

Prof. L. Araneo. Fisica Tecnica e Macchine 8 Cr. Prova dell' 11 giugno 2020, on line ore 9  
 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	4	4	5	5	5	4	3	max 2	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.

Esercizio 1) un pannello isolante (usato per costruire camper e roulotte) è costituito da lamiera esterne di alluminio (spessore = 1mm) con interposto uno strato di materiale isolante avente  $\lambda_{is} = 0.1$  W/m.K. Dati i coefficienti di convezione sui due lati pari a  $10+M$  e  $5$  W/m<sup>2</sup>K, determinare lo spessore di isolante per limitare la dispersione a  $15$  W/m<sup>2</sup> con una differenza di temperatura pari a  $20+N$  gradi.

sostanza a 300K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$k$ ( $\lambda$ ) (W/m*K)	$c_p$ (J/kg*K)		sostanza a 300K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$k$ ( $\lambda$ ) (W/m*K)	$c_p$ (J/kg*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	
Calcestruzzo	2400	2.3	1100		Plexiglas	1180	0.19	
Ceramica	2000	0.7	900		Lana di roccia	135	0.04	
Granito	2640	3.0	800		Sughero	120	0.04	

2) Una piastra di materiale ceramico avete dimensioni  $100 \times (100+10M) \times (20+N)$  millimetri, inizialmente a  $200^\circ\text{C}$  viene raffreddata in aria ambiente dove il coefficiente di convezione vale  $30$  W/m<sup>2</sup>K. Determinare dopo quanto tempo la temperatura alla superficie ha raggiunto i  $50^\circ\text{C}$ , e qual è in quel momento la temperatura nel punto più caldo della piastra.

3) Un tubo di alluminio avente  $D_{est} = 100$  mm e  $D_{int} = (70+M)$  mm esce da un trattamento metallurgico alla temperatura di  $400^\circ\text{C}$ , e viene esposto all'aria ambiente avente velocità di  $10+N$  m/s. Determinare per quanto tempo è pericoloso maneggiarlo.

(tabella aria a fine testo)

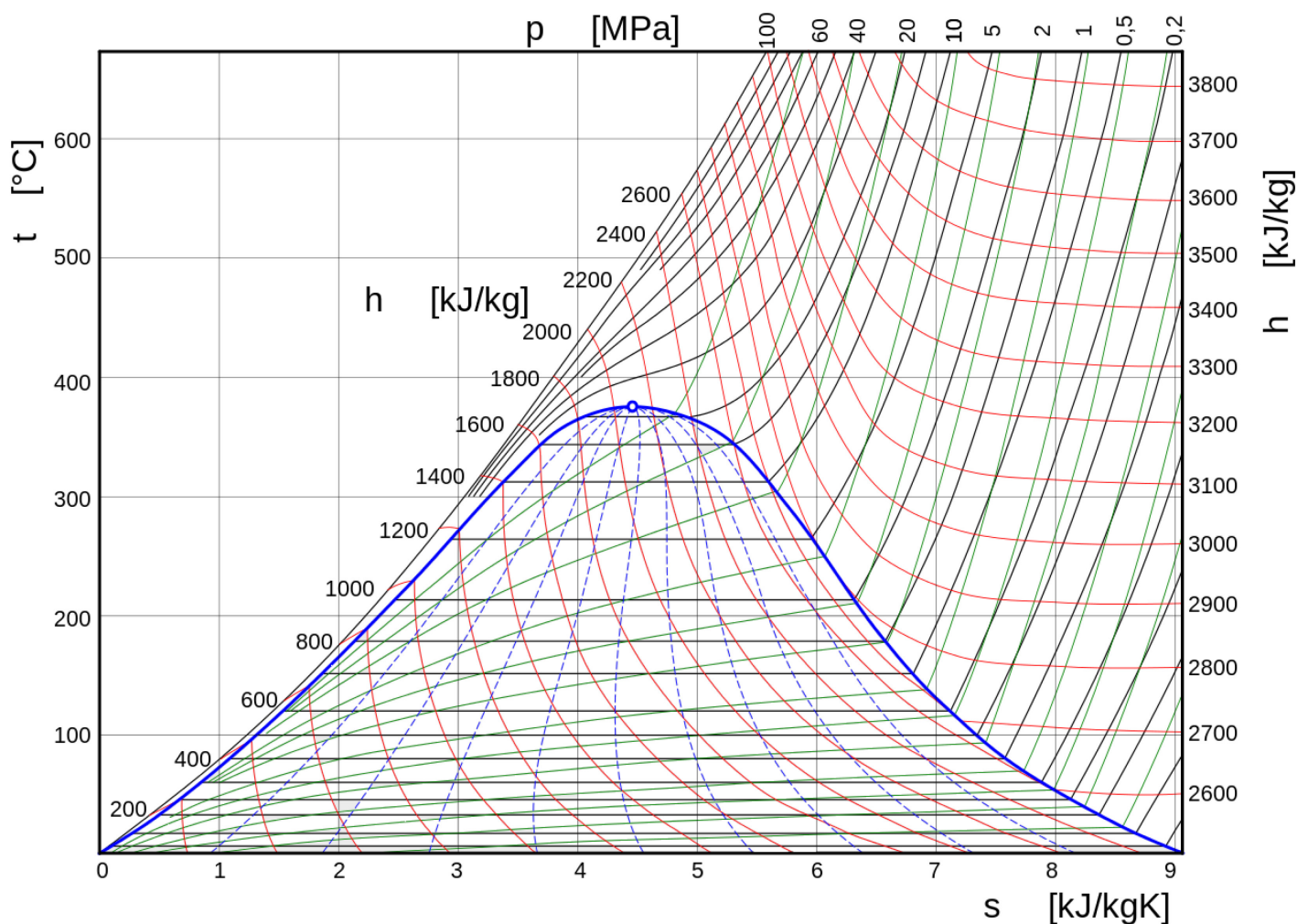
Intervallo Re	$Nu_{cilindro} =$
$0.4 \div 4$	$0.989 Re^{0.330} Pr^{1/3}$
$4 \div 40$	$0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$
$40 \div 4'000$	$0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$
$4'000 \div 40'000$	$0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$
$40'000 \div 400'000$	$0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$

