Cognome ……	Nome ……..	Matricola ……..

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale

Prova scritta di Fisica Tecnica – Trasmissione del calore – 10.9.2026

Esercizio

Una sfera di alluminio (diametro $D = 20\,\text{mm}$, densità $\rho = 2700\,\text{kg/m}^3$, conduttività termica $\lambda_{all} = 200\,\text{W/(m}\cdot\text{K)}$, calore specifico $c = 900\,\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$) alla temperatura iniziale $T_i = 250\,°\text{C}$ viene raffreddata sottoponendola ad un flusso d'aria (conduttività termica $\lambda_{aria} = 0.025\,\text{W/(m}\cdot\text{K)}$, viscosità cinematica $\nu = 1.5\cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$, numero di Prandtl $Pr = 0.7$) a temperatura $T_\infty = 20\,°\text{C}$ e velocità u_∞.

Tema	u_∞ [m/s]
A	8
B	12

Calcolare il tempo t_f necessario affinché la sfera raggiunga la temperatura finale $T_f = 40\,°\text{C}$, calcolando nell'ordine:

1. numero di Reynolds Re_D
2. numero di Nusselt medio $\overline{Nu}_D$ attraverso la correlazione di Whitaker:
$$\overline{Nu}_D = 2 + \left(0.4{Re_D}^{0.5} + 0.06{Re_D}^{0.67}\right) Pr^{0.4}$$
3. coefficiente convettivo h
4. tempo finale t_f mediante il metodo delle capacità concentrate, valutandone l'applicabilità attraverso il calcolo del numero di Biot Bi

Si ricorda che la superficie S ed il volume V di una sfera di raggio R sono rispettivamente $S = 4\pi R^2$ e $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Importante: riportare chiaramente <u>tutti i passaggi svolti, sia simbolici che numerici e con le relative unità di misura</u> (non basta riportare il semplice risultato numerico finale ad ogni passaggio)

Teoria

Conduzione in regime stazionario, monodimensionale, conduttività termica costante e assenza di generazione interna, caso di <u>parete piana</u>:

- ricavare la distribuzione lineare della temperatura, partendo dal bilancio in forma differenziale
- ricavare la resistenza termica conduttiva di un singolo strato, partendo dal risultato precedente
- ricavare la resistenza termica totale nel caso di parete multistrato, partendo dal risultato precedente

Soluzione

1. Il numero di Reynolds si calcola direttamente come:

$$Re_D = \frac{u_\infty D}{\nu}$$

2. Noto Re_D e Pr, si calcola il numero di Nusselt medio $\overline{Nu}_D$ attraverso la correlazione data
3. Noto $\overline{Nu}_D$, si calcola il coefficiente convettivo h:

$$h = \frac{\overline{Nu}_D}{D}\lambda_{aria}$$

4. Si calcola il tempo caratteristico ($V = 4.19 \cdot 10^{-6}\text{m}^3,\ S = 1.26 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$)

$$\tau_t = \frac{\rho V c}{hS}$$

e di conseguenza il tempo finale sarà:

$$t_f = \tau_t \cdot log\frac{T_i - T_\infty}{T_f - T_\infty}$$

che risulta applicabile quando:

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{\lambda_{all}} < 1$$

dove la lunghezza caratteristica $L_c = V/S = 3.33 \cdot 10^{-3}\text{m}$.

Tema	u_∞ [m/s]	Re_D	Nu_D	$h\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$	$\tau_t[s]$	$t_f[s]$	Bi
A	8	10670	63.0	78.8	102.8	251	$1.3 \cdot 10^{-3}$
B	12	16000	78.9	98.6	82.1	201	$1.6 \cdot 10^{-3}$