ES 1

Esempio: ciclo di Carnot

Si vuol costruire un ciclo **reversibile** tra una sorgente a 350°C e una a 30°C.
Si usa acqua in condizioni di saturazione.
Il ciclo è costituito da due trasformazioni isotermobariche e due isentropiche.
Infatti, per essere reversibile, il ciclo deve:

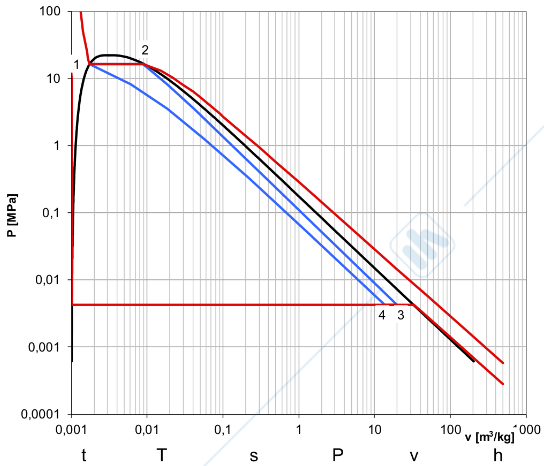
- essere in equilibrio termico con le sorgenti quando scambia calore
- compiere trasformazioni reversibili senza scambio di calore quando non è in contatto con le sorgenti.

Dalle tabelle del vapore ricaviamo le proprietà dell'acqua nei punti del ciclo.
Infatti a 30°C:

$h_L = 125.79$; $h_V = 2556.3$ kJ/kg.

$s_L = 0.4369$ kJ kg^{-1} K^{-1};

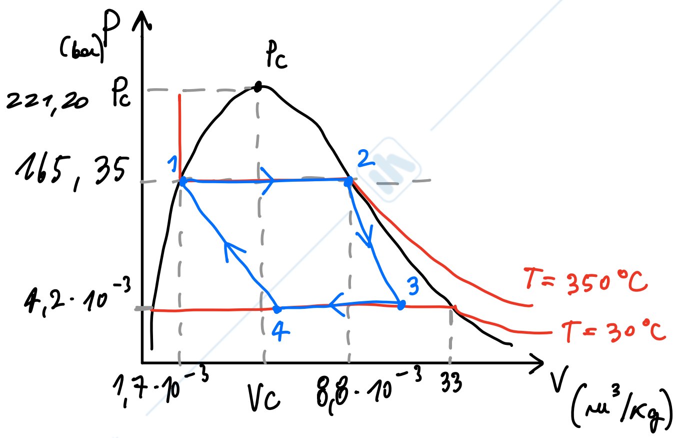
$s_V = 8.4533$ kJ kg^{-1} K^{-1}



	t	T	s	P	v	h
	°C	K	kJ kg^{-1} K^{-1}	MPa	m³/kg	kJ kg^{-1}
1	350	623,15	3,7784	16,529	0,0017	1670,9
2	350	623,15	5,2110	16,529	0,0088	2563,6
3	30	303,15	5,2110	0,0042	19,5843	1573,0
4	30	303,15	3,7784	0,0042	13,7078	1138,7

$s_3 = s_2 = 5.211$ kJ kg^{-1} K^{-1}; ma $s_3 = (1 - x_3)s_L + x_3 s_V$ da cui: $x_3 = \frac{s_3 - s_L}{s_V - s_L} = 0.596$.

Quindi: $h_3 = (1 - x_3)h_L + x_3 h_V = 1573$ kJ kg^{-1}



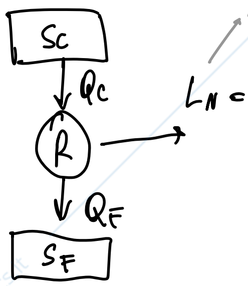
$V_C = 3,2 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$

(Valori visti da tabelle)

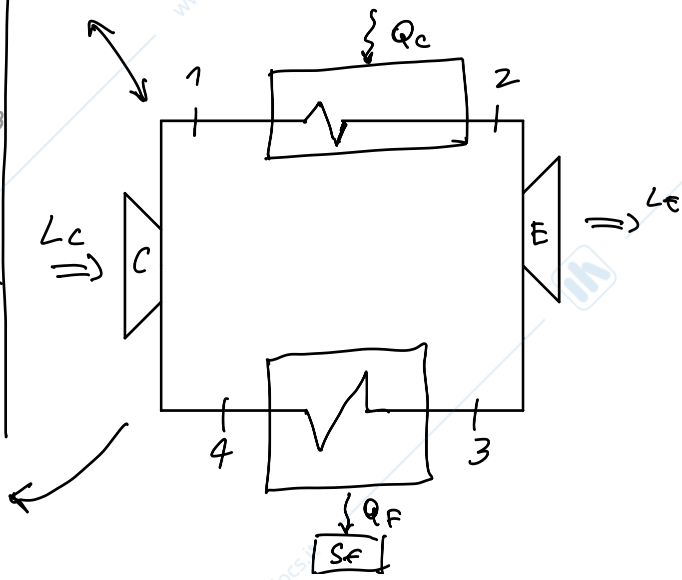
↳ Temperatura → P → V

SCHEMA TECNICO

12	ISO T - P	350 °C
23	ISO S	ISOENTROPICA $S_2 = S_3$
34	ISO T - P	30 °C
41	ISO S	



$L_N = L_E - L_C$



$\boxed{\text{ISO T-P} \rightarrow \text{orizzontale nel grafico PV}}$

$\eta = \frac{L_N}{Q_C}$

$L_N = Q_N$ perché sistema chiuso e trasformazione ciclica $\Rightarrow$ 1° principio $\Delta U = 0$

