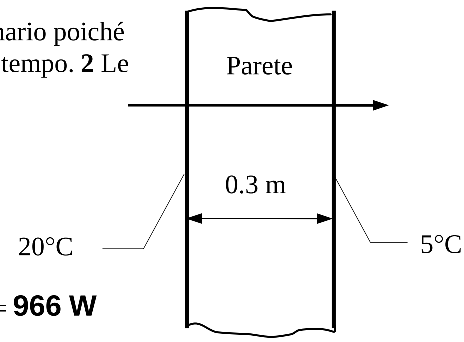
RISOLUZIONI CAP. 12

12.1 Le superfici interna ed esterna di una parete di mattoni sono mantenute a temperatura costante. Si deve determinare la potenza termica trasmessa attraverso la parete.

Ipotesi **1** La trasmissione del calore avviene in regime stazionario poiché la temperatura delle superfici della parete rimane costante nel tempo. **2** Le proprietà termiche della parete sono costanti.



Proprietà La conduttività termica della parete è data e pari a λ = 0.69 W/m·°C.

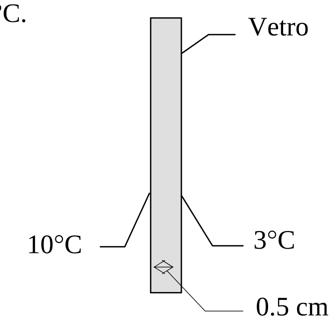
Analisi Nell'ipotesi di condizioni stazionarie, la potenza termica trasmessa attraverso la parete è

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \lambda A \frac{\Delta T}{L} = (0.69\ \text{W/m}\cdot{}^\circ\text{C})(4\times 7\ \text{m}^2)\frac{(20-5)^\circ\text{C}}{0.3\ \text{m}} = \mathbf{966\ W}$$

12.2 Le superfici interna ed esterna della lastra di vetro di una finestra sono mantenute a temperatura costante. Si deve determinare la quantità di calore trasmesso attraverso il vetro in 5 ore.

Ipotesi **1** La trasmissione del calore avviene in regime stazionario poiché le temperature delle superfici del vetro sono costanti. **2** Le proprietà termiche del vetro sono costanti.

Proprietà La conduttività termica del vetro è data e pari a λ = 0.78 W/m·°C.



Analisi Nell'ipotesi di condizioni stazionarie, il flusso termico per conduzione attraverso il vetro vale

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \lambda A \frac{\Delta T}{L} = (0.78\ \text{W/m}\cdot{}^\circ\text{C})(2\times 2\ \text{m}^2)\frac{(10-3)^\circ\text{C}}{0.005\text{m}} = 4368\ \text{W}$$

e quindi il calore trasmesso in un periodo di 5 ore è pari a

$$Q = \dot{Q}_{\text{cond}}\Delta t = (4.368\ \text{kJ/s})(5\times 3600\ \text{s}) = \mathbf{78620\ \ kJ}$$

Se si raddoppiasse lo spessore del vetro fino a 1 cm, allora la quantità di calore trasmessa attraverso di esso si dimezzerebbe e quindi sarebbe pari a **39310 kJ**.

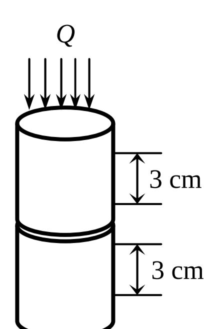
12.3 Si deve determinare la conduttività termica di un materiale assicurandosi che la conduzione del calore attraverso di esso sia monodimensionale e misurando le temperature una volta che il sistema abbia raggiunto le condizioni stazionarie.

Ipotesi 1 Il sistema è in condizioni stazionarie in quanto i valori di temperatura misurati non variano nel tempo. **2** Le perdite di calore attraverso le superfici laterali dell'apparato sperimentale sono trascurabili in quanto esse sono ben isolate termicamente e quindi tutto il calore generato dalla resistenza elettrica è trasmesso per conduzione attraverso il campione. **3** L'apparato sperimentale è caratterizzato da simmetria termica.

