



# La corrente elettrica

- [Moto di una carica sotto l'azione di un campo elettrico](#)
- [L'intensità di corrente](#)
- [Gli elementi di un circuito](#)
- [Effetti macroscopici di una corrente](#)
- [Prima legge di Ohm](#)
- [Verso convenzionale della corrente](#)
- [Seconda legge di Ohm](#)
- [Influenza della temperatura sulla resistenza](#)
- [Potenza ed Energia](#)

## Moto di una carica sotto l'azione di un campo elettrico

Finora abbiamo considerato solo cariche ferme; ora vogliamo studiare il comportamento delle cariche in movimento limitandoci al caso più semplice, cioè quello della corrente nei **conduttori metallici**.

Consideriamo un filo metallico collegato ai poli di una pila ed indichiamo con **V** la differenza di potenziale tra i poli. Al suo interno esiste un campo elettrico di intensità':

$$E=V/L \text{ [V/m]}$$

il quale genera una forza sulla carica

$$F=-eE \text{ [N]}$$

Indicando con **m** la massa dell'elettrone, dalla seconda legge della dinamica ricaviamo che la sua accelerazione è

$$a=F/m$$

Indicando con **m** la massa dell'elettrone, dalla seconda legge della dinamica ricaviamo che la sua accelerazione è  $a=F/m$ . Quindi l'elettrone si muove di moto uniformemente accelerato aumentando la sua velocità e la sua energia cinetica. Poco dopo la partenza però urta contro il reticolo di un atomo e rimbalza cambiando direzione e diminuendo la sua velocità, per poi ripartire con la stessa accelerazione nel verso opposto a quello del campo, fino all'urto successivo. I continui urti provocano un trasferimento di energia cinetica dagli elettroni di conduzione a quelli che orbitano intorno ai nuclei che quindi percorrono orbite più grandi (il metallo si dilata - dilatazione termica) e più veloci (aumento della temperatura - effetto Joule).

In conclusione gli elettroni descrivono dei percorsi irregolari perché rallentati e deviati dagli urti contro gli atomi del reticolo e continuamente accelerati dal campo elettrico. Quindi possiamo immaginare che l'elettrone avanzi a velocità costante pari alla velocità media. Questa velocità è detta velocità di deriva ed è molto bassa, dell'ordine di 30 cm/h. Non bisogna confondere la velocità di deriva con la velocità di propagazione del segnale.

Quando nella nostra casa vogliamo accendere una lampada notiamo che essa si accende praticamente nell'istante in cui azioniamo l'interruttore. Il segnale di interruttore aperto ha viaggiato con una velocità prossima a quella della luce, ma gli elettroni che transitano nella lampadina sono quelli che si trovavano in prossimità della lampadina stessa, non quelli vicino all'interruttore che arriveranno diverse ore dopo.

E' una situazione analoga a quella di un tubo dell'acqua con il rubinetto chiuso, quando lo apriamo l'acqua che esce immediatamente è quella che si trovava vicino al rubinetto, non quella vicino alla sorgente! La velocità di propagazione del segnale è così elevata solo nei conduttori metallici.

Nel sistema nervoso animale le correnti elettriche sono provocate dallo spostamento di ioni e non di un gas di elettroni. La loro velocità è molto bassa, dell'ordine dei 30 m/s, per questo normalmente le persone molto alte hanno i riflessi più lenti delle

persone di bassa statura.

[Segui il filmato](#)

## L'intensità di corrente

[\(Segui il filmato\)](#)

L'intensità di corrente vale dunque 1 A quando la sezione del conduttore è attraversata in 1 s dalla carica di 1 C.

Poiché ogni elettrone trasporta la carica  $e = -1.6 \times 10^{-19}$  C, ogni secondo passano  $1 / (1.6 \times 10^{-19}) = 6.25 \times 10^{18}$  elettroni.

L'ampere è una delle unità di misura fondamentali del S.I.

Esempio : Calcolare la velocità di deriva degli elettroni in un filo di alluminio che ha una sezione  $S = 1 \text{ mm}^2$  ed è attraversato dalla corrente  $i = 1 \text{ A}$

Ogni atomo di alluminio contribuisce al gas elettronico con un elettrone libero.

Calcoliamo la densità  $n$  del gas elettronico, cioè il numero di elettroni per metro cubo.

Per l'alluminio si ha:  $D = 2700 \text{ kg/m}^3$  densità,  $m = 26.98 \sim 27 \text{ g/mol}$  massa atomica.

