RISOLUZIONI cap.13

13.1
(a) La quantità di calore dissipata dal resistore in un intervallo di tempo di 24 h è

$$Q = \dot{Q}\Delta t = (3\ \text{W})(8\ \text{h}) = 24\ \text{Wh} = \mathbf{0.024\ kWh}$$

(b) Il flusso termico è

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{3\ \text{W}}{0.000034\ \text{m}^2} = \mathbf{88{,}235\ W/m^2}$$

13.2
(a) Il flusso termico sulla superficie del cocomero è

$$A = 4\pi r^2 = 4\pi(0.175\ \text{m})^2 = 0.3848\ \text{m}^2$$

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{200\ \text{kJ/h}}{0.3848\ \text{m}^2}\left(\frac{1000\ \text{J}}{1\ \text{kJ}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right) = \mathbf{144.4\ W/m^2}$$

(b) La quantità totale di calore ceduta è

$$m = \rho V = \rho\frac{4}{3}\pi r^3 = (1000\ \text{kg/m}^3)\frac{4}{3}\pi(0.175\ \text{m})^3 = 22.45\ \text{kg}$$

$$Q = m\,c_p\Delta T = (22.45\ \text{kg})(4.18\ \text{kJ/kg.}^\circ\text{C})(25-10)^\circ\text{C} = 1407.6\ \text{kJ}$$

e l'intervallo di tempo necessario per raffreddarlo diventa

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t} \longrightarrow \Delta t = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{1407.6\ \text{kJ}}{(200/3600)\ \text{kJ/s}} = 25{,}337\ \text{s} \cong \mathbf{7\ h}$$

13.3
La conducibilità termica del materiale della porta è

$$\dot{q} = k\frac{\Delta T}{L} \longrightarrow k = \frac{\dot{q}L}{\Delta T} = \frac{(25\ \text{W/m}^2)(0.03\ \text{m})}{(15-7)^\circ\text{C}} = \mathbf{0.09375\ W/m.^\circ C}$$

13.4
L'area della superficie della parete e la potenza termica dissipata attraverso la parete sono

$$A = (4\ \text{m}) \times (6\ \text{m}) = 24\ \text{m}^2$$

$$\dot{Q} = kA\frac{T_1 - T_2}{L} = (0.8\ \text{W/m.°C})(24\ \text{m}^2)\frac{(14-6)\text{°C}}{0.3\ \text{m}} = \mathbf{512\ W}$$

13.5
L'area della superficie della finestra e le singole resistenze sono

$$A = (1.2\ \text{m}) \times (2\ \text{m}) = 2.4\ \text{m}^2$$

$$R_\text{i} = R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{(10\ \text{W/m}^2.\text{°C})(2.4\ \text{m}^2)} = 0.04167\ \text{°C/W}$$

$$R_\text{vetro} = \frac{L}{k_1 A} = \frac{0.006\ \text{m}}{(0.78\ \text{W/m.°C})(2.4\ \text{m}^2)} = 0.00321\ \text{°C/W}$$

$$R_\text{e} = R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{(25\ \text{W/m}^2.\text{°C})(2.4\ \text{m}^2)} = 0.01667\ \text{°C/W}$$

$$R_{tot} = R_{conv,1} + R_\text{vetro} + R_{conv,2} = 0.04167 + 0.00321 + 0.01667 = 0.06155\ \text{°C/W}$$

La potenza termica trasmessa in regime stazionario attraverso il vetro della finestra è quindi

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}} = \frac{[24 - (-5)]\text{°C}}{0.06155\ \text{°C/W}} = \mathbf{471\ W}$$

La temperatura della superficie interna del vetro della finestra è data da

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{conv,1}} \longrightarrow T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}R_{conv,1} = 24\text{°C} - (471\ \text{W})(0.04167\ \text{°C/W}) = \mathbf{4.4°C}$$

13.6
(a) La quantità di calore dissipata da questo resistore in un intervallo di tempo di 24 è

$$Q = \dot{Q}\Delta t = (0.15\ \text{W})(24\ \text{h}) = \mathbf{3.6\ Wh}$$

(b) Il flusso termico sulla superficie del resistore è

$$A = 2\frac{\pi D^2}{4} + \pi DL = 2\frac{\pi(0.003\text{ m})^2}{4} + \pi(0.003\text{ m})(0.012\text{ m}) = 0.000127\text{ m}^2$$

