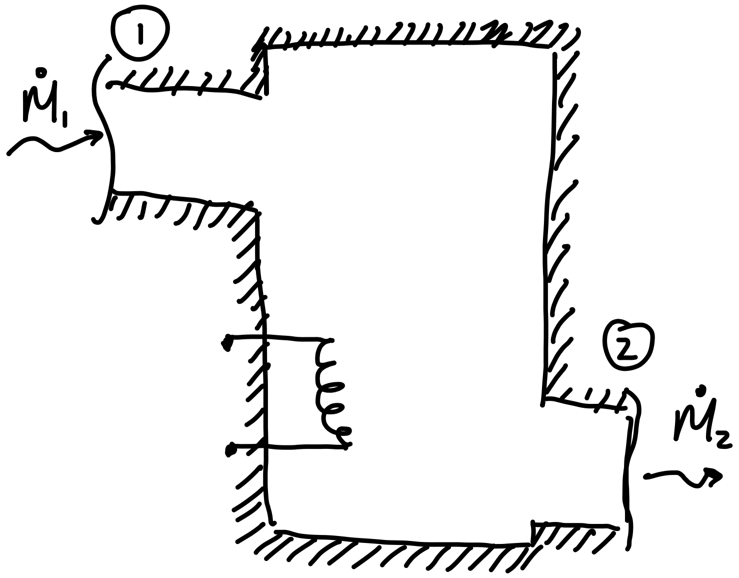
Esercitazione 7 - Sistemi Aperti, Macchine Termiche e Cicli

Imparare come impostare problemi di sistemi aperti complessi

Esercizio I - Caldaia nella casa della nonna



$\dot{V}_2 = \frac{2\,m^3}{kg} = 0{,}03\ \frac{m^3}{s}$

$T_2 = 45°C$

$T_1 = 5°C$

$P_1 = P_2 = 101\,325\ Pa$

$M_m = 29\ \frac{kg}{mol}$

$?\ \dot{L}^{\leftarrow}$

$?\ \dot{S}_{IRR}$

$R^* = 286{,}7\ \frac{J}{kg \cdot K}$

$c_p^{\circ} = \frac{7}{2} R^* = 1003{,}4\ \frac{J}{kgK}$

Hp - gas perfetto (aria)
- biatomico
- stazionario
- adiabatico (no dispersioni termiche)
- No ΔP

Bilancio Massa

$\rho_1 \dot{V}_1 = \rho_2 \dot{V}_2$

$dM = \dot{M}_2 - \dot{M}_1 = 0 \Rightarrow \dot{M}_1 = \dot{M}_2 = \dot{M}$

Bilancio Energetico

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

$$\dot{L}^{\rightarrow} = -\dot{L}_{el}$$

Bilancio Entropico

$$s_2 = s_1 + c_p^* \ln \frac{T_2}{T_1}$$

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

Gas Ideale → Equazione di stato

$$\frac{P}{\rho_1} = R^* T_1 \Rightarrow \rho_1 = 0{,}363 \frac{kg}{m^3} \quad \frac{P}{\rho_2} = R^* T_2 \Rightarrow \rho_2 = 0{,}3174 \frac{kg}{m^3}$$

↳ Da $P_2 V_2 = \frac{M}{M_m} R T_2$

$$P_2 \frac{V_2}{M} = R^* T_2 \qquad v_2 = \frac{1}{\rho_2}$$

$$\rho_2 = \frac{P_2}{R^* T_2} = 1{,}11 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{M} = \dot{M}_2 = \rho_2 \dot{V}_2 = 0{,}037 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{L}^{\leftarrow} = \dot{L}^{\leftarrow} = \dot{M}(h_2 - h_1) \overset{G.P}{=} \dot{M} c_p^* (T_2 - T_1) = 1485\ W$$

$$\dot{S}_{irr} = \dot{M}(s_2 - s_1) \xlongequal{G.P} \dot{M}\left(c_p^* \ln\frac{T_2}{T_1} - \underbrace{R^* \ln\frac{p_2}{p_1}}_{0}\right) = 4{,}99\,\frac{W}{K} > 0$$

Processo Irreversibile

Se viene chiesto di migliorare si prende carta bianca come dato

Esempio: Ci viene venduta una caldaia che usa 20% di L

$\dot{L}^{\leftarrow}_{nuovo} = .2\,\dot{L}^{\leftarrow} = 297\,W$? è possibile

$$\underbrace{\dot{M}(h_1 - h_2)}_{cost} + \dot{Q}^{\leftarrow} + \dot{L}^{\leftarrow}_{nuovo} \xlongequal{s.s} 0$$

