

POLITECNICO DI MILANO
ESERCITAZIONI DI SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA
Allievi Fisici A.A. 2021/2022
Prof. Andrea Giostri

Diagrammi ed equazioni di stato

1. Determinare il calore specifico a pressione costante e la densità dei gas combusti ($MM=28.41$, $\gamma=1.3$) allo scarico di una turbina a gas, in condizioni di pressione ambiente e temperatura $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.
[Ris: $c_p=1268\text{ J/kgK}$; densità= 0.421 kg/m^3]
2. In un serbatoio rigido di volume $V = 3\text{ m}^3$ è racchiuso vapore d'acqua surriscaldato in condizioni: $T=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $p = 30\text{ bar}$. Al sistema viene asportato calore fino a raggiungere le condizioni di vapore saturo. Facendo uso del **diagramma di Mollier** determinare:
 - la massa di acqua contenuta nel sistema; [Risultato: $m_{acqua} = 30\text{ kg}$]
 - la temperatura e la pressione al termine del raffreddamento. [Risultato: $T= 212\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p=20\text{ bar}$]
3. Allo scarico di una turbina a vapore si ha miscela bifase a $p= 0.05\text{ bar}$ a $x= 0.92$. Determinare la densità del vapore utilizzando le **tabelle**.
[Risultato: densità vapore = 0.0379 kg/m^3]
4. Una massa di vapore si trova in condizioni: $p_1= 0.05\text{ bar}$ e $T_1= 50^{\circ}\text{C}$. Essa subisce una trasformazione isoterma al termine della quale il titolo del vapore è $x_2 = 0.95$. Facendo uso del **diagramma di Mollier** determinare il volume specifico e la densità all'inizio e alla fine della trasformazione; rappresentare inoltre qualitativamente la trasformazione nei piani T-s, h-s e p-v e stimare la pressione a fine trasformazione. [Ris.: $v_1= 30\text{ m}^3/\text{kg}$; $v_2=11.4\text{ m}^3/\text{kg}$, $p_2=0.123\text{ bar}$]
5. Un fluido geotermico (acqua) bifase (liquido + vapore) da inviare in una turbina vapore è caratterizzato dai seguenti valori "a bocca pozzo": portata massica totale 75 kg/s ; pressione: 15.3 bar ; titolo del vapore 0.2 . Prima di essere inviato in turbina il fluido è sottoposto ad un processo isoentalpico (flash) che ne abbassa la pressione fino al valore di 6.5 bar . Determinare le condizioni del fluido (p , T , h , s , v , x) all'inizio e al termine del processo di flash e calcolare la portata massica di solo vapore da inviare in turbina.
[Risultati: $T_1= 199^{\circ}\text{C}$; $v_1=0.027\text{ m}^3/\text{kg}$; $h_1=1237\text{ kJ/kg}$; $s_1=3.15\text{ kJ/kgK}$;
 $T_2=162^{\circ}\text{C}$; titolo $x_2=0.271$; $v_2=0.078\text{ m}^3/\text{kg}$; $h_2=1237\text{ kJ/kg}$; $s_2=3.21\text{ kJ/kgK}$; portata massica vapore = 20 kg/s]
6. Calcolare la variazione di entropia specifica dell'aria per una compressione isoterma a 25°C da $p_1= 1\text{ bar}$ a $p_2= 5\text{ bar}$. Il risultato cambierebbe se la compressione avvenisse a 75°C ? Calcolare inoltre l'incremento di temperatura che l'aria subisce per effetto di una compressione isoentropica da $p_1= 1\text{ bar}$ a $p_2= 5\text{ bar}$ nei seguenti casi: a) $T_1=25^{\circ}\text{C}$; b) $T_1=75^{\circ}\text{C}$.
[Risultati: $\Delta s=-461.99\text{ J/kgK}$; a) $\Delta T=174\text{ }^{\circ}\text{C}$; b) $\Delta T=203\text{ }^{\circ}\text{C}$]

7. Un serbatoio cilindrico di altezza pari a 10 m contiene acqua a pressione atmosferica, alla temperatura di 15 °C.

- a) Determinare la pressione sul fondo del serbatoio.
- b) Ripetere il calcolo nel caso in cui il serbatoio sia pieno di aria e il manometro posto alla sommità del serbatoio indichi una pressione relativa pari a 0.0 bar 1) ritenendo isoterma l'aria; 2) confrontare il risultato trovato con quello ottenibile ritenendo costante la densità dell'aria.
- c) Ripetere i calcoli del punto b) per una colonna di aria di 1000m.

[Risultati: a) $p=199425 \text{ Pa}$; b. 1) $p=101445 \text{ Pa}$; b. 2) $p=101445 \text{ Pa}$; c. 1) $p=104084 \text{ Pa}$; c. 2) $p=113342 \text{ Pa}$]

8. Una turbina a vapore adiabatica è alimentata da una portata massica di vapore pari a 27 kg/s. Il vapore in ingresso, costituito da vapore surriscaldato alle condizioni $p = 6 \text{ bar}$ e $T = 200^\circ\text{C}$, espande fino ad una pressione di 0.1 bar. Allo scarico l'energia cinetica è pari a 22.2 kJ/kg. Si calcoli la potenza erogata dalla macchina, ritenendo per semplicità la macchina ideale e trascurabile la velocità all'ingresso della macchina. Si determini inoltre l'area della sezione di passaggio della macchina allo scarico. I valori di tabella a 0.1 bar sono qui riportati per comodità:

- liquido saturo: $h = 191.83 \text{ [kJ/kg]}$, $s = 0.649 \text{ [kJ/ kg K]}$, $v = 0.001 \text{ [m}^3\text{/kg]}$
- vapore saturo: $h = 2584.78 \text{ [kJ/kg]}$, $s = 8.151 \text{ [kJ/ kg K]}$, $v = 14.675 \text{ [m}^3\text{/kg]}$.

[Risultati: potenza erogata = 16.76 MW; Area sezione = 50.07 m²]