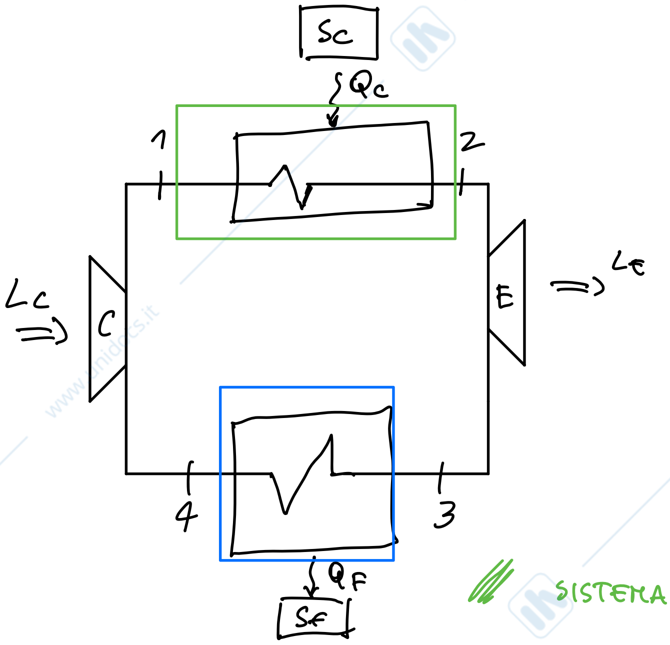
$L_E - L_C = Q_C - Q_F$

$$\left(\eta = 1 - \frac{Q_F}{Q_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{30 + 273{,}15}{350 + 273{,}15} = 0{,}51 \quad \text{Questo se macchina Reversibile} \right)$$

Voglio calcolare η con $1 - \frac{Q_F}{Q_C}$ perché quest^o posso usarlo sempre anche se macchina irreversibile:

Devo trovare Q_F e Q_C

Hp:
- Condizioni stazionarie.
- Monodimensionalità flussi di massa.



SISTEMA 1

- $G_1 = G_2 = G$ Bilancio in massa

- $G\left[\cancel{\frac{w_2^2 - w_1^2}{2}} + \cancel{g(z_2 - z_1)} + h_2 - h_1\right] = \sum \dot{Q} - \cancel{\sum \dot{L}}$

$G(h_2 - h_1) = \dot{Q}_C$ h_2 e h_1 le trovi dalle tabelle

$h_2 - h_1 =$ CALORE LATENTE (a 350°C)
(r)

$$h_2 - h_1 = r = \frac{\dot{Q}_C}{G} = 895,7 \ KJ$$

$$\eta = 1 - \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_C}$$

SISTEMA 2

BM $G_3 = G_4 = G$

BE $G(h_4 - h_3) = -\dot{Q}_F$

$$\frac{\dot{Q}_F}{G} = h_3 - h_4$$

Tabelle

$S_1 = S_{LS(350°C)} = 3,78 \ KJ/Kg\,K$ (LS = Liquido saturo; VS = Vapore saturo)

$$S_1 = S_4 = S_{LS(350°C)} + X_4 \left(S_{VS(30°C)} - S_{LS(30°C)} \right)$$

Tabelle

$$X_4 = 0,417 \qquad \left(= \frac{S_4 - S_{LS(30°C)}}{S_{VS(30°C)} - S_{LS(30°C)}} \right)$$

Analogamente trovo $x_3 = 0,596$ $\left(= \dfrac{\overset{=s_2}{s_3} - s_{LS}(30°C)}{s_{VS}(30°C) - s_{LS}(30°C)} \right)$

$h_4 = h_{LS}(30°C) + x_4\, r$

Analogamente per il punto 4 imponendo $s_4 = s_1$.

Le energie scambiate sono:

riscaldamento 1-2)

$q_1 = h_2 - h_1 = 892{,}7$ kJ/kg;

espansione 2-3)

$\ell_e = h_2 - h_3 = 990{,}6$ kJ/kg;

raffreddamento 3-4)

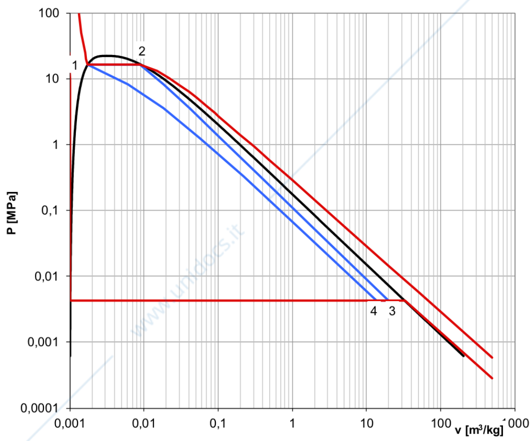
$q_2 = h_4 - h_3 = -434{,}3$ kJ/kg;

compressione 4-1)

$\ell_c = h_4 - h_1 = -532{,}1$ kJ/kg.

Il rendimento è $\varepsilon = \Sigma\, \ell / q_1 = 0{,}51352$.

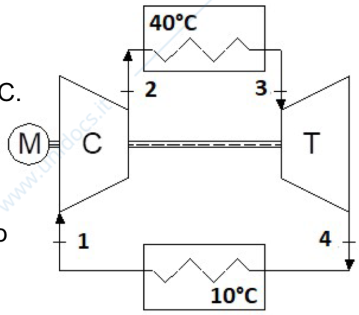
Trattandosi di un ciclo di Carnot, si poteva anche fare $\varepsilon = 1 - T_2/T_1 = 0.51352$.



	t	T	s	P	v	h
1	350	623,15	3,7784	16,529	0,0017	1670,9
2	350	623,15	5,2110	16,529	0,0088	2563,6
3	30	303,15	5,2110	0,0042	19,5843	1573,0
4	30	303,15	3,7784	0,0042	13,7078	1138,7

ES 2

Altro esempio: ciclo frigorifero di Carnot



Si vuol costruire un ciclo frigorifero che preleva calore dalla temperatura di 8 °C e scarica calore all'ambiente esterno a 40°C.

L'apparato si compone di due scambiatori di calore, in contatto con le sorgenti termiche, e due macchine reversibili che scambiano lavoro con il fluido.

