

I.P.S.I.A. "A.M. Barlacchi"

Crotone

Appunti di Fisica

Capitolo V

Elettricità e circuiti elettrici

Ugo Carvelli

Capitolo V – Elettricità e circuiti elettrici

Il termine elettricità deriva dalla parola greca elektron (ἤλεκτρον) che significa ambra. L'ambra è una pietra dura che si origina dalla fossilizzazione della resina.

Ma cosa ha a che fare l'elettricità con l'ambra?

I primi studi dei fenomeni elettrici risalgono probabilmente al filosofo greco Talete (600 a.C.), che studiò le proprietà elettriche dell'ambra, la resina fossile che se viene sfregata attrae altri pezzetti di materia. I greci antichi compresero che l'ambra era in grado di attrarre oggetti leggeri, come le pagliuzze.

Elettroscopio

L'elettroscopio è uno strumento che permette di riconoscere se un corpo è carico elettricamente, ma a differenza dell'elettrometro non può quantificarne la carica elettrica. Si tratta di un rivelatore di carica di tipo qualitativo (presenza o meno di cariche) e non quantitativo (la misura di quante cariche ci sono).

L'apparecchio fu messo a punto da Alessandro Volta verso il 1780.



È costituito da un pomello metallico collegato, tramite un'asta metallica, a due sottili lamine metalliche chiamate “foglioline”.

Queste ultime sono racchiuse in un recipiente di vetro per evitare il disturbo da parte di correnti d'aria.

Avvicinando al pomello metallico, senza toccarlo, un corpo carico elettricamente, ad esempio una bacchetta di plastica strofinata con un panno di lana, si vedranno le due lamine divergere. La vicinanza del corpo elettricamente carico produce il fenomeno fisico dell'induzione elettrostatica: sul pomello, la parte dell'elettroscopio più vicina alla bacchetta, si concentrerà della carica di segno opposto rispetto alla carica della bacchetta, mentre sulle foglioline si concentrerà della carica di segno uguale a quella della bacchetta. Le due lamine saranno pertanto cariche dello stesso segno e si respingeranno.

Allontanando il corpo carico, detto anche corpo induttore, le due lamine tornano ad avvicinarsi. Se col corpo induttore si tocca il terminale superiore, le due foglie rimarranno divise anche dopo il suo allontanamento perché in questo modo una parte della carica del corpo induttore si trasferisce all'elettroscopio.

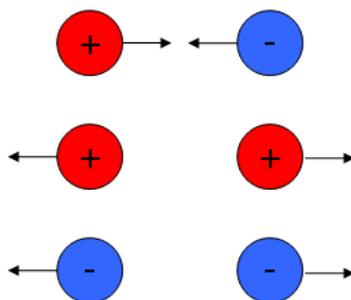
Le foglioline si riavvicineranno e poi a poco a poco perderanno la carica.

– *Elettrizzazione per strofinio*

Tutti sappiamo che se si strofina con un panno di lana un pezzo di plastica, questo diviene capace di attirare dei piccoli pezzi di carta ovvero di esercitare delle forze. Tale fenomeno è detto *elettrizzazione per strofinio* e le forze che si manifestano sono dette forze elettriche.

Approfondendo gli studi sull'elettricità si è notato che i vari corpi elettrizzati non avevano tutti lo stesso comportamento. Ad esempio due bacchette di ambra elettrizzate (strofinate) e avvicinate si respingevano tra esse, anche due bacchette di ebanite elettrizzate se avvicinate si respingevano, ma tra una bacchetta di ambra e una di ebanite avveniva invece una attrazione. Procedendo a studiare altri tipi di materiali ci si è accorti che tutti i materiali potevano essere classificati in due gruppi: quelli che si comportavano come l'ambra (cioè attraevano l'ebanite e respingevano l'ambra) e quelli che si comportavano come l'ebanite (respingevano l'ebanite e attraevano l'ambra).

Passarono molti secoli fin quando intorno al 1750 lo scienziato americano Benjamin Franklin stabilì una distinzione tra i due gruppi denominandoli con i segni: + (positivo il gruppo dell'ambra) e – (negativo il gruppo dell'ebanite).



Due corpi elettrizzati si attraggono o si respingono a seconda della natura della loro carica elettrica: cariche dello stesso segno (entrambe positive o entrambe negative) si respingono, cariche di segno opposto (una positiva e l'altra negativa) si attraggono.

