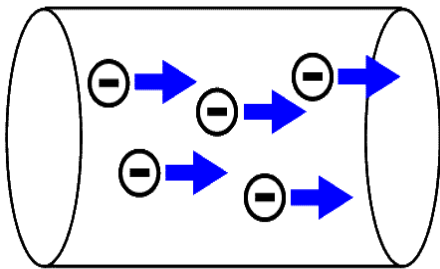


## Che cos'è la corrente

La **corrente** in un filo può essere paragonata al flusso di liquido (es. acqua) dentro un tubo.

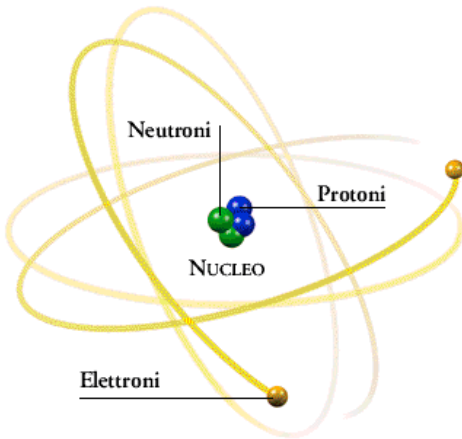


Nel caso della corrente, a livello microscopico ciò che si muove nel filo sono gli elettroni. Il nome stesso di elettricità deriva da quello di elettrone, il quale a sua volta deriva dalla parola greca *electron* con la quale gli antichi greci designavano l'ambra (un materiale con cui furono compiuti nell'antichità i primi esperimenti sui fenomeni elettrici).

Gli **elettroni** sono particelle subatomiche (cioè sono più piccole dell'atomo, di cui costituiscono una parte) assolutamente invisibili a occhio nudo. La massa di un elettrone è pari a solo  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg, cioè bisognerebbe mettere assieme circa un miliardo di miliardi di miliardi di elettroni (cioè 1 seguito da 27 zeri) per fare un solo grammo di materia!

Gli elettroni trasportano **carica elettrica**: ciascuno di loro possiede una piccolissima carica negativa (pari a circa  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb).

Possiamo anche immaginarci gli elettroni come tanti microscopici moscerini e la corrente come uno sciame di miliardi e miliardi di questi moscerini in movimento dentro un filo.



In effetti, esattamente come succede per i moscerini, il movimento degli elettroni nel filo non è del tutto ordinato, ma procede con deviazioni casuali rispetto alla direzione principale.

Qualcuno potrebbe osservare che, mentre un tubo che porta l'acqua è cavo e dunque è facile immaginarsi dove può passare il flusso del liquido, il filo sembra costituito da materiale solido, senza nessuno spazio libero per il movimento degli elettroni. In realtà non è

affatto così! Se ingrandissimo una sezione del filo miliardi di volte, scopriremmo che esso è pieno di spazi vuoti fra un atomo e l'altro. Anzi, il vuoto prevale nettamente: gli atomi sono come le stelle di una specie di galassia in miniatura, in cui lo spazio fra le stelle consente agli elettroni di muoversi liberamente.

**DEFINIZIONE**: la corrente è un flusso di elettroni all'interno di un conduttore.

## Conduttori e isolanti

In base al loro comportamento elettrico i materiali si suddividono in conduttori e in isolanti. Si dicono **conduttori** quei materiali che lasciano passare (*conducono*) la corrente elettrica. Viceversa sono **isolanti** i materiali che impediscono il passaggio della corrente.



Sono conduttori tutti i metalli (rame, ferro, argento, piombo, zinco), mentre sono isolanti le materie plastiche, il legno, il vetro, l'aria, la carta.

Se pensiamo alla corrente come a un serpente di macchine in movimento, i conduttori sono le strade attraverso le auto possono circolare liberamente; invece gli isolanti agiscono come barriere, muri impenetrabili al passaggio delle auto.

Continuando nella nostra analogia, come ci

sono strade di campagna (più difficilmente percorribili) e autostrade a quattro corsie, così alcuni conduttori conducono meglio la corrente di altri. Per esempio l'oro e l'argento sono ottimi conduttori (potremmo paragonarli alle autostrade della corrente), mentre stagno e piombo non conducono altrettanto bene. Un buon compromesso fra conduttività e costo è rappresentato dal rame e dall'alluminio. Allo stesso modo alcuni isolanti isolano meglio di altri: per esempio porcellana e quarzo sono più isolanti della gomma.

Un tipico cavo (o filo che dir si voglia) per il trasporto della corrente è costituito da un nucleo di conduttore (es. un filo di rame) rivestito da una guaina isolante (es. in materiale plastico).

## Perché alcuni materiali sono isolanti e altri conduttori?

Perché alcuni materiali si comportano da isolanti e altri da conduttori? La spiegazione sta nella loro struttura atomica. Nei conduttori gli elettroni non sono legati strettamente al nucleo dei rispettivi atomi e dunque sono abbastanza liberi di muoversi e di creare una corrente.

Viceversa negli isolanti gli elettroni sono vincolati strettamente ai propri atomi e non possono assolutamente spostarsi.

