

Corrente elettrica e circuiti

Generatori di forza elettromotrice

Intensità di corrente

Leggi di Ohm

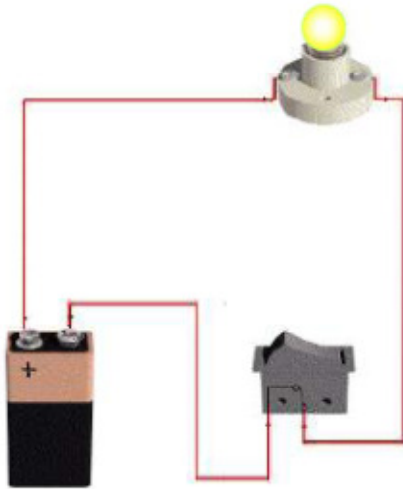
Resistenza e resistività

Resistenze in serie e in parallelo

Effetto termico della corrente

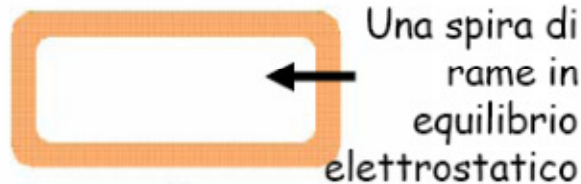
Leggi di Kirchhoff

Generatori di f.e.m.



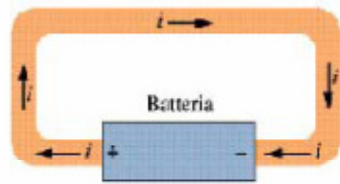
In un circuito semplice come questo chiudendo l'interruttore, fluisce della corrente elettrica, cioè gli elettroni di conduzione passano dal morsetto negativo a quello positivo, e noi ce ne possiamo accorgere perchè a interruttore chiuso si accende la lampada

La batteria mantiene una differenza di potenziale tra gli estremi del filo. C'è un campo elettrico che mantiene gli elettroni in moto. Dopo un breve intervallo di tempo, il flusso di elettroni raggiunge una condizione stazionaria: si è instaurata una corrente i .



Una spira di rame in equilibrio elettrostatico

(a)

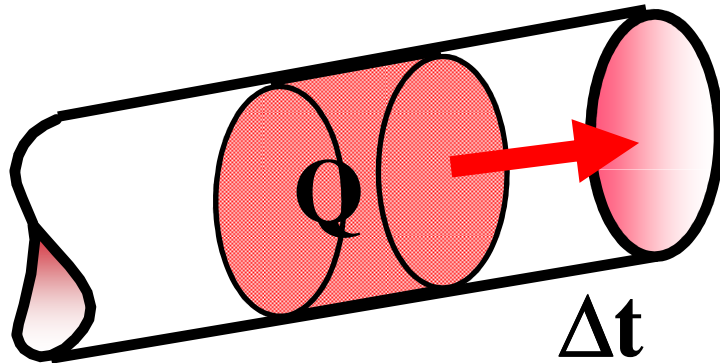


(b)

- pile, batterie, celle elettrochimiche trasformano energia chimica in energia elettrica
- generatori elettrici trasformano energia meccanica in energia elettrica
- celle a combustione trasformano energia termica di combustione in energia elettrica
- celle solari convertono direttamente l'energia della luce del sole in energia elettrica

Corrente elettrica

intensità di corrente = $\frac{\text{quantità di carica}}{\text{intervallo di tempo}}$



$$i = \Delta Q / \Delta t$$

$$A = C/s$$

ampère

Analogia tra il moto di:
cariche elettriche → int.corrente
fluidi → portata

L'**ampère** (=coulomb/sec) è la 5^a **grandezza fondamentale** MKS.
Il coulomb (=ampère·sec) diventa una grandezza derivata.

