

Cognome e Nome _____ Matricola _____ Firma _____

Teoria (valutazione secondo quanto indicato sul portale BEEP)

1. Scrivere le condizioni necessarie perchè una trasformazione possa essere considerata una politropica.
2. Ricavare, partendo dal potenziale U ed applicando le trasformate di Legendre le espressioni dei potenziali termodinamici H , F , G ed i loro differenziali.
3. Il coefficiente di Joule-Thomson (ipotesi, dimostrazione, commenti sul risultato e sue applicazioni).
4. Scrivere il bilancio energetico per un generico sistema fluente, indicando il significato dei termini che vi compaiono.
5. Disegnare sul diagramma $T-s$ un ciclo Rankine diretto con pompa ideale e turbina reale.
6. La legge di Newton e le grandezze da cui dipende il coefficiente convettivo
7. Rappresentare alcune curve del potere emissivo (o emissione monocromatica) di corpo nero in funzione di temperatura e lunghezza d'onda.

Esercizio 1 (9 punti)

Un compressore comprime una portata d'aria di 10 kg/s a $T=15^\circ\text{C}$ e pressione atmosferica fino alla pressione di 15 atm . Sapendo che durante la trasformazione vi è una potenza termica dispersa verso l'ambiente pari a 200 kW e che la temperatura dell'aria a fine compressione è pari a 680 K , si calcolino:

- la potenza meccanica assorbita dal compressore,
- il suo rendimento isoentropico,
- la variazione di entropia del gas,
- l'irreversibilità della trasformazione considerando l'ambiente esterno alla temperatura di 15°C .

Esercizio 2 (12 punti)

Un condensatore a fascio tubiero (nel quale la superficie totale di scambio lato interno è pari ad $A_i = 100 \text{ m}^2$) prevede la completa condensazione fino a liquido saturo di una portata M_h pari a 1.5 kg/s di miscela bifase di acqua a $T_{hi} = 180^\circ\text{C}$ e $x = 0.9$, tramite una portata M_c pari a 10 kg/s di acqua inizialmente a $T_{ci} = 20^\circ\text{C}$ e $P = 1 \text{ atm}$. Si calcolino:

- la potenza scambiata nel condensatore,
- la temperatura T_{cu} dell'acqua fluido freddo in uscita,
- l'irreversibilità del processo,
- il coefficiente globale di scambio per unità di superficie.

Se a causa di una progettazione poco accurata nello scambiatore si avessero perdite di carico, dovute ad attriti, sul lato bifase pari a $\Delta P_{\text{bifase}} = 1 \text{ bar}$, quale sarebbero la temperatura T_{hu} ed il titolo di vapore dell'acqua fluido caldo in uscita?

Esercizio 3 (9 punti)

Il tetto di un edificio ($s = 18 \text{ cm}$, $k = 3 \text{ W/mK}$) con superficie di 400 m^2 (le due direzioni spaziali sono molto estese rispetto allo spessore, entrambe di 20 m) presenta la superficie esterna a $T_{\text{ex}}=10^\circ\text{C}$, mentre la superficie interna è lambita da aria umida a $T_{\text{ai}} = 20^\circ\text{C}$ e umidità relativa UR_{in} pari a 60% . La superficie

esterna, caratterizzata da un valore di emissività emisferica totale $\epsilon = 0.8$, è lambita da aria con temperatura e velocità in condizioni indisturbate pari a $T_\infty = 5^\circ\text{C}$, $w_\infty = 3\text{ m/s}$ ($\lambda_{\text{aria}} = 0.0271\text{ W/mK}$, $\mu_{\text{aria}} = 1.9 \cdot 10^{-5}\text{ kg/m s}$) ed è affacciata al cielo, approssimabile ad una cavità molto grande con temperatura $T_{\text{cielo}} = -10^\circ\text{C}$. Si determini:

- il coefficiente di scambio termico convettivo fra aria e tetto
- la potenza termica dispersa per convezione
- la potenza termica dispersa per irraggiamento
- se avviene condensazione di acqua sulla superficie interna del tetto