Ricordando poi il numero di Avogadro  $N = 6.02 \times 10^{23}$  atomi/mole, otteniamo

$$n = (D/m) \cdot N = 2700 / 27 \times 10^{-3} \cdot 6.02 \times 10^{23} = 6.02 \times 10^{28} \text{ atomi/m}^3$$

la velocità media di un elettrone è

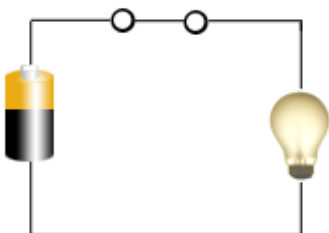
$$v = i / (enS) = 1 \text{ A} / (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}) \times (10^{-6} \text{ m}^2) \sim 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$
 cioè

$$v = 1 \times 10^{-4} (100 \text{ cm}) / (h/3600) = 36 \text{ cm/h}$$

Una unità di misura della carica non ammessa dal S.I. ma molto usata è l'ampereora (simbolo Ah) la cui definizione deriva dalla precedente espressione solo che il tempo non è un secondo ma un'ora.  $1 \text{ Ah} = 1 \text{ A} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ C}$

## Gli elementi di un circuito

Consideriamo una pila e una lampadina su un tavolo. Sono solo due oggetti come tanti altri che possono trovarsi sul tavolo, come una penna o un quaderno.



Se colleghiamo in modo opportuno la pila alla lampadina, se necessario **aiutandosi** con due fili elettrici, osserviamo che questa si accende, cioè una corrente di elettroni esce da un polo della pila, entra nella lampadina, ne riesce e poi ritorna nell'altro polo della pila.

Ogni elettrone è quindi prima uscito e poi rientrato nella pila, in altri termini ha fatto un percorso **chiuso**. In italiano un percorso chiuso è detto **circuito** e quindi i due oggetti sul tavolo, e gli eventuali fili di collegamento, sono diventati un **circuito elettrico**.

### Definizione [Circuito elettrico]

Il più semplice circuito elettrico è realizzato da un generatore e da un utilizzatore collegati in modo tale da consentire il passaggio della corrente elettrica.

Basta staccare un polo della pila dalla lampada e questa si spegne. In questo caso infatti il percorso non è più chiuso e quindi non esiste più il circuito.

Nel linguaggio comune si usa dire che quando la lampada è accesa il circuito è **chiuso** mentre quando è spenta si dice che il circuito è **aperto**.

La corrente circola quando il circuito è chiuso, non circola quando il circuito è aperto, cioè **interrotto**.

L'**interruttore elettrico** è un accessorio che consente di aprire e chiudere il circuito in modo più pratico, e soprattutto più **sicuro** in caso di alte tensioni.

Gli accessori quasi sempre presenti in un circuito sono i fili elettrici, necessari per rendere più comodo il collegamento, e gli interruttori, necessari principalmente per sicurezza in caso di alte tensioni.

## Effetti macroscopici di una corrente

Quando una corrente attraversa un conduttore provoca degli effetti facilmente visibili.

**Effetto termico.** Il conduttore si scalda e si dilata.

**Effetto chimico.** Se il conduttore è liquido possono essere favorite alcune reazioni chimiche.

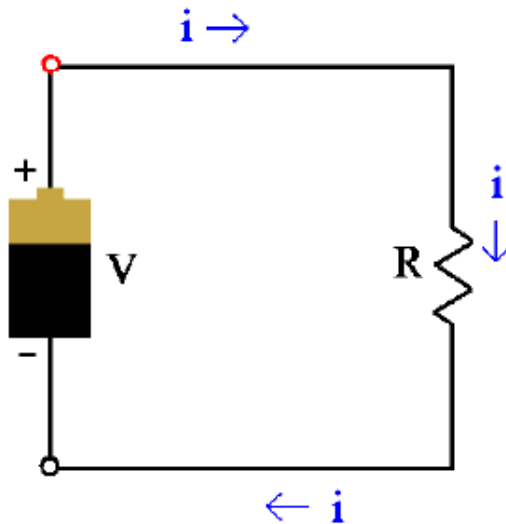
**Effetto magnetico.** Un filo percorso da corrente elettrica si comporta in maniera del tutto simile a una calamita. Vedremo più avanti l'eccezionale importanza di questo effetto

## Prima legge di Ohm

### Definizione 22.3 [Prima legge di Ohm]

L'intensità della corrente in un conduttore è direttamente proporzionale alla tensione applicata.

