QUESITI

1 Quesito

Per effetto Joule, i cilindretti si scaldano, per cui aumenta la loro resistenza. Poiché il ferro ha un coefficiente di temperatura della resistività maggiore dell'argento, la resistenza elettrica del cilindretto di ferro supera quella del cilindretto di argento. Nel parallelo, la corrente maggiore attraversa la resistenza minore: nel cilindretto di argento scorre una corrente maggiore.

2 Quesito

a. Nel parallelo, ciascun resistore è sottoposto a una tensione di 12 V. Quindi

$$R_1 = \frac{V}{i_1} = \frac{12\text{ V}}{0{,}80\text{ A}} = 15\ \Omega.$$

b. No. La corrente che scorre nel ramo di R_1 è indipendente da quella che scorre nell'altro ramo: l'intensità di corrente i_1 rimane la stessa per qualunque valore di R_2. Quindi la resistenza R_2 è indeterminata.

c. La corrente totale che scorre nel circuito ha intensità

$$i = \frac{P}{V} = \frac{24\text{ W}}{12\text{ V}} = 2{,}0\text{ A},$$

per cui la corrente nel ramo di R_2 ha intensità

$$i_2 = i - i_1 = (2{,}0\text{ A}) - (0{,}80\text{ A}) = 1{,}2\text{ A}$$

e

$$R_2 = \frac{12\text{ V}}{1{,}2\text{ A}} = 10\ \Omega.$$

3 Quesito

a. I due condensatori in serie hanno una capacità totale

$$C_S = \frac{C \cdot C}{(C + C)} = \frac{1}{2}C = 24\text{ pF}$$

e immagazzinano una quantità di carica pari a

$$Q_S = C_S V = (24\text{ pF})(15\text{ V}) = 3{,}6 \cdot 10^{-10}\text{ C},$$

mentre per quelli in parallelo la capacità è

$$C_P = C + C = 2C = 96\text{ pF}$$

e la carica totale è

$$Q_P = C_P V = (96\text{ pF})(15\text{ V}) = 1{,}4 \cdot 10^{-9}\text{ C}.$$

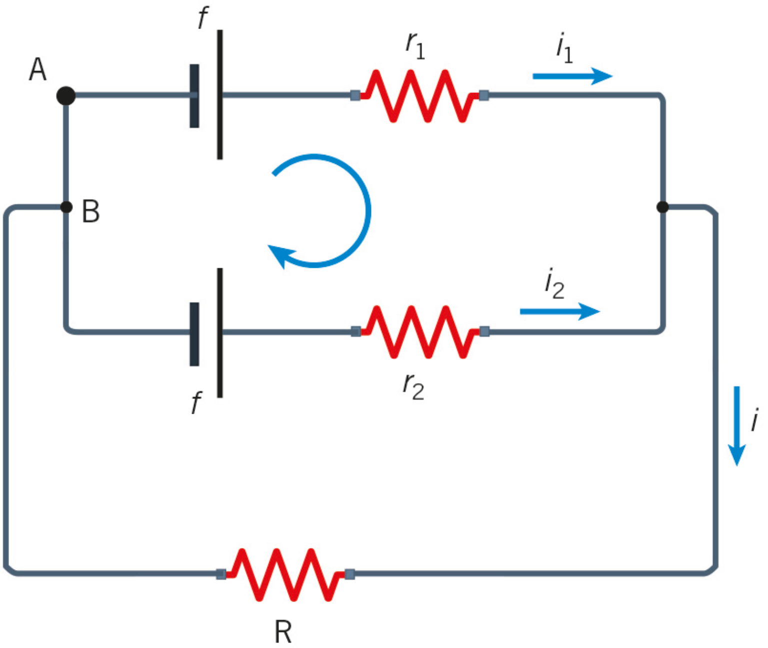
b. Si scarica prima la coppia di condensatori in serie perché ha una carica iniziale minore, mentre la resistenza è identica nei due casi.

c. Il circuito in cui la corrente permane più a lungo è quello che ha la costante di tempo minore:
$t_P = (450\ \Omega)(1{,}4 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{C}) = 6{,}3 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{s}.$

PROBLEMI

4 Problema

a. Lo schema circuitale può essere quello della figura qui sotto (o equivalente).