Tabelle delle proprietà dell'acqua in transizione di fase

Press. p MPa	Temp. sat. T_{sat} $^\circ\text{C}$	Volume specifico m^3/kg		Energia interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropia $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$		
		Liquido sat. u_l	Vapore sat. u_v	Liquido sat. u_l	Evap. u_{lv}	Vapore sat. u_v	Liquido sat. h_l	Evap. h_{lv}	Vapore sat. h_v	Liquido sat. s_l	Evap. s_{lv}	Vapore sat. s_v
0.70	164.97	0.001108	0.2729	696.44	1876.1	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	4.7158	6.7080
0.75	167.78	0.001112	0.2556	708.64	1866.1	2574.7	709.47	2057.0	2766.4	2.0200	4.6647	6.6847
0.80	170.43	0.001115	0.2404	720.22	1856.6	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	4.6166	6.6628
0.85	172.96	0.001118	0.2270	731.27	1847.4	2578.7	732.22	2039.4	2771.6	2.0710	4.5711	6.6421
0.90	175.38	0.001121	0.2150	741.83	1838.6	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	4.5280	6.6226
0.95	177.69	0.001124	0.2042	751.95	1830.2	2582.1	753.02	2023.1	2776.1	2.1172	4.4869	6.6041
1.00	179.91	0.001127	0.19444	761.68	1822.0	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	4.4478	6.5865
1.10	184.09	0.001133	0.17753	780.09	1806.3	2586.4	781.34	2000.4	2781.7	2.1792	4.3744	6.5536
1.20	187.99	0.001139	0.16333	797.29	1791.5	2588.8	798.65	1986.2	2784.8	2.2166	4.3067	6.5233
1.30	191.64	0.001144	0.15125	813.44	1777.5	2591.0	814.93	1972.7	2787.6	2.2515	4.2438	6.4953

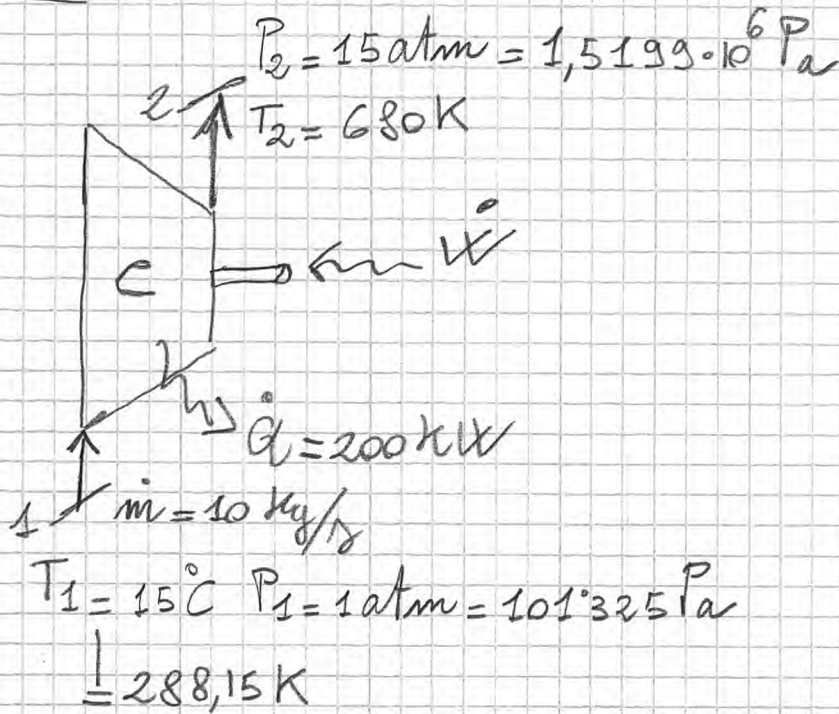
Temp. T $^\circ\text{C}$	Press. sat. p_{sat} kPa	Volume specifico m^3/kg		Energia interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropia $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$		
		Liquido sat. u_l	Vapore sat. u_v	Liquido sat. u_l	Evap. u_{lv}	Vapore sat. u_v	Liquido sat. h_l	Evap. h_{lv}	Vapore sat. h_v	Liquido sat. s_l	Evap. s_{lv}	Vapore sat. s_v
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533

Correlazioni per il calcolo di Nu per flusso su lastra piana (proprietà termofisiche da valutare a T_{∞})

