



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Dipartimento di Scienze Fisiche,
Informatiche e Matematiche

ELETROMAGNETISMO

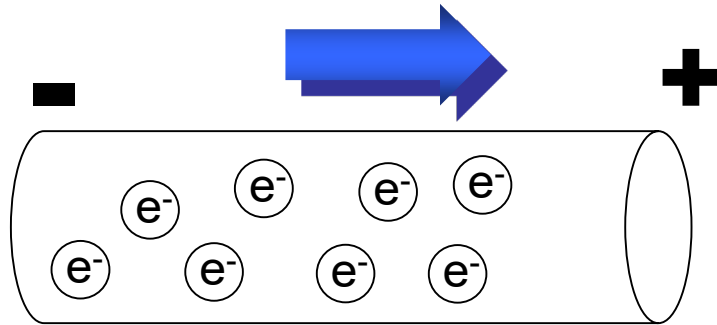
Corrente elettrica e circuiti



Correnti elettriche e Circuiti

- Corrente elettrica e velocità di deriva
- FEM
- Resistenza & Resistività
- Amperometri & Voltmetri
- Potenza & Energia elettrica
- Leggi di Kirchhoff
- Elementi circuitali in Serie & Parallelo

Corrente Elettrica



Se agli estremi di un filo metallico si stabilisce una ddp elettrico, si crea un moto di elettroni.

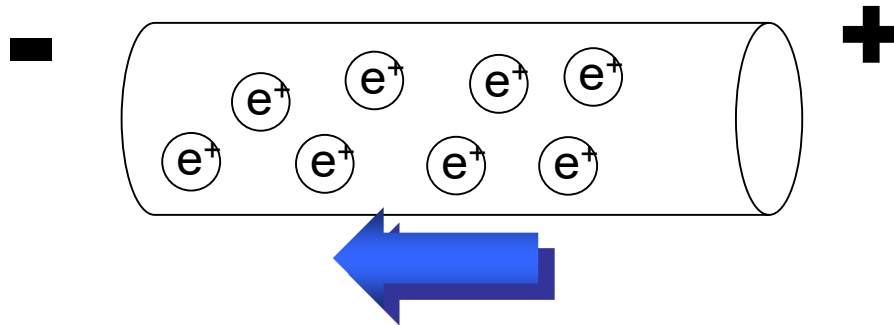
Si assuma che gli elettroni fluiscano verso destra.

$$\text{Current : } I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

La corrente è una misura della quantità di carica che passa attraverso un'area perpendicolare al flusso di carica.

Unità di misura della corrente: 1C/sec = 1 amp

La corrente di elettroni fluisce fino a che la differenza di potenziale non si annulla.



Per convenzione si assume che la corrente sia trasportata da cariche positive. Quindi la direzione di scorrimento della corrente in un filo è opposta al reale flusso degli elettroni. (Nel disegno precedente la corrente scorre verso sinistra.)

In un circuito, se la corrente scorre sempre nella stessa direzione si ha un circuito in **corrente continua** (DC).



Se una corrente di 80.0 mA sussiste in un filo metallico, quanti elettroni fluiscono attraverso una certa sezione del filo in 10.0 minuti?

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

$$\Delta q = I\Delta t = (80.0 \times 10^{-3} \text{ A})(600 \text{ sec}) = 48.0 \text{ C}$$

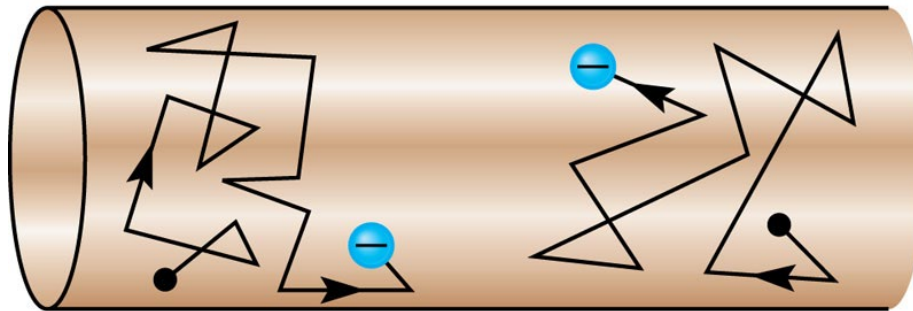
$$\begin{aligned} \# \text{ of electrons} &= \frac{q}{\text{charge per electron}} \\ &= \frac{48.0 \text{ C}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C/electron}} \\ &= 3.00 \times 10^{20} \text{ electrons} \end{aligned}$$

Descrizione Microscopica della corrente in un Metallo

Gli elettroni in un metallo hanno velocità di $\sim 10^6$ m/s, ma la direzione del loro moto è casuale, quindi la loro velocità di deriva $v_{\text{drift}} = 0$.

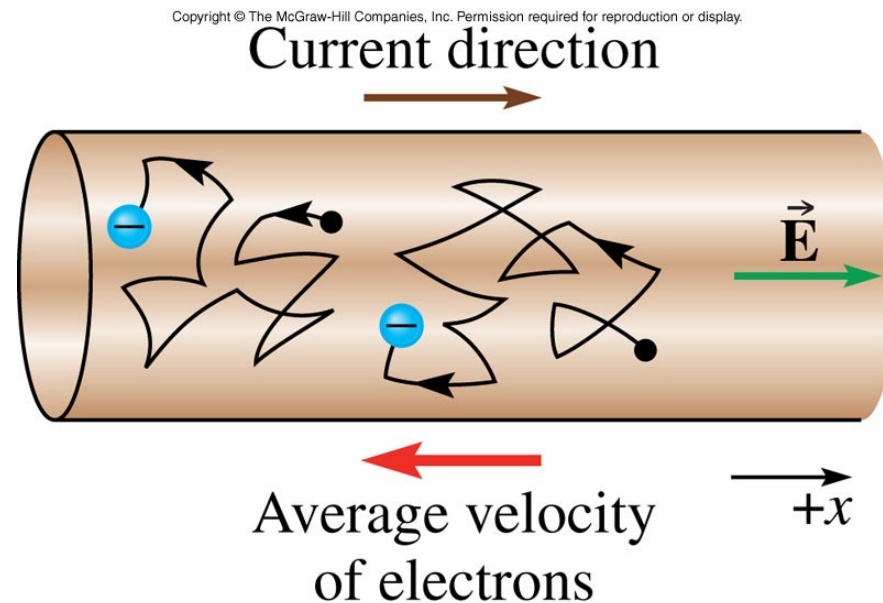
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

No current



(a)

Solo quando le estremità del filo si trovano a potenziali diversi ($E \neq 0$) ci sarà un flusso netto di elettroni lungo il filo ($v_{\text{drift}} \neq 0$). Tipicamente, $v_{\text{drift}} < 1 \text{ mm/sec}$.