4) Sono date le  $T_{\min} = 45^{\circ}\text{C}$  e  $T_{\max} = (400+20 \cdot M)^{\circ}\text{C}$  e la pressione massima  $(100+10 \cdot N)$  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 recipiente contenente  $V_1 = 1$  litri di azoto (gas perfetto) inizialmente a  $P_1 = 10+M$  bar,  $T$  ambiente, viene scaldato prima a volume costante fino a raddoppiarne la pressione, e poi a pressione costante fino a  $T_3 = (500+20 \cdot N)^{\circ}\text{C}$ . Determinare la quantità di calore scambiata, il lavoro svolto dal gas. Disegnare gli opportuni grafici

6) Una turbina a gas lavora secondo il ciclo Joule-Brayton approssimabile come chiuso, in cui evolve aria inizialmente a condizioni atmosferiche. Noti il rapporto di compressione  $10+M$ , i rendimenti di compressore e turbina entrambi pari a  $(78+N)\%$ , la temperatura massima raggiunta durante il ciclo  $(1200+20 \cdot N)^{\circ}\text{C}$ , determinare i punti del ciclo, i rendimenti del ciclo di 1° e 2° principio spiegandone il significato. Disegnare il grafico rappresentante il ciclo nel piano T-s

7) Un frigorifero, posto in una stanza a  $20+M^{\circ}\text{C}$ , mantiene il contenuto a  $-N^{\circ}\text{C}$ . L'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di  $15^{\circ}\text{C}$  per scambiare calore, il condensatore di  $28^{\circ}\text{C}$ . L'efficienza è il  $50+M\%$  di quella di una macchina ideale che lavora tra le stesse temperature estreme del ciclo. Sapendo che a regime il motore del frigorifero consuma in media 200 W, determinare i flussi termici. Tracciare gli schemi necessari a spiegare 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

