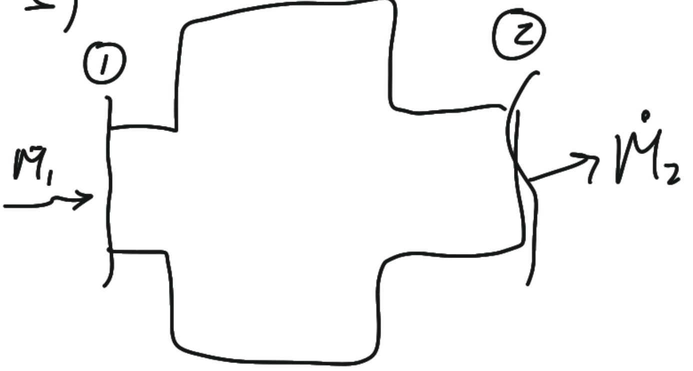
Esercitazione 6 - Sistemi Aperti

1)



$\boxed{\dot{V}_1} = 675 \frac{m^3}{h} = 0{,}1875 \frac{m^3}{s}$

$h_1 = 500 \frac{kJ}{kg}$ $s_1 = 700 \frac{J}{kgK}$

$h_2 = 100 \frac{kJ}{kg}$ $S_2 = 200 \frac{J}{kg \cdot K}$

$\rho_1 = 1{,}6 \, kg/m^3$

Le turbine possono esser prese come adiabatiche se non detto altro

Ipotesi: - Stazionario,
- Reversibile

? Potenza netta scambiata $(\dot{Q} - \dot{L})$

? $\dot{Q}^{\leftarrow} \neq 0$

Bilancio di Massa

$$\frac{dM}{dt} = \dot{M}_1 - \dot{M}_2 \overset{\text{sistema stazionario}}{=} 0 \Rightarrow \dot{M}_1 = \dot{M}_2 = \dot{M}$$

Bilancio Energetico

$$\frac{dE}{dt} = \underbrace{\dot{M}_1 \cdot h_1 - \dot{M}_2 h_2}_{\uparrow} + \dot{Q}^{\leftarrow} - \dot{L}^{\rightarrow} \overset{\text{s.s}}{=} 0$$

sistema stazionario

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}_1 s_1 - \dot{M}_2 s_2 + \dot{S}^{\leftarrow} + \underbrace{\dot{S}_{IRR}}_{=0 \text{ reversibile}} \overset{\text{s.s}}{=} 0$$

$$\dot{M}_1 = \rho_1 \underbrace{\dot{V}_1}_{\uparrow} = 0{,}3 \frac{kg}{s} \rightarrow \dot{M}$$

$\dot{Q}^{\leftarrow} - \dot{L}^{\rightarrow} = \dot{M}(h_2 - h_1)$ } equazioni di bilancio energetico sviluppata

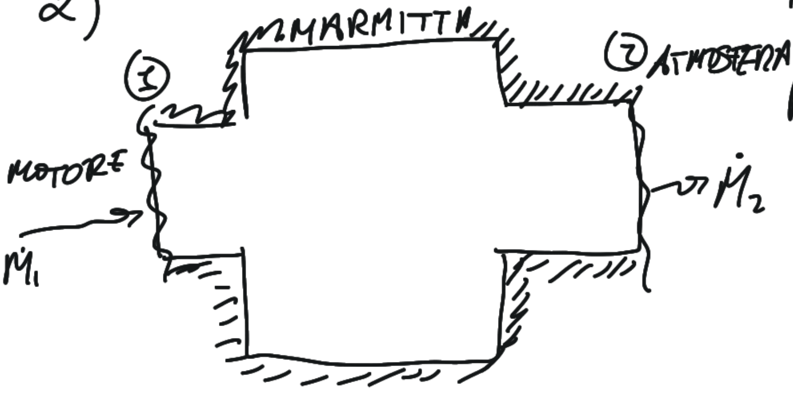
$= \boxed{-120\ kW}$ Potenza netta scambiata

$\dot{S}^{\leftarrow} = \dot{M}(s_2 - s_1) = -150 \boxed{\frac{W}{K}}$ → non $\frac{J}{K}$ per la portata

$\dot{S}^{\leftarrow} \neq 0 \Rightarrow \dot{Q} \neq 0$

$\dot{S}^{\leftarrow} < 0 \rightarrow \dot{Q}^{\leftarrow} < 0$ non è adiabatico, cede calore all'esterno

2)



$T_1 = 523,15\ K$

$P_1 = 2 \cdot 10^5\ Pa$

? T_2

? Processo reversibile?