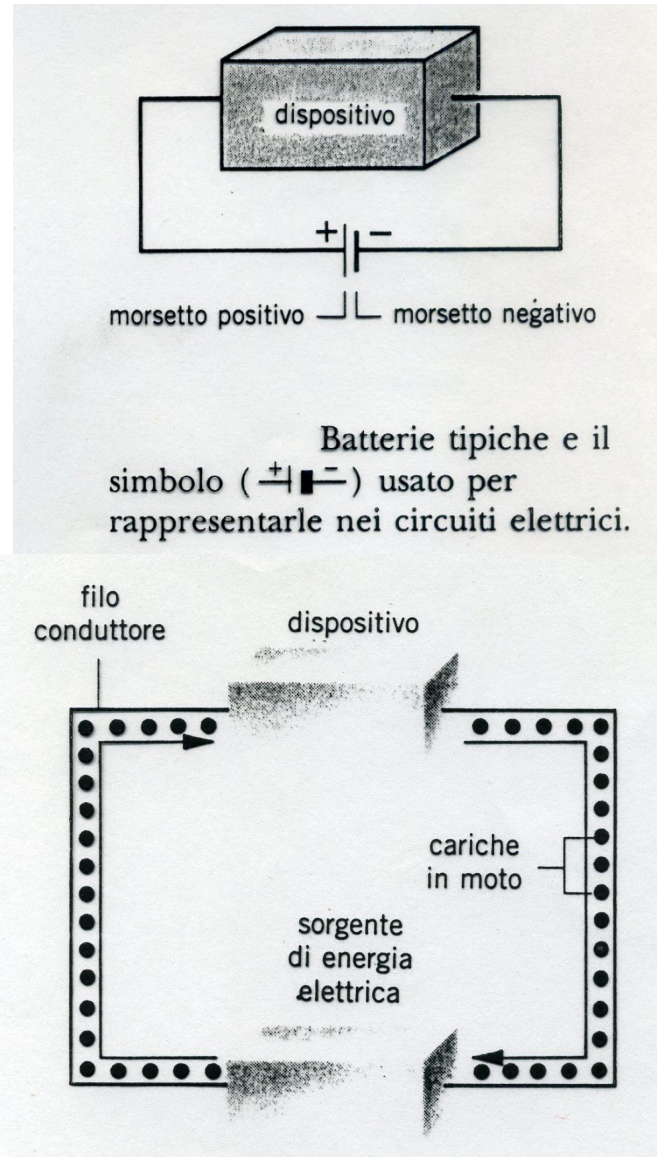
(b)

FEM E Circuiti

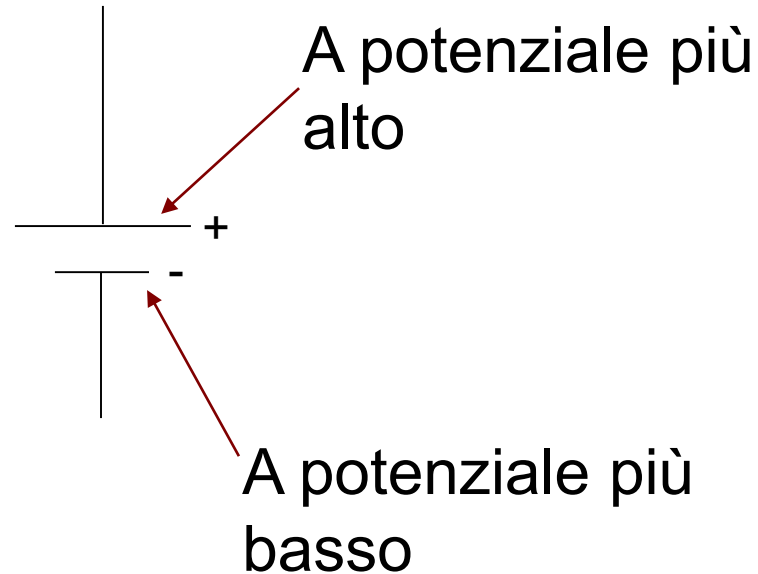
<https://www.raiscuola.rai.it/fisica/articoli/2021/02/La-corrente-elettrica-a2478937-d25c-4817-9e4e-b4f5dd6a704f.html>

Una batteria ideale mantiene una differenza di potenziale costante tra i suoi morsetti. Questa differenza di potenziale si chiama forza elettromotrice della batteria (FEM ε).

Il lavoro svolto da una batteria ideale nello spostare una carica q tra i due morsetti è $W=q\varepsilon$.



Il simbolo circuitale di una batteria (sorgente di fem) è



Le batterie funzionano convertendo energia chimica in energia elettrica. Una batteria si esaurisce quando non può più sostenere le reazioni chimiche al suo interno e quindi non può più produrre lavoro per spostare le cariche.

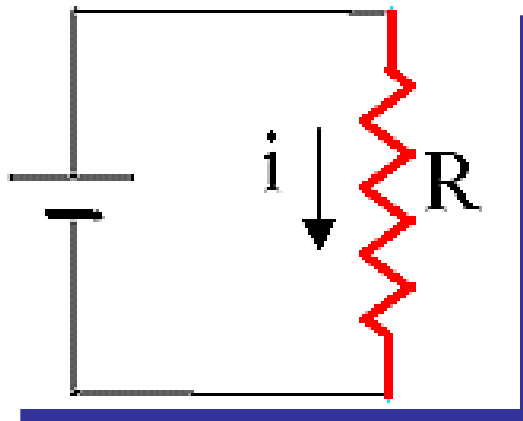
Resistenza e Resistività

Un materiale è considerato **ohmico** se $\Delta V \propto I$.

La legge di Ohm è:

$$\Delta V = IR$$

La costante di proporzionalità R viene chiamata **resistenza** e si misura in ohm (Ω ; $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$).



La resistenza di un conduttore è: $R = \rho \frac{L}{A}$

dove ρ è la **resistività** del materiale, L è la lunghezza del conduttore, A è l'area della sezione trasversale.

Con $R \propto \rho$ un materiale è considerato un conduttore se ρ è “piccolo” e isolante se ρ è “grande”.

Resistività elettrica

Resistività elettriche*
di vari materiali

Materiale	Resistività ρ ($\Omega \cdot m$)
Conduttori	
alluminio	$2,82 \cdot 10^{-8}$
argento	$1,59 \cdot 10^{-8}$
ferro	$9,7 \cdot 10^{-8}$
mercurio	$95,8 \cdot 10^{-8}$
nichelcromo (lega)	$\sim 100 \cdot 10^{-8}$
oro	$2,44 \cdot 10^{-8}$
rame	$1,72 \cdot 10^{-8}$
tungsteno	$5,6 \cdot 10^{-8}$
Semiconduttori	
carbonio	$3,5 \cdot 10^{-5}$
germanio	0,5**
silicio	$20 \div 2300^{**}$
Isolanti	
ebanite	$10^{13} \div 10^{16}$
legno (diacero)	$3 \cdot 10^{10}$
mica	$10^{11} \div 10^{15}$
teflon	10^{16}

* I valori si riferiscono a temperature vicine a 20 °C.