## Esercizio 1

$$\Delta T = T_e - T_i = 20 + 21 = 21^\circ\text{C}$$

$$\text{Suppongo } T_e = 15^\circ\text{C} = 288\text{ K} \rightarrow T_i = T_e + \Delta T = 15 + 21 = 36^\circ\text{C} = 309\text{ K}$$

$$\dot{Q} = 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \lambda_a = 200 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \lambda_{\text{isol}} = 0,1 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad h_i = 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad h_e = 17 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$\dot{Q} = \text{costante} = \dot{Q}_{\text{cond}} = \dot{Q}_{\text{conv}}$$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \frac{(T_1 - T_4)}{R_{\text{eq}}} = (T_1 - T_4) \frac{20\text{ A}}{2 \cdot 10^{-4} + 200L} \quad (*)$$

$$R_{\text{eq}} = 2 \cdot \frac{0,001}{\lambda_a A} + \frac{x}{\lambda_i A} = \frac{0,002 \lambda_i + L \lambda_a}{\lambda_i \lambda_a A} = \frac{2 \cdot 10^{-4} + 200L}{20 A}$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}i} = h_i A (T_i - T_1) = 15 \cdot A \rightarrow T_1 = T_i - \frac{15}{h_i} = 36 - \frac{15}{5} = 33^\circ\text{C}$$

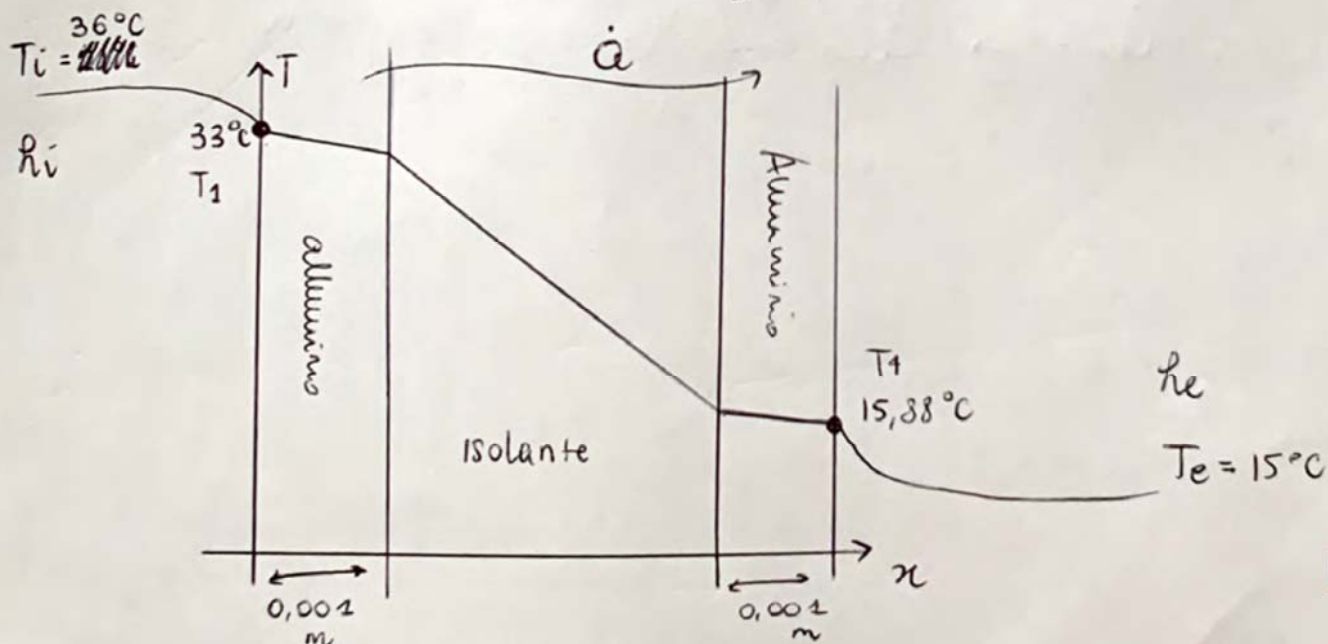
$$\dot{Q}_{\text{conv}e} = h_e A (T_4 - T_e) = 15 \cdot A \rightarrow T_4 = \frac{15}{h_e} + T_e = 15 + \frac{15}{17} = 15,88^\circ\text{C}$$

(\*)

$$15 \cdot A = \underbrace{\left( T_i - \frac{15}{h_i} - \frac{15}{h_e} - T_e \right)}_{17,12} \frac{20 A}{2 \cdot 10^{-4} + 200L}$$

$$(2 \cdot 10^{-4} + 200L) 15 = 20 \cdot 17,12$$

$$200L = 22,83 - 2 \cdot 10^{-4} \rightarrow L = 0,114\text{ m}$$



OK



ES. n° 1

Dati:Lastre alluminio:  $s_a = 0,001 \text{ m}$  $\lambda_a = 236 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (dalle tabelle)Isolante:  $\lambda_i = 0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$   $s_i = ?$  $h_1 = 10 + 4 = 14 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  $h_2 = 5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  $\frac{\dot{Q}}{A} = 15 \text{ W/m}^2$  $\Delta T = 20 + 6 = 26^\circ\text{C}$ Svolgimento: ~~CONSIDERO IL REALE ALIOT~~

