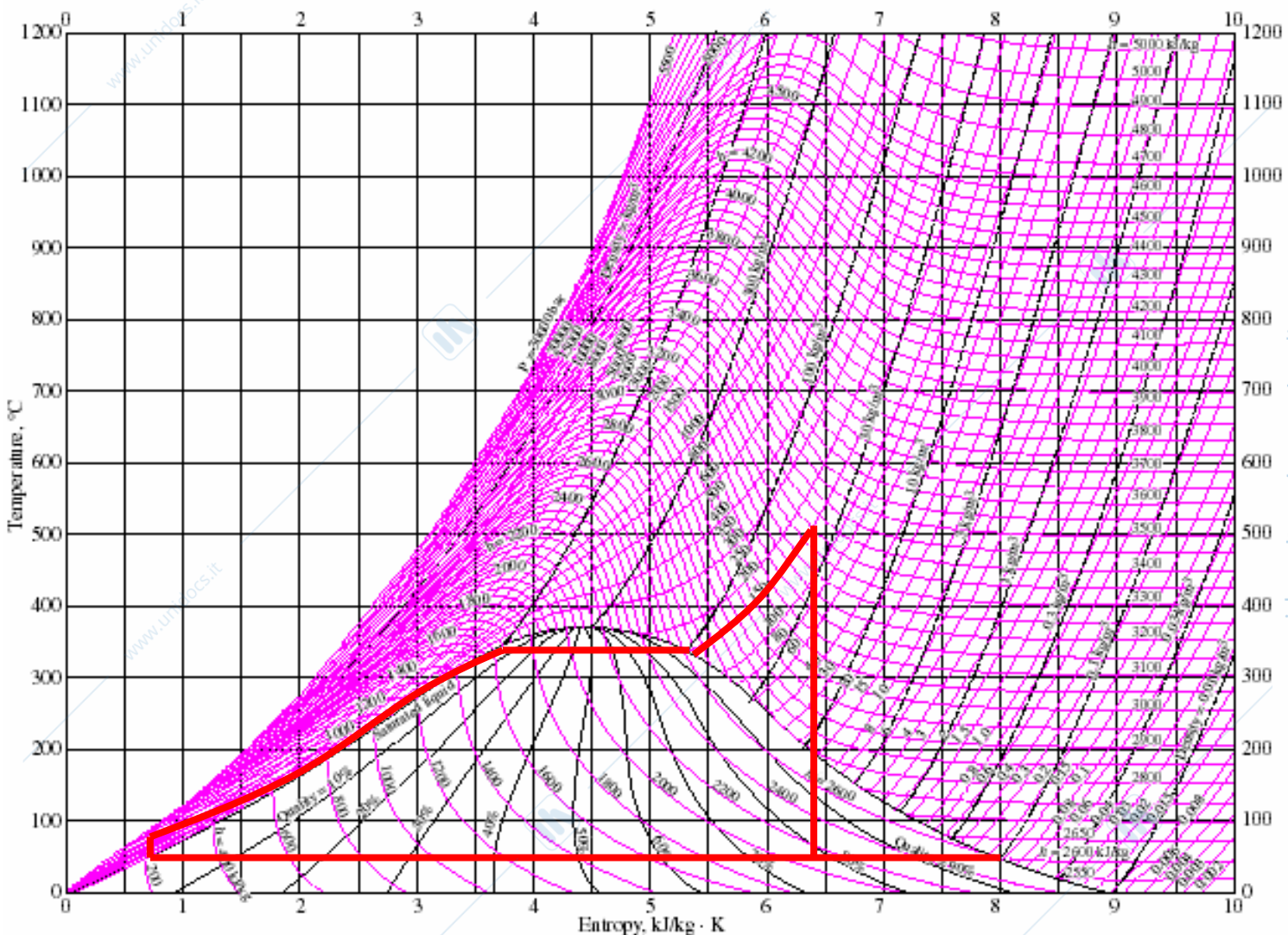


Prof. L. Araneo. Prova di Fisica Tecnica Ambientale del 12 Gennaio 2009, 12h15. Milano S.1.8.
E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole termodinamiche, un -formulario (una pagina A4 F/R).
Specificare ipotesi e semplificazioni usate, scegliere valori realistici per i dati mancanti.

Recupero	Iscritti	Esercizi	Tempo
Tutto	29	1-7	150'
solo parte2	3	5-10	130'

I valori numerici sono riportati nell'ultimo foglio, qui si riassume il metodo di svolgimento

1) Sono date le temperature minima (50°C) e massima (500°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) necessarie a definire i punti del ciclo, il rendimento del ciclo.