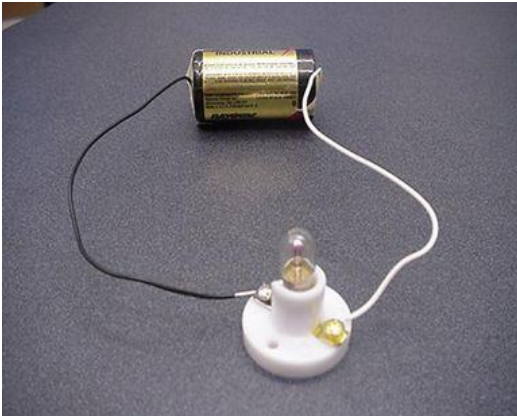
## Semiconduttori

I **semiconduttori** sono materiali che presentano proprietà elettriche intermedie fra quelle dei conduttori e quelle degli isolanti. Essi sono alla base di tutti i principali dispositivi elettronici e microelettronici a stato solido quali i transistor, i diodi e circuiti integrati. Fra i materiali semiconduttori più usati ricordiamo il silicio, il germanio e l'arseniuro di gallio.

I **superconduttori** sono materiali che, al di sotto di determinate temperature critiche  $T_c$  (solitamente molto basse), presentano una bassissima resistenza al passaggio della corrente elettrica e dunque si comportano praticamente da conduttori ideali. Un uso tipico dei superconduttori è per costruire bobine di magneti, per esempio nei sistemi clinici di risonanza magnetica nucleare. Vi sono numerosi composti metallici superconduttori (ad esempio il niobio-stagno,  $T_c=17,9$  K, e il magnesio-diboruro,  $T_c=39$  K) e vari composti ceramici le cui temperature critiche possono superare i 120 K (-153 °C).

## Circuito elettrico

Un **circuito elettrico** è formato da un insieme di conduttori (fili) e di dispositivi (pile, lampadine, motori etc.) collegati fra loro in modo da permettere alla corrente di circolare.



Affinché tale circolazione sia possibile, i fili e i dispositivi devono formare un percorso chiuso, senza interruzioni.

Se pensiamo alla corrente come a un flusso di elettroni, il motivo per cui il circuito dev'essere chiuso è chiaro, poiché in caso contrario, se ci fossero interruzioni, la corrente non potrebbe circolare (l'interruzione bloccherebbe il traffico degli elettroni, esattamente come succede col traffico delle auto quando una strada è interrotta).

## Generatore di tensione

Uno dei circuiti più semplici che si possono immaginare è costituito da una pila (o batteria), dei fili di collegamento e da una lampadina. Il passaggio della corrente attraverso i fili fa illuminare la lampadina.

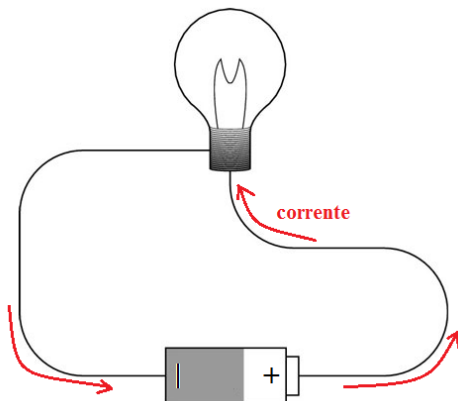
La pila è fondamentale perché ci sia passaggio di corrente nel circuito. Essa è un **generatore di tensione**. Torneremo più avanti sul concetto di tensione. Per adesso possiamo pensare al generatore di tensione come a una specie di pompa di elettroni. Così come una pompa idraulica mette in circolazione l'acqua nei tubi, allo stesso modo un generatore di tensione serve per "spingere" gli elettroni nei fili.

Come si è detto, la comune pila è un semplice esempio di generatore di tensione. Un altro esempio è costituito dalla dinamo (o più propriamente alternatore) usata nelle biciclette. Anche una presa di corrente si comporta come un generatore di tensione quando ci colleghiamo un circuito.

Osserviamo che le pile (e i generatori di tensione in generale) sono contraddistinte da un polo positivo (indicato con il +) e da un polo negativo (indicato con il -). Per convenzione la corrente in un circuito circola sempre dal polo positivo verso il polo negativo della batteria.

## Il verso convenzionale della corrente è diverso dal verso degli elettroni

Si è detto che il verso della corrente dal polo positivo a quello negativo è una convenzione.



Il fatto è che in realtà gli elettroni si muovono nel circuito al contrario, cioè dal polo negativo a quello positivo della batteria. Tuttavia, quando è stata scoperta la corrente, non si conoscevano ancora gli elettroni e in particolare non si sapeva che essi portano una carica negativa. Per questo inizialmente si era stabilito, per convenzione, che la corrente fluisce dal + verso il -. In seguito alla scoperta degli elettroni, si è preferito mantenere ugualmente la convenzione ormai stabilita. In pratica ciò non è un problema: invece di considerare un movimento di elettroni dal polo

negativo a quello positivo (come avviene effettivamente) possiamo fare finta che nel circuito circolino cariche elettriche positive dal + verso il -: il risultato, come sarebbe possibile dimostrare, è in tutti i casi lo stesso.

Per queste ragioni, da questo punto in avanti, senza tornare ulteriormente sull'argomento, considereremo la corrente come circolante dal polo positivo verso il polo negativo del generatore di tensione.