Analisi La potenza elettrica consumata dalla resistenza e convertita in calore è

$$\dot{W}_e = \mathbf{V}I = (110\ \text{V})(0.6\ \text{A}) = 66\ \text{W}$$

mentre la potenza termica che attraversa il campione vale



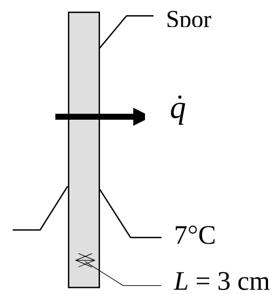
$$\dot{Q} = \frac{\dot{W}_e}{2} = \frac{66\ \text{W}}{2} = 33\ \text{W}$$

e quindi la conduttività termica del materiale risulta pari a

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.04\ \text{m})^2}{4} = 0.001257\ \text{m}^2$$

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{\Delta T}{L} \longrightarrow \lambda = \frac{\dot{Q}L}{A\Delta T} = \frac{(33\ \text{W})(0.03\ \text{m})}{(0.001257\ \text{m}^2)(10°\text{C})} = \mathbf{78.8\ W/m°C}$$

12.4 Si deve determinare la conduttività termica dello sportello di un refrigeratore misurando la temperatura delle superfici interna ed esterna e il flusso termico che lo attraversa in condizioni stazionarie.



Ipotesi 1 La misurazioni avvengono una volta che il sistema abbia raggiunto il regime stazionario. **2** La trasmissione del calore attraverso lo sportello è monodimensionale poiché il suo spessore è piccolo rispetto alle altre dimensioni.

Analisi La conduttività termica del materiale di cui è fatto lo sportello può essere determinata direttamente dalla legge di Fourier come

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

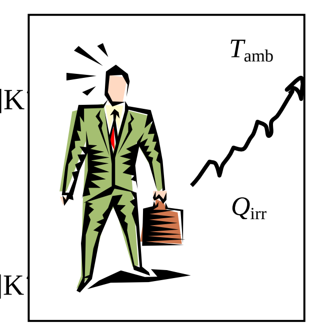
12.5 Si deve determinare la potenza termica scambiata per irraggiamento tra il corpo di una persona e le superfici dell'ambiente circostante mantenute a temperatura costante sia in estate sia in inverno.

Ipotesi **1** La trasmissione del calore avviene in regime stazionario. **2** Non si considera la potenza termica trasmessa per convezione. **3** la persona è completamente circondata dalle superfici interne della stanza. **4** Le superfici interne sono a temperatura costante e uniforme.

Proprietà L'emissività di una persona è data e pari a ε = 0.95

Analisi Si osservi che la persona è completamente circondata dalle superfici dell'ambiente e quindi la potenza termica netta scambiata per irraggiamento tra il corpo e la pareti, il pavimento e il soffitto circostanti nei due casi vale:

(*a*) Estate: T_{amb} = 23+273=296



$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{irr}} &= \varepsilon\sigma A_p (T_p^4 - T_{\text{amb}}^4) \\ &= (0.95)(5.67\times10^{-8}\ \text{W/m}^2.\text{K}^4)(1.6\ \text{m}^2)[(32+273)^4 - (296\ \text{K})^4]\text{K} \\ &= \mathbf{84.2\ W}\end{aligned}$$

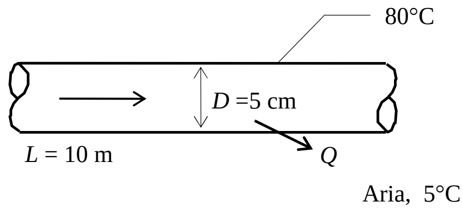
(*b*) Inverno: T_{amb} = 12+273= 285 K

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{irr}} &= \varepsilon\sigma A_p (T_p^4 - T_{\text{amb}}^4) \\ &= (0.95)(5.67\times10^{-8}\ \text{W/m}^2.\text{K}^4)(1.6\ \text{m}^2)[(32+273)^4 - (285\ \text{K})^4]\text{K} \\ &= \mathbf{177.2\ W}\end{aligned}$$

Discussione Si noti che il flusso termico scambiato per irraggiamento in inverno è circa il doppio rispetto all'estate.

12.6 Un tubo caldo pieno d'acqua a 80°C perde calore verso l'aria dell'ambiente circostante a 5°C per convezione naturale con coefficiente convettivo pari a 25 W/m^2·°C. Si deve determinare la potenza termica scambiata per convezione dal tubo.

Ipotesi **1** Il sistema è in condizioni stazionarie. **2** Non si considera la potenza termica scambiata per irraggiamento. **3** Il coefficiente di scambio termico convettivo è costante e uniforme su tutta la superficie del tubo.



