

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

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale

Prova scritta di Fisica Tecnica – Trasmissione del calore – 1.7.2025

Esercizio

Una portata $\dot{m}$ di aria ($c_p = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, $\rho = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $Pr = 0.71$, viscosità cinematica $\nu = 3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$, conduttività termica $\lambda = 0.04 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$) fluisce in tubazione circolare di diametro $D = 7.5 \text{ cm}$ e lunghezza $L = 2 \text{ m}$, entrandovi ad una temperatura media di mescolamento (o di bulk) di $T_{b,i} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$. La tubazione, metallica e di piccolo spessore, è lambita esternamente da acqua in cambio di fase a pressione atmosferica, quindi tutta la tubazione può essere considerata con buona approssimazione a temperatura costante $T_s = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Supponendo il flusso dell'aria in completo sviluppo sia termico che dinamico all'interno della tubazione, calcolare:

1. la temperatura media di mescolamento (o di bulk) dell'aria all'uscita della tubazione.
2. la differenza di temperatura media logaritmica ΔT_{ml} dell'aria tra ingresso ed uscita.
3. la potenza termica $\dot{Q} \text{ [W]}$ scambiata attraverso la superficie della tubazione.

Per il calcolo del coefficiente di scambio termico, utilizzare la seguente correlazione (Dittus-Boelter) per flusso turbolento e completamente sviluppato in tubazione circolare liscia:

$$Nu_D = 0.023 \cdot Re_D^{0.8} \cdot Pr^{0.3}$$

Tema	$\dot{m} \text{ [kg/s]}$
A	0.03
B	0.05

Teoria

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

- derivazione della distribuzione $T(x)$ della temperatura
- derivazione della resistenza termica della parete piana

Soluzione

1. La velocità media dell'aria nella tubazione sarà:

$$u_m = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

con $A = \pi D^2/4$ area della sezione. Il numero di Reynolds sarà:

$$Re = \frac{u_m D}{\nu}$$

e di conseguenza il numero di Nusselt Nu_D riferito al diametro D si calcola con la correlazione fornita. Noto Nu_D , calcoliamo il coefficiente convettivo h :

$$h = \frac{Nu_D \lambda}{D}$$

La temperatura media di mescolamento all'uscita si ricava dal bilancio di primo principio integrato sulla lunghezza della tubazione, tenendo conto che $h = \bar{h}$ è costante in quanto in condizione di sviluppo termico:

$$\frac{\Delta T_u}{\Delta T_i} = \exp\left(-\frac{hPL}{\dot{m}c_p}\right) \Rightarrow \Delta T_u = \Delta T_i \exp\left(-\frac{hPL}{\dot{m}c_p}\right)$$

con $P = \pi D$ e $\Delta T_k = T_{b,k} - T_S$ ($\Delta T_i = T_{b,i} - T_S = 200$ °C).

2. La differenza di temperatura media logaritmica è definita da:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_i - \Delta T_u}{\log \frac{\Delta T_i}{\Delta T_u}} = \frac{T_{b,i} - T_{b,u}}{\log \frac{\Delta T_i}{\Delta T_u}} = \frac{\dot{m}c_p(T_{b,i} - T_{b,u})}{hPL}$$

3. La potenza termica scambiata sarà:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_{b,i} - T_{b,u}) = hPL\Delta T_{ml}$$

Tema	$\dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$	$u_m \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	Re_D	Nu_D	$h \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$	$\frac{hPL}{\dot{m}c_p}$	$\frac{\Delta T_u}{\Delta T_i}$	$T_{b,u} [^\circ\text{C}]$	$\Delta T_{ml} [^\circ\text{C}]$	$\dot{Q} [\text{kW}]$
A	0.03	5.66	14150	43.4	23.2	0.364	0.695	239	168	1.83
B	0.05	9.43	23580	65.3	34.8	0.328	0.720	244	170	2.80