

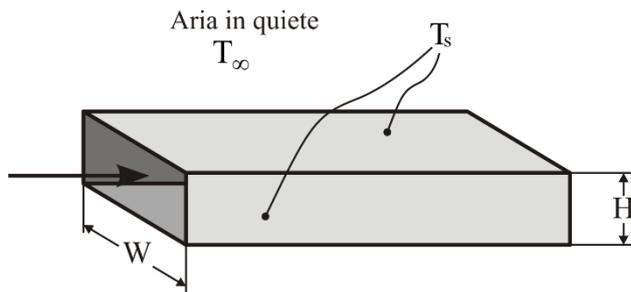
Ing. Navale. Ing. Civile

Prova scritta di Fisica Tecnica – Trasmissione del Calore – 16.07.2024

Esercizio

Una condotta utilizzata per il trasporto di aria calda è disposta orizzontalmente e, come schematizzato in figura, ha sezione rettangolare con dimensioni $W = 0.70$ m e $H = 0.25$ m. Nelle normali condizioni di funzionamento essa presenta una temperatura esterna delle pareti pari a $T_s = 45$ °C.

Nelle ipotesi che la condotta attraversi un ambiente nel quale si trovi dell'aria, in quiete, alla temperatura $T_\infty = 15$ °C, e trascurando il contributo dell'irraggiamento, determinare, nell'ordine:



1. Il coefficiente convettivo h_v [W/(m² K)] per le pareti verticali della condotta;
2. Il coefficiente convettivo h_{os} [W/(m² K)] per la parete orizzontale superiore della condotta;
3. Il coefficiente convettivo h_{oi} [W/(m² K)] per la parete orizzontale inferiore della condotta;
4. Il flusso termico disperso nell'ambiente per unità di lunghezza della condotta q' [W/m].

Note:

1. Per la valutazione dei coefficienti di scambio termico convettivo, si utilizzi, giustificando, le seguenti correlazioni:

a) correlazione di Churchill e Chu, valida per lastre piane disposte verticalmente:

$$Nu_H = 0.68 + \frac{0.67(Ra_H)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad \text{valida per } 0 \leq Ra_H \leq 10^9$$

b) Superficie orizzontale calda:

b.1 disposta verso l'alto:

$$Nu_L = 0.54 \cdot Ra_L^{1/4} \quad \text{valida per } 10^4 \leq Ra_L \leq 10^7$$

$$Nu_L = 0.15 \cdot Ra_L^{1/3} \quad \text{valida per } 10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$$

b.2 disposta verso il basso:

$$Nu_L = 0.27 \cdot Ra_L^{1/4} \quad \text{valida per } 10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$$

dove la lunghezza caratteristica L vale, in questo caso $L \equiv \frac{A_s}{P}$, con A_s area lambita dal fluido, e P perimetro bagnato.

2. Si assumano per l'aria, ad un'opportuna temperatura da specificare, le seguenti proprietà termofisiche:

$$\rho = 1.151 \text{ [kg/m}^3\text{]}; \quad k = 0.0265 \text{ [W/(m K)]}; \quad \alpha = 2.29 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{/s]}; \quad \nu = 1.62 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{/s]}; \quad Pr = 0.706$$

$$g\beta/\nu^2 = 1.24 \times 10^8 \text{ [1/(m}^3 \text{ K)]}$$

Teoria

Coefficiente globale di scambio termico o trasmittanza:

- significato
- espressione per pareti piane e cilindriche multistrato.

Soluzione

Le proprietà dell'aria vanno valutate alla temperatura del film:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = 30^\circ\text{C} = 303\text{ K}$$

1. Per le pareti verticali

$$Ra_H = Gr_H \cdot Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)H^3}{\nu^2} Pr = 4.104 \times 10^7 \leq 10^9$$

$$Nu_H = \frac{h_v H}{k} = 41.8$$

$$h_v = \frac{k Nu_H}{H} = 4.43 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

2. Per la parete orizzontale superiore, indicando con X la lunghezza della condotta ed assumendo $X \gg W$, si ha

$$L = \frac{A_s}{P} = \frac{W \cdot X}{2W + 2X} \cong \frac{W}{2}$$

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)(W/2)^3}{\nu^2} Pr = 1.13 \times 10^8 \geq 10^7$$

$$Nu_L = \frac{h_{os}(W/2)}{k} = 72.4$$

$$h_{os} = \frac{k Nu_L}{(W/2)} = 5.48 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

3. Per la parete orizzontale inferiore L e Ra_L non cambiano, da cui

$$Nu_L = \frac{h_{oi}(W/2)}{k} = 27.8$$

$$h_{oi} = \frac{k Nu_L}{(W/2)} = 2.11 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

4. Il flusso termico disperso per unità di lunghezza della condotta vale pertanto

$$q' = 2q'_v + q'_s + q'_i = (2h_v H + h_{os} W + h_{oi} W) \cdot (T_s - T_\infty) = 226 \text{ W/m}$$