b. Si può risolvere lo schema utilizzando le leggi di Kirchhoff, con i simboli e i versi mostrati nella figura. Per scrivere le equazioni si possono scegliere il nodo B e due maglie; una è quella che contiene i due generatori e l'altra è quella che comprende le resistenze r_1 e R. Per scrivere le equazioni, entrambe le maglie sono precorse in senso orario a partire dal punto A.
Il sistema di equazioni che descrive le tre correnti i_1, i_2 e i è quindi il seguente:

$$\begin{cases} i = i_1 + i_2 \\ f - r_1 i_1 + r_2 i_2 - f = 0. \\ f - r_1 i_1 - Ri = 0 \end{cases}$$

c. Risolvendo il sistema si ottiene

$$\begin{cases} i = \dfrac{f(r_1+r_2)}{R(r_1+r_2)+r_1r_2} \\ i_1 = \dfrac{f\,r_2}{R(r_1+r_2)+r_1r_2} \\ i_2 = \dfrac{f\,r_1}{R(r_1+r_2)+r_1r_2} \end{cases}.$$

d. Dividendo per (r_1+r_2) il numeratore e il denominatore dell'espressione per i e sfruttando la proprietà distributiva della divisione otteniamo l'espressione

$$i = \frac{f\dfrac{r_1+r_2}{r_1+r_2}}{R\dfrac{r_1+r_2}{r_1+r_2}+\dfrac{r_1r_2}{r_1+r_2}} = \frac{f}{R+\dfrac{r_1r_2}{r_1+r_2}},$$

che corrisponde a quella richiesta dal testo. Confrontando questa equazione con la formula

$$i = \frac{f_{em}}{R+r},$$

che fornisce l'intensità di corrente prodotta da un generatore reale, si riconosce che il dispositivo G è equivalente a un generatore di forza elettromotrice pari a f e con una resistenza interna pari al parallelo delle resistenze interne dei due generatori.

5 Problema

a. Chiamiamo rispettivamente R_1, R_2, R_3 la resistenza a sinistra da 5 Ω, quella a destra da 7 Ω e quella centrale da 4 Ω. Per i generatori di tensione abbiamo V_1 = 12 V e V_2 = 8 V.
Quando l'interruttore è aperto, la resistenza centrale non gioca alcun ruolo e il circuito è composto dalle due resistenza in serie R_1 e R_2 e da un generatore di tensione effettivo che eroga $\Delta V = V_1 - V_2$.
La corrente che circola nel circuito è quindi

$$I = \frac{\Delta V}{R_S} = \frac{\Delta V}{R_1+R_2} = 0{,}33\ \text{A}.$$

b. La potenza dissipata quando l'interruttore è aperto è data da

$$P = R_S I^2 = \left(R_1+R_2\right)I^2 = 1{,}3\ \text{W}.$$

c. Una volta chiuso l'interruttore bisogna considerare anche la resistenza centrale. Per calcolare il valore delle correnti che scorrono nei tre rami del circuito, applichiamo la legge delle maglie alla maglia di destra e a quella di sinistra:

$$\begin{cases} V_1 = -I_3R_3 + I_1R_1 \\ V_2 = -I_3R_3 + I_2R_2 \end{cases};$$

inoltre

$I_1 + I_2 + I_3 = 0.$

Risolvendo il sistema di tre equazioni nelle incognite I_1, I_2, I_3 si ottengono I_1 = 1,20 A, I_2 = 0,29 A e I_3 = −1,49 A.

d. All'istante in cui il condensatore viene inserito, la corrente che attraversa il resistore da 4 Ω è nulla, infatti un condensatore scarico è come un interruttore aperto.

e. • All'istante iniziale di chiusura il condensatore agisce come un generatore di potenziale, quindi per calcolare le correnti bisogna di nuovo risolvere l'equazione delle maglie, includendo il generatore di potenziale effettivo:

$$\begin{cases} V_1 = I_3R_3 - V_C + I_1R_1 \\ V_2 = -I_3R_3 - V_C + I_2R_2 \end{cases},$$

dove V_C è il potenziale a cui si trovano le armature del condensatore.
Per calcolare V_C osserviamo che, prima che l'interruttore venga chiuso, il ramo con il resistore da 4 Ω non gioca alcun ruolo e quindi $V_C = V_1 - V_2 - R_2 I$, dove I è la corrente calcolata al punto **a**.

