamentale dei corpi elettrizzati è quella di dar luogo a reciproche azioni repulsive o attrattive a seconda che le cariche da essi portate siano dello stesso segno o di segno contrario: a questi tipi di interazione, data la loro particolare origine, viene dato il nome di forze elettriche.

Lo scienziato francese Charles-Augustin de Coulomb, adottando la bilancia di torsione, da lui stesso inventata per la misura delle forze, mise in luce che queste forze (chiamate anche forze coulombiane) sono tanto più intense quanto maggiori sono le quantità d'elettricità portate dall'uno o dall'altro dei corpi elettrizzati; variano notevolmente al variare della distanza che separa i corpi elettrizzati e sono influenzate dal mezzo fisico che circonda i corpi elettrizzati.

Egli arrivò all'enunciazione della seguente legge sperimentale (legge di Coulomb):

"Due cariche elettriche puntiformi Q_1 e Q_2 si attraggono (se di segno contrario) o si respingono (se dello stesso segno) con una forza F che è proporzionale al prodotto dei loro valori ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza d che le separa" Questa legge trova la sua espressione matematica in una formula del tipo:

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

Il valore numerico della costante di proporzionalità K (costante di Coulomb) dipende dalle unità di misura adottate per la forza, per la distanza e per le cariche.

E' importante osservare, che in ogni caso la costante K dipende anche dalla natura del mezzo fisico che circonda e separa le due cariche elettriche.

Per quanto riguarda la misura delle quantità di elettricità Q , essendo in pratica molto scomoda esprimersi per mezzo del numero, sempre straordinariamente grande, delle cariche elementari che partecipano ai fenomeni di elettrizzazione, si preferisce adottare come unità di misura non già la carica elementare, ma una quantità multipla di essa che viene denominata coulomb (C).

Generatore elettrico

Un generatore elettrico può essere considerato come un sistema capace di separare e mettere in movimento, nei conduttori di cui è formato, un certo numero

degli elettroni liberi presenti. Indipendentemente dalla loro struttura costruttiva reale i generatori elettrici possono essere schematizzati come in figura 1.

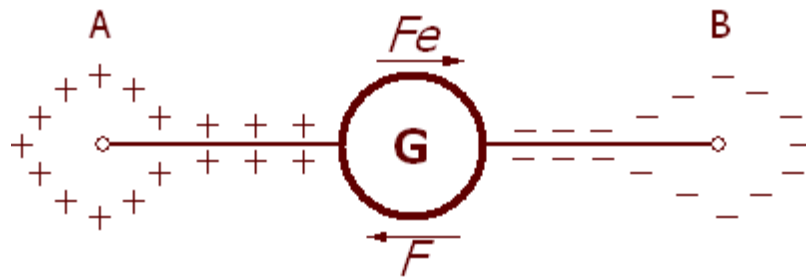


Figura 1 - Generatore elettrico

Lungo il circuito interno del generatore hanno sede e si sviluppano delle forze F_e le quali tendono a dislocare gli elettroni liberi fra i due punti estremi A e B di tale circuito, chiamati poli o morsetti del generatore.

Sulla superficie esterna del polo B si realizza un addensamento d'elettroni in eccesso, mentre sulla superficie del polo A si rende libera un'eguale quantità di cariche elementari positive.

Il dislocamento degli elettroni cessa quando le azioni intrinseche F_e del generatore sono equilibrate dalle azioni attrattive F che vengono a manifestarsi nel verso opposto, secondo la legge di Coulomb, fra le cariche positive e negative separate.

L'aspetto più importante di questo processo è rappresentato dal fatto che ad ogni elettrone che viene spostato dal polo positivo al polo negativo viene conferita una certa energia potenziale: quest'energia equivale al lavoro sviluppato dalle forze F_e del generatore per dislocare tal elettrone vincendo le forze coulombiane di richiamo.

L'energia potenziale che si rende disponibile ai morsetti del generatore è tale da permettere, agli elettroni che vengono dislocati fra un morsetto e l'altro del circuito interno, di percorrere poi un circuito esterno che venga direttamente allacciato al generatore, come in figura 2.

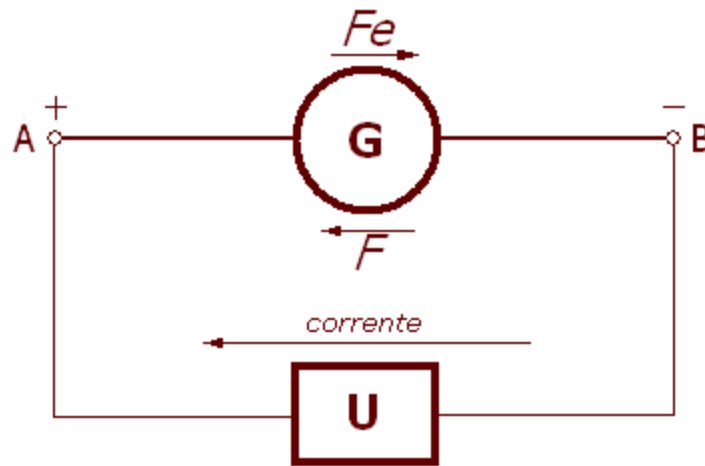


Figura 2 - Generatore elettrico collegato ad un circuito esterno utilizzatore

Nel circuito esterno che conterrà l'apparecchio utilizzatore U, potrà allora instaurarsi una corrente elettrica, in altre parole uno scorrimento continuo di cariche sostenuto dalle forze interne del generatore F_e il quale spinge con continuità gli elettroni di conduzione mano a mano che essi abbandonano il morsetto negativo B e rientrano nel morsetto positivo A.

