



POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

30/08/2019

Allievi fisici

Allegare alle soluzioni il presente testo indicando (in STAMPATELLO):

NOME E COGNOME.....

Tempo a disposizione: 2 ore 30 minuti

Leggere attentamente le avvertenze: Indicare chiaramente nome e cognome su tutti i fogli da consegnare. Rispondere brevemente ma con chiarezza solamente ai quesiti posti, evidenziando le necessarie unità di misura. Calcoli e spiegazioni - pur corretti in sé - che non rispondono ai quesiti posti non saranno considerati ai fini della valutazione del compito. Nel caso sia richiesta una soluzione grafica indicare con chiarezza sui grafici allegati la soluzione proposta.

Tenere spenti i telefoni cellulari, non usare appunti, dispense, etc. Riportare i risultati richiesti su questo foglio e procedimento/calcoli intermedi sul foglio a quadretti.

Punteggio: Punteggio totale pari a 35. Il docente si riserva di normalizzare i risultati in trentesimi con coefficienti correttivi in base all'esito medio delle risposte date.

Dati per la risoluzione dei quesiti

Costante universale dei gas $\mathfrak{R} = 8314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$

□ **ESERCIZIO 1 (punti 6)**

Si consideri un ciclo Joule-Brayton aperto che aspira 21.3 kg/s di aria nelle condizioni ambiente (pressione di 1 bar e temperatura di 10°C).

L'input termico del ciclo viene fornito dalla combustione di 0.33 kg/s di gas naturale. La temperatura massima del ciclo è pari a 1000°C.

Il rapporto di compressione è 12.2. Il rendimento isoentropico di turbina e compressore è 0.88, mentre il rendimento meccanico-elettrico è 0.97.

Tutta la potenza elettrica netta prodotta dal ciclo Joule-Brayton viene utilizzata per comprimere una portata di He (gas perfetto monoatomico – 4 kg/kmol) dalle condizioni in aspirazione di (25°C, 2 bar) fino alla pressione di 20 bar.

Sapendo che il lavoro specifico della compressione di He è pari a 1.3 volte quello relativo ad una compressione isoterma reversibile, si chiede di:

- Rappresentare il layout del ciclo Joule-Brayton
- Determinare la potenza elettrica richiesta dall'impianto di compressione di He
- Determinare la portata di elio che viene compressa

Aria e gas combusti trattati come gas perfetto il cui calore specifico a pressione costante è 1.1 kJ/kg/K e $\gamma=1.4$

□ ESERCIZIO 2 (punti 5)

Una sfera di metallo ($D=5\text{ mm}$, $\rho=7850\text{ kg/m}^3$, $c=450\text{ J/kg/K}$, $k=73\text{ W/m/K}$) alla temperatura iniziale di 10°C , che si trova all'interno di un guscio sferico di materiale isolante tale da annullare lo scambio termico con l'esterno, viene scaldata per induzione per un tempo pari a 180 s . La generazione interna di calore (assunta per semplicità uniforme nel volume) è pari a 5 MW/m^3 .

Concluso il riscaldamento, la sfera viene estratta dal guscio sferico isolante e viene posta in contatto con una corrente di aria alla temperatura di 15°C e alla velocità di 3 m/s per 60 s .

Si chiede di calcolare:

- la temperatura alla fine del riscaldamento.
- il coefficiente di scambio termico convettivo aria-sfera
- la temperatura alla fine della fase di raffreddamento (nel caso non si sia calcolata la temperatura di fine riscaldamento, si consideri un valore pari a 200°C)
- l'andamento qualitativo della temperatura della sfera nel tempo di durata dell'intero processo ($0\text{-}240\text{ s}$)
- l'energia ceduta all'aria durante il processo di raffreddamento

Correlazioni per geometria Sferica (Dimensione caratteristica \rightarrow Diametro della sfera)

Intervallo Numero Re	Convezione Forzata	Proprietà aria	
			Valore
100-50000	$Nu = 2 + 0.47Re^{0.5}Pr^{0.36}$	$c_p\text{ [J/kg/K]}$	1006
		$\mu\text{ [10}^{-6}\text{ Pa}\cdot\text{s]}$	17.95
		$k\text{ [10}^{-3}\text{ W/m/K]}$	25.04
		$\rho\text{ [kg/m}^3\text{]}$	1.21