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\Delta T}{R_{\text{TOT}}} \Rightarrow \frac{A \cdot R_{\text{TOT}}}{\dot{Q}} = \frac{\Delta T}{\frac{\dot{Q}}{A}} = \frac{26 \text{ K}}{15 \text{ W/m}^2} = 1,73 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$R_{\text{TOT}} = \frac{1}{h_1} + \frac{s_a}{\lambda_a} + \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{s_a}{\lambda_a} + \frac{1}{h_2} =$$

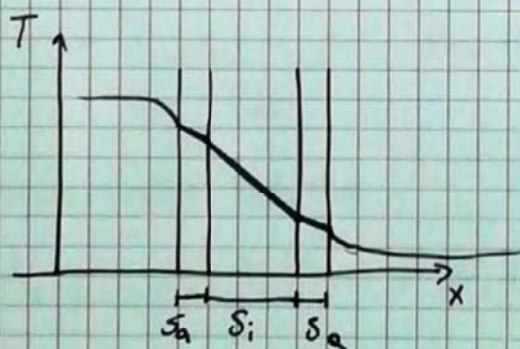
$$s_i = \lambda_i \left[ R_{\text{TOT}} - \left( \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{2s_a}{\lambda_a} \right) \right] =$$

$$= 0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K} \left[ 1,73 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W} - \left( \frac{1}{14 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}} + \frac{1}{5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}} + \frac{2 \cdot 0,001 \text{ m}}{236 \text{ W/m}\cdot\text{K}} \right) \right]$$

$$= 0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K} (1,73 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W} - 0,27 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}) =$$

$$= 0,146 \text{ m}$$

Schema qualitativo:



La pendenza durante l'attraversamento dello strato di isolante in realtà è molto più elevata

perfetto

M=8 N=7

SOPRONGO:

$$(100 \times 180 \times 27) \text{ mm} = (0,1 \times 0,18 \times 2,7 \cdot 10^{-2}) \text{ m} \quad T_0 = 200^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 20^\circ\text{C} \quad h = 30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad T_{L,t} = 50^\circ\text{C} \quad \lambda = 0,7 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \rho = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 900 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$T_{FUA} = 72,5^\circ\text{C}$$

$$Bi = \frac{h L_c}{\lambda} = 0,58 > 0,1 \Rightarrow \text{PARETI SPESSA}$$

$$L_c = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

(NETTA SPESORE)

