

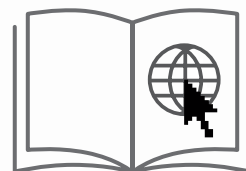
The background of the cover features a high-speed photograph of water splashing, with several large, clear droplets and numerous smaller bubbles scattered throughout. The lighting creates bright highlights and deep shadows, giving the water a three-dimensional appearance.

Franco Bagatti  
Elis Corradi  
Alessandro Desco  
Claudia Ropa

Conoscere la materia  
Seconda edizione

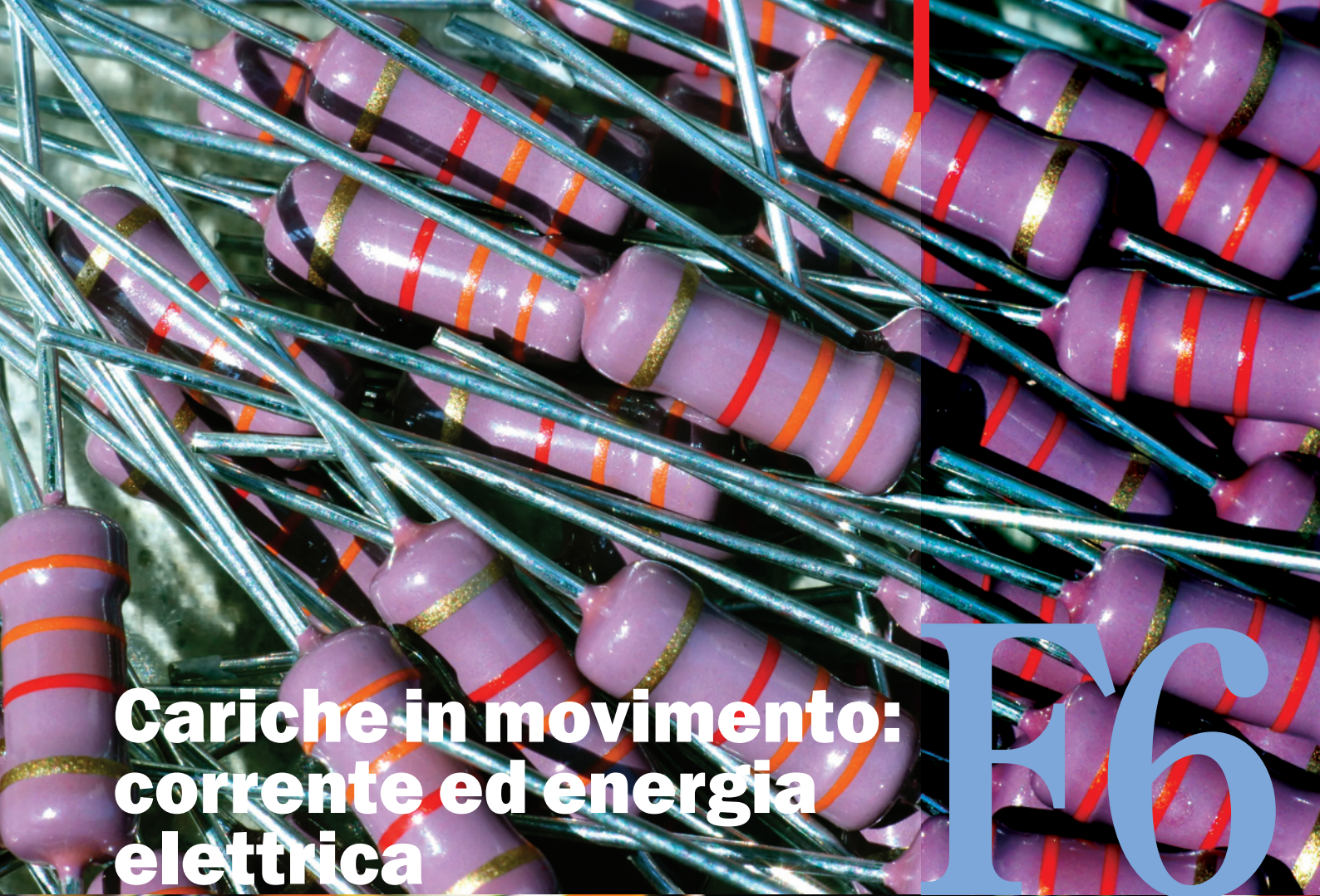
# Elettromagnetismo

LM LIBRO MISTO



SU [WWW.ONLINE.ZANICHELLI.IT](http://WWW.ONLINE.ZANICHELLI.IT)  
160 ESERCIZI INTERATTIVI  
CHIMICA ORGANICA (56 PAGINE)

SCIENZE **ZANICHELLI**



# Cariche in movimento: corrente ed energia elettrica

# FC6



1. Le forze elettriche
2. Le particelle subatomiche e il modello nucleare
3. Il campo elettrico
4. Energia elettrica e differenza di potenziale
5. La corrente elettrica e le leggi di Ohm
6. I costituenti fondamentali di un circuito elettrico
7. Misure e calcoli in un circuito elettrico
8. Energia e potenza nei circuiti elettrici

# 1. Le forze elettriche

## La carica elettrica



▲ **Figura 1** Una bacchetta di materiale plastico, come per esempio una penna biro, se viene strofinata è in grado di attrarre pezzetti di carta; questo accade perché a seguito dello strofinio la bacchetta presenta cariche elettriche.

I fenomeni elettrici sono stati osservati fin dall'antichità ma solo a partire dal ventesimo secolo l'elettricità è entrata prepotentemente nella nostra vita: nelle case, nei luoghi di lavoro, nei momenti di svago ricorriamo sempre più spesso ad apparecchiature che funzionano per mezzo dell'elettricità.

Alla base di tutti i fenomeni elettrici c'è una proprietà della materia che si chiama **carica elettrica (Q)** (figura 1).

Possiamo dire che ci sono due aspetti che contribuiscono a creare attorno alla carica elettrica una specie di alone misterioso:

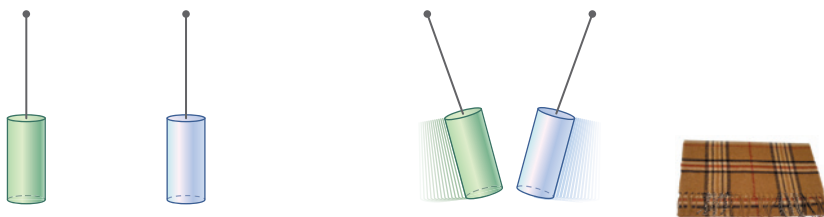
- diversamente da altre proprietà della materia (la massa, il volume, eccetera) la carica elettrica non è di solito immediatamente percepita dai nostri sensi;
- la carica elettrica è una proprietà che presenta due facce; gli scienziati hanno deciso di distinguere queste due facce attribuendo loro convenzionalmente termini e simboli molto semplici: *carica elettrica positiva (+)* e *carica elettrica negativa (-)*.

In relazione a questo aspetto della carica elettrica consideriamo una semplice esperienza. Se due bacchette di plastica appese a un filo vengono strofinate con un panno di lana si può osservare che si respingono reciprocamente.



Lo strofinio elettrizza le bacchette cioè conferisce alle bacchette una proprietà che prima non possedevano, la carica elettrica: in questo caso la presenza di carica elettrica è legata al manifestarsi di forze repulsive che si osservano solo dopo che le bacchette sono state strofinate.

Se ripetiamo l'esperienza sostituendo una bacchetta di plastica con una bacchetta di vetro si osserva che le due bacchette elettrizzate per strofinio questa volta si attirano.



Non è importante stabilire se la bacchetta di plastica ha carica positiva o se invece ha carica negativa; l'unica conclusione utile è che la sua carica elettrica ha segno contrario rispetto a quella della bacchetta di vetro.

In ogni caso tra corpi dotati di carica elettrica si manifestano forze di attrazione o forze di repulsione.

- ! Le forze tra cariche elettriche dello stesso tipo (positive o negative) sono repulsive; le forze tra cariche elettriche di tipo contrario sono attrattive.

### PROVA TU

In un'esperienza simile a quelle descritte uno studente appende due bacchette di vetro elettrizzate.

- Quale tipo di forza si manifesta tra le due bacchette, dopo averle avvicinate?

L'elettrizzazione dei corpi, cioè la presenza di cariche elettriche positive o negative, può essere messa in evidenza con una semplice apparecchiatura chiamata *elettroscopio*: avvicinando all'estremità sferica dell'elettroscopio un corpo carico elettricamente si induce uno spostamento di cariche dello stesso segno sulle due lamine determinando una forza di repulsione che le fa divaricare (figura 2).

Nelle prove descritte abbiamo osservato che l'elettrizzazione per strofinio è un fenomeno che riguarda corpi di plastica e di vetro. Se strofiniamo una bacchetta di metallo dobbiamo constatare che non viene elettrizzata; se però impugniamo la bacchetta di metallo con un guanto di plastica lo strofinio ha successo dato che la bacchetta si elettrizza; osserviamo infine che se si tocca la bacchetta con un dito questa perde immediatamente la sua carica elettrica. Queste osservazioni consentono di dividere i materiali in due grandi categorie.

- I materiali che per strofinio si elettrizzano e mantengono per qualche tempo la loro carica sono indicati come *isolanti elettrici*.
- I materiali che in alcune situazioni si elettrizzano ma non sono in grado di mantenere la carica sono indicati come *conduttori elettrici*.

## La conservazione della carica elettrica

Oltre alle prove descritte, numerosi dati sperimentali mostrano che la carica elettrica è presente in tutti i corpi.

Il motivo per cui quasi sempre i corpi non manifestano gli effetti delle cariche elettriche è dovuto al fatto che la materia contiene sempre una quantità di carica negativa uguale alla quantità di carica positiva e gli effetti delle cariche opposte si annullano reciprocamente: *di norma ogni corpo è elettricamente neutro*.

In alcune situazioni (per esempio a seguito dello strofinio) la neutralità elettrica di un corpo risulta alterata in modo tale da far prevalere la carica positiva o quella negativa.

I corpi elettrizzati tendono a scaricarsi: nel caso delle nuvole, per esempio, questo avviene attraverso i fulmini; anche la fastidiosa sensazione che si avverte talvolta quando si sfiora la carrozzeria dell'automobile è dovuta a una scarica elettrica; pure le bacchette elettrizzate per strofinio perdono la loro carica dopo breve tempo. In ogni caso la scarica ripristina la situazione di normale elettroneutralità (figura 3). Nonostante sia possibile trasferire tra i corpi la carica elettrica, numerosi esperimenti hanno portato a enunciare il seguente principio fondamentale che riguarda la materia.

**!** Il **principio di conservazione della carica elettrica** afferma che la materia nel suo insieme è sempre elettricamente neutra.

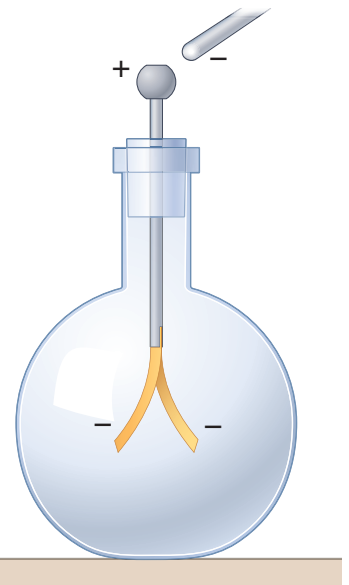
## La legge di Coulomb

Lo scienziato francese C.A. Coulomb condusse numerosi esperimenti per stabilire che relazione c'è tra le cariche elettriche e le forze che si manifestano tra esse. Il risultato del suo lavoro è una relazione matematica che si chiama **legge di Coulomb**:

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

forza in newton (N)      carica in coulomb (C)      distanza in metri (m)

**!** L'intensità della forza ( $F$ ) tra cariche elettriche ( $Q_1$  e  $Q_2$ ) è direttamente proporzionale alle loro quantità e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza ( $d$ ).



▲ **Figura 2** L'elettroscopio è costituito essenzialmente da una bottiglia di vetro; nel collo è inserito un supporto metallico che nella parte esterna ha spesso forma sferica e nella parte interna sostiene due sottili lamine d'oro. Quando si avvicina alla sfera un corpo elettrizzato le lamine si divaricano.



▲ **Figura 3** Gli effetti della carica elettrica possono produrre situazioni curiose, come quando i capelli, in presenza di corpi carichi di elettricità, si elettrizzano respingendosi.

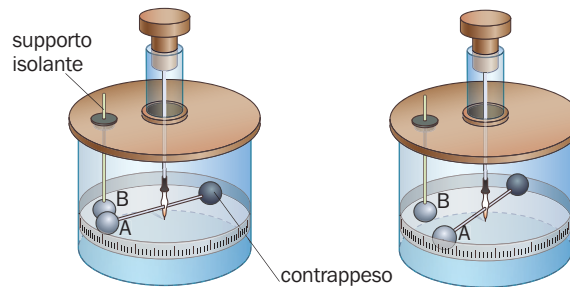
Questa relazione implica che se la distanza tra due cariche raddoppia, la forza (non importa se attrattiva o repulsiva) tra le due cariche diventa  $\frac{1}{4}$  del valore precedente.

Nella formula compare anche la costante  $k$ ; questa costante cambia a seconda del materiale che si interpone tra le cariche. Il valore di  $k$  nell'aria si può approssimare a quello che è stato determinato nel vuoto e cioè  $9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ .

Nel Sistema Internazionale la carica elettrica  $Q$  si misura in **coulomb (C)**; in base alla definizione, la carica di 1 C, posta su due corpi collocati nel vuoto alla distanza di 1 m, determina tra gli stessi una forza di intensità uguale a  $9,0 \cdot 10^9 \text{ N}$ . Per condurre i suoi esperimenti, Coulomb si avvalse di una particolare strumentazione chiamata bilancia di torsione (figura 4).

► **Figura 4** Schema della bilancia di torsione ideata da Coulomb nel 1786. Le due sfere, A e B, vengono elettrizzate con cariche dello stesso segno. La sfera B è fissa mentre la sfera A è libera di ruotare.

Per effetto della forza di repulsione elettrica la sfera A ruota di un angolo che dipende dall'intensità della forza. Per mezzo di una scala graduata realizzata con una taratura dello strumento si può risalire alla relazione tra l'intensità della forza elettrica e quella della carica elettrica presente sulle sfere.



### ESEMPIO

Una bacchetta di plastica viene strofinata e presenta una carica  $Q = -5,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ . Una bacchetta di vetro ha invece una carica  $Q = +1,7 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ . Le due bacchette vengono avvicinate a una distanza di 1,6 cm.

Qual è l'intensità della forza di attrazione tra le due bacchette?

Applichiamo la relazione di Coulomb dopo aver trasformato in metri il valore della distanza tra le bacchette cariche:

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \frac{5,2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{(1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} = 31 \text{ N}$$

Dato che le bacchette hanno cariche di segno opposto la forza è attrattiva.

### PROVA TU

Due cariche elettriche che si trovano alla distanza di  $1,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  hanno i seguenti valori:  $Q_1 = +4,8 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $Q_2 = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

► Calcola l'intensità della forza di attrazione tra le cariche.

**Tabella 1** Costante dielettrica relativa di alcuni materiali. La lettera greca utilizzata come simbolo per questa costante si legge *epsilon*.

Materiale	$\epsilon_r$
vuoto	1 (per definizione)
aria (a 1 bar)	1,00054
olio per trasformatori	2,2
polistirolo	2,6
plexiglas, nylon	3,5
carta	3,6
quarzo	4,3
vetro pyrex	5,1
mica	5,4
porcellana	7,0
acqua (a 20 °C)	80
ceramica al titanio	130

## La costante dielettrica

Quando si interpone un materiale tra corpi carichi la forza elettrica che si manifesta può cambiare anche notevolmente. La forza elettrica è massima nel vuoto e quindi qualunque altro materiale, chiamato *mezzo dielettrico*, ha la proprietà di attenuare la forza che si esercita tra le cariche elettriche.

Questa caratteristica dei materiali è misurata da una grandezza chiamata **costante dielettrica relativa** ( $\epsilon_r$ ) che viene definita confrontando la forza elettrica in due situazioni diverse:

$$\epsilon_r = \frac{F_{vuoto}}{F_{mezzo}}$$

La costante dielettrica relativa è una caratteristica di ogni mezzo dielettrico ed è un numero puro essendo il rapporto tra due forze.

Poiché qualunque forza elettrica ha il suo massimo valore nel vuoto la costante dielettrica relativa, in base alla definizione, può assumere solo valori maggiori di 1. La costante dielettrica relativa dell'aria è circa uguale a 1, come quella del vuoto, mentre per esempio quella dell'acqua è 80: ciò significa che la forza elettrica esercitata nell'acqua è ottanta volte più piccola che nel vuoto o nell'aria (tabella 1).

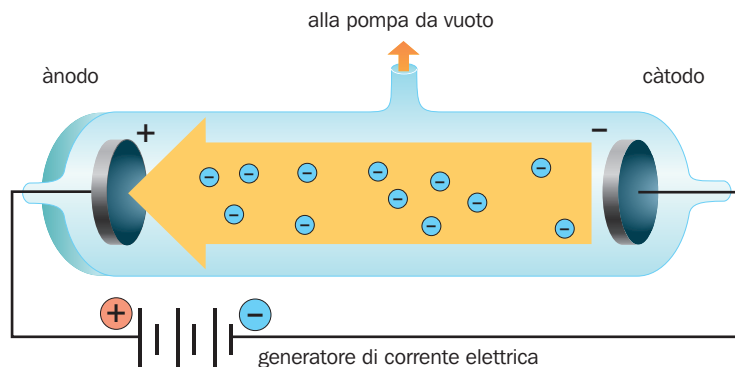
## 2. Le particelle subatomiche e il modello nucleare

### Gli elettroni

Dove si trovano le cariche elettriche che sono presenti in tutti i corpi?

