

Cognome e Nome _____ Matricola _____ Firma _____

Domande di teoria (valutazione come indicato sulla pagina BEEP del corso)

1. Scrivere le definizioni dei parametri prestazionali di Primo e Secondo Principio per una macchina termica utilizzatrice che funzioni come frigorifero e come pompa di calore.
2. Scrivere due definizioni tra calori specifici e coefficienti termovolumetrici.
3. Rappresentare – qualitativamente ma rispettando l'assunzione che la capacità termica di portata del fluido caldo sia superiore a quella del fluido freddo – i profili di temperatura dei fluidi in uno scambiatore di calore a correnti parallele equicorrente.
4. Scrivere una espressione del bilancio energetico per un sistema aperto in cui siano significative anche le variazioni di quota ed energia cinetica.
5. Disegnare sul diagramma T-s un ciclo Joule diretto con compressore e turbina entrambi aventi rendimento isoentropico minore di 1.
6. Scrivere l'equazione di Fourier indicando da quali grandezze può dipendere la conduttività nel caso più generale.
7. Scrivere la definizione ed il significato di due gruppi adimensionali a piacere.

Esercizio 1 (10 punti)

Un compressore di nuova concezione permette la compressione di una portata d'aria di 10 kg/s da condizioni ambiente [$T_a=10^\circ\text{C}$, $P_a=100\text{ KPa}$] alla pressione di 1500 KPa, utilizzando una potenza meccanica pari a 3.5 MW. Il compressore è esternamente lambito da una portata di miscela liquido-vapore d'acqua pari a 1 kg/s alla pressione ambiente e in condizioni di evaporazione [$\lambda=2250\text{ KJ/kg}$]; la potenza termica dispersa dal compressore determina l'evaporazione di una frazione dell'acqua, incrementandone il titolo da 0.1 a 0.25. Si determinino: la variazione di entropia per unità di tempo dell'aria, le irreversibilità totali generate per unità di tempo.

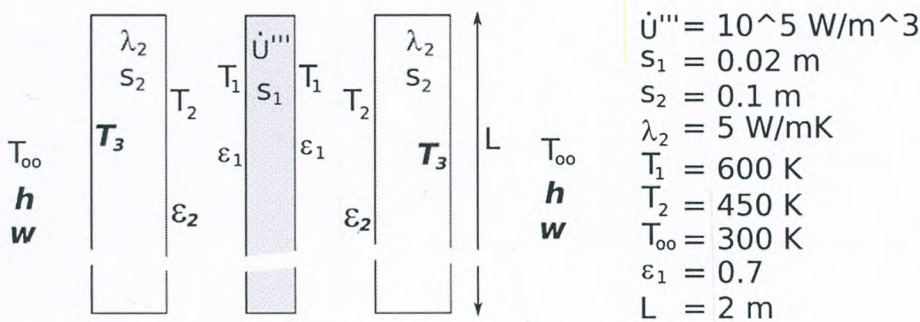
Esercizio 2 (10 punti)

Una macchina motrice produce una potenza meccanica di 100 kW ed opera fra l'ambiente [$T_a=10^\circ\text{C}$, $P_a=100\text{ KPa}$] e una sorgente calda costituita da una portata pari a 0.4 kg/s di olio diatermico [$C_p=4\text{ kJ/(kgK)}$, $\rho=1500\text{ kg/m}^3$] che si raffredda da 700°C a 500°C . Determinare:

- l'irreversibilità generata dal sistema nell'unità di tempo;
- il rendimento di secondo principio della macchina;
- la potenza termica estraibile dalla sorgente calda, a pari temperature di ingresso e uscita, nel caso in cui l'olio diatermico subisse anche un ΔP di 100 kPa a causa di perdite di carico.

Esercizio 3 (10 punti)

Si consideri il sistema rappresentato in figura, e costituito da una lastra centrale sede di generazione interna di potenza e due lastre laterali passive. Tra la lastra centrale e quelle laterali è fatto il vuoto, mentre esternamente le due lastre laterali sono lambite da aria a pressione atmosferica e velocità w parallela alle lastre con direzione verticale. Lo scambio termico per irraggiamento tra le lastre esterne e la stanza che contiene il sistema è trascurabile.