### Perché la lampadina si illumina?



La lampadina ad incandescenza si illumina perché il suo filamento interno è attraversato dalla corrente e il passaggio della corrente lo riscalda. Di conseguenza il filamento produce luce, un po' come succede a un pezzo di ferro arroventato. Maggiore è la corrente che attraversa il filamento, maggiore è l'intensità luminosa prodotta. Se passa troppa corrente però, può succedere che il filamento si bruci!

### Come funziona la pila?

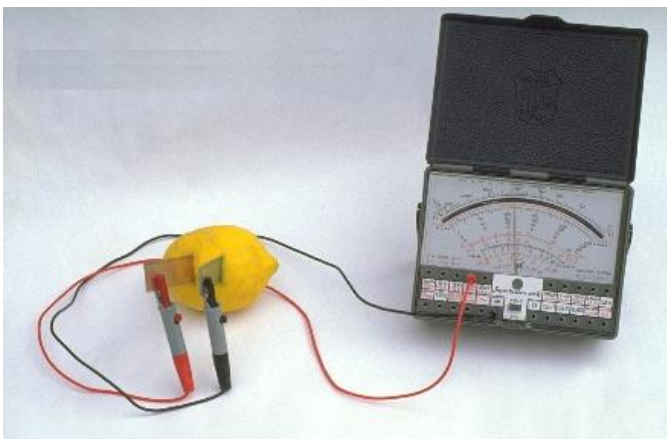
La pila è un dispositivo che converte energia chimica in energia elettrica. La base del



funzionamento di una pila è una reazione di *ossidazione* che avviene al suo interno, in cui una determinata sostanza subisce un processo di ossidazione, perdendo elettroni, mentre un'altra sostanza subisce un processo di riduzione, acquistandoli. Tale scambio di elettroni genera di conseguenza una differenza di potenziale e una corrente elettrica.

La prima pila venne realizzata nel 1799 dallo scienziato italiano Alessandro Volta (dal quale ha preso il nome l'unità di misura della tensione, il Volt).

Una semplice pila casalinga può essere realizzata usando un limone (oppure una patata) e un elettrodo di rame e uno di zinco, come mostrato nella figura seguente:

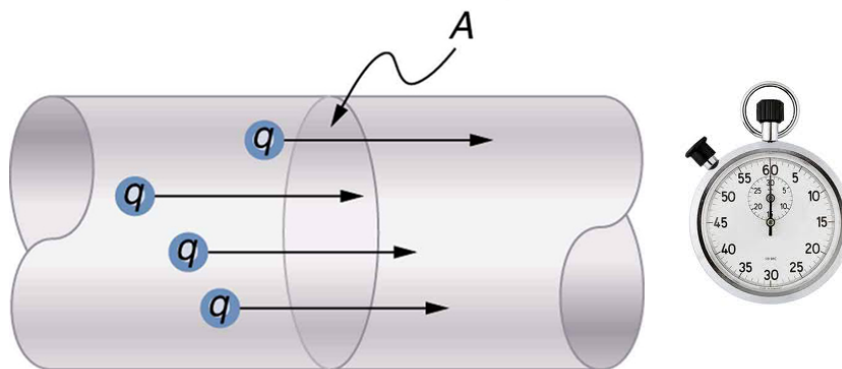


## Unità di misura della corrente

La corrente in un conduttore dipende dal numero di elettroni che lo attraversano in un dato tempo. Per capire la questione supponiamo di voler misurare l'intensità del traffico di veicoli su una strada. A tale scopo potremmo posizionarci al lato della carreggiata e contare quanti veicoli passano. Tuttavia è anche importante fissare un tempo, altrimenti la misura non ha senso. Cosa significa infatti 100 auto? Ogni minuto? Ogni ora? Ogni giorno?

Allo stesso modo per misurare la corrente bisognerebbe contare quanti elettroni passano per esempio ogni secondo o, più precisamente, bisogna misurare la quantità di carica elettrica che attraversa il conduttore ogni secondo. Siccome gli elettroni sono piccolissimi e portano una carica molto bassa, si è preferito definire una unità di misura un po' più pratica per la corrente. Questa unità è l'**Ampere** (simbolo A). Un Ampere corrisponde alla carica trasportata da circa 6,24 miliardi di miliardi di elettroni al secondo!

**Corrente = Flusso di cariche che attraversano un conduttore ogni secondo**



Oltre all'Ampere, si usano anche i suoi sottomultipli e i suoi multipli come mostrato dalla seguente tabella:

Prefisso	Simbolo	Moltiplicatore	Potenza di 10
Tera	T	1.000.000.000.000	$10^{12}$
Giga	G	1.000.000.000	$10^9$
Mega	M	1.000.000	$10^6$
kilo	k	1.000	$10^3$
-	-	1	$10^0$
centi	c	1/100	$10^{-2}$
milli	m	1/1.000	$10^{-3}$
micro	$\mu$	1/1.000.000	$10^{-6}$
nano	n	1/1.000.000.000	$10^{-9}$
pico	p	1/1.000.000.000.000	$10^{-12}$

Ad esempio un microAmpere equivale a un millesimo di milliAmpere ovvero:  
 $1\mu\text{A} = 10^{-3} \text{ mA}$

