

Prof. L. Araneo. Fisica Tecnica e Macchine 8 Cr. Prova del 6 luglio 2020, on line ore 11.30  
 E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole e tabelle acqua, un -formulario (1 pagina A4 F/R)  
 Non sono consentiti: libri, esercizi svolti.

Usare preferibilmente un foglio A4 per ciascun esercizio

Riportare sull'intestazione di ogni foglio inviato Cognome e codice persona

Riportare i dati variabili utilizzati, individuati in base al codice persona (vedi sotto)

Specificare sempre: Tutte le **ipotesi**, **convenzioni**, **semplificazioni** adottate (25% del punteggio).

Tracciare sempre i **grafici** o **schemi** utili alla comprensione (25% del punteggio).

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

Tempo a disposizione **3 ore** (sono indicati i punteggi indicativi)

	Tr. calore			TermoD+Macc					
Es	1	2	3	4	5	6	7	ordine	$\Sigma$
Punti	6	4	4	5	5	4	3	max 1	32

codice persona	x	x	x	x	x	x	x	<b>M</b>	<b>N</b>
----------------	---	---	---	---	---	---	---	----------	----------

Le ultime due cifre M ed N del codice persona di ciascun candidato sono usate negli esercizi per determinare i dati.

1) Un tubo in rame ha il diametro interno  $D_i=10+M$  mm e spessore 1 mm. Trasporta acqua calda a  $60^\circ\text{C}$ , con coefficiente di convezione interno molto elevato. E' rivestito con uno spessore di  $10+N$  mm di materiale isolante ( $\rho=30 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_p=1800 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ,  $\lambda=0.05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ), e all'esterno è investito dal vento a  $20+M+N \text{ km/h}$  e  $10^\circ\text{C}$ . Determinare la potenza termica dispersa per metro di tubo e le temperature alle varie interfacce. (tabella aria a fine testo)

Intervallo Re	$Nu_{cilindro} =$
$0.4 \div 4$	$0.989 Re^{0.330} Pr^{1/3}$
$4 \div 40$	$0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$
$40 \div 4'000$	$0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$
$4'000 \div 40'000$	$0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$
$40'000 \div 400'000$	$0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$

sostanza a 300K	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$k$ ( $\lambda$ ) ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ )	$c_p$ ( $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ )		sostanza a 300K	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$k$ ( $\lambda$ ) ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ )	$c_p$ ( $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ )
Acciaio inox	7500-8000	14-18	477		Mattone	1600	0.7	840
Acciaio	7850	50-60	440		Sabbia	1500	0.3	800
Alluminio puro	2702	236	902		Vetro da finestra	2700	0.84	800
Alluminio lega	2900	200	875		Polipropilene	920	0.22	
Ferro puro	7870	83	440		Polistirene esp.	50	0.025	
Rame	8930	400	385					

2) Una lastra avente dimensioni cm  $100 \times 200 \times 10+M$ , (calore specifico  $2.1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ , conducibilità termica  $0.7 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , densità  $1.2 \text{ kg/dm}^3$ ) si scalda per reazioni chimiche interne, ed è raffreddata dall'aria ambiente. Sono note a regime la temperatura dell'aria  $20^\circ\text{C}$ , la temperatura misurata alla superficie della piastra  $40+N$   $^\circ\text{C}$ , la temperatura misurata al centro  $70+M+N$   $^\circ\text{C}$ . Disegnare qualitativamente il profilo di temperatura, determinare i valori della potenza generata internamente e del coefficiente di convezione.

