

Esercizio 8 - Cicli e Macchine Aperte

Da questa esercitazione non tutti i passi saranno esplicitati

Esercizio 1 - Motore getto

$$T_1 = -3^\circ\text{C} = 270,15 \text{ K}$$

$$P_1 = 6 \cdot 10^4$$

$$T_2 = 1100^\circ\text{C} = 1373,15 \text{ K}$$

$$P_5 = 3,3 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 17 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

↑ Compressore

$$? T_2$$

voglia

velocità
J

$$? T_{ue} P_u$$

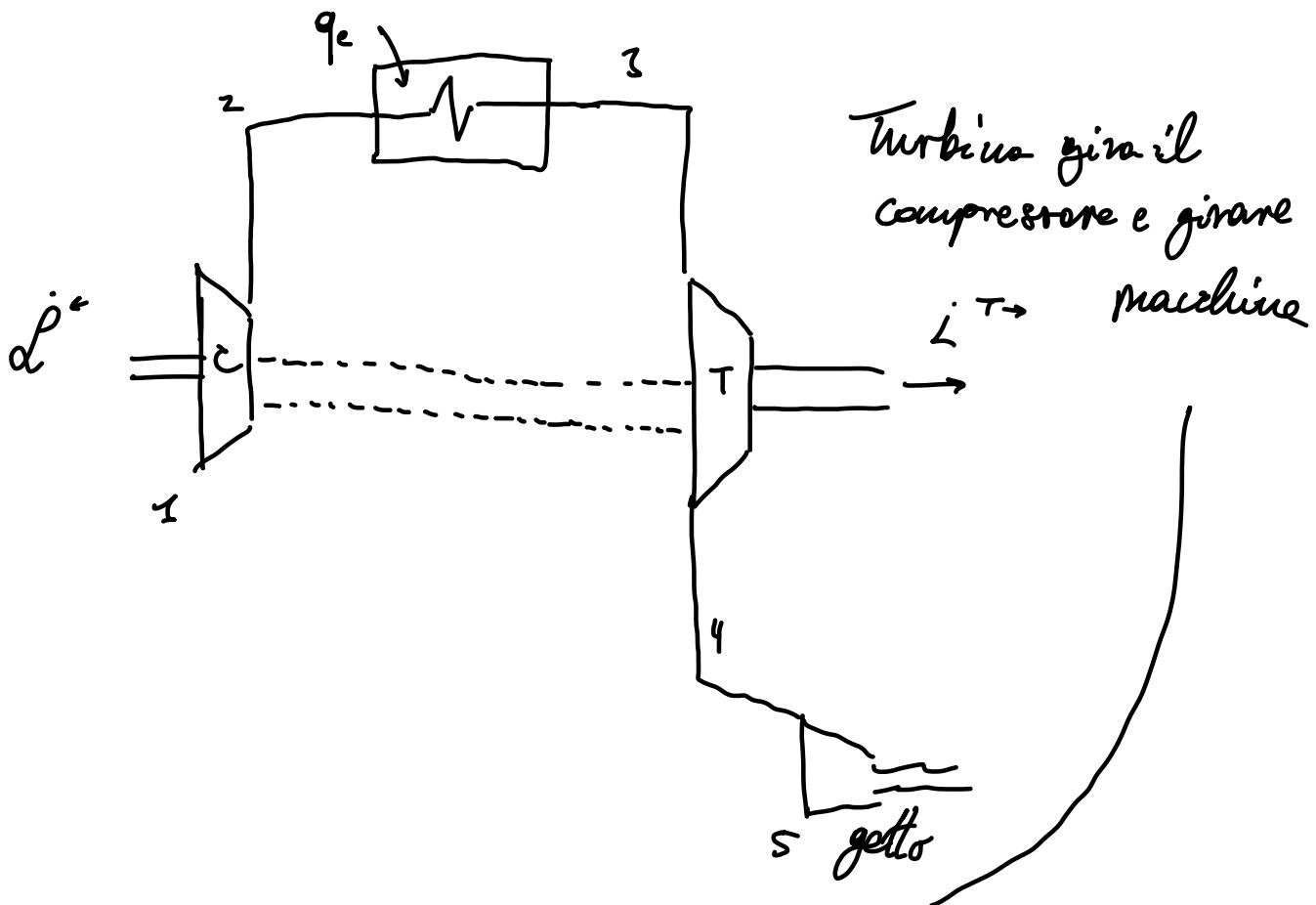
$$? T_s e W_s$$

Turbo getto → ciclo Joule - Brayton (β)

