

Prof. L. Araneo. Prova di Fisica Tecnica Ambientale del 4 Luglio 2008. Milano

Testo e traccia della soluzione

Tempo a disposizione: tutto esercizi 1-8, 3h 33 punti
 Parte2 esercizi 5-9, 2h 21 punti *33/21

Materiale: •1 testo dell'esame (tabelle disponibili)

E' consentito l'uso di: •calcolatrice, •tavole termodinamiche, •un formulario (un foglio A4 f/r).

Riconsegnare: • testo con grafico •svolgimento • 1 formulario (segnare il COGNOME su tutti).

- 1) Una bombola di acciaio ($V=40$ litri, $\rho_{\text{acc}} = 7850 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_{\text{acc}} = 60 \text{ W/m.K}$, $c_p = 434 \text{ J/kg.K}$) piena di aria a 220 bar, tutto a 80°C , viene lasciata raffreddare fino alla temperatura ambiente $T_{\text{amb}}=20^\circ\text{C}$. Determinare l'energia ceduta e la variazione totale di entropia.

Soluzione (4punti)

Il volume del gas (0.04 m^3) permette di calcolare, la massa di aria, ipotizzando gas perfetto ($M_m=29$, la pressione è alta l'errore sarà di qualche %) $m_{\text{aria}} = P V / R / T = 22'000'000 * 0.040 / (8314/29) / 353 = 8.70 \text{ kg}$. Per raffreddare l'aria si asporta $Q_{\text{aria}} = m_{\text{aria}} c_v \Delta T = 8.70 * (8314/29 * 5/2) * (20-80) = -373'938 \text{ J}$.

Ipotizzando la bombola vuota 20 kg di acciaio, $Q_{\text{aria}} = m_{\text{acc}} c \Delta T = 20 * 343 * (20-80) = -520'800 \text{ J}$

$$\Delta S_{\text{aria}} = m_{\text{aria}} c_v \ln(T_2/T_1) = -1161.0 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{\text{acc}} = m_{\text{acc}} c \ln(T_2/T_1) = -1617.0 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{\text{amb}} = |Q_{\text{aria}} + Q_{\text{acc}}| / T_{\text{amb}} = + 3053.7 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{\text{tot}} = + 275.6 \text{ J/K}$$

- 2) Un aereo viaggia a 900 km/h a 5500 metri di altitudine nell'aria a 0.5 atmosfere e -10°C . Se dell'aria viene raccolta tramite una presa e convogliata all'interno rallentandola fino a velocità di 2 m/s tramite una trasformazione isoentropica, a quale pressione e temperatura giunge nell'abitacolo?

Soluzione (4punti)

Si tratta di un condotto dove l'aria perde velocità acquisendo pressione, quindi un diffusore.

$$w_1 = 250 \text{ m/s}, w_2 = 2 \text{ m/s}$$

1° principi per sistemi aperti $q-l = \Delta h + \Delta e_{\text{cin}} = 0$ perché $q=l=0$, $\Delta Z=0$ si conserva cioè l'entalpia totale,

$$T_2 - T_1 = (w_2^2 - w_1^2) / 2 = 31.1 \text{ (K o } ^\circ\text{C)}$$

$$T_1 = 263 \text{ K Da cui } T_2 = 294.1 \text{ K}$$

Essendo $P_1 = 0.5 \text{ atm} = 50663 \text{ Pa}$, si trova

$$P_2/P_1 = (T_2/T_1)^{C_p/R} = (294.1/263)^{3.5} \text{ da cui } P_2 = 74909 \text{ Pa}$$

- 3) Una pentola a pressione tarata per sfiatare a 0.8 bar di pressione relativa contiene 2 kg di acqua inizialmente a 20°C , e viene scaldata fornendole 2 kW. Determinare dopo quanto tempo tutta l'acqua è evaporata. Specificare le ipotesi adottate. Disegnare qualitativamente un grafico T-S con l'andamento della trasformazione.