(Prima legge di Ohm)



La grandezza **R**, che dipende dal materiale e dalla temperatura, è chiamata **resistenza ohmica** del conduttore. L'unità di misura è  $1\Omega=1V/1A$ .

## Verso convenzionale della corrente

Come abbiamo visto gli elettroni possiedono una carica negativa e quindi si muovono in verso contrario a quello del campo elettrico, cioè dal polo negativo verso il polo positivo. Nel XIX secolo, quando fu data la definizione di corrente elettrica, non si sapeva che gli elettroni fossero carichi negativamente e allora si definì come verso convenzionale della corrente quello del campo elettrico.

**Definizione** [Verso convenzionale della corrente]

Una corrente è positiva quando ha il verso del campo elettrico che l'ha generata. Corrisponde a considerare positiva la corrente che esce dal polo positivo una pila.

In altri termini il verso convenzionale è opposto a quello reale degli elettroni nei metalli. Nei fluidi possono essere presenti sia ioni positivi che negativi. Gli ioni positivi si muovono realmente nel verso convenzionale mentre quelli negativi in modo opposto.

**Seconda legge di Ohm****Definizione 22.5** [Seconda legge di Ohm]

La resistenza di un conduttore dipende dal materiale col quale è realizzato, è direttamente proporzionale alla sua lunghezza e inversamente proporzionale all'area della sua sezione.

$$\text{(Seconda legge di Ohm)} \quad R = r L/S \quad [\text{W}]$$

dove  $\rho$  (si legge ro ed è la lettera  $\rho$  dell'alfabeto greco,  $S$ = area della sezione,  $L$ =lunghezza del filo) è un coefficiente che dipende dal tipo di materiale ed è detto **resistività** o **resistenza specifica**.

La struttura della formula è facilmente comprensibile se facciamo la seguente analogia idraulica. Consideriamo un tubo nel quale scorre un fluido, ad esempio acqua, olio, vino, petrolio, ecc. nel quale scorre una certa portata mantenuta costante grazie a una pompa. Ora se aumentiamo la lunghezza del tubo o se riduciamo la sua sezione è evidente che occorre una pompa più potente per mantenere la stessa portata. Nel nostro caso alla pompa corrisponde il generatore, al tubo il filo elettrico, e al tipo di fluido il tipo di materiale, cioè la resistività  $\rho$ .

Dalla precedente equazione ricaviamo le dimensioni della resistività.

$$\text{(Resistività)} \quad r = RS/L \quad [\text{W m}]$$

**Influenza della temperatura sulla resistenza**

Le resistività a due diverse temperature sono legate dalla seguente relazione

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$$

analogamente per le resistenze

$$R_2 = R_1 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$$

Per i metalli puri la resistenza, o meglio la resistività, aumenta con la temperatura con legge analoga a quella della dilatazione termica, e per essi il *coefficiente di temperatura*  $\alpha$  a  $0^\circ\text{C}$  è positivo e il valore è poco maggiore di  $1/273 = 3.663 \times 10^{-3}$ . Per il Germanio e il Silicio (semiconduttori), ed il Carbone il valore è negativo cioè la resistenza diminuisce con l'aumentare della temperatura.

### Esempio

Un filo di rame con  $\alpha = 0.0043$  ( $1/^\circ\text{C}$ ) alla temperatura  $t_1 = 30^\circ\text{C}$  ha resistenza  $R_1 = 30 \Omega$ .

Qual è la sua resistenza alla temperatura  $t_2 = 150^\circ\text{C}$  ?

#### Soluzione

$$R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{30}{1 + 0.0043 \cdot 30} = 26.57 \Omega \text{ a } 0^\circ\text{C}$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha t_2) = 26.57 \cdot (1 + 0.0043 \cdot 150) = 43.71 \Omega$$

Oppure direttamente

$$R_2 = R_1 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} = 30 \cdot \frac{1 + 0.0043 \cdot 150}{1 + 0.0043 \cdot 30} = 43.71 \Omega$$

Come fatto per la dilatazione termica possiamo introdurre la formula approssimata

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(t_2 - t_1))$$

**Esempio** Un conduttore metallico si trova alla temperatura  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  ed è alimentato da una tensione  $V = 50 \text{ V}$  che provoca una corrente  $i_1 = 1 \text{ A}$ . Dopo un'ora il filo si è scaldato e la corrente che circola è diminuita fino a  $i_2 = 0.8 \text{ A}$ . Determinare a che temperatura si trova il filo.