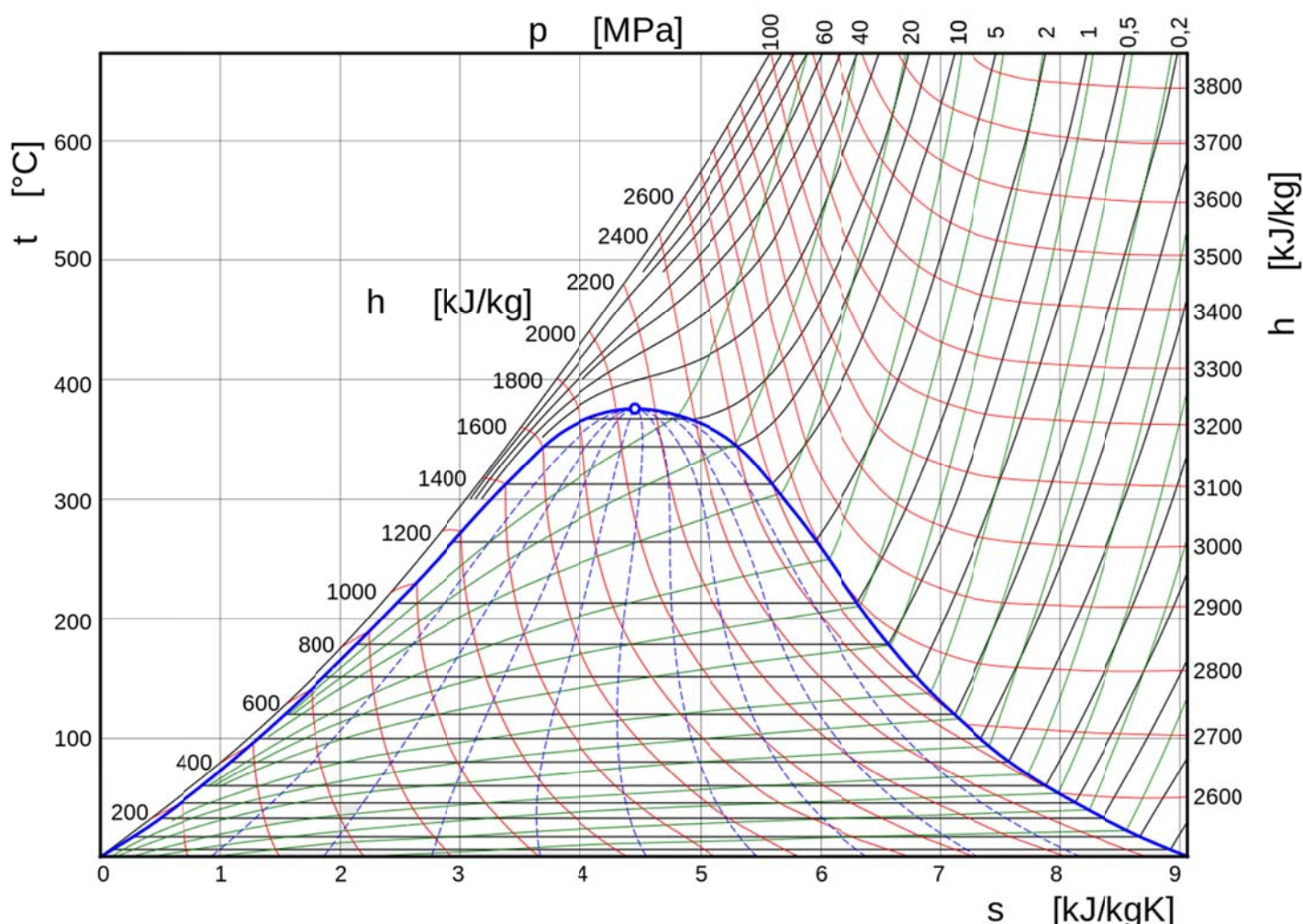
3) Un tubo in acciaio con sezione quadrata è mantenuto ad una estremità alla temperatura di  $200^\circ\text{C}$ . Determinare quanto debba essere lungo per arrivare all'altra estremità a temperatura simile a quella ambiente, la potenza termica dissipata in tale caso. Dati: lato esterno  $20+M$  mm, spessore 2 mm, coefficiente convettivo  $10+N \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

4) Sono date le  $T_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$  e  $T_{\max} = (420+20 \cdot M)^{\circ}\text{C}$  e la pressione massima  $(110+10 \cdot N)$  bar di un ciclo Rankine a vapore d'acqua, con pompa e turbina **isoentropiche**. Disegnare il ciclo nel diagramma T-s (a mano+foto se stampato preventivamente, o in quello allegato). Calcolare i valori delle grandezze nei punti necessari ed i rendimenti del ciclo secondo i due principi della termodinamica.

5) Un compressore azionato da un motore elettrico preleva aria ambiente e la comprime fino alla pressione di  $1+0.1M$  bar relativi con rendimento 85%. L'aria viene poi scaldata di ulteriori  $200+10N^{\circ}\text{C}$  tramite delle resistenze elettriche, quindi fatta espandere in un ugello isoentropico. Sapendo che il consumo di energia elettrica è di 25 kW, determinare la portata di aria compressa, la velocità massima raggiunta. Disegnare il grafico della trasformazione calcolando i valori necessari. Specificare le ipotesi e approssimazioni utilizzate

6) Un motore opera secondo il ciclo Otto utilizzando come fluido di lavoro aria inizialmente a  $T=50+2M^{\circ}\text{C}$ ,  $P= -0.4$  bar relativi. Dati il rapporto di compressione volumetrico 11, la quantità di calore ricevuta dal fluido pari a  $1000+100N$  kJ/kg, calcolare i rendimenti del ciclo di 1° e 2° principio. Disegnare il grafico delle trasformazioni calcolando i valori necessari.

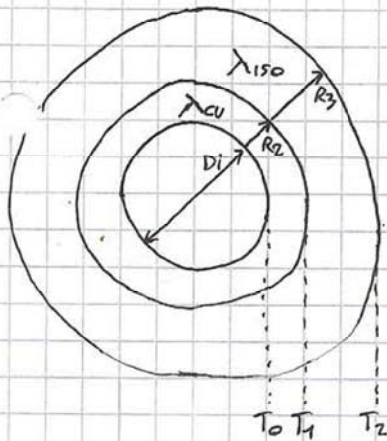
7) Una pompa di calore è usata per fornire  $1+M/5$  kW di potenza termica ad una stanza a  $20+N/2^{\circ}\text{C}$  mentre all'esterno si hanno  $8^{\circ}\text{C}$ . L'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di  $10+M^{\circ}\text{C}$  per scambiare calore, il condensatore di  $20+N^{\circ}\text{C}$ . 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 reale ed i suoi scambi energetici. Disegnare uno o più schemi della macchina per spiegarne il funzionamento



