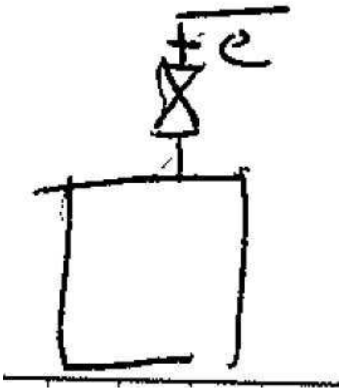
Esercizio:
Una bombola del volume di 50 litri è adatta a contenere ossigeno (32 kg/kmol) ad elevata pressione. Attraverso la valvola di ricarica essa è collegata ad una rete di distribuzione in grado di erogare ossigeno alla pressione costante di 1500 psi, alle condizioni termiche dell'ambiente esterno (25 °C). All'apertura della valvola inizia il processo di riempimento, il quale termina quando è raggiunto l'equilibrio barometrico tra la bombola e la rete di distribuzione.
Considerando la bombola come un sistema rigido e il fluido come un gas ideale, nell'ipotesi che il processo avvenga in modo sufficientemente rapido tale da poter trascurare gli scambi di calore tra la bombola e l'ambiente esterno, determinare la massa di ossigeno introdotta e la temperatura finale raggiunta dal fluido all'interno della bombola. Verificare infine se è possibile ritenere il processo reversibile.
N.B. Considerare nei calcoli di prima approssimazione la bombola inizialmente vuota.

Svolgimento:



Dati
$M_1 = 0$ kg
Pe = 1500 psi = 103,42 bar
Te = 25°C
Q = 0 J, $L_t = 0$ J
V = 50 l = 0,05 m^3
P_0 = 0bar
P_f = 103,42 bar

$$Q - L_t = \frac{d}{dt}(U + \Delta E_c + \Delta E_p + p_0 V) + \sum G_j (h_j + e_{pj} + e_{cj})$$

$$0 = \frac{dU}{dt} - G_e h_e \qquad \Rightarrow \qquad 0 = -M_1 u_1 + M_2 u_2 - G_e h_e$$

$$0 = -M_1u_1 + M_2u_2 - (M_2-M_1)h_e \qquad => \qquad M_2(u_2-h_e) = 0$$

$$c_v T_2 = c_p T_e \qquad \Rightarrow \qquad T_2 = \frac{c_p}{c_v} T_e = 144{,}26°C$$

$$M_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2} = 4{,}77 \ kg$$

Calcolo entropia

$$\frac{dS}{dt} + \sum G_j s_j = \frac{\Phi}{T} + \sum_{irr} \quad , \quad \frac{\Phi}{T} = 0$$

$$S_2 - S_1 - M_2 s_e = S_{irr} \quad \Rightarrow \quad M_2 s_2 - M_1 s_1 - M_2 s_e = S_{irr} \ , \ M_1 = 0$$

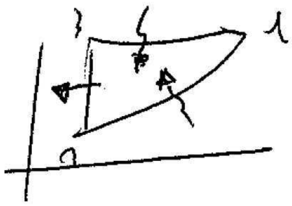
$$S_{irr} = M_2 (s_2 - s_e) = M_2 (c_p \ln(\frac{T_2}{T_e}) - R \ln(\frac{P_2}{P_e})) = 1459 \frac{kJ}{K} > 0$$

N.B.: poiché $P_2=P_e$ si ha che $ln(P_2/P_e)=0$.
Il processo non è reversibile

Esercizio:

Per mezzo di un sistema cilindro– pistone, una massa unitaria di aria alla pressione di 15 bar ed alla temperatura di 20°C viene espansa fino alla pressione di 1 bar, lungo una politropica il cui calore specifico caratteristico è -239 J/(kg K). Di seguito, essa è compressa in modo isotermo fino alla pressione di partenza e quindi riscaldata in modo isobaro fino allo stato iniziale. Si determinino gli scambi di calore e lavoro lungo le trasformazioni ed il rendimento del ciclo.

Svolgimento:



Dati: M=1kg; P_1=15 bar; T_1=20°C; P_2=1bar; c = -239 J/(kg K); R=287

$$n = \frac{c_p - c}{c_v - c} = 1.3$$

Trasformazione 1-2: $TP^{\frac{1-n}{n}} = \text{cost.}$

$$T_1 P_1^{\frac{1-n}{n}} = T_2 P_2^{\frac{1-n}{n}} \quad \Rightarrow \quad T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1-n}{n}} = 157\ K$$

$$\begin{cases} q - l_i = \Delta u \\ q = c(T_2 - T_{1)} \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} l_i = q - \Delta u = q - c_v \Delta T = 130{,}2\ kJ/kg \\ q = 32{,}5\ kJ/kg \end{cases}$$

Trasformazione 2-3 – isoterma: (q = l_i => $\triangle$u = 0)

$$q = l_i = -RT \ln\left(\frac{P_3}{P_2} \right) = -122\ kJ/kg$$

Trasformazione 3-1 – isobara: (q=$c_p\triangle$T)

$$q = c_p \Delta T = 136{,}8\ kJ/kg \quad \Rightarrow \quad li = c_v \Delta T - c_p \Delta T = \Delta T (c_v - c_p) = -39{,}1\ kJ/kg$$

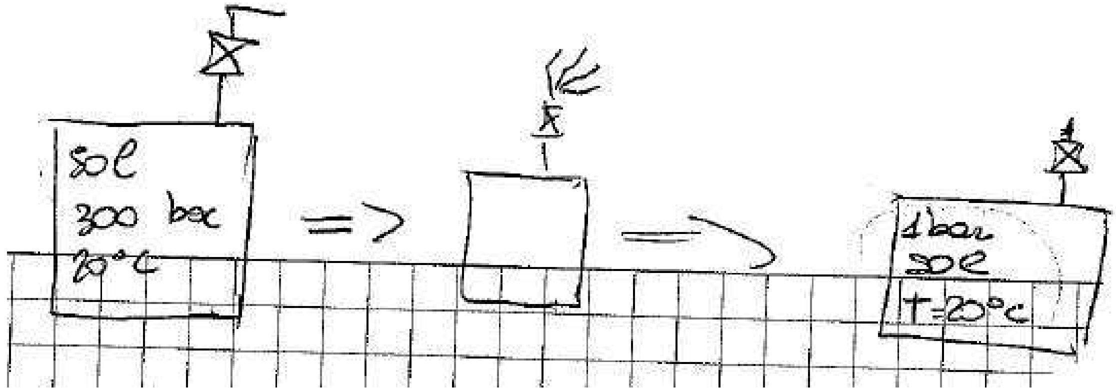
$$\eta = 1 - \frac{|q_A|}{q_B} = 1 - \frac{122}{32{,}5 + 136{,}8} = 28\%$$

Esercizio:

Una bombola del volume di 50 litri contiene ossigeno (32 kg/kmol) alla pressione di 300 bar, in equilibrio termico con l'ambiente esterno alla temperatura di 20 °C. Attraverso l'apertura di una valvola inizia il processo di svuotamento, il quale termina quando è raggiunto l'equilibrio barometrico tra la bombola e l'ambiente esterno ad 1 bar.