Alla fine del diciannovesimo secolo gli scienziati, studiando le scariche elettriche che si producevano nei tubi catodici, fecero un'importantissima scoperta.

Il tubo catodico è un'ampolla di vetro contenente un gas in cui sono inserite due placche metalliche (elettrodi) sulle quali, per mezzo di un generatore elettrico, vengono accumulate cariche elettriche di segno contrario.



Se dall'ampolla di vetro si estrae il gas fino a ridurre la pressione a un milionesimo di bar e se la carica elettrica accumulata sugli elettrodi raggiunge livelli adeguati, si può verificare che dal catodo (polo negativo) vengono emesse particelle; esse vennero chiamate **raggi catodici**. Si è potuto verificare che:

- le particelle hanno carica negativa e la loro massa è sempre molto più piccola della massa dell'atomo più leggero, quello di idrogeno;
- le caratteristiche delle particelle non cambiano anche se si cambia il metallo del catodo o il gas contenuto nel tubo.

Alle particelle che costituiscono i raggi catodici fu dato il nome di **elettroni**.

**!** Gli **elettroni** ( $e^-$ ) sono le più piccole particelle con carica elettrica negativa che sono stabilmente presenti in tutti gli atomi.

Per questo motivo la carica dell'elettrone è detta anche carica elementare e convenzionalmente vale  $-1$ . La carica dell'elettrone secondo l'unità di misura del Sistema Internazionale fu misurata indirettamente per la prima volta dal fisico statunitense R. Millikan e vale  $1,60 \cdot 10^{-19}$  C.

### PROVA TU

A seguito dello strofinio con un panno di lana una bacchetta di plastica presenta una carica elettrica  $Q = -1,45 \cdot 10^{-10}$  C.

- Quanti elettroni sono stati trasferiti dal panno di lana alla bacchetta?

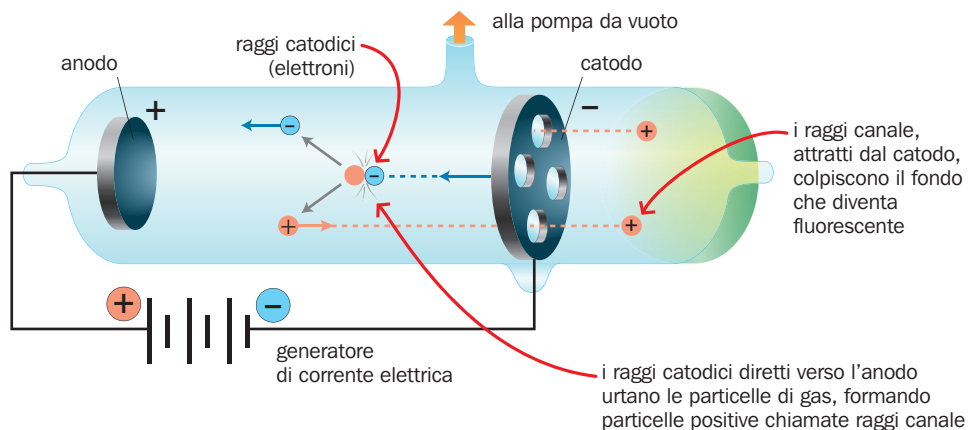
### I protoni

Dato che la materia è di solito elettricamente neutra, è ragionevole pensare che anche gli atomi di cui essa è formata siano neutri; pertanto si deve ammettere che negli atomi siano presenti particelle con carica elettrica positiva.

### I protagonisti della scienza



Il fisico statunitense **Robert Andrews Millikan** (1868-1953), dopo essersi laureato in fisica, si dedicò inizialmente all'insegnamento. Solamente a quarant'anni cominciò una serie di esperimenti per determinare la carica dell'elettrone; i suoi risultati furono contestati perché si riteneva che avesse «corretto» i dati sperimentali. Successivi esperimenti invece confermarono la validità delle sue pubblicazioni. Durante la Prima guerra mondiale, si occupò anche di problemi scientifici di interesse militare, come il rilevamento di sottomarini e la meteorologia. Nel 1923 gli fu assegnato il premio Nobel per la fisica per i suoi studi sulla determinazione della carica dell'elettrone e sull'effetto fotoelettrico.



In effetti la presenza di particelle con carica positiva venne rilevata con apparecchiature simili ai tubi a raggi catodici in cui però il catodo è forato.

Si osserva che dietro al catodo forato ci sono particelle con carica positiva di massa molto più grande di quella degli elettroni; queste particelle sono diverse a seconda del tipo di gas e la loro carica positiva è sempre un multiplo intero del valore della carica dell'elettrone.

Alla più piccola di queste particelle positive fu dato il nome di **protone**.

**!** I **protoni** ( $p^+$ ) sono le più piccole particelle elementari stabili con carica positiva che sono presenti in tutti gli atomi.

Oggi possiamo affermare che:

- la massa del protone è molto più grande di quella dell'elettrone, ma la carica elettrica positiva del protone ha lo stesso valore di quella negativa dell'elettrone;
- in ogni atomo il numero dei protoni è uguale al numero degli elettroni; in questo modo l'atomo è elettricamente neutro.

### Le particelle subatomiche

Soltanto nel 1932 il fisico inglese J. Chadwick poté affermare con sicurezza che negli atomi è presente anche un altro tipo di particella. La sua massa risulta quasi uguale a quella del protone, ma il fatto importante è che questa particella non ha carica elettrica. Per questo motivo venne chiamata **neutrone**.

Abbiamo quindi individuato i tre tipi di particelle fondamentali presenti negli atomi: elettroni, protoni e neutroni.

Queste particelle si chiamano **particelle subatomiche** e sono presenti negli atomi di tutti gli elementi. Occorre ricordare che solamente gli atomi di idrogeno non contengono neutroni.

Le caratteristiche di queste particelle non dipendono dal tipo di atomo: gli elettroni del ferro sono assolutamente identici a quelli dell'oro; altrettanto si può dire dei protoni e dei neutroni.

Le principali proprietà delle celle subatomiche sono riassunte nella [tabella 2](#).

**Tabella 2** Massa e carica delle particelle subatomiche.

	Massa (kg)	Carica (C)	Carica convenzionale
elettrone ( $e^-$ )	$9,1093897 \cdot 10^{-31}$	$1,60217733 \cdot 10^{-19}$	-1
protone ( $p^+$ )	$1,6726231 \cdot 10^{-27}$	$1,60217733 \cdot 10^{-19}$	+1
neutrone (n)	$1,6749543 \cdot 10^{-27}$	0	0

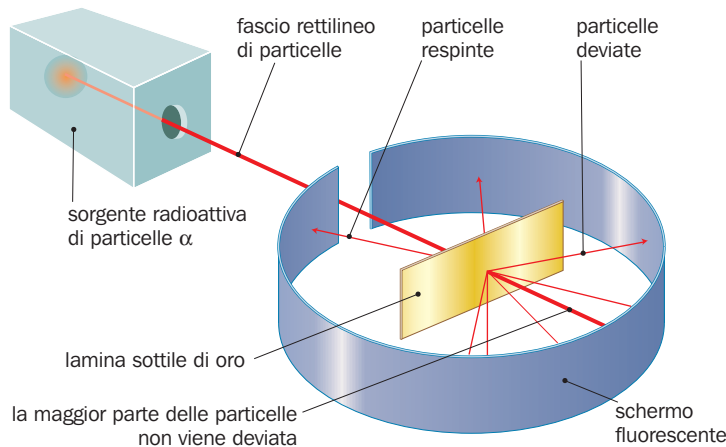
#### PROVA TU

Determina il numero che esprime di quante volte la massa del protone è più grande di quella dell'elettrone.

## Il modello atomico di Rutherford

All'inizio del 1900 gli scienziati non disponevano ancora di un modello convalidato da solide prove sperimentali sulla collocazione reciproca delle particelle subatomiche. Uno dei primi modelli fu proposto dal fisico inglese J.J. Thomson: l'atomo era immaginato come una sfera di carica positiva nella quale erano immersi gli elettroni negativi (figura 5).

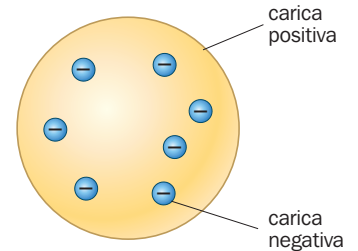
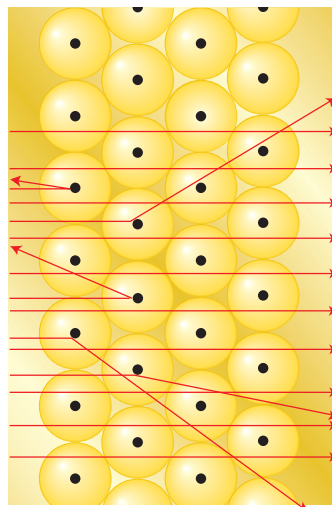
Il modello di Thomson fu abbandonato a seguito di un'esperienza compiuta in un laboratorio dell'università di Cambridge, in Gran Bretagna, nel 1911 dallo scienziato neozelandese E. Rutherford.



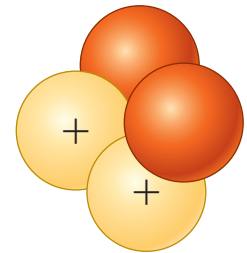
Rutherford studiava il comportamento delle particelle  $\alpha$  lanciate contro una sottilissima lamina di oro. Le particelle  $\alpha$  possono essere considerate come piccolissimi proiettili dotati di carica positiva: la loro massa è circa quattro volte quella dell'atomo di idrogeno e la loro carica positiva è il doppio di quella del protone (figura 6). Lo schermo fluorescente disposto intorno alla lamina d'oro registra l'impatto delle particelle  $\alpha$  e quindi rivela che cosa succede ai proiettili quando sono lanciati contro la lamina di oro. I risultati osservati dalla équipe di Rutherford furono i seguenti:

- la maggior parte delle particelle  $\alpha$  attraversava la lamina metallica come se essa non costituisse alcun ostacolo;
- alcune particelle subivano una deviazione più o meno grande rispetto alla linea immaginaria perpendicolare alla lamina;
- in pochissimi casi accadeva che la particella non attraversasse la lamina e rimbalzasse indietro.

Riflettendo su questi risultati, Rutherford cercò di immaginare ciò che incontravano le particelle  $\alpha$  nell'attraversare la lamina. Come mostra la figura 7, quasi tutte le particelle  $\alpha$  attraversano la lamina lasciandola indenne: esse non trovano ostacoli in grado di fermarle e la loro traiettoria non è deviata. Le pochissime particelle che ritornano indietro trovano un ostacolo insormontabile, evento che solo raramente si verifica. Questo ostacolo, concluse Rutherford, doveva essere «un nucleo piccolo e pesante dotato di carica positiva» capace quindi di esercitare una grande forza elettrica di repulsione sulle particelle  $\alpha$  che hanno anch'esse carica positiva. Le particelle  $\alpha$  che venivano deviate sono quelle la cui traiettoria passava vicino ai nuclei positivi.



▲ **Figura 5** Rappresentazione del modello atomico di Thomson: gli elettroni sono immersi in una sfera di carica positiva come «l'uvetta in un panettone».



▲ **Figura 6** Le particelle  $\alpha$  (lettera greca che si legge alfa) generate da una sorgente radioattiva hanno carica convenzionale  $+2$  poiché sono formate da due protoni e da due neutroni.

◀ **Figura 7** Per i suoi esperimenti Rutherford utilizzò lamine d'oro perché l'oro è un metallo molto malleabile: si possono ottenere spessori così sottili (0,0001 mm) da essere formati solamente da circa 400 strati di atomi.





▲ **Figura 8** Se si potesse comprimere la Luna in modo da far accostare tutte le particelle subatomiche, essa diventerebbe piccola come una sfera del diametro di circa 5 cm, pur conservandone tutta la massa. Possiamo così affermare che gli atomi sono praticamente fatti di vuoto!

## Il modello atomico nucleare

I risultati sperimentali ottenuti da Rutherford e confermati da altri ricercatori consentirono di elaborare un modello sulla struttura dell'atomo, cioè un'ipotesi teorica sulla disposizione delle particelle subatomiche, che venne chiamato *modello nucleare*.

- L'atomo può essere paragonato a una sfera al cui centro è posto il **nucleo**.
- Il nucleo dell'atomo è formato dai neutroni e dai protoni.
- Gli elettroni si muovono occupando un volume molto grande rispetto a quello del nucleo.

Da queste prime affermazioni ne conseguono altre.

- Il nucleo ha una carica elettrica positiva convenzionalmente uguale al numero dei protoni presenti.
- La massa dell'atomo è concentrata nel nucleo.
- Il volume dell'atomo è stabilito dalla nuvola di carica negativa degli elettroni in movimento. Il volume dell'atomo è circa un milione di miliardi più grande di quello del nucleo, perciò l'atomo ha un diametro che vale circa 100000 ( $10^5$ ) volte quello del suo nucleo.
- La maggior parte del volume dell'atomo è costituito dallo *spazio vuoto* occupato dagli elettroni in continuo movimento (**figura 8**).

Studi successivi hanno confermato la validità del modello nucleare specificando che gli elettroni si dispongono attorno al nucleo su più livelli caratterizzati da precisi valori di energia.

### PROVA TU

Immagina di ingrandire il nucleo di un atomo di idrogeno fino a farlo diventare grande come un pallone da minivolley (diametro = 20 cm).

- ▶ A quanti chilometri si muoverebbero gli elettroni più lontani?

## Un modello per l'elettrizzazione dei corpi

Come è stato sottolineato, la materia è costituita da atomi che a loro volta sono formati da particelle con carica positiva (i protoni) e da particelle con uguale carica negativa (gli elettroni). Queste particelle subatomiche sono presenti in ugual numero e quindi la materia è neutra. Secondo il modello atomico nucleare i protoni si trovano nel nucleo e gli elettroni ruotano attorno a diverse distanze. Gli elettroni negativi pertanto sono attratti dal nucleo positivo da una forza elettrica e, in base alla legge di Coulomb, gli elettroni più esterni sono meno attratti degli altri e quindi possono più facilmente trasferirsi quando si elettrizza un corpo.

L'elettrizzazione di un corpo che si ottiene a seguito dello strofinio è dovuta al trasferimento di elettroni da un corpo all'altro: se in uno prevale la carica positiva è certo che nell'altro prevale quella negativa.

*In generale, è lo spostamento degli elettroni che crea disparità di carica e quindi determina l'elettrizzazione dei corpi.*

La diversa forza che lega gli elettroni più lontani al nucleo di un atomo può essere utilizzata per interpretare la classificazione dei materiali in isolanti e conduttori.

- I *materiali isolanti* sono caratterizzati dal fatto che gli elettroni dei diversi atomi non sono liberi di spostarsi all'interno del corpo.
- I *materiali conduttori* sono caratterizzati dal fatto che alcuni elettroni sono mobili, cioè liberi di spostarsi all'interno del corpo.

## 3. Il campo elettrico

### Azioni a distanza e campi di forza

Abbiamo già visto che in alcune situazioni si manifestano forze tra corpi senza che gli stessi vengano a contatto tra loro: le forze gravitazionali e anche le forze elettriche sono esempi di *forze che agiscono a distanza*.

Il modello di interazione a distanza, su cui lo stesso Newton si era basato nell'elaborazione della teoria sulla gravitazione universale, non convinceva molti scienziati; essi erano restii ad accettare il principio per cui le forze a distanza si dovessero trasmettere istantaneamente e senza che fosse necessaria alcuna mediazione materiale, cioè un mezzo attraverso il quale si trasferisse l'azione-reazione.

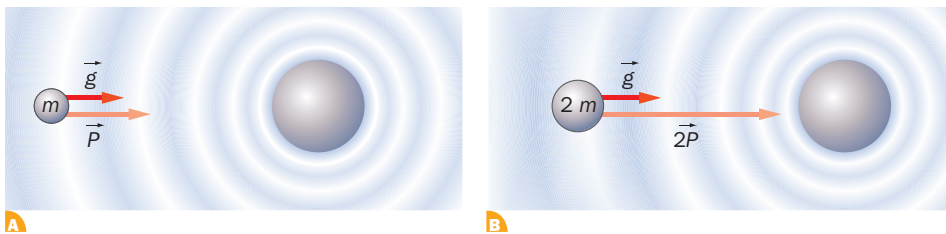
In effetti si può osservare che il modello dell'azione a distanza non è sempre lo stesso nelle varie situazioni: abbiamo visto per esempio che la forza gravitazionale è indipendente dal materiale interposto tra le due masse mentre nel caso di cariche elettriche la forza dipende dal tipo di materiale.

