

1. La corrente elettrica

1. Elettrodinamica

Finora abbiamo studiato situazioni in cui le cariche elettriche erano ferme. Nell'*elettrodinamica* si studia il moto delle cariche elettriche. Una *corrente elettrica* è un *moto ordinato di cariche elettriche* in una data direzione. Le cariche elettriche possono essere elettroni negativi ed in tal caso si parla di *corrente elettronica*, ma possono anche essere ioni, sia positivi, sia negativi ed in tal caso si parla di *corrente ionica*. Le correnti elettriche possono sussistere sia nei solidi, sia nei liquidi, sia nei gas.

2. Intensità della corrente elettrica

Si dice che un conduttore è attraversato da una corrente elettrica se attraverso il conduttore c'è un flusso ordinato di cariche elettriche in una data direzione. In tale situazione ogni sezione del conduttore è attraversato in un dato intervallo di tempo Δt da una certa quantità di carica elettrica Δq . Si definisce *intensità di corrente elettrica* la quantità di carica che attraversa la sezione del conduttore nell'unità di tempo, cioè il rapporto tra la quantità di carica Δq e l'intervallo di tempo Δt :

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1)$$

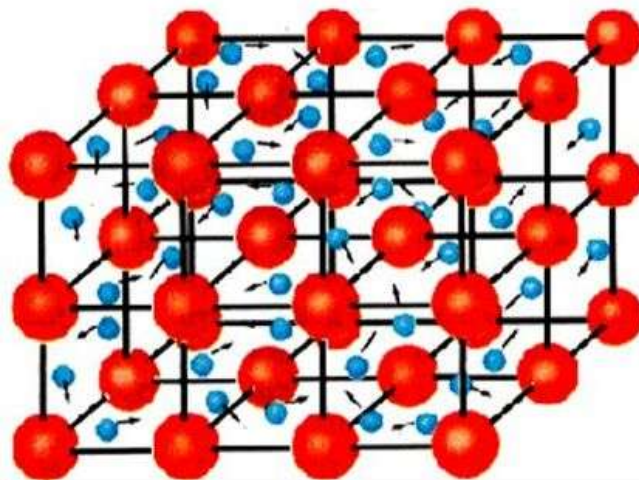
L'intensità di corrente elettrica è una grandezza scalare; la sua unità di misura l'*ampere* (A). Poiché l'intensità di corrente elettrica è uguale alla carica elettrica diviso il tempo, avremo:

$$1 \text{ ampere} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ secondo}}$$

3. I diversi tipi di corrente

3.1. Correnti di conduzione

I conduttori metallici hanno una struttura tipicamente cristallina. I vari atomi sono cioè disposti secondo un reticolo tridimensionale ordinato. Normalmente, l'elettrone più esterno dell'atomo si distacca da questo, e l'atomo diviene uno ione positivo: in tal modo, il metallo risulta costituito da una struttura di ioni positivi fissi e da una "nube" di elettroni liberi. Tali elettroni vengono denominati *elettroni di conduzione*. A temperatura ambiente, tali elettroni sono soggetti a moti di agitazione termica, con l'energia cinetica molto elevata: essi si muovono a grande



velocità in modo caotico, senza alcuna direzione privilegiata, urtando continuamente tra loro e contro le cariche positive fisse. In assenza di forze esterne, il numero di elettroni che attraversa una data sezione del conduttore in un secondo è perfettamente uguale al numero di elettroni che

attraversa la sezione in senso opposto; ciò implica che macroscopicamente non si ha alcun movimento di cariche elettriche.

Diversa è la situazione se il conduttore è sottoposto ad un campo elettrico. Alle velocità causate dall'agitazione termica, si sovrappone una piccola componente di velocità, detta *velocità di deriva*, che ha la stessa direzione del campo elettrico: in tal caso si determina un movimento macroscopico di cariche lungo una determinata direzione e cioè, nasce una corrente elettrica. Le correnti di questo tipo sono dette *correnti di conduzione*.

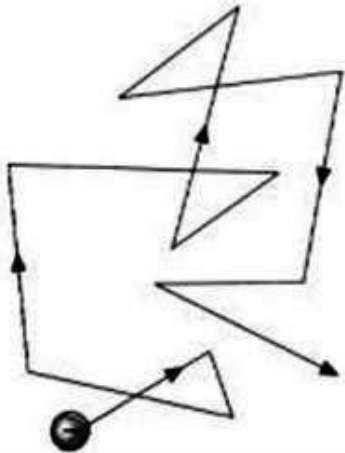


Fig. 2 - Traiettoria in assenza di campo elettrico

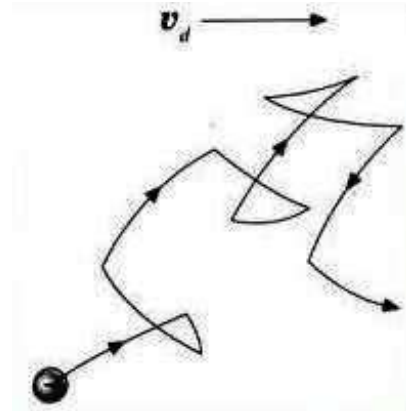


Fig. 3 - Traiettoria in presenza di campo elettrico

3.2. Correnti di convezione

Oltre alle correnti di conduzione, ne esistono di altri tipi, con proprietà fisiche che dipendono dalla natura del mezzo in cui avvengono: ad esempio, le *correnti di convezione*, presenti solitamente nei liquidi e nei gas e costituite da movimenti macroscopici, in cui si spostano in maniera diversa sia le cariche positive, sia quelle negative. Di questo tipo sono le correnti associate ai movimenti delle masse d'aria durante un temporale.

3.3. Correnti di spostamento

Infine, in situazioni variabili nel tempo, oltre alle correnti di conduzione e di convezione, possono aver luogo negli isolanti e anche nel vuoto (in quest'ultimo caso, in assenza di cariche di ogni tipo), fenomeni di tipo diverso, che prendono il nome di *correnti di spostamento*.

3.4. Correnti continue e correnti alternate

Una corrente è detta *continua* o *stazionaria* quando risulta costante nel tempo; altrimenti viene detta variabile. Una corrente viene detta *alternata* quando essa varia periodicamente nel tempo in maniera sinusoidale.

