Corrente e Circuiti a Corrente Continua

La Corrente elettrica

- Supponiamo che delle cariche si muovano perpendicolarmente a una superficie di area A come in figura. La corrente elettrica è definita come la rapidità con la quale la carica fluisce attraverso questa superficie. La corrente media è data da

$$I_{med} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

La corrente istantanea

$$I \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

L'unità SI di corrente è l'ampere (A)

$$1A = 1C/s$$

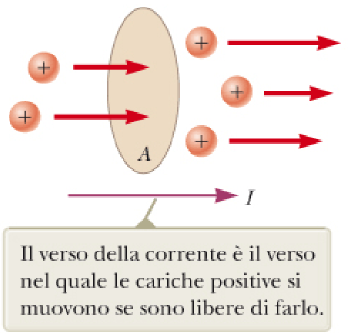


Figura 21.1 Cariche in moto attraverso una superficie di area A. La rapidità con la quale la carica elettrica fluisce attraverso questa superficie è definita corrente I.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

La Corrente elettrica

- Per convenzione si sceglie come verso positivo della corrente quello in cui fluisce la carica positiva. Solitamente ci si riferisce a particelle cariche che si muovono come a portatori di carica mobili. In un metallo i portatori di carica sono elettroni (il verso della corrente è quindi opposto al verso in cui si muovono gli elettroni).
- Consideriamo delle particelle cariche identiche che si muovono in un conduttore cilindrico di sezione trasversale con area A (figura a fianco)
- Il volume di un elemento di conduttore è dato da $A\Delta x$. Se n è il numero di portatori di carica mobili per unità di volume (cioè la densità di portatori di carica), la carica totale in questo elemento è data da

$$\Delta Q = numero\ di\ portatori \times carica\ per\ particella = (nA\Delta x)q$$

Dove q è la carica di ciascun portatore.

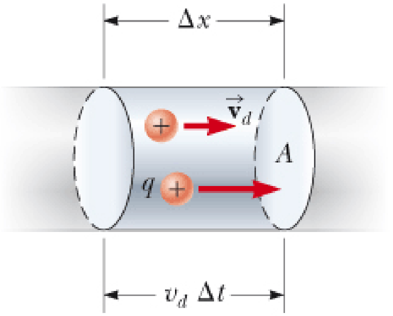


Figura 21.2 Un segmento di conduttore uniforme con sezione di area A.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

La Corrente elettrica

- Se i portatori si muovono lungo la direzione x del conduttore con velocità media v_d, la distanza che essi percorrono in questa direzione nell'intervallo di tempo Δt è $\Delta x = v_d \Delta t$. La velocità v_d è una velocità media detta **velocità di deriva.**
- Supponiamo che Δt sia scelto in modo tale che durante questo intervallo di tempo tutti i portatori di carica nel volume $A\Delta x$ si muovano di una distanza uguale a Δx. Possiamo scrivere la quantità di carica ΔQ:

$$\Delta Q = (nAv_d\Delta t)q$$

La corrente nel conduttore è:

$$I_{med} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqv_dA \qquad \text{equazione 21.4}$$

Questa equazione mette in relazione una corrente I misurata macroscopicamente con l'origine microscopica della corrente: la densità dei portatori di carica n, la carica per portatore q e la velocità di deriva v_d.

Quiz rapido

- Consideriamo delle cariche positive e negative che si muovono orizzontalmente attraverso le 4 regioni mostrate in figura. Ordinare le correnti in queste 4 regioni dalla più alta alla più bassa

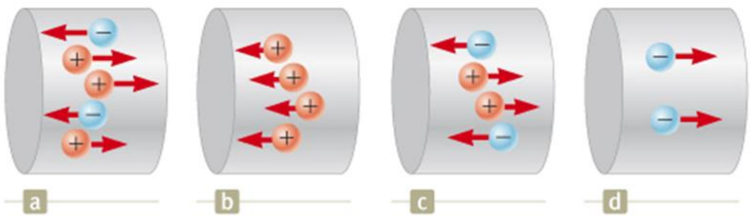


Figura 21.3 (Quiz Rapido 21.1) Quattro gruppi di cariche si muovono attraverso una regione.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Quiz rapido

- Consideriamo delle cariche positive e negative che si muovono orizzontalmente attraverso le 4 regioni mostrate in figura. Ordinare le correnti in queste 4 regioni dalla più alta alla più bassa

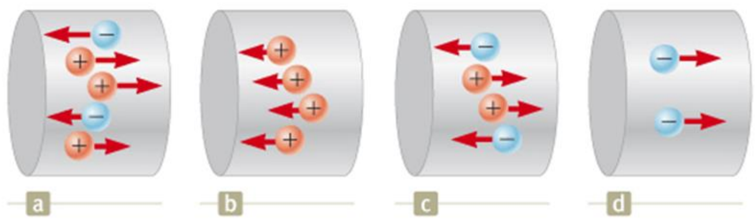


Figura 21.3 (Quiz Rapido 21.1) Quattro gruppi di cariche si muovono attraverso una regione.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Risposte
(a) > (b) = (c) > (d)

La Corrente elettrica

- Il moto degli elettroni dovuto alla forza elettrica si sovrappone al moto casuale (correlato alla temperatura) per fornire una velocità media il cui modulo è la velocità di deriva
- Quando gli elettroni urtano gli atomi del metallo, una parte dell'energia cinetica si trasferisce agli atomi, aumentando l'energia interna del sistema.
- La **densità di corrente** J nel conduttore è definita come la corrente per unità di area:

$$J \equiv \frac{I}{A} = nqv_d$$

Nel SI ha unità di ampere su metro quadrato

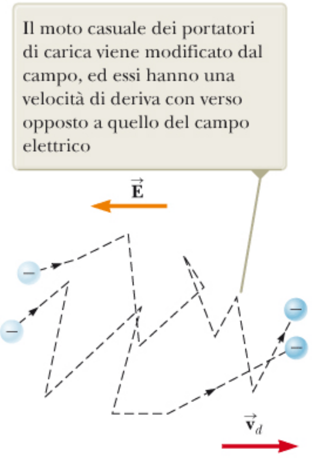


Figura 21.4 Una rappresentazione schematica del moto a zig-zag di portatori di carica negativi in un conduttore. A causa dell'accelerazione dei portatori di carica dovuta alla forza elettrica, i percorsi reali sono parabolici. La velocità di deriva, comunque, è molto più piccola della velocità media, così che la forma parabolica non è visibile su questa scala.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio – Velocità di deriva in un filo di rame

- Un tipico filo di rame per case ha una sezione di area $3.31 \times 10^{-6} m^2$. Esso trasporta una corrente di 10.0 A. Quale è la velocità di deriva degli elettroni nel filo? Assumere che ogni atomo di rame fornisca un elettrone libero di conduzione. La densità del rame è $8.92\ g/cm^3$.

Resistenza e legge di Ohm

- Quando una differenza di potenziale ΔV viene applicata agli estremi di un conduttore metallico (figura a fianco) la corrente nel conduttore risulta proporzionale alla tensione applicata. Possiamo scrivere questa proporzionalità come $\Delta V = IR$, dove la costante di proporzionalità è detta **resistenza** del conduttore. Definiamo questa resistenza come:

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

L'unità SI della resistenza è il volt su ampere, chiamata Ohm (Ω). Per esempio se un dispositivo elettrico collegato ad una sorgente di 120 V trasporta una corrente di 6.0 A, la sua resistenza è di 20 Ω.

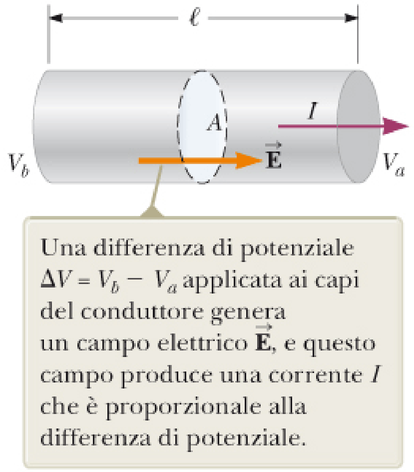


Figura 21.5 Un conduttore uniforme di lunghezza ℓ e sezione di area A.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistenza e legge di Ohm

- Per molti materiali si può mostrare che la resistenza è costante su un grande numero di tensioni applicate (**legge di Ohm**). I materiali che (non) seguono questa legge si chiamano Ohmici (non Ohmici).
- Esempio Diodo. Resistenza piccola per correnti in un verso (ΔV positivo), grande per correnti in verso opposto (ΔV negativo). Si veda figura 21.6b.
- QUIZ RAPIDO: In figura 21.6b al crescere della differenza di potenziale applicata, la resistenza del diodo:
    - A. Cresce
    - B. Decresce
    - C. Rimane costante

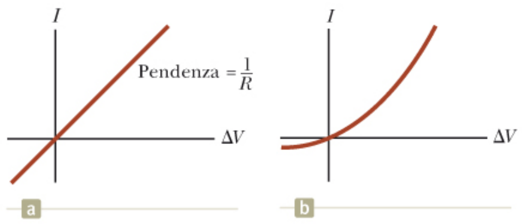


Figura 21.6 (a) La curva corrente-differenza di potenziale per un materiale ohmico. La curva è lineare, e la pendenza è uguale al reciproco della resistenza del conduttore. (b) Una curva corrente-differenza di potenziale non lineare per un diodo semiconduttore. Questo dispositivo non obbedisce alla legge di Ohm.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistenza e legge di Ohm

- Per molti materiali si può mostrare che la resistenza è costante su un grande numero di tensioni applicate (**legge di Ohm**). I materiali che (non) seguono questa legge si chiamano Ohmici (non Ohmici).
- Esempio Diodo. Resistenza piccola per correnti in un verso (ΔV positivo), grande per correnti in verso opposto (ΔV negativo). Si veda figura 21.6b.
- QUIZ RAPIDO: In figura 21.6b al crescere della differenza di potenziale applicata, la resistenza del diodo:
  A. Cresce
  B. Decresce
  C. Rimane costante