Grazie anche all'opera di grandi scienziati britannici come M. Faraday e J.C. Maxwell, oggi l'interpretazione dell'azione a distanza si basa sul concetto di **campo di forza** e per illustrare questo concetto è utile fare riferimento al *campo gravitazionale*. Sappiamo già che sulla Terra i corpi sono soggetti all'azione della forza gravitazionale chiamata peso. In base al concetto di campo, la forza di attrazione che la Terra esercita sui corpi viene spiegata considerando due fasi distinte: la Terra produce una alterazione dello spazio attorno ad essa chiamata campo gravitazionale e questo campo è in grado di esercitare una forza su un qualsiasi corpo presente in esso.

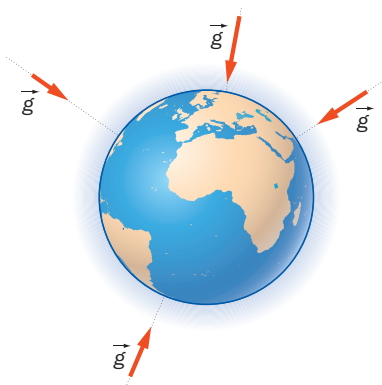
Un punto di forza della teoria del campo gravitazionale è dunque la capacità di descrivere lo spazio sulla base dell'azione che il campo stesso esercita su un corpo.

Per definire quantitativamente il campo gravitazionale dobbiamo disporre di un corpo la cui massa sia nota, misurare con un dinamometro la forza che agisce su di esso e calcolare il rapporto tra la forza peso e la massa. Questo rapporto definisce una nuova grandezza vettoriale chiamata *intensità del campo gravitazionale* ( $\vec{g}$ ) che corrisponde alla forza che agisce sull'unità di massa (figura 9):

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$



Pertanto l'unità di misura di  $\vec{g}$  nel Sistema Internazionale è il newton al chilogrammo (N/kg). Per definire il campo gravitazionale intorno al nostro pianeta dovremmo ripetere questa misura in più punti e a diverse distanze dalla superficie terrestre. Infatti, in ogni punto del campo gravitazionale si può determinare il vettore  $\vec{g}$ : il suo modulo vale  $P/m$ , la sua direzione, vicino alla superficie terrestre, è quella del raggio che ha per centro il centro della Terra, che passa per il punto dove si trova il corpo di massa  $m$  e punta verso il centro della Terra (figura 10).



### I protagonisti della scienza



Il chimico e fisico inglese **Michael Faraday** (1791-1867) elaborò le leggi fondamentali dell'elettrolisi tra il 1832 e il 1833. Per la loro piena comprensione però fu necessario attendere il nuovo secolo e i primi modelli sulla struttura degli atomi. Egli iniziò giovanissimo a seguire le lezioni al Royal Institution di Londra mentre lavorava come apprendista rilegatore da un librario. L'interesse per le lezioni gli fece redigere alcuni suoi appunti in perfetto stile calligrafico. Dopo averli rilegati li portò al famoso chimico H. Davy, che dopo averli letti gli consigliò di continuare la sua attività di rilegatore! Fortunatamente Faraday non seguì questo consiglio e divenne invece uno dei più famosi scienziati sperimentali del suo tempo.

#### ◀ Figura 9

**A)** In un punto del campo gravitazionale che ha intensità  $\vec{g}$  sul corpo di massa  $m$  agisce la forza  $\vec{P}$ .

**B)** Se nello stesso punto del campo poniamo un corpo di massa doppia, la forza  $\vec{P}$  che agisce su di esso ha intensità doppia.

◀ **Figura 10** L'intensità del campo gravitazionale è il vettore  $\vec{g}$ . In ogni punto della Terra e dello spazio che la circonda si può definire questo vettore, il cui modulo diminuisce via via che ci si allontana dal pianeta.

## Il campo elettrico

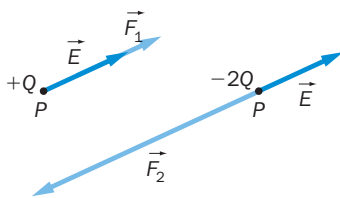
Estendendo il concetto di campo di forza alle interazioni tra cariche elettriche, si può affermare che quando una carica elettrica è soggetta a una forza significa che lo spazio in cui essa si trova è sede di un campo elettrico; pertanto possiamo enunciare la seguente definizione.

**Il campo elettrico** è lo spazio in cui una carica elettrica è soggetta a una forza; più grande è la forza che agisce sulla carica, maggiore è l'intensità del campo elettrico.

Pertanto in ogni punto del campo elettrico è definita una grandezza vettoriale che è chiamata **intensità del campo elettrico** ( $\vec{E}$ ):

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

intensità del campo elettrico (N/C)      forza (N)      carica elettrica di prova (C)



▲ **Figura 11** Nel punto  $P$  dello spazio c'è un campo elettrico di intensità  $\vec{E}$ . La carica elettrica positiva  $Q$  è soggetta a una forza  $\vec{F}_1 = Q \cdot \vec{E}$ . Una carica negativa  $-2Q$  posta nello stesso punto  $P$  è soggetta a una forza  $\vec{F}_2$  che ha modulo doppio, stessa direzione e verso opposto rispetto a  $\vec{F}_1$ . Si può anche notare che la direzione delle forze è la stessa di quella del campo.

L'intensità del campo elettrico esprime la forza che agisce sull'unità di carica e la sua unità di misura è il newton al coulomb (N/C).

L'intensità del campo elettrico viene rigorosamente definita misurando la forza  $\vec{F}$  che una determinata carica  $Q$  subisce quando è posta nel campo. Questa carica  $Q$  viene detta *carica di prova*, per convenzione è sempre positiva e deve essere molto piccola per non alterare il campo che si vuole misurare.

In ogni punto del campo elettrico il vettore  $\vec{E}$  risulta definito in questo modo: il suo modulo vale  $F/Q$ , la sua direzione e il suo verso sono quelli della forza che agisce sulla carica di prova.

Se invece poniamo nel campo una carica negativa, il verso del campo in quel punto non cambia, ma cambia il verso della forza che agisce sulla carica (figura 11). Naturalmente, poiché  $F = Q \cdot E$ , il modulo della forza che agisce in ogni punto del campo è tanto maggiore quanto maggiore è la carica  $Q$ .

Per rendere meno astratto il concetto di campo elettrico, abbiamo riportato nella **tabella 3** i dati relativi all'intensità del campo che si riferiscono ad alcune situazioni comuni.

**Tabella 3** Valori dell'intensità del campo elettrico in alcune situazioni comuni

Localizzazione del campo	Ordine di grandezza dell'intensità del campo (N/C)
vicino ai fili elettrici di conduzione in impianti domestici	$10^{-2}$
spazio attraversato da onde per trasmissioni radiofoniche	$10^{-1}$
bassa atmosfera	$10^2$
vicino a un pettine di plastica strofinato sui capelli	$10^3$
sotto una nube durante un temporale	$10^4$
vicino al rullo di una fotocopiatrice in funzione	$10^5$

### ESEMPIO

Su una carica  $Q_1 = 6,4 \cdot 10^{-6}$  C agisce una forza di intensità  $F_1 = 4,8 \cdot 10^{-2}$  N; vogliamo calcolare l'intensità del campo elettrico in quel punto. Vogliamo poi calcolare l'intensità della forza  $F_2$  che agisce su una carica  $Q_2 = -1,2 \cdot 10^{-5}$  C che si trova in quello stesso punto del campo elettrico. Per calcolare l'intensità del campo elettrico possiamo usare direttamente la formula che la definisce:

$$E = \frac{F_1}{Q_1} = \frac{4,8 \cdot 10^{-2} \text{ N}}{6,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

Misurata l'intensità del campo  $E$ , possiamo ricavare il modulo della forza  $F_2$  che agisce sulla carica  $Q_2$ :

$$F_2 = E \cdot Q_2 = 7,5 \cdot 10^3 \text{ N/C} \cdot (-1,2 \cdot 10^{-5} \text{ C}) = -9,0 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

Considerando anche l'aspetto vettoriale delle grandezze in gioco, i vettori  $\vec{E}$  e  $\vec{F}_1$  hanno la stessa direzione e lo stesso verso mentre  $\vec{F}_2$  ha verso opposto.

### PROVA TU

In un punto di un campo elettrico c'è una carica  $Q_1 = 2,5 \cdot 10^{-3}$  C sulla quale agisce una forza di intensità  $F_1 = 0,45$  N.

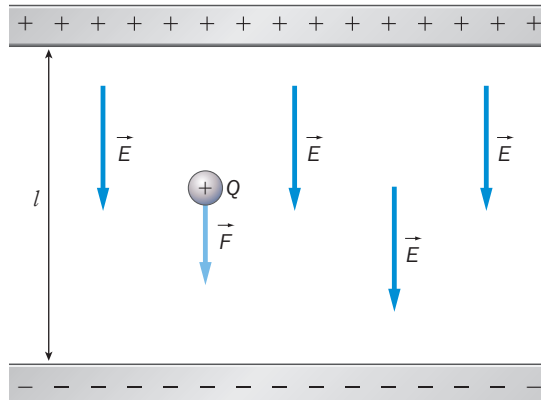
► Determina l'intensità del campo elettrico in quel punto e il modulo della forza  $F_2$  che agisce su una carica  $Q_2 = 1,5 \cdot 10^{-6}$  C, che si trova nello stesso punto del campo.

## 4. Energia elettrica e differenza di potenziale

### Energia potenziale elettrica

Consideriamo ora una situazione come quella presentata nella figura che segue.

Due piastre metalliche sono messe a una certa distanza, indicata con  $l$ , e disposte in modo che le superfici affacciate siano parallele. Le due piastre sono state caricate con cariche elettriche di segno opposto e in queste condizioni si verifica che lo spazio tra le superfici parallele è sede di un campo elettrico uniforme, cioè un campo elettrico in cui l'intensità del vettore  $\vec{E}$  è costante.



La direzione del vettore  $\vec{E}$  è perpendicolare alla superficie delle lastre e il verso corrisponde a quello della forza agente sulla carica  $Q$ .

Se la carica  $Q$  è positiva possiamo dire che essa può spostarsi verso la lamina negativa; la forza che spinge la carica  $Q$  è causata dal campo elettrico e la sua intensità, come sappiamo, vale  $F = Q \cdot E$ .

Dato che questa forza è costante, se essa agisce per uno spostamento uguale alla distanza  $l$  tra le lamine, il lavoro compiuto viene espresso dalla seguente relazione:

$$L = F \cdot s = Q \cdot E \cdot l$$

Questa relazione esprime il lavoro massimo che può fare il campo elettrico; infatti, se la carica, per esempio, si trovasse a metà strada tra le piastre il lavoro svolto durante lo spostamento sarebbe la metà.

Dato che conosciamo già la relazione che esiste tra lavoro ed energia, possiamo arrivare alla seguente conclusione di valore generale.

**!** Ogni carica posta in un campo elettrico è dotata di una forma di energia che si chiama **energia potenziale elettrica** ( $E_{pE}$ ).

Nel caso specifico del campo a intensità costante l'energia potenziale elettrica è espressa dalla seguente relazione:

$$E_{pE} = Q \cdot E \cdot l$$

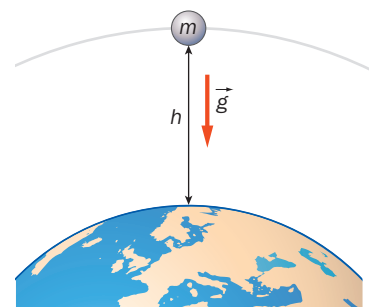
Abbiamo aggiunto al simbolo un indice per specificare la forma di energia e per distinguere il simbolo dell'energia da quello dell'intensità del campo elettrico; non si deve comunque dimenticare che l'intensità del campo elettrico, diversamente dall'energia, è una grandezza vettoriale.

Vogliamo inoltre far notare la stretta analogia che esiste tra questa relazione e quella che esprime l'energia potenziale gravitazionale di un corpo (figura 12).

### Differenza di potenziale elettrico

La relazione che definisce il lavoro elettrico nel caso delle piastre parallele può anche essere scritta nel modo seguente:

$$\frac{L}{Q} = E \cdot l$$



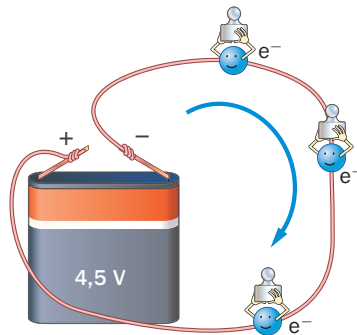
▲ **Figura 12** Il corpo di massa  $m$  si trova nel campo gravitazionale di intensità  $g$  ed è perciò soggetto alla forza  $m \cdot g$ ; quando il corpo cade da un'altezza  $h$ , la forza del campo compie un lavoro che vale  $m \cdot g \cdot h$ ; questa è anche la misura dell'energia potenziale gravitazionale  $E_{pg}$  che il corpo possiede in quanto si trova alla quota  $h$ :  $E_{pg} = m \cdot g \cdot h$ .

Vediamo ora il significato fisico che possiamo ricavare da questa espressione. Quando un sistema viene predisposto fissando il valore della distanza  $l$  e anche quello delle cariche  $Q$  accumulate sulle piastre, allora risulta definita l'intensità del campo elettrico. Possiamo perciò dire che il prodotto  $E \cdot l$  ha un valore definito e costante e di conseguenza anche il rapporto  $L/Q$  è definito e costante.

Il valore  $L/Q$  esprime il lavoro per unità di carica elettrica, e pertanto è una grandezza che non dipende dal valore della carica ma è una caratteristica del sistema.

**!** La capacità di un sistema di compiere lavoro spostando cariche elettriche è detta **differenza di potenziale elettrico** ( $\Delta V$ ).

$$\Delta V = \frac{L}{Q}$$



La differenza di potenziale elettrico è una grandezza scalare che si misura in joule su coulomb (J/C) e a questa unità di misura è stato dato il nome di **volt (V)** in onore dello scienziato italiano A. Volta, che realizzò per primo la *pila*, cioè un dispositivo in grado di generare una differenza di potenziale elettrico (figura 13).

L'importanza di questa nuova grandezza elettrica è resa evidente dalla sua stretta connessione con l'energia potenziale elettrica. Infatti la differenza

di potenziale elettrico corrisponde alla differenza tra l'energia elettrica che l'unità di carica ha sulla piastra D e l'energia elettrica che la stessa carica ha sulla piastra S. Il lavoro elettrico, che corrisponde a questa differenza di energia potenziale elettrica, dipende dunque sia dalla differenza di potenziale elettrico sia dalla quantità di carica:

$$L = \Delta E_{pE} = Q \cdot \Delta V$$

Questa relazione va tenuta presente per valutare l'energia in gioco nei trasferimenti di carica.

### ESEMPIO

Una pila in grado di generare una differenza di potenziale di 4,5 V viene fatta funzionare per un certo periodo di tempo durante il quale fa circolare la carica di 0,20 C.

Vogliamo calcolare il lavoro effettuato dalla pila.

Utilizziamo a tal fine la seguente relazione:

$$L = Q \cdot \Delta V = 0,20 \text{ C} \cdot 4,5 \text{ V} = 0,90 \text{ J}$$

### PROVA TU

Per spostare una carica tra due punti che hanno una differenza di potenziale di 500 V il campo elettrico compie un lavoro  $L = 55 \text{ J}$ . Calcola il valore della carica.

► **Figura 13** Nella figura gli elettroni sono rappresentati come pesi di una bilancia per sottolineare ancora una volta l'analogia tra il campo elettrico e quello gravitazionale; infatti l'energia in gioco nel campo gravitazionale dipende sia dalla massa del corpo sia dalla differenza di potenziale gravitazionale.



▲ **Figura 14** I fenomeni elettrostatici si manifestano soprattutto quando l'aria è particolarmente secca.

Diversamente dall'esempio proposto, ci sono altre situazioni che si verificano spesso nella vita quotidiana in cui le cariche in gioco sono molto più piccole di 0,20 C, ma esse vengono mosse da differenze di potenziale molto più grandi.

Infatti ci sarà capitato di osservare e avvertire il rumore di piccole scariche elettriche, per esempio quando ci passiamo un pettine di plastica tra i capelli oppure quando ci togliamo un maglione (figura 14). Questi fenomeni si spiegano considerando che le differenze di potenziale che si creano nelle situazioni descritte possono arrivare fino a qualche migliaio di volt ( $10^3 \text{ V}$ ). Anche se possono infastidire, queste scariche non sono pericolose poiché le cariche in movimento sono dell'ordine del milionesimo di coulomb ( $10^{-6} \text{ C}$ ) e quindi, in base alla relazione  $E = Q \cdot \Delta V$ , l'energia in gioco ha un ordine di grandezza di  $10^{-3} \text{ J}$ .


## 5. La corrente elettrica e le leggi di Ohm

### La corrente elettrica


Abbiamo già studiato che un corpo conduttore si può caricare per contatto con un secondo corpo conduttore carico. Il trasferimento di carica avviene perché nei materiali conduttori gli elettroni sono liberi di muoversi così che, a seguito del contatto, la carica in eccesso si ridistribuisce tra i due corpi fino al raggiungimento di una nuova situazione di equilibrio.

Riprendiamo in considerazione il fenomeno del trasferimento di carica ed esaminiamolo ora dal punto di vista del potenziale elettrico. Se i due corpi conduttori non sono in contatto e hanno potenziale elettrico diverso, esiste tra loro una differenza di potenziale, detta anche *tensione elettrica*; questa grandezza, come sappiamo, ha come simbolo  $\Delta V$  ma può anche essere rappresentata con l'abbreviazione *ddp*.

