

E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole termodinamiche, un -formulario (1 pagina A4)
Disponibili: tabelle acqua e vapore

Consegnare: ☐ foglio dati + testo ☐ foglio grafici, ☐ svolgimento, ☐ formulario.
Segnare il Cognome+Nome su OGNI foglio consegnato.

Specificare le ipotesi, convenzioni, semplificazioni adottate.

I risultati privi di sufficiente svolgimento/spiegazione non sono ritenuti validi.

1) Sono date le temperature minima e massima e la pressione massima 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 nei punti necessari ed il rendimento del ciclo secondo i due principi della termodinamica. Calcolare quale rendimento dovrebbe avere la turbina affinché alla sua uscita si abbia vapore saturo.

2) Una pompa di calore, azionata da un motore elettrico che assorbe 600 W di energia elettrica, è usata per scaldare un locale avente T_{loc} _____ °C mentre all'esterno si ha T_{est} _____ °C, l'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di ΔT_{ev} _____ °C per scambiare calore, il condensatore di ΔT_{cond} _____ °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 reale ed i flussi di calore. Disegnare uno o più schemi della macchina per spiegarne il funzionamento.

3) Una massa d'aria ambiente viene compressa fino alla pressione P_2 = _____ bar relativi, secondo una trasformazione politropica. Sapendo che l'innalzamento di temperatura è _____ % di quello che si avrebbe in una compressione isoentropica, calcolare le condizioni finali dell'aria (T , ρ), l'esponente della politropica, gli scambi energetici per kg di aria. Disegnare il grafico che rappresenta la trasformazione su un grafico T-s.

4) L'aria che esce da un condizionatore (temperatura T_1 = _____ °C, satura) si mescola con l'aria presente nell'ambiente (T_2 = _____ °C e UR_2 = _____ %) in parti che si ipotizzano uguali. Calcolare le condizioni della miscela (T_m , UR_m , $Trugiada_m$) Riportare i punti che descrivono le varie condizioni (1, 2, miscela, Tr_m) sul diagramma psicrometrico allegato. Dire se vi sarà o no condensazione.

5) Un flusso di aria compressa percorre un tubo ($D_{interno}$ = _____ cm) lungo vari metri, entrandovi alle condizioni T_1 = _____ °C, P_1 = 3 bar relativi, w_1 = _____ m/s, ed uscendo a T_2 = -18°C, w_2 = 323 m/s. Calcolare le condizioni di uscita, se e quanto vi sia stato scambio di calore, la variazione di entropia del gas.

6) Teoria1: vedi foglio dati

7) Teoria2: vedi foglio dati

Nota sugli esercizi di teoria: occorre svolgerne almeno uno in maniera perfetta, o due accettabili

Cognome e nome

Matricola

Prof. L. Araneo. Prova di Fisica Tecnica del 26 Aprile 2012. Lecco, IPI 7 Cr
codice esame 2223 232 1022

DATI		TOTALE		34
Esercizio 1		Punti	Voto	
Tmin °C	50	valori	3	
Pmax bar	175	grafico	1	
Tmax °C	550	eta1	1	
		eta2, etaT	1	

Esercizio 2		Punti	Voto	
T_locale	24	flussi	2	
T_esterno	8	grafici	3	
deltaT_ev	6			
deltaT_con	14			

Esercizio 3		Punti	Voto	
P2 rel bar	8	condizioni	1	
deltaT (id)	60%	n	1	
		scambi	1	
		grafico	1	

Esercizio 4		Punti	Voto	
T1 °C	12.5	valori	3	
T2 °C	35	grafico	2	
UR2	60%			

Esercizio 5		Punti	Voto	
Dint cm	2.5	cond 2	3	
T1°C	20	Q'in	1	
w1	100	deltaS'	1	

Esercizio 6		Punti	Voto	
Ricavare l'espressione del rendimento per un ciclo Otto ideale		ipotesi	2	
		dimostrazioni	2	

Esercizio 7		Punti	Voto	
Partendo dall'espressione della variazione di entropia per un gas perfetto ricavare l'espressione dell'adiabatica reversibile		ipotesi	2	
		dimostrazioni	2	