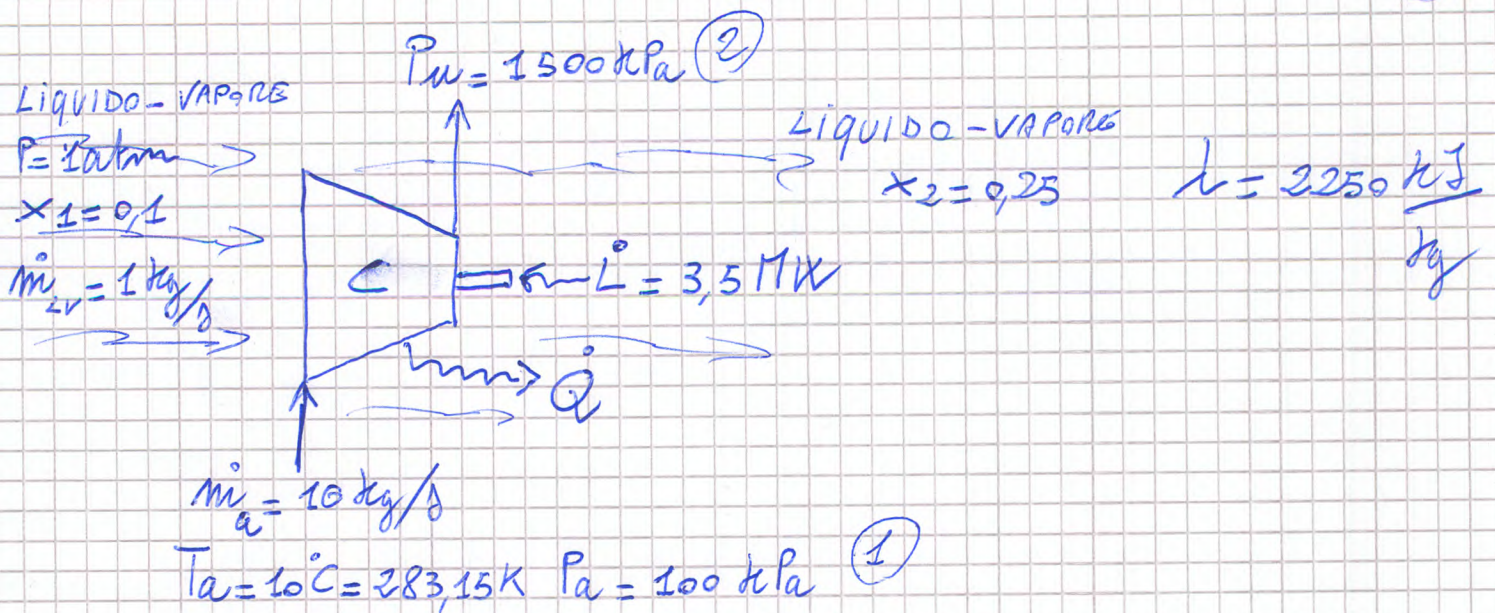
Le grandezze di cui sono noti i valori sono quelle indicate in figura con carattere normale, con i rispettivi valori riportati nella tabella a destra della figura. Sapendo che il sistema è in condizioni stazionarie, determinare i valori di ϵ_2 , T_3 e w (indicate in figura in grassetto italico).

Per la stima di h si utilizzi la correlazione $Nu_L = 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$ (valida per $Re < 500000$ e $Pr > 0.6$), utilizzando per le proprietà termofisiche dell'aria i seguenti valori: densità da calcolare a T_{film} , $\lambda_a = 0.03\text{ W/mK}$, $\mu_a = 1.85 \cdot 10^{-5}\text{ kg/m s}$.

Sulla base dei risultati ottenuti per la velocità e il numero di Reynolds, dire se la correlazione indicata per la stima di h appare effettivamente una scelta corretta, oppure no, e perchè.

ESERCIZIO 1

(1)



MISCELA LIQUIDO VAPORE RICEVE POTENZA TERMICA DAL COMPRESSORE ED EVAPORA PASSANDO DA $x_1 = 0,1$ A $x_2 = 0,25$.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{LV} \cdot (x_2 - x_1) \cdot l \quad \dot{Q} = 1 \cdot (0,25 - 0,1) \cdot 2250 = 337,5 \text{ kW}$$

USCENTI DAL COMPRESSORE.

COMPRESSORE ATTRAVERSA TO DA $\dot{m}_a = 10 \text{ kg/s}$ ARIA \rightarrow GAS IDEALE

$\rho_m = 28,96 \text{ kg/dm}^3$ BIATOMICO

$$c_V^* = \frac{5}{2} \frac{8314,5}{28,96} = 717,757 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \quad c_p^* = \frac{7}{2} \frac{8314,5}{28,96} = 1004,860 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \quad R^* = \frac{8314,5}{28,96} = 287,103 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