Questo processo continuo di scorrimento delle cariche, è reso possibile dal fatto che quando un certo numero d'elettroni lascia il morsetto B per attraversare il circuito esterno e rientrare nel morsetto A, si determina una riduzione delle forze coulombiane di reazione F (perché cala il numero delle cariche dislocate sui morsetti), con la conseguenza che le forze intrinseche del generatore F_e tornano a prelevare e a produrre lo spostamento d'altrettanti elettroni nel circuito interno dal morsetto A al morsetto B.

Il movimento delle cariche elettriche attraverso un circuito utilizzatore non può avvenire liberamente, ma soltanto a spese di una certa quantità d'energia, poiché in ogni apparecchio utilizzatore è sempre sottratta una certa energia agli elettroni che lo attraversano, per essere trasformata in quelle altre forme d'energia che caratterizzano lo specifico modo di funzionare dell'utilizzatore stesso.

Forza elettromotrice del generatore

La grandezza che caratterizza l'attitudine di un generatore elettrico a fornire quantità d'energia più o meno grandi alle cariche è denominata: "forza elettromotrice (f.e.m.) del generatore"



Con questa grandezza (indicata col simbolo E) si vuole rappresentare la quantità di energia che è fornita, dal generatore, alla carica di valore unitario.

Il numero che esprime il valore della f.e.m. altro non è, che il numero di joule che quel generatore

è in grado di fornire ad ogni coulomb che è spostato da un morsetto all'altro.

La f.e.m. rappresenta con ciò anche la misura del lavoro che il generatore compie per dislocare, lungo il suo circuito interno, la carica unitaria da un polo all'altro.

L'unità di misura della f.e.m. è il joule/coulomb.

Quest'unità è denominata volt in onore del fisico italiano Alessandro Volta e indicata col simbolo V.

Essa è definita dalla seguente relazione:

$$1 \text{ volt} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} \quad ; \quad 1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$$

Tensione elettrica

Nel linguaggio scientifico è chiamato potenziale elettrico di un punto "il valore dell'energia potenziale posseduta dalla carica unitaria dislocata in quel punto". Il simbolo del potenziale elettrico è V. La sua formula di definizione è espressa dal

rapporto
$$V = \frac{W}{Q}$$

Tra il valore dell'energia potenziale W posseduta dalla carica e il valore della carica stessa.

Secondo la definizione l'unità di misura del potenziale è ancora il joule/coulomb e cioè il volt.

Si dirà pertanto che: "il potenziale di un assegnato punto P, di un circuito elettrico ha il valore $V_P=120\text{V}$ quando l'energia posseduta dalla carica di 1C concentrata in tale punto P è di 120J"

Il significato di questa grandezza fisica è molto importante.

Il potenziale elettrico esprime, infatti, una misura del contenuto energetico di una carica che si trova dislocata in un determinato punto.

Il contenuto d'energia sarà maggiore se la carica è dislocata in punti a potenziale più alto, sarà invece minore se i punti in cui la medesima carica si trova a potenziale più basso.

Si può dire quindi che l'energia di una carica elettrica dipende sia dal valore Q di tale carica, che dal valore del potenziale V che si riscontra nel punto in cui la carica si trova.

La relazione per il calcolo di quest'energia si ricava dalla precedente formula ed ha la forma $W = QV$

Quando i potenziali elettrici V_A e V_B di due qualsiasi punti A e B sono fra loro diversi, la differenza

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

È chiamata differenza di potenziale (d.d.p.) fra i due punti, o tensione elettrica.

La tensione fra due punti rappresenta in tal modo la quantità d'energia che è ceduta dalla carica unitaria che passa dal primo al secondo punto, o anche il lavoro che è eseguito dalla carica unitaria. Per questo, l'energia ΔW che è ceduta da una carica di valore Q che si sposta fra i punti A e B sarà espressa dalla relazione

$$\Delta W = V_{AB} Q$$

In un generatore l'effetto ultimo delle azioni interne è quello di mantenere i due poli a potenziale di valore diverso, creando fra essi una tensione che equivale al valore della f.e.m., e cioè al valore dell'energia che tali azioni interne forniscono alla carica unitaria.