4. Condizioni per l'esistenza della corrente elettrica

Affinché una corrente elettrica possa circolare lungo un determinato mezzo conduttore, devono essere verificate tre condizioni:

- nel mezzo conduttore deve esistere un campo elettrico;
- deve esistere una circuitazione chiusa;
- deve esistere una zona, detta generatore, in cui siano presenti forze di tipo non elettrico.

Se un conduttore è percorso da una corrente, le cariche libere si muovono in maniera orientata e non casuale lungo una determinata direzione; ciò rivela che su di esse agiscono opportune forze di tipo elettrico; pertanto il conduttore sarà sede di un campo elettrico \vec{E} . La presenza di un campo elettrico implica poi l'esistenza di una differenza di potenziale ai capi del conduttore.

corrente elettrica macroscopica \rightarrow forza elettrica sulle cariche \rightarrow campo elettrico nel conduttore \rightarrow differenza di potenziale ai capi del conduttore

Nella figura e nel seguito si suppone che le cariche libere siano positive.

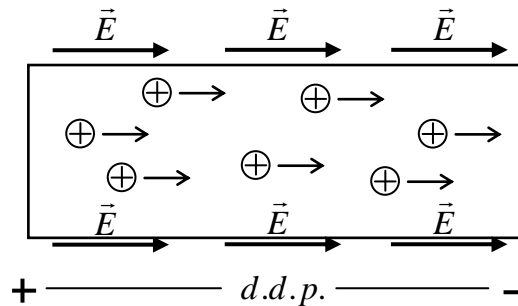


Figura 1 – Cariche in moto in un conduttore sotto l’azione di un campo elettrico

Il potenziale V va a diminuire nel verso in cui è diretto il campo elettrico: le cariche elettriche si muovono come se “scendessero” dal punto a potenziale elettrico maggiore al punto a potenziale elettrico minore.

Un fenomeno connesso al passaggio della corrente elettrica è l’*effetto Joule*, cioè il fatto ben noto che un conduttore percorso da corrente si riscalda (si pensi alle lampade, alle stufe ecc.). Il calore sviluppato deriva dalla trasformazione del lavoro compiuto dalle forze elettriche (ricordiamo che il lavoro in Fisica è pari al prodotto della forza per lo spostamento): i portatori di carica interagiscono infatti con gli atomi o le molecole che li circondano, perdendo, nei continui urti, l’energia cinetica che acquistano tra un urto e l’altro dal campo elettrico. L’energia ceduta negli urti si trasforma in calore.

Per mantenere una corrente stazionaria in un conduttore, occorre dunque spendere un lavoro, che viene continuamente trasformato in calore.

È naturale chiedersi, a questo punto, se una corrente elettrica possa essere mantenuta esclusivamente da un campo elettrico.

La risposta è negativa; per mostrarlo osserviamo in primo luogo che un conduttore percorso da corrente stazionaria, fa sempre parte di un circuito chiuso, cioè di un percorso chiuso lungo il quale si verifica il passaggio della corrente. Inoltre il campo elettrico può certo mantenere la corrente lungo un tratto di conduttore, ma non lungo tutto il circuito chiuso. I motivi di questo risiedono nel fatto che il campo elettrico è *conservativo* e il lavoro considerato sull’intero circuito vale zero.

Per mantenere una corrente stazionaria in un circuito chiuso occorre dunque che sulle cariche agiscano, oltre alle forze elettriche, forze di altra natura (chimica, meccanica, termica) capaci di compere un lavoro diverso da zero lungo un percorso chiuso.

Il circuito conduttore, pertanto dovrà essere del tipo riportato nella figura successiva, dove sono rappresentate due regioni dalle caratteristiche fisiche diverse: una, C , è un semplice conduttore, mentre l’altra, G , è la sede delle forze non elettriche, indicate con \vec{F}_m , necessarie a mantenere la corrente nel circuito stesso.

La regione indicata con G , prende il nome di *generatore elettrico*, in quanto essa fornisce il lavoro necessario per far circolare la corrente; in essa le cariche vengono riportate dalla forza \vec{F}_m dal punto a potenziale elettrico minore (morsetto $-$) al punto a potenziale elettrico maggiore (morsetto $+$). Questo spostamento “costa” in termini di energia, poiché le cariche positive devono essere “strappate” dal morsetto negativo, che le attrae (ricordiamo che cariche di segno opposto si attirano), e “sospinte” verso il morsetto positivo, che invece le respinge (ricordiamo che cariche di segno uguale si respingono). Una volta riportate al punto a potenziale maggiore, esse riprendono a muoversi sotto l’azione del campo elettrico esterno.

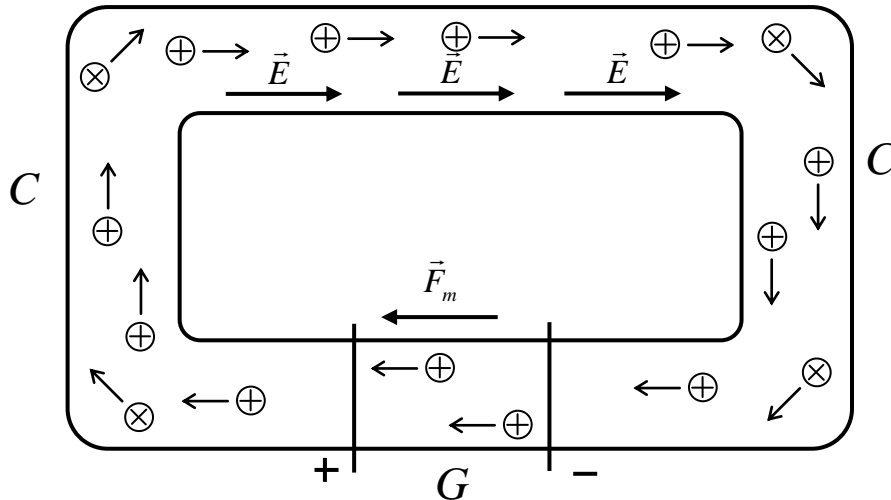


Figura 2 – Circolazione di una corrente elettrica in un circuito con generatore

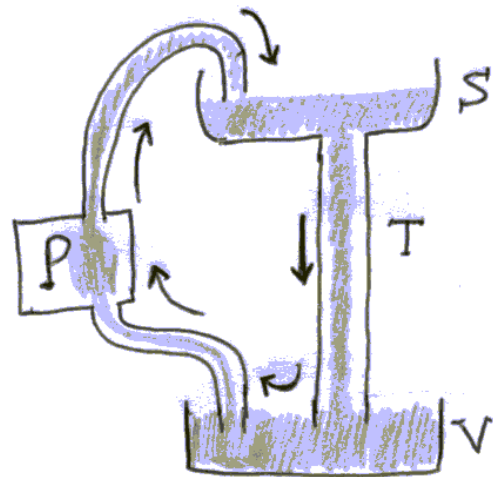
Al lavoro fatto dalle forze non elettriche presenti nel generatore per spostare una carica unitaria positiva dal morsetto negativo al morsetto positivo viene dato il nome di *forza elettromotrice (f.e.m.)*; l'appellativo è inappropriato in quanto essa non è una forza, bensì un lavoro diviso una carica e pertanto si misura in Volt, come il potenziale elettrico e la tensione.