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{0.15\text{ W}}{0.000127\text{ m}^2} = \mathbf{1179\ W/m^2}$$

(c) La temperatura superficiale del resistore è data da

$$R_{\text{conv, irr}} = \frac{1}{hA} = \frac{1}{(9\text{ W/m}^2.°\text{C})(0.000127\text{ m}^2)} = 875\text{ °C/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{conv, irr}}} \longrightarrow T_s = T_\infty + \dot{Q}R_{\text{conv, irr}} = 40°\text{C} - (0.15\text{ W})(875\text{ °C/W}) = \mathbf{171°C}$$

13.7
Se si suppone che la quantità di calore generata nello strato esterno del corpo, spesso 0,5 cm, sia trascurabile, si può ricavare la temperatura cutanea dalla relazione

$$\dot{Q} = kA\frac{T_1 - T_{\text{cute}}}{L} \longrightarrow T_{\text{cute}} = T_1 - \frac{\dot{Q}L}{kA} = 37°\text{C} - \frac{(150\text{ W})(0.005\text{ m})}{(0.3\text{ W/m.°C})(1.7\text{ m}^2)} = \mathbf{35.5°C}$$

13.8
La potenza termica trasmessa attraverso ciascuna parete si può determinare applicando la rete di resistenze termiche. Le resistenze convettive sulle superfici interna ed esterna sono comuni in tutti i casi.

Pareti senza finestre:

$$R_{conv,i} = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(7\text{ W/m}^2.°\text{C})(10\times 4\text{ m}^2)} = 0.003571\text{ °C/W}$$

$$R_{cond} = \frac{L}{kA} = \frac{r}{A} = \frac{2.31\text{ m}^2\text{°C/W}}{(10\times 4\text{ m}^2)} = 0.05775\text{ °C/W}$$

$$R_{\text{conv, e}} = \frac{1}{h_o A} = \frac{1}{(15\text{ W/m}^2.°\text{C})(10\times 4\text{ m}^2)} = 0.001667\text{ °C/W}$$

$$R_{\text{totale}} = R_{conv,i} + R_{cond} + R_{\text{conv, e}} = 0.00357 + 0.05775 + 0.001667 = 0.062988\text{ °C/W}$$

Quindi,

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} = \frac{(22-5)°C}{0.062988°C/W} = \mathbf{270\ W}$$

Parete con finestre a vetro singolo:

$$R_{\text{cond, parete}} = \frac{L}{kA} = \frac{r}{A} = \frac{2.31\ m^2\,°C/W}{(20\times 4) - 5(1.2\times 1.8)\ m^2} = 0.033382\ °C/W$$

$$R_{\text{cond, finestre}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.005\ m}{(0.78\ W/m^2.°C)(1.2\times 1.8)m^2} = 0.002968\ °C/W$$

$$\frac{1}{R_{\text{equiv}}} = \frac{1}{R_{\text{cond, parete}}} + 5\frac{1}{R_{\text{cond, finestre}}} = \frac{1}{0.033382} + 5\frac{1}{0.002968} \rightarrow R_{eqv} = 0.00058\ °C/W$$

$$R_{\text{totale}} = R_{conv,i} + R_{\text{equiv}} + R_{\text{conv, e}} = 0.001786 + 0.000583 + 0.000833 = 0.003202\ °C/W$$

Quindi

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} = \frac{(22-5)°C}{0.003202°C/W} = \mathbf{5309\ W}$$

Quarta parete con finestre a doppio vetro:

$$R_{\text{cond, parete}} = \frac{L}{kA} = \frac{r}{A} = \frac{2.31\ m^2\,°C/W}{(20\times 4) - 5(1.2\times 1.8)m^2} = 0.033382\ °C/W$$

$$R_{\text{cond, vetro}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.005\ m}{(0.78\ W/m^2.°C)(1.2\times 1.8)m^2} = 0.002968\ °C/W$$

$$R_{cond,air} = \frac{L}{kA} = \frac{0.015\ m}{(0.026\ W/m^2.°C)(1.2\times 1.8)m^2} = 0.267094\ °C/W$$

$$R_{\text{cond, finestre}} = 2R_{\text{cond, vetro}} + R_{\text{cond, aria}} = 2\times 0.002968 + 0.267094 = 0.27303\ °C/W$$

$$\frac{1}{R_{\text{equiv}}} = \frac{1}{R_{\text{cond, parete}}} + 5\frac{1}{R_{\text{cond, finestre}}} = \frac{1}{0.033382} + 5\frac{1}{0.27303} \longrightarrow R_{eqv} = 0.020717\ °C/W$$

$$R_{\text{totale}} = R_{conv,i} + R_{\text{equiv}} + R_{\text{conv, e}} = 0.001786 + 0.020717 + 0.000833 = 0.023336\ °C/W$$

