

Prof. L. Araneo. Prova di Fisica Tecnica Ambientale del 5 Settembre 2008. Milano.

E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole termodinamiche, un -formulario (una pagina A4 F/R).

Traccia svolgimento (Normalizzare la somma dei punti a 34 per ottenere il voto)

Recupero	Iscritti	Esercizi	Tempo	FIRMA su quello fatto
Tutto	61	1-7	150'	
solo parte2	4	5-9	120'	

1) Per viaggiare a 100 km/h una vettura necessita di 18 Cv ($1\text{Cv}=0.735\text{ kW}$), e percorre 20 km con 1 litro di benzina (densità = 0.73 kg/litro, PCI = 10'500 kcal/kg). Determinare il rendimento del motore.

Soluzione 3 punti (Normalizzare la somma dei punti a 34 per ottenere il voto)

Il rendimento è il rapporto tra lavoro (o potenza) prodotta dal motore (L) e energia consumata (Q_{in}), in uno steso intervallo di riferimento.

In 1 ora, si percorrono 100 km, con percorrenza di 20 km/litro si consumano 5 litri, cioè $Q_{IN_1ora} = 5\text{ litri} * 0.73\text{ kg/litro} * 10500\text{ kcal/kg} * 4.184\text{ kJ/kcal} = 160'352\text{ kJ}$

Il motore produce lavoro pari a $L_{OUT_1ora} = 18\text{ CV} * 0.735\text{ kW/cv} * 3600\text{ s/ora} = 47'628\text{ kJ}$.

Il rendimento è $47628/160'352 = 0.297$

Calcoli analoghi in 1 secondo, 1 km, 20 km.

2) Sono date le temperature minima (45°C) e massima (600°C) e la pressione massima (150 bar) di un ciclo Rankine a vapore d'acqua, con pompa e turbina isoentropiche. Disegnare il ciclo nel diagramma T-s allegato. Calcolare i valori delle grandezze (P, T, h, s, titolo) dove necessario, la temperatura a cui avviene l'ebollizione, il rendimento del ciclo.

Soluzione 6 punti

	T °C	P kPa	Titolo	h kJ/kg	s
1	45	9.593	0	188.45	0.6387
2	Circa 45	15'000	-	203.47	"
3		15'000	0		
4		15'000	1		
5	600	15'000	-	3582.3	6.6776
6	45	9.593	0.802	2110.0	6.6776
V	45	9.593	1	2583.2	8.1648

Punti 1,3, 4, 5, V: dalle tabelle

Punto 2: $\Delta h_{12} = v \Delta P = 0.001001\text{ m}^3/\text{kg} * (15'000'000 - 9593\text{ Pa}) = 15'020\text{ J/kg} = 15.02\text{ kJ/kg}$, $h_2 = 188.45 + 15.02 = 203.47\text{ kJ/kg}$. (errore comune: sommare J con kJ)

Punto 6: $x_6 = (s_6 - s_1) / (s_v - s_1) = 0.802$, $h_6 = (1-x) h_1 + x h_v$

$\eta = L_{nu} / Q_{in} = (h_6 - h_5 - \Delta h_{12}) / (h_6 - h_1) = 1457.3 / 3378.8 = 0.43$

In alternativa: $h_2 = u_2 + p_2 v$ dove u_2 è l'energia interna a $T_2=45^\circ\text{C}$, $p_2=15\text{MPa}$, v il valor medio tra P_1 e P_2 .

E' errore grave usare le formule del gas perfetto per il liquido o per il vapore.

Sul grafico: 1,6 e V sono sulla linea orizzontale a $T=45^\circ$. Si devono ritrovare $s_1=0.6$, $s_v=8.1$.

Il punto 2 è pochissimo sopra 1, al solito viene disegnato più spostato dalla curva di saturazione di quanto sia in realtà.