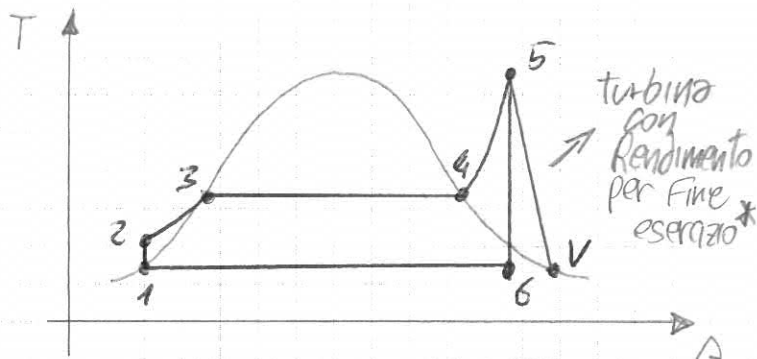
		Punti	Voto	
formulario, ordine generale		1		

Esercizio 1

$$T_{\min} = 50^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} = 550^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\max} = 175 \text{ bar} = 17,5 \text{ MPa}$$



	$T [^{\circ}\text{C}]$	$p [\text{kPa}]$	$h [\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}]$	$\Delta [\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}]$	x
1	50	12,349	209,33	0,7038	0
2	50	17500	227,03	0,7038	<0
3	354,715	17500	1711,15	3,8397	0
4	354,715	17500	2528,15	5,14105	1
5	550	17500	3421,4	6,4230	>1
6	50	12,349	2058,36	6,4230	0,776

Punto 1 \rightarrow vedi tabella in temperatura acqua satura 50°C

Punto 2 $\rightarrow T_2 \approx T_1 \quad h_2 = h_1 + v_1 (p_2 - p_1) \quad v_{1,50^{\circ}\text{C}} = 0,001012 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
 $\Delta_2 = \Delta_1 = 209,33 + 0,001012 (17500 - 12,349) = 227,03 \text{ kJ/kg}$

Punto 3 \rightarrow vedi tabella in pressione acqua satura $17,5 \text{ MPa}$
 (facendo la media tra 17 e 18 MPa)

Punto 4 \rightarrow vedi tabella in pressione acqua satura $17,5 \text{ MPa}$

Punto 5 \rightarrow vedi tabella vapore surriscaldato

Punto 6 $\rightarrow \Delta_6 = \Delta_5$

$$x_6 = \frac{\Delta_6 - \Delta_1}{\Delta_6 - \Delta_1}$$

$\Delta v \rightarrow$ entropia vapore saturo a 50°C (da tabella)
 $\Delta v = 8,0763 \text{ kJ/kgK}$

$$x_6 = \frac{6,4230 - 0,7038}{8,0763 - 0,7038} = 0,776$$

$$h_6 = (1 - x_6)h_l + x_6h_v$$

$h_l, h_v \rightarrow$ a 50°C da tabella

$$h_6 = (1 - 0,776) \cdot 209,33 + 0,776 \cdot 2592,1$$

$$h_6 = 2058,36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_I = \frac{(h_5 - h_6) - (h_2 - h_1)}{(h_5 - h_2)}$$

$$\eta_I = \frac{(3421,4 - 2058,36) - (227,03 - 209,33)}{(3421,4 - 227,03)} = 42,1\%$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{\text{inf}}}{T_{\text{sup}}} = 1 - \frac{323}{823} = 60,75\%$$

$$\eta_{II} = \frac{\eta_I}{\eta_c} = \frac{42,1}{60,75} = 69,3\%$$

$$\eta_{\text{turbina}} = \frac{\Delta h_{\text{re}}}{\Delta h_{\text{id}}} = \frac{829,3}{1363,04} = 60,8\% \quad * \text{Vedi disegno}$$

$$\Delta h_{\text{ideale}} = h_5 - h_6 = 1363,04 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h_{\text{reale}} = h_5 - h_v = 3421,4 - 2592,1 = 829,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