DITEC	PROPRIETÀ TERMOFISICHE DELL'ARIA (p = 1 bar)	TAB. 10
-------	----------------------------------------------	---------

t	Temperatura		$\beta$ Coefficiente volumetrico di dilatazione termica, $\beta=(1/v)(\delta v/\delta T)_p$					
$\rho$	Densità		k Conducibilità termica					
$c_p$	Calore specifico a p=cost		$\mu$ Viscosità dinamica					
			$\nu$ Viscosità cinematica					
			a Diffusività termica					
			Pr Numero di Prandtl					
t °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ kJ/kg K	$\beta \times 10^3$ 1/K	$k \times 10^3$ W/mK	$\mu \times 10^6$ kg/sm	$\nu \times 10^7$ m <sup>2</sup> /s	$a \times 10^7$ m <sup>2</sup> /s	Pr
-200	5.106	1.186	17.24	6.886	4.997	9.786	11.37	0.8606
-180	3.851	1.071	11.83	8.775	6.623	17.20	21.27	0.8086
-160	3.126	1.036	9.293	10.64	7.994	25.58	32.86	0.7784
-140	2.639	1.010	7.726	12.47	9.294	35.22	46.77	0.7530
-120	2.287	1.014	6.657	14.26	10.55	46.14	61.50	0.7502
-100	2.019	1.011	5.852	16.02	11.77	58.29	78.51	0.7423
-80	1.807	1.009	5.227	17.74	12.94	71.59	97.30	0.7357
-60	1.636	1.007	4.725	19.41	14.07	85.98	117.8	0.7301
-40	1.495	1.007	4.313	21.04	15.16	101.4	139.7	0.7258
-30	1.433	1.007	4.133	21.84	15.70	109.5	151.3	0.7236
-20	1.377	1.007	3.968	22.63	16.22	117.8	163.3	0.7215
-10	1.324	1.006	3.815	23.41	16.74	126.4	175.7	0.7196
0	1.275	1.006	3.674	24.18	17.24	135.2	188.3	0.7179
10	1.230	1.007	3.543	24.94	17.74	144.2	201.4	0.7163
20	1.188	1.007	3.421	25.69	18.24	153.5	214.7	0.7148
30	1.149	1.007	3.307	26.43	18.72	163.0	228.4	0.7134
40	1.112	1.007	3.200	27.16	19.20	172.6	242.4	0.7122
60	1.045	1.009	3.007	28.60	20.14	192.7	271.3	0.7100
80	0.9859	1.010	2.836	30.01	21.05	213.5	301.4	0.7083
100	0.9329	1.012	2.683	31.39	21.94	235.1	332.6	0.7070
120	0.8854	1.014	2.546	32.75	22.80	257.5	364.8	0.7060
140	0.8425	1.016	2.422	34.08	23.65	280.7	398.0	0.7054
160	0.8036	1.019	2.310	35.39	24.48	304.6	432.1	0.7050
180	0.7681	1.022	2.208	36.68	25.29	329.3	467.1	0.7049
200	0.7356	1.026	2.115	37.95	26.09	354.7	503.0	0.7051
250	0.6653	1.035	1.912	41.06	28.02	421.1	596.2	0.7063
300	0.6072	1.046	1.745	44.09	29.86	491.8	694.3	0.7083
350	0.5585	1.057	1.605	47.05	31.64	566.5	796.8	0.7109
400	0.5170	1.069	1.486	49.96	33.35	645.1	903.8	0.7137
450	0.4813	1.081	1.383	52.82	35.01	727.4	1015	0.7166
500	0.4502	1.093	1.293	55.64	36.62	803.5	1131	0.7194
550	0.4228	1.105	1.215	58.41	38.19	903.1	1251	0.7221
600	0.3986	1.116	1.145	61.14	39.71	996.3	1375	0.7247
650	0.3770	1.126	1.083	63.83	41.20	1093	1503	0.7271
700	0.3576	1.137	1.027	66.46	42.66	1193	1635	0.7295
750	0.3402	1.146	0.9772	69.03	44.08	1296	1771	0.7318
800	0.3243	1.155	0.9317	71.54	45.48	1402	1910	0.7342
850	0.3099	1.163	0.8902	73.98	46.85	1512	2052	0.7368
900	0.2967	1.171	0.8523	76.33	48.19	1624	2197	0.7395
1000	0.2734	1.185	0.7853	80.77	50.82	1859	2492	0.7458





$$D_i = 40 + 0 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

$$S_1 = 0,001 \text{ m}$$

$$T_i = 60^\circ\text{C} \quad S_2 = 10 + 3 \text{ mm} = 0,013 \text{ m}$$

$$\rho_{iso} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad C_{p,iso} = 1800 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad \lambda_{iso} = 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$W = 20 + 0 + 3 = 23 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 6,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad T_e = 10^\circ\text{C}$$

IP: siccome  $h_{\text{INTERNO}} \rightarrow$  MOLTO ALTO, NON CONSIDERO IL  $\Delta T_{\text{CONVETTIVO INTERNO}}$ , QUINDI  $T_0 = T_i = 60^\circ\text{C}$   
 $\lambda_{cu} = 400 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ ,  $LRE = D_i + 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_2 = 0,038 \text{ m}$

OK

NON AVENDO IN PARTENZA LA  $T_2$  LA IPOTIZZO A  $30^\circ\text{C}$ .