• Nello stato stazionario finale la corrente è nulla.

6 Problema

a. Poiché $f_{em1} > f_{em2}$, la corrente scorre in verso orario.

b. Per la seconda legge di Kirchhoff, nella maglia *AFCBA*

$$f_{em1} - f_{em2} - r_2I - r_1I = 0 \quad \Rightarrow \quad I = \frac{f_{em1} - f_{em2}}{r_1 + r_2}.$$

c. Seconda legge di Kirchhoff applicata alla maglia *AFCBA*, seconda legge di Kirchhoff applicata alla maglia *FEDCF*, prima legge di Kirchhoff applicata al nodo *F*.

d. Il segno di i_1 è coerente con il segno convenzionale indicato in figura, mentre i_2 ha segno opposto rispetto a quello indicato, per cui entrambe le correnti entrano nel nodo *F*.

e. Il resistore dissipa una potenza $P = Ri^2$; poiché $P\Delta t$ = 1 kJ, si ha Δt = 600 s.

7 Problema

a. Valgono le relazioni

$$\begin{cases} i_1 = \dfrac{f_{em}}{R} e^{-\frac{t_1}{RC}} \\ i_2 = \dfrac{f_{em}}{R} e^{-\frac{t_2}{RC}} \end{cases}.$$

Dividendo membro a membro otteniamo

$$\frac{i_1}{i_2} = e^{-\frac{t_1}{RC}} e^{\frac{t_2}{RC}} = e^{\frac{t_2-t_1}{RC}}$$

da cui

$$\frac{t_2 - t_1}{RC} = \ln \frac{i_1}{i_2}$$

e

$$C = \frac{t_2 - t_1}{R \ln\left(\dfrac{i_1}{i_2}\right)} = \frac{(2{,}00 - 0{,}50)\,\text{s}}{(5{,}00 \cdot 10^3\,\Omega)\ln\left(\dfrac{20{,}3}{12{,}3}\right)} = 5{,}99 \cdot 10^{-4}\,\text{F}.$$

b. Quindi la costante di tempo del circuito è

$$\tau = RC = (5{,}00 \cdot 10^3\,\Omega)(5{,}99 \cdot 10^{-4}\,\text{F}) = 3{,}00\,\text{s}.$$

Usando una delle relazioni precedenti, per esempio la prima, si ricava, inoltre

$$f_{em} = R i_1\, e^{\frac{t_1}{RC}} = (5{,}00 \cdot 10^3\,\Omega)(2{,}03 \cdot 10^{-2}\,\text{A})\, e^{\frac{0{,}500\,\text{s}}{3{,}00\,\text{s}}} = 120\,\text{V}.$$

c. Ora è facile calcolare

$$i_0 = \frac{f_{em}}{R} = \frac{120\,\text{V}}{5{,}00 \cdot 10^3\,\Omega} = 2{,}40 \cdot 10^{-2}\,\text{A},$$

per cui si trova

$$\frac{i_0}{2} = i_0\, e^{\frac{-t_3}{\tau}} \quad \Rightarrow \quad e^{\frac{t_3}{\tau}} = 2 \quad \Rightarrow \quad t_3 = \tau \ln 2 = (3{,}00\,\text{s}) \cdot \ln 2 = 2{,}08\,\text{s}.$$

d. La carica elettrica finale sull'armatura positiva del condensatore è:

$$Q = C f_{em} = (5{,}99 \cdot 10^{-4}\,\text{F})(120\,\text{V}) = 7{,}19 \cdot 10^{-2}\,\text{C}.$$

Di conseguenza l'energia immagazzinata nel condensatore risulta

$$W_C = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}\frac{(7{,}19 \cdot 10^{-2}\,\text{C})^2}{5{,}99 \cdot 10^{-4}\,\text{F}} = 4{,}32\,\text{J}.$$

8 Problema

a. Negli istanti iniziali il condensatore è praticamente scarico, per cui non si oppone al passaggio di corrente nel circuito, il quale si comporta come un circuito resistivo. La corrente iniziale ha intensità

$$i_0 = \frac{V}{R_1} = \frac{12\ \text{V}}{230\ \Omega} = 52\ \text{mA}.$$

b. La corrente varia nel tempo secondo la legge

$$i = i_0\, e^{\frac{-t}{RC}} \quad \Rightarrow \quad t = RC \ln\left(\frac{i_0}{i}\right).$$

