

Cognome	Nome	Matricola
---------------	------------	-----------------

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale

Prova scritta di Fisica Tecnica – Trasmissione del calore – 9.9.2025

Esercizio

Una sfera di alluminio (diametro $D = 15$ mm, densità $\rho = 2700$ kg/m³, conduttività termica $\lambda_{all} = 200$ W/(m · K), calore specifico $c = 900$ J/(kg · K)) alla temperatura iniziale $T_i = 150$ °C viene raffreddata sottoponendola ad un flusso d'aria (conduttività termica $\lambda_{aria} = 0.025$ W/(m · K), viscosità cinematica $\nu = 1.5 \cdot 10^{-5}$ m²/s, numero di Prandtl $Pr = 0.7$) a temperatura $T_\infty = 20$ °C e velocità u_∞ .

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

1. numero di Reynolds Re_D
2. numero di Nusselt medio \overline{Nu}_D attraverso la correlazione di Whitaker:

$$\overline{Nu}_D = 2 + (0.4Re_D^{0.5} + 0.06Re_D^{0.67}) Pr^{0.4}$$
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 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Tema	u_∞ [m/s]
A	8
B	12

Teoria

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

- derivazione della distribuzione lineare della temperatura
- resistenza termica conduttiva di un singolo strato
- resistenza termica totale nel caso di parete multistrato

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 ($V = 1.77 \cdot 10^{-6} \text{m}^3, S = 7.07 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$)

$$\tau_t = \frac{\rho V c}{h S}$$

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 $L_c = V/S = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{m}$.

Tema	u_∞ [m/s]	Re_D	Nu_D	h $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right]$	τ_t [s]	t_f [s]	Bi
A	8	8000	53.8	89.7	67.7	127	$1.1 \cdot 10^{-3}$
B	12	12000	67.3	112.1	54.2	101	$1.4 \cdot 10^{-3}$