\downarrow
dalla tabella
vapore saturo a 50°C

Esercizio 2

Pompa di calore

$$\dot{L}_{ne} = 600 \text{ W}$$

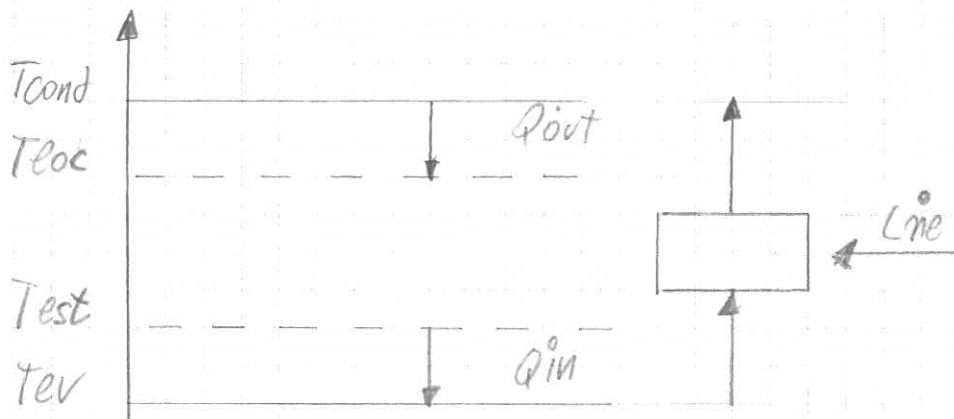
$$T_{loc} = 24^\circ \text{C} = 297 \text{ K}$$

$$T_{est} = 8^\circ \text{C} = 281 \text{ K}$$

$$\Delta T_{ev} = 6^\circ \text{C} \rightarrow T_{ev} = 275 \text{ K}$$

$$\Delta T_{cond} = 14^\circ \text{C} \rightarrow T_{cond} = 311 \text{ K}$$

$$COP_{re} = 0,55 \text{ COP}_{ideale}$$

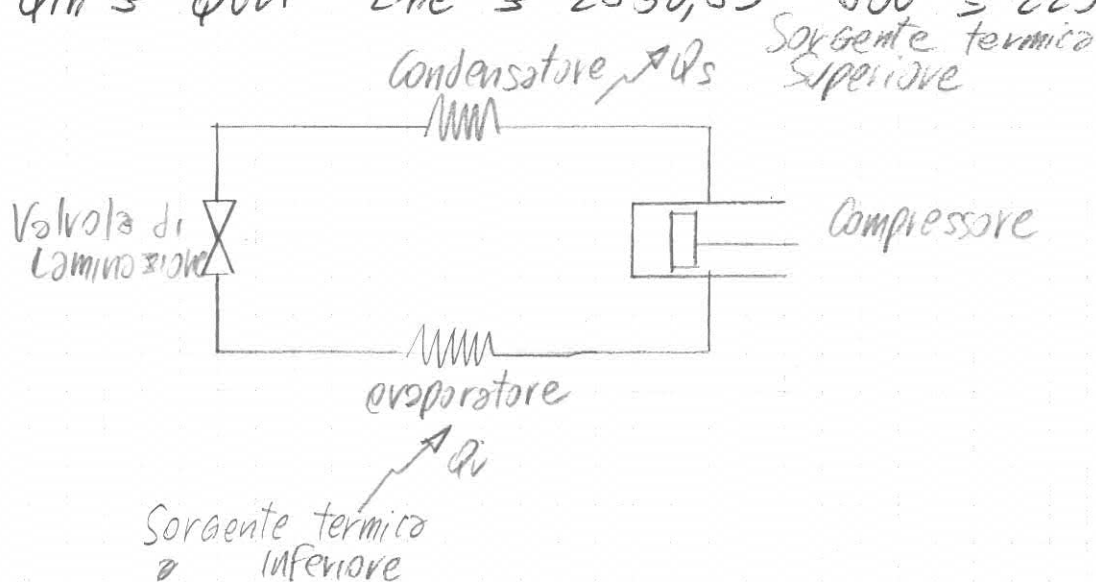


$$COP_{pdc \text{ ideale}} = \frac{1}{1 - \frac{T_{inf}}{T_{sup}}} = \frac{1}{1 - \frac{T_{ev}}{T_{cond}}} = \frac{1}{1 - \frac{275}{311}} = 8,64$$

$$COP_{pdc \text{ re}} = 0,55 \cdot 8,64 = 4,75$$

$$\frac{Q_{out}}{COP_{pdc \text{ re}}} = L_{ne} \rightarrow Q_{out} = COP_{pdc \text{ re}} \cdot L_{ne} = 2850,83 \text{ W}$$

$$Q_{in} = Q_{out} - L_{ne} = 2850,83 - 600 = 2250,83 \text{ W}$$



Esercizio 4

	$T [^{\circ}\text{C}]$	$m_{A.S.} [\text{kg}]$	φ (um. rel.)	$P_{\text{sat}} (\text{Pa})$	$P_{\text{vap}} (\text{Pa})$	$x \left[\frac{\text{kg v.a.p.}}{\text{kg a.s.}} \right]$	$h \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$
1	12,5	1	1	1466,35	1466,35	0,00913	35,6
2	35	1	0,6	5628	3376,8	0,0214	90,066
Miscela	23,78°	2	0,82	2966,48	2432,56	0,0153	62,833