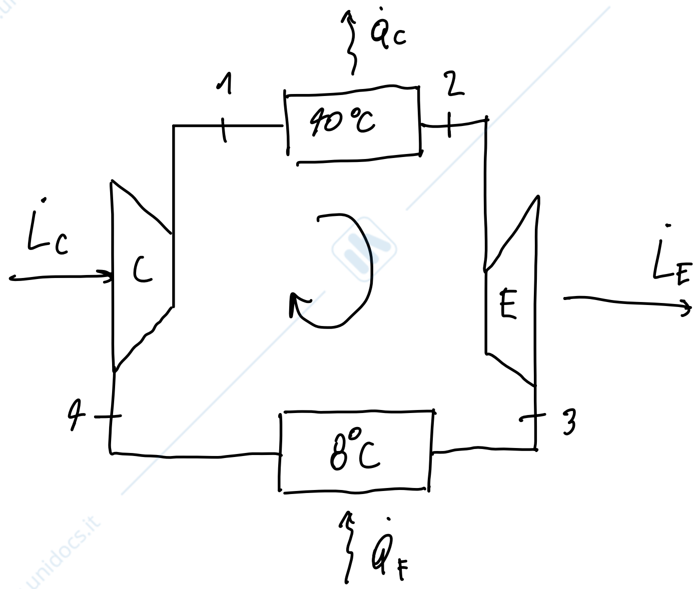
Il fluido entra come vapore saturo secco nello scambiatore caldo (condensatore) ed esce in condizioni di liquido saturo. Poi espande ad entropia costante, fornendo lavoro alla macchina, sino alla pressione dello scambiatore freddo (evaporatore).

Dall'evaporatore esce ad un titolo maggiore e passa al compressore, che fornendo lavoro al fluido lo riporta alla pressione del condensatore.

(Il liquido è R134)

↑ NOME

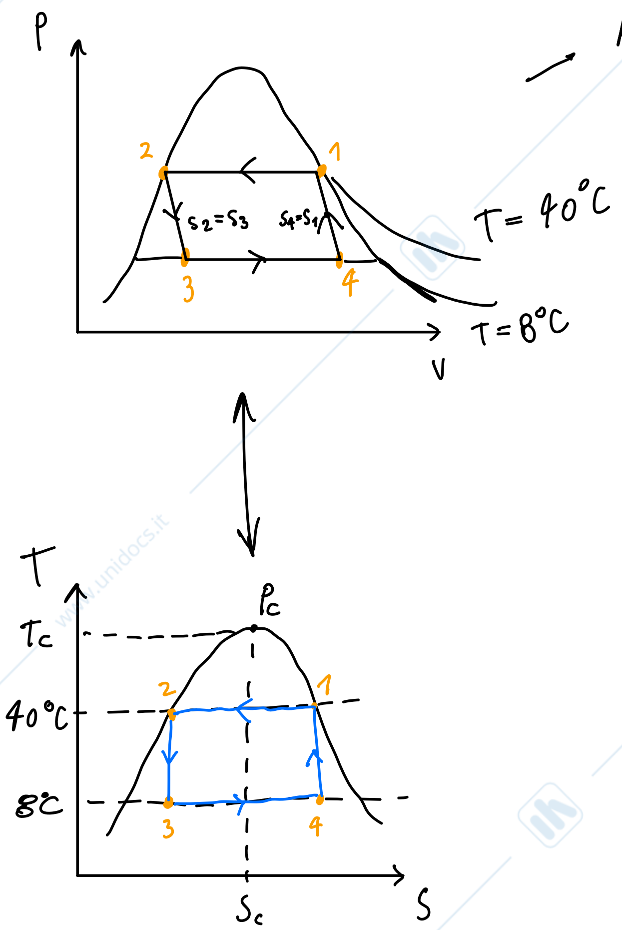
CICLO INVERSO → Senso di percorrenza nel grafico ANTIORARIO.



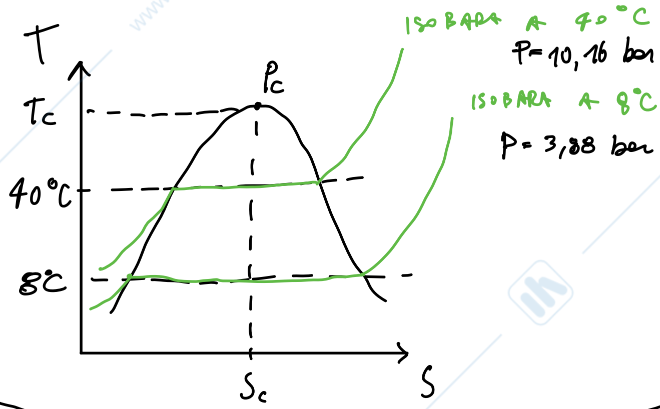
Ci aspettiamo che L_N sia negativo perché abbiamo una macchina inversa

↳ Lavoro assorbito

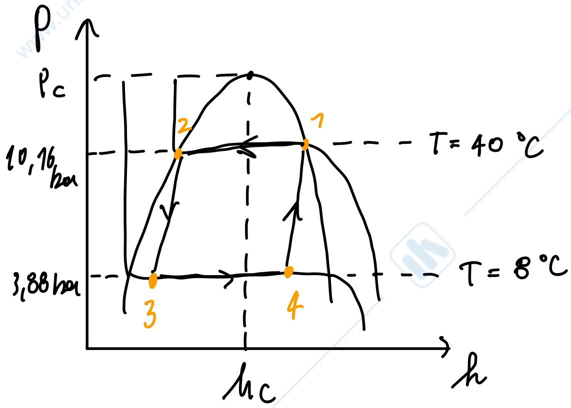
Area contenuta nel grafico = Lavoro netto svolto