BILANCIO ENERGETICO COMPRESSORE

$$\dot{m}_a h_1^* + \dot{Q} - \dot{L} = \dot{m}_a h_2^* \quad \begin{matrix} \downarrow \dot{Q} \\ \oplus \rightarrow \dot{L} \end{matrix}$$

$$h_2^* = h_1^* + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_a} - \frac{\dot{L}}{\dot{m}_a} \quad c_p^* T_2 = c_p^* T_1 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_a} - \frac{\dot{L}}{\dot{m}_a}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{\dot{Q} - \dot{L}}{\dot{m}_a c_p^*} \quad \dot{Q} = -337,5 \cdot 10^3 \text{ W} \quad \dot{L} = -3,5 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$T_2 = 283,15 + \frac{-337,5 \cdot 10^3 + 3,5 \cdot 10^6}{10 \cdot 1004,86} = 597,87 \text{ K} = 871,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$du = T ds - P dv \rightarrow ds = \frac{du}{T} + \frac{P}{T} dv \quad Pv = RT \rightarrow \frac{P}{T} = \frac{R}{v}$$

$$ds = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} \quad \textcircled{2} \quad Pdv + v dP = R dT \quad \frac{dv}{v} + \frac{dP}{P} = \frac{dT}{T}$$

$$ds = C_v \frac{dT}{T} + R \left(\frac{dT}{T} - \frac{dP}{P} \right) = \boxed{C_p \frac{dT}{T} - R \frac{dP}{P}}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{ARIA}} = m \left[c_p^* \ln \frac{T_2}{T_1} - R^* \ln \frac{P_2}{P_1} \right]$$

$$= 10 \left[1004,86 \ln \frac{597,87}{283,15} - 287,103 \ln \frac{1500}{100} \right] =$$

$$= 10 \left[751,02889 - 777,489337 \right] = -264,60447 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

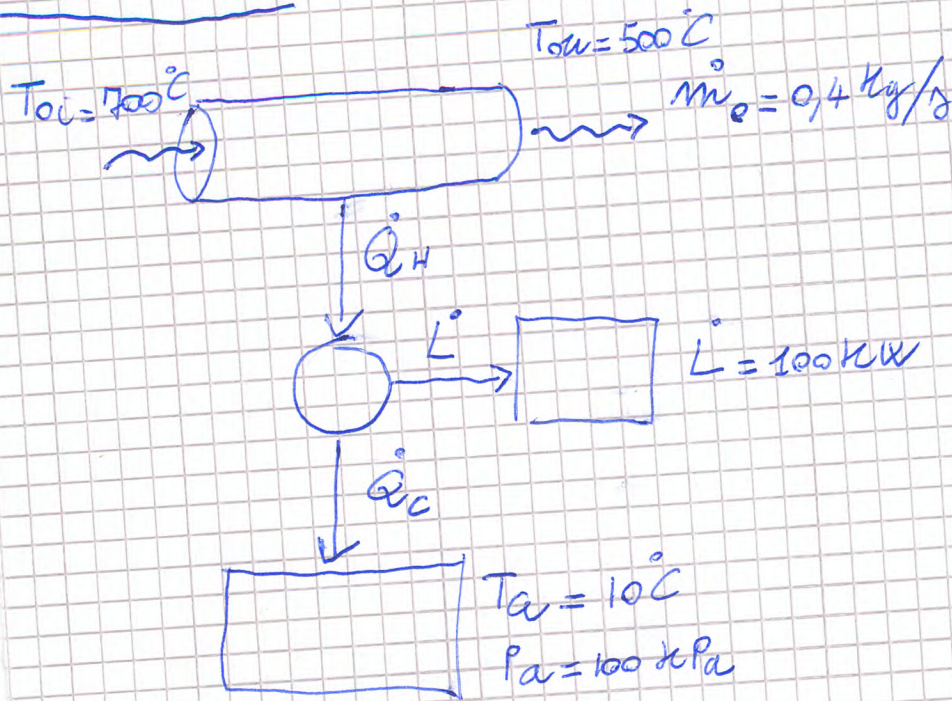
LIQUIDO VAPORE RICEVE \dot{Q} ED È A $T = T_{\text{EVAP}} = 373,15 \text{ K}$

~~$$\dot{\Delta S}_{L-V} = \frac{\dot{Q}}{T} = \frac{337,5 \cdot 10^3}{373,15}$$~~

$$\dot{\Delta S}_{L-V} = \frac{337,5 \cdot 10^3}{373,15} = 904,62 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{TOT}} = \dot{\Delta S}_{\text{ARIA}} + \dot{\Delta S}_{L-V} = -264,60447 + 904,62 = 640,01553 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

