

## Esercitazioni Capitolo 2

### Convezione

- 1) La parete laterale di un edificio larga  $L = 20$  m e alta  $h = 12$  m scambia calore per convezione con l'ambiente esterno. La temperatura superficiale della parete esterna è  $t_p = 20^\circ\text{C}$  mentre quella esterna è  $t_a = 0^\circ\text{C}$ . Si supponga che la parete sia esposta al vento con corrente parallela alla superficie della parete. Se la velocità della corrente indisturbata è  $w_1 = 5$  m/s, si valuti il corrispondente regime di moto dell'aria e il flusso termico scambiato.

Le proprietà termofisiche dell'aria vanno valutate alla temperatura media aria-parete e si ricavano dalle tabelle di fisica tecnica reperibili in rete per esempio all'indirizzo <http://www.ditec.unige.it> (staff > fossa > "pagina personale: www")

$$\begin{aligned}t_m &= (t_p + t_a)/2 = 10^\circ\text{C} && \rightarrow && \lambda = 0,028 \text{ W/mK} \\ & && \rightarrow && \nu = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ & && \rightarrow && \alpha = 1,95 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ & && && \text{Pr} = \nu / \alpha = 0,72\end{aligned}$$

Si valuta il numero di Re per capire se il moto è laminare o turbolento.

$$\text{Re} = wL/\nu = 7,14 \cdot 10^6 \rightarrow \text{turbolento}$$

Per convezione forzata su lastra piana in regime turbolento si utilizza la seguente correlazione:

$$\text{Nu} = 0,037 \text{ Re}^{4/5} \text{Pr}^{1/3} = 10087 \quad (\text{turbolento})$$

E poiché il numero di Nusselt è pari a  $\text{Nu} = \alpha_c L / \lambda$  si ricava il coefficiente di scambio convettivo:

$$\alpha_c = \lambda \text{Nu} / L = 14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Osserva che ad un raddoppio della velocità dell'aria corrisponde un coefficiente di scambio convettivo 10 volte più grande. Ciò è causato dal passaggio da regime laminare a turbolento.

Il flusso termico convettivo sarà:

$$\varphi'_c = \alpha_c (t_p - t_a) = 282,4 \text{ W/m}^2 \qquad \varphi_c = \varphi'_c A = 67782 \text{ W} \approx 68 \text{ kW}$$

2) La superficie esterna di una fornace di altezza  $a = 3\text{m}$  e larghezza  $b = 4\text{m}$  si trova alla temperatura  $t_p = 80^\circ\text{C}$ . La temperatura dell'aria ambiente è  $t_a = 20^\circ\text{C}$ .

- (a)
- Valutare il coefficiente medio di scambio  $\alpha_c$
  - Valutare il flusso termico scambiato dalla parete per convezione
  - Verificare il regime di moto (laminare o turbolento) all'apice della parete

(b) Svolgere i punti precedenti nel caso il fluido fosse acqua

(a) La temperatura media alla quale valutare le proprietà termofisiche dell'aria è:

$$t_m = (t_p + t_a) / 2 = 50^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad \lambda = 0,0275 \text{ W/mK}$$

$$\rightarrow \quad \beta = 0,0031 \text{ K}^{-1}$$

$$\rightarrow \quad \nu = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\rightarrow \quad a = 2,49 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = \nu / a = 0,71$$

In assenza di dispositivi meccanici o agenti naturali che inducono il moto nel fluido, si è nel caso di convezione naturale. Si valuta perciò il numero di Ra per capire se il moto è laminare o turbolento:

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} = \frac{\beta g \Delta t L^3}{\nu^2} \cdot \frac{\nu}{a} = \frac{\beta g \Delta t L^3}{\nu \cdot a} = 1,118 \cdot 10^{11}$$

Si tratta quindi di moto turbolento perché  $\text{Ra} > 1,2 \cdot 10^{10}$ .

Per convezione naturale su lastra piana verticale in regime turbolento si ha la seguente relazione:

$$\text{Nu} = 0,1 \text{ Ra}^{1/3} = 481,7$$

Dalla definizione di numero di Nusselt si ricava il coefficiente di scambio convettivo  $\alpha_c$ :

$$\alpha_c = \lambda \text{Nu} / L = 4,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Il flusso termico convettivo sarà perciò:

$$\varphi'_c = \alpha_c (t_p - t_a) = 265 \text{ W/m}^2$$

$$\varphi_c = \varphi'_c A = 3179 \text{ W}$$

(b) Le proprietà termofisiche dell'acqua alla  $t_m = 50^\circ\text{C}$  risultano da tabella:

$$\rightarrow \lambda = 0,64 \text{ W/mK}$$

$$\rightarrow \beta = 0,46 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\rightarrow \nu = 0,5537 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\rightarrow a = 0,1558 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = \nu / a = 3,55$$

Si valuta anche in questo caso il numero di Ra per capire se il moto è laminare o turbolento:

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} = \frac{\beta g \Delta t L^3}{\nu \cdot a} = 8,47 \cdot 10^{13}$$

Si tratta anche in questo caso di moto turbolento poiché  $\text{Ra} > 1,2 \cdot 10^{10}$ .

Per convezione naturale su lastra piana verticale si può fare uso della precedente relazione:

$$\text{Nu} = 0,1 \text{ Ra}^{1/3} = 4392,4$$

Dalla definizione di numero di Nusselt si ricava il coefficiente di scambio convettivo  $\alpha_c$  :

$$\alpha_c = \lambda \text{Nu} / L = 937 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(nota che il coefficiente di scambio convettivo nel caso si utilizzi acqua risulta circa **213 volte più grande** rispetto al caso dell'aria)

Si calcola il flusso termico convettivo:

$$\varphi'_c = \alpha_c (t_p - t_a) = 56222 \text{ W/m}^2 = 56,2 \text{ kW/m}^2$$

$$\varphi_c = \varphi'_c A = 674,7 \text{ kW}$$