Per ricordare come sono le isobare in grafico T-s



Area contenuta nel ciclo = Potenza termica scambiata nel ciclo



Area interna = Non ha significato pratico

$$\eta = \frac{\dot{Q}_F}{|\dot{L}_N|} \qquad EER = \frac{|Q_F|}{|Q_C - Q_F|}$$

Questo perché è Carnot, risolvo come se non fosse Carnot

$$EEC_{CARNOT} = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{8 + 273{,}15}{32} = 8{,}79$$

può essere >1 perché macchina inversa

	T (°C)	P (bar)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	X
1	40	10,16	318,22	1,707	1
2	40	10,16	156,17	1,19	0
3	8	3,88		1,19	0,22
4	8	3,88		1,707	0,98

(h_{VS} e h_{LS} si trovano in tabella (naturalmente controllare la T))

Per trovare titolo di 4:

$$s_1 = s_4 = s_{LS_{(8°C)}} + x_4 \left(s_{VS_{(8°C)}} - s_{LS_{(8°C)}} \right) = s_{LS_{(8°C)}} + \frac{x\, r_{(8°C)}}{T} =$$

$$= 1{,}038 + x_4 (1{,}718 - 1{,}038) = 1{,}707 \; ; \quad x_4 = \frac{1{,}707 - 1{,}038}{1{,}718 - 1{,}038} = 0{,}98$$

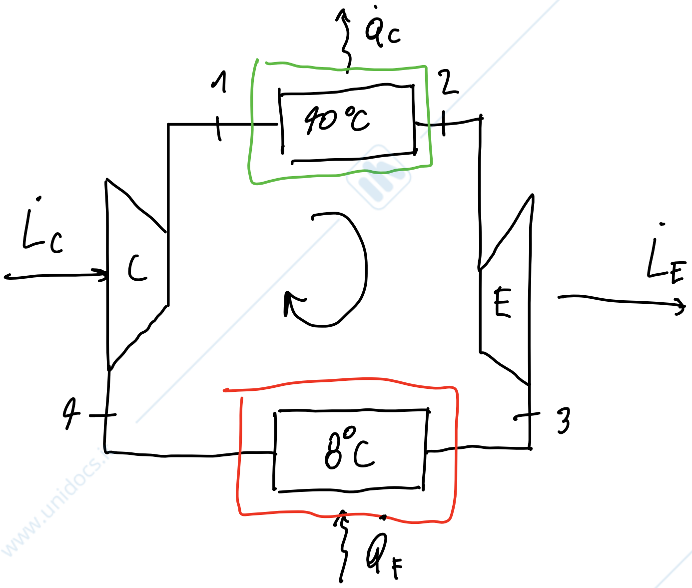
Per trovare titolo di 3:

$$s_2 = s_3 = s_{LS(8°C)} + x_3 \left(s_{VS(8°C)} - s_{LS(8°C)} \right) = 1,19 \rightarrow x_3 = 0,22$$

$$\Rightarrow h_4 = h_{LS(8°C)} + x_4 \left(h_{VS(8°C)} - h_{LS(8°C)} \right) = 297,96 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\Rightarrow h_3 = h_{LS(8°C)} + x_3 \left(h_{VS(8°C)} - h_{LS(8°C)} \right) = 152,75 \ \frac{kJ}{kg}$$

Adesso posso trovare η:



Hp:
- Cond. stazionarie
- Cond. monodimensionali

(BM) $G = cost$

(BE) SCAMBIATORE

$\downarrow$

$$G(h_2 - h_1) = -\dot{Q}_C$$

$$\frac{\dot{Q}_C}{G} = h_1 - h_2 = 318,22 - 156,17 = 156,05 \ kJ/kg$$

SCAMBIATORE

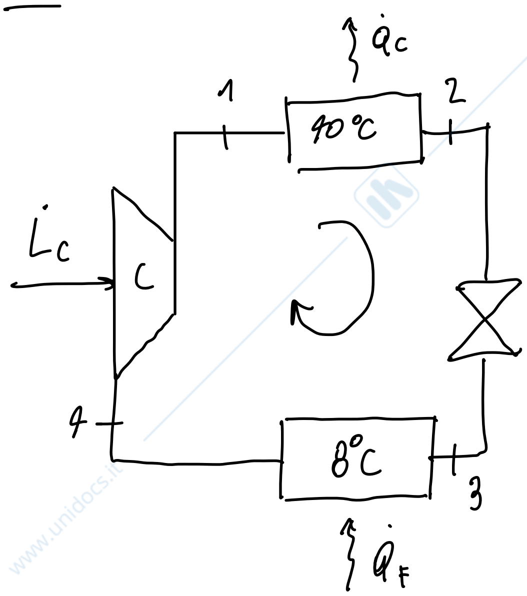
$\downarrow$

$$G(h_4 - h_3) = \dot{Q}_F$$

$$\frac{\dot{Q}_F}{G} = h_4 - h_3 = 297,96 - 152,57 = 145,39 \ \frac{kJ}{kg}$$

$\eta = 8,63$

ES



$X_1 = 1$

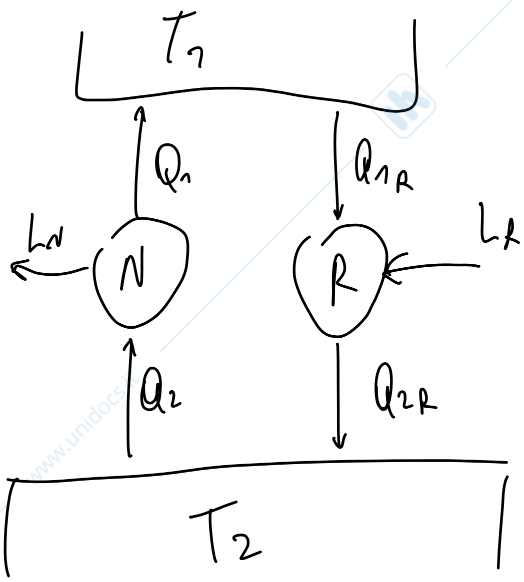
$X_2 = 0$

$h_2 = h_3$

$s_1 = s_4$

R134a → liquido per le tabelle

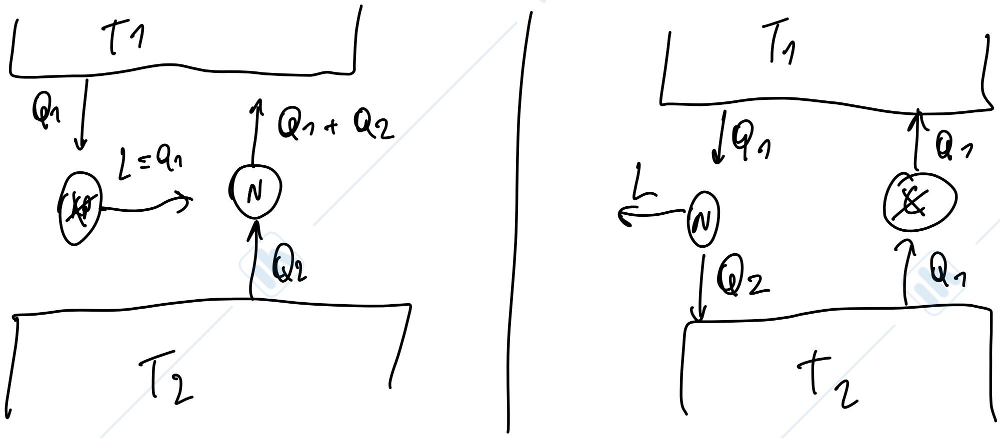
Trovare $EER_{II} = \dfrac{EER_{reale}}{EER_{CARNOT}}$



$T_2 > T_1$

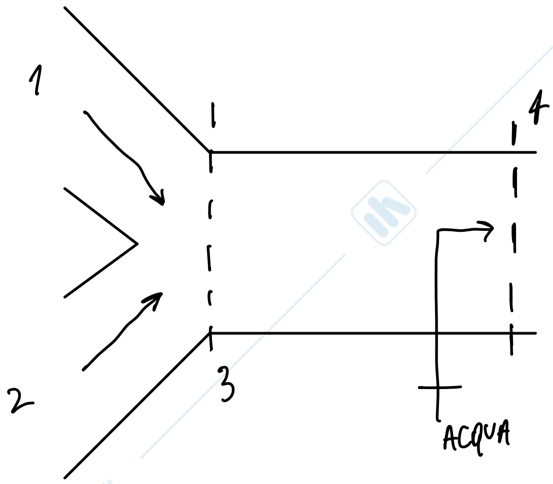
$L_N - L_R \leq 0$

$L_N \leq L_R$



ESERCIZI DIAGRAMMA PSICOMETRICO

ES 1



$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 1 \ \frac{kg}{s}$

$T_1 = 20°C$

$\varphi_1 = 90\%$

$T_2 = 20°C$

$\varphi_2 = 10\%$

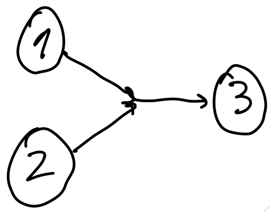
$\varphi_4 = 100\%$

$P = 1$ bar riferita all'acqua immessa

Deve essere maggiore di quella interna senno non entra (dentro è a Patm)

(A) $t = 50°C$

(B) Vapore saturo 100°C



$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$

$\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3}$

$\dot{m}_{v1} + \dot{m}_{v2} = \dot{m}_{v3}$

$\dot{m}_{a3} J_3 - \dot{m}_{a2} J_2 - \dot{m}_{a1} J_1 = 0$ $\boxed{BE}$

$\dot{m} = \dot{m}_a + \dot{m}_v$; $w = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a}$ $\dot{m}_{a1} = \frac{\dot{m}_1}{(1+w)}$ ...

allo stesso modo per 2 e 3

$\dot{m} = \dot{m}_a + w \dot{m}_a = \dot{m}_a (1 + w) \rightsquigarrow \dot{m} = \dot{m}_a (1 + w)$

$\boxed{BMV}$ $\dot{m}_{a1} W_1 + \dot{m}_{a2} W_2 = \dot{m}_{a3} W_3$

Da Tabelle

$W_1 = 13,5 \cdot 10^{-3} \frac{Kg_v}{Kg_a} \longrightarrow \dot{m}_{a1} = \frac{1}{13,5 \cdot 10^{-3} + 1} \simeq 1 \; kg/s$

$W_2 = 1,5 \cdot 10^{-3} \frac{Kg_v}{Kg_a} \longrightarrow \dot{m}_{a2} = \frac{1}{1 + 1,1 \cdot 10^{-3}} \simeq 1 \; kg/s$

$W_3 = 7,5 \cdot 10^{-3} \; Kg_v/Kg_a$

Da Tabella

$J_1 = 55 \frac{Kj}{Kg_a}$

$J_2 = 26 \; Kj/Kg_a$

$J_3 = 40,5 \frac{Kj}{Kg_a}$

$t_3 = 20\,°C$ suppongo

$P_{s_3} = 2340 \; Pa$

$w_3 = 0,622 \frac{P_{v_3}}{P - P_{v_3}} \rightarrow$ Trovo P_{v_3}

$\varphi_3 = \left. \frac{P_{v_3}}{P_{s_3}} \right|_{T_3} = 50\%$

3 → 4

$\varphi_4 = 100\ \%$

A

$P_{acqua} = 1\ bar$

$t_{acqua} = 50\ °C$

BMa $\quad \dot{m}_{a_3} = \dot{m}_{a_4}$

BMV $\quad w_3 \dot{m}_{a_3} + \dot{m}_{acqua} = \dot{m}_{a_4} w_4$

$\rightarrow \dot{m}_{acqua} = \dot{m}_{a_3} (w_4 - \quad _3)$

BE $\quad \dot{m}_{a_3}(J_4 - J_3) - \dot{m}_{acqua} h_{acqua} = 0$

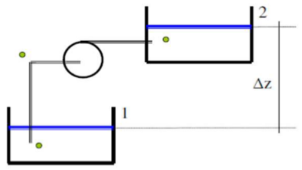
$\dot{m}_{a_3}(J_4 - J_3) = \dot{m}_{acqua} h_{acqua}$