$P_{\text{sat}}(1) \rightarrow$ dalle tabelle in temperatura (interpolo tra 10 e 15°)

$$P_{\text{sat}}(12^{\circ}\text{C}) = P_{\text{sat}}(10^{\circ}) + \frac{P_{\text{sat}}(15^{\circ}) - P_{\text{sat}}(10^{\circ})}{2,5} \cdot 2,5$$

$$P_{\text{sat}}(12^{\circ}\text{C}) = 1227,6 + \frac{1705,1 - 1227,6}{5} \cdot 2,5 = 1466,35$$

$$P_{\text{sat}}(35^{\circ}\text{C}) = \text{dalle tabelle} = 5628 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{vap}} = \varphi \cdot P_{\text{sat}}$$

$$P_{\text{vap}1} = 1 \cdot 1466,35 = 1466,35 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{vap}2} = 0,6 \cdot 5628 = 3376,8 \text{ Pa}$$

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{P_{\text{vap}1}}{P_{\text{tot}} - P_{\text{vap}1}} = 0,622 \cdot \frac{1466,35}{101325 - 1466,35} = 0,00913$$

$$P_t = 101325 \text{ Pa}$$

$$x_2 = 0,622 \cdot \frac{3376,8}{101325 - 3376,8} = 0,0214$$

$$h_{a.v.} = c_p T + x (2501,3 + 1,82 T)$$

$$h_1 = 1,005 \cdot 12,5 + 0,00913 \cdot (2501,3 + 1,82 \cdot 12,5) = 35,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 1,005 \cdot 35 + 0,0214 (2501,3 + 1,82 \cdot 35) = 90,066 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$x_m = \frac{m_{A.S.1} x_1 + m_{A.S.2} x_2}{m_{A.S.1} + m_{A.S.2}} = \frac{0,00913 + 0,0214}{2} = 0,0153$$

$$h_m = \frac{m_{A.S.1} h_1 + m_{A.S.2} h_2}{m_{A.S.1} + m_{A.S.2}} = \frac{35,6 + 90,066}{2} = 62,833 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

* Continuazione altro foglio

* Continuazione

$$T_M = \frac{R_M - X_M \cdot 2501,3}{C_P + 1,82 X_M} = \frac{62,833 - 0,0153 \cdot 2501,3}{1,005 + 1,82 \cdot 0,0153} = 23,78^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{sat}}(23,78^\circ\text{C}) = P_{\text{sat}}(20^\circ\text{C}) + \frac{P_{\text{sat}}(25^\circ\text{C}) - P_{\text{sat}}(20^\circ\text{C})}{5} \cdot 3,78$$

$$P_{\text{sat}}(23,78) = 2339 + \frac{3169 - 2339}{5} \cdot 3,78 = 2866,48 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{prop M}} = \frac{P_t \cdot X_M}{0,622 + X_M} = \frac{101325 \cdot 0,0153}{0,622 + 0,0153} = 2432,56 \text{ Pa}$$

$$\varphi_M = \frac{P_{\text{prop M}}}{P_{\text{sat M}}} = \frac{2432,56}{2866,48} = 0,82$$

Trugiada miscela $\rightarrow T_{\text{sat}}@P_{\text{prop M}} \rightarrow$ temperatura di saturazione
alla pressione del vapore
nella miscela

$$P_{\text{prop M}} = 2,432 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{MG}} = T_{2 \text{ kPa}} + \frac{T_{2,5 \text{ kPa}} - T_{2 \text{ kPa}}}{0,5} \cdot 0,432$$

$$= 17,50 + \frac{21,08 - 17,50}{0,5} \cdot 0,432 = 20,58^\circ\text{C}$$

- essendo la temperatura della miscela maggiore di quella di rugiada non c'è condensazione