Hp: - gas combustione ≈ aria gas ideale
- NO dispersioni termiche
- stato stazionario

non ci sono macchine

adiabatico

$$\frac{dM}{dt} = \dot{M}_1 - \dot{M}_2 \overset{S.S}{=\!=} 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{M}_1 h_1 - \dot{M}_2 h_2 + \cancel{\dot{Q}}^{\,0} - \cancel{\dot{L}}^{\,0} \overset{S.S}{=\!=} 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}_1 s_1 - \dot{M}_2 s_2 + \underbrace{\cancel{\dot{S}^{\leftarrow}}}_{\to 0 \text{ adiabatico}} + \dot{S}_{IRR} = 0$$

(1) $\dot{M}_1 = \dot{M}_2 = \dot{M}$

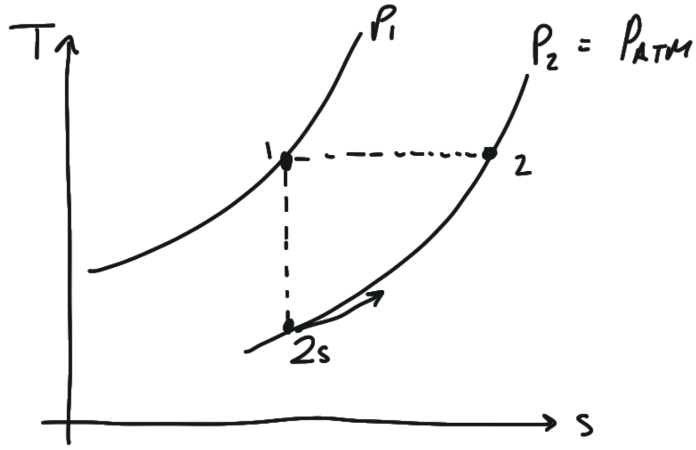
(2) $\dot{M} h_1 - \dot{M} h_2 = 0 \quad h_1 = h_2 \Rightarrow \Delta h = 0$

$$\Delta h = 0 \xrightarrow{G.P} \Delta h = c_p(T_2 - T_1) \rightarrow T_2 = T_1 = 250°C$$

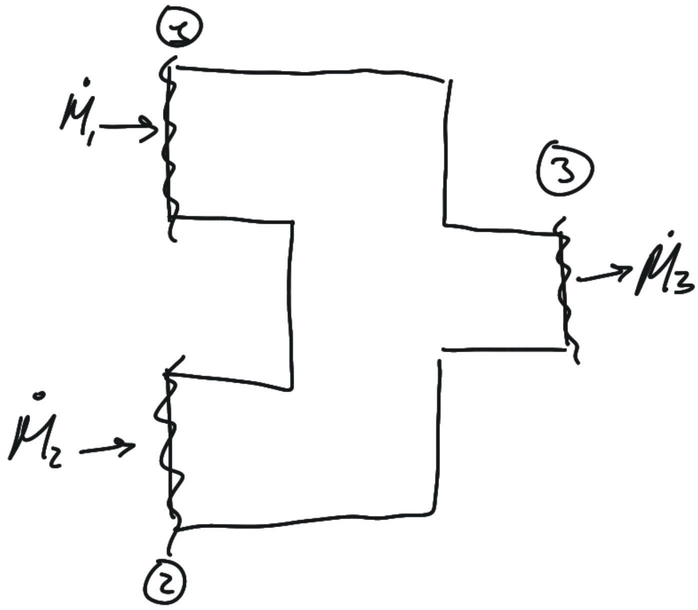
$$(3) \quad \dot S_{IRR} = \dot M(s_2 - s_1) \overset{G.P}{=\!=} \dot M\left[\underbrace{c_p \ln \cancel{\frac{T_2}{T_1}}}_{\rightarrow 0} - R^* \ln \frac{P_2}{P_1}\right]$$