CONDIZIONI STAZIONARIE, GEOMETRIA CILINDRICA, PROPRIETÀ COSTANTI

$$T_{\text{FILM}} = \frac{T_e + T_2}{2} = \frac{10 + 30}{2} = 20^\circ\text{C}$$

PROPRIETÀ ARIA:  $\rho_2 = 1,188 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ;  $\lambda_2 = 25,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ ;  $\mu_2 = 18,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$ ;

$$Pr = 0,7148$$

$$Re = \frac{\rho_2 \cdot W \cdot LRE}{\mu_2} = 15875 \quad (4000 \div 40000)$$

$$Nu = 0,193 \cdot Re^{0,648} \cdot Pr^{1/3} = 68,08$$

POSSO ORA RICAVALRE  $h_e = \frac{Nu \cdot \lambda_2}{LRE} = \frac{68,08 \cdot 25,7 \cdot 10^{-3}}{0,038} = 46 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$  OK

CONSIDERO  $R_1 = \frac{D_i}{2} = 0,02 \text{ m}$ ;  $R_2 = 0,026 \text{ m}$ ;  $R_3 = 0,049 \text{ m}$ ;

$$L_{\text{TUBO}} = 1 \text{ m}$$

$$RT_{cu} = \frac{\ln \frac{R_2}{R_1}}{\lambda_{cu} \cdot 2\pi \cdot L_{\text{TUBO}}} = 7,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

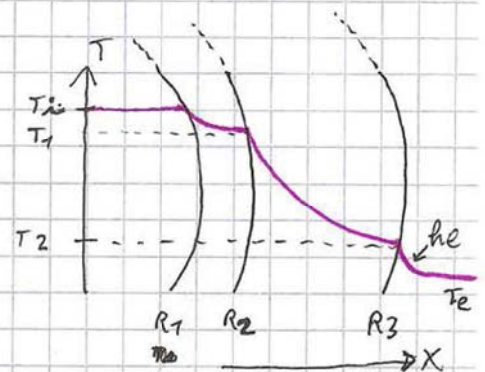
$$RT_{iso} = \frac{\ln \frac{R_3}{R_2}}{\lambda_{iso} \cdot 2\pi \cdot L_{\text{TUBO}}} = 3,663 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$RT_{\text{conv-e}} = \frac{1}{h_e \cdot 2\pi \cdot R_3 \cdot L_{\text{TUBO}}} = 0,182 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$RT_{\text{TOT}} = RT_{cu} + RT_{iso} + RT_{\text{conv-e}} = 3,851 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{RT_{\text{TOT}}} = \frac{(10 - 60)}{3,851} = -12,98 \text{ W}$$

OK



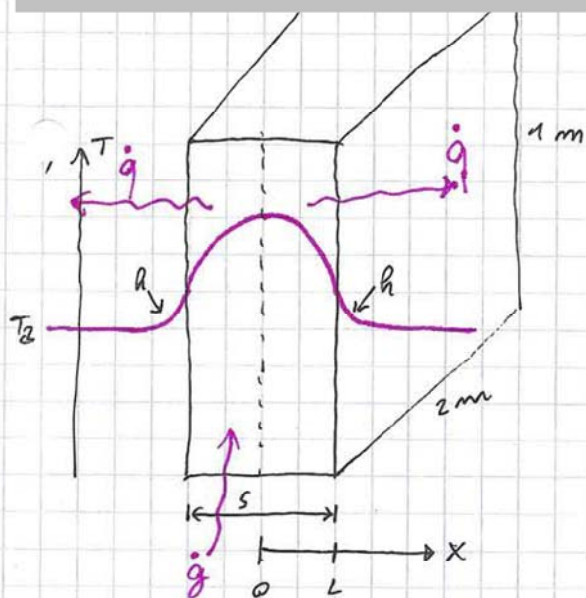
CON SEGNO MENO POICHÉ È CEDUTO.

SICCOME HO CONSIDERATO  $L_{\text{TUBO}} = 1 \text{ m}$ ,  $\dot{q} = \dot{Q} = -12,98 \frac{\text{W}}{\text{m}}$

$$T_1 = T_0 - \dot{Q} \cdot RT_{cu} = 59,99^\circ\text{C} \quad T_2 = T_1 - \dot{Q} \cdot RT_{iso} = 12,4^\circ\text{C}$$

AVEVO IPOTIZZATO  $30^\circ$ , SONO INVECE  $12,4^\circ\text{C}$

03 ES 2



$$s = 90 + 0 = 0,1 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,7 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \rho = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_2 = 20^\circ\text{C} \quad T_{(x=0)} = 73^\circ\text{C} \quad T_{(x=L)} = 43^\circ\text{C}$$

IP: TRANSITORIO ESAURITO, GEOMETRIA PIANA CON  $\dot{q}$  CONVEZIONE SU DUE FACCE, CONSIDERO  $L = \frac{s}{2} = 0,05 \text{ m}$

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0$$

DATA L'EQUAZIONE

$$T(x) = \frac{\dot{q} \cdot L^2}{2\lambda} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{L^2}\right) + T(L)$$

ED IMPOSTANDO  $T(x) = 73^\circ$

- $x = 0$
- $T(L) = 43^\circ$

RICAVO  $\dot{q} = -\frac{2\lambda}{L^2} \cdot (T(x) - T(L)) = 16800 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$