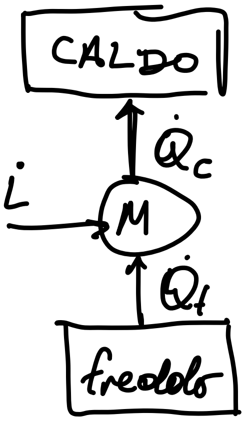
consideriamo non adiabatico per far tornare i calcoli

dall'ambiente con pompa di calore

$\dot{Q}^{\leftarrow} = 1188\,W$

$$\frac{dS}{dt} = \underbrace{\dot{M}(s_1 - s_2)}_{cost} + \dot{S}^{\leftarrow} + \dot{S}_{irr} \overset{s.s}{=} 0$$

È possibile aggiungere una pompa di calore



$T_0 = 5°C = 278{,}15\ K$

$$\dot{S}^{\leftarrow} = \frac{\dot{Q}^{\leftarrow}}{T_0}$$

$S_{IRR} = 0{,}72\ \frac{W}{K} > 0 \rightarrow$ possibile

$\downarrow$

si può migliorare

Come migliorare di più

$\dot{S}_{irr} = 0$

$$\dot{L}^{\leftarrow}_{min} = \dot{M}(h_2 - h_1) - \dot{Q}^{\leftarrow}_{Lmin}$$

$$\dot{S}^{\leftarrow}_{Lmin} = \dot{M}(s_2 - s_1) \qquad \dot{S}^{\leftarrow}_{Lmin} = \frac{\dot{Q}^{\leftarrow}_{Lmin}}{T_0}$$

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

$$\dot{L}^{\leftarrow}_{MIN} = \dot{M}(h_2 - h_1) - \dot{M}\, T_0\, (s_2 - s_1) \overset{0.P}{=} 97\ W$$

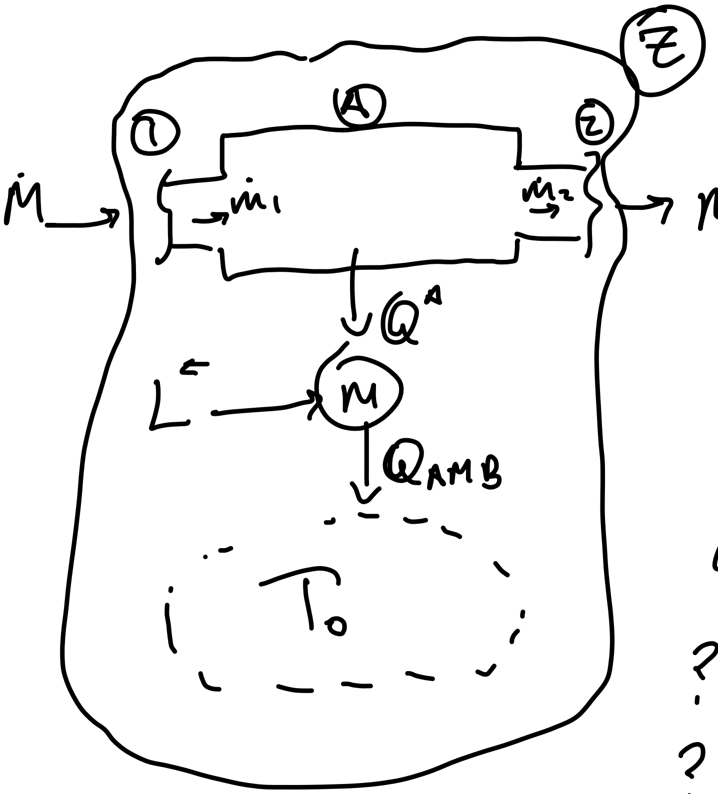
$\uparrow$

$\frac{1}{15}$

Macchine Termiche

Esercizio 2) Chiller

Acqua Incomprimibile $\Rightarrow$ NO ΔP



$\dot{M}_2 = 1200\ kg/h = 0,3\ kg/s$

$T_1 = 288,15\ K$

$T_2 = 275,15\ K$

$T_0 = 303,15\ K$

$\dot{L}^{\leftarrow}_{max} = 450\ W$

? $\dot{Q}^{A\rightarrow}$

? Funziona con $\dot{L}^{\leftarrow}_{max}$

? $\dot{L}^{\leftarrow}_{min}$

A è stazionario e non ha dispersioni termiche
↳ non perdite termiche oltre quelle volute