Considerando la bombola come un sistema rigido e il fluido come un gas ideale, nell'ipotesi che il processo avvenga in modo sufficientemente lento tale da poterlo ritenere isotermo, determinare il calore scambiato.

Svolgimento:



$Q = 909,3 \qquad G = 649,5$

$$M_1 = \frac{V \cdot P_1}{R\,T_1} = 19,7 \text{ kg} \qquad M_2 = \frac{V\,P_2}{R\,T_2} = 0,06 \text{ kg}$$

$$\Phi - \underbrace{L_t}_{=0} = \frac{d}{dt}\left(U + \underbrace{E_c}_{=0} + \underbrace{\Delta E_p}_{=0} + \underbrace{E_{\ldots}}_{=0}\right) + \sum_i G_i \left(h_i + \underbrace{e_{c_i} + e_{p_i}}_{=0}\right)$$

$G_u h_u$

$$Q = M_2 u_2 - M_1 u_1 - (M_2 - M_1) h_u$$

$$= M_2 (u_2 - h_u) - M_1 (u_1 - h_u) = -4,6 \text{ kJ} + 1,5 \text{ MJ} = 1,496 \text{ MJ}$$

Esercizio:
Un condensatore a tubi concentrici utilizza 7.2 t/h di acqua a 10°C (cp ≅ 4.2 kJ/kg K), che scorre nel tubo interno, per la condensazione di vapor d'acqua. Se la temperatura di uscita dell'acqua risulta eguale a 40°C, calcolare l'efficienza e la pressione di condensazione del vapore nella regione anulare dello scambiatore, assumendo che i coefficienti di convezione siano pari a 2000 kcal/m^{2}h°C lato acqua e 1000 kcal/hm^2°C lato vapore, e che l'area esterna del condotto interno sia pari a 20 m^2. I tubi sono di rame e il rapporto fra superficie esterna ed interna del tubo interno vale 6/5.

Svolgimento:

$$\alpha_i = 2000 \frac{kcal}{hm^2 °C} = 2{,}326 \frac{kW}{m^2K} \qquad \alpha_e = 1000 \frac{kcal}{hm^2K} = 1{,}163 \frac{kW}{m^2K}$$

$$G_i = 2 \frac{kg}{s} \qquad T_{fi} = 10°C \qquad T_{fu} = 40°C$$

$$C_f = G_i \cdot c_p = 8400 \frac{W}{K}$$

$$K_i = \left[\frac{1}{\alpha_i} + \frac{r_i}{r_e}\frac{1}{\alpha_e}\right]^{-1} = 872 \frac{W}{K} \qquad A_i = A_e \cdot \frac{5}{6} =$$

$$NTU = \frac{K_i A_i}{C_{min}} = 1{,}73$$

$$M = -119 \cdot 10^{-6} \frac{K}{W}$$

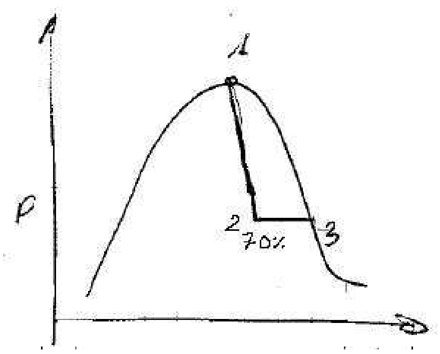
$$\varepsilon = 1 - \frac{\Delta_1}{\Delta_2} = 82\% = 1 - e^{-NTU}$$

$$T_{fu} = \frac{T_{fu} - T_{fi}}{\varepsilon} + T_{fi} = 46{,}5 \qquad P_c \simeq 0{,}1035 \text{ bar}$$

Esercizio:

Ad una portata d'acqua di 7.2 t/h nelle condizioni corrispondenti allo stato critico, attraverso un processo di trafilazione adiabatica è ridotta la pressione per ottenere una miscela costituita dal 30% in massa di liquido. Dopo la trafilazione, all'intera portata è fornito in modo isobaro il flusso termico di 1271.8 kW per raggiungere lo stato corrispondente alle condizioni di vapore saturo secco. Nell'ipotesi che il processo avvenga in modo stazionario e che siano trascurabili le variazioni di energia cinetica e potenziale del flusso di massa, determinare la pressione del fluido in seguito alla trafilazione. Calcolare infine i flussi di entropia internamente generata in seguito al processo di trafilazione e al riscaldamento isobaro.

Svolgimento:



Analizziamo il punto 1:

T_1=374,5 °C; P_1=221,2 bar; V=0,00317 m^3

h_1=2107,4 s_1=4,4429 s_2=5,3444

$h_1=h_2$ => $h_2=0{,}3h_{L2}+0{,}7h_{V2}$

Inoltre $h_3 = h_{V2}$. Di conseguenza:

$$h_{L2} = \frac{h_2 - 0{,}7h_3}{0{,}3} = 623{,}6$$

$\Phi - W_t = G(h_3 - h_2)$, W_t=0 => $h_3 - h_2 = \dfrac{\Phi}{G} = 635{,}9\ kJ/kg$ $\Rightarrow h_3 = 635{,}9 + h_2 = 2743{,}3\ kJ/kg$

Di conseguenza: P_2 ~ 45bar T=147,9°C.

Per ricavare i flussi di entropia usiamo la seguente formula:

$$\frac{dS}{dt} + \sum Gjsj = \frac{\Phi}{T} + \sum\nolimits_{irr}$$, inoltre $\dfrac{dS}{dt} = 0$.