**Soluzione.** Il coefficiente di temperatura è  $\alpha = 0.0043$  per grado.

Calcoliamo le resistenze alle due temperature

$$R_1 = V/i_1 = 50/1 = 50 \Omega \text{ e } R_2 = 50/0.8 = 63.5 \Omega$$

Dalla formula esatta ricaviamo

$$t_2 = \left[ \frac{R_2 - R_1 + R_2 \alpha t_1}{R_1 \alpha} \right] \alpha = 0.0043, R_1 = 50, R_2 = 63.5, t_1 = 10 = 75.491^\circ\text{C}$$

e dalla formula approssimata

$$t_2 = \left[ \frac{R_2 - R_1 + R_1 \alpha t_1}{R_1 \alpha} \right] \alpha = 0.0043, R_1 = 50, R_2 = 63.5, t_1 = 10 = 72.791^\circ\text{C}$$

## Potenza ed Energia

La potenza fornita da un generatore elettrico è

$$P=Vi \text{ [W]}$$

che, ricordando la legge di Ohm, può essere anche scritta

$$P= Ri^2 \iff P=V^2/R$$

L'energia è

$$W=Pt \text{ [W s= J]}$$

Spesso il tempo si misura in ore e la potenza in kilowatt, quindi l'energia si misura in kilovattora<sup>1</sup> (kW h).

$$1 \text{ kW h}=1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s}=3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

Quando l'energia sviluppata è espressa nella forma seguente prende il nome di *legge di Joule*

$$W=Ri^2t \text{ (Legge di Joule)}$$

### Esempio

Calcolare l'energia consumata dal tostapane in t ore di funzionamento.

**Soluzione**



$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{48400}{100} = 484 \text{ W}$$

$$E = P \cdot t = 0.48 \text{ kW} \times 6 \text{ h} = 2.9 \text{ kWh} = 1.0510^7 \text{ J}$$

### Esempio

In una piccola centrale idroelettrica è sfruttata la caduta di una portata d'acqua di  $q=200 \text{ kg/s}$  da un'altezza  $h=20 \text{ m}$  per produrre energia elettrica da fornire alla rete alla tensione  $V=380 \text{ V}$ . Il rendimento globale dell'impianto è  $\eta = 65\%$ .

**Soluzione**

Per prima cosa calcoliamo la potenza sviluppata dalla caduta dell'acqua.

$$P = \frac{\text{Lavoro}}{\text{tempo}} = \frac{\text{Energia potenziale}}{\text{tempo}} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = \frac{m}{t} \cdot g \cdot h = q \cdot g \cdot h = 200 \cdot 9.81 \cdot 20 = 39240 \text{ W}$$

La potenza utile è

$$P_u = \eta \cdot P = 0.65 \cdot 39240 = 25506 \text{ W}$$

Quindi la corrente immessa nella rete è

$$I = \frac{P_u}{V} = \frac{25506}{380} = 67.12 \text{ A}$$

### Esempio

Un fornello elettrico ha potenza  $P = 2000 \text{ W}$ . Su di esso è posta una pentola con  $m = 2 \text{ kg}$  di acqua alla temperatura  $t = 15^\circ\text{C}$ . Il rendimento è  $\eta = 30\%$ .

Calcolare il tempo necessario per vaporizzare completamente l'acqua contenuta nella pentola.

#### Soluzione

Per riscaldare l'acqua fino alla temperatura di ebollizione occorrono

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta t = 2 \cdot 4186 \cdot (100 - 15) = 711620 \text{ J}$$

poi per vaporizzarla occorrono

$$Q_2 = \lambda_f \cdot m = 2253000 \cdot 2 = 4506000 \text{ J}$$

In totale occorre una quantità di energia

$$Q = Q_1 + Q_2 = 711620 + 4506000 = 5217620 \text{ J}$$

La potenza utile, cioè quella realmente disponibile, è

$$P_u = P(1 - \eta) = 2000(1 - 0.3) = 1400 \text{ J}$$

quindi il tempo necessario è

$$T = \frac{Q}{P_u} = \frac{5217620}{1400} = 3726.87 \text{ s} = 62.11 \text{ mn}$$