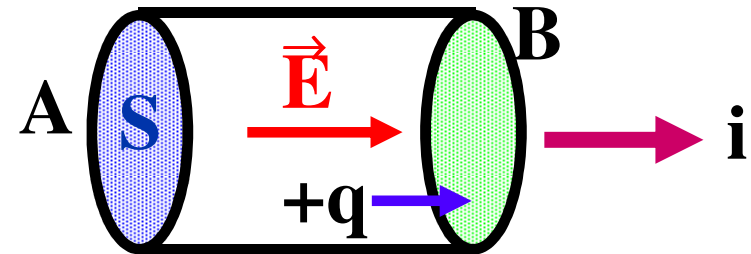
Quanti elettroni scorrono in 1 A di corrente?

$$1 A = 1 C/s = (Ne)/s = N \cdot (1.6 \cdot 10^{-19}) C/s \rightarrow N = 1 / (1.6 \cdot 10^{-19}) = 6.25 \cdot 10^{18} \text{ elettroni.}$$

Es.

Moto delle cariche elettriche

Normalmente la materia è elettricamente neutra: le cariche + (protoni) e - (elettroni) stanno legate dall'attrazione e.m. negli atomi.



Se c'è campo elettrico, si induce una separazione tra cariche + e -.
Se gli elettroni sono liberi di muoversi nella struttura atomica/molecolare (es. metalli), si crea una corrente elettrica.

Condizione necessaria al moto di cariche: differenza di potenziale

Analogia fluidi:
diff. pressione

Direzione (convenzionale) della corrente elettrica: moto cariche positive (come campo elettrico: da potenziale maggiore a potenziale minore).
Moto reale (nei metalli): cariche negative (elettroni) in verso opposto.

$i(t)$ costante (moto stazionario)
 $i(t)$ variabile (periodica)

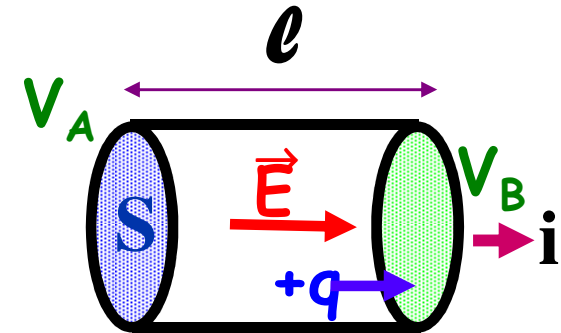
→ corrente continua
→ corrente alternata

Leggi di Ohm

In un circuito elettrico a cui e' applicata una d.d.p.:

1ª legge di Ohm: $\Delta V = V_B - V_A = Ri$

2ª legge di Ohm: $R = \rho \ell / S$



La corrente elettrica in un circuito è direttamente proporzionale alla d.d.p. applicata ai capi del circuito.

La "resistenza" a tale moto dipende dal tipo di sostanza (ρ), dalla geometria del circuito (lunghezza e sezione), dalla temperatura ($\rho = \rho(T)$).

Attenzione: qui ρ è la resistività elettrica e non la densità del materiale!

Analogia con i fluidi (\rightarrow legge di Poiseuille):

UGUALE!

La portata in un condotto è direttamente proporzionale alla differenza di pressione applicata ai capi del condotto.

La "resistenza" a tale moto dipende dal tipo di sostanza (viscosità), dalla geometria del circuito (lunghezza e sezione), dalla temperatura ($\eta = \eta(T)$).

Resistenza e resistività

resistenza elettrica = $\frac{\text{differenza di potenziale}}{\text{intensità di corrente}}$



$$R = \Delta V / i$$

$$\Omega = V / A$$

ohm

Dipende da:

- geometria del circuito
- tipo di sostanza
- temperatura

$$R = \rho l / S$$

$$\rho = RS / l$$

ρ = resistività elettrica

$$\Omega \cdot \text{m}^2 / \text{m} = \Omega \cdot \text{m}$$

dipende dalla temperatura $\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$

$\alpha \approx 5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
per i conduttori

Conduttori e isolanti

A parità di d.d.p. passa una corrente tanto maggiore quanto più la resistenza è minore.

$$\Delta V = Ri$$

$$R = \rho \ell / S$$

A parità di circuito (geometria), la resistenza è direttamente proporzionale alla resistività del materiale.