Trasformazione 1-2:

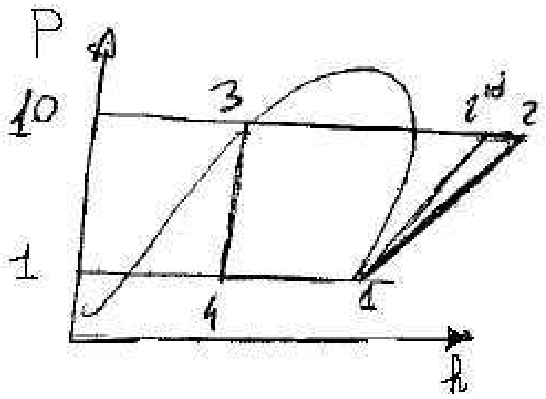
$$\sum\nolimits_{irr} = G(s_2 - s_1) = 1{,}8 kW/K$$

Trasformazione 2-3:

$$\sum\nolimits_{irr} = G(s_3 - s_3) - \frac{\Phi}{T} = 0 kW/K$$

Esercizio:
Un ciclo inverso a semplice compressione di HFC 134a è realizzato tra le pressioni di 1 e 10 bar. Tra questi valori di pressione, la compressione del fluido avviene con rendimento isoentropico del 70% a partire dalla condizioni di vapore saturo secco. La condensazione isobara è arrestata allo stato di liquido saturo e l'evaporazione isobara avviene a partire dalle condizioni di vapore umido corrispondenti all'isobara inferiore del ciclo. Determinare il coefficiente di prestazione del ciclo frigorifero.

Svolgimento:



Stato 1: h_1=383,7 kJ/kg T_1=-25°C
s_1=1,747 kJ/kgK
Stato 3: h_3=256,6 kJ/kg T_3=40°C
s_3=1,19 kJ/kgK
Stato 2^{id}: h_2^{id}=432kJ/kg

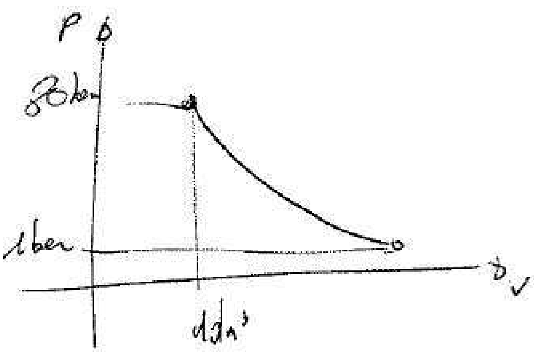
$$\eta_{is} = \frac{h_2^{id} - h_1}{h_2 - h_1} \quad \Rightarrow \quad h2 = \frac{h_2^{id} - h_1}{\eta_{is}} + h_1 \cong 433 kJ/kg$$

Poiché h_4=h_3 si ha che:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \cong 1{,}8$$

Esercizio:
Un dispositivo cilindro pistone contiene una miscela liquido-vapore di acqua in equilibrio termodinamico alla pressione di 80 bar, in cui la massa di liquido è 0.5 kg e il volume occupato dall'intera miscela è 1 dm³. Agendo sul pistone la miscela viene espansa sino alla pressione di 1 bar, seguendo lungo il processo una successione di stati caratterizzati del medesimo valore di entalpia. Nell'ipotesi che il dispositivo sia termicamente isolato, determinare la massa di liquido nello stato finale, il lavoro ottenuto e verificare se il processo è avvenuto in modo reversibile.

Svolgimento:



Dati: P_1=80 bar, m_L=0,5 kg, V_1=1dm^3,
P_2=1 bar.

Dalle tabelle si ricava che alla pressione di 80 bar:
v_L=0,0013842 , v_V=0,02353, da cui si ha:
V_L=0,0006921 dm^3 e
V_V=0,001-0,0006921=0,0003079 dm^3
Si ha quindi che v_1=1,672*10^{-3} m^3/kg,
$m_V = \frac{V_V}{v_V} = 0{,}013\, kg$, di conseguenza: m_t=0,513kg ed x_1=0,025

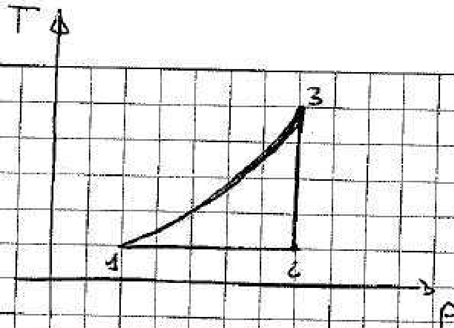
h_1=1317,1(1-x_1)+2759,9(x_1)=1353,17 kJ/kg

h_2=h_1 => $x_2 = \frac{h_2 - h_{2L}}{h_{2V} - h_{2L}} = \frac{1353{,}17 - 411{,}49}{2673{,}2 - 411{,}49} = 0{,}416$

m_{2L}=(1-x_2)m_t=0,3kg; v_2=705,3*10^{-3} m^3/kg; => l_i=u_1-u_2= 58,03 kJ/kg
s_1=(1-x_1)s_{L1}+$x_1 s_{V1}$=1,066kJ/kg K
s_2=(1-x_2)s_{L2}+$x_2 s_{V2}$=3,78kJ/kg K Poiché s_2>s_1 il processo è irreversibile.

Esercizio:
Si consideri un dispositivo con il quale è realizzato un ciclo diretto costituito dalla successione di tre trasformazioni reversibili: compressione isoterma tra gli stati 1 (T_1=0 °C, p_1=1 bar) e 2 (p_2=60 bar), fornitura di calore isobara tra lo stato 2 e lo stato 3, espansione adiabatica tra lo stato 3 e lo stato 1. La sostanza che percorre il ciclo è una massa unitaria di un gas ideale, monoatomico, di massa molare 40 kg/kmol. Determinare l'efficienza del ciclo nel caso il dispositivo sia di tipo cilindro pistone e non avvengano scambi di massa.

Svolgimento:



$T_1 = 0°C$ $\quad p_1 = 1$ bar

$T_2 = T_1$ $\quad p_2 = 60$ bar

$m = 40$ kg/kmol

$R = \frac{8314}{m} = 207{,}8$ $\quad M = 1$ kg

$c_p = 427{,}5 \ \frac{kJ}{kg\,K}$

$c_v = 519{,}6 \ \frac{kJ}{kg\,K}$

$P \cdot V = M R T$ $\quad V_1 = \frac{M R T_1}{P_1} = 0{,}57 \ m^3$

$V_2 = \frac{M R T_2}{P_2} = 0{,}0095 \ m^3$

$$\begin{cases} T_1 P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_3 P_3^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \\ P_3 = P_2 \end{cases} \Rightarrow T_3 = T_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 880 \, K = 606{,}85 \, °C$$

Tr. 1-2 $\quad q = \ell_i = -RT \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = -232{,}45 \ \frac{kJ}{kg}$

Tr. 2-3 $\quad q = c_p \Delta T = 441{,}5$ kJ/kg

$\ell_i = c_v \Delta T = 315{,}3$ kJ/kg

Traf. 3-1 $\quad q = 0 \quad \ell_i = -c_v \Delta T = -315{,}3$

$$\eta = 1 - \frac{232{,}45}{441{,}5} = 0{,}47$$

Esercizio:
Un conduttore elettrico (resistività 0.1 μΩ m), di sezione circolare e sezione pari a 20 mm² è percorso da una corrente di 50 A e rivestito da una guaina isolante di spessore uguale al raggio del conduttore. Nell'ipotesi che il conduttore elettrico sia di lunghezza molto elevata, immerso in un ambiente alla temperatura di 0 °C con il quale realizza scambi termici per convezione (α = 20 W/m2 K). Per queste condizioni operative, ricavare la conducibilità della guaina che rende minima la temperatura sulla superficie esterna del conduttore e indicare il valore di temperatura così ottenuto.