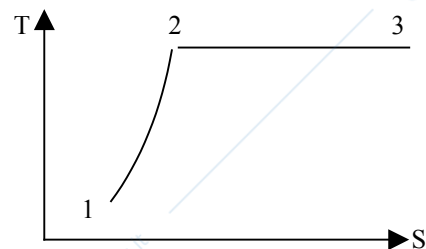
Soluzione (4punti)

L'acqua a $T_1=20^\circ\text{C}$ si scalda e in parte evapora fino a portare l'interno a $P_2=0.8 \text{ bar relativi} = 1.8 \text{ bar assoluti}$, poi inizierà a bollire. Da tabelle si ha $T_2 = T_3 = T_{\text{sat}@1.8\text{bar}} = 116.8 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta h_{\text{ev}} = 2211 \text{ kJ/kg}$

Il riscaldamento fino a ebollizione 1-2 può essere approssimato con C costante (o calcolato da tabelle) $Q_{12} = m c \Delta T = 2 * 4.184 * (116.8-20) = 810 \text{ kJ}$

$$Q_{23} = m \Delta h_{\text{ev}} = 2 * 2211 = 4422 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{tot}} = 5232 \text{ kJ}, \text{ tempo} = 5232 \text{ kJ} / 2 \text{ (kJ/s)} = 2616 \text{ s} = 43.6 \text{ minuti}$$



- 4) Un motore a ciclo Otto ideale ha rapporto di compressione volumetrico $V_1/V_2=9.5$, l'aria (gas perfetto biatomico $M_m=29$) è aspirata alla temperatura iniziale $T_1=70^\circ\text{C}$ e pressione iniziale $P_1=-0.7$ bar relativi. All'aria verrà fornimento il calore $q = 2000$ kJ/kg. Determinare i dati (P,T) nei punti del ciclo, i rendimenti di 1° e 2° principio. Disegnare i grafici nei piani P-V e T-s.

Soluzione (4punti)

Punto P(bar) T (K)

1	0.31	343	dai dati ($P_1 = P_{\text{atm}} + P_{\text{rel}}$)
2	7.32	844	da $P_2/P_1 = (V_1/V_2)^K$, $T_2/T_1 = (V_1/V_2)^{K-1/K}$
3	31.5	3635	da $\Delta T_{23} = q_{23}/c_v = 2790$ essendo la trasformazione a volume costante
4	1.35	1477	da $P_3/P_4 = (V_4/V_3)^K = (V_1/V_2)^K = P_2/P_1$, $T_2/T_1 = T_3/T_4$ per cicli simmetrici

$$\eta_I = I_{\text{out}}/q_{\text{in}} = (q_{\text{in}} - q_{\text{out}})/q_{\text{in}} = (c_v \Delta T_{23} - c_v \Delta T_{41}) / c_v \Delta T_{41} = 59.4\% (=1 - T_1/T_2)$$

$$\eta_{\text{massimo}} \text{ tra } T_{\text{min}} \text{ e } T_{\text{max}} = \eta_{\text{Carnot(max,min)}} = 1 - T_3/T_1 = 90.6\%$$

$$\eta_{II} = \eta_I / \eta_C = 65.6\%$$

- 5) Un condotto cilindrico ha diametro interno 10 cm e spessore 1 cm, è realizzato in PVC ($\lambda=0.2$ W/m.K), al suo interno scorre aria a 90°C (coefficiente di convezione $h_{\text{interno}} = 200$ W/m²K), all'esterno c'è aria a 20°C ($h_{\text{esterno}} = 15$ W/m²K). Determinare la quantità di calore dispersa per metro di tubo, e l'errore commesso approssimando la parete cilindrica ad una piana. Specificare le ipotesi adottate.