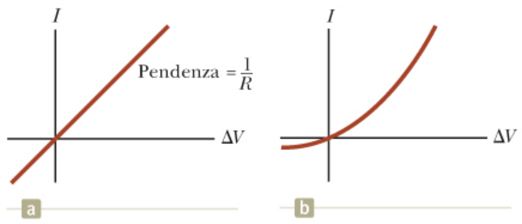
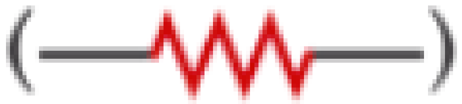


Figura 21.6 (a) La curva corrente-differenza di potenziale per un materiale ohmico. La curva è lineare, e la pendenza è uguale al reciproco della resistenza del conduttore. (b) Una curva corrente-differenza di potenziale non lineare per un diodo semiconduttore. Questo dispositivo non obbedisce alla legge di Ohm.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistenza e legge di Ohm



- Un resistore è un elemento circuitale che fornisce una specifica resistenza in un circuito elettrico. E’ indicato graficamente con il simbolo mostrato in alto a destra. Ai capi di un resistore la tensione ΔV è data da $\Delta V = IR$
- Si trova che la resistenza di un filo conduttore ohmico come quello mostrato in figura a fianco si può scrivere come:

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad equazione\ 21.8$$

Dove la costante di proporzionalità ρ è chiamata resistività del materiale e ha unità ohm per metro $(\Omega \cdot m)$. Ogni materiale ohmico ha una caratteristica resistività, mentre la resistenza dipende anche dalla dimensione e forma del conduttore.

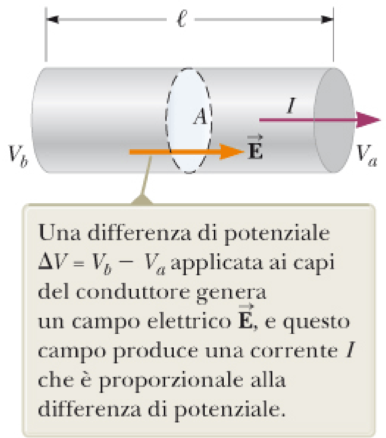


Figura 21.5 Un conduttore uniforme di lunghezza ℓ e sezione di area A.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistenza e legge di Ohm

- Il reciproco della resistività è definita come la conducibilità σ. Quindi la resistenza può essere espressa anche come

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

Dove $\sigma = 1/\rho$

- La resistenza di un conduttore è proporzionale alla sua lunghezza e inversamente proporzionale alla sua sezione, analogamente al flusso di un liquido in un condotto.

Resistenza e legge di Ohm

- Resistori a strato, contenenti carbone
- Resistori a filo, contenenti una bobina di filo conduttore
- I resistori hanno un codice di colore per esprimere i loro valori in ohm (figura a fianco)

Figura 21.7 Visione ravvicinata di un circuito integrato che mostra il codice colore su un resistore.

EdiSES
R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio - La resistenza di un filo di nichel-cromo

- Il raggio di un filo di nichel-cromo è 0.32 mm.
- Calcolare la resistenza per unità di lunghezza di questo filo.
- Se viene applicata una differenza di potenziale di 10 V ai capi di un filo di nichel-cromo lungo 1.0 m, quale è la corrente del filo?

Variazione della resistività con la temperatura

- Per la maggior parte dei metalli, in un intervallo limitato di temperature la resistività ρ varia secondo la legge:

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

Dove ρ_0 è la resistività ad una certa temperatura di riferimento T_0 (ordinariamente 20°C) è α è chiamato coefficiente termico della resistività, può essere espresso come

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0}\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

Dove $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ è la variazione di resistività nell'intervallo di temperatura $\Delta T = T - T_0$

- La variazione della resistenza può essere scritta come

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Questa proprietà viene spesso utilizzata per ottenere misure precise di temperatura

Superconduttori

- Per alcuni metalli e composti la resistenza diventa zero al di sotto di una particolare temperatura T_c(temperatura critica)
- In questi materiali (superconduttori) una volta stabilita una corrente questa persiste senza che sia applicata una tensione
- Applicazione: magneti superconduttori

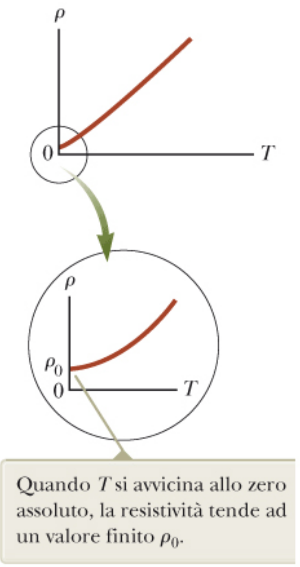


Figura 21.9 Resistività in funzione della temperatura per un metallo normale, come il rame. La curva è lineare su un ampio intervallo di temperature, e ρ aumenta all'aumentare della temperatura.

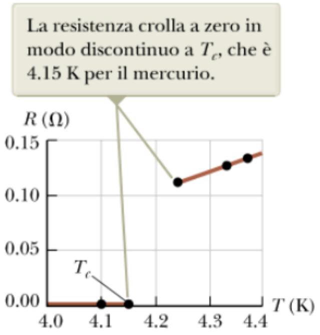


FIGURA 21.10 Resistenza in funzione della temperatura per un campione di mercurio (Hg). Il grafico segue l'andamento di un metallo normale al di sopra della temperatura critica Tc.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Un modello per la conduzione elettrica

- Modello introdotto inizialmente da Paul Drude nel 1900, porta alla legge di Ohm e mostra che la resistività può essere collegata al moto degli elettroni nei metalli.

1. Si consideri un conduttore come un reticolo di atomi ionizzati con un insieme di elettroni liberi, chiamati elettroni di conduzione.
2. Gli elettroni di conduzione riempiono l'interno del conduttore. In assenza di campo elettrico, essi si muovono in direzioni casuali attraverso il conduttore. La situazione è simile al moto delle molecole di gas confinate in un contenitore.
3. Quando un campo elettrico viene applicato al conduttore, gli elettroni di conduzione si muovono lentamente nel verso opposto a quello del campo elettrico, con una velocità di deriva v_d che è molto più piccola (tipicamente $10^{-4} m/s$) della loro velocità media tra le collisioni (tipicamente $10^6 m/s$).

Un modello per la conduzione elettrica

- Deriviamo ora un'espressione per la velocità di deriva. Quando un elettrone libero di massa m_e e carica $q(= -e)$ è sottoposto ad un campo elettrico $\vec{\mathbf{E}}$ subisce una forza $\vec{\mathbf{F}} = q\vec{\mathbf{E}}$. La sua accelerazione può essere ricavata dalla seconda legge di Newton

$$\vec{\boldsymbol{a}} = \frac{\sum \vec{\mathbf{F}}}{m} = \frac{q\vec{\mathbf{E}}}{m_e}$$

- Siccome il campo elettrico è uniforme possiamo descrivere l'elettrone come una particella con accelerazione costante. Se la velocità iniziale dell'elettrone subito dopo l'urto (che avviene ad un istante definito come t=0) è $\vec{\boldsymbol{v}}_i$, la velocità ad un istante t successivo (cioè immediatamente prima che avvenga l'urto successivo) è:

$$\vec{\boldsymbol{v}}_f = \vec{\boldsymbol{v}}_i + \vec{\boldsymbol{a}}t = \vec{\boldsymbol{v}}_i + \frac{q\vec{\boldsymbol{E}}}{m_e}t \qquad \textit{equazione } 21.14$$

Un modello per la conduzione elettrica

- Prendiamo ora il valore medio di $\vec{\boldsymbol{v}}_f$ per tutti gli elettroni nel filo, per tutti i possibili intervalli temporali di collisione t e tutti i possibili valori di $\vec{\boldsymbol{v}}_i$. Assumendo che le velocità iniziali siano distribuite casualmente in tutte le direzioni possibili, il valore medio di $\vec{\boldsymbol{v}}_i$ è zero. Il valore medio del secondo termine dell'equazione 21.14 nella slide precedente è $(\frac{q\vec{\boldsymbol{E}}}{m_e})\tau$, dove τ è **l'intervallo di tempo medio tra due urti successivi**. Poiché il valore medio di $\vec{\boldsymbol{v}}_f$ è uguale alla velocità di deriva:

$$\vec{v}_{f,med} = \vec{\mathbf{v}}_d = \frac{q\vec{\mathbf{E}}}{m_e}\tau$$

Sostituendo il modulo di questa velocità di deriva nell'equazione 21.4 della slide 4 otteniamo

$$I = nev_dA = ne\left(\frac{eE}{m_e}\tau\right)A = \frac{ne^2E}{m_e}\tau A \qquad \textcolor{red}{equazione\ 21.16}$$

Un modello per la conduzione elettrica

- La corrente è legata alle variabili macroscopiche differenza di potenziale e resistenza:

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

- Incorporando l'equazione 21.8 (slide 12) otteniamo:

$$I = \frac{\Delta V}{\left(\rho \frac{l}{A}\right)} = \frac{\Delta V}{\rho l} A$$

- Nel conduttore il campo elettrico è uniforme perciò vale $\Delta V = El$ e quindi:

$$I = \frac{El}{\rho l} A = \frac{E}{\rho} A \quad \textit{equazione } 21.17$$

- Eguagliando le due espressioni per la corrente, le equazioni 21.16 (slide 20) e 21.17 (questa slide) risolviamo per ricavare la resistività:

$$I = \frac{ne^2 E}{m_e} \tau A = \frac{E}{\rho} A \rightarrow \rho = \frac{m_e}{ne^2 \tau}$$

Un modello per la conduzione elettrica

- La previsione ottenuta secondo questo modello è che la resistività non dipende dal campo elettrico ma esclusivamente da parametri fissi associati al materiale e all'elettrone. Questa proprietà caratterizza i conduttori che obbediscono alla legge di Ohm. L'intervallo di tempo τ (tempo medio tra gli urti) è legato alla distanza media tra le collisioni l_{med} (il cammino libero medio) e la velocità media v_{med} dalla relazione:

$$\tau = \frac{l_{med}}{v_{med}}$$

Esempio – Collisioni tra elettroni nel rame

- Usando i dati dell'esempio nella slide 8 ed il modello appena introdotto per la conduzione elettronica, ottenere una stima del tempo medio tra le collisioni tra gli elettroni nel rame a 20° C.
- Supponendo che la velocità media degli elettroni liberi nel rame sia $1.6 \times 10^6 m/s$ e usando il risultato del punto precedente, calcolare il cammino libero medio degli elettroni nel rame.