Il generatore, oltre che costituire un tratto di “risalita” delle cariche, ha anche la funzione fondamentale di generare il campo elettrico che garantisce il movimento delle cariche nel conduttore.

Può essere fatta un'interessante analogia con la circolazione dell'acqua. Immaginiamo di avere un serbatoio *S* con dell'acqua in un punto in alto, un tubo *T* collocato sotto il serbatoio *S*, una vaschetta di raccoglimento posta all'estremo inferiore del tubo, in basso secondo la figura 3.

Se collochiamo dell'acqua nel serbatoio, questa si sposterà per caduta libera dal punto a potenziale gravitazionale maggiore al punto a potenziale gravitazionale minore. Anche in questo caso, è quindi necessaria una differenza di potenziale (qui gravitazionale) affinché l'acqua si sposti lungo il tubo dal serbatoio alla vaschetta.

Se poi vogliamo garantire una circolazione continua dell'acqua, occorre aggiungere allo schema una pompa idraulica che raccolga l'acqua nella vaschetta in basso e la spinga, vincendo alla forza di gravità, nel serbatoio, a potenziale gravitazionale maggiore. Tale dispositivo, dovendo compiere un lavoro (contro la forza di gravità) consumerà energia (elettrica, meccanica, eolica, ecc.). Occorre precisare la differenza che tra la pompa ed il generatore elettrico: la pompa ha una mera funzione di sollevamento, mentre il generatore elettrico, oltre a “sollevare” dal potenziale minore al potenziale maggiore, deve anche generare il campo elettrico che muove le cariche nel conduttore.



5. Generatore di tensione continua

Un generatore di tensione continua è un dispositivo capace di mantenere ai suoi morsetti una tensione o differenza di potenziale costante. Esempi di generatori di tensione continua sono le comuni pile da 1,5 V, da 9 V, ecc., la batteria dell'automobile a 12 V o le batterie dei cellulari (più precisamente, tali batterie sono accumulatori di tensione, capaci anche di ricaricarsi), la dinamo della bicicletta quando ruota a velocità costante, le celle fotovoltaiche, ecc.

I morsetti di un generatore di tensione sono 2, uno positivo (+), a potenziale elevato; l'altro negativo (-), a potenziale basso; la *differenza di potenziale* tra i due morsetti è il principale parametro di un generatore di tensione.



6. Pila di Volta

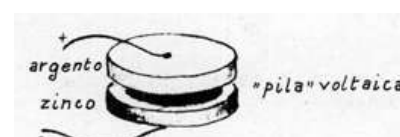
La Pila di Volta fu inventata dallo scienziato italiano Alessandro Volta intorno al 1800.

Volta costruì una specie di sandwich formato da un disco di rame (o argento), un disco di zinco e in mezzo uno strato di feltro o cartone imbevuto di acqua salata o acidula.

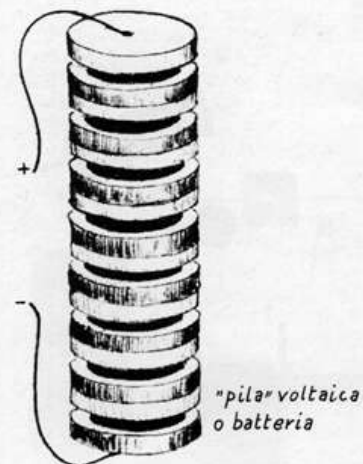
Ai capi dei due dischi metallici si veniva a creare una differenza di potenziale ΔV ; collegando questo sistema ad un conduttore elettrico, si verificava il passaggio di una corrente elettrica continua nel tempo.

Volta successivamente collegò in "pila" più elementi di questo tipo e la differenza di potenziale aumentava, poiché era moltiplicata per il numero degli elementi.

La pila di Volta fu il primo generatore di elettricità della storia. Nella lingua italiana ancora oggi chiamiamo i generatori di d.d.p. col nome di pile.



(a) Una «cella» voltaica.



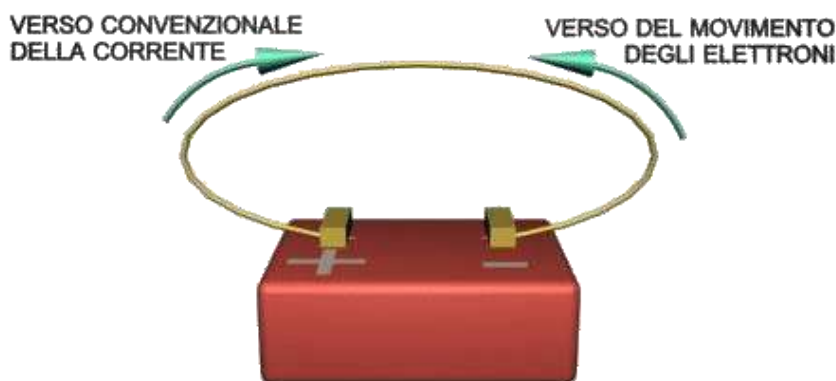
(b) La «pila» di Volta o batteria.

2. Circuiti elettrici

1. Generalità

Si definisce circuito elettrico un insieme di conduttori collegati con continuità ad un generatore. Il circuito si definisce *aperto* quando non c'è passaggio della corrente e *chiuso* quando c'è passaggio della corrente. Normalmente in un circuito elettrico sono presenti degli utilizzatori, cioè dei dispositivi che, alimentandosi dell'energia elettrica prodotta dai generatori, trasformano quest'ultima in altro tipo di energia, come ad esempio energia meccanica, termica, ecc...