Soluzione (4punti)

Superficie	Raggio m	$A = \pi D L$ [m ²]	h [w/m ² K]
int	0.05	0.314	200
med	0.055	0.3454	
est	0.06	0.3768	15

$$R_{\text{cil}} = R_{\text{conv_int}} + R_{\text{parete}} + R_{\text{conv_es}} = 1/h_{\text{int}} / A_{\text{int}} + \ln(r_2/r_1) / (2 \pi L \lambda) + 1/h_{\text{est}} / A_{\text{est}} = 0.0159 + 0.1452 + 0.1769 = 0.3380 \text{ K/W}$$

$$Q'_{\text{cil}} = \Delta T / R_{\text{cil}} = 70 / 0.3380 = 207.1 \text{ W}$$

$$R_{\text{piana}} = R_{\text{conv_int}} + R_{\text{parete}} + R_{\text{conv_es}} = 1/h_{\text{int}} / A_{\text{med}} + L / \lambda / A_{\text{med}} + 1/h_{\text{est}} / A_{\text{med}} = 0.0145 + 0.1448 + 0.1930 = 0.3522 \text{ K/W}$$

$$Q'_{\text{piana}} = \Delta T / R_{\text{piana}} = 70 / 0.3522 = 198.7 \text{ W}$$

$$\text{Err} = 8.37 \text{ W}, \text{Err}\% = 8.37 / 207 = 4.0\%$$

- 6) Un timone di aereo, alto $H=1.2$ metri e avente base $B=0.7$ metri (rettangolare) deve essere mantenuto ad almeno 0°C per evitare la formazione di ghiaccio volando a 400 km/h in aria a 10°C sotto zero. Determinare la potenza necessaria per mantenere il timone alla temperatura richiesta. Si usino le relazioni:

$$\text{lastra piana, } Re < 500'000 \quad Nu = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

$$\text{lastra piana*}, Re \gg 500'000 \quad Nu = 0.037 Re^{4/5} Pr^{1/3} \quad (0.6 < Pr < 60, 5 \cdot 10^5 < Re < 10^7)$$

$$\text{lastra piana**}, Re > 500'000 \quad Nu = (0.037 Re^{4/5} - 871) Pr^{1/3} \quad (0.6 < Pr < 60, 5 \cdot 10^5 < Re < 10^7)$$

Soluzione (4punti)

$$w = 111 \text{ m/s}$$

La temperatura di film è $-5^\circ\text{C} = 268\text{K}$, anche approssimando ad una T sufficientemente prossima da tabelle si ottiene: $\rho = 1.342$ kg/m³, $\nu = 0.0000127$, $Pr = 0.720$, $\lambda = 0.0234$, $Re_B = 6'124'234$,

$$Nu = 0.037 Re^{4/5} Pr^{1/3} = 8919, \text{ da cui } h = 298 \text{ W/m}^2\text{K},$$

$$Q' \text{ su 2 lati} = h A \Delta T = 298 * 2 * 1.3 * 0.7 * 10 = 5009 \text{ W}$$

- 7) Un pezzo di rame di forma cubica ($m = 4$ kg, $\rho_{\text{Cu}} = 8933$ kg/m³, $\lambda_{\text{Cu}} = 401$ W/mK, $c_p = 385$ J/kgK) alla temperatura iniziale di $T_0=20^\circ\text{C}$ viene messo in un forno ($T = 300^\circ\text{C}$, coefficiente convettivo $h = 50$ W/m² K). Determinare dopo quanto tempo il cubo ha raggiunto i 150°C . Specificare le ipotesi usate. Disegnare l'andamento della temperatura nel tempo.