OK

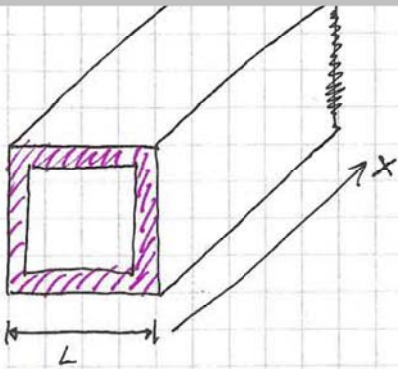
$$\dot{q} = \frac{\dot{q}}{2} \cdot s = 840 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\dot{q} = h \cdot \Delta T_{\text{conv}}$$

$$h = \frac{\dot{q}}{(T(L) - T_2)} = 36,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

OK





$$L = 20 + 0 = 0,02 \text{ m}$$

$$s = 0,002 \text{ m}$$

$$h = 10 + 3 = 13 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$T_0 = 200^\circ \text{C}$$

IP:  $T_2 = 20^\circ \text{C}$ , CONVEZIONE SOLO SU SUPERFICIE  
ESTERNA,  $\lambda = 60 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$   
CONSIDERO FINE TRANSITORIO A 5 VOLTE  $\frac{1}{m}$

DATA L'EQUAZIONE DELL'ALETTA

$$(\square) \frac{T(x) - T_2}{T_0 - T_2} = e^{-m \cdot x}$$

CALCOLO PERIMETRO E AREA

$$P = 4 \cdot L = 0,08 \text{ m}$$

$$A = L^2 - (L - 2s)^2 = 0,02^2 - 0,016^2 = 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

CALCOLO m

$$m = \sqrt{\frac{h \cdot P}{\lambda \cdot A}} = 10,97 \text{ m}^{-1}$$

$$\bar{x} = 5 \cdot \frac{1}{m} = 0,46 \text{ m}$$

QUI LA TEMPERATURA E' PARAGONABILE A  $T_2$

ORA

~~DALL'EQUAZIONE DELL'ALETTA~~

~~$$\frac{T(x) - T_2}{T_0 - T_2} = e^{-m \cdot x}$$~~

$$\dot{Q}_{\text{ALETTA}} = \sqrt{\lambda \cdot P \cdot h \cdot A} \cdot (T_0 - T_2) = 17 \text{ W}$$

OK

$$T_{min} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_{max} = 420 + 20 \cdot 0 = 420^{\circ}\text{C}$$

$$P_{max} = 140 \text{ bar}$$

IP: ACQUA INCOMPRESSIBILE CON  $\nu = 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

	$T[\text{K}]$	$P[\text{bar}]$	$h \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$	$\lambda \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	$x$
1	313	0,074	167,6	0,5725	0
2	$\approx 313$	140	181,59	0,5725	<0
3		140			0
4		140			1
5	693	140	2979,1	5,888	>1
6	313	0,074	1833	5,888	0,692
vs.	313	0,074	2574,3	8,257	1

$$\Delta h_{12} = \nu \cdot (140 - 0,074) \cdot 10^5 = 13,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = h_1 + \Delta h_{12} = 181,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

DALLE TABELLE DEL VAPORE D'ACQUA TROVO

$$h_5 = 2979,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\lambda_5 = 5,888 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