Ne segue che: "la forza elettromotrice di un generatore è misurata dalla differenza di potenziale che essa determina e mantiene fra i due poli del generatore"

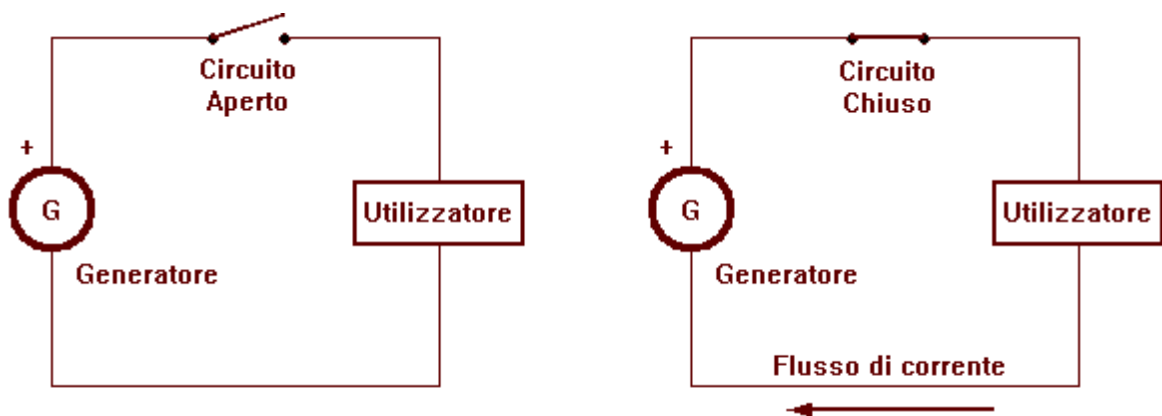
Corrente elettrica

Un movimento ordinato di cariche elettriche attraverso un dato mezzo fisico, è chiamato corrente elettrica.

Ogni complesso di conduttori comunque collegati a generatori e a utilizzatori costituisce un circuito elettrico.

Il circuito così definito è sede di una corrente ogni qualvolta esso è chiuso, e cioè ogni qualvolta è realizzata in esso la continuità metallica fra tutti gli elementi che lo compongono.

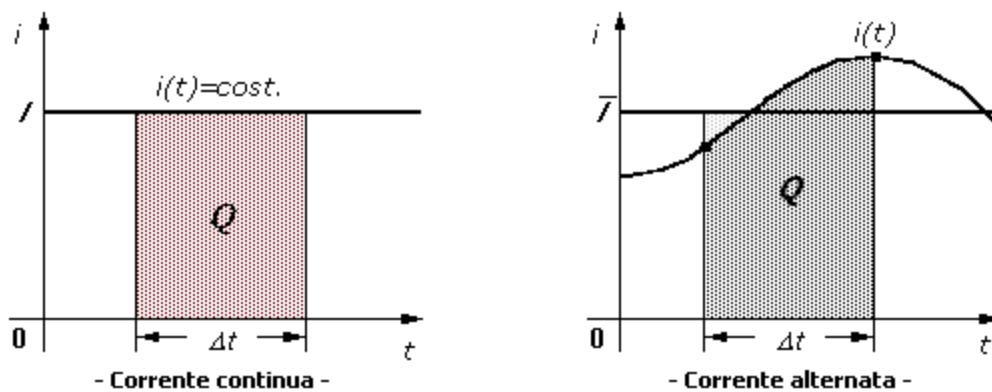
Se tale continuità viene a mancare, il circuito si dice aperto e nessuna corrente può instaurarsi in esso.



Il movimento di migrazione delle cariche elettriche lungo un circuito interessato da corrente può presentarsi con caratteristiche d'uniformità e costanza nel tempo: in questo caso la corrente è definita come continua.

Si parla invece di corrente variabile quando la circolazione degli elettroni non si realizza in modo uniforme e costante.

In ogni caso, il movimento degli elettroni in seno ai conduttori metallici è sempre tale che da ogni elemento di volume esce da una parte tanti elettroni quanti n'entrano da un'altra (legge della continuità). Perciò ogni sezione dell'intero circuito chiuso percorso da corrente deve essere attraversato, nello stesso intervallo, da uno stesso numero d'elettroni, ossia dalla stessa quantità d'electricità.



Rappresentazione cartesiana di correnti $i(t)$ in funzione del tempo

"La maggiore o minore intensità di corrente elettrica, può essere definita mediante la quantità d'electricità che attraversa una qualsiasi sezione del circuito nel tempo unitario"

Poiché la quantità di elettricità si misura in coulomb, l'intensità di corrente risulta allora definita dal numero di coulomb che attraversa ogni sezione del circuito nel tempo di un secondo, e la sua unità diventa il coulomb al secondo.