Analisi La superficie di scambio termico è

$$A_s = \pi DL = \pi(0.05\ \text{m})(10\ \text{m}) = 1.571\ \text{m}^2$$

Nell'ipotesi di condizioni stazionarie, la potenza termica scambiata per convezione vale

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s\Delta T = (25\text{W/m}^2\cdot°\text{C})(1.571\,\text{m}^2)(80-5)°\text{C} = \mathbf{2945\ W}$$

12.7 Si considera la copertura in vetro di un collettore solare piano avente le superfici interna ed esterna a una ben precisa temperatura. Si deve determinare la frazione di calore persa per irraggiamento dalla copertura in vetro del pannello.

Ipotesi **1** Poiché le superfici interna ed esterna della copertura in vetro sono costanti, il sistema è in condizioni stazionarie. **2** Le proprietà termiche del vetro sono costanti.

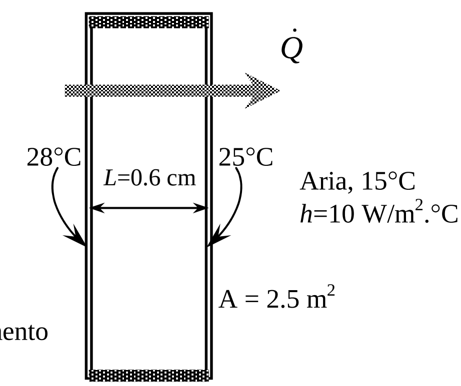
Proprietà La conduttività termica del vetro è data e pari a λ = 0.7 W/m·°C.

Analisi Nell'ipotesi di condizioni stazionarie, la potenza termica trasmessa per conduzione attraverso il vetro è

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \lambda A\frac{\Delta T}{L} = (0.7\ \text{W/m}\cdot°\text{C})(2.5\ \text{m}^2)\frac{(28-25)°\text{C}}{0.006\ \text{m}} = 875\ \text{W}$$

La potenza termica scambiata dal vetro per convezione è

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA\Delta T = (10\ \text{W/m}^2\cdot°\text{C})(2.5\ \text{m}^2)(25-15)°\text{C} = 250\ \text{W}$$



Nell'ipotesi di condizioni stazionarie, la potenza termica trasmessa attraverso la copertura per conduzione eguaglia quella scambiata dalla superficie esterna del vetro per convezione e irraggiamento, per cui

$$\dot{Q}_{\text{irr}} = \dot{Q}_{\text{cond}} - \dot{Q}_{\text{conv}} = 875 - 250 = 625\ \text{W}$$

Ne consegue che la frazione di calore scambiata per irraggiamento vale

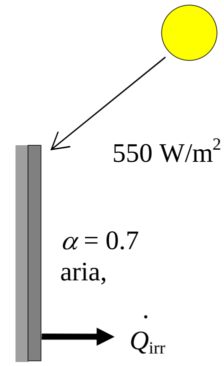
$$f = \frac{\dot{Q}_{\text{irr}}}{\dot{Q}_{\text{cond}}} = \frac{625}{875} = \mathbf{0.714} \quad \text{(o 71.4\%)}$$

12.8 Il retro di una sottile piastra metallica è isolato mentre l'altro lato è esposto alla radiazione solare. Si deve determinare la temperatura della superficie della piastra una volta che si sia raggiunto il regime stazionario.

Ipotesi 1 Il sistema si trova in condizioni stazionarie. **2** Il calore trasmesso attraverso la superficie isolata della piastra è trascurabile. **3** Il coefficiente di scambio termico convettivo è costante e uniforme lungo tutta la superficie della piastra. **4** La potenza termica scambiata per irraggiamento è trascurabile.

Proprietà Il coefficiente di assorbimento della piastra è α = 0.7.

Analisi Quando il calore scambiato per convezione dalla piastra uguaglia la radiazione solare assorbita, la temperatura della superficie della piastra può essere determinata come



$$\dot{Q}_{\text{solare assorbita}} = \dot{Q}_{\text{conv}}$$

$$\alpha\dot{Q}_{\text{solare}} = hA_s(T_s - T_o)$$

$$0.7 \times A_s \times 550 \text{ W/m}^2 = (25 \text{ W/m}^2 \cdot {}^\circ\text{C})A_s(T_s - 10)$$

Semplificando l'area della superficie A_s e ricavando T_s si ottiene

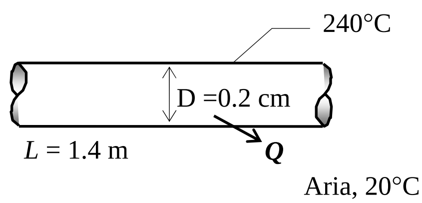
$$T_s = \mathbf{25.4^\circ C}$$

12.9 Si deve determinare il coefficiente di scambio termico convettivo tra un filo elettrico caldo e l'aria circostante, misurando la temperatura superficiale e la potenza elettrica consumata una volta raggiunto il regime stazionario.