Hp. - No dispersioni termiche

- processi reversibili

- velocità trascurabile eccetto w_s



In questo caso

$$\overset{\circ}{d} \underset{C \leftarrow}{=} \overset{\bullet}{d} \underset{T \rightarrow}{}$$

$$\cancel{\dot{m} c_p (T_2 - T_1)} = \cancel{\dot{m} c_p (T_3 - T_4)}$$

$$T_2 - T_1 = T_3 - T_4$$

COMPRESSORE \rightarrow adiabatico e $S_{IRR} = 0$

$\frac{ds}{dt} = \phi \Rightarrow$ ADIABATICO
+ REVERSIBILE \rightarrow ISOENTROPICO

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{R^+}{c_p^+}} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow T_2 = 702,34 K$$

Turbina \rightarrow Macchina Ideale

$$T_2 - T_1 = T_3 - T_4$$

$$T_3 = T_2 + T_4 - T_1 = 667,81 K$$

ADIA BATICO + NEU \rightarrow ISOENTROPICO

$$\frac{ds}{dt} = \phi \rightarrow P_4 = P_3 \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 4,528 \text{ bar}$$

UGELLO \rightarrow per accelerare il flusso

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \left(h_4 + \frac{W_4^2}{2} + g z_4 \right) - \dot{m} \left(h_5 + \frac{W_5^2}{2} + g z_5 \right) + \cancel{Q} - \cancel{W} = 0$$

Non trascurabile

$$\boxed{\dot{m}(h_u - h_s) = \dot{m} \frac{w_s^2}{2}} \rightarrow \text{Equazione dell'ugello (Adiabatico)}$$

\hookrightarrow G.P. $w_s^2 = 2c_p(T_u - T_s)$

$$T_s = T_u \left(\frac{P_s}{P_u} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 445,24 K \rightarrow 172,1^\circ C$$

Processo Isentropico

$$w_s = \sqrt{2c_p(T_u - T_s)} = 997,19 \text{ m/s}$$

$$C_s = \sqrt{\gamma R T_s} = 422,74 \text{ m/s}$$

Velocità
del suono
a S

$$M_s = \frac{w_s}{C_s} = 2,36$$

↑
Numero di Mach

$$\eta = \frac{\text{EFFETTO UTILE}}{\text{SPESA}} = \frac{\text{MUOVERE LA MACCHINA}}{\text{CALORES dal kerosene}}$$

$$\eta = \frac{\dot{S}_{\text{ponte}}}{\dot{Q}''} = \frac{\dot{S}_{\text{ponte}} \cdot \overset{\text{Velocità}}{W_{\text{aereo}}}}{\dot{Q}''} = \frac{\dot{m}(w_s - w_{\text{aereo}}) W_{\text{aereo}}}{\dot{Q}''}$$

$$\sqrt{\gamma R T_{\text{AMB}}}$$

Dove è
l'aereo

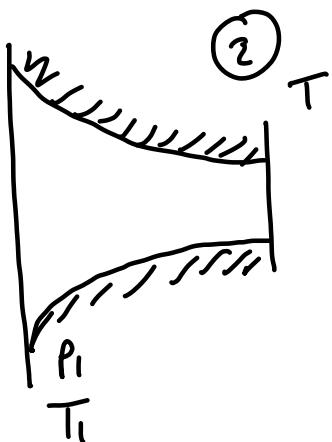
Esercizio 2 → Facciamo noi se vogliamus

Esercizio 6 - Ugello

$$\dot{M} = 10000 \text{ kg/h} - 2,7 \text{ kg/s}$$

$$P_{MAN} = 155 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad T_{SAT} \approx 200^\circ\text{C} = 473,15 \text{ K}$$

(1)



$$M_m = 18 \text{ kg/kmol}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,228$$

$$? T_2, P_2, w_2$$

? Area minima \square

H_p :- gas perfetto

- no dispersioni termiche

- contributo aerotico : ingresso ugello uelle

Ugello convergente ha $M \leq 1$, bisognerebbe un ugello convergente e poi divergente