Quest'unità è stata denominata col nome ampere e indicata col simbolo A.

$$1 \text{ ampere} = 1 \frac{\text{coulomb}}{\text{secondo}} \quad 1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$

Se una sezione qualunque di un circuito elettrico è attraversata, in un certo tempo di Δt secondi, da una quantità di carica di Q coulomb, si dirà che il circuito è percorso da una corrente elettrica la cui intensità I , espressa in ampere, è data dal rapporto

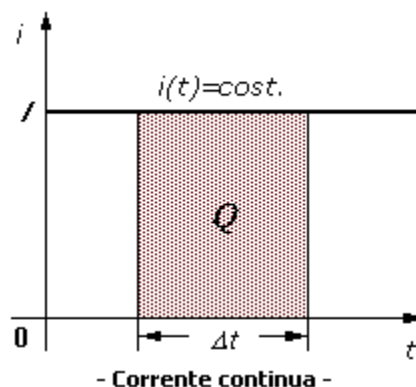
$$I = Q / \Delta t$$

Inversamente, se un circuito è percorso dall'intensità di I ampere, tutte le sezioni del circuito vengono attraversate nel tempo di Δt secondi da un numero di coulomb espresso dal prodotto

Rappresentazione cartesiana della corrente continua $i(t)$ in funzione del tempo

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad Q = I \Delta t$$

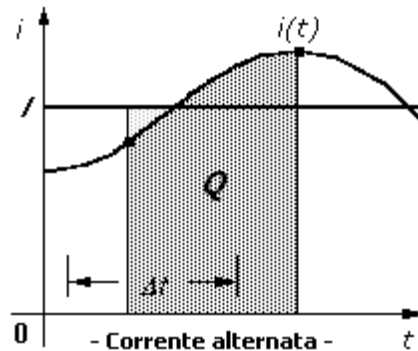
Le due relazioni sopra descritte implicano che l'intensità di I resti costante per tutto l'intervallo Δt , che si tratti perciò di una corrente continua, come quella rappresentata in figura.



In questa figura è facile controllare che l'area delimitata dall'intervallo Δt fornisce una rappresentazione della quantità d'elettricità Q .

Rappresentazione cartesiana della corrente alternata $i(t)$ in funzione del tempo

Qualora invece la corrente sia di tipo variabile, la sua intensità non assume più un valore costante I , ma si presenta diversa da un istante all'altro, come nell'esempio riportato in figura.



Anche in questo caso l'area sottostante alla curva della corrente $i(t)$ è delimitata dall'intervallo di tempo Δt rappresenta la quantità di elettricità Q che fluisce durante questo intervallo entro il circuito.

Se si esegue il rapporto tra tale area e la base Δt si ottiene la corrente media I relativa all'intervallo Δt considerato: il significato che assume la intensità media è quello di una corrente continua e costante che nell'intervallo Δt è capace di trasportare la stessa quantità di elettricità Q che è effettivamente trasportata dalla corrente variabile $i(t)$. Nella pratica applicativa, si presenta spesso la necessità di controllare come si distribuisce il flusso degli elettroni all'interno di un filo conduttore percorso da corrente.

$$J = \frac{I}{S}$$

A tal fine è presa in considerazione la densità di corrente, definita dal rapporto fra la corrente I che attraversa la sezione S del conduttore e la sezione stessa.



La densità di corrente rappresenta il numero di ampere che attraversa ogni unità di sezione del conduttore: nelle normali applicazioni di calcolo essa è espressa usualmente in ampere al millimetro quadrato (A/mm^2).

Negli ordinari circuiti, la densità di corrente deve essere mantenuta al disotto dei $3 A/mm^2$ per evitare forti riscaldamenti del conduttore.

Il fisico francese Ampere

Convenzioni sulla corrente e sui potenziali elettrici

In tutti i fenomeni elettrici è facile riscontrare che le cariche elettriche negative determinano sempre o subiscono effetti uguali ma di segno opposto a quelli determinati o subiti dalle cariche positive. Da questa proprietà discende che ogni movimento di cariche negative equivale, a tutti gli effetti esterni, ad un movimento in senso opposto di cariche positive. Per questo fatto, il verso di una corrente elettrica può essere indifferentemente riferito sia al movimento d'eletricità negativa, sia al movimento in senso opposto d'eletricità positiva.

Per consuetudine si considera come verso convenzionale della corrente elettrica il verso di scorrimento delle cariche positive rispetto alle cariche negative supposte fisse: tale verso è dunque opposto a quello secondo cui realmente avviene il movimento degli elettroni lungo il circuito.

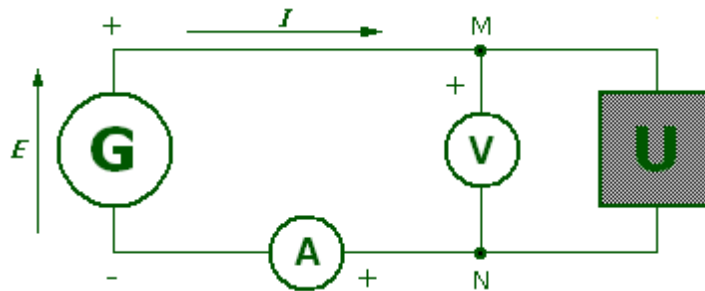


Fig.1 Versi convenzionali della f.e.m. e della d.d.p. con inserzione del Voltmetro e dell'Amperometro

In relazione al verso convenzionale della corrente si fissa anche il verso convenzionale della f.e.m. dei generatori, supponendo che le azioni interne agiscano nel senso di spostare le cariche positive dal polo negativo al polo positivo (mentre in effetti accade l'opposto, in quanto sono gli elettroni che vengono dislocati verso il polo negativo).

