

COGNOME

NOME

MATRICOLA

FIRMA

Esercizio 1

In un sistema cilindro-pistone vengono immesse una massa $M_L = 0.15$ kg di acqua liquida a $t_L = 75$ °C e una massa $M_V = 0.5$ kg di vapore d'acqua saturo a $t_V = 180$ °C. Le due fasi vengono lasciate miscelare a pressione costante. Una volta che il sistema è nuovamente in equilibrio, una sorgente calda a $t_H = 300$ °C fornisce alla miscela, sempre a pressione costante, una quantità di calore Q tale da portare tutta la massa in condizioni di vapore surriscaldato a $t_F = 250$ °C. Determinare la quantità di calore fornita e l'irreversibilità totale del processo.

Q	ΔS
---	----

Esercizio 2

Una portata $M^\circ = 2$ kg/s di aria secca (approssimabile a gas perfetto) entra in un condotto con velocità $w_i = 25$ m/s, temperatura $T_i = 353$ K, pressione $P_i = 5$ bar e ne esce con velocità $w_u = 0.1$ m/s, pressione $P_u = 1.2$ bar, volume specifico $v_u = 0.75$ m³/kg. Attraverso le pareti del condotto tale portata riceve una potenza termica $Q^\circ = 20$ kW. All'interno del condotto è poi presente una turbina che sottrae una potenza meccanica L°_{ut} alla corrente fluida. Ipotizzando di essere in condizioni stazionarie e di poter trascurare gli attriti, determinare il valore di L°_{ut} .

L°_{ut}

Esercizio 3

Una parete piana indefinitamente estesa lungo due direzioni spaziali è costituita lungo la terza da tre strati: uno strato A ($\lambda_A = 15$ W/mK, $s_A = 0.1$ m) sede di generazione interna di potenza $U^{\circ\circ\circ} = 10^5$ W/m³, uno strato B ($\lambda_B = 0.5$ W/mK, $s_B = 0.25$ m) puramente passivo, uno strato C ($\lambda_C = 15$ W/mK, $s_C = 0.1$ m) sede di generazione interna di potenza $Q^{\circ\circ\circ} = 10^5$ W/m³. Esternamente la parete è lambita da entrambi i lati da aria a $T_{\infty} = 20$ °C (coefficiente convettivo $h = 30$ W/m²K). Ipotizzando di essere in condizioni stazionarie, determinare la potenza termica che fluisce attraverso lo strato B e la temperatura massima raggiunta nel sistema.

Q°	T_{max}
-----------	-----------

AVVERTENZE

- durata della prova: 1h 30';
- durante la prova non è consentito consultare testi, eserciziari, dispense, tabelle o qualsiasi altro tipo di materiale, né utilizzare telefoni cellulari, PC o altri strumenti di comunicazione a distanza;
- scrivere tutto ciò che si desidera venga corretto esclusivamente a penna, con inchiostro nero o blu;
- svolgere gli esercizi ordinatamente e commentando adeguatamente i passaggi effettuati;
- dovranno essere consegnati, entrambi compilati con nome cognome matricola e firma, questo testo ed un solo foglio di protocollo, su cui dovrà essere riportata la "bella copia" della soluzione degli esercizi proposti. Non verranno ritirati fogli "di brutta" né un numero di fogli superiore a uno. I risultati finali degli esercizi devono essere riportati, completi di unità di misura, nelle celle predisposte su questo foglio.
- chi desiderasse ritirarsi dalla prova semplicemente non consegnerà il proprio compito. Può in tale caso tenere il testo.