Energia e potenza nei circuiti elettrici

- Analizziamo il bilancio energetico di un circuito in cui una batteria sia collegata a un resistore di resistenza R (figura a fianco).
- Quando una carica si muove dal punto «a» al punto «b» l'energia potenziale elettrica del sistema aumenta di $Q\Delta V$, mentre l'energia chimica della batteria diminuisce della stessa quantità. Quando la carica si muove dal punto «c» al punto «d», il sistema perde questa energia potenziale elettrica durante le collisioni con gli atomi del resistore. Quando la carica torna nel punto «a» il risultato netto è che una parte dell'energia chimica della batteria è stata fornita al resistore e si trova nel resistore come energia interna associata con la vibrazione molecolare (aumento di temperatura). Il calore viene poi dissipato.

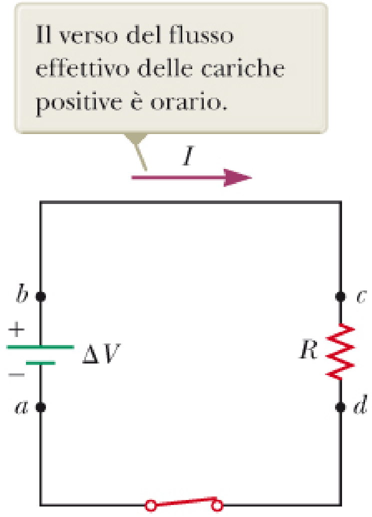


Figura 21.11 Un circuito fatto con un resistore di resistenza R e una batteria che fornisce una differenza di potenziale ΔV ai suoi capi.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Energia e potenza nei circuiti elettrici

- Consideriamo la rapidità con cui il sistema perde energia potenziale elettrica quando la carica Q passa attraverso il resistore:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(Q\Delta V) = \frac{dQ}{dt}\Delta V = I\Delta V$$

Dove I è la corrente nel circuito. La potenza P, che rappresenta la rapidità con cui l'energia è fornita al resistore, è

$$P = I\Delta V$$

Usando la relazione $\Delta V = IR$ possiamo esprimere la potenza anche come:

$$P = I^2R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

L'unità SI di potenza è il watt. L'unità di energia usata dalle società elettriche per calcolare il trasferimento di energia, il kilowattora, p la quantità di energia trasferita in 1 ora (h) alla potenza costante di 1 kW. $1kWh = 3.6 \times 10^6 J$.

Quiz rapido

- Per le due lampadine a incandescenza mostrate in figura, ordinare in modo decrescente le correnti nei punti da «a» a «f»

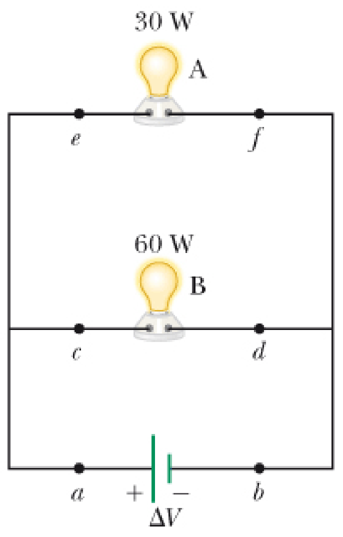


Figura 21.12 (Quiz Rapido 21.4 e Fisica Ragionata 21.2) Due lampadine a incandescenza collegate alla stessa differenza di potenziale.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Quiz rapido

- Per le due lampadine a incandescenza mostrate in figura, ordinare in modo decrescente le correnti nei punti da «a» a «f»

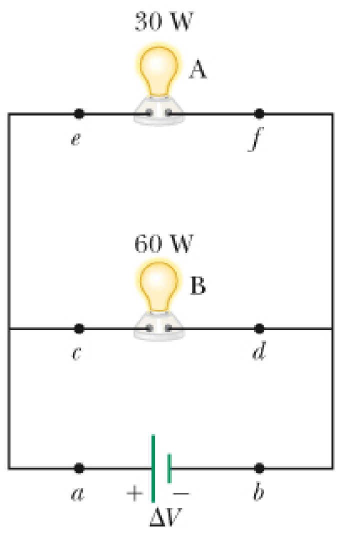


Figura 21.12 (Quiz Rapido 21.4 e Fisica Ragionata 21.2) Due lampadine a incandescenza collegate alla stessa differenza di potenziale.

Risposte

$I_a = I_b > I_c = I_d > I_e = I_f$

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio – Collegando elettricità e termodinamica

- Un riscaldatore ad immersione deve portare la temperatura di 1.50 kg d'acqua da 10.0°C a 50.0°C in 10.0 min quando funziona a 110 V.
- Quale è la resistenza del riscaldatore?
- Stimare il costo del riscaldamento dell'acqua

Sorgenti di f.e.m. (forza elettromotrice)

- Ciò che mantiene la tensione nel circuito in figura a fianco si chiama sorgente di f.e.m.
- Le sorgenti di f.e.m. sono tutti i dispositivi (come batterie o generatori) che aumentano l'energia potenziale di un circuito mantenendo una differenza di potenziale tra i punti del circuito mentre le cariche si muovono lungo il circuito stesso. La f.e.m. $\boldsymbol{\varepsilon}$ di una sorgente esprime il lavoro svolto per unità di carica e quindi la sua unità di misura nel SI è il Volt.

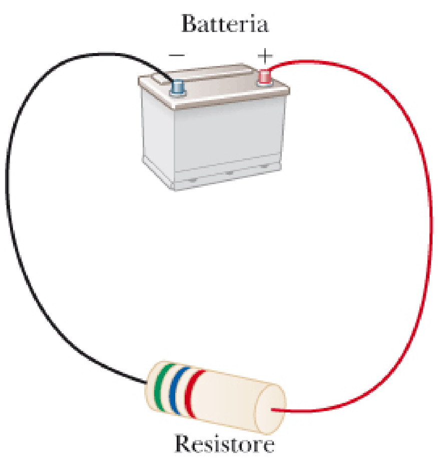


Figura 21.13 Un circuito composto da un resistore collegato alle terminazioni di una batteria.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Sorgenti di f.e.m. (forza elettromotrice)

- Una batteria reale possiede sempre una resistenza interna r. Di conseguenza la tensione ai capi non è uguale alla f.e.m..
- Nel circuito in figura 21.14(a) la batteria all'interno del rettangolo tratteggiato viene rappresenta da una sorgente ideale di f.e.m. $\boldsymbol{\varepsilon}$ di resistenza nulla, in serie con la resistenza interna r.
- Immaginiamo di muoverci dal punto «a» al punto «d». La tensione ai capi della batteria è data da

$$\Delta V = V_d - V_a = \varepsilon - Ir$$

Si noti che ε è equivalente alla tensione a circuito aperto, cioè, la tensione ai capi quando la corrente è zero. La figura 21.14(b) rappresenta graficamente le variazioni del potenziale quando il circuito è percorso in verso orario.

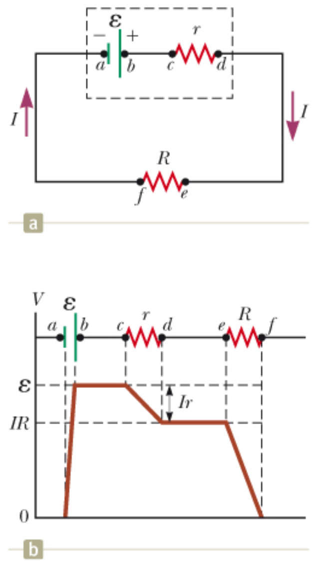


Figura 21.14 (a) Diagramma circuitale di una sorgente di f.e.m. $\mathcal{E}$ (in questo caso, una batteria) con resistenza interna r, collegata con un resistore esterno di resistenza R. (b) Rappresentazione grafica della variazione di potenziale quando il circuito mostrato in (a) è percorso in senso orario.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Sorgenti di f.e.m. (forza elettromotrice)

- La tensione ai terminali ΔV deve essere uguale anche alla differenza di potenziale ai capi della resistenza esterna R, chiamata generalmente resistenza di carico; cioè $\Delta V = IR$. Quindi:

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (21.23)$$

Da cui si ottiene

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Se R è molto più grande di r, possiamo adottare un modello semplificato in cui trascuriamo r. Moltiplicando l’equazione (21.23) per la corrente I otteniamo:

Sorgenti di f.e.m. (forza elettromotrice)

$$I\varepsilon = I^2R + I^2r$$

Da questa equazione si ricava che la potenza erogata della sorgente di f.e.m. $I\varepsilon$ è uguale alla potenza I^2R fornita alla resistenza di carico più quella fornita alla resistenza interna I^2r.

- Il riscaldamento di una batteria rappresenta il trasferimento di energia dalla sorgente di f.e.m. alla resistenza interna.