$P_2 = P_{ATM}$ (scarica in atmosfera quindi $= P_{ATM}$)

$$\dot S_{IRR} = -\dot M R^* \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 195 \frac{J}{kg\,K} \qquad \dot M \rightarrow \dot S_{IRR} > 0 \Rightarrow$$ Processo Possibile Irreversibile



3) Miscelatore di Acqua Calda (i.e. rubinetto)



$T_1 = 80°C = 353,15\,K$

$T_2 = 15°C = 288,15\,K$

$T_3 = 60°C = 333,15\,K$

$\dot V_3 = \frac{10\,dm^3}{min} = 0,01 \frac{m^3}{min} = 0,000167 \frac{m^3}{s}$

$?\ \dot M_1$ e $\dot M_2$

$\rho = 980 \frac{kg}{m^3} \qquad c = 4,2 \frac{kJ}{kg\,K}$

Hp: stato stazionario

$?\ \dot M_1, \dot M_2 \qquad ?\ w_3 : D = 0,012\,m$

? Pr Rev o Irrev

$$\frac{dM}{dt} = \dot M_1 + \dot M_2 - \dot M_3 \overset{S.S}{=\!=} 0 \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot M h_1 + \dot M_2 h_2 - \dot M_3 h_3 + \cancel{\dot Q}^{\,0} - \cancel{\dot L}^{\,0 \text{ no molle}} \overset{S.S}{=\!=} 0 \quad (2)$$

$$(1) \rightarrow \dot M_1 + \dot M_2 = \dot M_3 = 0{,}163 \ \frac{kg}{s}$$

$$(2) \rightarrow \dot M_1 h_1 + \dot M_2 h_2 = \dot M_3 h_3$$

Dall'equazione di stato dei liquidi:

$$h = h_0 + c(T - T_0) + v(P - P_0) = (h_0 - cT_0 - vP_0) + cT + vP \quad (3)$$

$$(3) \rightarrow (2)$$

$$\dot M_1 (h_0 - cT_0 - vP_0) + \dot M_1 (cT_1 + vP_1) + \dot M_2 (h_0 - cT_0 - vP_0) + \dot M_2 (cT_2 - vP_2) - \dot M_3 (h_0 - c \cdot T_0 - v \cdot P_0) - \dot M_3 (c \cdot T_3 + vP_3) = 0$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P$$

$$\cancel{(\dot M_1 + \dot M_2 - \dot M_3)}^{\,0\,(1)} (h_0 - cT_0 - vP_0) + \cancel{(\dot M_1 + \dot M_2 - \dot M_3)}^{\,0\,(1)} vP + \dot M_1 c T_1 + \dot M_2 c T_2 - \dot M_3 c T_3 = 0$$

$$\dot M_1 \cancel{c} T_1 + \dot M_2 \cancel{c} T_2 - \dot M_3 \cancel{c} T_3 = 0 \rightarrow \text{inserisco } \underset{(1)}{\dot M_1 = \dot M_3 - \dot M_2}$$

$$\dot M_2 = \frac{\dot M_3 \overbrace{(T_1 - T_3)}^{20k}}{\underbrace{T_1 - T_2}_{65k}}$$

$$\dot M_2 = 0{,}05 \ \frac{kg}{s}$$

$$\dot M_1 = \dot M_3 - \dot M_2 = 0{,}113 \ \frac{kg}{s}$$

$?w_3$ velocità

$$\boxed{\dot{M}_3 = \rho\, w_3 \cdot Area_3}$$

$$w_3 = \frac{\dot{M}_3}{\rho \cdot \frac{D^2}{4}\pi} = 1{,}47\ \frac{m}{s}$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}_1 s_1 + \dot{M}_2 s_2 - \dot{M}_3 s_3 + \xcancel{\dot{S}}^{\,0\ \text{adiabatico}} + \dot{S}_{irr} = 0$$

$$\dot{S}_{irr} = \dot{M}_3 s_3 - \dot{M}_1 s_1 - \dot{M}_2 s_2 \quad (4)$$

$$\boxed{\text{Per liquidi incomprimibili: } \quad s_i = s_0 + c \ln \frac{T_i}{T_0}} = s_0 - c \ln T_0 + c \ln T_i \quad (5)$$