Ma a cosa è dovuta la carica elettrica e perché un corpo, che prima era scarico, se strofinato acquista una carica elettrica?

La risposta è da ricercare nella composizione della materia che, sappiamo già, è fatta da atomi i quali a loro volta sono costituiti da protoni (+), neutroni (senza carica elettrica) e elettroni (-).

I protoni (+) e gli elettroni (-) normalmente sono in ugual numero e quindi la carica totale risultante in un atomo, e di conseguenza in un corpo, è nulla.

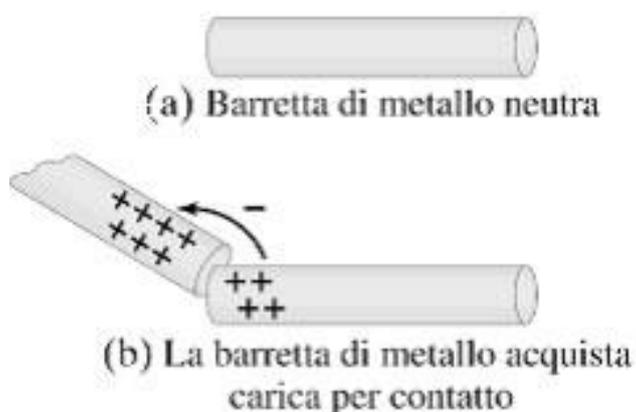
Tra tutte queste particelle subatomiche solo gli elettroni possono spostarsi, essendo fuori dal nucleo e di massa molto piccola, quindi durante lo strofinio alcuni elettroni possono essere strappati da un corpo per spostarsi sull'altro portando con sé la loro carica negativa.

Lo spostamento degli elettroni da un corpo all'altro, ad esempio per strofinio, provoca il disequilibrio tra le cariche, il corpo che perde gli elettroni si carica di segno positivo mentre quello che li acquista si carica di segno negativo.

Se strofiniamo con un panno di lana una bacchetta di plastica gli elettroni passano dalla lana alla plastica: la plastica acquista elettroni e in questo modo si carica negativamente, mentre la lana ne perde e si carica positivamente.

– *Elettrizzazione per contatto*

Un altro metodo per elettrizzare un corpo neutro, è porlo a contatto con un corpo carico.



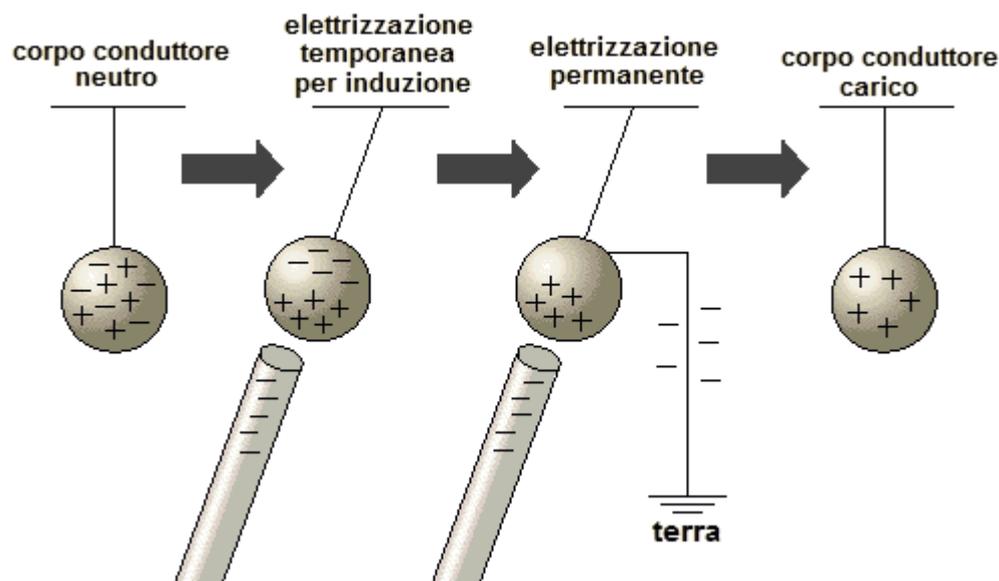
Per esempio, se supponiamo di tenere sospesa una bacchetta di metallo elettricamente neutra, tramite un supporto isolante, e poi la mettiamo a contatto con un'altra bacchetta di metallo che teniamo attraverso un manico isolante e che abbiamo precedentemente elettrizzata per strofinio, noteremo che: la bacchetta elettricamente neutra si elettrizzerà della stessa carica della bacchetta già elettrizzata in precedenza (questo accade perché, se per esempio supponiamo di lavorare con un