Esercizio 5

$$D = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

Area

$$T_1 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = 255 \text{ K}$$

$$p_1 = 4,01 \text{ bar abs.}$$

$$p_2 = ?$$

$$W_1 = 100 \text{ m/s}$$

$$W_2 = 323 \text{ m/s}$$

$$Q_{in} = ?$$

$$\Delta s_{gas} = ?$$

Hip: gas perfetto

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$$

applico il 1° primo principio della termodinamica per sistemi aperti

$$Q_{in} + \dot{L}_{in} = \dot{m} (\Delta h + \Delta ec + \Delta p) \quad \text{trascurabile}$$

$$Q_{in} = \dot{m} \left[c_p (T_2 - T_1) + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2} \right]$$

$$\dot{m} = \frac{A_1 W_1}{v_1} = \frac{\pi \cdot 0,025^2 \cdot 100 \cdot 28,9 \cdot 4,01 \cdot 10^5}{4 \cdot 8314 \cdot 293} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{K} \cdot \text{N}}{\text{s} \cdot \text{J} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2} \right]$$

$$p_1 v_1 = R T_1$$

$$v_1 = \frac{R T_1}{p_1}$$

$$\dot{m} = 0,234 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_{in} = 0,234 \left[\frac{7}{2} \cdot \frac{8314}{28,9} (255 - 293) + \frac{323^2 - 100^2}{2} \right]$$

$$\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K} + \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) \right] = [\text{W}]$$

$$Q_{in} = 2083,26 \text{ W} = 2,083 \text{ kW}$$

Condizioni all'uscita

$$p_2 v_2 = R T_2$$

$$\frac{A_1 W_1}{v_1} = \frac{A_2 W_2}{v_2}$$

$$v_2 = \frac{W_2}{W_1} \cdot v_1 = \frac{323}{100} \cdot \frac{8314 \cdot 293}{28,9 \cdot 4,01 \cdot 10^5} = 0,679 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$p_2 = \frac{R T_2}{v_2} = \frac{8314 \cdot 255}{28,9 \cdot 0,679} = 108039,5 \text{ Pa} = 1,08 \text{ bar}$$

$$\Delta S = C_V \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{8314 \cdot 293}{28,9 \cdot 4,01 \cdot 10^5} = 0,21 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Delta S = \frac{5}{2} \cdot \frac{8314}{28,9} \cdot \ln \left(\frac{255}{293} \right) + \frac{8314}{28,9} \cdot \ln \left(\frac{0,678}{0,21} \right)$$

$$\Delta S = 237,698 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta S = m \Delta S = 55,62 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Esercizio 7

Hp: gas perfetto

$$\Delta S = C_V \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right) \quad (1)$$

$$\Delta S = C_P \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \quad (2)$$

Adiabatica reversibile \rightarrow Isoentropica $\Delta S = 0$

$$(1) \quad C_V \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right) = 0$$

$$C_V \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = -R \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

$$\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = -\frac{R}{C_V} \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

$$\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{-R/C_V} = \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{R/C_V}$$

$$\boxed{\left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{R/C_V}}$$

$$(2) \quad C_P \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) = 0$$

$$C_P \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

$$\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{R}{C_P} \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

$$\boxed{\left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{R/C_P}}$$

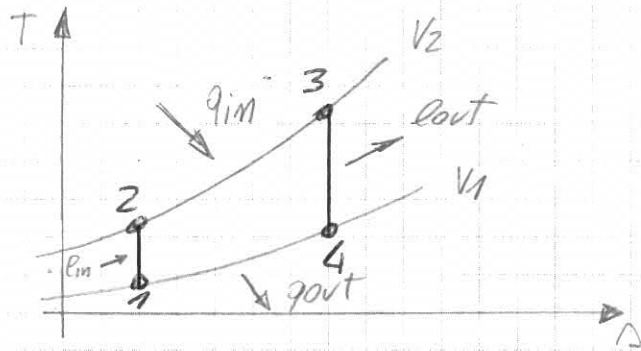
$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\kappa_{cp}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{R/cv}$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{R \cdot \gamma}{R}}$$

$$\rightarrow \left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{cp}{cv}} = K$$