Svolgimento:

Dati: ρ=0,1$\mu\Omega$ m; S=20mm^2 I=50A;
Ta=0°C; s_g = r; α_e=20W/m^{2}K.

Calcoliamo il raggio del conduttore

$r_c = \sqrt{\dfrac{S}{\pi}} = 2{,}52\ mm$ da cui si ottiene il raggio della guaina che non calcoliamo perché ci basta sapere che è pari a due volte il raggio del conduttore.

Inoltre si ha che :

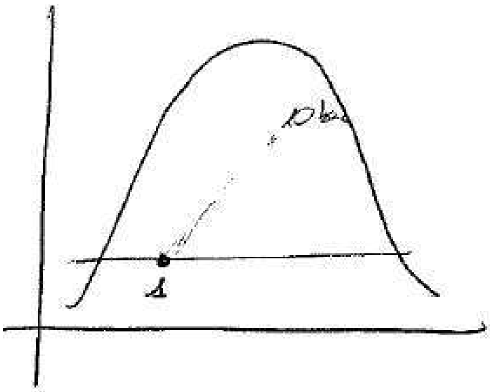
$$r_c = \frac{\lambda_G}{\alpha_e} \quad \Rightarrow \quad \lambda_G = \alpha_e r_c = 0{,}1\, W/(m\ K)$$

$$\varphi_L = \frac{\rho I^2}{\pi r_c^2} = 12{,}53\, W/m$$

$$T_P = T_e + \frac{\varphi_L}{2\pi}\left[\frac{1}{\lambda_G}\ln\left(\frac{r_G}{r_c}\right)^2 + \frac{1}{2 r_c \alpha_e}\right] = \left(0 + \frac{12{,}53}{2\pi}\left(10\ln 2 + \frac{1}{2*0{,}00252*20}\right)\right)°C = 33{,}6°C$$

Esercizio:
In un contenitore rigido è presente una miscela liquido vapore d'acqua alla pressione di 1 bar e titolo 0.1. Al contenitore è fornito calore sino a che la pressione interna raggiunge 10 bar. Determinare il titolo nello stato finale e la quantità di calore fornita dall'esterno. Determinare inoltre la pressione interna al contenitore nel caso si raggiunga lo stato di vapore saturo secco. Giustificare infine se la trasformazione subita dalla miscela (indifferentemente in uno dei due casi) possa essere ritenuta internamente reversibile.

Svolgimento:



Dati: P_1=1bar; x_1=0,1; P_2=10bar;
v = cost.

Dalle tabelle possiamo ricavare i seguenti dati:
T_1=99,632 °C;
$v = (1-x_1)v_{1L} + x_1 v_{1G} = 0{,}9 * 0{,}0010434 + 0{,}1 * 1{,}694 = 0{,}1703 m^3/kg$

Poiché P_2=10bar si ha che:
T_2 = 179,88 °C;
$$x_2 = \frac{v - v_{2L}}{v_{2G} - v_{2L}} = \frac{0{,}1703 - 0{,}0011274}{0{,}1943 - 0{,}0011274} = 0{,}876$$

Si ricavano gli altri dati:
$h_1 = (1-x_1)h_{1L} + x_1 h_{1G} = 643{,}3\ kJ/kg$
$s_1 = (1-x_1)s_{1L} + x_1 s_{1G} = 1{,}9084\ kJ/kg\ K$
$h_2 = (1-x_2)h_{2L} + x_2 h_{2G} = 2526{,}5\ kJ/kg$
$s_2 = (1-x_2)s_{2L} + x_2 s_{2G} = 6{,}0317\ kJ/kg\ K$
Ora cerchiamo di calcolare il calare il calore scambiato:
$u_1 = h_1 - P_1 v_1 = 626{,}27$ kJ/kg
$u_2 = h_2 - P_2 v_2 = 2356{,}2$ kJ/kg
$q = u_2 - u_1 = 1730$ kJ/kg

Verifichiamo se la trasformazione può essere ritenuta reversibile:
$\frac{ds}{dt} + \sum G s_j = \frac{\varphi}{T_m} + \sigma_{irr}$,troviamo la temperatura media, che risulta essere: $T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = 139{,}76°C$

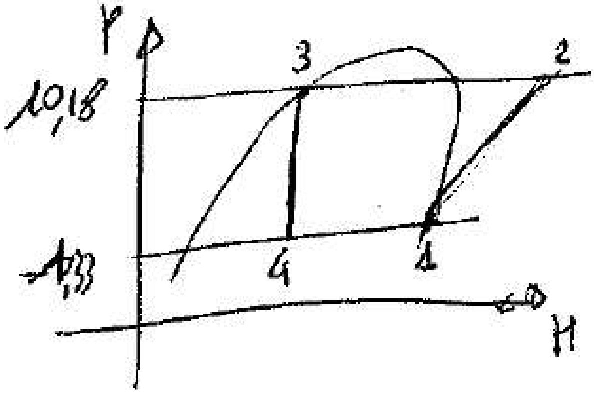
$s_{irr} = (s_2 - s_1) - \frac{q}{T_m} \approx 0$ quindi la trasformazione è reversibile.
Inoltre la pressione quando si raggiunge la situazione di vapore saturo sarà:
$P_{vs} \cong 10{,}95 bar$

Esercizio:

Un impianto frigorifero a semplice compressione di vapore funzionante con HFC134a, opera tra le pressioni corrispondenti alle temperature di evaporazione e condensazione di -20 °C e 40 °C, rispettivamente. In queste condizioni di funzionamento è assegnato dal costruttore un coefficiente di effetto utile (COP) pari a 2,5.

Nell'ipotesi che il fluido all'inizio della compressione sia nello stato di vapore saturo secco e lo stato del fluido all'inizio della laminazione sia di liquido saturo, determinare il rendimento isoentropico del compressore.

Svolgimento:



Dati: T_1=-20°C; T_2= 40°C; COP=2,5.