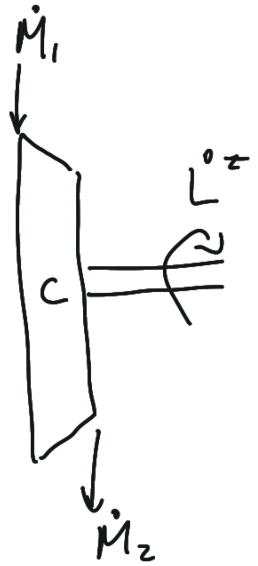
$(4) \rightarrow (5)$

$$\dot{S}_{irr} = \cancel{(\dot{M}_3 - \dot{M}_1 - \dot{M}_2)}^{\,0} (s_0 - c \ln T_0) + \dot{M} c \ln T_3 - \dot{M}_1 c \ln T_1 + $$

$$- \dot{M}_2 c \ln T_2 = 2{,}9\ \frac{W}{K}$$

$\dot{S}_{irr} > 0 \rightarrow$ Processo possibile e irreversibile

4) Compressore



$\dot{M}_1 = 50\ kg/h = 0{,}0139\ \frac{kg}{s}$

$P_1 = 1\ bar = 10^5\ Pa$

$T_1 = 20°C = 293{,}15\ K$

$P_2 = 5\ bar = 5 \cdot 10^5\ Pa$

$\eta_c = 0{,}9$

Ipotesi: - Stazionariamente

- Adiabatico

- Aria gas perfetto

$?T_2 \quad ?\dot{L}$

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

$$\frac{dE}{dt} = \dot{M}_1 h_1 - \dot{M}_2 h_2 + \cancel{\dot{Q}}^{\,0} - \dot{L}^{\rightarrow} \overset{S.S}{=} 0$$

$\neq 0$ per compressore serve lavoro
È una macchina

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}_1 s_1 - \dot{M}_2 s_2 + \cancel{\dot{S}}^{\,0} + \dot{S}_{irr} \overset{S.S}{=} 0$$

0 adiabatico

$\dot{L}$ esatto ed $\neq 0$, per un compressore è entrata è comodo quindi usare $\dot{L}^{\leftarrow}$

$$\boxed{\dot{L}^{\leftarrow} = \dot{M}(h_2 - h_1) \overset{G.P.}{=} \dot{M} c_p (T_2 - T_1)} \leftarrow \text{Ricordare per compressori}$$

$$\Delta h = c_p \Delta T$$

$$\dot{S}_{irr} = \dot{M}(s_2 - s_1) \overset{G.P.}{=} \dot{M}\left(c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R^* \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)\right)$$

3 incognite $\dot{L}^{\leftarrow}, \dot{S}_{irr}$ e T_2 ma solo 2 equazioni

η_c lega $\dot{L}^{\leftarrow}$ con $\dot{L}^{\leftarrow}_{rev}$ ...

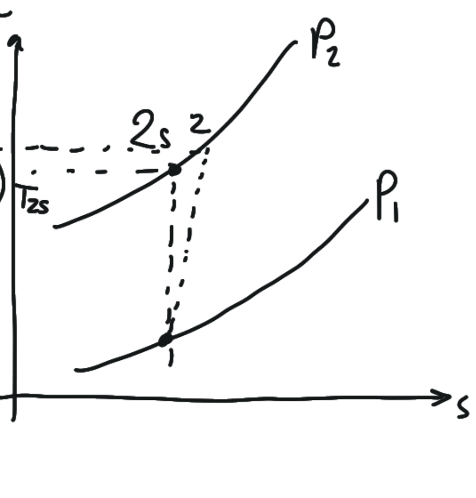
Inizio con il risolvere del problema.