Quindi,

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} = \frac{(22-5)°C}{0.023336°C/W} = \mathbf{729\ W}$$

La potenza termica trasmessa che verrà risparmiata se le finestre a vetro singolo vengono convertite in finestre a doppio vetro diventa

$$\dot{Q}_{\text{risparmiato}} = \dot{Q}_{\substack{\text{vetro}\\\text{singolo}}} - \dot{Q}_{\substack{\text{vetro}\\\text{doppio}}} = 5309 - 729 = 4580 \text{ W}$$

La quantità di energia e di denaro risparmiati durante una stagione di riscaldamento di 7 mesi passando da finestre a singolo vetro a finestre a doppio vetro diventa

$$Q_{\text{risparmiato}} = \dot{Q}_{\text{risparmiato}} \Delta t = (4.580 \text{ kW})(7 \times 30 \times 24 \text{ h}) = 23{,}083 \text{ kWh}$$

13.9
Assumiamo una trasmissione di calore unidimensionale lungo la scheda e denotiamo con L la lunghezza nella direzione della trasmissione di calore e con w la larghezza della scheda. Quindi la conduzione termica lungo questa scheda a due strati può essere espressa come

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{rame}} + \dot{Q}_{\text{epossi}} = \left(kA\frac{\Delta T}{L}\right)_{\text{rame}} + \left(kA\frac{\Delta T}{L}\right)_{\text{epossi}} = \left[(kt)_{\text{rame}} + (kt)_{\text{epossi}}\right] w\frac{\Delta T}{L}$$

La conduzione termica lungo una scheda «equivalente» di spessore $t = t_{\text{rame}} + t_{\text{epossi}}$ e conducibilità termica k_{eff} può essere espressa come

$$\dot{Q} = \left(kA\frac{\Delta T}{L}\right)_{\text{scheda}} = k_{\text{eff}}(t_{\text{rame}} + t_{\text{epossi}}) w\frac{\Delta T}{L}$$

Uguagliando le due relazioni precedenti e risolvendo rispetto alla conducibilità effettiva, otteniamo

$$k_{eff}(t_{\text{rame}} + t_{\text{epossi}}) = (kt)_{\text{rame}} + (kt)_{\text{epossi}} \longrightarrow k_{eff} = \frac{(kt)_{\text{rame}} + (kt)_{\text{epossi}}}{t_{\text{rame}} + t_{\text{epossi}}}$$

Si noti che la conduzione termica è direttamente proporzionale a kt. Sostituendo, le frazioni di calore trasmesse per conduzione lungo lo strato di rame e lo strato di resina epossidica nonché la conducibilità termica effettiva sono date da

$$(kt)_{\text{rame}} = (386\ \text{W/m.°C})(0.0001\ \text{m}) = 0.0386\ \text{W/°C}$$
$$(kt)_{\text{epossi}} = (0.26\ \text{W/m.°C})(0.0012\ \text{m}) = 0.000312\ \text{W/°C}$$
$$(kt)_{\text{totale}} = (kt)_{\text{rame}} + (kt)_{\text{epossi}} = 0.0386 + 0.000312 = 0.038912\ \text{W/°C}$$
$$f_{\text{epossi}} = \frac{(kt)_{\text{epossi}}}{(kt)_{\text{totale}}} = \frac{0.000312}{0.038912} = 0.008 = \mathbf{0.8\%}$$
$$f_{\text{rame}} = \frac{(kt)_{\text{rame}}}{(kt)_{\text{totale}}} = \frac{0.0386}{0.038912} = 0.992 = \mathbf{99.2\%}$$

da cui

$$k_{eff} = \frac{(386 \times 0.0001 + 0.26 \times 0.0012)\ \text{W/°C}}{(0.0001 + 0.0012)\ \text{m}} = \mathbf{29.9\ W/m.°C}$$