Conduttori: bassa ρ

metalli:

argento, rame, ... $\rightarrow \rho \sim 10^{-8} \Omega \cdot m$

conduttori elettrolitici:

liq. interstiziale $\rightarrow \rho \sim 1 \Omega \cdot m$

Isolanti: alta ρ

acqua distillata $\rightarrow \rho \sim 10^3 \Omega \cdot m$

membrana assone $\rightarrow \rho \sim 10^7 \Omega \cdot m$

vetro $\rightarrow \rho \sim 10^{11} \Omega \cdot m$

Semiconduttori

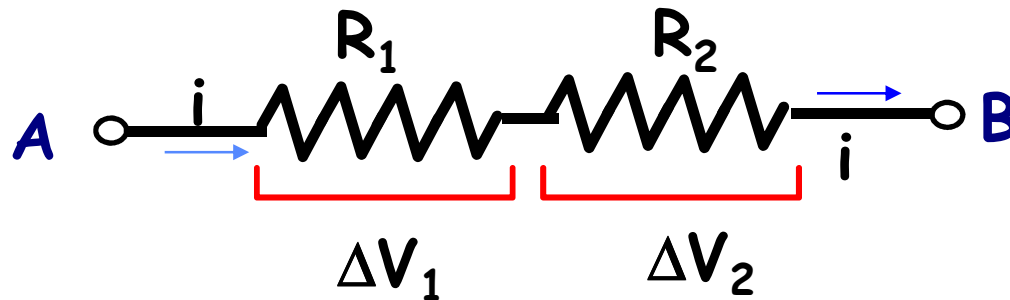
silicio $\rightarrow \rho \sim 2500 \Omega \cdot m$

germanio $\rightarrow \rho \sim 0.45 \Omega \cdot m$

Collegamenti di resistenze

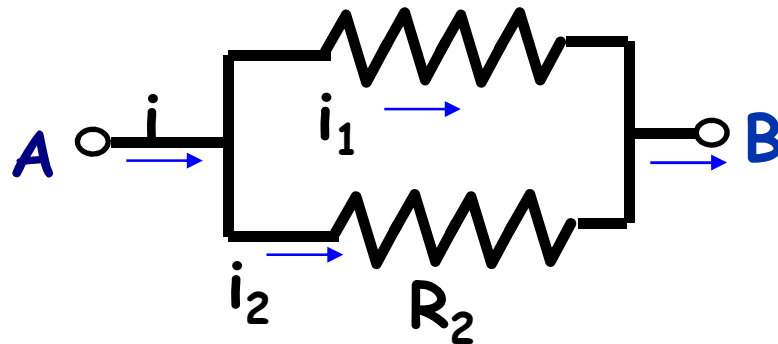
Nei circuiti elettrici:

resistenze in serie



$$R = R_1 + R_2$$

resistenze in parallelo



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

Effetto termico della corrente

Effetto Joule:

gli elettroni in moto (corrente) cedono energia cinetica agli ioni del reticolo molecolare del conduttore.

La perdita di energia cinetica ($\Delta T=L$) diventa calore.

Potenza dissipata:

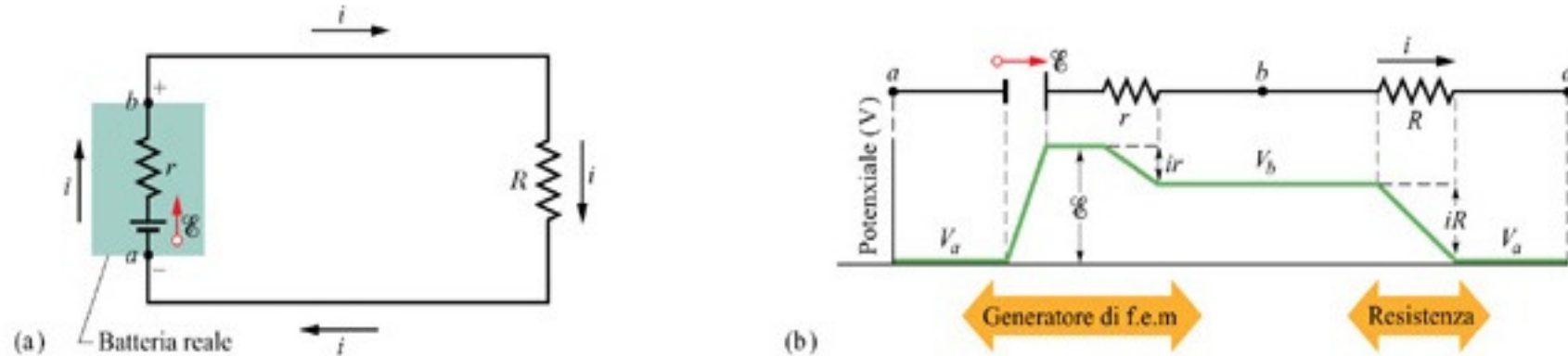
$$W = L/\Delta t = (q\Delta V)/\Delta t = \Delta V \cdot q/\Delta t = \Delta V \cdot i$$

Watt=
Volt·Ampere

... o, sostituendo dalla 1ª legge di Ohm: $W = \Delta V^2/R = i^2 R$

$$\begin{aligned} \text{Calore prodotto: } Q &= L = W \cdot \Delta t \text{ (joule)} \\ &= W \cdot \Delta t / 4.186 \text{ (cal)} \end{aligned}$$

Circuito elementare



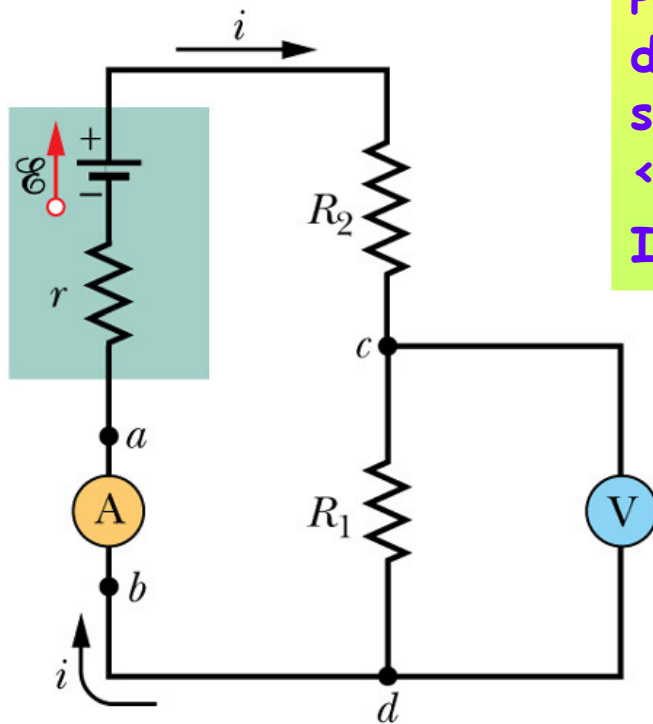
$$V_a + \mathcal{E} - ir - iR = V_a$$

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Un generatore di forza elettromotrice (\mathcal{E}) compie lavoro sulle cariche per mantenere una differenza di potenziale (ΔV_{ab}) ai suoi terminali. Generatore ideale $r=0$; reale $r>0$.

$\Delta V_{ab} = \mathcal{E}$ solo se non passa corrente nel generatore.

Amperometri e voltmetri



L'**amperometro** si inserisce in serie nel tratto di circuito di cui si vuole misurare la corrente.

Per non alterare significativamente il valore della corrente a causa dell'inserimento dello strumento, la sua resistenza R_A deve essere $\ll R_1$ e R_2 .