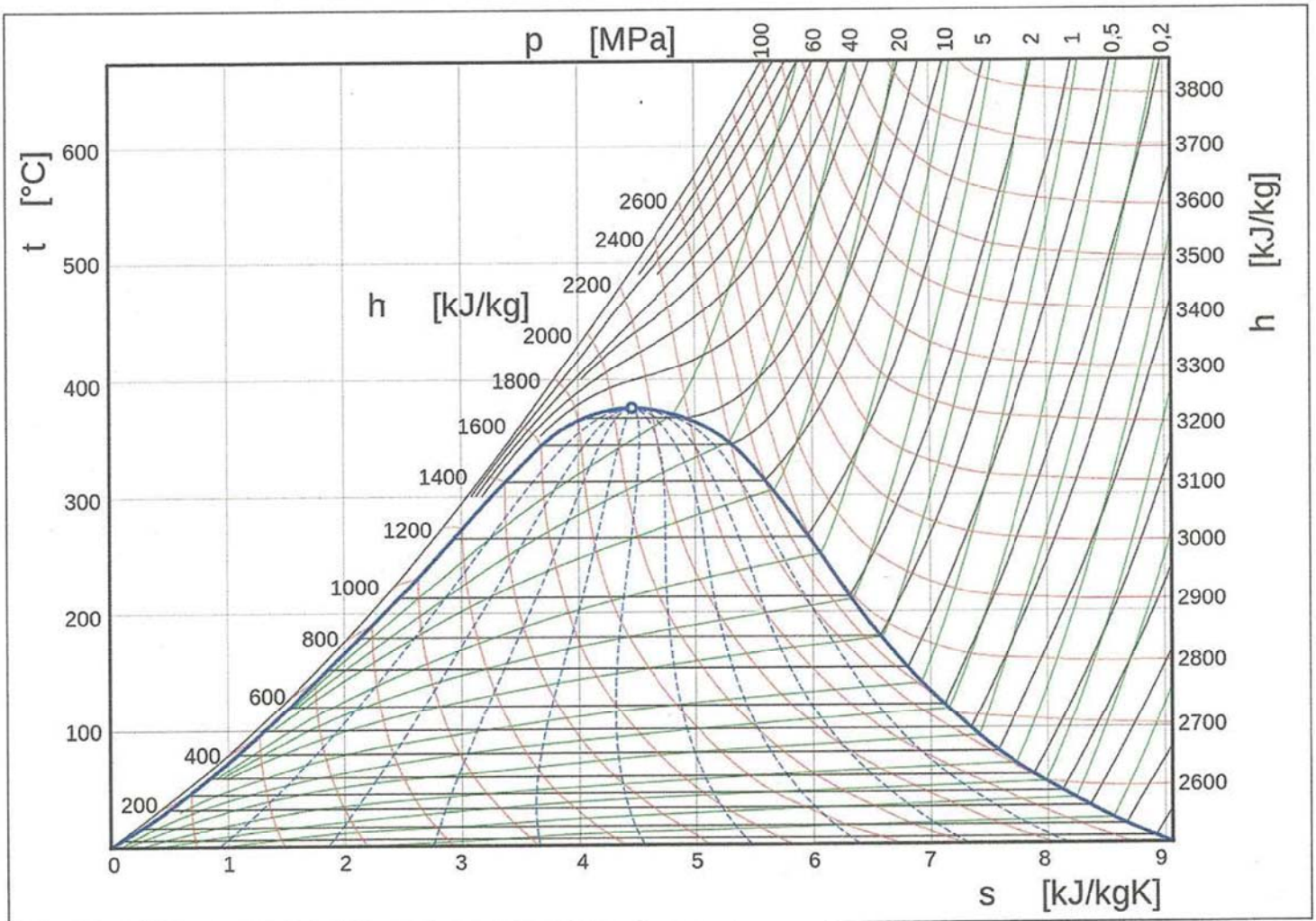
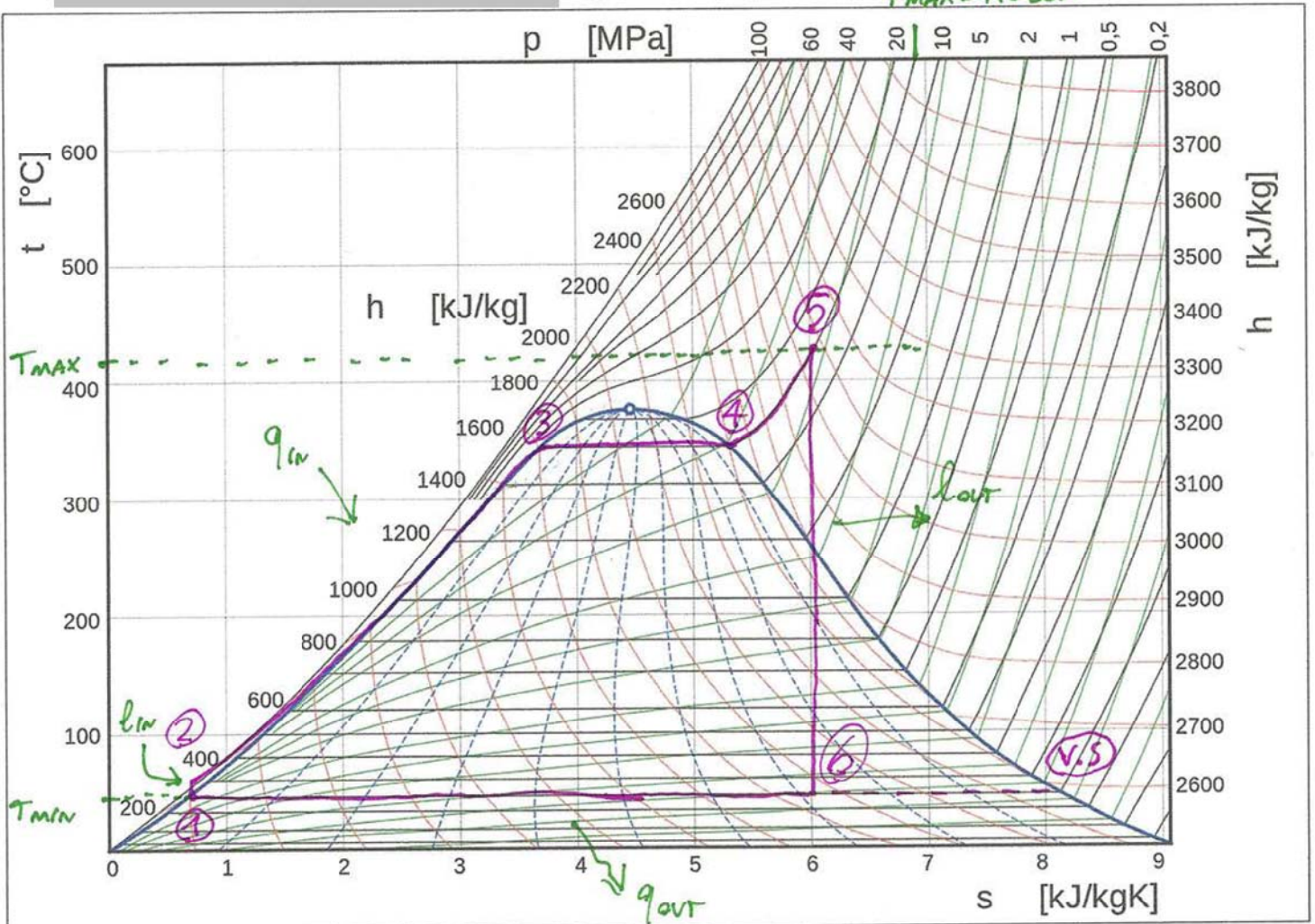
$$\lambda_6 = \lambda_5 \quad \text{e} \quad \lambda_2 = \lambda_1$$