SOLUZIONE

Sono riportati in tabella i dati essenziali; i punti 1 e 2 sul grafico dovrebbero essere quasi coincidenti ($T_1 \cong T_2$); segmento 1-6 = 76.5% di 1-V

Da tabella si trovano P_1 , h_1 , s_1 , v_1

$\Delta h_{12} = v \Delta P$ (acqua liquida \cong fluido incomprimibile $v_1 \cong v_2 = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$, usando $P = [\text{kPa}] \rightarrow h = [\text{kJ}]$)

Da tabella si trovano h_5 , s_5

$s_6 = s_5$ permette di trovare $x_6 = (s_6 - s_1) / (s_v - s_1)$

x_6 permette di trovare $h_6 = (1-x)h_1 + x h_v$

$$q_{in} = h_5 - h_2$$

$$l_{nu} = |h_6 - h_5| - (h_2 - h_1)$$

$$\eta_1 = l_{nu} / q_{in} \quad (\text{quanto calore viene trasformato in lavoro})$$

2) In una turbina a gas il ciclo è schematizzabile con un ciclo chiuso Joule-Bryton che utilizza aria ambiente. L'aria entra nel compressore a pressione ambiente e $T=15^\circ\text{C}$. Il rapporto di compressione è $\beta=12$, la temperatura massima raggiunta $T_{max}=1100^\circ\text{C}$, i rendimenti di compressore e turbina sono $\eta_{comp}=0.85$, $\eta_{turb}=0.9$. Determinare i punti del ciclo, i rendimenti di 1° e 2° principio. **Rappresentare** il ciclo nel piano T-s, indicare sul grafico i vari scambi energetici..

SOLUZIONE

$$T_1=288 \text{ K} \quad T_{2id}=T_1 * (P_2/P_1)^{R/Cp} \quad \Delta T_{12,id}=T_{2id}-T_1$$

$$\Delta T_{12,re} = \Delta T_{12,id} / \eta_{comp}$$

$$T_{2re} = T_1 + \Delta T_{12,re}$$

$$T_3=1373 \text{ K} \quad T_{4id}=T_3 * (P_4/P_3)^{R/Cp}$$

$$\Delta T_{34,re} = \Delta T_{34,id} * \eta_{turb}$$

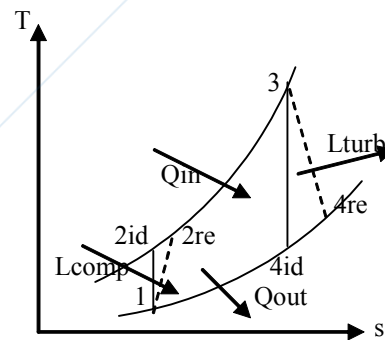
$$T_{4re}=T_3 - \Delta T_{34,re}$$

$$\eta_1 = (l_{Turb} - l_{Comp}) / q_{IN} = (c_p \Delta T_{34,re} - c_p \Delta T_{12,re}) / (c_p \Delta T_{23})$$

$$\eta_C = 1 - T_1/T_3 \quad (\text{di confronto calcolato tra le T estreme del ciclo})$$

$$\eta_2 = \eta_1 / \eta_C \quad \text{dice quanto si sfrutta le sorgenti di calore 1 e 3.}$$

Nel piano T-s si disegnano due isobare (ricordare $s=\log(T) + \text{cost}$), due isoentropiche, e le trasformazioni reali tratteggiate (l' entropia aumenta, in entrambe $T_{re}>T_{id}$)



3) Un condizionatore è azionato da un motore che assorbe 800 W di energia elettrica, ed è usato per mantenere un locale a $T_{loc}=24^\circ\text{C}$ mentre all'esterno si ha $T_{est}=32^\circ\text{C}$, l'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di $\Delta T_{ev}=18^\circ\text{C}$ per scambiare calore, il condensatore di $\Delta T_{cond}=22^\circ\text{C}$. L'efficienza è il 60% 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

L'evaporatore è quello che riceve calore all'interno del locale, permette di calcolare la T minima ciclo. Il condensatore è esterno, più caldo dell'ambiente permette di calcolare la T massima.

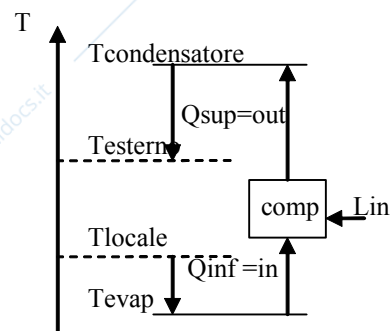
$$COP_{ideale} = T_{inf} / \Delta T \quad (\text{in Kelvin})$$

$$COP_{reale} = COP_{ideale} * \text{efficienza}$$

$$Q'_{IN} = L_{IN} * COP$$

$$Q'_{OUT} = Q'_{IN} + L_{IN}$$

Il diagramma delle temperature è riportato. Per lo schema del condizionatore fare riferimento al libro di testo (come quello di un frigorifero).