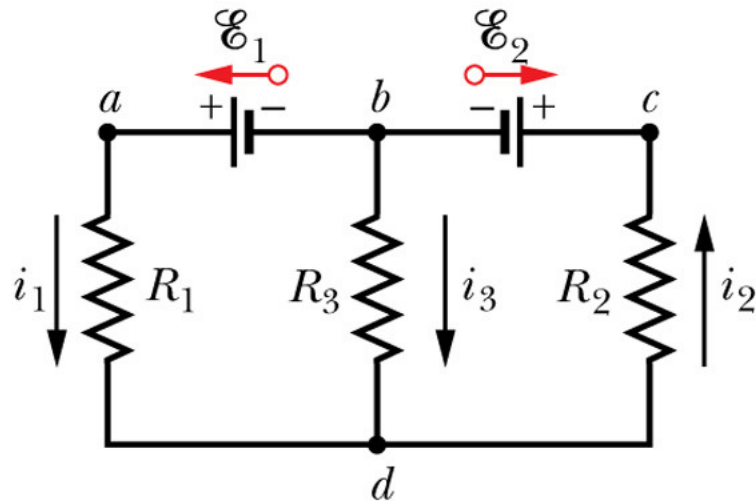
$$\text{Infatti: } i = \frac{\varepsilon}{r + R_1 + R_2 + R_A}$$

Il **voltmetro** si inserisce in parallelo tra due punti (es. ai capi di R_1) di cui si vuole misurare la d.d.p.

Per non modificare significativamente la d.d.p. a causa dell'inserimento dello strumento, la sua resistenza R_V deve essere $\gg R_1$.

$$\text{Infatti: } V = \frac{R_1 \varepsilon}{r + R_2 + \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}}$$

Circuiti a più maglie



Definizioni

- **Nodo**: punto della rete in cui convergono almeno tre conduttori.
- **Ramo**: insieme di elementi della rete compresi tra due nodi successivi.
- **Maglia**: insieme ordinato di elementi della rete che si incontrano lungo un cammino con un dato nodo come punto di partenza e di arrivo (chiuso), tale che non si percorra alcun ramo più di una volta.

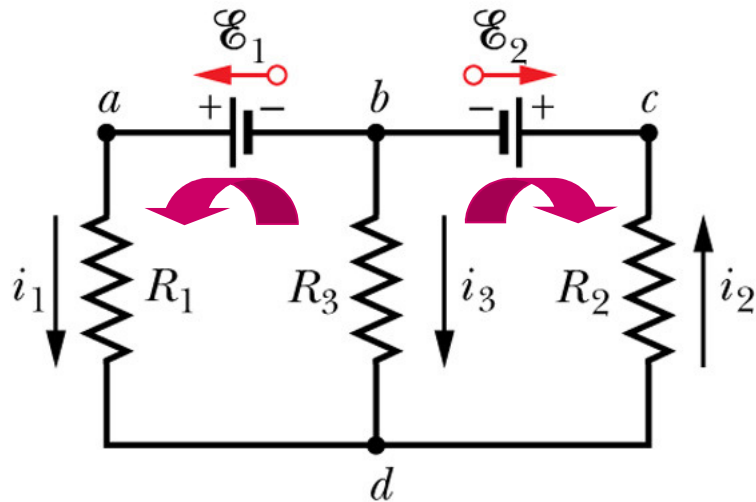
- Si assegna corrente a ogni ramo del circuito (bad: i_1 , bd: i_3 , bcd: i_2)

Legge dei nodi (1° legge di Kirchhoff): la somma delle correnti entranti in un nodo deve essere uguale alla somma delle correnti uscenti (conservazione della carica elettrica).

$$i_1 + i_3 - i_2 = 0$$

Nodi: b, d

Circuiti a più maglie (2)



- Si sceglie arbitrariamente un verso di "percorrenza" delle maglie e quello delle correnti;
- Regola della resistenza: caduta di potenziale $-iR$ se si percorre la resistenza nel verso della corrente ($+iR$ viceversa);
- Regola della f.e.m.: se si attraversa un generatore da polo - a + la variazione di potenziale è $+\mathcal{E}$ (viceversa se si va da + a -)