Si dirà pertanto che le f.e.m. dei generatori sono dirette convenzionalmente, lungo il circuito interno, dal polo negativo al polo positivo, come è indicato dal verso E in figura.

Analogamente si dirà che la d.d.p. che esiste fra i poli di un generatore agisce dal polo positivo al polo negativo.

Si esprime questo fatto dicendo che il polo positivo di un generatore è mantenuto a un potenziale elettrico maggiore di quello dell'altro polo e che quindi le cariche positive tendono a muoversi spontaneamente dai punti a potenziale maggiore verso i punti a potenziale minore; mentre gli elettroni tendono a spostarsi dai punti a potenziale minore verso quelli a potenziale maggiore.

Alla superficie della terra viene attribuito un potenziale zero: ne segue che il valore del potenziale di un dato punto potrà essere inteso come la d.d.p. fra questo

punto e la terra: questo potenziale sarà positivo o negativo a seconda che esso sia maggiore o minore di quello della terra.

La presenza di una d.d.p. fra due punti di un circuito, o il passaggio della corrente in un conduttore, possono essere rilevati soltanto per via indiretta, sulla base degli effetti che si manifestano in presenza appunto di una tensione o di una corrente.

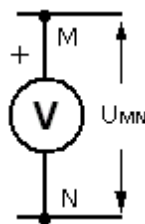
Utilizzando opportunamente taluni di questi effetti si rende possibile costruire degli strumenti che sono in grado, non solo di indicare, ma anche di fornire una misura della tensione o della corrente: tali strumenti sono i voltmetri e gli amperometri.

Voltmetri ed amperometri

I voltmetri e gli amperometri sono sempre provvisti di due morsetti di collegamento, opportunamente contrassegnati per consentire la corretta inserzione nel circuito rispettando i versi convenzionali della tensione e della corrente.



Per quanto riguarda gli amperometri, il collegamento al circuito deve essere realizzato in modo che lo strumento venga direttamente attraversato dalla corrente I che si vuol misurare: questo richiede che l'amperometro venga inserito in serie nel circuito, come lo strumento A della figura, con l'avvertenza che la corrente entri nello strumento attraverso il morsetto contrassegnato con (+) affinché la deviazione possa avvenire nel verso progressivo della scala di lettura.



L'inserzione di un voltmetro si esegue invece collegando in derivazione (parallelo) lo strumento fra il primo e il secondo punto tra il quale si vuol misurare la d.d.p.: così, nel circuito in figura, il voltmetro V è allacciato (per mezzo dei suoi cordoni voltmetrici e relativi puntali) fra i due punti M e N per la misura della tensione U_{MN} esistente fra l'entrata e l'uscita dell'utilizzatore.

Si consideri un filo metallico, di sezione e lunghezza opportune, e si applichi fra i suoi estremi una tensione elettrica. Si faccia poi variare questa tensione al fine di determinare come varia corrispondentemente l'intensità I della corrente nel filo.

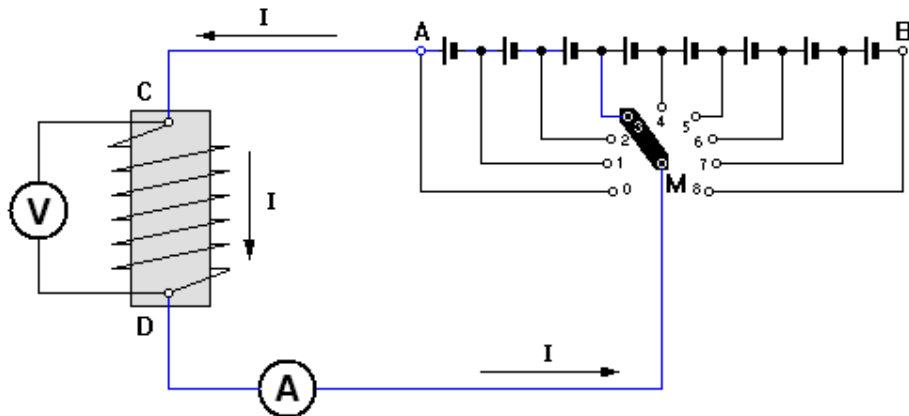
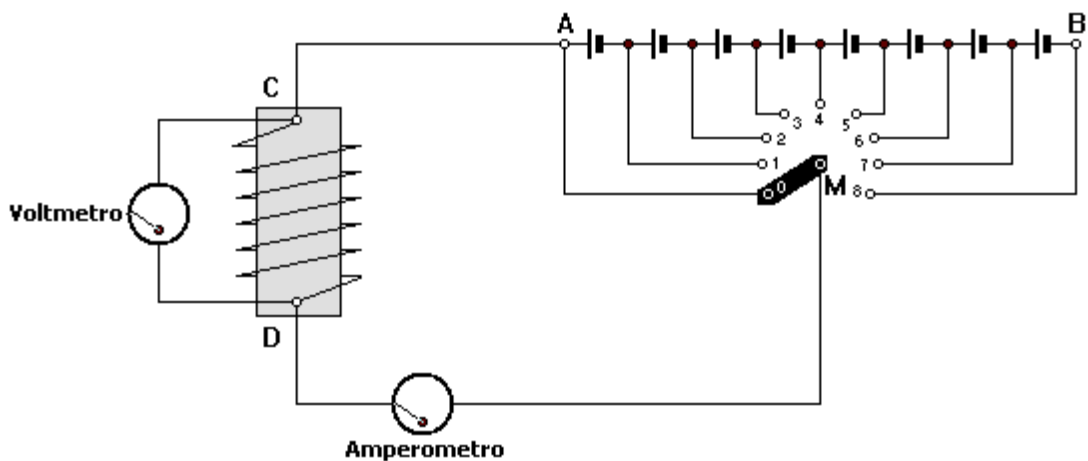