Soluzione (4punti)

$$V = m / \rho = 4/8933 = 0.000448 \text{ m}^3 \quad L = V^{1/3} = 0.0765 \text{ m} \quad L_{\text{car}} = V/A = L^3/6L^2 = L/6 = 0.0128 \text{ m}$$

$$Bi = h L/\lambda = 50 * 0.0128 / 401 = 0.0016 \ll 1 \text{ OK parametri concentrati}$$

$$\tau = m c_p / h A = 4 * 385 / (50 * 6 * L^3) = 877 \text{ secondi (parametro } b=1/\tau)$$

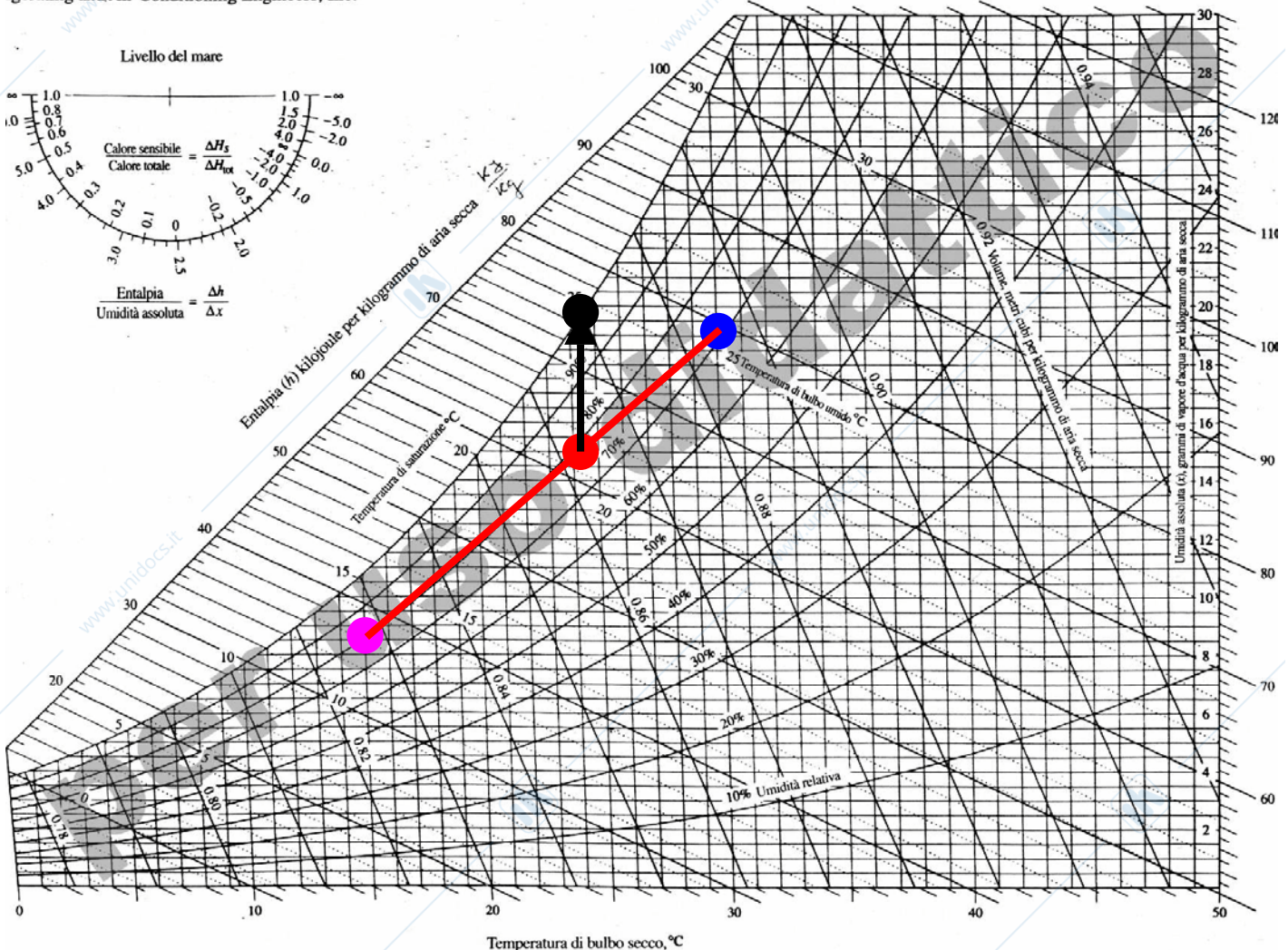
$$t_{150} = -\tau * \ln [(150-300)/(20-300)] = 547.4 \text{ s} = 9.12 \text{ min}$$

Accettabil e l'ipotesi $A = 5L^2$ (una faccia di appoggio non conduce). Dire $L_c=L$ vuol dire 5 facce isolate: da giustificare.