corpo carico positivamente, noteremo che, non appena questo sarà posto a contatto con il corpo elettricamente neutro, quest'ultimo si caricherà dello stesso segno del corpo già caricato in precedenza, poiché gli elettroni del corpo elettricamente neutro si sono trasferiti in quello carico positivamente, così i due corpi formano un sistema e la somma delle cariche sarà la stessa).

E' importante ripetere che nel moto delle cariche elettriche, le uniche a muoversi sono quelle di segno negativo, ovvero gli elettroni. Quando un corpo risulta carico positivamente non è perché le cariche positive sono giunte in quel punto, ma solo perché c'è stata una migrazione di cariche negative, lasciando il corpo carico positivamente.

– *Elettrizzazione per induzione*

Avviene quando un corpo carico viene posto *vicino* ad un conduttore (senza toccarsi). In questo caso le cariche che si trovano su di esso si ridistribuiscono. Le cariche di segno opposto a quelle del corpo inducente sono da esso attratte, le altre allontanate. Il conduttore quindi è attratto dal corpo inducente e le sue cariche sono in totale nulle ma distribuite vicine e lontane dal corpo inducente, pertanto se il conduttore si può dividere in due parti, è sufficiente separarle affinché risultino elettrizzate con cariche uguali e di segno opposto.



Se poi al corpo conduttore diamo la possibilità di “mandare via” le cariche di segno uguale a quelle del corpo inducente, il conduttore resterà carico con segno opposto a quello del corpo inducente.

Conduttori e isolanti

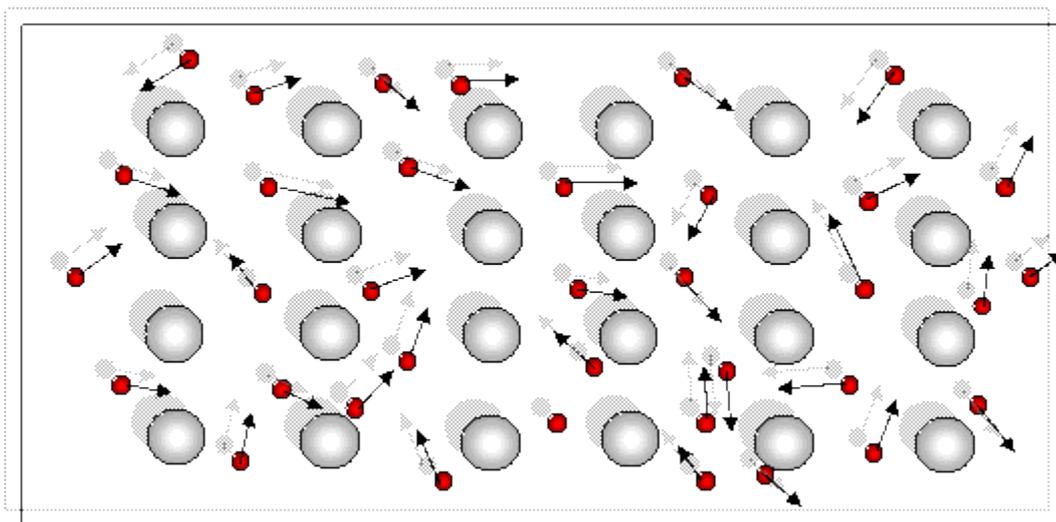
A questo punto sappiamo che la materia è fatta di atomi ovvero di particelle cariche (elettroni e protoni) e possiamo dire che l'elettrizzazione per strofinio avviene perché alcuni elettroni passano da un corpo all'altro durante lo strofinio; il materiale che acquista elettroni diventa negativo mentre l'altro, che li cede, diventa positivo.