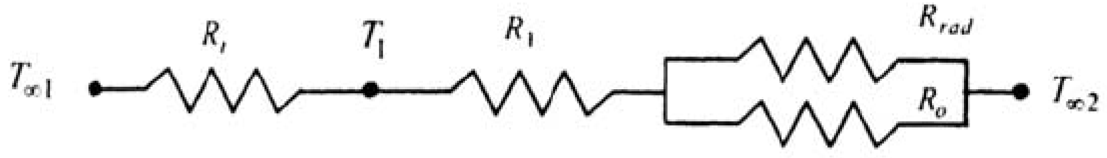
13.10
(a) L'area della superficie interna della sfera e quella della superficie esterna sono

$$A_i = \pi D_i^2 = \pi(5\ \text{m})^2 = 78.5\ \text{m}^2$$
$$A_o = \pi D_o^2 = \pi(5.03\ \text{m})^2 = 79.5\ \text{m}^2$$

Ipotizziamo che la temperatura T_2 della superficie esterna sia 4 °C dopo avere confrontato i coefficienti di scambio termico convettivo sulla superficie interna e sulla superficie esterna del recipiente. In base a questa ipotesi, il coefficiente di scambio termico radiativo è dato da

$$\begin{aligned} h_{\text{irr}} &= \varepsilon\sigma(T_2^{\,2} + T_{\text{amb}}^{\,2})(T_2 + T_{\text{amb}}) \\ &= 1(5.67 \times 10^{-8}\ \text{W/m}^2.\text{K}^4)[(273+4\ \text{K})^2 + (273+20\ \text{K})^2](273+20\ \text{K})(273+4\ \text{K})] \\ &= 5.25\ \text{W/m}^2.\text{K} \end{aligned}$$

Le singole resistenze termiche sono



$$R_{conv,i} = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(80\ \mathrm{W/m^2.°C})(78.5\ \mathrm{m^2})} = 0.000159\ \mathrm{°C/W}$$

$$R_1 = R_{\mathrm{sfera}} = \frac{r_2 - r_1}{4\pi k r_1 r_2} = \frac{(2.515-2.5)\ \mathrm{m}}{4\pi(15\ \mathrm{W/m.°C})(2.515\ \mathrm{m})(2.5\ \mathrm{m})} = 0.000013\ \mathrm{°C/W}$$

$$R_{\mathrm{conv,\,e}} = \frac{1}{h_o A} = \frac{1}{(10\ \mathrm{W/m^2.°C})(79.5\ \mathrm{m^2})} = 0.00126\ \mathrm{°C/W}$$

$$R_{\mathrm{irr}} = \frac{1}{h_{\mathrm{irr}} A} = \frac{1}{(5.25\ \mathrm{W/m^2.°C})(79.5\ \mathrm{m^2})} = 0.00240\ \mathrm{°C/W}$$

$$\frac{1}{R_{\mathrm{equiv}}} = \frac{1}{R_{\mathrm{conv,\,e}}} + \frac{1}{R_{\mathrm{irr}}} = \frac{1}{0.00126} + \frac{1}{0.00240} \longrightarrow R_{eqv} = 0.000826\ \mathrm{°C/W}$$

$$R_{\mathrm{totale}} = R_{conv,i} + R_1 + R_{\mathrm{equiv}} = 0.000159 + 0.000013 + 0.000826 = 0.000998\ \mathrm{°C/W}$$

Quindi la potenza termica trasmessa all'acqua ghiacciata in regime stazionario diventa

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty1} - T_{\infty2}}{R_{\mathrm{totale}}} = \frac{(20-0)\mathrm{°C}}{0.000998\ \mathrm{°C/W}} = \mathbf{20{,}040\ W}$$

(b) La quantità totale di calore trasmessa in un intervallo di tempo di 24 h e la quantità di ghiaccio che fonderà durante questo intervallo di tempo sono

$$Q = \dot{Q}\Delta t = (20.040\ \mathrm{kJ/s})(24 \times 3600\ \mathrm{s}) = 1{,}731{,}500\ \mathrm{kJ}$$

$$m_{\mathrm{ghiaccio}} = \frac{Q}{h_{if}} = \frac{1{,}731{,}500\ \mathrm{kJ}}{333.7\ \mathrm{kJ/kg}} = \mathbf{5189\ kg}$$