Dalle tabelle si ricavano i seguenti valori:

h_1= 386,8 kJ/kg, s_1=1,7422 kJ/(kg K)

h_3=256,6 kJ/kg s_3=1,1912 kJ/(kg K)

inoltre $h_4 = h_3$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{130{,}2}{h_2 - h_1}$$ da cui si ottiene:

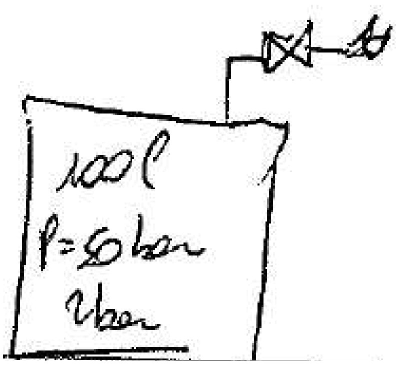
$$h_2 = h_1 + \frac{130{,}2}{COP} = 438{,}9\ kJ/kg \quad .$$

Dai diagrammi si può ricavare h_2^{id} = 430 kJ/kg.

Ne risulta che $$\eta_{is} = \frac{h_2^{id} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{43{,}2}{52{,}1} = 0{,}83 \quad .$$

Esercizio:
Una bombola del volume di 100 litri contiene ossigeno alla pressione iniziale di 50 bar. Dalla bombola è prelevata massa sino a che la pressione interna raggiunge il valore finale di 2 bar. Determinare la massa di fluido erogata in base alle seguenti ipotesi:
- contenitore rigido;
- processo isotermo alla temperatura ambiente di 25 °C;
- fluido ideale costituito da una molecola bi-atomica di massa molare pari a 32 kg/kmol.
Verificare infine se il processo può essere ritenuto reversibile.

Svolgimento:



Dati: V= 100 l; P_1=50 bar; P_2=50 bar; T=25°C;

$P_1V = M_1RT$ => $M_1 = (P_1V)/(RT) = 6{,}45$ kg

$M_2 = (P_2V)/(RT) = 0{,}26$ kg

$\Delta M = 6{,}19$ kg

Ora dobbiamo verificare se il processo è reversibile:

$\frac{dS}{dt} + \sum G_j s_j = \frac{\Phi}{T} + \Sigma_{irr}$ da cui integrando:

$$M_2 s_2 - M_1 s_1 - M_2 s_2 + M_1 s_e - M_2 s_e = \frac{Q}{T} + S_{irr}$$

$$S_{irr} = M_1(s_e - s_1) - \frac{Q}{T} = M_1\left(c_P \ln\left(\frac{T_e}{T_i}\right) - Rln\left(\frac{P_e}{P_i}\right)\right) - \frac{Q}{T} = 3{,}78\ \frac{kJ}{K} > 0 \quad irreversibile$$

Esercizio:
Un serbatoio metallico, la cui forma compatta è assimilabile ad una sfera, contiene un fluido criogenico alla temperatura di 77 K. Il volume esterno del serbatoio è 2 m^3 e sulla sua superficie è applicato un primo strato isolante costituito da una schiuma espansa di conducibilità 0.026 W/(m K) e spessore 40 mm, a cui è sovrapposto un secondo strato isolante di conducibilità 0.1 W/(m K) e spessore 25 mm. Nell'ipotesi di iniziale stazionarietà, sull'interfaccia tra i due materiali isolanti è misurata la temperatura di 215 K. Trascurando la resistenza conduttiva delle pareti metalliche del serbatoio, le resistenze di contatto tra i materiali diversi e gli eventuali fenomeni convettivi sull'interfaccia tra il fluido e la parete interna, determinare la temperatura sulla superficie esterna del secondo isolante.

Svolgimento:

Dati : $T_f = 77$ K; $V = 2\ m^3$; $\lambda_{is1} = 0{,}026$ W/(m K); $\lambda_{is2} = 0{,}1$ W/(m K);
$s_{is1} = 40$ mm; $s_{is2} = 25$ mm $T_{12} = 215$ K.

Ricaviamo subito i raggi:
$r_1 = 0{,}78$ m
$r_2 = 0{,}82$ m
$r_3 = 0{,}845$ m

$$\Phi = \frac{4\pi(T_{12} - T_f)}{\frac{1}{\lambda_{is1}}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} = 720{,}96\,W$$

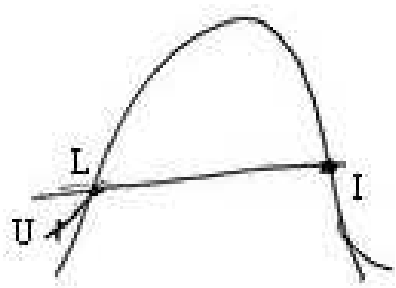
poiché il flusso rimane costante allora possiamo ricavarci T_e.

$$\Phi = \frac{4\pi(T_e - T_{12})}{\frac{1}{\lambda_{is2}}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right)} \Rightarrow T_e = \frac{\Phi}{4\pi}\frac{1}{\lambda_{is2}}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right) + T_{12} = 235{,}7\,K$$
.

Esercizio:

Un condensatore a tubi concentrici è percorso da una portata d'acqua pari a 26 kg/s che si scalda da 20°C a 45°C. Nel condotto interno condensa una portata pari ad 1.1 kg/s di vapore d'acqua nelle condizioni sature secche alla pressione di 0.5 bar. Supponendo le trasformazioni isobare subite dai due fluidi, determinare lo temperatura in uscita del fluido caldo.
In base ai valori di temperatura dei due fluidi nelle sezioni di ingresso e uscita dello scambiatore, indicare quale configurazione di scambio termico deve essere utilizzata (equi/contro – corrente).

Svolgimento:



Dati : G_f = 26 kg/s; G_c = 1,1 kg/s; T_{fi} = 20 °C; T_{fu} = 45 °C; P = 0,5 bar

Dalle tabelle si ha che alla pressione di 0,5 bar la temperatura dell'acqua è T = 81,345 °C.

$$\Phi - L_i = G c_P \Delta T \ \Rightarrow \ \Phi = 2720{,}9\, kW$$, $L_i = 0$

$$\Delta h = \frac{\Phi}{G_c} = 2473{,}5\, kJ/kg$$

Dai diagrammi si ottiene che h_{ci} = 2646 kJ/kg, di conseguenza

$$h_{cu} = h_{cI} - \Delta h = 104{,}65\, kJ/kg$$

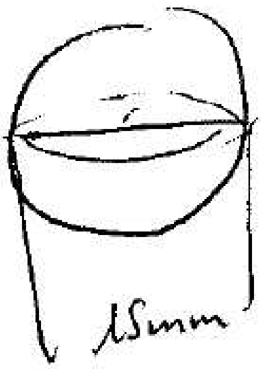
Ora bisogna leggere dalle tabelle il valore di temperatura ed entalpia che ha il fluido caldo quando si trova sulla curva di liquidus: T_L = 81,34 °C; h_{cL} = 340,56 kJ/kg.

$$c_P(T_L - T_u) = h_{cL} - h_{cu} \ \Rightarrow \ T_u = -\frac{h_{cL} - h_{cu}}{c_P} + T_L = 41{,}2\,°C$$

Lo scambiatore va utilizzato in modalità contro-corrente in quanto la modalità equi-corrente non garantisce una temperatura di uscita del fluido freddo di almeno 45 °C.