Nei conduttori metallici le cariche elettriche che trasportano la corrente sono gli elettroni, negativi, i quali si muovono lungo il circuito dal morsetto negativo al morsetto positivo, come mostrato nella figura a lato. Nelle soluzioni elettrolitiche le cariche che trasportano la corrente possono essere sia positive (ioni positivi o cationi) sia negative (ioni negativi o anioni); gli anioni si muovono dal morsetto negativo a quello positivo, mentre i cationi, al contrario, si muovono dal morsetto positivo a quello negativo; **in ogni caso come verso convenzionale della corrente si assume sempre quello che hanno (o che avrebbero) le cariche positive**, anche se le cariche che effettivamente trasportano la corrente sono soltanto negative, come nei conduttori metallici, o anche negative, come nelle soluzioni ioniche.



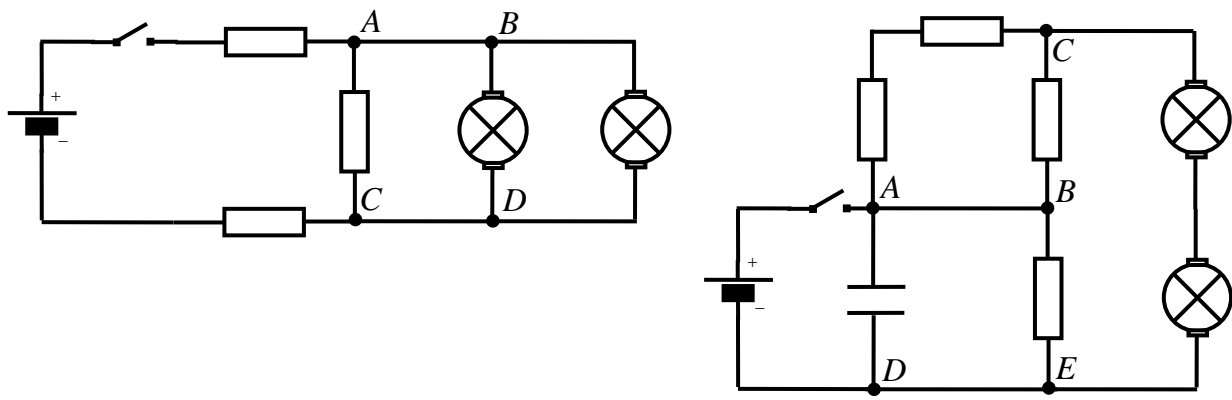
2. Gli elementi di un circuito elettrico

I vari elementi di un circuito elettrico sono rappresentati da opportuni simboli, come mostrato nella tabella seguente:

Elemento di circuito	Simbolo
generatore di tensione continua	
conduttore di resistenza nulla	
interruttore aperto	
interruttore chiuso	
lampadina	

Elemento di circuito	Simbolo
utilizzatore generico	
resistore	
condensatore	
voltmetro	
amperometro	

Esempi di circuiti elettrici

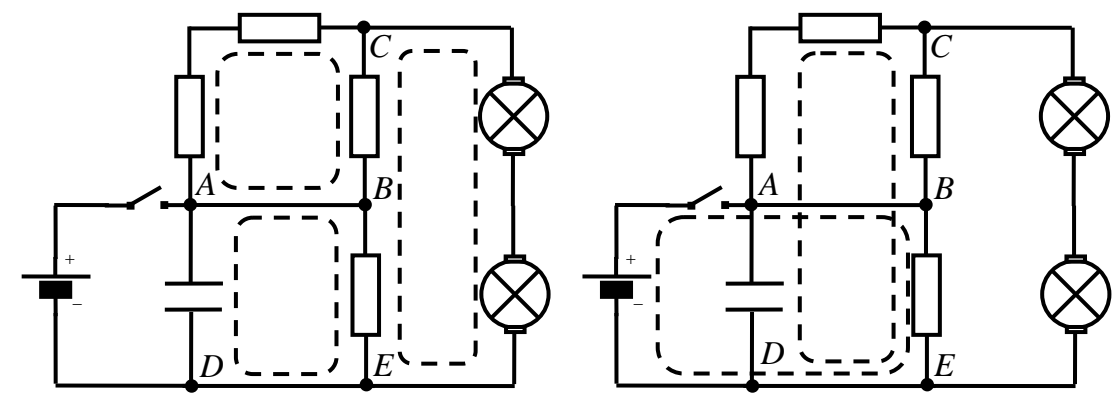


3. Principi di Kirchhoff

Per analizzare e risolvere i circuiti elettrici si utilizzano i principi di Kirchhoff.

Denominiamo *bipolo* un qualsiasi elemento circuitale *bipolare*, cioè dotato di due morsetti. Nella tabella precedente tutti gli elementi mostrati sono bipoli.

In ogni circuito elettrico possiamo poi individuare *nodi* e *maglie*. Un nodo è un punto in cui convergono due o più conduttori; una maglia è un qualsiasi percorso chiuso individuabile nel circuito. Nelle figure precedenti sono nodi i punti A, B, C, D, E; sono maglie i vari percorsi tratteggiati nella figura successiva:

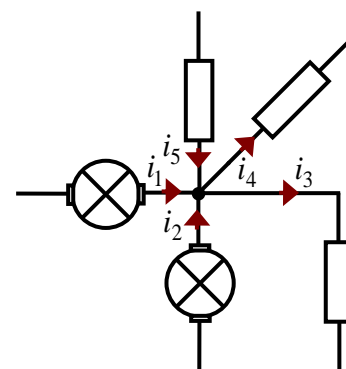


I Principio di Kirchhoff

Il primo principio di Kirchhoff o principio delle correnti afferma che in ogni nodo di un circuito elettrico la somma delle correnti entranti è uguale alla somma delle correnti uscenti. Con riferimento alla figura a lato le correnti i_1, i_2, i_5 sono entranti nel nodo; le correnti i_3, i_4 sono uscenti. Per quanto detto dev'essere:

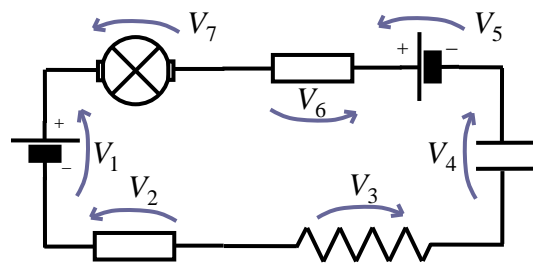
$$i_1 + i_2 + i_5 = i_3 + i_4$$

Il primo principio di K. è una diretta conseguenza del *principio di conservazione della carica elettrica*: se la carica elettrica non si crea né si distrugge, è evidente che la carica elettrica totale che entra nel nodo nell'unità di tempo dev'essere uguale in valore assoluto alla carica elettrica totale che esce dal nodo nella stessa unità di tempo.