Figura 1 - Circuito per la dimostrazione sperimentale della legge di Ohm. 1

Per realizzare una tensione variabile ci si può servire di un certo numero di pile collegate come in figura. Questa disposizione realizza il collegamento in serie dei generatori e consente di ottenere una tensione complessiva pari alla somma delle tensioni prodotte dalle singole pile. Con un amperometro si potrà misurare l'intensità della corrente che percorre il filo metallico, e mediante un voltmetro derivato fra i morsetti C e D potrà essere determinata la tensione fra gli estremi del filo. Per eseguire l'esperienza, si porti innanzitutto il commutatore M sul morsetto 0: in tal caso i due strumenti non daranno alcuna indicazione, non risultando inserito alcun generatore nel circuito: si potrà concludere che: "se è nulla la tensione che agisce ai capi di un filo conduttore, è nulla anche la corrente che lo percorre".

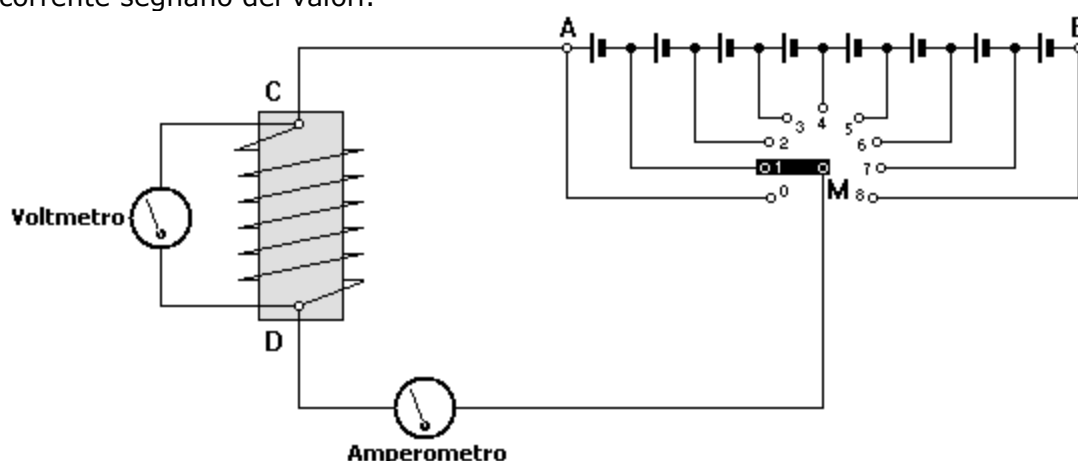


Notare le lancette degli strumenti di misura che in assenza di tensione e corrente segnano 0.

Se si sposta M sul contatto 1, inserendo nel circuito una sola pila, gli indici del voltmetro e dell'amperometro subiranno una deviazione indicando sulla scala un certo valore V_1 della tensione e un certo valore I_1 della corrente.

Spostando successivamente il commutatore sui contatti 2, 3... ecc. si avranno nuovi e più elevati valori V_2, V_3 ecc. indicati dal voltmetro e nuovi corrispondenti valori I_2, I_3 ecc. indicati dall'amperometro.

Notare le lancette degli strumenti di misura che in presenza di tensione e corrente segnano dei valori.



Si esegua ora il rapporto fra il valore della tensione e il corrispondente valore della corrente per ogni posizione del commutatore: si potrà constatare che questo rapporto si mantiene costante e cioè

$$V_1/I_1 = V_2/I_2 = V_3/I_3 = \dots = \text{costante}$$

L'esperienza dimostra quindi che crescendo la tensione agli estremi del filo, cresce nella stessa proporzione la corrente che lo attraversa.

Se la tensione diventa doppia, tripla ecc. si raddoppia, si triplica ecc. la corrente.

Se l'esperienza viene ripetuta variando le dimensioni (lunghezza e sezione) del conduttore C, D oppure variando la natura del conduttore (adottando successivamente fili di rame, alluminio, ferro ecc.) si trova ancora che il rapporto fra le diverse tensioni applicate e le rispettive correnti si conserva costante: ma questo rapporto ha un valore diverso da un caso all'altro e cioè sotto la stessa tensione, due o più conduttori diversi vengono attraversati da correnti diverse. Si esprime questo fatto sperimentale affermando che: **"conduttori diversi offrono al passaggio della corrente diversa resistenza elettrica"**

Intendendo, come resistenza elettrica di un conduttore, il rapporto fra il valore della tensione applicata ai capi del conduttore e il corrispondente valore dell'intensità della corrente che lo percorre.