** Secondo la purezza.

La resistività di un materiale dipende dalla sua temperatura:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha (T - T_0))$$

dove ρ_0 è la resistività alla temperatura T_0 , e α è il coefficiente di temperatura della resistività.

Un materiale è un superconduttore se $\rho=0$.

Resistività elettrica

Coefficienti di
temperatura* delle resistività di vari
materiali

Materiale	Coefficiente di temperatura della resistività α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
alluminio	0,0039
argento	0,0038
carbonio	-0,0005
ferro	0,0050
germanio	-0,05
mercurio	0,00089
nichelcromo (lega)	0,0004
oro	0,0034
rame	0,00393
silicio	-0,07
tungsteno	0,0045

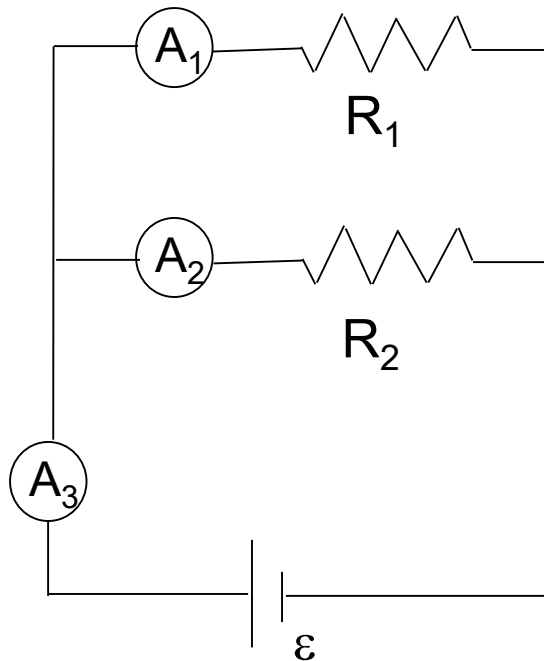
* I valori si riferiscono alla temperatura di
a 20 $^{\circ}\text{C}$.

Misurare Correnti e Voltaggi

Le correnti si misurano con un **amperometro**.

Un amperometro è posizionato in serie al componente circuitale di interesse.

Un amperometro ha una resistenza interna bassa.

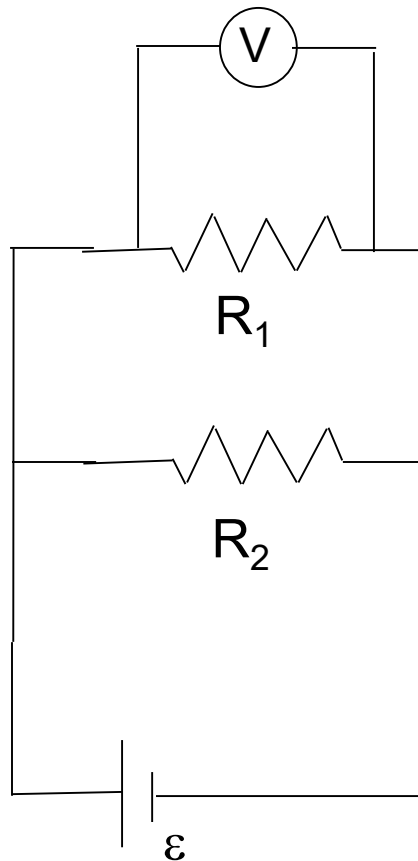


A_1 misura la corrente attraverso R_1 .

A_2 misura la corrente attraverso R_2 .

A_3 misura la corrente estratta dalla fem.

Un **voltmetro** si usa per misurare la caduta di potenziale su un elemento circuitale. Viene posizionato in parallelo al componente. Un voltmetro ha una resistenza interna elevata rispetto alle resistenze del circuito.



Il voltmetro misura la caduta di potenziale su R_1 .

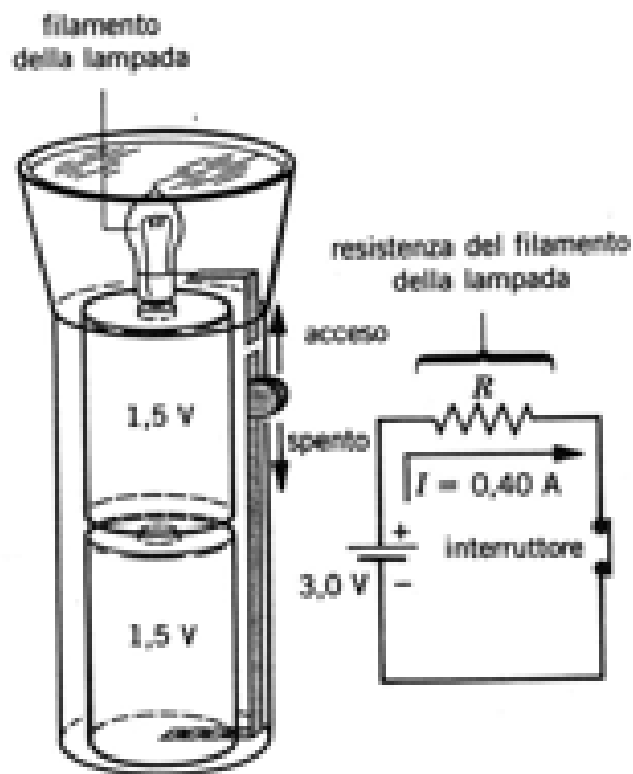
Potenza e Energia nei Circuiti

Il tasso di dissipazione di energia è: $P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{q}{\Delta t} \Delta V = I \Delta V$

Per una sorgente di fem: $P = I \mathcal{E}$

Per una resistenza: $P = I \Delta V = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$

Il filamento metallico percorso da corrente in una lampada elettrica si riscalda fino a diventare incandescente. Se vengono utilizzate due batterie di 1.5V che producono una ddp di 3V ai capi del filamento per fornire una corrente di 0.4 A, determinare la resistenza del filamento. Trovare inoltre la potenza erogata dalla lampada e l'energia dissipata in 5.5 minuti di funzionamento.