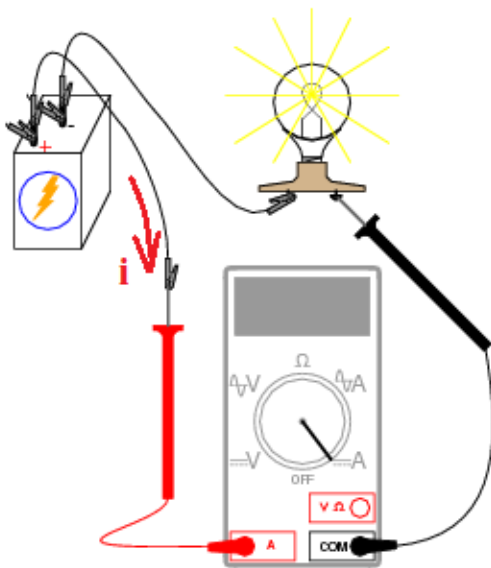
## Amperometro

In pratica per fortuna le cose sono molto più semplici perché la misura dell'intensità di corrente si effettua con uno strumento di laboratorio detto **amperometro**. Nella maggior parte dei casi l'amperometro non viene venduto come strumento singolo, ma è una delle funzioni di uno strumento più complesso detto **multimetro** o **tester**, mediante il quale, oltre alle misure di corrente, si possono anche effettuare misure di tensione, di resistenza e di altre grandezze elettriche. La figura seguente mostra l'aspetto di un tipico multimetro digitale:



come mostrato nella figura qui sotto:

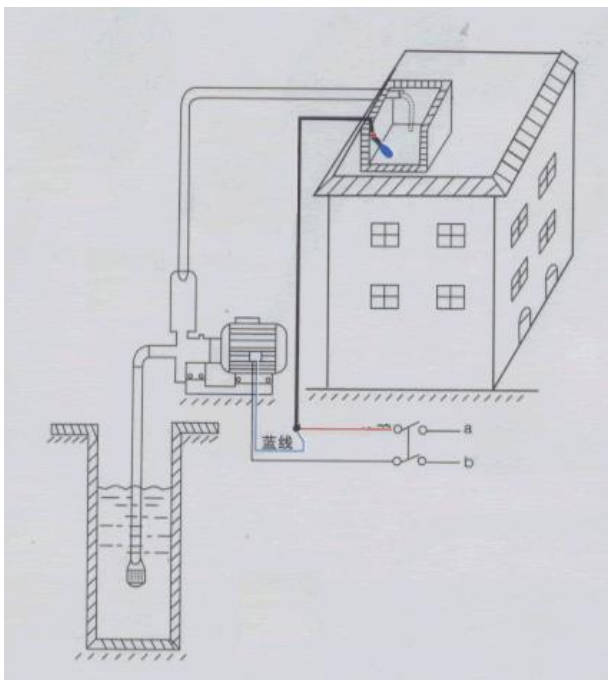
Si osservi che il puntale rosso è collegato in modo che la corrente entra in esso, attraversa



l'amperometro ed esce dal puntale nero (invertendo i collegamenti l'amperometro misura una corrente negativa). E' molto importante inserire l'amperometro correttamente in un circuito e a tale scopo bisogna sempre ricordarsi che occorre interrompere il circuito e inserire l'amperometro dentro il circuito stesso in modo tale che venga attraversato dalla corrente che si vuole misurare.

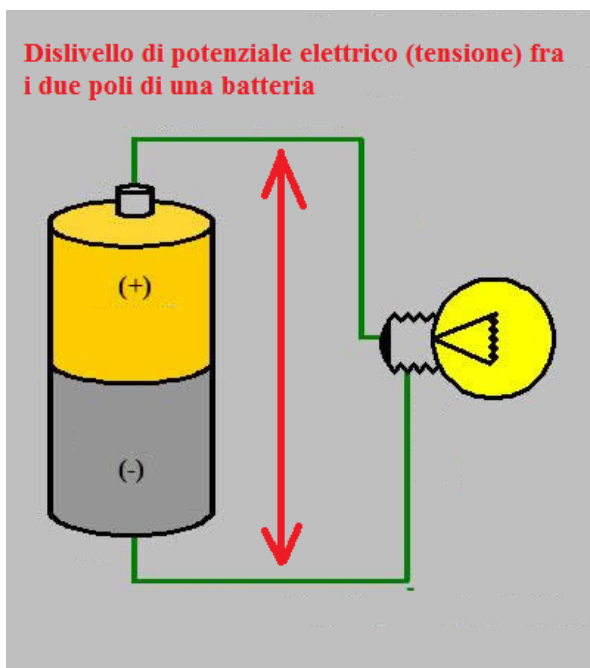
## Che cos'è la tensione?

La **tensione** (o *differenza di potenziale*) è una misura del dislivello elettrico che esiste fra due punti di un circuito.



Per comprendere questo concetto confrontiamo una comune pila con una **pompa idraulica**. Come abbiamo detto in precedenza, la pila fa circolare la corrente in un circuito in modo analogo a una pompa idraulica che fa circolare l'acqua nei tubi. La pompa spinge l'acqua verso l'alto, portandola ad esempio da terra fino all'ultimo piano di un edificio. In questo modo l'acqua acquista *energia potenziale gravitazionale* e può quindi scorrere verso il basso, per caduta, sotto l'effetto appunto della forza di gravità.

La pila agisce in modo simile sugli elettroni, creando una *differenza di potenziale* elettrico fra i suoi poli positivo e negativo. Tale differenza di potenziale è ciò che comunemente viene chiamato tensione.