$$A_1 = 1,0791$$

$$\lambda_1 = 0,6947$$

$$t = ?$$

$$T_{0,t} = ?$$

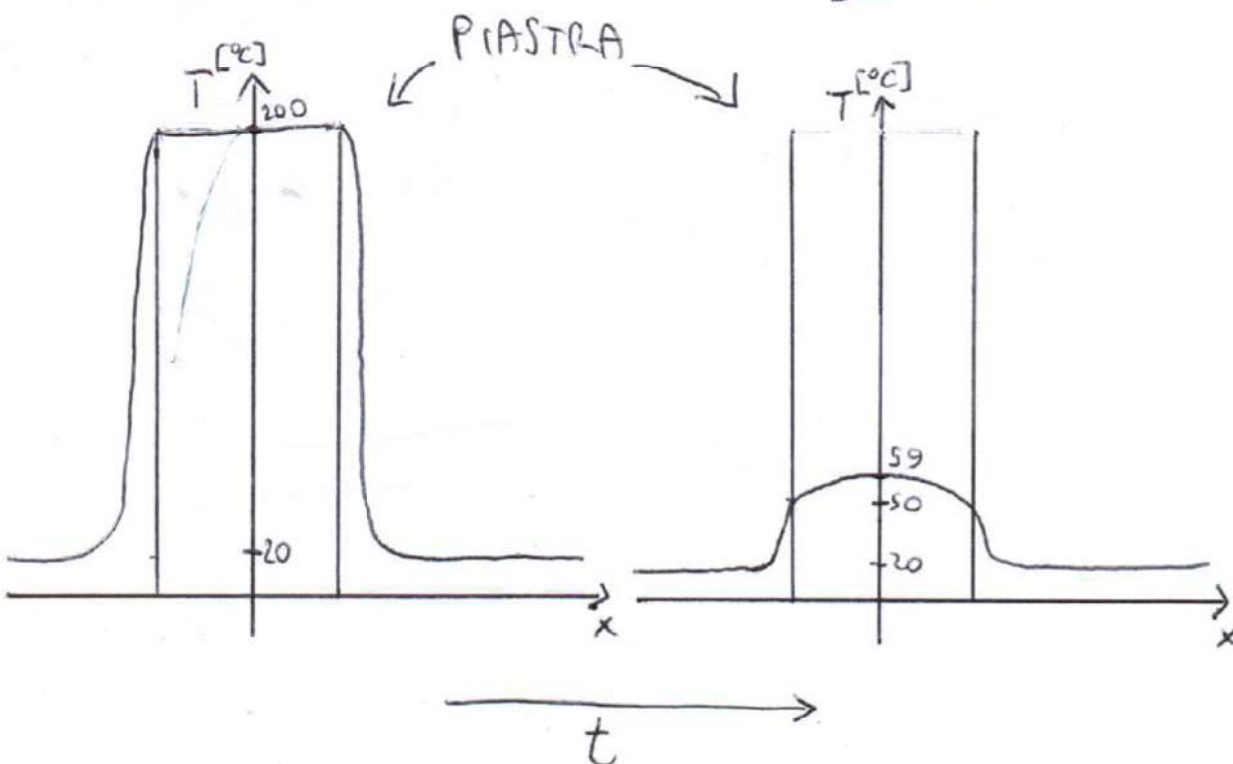
$$\frac{T_{L,t} - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 F_0} \cos\left(\lambda_1 \frac{\Delta}{\Delta}\right)$$

$$F_0 = \ln\left[\frac{T_{L,t} - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \cdot \frac{1}{A_1 \cos(\lambda_1)}\right] \cdot \frac{-1}{\lambda_1^2} = 3,3241 (> 0,2)$$

$$t = \frac{F_0 \cdot L_c^2 \cdot \rho \cdot C_p}{\lambda} = 1557,85 \approx 25 \text{ min } 58,85$$

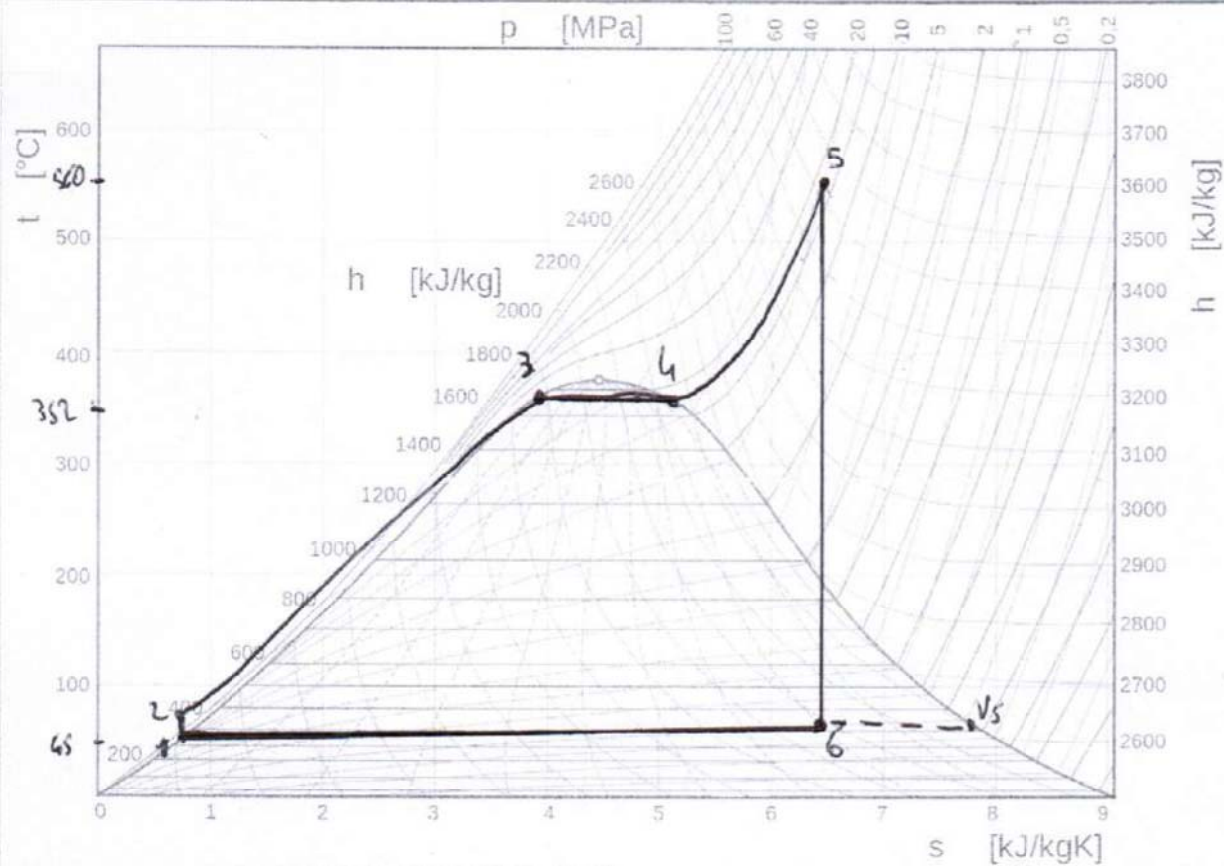
$$\frac{T_{0,t} - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 F_0} \cos\left(\lambda_1 \frac{0}{L}\right)$$