- 8) Una quantità di aria $m_1=30 \text{ kg}_{\text{as}}$ temperatura $T_1=30 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidità relativa $UR_1=70\%$ si mescola a pressione atmosferica con una massa di aria umida $m_2=20 \text{ kg}_{\text{as}}$ a temperatura $T_2=15 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidità relativa $UR_2=80\%$. Calcolare la temperatura T_m , l'umidità relativa UR_m e assoluta (x_m , $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{as}}$) e di questa miscela. Si vuole poi portare la miscela, mantenuta a temperatura costante, fino a condizioni di saturazione ($UR_3=100\%$): occorre aggiungere dell'acqua mancante, o separare (condensare) quella in eccesso? (Specificare). Calcolare la quantità da aggiungere/togliere. Riportare i punti (1,2,m,3) sul diagramma psicrometrico allegato

Soluzione (5punti)

Engineering and Air-Conditioning Engineers, Inc.



Punto	kg	T °C	UR	P _{sat} Pa	P _{vap} Pa	x kg _{vap} /kg _{as}	entalpia
1	30	30	70%	4246	2972	0.0188	78.19
2	20	15	80%	1705	1364	0.0085	36.54
mix	50	24.07	77%	3000	2315	0.0147	61.53
3	50	24.07	100%	3000	3000	0.0190	

Nel grafico vale la regola della bilancia: preso mix come perno, braccio * massa = costante :
 $\text{braccio}_{1-\text{Mix}} * m_1 = \text{braccio}_{2-\text{Mix}} * m_2$. Ciò fa sì che Mix sia più vicino alla massa preponderante.
 Per passare da **mix** a 3 occorre aggiungere acqua: $m_{\text{tot}}(0.0190-0.0147) = 0.2152$ kg di acqua

9) Un vaso cilindrico (senza coperchio con fondo, $D=10$ cm, $h=10$ cm, pareti di spessore trascurabile, $T=30^\circ\text{C}$, emissività $\epsilon_{\text{Int}}=0.8$ alle pareti interne, $\epsilon_{\text{Est}}=1$ all'esterno) è messo in un forno cubico ($L=600$ cm, $T_{\text{pareti}}=200^\circ\text{C}$, emissività $\epsilon_p=0.9$). Calcolare il calore trasmesso per irraggiamento.

Soluzione (4punti)

$$A_{\text{Est}} = A_{\text{Int}} = 0.03925 \text{ m}^2, A_{\text{Forno}} = 216 \text{ m}^2,$$

$$F_{\text{E-F}} = 1, \quad F_{\text{I-F}} = F_{\text{I-Coperchio}} = A_{\text{Cop}} / A_{\text{Int}} = 0.0785 / 0.03925 = 0.2$$

$$Q'_{\text{Est} \rightarrow \text{forno}} = 5.67 * (3.03^4 - 4.93^4) / [(1-1)/A_{\text{Est}} + 1/A_{\text{Est}} + (1-0.9)/(216*0.9)] = -112.7 \text{ W}$$

$$Q'_{\text{Int} \rightarrow \text{forno}} = 5.67 * (3.03^4 - 4.93^4) / [(1-0.8)/A_{\text{Int}} + 1/(A_{\text{Int}}*0.2) + (1-0.9)/(216*0.9)] = -21.5 \text{ W}$$

Il cilindro riceve $112.7+21.5 = 134 \text{ W}$

Voti dei rimandati

657165	12
663152	13
676656	9
677695	8
678657	7
679539	7
700151	11
700317	13
700530	15
700835	8.5
701076	13
701444	16
702442	16
703744	13
705920	9
706197	15.5