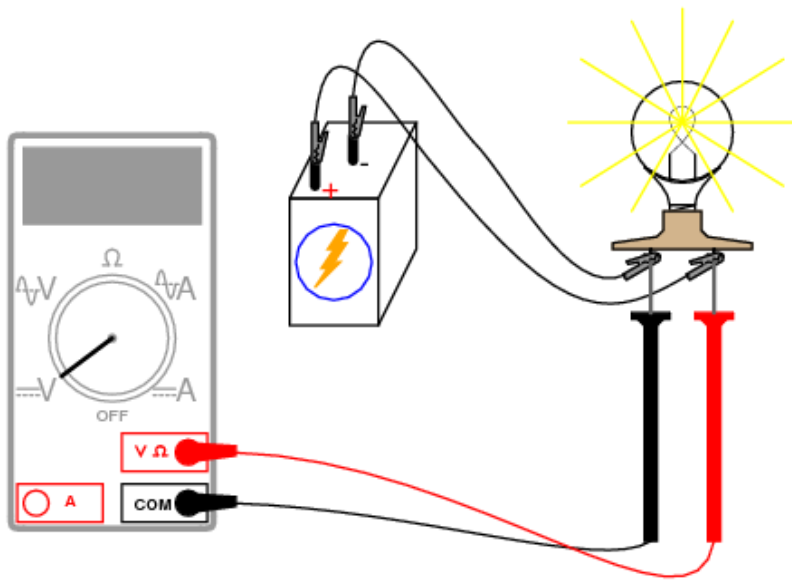


La corrente dunque scorre dal polo positivo della batteria verso il polo negativo in modo simile all'acqua che, per caduta, scorre da un punto situato più in alto verso un punto situato più in basso. La tensione è una misura del dislivello elettrico che esiste fra i due poli della batteria: intuitivamente, maggiore sarà la tensione, maggiore sarà il dislivello e quindi maggiore sarà la corrente che passa nei fili.

Nella figura seguente la batteria B spinge le cariche elettriche sopra il dislivello di potenziale e queste, per caduta, mettono in funzione la lampadina L:

## Misura della tensione

L'unità di misura delle tensioni è il **Volt** (simbolo V) con i relativi sottomultipli (che sono gli stessi visti precedentemente per gli Ampere e cioè pV, nV,  $\mu$ V ... eccetera).



La misura avviene usando la funzione **voltmetro** di un *multimetro* e collegando i due puntali del multimetro fra i due punti del circuito in cui si vuole misurare la tensione. Si osservi la figura seguente, in cui il voltmetro viene collegato ai capi della batteria, col puntale rosso sul polo positivo, per misurare la tensione su una lampadina:



## LA RESISTENZA ELETTRICA

Dopo la tensione e la corrente la grandezza elettrica di maggior rilievo è la resistenza.

La resistenza è l'opposizione dei corpi più o meno conduttori oppongono al passaggio di corrente.

Infatti, quando a causa di una tensione, gli elettroni sono costretti a mettersi in movimento lungo un filo conduttore, questi incontrano una certa resistenza al loro moto, principalmente attribuibile al tipo di materiale con cui è composto il conduttore.

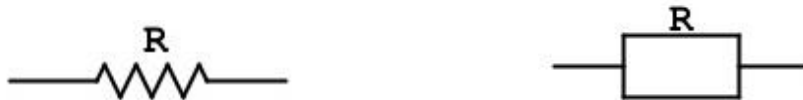
Per esempio, l'oro e l'argento sono ottimi conduttori di elettricità, il rame è un buon conduttore, lo zinco lo è in minor misura. Nei circuiti elettrici (es: computer) è necessario dosare spesso il flusso della corrente elettrica, ossia limitare l'intensità. Pertanto, lungo i percorsi delle correnti (rami), occorrono alcuni sbarramenti, in grado di controllare l'intensità della corrente, sia quella generata da una pila, come la corrente promossa, negli appositi circuiti, dalle onde radio captate dalle onde di un ricevitore. Questi naturali o artificiali elementi di opposizione al passaggio delle correnti elettriche, assumano le denominazioni di resistori o resistenze e possono essere di tipo e dimensione diverse. Generalmente i due nomi si confondono, il resistore è l'elemento fisico mentre la resistenza è il valore. L'unità di misura prende il nome di OHM ( $\Omega$ ).

Molto spesso in elettrotecnica ed elettronica si fa uso di resistori con valori relativamente elevati, ossia si fa uso dei multipli Kilohm ( $k\Omega$ ) e Megaohm ( $M\Omega$ ).

$$1K\Omega = 1.000\Omega = 10^3\Omega$$

$$1m\Omega = 1.000.000\Omega = 10^6\Omega$$

Nei circuiti elettrici ed elettronici il resistore viene rappresentato con il seguente simbolo:



Nel caso in cui i resistori non abbiano i valori numerici stampati su di esso, si utilizza un codice a colori, che per i resistori fissi sono definiti dalla EIA, tramite la "Tabella codici colori EIA-RS-279".

In pratica il valore viene indicato con degli anelli colorati ad ogni colore corrisponde ad un codice, esiste una tabella della tabella dei colori es:\_\_\_\_\_.