x compressore ideale $\rightarrow \dot{S}_{irr} = 0$

$$\dot{L}^{\leftarrow}_{rev} = \dot{M}(h_{2s} - h_1) = \dot{M} c_p (T_{2s} - T_1)$$

h_{2s}: reversibile / isoentropico

$$\dot{S}_{irr} = \dot{M}\left(c_p \ln\frac{T_2}{T_1} - R^* \ln\frac{p_2}{p_1}\right) = 0$$



$$c_p \ln\left(\frac{T_{2s}}{T_1}\right) - R^* \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0$$

$$T_{2s} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{R/c_p} \cdot T_1 = 464,3\ K = 191,15\,°C$$

$$\overleftarrow{L}_{rev} = \dot{M} c_p (T_{2s} - T_1) = \dot{M}\, \frac{7}{2} R^* (T_{2s} - T_1) = \underline{2,387\ kW}$$

$$\boxed{\eta_c = \frac{\dot{L}^{\leftarrow}_{rev}}{\dot{L}_{rev}}} \leftarrow \text{minore possibile} \qquad = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \overset{G.P.}{=} \frac{\cancel{\dot{M} c_p} (T_{2s} - T_1)}{\cancel{\dot{M} c_p} (T_2 - T_1)}$$

$$= \frac{T_1 - T_{2s}}{T_1 - T_2}$$

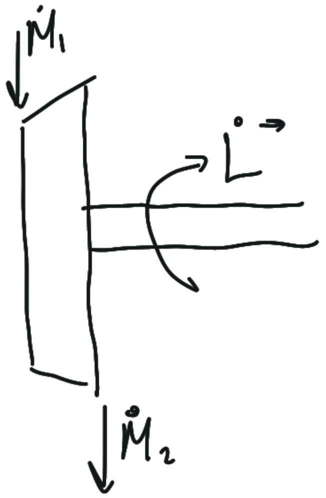
$$\dot{L}^{\leftarrow} = \frac{\dot{L}^{\leftarrow}_{rev}}{\eta_c} = \underline{2,6 \quad kW}$$ ← maggiore di quello ideale, perché del lavoro perso

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_c} = 483,32\ K$$

$$= T_1 + \frac{\dot{L}^{\leftarrow}}{\eta_c} = 484,07\ K$$

~

5) Turbina



$$\dot{M}_1 = 100\ \frac{kg}{h} = 0,278\ \frac{kg}{s}$$

$$P_1 = 4 \cdot 10^5\ Pa$$

$$T_1 = 900\,°C = 1173,15\ K$$

$$P_2 = 10^5\ Pa$$

$\eta_T = 0,9$ } non ideale

$?T_2 \qquad ?\dot{L}^{\rightarrow}$

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

Hp: - Stazionario
- Aria gas perfetto
- Adiabatico

$$\frac{dE}{dt} = \dot{M}_1 h_1 - \dot{M}_2 h_2 + \cancel{\dot{Q}}^{\,0} - \dot{L}^{\rightarrow}_{rev} \overset{s.s}{=} 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}_1 s_1 - \dot{M}_2 s_2 + \cancel{\dot{S}}^{\,0} + \dot{S}_{IRR} = 0$$

$$\boxed{\dot{L}_{rev} = \dot{M}(h_1 - h_{2s}) \overset{G.P}{=} \dot{M} c_p (T_1 - T_{2s})}$$

$$\dot{M}(s_1 - s_2) = 0 \qquad s_1 = s_2$$

$$\propto G.P. \quad c_p \ln\frac{T_{2s}}{T_1} - R^* \ln\frac{P_2}{P_1} = 0$$

$$T_{2s} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{R/c_p} \cdot T_1 = 789{,}47\,K$$

$$\dot{L}^{\rightarrow}_{rev} = 107{,}03\,kW$$

$$\boxed{\eta_T = \frac{\dot{L}^{\rightarrow}}{\dot{L}^{\rightarrow}_{rev}}} \qquad 0 < \eta_T \leq 1 \qquad \eta_T = \frac{\dot{M}(h_1 - h_2)}{\dot{M}(h_1 - h_{2s})} = \frac{\dot{M} c_p (T_1 - T_2)}{\dot{M} c_p (T_1 - T_{2s})}$$