UGELLO

$$\frac{dM}{dt} = \dot{M}_1 - \dot{M}_2 \stackrel{s.s.}{=} 0 \rightarrow \dot{M}_1 = \dot{M}_2 = \dot{M}$$

olt

$$\frac{dE}{dt} = \dot{M} \left(h_1 + \frac{\omega^2}{2} \right) - \dot{M}_2 \left(h_2 + \frac{\omega_2^2}{2} \right) + \cancel{\dot{Q}} - \cancel{\dot{F}} \stackrel{s.s.}{=} 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}_1 s_1 - \dot{M}_2 s_2 + \cancel{\dot{S}} + \cancel{S_{IRR}} \stackrel{s.s.}{=} 0$$

ISOBEN TROPICA

$$S_1 = S_2 \quad h_2 + \frac{w_2^2}{2} = h_3$$

$$w_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)} = \sqrt{2c_p(T_2 - T_1)}$$

$$\begin{cases} R = C_p - C_v \rightarrow C_p(\gamma - 1) = \gamma R \\ \gamma = \frac{C_p}{C_v} \end{cases}$$

$$C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

$$c = \sqrt{\gamma R T} \rightarrow T = \frac{c^2}{\gamma R}$$

$$w = \sqrt{2 c_p (T_1 - T)} \rightarrow w = \sqrt{2 \cdot \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \cdot \frac{c^2}{\gamma R} \left(\frac{T_1}{T} - 1 \right)}$$

$$\frac{T_1}{T} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} \frac{w^2}{c^2} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2$$

$$\frac{T_1}{T} \xrightarrow{\text{ISOENTR}} \left(\frac{P_1}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}} = \left(\frac{P_1}{P} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

$$\frac{P_1}{P} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}$$

Bloco sonico

$$M=1 \rightarrow \frac{P_1}{P_{cr}} = \underbrace{\left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}}_{\text{Dipolo}} \rightarrow = 1,72752$$

Dipolo
Solo del fluido

L'oggetto è per velocizzare la matena, per velocizzare bisogna diminuire la pressione

$$\Rightarrow P_{cr} = P_{min}$$

Per controllare se arriviamo a $M=1$

se ipotizziamo che $P_2 = P_{ATM}$

$$\frac{P_1}{P_{ATM}} = 15,5 > 1,73 = \frac{P_1}{P_{cr}}$$

$$P_{cr} = P_1 \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 15,5 \text{ bar} \cdot \left(\frac{2}{(1,128+1)} \right)^{\frac{1,128}{0,121}} = 8,97 \text{ bar} = P_2$$

$P_{min} = P_{ATM}$ perché stiamo nella atmosfera (è una caldaia)
possibile

Dato che $P_{cr} > P_{ATM}$ se blocchiamo a $M=1$ e P_{cr} se $P_{cr} < P_{ATM}$ non arriviamo a $M=1$ e spettiamo fuori aria a P_{ATM}
 \hookrightarrow Minimo possibile in questo caso

$$T_2 = T_{cr} = T_1 \left(\frac{2}{1+\gamma} \right) = 447,7 K = 171,55^\circ C$$

Dato che $P_{cr} > P_{ATM}$ l'onda d'urto ha velocità del gassoso

$$w_2 = c_2 = \sqrt{\gamma R T_2} - 481,36 \text{ m/s}$$

$$\downarrow \\ M=1$$

$$\boxed{\dot{M} = \rho_2 w_2 A_2}$$

$$\rho_2 = \frac{P_2}{R^* T} = 4,377 \text{ kg/m}^3$$

$$A_2 = \frac{\dot{M}}{\rho_2 \cdot w_2} = 13,186 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

P_{cr} è la pressione minima che riusciamo a partire il fluido prima che arrivi alla velocità del suono. Se P_{cr} fosse minore di P_{ATM} , il fluido uscirebbe a P_{ATM} e non raggiungerebbe la velocità del suono.