$\boxed{\text{SISTEMA A}}$

$$\frac{dM^A}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \overset{S.S}{=} 0 \qquad m_1 = m_2 = m = 0,3\ kg/s$$

$$\boxed{\frac{dE^A}{dt} = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{Q}^{A\rightarrow} + \dot{L}^{A\leftarrow} \overset{S.S}{=} 0}$$

$$\dot{Q}^{A\rightarrow} \overset{L.I.}{=} \dot{m} c (T_1 - T_2) + v(\cancel{P_1 - P_2})^{0} = 18139,3\ W$$

$\boxed{\text{SISTEMA Z}}$

$$(1)\quad \frac{dE}{dt} \overset{ADD}{=} \frac{dE^A}{dt} + \frac{dE^M}{dt} + \frac{dE^{AMB}}{dt} = \cancel{\dot{Q}^{Z\leftarrow}}^{0} + \dot{L}^{Z\leftarrow} + \overbrace{\dot{M}(h_1 - h_2)}^{\text{acqua che entra ed esce}}$$

(2) $$\frac{dS^{Z}}{dt} \overset{ADD}{=} \frac{dS^{A}}{dt} + \frac{dS^{M}}{dt} + \frac{dS^{AMB}}{dt} = \dot{m}(s_1 - s_2) + \cancel{\dot{S}^{Q}}^{\,0} + S_{IRR}$$

$$\frac{dE^{M}}{dt} \overset{adia}{=} 0 \qquad \frac{dS^{M}}{dt} \overset{adia}{=} 0 \qquad \frac{dE^{A}}{dt} \overset{s.s}{=} 0$$

$$\frac{dS^{A}}{dt} \overset{s.s}{=} 0 \qquad \frac{dE^{AMB}}{dt} = \dot{Q}_{AMB} \qquad \frac{dS^{AMB}}{dt} = \frac{\dot{Q}_{AMB}}{T_{AMB}}$$

Trattiamo come serbatoio

$$\underbrace{\dot{Q}_{AMB} = -\dot{L}^{\leftarrow} + \dot{Q}^{A\rightarrow}}_{\text{come bilancio ad } M} \quad (1)$$

Funziona se $\dot{L}_{MAX} \geq \dot{L}_{min}$

ma $\dot{L}_{MIN} \Rightarrow$ processo reversibile $(S_{IRR} = 0)$

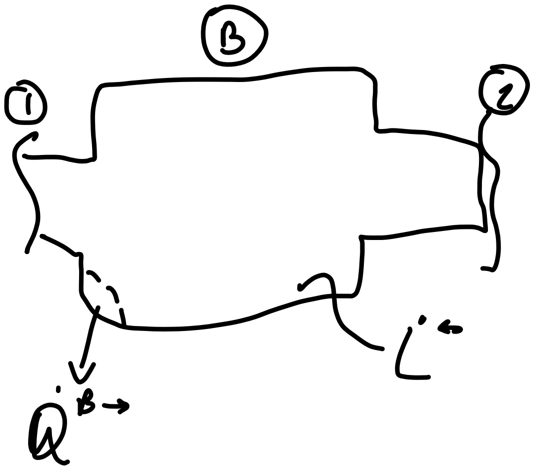
(2) $$\frac{dS^{Z}}{dt} = \frac{dS^{AMB}}{dt} = \dot{m}(s_1 - s_2)$$

$$\frac{dS^{AMB}}{dt} = \boxed{\frac{\dot{Q}_{AMB}}{T_{AMB}} = \dot{m}c \ln \frac{T_1}{T_2}}$$

$\dot{Q}_{AMB} = 19527,5\,W$

$\dot{L}_{MIN} = \dot{Q}_{AMB} - \dot{Q}^{A\rightarrow} = 1358,2\,W \rightarrow$ non bastano 450 W