4) Un'automobile da competizione viaggia a 300 km/h. L'aria ambiente che entra nelle prese d'aria viene rallentata isoentropicamente fino alla velocità di 10 m/s: calcolare le condizioni a cui viene a trovarsi l'aria (T, P, densità).

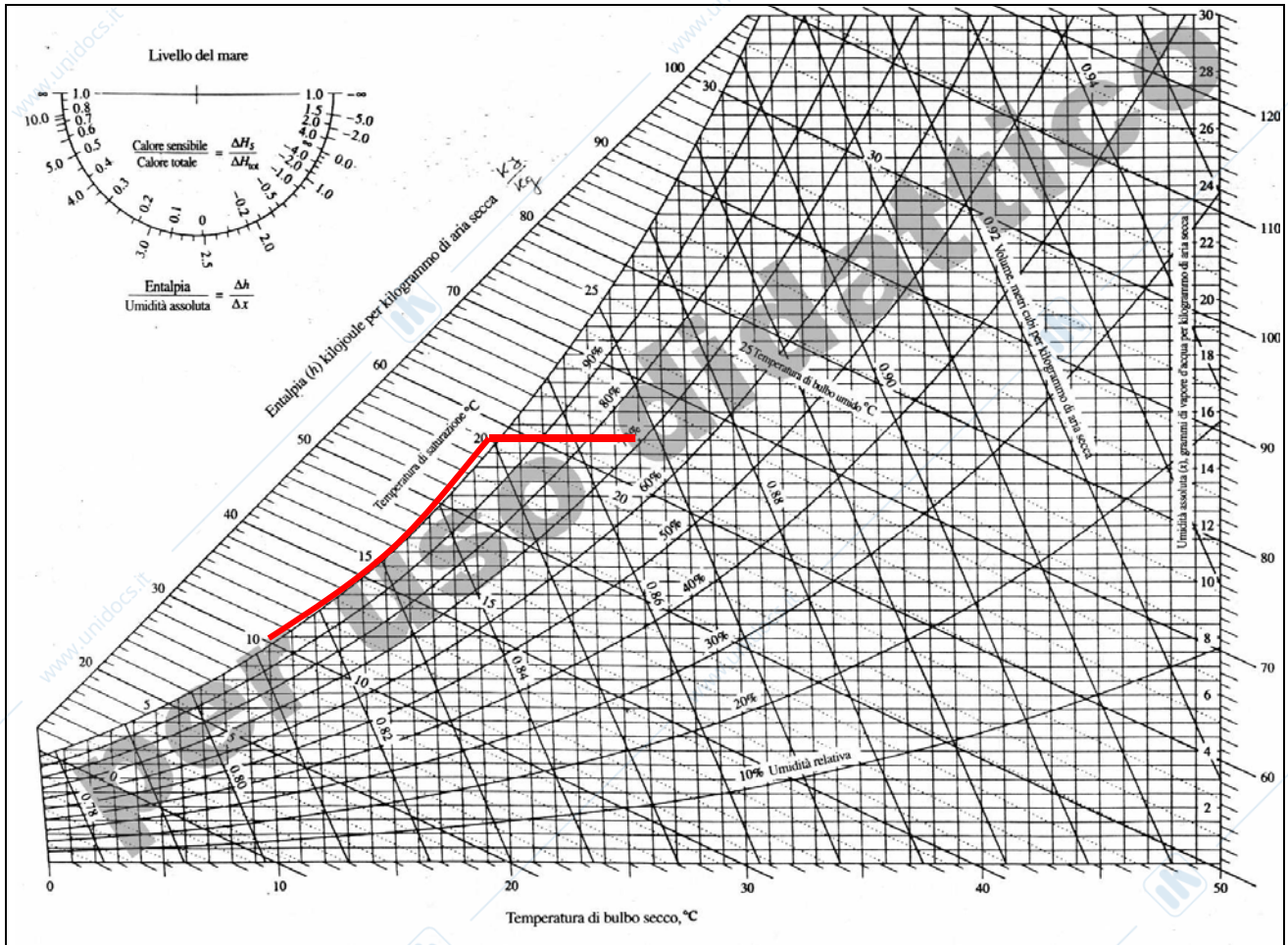
SOLUZIONE

La differenza di energia cinetica si trasforma in entalpia $(w_2^2 - w_1^2) / 2 = c_p \Delta T_{12}$

La compressione adiabatica isoentropica permette di trovare P_2 , con la legge dei gas perfetti ρ_2 .