Elettrizzando per strofinio un'asticella di vetro (bachelite, plexiglass) si trova che solo l'area strofinata si carica. Se invece elettrizziamo per strofinio un'asticella di metallo (rame, alluminio, argento), mantenuta tramite una impugnatura di legno, si nota che tutta l'asticella si carica; la carica prodottasi nell'area strofinata si muove nelle altre zone del metallo. Dobbiamo concludere che ci sono materiali che permettono alle cariche di muoversi liberamente al loro interno, che chiameremo *conduttori elettrici*, e materiali che non permettono alle cariche di spostarsi facilmente dalla posizione in cui sono poste, che chiameremo *isolanti elettrici* o *dielettrici*.

Il legno è un isolante, il nostro corpo un conduttore; questo fa sì che se cerchiamo di elettrizzare per strofinio un'asticella di metallo tenendola direttamente con una mano non si osserva l'elettrizzazione. La carica dell'asticella "si scarica" attraverso il nostro corpo.

I migliori conduttori sono tutti i metalli poiché hanno un maggior numero di elettroni "liberi", cioè poco legati al nucleo positivo grazie alla loro maggiore distanza (elettroni di conduzione).

Si può immaginare un metallo come un reticolo di ioni positivi tenuti uniti da una nuvola di elettroni "liberi" in comune a tutto il reticolo. Di conseguenza si hanno elettroni liberi di muoversi all'interno di tutto il reticolo.



La Legge di Coulomb

Sappiamo già che due cariche elettriche dello stesso segno si respingono e di segno opposto si attraggono.

Charles Augustine de Coulomb (1736-1806) riuscì a quantificare anche l'entità di tale forza.

Se poniamo in vicinanza due cariche puntiformi q e Q posti ad una certa distanza r , si attraggono o si respingono con una forza F il cui modulo dipende dal prodotto delle stesse cariche ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza:

$$\mathbf{F} = k \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

dove k (costante di Coulomb) vale: $k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}$

mentre ϵ_0 è la costante dielettrica nel vuoto $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$

per cui $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$

Il campo elettrico

La presenza di una carica elettrica puntiforme è in grado di produrre nell'ambiente circostante un campo elettrico.

Consideriamo quindi due cariche Q e q poste ad una certa distanza r , abbiamo già visto quanto vale la forza che le attrae/respinge (forza di Coulomb).

Se adesso consideriamo la carica Q come carica che genera il campo e la carica $+q$ come *carica di prova positiva*, posta alla stessa distanza r in cui si trovava inizialmente, il campo generato dalla carica Q sarà definito come:

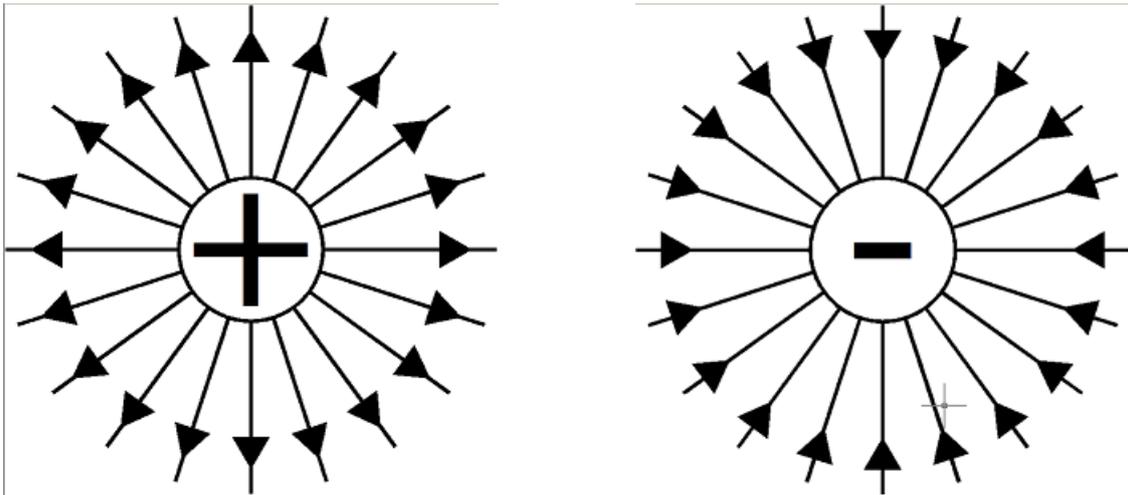
$$\mathbf{E} = \mathbf{F} / q$$

cioè:

$$\mathbf{E} = k \frac{Q}{r^2}$$

Il campo elettrico è quindi un campo vettoriale rappresentato attraverso linee di campo: una carica puntiforme positiva produce le linee di campo radiali uscenti da essa, ed è definita sorgente delle linee di forza, mentre per una carica puntiforme negativa le linee di campo sono radiali ed entranti verso la carica, che è così definita pozzo di linee di forza. Le linee di livello a potenziale elettrico

costante sono dette superfici equipotenziali, e sono perpendicolari alle linee di flusso del campo elettrico.