Colore	Anello 1	Anello 2	Anello 3	Anello 4
	Cifra 1	Cifra 2	Moltiplicatore	Tolleranza
-	-	-	-	± 20%
argento	-	-	$10^{-2}$	± 10%
oro	-	-	$10^{-1}$	± 5%
nero	0	0	$10^0$	-
marrone	1	1	$10^1$	± 1%
rosso	2	2	$10^2$	± 2%
arancio	3	3	$10^3$	-
giallo	4	4	$10^4$	-
verde	5	5	$10^5$	± 0,5%
blu	6	6	$10^6$	± 0,25%
viola	7	7	$10^7$	± 0,1%
grigio	8	8	-	-
bianco	9	9	-	-

Colore	Anello 1	Anello 2	Anello 3	Anello 4	Anello 5	Anello 6
	Cifra 1	Cifra 2	Cifra 3	Moltiplicatore	Tolleranza	Coefficiente di temperatura
-	-	-	-	-	± 20%	-
argento	-	-	-	$10^{-2}$	± 10%	-
oro	-	-	-	$10^{-1}$	± 5%	-
nero	0	0	0	$10^0$	-	200 ppm/K
marrone	1	1	1	$10^1$	± 1%	100 ppm/K
rosso	2	2	2	$10^2$	± 2%	50 ppm/K
arancio	3	3	3	$10^3$	-	15 ppm/K
giallo	4	4	4	$10^4$	-	25 ppm/K
verde	5	5	5	$10^5$	± 0,5%	-
blu	6	6	6	$10^6$	± 0,25%	10 ppm/K
viola	7	7	7	$10^7$	± 0,1%	5 ppm/K
grigio	8	8	8	$10^8$	± 0,05%	-
bianco	9	9	9	$10^9$	-	-

Tabella per i resistori a strato con 3/4 anelli

Tabella per i resistori a strato con 5/6 anelli colorati

**La resistenza  $R$  di un conduttore è direttamente proporzionale alla sua lunghezza e inversamente proporzionale alla sua sezione.**

Detti:

$R$  – resistenza elettrica del conduttore;

$\rho$  – resistenza specifica o resistività del materiale;

$l$  – lunghezza del conduttore;

$A$  – area della sezione del conduttore;

Si definisce:

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

$R$  in  $\Omega$ ,  $l$  in m,  $A$  in  $m^2$ , quindi  $\rho$  in  $\Omega \cdot m$

Frequentemente si preferisce esprimere la resistività  $\rho$  in  $\Omega \cdot cm = 10^{-2} \Omega \cdot m$

La **resistività** di un conduttore è la resistenza che un suo campione di lunghezza e sezione unitarie offre al passaggio della corrente.

L'inverso della resistività si chiama **conducibilità**.

**Attenzione:** come la resistenza anche la resistività dipende dalla temperatura.

## Interruttore

L'**interruttore** è un dispositivo elettrico in grado di interrompere un circuito elettrico. Nella forma più elementare l'interruttore è costituito da due contatti metallici che possono essere mossi per entrare in contatto o per essere separati.

La figura seguente mostra un circuito formato da una batteria, una lampadina e un interruttore:

Nel nostro esempio, quando il tasto viene premuto si dice che il **circuito** è stato **chiuso** e la corrente può circolare: di conseguenza la lampadina si accende. Quando invece (come nella



situazione in figura) il tasto non è premuto, si dice che il **circuito** è **aperto** (o interrotto) e dunque la corrente non può circolare (la lampadina rimane spenta).

### Tasto aperto e corto circuito

L'interruttore permette di creare in un circuito due condizioni diverse. Quando è chiuso, esso equivale in pratica a un filo elettrico e lascia passare la corrente. Un interruttore chiuso realizza quello che viene detto un **cortocircuito**. Di solito la parola

cortocircuito è associata mentalmente a una situazione di pericolo (come quando ci raccomandano di non creare un cortocircuito per non danneggiare una apparecchiatura elettrica), ma in realtà il termine indica semplicemente un collegamento ideale, un filo che permette il passaggio libero della corrente.

Viceversa un interruttore aperto crea una condizione detta di **circuito aperto**, che è esattamente il contrario del cortocircuito. In un circuito aperto la corrente non può circolare (vale zero). Qualsiasi interruzione elettrica in un circuito è un circuito aperto.

## Potenza elettrica

In generale in fisica la **potenza** (misurata in Watt, W) è una grandezza che misura la velocità con cui l'energia viene trasferita, prodotta e utilizzata. Per esempio maggiore è la potenza di una lampadina, maggiore sarà l'energia elettrica consumata e maggiore la quantità di luce e di calore prodotti.

Nei circuiti elettrici la potenza può essere calcolata molto semplicemente facendo il prodotto di tensione e di corrente, ovvero:

$$P = V \times I$$

Consideriamo per esempio di nuovo il semplice circuito formato da una batteria e da una lampadina:

Per calcolare la potenza fornita dalla batteria basta fare il prodotto della tensione ai capi della batteria per la corrente che circola nel circuito.

Supponendo per esempio che la batteria produca una tensione  $V = 3 \text{ V}$  e che la corrente misurata sia  $I = 0,5 \text{ A}$ , la potenza corrispondente è:

$$P = V \times I = 3 \times 0,5 = 1,5 \text{ W}$$

Questo è anche il valore della potenza consumata dalla lampadina.