$$T_{0,t} = T_\infty + A_1 e^{-\lambda_1^2 F_0} (T_0 - T_\infty) = 59,05^\circ\text{C}$$



OK





M=8

N=7

$$T_{max} = (400 + 20 \cdot 8)^\circ\text{C} = 560^\circ\text{C}$$

$$P_{max} = (100 + 10 \cdot 7) \text{ bar} = 170 \text{ bar}$$

	T [°C]	P [kPa]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	x
1	45	9,593	188,45	0,6387	0
2	~45	17000	205,61	0,6387	<0
3	352,37	17000			0
4	352,37	17000			1
5	560	17000	3454,36	6,4749	>1
6	45	9,593	2056,36	6,4749	0,78
vs	45	9,593	2583,2	8,1648	1

$$h_2 = h_1 + v_1 \cdot \Delta P_{12} = 205,61 \text{ kJ/kg}$$

$$x_6 = \frac{s_6 - s_1}{s_{vs} - s_1} = 0,78$$

$$h_6 = (1 - x_6)h_2 + x_6 h_v = 2056,36 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{in} = h_5 - h_2 = 3248,75 \text{ kJ/kg}$$

$$l_{nu} = l_{out} - l_{in} = |h_6 - h_5| - h_2 + h_1 = 1380,84 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_1 = \frac{l_{nu}}{q_{in}} = 0,425 \rightarrow 43\%$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 0,618$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_c} = 0,688 \rightarrow 69\%$$

OK



ES. n° 5 pag. 1

Dati:

$$V_1 = 1 \text{ L di } N_2 \rightarrow M_m = 28$$

$$p_1 = 10 + 4 \text{ bar} = 14 \text{ bar}$$

$$T_1 = T_{amb} = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

~~Processo 1-2-3: compressione isocora~~

$$V_2 = V_1 \quad p_2 = 2p_1$$

$$p_3 = p_2 \quad T_3 = (500 + 20 \cdot N)^\circ\text{C} = 620^\circ\text{C} = 893 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = ? \quad \dot{L} = ?$$

~~Problema da risolvere~~

Posso determinare la massa con

$$p_1 V_1 = m R T_1 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{con } R = \frac{8314}{28} = 297 \\ V_1 = 1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3 \end{array} \right.$$

$$m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{14 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,001 \text{ m}^3}{297 \cdot 298 \text{ K}} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad \boxed{\text{OK}}$$

Condizioni in 2:

$$V_2 = V_1 = 0,001 \text{ m}^3$$

$$p_2 = 2p_1 = 28 \text{ bar}$$

Posso ricavare  $T_2$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = \frac{2p_1}{p_1} T_1 = 2T_1 = 596 \text{ K} \quad \boxed{\text{OK}}$$