Esempio – Differenza di potenziale ai terminali di una batteria

- Una batteria ha una f.e.m. di 12.0 V ed una resistenza interna di 0.050 Ω. I suoi terminali sono collegati ad una resistenza di carico di 3.00 Ω.
- Trovare la corrente nel circuito e la differenza di potenziale ai terminali della batteria.
- Calcolare la potenza fornita al resistore di carico, quella fornita alla resistenza interna della batteria e la potenza fornita dalla batteria.

Resistori in serie ed in parallelo

- Quando due resistori sono collegati come le lampadine in figura a fianco si dice che sono **collegati in serie**.
- In un collegamento in serie la stessa quantità di carica passa attraverso entrambi i resistori in un dato intervallo di tempo e quindi le correnti sono le stesse in entrambi i resistori

$$I = I_1 = I_2$$

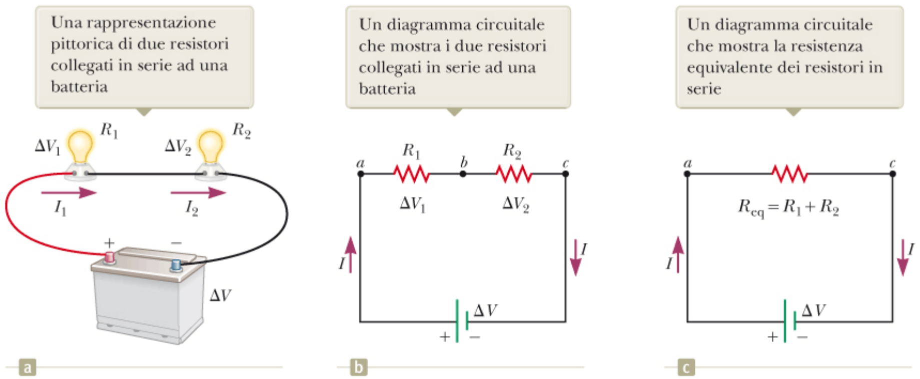


Figura 21.15 Due lampadine ad incandescenza con resistenze R_1 e R_2 collegate in serie. Tutti e tre i diagrammi sono equivalenti.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistori in serie ed in parallelo

- Per la caduta di potenziale vale
$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$
- La differenza di potenziale ai capi della batteria è applicata alla resistenza equivalente
$$\Delta V = I R_{eq}$$
- Combinando queste equazioni otteniamo
- $\Delta V = I R_{eq} = I_1 R_1 + I_2 R_2$
- $\rightarrow R_{eq} = R_1 + R_2$

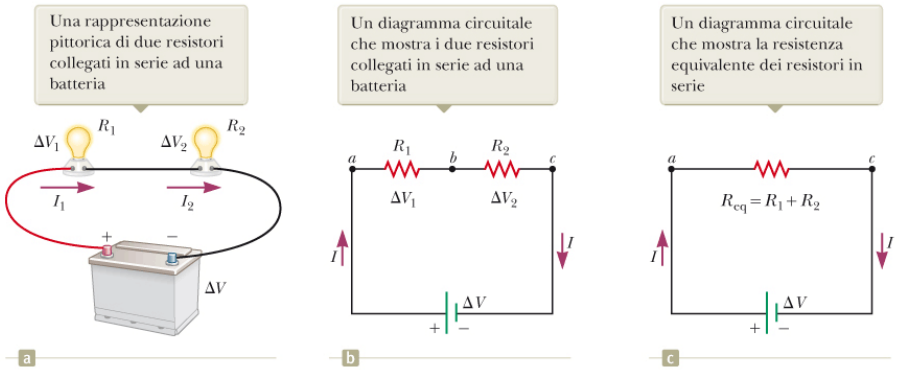


Figura 21.15 Due lampadine ad incandescenza con resistenze R_1 e R_2 collegate in serie. Tutti e tre i diagrammi sono equivalenti.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistori in serie ed in parallelo

- Possiamo quindi sostituire i due resistori in serie con una sola resistenza equivalente il cui valore è la somma delle singole resistenze.
- La resistenza equivalente di 3 o più resistori collegati in SERIE è
- $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ \dots$
- Se il filamento di una delle lampadine in figura 21.15(a) si interrompesse, anche la seconda lampadina non funzionerebbe

Quiz rapido

- Quando nel circuito di figura 21.16(a) l'interruttore è chiuso, non passa alcuna corrente in R_2,poiché la corrente ha un percorso alternativo di resistenza nulla attraverso l'interruttore. La corrente scorre in R_1, e questa corrente è misurata con un amperometro (un dispositivo per misurare la corrente) posto in basso nel circuito. Se l'interruttore viene aperto (figura 21.16(b)), la corrente passa per R_2. Che cosa si legge sull'amperometro quando l'interruttore è aperto?

A. Il valore letto aumenta

B. Il valore letto diminuisce

C. Il valore letto rimane costante

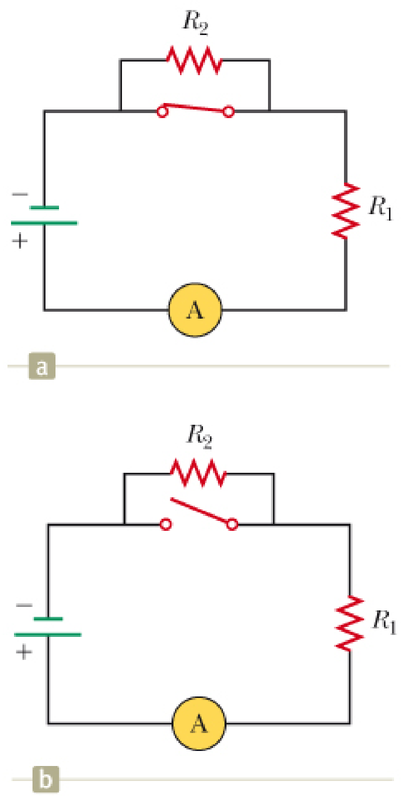


Figura 21.16 (Quiz Rapido 21.5) Cosa succede quando l'interruttore viene aperto?

EdiSES
R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Quiz rapido

- Quando nel circuito di figura 21.16(a) l'interruttore è chiuso, non passa alcuna corrente in R_2,poiché la corrente ha un percorso alternativo di resistenza nulla attraverso l'interruttore. La corrente scorre in R_1, e questa corrente è misurata con un amperometro (un dispositivo per misurare la corrente) posto in basso nel circuito. Se l'interruttore viene aperto (figura 21.16(b)), la corrente passa per R_2. Che cosa si legge sull'amperometro quando l'interruttore è aperto?

A. Il valore letto aumenta

B. Il valore letto diminuisce

C. Il valore letto rimane costante

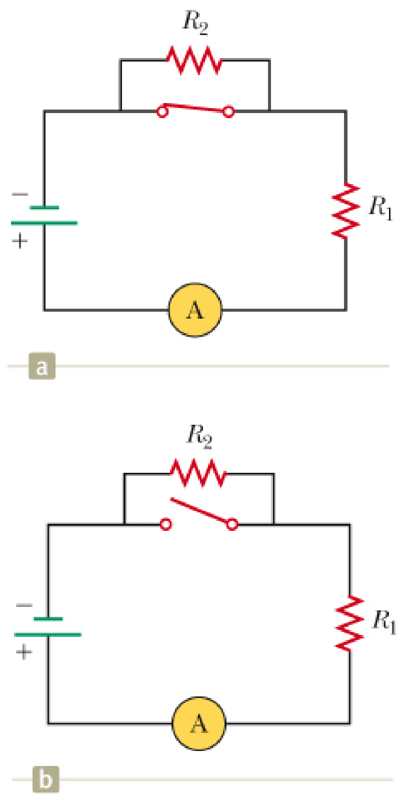


Figura 21.16 (Quiz Rapido 21.5) Cosa succede quando l'interruttore viene aperto?

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistori in serie ed in parallelo

- Consideriamo due resistori collegati in parallelo come in figura a fianco. In questo caso la differenza di potenziale ai capi dei resistori è la stessa
$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$$
- Dove ΔV è la differenza di potenziale ai capi della batteria.
- Quando le cariche arrivano al punto «a» della figura 21.17(b) si dividono, alcune passano attraverso R_1 altre attraverso R_2.
- Si chiama nodo ogni punto del circuito in cui la corrente si può dividere.