La resistenza è data dalla legge di Ohm:

$$R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{3}{0.4} = 7.5 \, \Omega$$

La potenza erogata è data da:

$$P = I^2 R = 0.4^2 \times 7.5 = 1.2 \, W$$

L'energia dissipata in 5.5 minuti è:

$$E = P \cdot t = 1.2 \, W \cdot 5.5 \cdot 60 \, s = 396.0 \, J$$



La resistenza di un conduttore è $19.8 \, \Omega$ a $15.0 \, ^\circ\text{C}$ e $25.0 \, \Omega$ a $85.0 \, ^\circ\text{C}$. Trascurando l'effetto della variazione di temperatura sui parametri geometrici del resistore, qual è il coefficiente di temperatura della resistività?

Sono dati i valori di R a diverse temperature, non quelli di ρ . Ma le due quantità sono collegate.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1) \quad \rho = \rho_0 (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (2)$$

Moltiplica entrambi i membri dell'equazione (2) per L/A e usa l'equazione (1) per ottenere:

$$R = R_0 (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (3)$$

continua:

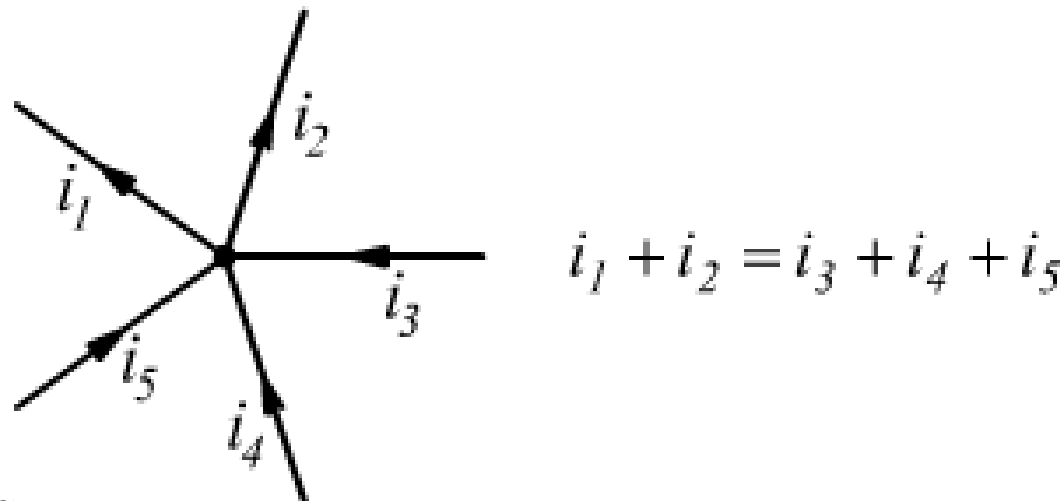
Risolvi l'equazione (3) per α e calcolala usando i dati noti:

$$\alpha = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{\Delta T} = \frac{\frac{25.0 \, \Omega}{19.8 \, \Omega} - 1}{85.0 \, ^\circ\text{C} - 15.0 \, ^\circ\text{C}} = 3.75 \times 10^{-3} \, ^\circ\text{C}^{-1}$$

Principi di Kirchhoff

Un nodo è un punto in cui tre o più fili (o altri componenti) si incontrano.

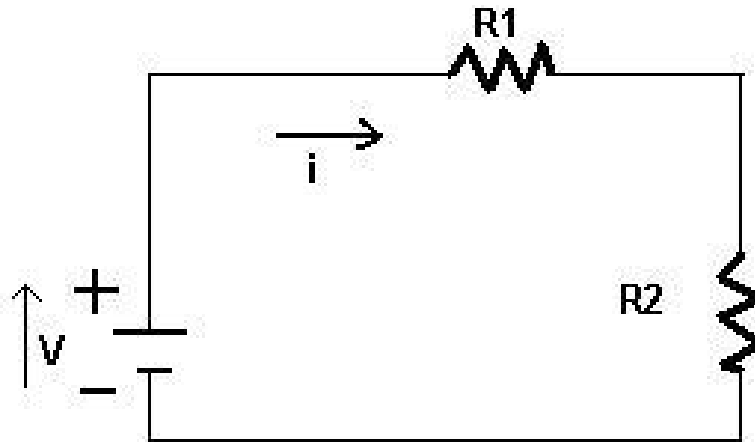
Legge dei nodi: la corrente che entra in un nodo è la stessa che esce da esso. (questo principio esprime la conservazione della carica elettrica)



Principi di Kirchhoff

Una **maglia** è un percorso chiuso all'interno di un circuito.

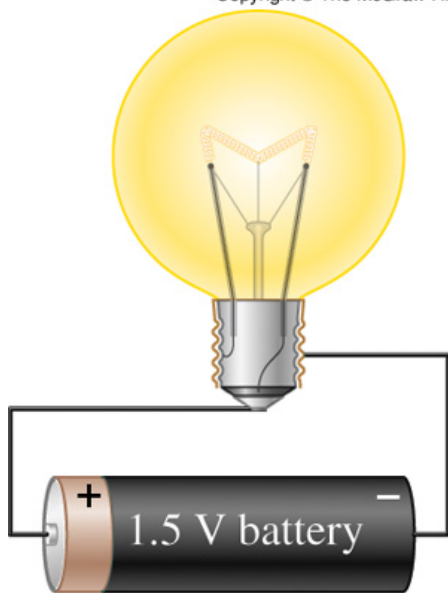
Legge delle maglie: la somma delle cadute di potenziale in una maglia è zero. (questo principio esprime la conservazione dell'energia).



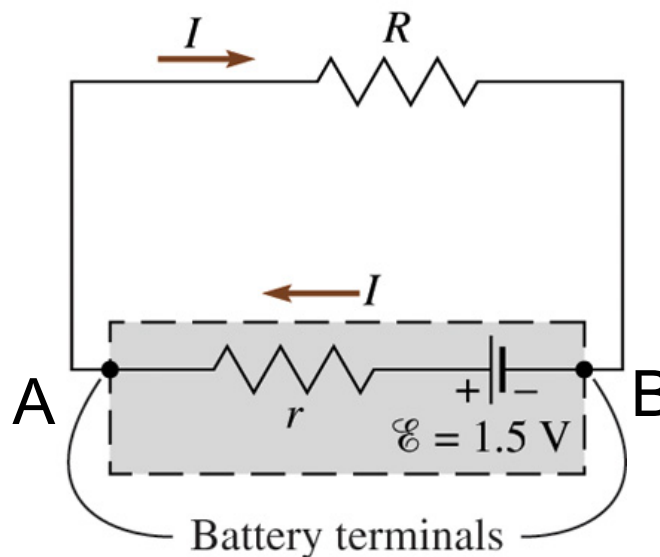
Legge delle maglie:
 $V - iR1 - iR2 = 0$

Una corrente scorrerà solo attorno a una maglia.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



(a)



(b)

V_{AB} è la
ddp al
terminale.