Esercizio 6

Ciclo Otto



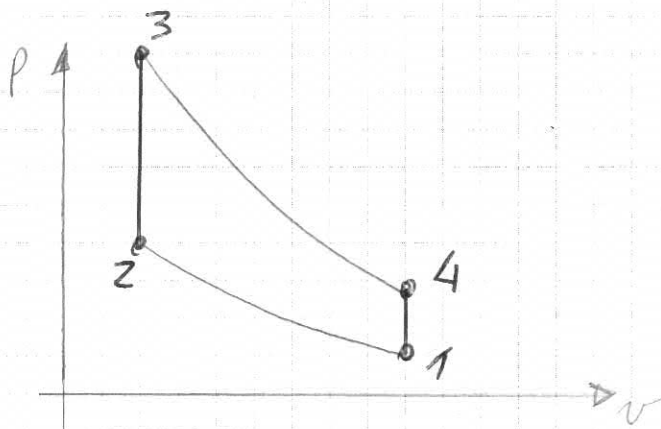
$$\eta_I = \frac{l_m}{q_{in}} = \frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}}$$

Hp: gas perfetto

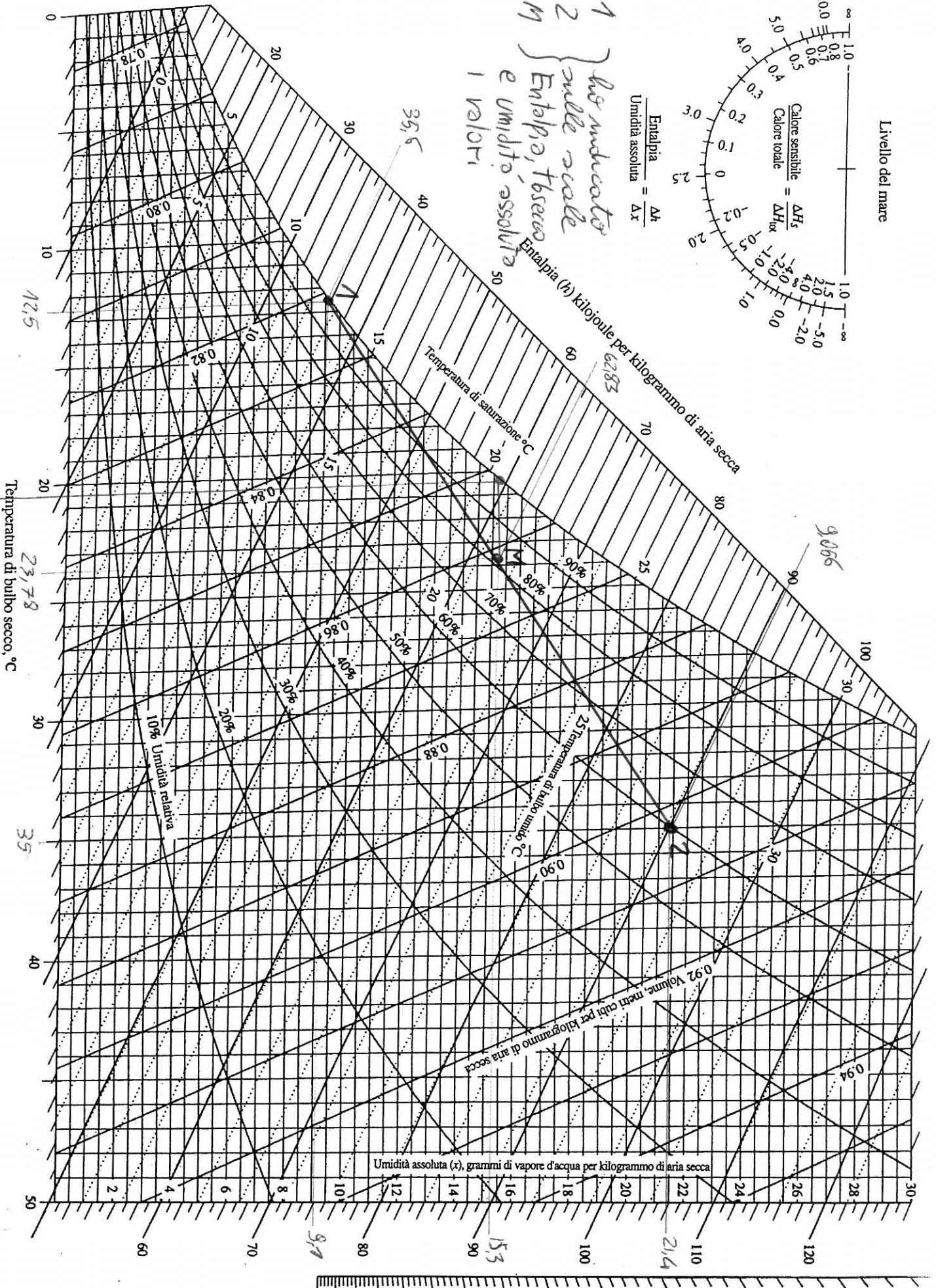
$$q_{in} = q_{23} = u_3 - u_2 = cv(T_3 - T_2)$$

