

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

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale

Prova scritta di Fisica Tecnica – Trasmissione del calore – 21.1.2025

Esercizio

Si consideri lo scambio termico convettivo in condizioni stazionarie relativo ad un uomo, senza indumenti, investito da vento con temperatura indisturbata $T_\infty = 5^\circ\text{C}$ e che spira a velocità $u_\infty = 10 \text{ m/s}$. L'uomo di massa $m = 70 \text{ kg}$ può essere approssimato come un cilindro di diametro D , altezza L (rapporto L/D fornito), densità $\rho = 985 \text{ kg/m}^3$, generazione interna per unità di massa dell'uomo $q_g = 2 \text{ W/kg}$ e temperatura uniforme. Si consideri solo la superficie laterale del cilindro ai fini dello scambio termico (si trascurino le due basi).

Le proprietà termofisiche dell'aria alla temperatura di film sono: conducibilità termica $\lambda = 0.025 \text{ W/(m K)}$, viscosità cinematica $\nu = 14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, numero di Prandtl $Pr = 0.7$.

Per il calcolo del coefficiente convettivo medio, si faccia uso della seguente correlazione (Churchill-Bernstein) valida per flusso trasversale su cilindro:

$$\overline{Nu}_D = 0.3 + \frac{0.62 \times Re_D^{1/2}}{[1 + (0.4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

Parte I. Calcolare:

1. coefficiente convettivo medio;
2. temperatura dell'uomo.

Parte II. Si consideri ora che l'uomo sia completamente coperto da un indumento di lana con conducibilità termica $\lambda_{is} = 0.05 \text{ W/(m K)}$ e spessore $s_{is} = 10 \text{ mm}$. Trascurando le conseguenti variazioni geometriche di diametro D , altezza L , superficie, massa e volume, calcolare la temperatura dell'uomo, sempre considerata uniforme, in questa nuova configurazione. (Suggerimento: è ragionevole usare sia l'ipotesi di parete cilindrica che di parete piana)

Tema	L/D
A	4
B	6

Teoria

Definizione di temperatura di mescolamento (bulk temperature) e derivazione della sua distribuzione lineare in funzione della coordinata assiale x nel caso di flusso interno in una tubazione circolare con condizione superficiale di flusso termico costante, nelle solite ipotesi di variazioni trascurabili di energia cinetica e potenziale e proprietà termofisiche costanti.

Soluzione

Parte 1 (senza indumenti): fissato il rapporto L/D e la massa m , determiniamo il diametro:

$$m = \rho V = \rho \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) L \quad \rightarrow \quad D = \sqrt[3]{\frac{4m}{\pi \rho} \frac{L}{D}}$$

Il numero di Reynolds basato su questa lunghezza è $Re_D = \frac{u_\infty D}{\nu}$ e sarà quindi possibile calcolare il numero di Nusselt medio $\overline{Nu}_D$ attraverso la correlazione fornita. Noto $\overline{Nu}_D$, calcoliamo il coefficiente convettivo medio:

$$\bar{h} = \lambda \frac{\overline{Nu}_D}{D}$$

e quindi, attraverso la legge di Newton, il flusso termico scambiato sarà esprimibile come $\dot{Q} = A\bar{h}(T_u - T_\infty)$, dove $A = \pi DL$ è la superficie laterale. Tale flusso coinciderà con la potenza termica generata internamente $\dot{Q} = q_g m = 140 \text{ W}$, e quindi determiniamo la temperatura (uniforme) dell'uomo:

$$T_u = T_\infty + \frac{\dot{Q}}{A\bar{h}}$$

Parte 2 (con indumenti): il flusso termico scambiato, pari alla potenza termica generata internamente $\dot{Q} = 140 \text{ W}$, non cambierà. Per ipotesi, non cambierà né la superficie di scambio termico né il coefficiente convettivo, né di conseguenza cambierà la temperatura superficiale che resterà T_u . La temperatura dell'uomo subirà quindi un incremento dovuto all'isolamento conduttivo:

$$\dot{Q} = 2\pi L\lambda \frac{T_{u,is} - T_u}{\ln\left(1 + \frac{D}{2s_{is}}\right)} \quad \rightarrow \quad T_{u,is} = T_u + \frac{\dot{Q}}{2\pi L\lambda} \ln\left(1 + \frac{D}{2s_{is}}\right) \quad (\text{parete cilindrica})$$
$$\frac{\dot{Q}}{A} = \lambda \frac{T_{u,is} - T_u}{s_{is}} \quad \rightarrow \quad T_{u,is} = T_u + \frac{s_{is}\dot{Q}}{A\lambda} \quad (\text{parete piana})$$

Tema	L	D [m]	Re_D	$\overline{Nu}_D$	h [W/(m ² K)]	T_u [°C]	$T_{u,is}$ [°C]
A	4	0.283	202000	394	34.8	9.0	35.9
B	6	0.247	176500	357	36.1	8.4	31.8