Infatti tensione e corrente in questo circuito sono uguali sulla batteria e sulla lampadina.

Il fatto che la potenza erogata dalla batteria sia uguale alla potenza



consumata dalla lampadina è una semplice conseguenza del *principio di conservazione dell'energia* applicato al circuito.

## Invarianza topologica di un circuito

Una proprietà interessante dei circuiti elettrici (che va sotto il nome complicato di *invarianza topologica dei circuiti*) è il fatto che non ha importanza come vengono piegati o quale forma hanno i fili di un circuito: purché non venga interrotto il circuito stesso, la corrente continua a circolare liberamente. In altre parole, la forma di un circuito non ha

nessuna importanza, purché i collegamenti elettrici fra i diversi componenti non cambino.

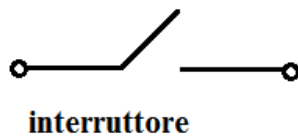
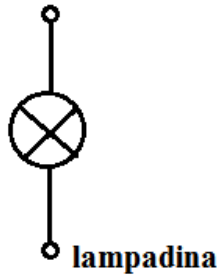
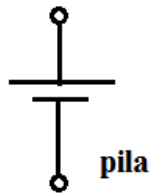


Questa proprietà è molto importante quando si disegna lo schema elettrico di un circuito. Infatti, dal momento che la forma del circuito non ha importanza, le dimensioni di uno schema elettrico (la scala del disegno) e la forma dei fili non contano nulla. Per questo motivo, ad esempio, in uno schema elettrico i fili

vengono sempre disegnati rettilinei e ad angolo retto (anche se nel circuito reale sono presenti pieghe e angoli "strani").

## Schema circuitale

Uno **schema circuitale** (o *schema elettrico*) è una rappresentazione schematica di un circuito reale.



Tale rappresentazione fa uso di **simboli** convenzionali.

Cioè i componenti non vengono disegnati come sono nella realtà, ma vengono rappresentati con simboli.

La figura seguente mostra l'aspetto reale e i simboli usati per rappresentare i tre componenti che abbiamo incontrato finora: batteria, lampadina e interruttore:

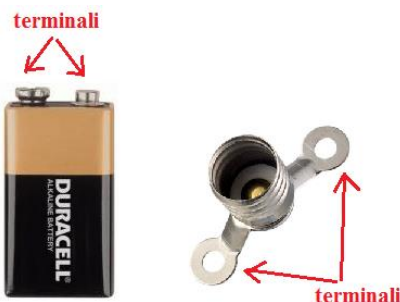
I fili, come si è già detto, vengono rappresentati con segmenti e gli angoli sono sempre disegnati retti.



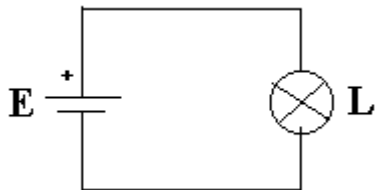
In figura per esempio è mostrato lo schema di un semplice circuito composto da una batteria e da una lampadina:

## Gli elementi che costituiscono il circuito sono:

1. i **componenti** (nel nostro caso E e L, rappresentati con i relativi simboli elettrici);
2. i **terminali** elettrici dei componenti: i terminali sono i contatti metallici di ciascun componente (es. i poli della pila o i morsetti del portalampadina) e sono indicati con linee grigie terminanti con un pallino vuoto in figura;
3. i **fili** di collegamento (in blu in figura).

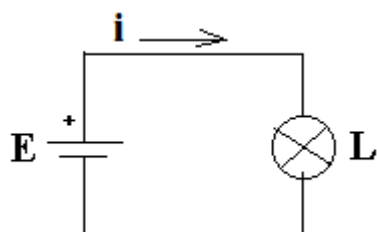


Nella maggior parte dei casi però i terminali non vengono indicati, per cui lo schema circuitale risulta ulteriormente semplificato come nella figura



### Rappresentazione grafica di tensione e corrente sullo schema circuitale

Volendo indicare la direzione della corrente sullo schema circuitale, si usa una freccia parallela al filo dentro il quale la corrente stessa scorre.

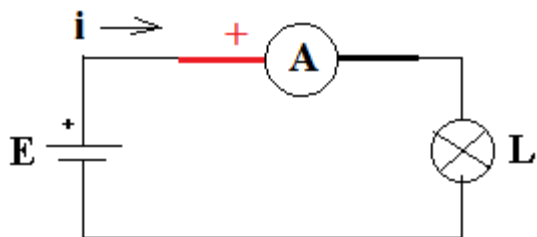


Di solito per indicare le correnti si usa la lettera  $i$  (che sta per *intensità*), come nello schema qui sotto:

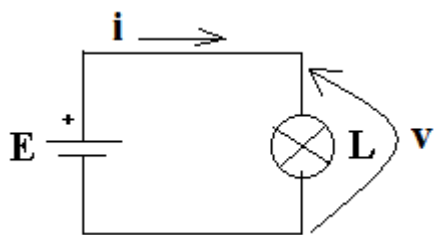
Il verso della freccia della corrente va sempre dal polo positivo della batteria (potenziale maggiore) verso il polo negativo (potenziale minore), in modo analogo all'acqua che

scorre sempre dal punto più alto a quello più basso (come succede in una cascata).