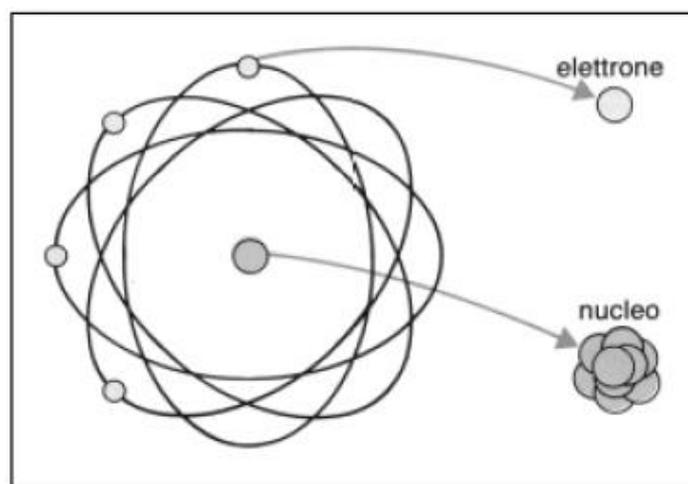
La corrente elettrica

I protoni, situati nel nucleo atomico, hanno una carica elettrica di segno positivo e gli elettroni di segno negativo. Questi ultimi inoltre non sfuggono alle loro orbite ellittiche a causa dell'attrazione su di essi esercitata dai protoni, che essendo in numero pari a quello degli elettroni fanno sì che l'atomo, in condizioni normali, sia in equilibrio elettrico.

L'elettricità quindi non è altro che la “colla” che tiene insieme l'atomo e poiché tutta la materia esistente è composta di atomi tutti i corpi dell'Universo possiedono elettricità.

Tuttavia ogni atomo si presenta elettricamente neutro, poiché il numero dei protoni (+) è uguale al numero dei elettroni (-).

Un atomo di rame è costituito da un nucleo contenente 29 protoni (+) e 29 neutroni (neutri), circondato da un guscio di 29 elettroni (-). Nel suo insieme l'atomo è neutro.



Come dice la parola stessa, **corrente** è qualcosa che scorre, che fluisce. La corrente elettrica è un movimento continuo di cariche elettriche elementari, cioè un flusso ordinato di elettroni, che ha luogo all'interno di alcuni materiali. I materiali, proprio perché permettono agli elettroni liberi di spostarsi da un atomo ad un altro e alle cariche di distribuirsi lungo tutto il corpo e alla corrente di attraversarli, vengono definiti **conduttori**, per altro già trattati nel paragrafo 5.2. Altri materiali, attraverso i quali la corrente non riesce a passare perché gli elettroni si muovono con lentezza e di conseguenza le cariche tendono a rimanere localizzate dove sono state prodotte, vengono definiti **isolanti**.

I materiali possono essere così suddivisi:

- **buoni conduttori** sono i metalli (ad esempio il rame, l'argento e l'alluminio, che vengono usati per costruire i cavi elettrici), i gas ionizzati (come quelli presenti all'interno dei tubi fluorescenti),
- le soluzioni elettrolitiche (acqua e sale) ed i tessuti organici, vale a dire il nostro corpo (purtroppo anche noi siamo dei conduttori!);
- **cattivi conduttori**, ovvero conduttori meno buoni, isolanti deboli sono il legno e la carta;
- **buoni isolanti** come le ceramiche, il vetro, il marmo, la porcellana;
- **isolanti buonissimi** come l'ambra, la gomma.