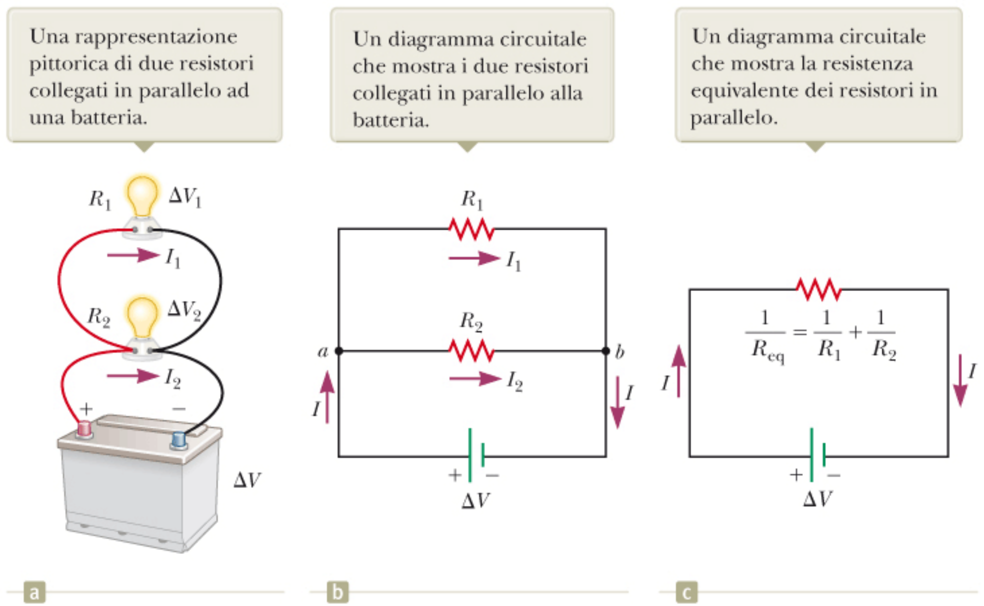


Figura 21.17 Due lampadine ad incandescenza di resistenze R_1 e R_2 collegate in parallelo. Tutti e tre i diagrammi sono equivalenti.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistori in serie ed in parallelo

- Poiché la carica elettrica si conserva, la corrente che entra nel punto «a» deve essere uguale a quella che esce dal punto «a»

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2}$$

- La corrente che attraversa la resistenza equivalente R_{eq} in figura 21.17c è

$$I = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$

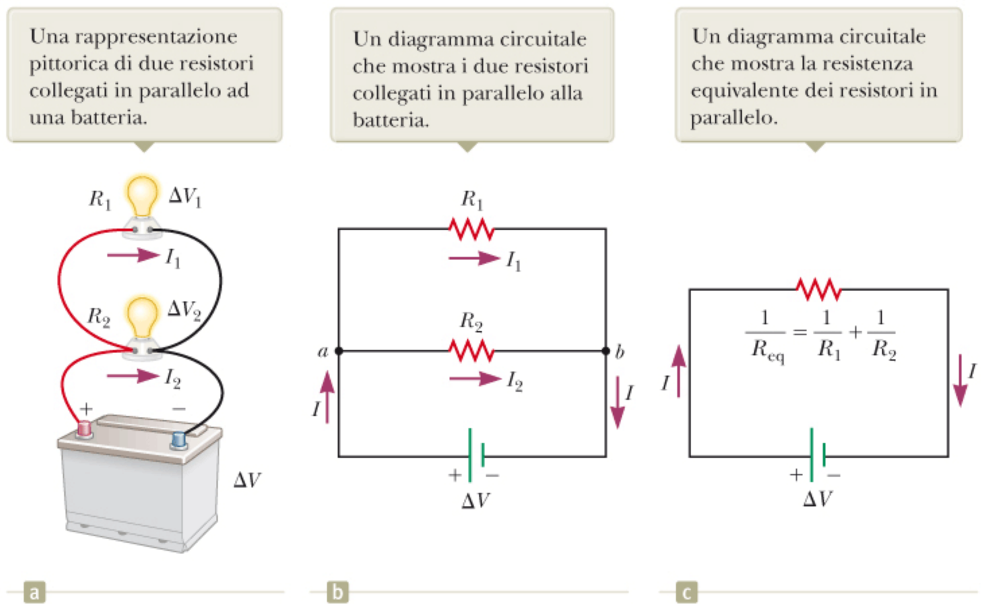


Figura 21.17 Due lampadine ad incandescenza di resistenze R_1 e R_2 collegate in parallelo. Tutti e tre i diagrammi sono equivalenti.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Resistori in serie ed in parallelo

- Troviamo che

$$I = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Dove abbiamo cancellato ΔV, ΔV_1, ΔV_2 perché tutte uguali

- Estendendo questa analisi a 3 o più resistori in parallelo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

- Gli impianti elettrici nelle nostre case sono sempre realizzati in modo tale che gli elettrodomestici siano collegati in parallelo. In questo modo ogni dispositivo funziona indipendentemente dagli altri (se viene spento gli altri restano in funzione). Ciascun dispositivo funziona quindi con la stessa tensione.

Quiz rapido

- Con l'interruttore nel circuito di figura 21.18(a) aperto, non passa corrente in R_2. La corrente comunque circola in R_1 e questa corrente è misurata con l'amperometro sulla destra del circuito. Se l'interruttore è chiuso (figura 21.18b) circola una corrente in R_2. Che cosa si legge sull'amperometro quando l'interruttore è chiuso?

A. Il valore letto aumenta

B. Il valore letto diminuisce

C. Il valore letto rimane costante

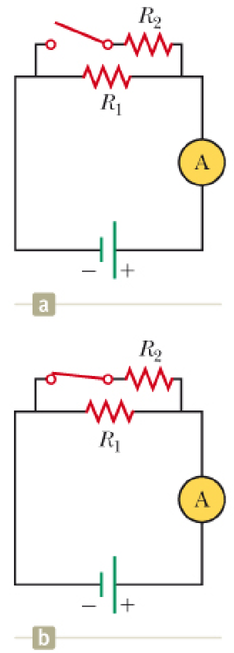


Figura 21.18 (Quiz Rapido 21.6) Cosa succede quando l'interruttore viene chiuso?

EdiSES
R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Quiz rapido

- Con l'interruttore nel circuito di figura 21.18(a) aperto, non passa corrente in R_2. La corrente comunque circola in R_1 e questa corrente è misurata con l'amperometro sulla destra del circuito. Se l'interruttore è chiuso (figura 21.18b) circola una corrente in R_2. Che cosa si legge sull'amperometro quando l'interruttore è chiuso?

A. Il valore letto aumenta

B. Il valore letto diminuisce

C. Il valore letto rimane costante

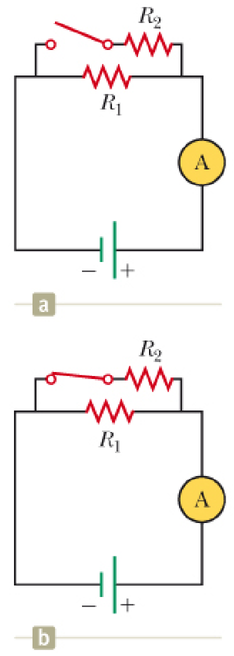


Figura 21.18 (Quiz Rapido 21.6) Cosa succede quando l'interruttore viene chiuso?

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Quiz rapido

- Consideriamo le seguenti possibilità:

A. Aumenta

B. Diminuisce

C. Rimane la stessa

- In figura 21.15 si immagini di aggiungere un terzo resistore in serie ai primi due. Cosa succede alla corrente nella batteria?
- In figura 21.17 si immagini di aggiungere un terzo resistore in parallelo ai primi due. Cosa succede alla corrente nella batteria?

Quiz rapido

- Consideriamo le seguenti possibilità:

A. Aumenta

B. Diminuisce

C. Rimane la stessa

- In figura 21.15 si immagini di aggiungere un terzo resistore in serie ai primi due. Cosa succede alla corrente nella batteria? B
- In figura 21.17 si immagini di aggiungere un terzo resistore in parallelo ai primi due. Cosa succede alla corrente nella batteria? A

Esempio – Trovare la resistenza equivalente

- Quattro resistori sono collegati come in figura.
- Trovare la resistenza equivalente tra i punti «a» e «c»
- Quale è la corrente che attraversa ciascun resistore se viene mantenuta una differenza di potenziale di 42 V tra i punti «a» e «c»?

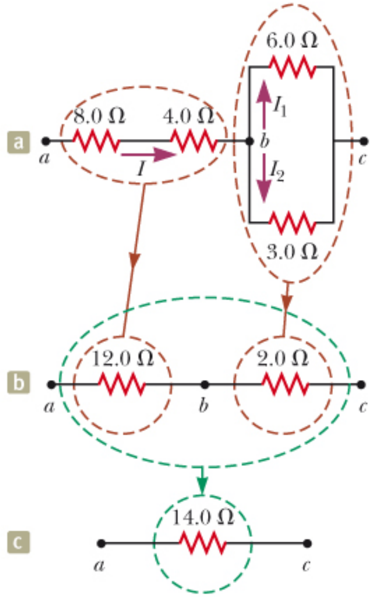


Figura 21.21 (Esempio 21.6) La rete originale di resistori viene ridotta ad una resistenza equivalente singola.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio – Tre resistori in parallelo

- Tre resistori sono collegati in parallelo come in figura 21.22(a). Tra i punti «a» e «b» viene mantenuta una differenza di potenziale di 18.0 V.

A. Calcolare la resistenza equivalente del circuito

B. Trovare la corrente che passa in ogni resistore

C. Calcolare la potenza fornita a ciascun resistore e la potenza totale fornita ai tre resistori.

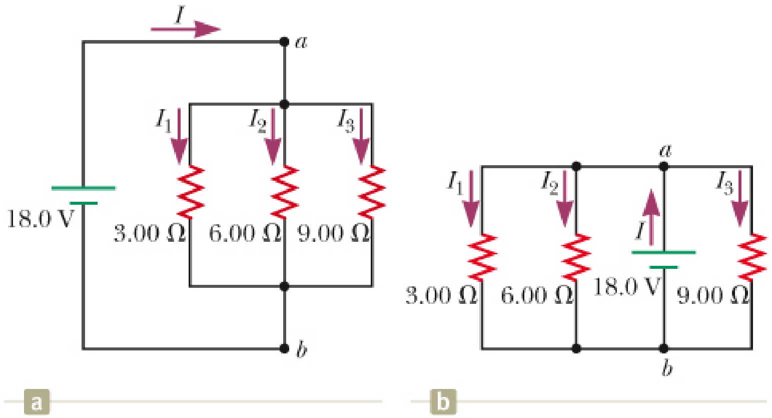


Figura 21.22 (Esempio 21.7) (a) Tre resistori collegati in parallelo. La differenza di potenziale ai capi di ciascun resistore è 18.0 V. (b) Un altro circuito con tre resistori e una batteria. È equivalente al circuito in (a)?