II Principio di Kirchhoff

Il secondo principio di Kirchhoff o principio delle tensioni afferma che in una qualsiasi maglia chiusa di un circuito elettrico la somma delle tensioni orientate in senso antiorario è uguale alla somma delle tensioni orientate in senso orario. Nella figura a lato le tensioni orientate in senso antiorario sono V_3, V_4, V_5 e V_7 ; le tensioni orientate invece in senso orario sono V_1, V_6 e V_2 . Per quanto detto si ha:



$$V_3 + V_4 + V_5 + V_7 = V_1 + V_2 + V_6$$

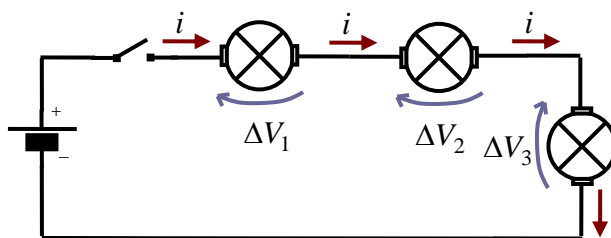
Il secondo principio di Kirchhoff trae origine dalla conservatività del campo elettrico.

4. Collegamento in serie e in parallelo

Collegamento in serie

Più bipoli sono collegati in serie quando sono essi posti uno di seguito all'altro e hanno a due a due un morsetto in comune, eccetto il primo e l'ultimo. Sperimentalmente si verifica che:

- essi sono attraversati dalla stessa corrente: $i_1 = i_2 = i_3$;
- le tensioni ai capi dei singoli bipoli possono essere diverse, però la tensione ai capi della serie è sempre uguale alla somma delle tensioni ai capi dei singoli bipoli: $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$.

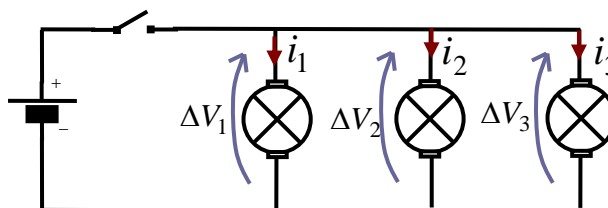


Classico esempio di collegamento in serie è quello delle lampadine di Natale; se una delle lucette si fulmina, tutte le altre della serie si spengono (a meno che il circuito sia *autochiudente*).

Collegamento in parallelo

Due o più bipoli sono collegati in parallelo quando sono essi posti uno di fianco all'altro e i loro morsetti sono collegati a due a due. Si verifica sperimentalmente che:

- essi sono sottoposti alla stessa differenza di potenziale: $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3$;
- le correnti i_1, i_2, i_3 che attraversano i singoli conduttori possono essere diverse l'una dall'altra, però la corrente che entra esternamente ai bipoli è sempre la somma delle singole correnti: $i = i_1 + i_2 + i_3$

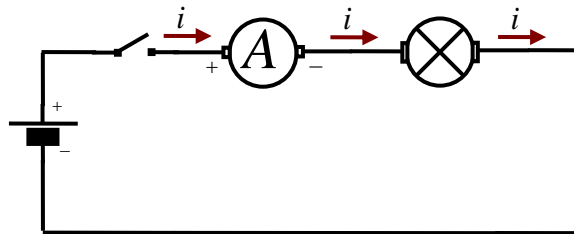


Esempio di collegamento in parallelo è quello dell'impianto elettrico nelle nostre case, dove ogni utilizzatore è collegato sempre alla stessa tensione (o differenza di potenziale) di 230 V; se uno

delle utilizzatori si guasta in qualche modo, non venendo più attraversato dalla corrente, gli altri continuano a funzionare.

5 Misura di correnti e tensioni

Lo strumento che misura l'intensità di corrente che attraversa un dispositivo o un ramo di un circuito si chiama *amperometro*. L'amperometro va sempre collegato in serie con il dispositivo di cui si vuole misurare la corrente. Se la corrente è continua, l'amperometro avrà due morsetti, uno contrassegnato dal segno “+” e l'altro, ovviamente, dal segno “-“. La corrente (supposta trasportata da cariche positive) entra nel morsetto positivo ed esce dal morsetto negativo.



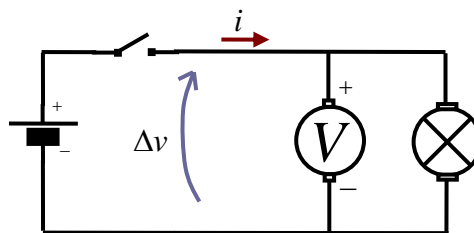
L'amperometro è tarato in *ampere* (A) o nei sottomultipli *milliampere* (mA) o *microampere* (μA):

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 0,000001 \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$$

Uno strumento che misura intensità di correnti molto piccole viene detto *galvanometro*.

Lo strumento che misura differenza di potenziale o tensione elettrica fra due punti di un dispositivo o di un circuito è detto *voltmetro*. Il voltmetro va sempre disposto in parallelo con il dispositivo di cui si vuole misurare la tensione; se la tensione è continua, il voltmetro avrà, come sopra, due morsetti; quello positivo andrà collegato al morsetto dei due a potenziale più alto e quello negativo al morsetto a potenziale più basso.