Da cosa dipende il diverso comportamento delle cariche nei conduttori e negli isolanti? Le cariche elettriche non presentano sempre una distribuzione uniforme: negli isolanti sono generalmente distribuite sia sulla superficie sia all'interno, nei conduttori si distribuiscono tutte sulla superficie esterna. Se un conduttore è cavo, le cariche si distribuiscono tutte sulla superficie esterna. Se la superficie esterna di un conduttore è regolare, esse si distribuiscono in modo uniforme; se la forma è irregolare, si addensano soprattutto sugli spigoli e sulle punte.

I fenomeni di cui ci siamo occupati finora riguardano cariche elettriche che rimangono pressoché ferme sulla superficie di un corpo. Cerchiamo ora di capire le cariche in movimento e per comprendere la differenza tra elettricità e corrente elettrica immaginiamo di ingrandire fortemente un filo di rame, per vedere, in modo schematico, cosa accade al suo interno.

Il filo di rame è formato dai nuclei degli atomi (pallini bianchi), ognuno dei quali va immaginato con il suo guscio di 28 elettroni + 1 elettrone libero. Per semplicità è disegnato il solo elettrone libero che si sposta in qua ed in là intorno ai vari nuclei di rame; vedremo tra breve che è lui, insieme con gli altri elettroni liberi presenti nel filo, il responsabile della corrente elettrica.

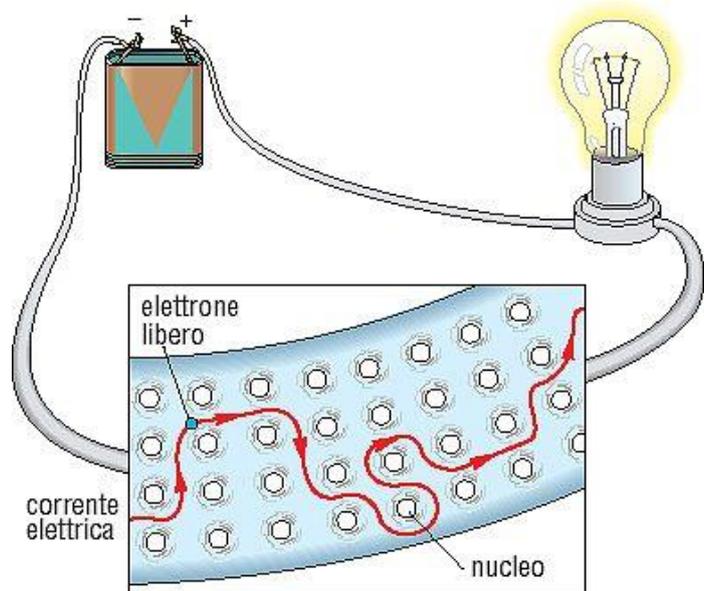
In un filo di rame lungo 1 metro e di diametro 0,3 millimetri ci sono circa 500 milioni di miliardi di elettroni liberi! Ma in questa situazione non accade nulla, non c'è corrente.

Quantità di carica

La quantità di carica (simbolo Q) dovrebbe essere la carica elementare posseduta dall'elettrone.

Tuttavia poiché essa è troppo piccola per essere usata praticamente, si impiega il coulomb (simbolo C) definito come la carica di $6,2 \cdot 10^8$ elettroni. Colleghiamo ora il filo di rame con un generatore di corrente (**pila**) e con un apparecchio utilizzatore (**lampadina**): in altre parole, adesso il filo è inserito in un **circuito elettrico**.

Nella figura affianco, come vediamo nella parte centrale, fortemente ingrandita, l'elettrone libero si muove a *zig zag* verso il morsetto positivo della pila, dal quale viene attratto. Dentro la pila c'è infatti uno squilibrio di cariche, con gli elettroni accumulati presso il morsetto negativo (-) e le cariche positive accumulate presso il morsetto positivo (+).



Miliardi di elettroni liberi, come quelli del disegno, si muovono verso il morsetto positivo (+). Miliardi di elettroni liberi, come quelli del disegno, si muovono verso il morsetto positivo da cui vengono come “attratti”; il loro posto viene occupato dagli elettroni che escono dal morsetto negativo, da cui vengono come “pompati”. Si ha così un movimento circolare di elettroni liberi, cioè una corrente elettrica.

Verso della corrente

La corrente elettrica consiste quindi in un flusso di elettroni che va dal polo negativo al polo positivo.