B

$P_{acqua} = 1\ bar$

$t_{acqua} = 100\ °C$

HO VAPORE SATURO



Date dimensioni, G e tipo di fluido, valutare la potenza della pompa.
Sistema Aperto quindi

Δz	10 m	dislivello
D	0.025 m	diametro comune a tutti i tratti
L	20 m	lunghezza complessiva tratti rettilinei
ε	0.00005 m	scabrezza (tubo in acciaio commerciale)
β_1	0.5	brusco restringimento di sezione
β_2	0.5	curva a 90° di piccolo raggio
β_3	1	brusco allargamento di sezione
ε/D	0.002	scabrezza relativa
ν	1.00E-06 m^2/s	viscosità cinematica acqua
G	1 kg/s	portata
η	0.7	rendimento pompa

$p_2 = p_1 \rightarrow 0$

$$\frac{w_2^2 - \cancel{w_1^2}}{2} + g\,(z_2 - z_1) + \cancel{\frac{p_2 - p_1}{\rho}} + R = |\ell|$$

$$\frac{w_2^2}{2} + g\,\Delta z + R = |\ell|$$

$$A = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 = 4{,}9\cdot 10^{-4}\ m^2$$

$$\rho = 1000\ kg/m^3$$

$$G = \rho A w \rightsquigarrow w = \frac{G}{\rho A}$$

$$w = 2{,}04\ m/s$$

$$Re = \frac{w D}{\nu} = 51020$$

$$f = 0{,}027$$

→ Da grafico di Moody
→ Da formule di Moody

Avendo:
→ ε/D
→ Re

$$R = \theta \frac{w^2}{2} \qquad \theta = f\frac{L}{D} + (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) = 23,6$$

$$R = 49,1 \ \frac{J}{kg}$$

$$|l| = \frac{w_2^2}{2} + g\Delta z + R = 149,3 \ \frac{J}{kg}$$

$$W_{REALE} = \frac{G \cdot |l|}{\eta} = 213,3 \ W$$

PROVA 2020 - 21 PSICROMETRIA

ES 1

$D_1 = 1,5 \ D_2 = 0,06 \ m$

$D_2 = 4 \ cm = 0,04 \ m$

Condizioni stazionarie

Acqua

$P_1 = 1$ bar

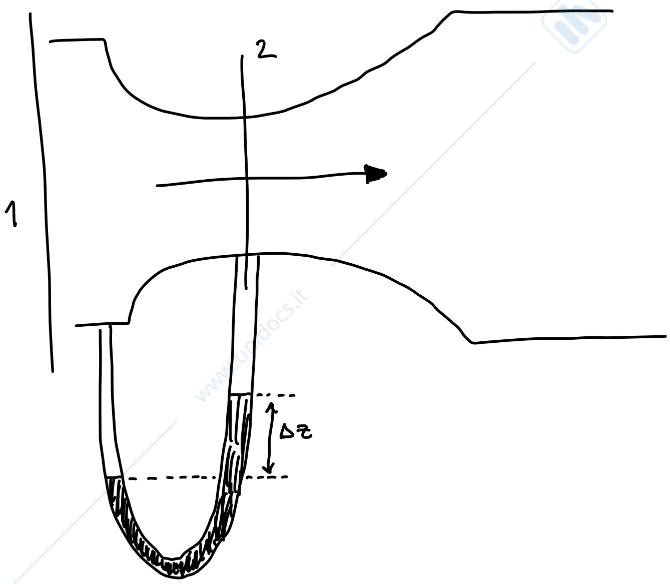
$T_1 = 27°C$

$\rho = 1000 \ kg/m^3$

$\Delta z = 2 cm = 0,02 \ m$

$G = ?$

$\rho_M = 13590 \ kg/m^3$



NON CONSIDERO

$$\frac{w_2^2 - \cancel{w_1^2}^{\,0}}{2} + g\cancel{\Delta z}^{\,0} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + R = 0$$

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{P_2 - P_1}{\rho_A} = 0 \ ;$$

$P_1 - P_2$ lo calcolo con la legge di Stevino:

$$P_1 - P_2 = g \Delta z \rho_M = 2{,}6 \ kPa$$

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{g \Delta z \rho_M}{\rho_A} = 0$$

$$\cancel{\rho_1} w_1 A_1 = \cancel{\rho_2} A_2 w_2$$ condizioni stazionarie

$$w_1 = \frac{A_2}{A_1} w_2$$

$$\frac{w_2^2 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 w_2^2}{2} = - \frac{g \Delta z \rho_M}{\rho_A}$$

$$\frac{w_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}{2} = - \frac{g \Delta z \rho_M}{\rho_A}$$

2666,358

$$w_2 = \sqrt{-2 \frac{g \Delta z \rho_M}{\rho_A \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}}$$

ES 2

$p = 5$ bar

$t = 27$ °C

$\varphi = 33\%$

$T_r =$ Temperatura che fluido avrebbe quando è a saturazione con la sua pressione di vapore.

$mm_a = 29 \; kg/kmol$

$mm_v = 18 \; kg/kmol$

$$P_{sa} = 10^{A - \frac{B}{C+t}} = 3,55 \; kPa$$

$T_r = ?$

$T_{bu} = ?$

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{sa}} \rightsquigarrow P_v = \varphi P_{sa} = 1,17 \; kPa$$

$$\log_{10} P_v = A - \frac{B}{C + T_r}$$

$$\frac{B}{A - \log_{10} P_v} - C = T_r = 9,4 \; °C$$

T_{bu} = Temperatura dopo umidificazione adiabatica completa.