$$\eta_T = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{2s}}$$

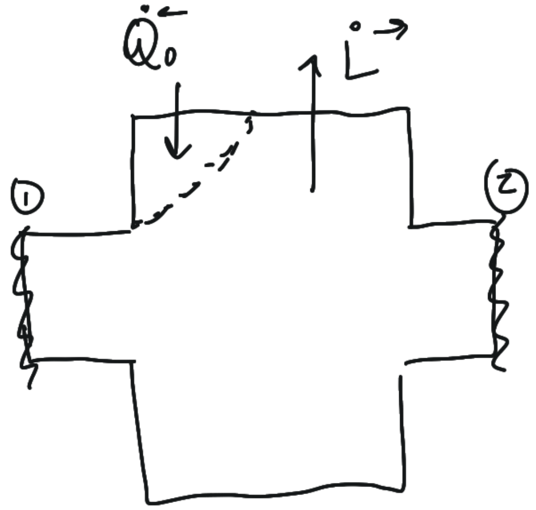
$$\dot{L}^{\rightarrow} = \eta_T \cdot \dot{L}^{\rightarrow}_{rev} = 96{,}33\,kW$$

$$T_2 = T_1 - (T_1 - T_{2s}) \cdot \eta_T = 827{,}84\,K$$

$$= T_1 - \frac{\dot{L}^{\rightarrow}}{\dot{M} c_p} = 829{,}83$$

$\sim$

6)



$P_1 = 5 \cdot 10^5\ Pa$

$T_1 = 773,15\ K$

$P_2 = 10^5\ Pa$

$T_2 = 473,15\ K$

$\dot{M} = \dot{M}_1 = \dot{M}_2 = 36\ t/h =$
$= 10\ kg/s$

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

Hp: - Stazionario
- Gas perfetti biatomico
$M_m = 29\ kg/kmol$

$$\dot{M}_1 = \dot{M}_2 = \dot{M}$$

$$T_0 = 20°C = 293,15\ K$$

Il sistema ha scambi termici con l'ambiente in condizioni di equilibrio locale $\Leftarrow$ processo quasi statico con un serbatoio

$$\frac{dE}{dt} = \dot{M}_1 h_1 - \dot{M}_2 h_2 + \dot{Q}_0^{\leftarrow} - \dot{L}^{\rightarrow} \stackrel{s.s}{=} 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}_1 s_1 - \dot{M}_2 s_2 + \dot{S}_0^{\leftarrow} + \dot{S}_{IRR} \stackrel{s.s}{=} 0$$

sotto alle Hp $\rightarrow$ $\dot{S}_0^{\leftarrow} = \dfrac{\dot{Q}_0^{\leftarrow}}{T_0}$

$$\dot{M}(s_1 - s_2) + \frac{\dot{Q}_0^{\leftarrow}}{T_0} + \dot{S}_{IRR} = 0$$

$$\dot{Q}_0^{\leftarrow} = \dot{M}\, T_0 (s_2 - s_1) - T_0 \dot{S}_{IRR}$$

$$\dot{L}^{\rightarrow} = \dot{M}(h_1 - h_2) + \dot{Q}_0^{\leftarrow} = \dot{M}(h_1 - h_2) + \dot{M}\, T_0 (s_1 - s_2) - \cancelto{0}{T_0 \dot{S}_{IRR}}$$

$$\dot{L}_{MAX} = \dot{L}_{rev} \Rightarrow \dot{S}_{IRR} = 0$$

$$\dot{L}_{MAX} = \dot{M}(h_1 - h_2) + \dot{M} T_0 (s_2 - s_1) \overset{G.P.}{=}$$

a G.P. $= \dot{M} c_p (T_1 - T_2) + \dot{M} T_0 \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R^* \ln \frac{P_2}{P_1} \right) =$

$= 2919{,}6 \ kW$

$$\dot{Q}_0^{\leftarrow} = T_0 \dot{S}_0^{\leftarrow} = \dot{M} T_0 (s_2 - s_1) = -90{,}9 \ kW$$