Bisogna però tener presente che la scoperta dell'elettrone fu compiuta alla fine del XIX secolo, mentre l'invenzione della pila da parte di Alessandro Volta avvenne nel XVIII secolo. Poiché i fisici del primo '800 non conoscevano ancora la struttura elettrica della materia, essi ipotizzarono che la corrente elettrica fosse dovuta al movimento di cariche positive. Tutte le leggi che vennero enunciate in seguito si fondarono su questo presupposto, per cui, per convenzione, ancora oggi si usa dire che la corrente elettrica consiste in un flusso di cariche positive dal polo positivo al polo negativo.

Quanto più grande è la differenza di potenziale tra i capi dell'utilizzatore e quindi del generatore, tanto maggiore è la quantità di corrente che attraversa il conduttore che li collega.

Intensità della corrente elettrica

Immaginiamo di essere sul bordo di un'autostrada per misurare l'intensità del traffico in quel punto: usando come traguardo una linea immaginaria, trasversale alla corsia, conteremo il numero di autoveicoli che la oltrepassano in un certo intervallo di tempo. Con lo stesso metodo possiamo misurare l'intensità della corrente elettrica, che consiste nello spostamento di elettroni liberi all'interno di un circuito.

Come la quantità d'acqua che nell'unità di tempo attraversa una sezione di un tubo si chiama “**portata**” e si misura in m^3/s), e la portata d'acqua aumenta in relazione alla sezione del tubo e al dislivello ai capi del tubo, così la quantità di elettroni che nello stesso tempo attraversa una sezione di un conduttore si definisce **intensità della corrente elettrica** se la quantità di corrente si esprime in coulomb ed il tempo in secondi, abbiamo:

$$I = \Delta Q / t$$

L'unità di misura della intensità di corrente elettrica è l'**ampere** (simbolo **A**), dal nome del fisico francese **André Marie Ampère** (1775-1836) e si misura con l'**amperometro**.

Il circuito elettrico

Il circuito elettrico è un percorso chiuso in cui circola corrente elettrica, costituito dall'insieme degli apparecchi elettrici e dei loro collegamenti, destinati a essere attraversati dalla corrente.

I componenti di un circuito elettrico sono:

- il **generatore di corrente**, che può essere l'alternatore, la pila o l'accumulatore;
- gli **apparecchi utilizzatori**, come la lampada, il frullatore elettrico, il ferro da stiro, cioè gli apparecchi che trasformano la corrente in altra forma di energia;
- i **fili conduttori**, che collegano il generatore agli apparecchi utilizzatori e che trasportano la corrente elettrica;
- gli **interruttori**, che interrompono oppure lasciano passare la corrente elettrica. Sono in genere una lamina di metallo posta ai due capi del circuito, che si solleva per interrompere il circuito, si abbassa per chiudere il circuito e far passare la corrente elettrica.

Circuiti in serie e in parallelo

Esistono due tipi di **circuiti** profondamente diversi tra loro: quello **in serie** e quello **in parallelo**.

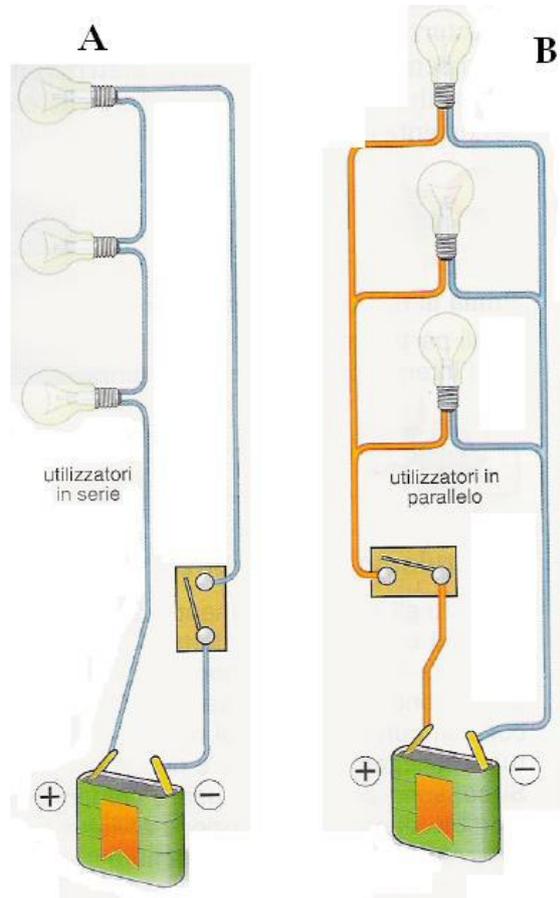
Gli utilizzatori di un circuito, per esempio le lampadine, possono essere collegati sia in serie che in parallelo, come si può notare in figura.