$\varphi_2 = 100 \%$ $\quad J_2 = J_1$

$$J_1 = t + w_1 (2500 + 1,9 \, t) = 30,72 \; \frac{kJ}{kg}$$

$$w_1 = 0,622 \; \frac{\varphi_1 P_{sa}}{1 - \varphi_1 P_{sa}} = 1,46 \cdot 10^{-3}$$

$J_1 = J_2$

$$J_1 = T_{bu} + w_2 \left(2500 + 1,9 \, T_{bu}\right)$$

$$w_2 = 0,622 \; \frac{\varphi P_{sa}}{P - \varphi P_{sa}} = 0,622 \; \frac{P_{sa}}{P - P_{sa}}$$

$$P_{sa} = 10^{A - \frac{B}{C + T_{bu}}}$$

$$J_1 = T_{bu} + 2500\, w_2 + 1{,}9\, w_2 T_{bu}$$

$$J_1 - 2500\, w_2 = T_{bu}\left(1 + 1{,}9\, w_2\right)$$

$$\left\{\begin{array}{l} T_{bu} = \dfrac{J_1 - 2500\, w_2}{1 + 1{,}9\, w_2} \\ w_2 = 0{,}622 \dfrac{P_{se}}{P - P_{se}} \\ P_{se} = 10^{A - \frac{B}{C + T_{bu}}} \end{array}\right\} \text{Itero}$$

Tentativo 1

$$T_{bu} = 10\ °C$$

$$P_{se} = 1{,}22\ kPa$$

$$w_2 = 0{,}622 \frac{P_{se}}{P - P_{se}} = 1{,}52 \cdot 10^{-3}$$

$$T_{bu} = \frac{J_1 - 2500\, w_2}{1 + 1{,}9\, w_2} = 26{,}8\ °C$$

ES 3

$G_1 = 3\ Kg/s$

$P = 1\ bar$

$t_1 = 5\ °C$

$\varphi_1 = 95\ \%$

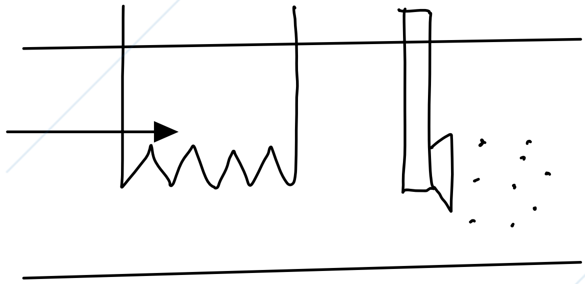
$t_2 = 20\ °C$

$G_v = 10\ g/s$

$t_v = 110\ °C$

$h_v = 2691\ \frac{Kj}{Kg}$

$\dot{Q} = ?$



$$\varphi = m_a (J_2 - J_1)$$

$$\dot{\varphi} = G (J_2 - J_1)$$

$$w_1 = 0{,}622 \frac{\varphi_1 P_{sa}}{P - \varphi_1 P_{sa}} = 5{,}18 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{sa} = 10^{A - \frac{B}{C + t_1}} = 0{,}87\ kPa$$

$$J_1 = t_1 + w_1 (2500 + 1{,}9\, t_1) = 18\ \frac{Kj}{Kg}$$

$$w_1 = w_2$$

$$J_2 = t_2 + w_2 (2500 + 1{,}9\, t_2) = 33{,}15\ \frac{Kj}{Kg}$$

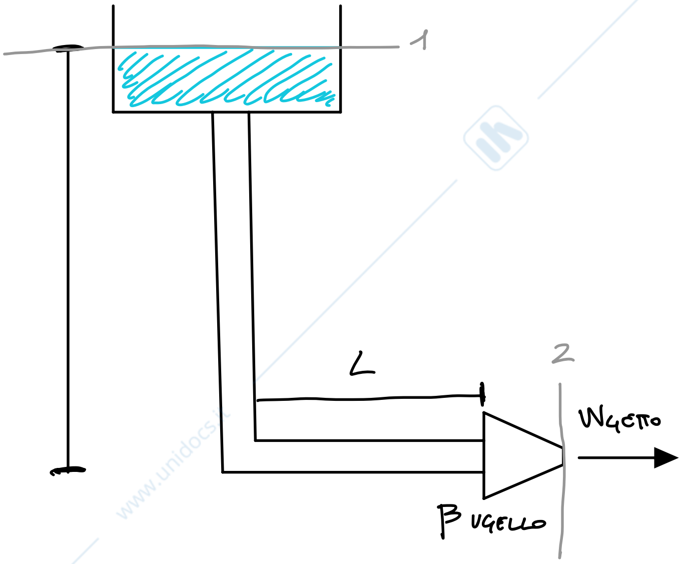
$$\dot{Q} = G_1 (J_2 - J_1) = 45{,}5\ kW$$

$$J_2 = J_3$$

$$J_3 = t_3 + w_3 (2500 + 1{,}9\, t_3)$$

PROVA 2021/2022

Esercizio 1



$D = 5\ cm = 50\ mm = 0{,}05\ m$

$\varepsilon = 0{,}01\ mm$

$L = 15\ m$

$P = 1\ bar$

$\beta_{ugello} = 5$

$D_{ugello} = 1/5\ D = 0{,}01\ m$

$W_{getto} = 15\ m/s$

$\rho = 1000\ kg/m^3$

$\nu = 10^{-6}\ m^2/s$ $\qquad \dfrac{\varepsilon}{D} = 2 \cdot 10^{-4}$

$H = ?$

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + R = 0$$

$w_1 = 0 \ ; \quad P_2 = P_1$

$$\frac{w_2^2}{2} + g(z_2 - z_1) + R = 0$$

Condizioni stazionarie $\Rightarrow \cancel{\rho}\, w_T A_T = \cancel{\rho}\, w_{ug} A_{ug}$

$$w_T = \frac{w_{ug} A_{ug}}{A_T} = 0{,}6\ m/s$$

$$Re = \frac{w_T D_T}{\nu} = 30000$$ Moto turbolento $(Re > 3500)$

$$f = 0{,}0055 \left(1 + \left[2 \cdot 10^4 \frac{\varepsilon}{D} + \frac{10^6}{Re}\right]^{1/3}\right) = 0{,}024$$