Esercizio:
Una sfera del diametro di 15 mm, costituita da un materiale omogeneo di capacità termica volumica pari a 3.2 MJ/(m^3 K), è sottoposta a transitorio termico. Essa è inizialmente ad elevata temperatura e ad un certo istante è introdotta in un termostato alla temperatura ambiente realizzando scambi termici per convezione. Nell'ipotesi che il numero di Biot sia sufficientemente piccolo e che il tempo impiegato per compiere il 90 % del transitorio sia di 20 s, determinare l'entità del coefficiente di convezione.

Svolgimento:



Dati: d = 15mm; ρc = 3,2 MJ/(m^3 K); Bi < 0,1
$t_{90\%}$ = 20 s.

$$Fo_{90\%} = -\frac{\ln(1-0{,}9)}{Bi} = \frac{a \cdot t}{L^2}$$ con:

- $Bi = \frac{\alpha_e \cdot L}{\lambda}$
- $a = \frac{\lambda}{\rho c}$
- L = 2/3* dimensione carateristica (d/4)

Dalle precedenti formule si ottiene:

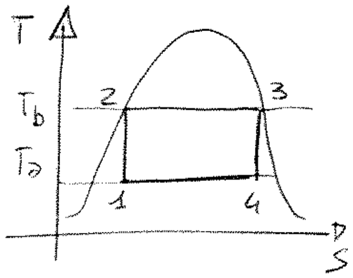
$$\alpha_e = -\frac{\ln(1-0{,}9) \cdot \lambda \cdot L}{t_{90\%} \cdot \lambda} \rho c = 921 \frac{W}{m^2 K}$$

Esercizio 1:
Per un ipotetico ciclo diretto di Carnot realizzato nella regione del vapore d'acqua saturo umido, la temperatura di vaporizzazione è 250 °C. Sapendo che il consumo specifico di vapore è 6 kg/kWh, determinare il lavoro complessivamente scambiato durante l'espansione.

Esercizio 2:
Una bombola di volume V è collegata mediante una valvola ad un serbatoio di elevata capacità e pressione, in equilibrio termico con l'ambiente esterno. Nella bombola il gas è inizialmente alla pressione p_1 e per la sua ricarica attraverso la valvola è fatta trafilare dal serbatoio una portata in massa del medesimo gas sino al raggiungimento della pressione p_2.
In base alle seguenti ipotesi:
– gas a comportamento ideale costituito da molecole mono-atomiche,
– pressione e temperatura del gas nel serbatoio all'incirca costanti durante il processo di riempimento della bombola,
– volume rigido della bombola,
– variazioni nulle o trascurabili dell'energia cinetica e potenziale,
– gas contenuto nella bombola inizialmente in equilibrio termico con l'ambiente esterno,
– processo ovunque adiabatico,
determinare il rapporto tra la massa finale e quella iniziale di gas nella bombola, nel caso il rapporto barometrico p_2/p_1 sia pari a 40.

Esercizio 3:
Una parete composta è costituita da due strati piani della medesima conduttanza termica, il cui valore è 10 W/(m^2 K) per ognuno. Tra i due strati è presente una sottile intercapedine, attraverso la quale si ipotizza che gli scambi termici avvengano solo per irraggiamento. Sulle superfici esterne che delimitano la parete composta sono applicate differenti condizioni al contorno: temperatura imposta (T_1 =400 °C) su una e convezione [α =10 W/(m^{2}K)] verso un ambiente a temperatura costante (T_e =20 °C) sull'altra. Determinare la riflettività delle superfici interne all'intercapedine affinché il flusso specifico scambiato dalla parete non superi 200 W/m^2.

Esercizio 1



$T_B = 250\,°C = 523,15\ K$

$CSV = 6\ \frac{kg}{kWh}$

$h_2 = 1085,8\ \frac{kJ}{kg}$ $\quad s_2 = 2,7935$

$h_3 = 2800,4\ \frac{kJ}{kg}$ $\quad s_3 = 6,0708$

note:

$$(h_2 - h_1) - (h_3 - h_4) = -\frac{3600}{CSV}$$

$$|q_A| = |h_4 - h_1| = -600\ \frac{kJ}{kg} + 2800,4\ \frac{kJ}{kg} - 1085,8\ \frac{kJ}{kg} = 1114,6\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\frac{|q_A|}{q_B} = \frac{T_a}{T_b} \qquad T_a = \frac{|q_A|\, T_b}{q_B} = 340,1\ K = \cancel{67°C}\ 67\,°C$$

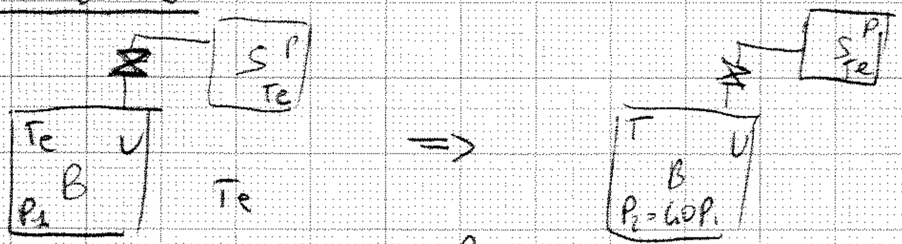
$$q_B = h_3 - h_2 = 1714,6$$

$$s_4 = s_3 \Rightarrow x_4 = \frac{s_4 - s_{4L}}{s_{4V} - s_{4L}} = \frac{6,0708 - 0,918}{7,8015 - 0,918} = \frac{5,1528}{6,8835} = 0,75$$

$$h_4 = x_4 h_{4V} + (1 - x_4) h_{4L} = 0,76 \cdot 2621,6 + 0,25 \cdot 280,4 = 2036,3\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\boxed{l_t = h_3 - h_4 = 764,1\ \frac{kJ}{kg}}$$