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Leggi di Kirchhoff

- **<u>Regola dei nodi (prima legge):</u>** In ogni nodo la somma delle correnti deve essere zero:

$$\sum_{nodo} I = 0$$

- **<u>Regola delle maglie (seconda legge):</u>** La somma delle differenze di potenziale ai capi di ciascun elemento all'interno di un percorso chiuso (in un circuito, un percorso chiuso viene detto maglia) deve essere zero:

$$\sum_{maglia} \Delta V = 0$$

Leggi di Kirchhoff

- La prima legge è un enunciato della **conservazione della carica**
- Se applichiamo questa legge al nodo in figura 21.23(a) otteniamo

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

- La figura 21.23b rappresenta una analogia meccanica

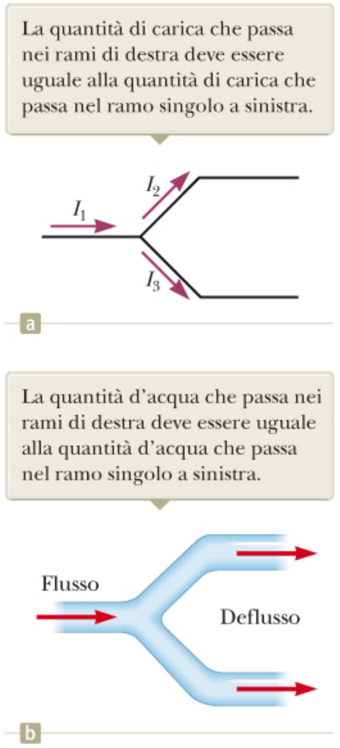


Figura 21.23 (a) Regola dei nodi di Kirchhoff. (b) Un analogo meccanico della regola dei nodi.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Leggi di Kirchhoff

- La seconda legge consegue dalla legge di **conservazione dell'energia.**
- Immaginiamo di muoverci attraverso gli elementi di circuito in figura 21.24 verso destra. Quando si utilizza la seconda legge si applica la seguente **convenzione di segni:**
  - Le cariche si muovono dall'estremità di un resistore a potenziale maggiore verso quella a potenziale minore; perciò, se un resistore viene percorso nel verso della corrente la differenza si potenziale ΔV ai capi del resistore è $-IR$ (figura 21.24(a))
  - Se un resistore viene percorso in verso opposto a quello della corrente, la differenza di potenziale ai capi del resistore è $+IR$ (figura 21.24(b))
  - Se una sorgente di f.e.m. (che si assume abbia resistenza interna nulla) viene attraversata nello stesso verso della f.e.m. (dal terminale negativo a quello positivo), la differenza di potenziale è $+\varepsilon$ (figura 21.24c).
  - Se una sorgente di f.e.m. (che si assume abbia resistenza interna nulla) viene attraversata in verso opposto rispetto alla f.e.m. (dal terminale positivo a quello negativo), la differenza di potenziale è $-\varepsilon$ (figura 21.24d).

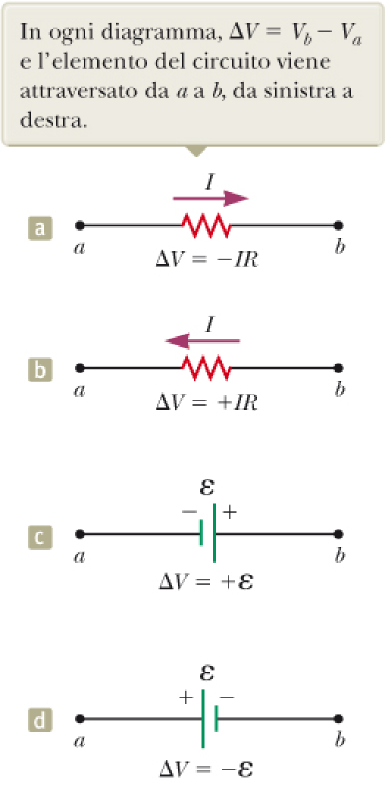


Figura 21.24 Regole per determinare la differenza di potenziale ai capi di un resistore o di una batteria (si assume che la batteria non abbia resistenza interna).

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio – Un circuito a più anelli

- Trovare le correnti I_1, I_2, I_3 nel circuito mostrato in figura

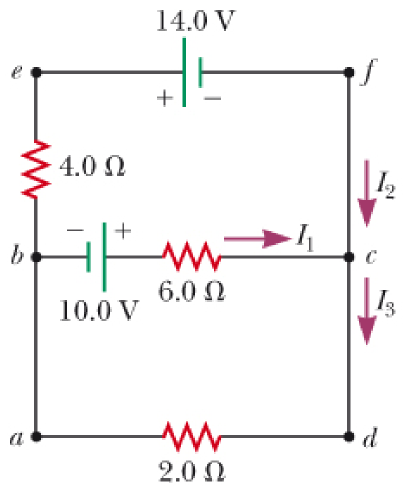


Figura 21.25 (Esempio 21.8) Un circuito contenente più rami.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Circuiti RC – carica di un condensatore

- La figura 21.26 mostra un semplice circuito RC (cioè contenente un collegamento in serie di un resistore e di un condensatore)
- Se l'interruttore viene messo nella posizione «a» all'istante t=0 (figura 21.26b) le cariche inizieranno a muoversi, dando luogo ad una corrente nel circuito, e il condensatore comincerà a caricarsi. La differenza di potenziale ai capi del condensatore aumenta. Quando viene raggiunto il valore pari alla differenza di potenziale fornita dalla batteria la corrente diventa zero.

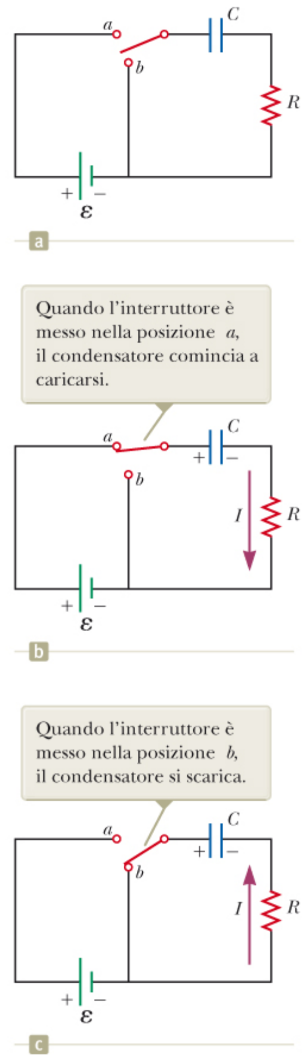


Figura 21.26 Un condensatore collegato in serie con un resistore, un interruttore, e una batteria.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Circuiti RC – carica di un condensatore

- Applichiamo la seconda legge di Kirchhoff. Percorrendo la maglia di figura 21.26b in verso orario otteniamo:

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0 \text{ (equazione 21.31)}$$

- Notiamo che q e I sono valori istantanei rispettivamente della carica e della corrente (al contrario del caso stazionario)
- Quando l’interruttore viene messo nella posizione «a» a t=0, la carica del condensatore è zero. Quindi per l’equazione sopra la corrente nel circuito è massima e uguale a

$$I_i = \frac{\varepsilon}{R}$$

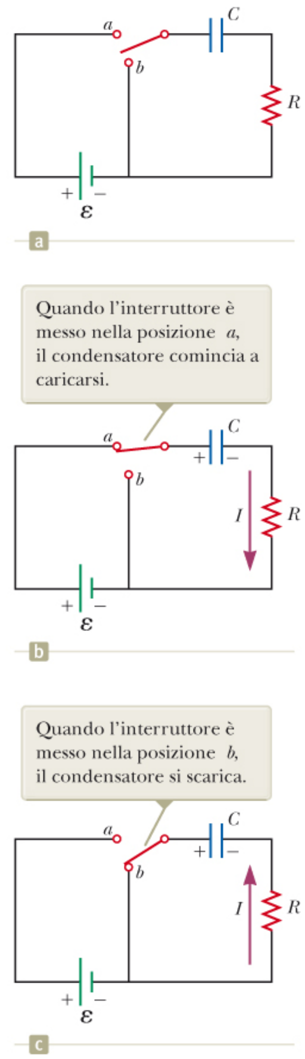


Figura 21.26 Un condensatore collegato in serie con un resistore, un interruttore, e una batteria.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Circuiti RC – carica di un condensatore

- Sostituendo I=0 nell'equazione 21.31 si ottiene la carica massima sul condensatore:

$$Q = C\varepsilon$$

- Determiniamo ora le espressioni analitiche che forniscono la dipendenza dal tempo della carica e della corrente. Sostituiamo $I = dq/dt$ nell'equazione 21.31 e riscriviamo:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC}$$

Per trovare un'espressione per q risolviamo questa equazione differenziale. Per prima cosa scriviamo:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{C\varepsilon}{RC} - \frac{q}{RC} = -\frac{q - C\varepsilon}{RC}$$

Circuiti RC – carica di un condensatore

- Moltiplichiamo questa equazione per dt e la dividiamo per $q - C\varepsilon$:

$$\frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC}dt$$

Integriamo questa espressione ponendo $q = 0$ a $t = 0$:

$$\int_0^q \frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC}\int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{q - C\varepsilon}{-C\varepsilon}\right) = -\frac{t}{RC}$$

Usando la definizione di logaritmo naturale possiamo scrivere:

$$q(t) = C\varepsilon\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = Q(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Circuiti RC – carica di un condensatore

- Utilizzando $I = dq/dt$ si può trovare l'espressione per la corrente:
$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}$$
- I grafici in figura mostrano l'andamento della carica e della corrente
- La grandezza RC è detta costante di tempo τ del circuito: $\tau = RC$
- La costante di tempo rappresenta l'intervallo di tempo che impiega la corrente a diminuire fino a 1/e del suo valore iniziale, cioè dopo un tempo τ la corrente nel circuito è il 36.8% del suo valore iniziale.

- Analogamente la carica aumenta..