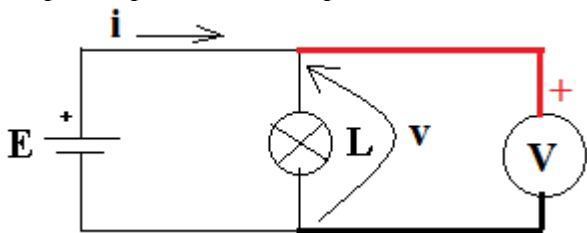
La figura seguente mostra lo schema circuitale per l'inserimento di un amperometro per misurare la corrente  $i$  (il segno + accanto al simbolo dell'amperometro indica il puntale rosso):



La tensione invece si rappresenta con una freccia ad arco posta fra i due punti fra i quali si immagina di misurare la tensione stessa. Per esempio la tensione ai capi della lampadina (cioè fra i due terminali della lampadina) nel circuito precedente si rappresenta in questo modo:



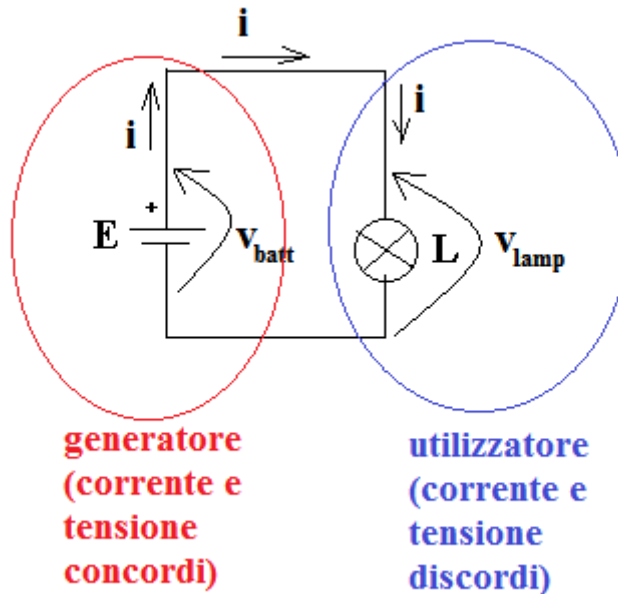
La figura seguente mostra come dovrebbe essere inserito un voltmetro nel precedente circuito allo scopo di misurare la tensione  $v$  ai capi della lampadina (il segno + indica come sempre la posizione del puntale rosso dello strumento):



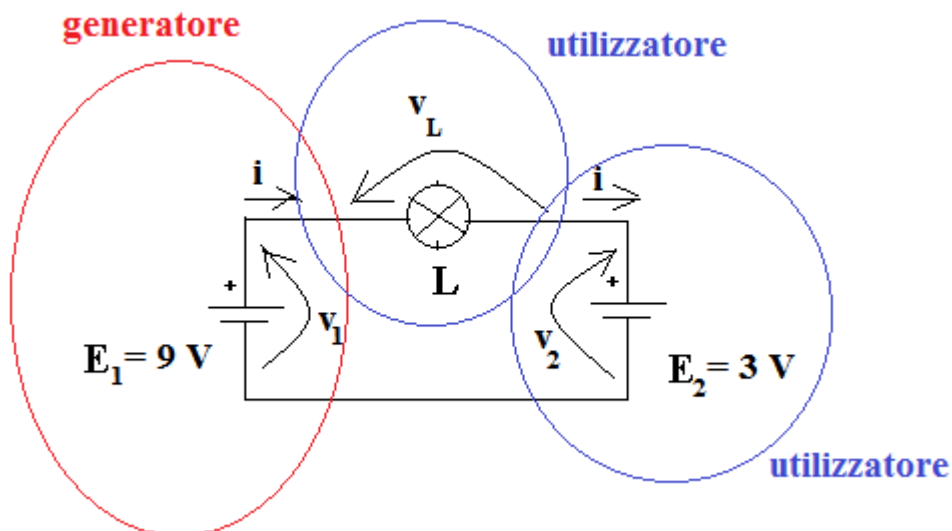
## Convenzione degli utilizzatori e dei generatori

Notiamo subito una cosa importante: la freccia della tensione sulla lampadina sempre un verso opposto rispetto alla freccia della corrente (sono *discordi*). Questa regola viene detta **convenzione degli utilizzatori** e vale appunto per tutti i componenti che sono utilizzatori di corrente (es. lampadine, motori, resistori etc.).

Per i **generatori**, i componenti cioè che producono tensione e corrente (pile, batterie, dinamo etc), vale invece la regola opposta: le frecce della tensione e della corrente hanno lo stesso verso (sono *concordi*).



Se in un circuito sono presenti due batterie, può accadere che una si comporti da generatore e l'altra da utilizzatore. Si consideri infatti lo schema seguente:



La corrente  $i$  scorre sempre dal punto a potenziale più alto (determinato dalla batteria  $E_1$  da 9V) verso il potenziale più basso. La lampadina si comporta naturalmente sempre da utilizzatore, come è evidente dai versi discordi di tensione e corrente. La seconda batteria  $E_2$  invece si comporta in questo caso da utilizzatore anche lei, in quanto assorbe corrente invece di erogarla. Questa è la situazione tipica quando una batteria viene caricata a spese di un'altra.

## Nodi, rami e maglie