$Re > 500'000$ Regime Turbolento $Nu = 0.037 Re^{4/5} Pr^{1/3}$

$Re < 500'000$ Regime Laminare $Nu = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3}$

Esercizio 1



$$\dot{m} \left(h_1^* + g z_1 + \frac{1}{2} v_1^2 \right) + \dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left(h_2^* + g z_2 + \frac{1}{2} v_2^2 \right)$$

trascurando $\Delta E_c = \frac{1}{2} v_1^2 - \frac{1}{2} v_2^2$ e $\Delta E_p = g(z_1 - z_2)$, si ha

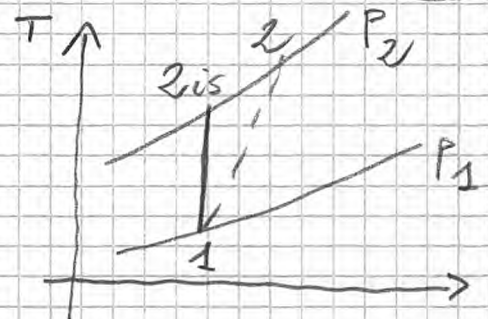
$$\dot{m} h_1^* + \dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} h_2^* \rightarrow \dot{W} = \dot{m} (h_1^* - h_2^*) + \dot{Q} = \dot{m} c_p^* (T_1 - T_2) + \dot{Q}$$

$$c_p^* = \frac{7}{2} R^* = \frac{7}{2} \frac{R}{M} = \frac{7}{2} \frac{8314,5}{28,96} = 1004,86 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \quad \dot{Q} = -200 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\dot{W} = 10 \cdot 1004,86 \cdot (288,15 - 680) - 200 \cdot 10^3 = -4,13754391 \cdot 10^6 \text{ W}$$

ENTRANTE NELLA MACCHINA

$$\eta = \frac{\dot{W}_{ID}}{\dot{W}} \quad \dot{W}_{ID} = \dot{m} c_p^* (T_1 - T_{2is})$$



lungo un'isentrofica si ha

$$P^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} T = \text{cost.}$$

$$P_1^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} T_1 = P_2^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} T_{2is} \rightarrow T_{2is} = T_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} \quad \kappa = 1,4$$

$$T_{2is} = 288,15 \left(\frac{1}{15} \right)^{\frac{0,4}{1,4}} = 624,66 \text{ K}$$

$$\dot{W}_{ID} = 10 \cdot 1004,86 \cdot (288,15 - 624,66) = -3,381454386 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{-3,381454386 \cdot 10^6}{-4,13754391 \cdot 10^6} = \boxed{0,81726} \approx 0,8173 \rightarrow 81,73\%$$