Il voltmetro è tarato in *volt* (V) o nei sottomultipli *millivolt* (mV) e *microvolt* (μV) o nel multiplo *kilovolt* (kV):

$$1 \text{ mV} = 0,001 \text{ V} = 10^{-3} \text{ V}$$

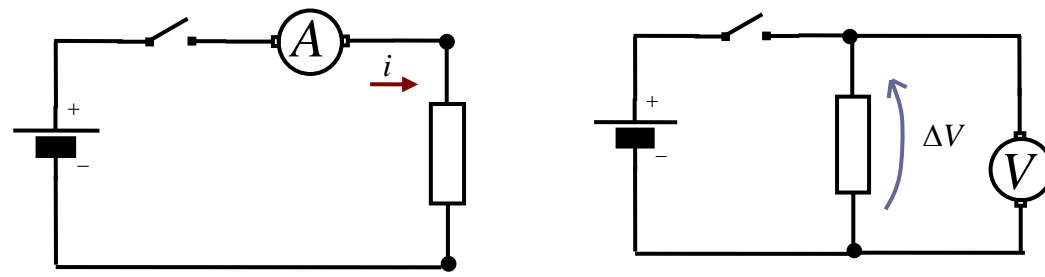
$$1 \mu\text{V} = 0,000001 \text{ V} = 10^{-6} \text{ V}$$

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}$$

5. Le leggi di Ohm

Prima legge di Ohm

Realizziamo un semplice circuito in cui colleghiamo un generatore di tensione continua ad un conduttore metallico, e supponiamo di voler conoscere la corrente I che circola nel conduttore e la tensione ΔV ai capi di questo. Per misurare la corrente I che circola nel circuito usiamo un *amperometro* disposto *in serie* con il conduttore (affinché venga attraversato dalla stessa corrente); per misurare la tensione usiamo un *voltmetro* disposto *in parallelo* al conduttore (affinché sia sottoposto alla stessa tensione).



Successivamente ripetiamo l'esperimento e le misure con un diverso generatore di tensione, riportando altri valori di I e di ΔV . Disponendo tali valori su un grafico $\Delta V - I$ si osserva che essi si dispongono lungo una retta passante per l'origine degli assi, cioè che la tensione ΔV e la corrente I sono direttamente proporzionali o, se si vuole, che il rapporto $\Delta V/I$ è costante.

La **legge di Ohm**, che prende nome dal fisico Georg Simon Ohm che l'ha scoperta, afferma dunque che la differenza di potenziale ΔV ai capi di un conduttore ad una data temperatura T è proporzionale alla corrente elettrica I che lo attraversa per mezzo di una quantità costante e tipica del conduttore; tale costante viene detta **resistenza elettrica, R** :

$$\Delta V = R \cdot I$$

La resistenza elettrica nel S.I. si misura in *ohm* (Ω). Da quanto detto prima:

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

e quindi

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

Un ohm è dunque la resistenza elettrica fra due punti di un conduttore, attraverso il quale passa una corrente di 1 ampere, quando gli viene applicata una differenza di potenziale di 1 volt.

La 1ª legge di Ohm vale per la maggior parte dei corpi solidi. Un conduttore per il quale vale la 1ª legge di Ohm viene detto *resistore* o *conduttore ohmico*.

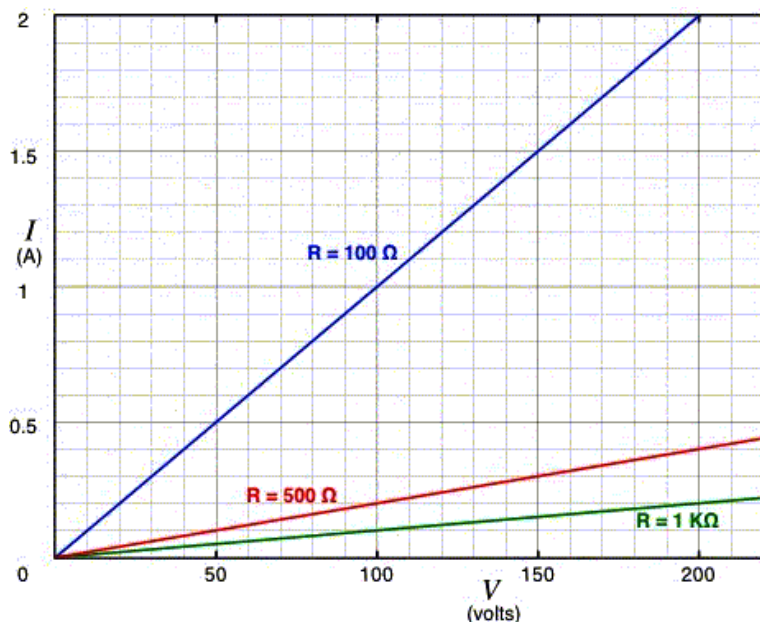


grafico tensione- corrente per conduttori ohmici

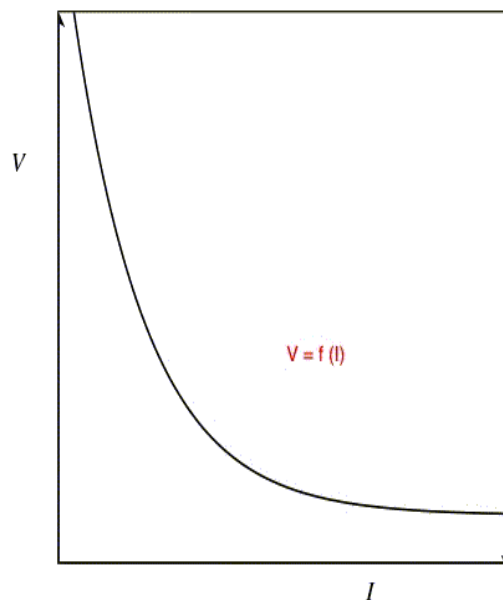


grafico tensione- corrente per un conduttore non ohmico

I tubi di scarica a gas sono un esempio in cui non vale la legge di Ohm, in quanto l'intensità della corrente diminuisce quando la tensione ΔV aumenta.

Seconda legge di Ohm

La seconda legge di Ohm permette di ricavare la resistenza di un filo conduttore a partire dalla sua lunghezza, dalla sua sezione e dal tipo di materiale di cui esso è costituito. Essa afferma che per un filo conduttore di lunghezza l e di sezione S la resistenza vale:

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

Si vede cioè come la resistenza del conduttore sia direttamente proporzionale alla lunghezza del filo (più lungo è il filo, meno bene conduce il passaggio della corrente, più elevata è la sua resistenza) e inversamente proporzionale alla sua sezione (più larga è la sezione del conduttore, meglio esso conduce e più bassa è la sua resistenza).

Facendo un paragone idraulico, un tubo lungo fornisce più resistenza di uno corto al passaggio dell'acqua poiché l'attrito contro le pareti è maggiore. Invece un tubo largo favorisce il passaggio dell'acqua rispetto ad uno più stretto.