Nel punto 3:

$$p_3 = p_2 = 2p_1 = 28 \text{ bar}$$

$$T_3 = 893 \text{ K}$$

$$\frac{p_3 V_3}{T_3} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow V_3 = \frac{p_2 V_2}{p_3} \cdot \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_2 T_3}{T_2} = \frac{0,001 \text{ m}^3 \cdot 893 \text{ K}}{596 \text{ K}}$$

$$V_3 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad \boxed{\text{OK}}$$



ES. n°5 pag. 2

~~$\dot{Q}_{12}$~~   $\dot{Q}_{12} - \dot{L}_{12} = \Delta U_{12}$   $\dot{L}_{12} = 0$  perché  $V_1 = V_2$

$$\dot{Q}_{12} = \Delta U_{12} = m c_v (T_2 - T_1) =$$

$$= 0,016 \text{ kg} \cdot \frac{5}{2} \cdot 297 \cdot (596 \text{ K} - 298 \text{ K}) =$$

$$= 0,016 \text{ kg} \cdot 742,5 \cdot 298 \text{ K} = 3540,24 \text{ J} \quad \text{OK}$$

$c_v$  dell'azoto è  $\frac{5}{2} R$  perché è un GAS BIATOMICO

$$\dot{L}_{23} = p (V_3 - V_2) = 28 \cdot 10^5 \text{ Pa} (1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) =$$
$$= 1400 \text{ J} \quad \text{OK}$$

perché la pressione  
è una costante

$$\dot{Q}_{23} = \Delta U_{23} + L_{23} = m c_v (T_3 - T_2) + 1400 \text{ J} =$$

$$= 0,016 \text{ kg} \cdot \frac{5}{2} \cdot 297 \cdot (893 \text{ K} - 596 \text{ K}) =$$

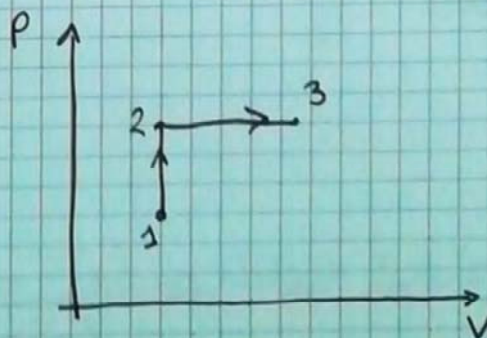
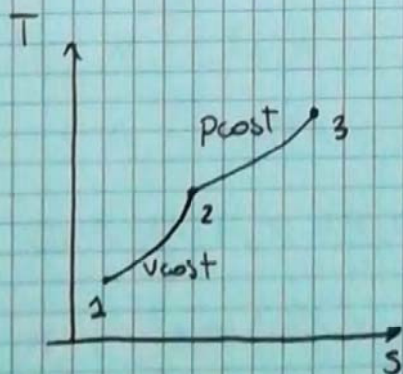
$$= 3528,36 \text{ J}$$

$$+1400=4900$$

...più semplice usare  $C_p \cdot \Delta T$

$$Q_{\text{TOT}} = Q_{12} + Q_{23} = 3540,24 \text{ J} + 3528,36 \text{ J} = 7068,6 \text{ J}$$

$$L_{\text{TOT}} = 1400 \text{ J}$$





• ES. N° 6

DATI:

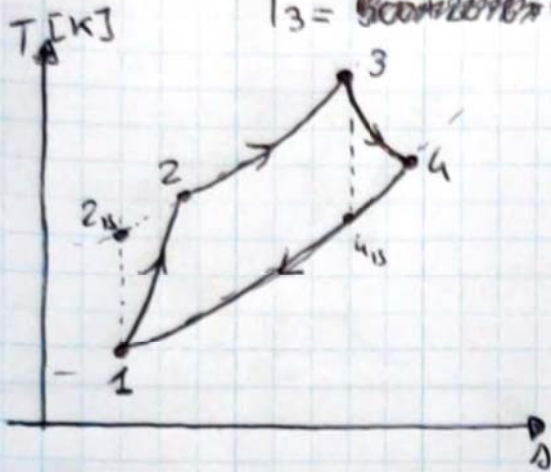
$$p_1 = p_4 = 1 \text{ bar}$$

$$\eta_{\text{COMP}} = 78 + 6 = 84\%$$

$$p_2 = p_3 = (10 + 7) = 17$$

$$\eta_{\text{TURB}} = 78 + 6 = 84\%$$

$$T_3 = 1200 + 20 \cdot 6 = 1320^\circ\text{C} = 1593 \text{ K}$$



ipotesi: - Aria gas perfetto biatomico  
- proprietà costanti

$$-T_1 = T_{\text{AMB}} = 27^\circ = 300 \text{ K}$$

1-2<sub>is</sub>: compressione isentropica

2-3: riscaldamento isobaro

3-4<sub>is</sub>: espansione isentropica.