Potrebbe esser risolto come



$$\begin{cases} \dot{m}(h_1 - h_2) - \dot{Q}^{B\rightarrow} + \dot{L}^{\leftarrow} \overset{s.s}{=} 0 \\ \dot{m}(s_1 - s_2) + \dot{S}^{\leftarrow} + \dot{S}_{IRR} = 0 \end{cases}$$

$$\dot{m}c(T_1 - T_2) = \dot{Q}^{B\rightarrow} - \dot{L}^{B\leftarrow}$$

$$\dot{L}^{B\leftarrow} \rightarrow \dot{S}_{IRR} = 0$$

$$\dot{m}c \ln\frac{T_1}{T_2} - \frac{\dot{Q}^{B\rightarrow}}{T_0} \overset{s.s}{=} 0 \rightarrow \dot{Q}^{B\rightarrow}$$

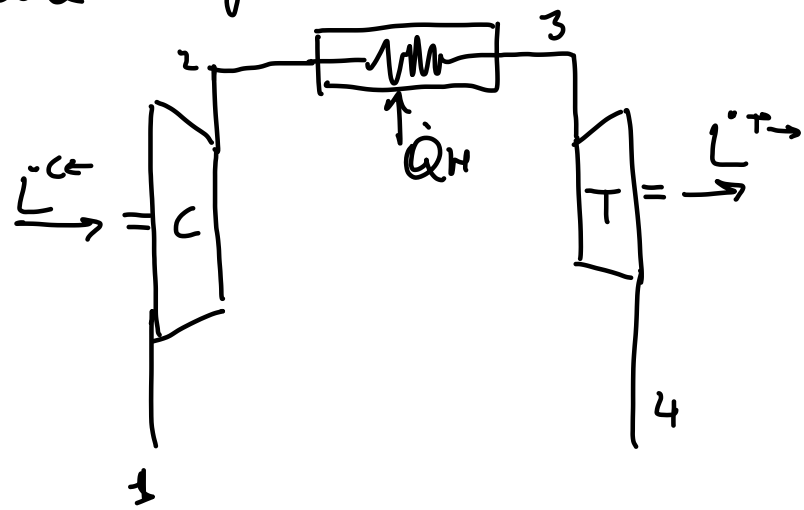
$$\dot{L}^{B\leftarrow}_{MAX} = \dot{Q}^{B\rightarrow} - \dot{m}c(T_1 - T_2)$$

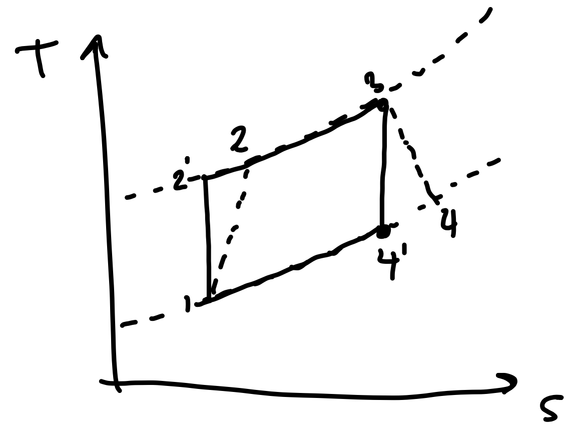
$\hookrightarrow = \dot{L}^{\leftarrow}_{MAX}$ di prima

$\dot{Q}^{B\leftarrow} = \dot{Q}_{AMB}$ di prima

Cicli

Joule-Brayton





$T_1 = 303,15\ K$

$P_1 = 101325\ Pa$

$T_3 = 1273,15\ K$

$\beta = 4 = \frac{P_2}{P_1}$

$P_1 = P_4$

Hp: aria gas perfetto biat

$c_p^* = \frac{7}{2} R^* = 1003,4 \frac{J}{kg K}$

$R^* = 286,7 \frac{J}{kg K}$

$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{7}{5} = 1,4$

$c_v = \frac{5}{2} R^*$

$\eta_{is}^{C} = 0,9$

$\eta_{is}^{T} = 0,92$

COMPRESSORE

$$\frac{dE}{dt} = \cancel{\dot{Q}}^{\to 0 \text{ adiabatico}} - \dot{L}^{\to} + \dot{M}_1 \left(h_1 + \cancel{\frac{w_1^2}{2}} + \cancel{g z_1}\right) - \dot{M}_2 \left(h_{2'} + \cancel{\frac{w_{2'}^2}{2}} + \cancel{g z_{2'}}\right) \overset{S.S}{=\!=} 0$$

$$\frac{dM}{dt} = \dot{M}_1 - \dot{M}_{2'} \overset{S.S}{=\!=} 0 \qquad \dot{M}_1 = \dot{M}_2 = \dot{M}$$