$$q_{out} = -q_{41} = u_4 - u_1 = cv(T_4 - T_1)$$

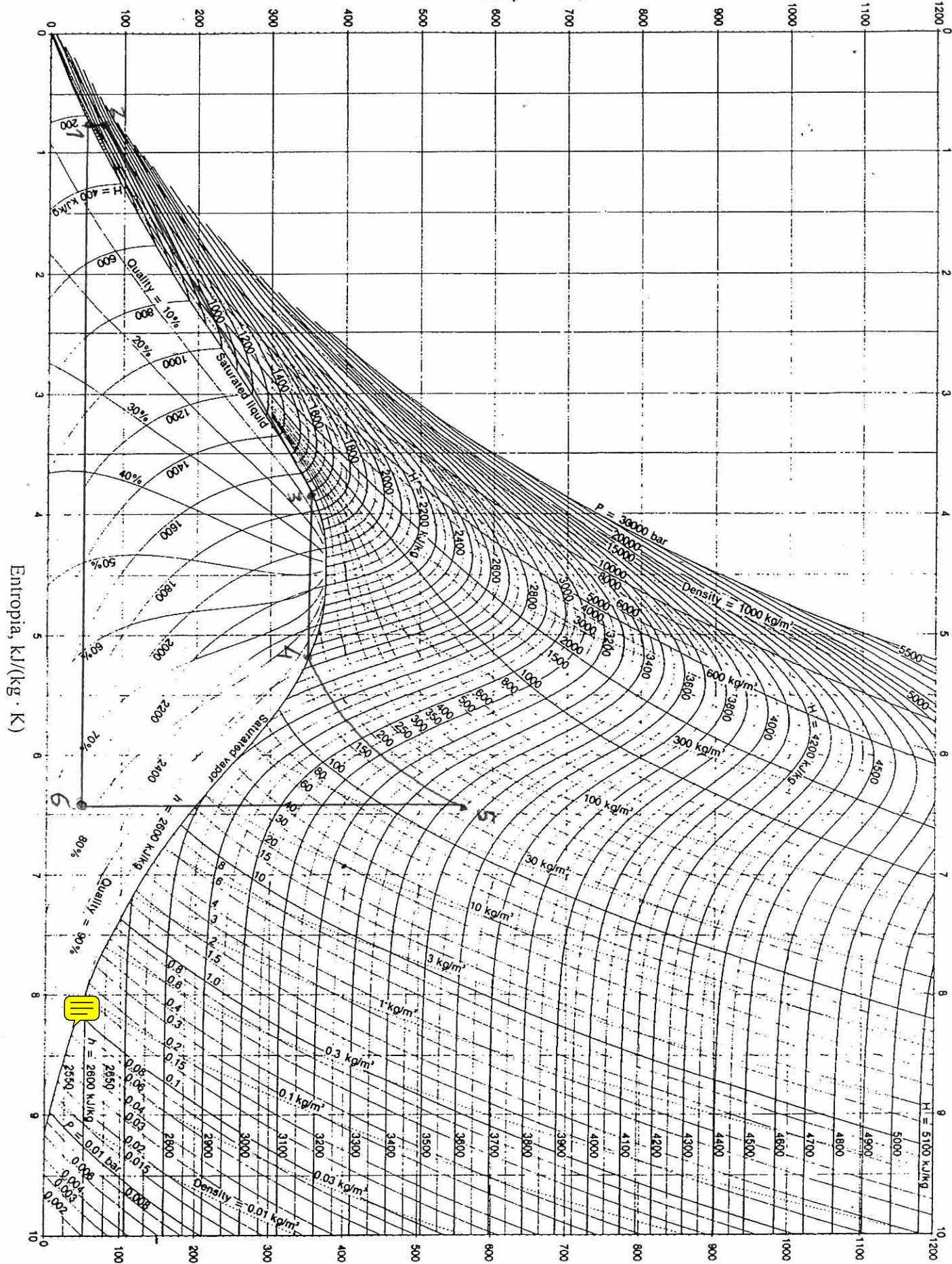
$$\eta_I = \frac{cv(T_3 - T_2) - cv(T_4 - T_1)}{cv(T_3 - T_2)} = \frac{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$$