Verifica: La temperatura della superficie esterna del recipiente è

$$\dot{Q} = h_{conv+\mathrm{irr}}\ A_o(T_{\infty1} - T_s) \ \rightarrow\ T_s = T_{\infty1} - \frac{\dot{Q}}{h_{conv+\mathrm{irr}}\ A_o} = 20\mathrm{°C} - \frac{20{,}040\ \mathrm{W}}{(10+5.25\ \mathrm{W/m^2.°C})(79.5\ \mathrm{m^2})} = 3.5\mathrm{°C}$$

che è molto vicina al valore ipotizzato di 4 °C per la temperatura della superficie esterna impiegato nella valutazione del coefficiente di scambio termico radiativo. Quindi non è necessario ripetere i calcoli.

13.11

(a) L'area della superficie interna e l'area della superficie esterna del tubo isolato, riferite all'unità di lunghezza, sono

$$A_i = \pi D_i L = \pi(0.05 \text{ m})(1 \text{ m}) = 0.157 \text{ m}^2$$
$$A_e = \pi D_e L = \pi(0.055 + 0.06 \text{ m})(1 \text{ m}) = 0.361 \text{ m}^2$$

Le singole resistenze termiche sono

$$R_{conv,i} = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(80 \text{ W/m}^2.°\text{C})(0.157 \text{ m}^2)} = 0.08 \text{ °C/W}$$
$$R_1 = R_{\text{tubo}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 L} = \frac{\ln(2.75/2.5)}{2\pi(15 \text{ W/m.°C})(1 \text{ m})} = 0.00101 \text{ °C/W}$$
$$R_2 = R_{\text{isolante}} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 L} = \frac{\ln(5.75/2.75)}{2\pi(0.038 \text{ W/m.°C})(1 \text{ m})} = 3.089 \text{ °C/W}$$
$$R_{\text{conv, e}} = \frac{1}{h_o A} = \frac{1}{(15 \text{ W/m}^2.°\text{C})(0.361 \text{ m}^2)} = 0.1847 \text{ °C/W}$$
$$R_{\text{totale}} = R_{conv,i} + R_1 + R_2 + R_{\text{conv, e}} = 0.08 + 0.00101 + 3.089 + 0.1847 = 3.355 \text{ °C/W}$$

Quindi la potenza termica ceduta da 1 m di tubo in regime stazionario diventa

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} = \frac{(320-5)°\text{C}}{3.355 \text{ °C/W}} = \mathbf{93.9 \text{ W}}$$

Le cadute di temperatura attraverso il tubo e la guaina isolante sono

$$\Delta T_{\text{tubo}} = \dot{Q} R_{\text{tubo}} = (93.9 \text{ W})(0.00101 \text{ °C/W}) = \mathbf{0.095°C}$$
$$\Delta T_{\text{isolante}} = \dot{Q} R_{\text{isolante}} = (93.9 \text{ W})(3.089 \text{ °C/W}) = \mathbf{290°C}$$

13.12
Le singole resistenze termiche sono

$$A_i = \pi D_i L = \pi(0.04 \text{ m})(15 \text{ m}) = 1.885 \text{ m}^2$$

$$A_e = \pi D_e L = \pi(0.046 \text{ m})(15 \text{ m}) = 2.168 \text{ m}^2$$

$$R_{conv,i} = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{(120 \text{ W/m}^2.°\text{C})(1.885 \text{ m}^2)} = 0.0044 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 L} = \frac{\ln(2.3/2)}{2\pi(52 \text{ W/m.°C})(15 \text{ m})} = 0.00003 \text{ °C/W}$$

La temperatura della superficie esterna del tubo sarà alquanto inferiore alla temperatura dell'acqua. Ipotizzando che la temperatura della superficie esterna del tubo sia 80 °C (verificheremo questa ipotesi più avanti), possiamo determinare il coefficiente di scambio termico radiativo

$$\begin{aligned} h_{\text{irr}} &= \varepsilon\sigma(T_2^{\,2} + T_{\text{amb}}^{\,2})(T_2 + T_{\text{amb}}) \\ &= (0.7)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4)[(353 \text{ K})^2 + (283 \text{ K})^2](353 + 283) \\ &= 5.167 \text{ W/m}^2.\text{K} \end{aligned}$$