Le tabelle del libro sono riferite a 1 atmosfera, quindi possono essere usate solo per la condizione 1.

5) Un condizionatore aspira aria dall'ambiente a $T_{in}=26^\circ\text{C}$ e $UR_{amb}=70\%$ e la riespelle a $T_{out}=10^\circ\text{C}$ e satura, sottraendo 2500 W di calore. Calcolare la portata di aria trattata all'ora (kg/h e m^3/h) e la quantità di condensa prodotta. **Riportare** il percorso della trasformazione nel diagramma psicrometrico allegato, specificare le ipotesi e/o semplificazioni adottate.



SOLUZIONE

L'aria segue il percorso indicato in rosso.

La differenza di titolo di vapore tra 1 e 2 condensa.

Il bilancio energetico riferito ad 1 kg di aria secca è

$$H_1' - |Q_{out}'| = H_2' + H_{condensa}' \quad \text{oppure}$$

$$m_{as}' h_1 - |Q'_{out}| = m_{as}' h_2 + m_{condensa}' h_{liq2}$$

$$h_1 - |q_{out}| = h_2 + x_{condensa} h_{2liq} \quad \text{oppure}$$

$$\text{dove } h_{liq2} = c_{p_acquaLiquida} * T_{condensa2};$$

la formula $Q' = m_{as}' |q_{out}'|$ fornisce la portata massica m' , poi quella volumetrica V' tramite $m' = \rho V'$ oppure $V' = v m'$. Il valore v_{as} ($v=1/\rho$) può essere letto dal grafico, o calcolato dall'equazione dei gas perfetti. Specificare se si fanno i conti per l'aria secca, o per aria umida (i valori risultano molto simili); per la portata volumetrica i valori cambiano anche se riferiti all'ingresso o all'uscita.

6) Una sfera di acciaio ($D=50\text{mm}$, $T_0=200^\circ\text{C}$, $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$, $\lambda = 60 \text{ W/m.K}$, $c_p 440 = \text{J/kg.K}$) è investita dall'aria alla velocità di 10 m/s. Calcolare dopo quanto tempo è maneggiabile. Per la convezione utilizzare la relazione $Nu = 2 + [0.40 Re^{1/2} + 0.060 Re^{2/3}] Pr^{2/5}$ ($Re < 10^5$)

SOLUZIONE

Si sceglie la temperatura dell'aria ambiente e quella per maneggiare la sfera (ovviamente maggiore di quella ambiente altrimenti non ci si arriverà mai). Si calcola la T di film, che è la media tra sfera e aria, calcolata al tempo zero o usando un valore medio tra inizio e fine $[(T_{sfera_iniziale} + T_{sfera_iniziale})/2 + T_{aria}]/2$.

Il calcolo di Re e Pr permette di calcolare Nu, da cui si ottiene h.

Si verifica che il numero di Biot sia $\ll 1$, quindi si può calcolare con il metodo a parametri concentrati. Si calcola il tempo caratteristico del sistema $\tau = \rho V c_p / (h A)$, e si risolve l'equazione $(T_{finale} - T_{aria}) / (T_{iniziale} - T_{aria}) = e^{-t/\tau}$.

7) Un condotto cilindrico ha diametro interno 2 cm e spessore 3 mm, è realizzato in acciaio, al suo interno scorre acqua a 60°C (coefficiente di convezione $h_{\text{interno}} = 600 \text{ W/m}^2\text{K}$); è isolato con 1 cm di schiuma isolante ($\lambda=0.03 \text{ w/m.K}$), e all'esterno c'è aria a 20°C ($h_{\text{esterno}} = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$). Determinare la quantità di calore dispersa per metro di tubo, la temperatura massima dell'isolante.

SOLUZIONE

Vedere tabella con valori numerici e disegno

8) Una focaccia ($D=40\text{cm}$, $T=20^\circ\text{C}$, $\varepsilon=0.8$) è messa a scaldare in un forno cubico ($T_{\text{pareti}} = 200^\circ\text{C}$, $L=50 \text{ cm}$, emissività=0.9). Scegliere una posizione per la focaccia, menzionare i modi di scambio termico presenti (considerare le scelte fatte), calcolare l'energia scambiata per irraggiamento

SOLUZIONE

Si sceglie se la focaccia sia appoggiata sul fondo del forno o su una piastra (1 faccia esposta a irraggiamento), o se sia su una griglia a mezza altezza (entrambe le facce esposte).