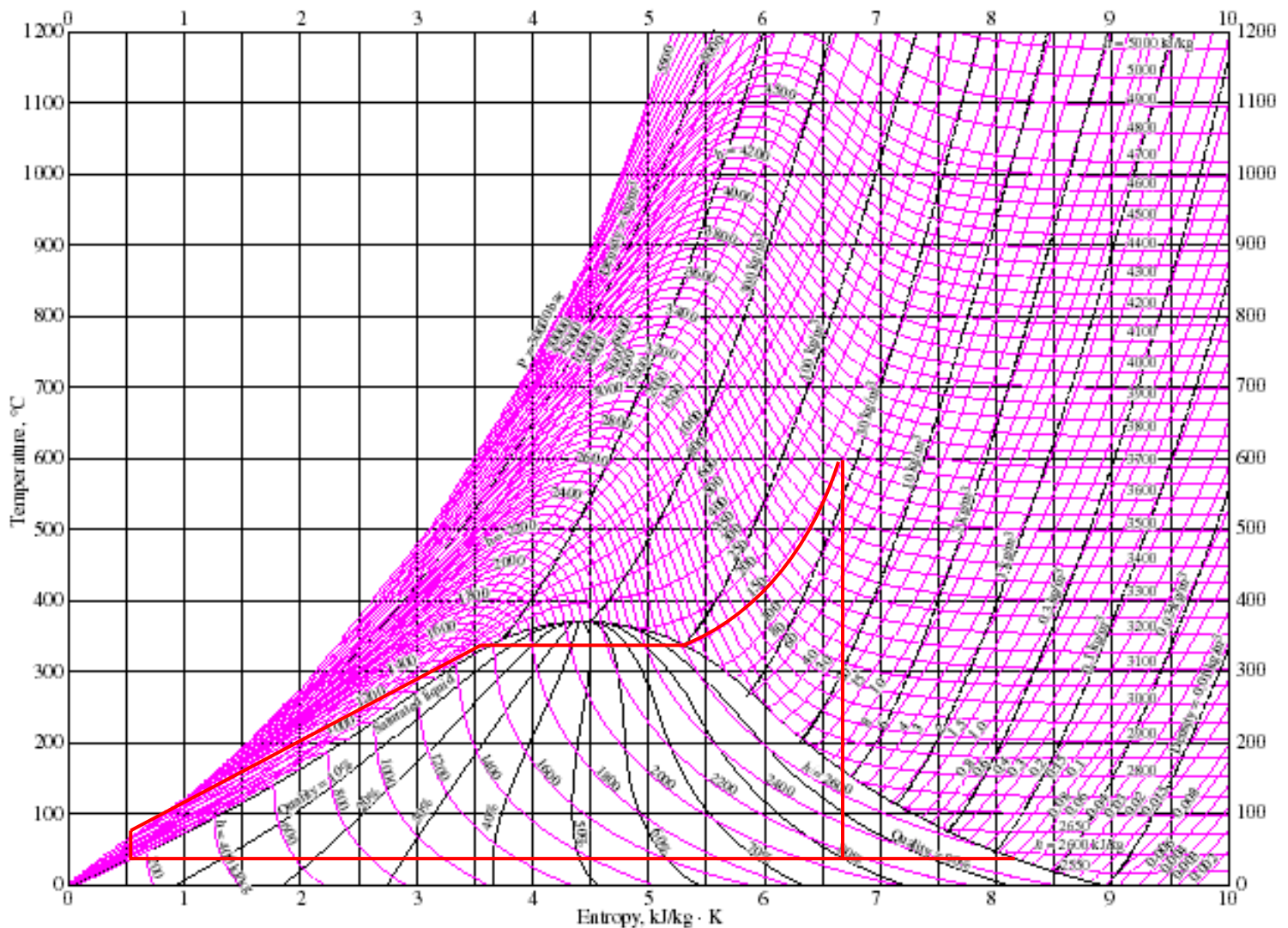
Da 2 a 3 si dovrebbe seguire una curva viola, la si disegna dopo

Il punto 5 è a 600°C , pressione 150 bar. Da 5 a 6 giù in verticale, si DEVE ritrovare il valore dell'entropia 6.7 circa

Il tratto 4-5 è l'isobara dei 150bar.

All'indietro si disegna 4-3: orizzontale a T_4 , che si può anche vedere da tabelle (circa 340°C).

Ora si può disegnare 2-3.