CALCOLO IL TIPOLO IN 6

$$x_6 = \frac{\lambda_6 - \lambda_1}{\lambda_{vs} - \lambda_1} = 0,692$$

$$h_6 = h_1 + x_6 \cdot (h_{vs} - h_1) = 1833$$







# 5) PARTE 1

	1	2	3	4
[bar] P	1	2,8	2,8	1
[m³] V	1	0,48	0,72	?
[C°] T <sub>RE</sub>	20	<del>138</del> 138	<del>348</del> 348	190

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$$

IPOTESI

$$V_1 = 1 \text{ m}^3$$

$$P_2 = 1 + 0,18 = 1,18 \text{ bar relativi} = 2,8 \text{ bar assoluti}$$

ARIA

$$R = 8,314 \text{ kJ/kJ}^\circ\text{K}$$

$$\gamma = 1,4$$

$$C_p = 1003,91 \text{ kJ/kJ}^\circ\text{K}$$

$$C_v = 716,72 \text{ kJ/kJ}^\circ\text{K}$$

IPOTESI: ~~COMP~~

- compressore ~~isobarico~~ isentropico

$$\cancel{\gamma \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right) = \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)}$$

$$P_2 V_2^\gamma = P_1 V_1^\gamma$$

$$\cancel{\ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) = \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right) / \gamma}$$

$$\cancel{\left( \frac{T_2}{T_1} \right)^\gamma = \frac{P_2}{P_1}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

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

$$T_{2, id} = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 353 \text{ K} = 120^\circ\text{C}$$

$$V_2 = V_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{1/\gamma} = 0,48 \text{ m}^3$$

$$\eta_c = \frac{\Delta T_{id}}{\Delta T_R} \rightarrow T_{2, RE} = T_1 + \frac{T_{2, id} - T_1}{\eta_c} = 411 \text{ K} = 138^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 210 + T_{2, RE} = 348^\circ\text{C}$$

3 → 4 ugello isentropico

$$\dot{m}_1 \left( h_1 + g z_1 + \frac{W_1^2}{2} \right) + \dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} = \dot{m}_2 \left( h_2 + g z_2 + \frac{W_2^2}{2} \right) \quad (*)$$

portate costanti  $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

• non deforma l'ugello e il fluido che scorre non ha tempo sufficiente per scambiare calore  $\rightarrow \dot{Q}_{in} = \dot{W}_{in} = 0$

• il fluido parte da un serbatoio  $\rightarrow W_1 = 0$

• trascurare l'energia potenziale (ugello orizzontale)

$$W_2^2 = 2(h_1 - h_2)$$

$$W_2 = \sqrt{2 C_p (T_1 - T_2)}$$

2 → 3 trasformazione a pressione costante

5) PARTE 2

~~0.5 0.8 0.9 0.9 0.9 0.9~~

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} \quad P_2 = P_3$$

FEDERICO  
MICHELE

10632381

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \rightarrow V_3 = \frac{T_3}{T_2} V_2 = 0.72 \text{ m}^3$$

3 → 4 suppongo che l'espansione Tramite ugello  
venga fatta verso l'esterno

$$\Rightarrow P_4 = 1 \text{ bar}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 463 \text{ K} = 190 \text{ C}$$

ok

$$1*) \quad \frac{W_2^2}{2} = h_1 - h_2 \rightarrow W_2 = \sqrt{2(348621 - 463)C_p} = 563 \text{ m/s}$$

ok

~~0.5 0.8 0.9 0.9 0.9 0.9~~

manca m'

dai dati  $L' + Q' = 25 \text{ kW} = m'(l_{12} + q_{23}) = m' C_p \Delta T_{13}$

da cui  $m' = 25'000 / 1004 / (621 - 293) = 0.076 \text{ kg/s}$

J/s      J/kg.K      K



$T_1$ 

$$T_1 = 50 + 2.0 = 52^\circ\text{C} = 325\text{K}$$

$$P_1 = 1 - 0,4 = 0,6 \text{ bar}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \beta = 11$$

$$q_{in} = 1000 + 100 \cdot 3 = 1300 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

IP: ARIA GAS PERFETTO BIATOMICA CON  $C_V = 716,7 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ , SISTEMA CHIUSO, COMPONENTI IDEALI E CHIUSI  $\rightarrow$  CONSIDERARE IL  $\Delta M$ ,  $M$  COSTANTE

$$R = \frac{R_u}{M_m} = \frac{8314}{29} = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

1-2) ISOENTROPICA

$$\gamma - 1 = 1,4 - 1 = 0,4$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \rightarrow T_2 = T_1 \cdot (\beta)^{0,4} = 325 \cdot 11^{0,4} = 848 \text{ K}$$

$$l_{in} = \Delta M_{12} = C_V \cdot (T_2 - T_1) = 374 \cdot 834 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 374,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_1 \cdot N_1 = R \cdot T_1 \rightarrow N_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 325}{0,6 \cdot 10^5} = 1,55 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$N_2 = \frac{N_1}{\beta} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

2-3) ISOCORA SU  $N_2$

$$q_{in} = \Delta M_{23} = C_V \cdot (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = T_2 + \frac{q_{in}}{C_V} = 848 + \frac{1300 \cdot 10^3}{716,7} = 2662 \text{ K}$$