Ebbene, se colleghiamo tra loro i conduttori per mezzo di un filo anch'esso conduttore, la *ddp* esistente tra le due estremità determina nel filo un campo elettrico che mette in movimento gli elettroni: il trasferimento di cariche si ferma quando il campo elettrico all'interno dei conduttori è nullo, cioè quando i due corpi hanno assunto lo stesso potenziale e si è perciò creata una situazione di equilibrio.

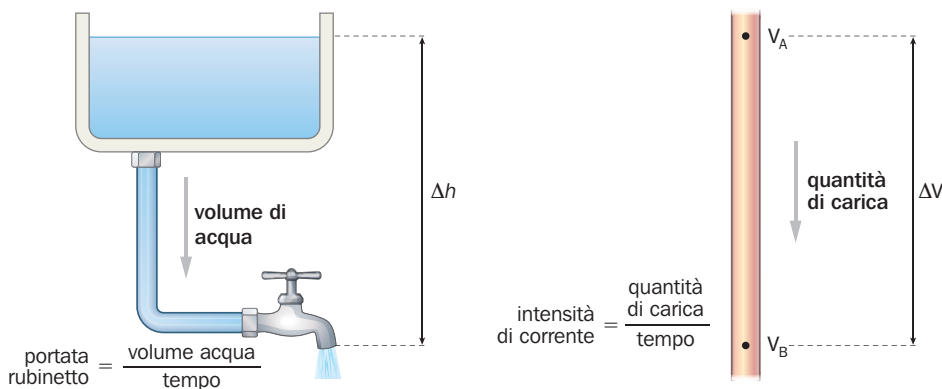
 In generale chiamiamo **generatore elettrico** un dispositivo capace di creare e mantenere una differenza di potenziale costante tra due punti diversi (detti anche *poli*) di un conduttore.

Quando un corpo conduttore viene collegato a un polo di un generatore ne assume il potenziale. Per quanto abbiamo spiegato in precedenza, collegando tra loro i poli di un generatore per mezzo di un filo conduttore le cariche elettriche si mettono in movimento senza raggiungere mai l'equilibrio perché il generatore mantiene sempre una differenza di potenziale tra i poli.

 Si definisce **corrente elettrica** un flusso continuo di cariche elettriche determinato da una differenza di potenziale creata da un generatore.

Per comprendere meglio che cosa è una corrente elettrica si può fare riferimento al flusso dell'acqua che esce da un rubinetto; ciò è reso possibile da una differenza di pressione creata da una pompa o dovuta a un dislivello tra il serbatoio dell'acqua e il rubinetto; in linguaggio scientifico diciamo che c'è una differenza di potenziale gravitazionale.

Analogamente, tra due punti di un circuito elettrico la carica elettrica può circolare con continuità e quindi creare una corrente solo se tra essi viene mantenuta una differenza di potenziale elettrico (figura 15).



### I protagonisti della scienza



Il fisico, matematico e chimico francese **André-Marie Ampère** (1775-1836) rivelò un precoce talento matematico, una memoria straordinaria e una notevole attitudine per le lingue. Suo padre, giudice di pace, fu ghigliottinato nel 1793 dall'esercito della Convenzione e pochi anni dopo anche sua moglie morì dando alla luce un figlio. La sua vita scientifica fu meno traumatica anche se, nei primi tempi, dovette guadagnarsi da vivere dando lezioni private di matematica. La fama di Ampère è dovuta principalmente al servizio che rese alla scienza nello stabilire le relazioni tra elettricità e magnetismo e nello sviluppo della scienza dell'elettromagnetismo.

◀ **Figura 15** Il disegno mostra l'analogia tra il flusso di acqua che esce da un rubinetto e il flusso di corrente elettrica in un circuito.

Sappiamo anche che la *portata* della conduttura corrisponde al volume di acqua che esce da un rubinetto nell'unità di tempo; in modo analogo, considerando il filo metallico come una conduttura attraverso la quale fluisce carica elettrica e misurando la quantità di carica elettrica che percorre il filo in un certo intervallo di tempo, possiamo definire l'**intensità di corrente elettrica ( $I$ )**:

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

intensità di corrente (A)      carica elettrica (C)      intervallo di tempo (s)

L'unità di misura dell'intensità di corrente nel Sistema Internazionale è l'**ampere (A)**, dal nome dello scienziato francese A.M. Ampère. Possiamo perciò dire che in un conduttore *circola corrente con intensità di 1 A quando attraverso una sezione del conduttore passa la carica di 1 C ogni secondo*.

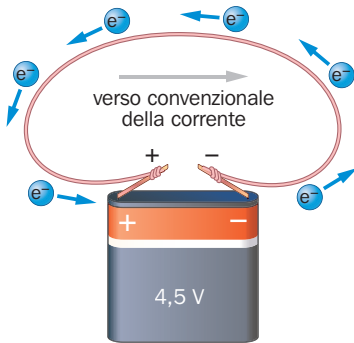
Nel Sistema Internazionale l'intensità di corrente elettrica è una grandezza fondamentale; questa scelta è giustificata dal fatto che risulta più agevole riprodurre il campione della intensità di corrente piuttosto che il campione di carica elettrica. Di conseguenza la quantità di carica elettrica è una grandezza derivata, definita dalla relazione  $Q = I \cdot \Delta t$ ; infatti la sua unità di misura, il coulomb, è definita precisamente come la carica elettrica che passa nell'intervallo di tempo di 1 s in un conduttore percorso da corrente con intensità 1 A.

Nella maggior parte delle situazioni pratiche si ha a che fare con correnti aventi intensità minore di 1 A, perciò si usano spesso i sottomultipli: il *milliampere* ( $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ) e il *microampere* ( $1 \text{ }\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ ). L'intensità di corrente elettrica è una grandezza scalare.

Per convenzione si è stabilito che la corrente elettrica è un flusso di cariche che si muovono dal polo positivo (cioè quello a potenziale maggiore) al polo negativo; come sappiamo, nei conduttori metallici sono le cariche negative, gli elettroni, che si muovono e quindi vanno dal polo negativo al polo positivo.

Quando in un circuito elettrico la corrente fluisce sempre nella stessa direzione si dice che è **corrente continua**. Le pile sono generatori che producono corrente continua (figura 16). La corrente che circola nella rete elettrica nelle nostre case ha invece la caratteristica di invertire con periodicità il verso e pertanto è detta **corrente alternata**.

Sugli apparecchi elettrici la corrente continua è indicata con la sigla DC (–), dall'inglese *direct current*, mentre la corrente alternata è indicata con la sigla AC (–), da *alternating current*.



▲ **Figura 16** Le pile sono generatori elettrici in cui la *ddp* tra i poli è determinata da reazioni chimiche. Collegando i poli tramite un filo conduttore si genera una corrente elettrica costituita da un flusso di elettroni che si muovono all'interno del conduttore.

### ESEMPIO

Vogliamo calcolare la carica elettrica trasportata in un conduttore da una corrente con intensità  $I = 0,054 \text{ A}$  nel tempo di 1,5 min. Possiamo utilizzare la formula che definisce l'intensità di corrente elettrica, ricordandoci che il tempo va espresso in secondi:

$$Q = I \cdot \Delta t = 0,054 \text{ A} \cdot 90 \text{ s} = 4,9 \text{ C}$$

### PROVA TU

Attraverso un conduttore è passata una quantità di carica elettrica  $Q = 6,0 \text{ C}$  in un intervallo di tempo pari a 25 s. Calcola l'intensità della corrente elettrica.

## La resistenza elettrica e la prima legge di Ohm

Si può facilmente verificare che se si applica la stessa *ddp* all'estremità di due conduttori di uguali dimensioni ma di diverso materiale, per esempio uno di rame e uno di grafite, l'intensità di corrente che percorre i due fili è diversa: la corrente che circola nella bacchetta di rame è maggiore di quella che circola in quella di grafite.

Il rapporto tra la differenza di potenziale applicata ( $\Delta V$ ) e l'intensità di corrente ( $I$ ) definisce una nuova grandezza, caratteristica di ciascun conduttore, cioè quella di op-

porre più o meno resistenza al passaggio della corrente; si è quindi deciso di chiamare questa grandezza **resistenza elettrica** o, semplicemente, *resistenza*:

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

resistenza elettrica ( $\Omega$ )
differenza di potenziale (V)
intensità di corrente (A)

Allo studio della relazione tra differenza di potenziale e corrente si dedicò il fisico tedesco G.S. Ohm nella prima metà del XIX secolo. In suo onore nel Sistema Internazionale l'unità di misura della resistenza elettrica si chiama ohm ( $\Omega$ ). Il simbolo che la indica ( $\Omega$ ) è la lettera «omega» dell'alfabeto greco. Per come è definito, l'ohm è una unità di misura piccola e quindi molto spesso è necessario utilizzare i suoi multipli, come il *kiloohm* ( $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$ ) e il *megaohm* ( $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$ ).

Ohm si dedicò in particolare agli studi sui conduttori metallici e riuscì a determinare sperimentalmente come cambia  $I$  al variare di  $\Delta V$  (figura 17).

Ohm giunse alla conclusione che nei metalli, a temperatura costante, vi è una relazione di proporzionalità diretta tra le due grandezze e che la costante di proporzionalità è proprio la resistenza elettrica del conduttore:

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

Questa legge sperimentale, nota come **prima legge di Ohm**, può essere così enunciata.



Fissata la temperatura, l'intensità della corrente elettrica che circola in un conduttore è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale applicata.

I conduttori che rispettano la legge di Ohm sono detti conduttori ohmici e questo significa che, a temperatura costante, presentano un valore di resistenza indipendente dalla differenza di potenziale applicata; si comportano in questo modo quasi tutti i metalli e anche le soluzioni elettrolitiche diluite.

La precisazione sulla temperatura è importante perché, in genere, la resistenza dei materiali dipende dalla temperatura. I metalli, per esempio, sono conduttori ohmici la cui resistenza aumenta al crescere della temperatura (figura 18).

### ESEMPIO

Vogliamo determinare l'intensità della corrente elettrica che percorre un filo di rame ( $R = 25 \Omega$ ), quando la differenza di potenziale applicata misura 12 V.

Dato che il filo di rame si comporta come un conduttore ohmico, possiamo applicare la prima legge di Ohm:

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{12 \text{ V}}{25 \Omega} = 0,48 \text{ A}$$

### PROVA TU

Calcola la resistenza di un conduttore ohmico in cui circola una corrente di 23 mA per effetto di una ddp che vale 6,0 V.

## La seconda legge di Ohm

Con i suoi esperimenti Ohm verificò che la resistenza elettrica di un conduttore dipende non solo dal materiale di cui è costituito ma anche dalle sue caratteristiche geometriche; egli formulò quindi un'altra legge sperimentale nota come **seconda legge di Ohm**.



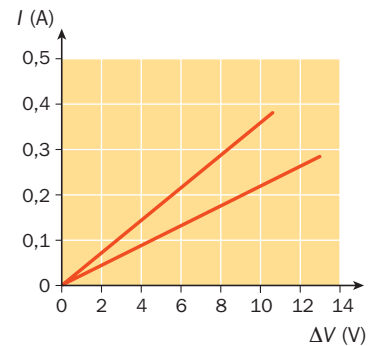
La resistenza elettrica di un conduttore di sezione costante è proporzionale alla sua lunghezza ( $l$ ) e inversamente proporzionale all'area ( $A$ ) della sezione.

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

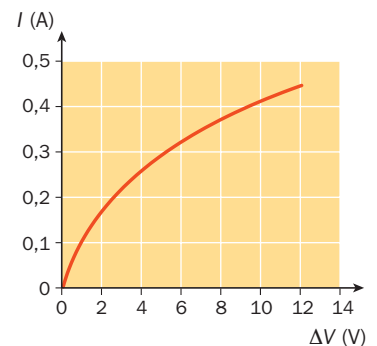
resistenza ( $\Omega$ )
lunghezza del conduttore (m)
area ( $\text{m}^2$ )

resistività ( $\Omega \cdot \text{m}$ )

La costante di proporzionalità  $\rho$  (lettera greca che si pronuncia «rho») è la resistenza specifica o *resistività*, grandezza che dipende dal materiale di cui è fatto il conduttore



▲ **Figura 17** In molti conduttori metallici la corrente è proporzionale alla differenza di potenziale. La loro curva caratteristica è una retta. La retta che ha pendenza maggiore corrisponde al conduttore che ha resistenza minore. Infatti, a parità di  $\Delta V$ , l'intensità di corrente è maggiore nel conduttore con resistenza minore.



▲ **Figura 18** Nella figura è rappresentata la curva  $I-\Delta V$  che si riferisce a una vecchia lampadina a incandescenza. Il filamento di tungsteno è un conduttore ohmico, tuttavia la sua resistenza non è costante e aumenta al crescere di  $I$  in quanto all'aumentare del flusso di corrente elettrica aumenta la temperatura del filamento.



**I protagonisti della scienza**



Il fisico tedesco **Georg Simon Ohm** (1787 – 1854), figlio di un fabbro, frequentò l'università di Erlangen. Nel 1817 divenne professore di matematica in una scuola superiore nel collegio gesuitico di Colonia. I suoi studi relativi ai concetti di carica elettrica, forza elettromotrice e intensità di corrente lo portarono a pubblicare a Berlino nel 1827 un testo fondamentale, *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet*. Purtroppo le sue idee furono respinte dai colleghi e quindi fu costretto a dimettersi dall'insegnamento nel collegio. Visse in condizioni di povertà e di emarginazione fino a quando fu assunto nel 1833 al politecnico di Norimberga. Solamente nel 1852 ebbe la cattedra di fisica sperimentale, per cui aveva lottato tutta la sua vita, all'università di Monaco, dove morì nel 1854.

**Tabella 4** Resistenza specifica di alcuni materiali solidi a 20 °C.

Conduttori	Resistività ( $\Omega \cdot m$ )	Semiconduttori (s.c.) e isolanti	Resistività ( $\Omega \cdot m$ )
argento	$1,6 \cdot 10^{-8}$	germanio (s.c.)	0,59
rame	$1,7 \cdot 10^{-8}$	silicio (s.c.)	625
oro	$2,2 \cdot 10^{-8}$	carta	$10^{10}$
alluminio	$2,7 \cdot 10^{-8}$	vetro	$10^{12}$
ferro	$1,1 \cdot 10^{-7}$	porcellana	$10^{12}$
costantana (lega)	$4,5 \cdot 10^{-7}$	PVC	$10^{13}$
nichel-cromo (lega)	$1,1 \cdot 10^{-6}$	polistirolo	$> 10^{14}$
grafite	$10^{-5}$	plexiglas	$> 10^{19}$

e dalla temperatura. La sua unità di misura è ohm per metro ( $\Omega \cdot m$ ). La resistività rappresenta dunque la resistenza di un conduttore, ipotetico, costruito con un certo materiale, di lunghezza 1 m e di sezione  $1 m^2$ . Possiamo anche dire che  $\rho$  misura una proprietà specifica dei materiali, cioè la loro capacità di opporsi al passaggio della corrente. La **tabella 4** riporta la resistività di alcuni materiali solidi. I conduttori usati nei collegamenti elettrici, come per esempio i fili elettrici o le basi dei circuiti stampati, devono avere una resistenza molto piccola e per questo motivo sono di solito costituiti di rame, metallo che ha una resistività molto bassa.

Utilizzando la seconda legge di Ohm è dunque possibile ricavare il valore della resistenza di molti comuni conduttori, quale ad esempio un filo elettrico.

**ESEMPIO**

Vogliamo determinare la resistenza elettrica di un filo di rame lungo 20 m il cui diametro misura 0,60 mm.

Anzitutto dobbiamo calcolare l'area della sezione del filo:

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (0,30 \text{ mm})^2 = 0,28 \text{ mm}^2 = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

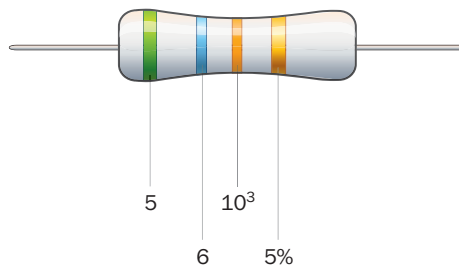
A questo punto, utilizzando il valore della resistività riportato nella tabella 4, possiamo calcolare la resistenza del filo di rame:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m \cdot \frac{20 \text{ m}}{2,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2} = 1,2 \Omega$$

**PROVA TU**

Calcola la resistenza di un filo di nichel-cromo di diametro 0,20 mm e lungo 4,0 m.

► **Figura 19** Per identificare i resistori si usa spesso un codice a colori: sul resistore sono impresse quattro strisce colorate; i colori delle prime due indicano il valore della resistenza, la terza striscia indica l'esponente della potenza di 10, la quarta la tolleranza. Quindi, per esempio: verde (= 5), blu (= 6), arancio (= 3), oro (= 5%) significa di resistenza di  $56 \cdot 10^3 \Omega$  con tolleranza del 5%.



**Tabella 5** Codice dei colori usati per i resistori.

Colore	Cifra	Tolleranza ( $\pm$ )
nero	0	marrone 1%
marrone	1	rosso 2%
rosso	2	oro 5%
arancione	3	argento 10%
giallo	4	nessuno 20%
verde	5	
blu	6	
viola	7	
grigio	8	
bianco	9	

## 6. I costituenti fondamentali di un circuito elettrico

Si chiama *circuito elettrico* un generico percorso chiuso in cui le cariche elettriche possono muoversi con continuità. Esso è costituito da un insieme di componenti elettrici collegati tra loro mediante fili conduttori; i componenti possono essere soltanto due, come la pila e la lampadina presenti in una torcia elettrica, oppure milioni, come quelli, microscopici, all'interno di un computer.