Sostituendo i valori assegnati e ponendo $i_0 / i = 2$ si ha

$$t = (230\Omega)\,(7{,}5\mu\text{F})\ln 3 = 1{,}2\ \text{ms}.$$

c. Ancora 1,2 ms: vale la relazione $i = i_0\, e^{\frac{-t}{RC}} \quad \Rightarrow \quad t = RC \ln\left(\frac{i_0}{i}\right)$ fra la corrente i_0 all'inizio dell'intervallo e quella alla fine i. Ma $i_0 / i = 2$, per cui si riottiene il risultato precedente.

d. Dopo circa 5 costanti di tempo, ossia dopo 5 (1,2 ms) = 6 ms.

e. Il condensatore si scarica nel circuito contenente R_2. La corrente decade secondo la legge

$$i(t) = \frac{V}{R_2} e^{\frac{-t}{RC}},$$

dove $V = 12$ V e la costante di tempo è $t_s = (1{,}5 \cdot 10^3\ \Omega)\,(7{,}5\ \mu\text{F}) = 11$ ms. L'energia accumulata nel condensatore viene dissipata per effetto Joule nel resistore.

PROBLEMI ESPERTI

9 Problema esperto

a. Invertendo la relazione $P = i\Delta V$ otteniamo

$$i_1 = \frac{P}{\Delta V_1} = \frac{100\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 0{,}435\ \text{A},$$

da cui

$$R_1 = \frac{\Delta V_1}{i_1} = \frac{230\ \text{V}}{0{,}435\ \text{A}} = 529\ \Omega.$$

Nel secondo caso queste stessa quantità diventano

$$i_2 = \frac{P}{\Delta V_2} = \frac{100\ \text{W}}{125\ \text{V}} = 0{,}800\ \text{A} \quad \text{e} \quad R_2 = \frac{\Delta V_2}{i_2} = \frac{125\ \text{V}}{0{,}800\ \text{A}} = 156\ \Omega.$$

b. La lampadina con una resistenza minore, inserita in un impianto a 230 V, sviluppa una potenza

$$P_2 = \frac{\Delta V_1^2}{R_2} = \frac{(230\ \text{V})^2}{156\ \Omega} = 339\ \text{W}.$$

È verosimile che una potenza così rilevante possa danneggiare il filamento della lampadina.

c. Le lampade a incandescenza descritte richiedono, in un anno, una quantità di energia $\mathcal{E}$ pari a:

$$\mathcal{E} = 10\left(100\ \frac{\text{J}}{\text{s}}\right)\left(3600\ \frac{\text{s}}{\text{h}}\right)\left(4\ \frac{\text{h}}{\text{d}}\right)(360\ \text{d}) = 5{,}18 \cdot 10^9\ \text{J}.$$

Questa energia corrisponde a

$$\frac{5{,}18 \cdot 10^9\ \text{J}}{3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J/kWh}} = 1{,}44 \cdot 10^3\ \text{kWh},$$

che comporta una spesa di

$$(1{,}44 \cdot 10^3\ \text{kWh})\left(0{,}19\ \frac{€}{\text{kWh}}\right) = 274\ €.$$

Utilizzando una lampada fluorescente cinque volte più efficiente si risparmiano i 4/5 di questa cifra, cioè 219 €; con una lampada LED dieci volte più efficiente di quella a incandescenza si risparmiano 247 €.

d. Nel caso del forno giocattolo non si era interessati alla luce emessa dalla lampadina ma proprio dal calore prodotto. Considerando 95 W di energia fornita all'acqua, il tempo Δt richiesto si calcola come

$$\Delta t = \frac{cm\Delta T}{P} = \frac{[4{,}19 \cdot 10^3\ \text{J/(kg} \cdot \text{K)}](0{,}25\ \text{kg})(60\ \text{K})}{95\ \text{W}} = 660\ \text{s}.$$