Legge delle maglie (2° legge di Kirchhoff): la somma algebrica delle differenze di potenziale lungo un percorso chiuso di un circuito è nulla (conservazione dell'energia).

$$\mathcal{E}_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0 \quad \text{Maglia di sinistra}$$

$$\mathcal{E}_2 + i_2 R_2 + i_3 R_3 = 0 \quad \text{Maglia di destra}$$

Combinando con la Legge dei nodi → sistema di 3 equazioni in 3 incognite (correnti)

Esercizio: soluzione di un circuito applicando le leggi di Kirchhoff

Per esempio, si abbia il circuito a 2 maglie, con:

$$E_1 = 3 \text{ V}, \quad E_2 = 6 \text{ V}$$

$$R_1 = 2 \Omega, \quad R_2 = 4 \Omega$$

Per le leggi di Kirchhoff:

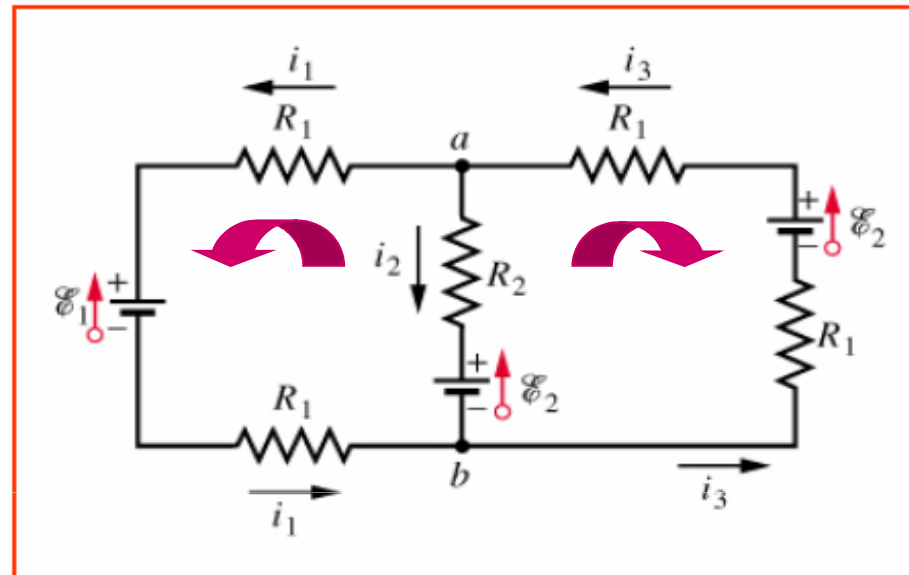
$$\text{nel nodo } a: i_3 = i_1 + i_2,$$

nella maglia di sinistra (scelto verso di percorrenza antiorario)

$$-i_1 R_1 - E_1 - i_1 R_1 + E_2 + i_2 R_2 = 0$$

nella maglia di destra (scelto verso di percorrenza orario da a):