La trasmissione di calore avviene per conduzione e nei punti di appoggio (faccia inferiore, o solo punti di contatto della griglia), per convezione con l'aria nel forno, e per irraggiamento. Il fattore di vista focaccia→pareti è senza dubbio unitario, si può trascurare la superficie laterale della focaccia. I risultati sono calcolati per il caso di focaccia sospesa, nel caso di una sola superficie il flusso dimezza. Il risultato se calcolato nella direzione $Q'_{\text{focaccia} \rightarrow \text{pareti}}$ è negativo.

9) Ricavare il profilo di temperatura di un'aletta di lunghezza infinita immersa in un fluido.

Vedere dispense

10) Dimostrare come si ricava il raggio critico per un isolante cilindrico, e spiegarne il significato

Vedere dispense o libro di testo

MATRICOLA	VOTO	MATRICOLA	VOTO
653215	assente	677780	assente
656900	assente	677789	rit
659172	assente	678657	rit
661512	rit	700066	assente
662851	assente	700698	23
664037	assente	701076	18
668911	nc	701845	29
669301	24	702801	28
671898	24	703359	26
672016	assente	703410	29.6
676046	18.2	708343	assente
677010	assente	722924	assente
677224	assente	724715	assente
677234	assente	724952	assente
677399	12		
677605	26		
677668	assente		
677695	13		

Es	punti	tutto	R2
1	5	5	
2	5	5	
3	4	4	
4	3	3	
5	6	6	6
6	6	6	6
7	4	4	4
8	4		4
9	4		4
10	4		4
tot		33	28
	max	33	28
	corretto	34	34

1				
Tmin °C (3	50	Qin	3084.25	
Pmax bar, (150	L_nu	1261.26	
Tmax °C	500	eta1	40.9%	
P kPa		titolo	h	s
1	12.349	0	209.33	0.7038
2	15000	nd	224.35	
3	15000	0		
4	15000	1		
5	15000	nd	3308.6	6.3443
6	12.349	0.765	2032.3	6.3443
Vap	12.349	1	2592.1	8.0763

2			
	Temperature	P bar	
1 (°C, K)	15	288	1.01
2id (°C, K)	312.8	585.8	12.12
delT12id/re	297.8	350.3	
2re (°C, K)	365.3	638.3	12.12
3 (°C, K)	1100	1373	12.12
4id (°C, K)	402.0	675.0	1.01
delT34id/re	698.0	628.2	
4re (°C, K)	471.8	744.8	1.01
eta comp	0.85		
eta turb	0.90		
eta1	0.38		
etaCarn3-1	0.79		
eta2	0.48		

3	
T_esterno	32
T_locale	24
deltaT_ev	18
deltaT_conc	22
Tinf	279
Tsup	327
deltaT	48
Lin	800
COPid	5.81
COPre	3.49
Qinf	2790
Qsup	3590

4	
W km/h	300
w1 m/s	83.33
w2 m/s	10
deltaT	3.405196
Cp	1005
T1 °C	15
T1 K	288
T2	291.4052
P1	1.01325
P2	1.056
ro2	1.264

5			
	inizio	fine	Liq
T	26	10	15
UR	70%	100%	
Psat	3384.4	1227.6	
Pvap	2369.1	1227.6	
Pair	98955	100096	
ro as	1.154	1.234	
x	0.0149	0.0076	0.0073
h	64.1	29.3	0.4558
Q'	kW	2.50	
q	kJ/kg	-34.4	
m'	kg/s	0.073	
m'	kg/h	262	
m' liq	g/s	0.53	
m' liq	kg/h	1.90	
v	m3/kg	0.83	
V'	m3/h	217	

6	
w m/s	10.0
Taria_ipot	20
To	200
Tfilm	67.5
ro	1.009
lambda	0.0297
mu	2.08E-05
D	0.05
Re	24255
Pr	0.712
Nu	100.4
h	59.6
lambda acc	60
ro acc	7800
Cp acc	440
Biot	0.0083
tau (=1/b)	479.5
Tfine_ipot	30
tempo s	1386
tempo min	23.1

8	
1 o 2	2
A1	0.2512
eps1	0.8
T1	293
A2	1.5
eps2	0.9
T2	473
F12	1
Q'12	-479.2

7						
	raggio m	h W/m2K	lambda	R un metro	deltaT °C	T °C
conv_int	0.01	600		0.027	0.2832417	60
tubo acc	0.013		60	0.001	0.0074312	59.72
isolante	0.023		0.03	3.028	32.320414	59.71
conv-est	0.023	10		0.692	7.3889128	27.4
R_tot				3.748	40.0	20.0
flux W/m				10.67		