10. Problema esperto

a. Conoscendo la potenza dissipata dalla lampadina possiamo ricavarne la resistenza:

$$R = \frac{V^2}{P} = 48\ \Omega.$$

Conoscendo la dipendenza della resistenza dalla temperatura

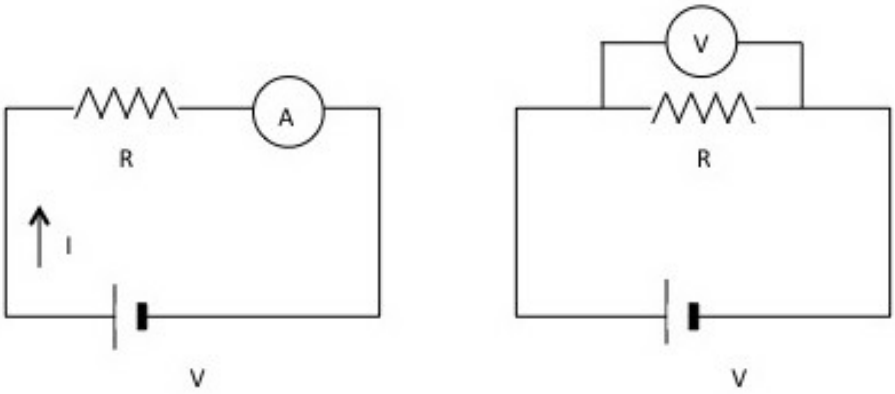
$$R(T) = R_0\left[1 + \alpha(T - T_0)\right]$$

possiamo ricavare la temperatura alla quale si trova la lampadina accesa:

$$T = T_0 + \frac{1}{\alpha}\left(\frac{R}{R_0 - 1}\right) = 1740\ °\text{C}.$$

b. Gli atomi di un metallo a una certa temperatura hanno una certa energia cinetica media, che si riflette nel fatto che gli atomi oscillano intorno alla loro configurazione di equilibrio. A temperature maggiori corrispondono energie cinetiche maggiori e quindi gli atomi oscillano di più, rendendo più difficile il moto degli elettroni, ovvero la resistività del materiale aumenta.

c. L'amperometro deve essere posto in serie con la resistenza, visto che deve essere attraversato dalla stessa corrente. Il voltmetro invece va messo in parallelo.



(1) Amperometro in serie con la resistenza della lampadina R.

(2) Voltmetro in parallelo con la resistenza della lampadina R.

d. La figura B rappresenta un voltmetro. Infatti il voltmetro va posto in parallelo alla resistenza ai capi della quale si vuole misurare la differenza di potenziale. La resistenza interna del voltmetro è idealmente infinita, così che tutta la corrente attraversa la resistenza *R*.
La figura A rappresenta un amperometro, che va posto in serie alla resistenza, così che venga attraversato dalla stessa corrente che attraversa la resistenza *R*. Per la stessa ragione, la resistenza interna dell'amperometro ideale è nulla.

e. L'energia totale utilizzata è data dal numero di lampadine moltiplicato dalla potenza erogata per il tempo di utilizzo (3 ore al giorno per un anno), ovvero
$\mathcal{E} = ntP = 5 \cdot 100 \text{ W} \cdot 3 \cdot 365 \text{ h} = 5{,}50 \text{ kWh}.$
Conoscendo il prezzo di 1 kWh si ottiene il prezzo pagato per l'energia necessaria a far funzionare quelle lampadine in un anno, ovvero
$$p = 5{,}50 \text{ kWh} \cdot 0{,}162 \frac{€}{\text{kWh}} = 89\ €.$$
Se si consuma l'80% in meno, la spesa totale per l'energia è il 20% di quella iniziale. Il risparmio è quindi
$p_{\text{risparmiato}} = 0{,}80\,p = 72\ €.$

11 Problema esperto

a. Ricordando che 1A= 1 C/s e 1h = 3600s, si ha
Q = 2450 mAh = 2450 · 10^{-3} C/s (3,6 · 10^{3} s) = 8820 C.

b. La pila ha un'energia totale $\mathcal{E} = QV$. Uguagliandola all'energia potenziale $U = mgh$ all'altezza h si ottiene

$$h = \frac{QV}{mg} = \frac{(8820\,\text{C})(1{,}2\,\text{V})}{(2{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{kg})(9{,}8\,\text{m/s}^2)} = 43\,\text{km}.$$

c. Poiché le due pile operano in parallelo, la lampadina è sottoposta a una tensione di 1,2 V. Quindi

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(1{,}2\,\text{V})^2}{0{,}13\,\Omega} = 11\,\text{W}.$$

d. La tensione raddoppia, per cui la potenza emessa dalla lampadina quadruplica e la durata si riduce a un quarto.