$$+i_3 R_1 - E_2 + i_3 R_1 + E_2 + i_2 R_2 = 0$$



$$i_2 = -0.25 \text{ A}$$

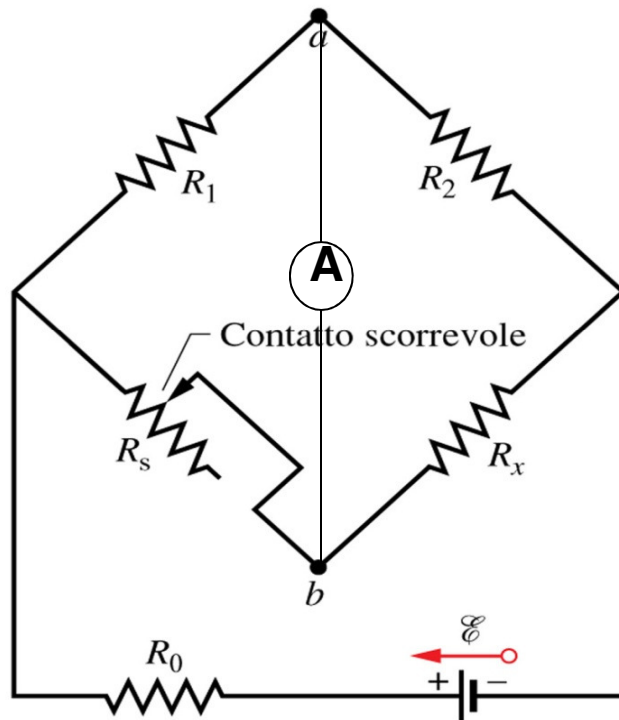
$$i_1 = 0.50 \text{ A}$$

$$i_3 = 0.25 \text{ A}$$

La nostra scelta arbitraria del verso di i_2 non ha individuato il verso giusto che è opposto a quello da noi scelto

I segni delle correnti e il verso di percorrenza delle maglie sono stati scelti in modo arbitrario. Risolvendo il sistema di equazioni si ricavano le correnti e il loro verso in ogni ramo del circuito.

Esercizio: il ponte di Wheatstone



Misura di R_x , variando R_s finché si ottiene $V_a = V_b$ (cioè non passa corrente nell'amperometro A)

$$i_1 R_1 = i_s R_s$$

$$i_2 R_2 = i_x R_x$$

$$i_1 = i_2 \quad i_x = i_s$$

dividendo membro a membro le prime 2 equazioni

$$R_x = \frac{R_2 R_s}{R_1}$$

Esercizi (I)

Es. 18.3 (Gia)

Quanto vale la corrente, espressa in ampere, che fluisce attraverso una membrana cellulare attraversata da 1200 ioni Na^+ in $3.5 \mu\text{s}$?
(La carica dello ione Na^+ è pari a $+e$).

Es. 18.5 (Gia)

Determinare la differenza di potenziale necessaria affinché una corrente da 0.25 A attraversi una resistenza da 3800Ω .

Es. 18.24 (Gia)

La tensione di alimentazione di una lampadina a incandescenza è 120 V . Calcolare la sua resistenza e la corrente che la attraversa sapendo che la potenza dissipata vale (a) 75 W , (b) 440 W .

Es. 19.5 (Gia)

Quattro lampadine da 240Ω vengono collegate in serie. Calcolare la resistenza totale del circuito. Ripetere lo stesso calcolo nel caso di collegamento in parallelo.

Esercizi (II)

Es. 19.9 (Gia)

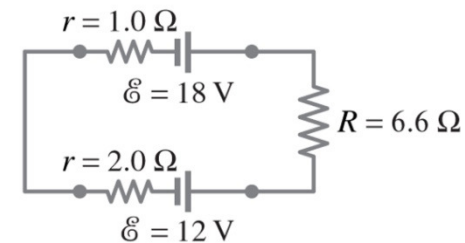
Si hanno a disposizione tre resistenze, rispettivamente da 680Ω , 940Ω e $1.2 \text{ K}\Omega$. Quanto vale la resistenza (a) massima e (b) minima che si può ottenere combinando queste tre resistenze?

Es. 1

Una lampadina ad incandescenza dissipa una potenza di 100 W se alimentata con una tensione di 220 V . Che potenza dissiperebbe se venisse combinata in serie con una lampadina identica e la serie delle due lampadine fosse alimentata ancora con una tensione di 220 V ?

Es. 19.24 (GIA)

Determinare la tensione tra i terminali di ciascuna batteria presente nel circuito illustrato in figura.



Es. 19.25 (GIA)

- (a) Quanto vale la differenza di potenziale tra i punti "a" e "d" ($V_{ad} = V_d - V_a$) in figura?
(b) Quanto vale la tensione V_{db} e V_{ge} tra i terminali di ciascuna batteria?