3) Una pompa di calore, azionata da un motore elettrico che assorbe 400 W di energia elettrica, è usata per mantenere un locale a $T_{loc}=20^{\circ}\text{C}$ mentre all'esterno si ha $T_{est}=6^{\circ}\text{C}$, l'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di $\Delta T_{ev}=4^{\circ}\text{C}$ per scambiare calore, il condensatore di $\Delta T_{cond}=22^{\circ}\text{C}$. L'efficienza è il 55% di quella di una macchina ideale che lavora tra le stesse temperature estreme del ciclo. Calcolare il COP della macchina, i flussi energetici. Disegnare uno o più schemi della macchina per spiegarne il funzionamento

Soluzione 4 punti

Le temperature del ciclo NON sono quelle degli ambienti.

Nell'ambiente interno si trova il condensatore, che scalda l'ambiente ed è più caldo di questo, quindi $T_{SUP}=20+22=42^{\circ}\text{C} = 315\text{K}$

Nell'ambiente esterno si trova l'evaporatore, che assorbe calore ed è perciò più freddo di questo, quindi $T_{INF}=6-4=2^{\circ}\text{C} = 275\text{K}$

$$\text{COP}_{id_PC} = Q_{sup}/L = T_{SUP}/(\Delta T) = 315/40 = 7.88$$

$$\text{COP}_{re_PC} = \text{COP}_{id_PC} \cdot \eta = 7.88 \cdot 0.55 = 4.33$$

$$Q_{SUP=OUT} = 4.33 \cdot 400 = 1733 \text{ (dalla definizione } = \text{COP} \cdot L)$$

$$Q_{INF=IN} = 1733 - 400 = 1333 \text{ (da un bilancio di 1° principio)}$$

Schema componenti: compressore, condensatore (T_{SUP}), valvola di laminazione, evaporatore (T_{INF})

$$\text{Schema flussi: } Q_{INF=IN} + L_{IN} = Q_{SUP=OUT}$$

4) Un flusso di aria compressa scorre in un tubo cilindrico ($D=3 \text{ cm}$), entra nelle condizioni $P_1=5 \text{ bar}$ relativi, $T_1=30^{\circ}\text{C}$, $w_1=100\text{m/s}$; all'uscita si misurano $P_2=2.7 \text{ bar}$ relativi, $T_2=27^{\circ}\text{C}$. Calcolare la velocità all'uscita, l'eventuale scambio di calore. Specificare le ipotesi adottate.

Soluzione 4 punti

$P_{\text{assoluta}} = P_{\text{relativa}} + P_{\text{ambiente}}$, usare P in Pascal, T in Kelvin, si ipotizza gas perfetto

$$\rho = P/R/T, \rho_1 = 6.9, \rho_2 = 4.3,$$

$$m' = \rho_1 A_1 w_1 = 0.488 \text{ kg/s}$$

conservazione della massa $\rho_1 A_1 w_1 = \rho_2 A_2 w_2$ da cui $w_2 = 160.6 \text{ m/s}$

1° principio per sistemi aperti $q_{\text{IN}} - l_{\text{OUT}} = \Delta h + \Delta e_C + \Delta e_{\text{Pot}}$, di cui resta solo

$$q_{\text{IN}} = \Delta h + \Delta e_C = C_P \Delta T + (w_2^2 - w_1^2)/2 = 1005 * (-3) + (160.6^2 - 100^2) = 4879 \text{ J/kg}$$

$$4879 \text{ J/kg} * 0.488 \text{ kg/s} = 2381 \text{ W (usare } c_P \text{ in J/kgK per noncommettere errori dimensionali con } w^2)$$

5) Una parete piana di 12 m^2 è costituita da uno strato di mattoni (conducibilità $\lambda_1 = 0.72 \text{ W/m.K}$, spessori $L_1 = 20 \text{ cm}$), uno di isolante, ed uno di rivestimento ($\lambda_3 = 0.25 \text{ W/m.K}$, $L_3 = 4 \text{ cm}$). All'esterno si trova aria a 0°C ($h_{\text{est}} = 15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), all'interno aria a 22°C ($h_{\text{int}} = 7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Si vuole limitare la potenza dissipata a 100 W , determinare lo spessore di isolante L_2 necessario ($\lambda_2 = 0.08 \text{ W/m.K}$). Disegnare l'andamento della temperatura con i valori intermedi.