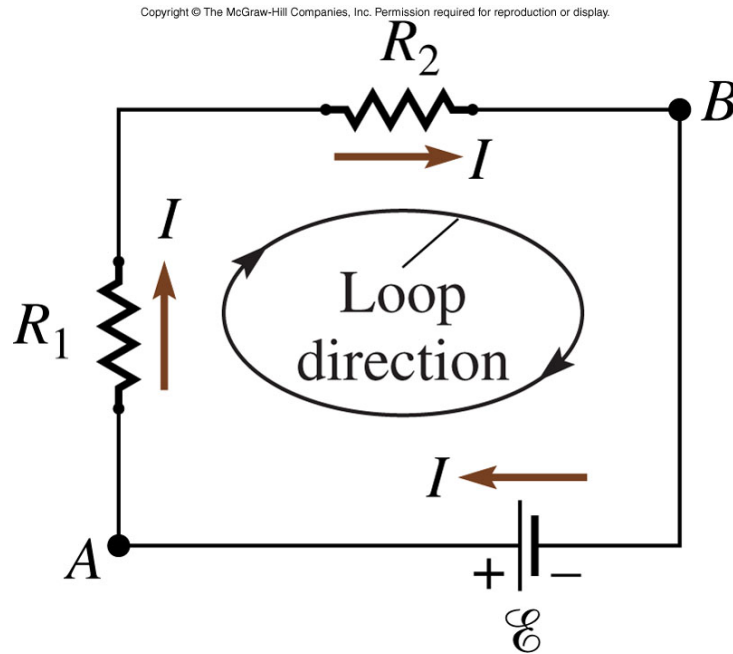
Applicando la legge
delle maglie:

$$V_{AB} - IR = 0$$

$$\mathcal{E} - Ir - IR = 0$$

Circuiti in Serie e in Parallelo

Resistenze



La corrente attraverso le due resistenze è la stessa. Non viene “consumata” mentre attraversa il circuito!

Queste resistenze sono in serie.

Applicando le legge di Kirchhoff's delle maglie:

$$\mathcal{E} - IR_1 - IR_2 = 0$$

$$\mathcal{E} = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) = IR_{\text{eq}}$$

La coppia di resistenze R_1 and R_2 può essere sostituita con un'unica resistenza equivalente $R_{eq}=R_1 + R_2$.

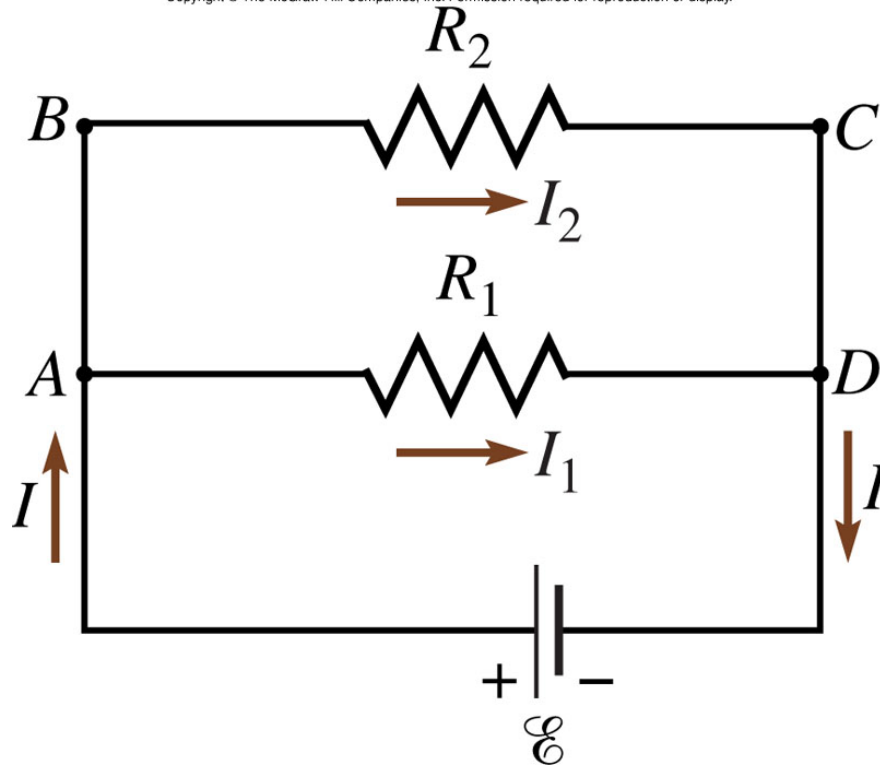
In generale, per le resistenze in serie

$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_1 + R_2 + \dots + R_n \\ &= \sum_{i=1}^n R_i. \end{aligned}$$

La corrente scorre solo attraverso circuiti chiusi. Quando la corrente raggiunge il punto A si divide in due correnti.

R_1 e R_2 non sono attraversate dalla stessa corrente, sono in parallelo.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Applica la legge di Kirchhoff delle maglie:

$$\mathcal{E} - I_1 R_1 = 0$$

$$\mathcal{E} - I_2 R_2 = 0$$

La caduta di potenziale attraverso ciascuna resistenza è la stessa.

Applicando la legge dei nodi in A: $I = I_1 + I_2$.

Dalla legge delle maglie: $\mathcal{E} = I_1 R_1 = I_2 R_2$

Sostituendo I_1 e I_2 nella legge dei nodi:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1} + \frac{\mathcal{E}}{R_2}$$
$$\frac{I}{\mathcal{E}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{\text{eq}}}$$

La coppia di resistenze R_1 e R_2 può essere sostituita con una sola resistenza equivalente:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

In generale, per le resistenze in parallelo:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{\text{eq}}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}. \end{aligned}$$