La costante di proporzionalità ρ prende il nome di *resistività* o *resistenza specifica* del materiale; essa è una misura della difficoltà che gli elettroni incontrano mentre si muovono all'interno del conduttore. Quanto minore è la resistività, tanto minore è la resistenza del conduttore.

La resistività dipende dal particolare materiale di cui è fatto il filo e ne costituisce un parametro caratteristico. Se nella formula precedente poniamo $l = 1 \text{ m}$ e $S = 1 \text{ m}^2$, otteniamo:

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

La resistività è cioè la resistenza offerta da un filo di lunghezza 1 m e di sezione 1 m^2 .

La resistività si misura in $\Omega \cdot m$. Per conoscere il valore della resistività dei principali materiali si usano opportune tabelle, come la seguente:

Materiale	Resistività ρ ($W \cdot m$)
Argento	$1,5 \cdot 10^{-8} \div 1,64 \cdot 10^{-8}$
Rame	$1,68 \cdot 10^{-8} \div 1,7510^{-8}$
Oro	$2, \cdot 10^{-8} \div 2,3 \cdot 10^{-8}$
Alluminio	$2,68 \cdot 10^{-8} \div 2,82 \cdot 10^{-8}$
Acciaio	$9 \cdot 10^{-8} \div 9,8 \cdot 10^{-8}$
Ferro	$9,8 \cdot 10^{-8} \div 10 \cdot 10^{-8}$
Platino	$10 \cdot 10^{-8}$
Stagno	$11 \cdot 10^{-8} \div 12 \cdot 10^{-8}$
Nichel	$12 \cdot 10^{-8}$
Piombo	$21 \cdot 10^{-8} \div 21,5 \cdot 10^{-8}$
Mercurio	$95,1 \cdot 10^{-8}$

Materiale	Resistività ρ ($W \cdot m$)
Carbonio	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Grafite	$7 \cdot 10^{-5} \div 8 \cdot 10^{-5}$
Germanio	0,46
Marmo	10^{-1}
Germanio	0,46
Carta	$7 \div 9$
Gomma	10^5
Ambra	$5 \cdot 10^6$
Mica	10^6
Quarzo	$5 \cdot 10^8$
Polistirolo	$8 \cdot 10^7 \div 10^{11}$
Porcellana	$10^{10} \div 10^{12}$
Vetro	$10^{10} \div 10^{14}$
Teflon	10^{14}

È proprio in base al valore della resistività che i materiali possono essere distinti in *conduttori*, *semiconduttori* ed *isolanti*. I conduttori hanno valori di resistività intorno a che vanno da 10^{-8} a 10^{-5} $\Omega \cdot m$; tra essi annoveriamo sicuramente i metalli (N.B. l'oro, contrariamente a quanto si possa pensare, non è il miglior conduttore; lo è l'argento, ma nessuno realizza ovviamente conduttori in tale materiale!); i semiconduttori hanno valori di resistività che vanno da 10^{-1} a 10^4 $\Omega \cdot m$; i buoni isolanti hanno valori di resistività a partire da 10^{11} $\Omega \cdot m$.

Si può vedere sperimentalmente che la resistività non è costante ma varia con la temperatura del conduttore. Per la maggior parte dei materiali e per variazioni di temperatura non molto elevate, la variazione della resistività è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura e dipende dal tipo di materiale.

Di conseguenza al variare della temperatura anche la resistenza dei conduttori varia. La variazione segue la stessa legge: per variazioni di temperatura non molto elevate, la variazione della resistenza è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura.

6. Resistori

Un conduttore per il quale vale la 1ª legge di Ohm viene detto *resistore* o *conduttore ohmico*. Spesso i resistori vengono chiamati impropriamente *resistenze*. Il simbolo elettrico di un resistore è



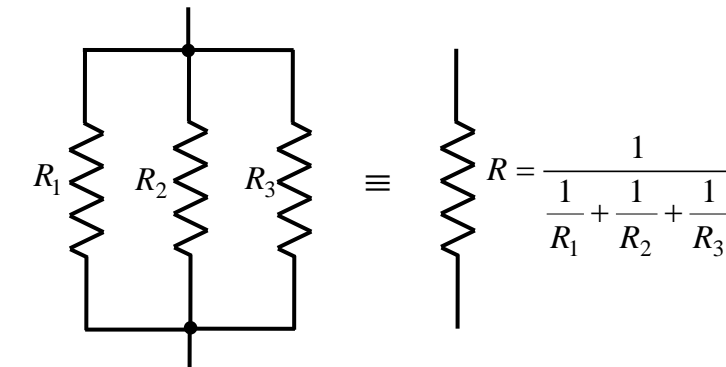
I resistori hanno innumerevoli applicazioni sia in apparecchiature elettriche che elettroniche. Sono a volte utilizzati per convertire energia elettrica in energia termica, grazie all'effetto Joule.



7. Resistori in parallelo e in serie

Ci proponiamo di studiare i sistemi costituiti da più resistori collegati elettricamente mediante fili conduttori. Le tipologie dei collegamenti sono due: *collegamento in parallelo* e *collegamento in serie*.

Più resistori sono collegati in parallelo quando lo schema è il seguente:



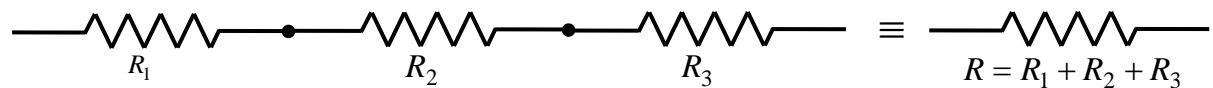
Essi sono soggetti tutti alla stessa differenza di potenziale. Il sistema di resistori costituisce un unico resistore di cui vogliamo determinare la resistenza R in funzione delle resistenze R_1 , R_2 e R_3 . Si può vedere che *la resistenza di un sistema di resistori collegati in parallelo è il reciproco della somma dei reciproci delle resistenze dei singoli resistori*.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Se i resistori in parallelo sono soltanto 2, la formula precedente si può semplificare come segue:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Più resistori sono collegati in serie quando lo schema è il seguente:



L'insieme dei resistori costituisce un unico resistore, i cui morsetti sono quelli estremi della catena di resistori. La corrente è uguale per tutti i resistori, mentre le d.d.p. si sommano.