Soluzione 4 punti

Si cerca una resistenza totale $= \Delta T/Q = 22/100 = \sum R_i$.

$$0.22 = 1/A (1/h_{\text{est}} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + s_3/\lambda_3 + 1/h_{\text{int}}) \text{ dove l'incognita è } s_2 \text{ che risulta } 0.159 \text{ m.}$$

Le temperature alle varie interfacce sono: 22 interno 20.8 mattoni 18.5 isolante 1.9 intonaco 0.6 esterno 0.

Ovviamente mettendo l'intonaco sul lato interno, le temperature cambiano.

6) Specificare le ipotesi e semplificazioni utilizzate, e i limiti di utilizzo della formula ottenuta.

- Numero di matricola terminante per 1,2,3: dimostrare come si ricava il raggio critico per un isolante cilindrico, e spiegarne il significato
- Numero di matricola terminante per 4,5,6: dimostrare come si ricava l'equazione di Fourier per la trasmissione del calore
- Numero di matricola terminante per 7,8,9,0: dimostrare come si ricava la variazione di temperatura nel tempo $T=T(t)$ per un corpo a temperatura omogenea.

7) All'uscita di una lavapiatti industriale, a causa del processo di asciugatura, si ha un flusso di aria alla velocità di 0.2 m/s su di una sezione di 0.5 m^2 . L'aria si trova a 55°C , U.R. = 70%, ed era stata aspirata dall'ambiente a 30°C , U.R. = 60%. Determinare la potenza dispersa dal flusso di aria, e la quantità di acqua che evapora.

Soluzione 4 punti

Si tratta di calcolare un $Q' = \Delta H' = m' \Delta h$, riferendo i valori all'aria secca m_{as}

	T	Psat Pa	UR	P vap Pa	P_aria_secca a	ρ_{as}	x	h
1	30	4232	60%	2539	98786	1.14	0.016	71.0
2	55	15680	70%	10976	90349	0.96	0.076	251.8

m' si calcola nella sezione 2, dove è noto (il valore è presente anche nel grafico ASHRAE)

$$\rho_{\text{as}2} = P_{\text{as}}/R/T = (101325-10976)/(8314/29) / 328 = 0.96$$

$$m' = \rho_{\text{as}2} * w_2 * A_2 = 0.96 * 0.2 * 0.5 = 0.96 \text{ kg}_{\text{as}}/\text{s}$$

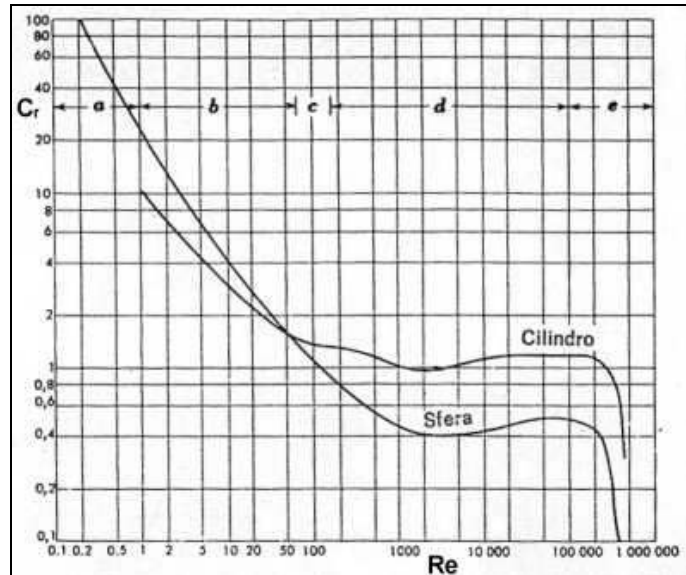
$$Q' = m' (h_2 - h_1) = 17 \text{ kW, condensa} = m' (x_2 - x_1) = 0.0057 \text{ g/s}$$

8) Un comignolo alto 1 metro e avente diametro 10 cm è investita dal vento (caso1) a 10 km/h e (caso2) a 200 km/h . Determinare in entrambi i casi il coefficiente di convezione, la forza esercitata sul comignolo ed il momento flettente nel punto più sollecitato. Specificare le ipotesi e semplificazioni adottate.