3-4) ISOENTROPICA

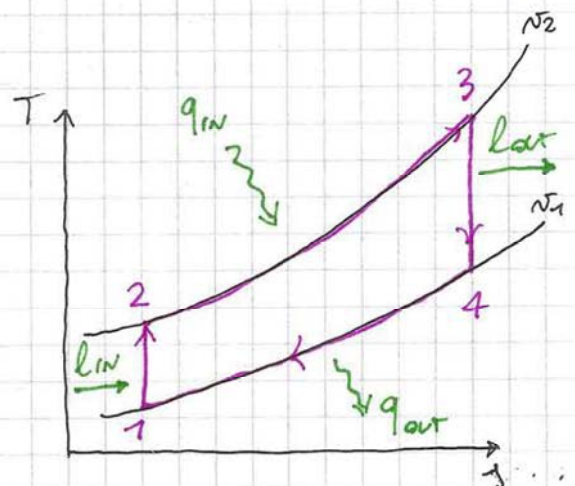
$$\frac{T_3}{T_4} = \beta^{\gamma-1} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{\beta^{0,4}} = 1020 \text{ K}$$

$$l_{out} = \Delta M_{34} = C_V \cdot (T_3 - T_4) = 1176,821 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1,176,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_I = \frac{l_{out} - l_{in}}{q_{in}} = \boxed{0,617}$$

$$\eta_{\text{CARNOT}} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{325}{2662} = 0,878$$

$$\eta_{II} = \frac{\eta_I}{\eta_{\text{CARNOT}}} = \boxed{0,703}$$



$$\dot{Q}_{OUT} = 1 + \frac{0}{9} = 1 \text{ kW}$$

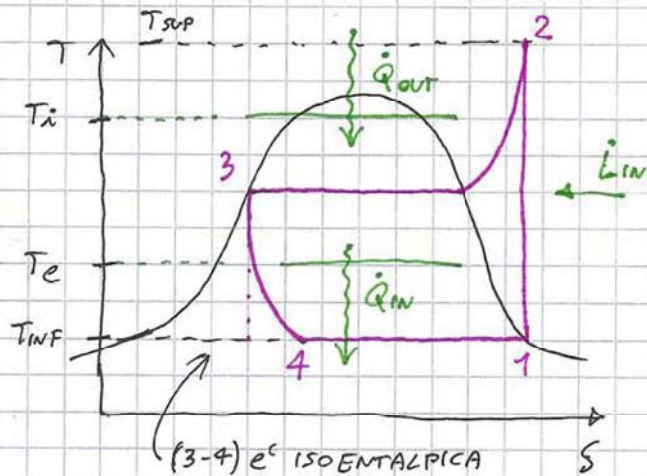
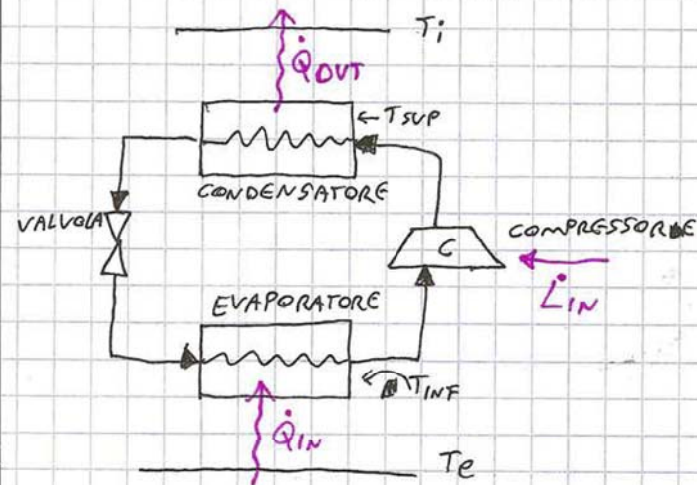
$$T_i = 20 + \frac{3}{2} = 21,5^\circ\text{C}$$

$$T_e = 8^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ev} = -10 + 0 = -10^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{cond} = 20 + 3 = 23^\circ\text{C}$$

$$\eta = 0,55$$



$$T_{SUP} = T_i + \Delta T_{cond} = 21,5 + 23 = 44,5^\circ\text{C} = 317,5 \text{ K}$$

$$T_{INF} = T_e - \Delta T_{ev} = 8 - 10 = -2^\circ\text{C} = 271 \text{ K}$$

$$COP_{ID} = \frac{T_{SUP}}{T_{SUP} - T_{INF}} = \frac{317,5}{317,5 - 271} = 6,83$$

IP: in costante, sistema chiuso, nel compressore entra vapore secco e nella valvola entra liquido saturo, valvola e compressore adiabatici

$$COP_{Re} = \eta \cdot COP_{ID} = 0,55 \cdot 6,83 = \boxed{3,76}$$

$$COP_{Re} = \frac{\dot{Q}_{OUT}}{\dot{L}_{IN}}$$

$$\dot{L}_{IN} = \frac{\dot{Q}_{OUT}}{COP_{Re}} = \frac{1000}{3,76} = \boxed{266 \text{ W}}$$

$$\dot{Q}_{OUT} = \dot{L}_{IN} + \dot{Q}_{IN} \rightarrow \dot{Q}_{IN} = \dot{Q}_{OUT} - \dot{L}_{IN} = \boxed{734 \text{ W}}$$