Il componente fondamentale di un circuito è il *generatore*: esso è capace di mantenere una differenza di potenziale tra i due punti del circuito a cui è collegato. Le pile e le batterie, per esempio, sono generatori di differenza di potenziale continua e costante con un polo positivo e uno negativo. I generatori sono sorgenti di **forza elettromotrice (fem)**, altro termine con il quale si indica la differenza di potenziale che essi sono in grado di realizzare e mantenere nel tempo. È necessario precisare che molto spesso il generatore si trova nella parte del circuito che non possiamo vedere: per esempio, la differenza di potenziale che fa circolare la corrente elettrica nel circuito delle nostre case viene generata da un impianto (centrale elettrica) che si trova di solito a grande distanza. Altre caratteristiche di un generatore sono l'intensità di corrente massima che può erogare e la potenza (figura 20).

► **Figura 20** Se le pile sono dello stesso tipo, per esempio alcaline, e hanno lo stesso voltaggio, si può affermare che la pila di dimensioni maggiori può erogare una quantità di carica



Per semplificare lo studio dei circuiti elettrici, che possono essere anche molto complessi, si utilizzano gli *schemi elettrici*. In uno schema elettrico i vari componenti del circuito sono rappresentati con simboli, collegati tra loro da linee continue che rappresentano i fili elettrici (tabella 6).

Il funzionamento di un circuito elettrico reale non dipende dal percorso dei fili, che può essere anche molto tortuoso; tuttavia negli schemi elettrici i collegamenti sono tracciati nel modo più chiaro e lineare possibile.

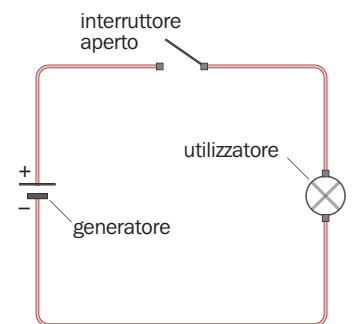
Il più semplice circuito elettrico è quello che si ottiene collegando al generatore un *utilizzatore*, cioè un dispositivo che per funzionare richiede corrente elettrica, come una lampadina o un motore elettrico. Anche l'utilizzatore ha due poli, ciascuno dei quali va collegato a un polo del generatore.

Per funzionare, il circuito deve essere *chiuso* e la corrente circola, convenzionalmente, dal polo positivo al polo negativo della pila, attraversando così la lampadina. Se il circuito è *aperto* non c'è passaggio di corrente; l'apertura o la chiusura del circuito si ottiene mediante un dispositivo chiamato *interruttore* (figura 21).

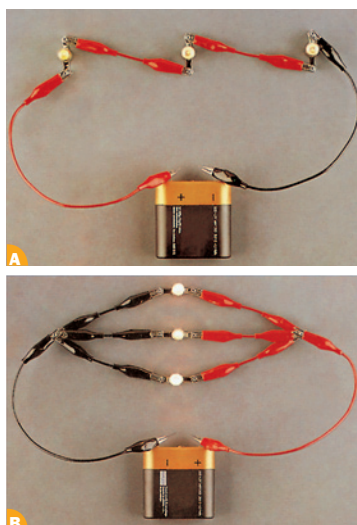
Come si è detto, il collegamento tra i componenti del circuito avviene tramite un filo elettrico costituito da un materiale conduttore, di solito rame, normalmente isolato con una guaina di plastica. I fili elettrici, se non sono molto lunghi, hanno una resistenza elettrica piuttosto piccola che di solito è trascurabile rispetto a quella

**Tabella 6** Rappresentazione simbolica dei componenti dei circuiti elettrici.

	resistore
	resistore utilizzatore
	batteria
	lampadina
	generatore di corrente alternata
	voltmetro
	amperometro
	interruttore aperto



▲ **Figura 21** Lo schema di un *circuito elettrico* costituisce una semplificazione della realtà. Nelle rappresentazioni di un circuito si considera sempre trascurabile la resistenza elettrica dei fili di collegamento. Nel ramo superiore del circuito è indicato l'interruttore che serve per aprire o chiudere il circuito.



▲ **Figura 22**

**A)** La corrente erogata dal generatore attraversa le tre lampadine, che sono collegate in serie. La differenza di potenziale ai poli del generatore si ripartisce sulle tre lampadine:  $ddp = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$ . Se le lampadine sono uguali si ha:  $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3$ .

**B)** Se le tre lampadine sono collegate in parallelo, a ciascuna di esse è applicata la stessa  $ddp$  che è quella del generatore.

La corrente di intensità  $I$  erogata dal generatore si ripartisce nelle tre lampadine in modo che  $I = I_1 + I_2 + I_3$ . Se le lampadine sono uguali si ha:  $I_1 = I_2 = I_3$ .

dell'utilizzatore. Per questo motivo, se incidentalmente si collegano tra loro direttamente i poli del generatore si ottiene un *cortocircuito*, con il risultato di scaricare la pila o di danneggiare il generatore stesso. Il cortocircuito causa un passaggio molto intenso delle cariche da un polo all'altro (senza che queste passino attraverso un utilizzatore) e quindi provoca un forte riscaldamento dei conduttori fino a danneggiare il circuito.

Alcuni componenti elettrici come le lampadine e i resistori possono essere inseriti nel circuito senza riguardo alla polarità, nel senso cioè che la corrente elettrica può attraversarli indifferentemente in entrambi i sensi. Nel caso di circuiti alimentati in corrente continua l'inserimento di alcuni componenti invece deve avvenire in base alla polarità degli stessi, come per esempio i LED usati come spie luminose.

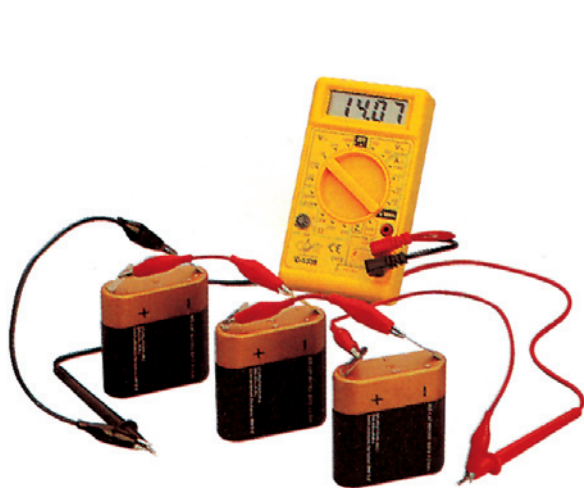
In generale un circuito elettrico è costituito da molti componenti che possono essere collegati in vari modi. Di particolare interesse sono i cosiddetti *collegamenti in serie e in parallelo*.

- Due o più componenti del circuito sono **collegati in serie** quando sono attraversati dalla stessa corrente. In questo caso hanno un polo in comune e la corrente che attraversa il primo componente attraversa anche il secondo, e così via. Per quanto riguarda la  $ddp$  del generatore, essa si ripartisce tra tutti i componenti. Se per esempio abbiamo tre lampadine uguali collegate in serie e alimentate da un generatore da 4,5 V, ai capi di ciascuna lampadina esiste una  $ddp$  di 1,5 V (figura 22A).
- Due o più componenti del circuito elettrico sono **collegati in parallelo** quando è applicata a tutti la stessa  $ddp$ . In questo caso tutti i componenti hanno entrambi i poli in comune e la corrente totale si distribuisce tra i componenti per poi riunirsi (figura 22B).

Tutti gli apparecchi elettrici che utilizzano la rete di casa sono collegati in parallelo. Se per esempio un lampadario ha più lampadine, queste sono collegate in parallelo per cui, quando una lampadina smette di funzionare il circuito non si interrompe e le altre continuano a rimanere accese.

Anche i generatori, con certe precauzioni, possono essere collegati in serie o in parallelo; questo avviene comunemente nelle apparecchiature che utilizzano più pile.

Occorre tener presente che un insieme di pile collegate in serie fornisce una *fem* totale pari alla somma delle *fem* delle singole pile; se invece le pile sono collegate in parallelo, è la corrente totale che è pari alla somma delle correnti erogate dalle singole pile.



**collegamento in serie:** la *fem* rilevata dallo strumento è pari alla somma delle *fem* delle singole pile.



**collegamento in parallelo:** la *fem* rilevata dallo strumento corrisponde a quella di una singola pila.

## 7. Misure e calcoli in un circuito elettrico

### La resistenza equivalente

L'espressione «risolvere un circuito» significa determinare la *ddp* e l'intensità della corrente per ogni suo componente.

Nel caso di un circuito formato da un insieme di resistori  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  collegati in vario modo, è utile definire la cosiddetta *resistenza equivalente*.

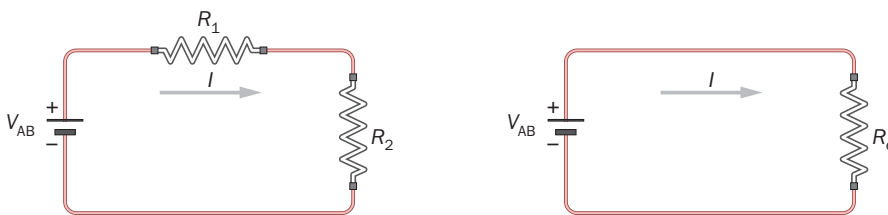
Si chiama **resistenza equivalente** ( $R_e$ ) la resistenza che possiamo sostituire all'insieme delle resistenze presenti nel circuito senza che si determinino variazioni di corrente e di differenza di potenziale ai capi del generatore.

In questo modo, immaginando di sostituire un insieme di resistenze con un'unica resistenza, semplifichiamo il circuito e ne rendiamo più semplice lo studio.

### Resistenze in serie

Per determinare il valore della resistenza equivalente di due o più resistori collegati in serie si devono sommare i valori delle singole resistenze (figura 23):

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



◀ **Figura 23** Si può affermare che  $R_e$  è equivalente ai resistori  $R_1$  e  $R_2$  collegati in serie solo se la corrente nei due circuiti è la stessa.

Da questa regola, valida per le resistenze in serie, deriva quanto segue:

- la resistenza equivalente è sempre maggiore di ogni singola resistenza;
- se una resistenza è molto maggiore delle altre, essa è praticamente la resistenza equivalente;
- resistenze molto piccole, come per esempio quelle dei fili di collegamento, sono di solito trascurabili se sono collegate in serie con resistenze molto maggiori;
- la differenza di potenziale applicata ai capi di ogni singola resistenza nella serie si ripartisce in modo proporzionale al valore di ciascuna.

### ESEMPIO

Un circuito è costituito da una batteria con *fem* di 12 V e da due resistori  $R_1 = 20 \Omega$  e  $R_2 = 30 \Omega$  collegati in serie. Vogliamo determinare la corrente che passa nel circuito e la differenza di potenziale ai capi di ciascun resistore.

Calcoliamo innanzitutto la resistenza equivalente a  $R_1$  e  $R_2$ :

$$R_e = R_1 + R_2 = 20 \Omega + 30 \Omega = 50 \Omega$$

Ora possiamo applicare la legge di Ohm; indicando con  $\Delta V_{\text{tot}}$  la *ddp* applicata a  $R_e$  scriveremo:

$$I = \Delta V_{\text{tot}} / R_e = 12 \text{ V} / 50 \Omega = 0,24 \text{ A}$$

La differenza di potenziale ai capi di ciascun resistore vale:

$$\Delta V_1 = R_1 \cdot I = 20 \Omega \cdot 0,24 \text{ A} = 4,8 \text{ V}$$

$$\Delta V_2 = R_2 \cdot I = 30 \Omega \cdot 0,24 \text{ A} = 7,2 \text{ V}$$

Possiamo infine verificare che:

$$\Delta V_1 + \Delta V_2 = 7,2 \text{ V} + 4,8 \text{ V} = 12,0 \text{ V} = \Delta V_{\text{tot}} = \textit{fem}$$

### PROVA TU

Un circuito elettrico è costituito da una batteria e da due resistori  $R_1 = 100 \Omega$  e  $R_2 = 20 \Omega$  collegati in serie.

► Sapendo che la corrente che circola vale  $I = 0,075 \text{ A}$ , determina la *ddp* ai capi di ciascun resistore e la *fem* della batteria.

### Resistenze in parallelo

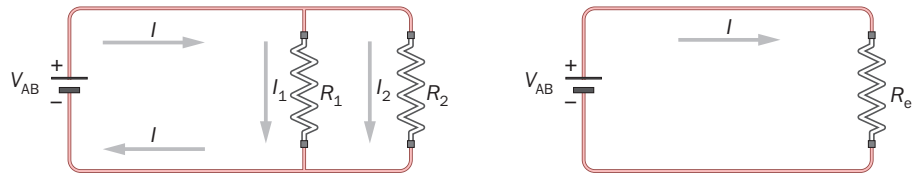
Per determinare il valore della resistenza equivalente di due o più resistori collegati in parallelo occorre tener presente che la somma dell'inverso dei valori delle singole resistenze corrisponde all'inverso della resistenza equivalente (figura 24).

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Nel caso le resistenze in parallelo siano soltanto due il valore della resistenza equivalente si ricava con la seguente relazione:

$$R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

► **Figura 24** Si può affermare che  $R_e$  è equivalente ai due resistori  $R_1$  e  $R_2$  collegati in parallelo soltanto se la corrente totale  $I$  nei due circuiti è la stessa.



Anche da questa regola per le resistenze in parallelo si possono trarre alcune conseguenze:

- la resistenza equivalente è sempre minore di ogni singola resistenza;
- la resistenza equivalente di due resistenze uguali vale la metà di ciascuna;
- se una resistenza è molto minore delle altre, essa è praticamente la resistenza equivalente;
- la corrente totale si divide in modo inversamente proporzionale alle singole resistenze.

#### ESEMPIO

Un circuito è costituito da una batteria con *fem* di 12 V e da due resistori  $R_1 = 40 \Omega$  e  $R_2 = 60 \Omega$  collegati in parallelo. Vogliamo determinare la resistenza equivalente, la corrente totale nel circuito e la corrente in ciascun resistore.

Anzitutto calcoliamo il valore della resistenza equivalente:

$$R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{40 \Omega \cdot 60 \Omega}{40 \Omega + 60 \Omega} = 24 \Omega$$

Ora, in base alla legge di Ohm, possiamo calcolare la corrente totale e la corrente che attraversa ogni singola resistenza:

$$I_{\text{tot}} = \Delta V_{\text{tot}} / R_e = 12 \text{ V} / 24 \Omega = 0,50 \text{ A}$$

$$I_1 = \Delta V_{\text{tot}} / R_1 = 12 \text{ V} / 40 \Omega = 0,30 \text{ A}$$

$$I_2 = \Delta V_{\text{tot}} / R_2 = 12 \text{ V} / 60 \Omega = 0,20 \text{ A}$$

Anche in questo caso si può verificare che

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 = 0,30 \text{ A} + 0,20 \text{ A} = 0,50 \text{ A}$$

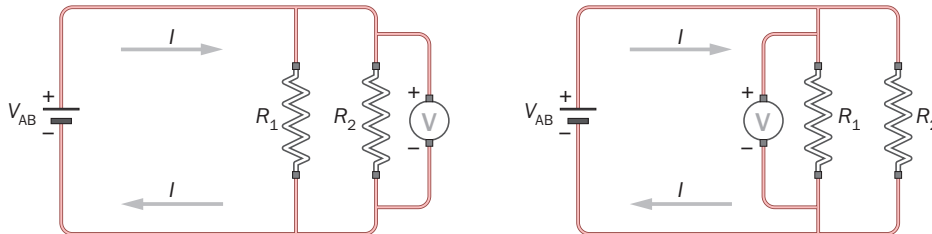
#### PROVA TU

Un circuito è costituito da una batteria e da due resistori collegati in parallelo con  $R_1 = 70 \Omega$  e  $R_2 = 30 \Omega$ . Sapendo che la corrente che circola in  $R_1$  vale  $I_1 = 0,60 \text{ A}$ , determina la *ddp* ai capi di ciascun resistore, la corrente attraverso  $R_2$ , la corrente totale e la resistenza equivalente.

## Le misure in un circuito: il voltmetro e l'amperometro

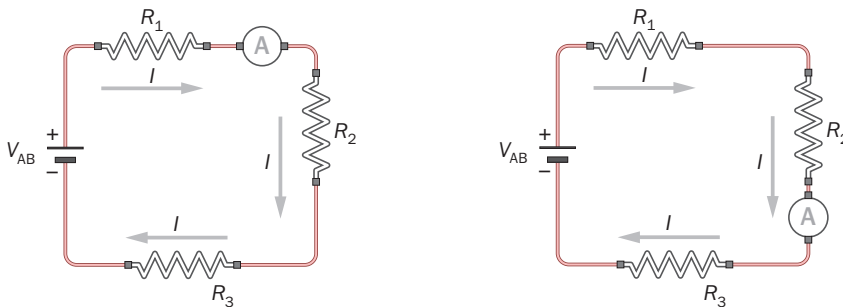
La misurazione delle grandezze elettriche, come la differenza di potenziale e l'intensità di corrente, ha grande importanza nello studio dei circuiti elettrici. Vediamo dunque quali sono le caratteristiche fondamentali degli strumenti di misura e le operazioni necessarie per la loro corretta utilizzazione.