Ipotesi 1 Poiché la temperatura misurata non varia nel tempo, lo scambio di calore avviene in regime stazionario. **2** Il calore trasmesso per irraggiamento è trascurabile.

Analisi In condizioni stazionarie il calore ceduto dal cavo uguaglia il calore generato all'interno di esso per effetto Joule, per cui

$$\dot{Q} = \dot{E}_{\text{generato}} = \mathbf{V}I = (110 \text{ V})(3 \text{ A}) = 330 \text{ W}$$



L'area della superficie del cavo è

$$A_s = \pi DL = \pi(0.002 \text{ m})(1.4 \text{ m}) = 0.00880 \text{ m}^2$$

La legge di Newton per il raffreddamento in funzione del coefficiente convettivo è espressa da

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

Trascurando lo scambio termico per irraggiamento, il coefficiente convettivo risulta allora pari a

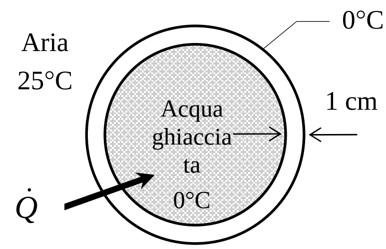
$$h = \frac{\dot{Q}}{A_s(T_1 - T_\infty)} = \frac{330 \text{ W}}{(0.00880 \text{ m}^2)(240-20)^\circ\text{C}} = \mathbf{170.5 \text{ W/m}^2 \cdot {}^\circ C}$$

Discussione Se la temperatura delle superfici che delimitano l'ambiente è uguale a quella dell'aria presente nella stanza, il valore appena ottenuto rappresenta il coefficiente di scambio termico combinato per convezione e irraggiamento.

12.10 Un serbatoio sferico posizionato all'esterno è utilizzato per contenere acqua ghiacciata a 0°C. Si deve determinare la potenza termica ricevuta dall'acqua e la quantità di ghiaccio a 0°C che si scioglie in un periodo di 24 ore.

Ipotesi **1** Poiché le temperature superficiali rimangono costanti, il sistema si trova in condizioni stazionarie. **2** Le proprietà termiche del serbatoio e il coefficiente di scambio termico convettivo sono costanti e uniformi. **3** La temperatura media delle superfici che delimitano l'ambiente circostante da considerare nel calcolo dello scambio termico per irraggiamento è 15°C. **4** La resistenza termica del serbatoio è trascurabile e l'intero serbatoio di acciaio si trova a 0°C.

Proprietà Il calore latente di fusione dell'acqua a pressione atmosferica vale $h_{lv} = 333.7$ kJ/kg. L'emissività della superficie esterna del serbatoio è 0.75.



Analisi (a) L'area della superficie esterna del serbatoio sferico è

$$A_s = \pi D^2 = \pi(3.02\text{ m})^2 = 28.65\text{ m}^2$$

e quindi la potenza termica scambiata dal serbatoio per convezione e per irraggiamento diviene

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s(T_\infty - T_s) = (30\text{ W/m}^2\cdot{}^\circ\text{C})(28.65\text{ m}^2)(25-0)^\circ\text{C} = 21488\text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{irr}} = \varepsilon A_s\sigma(T_{\text{amb}}^4 - T_s^4) = (0.75)(28.65\text{ m}^2)(5.67\times10^{-8}\text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4)[(288\text{ K})^4 - (273\text{ K})^4] = 1614\text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{totale}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{irr}} = 21{,}488 + 1614 = 23102\text{ W} = \mathbf{23.1\,kW}$$

(b) Il calore scambiato durante il periodo di 24 ore risulta

$$Q = \dot{Q}\Delta t = (23.102\text{ kJ/s})(24\times3600\text{ s}) = 1{,}996{,}000\text{ kJ}$$

e quindi la quantità di ghiaccio che si è sciolta è

$$Q = mh_{lv} \longrightarrow m = \frac{Q}{h_{lv}} = \frac{1996000\text{ kJ}}{333.7\text{ kJ/kg}} = \mathbf{5980\,kg}$$

Discussione La quantità di ghiaccio che si scioglie potrebbe essere notevolmente ridotta isolando il serbatoio.