$$\theta = f \frac{L + H}{D} + \beta_{ug}$$

$$\frac{w_{ug}^2}{2} + gH + R = 0$$

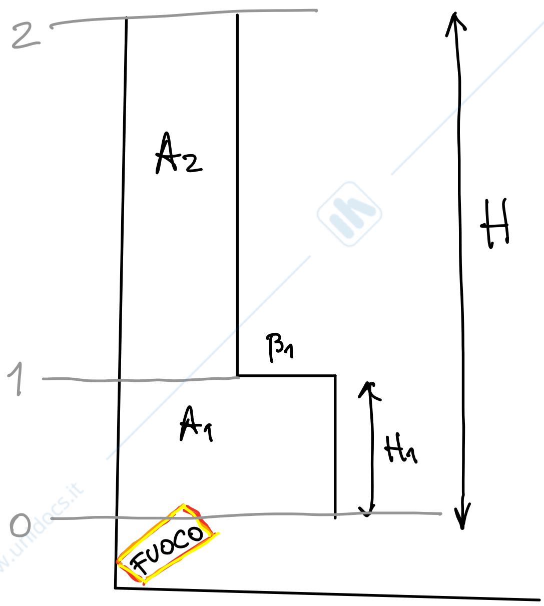
$$\frac{w_{ug}^2}{2} + gH + \left(f \frac{L+H}{D} + \beta\right) \frac{w_T^2}{2} = 0$$

$$\frac{w_u^2}{2} + gH + \left(\frac{fL}{D} + \frac{fH}{D} + \beta\right) \frac{w_T^2}{2} = 0$$

$$\frac{w_u^2}{w_T^2} + \frac{2gH}{w_T^2} + \frac{fL}{D} + \frac{fH}{D} + \beta = 0$$

$$H = -\left(\frac{-\frac{w_u^2}{w_T^2} - f\frac{L}{D} - \beta}{\frac{2g}{w_T^2} + f/D}\right) = 11{,}6 \ m$$

Esercizio Camino



$H = 6\ m$

$H_1 = H/3 = 2\ m$

$A_1 = a_1 \times b_1 = 0{,}18\ m^2$

$A_2 = a_2 \times b_2 = 0{,}09\ m^2$

$T_F = 120\ °C$

$T_E = 0\ °C$

$\beta_1 = 1$

$R = 287\ J/kgK$

$V = 2{,}58 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$

$P = 1\ bar$

$\varepsilon = 0{,}01\ mm = 0{,}00001$

$G = ?$

$$\frac{w_2^2 - w_0^2}{2} + g(z_2 - z_0) + \frac{P_2 - P}{\rho_{FUMI}} + R_1 + R_2 = 0$$

$$P_2 - P_1 = -g\,\rho_{ARIA}\,\Delta z$$

$$\frac{w_2^2}{2} + gH - \frac{g\,\rho_{ARIA} H}{\rho_{FUMI}} + R_1 + R_2 = 0$$

$$\frac{W_2^2}{2} + gH - gH \frac{T_{FUMI}}{T_{ARIA}} + R_1 + R_2 = 0$$

$$D_{eq1} = \frac{4 A_1}{p_1} = 0,4 \ m \quad ; \quad D_{eq2} = \frac{4 A_2}{p_2} = 0,3 \ m$$

$$R_1 = \theta_1 \frac{w_1^2}{2}$$

$$\theta_1 = f_1 \frac{H/3}{D_{eq1}} + \beta_1$$

$$Re_1 = \frac{W_1 D_{eq1}}{V}$$

$$R_2 = \theta_2 \frac{w_2^2}{2}$$

$$\theta_2 = f_2 \frac{\frac{2}{3} H}{D_{eq2}}$$

$$Re_2 = \frac{W_2 D_{eq2}}{V}$$

$$\frac{W_2^2}{2} + gH - gH \frac{T_{FUMI}}{T_{ARIA}} + R_1 + R_2 = 0$$

$$\frac{W_2^2}{2} + gH \left(1 - \frac{T_F}{T_A}\right) + \theta_1 \frac{W_1^2}{2} + \theta_2 \frac{W_2^2}{2} = 0$$

$$\frac{w_2^2}{2} - \theta_2 \frac{w_2^2}{2} = gH \left(\frac{T_F}{T_A} - 1\right) - \theta_1 \frac{\left(\frac{A_2}{A_1} w_2\right)^2}{2} = 0$$

$$(1 - \theta_2) w_2^2 = 2gH \left(\frac{T_F}{T_A} - 1\right) - \theta_1 \left(\frac{A_2}{A_1} w_2\right)^2$$

$$W_2 = \sqrt{\frac{2gH \left(\frac{T_F}{T_A} - 1\right) - \theta_1 \left(\frac{A_2}{A_1} w_2\right)^2}{1 - \theta_2}}$$

$G_1 = G_2 \rightarrow \cancel{\rho_{FUMI}}\, w_1 A_1 = \cancel{\rho_{FUMI}}\, w_2 A_2$

$$\boxed{\begin{array}{l} w_2 \\ w_1 \\ Re_1 \\ Re_2 \\ f_1 \\ f_2 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ w_2 \end{array}}$$

$w_1 = \frac{A_2}{A_1} w_2$

Itero per trovare w_2 $\longrightarrow$

· Tentativo 1

$w_2 = 1 \ m/s$

$w_1 = \frac{A_2}{A_1} w_2 = 0,5 \ m/s$

$Re_1 = \frac{w_1 \ D_{eq1}}{\nu} = 7752$

$Re_2 = \frac{w_2 \ D_{eq2}}{\nu} = 11628$

$f_1 = 0,033$

$f_2 = 0,029$

$\theta_1 = f_1 \frac{H/3}{D_{eq1}} + \beta_1 = 0,17$

$\theta_2 = 1,39$