Se pertanto, sotto l'azione della tensione V , un filo metallico è percorso da una corrente di intensità I , si dirà che esso possiede una resistenza R espressa dal rapporto

$$R = V/I$$

Se è nota la resistenza R del conduttore, si può dire che, ogni volta che fra i suoi estremi si applica una tensione qualunque V , il conduttore sarà percorso da una corrente che ha l'intensità

$$I = V/R$$

Inversamente, ogni qualvolta un conduttore di resistenza R è percorso da una corrente d'intensità I , fra i suoi capi terminali si manifesta una differenza di potenziale (caduta di tensione o caduta ohmica) il cui valore è dato dal prodotto

$$V = R I$$

Questi fatti sperimentali e le relazioni corrispondenti costituiscono la legge di Ohm.

Se il numero di volt che misura la tensione V applicata agli estremi del conduttore è in particolare uguale al numero di ampere che misura la corrente I , il valore del rapporto fra tensione e corrente risulta uguale a 1: si dirà allora che: "il conduttore considerato ha la resistenza elettrica unitaria"

Ogni conduttore che soddisfa a questa condizione realizza in sé quella resistenza elettrica che è assunta come unità di misura della resistenza.

Tale unità rappresenta la resistenza di quel conduttore che richiede ai suoi capi la tensione di 1V per essere attraversato dalla corrente di 1A.

In onore del fisico tedesco George Simon Ohm, l'unità di resistenza elettrica è denominata ohm e indicata col simbolo Ω .

Si pone quindi $1 \text{ ohm} = 1 \frac{\text{volt}}{\text{ampere}}$

Sostenendo che un filo ha la resistenza elettrica di 10Ω , si esprime che quel filo richiede ai capi una tensione di 10V per ogni ampere di corrente che lo attraversi.

$$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$$



Se quel filo deve essere percorso da 2A, esso richiede ai suoi capi estremi una tensione del valore di 20V.

Ad esempio: se il filamento di una lampada a incandescenza, alimentato alla tensione di 220V, è attraversato dalla corrente di 0,5A si dirà che il filamento in questione ha una resistenza elettrica

$$R = V/I = 220/0,5 = 440 \Omega$$

In pratica, oltre l'ohm, si usano spesso:

- ⊕ il kilohm ($1\text{k}\Omega=10^3\Omega$) e il megaohm ($1\text{M}\Omega=10^6\Omega$)
come unità di misura per le grandissime resistenze;
- ⊕ il milliohm ($1\text{m}\Omega=10^{-3}\Omega$) oppure il microhm ($1\mu\Omega=10^{-6}\Omega$)
per la misura delle resistenze piccole e piccolissime.

Un materiale che presenti una resistenza elettrica dell'ordine dei megaohm sarà naturalmente un cattivo conduttore, perché anche sotto una tensione relativamente elevata sarà attraversato da una corrente piccola: sotto la tensione di 1V, un conduttore di resistenza uguale a $1\text{M}\Omega$ è attraversato da una corrente di $1 \mu\text{A}$.

Talvolta si preferisce scrivere la legge di Ohm, anziché nella forma $V=RI$ che esprime la proporzionalità fra tensione e corrente, nell'altra forma

$$I = G V$$

Ciò stabilisce la proporzionalità fra corrente e tensione.

La grandezza G è chiamata conduttanza ed è legata alla resistenza R della relazione

$$G = I/V = 1/R$$

La sua unità di misura è l'inverso dell'ohm ed è denominata siemens (S), in onore dell'inventore tedesco Werner Von Siemens:

$$1 \text{ siemens} = 1 \frac{\text{ampere}}{\text{volt}}$$

$$1 \text{ S} = 1 \text{ A/V} = 1 \Omega^{-1}$$

Conduttori con elevata resistenza presentano bassa conduttanza e viceversa.



Ad esempio, il filamento della lampada ad incandescenza considerata in precedenza presenta una conduttanza del valore

$$G = I/V = 0,5/220 = 0,0023 \text{ S}$$



Il simbolo grafico della resistenza e della conduttanza è stato normalizzato come indicato in figura Simboli grafici per resistenza R o conduttanza G

I tratti a linea intera rappresentano collegamenti a resistenza nulla o a conduttanza infinita.

Resistività dei materiali - Calcolo della resistenza dei conduttori

Se si esegue l'esperienza esposta al paragrafo precedente, determinando la resistenza di fili metallici di diversa lunghezza e diversa sezione, ma dello stesso materiale, si può constatare che la resistenza elettrica di un filo qualunque si raddoppia, si triplica ecc.. raddoppiandone, triplicandone ecc. la lunghezza e mantenendone invariata la sezione; mentre si riduce a metà a un terzo ecc. raddoppiandone, triplicandone ecc. la sezione e mantenendone invariata invece la lunghezza.