Punto 1 } \rightarrow indicator
Punto 2 } scale scale
Punto 3 } Entropy, Temperature
e umidità assoluta
e velocità



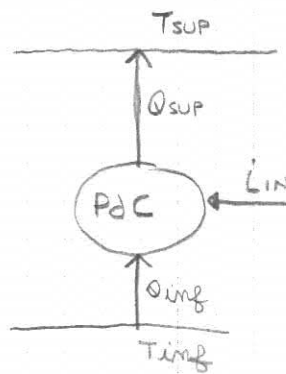
Temperatura, °C



Se dalla turbina esce vapore saturo $\Rightarrow X_6 = 1$

$$h_{6(2)} = 2583,2 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{TURB}} = \frac{L_{\text{OUT}}}{Q_{\text{IN}}} = \frac{\Delta h_{56(2)}}{\Delta h_{25}} = 0,233$$



ES. 2) Pompa di calore

$$\dot{L}_{\text{IN}} = 600 \text{ W}$$

$$T_{\text{LOC}} = 21^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{EXT}} = 10^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{EV}} = 8^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{COND}} = 23^\circ\text{C}$$

$$\text{COP}_{\text{re}} = 0,55 \text{ COP}_{\text{id}}$$

$$\text{COP}_{\text{re}} = ?$$

$$\text{flussi calore} = ?$$

$$T_{\text{INF}} = T_{\text{EXT}} - \Delta T_{\text{EV}} = 2^\circ\text{C} = 275 \text{ K}$$

$$T_{\text{SUP}} = T_{\text{LOC}} + \Delta T_{\text{COND}} = 44^\circ\text{C} = 317 \text{ K}$$

$$\text{COP}_{\text{id}} = \frac{T_{\text{SUP}}}{T_{\text{SUP}} - T_{\text{INF}}} = 7,55$$

$$\text{COP}_{\text{reale}} = 0,55 \text{ COP}_{\text{id}} = 4,1525$$

$$\dot{Q}_{\text{SUP}} = \dot{L}_{\text{IN}} \cdot \text{COP}_{\text{reale}} = 2491,5 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{INF}} = \dot{Q}_{\text{SUP}} - \dot{L}_{\text{IN}} = 1891,5 \text{ W}$$

ES. 3) Cond iniziali: $T_1 = T_{\text{AMB}} = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$
 $P_1 = P_{\text{AMB}} = 101325 \text{ Pa}$

aria (gas ideale)

trasf. politropica

$$\Delta T_{\text{re}} = 0,7 \Delta T_{\text{id}}$$

Cond. finali: $P_2 = 7 \text{ bar rel} = 7 \cdot 10^5 + 101325 = 801325 \text{ Pa}$

Se trasf. e' isentropica: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{R/C_p}$

dove $C_{p,\text{aria}} = 1005 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

$R/C_p = 0,286$

$$\kappa_{\text{aria}} = \frac{8314}{28,97} = 286,99$$

$C_{v,\text{aria}} = 718,01$

$$\Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{R/C_p} = 529,3 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{id}} = 529,3 - 293 = 236,3 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{re}} = 0,7 \Delta T_{\text{id}} = 165,41 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{re}} = T_{2\text{re}} - T_1 \Rightarrow T_{2\text{re}} = 458,41 \text{ K}$$

$$P_1 v_1 = RT_1 \Rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = 0,83 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$0,832$$

$$P_2 v_2 = RT_2 \Rightarrow v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = 0,16 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$0,164$$

politropica: $P v^\kappa = \text{cost} \Rightarrow P_1 v_1^\kappa = P_2 v_2^\kappa \Rightarrow \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa = \frac{P_2}{P_1} \quad \kappa = 1,256 \quad 1,276$

$$\Delta U = C_v \Delta T = 118766,0341 \text{ J/kg}$$

$$\Delta h = C_p \Delta T = 166237,05 \text{ J/kg}$$

$$\Delta s = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$C = \int p dv$$