Esercizio 2



$q = 0 \qquad l_t = 0 \qquad \frac{P_2}{P_1} = 40 \qquad \gamma = \frac{5}{3} \qquad \Delta E_c = 0 \qquad \Delta E_p = 0$

$$\underbrace{\cancel{\Phi}}_{=0} - \underbrace{\cancel{W_t}}_{=0} = \frac{d}{dt}\left(U + \cancel{E_p} + \cancel{E_c} + \cancel{p_0 V}\right)_{V_C} + \sum G_i \left(h_i + \cancel{e_{c_i}} + \cancel{e_{p_i}}\right)$$

integro

$$0 = M_2 u_2 - M_1 u_1 - M_2 h_e + M_1 h_e$$

$$M_2 (h_e - u_2) = M_1 (h_e - u_1)$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{h_e - u_1}{h_e - u_2} = \frac{c_p T_e - c_v T_e}{c_p T_e - c_v T_2} = \frac{\cancel{\frac{R}{\gamma-1}}(\gamma T_e - T_e)}{\cancel{\frac{R}{\gamma-1}}(\gamma T_e - T_2)} =$$

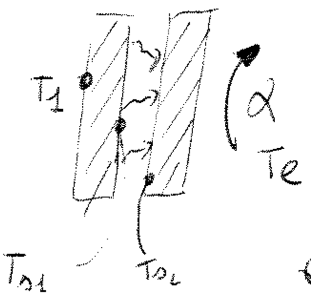
$$= \frac{\cancel{T_e}(\gamma - 1)}{\cancel{T_e}\left(\gamma - \frac{T_2}{T_e}\right)} =$$

$$\left.\begin{array}{l} P_1 V_1 = M_1 R T_1 \\ P_2 V_2 = M_2 R T_2 \end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} T_1 = \frac{P_1 V_1}{R M_1} \\ T_2 = \frac{P_2 V_2}{R M_2} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{T_e}{T_2} = \frac{P_1 \cancel{V_1}}{\cancel{R} M_1} \cdot \frac{\cancel{R} M_2}{P_2 \cancel{V_2}} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{M_2}{M_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} \frac{M_1}{M_2} = 40 \frac{M_1}{M_2}$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{\gamma - 1}{\gamma - 40 \frac{M_1}{M_2}} \Rightarrow \gamma \frac{M_2}{M_1} - 40 = \gamma - 1 \Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = \frac{\gamma + 39}{\gamma} = 1 + 23,4 = \boxed{24,4}$$

Esercizio 3



$$C = 10 \frac{W}{m^2 K} \qquad T_1 = 400°C \qquad T_e = 20°C$$

$$\alpha = 10 \frac{W}{m^2 K} \qquad \varphi = 200 \frac{W}{m^2}$$

$$\varphi = \frac{T_1 - T_{s1}}{\frac{1}{C}} \Rightarrow T_{s1} = -\frac{\varphi}{C} + T_1 = 380°C = 653,15 \text{ K}$$

$$\varphi = \frac{T_{s2} - T_e}{\frac{1}{C} + \frac{1}{\alpha}} \Rightarrow T_{s2} = \varphi\left(\frac{1}{C} + \frac{1}{\alpha}\right) + T_e = 60°C = 333,15 \text{ K}$$

$$\varphi = \frac{\sigma (T_{s1}^4 - T_{s2}^4)}{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{\underset{1}{\underset{\shortparallel}{F_{1-2}}}}} \Rightarrow 200 \frac{W}{m^2} = \left[\frac{5,67 \cdot 10^{-8} (653,15^4 - 333,15^4)}{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + 1}\right] \frac{W}{m^2}$$

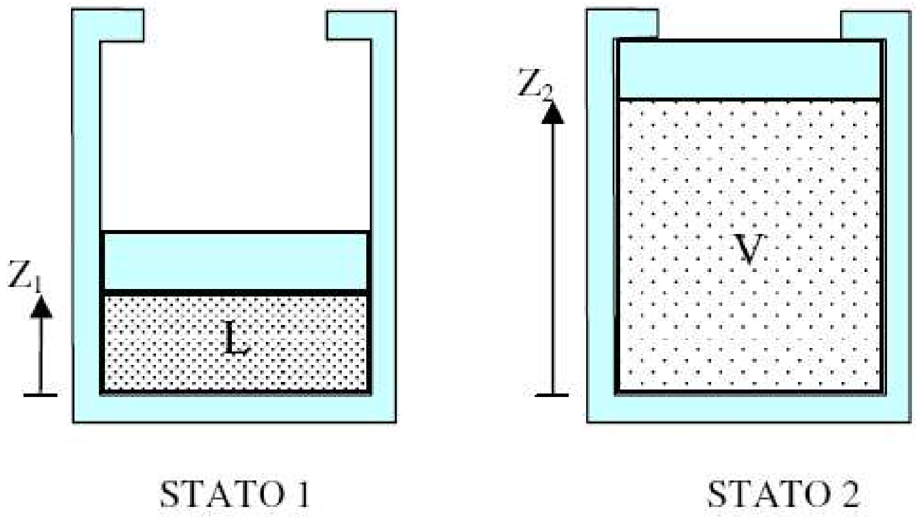
$$200\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}+1\right)\frac{W}{m^2} = 9620{,}5\ \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}+1 = 48{,}10 \quad \Rightarrow \quad 1-\varepsilon = 47{,}10\,\varepsilon$$

note:

$$\varepsilon = \frac{1}{48{,}10} = 0{,}02 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\eta = 1-\varepsilon = 0{,}98}$$

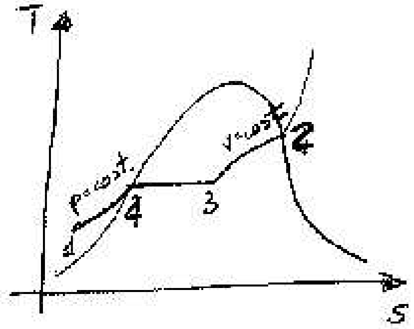
Esercizio 1:
Il dispositivo cilindro – pistone indicato in figura, contiene acqua ed opera in un ambiente alla pressione di 1 bar e alla temperatura di 25 °C. La massa del pistone è 500 kg e la superficie a contatto con l'acqua è 0.1 m^2. Nelle condizioni iniziali (stato 1) l'acqua è in equilibrio termico con l'ambiente esterno e la posizione verticale del pistone è Z_1 = 7 mm. Nello stato finale (stato 2) l'acqua è nelle condizioni di vapore saturo secco e la posizione verticale del pistone è Z_2 = 727 mm. Nell'ipotesi che il pistone sia libero di muoversi senza attrito, tracciare sul piano di Gibbs le trasformazioni subite dal fluido e determinare la quantità di calore che deve essere fornita al dispositivo per raggiungere lo stato 2. Giustificare attraverso l'applicazione del II principio la reversibilità interna del processo.