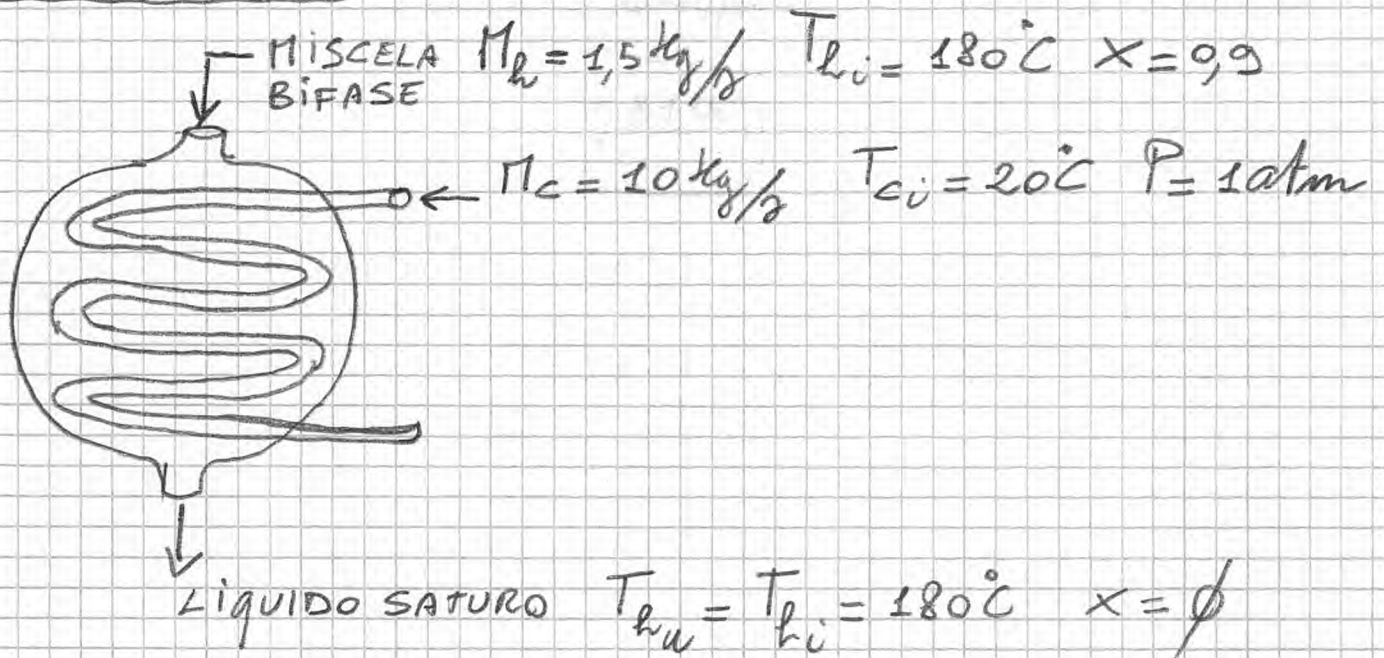
$$\begin{aligned} \dot{\Delta S}_{\text{gas}} &= \dot{m} \left(c_p^* \ln \frac{T_2}{T_1} - R^* \ln \frac{P_2}{P_1} \right) \\ &= 10 \left(1004,86 \ln \frac{680}{288,15} - \frac{8314,5}{28,96} \ln \frac{15}{1} \right) = \boxed{852,354 \frac{\text{W}}{\text{K}}} \end{aligned}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{TRASF.}} = \dot{\Delta S}_{\text{gas}} + \dot{\Delta S}_{\text{AMB}}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{AMB}} = \frac{\dot{Q}}{T_{\text{AMB}}} = \frac{200 \cdot 10^3}{288,15} = 694,083 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{TRASF.}} = 1547,037 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

ESERCIZIO 2



SE ADIABATICO - $\dot{Q}_h = \dot{Q}_c$ $\dot{Q}_h = \dot{m}_h (h_{hu}^* - h_{hi}^*)$

Dalle tabelle per $T = 180^\circ\text{C} = 179,91^\circ\text{C}$ ottengo

$$h_{LS}^* = 762,81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_{VS}^* = 2778,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\delta_{LS}^* = 2,1367 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \quad \delta_{VS}^* = 6,5865 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$h_{hi}^* = (1-x) h_{LS}^* + x h_{VS}^* = (1-0,9) 762,81 + 0,9 \cdot 2778,1 = 2576,571 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{hu}^* = h_{LS}^* = 762,81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_h = 1,5 \cdot (762,81 - 2576,571) = -2720,6415 \text{ kW} = -\dot{Q}_c$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c (h_{cu}^* - h_{ci}^*) \approx \dot{m}_c C_{H_2O}^* (T_{cu} - T_{ci})$$

$$T_{cu} = T_{ci} + \frac{\dot{Q}_c}{\dot{m}_c \cdot C_{H_2O}^*} = 20 + \frac{2720,6415 \cdot 10^3}{10 \cdot 4 \cdot 186,8} = 84,98^\circ\text{C}$$

$$\Delta \dot{S}_{TOT} = \Delta \dot{S}_C + \Delta \dot{S}_H = \dot{M}_C c_{H_2O}^* \ln \frac{T_{cu}}{T_{ci}} + \dot{M}_H (\dot{s}_{hm}^* - \dot{s}_{hi}^*)$$

$$\dot{s}_{hm}^* = \dot{s}_{ls}^* = 2,1367 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\dot{s}_{hi}^* = (1-x) \dot{s}_{ls}^* + x \dot{s}_{rs}^* = (1-0,9) \cdot 2,1367 + 0,9 \cdot 6,5865 = 6,14152 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_{TOT} &= 10 \cdot 4186,8 \ln \frac{358,13}{293,15} + 1,5 \cdot (2,1367 \cdot 10^3 - 6,14152 \cdot 10^3) = \\ &= 8382,460 - 6007,230 = 2375,23 \frac{\text{W}}{\text{K}} \end{aligned}$$