Tabelle dell'acqua a saturazione

T	P	ρ_l	ρ_v	hl	hv	sl	sv
[°C]	[kPa]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kgK)]	[kJ/(kgK)]
165	700.82	902.5	3.6702	697.35	2762.8	1.993	6.707
170	792.05	897.5	4.1217	719.21	2767.9	2.042	6.665
175	892.45	892.3	4.6167	741.15	2772.7	2.091	6.624
180	1002.63	887.0	5.1583	763.19	2777.2	2.140	6.584
185	1123.27	881.6	5.7498	785.32	2781.4	2.188	6.545

Tabelle del vapor d'acqua surriscaldato in funzione di P [kPa] e T [°C]

500	1000	5000																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>T [°C]</th> <th>ρ [kg/m³]</th> <th>h [kJ/kg]</th> <th>s [kJ/(kgK)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>200</td><td>2.353</td><td>2855.9</td><td>7.1</td></tr> <tr><td>250</td><td>2.108</td><td>2961.1</td><td>7.3</td></tr> <tr><td>300</td><td>1.913</td><td>3064.6</td><td>7.5</td></tr> </tbody> </table>	T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kgK)]	200	2.353	2855.9	7.1	250	2.108	2961.1	7.3	300	1.913	3064.6	7.5	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>T [°C]</th> <th>ρ [kg/m³]</th> <th>h [kJ/kg]</th> <th>s [kJ/(kgK)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>200</td><td>4.854</td><td>2828.3</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>250</td><td>4.297</td><td>2943.2</td><td>6.9</td></tr> <tr><td>300</td><td>3.876</td><td>3051.7</td><td>7.1</td></tr> </tbody> </table>	T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kgK)]	200	4.854	2828.3	6.7	250	4.297	2943.2	6.9	300	3.876	3051.7	7.1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>T [°C]</th> <th>ρ [kg/m³]</th> <th>h [kJ/kg]</th> <th>s [kJ/(kgK)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>350</td><td>19.241</td><td>3069.3</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>400</td><td>17.289</td><td>3196.6</td><td>6.6</td></tr> <tr><td>450</td><td>15.792</td><td>3317.0</td><td>6.8</td></tr> </tbody> </table>	T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kgK)]	350	19.241	3069.3	6.5	400	17.289	3196.6	6.6	450	15.792	3317.0	6.8
T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kgK)]																																															
200	2.353	2855.9	7.1																																															
250	2.108	2961.1	7.3																																															
300	1.913	3064.6	7.5																																															
T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kgK)]																																															
200	4.854	2828.3	6.7																																															
250	4.297	2943.2	6.9																																															
300	3.876	3051.7	7.1																																															
T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kgK)]																																															
350	19.241	3069.3	6.5																																															
400	17.289	3196.6	6.6																																															
450	15.792	3317.0	6.8																																															

Soluzioni

Esercizio 1

Dato che il calore è fornito dopo la conclusione del miscelamento, quest'ultimo è "il solito" miscelamento adiabatico e isobaro e quindi isoentalpico.

$$h_M = (ML * h_{iL} + MV h_{iV}) / (ML + MV)$$

in cui le masse sono note, $h_{iL} = c_{PL} t_L$ e h_{iV} si legge dalla tabella del vapore saturo.

Il miscelamento è isobaro quindi sono note la pressione (che è $P_{sat}(t_V)$) e l'entalpia finali, dunque lo stato finale è identificato: confrontando h_M con $h_{liq.sat.}(t_V)$ e $h_{vap.sat.}(t_V)$ si nota come lo stato finale sia all'interno della curva limite.

Il titolo è immediatamente calcolabile come $x_M = (h_M - h_{liq.sat.}(t_V)) / (h_{vap.sat.}(t_V) - h_{liq.sat.}(t_V))$,

da cui volendo si può calcolare l'entropia della miscela s_M utilizzando la regola della leva. Non è in verità necessario per il calcolo del ΔS (si veda dopo), mentre è necessario determinare le entropie iniziali:

$s_{iL} = c_{PL} \ln(T_L / 273.15)$ (Attenzione a convertire t_L in K!); s_{iV} si legge dalla tabella del vapore saturo.