Poiché il mezzo circostante e le superfici sono alla stessa temperatura, il coefficiente di scambio termico radiativo e il coefficiente di scambio termico convettivo possono essere sommati e il risultato può essere assunto come il coefficiente di scambio termico combinato. Quindi,

$$h_{\text{comb}} = h_{\text{irr}} + h_{conv,2} = 5.167 + 15 = 20.167 \text{ W/m}^2.°\text{C}$$

$$R_o = \frac{1}{h_{\text{comb}} A_o} = \frac{1}{(20.167 \text{ W/m}^2.°\text{C})(2.168 \text{ m}^2)} = 0.023 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{totale}} = R_i + R_{\text{tubo}} + R_o = 0.0044 + 0.00003 + 0.023 = 0.027 \text{ °C/W}$$

La potenza termica ceduta dal tubo dell'acqua calda diventa quindi

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} = \frac{(90 - 10)\text{°C}}{0.0271 \text{ °C/W}} = \mathbf{2963 \text{ W}}$$

Per una caduta di temperatura di 3 °C, la portata massica dell'acqua e la velocità media dell'acqua devono essere

$$\dot{Q} = \dot{m}\, c_p \Delta T \longrightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \Delta T} = \frac{2963 \text{ J/s}}{(4180 \text{ J/kg.°C})(3 \text{ °C})} = 0.236 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = \rho V A_c \longrightarrow V = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} = \frac{0.236 \text{ kg/s}}{(1000 \text{ kg/m}^3)\left[\frac{\pi(0.04 \text{ m})^2}{4}\right]} = \mathbf{0.1878 \text{ m/s}}$$

Verifica: La temperatura della superficie esterna del tubo è

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_s}{R_{conv,i} + R_{\text{tubo}}} \rightarrow 2963 \text{ W} = \frac{(90 - T_s)\text{°C}}{(0.0044 + 0.00003)\text{°C/W}} \rightarrow T_s = 77\text{°C}$$

che è molto vicino al valore ipotizzato per la temperatura superficiale nella valutazione della resistenza radiativa. Perciò non è necessario ripetere i calcoli.

13.13
In condizioni stazionarie, la potenza termica ceduta dal conduttore è uguale alla quantità di calore generato nel conduttore nell'unità di tempo,

$$\dot{Q} = \dot{L}_{\text{el}} = VI = (8 \text{ V})(10 \text{ A}) = 80 \text{ W}$$

La resistenza termica totale è

$$R_{conv} = \frac{1}{h_e A_e} = \frac{1}{(18 \text{ W/m}^2.\text{°C})[\pi(0.004 \text{ m})(10 \text{ m})]} = 0.0442 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{plastica}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L} = \frac{\ln(2/1)}{2\pi(0.15 \text{ W/m.°C})(10 \text{ m})} = 0.0735 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{totale}} = R_{conv} + R_{\text{plastica}} = 0.0442 + 0.0735 = 0.1177 \text{ °C/W}$$

Quindi la temperatura all'interfaccia diventa

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} \longrightarrow T_1 = T_\infty + \dot{Q} R_{\text{totale}} = 30\text{°C} + (80 \text{ W})(0.1177 \text{ °C/W}) = 39.4\text{°C}$$

Il raggio critico della guaina isolante di plastica è

$$r_{cr} = \frac{k}{h} = \frac{0.15 \text{ W/m.°C}}{18 \text{ W/m}^2.\text{°C}} = 0.0083 \text{ m} = 8.3 \text{ mm}$$

Raddoppiando lo spessore della guaina di plastica si aumenterà il raggio esterno del filo a 3 mm, che è minore del raggio critico della guaina isolante. Perciò, raddoppiando la guaina di plastica si aumenta la potenza termica ceduta e si diminuisce la temperatura all'interfaccia.