Si deve quindi concludere che: **"la resistenza di un filo di un dato metallo è proporzionale alla lunghezza e inversamente proporzionale alla sezione"**

Pertanto la resistenza R di un conduttore metallico filiforme, avente lunghezza l e sezione S, potrà essere scritta nella seguente forma essendo ρ un'opportuna costante di proporzionalità.

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

Si osservi ora che, se si prende in considerazione un conduttore avente lunghezza unitaria ($l=1$) e sezione unitaria ($S=1$), la costante ρ viene a coincidere con R: essa è quindi la resistenza di un conduttore di lunghezza e sezione unitarie (resistenza specifica), e come tale dipende esclusivamente dalla natura del materiale di cui è costituito il conduttore.

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

Alla costante ρ si attribuisce perciò il nome di resistività del materiale.

Dalla precedente relazione si può ricavare la resistività ρ in funzione della resistenza R e delle dimensioni (lunghezza l e sezione S) del conduttore

La resistività di un materiale può essere determinata misurando la resistenza elettrica R di un conduttore di quel dato materiale, con lunghezza l e sezione S note, e applicando l'espressione precedente, se la resistenza R è data in Ω , la sezione S in m^2 , e la lunghezza l in m , la resistività ρ del materiale in esame è espressa in $\Omega \times m^2/m$ ossia più brevemente in ohm metri (Ωm).

Si ha con ciò, l'interpretazione del fatto fisico che la resistività ρ è la resistenza elettrica misurata tra due facce opposte di un cubo di materiale avente la sezione e la lunghezza unitarie.

Nella pratica industriale torna comodo misurare la sezione dei conduttori in millimetri quadrati anziché in metri quadrati. Per applicare la seguente formula

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

Si dovrà esprimere la resistività in $\Omega \text{ mm}^2/m$ e si dovrà scrivere come segue

$$R (\Omega) = \rho \left(\frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \right) \frac{l (m)}{S (\text{mm}^2)}$$

La seguente relazione

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

La seguente relazione che esprime la resistenza R consente di ricavare anche l'espressione della conduttanza G nella seguente forma

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{S}{l} = \gamma \frac{S}{l}$$

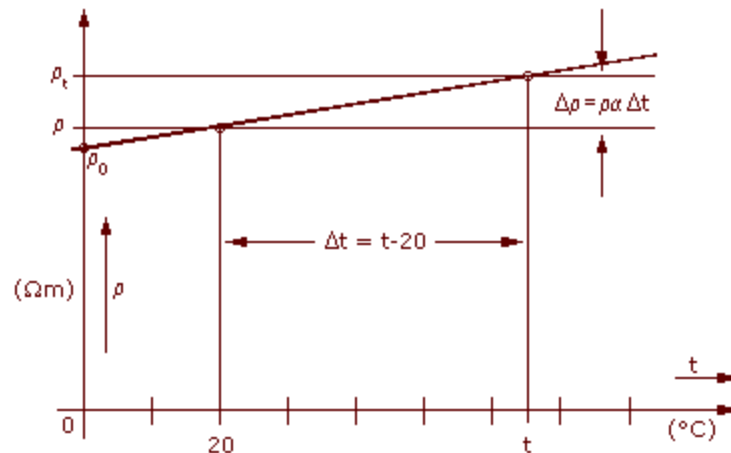
Il fattore

Prende il nome di conduttività del materiale. La sua unità di misura, è il siemens/metro (S/m).

Influenza della temperatura sulla resistenza elettrica

La resistenza elettrica varia in misura sensibile con la temperatura. I metalli offrono una resistenza che cresce con l'aumentare della temperatura: gli aumenti di resistenza sono meno sensibili per le leghe metalliche che non per i metalli puri.

L'aumento di resistenza, può essere spiegato pensando che il crescere della temperatura del conduttore comporta l'incremento dello stato d'agitazione termica degli atomi, con corrispondente ed inevitabile aumento del numero degli urti fra gli atomi e gli elettroni di conduzione.



Variazione della resistività dei metalli al variare della temperatura

Entro i limiti di temperatura da -100 a +150 °C, i diagrammi di variazione della resistività dei metalli più comuni sono sensibilmente lineari, in altre parole assumono la forma indicata in figura.

Indicando perciò con ρ la resistività di un metallo alla temperatura di riferimento a 20°C, si può esprimere il valore ρ_t che essa assume alla generica temperatura t con la seguente relazione:

$$\rho_t = \rho + \Delta\rho$$

Essendo

$$\Delta\rho = \rho \alpha \Delta t = \rho \alpha (t - 20)$$

L'aumento subito dalla resistività per l'incremento $\Delta t = (t - 20)$ della temperatura.

Si ha quindi che

$$\rho_t = \rho + \rho \alpha \Delta t = \rho (1 + \alpha \Delta t)$$

$$\alpha = \frac{\Delta\rho}{\rho \Delta t} \quad (1/^\circ\text{C} = ^\circ\text{C}^{-1})$$

In queste relazioni, il coefficiente

Esprime la variazione di resistività che avviene per ogni grado di variazione della temperatura a partire da 20°C e per ogni ohm metro della resistività. Il coefficiente a così definito prende il nome di coefficiente di temperatura del materiale considerato.