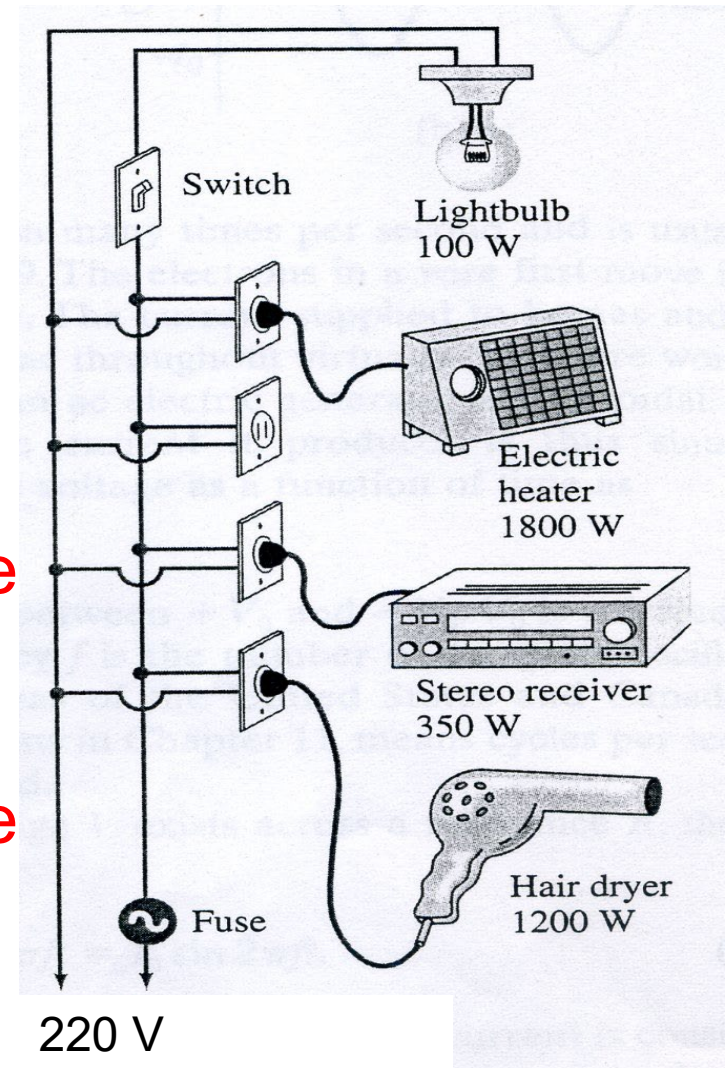
Per rendere più lungo possibile l'uso della catena di luci del vostro albero di Natale conviene che le lampadine siano collegate in serie o in parallelo?



Nel collegamento in serie se una resistenza si rompe si interrompe la circolazione della corrente in tutte le altre. Nel collegamento in parallelo, invece, le altre resistenze continuano a funzionare, sebbene con una corrente di intensità maggiore. Conviene quindi questa seconda configurazione di collegamento.



Il vostro impianto elettrico è alimentato da una potenza di 5 KW. Ad un certo istante la differenza di potenziale erogata è 220 V. Se avete collegati quattro elettrodomestici che assorbono, rispettivamente 100 W, 1,8 KW, 350 W e 1,2 kW (ved. figura) quale corrente elettrica li attraversa? Quale potenza e quale corrente vi rimangono disponibili per collegare altri elettrodomestici?



Gli elettrodomestici sono collegati in parallelo. Quindi hanno tutti la stessa ddp di 220 V. Le varie correnti si calcolano dividendo la potenza assorbita da ogni singolo utilizzatore per la ddp comune:

$$I_n = P_n / \Delta V$$

$$I_{Lightbulb} = \frac{100}{220} = 0,45A$$

$$I_{Electric-Heater} = \frac{1800}{220} = 8,18A$$

$$I_{Stereo-Receiver} = \frac{350}{220} = 1,59A$$

$$I_{Hair-dryer} = \frac{1200}{220} = 5,45A$$

La potenza complessiva utilizzata è

$$P = i\Delta V = (i_1 + i_2 + i_3 + i_4) \Delta V =$$

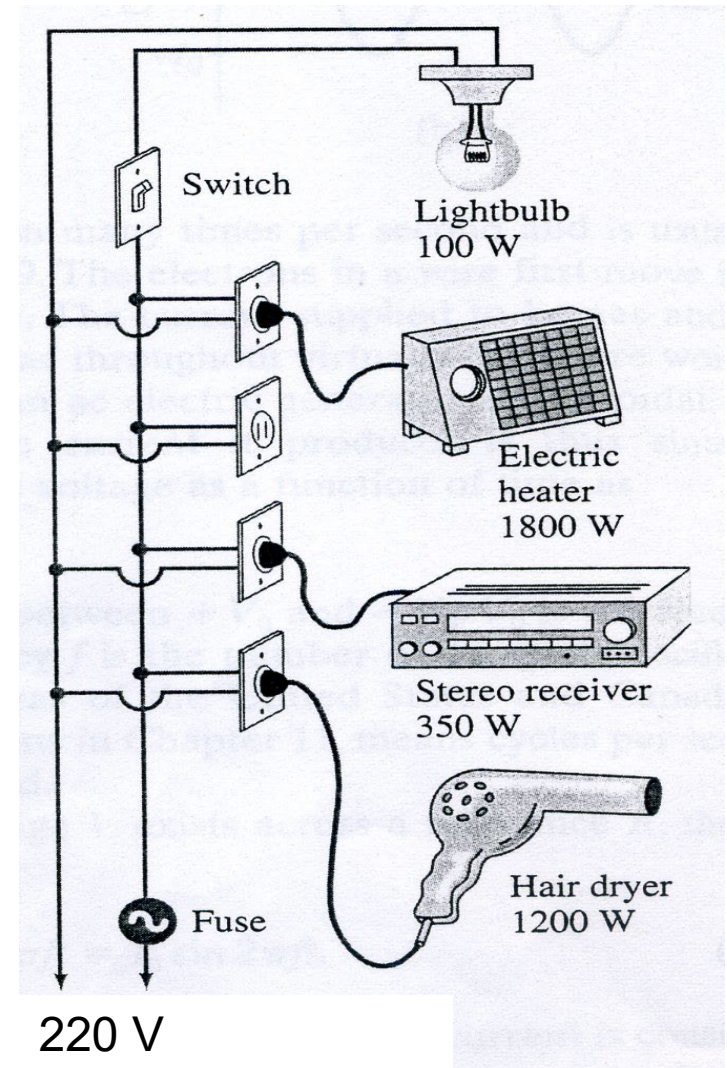
$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = (1,8 + 0,1 + 0,35 + 1,2) = 3,45 \text{ kW}$$

Rimangono quindi a disposizione

$$5 - 3,45 = 1,55 \text{ kW per altri elettrodomestici}$$

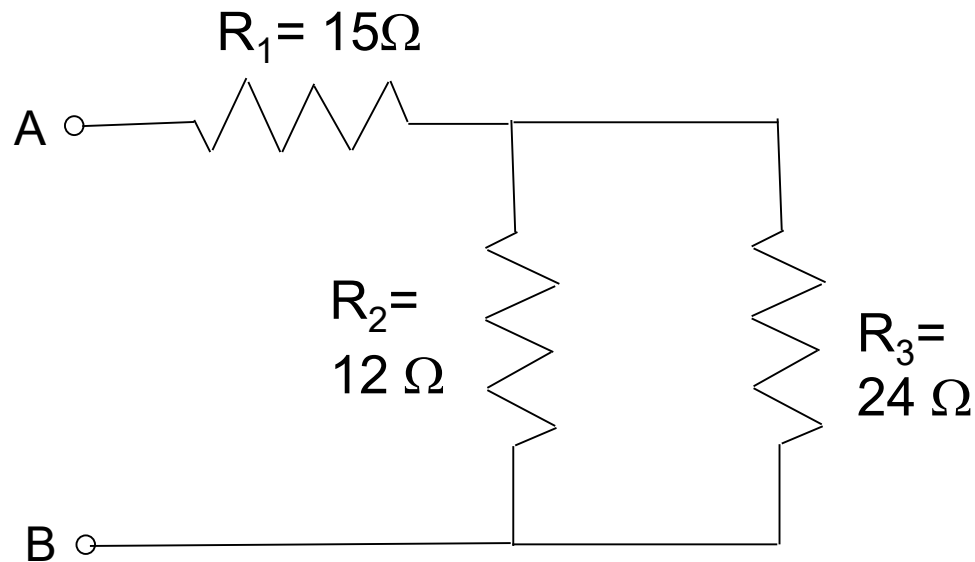
La corrente residua sarà:

$$I_{Residua} = \frac{P_{Residua}}{\Delta V} = \frac{1550}{220} = 7,05A$$





Nel circuito dato, qual è la resistenza totale tra i punti A e B?

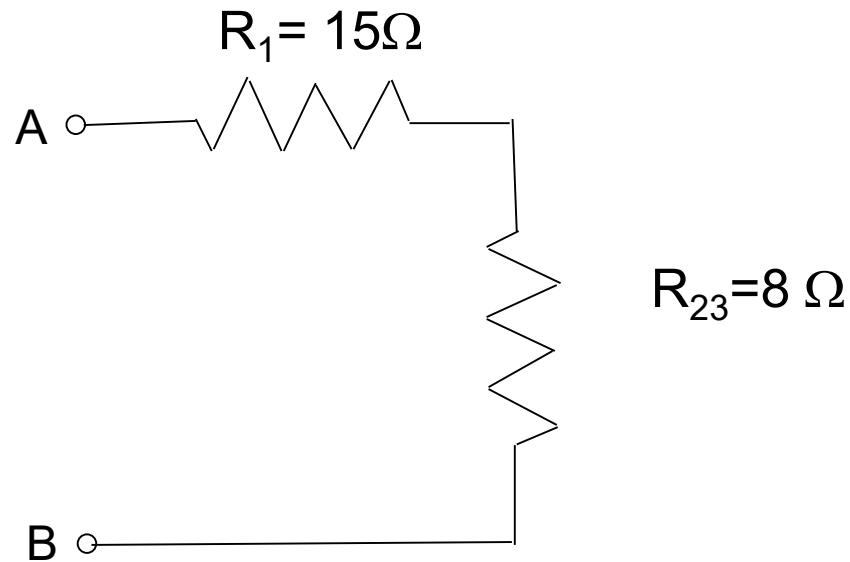


R_2 e R_3 sono in parallelo.
Sostituisci con la resistenza
equivalente R_{23} .

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
$$R_{23} = 8\Omega$$

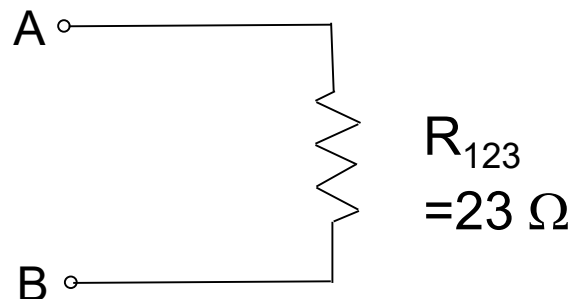
continua:

Il circuito può essere ridisegnato:



Le resistenze R_{23} e R_1 sono in serie:

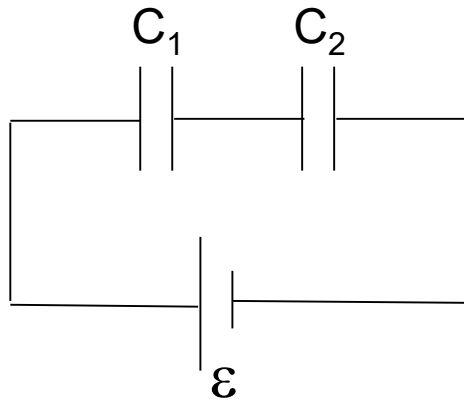
$$\begin{aligned} R_{123} &= R_1 + R_{23} \\ &= 23\Omega = R_{eq} \end{aligned}$$



Questo è il circuito equivalente e la resistenza totale è 23Ω .

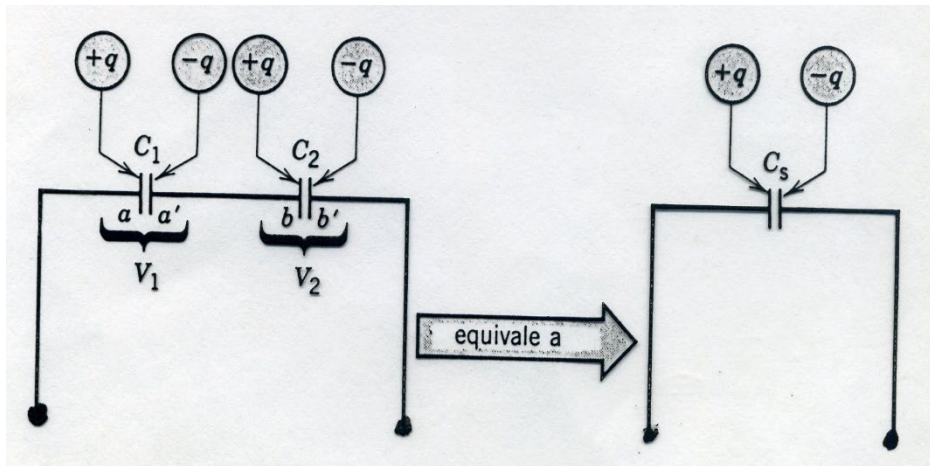
Circuiti in Serie e in Parallelo

Condensatori



Per i condensatori in figura la carica sulle armature è la stessa. **I due condensatori sono collegati in serie.**

Applica la legge di Kirchhoff delle maglie:



$$\varepsilon - \frac{Q}{C_1} - \frac{Q}{C_2} = 0$$

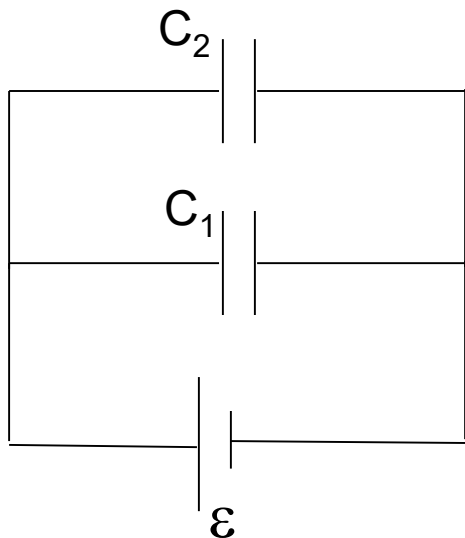
$$\frac{\varepsilon}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_{eq}}$$