Si può vedere che *la resistenza di un sistema di resistori collegati in serie è la somma delle resistenze dei singoli resistori*.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

8. Potenza ed energia nei circuiti elettrici

Abbiamo detto in precedenza che in ogni circuito elettrico ci dev'essere un *generatore*, che ha lo scopo di instaurare la differenza di potenziale necessaria a far muovere la cariche elettriche che trasportano la corrente; ma ci devono essere anche degli *utilizzatori*, che sono poi i dispositivi che fanno un lavoro utile. Utilizzatori sono le lampadine, gli elettrodomestici, la radio, la TV, i lettori mp3, ecc. Dal punto di vista energetico, i generatori erogano energia, la cedono cioè al circuito elettrico, mentre gli utilizzatori la assorbono, cioè la consumano.

Il generatore in pratica trasforma energia da qualche forma non elettrica in energia elettrica; le pile convertono energia chimica in energia elettrica; la dinamo della bicicletta converte energia cinetica di rotazione in energia elettrica; i generatori fotovoltaici convertono energia luminosa in energia elettrica.

Un utilizzatore converte all'inverso l'energia elettrica in energia di altra forma. Ad esempio la lampadina trasforma energia elettrica in energia luminosa (ma purtroppo anche in energia termica non utile); la radio trasforma energia elettrica in energia sonora; la lavatrice converte energia elettrica in energia cinetica.

Prima di caratterizzare l'entità di energia erogata da un generatore o assorbita da un utilizzatore, è utile affrontare il discorso della potenza in un circuito elettrico.

Ricordiamo che la potenza P è definita come il lavoro per unità di tempo;

$$P = \frac{L}{\Delta t}$$

In una zona dello spazio in cui c'è un campo elettrico, il lavoro fatto per spostare una carica q da una posizione 1 ad una posizione 2 si può esprimere come differenza di energia potenziale U ; ricordando inoltre che abbiamo definito il potenziale elettrico V come energia potenziale per unità di carica, possiamo scrivere:

$$L = U_1 - U_2 = q \cdot V_1 - q \cdot V_2 = q \cdot (V_1 - V_2) = q \cdot \Delta V$$

Sostituendo nell'espressione precedente si ha:

$$P = \frac{L}{\Delta t} = \frac{q \cdot \Delta V}{\Delta t}$$

Ricordando che l'intensità di corrente i si definisce come il rapporto tra la carica q e l'intervallo di tempo Δt , si ha infine:

$$P = \frac{q}{\Delta t} \cdot \Delta V = i \cdot \Delta V$$

In conclusione, la potenza erogata da un generatore o assorbita da un utilizzatore è semplicemente uguale al prodotto della tensione esistente ai capi del dispositivo per l'intensità di corrente che l'attraversa.

Nel caso di *conduttori ohmici* la potenza si può esprimere attraverso la conoscenza della resistenza e della corrente. Ricordando che in un conduttore ohmico è $\Delta V = R \cdot I$, si può scrivere:

$$P = \Delta V \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$$

Esempio 1. Se agli estremi di una lampada c'è una tensione di 6 V e vi passa una corrente di intensità 0,05 A, la potenza assorbita è:

$$P = \Delta V \cdot i = (6V)(0,05 A) = 0,03W$$

Esempio 2. Se agli estremi di una pila c'è una tensione di 1,2 V e vi passa una corrente di intensità 0,1 A, la potenza erogata dalla pila è:

$$P = \Delta V \cdot i = (1,2V)(0,1 A) = 0,12W$$

Esempio 3. Se in un resistore di resistenza 10 Ω passa una corrente di intensità 2,5 A, la potenza assorbita è:

$$P = R \cdot i^2 = (10\Omega)(2,5 A)^2 = 62,5W$$

Potenza di alcuni elettrodomestici

Riportiamo nella tabella le potenze assorbite da alcuni elettrodomestici.

La potenza che l'ENEL mette a disposizione degli utenti è, di solito, 3 o 6 kW per l'uso domestico, 10 kW o più per l'uso industriale. Se l'utente assorbe più potenza di quella disponibile, un dispositivo presente dopo il contatore, detto *limitatore*, interrompe l'erogazione dell'energia elettrica (“*va via la corrente*”). Per poter ripristinare la corrente è necessario staccare uno o più utilizzatori collegati, riducendo così l'assorbimento di potenza ad un valore inferiore al massimo disponibile.

Elettrodomestico	Potenza (kW)
Ferro da stiro	1 ÷ 1,5 kW
Lavatrice	1,5 ÷ 3 kW
Lavastoviglie	2 ÷ 3 kW
Forno elettrico	1,5 kW
Condizionatore d'aria	0,5 ÷ 3 kW
Stufa elettrica	1 ÷ 2 kW
Televisore	0,1 ÷ 0,15 kW
Frigorifero	
Asciugacapelli	1 ÷ 1,6 kW

Calcolo dell'energia assorbita o erogata.

Se si vuole conoscere l'energia elettrica E assorbita da un utilizzatore o erogata da un generatore, è sufficiente moltiplicare la potenza P di assorbimento o di erogazione per l'intervallo di tempo Δt di somministrazione:

$$E = P \cdot \Delta t$$

Esempio 4. Se la lampada dell'esempio 1 è accesa per 1 ora, l'energia elettrica assorbita è:

$$E = P \cdot \Delta t = (0,03W)(3600 s) = 108 J$$

Esempio 5. Se la pila dell'esempio 2 è in funzione per 25 minuti, l'energia elettrica erogata è:

$$E = P \cdot \Delta t = (0,12W)(25 \cdot 60 s) = 180 J$$

Il kilowattora. Tipicamente, l'energia elettrica viene misurata in *kilowattora*: Un kilowattora è la quantità di energia che viene erogata o assorbita alla potenza costante di un kilowatt, durante l'intervallo di tempo di un'ora.

$$1 \text{ kilowattora} = 1 \text{ kilowatt} \cdot 1 \text{ ora} = 1.000 W \cdot 3.600 s = 3.600.000 W \cdot s = 3,6 \text{ Megajoule.}$$

Esempio 6. Se un motore di potenza 5 kW è acceso per 2 ore e mezza, l'energia elettrica assorbita in kilowattora è:

$$E = P \cdot \Delta t = (5kW)(2,5h) = 12,5 kWh$$