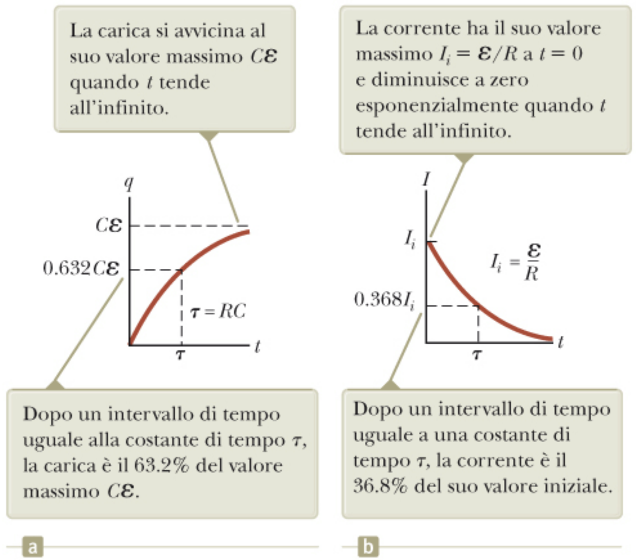


Figura 21.27 (a) Grafico della carica del condensatore in funzione del tempo per il circuito mostrato in Figura 21.26b. (b) Grafico della corrente in funzione del tempo per il circuito mostrato in Figura 21.26b.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Circuiti RC – carica di un condensatore

- L’energia fornita dalla batteria durante l’intervallo temporale necessario a caricare completamente il condensatore è $Q\varepsilon = C\varepsilon^2$. L’energia immagazzinata dal condensatore carico è $\frac{1}{2}Q\varepsilon = \frac{1}{2}C\varepsilon^2$, che è solo metà dell’energia fornita dalla batteria, la restante energia appare come energia interna nel resistore.

Circuiti RC – scarica di un condensatore

- Immaginiamo che il condensatore in figura 21.26b sia completamente carico. Se l'interruttore viene portato nella posizione «b» all'instante t=0 (figura 21.26c) il condensatore comincia a scaricarsi. L'appropriata equazione di maglia per il circuito in figura 21.26c è

$$-\frac{q}{C} - IR = 0$$

Quando sostituiamo $I = dq/dt$:

$$-R\frac{dq}{dt} = \frac{q}{C}$$

$$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC}dt$$

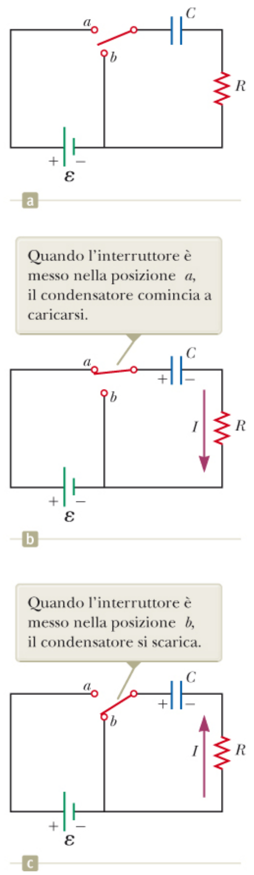


Figura 21.26 Un condensatore collegato in serie con un resistore, un interruttore, e una batteria.

Circuiti RC – scarica di un condensatore

- Integrando e ponendo q=Q a t=0 abbiamo

$$\int_Q^q \frac{dq}{Q} = -\frac{1}{RC}\int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{q}{Q}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$q(t) = Qe^{-t/RC}$$

Differenziando otteniamo l'espressione per la corrente:

$$I(t) = -\frac{Q}{RC}e^{-t/RC}$$

- Notare il segno meno (verso della corrente opposto rispetto alla carica)
- Sia la carica sul condensatore che la corrente diminuiscono esponenzialmente con una rapidità caratterizzata dalla cosante di tempo $\tau = RC$

Quiz rapido

- Si consideri il circuito nella figura a fianco e si assuma che la batteria non abbia resistenza interna.
- Quale è la corrente nella batteria appena viene chiuso il circuito?

A. 0

B. $\frac{\varepsilon}{2R}$

C. $\frac{2\varepsilon}{R}$

D. $\frac{\varepsilon}{R}$

E. E' impossibile da determinare

- Dopo molto tempo quale è la corrente nella batteria?

A. 0

B. $\frac{\varepsilon}{2R}$

C. $\frac{2\varepsilon}{R}$

D. $\frac{\varepsilon}{R}$

E. E' impossibile da determinare

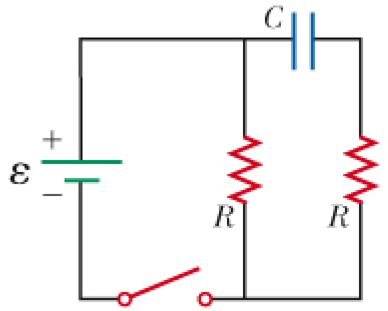


Figura 21.29 (Quiz Rapido 21.8) Come cambia la corrente quando si chiude l'interruttore?

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Quiz rapido

- Si consideri il circuito nella figura a fianco e si assuma che la batteria non abbia resistenza interna.
- Quale è la corrente nella batteria appena viene chiuso il circuito?

A. 0

B. $\frac{\varepsilon}{2R}$

C. $\frac{2\varepsilon}{R}$

D. $\frac{\varepsilon}{R}$

E. E’ impossibile da determinare

- Dopo molto tempo quale è la corrente nella batteria?

A. 0

B. $\frac{\varepsilon}{2R}$

C. $\frac{2\varepsilon}{R}$

D. $\frac{\varepsilon}{R}$

E. E’ impossibile da determinare

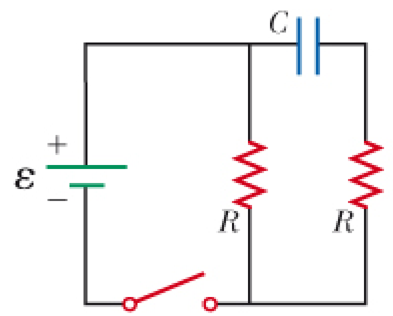


Figura 21.29 (Quiz Rapido 21.8) Come cambia la corrente quando si chiude l’interruttore?

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio – Carica di un condensatore in un circuito RC

- Un condensatore scarico e un resistore sono collegati in serie ad una batteria come mostrato in figura a fianco , dove $\varepsilon = 12.0\ V$, $C = 5.00\ \mu F$, e $R = 8.00 \times 10^5 \Omega$. L'interruttore viene messo nella posizione «a». Trovare la costante di tempo del circuito, la carica massima sul condensatore, la corrente massima nel circuito e la carica e la corrente in funzione del tempo.

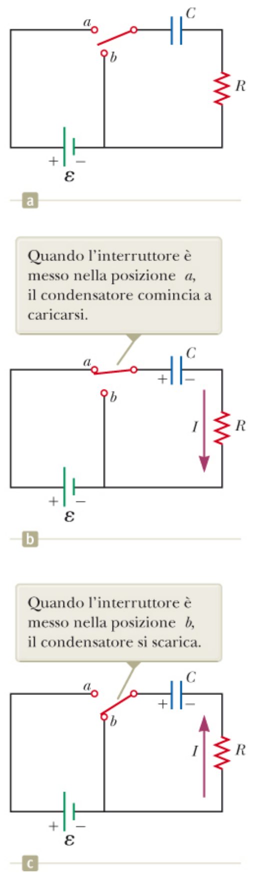


Figura 21.26 Un condensatore collegato in serie con un resistore, un interruttore, e una batteria.

Esempio – Scarica di un condensatore in un circuito RC

- Consideriamo un condensatore di capacità C che si stia scaricando attraverso un resistore R come in figura 21.26c.
- Dopo quante costanti di tempo la carica del condensatore scenderà a un quarto del suo valore iniziale?
- L'energia immagazzinata nel condensatore decresce durante la sua carica. Dopo quante costanti di tempo l'energia immagazzinata scenderà ad un quarto del suo valore iniziale?

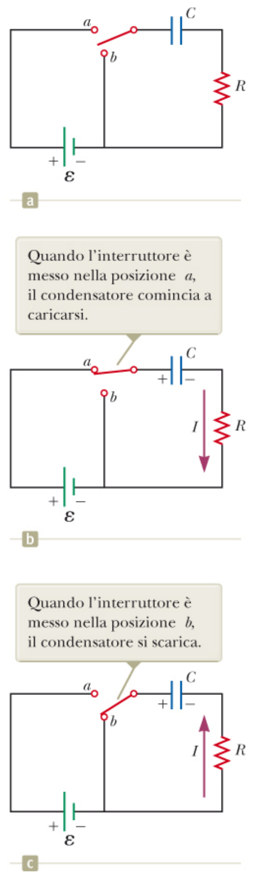


Figura 21.26 Un condensatore collegato in serie con un resistore, un interruttore, e una batteria.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

L’atmosfera come conduttore

- In ogni dato istante l’aria contiene un certo numero di molecole ionizzate a causa di collisione dei raggi cosmici e altri eventi (figura 21.31(a))
- Ogni volta che esiste un forte campo elettrico in aria (ad esempio durante un temporale) è possibile che l’aria diventi sede di una scarica elettrica
- Seguendo il processo rappresentato in figura si può arrivare alla generazione di un lampo
- Le correnti durante la caduta di fulmini possono essere estremamente alte