Esercizio 2:
Un resistore elettrico [λ_C = 15 W/(m K), ρ_e = 0.946 μΩ m] di sezione circolare e raggio 2 mm è percorso da una corrente stazionaria di 12.5 A. Esso è ricoperto da una guaina isolante dello spessore
di 4 mm [λ_G = 0.25 W/(m K)], e scambia per convezione [α = 8 W/(m^2 K)] con l'ambiente esterno alla temperatura di 25 °C. Nell'ipotesi che la lunghezza del resistore sia molto maggiore del suo diametro, determinare le temperature superficiali della guaina isolante.

Esercizio 1

La trasformazione sarà di questo tipo:



Possiamo calcolare la pressione P_1, e la massa dell'acqua

$$P_1 = P_{atm} + \frac{m_{pist.} \cdot g}{S} = 1,5 \text{ bar}$$

Trattiamo l'acqua sottoraffreddata come liquido incomprimibile si ha che:

$$v_1 = v_l \approx 0,001053 \frac{m^3}{kg}$$

inoltre $V_1 = S \cdot z_1 = 0,1 \cdot 0,007 = 0,0007 \, m^3$

quindi $m_{acqua} = \dfrac{V_1}{v_1} = 0,665$ kg

ora posso trovare v_2 e di conseguenza tutti i dati relativi allo stato 2 e 3

$$V_2 = S \cdot z_2 = 0,1 \cdot 0,727 = 0,0727 \, m^3$$

$$v_2 = \frac{V_2}{m_{acqua}} = 0,109 \frac{m^3}{kg}$$

Poiché la trasformazione 3-2 è isocora si ha

$$v_2 = v_3$$

di conseguenza $x_3 = \dfrac{v_3 - v_{3L}}{v_{3V} - v_{3L}} = \dfrac{0,109 - 0,001053}{1,1635 - 0,001053} = 0,09$

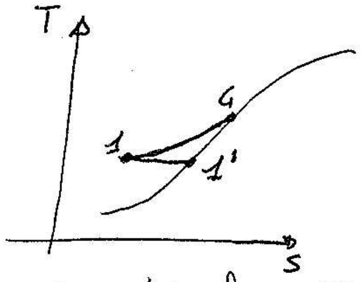
Leggendo da tabelle:

$p_2 \approx 19$ bar $\quad h_2 = 2796 \frac{kJ}{kg} \quad s_2 = 6,3559 \frac{kJ}{kg K} \quad T_2 \approx 209,21$ °C

$P_3 = P_1 = 1,5$ bar $\quad h_3 = x_3 h_{3V} + (1 - x_3) h_{3L} = 0,09 \cdot 2693,25 + 0,91 \cdot 466,9 = 667,3 \frac{kJ}{kg}$

inoltre $h_1 = 466,9 \frac{kJ}{kg} \quad T_1 = T_3 \approx 111$ °C $\quad s_1 \approx 1,43$

Dobbiamo ancora trovare h_1



Sappiamo che $dh = c_p \, dT + v_{1'} \, dp$

cioè che

$h_1 - h_{1'} = \underbrace{c_p \Delta T}_{=0} + v_{1'} \cdot (P_1 - P_{1'})$

Quindi $h_1 = v_{1'} (P_1 - P_{1'}) + h_{1'} = 0{,}0010023 \cdot (1{,}5 - 0{,}032) \cdot 10^5 + 104{,}77 \cdot 10^3 =$

$\simeq 105 \ \frac{KJ}{kg}$

di conseguenza si ha che

$q_{14} = h_4 - h_1 \simeq 362 \ \frac{KJ}{kg}$

$q_{43} = h_3 - h_4 \simeq 200{,}4 \ \frac{KJ}{kg}$

$q_{32} = \Delta u = u_2 - u_3 = \cancel{h_2 - h_2 +} \ h_2 - h_3 + p_3 v_3 - p_2 v_2 = 2796 \cdot 10^3 - 667{,}3 \cdot 10^3 +$

$+ 1{,}5 \cdot 10^5 \cdot 0{,}109 - 19 \cdot 10^5 \cdot 0{,}109 \simeq 1938{,}25 \ \frac{KJ}{kg}$

inoltre q_{14} poteva essere approssimato con la seguente formula:

$q_{14} \simeq c_p \Delta T = 4{,}186 \cdot (111 - 25) = 360 \ \frac{KJ}{kg}$

si può vedere come l'approssimazione sia buona.

Si ha perciò che $Q = m_{acqua} (q_{14} + q_{43} + q_{32}) \simeq 1{,}66 \ MJ$

Sappiamo che

$\frac{ds}{dt} + \underbrace{\sum G_j s_j}_{=0} = \frac{\phi}{\overline{T}} + \sum irr$

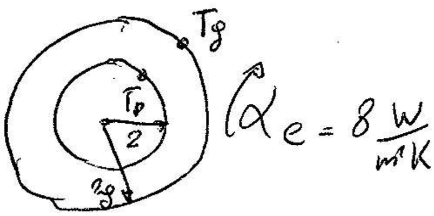
$s_2 - s_1 - \frac{Q/m_{acqua}}{\overline{T}} = S_{irr}$

Dobbiamo trovare s_1, si ha che

$s_1 - s_4 = \frac{\Delta q}{\overline{T}} \Rightarrow s_1 = \frac{h_1 - h_4}{\overline{T}} + s_4 \simeq 0{,}36 \ \frac{KJ}{kg K}$

$S_{irr} = 6{,}3559 - 0{,}36 - \frac{1{,}66 \cdot 10^3}{0{,}665 \cdot 397{,}77} \simeq 0$ trasformazione reversibile.

Esercizio 2



$\lambda_c = 15\ \frac{W}{mK}$ $\quad \rho_e = 0{,}946\ \mu\Omega m$

$r = 2\,mm$ $\quad I = 12{,}5\ A$

$r_g = 6\,mm$ $\quad \lambda_g = 0{,}25\ \frac{W}{mK}$

$T_e = 25°C$

$$\varphi_l = \frac{\rho I^2}{\pi r^2} = 11{,}76\ \frac{W}{m}$$

$$\varphi_l = \frac{2\pi (T_p - T_e)}{\frac{1}{\lambda_g}\ln\left(\frac{r_g}{r}\right) + \frac{1}{r_g \alpha_e}} \Rightarrow T_p = \frac{\varphi_l}{2\pi}\left(\frac{1}{\lambda_g}\ln\left(\frac{r_g}{r}\right) + \frac{1}{r_g \alpha_e}\right) + T_e \simeq 72{,}2°C$$

$$\varphi_l = \frac{2\pi (T_g - T_e)}{\frac{1}{r_g \alpha_e}} \Rightarrow T_g = \frac{\varphi_l}{2\pi}\left(\frac{1}{r_g \alpha_e}\right) + T_e \simeq 64°C$$

N.B: il dato λ_c è totalmente inutile!!!