$$T_{2is} = T_1 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300 \left( \frac{1}{17} \right)^{\frac{1.4}{1.4}} = 674 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2is} - T_1}{\eta_{\text{COMP}}} = 300 + \frac{674 - 300}{0.84} = 745.23 \text{ K}$$

$$T_{4is} = T_3 \cdot \frac{T_1}{T_{2is}} = 1593 \cdot \frac{300}{674} = 709 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 + (T_{4is} - T_3) \eta_{\text{TURB}} = 1593 + (709 - 1593) \cdot 0.84 = 850.44 \text{ K}$$

$$\eta_I = \frac{q_{\text{ut}}}{q_{\text{in}}} = \frac{h_3 - h_2}{h_3 - h_1} = 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 0.351$$

$$\eta_{\text{car}} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{300}{1593} = 0.812$$

$$\eta_{\text{II}} = \frac{\eta_I}{\eta_{\text{car}}} = \frac{0.351}{0.812} = 0.432$$

OK



• EA. N° 7 OK

DATI:  $T_{STANZA} = 20 + 7 = 27^{\circ}\text{C} = 300\text{K}$

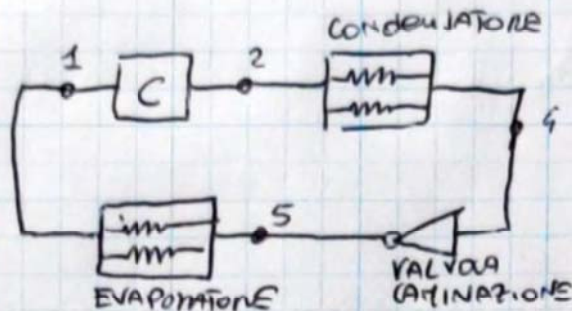
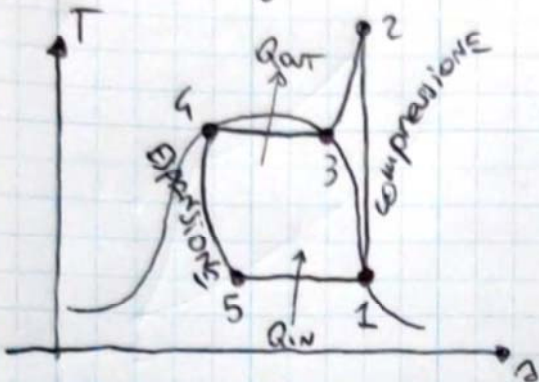
$T_{FRIGO} = -6^{\circ}\text{C} = 267\text{K}$

$\Delta T_{EV} = 15^{\circ}\text{C} = 288\text{K}$

$\Delta T_{COND} = 28^{\circ}\text{C} = 301\text{K}$

$\eta = 50 + 7 = 57\% = 0,57$

$L_{IN} = 200\text{W}$



$T_1 = T_5 = T_{FRIGO} - \Delta T_{EV} = -6 - 15 = -21^{\circ} = 252\text{K}$

$T_2 = T_{STANZA} + \Delta T_{COND} = 27^{\circ}\text{C} + 28^{\circ}\text{C} = 55^{\circ}\text{C} = 328\text{K}$

$COP_{id} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = 3,31$

$COP = COP_{id} \cdot \eta = 3,31 \cdot 0,57 = 1,89$

$Q_{IN} = L_{IN} \cdot COP = 200 \cdot 1,89 = 378\text{W}$

$Q_{OUT} = Q_{IN} + L_{IN} = 378 + 200 = 578\text{W}$

1-2: compressione isentropica

2-3-4: scambiatore di calore: condensatore

4-5: valvola di laminazione - isoentalpica -

5-1: scambiatore di calore: evaporatore.