Ciclo Rankine

$$P_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

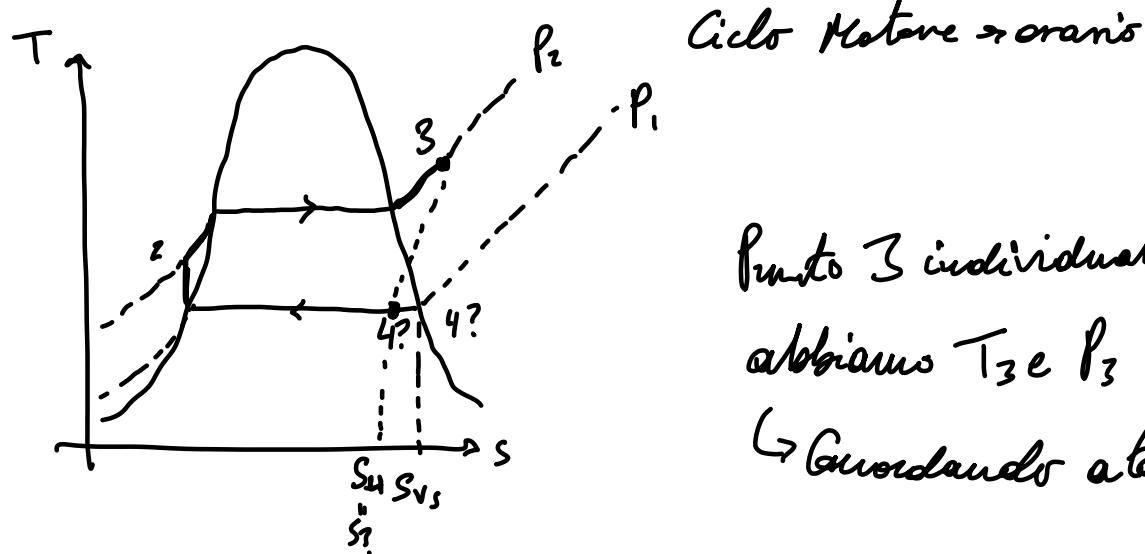
$$\vec{L} = 100 \text{ MW}$$

$$P_2 = 35 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_{MAX} = 648,15 \text{ K}$$

- Hp: - Potenze assorbite dalla pompa circolante
 - No disponibili termiche
 - No variazione E_{CIN}

Esercitazione 8 (Esercizio 4)



Punto 3 individuabile:
abbiamo T_3 e P_3
↳ Guardando a tabelle

3 → 4 Turbina Dovrebbe esser adiabatico ma
di segno i scifoso

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}$$

$$\dot{L}^{\text{Turb}} = \dot{m}(h_3 - h_4)$$

$$s_4 = s_3$$

↳ Trasformazione Adiabatica

| | |
|--|---|
| $s_3 = 6,7492 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ | $h_3 = 3163,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ |
|--|---|

↳ Tabelle repure sumiscaldata

$$s_4 = s_3 = 6,7492 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_4 = P_1 = 0,2 \text{ bar}$$

$$\text{Tabella Bi-fase } (P_{\text{sat}} = 0,2 \text{ bar}) \rightarrow s_{\text{rs}} = 7,9085 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$s_4 < s_{\text{rs}} \Rightarrow \text{Bi-fase}$

$$\chi_u = \frac{s_4 - s_{\text{rs}}}{s_{\text{rs}} - s_{\text{ls}}} = 0,836$$

$$h_u = h_L @ P_4 + \chi_u (h_{\text{rs}} - h_{\text{ls}}) = 2222,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Dato che pompa non occupa lavoro (M_p)

In questo caso:

$$\dot{m} = \frac{\dot{L}}{h_3 - h_4} = 106,35 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\eta = \frac{\dot{L}}{\dot{Q}_{23}} \quad \dot{Q}_{23} = \dot{m}(h_3 - h_2)$$

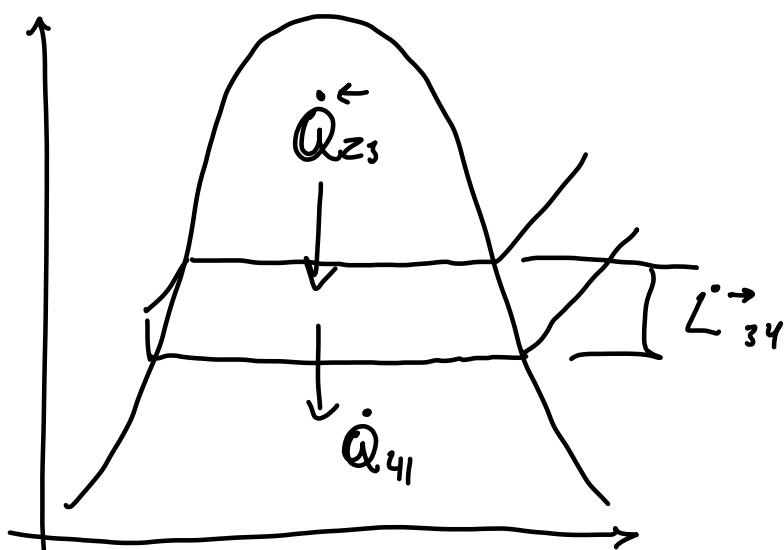
Dato che lavoro pompa trascurabile:

$$h_1 = h_2$$

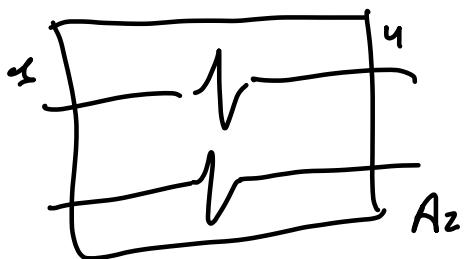
$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}(h_3 - h_1)$$

In h_1 si ha liquido saturo in $P_1 \rightarrow h_1 = h_{2s} @ P_1 = 251,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$\eta = \frac{\dot{L}}{\dot{Q}_{23}} = 0,323$$



Portare tale che $\Delta T_{acqua} < \dots$?



$$\frac{dE}{dt} \underset{\text{conduzione}}{=} \dot{m}_1(h_2 - h_1) + \dot{m}_{acqua}(h_{out} - h_{in}) \\ = A_x$$

$$\dot{m}_{acqua} = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{c(T_2 - T_1)} = \frac{209,7 \text{ MW}}{4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 5 \text{ K}} = 10019 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 209,7 \text{ MW}$$

Se lavoro di pompa non trascurabile

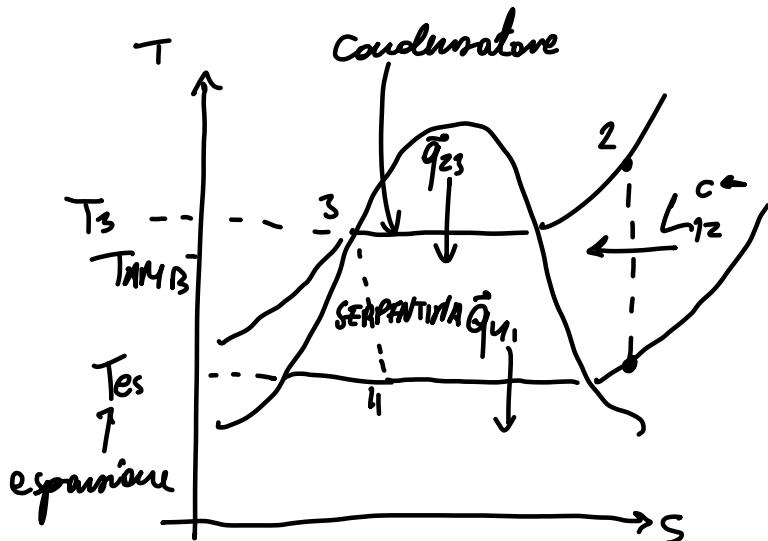
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{L}_p = \dot{L}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) = \dot{m}[h_1 + v(P_2 - P_1) - h_1] = \dot{m}v(P_2 - P_1) \\ = 0,3764 \text{ MW} \\ h_2 \approx h_1 + v_{at P_2} (P_2 + P_1) \end{array} \right.$$

$$\dot{L}^{in} = \dot{L}^{in} - \dot{L}^{pump} = 100 \text{ MW} - \underbrace{0,3764 \text{ MW}}_{\dot{L}^{pump}} = 99,624 \text{ MW}$$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}(h_2 - h_3) = 309,32 \text{ MW} \quad \eta = \frac{\dot{L}^{in}}{\dot{Q}^{in}} = 0,322$$

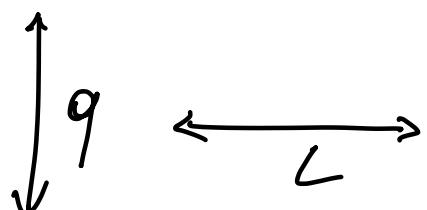
$$\text{Enore trascurando pompa} = \frac{0,322 - 0,323}{0,322} = 0,3\%$$