e. In serie:

$$1{,}2\,\text{V} - ri_S + 1{,}2\,\text{V} - ri_S - (0{,}13\,\Omega)i_S = 0 \quad \Rightarrow \quad i_S = \frac{2{,}4\,\text{V}}{2r + 0{,}13\,\Omega}.$$

In parallelo, per il calcolo consideriamo una maglia che comprenda lampadina e una sola pila:

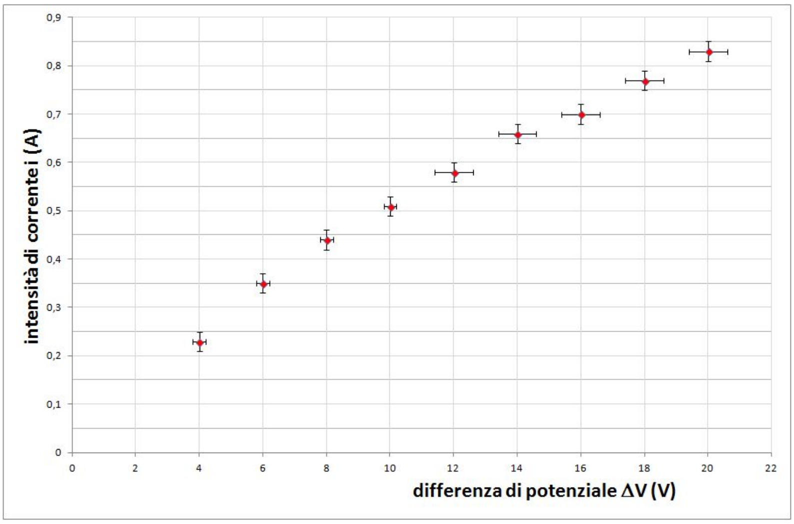
$$1{,}2\,\text{V} - \frac{1}{2}ri_P - (0{,}13\,\Omega)i_P = 0 \quad \Rightarrow \quad i_P = \frac{1{,}2\,\text{V}}{\frac{1}{2}r + 0{,}13\,\Omega}.$$

f. Perché sia $Ri_S^2 = Ri_P^2$ deve essere $i_s = i_P$, ossia

$$\frac{2{,}4\,\text{V}}{2r + 0{,}13\,\Omega} = \frac{1{,}2\,\text{V}}{\frac{1}{2}r + 0{,}13\,\Omega} \quad \Rightarrow \quad r = R = 130\,\text{m}\Omega.$$

12 Problema esperto

a. Il grafico che si ottiene è quello riportato sotto.



Come si vede esso non è compatibile con la prima legge di Ohm, perché non esiste nessuna retta (tantomeno passante per l'origine) che sia compatibile con i dati sperimentali.

b. A tensioni più elevate, i dati sperimentali dell'intensità di corrente si trovano in modo sistematico al di sotto della retta che congiunge i primi tre/quattro punti sperimentali.
Quindi la resistenza della bobina cresce al passare del tempo. Ciò può essere spiegato ammettendo che, con il procedere dell'esperimento, la bobina si scaldi progressivamente non riuscendo a disperdere nell'ambiente tutta l'energia dissipata in essa per effetto Joule.
Probabilmente sarebbe stato meglio spegnere l'alimentatore tra una misura e l'altra e permettere alla bobina di ritornare alla temperatura ambiente.

c. Si verifica facilmente che i primi dati sperimentali sono compatibili con una resistenza $R_0 = 17\ \Omega/18\ \Omega$, mentre gli ultimi richiedono una resistenza $R_1 = 23\ \Omega/24\ \Omega$ (gli errori sperimentali impediscono di essere più precisi). Nell'ipotesi che la lunghezza e l'area trasversale del filo rimangano sostanzialmente inalterati, possiamo scrivere

$$\frac{R_1}{R_0} = 1 + \alpha \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{R_1}{R_0} - 1\right) \cong 50\ \text{K}.$$

d. Dalla seconda legge di Ohm ricaviamo la lunghezza l del filo come

$$l = \frac{RA}{\rho_{293}} = \frac{\pi R r^2}{\rho_{293}} \cong 90\ \text{m}.$$

L'energia netta $\mathcal{E}$ assorbita dalla bobina per ottenere l'aumento di temperatura calcolato risulta

$$\mathcal{E} = c\,m\Delta T = c\,d\,\pi r^2 l \Delta T = \pi\left(449\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)\left(7874\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(4{,}0\cdot 10^{-4}\ \text{m}\right)^2\left(90\ \text{m}\right)\left(50\ \text{K}\right) = 8{,}0\cdot 10^3\ \text{J}.$$