$$\dot{Q} = A \cdot U \cdot \Delta T_{ml} \rightarrow U = \frac{\dot{Q}}{A \cdot \Delta T_{ml}} \quad A = 100 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad \Delta T_1 = T_{hi} - T_{ci} = 180 - 20 = 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{co} = 180 - 84,98 = 95,02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{160 - 95,02}{\ln \frac{160}{95,02}} = 124,70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{2720,6415 \cdot 10^3}{100 \cdot 124,70} = 218,175 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Con perdita di 1 bar sul lato bifase in uscita
ho comunque liquido saturo a 9 bar con $T = 175,38 \text{ } ^\circ\text{C}$

ESERCIZIO 3

ARIA INTERNA

$$T_{AI} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi\% = 60\% \quad L = 20\text{mm}$$

ARIA ESTERNA

$$T_{\infty} = 5^{\circ}\text{C}$$

$$v_{\infty} = 3\text{ m/s}$$

$$\lambda_a = 0,0271\text{ W/mK}$$

$$\mu_a = 1,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$$

$$T_{EX} = 10^{\circ}\text{C}$$

$$\varepsilon = 0,8$$

CIELO

$$T_{\text{cielo}} = -10^{\circ}\text{C}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$D = 18\text{ cm}$$

$$h = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

CALCOLO $Re = \frac{\rho_a v_{\infty} L_c}{\mu_a}$

$$\frac{P_a}{f_a} = R^* T_{\infty} \quad f_a = \frac{P_a}{R^* T_{\infty}}$$

$$\rho_a = \frac{101325}{\frac{8314,5}{28,96} \cdot 278,15} = 1,2688 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Re = \frac{1,2688 \cdot 3 \cdot 20}{1,9 \cdot 10^{-5}} = 4,0067 \cdot 10^6 > 500'000 \rightarrow \text{REGIME TURB.}$$

$$Nu = 0,037 Re^{4/5} Pr^{1/3}$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 1004,86}{0,0271} = 0,704$$

$$Nu = 0,037 \cdot (4,0067 \cdot 10^6)^{4/5} \cdot 0,704^{1/3} = 6304,085$$

$$Nu = \frac{h L_c}{\lambda_a} \rightarrow h = \frac{Nu \cdot \lambda_a}{L_c} = \frac{6304,085 \cdot 0,0271}{20} = \boxed{8,542 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}}$$

$$\dot{Q}_{cv} = h \cdot A (T_{EX} - T_{\infty}) = 8,542 \cdot 400 (10 - 5) = \boxed{17084 \text{ W}}$$

$$\dot{Q}_{\text{IRR.}} = \epsilon \sigma A (T_{\text{EX}}^4 - T_{\text{CIELO}}^4)$$

$$= 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 400 \cdot (283,15^4 - 263,15^4) = 29621,59 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{TOT}} = \dot{Q}_{\text{CV}} + \dot{Q}_{\text{IRR.}} = \frac{T_i - T_{\text{EX}}}{\frac{1}{hA}} \rightarrow T_i = T_{\text{EX}} + \dot{Q}_{\text{TOT}} \cdot \frac{1}{hA}$$

$$T_i = 10 + 46405,59 \cdot \frac{18 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 400} = 17,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

\searrow $(\dot{Q}_{\text{CV}} + \dot{Q}_{\text{IRR.}})$

Per avere condensa $T_i < T_{\text{RUGIADA}}$

\times $T_{\text{ai}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $\phi = 60\%$

$$\phi = \frac{P_v}{P_{\text{vs}}(20^\circ\text{C})} \rightarrow P_v = \phi \cdot P_{\text{vs}}(20^\circ\text{C}) = 0,6 \cdot 2,339 = 1,4034 \text{ kPa de}$$

cade tra 10°C e $15^\circ\text{C} \Rightarrow$ la T_{RUGIADA} è inferiore a $15^\circ\text{C} \Rightarrow$

\Rightarrow non c'è condensazione