La differenza di potenziale si misura con il **voltmetro**; lo strumento deve essere inserito in parallelo, cioè collegando i poli dello strumento con i due punti del circuito tra i quali si vuole misurare la *ddp* (figura 25).



◀ **Figura 25** Se si deve misurare la differenza di potenziale ai capi dei resistori  $R_1$  e  $R_2$  posti in parallelo, il voltmetro deve essere inserito in parallelo, collegandolo, senza interrompere il circuito, indifferentemente ai capi di uno dei due resistori.

L'intensità della corrente che circola in un circuito elettrico si misura con l'**amperometro**. Questo strumento deve essere inserito *in serie* con il tratto (o *ramo*) di circuito di cui si vuole misurare la corrente. L'amperometro deve essere attraversato dalla corrente che si vuole misurare, perciò si deve interrompere il circuito e inserire lo strumento (figura 26).



◀ **Figura 26** Se si deve misurare l'intensità di corrente nel circuito l'amperometro deve essere inserito in serie e può essere collocato indifferentemente in qualunque punto del circuito, dato che l'intensità di corrente è comunque la stessa.

Come qualunque componente dei circuiti, anche amperometro e voltmetro hanno una loro resistenza elettrica. Di questo fatto occorre tenere conto per rispettare un principio fondamentale, valido in ogni misura: *l'operazione di misura non deve alterare il valore della grandezza che si intende misurare*.

Per questo motivo, considerando anche il modo in cui questi strumenti sono collegati, l'amperometro deve avere una resistenza piccola, teoricamente nulla, mentre il voltmetro deve avere una resistenza molto grande, teoricamente infinita.

Pertanto è necessario prestare attenzione a non usare un amperometro al posto di un voltmetro: infatti un voltmetro collegato in serie impedirebbe al circuito di funzionare mentre un amperometro collegato in parallelo farebbe avvenire addirittura un cortocircuito.

Gli strumenti più diffusi per misurare le grandezze di un circuito elettrico sono chiamati *multimetri* (o *tester*), proprio perché consentono diversi tipi di misurazioni, come *ddp*, intensità di corrente e resistenza.

Nel multimetro è possibile selezionare la grandezza da misurare, la portata e la sensibilità dello strumento. Un multimetro presenta due poli, detti anche *boccole* o *morsetti*, i quali, per mezzo di appositi spinotti e cavi, devono essere opportunamente collegati al circuito elettrico. Quando si misurano grandezze continue si deve rispettare la polarità (+ e -) dei morsetti. I moderni multimetri elettronici, oltre a un comodo display digitale, cambiano automaticamente la portata e indicano la polarità dei morsetti (figura 27).



▲ **Figura 27** Per convenzione, anche nei multimetri il polo positivo viene collegato con il cavetto di colore rosso, mentre quello negativo è collegato con il cavetto di colore nero.

## 8. Energia e potenza nei circuiti elettrici

Come si è detto, in tutti i circuiti elettrici c'è sempre almeno un utilizzatore. In un rasoio elettrico, per esempio, l'utilizzatore è un *motore elettrico*, una macchina che trasforma energia elettrica prevalentemente in energia meccanica.

Invece i resistori sono componenti del circuito elettrico in cui si realizza una caduta di  $ddp$  e l'energia elettrica viene trasformata in energia termica.

Prendiamo ora in esame un semplice circuito elettrico, costituito da un generatore e da un resistore. Il generatore fa circolare corrente nel circuito e quindi le forze del campo elettrico all'interno del resistore compiono lavoro:

$$L = \Delta V \cdot Q$$

$\Delta V$  è la  $ddp$  ai capi del resistore e  $Q$  è la carica che attraversa il conduttore.

La *potenza* ( $P$ ), cioè il lavoro compiuto nell'unità di tempo, si ottiene dal prodotto tra la differenza di potenziale ai capi del resistore e l'intensità della corrente:

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

In base alla prima legge di Ohm ( $\Delta V = R \cdot I$ ), si può esprimere la potenza anche attraverso la seguente relazione:

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

Gli utilizzatori in genere sono caratterizzati dalla differenza di potenziale a cui devono funzionare e dalla potenza che erogano. Per esempio, consideriamo una lampadina per illuminazione domestica da 220 V e 10 W: essa eroga la potenza massima solo se la  $ddp$  applicata è quella indicata; se si applica una  $ddp$  minore, anche la potenza è minore.

La trasformazione di energia elettrica in energia termica, a causa di un fenomeno chiamato **effetto Joule**, trova impiego nei ferri da stiro, nei forni elettrici eccetera (figura 28).



▲ **Figura 28** Alcuni apparecchi elettrici che convertono energia elettrica in energia termica. Per esempio, il phon è un apparecchio elettrico che sfrutta l'effetto Joule in quanto la corrente elettrica attraversa un resistore e produce energia termica. Un motore muove una ventola che spinge l'aria riscaldata verso l'esterno. Normalmente l'interruttore può comandare l'inserimento di più resistori al fine di aumentare la temperatura dell'aria.

### ESEMPIO

In un'automobile tutte le lampadine funzionano con una differenza di potenziale di 12 V. Considerando una lampadina che ha la potenza di 20 W e che rimane accesa per un'ora, vogliamo calcolare:

- l'intensità di corrente che circola
- la sua resistenza elettrica
- l'energia elettrica che si trasforma in energia termica

a) Ricaviamo il valore di  $I$  dalla seguente relazione:

$$I = \frac{P}{\Delta V} = \frac{20 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 1,7 \text{ A}$$

b) Per determinare la resistenza elettrica della lampadina applichiamo la legge di Ohm:

$$R = \frac{\Delta V}{I} = 7,1 \Omega$$

c) Infine, calcoliamo l'energia elettrica consumata in un'ora, tenendo conto che l'intervallo di tempo  $\Delta t$  va espresso in secondi:

$$E = P \cdot t = 20 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 72\,000 \text{ J} = 72 \text{ kJ}$$

### PROVA TU

Consideriamo una lampadina da 220 V e 10 W.

- Calcola l'intensità di corrente quando la lampadina è accesa.
- Calcola inoltre la resistenza elettrica della lampadina.
- Calcola l'energia elettrica che si trasforma in energia termica nel corso di un'ora.

Per evitare che i fili elettrici di collegamento si surriscaldino pericolosamente al passaggio della corrente, occorre calcolare le loro dimensioni in relazione alla corrente massima che dovranno portare (figura 29).

Il trasporto dell'energia elettrica avviene tramite cavi metallici lunghi centinaia di chilometri e per ridurre le perdite di energia si utilizzano alte tensioni (fino a 500 kV) così da ridurre l'intensità di corrente.



◀ **Figura 29** Il fatto che i conduttori percorsi dalla corrente elettrica si riscaldano viene sfruttato nei cosiddetti *fusibili di protezione*, componenti elettrici costituiti da un piccolo tratto di filo metallico a basso punto di fusione. Quando la corrente supera un certo valore, per esempio a causa di un cortocircuito, il fusibile fonde, interrompe il circuito e impedisce così danni maggiori.

## Lampade a risparmio energetico

L'Unione Europea ha stabilito che a partire dal 1° settembre 2009 le lampade prodotte per il mercato comunitario dovranno rispettare nuovi e ben precisi requisiti di efficienza energetica.

Le lampade più utilizzate attualmente, quelle a incandescenza comuni e alogene, non sono in grado di rispettare tali requisiti e saranno gradualmente ritirate dal commercio all'interno dell'UE entro il 2012.



Le lampade comuni, come quella nella figura, e quelle alogene funzionano basandosi sull'effetto Joule; cioè un filamento molto sottile di metallo (di solito tungsteno) all'interno del bulbo di vetro attraversato da una corrente elettrica raggiunge una elevata temperatura (circa 2700 K per le lampade comuni e tra 2900 e 3000 K per quelle alogene) trasformandosi in energia luminosa ed energia termica. Purtroppo solo circa il 5% dell'energia elettrica viene convertita in luce, il resto viene perso come calore.

Le lampade tradizionali verranno gradualmente sostituite con le *lampade a scarica elettrica in gas*, le cosiddette lampade a risparmio energetico. A questa categoria appartengono le *lampade a fluorescenza* tubolari (le cosiddette lampade al neon) e quelle compatte (le lampade a risparmio energetico). Queste sono le più diffuse perché le loro dimensioni sono nettamente inferiori in quanto il tubo risulta ripiegato in forme diverse. Nelle lampade fluorescenti la luce viene emessa da una vernice fluorescente

distribuita sulla superficie interna della lampada a seguito dell'eccitazione provocata dal gas ionizzato dall'energia elettrica.



Anche le *lampade a tecnologia LED* sono lampade a basso consumo di energia: esse sono costituite da uno o più diodi LED (*Light Emitting Diode*) alimentati da un apposito circuito elettronico. Queste lampade sfruttano le proprietà ottiche di alcuni materiali semiconduttori per produrre fotoni e hanno la caratteristica di emettere una luce bianchissima con scarsa produzione di calore. Come sappiamo una lampada è un dispositivo elettrico specificamente progettato per produrre luce: i suoi due parametri più importanti sono la tensione di alimentazione e la potenza. Un altro parametro è il *flusso luminoso* che misura la quantità di luce emessa in un secondo; la sua unità di misura è il lumen (lm). Il rapporto del lumen con la candela (cd), che è l'unità di misura della grandezza fondamentale *intensità luminosa*, è il seguente:

$$1 \text{ cd} = 4\pi \text{ lm} \approx 12,57 \text{ lm}$$

Per misurare l'*efficienza luminosa* di una lampada occorre considerare il rapporto tra il flusso luminoso e la potenza erogata (lumen/watt) che indica quanta luce emette una lampada per ogni watt di potenza consumato. Più questo valore è alto, più la lampadina emette luce a basso costo.

Infatti, confrontando due lampade che hanno lo stesso flusso luminoso (per esempio 1200 lm) osserviamo che quella fluorescente compatta richiede una potenza di soli 20 W contro i 100 W richiesti dalla lampada a incandescenza. Va ricordato infine che il funzionamento delle lampade a fluorescenza è garantito fino ad alcune migliaia di ore.

La tabella che segue raffronta i vari tipi di lampade in relazione all'efficienza luminosa.

Lampada	Efficienza luminosa (lm/W)
A incandescenza comune	~ 14
A incandescenza alogena	~ 17
Fluorescente compatta	50-70
Fluorescente lineare	70-100
LED a luce bianca	fino a 104

Il provvedimento dell'Unione Europea che stabilisce l'uso di lampade a basso consumo di energia farà risparmiare circa 40 TWh di energia elettrica l'anno entro il 2020, l'equivalente del consumo di 11 milioni di abitazioni europee per lo stesso periodo; inoltre porterà a una riduzione di emissioni di anidride carbonica fino a 15 milioni di tonnellate l'anno e pertanto si inserisce nell'obiettivo dell'UE di tagliare le emissioni di gas serra del 20% entro il 2020.



## LE FORZE TRA CARICHE ELETTRICHE

La **carica elettrica** è una proprietà intrinseca della materia; essa si manifesta in due forme che sono convenzionalmente chiamate carica positiva (+) o carica negativa (-)

Tra corpi dotati di carica elettrica si stabilisce una forza:

- *attrattiva* se le cariche hanno segno opposto
- *repulsiva* se le cariche hanno lo stesso segno

La **legge di Coulomb** afferma che l'intensità della forza che si manifesta tra due cariche elettriche è direttamente proporzionale alle loro quantità e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che le separa.

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

forza in newton (N) ←  $F$  ← carica elettrica in coulomb (C)  $Q_1 \cdot Q_2$   
 ←  $d^2$  ← distanza in metri (m)

La costante  $k$  è una proprietà del mezzo in cui si trovano le cariche

Il massimo valore di  $k$  si ha nel vuoto:  
 $9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ ; nell'acqua è 80 volte più piccolo.

Anche quando avvengono trasferimenti di carica elettrica tra i corpi la materia nel suo insieme è sempre elettricamente neutra (**principio di conservazione della carica elettrica**).

## ATOMI E CARICHE ELETTRICHE

Tra la fine dell'Ottocento e i primi anni del Novecento gli scienziati scoprirono che l'*atomo non è indivisibile*: tutti gli atomi sono formati da tre tipi di particelle ancora più piccole e perciò chiamate **particelle subatomiche**.

Si può pensare che l'atomo abbia la forma

di una sfera al cui centro si trova un **nucleo** formato da protoni e neutroni attorno al quale ruotano gli **elettroni**. Le dimensioni dell'atomo sono determinate dagli elettroni in movimento e sono circa diecimila volte più grandi di quelle del nucleo.

### Massa e carica delle tre principali particelle subatomiche

	elettrone (e <sup>-</sup> )	protone (p <sup>+</sup> )	neutrone (n)
massa (kg)	$9,1093897 \cdot 10^{-31}$	$1,6726231 \cdot 10^{-27}$	$1,6749543 \cdot 10^{-27}$
carica convenzionale	-1	+1	0

## IL CAMPO ELETTRICO

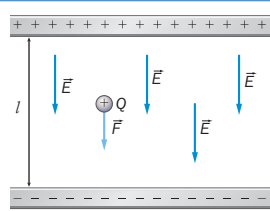
Il **campo elettrico** è lo spazio in cui una carica elettrica è soggetta a una forza; più grande è la forza che agisce sulla carica, maggiore è l'intensità del campo elettrico.

In ogni punto del campo elettrico è definita una grandezza vettoriale chiamata **intensità del campo elettrico** ( $\vec{E}$ ).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

intensità del campo elettrico (N/C) ←  $\vec{E}$  ← forza (N)  $\vec{F}$   
 ←  $Q$  ← carica elettrica di prova (C)

Ogni carica posta in un campo elettrico è dotata di una forma di energia che si chiama **energia potenziale elettrica** ( $E_{pE}$ ). Nel caso di un campo a intensità costante, detta  $l$  la distanza tra le lamine, l'energia potenziale elettrica vale:  $E_{pE} = Q \cdot E \cdot l$



Si definisce **differenza di potenziale elettrico** ( $\Delta V$ ) la potenzialità di un sistema a compiere lavoro spostando cariche elettriche:

$$\Delta V = \frac{L}{Q}$$

differenza di potenziale elettrico in volt (V) ←  $\Delta V$  ← lavoro (J)  $L$   
 ←  $Q$  ← carica elettrica (C)

**MAPPA DI SINTESI**

**LA CORRENTE ELETTRICA**

In generale chiamiamo **generatore elettrico** un dispositivo capace di creare e mantenere una differenza di potenziale costante tra due punti diversi (*poli*) di un conduttore.

Si definisce **corrente elettrica** un *flusso continuo* di cariche elettriche determinato da una differenza di potenziale (*ddp*) creata da un generatore.

Il rapporto tra la differenza di potenziale applicata ( $\Delta V$ ) e l'intensità di corrente ( $I$ ) corrisponde a una nuova grandezza, caratteristica di ciascun conduttore: la **resistenza elettrica** o **resistenza**.

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

L'unità di misura della resistenza è l'**ohm** ( $\Omega$ ).

Misurando la quantità di carica elettrica ( $Q$ ) che percorre un filo conduttore in un certo intervallo di tempo ( $\Delta t$ ), si può definire l'**intensità di corrente elettrica** ( $I$ ):

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

L'unità di misura dell'intensità di corrente è l'**ampere** (**A**).

**La prima legge di Ohm**

Fissata la temperatura, l'intensità della corrente elettrica che circola in un conduttore ohmico è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale applicata.

$$I = \Delta V / R$$

**La seconda legge di Ohm**

La resistenza elettrica di un conduttore di sezione costante è proporzionale alla sua lunghezza ( $l$ ) e inversamente proporzionale all'area della sezione ( $A$ ). La costante  $\rho$  ( $\rho$ ) rappresenta la resistenza specifica o **resistività**, la cui unità di misura è ohm per metro ( $\Omega \cdot m$ ).

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

**I CIRCUITI ELETTRICI**

Si chiama **circuito elettrico** un generico percorso chiuso in cui le cariche elettriche possono muoversi con continuità; esso è costituito da un insieme di componenti elettrici collegati tra loro mediante fili conduttori.

**Le misure in un circuito**

La differenza di potenziale si misura con il **voltmetro**; lo strumento deve essere inserito in parallelo, cioè collegando i poli dello strumento con i due punti del circuito tra i quali si vuole misurare la *ddp*.  
L'intensità della corrente si misura con l'**amperometro**; lo strumento deve essere inserito in serie nel tratto di circuito di cui si vuole misurare la corrente.

**Collegamento in serie**

Due o più componenti del circuito sono collegati in serie quando sono attraversati dalla stessa corrente. La differenza di potenziale  $\Delta V$  ai poli del generatore si ripartisce sui componenti.

**Collegamento in parallelo**

Due o più componenti del circuito sono collegati in parallelo quando è applicata a tutti la stessa *ddp*. La corrente di intensità  $I$  erogata dal generatore si ripartisce sui componenti.

L'espressione *risolvere un circuito* significa determinare la *ddp* e l'intensità della corrente per ogni suo componente. Per fare queste determinazioni può essere utile sostituire un insieme di resistenze con un'unica resistenza detta **resistenza equivalente** ( $R_e$ ).

In tutti i circuiti elettrici c'è sempre almeno un **utilizzatore**, per esempio una lampadina o un motore elettrico.  
I **resistori** sono componenti del circuito in cui si ha trasformazione dell'energia elettrica in energia termica a causa dell'effetto Joule.