13 Problema esperto

a. Una capacità C = 60 Ah, relativa a una batteria 12 V, corrisponde a un'energia nominale disponibile

$$\mathcal{E} = i\Delta V\,\Delta t = (60\text{ A})(12\text{ V})(3600\text{ s}) = 2{,}6\cdot 10^6\text{ J}.$$

Lo 0,10% di questa energia equivale a

$$\mathcal{E}_1 = (1{,}0\cdot 10^{-3})\mathcal{E} = (1{,}0\cdot 10^{-3})(2{,}6\cdot 10^6\text{ J}) = 2{,}6\cdot 10^3\text{ J}.$$

Distribuita su una giornata, ciò equivale a una potenza

$$P_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{1\text{ d}} = \frac{2{,}6\cdot 10^3\text{ J}}{24\cdot 3600\text{ s}} = 3{,}0\cdot 10^{-2}\text{ W}.$$

Il valore della resistenza di una simile lampadina sarebbe

$$R = \frac{\Delta V^2}{P_1} = \frac{(12\text{ V})^2}{3{,}0\cdot 10^{-2}\text{ W}} = 4{,}8\cdot 10^3\ \Omega.$$

b. Una batteria che conserva il 20% della sua capacità nominale ne ha perso l'80%. Sulla base del calore di $\mathcal{E}_1$ stabilito in precedenza, possiamo calcolare che a questo scopo serva un intervallo di tempo

$$\Delta t = \frac{0{,}80\cdot\mathcal{E}}{\mathcal{E}_1\dfrac{1}{\text{d}}} = \frac{0{,}80\cdot\cancel{\mathcal{E}}}{(1{,}0\cdot 10^{-3})\cdot\cancel{\mathcal{E}}\dfrac{1}{\text{d}}} = \frac{0{,}80}{1{,}0\cdot 10^{-3}}\text{d} = \frac{0{,}80}{1{,}0\cdot 10^{-3}}\text{d} = 8{,}0\cdot 10^2\text{ d}.$$

c. Il risultato non cambierebbe. Basta vedere come il valore di $\mathcal{E}$ si elimina nel calcolo precedente, lasciando solo il rapporto delle percentuali, che sarebbero in tutti i casi le stesse.

d. Nell'uso regolare l'alternatore dell'automobile ricarica la batteria e ovvia ampiamente al problema dell'autoscarica.

14 Problema esperto

a. Sì: l'effetto degli urti fra graupel e cristalli di ghiaccio è del tutto simile allo sfregamento tra due superfici che si caricano una positivamente e l'altra negativamente, rimanendo nel complesso neutre.

b. Il repentino riscaldamento dell'aria provoca una violenta espansione, che a sua volta genera onde di compressione nell'aria circostante. Tali onde giungono sotto forma di suono.

c. Nell'intervallo di tempo Δt, un cilindro di volume $V = A\,v\,\Delta t$ attraversa la sezione A. Nel volume V sono contenuti $N = nV$ elettroni, la cui carica elettrica totale è $Q = e\,nV = e\,n\,v\,A\,\Delta t$. L'intensità di corrente è quindi

$$i = \frac{\Delta C}{\Delta t} = e\,n\,v\,A.$$

d. $v = \dfrac{i}{e\,n\,A} = \dfrac{3 \cdot 10^4\, C/s}{\left(1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}\right)\left(10^{21}\,\text{m}^{-3}\right)\left(4 \cdot 10^{-4}\,\text{m}^2\right)} = 5 \cdot 10^5\,\text{m/s}.$

e. La costante di tempo del circuito formato dal condensatore carico (ionosfera-suolo) e dal canale resistivo nell'atmosfera è

$t = RC = \left(0{,}2\,\text{k}\Omega\right)\left(0{,}7\,\text{F}\right) = 140\,\text{s}.$

L'attività cesserebbe dopo alcune costanti di tempo, per esempio 5:

$\Delta t = 5t = 5\left(140\,\text{s}\right) = 700\,\text{s}.$