NEL CASO DI TURBINA ADIABATICA

$$\dot{M}(h_1 - h_2) - \dot{L}^{\rightarrow} = 0$$

$$\dot{M}(s_1 - s_2) + \dot{S}_{IRR} = 0$$

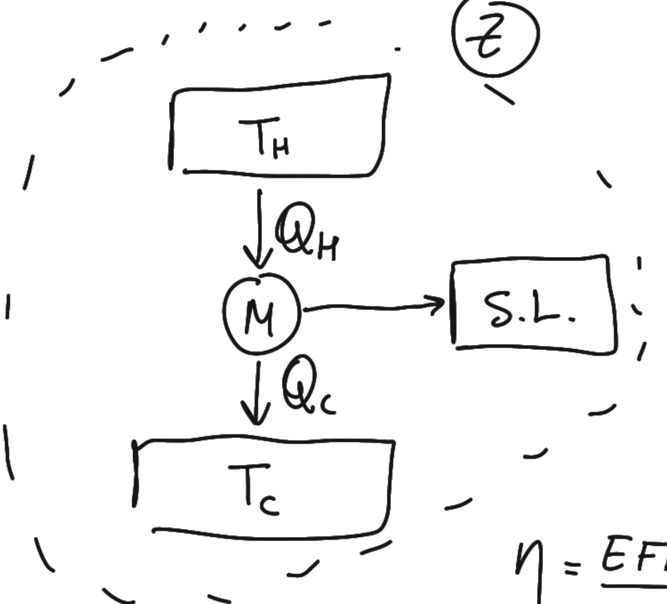
$$\dot{S}_{IRR} = \dot{M}(s_2 - s_1) \overset{G.P.}{=} \dot{M}\left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R^* c_p \ln \frac{P_2}{P_1} \right) =$$

$$= -310 \ \frac{W}{s}$$

$\dot{S}_{IRR} < 0 \rightarrow$ processo impossibile

MTM e MTO

MTM



H -> hot

C -> cold

$$\boxed{Q_H = L + Q_C}$$

$$\eta_{CARNOT} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\eta = \frac{\text{EFFETTO UTILE}}{\text{spesa}} = \frac{L}{Q_H}$$

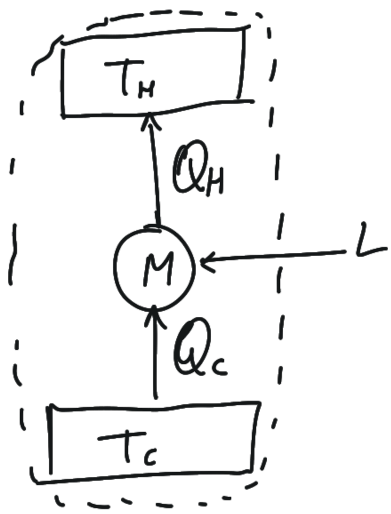
per MTM, lavoro utile

$$\eta = \frac{Q_H - Q_c}{Q_H} \qquad \eta_{II} = \frac{\eta}{\eta_c}$$ rendimento di secondo principio

$$\Delta S^T = \Delta S^H + \underbrace{\cancel{\Delta S^M}}_{\to 0} + \Delta S^c = \underbrace{\cancel{S^{\leftarrow}}}_{\to 0} + S_{IRR}$$

$$\Delta S^T = -\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_c}{T_c} = S_{IRR}$$

MTO



$$Q_H = L + Q_c$$

$$\Delta S^T = \Delta S^H + \overbrace{\cancel{\Delta S^M}}^{\to 0} + \Delta S^c = \overbrace{\cancel{S^{\leftarrow}}}^{\to 0} + S_{IRR}$$

$$\Delta S^T = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_c}{T_c} = S_{IRR}$$

Tipi di Macchine:

- Aria Condizionata / Frigorifero
- Pompe di Calore

1. Raffreddare l'ambiente a T inferiore → frigorifero

$$COP_F = \frac{T_c}{T_H - T_c}$$

2. Riscaldare un ambiente a T superiore → pompa di calore

$$COP_{PdC} = \frac{Q_H}{L} \qquad COP_{PdC\ ideale} = \frac{T_H}{T_H - T_c}$$