La miscela viene quindi portata in condizioni di vapore surriscaldato a t_F , sempre a pressione costante $P_{sat}(t_V)$. Dalle tabelle del vapore surriscaldato si leggono h_F e s_F , da cui:

$$Q = (ML + MV) * (h_F - h_M)$$

$$\Delta S_{miscela} = (ML + MV) * s_F - (ML * s_{iL} + MV * s_{iV})$$

$$[\Delta S_{miscela} = \Delta S_{miscelamento} + \Delta S_Q, \text{ in cui quest'ultimo è pari a } (ML + MV) * (s_F - s_M)]$$

$$\text{e quindi: } \Delta S_{tot} = \Delta S_{miscela} - Q / T_H$$

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base, temperature in °C):

ML	0.15		
MV	0.5		
tL	75		
tV	180		
tF	250		
tH	300		
hiL	313950	HiL	47092.5
siL	1015.6		
hiV	2777200	hLS	763190
siV	6584	sLS(180°C)	2140
hM	2208758		
xM	0.718	sM	5329.7
Psat(TV)	1002630		
hF	2943200		
sF	6900		
Q	477387.5		
DSmix(M-I)	19.97		
DSmix(F-M)	1020.69		
DSmixtot(F-I)	1040.66		
DStot processo	207.74		

Esercizio 2

Il sistema è fluente, in condizioni stazionarie, con variazioni di energia cinetica e scambi energetici sia di tipo lavoro sia di tipo calore.

Dunque dalla forma generale dell'equazione di conservazione dell'energia si può arrivare a:

$$L^{\circ}ut = M^{\circ} \Delta h + M^{\circ} (w_u^2 - w_i^2)/2 - Q$$

e nell'ipotesi di gas perfetto:

$$\begin{aligned} L^{\circ}ut &= M^{\circ} c_p (T_u - T_i) + M^{\circ} (w_u^2 - w_i^2)/2 - Q = \\ &= M^{\circ} * 7/2 R^*_{AS} (P_u v_u / R^*_{AS} - T_i) + M^{\circ} (w_u^2 - w_i^2)/2 - Q \end{aligned}$$

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base):

MM AS	28.96	R* As	287.1	cp AS	1004.8
γ	1.40				
M°	2.00				
Ti	353.00	vu	0.75		
		Pu	120000		
		Tu	313.50		
wi	25.00	wu	0.10		
Q°	2.00E+04				
Δek	-312.50	Δh	-39694.3		
L°	-100013.59				

Esercizio 3

Il sistema è perfettamente simmetrico rispetto alla mezzeria dello strato B, pertanto il flusso termico attraverso tale superficie deve essere nullo. Essendo poi lo strato B puramente passivo, il flusso termico e quindi la potenza termica sono nulli in tutto lo strato, che risulta pertanto isoterma alla T_{max} del sistema. Per determinare quest'ultima, si può considerare o lo strato A o lo strato C (tanto sono identici). E' necessario integrare l'equazione di Poisson per geometria cartesiana ottenendo:

$T(x) = -U^{o'''} / (2 \lambda) x^2 + C_1 x + C_2$ e si possono imporre come condizioni al contorno:

1) $Q^{o''} = 0$ per $x = 0$ (l'asse x sia uscente dalla parete piana, e con 0 in corrispondenza della faccia più interna dello strato scelto);

2) $T = T_p$ per $x = s$ (in corrispondenza cioè della faccia esterna dello strato scelto) in cui T_p è determinabile attraverso lo scambio convettivo. Infatti:

$$Q^{o''} = U^{o'''} s \text{ in corrispondenza dell'interfaccia tra strato e fluido esterno, e quindi}$$

$$U^{o'''} * s = -h (T_{oo} - T_p) \text{ eguagliando il flusso calcolato e quello convettivo, da cui:}$$

$$T_p = T_{oo} + U^{o'''} s / h$$

Dalla prima immediatamente $C_1 = 0$, dalla seconda: $C_2 = T_{oo} + U^{o'''} s [1/h + s / (2 \lambda)]$ che coincide con la T_{max} .

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base):

T _{oo}	20.00			
h	30.00			
s	0.10			
λ	15.00			
U ^{o'''}	100000.00			
T _{max}	386.7	T _p	353.33	