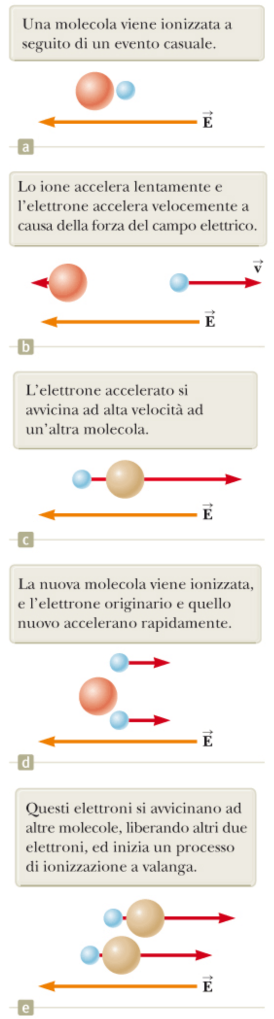


Figura 21.31 L’anatomia di una scintilla.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

L'atmosfera come conduttore

- Anche in assenza di nubi temporalesche la carica fluisce attraverso l'aria. Tipica differenza di potenziale ai capi di un «condensatore atmosferico» è $3 \times 10^5 V$. La resistenza totale tra le sue armature è di circa $300\ \Omega$. Quindi la corrente media nell'aria durante il bel tempo è

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{3 \times 10^5 V}{300\Omega} \approx 1 \times 10^3 A$$

- Non è grande se si considera distribuita su tutta la superficie terrestre, densità di corrente media risulta

$$J = \frac{I}{A} = \frac{I}{4\pi R_T^2} = \frac{1 \times 10^3 A}{4\pi (6.4 \times 10^6 m)^2} \approx 2 \times 10^{-12} A/m^2$$

La densità di corrente durante la caduta di un fulmine è molto più alta $10^5 A/m^2$

Determinazione del numero di fulmini che colpiscono la terra

- Calcoliamo la resistenza dell'aria fra le armature del nostro condensatore.
- La resistività dell'aria è circa $3 \times 10^{13} \Omega \cdot m$. La distanza di 5 km è molto piccola rispetto al raggio della terra (6400 km), quindi possiamo ignorare la forma sferica ed immaginare il resistore come una lastra di 5 km di spessore di materiale piatto e area pari alla superficie della terra. Quindi:
- $R = \rho \frac{l}{A} = (3 \times 10^{13} \Omega \cdot m) \frac{5 \times 10^3 m}{4\pi (6.4 \times 10^6 m)^2} \approx 3 \times 10^2 \Omega$

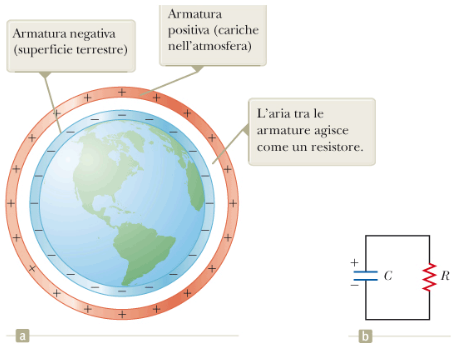


Figura 1 (a) L'atmosfera può essere schematizzata come un condensatore, con aria conduttiva tra le armature. (b) Possiamo immaginare un circuito RC equivalente per l'atmosfera, con il processo di scarica naturale del condensatore in equilibrio con il processo di carica del condensatore dovuta ai fulmini.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Determinazione del numero di fulmini che colpiscono la terra

- Possiamo quindi schematizzare l'atmosfera come un circuito RC, con costante di tempo:
- $\tau = RC = (0.9F)(3 \times 10^2 \Omega) \approx 3 \times 10^2 s = 5\, minuti$
- Perché non si scarica definitivamente (in circa 30 minuti= 6τ)? Il processo che avviene nelle nubi che si caricano, causa la caduta dei fulmini che forniscono cariche negative al suolo le quali sostituiscono quelle neutralizzate dal flusso di carica attraverso l'aria. In media la carica netta sulle armature del condensatore atmosferico risulta da un equilibrio di questi due processi.

Determinazione del numero di fulmini che colpiscono la terra

- Abbiamo menzionato una carica pari a $5 \times 10^5 C$ per il condensatore atmosferico
- Una tipica caduta di un fulmine fornisce al suolo circa 25 C di carica negativa. Possiamo calcolare il numero di fulmini necessari a caricare il condensatore:
- $numero\ dei\ fulmini\ caduti = \frac{carica\ totale}{carica\ per\ fulmine\ caduto} = \frac{5 \times 10^5 C}{25C} \approx 2 \times 10^4 fulmini\ caduti$
- Quindi ogni circa 30 minuti devono cadere 2×10^4 (ossia $4 \times 10^4 / h$) fulmini per mantenere il processo di carica e scarica in equilibrio.

Determinazione del numero di fulmini che colpiscono la terra

- $Numero\ di\ fulmini\ caduti\ al\ giorno = \left(4 \times \frac{10^4 fulmini}{h}\right)\left(\frac{24h}{1d}\right) \approx 1 \times 10^6 fulmini/giorno$
- Nonostante la semplificazione che abbiamo adottato per i nostri calcoli questo numero è dello stesso ordine di grandezza del numero reale di caduta di fulmini sulla terra in un giorno tipico: 1 milione!

Sommario (1)

- La corrente elettrica I in un conduttore è definita come

$$I \equiv \frac{dQ}{dt}$$

dove dQ è la carica che attraversa una sezione del conduttore nell'intervallo di tempo dt. L'unità SI di corrente è l'ampere (A);

1 A = 1 C/s.

- La corrente in un conduttore viene espressa in termini del moto dei portatori di carica mediante la relazione

$$I_{med} = nqv_d A$$

dove n è la densità dei portatori di carica, q è la loro carica, v_d è la velocità di deriva, e A è l'area della sezione del conduttore.

Sommario (2)

- La resistenza R di un conduttore è definita come il rapporto tra la differenza di potenziale ai capi del conduttore e la corrente

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

L'unità SI di resistenza è il volt su ampere, e si chiama ohm (Ω);

$1\ \Omega$= 1 V / A

- Se la resistenza è indipendente dalla tensione applicata, il conduttore obbedisce alla legge di Ohm, e i conduttori che hanno una resistenza costante per un ampio intervallo di tensioni vengono detti ohmici.

Sommario (3)

- Se il conduttore ha una sezione uniforme di area A e lunghezza l, la sua resistenza è data da

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

dove ρ viene chiamata resistività del materiale del quale è fatto il conduttore. Il reciproco della resistività è definito come conducibilità $\sigma = 1/\rho$.

La resistività di un conduttore varia con la temperatura in maniera approssimativamente lineare; cioè

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

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

Sommario (4)

- In un modello classico della conduzione elettronica nei metalli, gli elettroni vengono trattati come molecole di un gas. In assenza di campo elettrico, la velocità media degli elettroni è zero. Quando si applica un campo elettrico, gli elettroni si muovono (in media) con una velocità di deriva $\vec{v}_d$ data da:

$$\vec{v}_d = \frac{q\vec{E}}{m_e}\tau$$

dove τ è il tempo medio tra le collisioni con gli atomi del metallo. La resistività del materiale secondo questo modello è data da:

$$\rho = \frac{m_e}{ne^2\tau}$$

dove n è il numero di elettroni liberi per unità di volume.

Sommario (5)

- Se ai capi di un conduttore viene mantenuta una differenza di potenziale ΔV, la potenza, o energia per unità di tempo fornita ad un elemento del circuito è

$$P = I\Delta V$$

Poiché la differenza di potenziale ai capi di un resistore è $\Delta V = IR$, possiamo esprimere la potenza fornita a un resistore nella forma

$$P = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

Sommario (6)

- La f.e.m. di una batteria equivale alla tensione ai suoi capi quando la corrente è zero. A causa della caduta di potenziale attraverso la resistenza interna r di una batteria, la tensione ai terminali della batteria è minore della f.e.m. quando circola una corrente nella batteria.
- La resistenza equivalente di un sistema di resistori collegati in serie è data da

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$$

- La resistenza equivalente di un insieme di resistori collegati in parallelo è data da

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

Sommario (7)

- Circuiti elettrici complessi costituiti da più di una maglia possono essere analizzati più facilmente usando due semplici regole dette **leggi di Kirchhoff**:
  - In ogni nodo la somma delle correnti deve essere zero:

$$\sum_{nodo} I = 0$$

  - La somma delle differenze di potenziale ai capi degli elementi appartenenti ad una maglia deve essere uguale a zero:

$$\sum_{maglia} \Delta V = 0$$

Sommario (8)

- Per la legge dei nodi, la corrente entrante nel nodo viene considerata positiva $+I$, mentre la corrente uscente dal nodo viene considerata negativa $-I$.
- Per la legge delle maglie, se un resistore viene percorso nel verso della corrente, la variazione di potenziale ΔV ai capi del resistore è $-IR$. Se un resistore viene percorso in verso opposto, $\Delta V = +IR$.
- Se una sorgente di f.e.m. viene attraversata nel verso della f.e.m. (da negativo a positivo), la variazione di potenziale è $+\boldsymbol{\mathcal{E}}$. Se è attraversata in verso opposto (da positivo a negativo), la caduta di tensione è $-\boldsymbol{\mathcal{E}}$.

Sommario (9)

- Se un condensatore viene caricato con una batteria di f.e.m. $\boldsymbol{\mathcal{E}}$ attraverso un resistore R, la carica sul condensatore e la corrente nel circuito variano nel tempo secondo le espressioni

$$q(t) = Q(1 - e^{-t/RC})$$

$$I(t) = \frac{\boldsymbol{\mathcal{E}}}{R} e^{-t/RC}$$

dove $Q = C\boldsymbol{\mathcal{E}}$ è la carica massima sul condensatore. Il prodotto RC viene detto **costante di tempo** del circuito.

Sommario (10)

- Se un condensatore carico viene scaricato su un resistore R, la carica e la corrente decrescono esponenzialmente nel tempo secondo le espressioni

$$q(t) = Qe^{-t/RC}$$
$$I(t) = -\frac{Q}{RC}e^{-t/RC}$$

dove Q è la carica iniziale sul condensatore.