La resistenza equivalente di due o più resistenze collegate in serie si calcola con la seguente relazione:

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots R_n$$

La resistenza equivalente di due o più resistenze collegate in parallelo si ottiene con la seguente relazione:

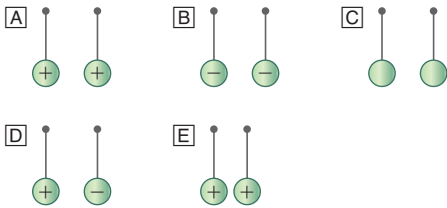
$$1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots 1/R_n$$

La **potenza** ( $P$ ), cioè il lavoro compiuto dal generatore nell'unità di tempo, è data dalla relazione:

$$P = \Delta V \cdot I$$

## 1. Le forze elettriche

- Perché si forma un fulmine oppure si avvertono piccole «scosse» quando si tocca la portiera di un'automobile in certe giornate?
- Che cosa si intende per elettroneutralità della materia?
- A che cosa serve l'elettroscopio e come è fatto?
- Individua la figura che rappresenta la situazione in cui le sfere tendono ad attirarsi.



- In relazione alla carica elettrica, individua l'affermazione sbagliata.
  - La carica elettrica ha due «facce» che sono indicate convenzionalmente con i segni (+) e (-)
  - Tra corpi che presentano cariche elettriche si manifestano forze di attrazione e di repulsione
  - La carica elettrica si può trasferire da un corpo a un altro ma si conserva sempre
  - La forza di attrazione tra due cariche elettriche di segno contrario diminuisce al crescere della distanza reciproca
  - Il valore della carica elettrica che si manifesta su un corpo è direttamente proporzionale alla massa di questo
- Due diversi corpi elettrizzati attraggono entrambi un terzo corpo elettrizzato. Indica il logico risultato che deve verificarsi quando i due corpi vengono avvicinati tra loro.
  - I due corpi si attraggono
  - I due corpi si respingono
  - I due corpi non si respingono né si attraggono
  - I due corpi si elettrizzano
  - I due corpi si scaricano
- Avvicinando una bacchetta di vetro elettrizzata a una bacchetta di vetro sospesa, anch'essa elettrizzata allo stesso modo, si osserva che le bacchette:
  - si attraggono perché le cariche elettriche sono dello stesso segno
  - si respingono perché le cariche elettriche sono dello stesso segno
  - si attraggono perché le cariche elettriche sono di segno opposto
  - si respingono perché le cariche elettriche sono di segno opposto
  - non si attraggono e non si respingono perché non possiedono cariche elettriche

- Indica le due affermazioni che permettono di stabilire che un corpo è certamente carico elettricamente.
  - Il corpo è di metallo
  - Il corpo attrae pezzetti di carta
  - Il corpo è di plastica
  - Il corpo ha una grande massa
  - Avvicinando il corpo a un elettroscopio le lamine si divaricano
- In relazione ai tipi di materiali indica l'unica risposta sbagliata.
  - I materiali elettrizzati che mantengono per qualche tempo la loro carica sono indicati come isolanti elettrici
  - I corpi di plastica e di vetro possono essere elettrizzati per strofinio
  - I materiali elettrizzati che non sono in grado di mantenere la carica sono indicati come conduttori elettrici
  - I corpi di metallo possono essere elettrizzati molto facilmente in qualunque condizione
  - Sia i corpi di plastica sia i corpi di metallo possono essere elettrizzati per strofinio
- La forza elettrica nel vuoto tra due cariche uguali, di valore  $4,0 \cdot 10^{-8}$  C, distanti 20 cm, vale:
  - $3,6 \cdot 10^{-4}$  N
  - 3,6 N
  - 9,0 N
  - $9,0 \cdot 10^{-4}$  N
  - $4,0 \cdot 10^{-14}$  N
- In relazione alla costante dielettrica indica l'affermazione sbagliata.
  - La costante dielettrica misura la proprietà del mezzo dielettrico di attenuare la forza che si esercita tra cariche elettriche.
  - La costante dielettrica è espressa dalla seguente relazione:  $\epsilon_r = F_{\text{vuoto}} / F_{\text{mezzo}}$
  - La costante dielettrica presenta il suo valore massimo nel vuoto
  - La costante dielettrica dell'aria può essere approssimata a quella del vuoto
  - Se un mezzo dielettrico ha  $\epsilon_r = 10$  significa che è 10 volte più isolante del vuoto
- Una carica  $Q_A$  distante 30 cm da una carica  $Q_B$  di valore  $2 \cdot 10^{-6}$  C è respinta con una forza  $F = 0,16$  N. Qual è il valore di  $Q_A$ ?
  - $8 \cdot 10^{-7}$  C
  - $2 \cdot 10^{-3}$  C
  - $2 \cdot 10^{-7}$  C
  - $8 \cdot 10^{-3}$  C
  - $3 \cdot 10^{-4}$  C
- Determina il valore di una carica elettrica che, posta a 10 cm di distanza da una carica di valore  $1,8 \cdot 10^{-6}$  C, attrae con una forza di  $1,2 \cdot 10^{-9}$  N.
- Tra due cariche elettriche vi è, nel vuoto, una forza  $F = 7,2 \cdot 10^{-2}$  N. Determina, a parità di altre condizioni, la forza nell'acqua.

**AUTOVERIFICA**

## 2. Le particelle subatomiche e il modello nucleare

- 15** Come si chiama il dispositivo con cui sono stati scoperti gli elettroni?
- 16** Qual è la particella subatomica che ha la carica elettrica minore?
- 17** Qual è la particella subatomica che ha la massa minore?
- 18** Descrivi il modello atomico proposto da Thomson.
- 19** Se una bacchetta, dopo essere stata strofinata, risulta elettrizzata positivamente contiene più o meno protoni di prima?
- 20** In relazione alle particelle subatomiche, indica l'unica affermazione *sbagliata*:
- A) Gli elettroni sono presenti in tutti gli atomi e hanno sempre carica negativa
  - B) I protoni sono presenti in tutti gli atomi e hanno sempre carica positiva
  - C) I neutroni hanno una massa identica a quella dei protoni
  - D) Gli atomi contengono un uguale numero di protoni e di elettroni ed è per questo che sono neutri
  - E) La massa dei protoni è molto più grande di quella degli elettroni
- 21** Gli atomi che costituiscono qualunque elemento sono normalmente neutri perché:
- A) in ogni atomo neutroni e protoni sono presenti in numero uguale
  - B) in ogni atomo neutroni ed elettroni sono presenti in numero uguale
  - C) in ogni atomo la massa dei protoni è uguale a quella degli elettroni
  - D) in ogni atomo la massa dei neutroni uguaglia la massa totale di elettroni e protoni
  - E) in ogni atomo il numero degli elettroni è uguale a quello dei protoni
- 22** Quale delle seguenti affermazioni relative all'esperienza di Rutherford è *sbagliata*?
- A) Le particelle  $\alpha$  possiedono carica positiva
  - B) La maggior parte delle particelle  $\alpha$  attraversano la lamina d'oro senza essere deviate
  - C) Alcune particelle  $\alpha$  vengono deviate e alcune addirittura respinte
  - D) Le particelle  $\alpha$  sono neutre e pertanto attraversano la lamina d'oro senza essere deviate
  - E) La lamina d'oro utilizzata è sottilissima
- 23** Quale affermazione relativa al protone è *sbagliata*? Il protone è una particella subatomica che:
- A) ha una carica uguale a quella dell'elettrone, ma di segno opposto
  - B) ha una carica elettrica positiva
  - C) ha una massa di poco inferiore a quella del neutrone
  - D) ha una massa circa 1840 volte più piccola di quella dell'elettrone
  - E) si trova nel nucleo di tutti gli atomi
- 24** Quale delle seguenti affermazioni che riguardano il modello nucleare dell'atomo è *sbagliata*?
- A) Nell'atomo neutro il numero dei protoni uguaglia sempre quello dei neutroni
  - B) Gli elettroni occupano un volume grandissimo in rapporto a quello del nucleo
  - C) I protoni e i neutroni costituiscono insieme il nucleo
  - D) Quasi tutta la massa dell'atomo è contenuta nel nucleo
  - E) Gli elettroni sono negativi e il nucleo è positivo
- 25** Un corpo viene elettrizzato positivamente strofinandolo con un panno perché:
- A) si ha trasferimento di protoni dal panno al corpo
  - B) si ha acquisto di protoni da parte del corpo
  - C) si ha perdita di elettroni da parte del panno
  - D) una parte di elettroni passa dal corpo al panno
  - E) una parte di protoni e di elettroni viene tolta dal corpo
- 26** In relazione ai tipi di materiali indica la risposta *sbagliata*.
- A) I corpi di plastica e di vetro elettrizzati mantengono per qualche tempo la loro carica
  - B) Nei materiali isolanti gli elettroni dei diversi atomi non sono liberi di spostarsi all'interno del corpo
  - C) Nei corpi di plastica alcuni protoni possono spostarsi determinando una disparità di carica
  - D) I corpi di metallo si possono elettrizzare solamente in alcune condizioni
  - E) Nei materiali conduttori alcuni elettroni sono mobili, cioè liberi di spostarsi all'interno del corpo.

## 3. Il campo elettrico

- 27** Che cosa si intende per campo elettrico?
- 28** Che cosa accade se si modifica il segno della carica di una particella posta in un punto di un campo elettrico?
- 29** Possiamo dire che su una carica  $Q$  posta in punto  $O$  agisce una forza:
- A) quando nel punto  $O$  sono presenti più cariche
  - B) se vicino alla carica  $Q$  sono presenti solo cariche positive
  - C) solo se la carica  $Q$  posta nel punto  $O$  genera un campo elettrico
  - D) se vicino alla carica  $Q$  sono presenti soltanto cariche negative
  - E) solo se nel punto  $O$  esiste un campo elettrico non nullo

- 30** Indica l'unità di misura dell'intensità del campo elettrico nel Sistema Internazionale:
- A N                       B N/C  
 C C                         D C/N  
 E C · N
- 31** La forza che agisce su una carica  $Q = 0,047$  C posta in un certo punto è  $F = 0,55$  N. Pertanto l'intensità del campo elettrico in quel punto vale:
- A 12 N/C                 B 0,026 N · C  
 C 0,085 C/N            D 0,50 NC  
 E 0,60 CN
- 32** In un punto dello spazio esiste un campo elettrico di  $3,0 \cdot 10^4$  N/C. Determina quale carica, posta in quel punto, subisce una forza di 0,36 N.
- 33** Su una carica  $Q_1 = 1,6 \mu\text{C}$  agisce una forza  $F_1 = 7,2$  mN. Determina l'intensità del campo elettrico in quel punto e la forza che agisce su una carica  $Q_2 = -4,0 \cdot 10^{-5}$  C.

## 4. Energia elettrica e differenza di potenziale

- 34** Qual è la relazione tra l'energia potenziale elettrica e la differenza di potenziale?
- 35** Definisci la differenza di potenziale elettrico ( $\Delta V$ ) e indica la sua unità di misura.
- 36** Indica la relazione che definisce la differenza di potenziale:
- A  $\Delta V = L + Q$        B  $\Delta V = \frac{L}{Q}$   
 C  $\Delta V = \frac{Q}{L}$              D  $\Delta V = L - Q$   
 E  $\Delta V = Q - L$
- 37** Il lavoro compiuto per spostare la carica elettrica  $Q$  da un punto a un altro tra i quali esiste una differenza di potenziale  $\Delta V$  si può calcolare mediante la seguente relazione:
- A  $L = Q \cdot \Delta V$        B  $L = Q - \Delta V$   
 C  $L = \frac{Q}{\Delta V}$              D  $L = \frac{\Delta V}{Q}$   
 E  $L = Q + \Delta V$
- 38** La differenza di potenziale elettrico esprime:
- A la carica elettrica per unità di lavoro  
 B l'unità di carica elettrica in ogni punto del campo elettrico  
 C l'unità di energia potenziale elettrica in ogni punto del campo elettrico  
 D il lavoro per unità di carica elettrica  
 E l'intensità del campo elettrico in ogni punto dello spazio

- 39** Un sistema è costituito da due piastre metalliche parallele, poste a 4,0 cm di distanza, tra le quali si stabilisce un  $\Delta V$  di 600 V. Una carica  $Q = 2,8 \cdot 10^{-6}$  C viene posta tra le piastre e pertanto è soggetta a una forza di:
- A  $5,4 \cdot 10^9$  N             B  $8,1 \cdot 10^8$  N  
 C  $7,2 \cdot 10^{-3}$  N         D  $4,2 \cdot 10^{-2}$  N  
 E 420 N
- 40** Calcola il lavoro che compie il campo elettrico per portare una carica  $Q = 0,051$  C da un punto a un altro, tra cui vi è un  $\Delta V$  di 1100 V.
- A 15 J                       B -15 J  
 C 56 J                       D 100 J  
 E -36 J
- 41** Su una particella posta tra due piastre metalliche, distanti 3,1 cm e collegate ai poli di un generatore con  $\Delta V$  di 270 V, agisce una forza di  $2,8 \cdot 10^{-14}$  N. Determina la carica della particella e l'intensità del campo elettrico tra le piastre.

## 5. La corrente elettrica e le leggi di Ohm

- 42** Indica il tipo di corrente che circola nella rete elettrica e la sua caratteristica principale.
- 43** Che cosa si intende per resistenza elettrica?
- 44** Indica la relazione che definisce l'intensità di corrente elettrica:
- A  $I = Q \cdot \Delta t$              B  $I = \frac{Q}{\Delta t}$              C  $I = \frac{\Delta t}{Q}$   
 D  $I = Q + \Delta t$          E  $I = Q - \Delta t$
- 45** In riferimento all'intensità di corrente elettrica, indica l'unica affermazione *sbagliata*:
- A il generatore elettrico è un dispositivo capace di erogare corrente elettrica  
 B il simbolo dell'intensità di corrente elettrica è  $I$   
 C l'unità di misura dell'intensità di corrente elettrica è l'ampere  
 D la corrente elettrica può essere continua o alternata  
 E l'intensità di corrente elettrica è una grandezza di natura vettoriale
- 46** In un conduttore circola una corrente di 0,42 A. Calcola la carica elettrica che attraversa il conduttore in 2 min.
- 47** Attraverso la sezione di un conduttore passa una quantità di carica di 12 C in 500 s. Qual è l'intensità della corrente elettrica?
- 48** Indica la relazione che esprime la prima legge di Ohm:
- A  $R = \frac{I}{\Delta V}$                  B  $R = \Delta V \cdot I$          C  $R = \frac{\Delta V}{I}$   
 D  $R = \Delta V + I$          E  $R = \Delta V - I$

**AUTOVERIFICA**

- 49** La corrente elettrica in un conduttore ohmico:
- A è direttamente proporzionale alla  $ddp$  applicata e inversamente proporzionale alla resistenza del conduttore
  - B è inversamente proporzionale sia alla  $ddp$  applicata che alla resistenza del conduttore
  - C è inversamente proporzionale alla  $ddp$  applicata e direttamente proporzionale alla resistenza del conduttore
  - D è direttamente proporzionale sia alla  $ddp$  applicata sia alla resistenza del conduttore
  - E non varia al variare della  $ddp$  né al variare della resistenza del conduttore
- 50** Indica l'unità di misura della resistenza elettrica nel Sistema Internazionale:
- A ampere
  - B volt
  - C coulomb
  - D newton al coulomb
  - E ohm
- 51** Calcola l'intensità della corrente che circola in un conduttore di resistenza  $R = 560 \Omega$  ai cui capi è applicata una tensione  $\Delta V = 6,0 \text{ V}$ .
- 52** Un conduttore sottoposto a una  $ddp$  di  $10 \text{ V}$  viene percorso da una corrente di  $0,25 \text{ A}$ . Determina la resistenza del conduttore.
- 53** La seconda legge di Ohm afferma che:
- A la resistenza elettrica di un conduttore di sezione variabile è direttamente proporzionale alla sua lunghezza e all'area della sua sezione
  - B la resistenza elettrica di un conduttore di sezione costante è inversamente proporzionale alla sua lunghezza e al quadrato della sua sezione
  - C la resistenza elettrica di un conduttore di sezione costante è inversamente proporzionale alla sua lunghezza e direttamente proporzionale all'area della sua sezione
  - D la resistenza elettrica di un conduttore di sezione variabile è inversamente proporzionale alla sua lunghezza e all'area della sua sezione
  - E la resistenza elettrica di un conduttore di sezione costante è direttamente proporzionale alla sua lunghezza e inversamente proporzionale all'area della sua sezione
- 54** Indica la relazione che esprime la seconda legge di Ohm:
- A  $R = \rho \cdot l \cdot A$
  - B  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$
  - C  $R = A \cdot \frac{l}{\rho}$
  - D  $R = \rho \cdot \frac{A}{l}$
  - E  $R = \frac{1}{\rho} \cdot l \cdot A$
- 55** La resistenza specifica o resistività rappresenta:
- A la resistenza del conduttore in esame
  - B la resistenza della sezione del conduttore in esame
  - C la resistenza di un conduttore di un dato materiale di lunghezza  $1 \text{ m}$  e di sezione  $1 \text{ m}^2$

- D la resistenza ipotetica di un conduttore con lunghezza e sezione uguali
- E la resistenza di un conduttore di lunghezza  $1 \text{ m}$  e diametro della sezione  $1 \text{ m}$

- 56** Calcola la resistenza di un filo di rame di diametro  $1,5 \text{ mm}$  e lungo  $3,5 \text{ m}$ .