13.14
Il filo conduttore elettrico resistivo di un riscaldatore a resistenza elettrica di 2 kW converte energia elettrica in calore a una potenza di 2 kW. La quantità di calore generata nell'unità di tempo, riferita all'unità di volume del conduttore, è

$$\dot{g} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{V_{\text{filo}}} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\pi r_0^{\,2} L} = \frac{2000 \text{ W}}{\pi(0.0015 \text{ m})^2 (0.8 \text{ m})} = 0.354 \times 10^9 \text{ W/m}^3$$

La temperatura nel centro del filo è quindi

$$T_0 = T_s + \frac{\dot{g} r_0^{\,2}}{4k} = 110°\text{C} + \frac{(0.354 \times 10^9 \text{ W/m}^3)(0.0015 \text{ m})^2}{4(12 \text{ W/m.°C})} = \mathbf{126.6°C}$$

13.15
La quantità di calore generata riferita all'unità di tempo e all'unità di volume del filo conduttore elettrico resistivo è

$$\dot{g} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{V_{\text{filo}}} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\pi r_0^{\,2} L} = \frac{2000 \text{ W}}{\pi(0.001 \text{ m})^2 (6 \text{ m})} = 1.061 \times 10^8 \text{ W/m}^3$$

La temperatura superficiale del filo è quindi

$$T_s = T_\infty + \frac{\dot{g} r_0}{2h} = 30°\text{C} + \frac{(1.061 \times 10^8 \text{ W/m}^3)(0.001 \text{ m})}{2(140 \text{ W/m}^2.°\text{C})} = \mathbf{409°C}$$

13.16
La resistenza termica fra il transistore fissato al dissipatore di calore e l'aria ambiente è data da

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{\text{involucro-ambiente}}} \longrightarrow R_{\text{involucro-ambiente}} = \frac{T_{transistor} - T_\infty}{\dot{Q}} = \frac{(80-35)°\text{C}}{30 \text{ W}} = \mathbf{1.5\ °C/W}$$

La resistenza termica del dissipatore di calore deve essere minore di 15 °C/W. La Tabella 10.4 indica che si possono scegliere il dissipatore HS5030 sia in posizione orizzontale sia in posizione verticale, il dissipatore HS6071 in posizione verticale e il dissipatore HS6115 sia in posizione orizzontale sia in posizione verticale.

13.17
(a) La potenza termica totale dissipata dai chip è

$$\dot{Q} = 80 \times (0.04\ \text{W}) = 3.2\ \text{W}$$

Le singole resistenze sono

$$A = (0.12\ \text{m})(0.18\ \text{m}) = 0.0216\ \text{m}^2$$

$$R_{\text{scheda}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.003\ \text{m}}{(20\ \text{W/m.°C})(0.0216\ \text{m}^2)} = 0.00694\ \text{°C/W}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} = \frac{1}{(50\ \text{W/m}^2\text{.°C})(0.0216\ \text{m}^2)} = 0.9259\ \text{°C/W}$$

$$R_{\text{totale}} = R_{\text{scheda}} + R_{conv} = 0.00694 + 0.9259 = 0.93284\ \text{°C/W}$$

Le temperature sulle due facce della scheda sono

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} \longrightarrow T_1 = T_{\infty 2} + \dot{Q}R_{\text{totale}} = 40\text{°C} + (3.2\ \text{W})(0.93284\ \text{°C/W}) = \mathbf{43.0\text{°C}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{scheda}}} \longrightarrow T_2 = T_1 - \dot{Q}R_{\text{scheda}} = 43.0\text{°C} - (3.2\ \text{W})(0.00694\ \text{°C/W}) = 40.5 - 0.02 \cong \mathbf{43.0\text{°C}}$$

Perciò, la scheda è quasi isotermica.

(b) L'efficienza delle alette circolari, determinata in base alla Figura 8.59, è

$$\xi = (L + D/4)\sqrt{\frac{2h}{kt}} = (0.02 + 0.0025/4)\text{m}\sqrt{\frac{2 \times 50\ \text{W/m}^2\text{.°C}}{(237\ \text{W/m.°C})(0.0025\ \text{m})}} = 0.27 \ \rightarrow\ \eta_{\text{aletta}} = 0.95$$

Si può supporre che le alette siano alla temperatura della base purché si modifichi l'area delle alette moltiplicandola per 0,95. Quindi le varie resistenze termiche sono

$$R_{\text{epossi}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.0002 \text{ m}}{(1.8 \text{ W/m.°C})(0.0216 \text{ m}^2)} = 0.0051 \text{ °C/W}$$

$$R_{Al} = \frac{L}{kA} = \frac{0.002 \text{ m}}{(237 \text{ W/m.°C})(0.0216 \text{ m}^2)} = 0.00039 \text{ °C/W}$$