Nel caso del collegamento in parallelo (B) le lampadine sono più luminose; infatti, ognuna fruisce di un'uguale differenza di potenziale.

Nel collegamento in serie (A) lo stesso valore di differenza di potenziale va suddiviso fra tutte le lampadine. Nel collegamento in serie infatti, la tensione occorrente per far accendere normalmente le lampadine è uguale alla somma delle d.d.p. di ciascuna lampadina.

Inoltre, in un collegamento in serie, se un utilizzatore si guasta (per esempio una lampadina si brucia) si interrompe il circuito e anche gli altri utilizzatori si spengono. Questo inconveniente, invece, non si verifica per il collegamento in parallelo. Per tali motivi, nelle abitazioni si usano impianti elettrici con collegamenti in parallelo. Si ha così la

possibilità di spegnere una lampada indipendentemente dalle altre, mentre ciò non sarebbe possibile con un collegamento in serie.



Amperometro e Voltmetro

L'**amperometro**, che misura l'intensità della corrente, deve essere sempre **collegato in serie** nel circuito dove passa la corrente che si vuole misurare; vale a dire che bisogna interrompere il circuito in un punto e collegare i suoi estremi liberi con i morsetti dello strumento. (Essi devono presentare una resistenza interna molto piccola in modo da non alterare sensibilmente la corrente preesistente nel circuito)

Il **voltmetro**, che misura la tensione o d.d.p., deve essere **collegato in parallelo** (detto anche in derivazione) cioè con i suoi morsetti connessi ai due punti tra i quali si vuole misurare la d.d.p.. Pertanto per misurare la tensione non si deve "tagliare" il circuito in un punto come invece avviene per la misura della corrente. (Esso deve presentare una resistenza interna molto grande in modo da

assorbire pochissima corrente e non alterare quindi sensibilmente la d.d.p. preesistente tra i due punti del circuito cui vengono collegati).

La resistenza elettrica

La corrente, come visto, scorre per effetto di una forza detta forza elettromotrice o tensione; c'è però qualcosa che contrasta di più o di meno questa forza e tende a frenare lo scorrere degli elettroni: questa forza frenante, che dipende dalla natura del materiale attraversato, viene detta **resistenza elettrica**.

Ritornando sempre al circuito idraulico esemplificativo, l'acqua che scorre nel tubo è frenata dall'attrito con le pareti e tale ostacolo è tanto maggiore quanto minore è il diametro del tubo stesso e quanto più lungo è esso. Anche il flusso di elettroni che attraversa un conduttore incontra un simile impedimento, che è detto resistenza elettrica appunto, e la cui intensità dipende dalla sezione e dalla lunghezza del conduttore e dal materiale di cui esso è costituito. In particolare la resistenza, la cui unità di misura è l'**ohm** (simbolo Ω), è tanto maggiore quanto più lungo è il conduttore e quanto minore è la sua sezione.

Alcuni materiali, i conduttori, oppongono un piccolo ostacolo al flusso degli elettroni mentre altri, gli isolanti, ne impediscono quasi del tutto il movimento.

Il simbolo utilizzato per disegnare una resistenza elettrica inserito in un circuito è il seguente:



Prima legge di Ohm

La **prima legge di Ohm**, deve il proprio nome a quello del fisico tedesco **Georg Simon Ohm**, esprime una relazione tra la differenza di potenziale V (tensione elettrica) ai capi di un conduttore elettrico e l'intensità di corrente elettrica I che lo attraversa. Gli elementi elettrici per i quali la legge è soddisfatta sono detti **resistori** (o resistenze).

$$V = R \cdot I$$

Si noti che la legge di Ohm esprime unicamente la relazione di linearità fra la corrente elettrica I e la differenza di potenziale ΔV applicata.

L'equazione indicata è semplicemente una forma dell'espressione che definisce il concetto di resistenza ed è valida per tutti i dispositivi conduttori.

Spesso vengono utilizzate anche le formule inverse della formula, a seconda di quali siano i dati disponibili.