## 6. I costituenti fondamentali di un circuito elettrico

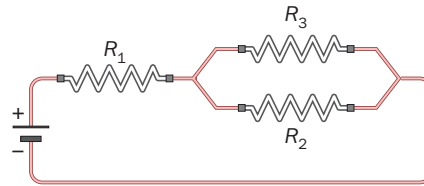
- 57** Spiega che cosa si intende per circuito aperto, circuito chiuso e cortocircuito.
- 58** Quale vantaggio si ottiene collegando più pile in serie?
- 59** Indica il componente che non può mancare in un circuito elettrico.
- A l'interruttore
  - B il cortocircuito
  - C la lampadina
  - D lo schema
  - E il generatore
- 60** Che cos'è un circuito elettrico?
- A Un percorso chiuso su cui si possono muovere con continuità le cariche elettriche
  - B Un dispositivo capace di creare una  $ddp$  costante
  - C Una apparecchiatura capace di misurare la  $ddp$
  - D Un percorso aperto su cui si possono misurare sia la  $ddp$  sia l'intensità di corrente
  - E L'insieme dei componenti elettrici di un dispositivo
- 61** Due o più componenti di un circuito sono collegati in serie quando:
- A a tutti è applicata la stessa  $ddp$
  - B sono sistemati l'uno sopra l'altro
  - C sono attraversati da corrente con la stessa intensità
  - D sono tutti uguali
  - E il circuito è chiuso
- 62** In un circuito elettrico i cui componenti sono collegati in parallelo:
- A la corrente totale si ripartisce tra i componenti
  - B la corrente totale circola in ogni componente
  - C la  $ddp$  totale è la somma di quelle di ogni componente
  - D la  $ddp$  si ripartisce tra i componenti
  - E la  $ddp$  e la corrente sono uguali per ogni componente
- 63** Un circuito elettrico è aperto quando:
- A la corrente circola liberamente
  - B è possibile applicare qualunque  $ddp$
  - C non si consente alla corrente di circolare
  - D può circolare corrente di qualunque intensità
  - E i componenti del circuito sono collegati in serie

## 7. Misure e calcoli in un circuito elettrico

- 64** Come deve essere inserito lo strumento per misurare l'intensità di corrente in un tratto di circuito?
- 65** Come deve essere inserito lo strumento per misurare la differenza di potenziale in un tratto di circuito?
- 66** La resistenza equivalente di un insieme di resistenze è:
- la resistenza che possiamo sostituire a ogni singola resistenza dell'insieme senza che correnti e tensioni nel circuito subiscano variazioni
  - la resistenza più bassa dell'insieme che possiamo sostituire senza che correnti e tensioni nel circuito subiscano variazioni
  - la resistenza che possiamo sostituire all'insieme delle resistenze senza che correnti e tensioni nel circuito subiscano variazioni
  - la resistenza più alta dell'insieme che possiamo sostituire senza che correnti e tensioni nel circuito subiscano variazioni
  - la resistenza che si comporta secondo la prima e la seconda legge di Ohm
- 67** La resistenza equivalente di due resistenze collegate in serie corrisponde:
- alla somma delle singole resistenze
  - alla resistenza che ha il valore più basso
  - alla resistenza che ha il valore più alto
  - alla somma dei valori inversi delle singole resistenze
  - alla somma dei quadrati delle singole resistenze
- 68** La resistenza equivalente di due resistenze collegate in parallelo corrisponde:
- alla somma delle singole resistenze
  - alla resistenza che ha il valore più basso
  - alla resistenza che ha il valore più alto
  - all'inverso della somma dei valori inversi delle singole resistenze
  - alla somma dei quadrati delle singole resistenze
- 69** Un circuito elettrico è costituito da un generatore con  $fem = 5,0 \text{ V}$  e da due resistori  $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$  e  $R_2 = 5,6 \text{ k}\Omega$  collegati in serie. Disegna il circuito e determina:
- la resistenza equivalente
  - la corrente del circuito
  - la  $ddp$  ai capi di ciascun resistore
- 70** Per misurare l'intensità di corrente elettrica che attraversa un componente di un circuito si usa:
- l'elettrometro
  - l'amperometro
  - il generatore elettrico
  - la resistenza equivalente
  - il voltmetro

- 71** Un circuito è costituito da un generatore con  $fem = 24 \text{ V}$  e da due resistori  $R_1 = 800 \Omega$  e  $R_2 = 200 \Omega$  collegati in parallelo. Disegna il circuito e determina:
- la resistenza equivalente
  - l'intensità di corrente che attraversa ciascun resistore
  - l'intensità di corrente nel circuito

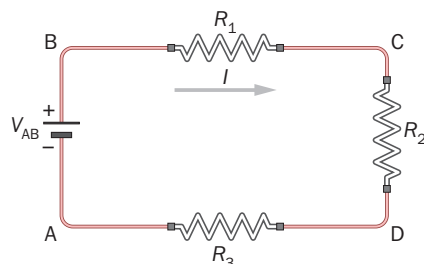
- 72** Considera il seguente circuito elettrico.



Sapendo che la  $ddp$  vale  $24 \text{ V}$  e che  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  valgono ognuna  $600 \Omega$ , calcola l'intensità di corrente che percorre il circuito.

## 8. Energia e potenza nei circuiti elettrici

- 73** Come cambia la potenza dissipata da una resistenza se raddoppia l'intensità della corrente che circola?
- 74** La potenza sviluppata da un generatore è data:
- dal prodotto tra le sue dimensioni e la corrente che eroga
  - dal prodotto tra la resistenza e la corrente che eroga
  - dal prodotto tra la sua differenza di potenziale e il quadrato della corrente che eroga
  - dalla somma della sua differenza di potenziale con la corrente che eroga
  - dal prodotto tra la sua  $fem$  e l'intensità di corrente che eroga
- 75** Un forno elettrico ha una potenza di  $1,5 \text{ kW}$ . Determina l'energia consumata in  $40 \text{ min}$  di funzionamento, espressa in  $\text{kWh}$  e in  $\text{MJ}$ .
- 76** Qual è la potenza elettrica, espressa in  $\text{kW}$ , di una stufa che produce in un'ora l'energia di  $13\,000 \text{ kJ}$ ?
- 77** Il circuito rappresentato nella figura è costituito da un generatore con  $\Delta V = 48 \text{ V}$ , e da tre resistori,  $R_1 = 18 \Omega$ ,  $R_2 = 140 \Omega$  e  $R_3 = 60 \Omega$ . Determina:
- la corrente nel circuito
  - la potenza del generatore
  - la potenza associata a ciascun resistore



Le risposte si trovano in fondo al libro

- 1 Tra due corpi elettricamente carichi si stabilisce una forza repulsiva  $F$ . Se raddoppia la distanza fra le cariche la forza diventa:
  - A  $2F$
  - B  $4F$
  - C  $F/2$
  - D  $F/4$
  - E  $F$
- 2 Quale delle seguenti affermazioni sulle particelle subatomiche è sbagliata?
  - A Protoni, neutroni ed elettroni hanno circa la stessa massa
  - B I protoni e gli elettroni hanno la stessa carica, però di segno contrario
  - C Protoni e neutroni hanno circa la stessa massa
  - D Gli elettroni hanno una massa trascurabile rispetto a quella di protoni e neutroni
  - E I neutroni non manifestano alcuna carica elettrica
- 3 Il nucleo di un atomo di oro contiene 79 protoni. Qual è la forza di repulsione elettrica che si stabilisce tra un nucleo di un atomo di oro e una particella  $\alpha$  se la distanza è di 1,0 nm?
  - A l'energia per unità di carica
  - B la forza agente sull'unità di carica
  - C il lavoro della carica
  - D la carica per unità di forza
  - E il numero di cariche
- 5 Indica, tra le seguenti, le due grandezze vettoriali.
  - A Forza elettrica
  - B Potenziale elettrico
  - C Intensità del campo elettrico
  - D Carica elettrica
  - E Energia potenziale elettrica
- 6 In un punto dello spazio esiste un campo elettrico di 500 N/C; qual è la forza che agisce su una carica  $Q = 2,4 \cdot 10^{-6}$  C posta in quel punto? Come cambia la forza se la carica è negativa?
  - A la forza agente su una carica elettrica  $Q = -1,2$  mC
  - B il lavoro compiuto dal campo elettrico per spostare la carica da una piastra all'altra
  - C la  $ddp$  tra le piastre
- 7 Il lavoro necessario per portare una carica  $Q = -0,0025$  C da un punto a un altro di un campo elettrico è  $L = 3,0$  J. Calcola la differenza di potenziale tra i due punti.
  - A la corrente totale si ripartisce tra i resistori
  - B la corrente totale è data dalla somma delle correnti che attraversano i resistori
  - C la  $ddp$  è la stessa per ogni resistore
  - D la  $ddp$  del generatore si ripartisce tra i resistori
  - E la  $ddp$  e la corrente sono uguali in ogni punto del circuito
- 8 Lo spazio tra due piastre metalliche piane e parallele, distanti 8,0 cm, è sede di un campo elettrico di intensità  $E = 6500$  N/C. Determina:
  - A la corrente totale si ripartisce tra i resistori
  - B la corrente totale è data dalla somma delle correnti che attraversano i resistori
  - C la  $ddp$  è la stessa per ogni resistore
  - D la  $ddp$  del generatore si ripartisce tra i resistori
  - E la  $ddp$  e la corrente sono uguali in ogni punto del circuito
- 9 L'intensità di corrente elettrica è la quantità di carica che attraversa:
  - A una sezione trasversale del conduttore
  - B il conduttore
  - C il circuito elettrico
  - D una sezione trasversale del conduttore nell'unità di tempo
  - E una sezione longitudinale unitaria del conduttore
- 10 Il verso della corrente è convenzionalmente associato:
  - A al verso in cui si spostano le cariche
  - B al verso in cui si spostano le cariche negative
  - C al verso in cui si spostano le cariche positive
  - D al verso in cui si spostano le cariche più numerose
  - E al verso in cui si spostano le cariche più grandi
- 11 Qual è la resistenza di un conduttore in cui circola una corrente di 0,15 A con una tensione di 4,5 V?
  - A Il voltmetro
  - B La pila
  - C La lampadina
  - D L'utilizzatore
  - E L'interruttore
- 12 Qual è la tensione ai capi di un conduttore di resistenza 2200  $\Omega$  in cui circola una corrente di 7,2 mA?
  - A è applicata a tutti la stessa  $ddp$
  - B sono sistemati uno sopra all'altro
  - C sono attraversati dalla stessa corrente
  - D sono tutti uguali
  - E il circuito è chiuso
- 13 Qual è la lunghezza di un filo di costantana di diametro 0,50 mm che ha una resistenza di 10  $\Omega$ ?
  - A In un circuito che contiene un generatore e due resistori collegati in serie:
  - B la corrente totale si ripartisce tra i resistori
  - C la corrente totale è data dalla somma delle correnti che attraversano i resistori
  - D la  $ddp$  è la stessa per ogni resistore
  - E la  $ddp$  del generatore si ripartisce tra i resistori
- 14 Quale tra i seguenti componenti di un circuito è un generatore elettrico?
  - A la corrente totale si ripartisce tra i resistori
  - B la corrente totale è data dalla somma delle correnti che attraversano i resistori
  - C la  $ddp$  è la stessa per ogni resistore
  - D la  $ddp$  del generatore si ripartisce tra i resistori
  - E la  $ddp$  e la corrente sono uguali in ogni punto del circuito
- 15 Due o più componenti di un circuito sono collegati in parallelo quando:
  - A la corrente può circolare
  - B è possibile applicare qualunque  $ddp$
  - C non si consente alla corrente di circolare
  - D si può far circolare qualunque intensità di corrente
  - E i componenti del circuito sono collegati in parallelo
- 16 In un circuito che contiene un generatore e due resistori collegati in serie:
  - A la corrente può circolare
  - B è possibile applicare qualunque  $ddp$
  - C non si consente alla corrente di circolare
  - D si può far circolare qualunque intensità di corrente
  - E i componenti del circuito sono collegati in parallelo
- 17 Un circuito elettrico è chiuso quando:
  - A la corrente può circolare
  - B è possibile applicare qualunque  $ddp$
  - C non si consente alla corrente di circolare
  - D si può far circolare qualunque intensità di corrente
  - E i componenti del circuito sono collegati in parallelo



**18** In relazione alla resistenza equivalente di due o più resistori collegati in serie, indica l'unica affermazione sbagliata.

- A) La resistenza equivalente di  $n$  resistenze uguali a  $R$  è data dal prodotto  $n \cdot R$
- B) La resistenza equivalente è sempre maggiore di ogni singola resistenza
- C) Se una resistenza è molto maggiore di tutte le altre, essa è praticamente la resistenza equivalente
- D) Resistenze molto piccole non concorrono a determinare la resistenza equivalente
- E) La resistenza equivalente di  $n$  resistenze uguali a  $R$  è data da:

$$R_e = \frac{R}{n}$$

**19** In relazione alla resistenza equivalente di due o più resistori collegati in parallelo, indica le due affermazioni sbagliate.

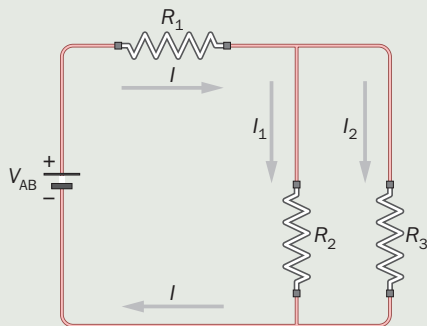
- A) La resistenza equivalente di  $n$  resistenze uguali a  $R$  è:  $R_e = n \cdot R$
- B) La resistenza equivalente è sempre minore di ogni singola resistenza
- C) Se una resistenza è molto minore di tutte le altre, essa è praticamente la resistenza equivalente
- D) Resistenze molto grandi non concorrono a determinare la resistenza equivalente
- E) La resistenza equivalente di  $n$  resistenze uguali a  $R$  è data da:

$$R_e = \frac{R}{n}$$

**20** Un circuito elettrico è costituito da un generatore e da tre resistori,  $R_1 = 120 \Omega$ ,  $R_2 = 180 \Omega$ ,  $R_3 = 200 \Omega$  collegati in serie. Disegna il circuito e determina:

- a) la resistenza equivalente
- b) la corrente del circuito sapendo che la *ddp* ai capi di  $R_1$  è  $V_1 = 1,44 \text{ V}$
- c) la *ddp* ai capi di  $R_2$  e  $R_3$

**21**



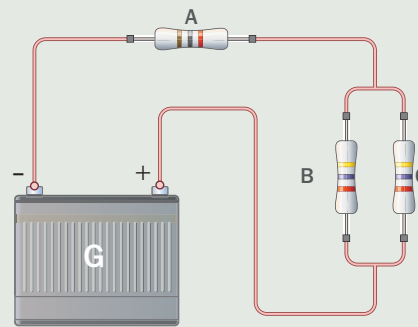
Il circuito riportato in figura è costituito da un generatore con  $fem = 24 \text{ V}$  e da tre resistori  $R_1 = 90 \Omega$ ,  $R_2 = 700 \Omega$ ,  $R_3 = 300 \Omega$ . Determina la resistenza equivalente.

**22** Se si raddoppia il diametro di un conduttore di sezione circolare, la resistenza del conduttore:

- A) si riduce a un quarto
- B) raddoppia
- C) diventa la metà
- D) quadruplica
- E) non cambia

**23** Fino agli anni '50 la tensione di rete in Italia era 125 V. Quando la tensione di rete passò da 125 V a 220 V, si osservò che le vecchie lampadine risultavano molto più luminose ma duravano assai poco. Se una lampadina aveva una potenza nominale di 40 W alimentata con una corrente sottoposta alla tensione di 125 V, quale diventava la potenza reale se veniva alimentata con una corrente sottoposta ad una tensione di 220 V?

**24** Considera il circuito rappresentato in figura:



G è una batteria elettrica da 12 V

A è un resistore marrone/nero/rosso

B è un resistore giallo/viola/rosso

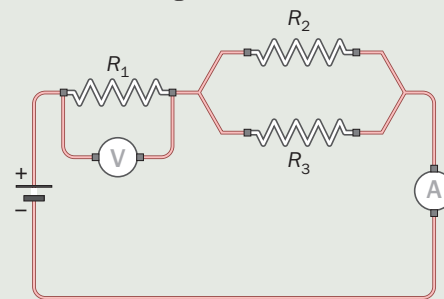
C è un resistore giallo/viola/rosso

La banda che indica la tolleranza non è stata riportata.

Sulla base di queste informazioni determina:

- a) le resistenze di A, B e C
- b) l'intensità della corrente che circola
- c) la potenza erogata dalla batteria.

**25** Considera il seguente circuito elettrico:



Sapendo che  $R_1 = 500 \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 200 \Omega$  e che il generatore è una pila da 1,50 V rispondi alle domande:

- a) Quanto vale l'intensità di corrente che percorre la resistenza  $R_2$ ?
- b) Quali valori leggi sul voltmetro e sull'amperometro?
- c) Quanto vale il calore dissipato nella resistenza  $R_1$  se la corrente circola per 3 h 20 min?
- d) Come cambia il valore letto sull'amperometro se la pila viene sostituita con una batteria con  $ddp = 4,50 \text{ V}$ ?