Esercizio 5 (Esercitazione 2) - Frigorifero



Ciclo
Operatore -
Articolando

Per frigo \dot{q}_{41} è
utile



$$\dot{Q}_{41}^< = 70 \text{ kW}$$

$$T_{es} = -26^\circ\text{C} = T_4$$

$$? \dot{m}_{R134A}$$

$$T_{\substack{\text{COMP} \\ \text{RESTORE}}} = 40^\circ\text{C} = T_3$$

$$? L_{CMIN}^<$$

$$T_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$? \epsilon_R$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_1 h_1 + \dot{Q}_{41}^< \xrightarrow{S.S.} 0$$

$$\dot{Q}_{41}^< = \dot{m} (h_1 - h_4)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{41}^<}{h_1 - h_4} =$$

① vapore surriscaldato a $0^\circ\text{C} \rightarrow e P_i = p_{SAT}(T_4) \cdot 1 \text{ bar}$

↳ tabella vapore surr.

$$h_1 = 852,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = 1,0227 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h_{LS} @ 40^\circ C = 105,19 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_2 = s_{LS} @ 40^\circ C = 0,3266 \frac{kg}{kg \cdot K}$$

$$\rightarrow = 0,477 \frac{kg}{s}$$

$\dot{L}_{12 \text{ min}}^{ce} \rightarrow \text{net + ad} = \text{Isorentropies}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{L}_{12}^{ce} = M(h_2 - h_1) \\ S_2 = S_1 \Rightarrow S_2 = 1,0227 \frac{kg}{kg \cdot K} \\ P_2 = P_3 = 10,164 \text{ bar} = P_{sat}(40^\circ C) \end{array} \right.$$

Tabella sumiscaldata @ P_2 cerca T_2 che soddisfi S_2

$$\left. \begin{array}{l} 70^\circ C \rightarrow s = 1,0073 \frac{kg}{kg \cdot K} \\ 80^\circ C \rightarrow s = 1,0405 \frac{kg}{kg \cdot K} \end{array} \right\} \text{INTERPOLA valori di } h$$

$$h_2 \approx 307,1 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Rightarrow \dot{L}_{12}^{ce} = 25,81 \text{ kW}$$

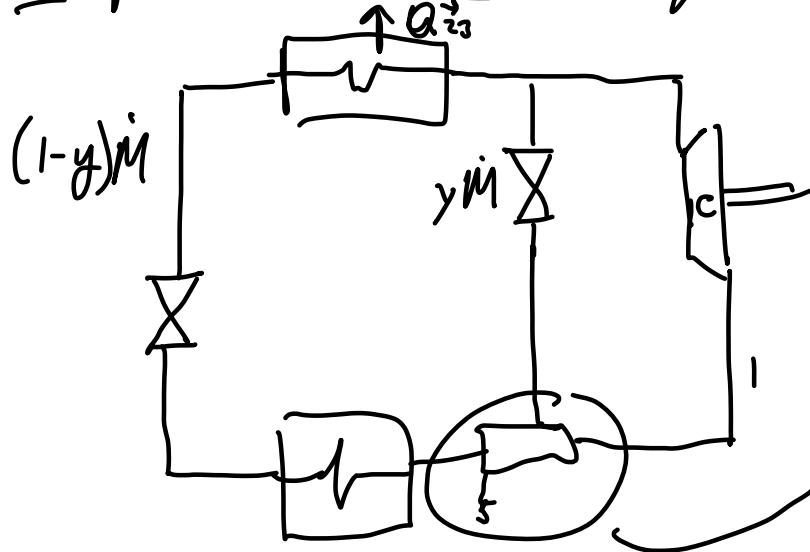
$$\Sigma_r =$$

↑

Non rendimento per $\eta < 1$ invece $\varepsilon \leq 1$

$$\mathcal{E}_r = \frac{\dot{Q}_{41}^e}{L_{12}^c} = 2,71$$

Importiamo ultimo: \dot{Q}_{23}^e con bipass aggiunto



Combato da 70-80 prima $\rightarrow 50 \text{ kW}$

$$\begin{cases} (1-y)M(h_4 - h_5) + \dot{Q}_{45}^e = 0 \\ (1-y)M h_5 + M_y h_2 = M h_1 \end{cases}$$

Soluzione = 0,209

$$\mathcal{E}_r = \frac{\dot{Q}_{45}^e}{L_c^c} = 1,94$$