ESERCIZIO 2



OLIO $c_p^* = 4000 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
 $f = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\dot{L} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_C$$

$$+\Delta\dot{S}_H + \Delta\dot{S}_C = \Delta\dot{S}_{\text{irr.}}$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_o \cdot c_p^* (T_{oi} - T_{ou}) = 0,4 \cdot 4000 \cdot (700 - 500) = 320'000 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_H - \dot{L} = 320 - 100 = 220 \text{ kW}$$

$$\Delta\dot{S}_H = \dot{m}_o c_p^* \ln \frac{T_{ou}}{T_{oi}} = 0,4 \cdot 4000 \ln \frac{773,15}{973,15} = -368,104 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Delta\dot{S}_C = \frac{\dot{Q}_C}{T_a} = \frac{220 \cdot 10^3}{283,15} = 776,973 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Delta\dot{S}_{\text{irr.}} = 408,87 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\eta = \frac{\dot{L}}{\dot{L}_{\text{ID}}} \quad \dot{L}_{\text{ID}} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_{C \text{ MIN.}} \quad \dot{Q}_{C \text{ MIN.}} \text{ se } \Delta\dot{S}_{\text{irr.}} = 0$$

$$\Delta\dot{S}_{\text{irr.}} = 0 \text{ se } \Delta\dot{S}_C = -\Delta\dot{S}_H \Rightarrow \Delta\dot{S}_{C \text{ MIN.}} = 368,104 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\dot{Q}_{VC_{MIN}} = \Delta S_{c_{MIN}} \cdot T_a = 368,104 \cdot 283,15 \approx 104.228,65 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{VC_{MIN}} = 104,228 \text{ kW}$$

$$\dot{L}_{MAX} = \dot{L}_{ID} = 320 - 104,228 = 215,771 \text{ kW}$$

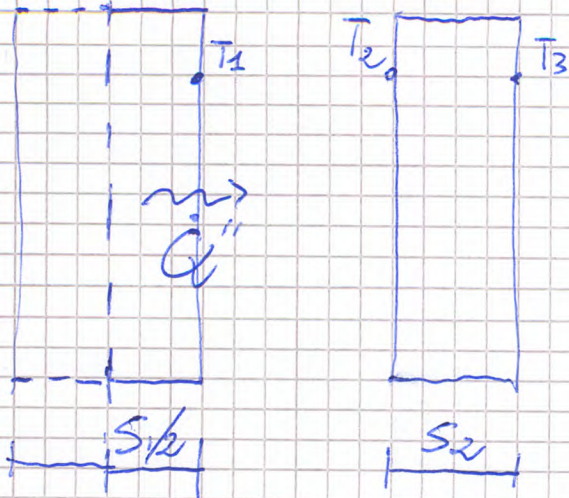
$$\eta = \frac{100}{215,771} = 0,4634 \rightarrow \boxed{46,34\%}$$

~~VALIDO~~ CON PERDITE DI CARICA

$$\dot{Q}'_H = \dot{Q}_H + m_i \frac{\Delta P}{\rho}$$

$$= 320000 + 0,4 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{1500} = 320.026,6667 \text{ W}$$

ESERCIZIO 3



$$\dot{Q}'' = \dot{U}''' \frac{S_1}{2} = 1 \cdot 10^5 \cdot 0,01 = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\dot{Q}'' = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{S_2}{\lambda_2}} = \frac{T_3 - T_\infty}{\frac{1}{h}}$$

$$\epsilon_2 = \left[\frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\dot{Q}''} - \frac{1}{\epsilon_1} + 1 \right]^{-1} = \left[\frac{5,67 \cdot 10^{-8} (600^4 - 450^4)}{1000} - \frac{1}{0,7} + 1 \right]^{-1} = 0,21764$$

$$\dot{Q}'' = \frac{T_2 - T_3}{\frac{S_2}{\lambda_2}} \rightarrow T_3 = T_2 - \frac{\dot{Q}''}{\frac{\lambda_2}{S_2}} \rightarrow T_3 = 450 - \frac{1000}{\frac{5}{0,1}} = 430 \text{ K}$$

$$\dot{Q}'' = h (T_3 - T_\infty) \rightarrow h = \frac{\dot{Q}''}{T_3 - T_\infty} \rightarrow h = \frac{1000}{430 - 300} = 7,6923 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$Nu_L = \frac{h L}{\lambda_a} = \frac{7,6923 \cdot 2}{0,03} = 512,82$$

$$Re_L = \frac{\rho_a v L}{\mu_a} \quad \mu_a = 1,85 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad T_{\text{film}} = \frac{T_3 + T_\infty}{2} = \frac{430 + 300}{2} = 365 \text{ K}$$

$$\frac{P_a}{f_a} = R^* T_{a, \text{film}} \quad f_a = \frac{P_a}{R^* T_{a, \text{pul}}} = \frac{101325}{\frac{8314,5}{28,96} \cdot 363} = 0,997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Pr = \frac{\mu C_p^*}{\lambda} = \frac{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot 1004,86}{0,03} = 0,620$$

$$Re_L^{1/2} = \frac{Nu_L}{0,664 Pr^{1/3}} = \frac{512,83}{0,664 \cdot 0,620^{1/3}} = 905,73186$$

$$Re_L = 820350,20$$

$$w = \frac{\mu_a Re_L}{f_a \cdot L} = \frac{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot 820350,20}{0,997 \cdot 2,9} = 17,611 \text{ m/s} \\ \approx 27,4 \text{ km/h}$$