Campo Re	Nu=
0.4÷4	$0.989 \text{ Re}^{0.330} \text{ Pr}^{1/3}$
4÷40	$0.911 \text{ Re}^{0.385} \text{ Pr}^{1/3}$
40÷4'000	$0.683 \text{ Re}^{0.466} \text{ Pr}^{1/3}$
4'000÷40'000	$0.193 \text{ Re}^{0.618} \text{ Pr}^{1/3}$
40'000÷400'000	$0.0266 \text{ Re}^{0.805} \text{ Pr}^{1/3}$

Soluzione 4 punti

	1	2
w km/h	10	200
w m/s	2.8	55.6
ρ	1.17	1.17
D	0.1	0.1
λ	0.0261	0.0261
μ	0.0000185	0.0000185
Pr	0.712	0.712
Re	17568	351351
Nu	72.4	692.0
h	18.9	180.6
C_f	1.2	1.2
F N	0.54	216.67
M Nm	0.27	108.33



Si ipotizza una temperatura (dell'aria, volendo quella del tubo differente, e quindi di film), si calcola nei due casi $Re = \rho w D / \mu$, Nu secondo la tabella suggerita, si risolve h. Il C_f (friction=attrito) si trova dal grafico, per $Re=351'000$ il grafico è difficilmente leggibile poichè 10^6 è l'ultima linea ma potrebbe sembrare la penultima. Un valore verosimile è 1, nel dubbio prendo 1.2 a favore di sicurezza.

$F = \frac{1}{2} \rho w^2 A C_d$ dove $A = D \cdot \text{altezza} = 0.1 \cdot 1$, è la sezione trasversale al flusso, non l'area del cilindro. $M = F \cdot 0.5$.

9) Calcolare l'energia ricevuta per irraggiamento da una pizza ($D=40\text{cm}$, $T=30^\circ\text{C}$, $\varepsilon=0.8$) posta in un forno avente pianta circolare ($D=2$ metri, altezza = 1 metro, emissività=0.9), avente soffitto a 200°C e pareti a 160°C . Il coefficiente di vista di un cerchio rispetto ad un altro (detti r_1 e r_2 i raggi), tra loro coassiali e paralleli (distanza h), è dato dalla seguente formula: detti $R_1=r_1/h$, $R_2=r_2/h$, $X=1+(1+R_2^2)/R_1^2$ $F_{12}=1/2 \{X - [X^2 - 4(R_2/R_1)^2]^{0.5}\}$

Soluzione 4 punti

Si chiamino Pizza=1, volta circolare=2, parete laterale cilindrica=3. Si ipotizza la pizza al centro del forno.

La formula permette di calcolare F_{12} , per differenza si ha F_{23} . Si effettuano meno conti calcolando i flussi dalla pizza al forno, che risulano negativi.

Dati $r_1=0.2$, $r_2=1$, $h=1$, $A_1=0.1256 \text{ m}^2$, $A_2=3.14 \text{ m}^2$, $A_3=6.28 \text{ m}^2$,

$R_1=0.2$, $R_2=1$, $X=51$, $F_{12}=0.495$, $F_{23}=0.505$,

$T_1=303 \text{ K}$, $T_2=473 \text{ K}$, $T_3=433 \text{ K}$, $Q'_{12}=-130\text{W}$, $Q'_{13}=-85\text{W}$, $Q'_{\text{forno-pizza}}=216\text{W}$

matr	voto proposto	voto P1	voto 5sett
648386	19		reg19
652356	18		18
658446	24		24
661512			15
662851			nc
663152	25		25
669301			16
672134	25		25
676079	23		23
676656			16
677668			14
677780			13
678657			12
679384	23		23
700106	23		23
700151	30L		30L
700210	26		26
700531	20		20
700563	18		18
701085	27	29.7	23
701086	22		22
701105	22		22
701222	24		24
701532	23		23
702172	23		23
702442	28		28
702886	23		23
703175	30		30
703288	18		18
703977	25	22.0	28.6
705102	reg21	19.8	23
705284	23		23
705920	18		18
708343			14
720284	24		24