$$A_{\text{alettata}} = \eta_{\text{aletta}} \; n\pi DL = 0.95 \times 864\pi(0.0025 \text{ m})(0.02 \text{ m}) = 0.129 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{non alettata}} = 0.0216 - 864\frac{\pi D^2}{4} = 0.0216 - \left[864\frac{\pi(0.0025)^2}{4}\right] = 0.0174 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{totale, con alette}} = A_{\text{alettata}} + A_{\text{non alettata}} = 0.129 + 0.017 = 0.146 \text{ m}^2$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h\,A_{\text{totale, con alette}}} = \frac{1}{(50 \text{ W/m}^2\text{.°C})(0.146 \text{ m}^2)} = 0.1370 \text{ °C/W}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{totale}} &= R_{\text{scheda}} + R_{\text{epossi}} + R_{\text{alluminio}} + R_{conv} \\ &= 0.00694 + 0.0051 + 0.00039 + 0.1370 = 0.1493 \text{ °C/W} \end{aligned}$$

Quindi le temperature sulle due facce della scheda diventano

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_{\infty 2}}{R_{\text{totale}}} \longrightarrow T_1 = T_{\infty 2} + \dot{Q}R_{\text{totale}} = 40\text{° C} + (3.2 \text{ W})(0.1493 \text{ °C/W}) = \mathbf{40.5°C}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{scheda}}} \longrightarrow T_2 = T_1 - \dot{Q}R_{\text{scheda}} = 40.5\text{° C} - (3.2 \text{ W})(0.00694 \text{ °C/W}) = 40.5 - 0.02 \cong \mathbf{40.5°C}$$

13.18
Il fattore di forma per questa configurazione, indicato nella Tabella 13.7, è

$$S = \frac{2\pi L}{\cosh^{-1}\left(\frac{4z^2 - D_1^2 - D_2^2}{2D_1 D_2}\right)} = \frac{2\pi(8 \text{ m})}{\cosh^{-1}\left(\frac{4(0.4 \text{ m})^2 - (0.05 \text{ m})^2 - (0.05 \text{ m})^2}{2(0.05 \text{ m})(0.05 \text{ m})}\right)} = 9.065 \text{ m}$$

Quindi la potenza termica trasmessa fra i tubi in regime stazionario diventa

$$\dot{Q} = Sk(T_1 - T_2) = (9.065 \text{ m})(0.75 \text{ W/m.°C})(60 - 15)\text{°C} = \mathbf{306 \; W}$$

13.19
La potenza termica trasmessa, esclusi i bordi e gli angoli, è data da

$$A_{totale} = (12-0.4)(12-0.4)+4(12-0.4)(6-0.2) = 403.7 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = \frac{kA_{totale}}{L}(T_1 - T_2) = \frac{(0.75 \text{ W/m.°C})(403.7 \text{ m}^2)}{0.2 \text{ m}}(15-3)\text{°C} = 18{,}167 \text{ W}$$

La potenza termica trasmessa attraverso i bordi si può determinare usando le relazioni dei fattori di forma nella Tabella 13.7,

$$S_{angoli+bordi} = 4\times \text{ angoli } + 4\times \text{ bordi} = 4\times 0.15L + 4\times 0.54w$$
$$= 4\times 0.15(0.2 \text{ m}) + 4\times 0.54(12-0.4 \text{ m}) = 26.26 \text{ m}$$
$$\dot{Q}_{angoli+bordi} = S_{angoli+bordi}k(T_1 - T_2) = (26.26 \text{ m})(0.75 \text{ W/m.°C})(15-3)\text{°C} = 236 \text{ W}$$

da cui

$$\dot{Q}_{totale} = 18{,}167 + 236 = \mathbf{18{,}403 \text{ W}} \quad \textbf{angoli + bordi}$$

Se si trascurano gli effetti dei bordi delle superfici confluenti, la potenza termica trasmessa è data da

$$A_{totale} = (12)(12)+4(12)(6) = 432 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = \frac{kA_{totale}}{L}(T_1 - T_2) = \frac{(0.75 \text{ W/m.°C})(432 \text{ m}^2)}{0.2 \text{ m}}(15-3)\text{°C} = 19{,}440 \text{ W}$$

Quindi, l'errore percentuale che si commette trascurando gli effetti dei bordi diventa

$$\text{errore }\% = \frac{19{,}440 - 18{,}403}{18{,}403}\times 100 = \mathbf{5.6\%}$$