$$\dot{L}^{\to} = \dot{M}(h_1 - h_2) \overset{G.P}{=\!=} \dot{M} c_p (T_1 - T_{2'})$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{M}(s_1 - s_2) + \underbrace{\cancel{\dot{S}}}_{\to 0 \text{ adiabatico}} + \overbrace{\cancel{\dot{S}_{IRR}}}^{\text{irreversibile}} \overset{S.S}{=\!=} 0 \to \dot{M}(s_1 - s_2) = 0$$

$$s_1 - s_2 \overset{G.P}{=\!=} c_p \ln \frac{T_{2'}}{T_2} - R^* \ln \frac{P_{2'}}{P_1} = 0$$

$$T_{2'} = T_1 \left(\frac{P_{2'}}{P_1}\right)^{\frac{R^*}{c_p}} = T_1 \beta^{\frac{R^*}{c_p}} = 450,49\ K$$

$P_{2'} = P_2 = 4 P_1 = 4\,atm$

$$\ell_c^{\rightarrow} = \frac{\dot{L}_c^{\rightarrow}}{\dot{M}} = c_p (T_1 - T_2) = -147811 \frac{J}{kg}$$

CAMERA COMBUSTIONE $\rightarrow$ P = cost

$P_3 - P_{2'} = 4\,atm = 405\,300\,Pa$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{M}\left(h_{2'} + \cancel{\frac{w_{2'}^2}{2}} + \cancel{g z_{2'}}\right) - \dot{M}\left(h_3 + \cancel{\frac{w_3^2}{2}} + \cancel{g z_3}\right) + \dot{Q}^{\leftarrow} - \cancel{\dot{L}}^{\,0 \text{ no macch}} \overset{s.s}{=} 0$$

Note:
Ugello ha contributo all'energia cinetica non dimenticarsi

$$\boxed{\dot{Q}^{\leftarrow} = \dot{M}(h_3 - h_2)} \rightarrow q^e = \frac{\dot{Q}^{\leftarrow}}{\dot{M}} = 825{,}457 \frac{J}{kg}$$

Turbina

$$\frac{dE}{dt} \overset{s.s}{=} 0 \rightarrow \dot{L}^{\rightarrow} = \dot{M}(h_3 - h_4) \overset{g.p}{=} \dot{M} c_p (T_3 - T_4)$$

$$\frac{dS}{dt} \overset{s.s}{=} 0 \rightarrow \dot{M}(s_3 - s_4) + \cancel{\dot{S}}^{\,0\text{ ad}} + \cancel{\dot{S}_{irr}}^{\,rev} = 0$$

reversibile + adiabatico $\Rightarrow$ iso entropica $\Rightarrow s_3 = s_4$

$$s_3 - s_4 = 0 \qquad c_p \ln \frac{T_{4'}}{T_3} - R^* \ln \frac{P_{4'}}{P_3} = 0$$

$P_4 = P_1 = P_{ATM}$

$$\ell_T = \frac{\dot{L}_T^{\rightarrow}}{\dot{M}} = c_p (T_3 - T_4) = 417816 \frac{J}{kg}$$

$$T_{4'} = T_{3'} \underbrace{\left(\frac{P_4}{P_3}\right)}_{\frac{1}{\beta}}^{\frac{R^*}{c_p}} = 856{,}75 \qquad \eta_I = \frac{\ell_T^{\rightarrow} - \ell_C^{\rightarrow}}{q^{\leftarrow}} = 0{,}33$$

ciclo reale $\eta_{Ir}^{C} = \frac{L_{IS}^{\leftarrow}}{L^{\leftarrow}_{reale}} = \frac{Mc_p(T_1 - T_2)}{Mc_p(T_1 - T_2)} \rightarrow T_2 = 466,86K$

$$\vec{l}_C = \frac{\dot{L}^{\rightarrow}}{\dot{m}} = -164 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_{IS}^{T} = \frac{\dot{L}_{reale}}{\dot{L}_{IS}^{\rightarrow}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4'}} \rightarrow T_4 = 616,45°C$$

$$l_T^{\rightarrow} = \frac{\dot{L}^{\rightarrow}}{\dot{m}} = 384,4 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{IN} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = c_p(T_3 - T_2) = 809,7 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_{ciclo\,reale} = \frac{l_T - l_C}{q_{IN}} = 0,27$$