La coppia di condensatori C_1 e C_2 può essere sostituita con un solo condensatore di capacità equivalente

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

In generale, per i condensatori in serie

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_{\text{eq}}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}. \end{aligned}$$

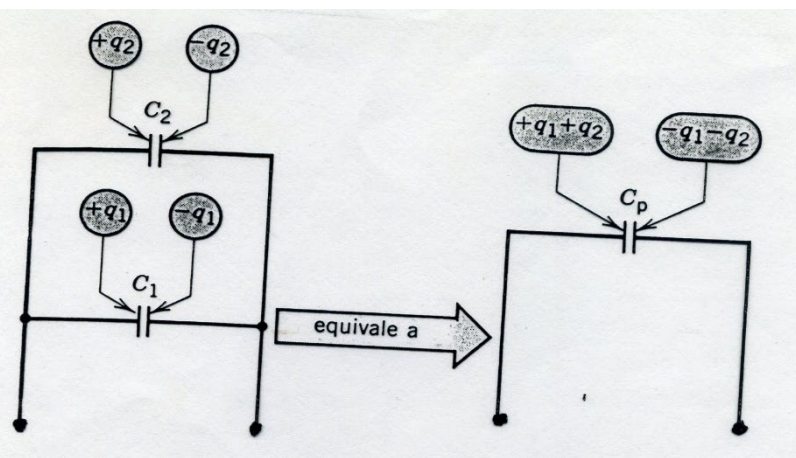


Per i condensatori in figura la carica sulle armature può essere diversa. **I due condensatori sono collegati in parallelo.**

Applica la legge di Kirchhoff delle maglie:

$$\varepsilon - \frac{Q_1}{C_1} = 0$$

$$\varepsilon - \frac{Q_2}{C_2} = 0$$



$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2$$

$$\varepsilon C_{eq} = \varepsilon C_1 + \varepsilon C_2$$

La coppia di condensatori C_1 e C_2 può essere sostituita con un solo condensatore di capacità equivalente

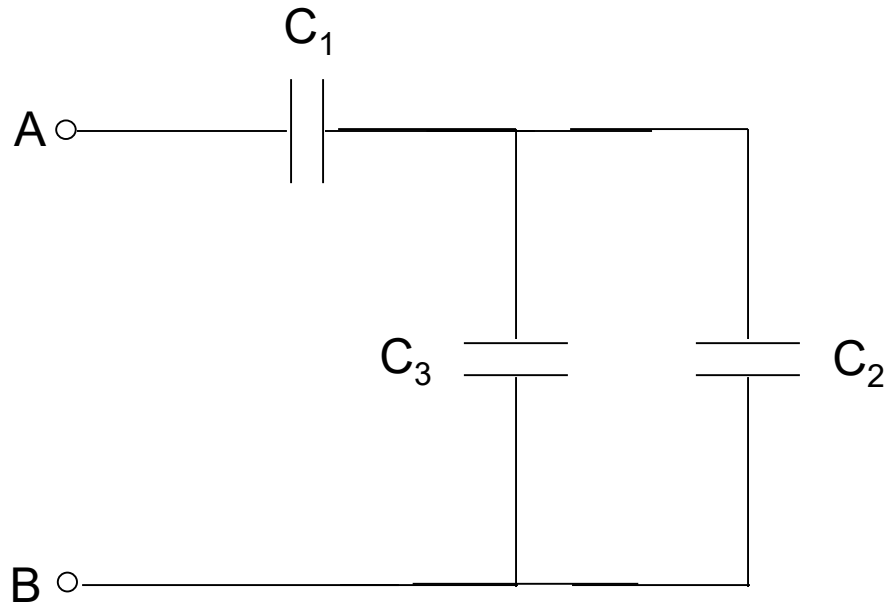
$$C_{\text{cq}} = C_1 + C_2.$$

In generale, per i condensatori in parallelo

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i.$$



Trova il valore della capacità equivalente nel circuito seguente se $C_1 = C_2 = C_3 = 12 \mu\text{F}$.

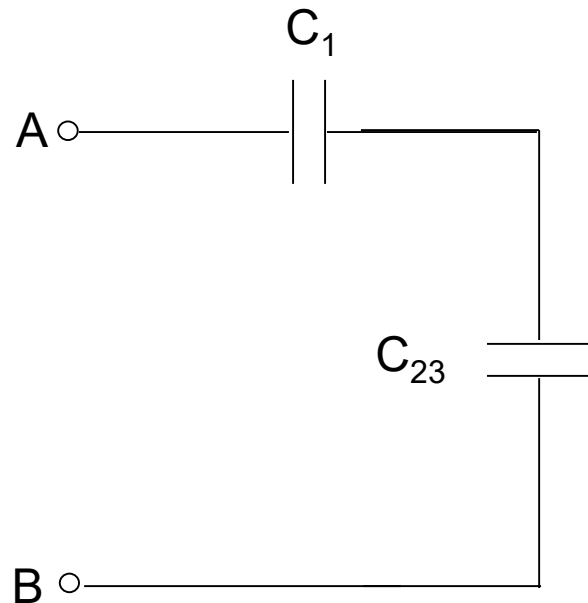


C_2 e C_3 sono in parallelo

$$\begin{aligned} C_{23} &= C_2 + C_3 \\ &= 24 \mu\text{F} \end{aligned}$$

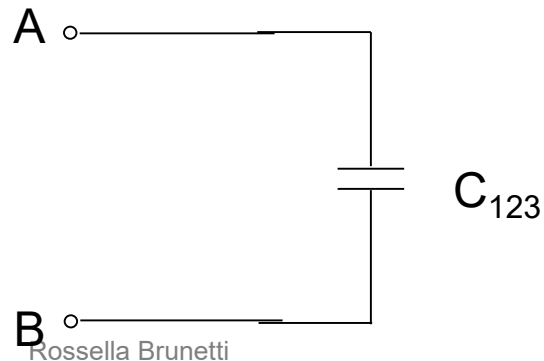
continua:

Il circuito può essere ridisegnato:



I due condensatori rimanenti sono in serie.

$$\begin{aligned}\frac{1}{C_{123}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{23}} \\ &= \frac{1}{12 \mu\text{F}} + \frac{1}{24 \mu\text{F}} \\ C_{123} &= 8 \mu\text{F}\end{aligned}$$



Questo è il circuito equivalente finale.