

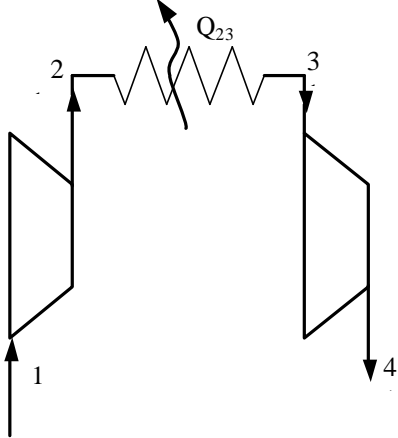
.....
NOME e COGNOME

.....
CORSO di LAUREA

.....
Voto

Esercizio 1

Un compressore centrifugo a due stadi con refrigerazione intermedia aspira aria alla temperatura $T_1 = 300$ K ed alla pressione $p_1 = 100$ kPa, e la comprime alla pressione $p_2 = 2$ MPa. Il refrigeratore la raffredda, a pressione costante ($p_2 = p_3$), sino alla temperatura $T_3 = 360$ K. La pressione di uscita del secondo stadio è $p_4 = 16$ MPa. Il rendimento isoentropico del primo stadio è $(\eta_{ic})_{12} = 0.9$ e l'aria esce dal secondo stadio alla temperatura $T_4 = 680$ K. Entrambi gli stadi sono adiabatici ed il refrigeratore scarica il calore Q_{23} nell'ambiente esterno alla temperatura $T_a = 300$ K.



Determinare:

1. La quantità Q_{23} [kJ/kg] di calore scaricata dal refrigeratore;
2. Il rendimento isoentropico del secondo stadio;
3. La produzione di entropia dell'intero processo $(\Delta S_{irr})_{eu}$ [kJ/(kg K)].

Nota:

Si tratti l'aria come un gas ideale avente $R = 0.287$ [kJ/(kg K)] e $k = c_p/c_v = 1.4$

Esercizio 2

Su un noto quotidiano nazionale, in un servizio sulle ricerche in corso sull'ipotermia, veniva indicato che la perdita di calore dal corpo umano, in acqua a 10°C , è trenta volte maggiore che in aria alla stessa temperatura.

Verificare la veridicità di tale affermazione, approssimando il corpo umano, ai fini dello scambio termico, come un cilindro disposto verticalmente, di altezza $H = 1.8$ m e diametro $D = 0.3$ m, per il quale la perdita di calore avvenga, per convezione naturale, solo dalla superficie cilindrica assunta a temperatura uniforme e pari a 25°C .

Note:

- Si assumano - ad un'opportuna temperatura - le seguenti proprietà termofisiche:
 Acqua: $k = 0.598$ W/(m K); $\alpha = 1.081 \cdot 10^{-6}$ m²/s; $\nu = 1.431 \cdot 10^{-7}$ m²/s; $\beta = 174 \cdot 10^{-6}$ K⁻¹
 Aria: $k = 0.0293$ W/(m K); $\alpha = 19.91 \cdot 10^{-6}$ m²/s; $\nu = 28.4 \cdot 10^{-6}$ m²/s
- Per valutare il coefficiente di scambio termico convettivo, si utilizzi, giustificando, la correlazione di Churchill, valida per lastre piane e cilindri di diametro elevato disposti verticalmente:

$$Nu_H = 0.67 + \frac{0.67 (Ra_H)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} \quad \text{valida per} \quad \begin{cases} D/H > 35 Gr_H^{-1/4} \\ 8 \times 10^{-5} < Ra_H < 4 \times 10^{14} \end{cases}$$

Soluzioni

Esercizio 1

1.
$$T_1 p_1^{(1-k)/k} = T_2 p_2^{(1-k)/k} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} = 706.1 \text{ K}$$

$$(h_{ic})_{12} = \frac{|L'_{rev}|}{|L'_{irr}|} = \frac{h_2 - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{c_p (T_2 - T_1)}{c_p (T_2 - T_1)} = \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_1} \Rightarrow T_2 = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{(h_{ic})_{12}} = 751.2 \text{ K}$$

$$Q_{23} = h_3 - h_2 = c_p (T_3 - T_2) = \frac{k}{k-1} R (T_3 - T_2) = -393 \text{ kJ/kg}$$
2.
$$T_{4'} = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{(k-1)/k} = 652 \text{ K}$$

$$(h_{ic})_{34} = \frac{T_{4'} - T_3}{T_4 - T_3} = 0.913$$
3.
$$(\Delta s_{irr})_{eu} = (s_4 - s_1) - \frac{Q_{23}^-}{T_a} = c_p \ln \left[\frac{T_4}{T_1} \left(\frac{p_4}{p_1} \right)^{(1-k)/k} \right] - \frac{Q_{23}^-}{T_a}$$

$$= \frac{k}{k-1} R \ln \left[\frac{T_4}{T_1} \left(\frac{p_4}{p_1} \right)^{(1-k)/k} \right] - \frac{Q_{23}^-}{T_a} = 0.675 \text{ kJ/(kg K)}$$

Esercizio 2

$$\frac{q_{acqua}}{q_{aria}} = \frac{h_{acqua} \mathbf{p} D H (T_s - T_\infty)}{h_{aria} \mathbf{p} D H (T_s - T_\infty)} = \frac{h_{acqua}}{h_{aria}}$$

- Acqua:

$$Gr_H = \frac{g \mathbf{b} (T_s - T_\infty) H^3}{\mathbf{n}^2} = 1.28 \times 10^{11}$$

$$35 Gr_H^{-1/4} = 0.0585 < D/H = 0.167; \quad Ra_H = Gr_H Pr_{acqua} = Gr_H \mathbf{n}/\mathbf{a} = 9.65 \times 10^{11} < 4 \times 10^{14}$$

$$Nu_H = 0.67 + \frac{0.67 (Ra_H)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} = 609.7; \quad h_{acqua} = \frac{Nu_H k_{acqua}}{H} = 202.6 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

- Aria:

$$\mathbf{b} = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{(T_s + T_\infty)/2} = \frac{2}{298 + 283} = 3.44 \times 10^{-3}; \quad Gr_H = 7.45 \times 10^9$$

$$35 Gr_H^{-1/4} = 0.119 < D/H = 0.167; \quad Ra_H = Gr_H Pr_{aria} = Gr_H \mathbf{n}/\mathbf{a} = 5.22 \times 10^9 < 4 \times 10^{14}$$

$$h_{aria} = \frac{Nu_H k_{aria}}{H} = 2.26 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Quindi:
$$\frac{q_{acqua}}{q_{aria}} = \frac{h_{acqua}}{h_{aria}} \approx 90$$