□ ESERCIZIO 3 (punti 4)

Una portata di 12 kg/s di acqua in condizioni di liquido saturo a 460 K viene laminata adiabaticamente fino alla pressione di 1 bar . Successivamente la portata viene inviata ad un separatore. La frazione di vapore saturo viene espansa in una turbina (rendimento isoentropico pari a 0.8) fino alla pressione corrispondente ad una temperatura di saturazione di 320 K . Si chiede di:

- Rappresentare la sequenza di trasformazioni sul piano T-s allegato
- Calcolare la potenza meccanica del sistema
- Calcolare il titolo e la portata volumetrica allo scarico della turbina

□ ESERCIZIO 4 (punti 5)

Una macchina idraulica (adiabatica) elabora un fluido incompressibile (densità $\rho=1000\text{ kg/m}^3$). La pressione in ingresso è pari a 15 bar mentre allo scarico la pressione è di 2 bar . La velocità di ingresso V_1 è pari a 3 m/s . Le sezioni di ingresso (1) e di uscita (2) sono di sezione circolare e il rapporto tra i due diametri (D_1/D_2) è pari a 2 . Sapendo che l'incremento di temperatura del fluido attraverso la macchina è pari a 0.15 K , che il calore specifico del fluido è 2000 J/kg/K e supponendo che la differenza di quota tra ingresso e uscita sia trascurabile, si determini:

- la velocità allo scarico della macchina;
- il lavoro ideale in caso di assenza di irreversibilità della macchina (la macchina è operatrice o motrice?);
- il lavoro reale scambiato con l'esterno;
- il rendimento idraulico della macchina;

□ **QUESITO 5 (Rispondere ad una sola delle due domande) (punteggio 7.5)**

1- Applicare il principio di conservazione dell'energia ad una laminazione adiabatica ed introdurre il coefficiente di Joule-Thompson ed il significato della curva di inversione.

2- Descrivere l'effetto di una riduzione della pressione di condensazione sulle prestazioni di un ciclo Rankine ideale. Discutere eventuali limitazioni all'abbassamento della pressione di condensazione.

□ **QUESITO 6 (DOMANDE A RISPOSTA GUIDATA) (punteggio 7.5)**

Rispondere alle seguenti 20 domande a risposta guidata. Segnare le **risposte corrette ad ogni domanda** (0.375 punto per risposta corretta, -0.125 punti se sbagliata).

Per un fluido reale (es. ammoniaca), nel diagramma T-s:	<p>Iso-h è sempre funzione decrescente con l'entropia</p> <p>Punto critico si trova sul massimo della curva di Andrews</p> <p>Le iso-titolo si possono ricavare analiticamente una volta nota la curva di Andrews</p> <p>Le isobare per un liquido tendono a collassare</p>	<input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> falso	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso
Per un ciclo Rankine saturo rigenerativo (1 rigeneratore a miscela):	<p>η_{Ciclo} cresce con la pressione dello spillamento</p> <p>A pari portata di vapore, il lavoro del ciclo [kJ/kg_{vap}] è > a quello di un ciclo non rigenerativo</p> <p>Il massimo rendimento raggiungibile è η_{Carnot}</p> <p>Portata massica in uscita dal rig. è > portata spillamento</p>	<input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> falso	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso
Per un fluido generico: Z → fattore comprimibilità v → Volume specifico P → Pressione T → Temperatura	<p>se Z=1, il Q necessario a causare un certo ΔT a 1 kg è sempre > per gas monoatom. rispetto a poliatom.</p> <p>Il coeff. Joule-Thomson è definibile anche per liquido</p> <p>L'equazione di stato è una funzione del tipo $T=f(P,v)$</p> <p>$Tds=dh-vdP$ vale sempre</p>	<input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> falso	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso
Data un'aletta a sezione quadrata, temperatura alla base imposta: L → Lunghezza aletta h → coeff. scambio term. conv $T_{\text{base}} > T^{\infty}$ $T^{\infty} \rightarrow$ Temp. ambiente	<p>Se apice adiab., a pari materiale e L, se $h \uparrow \rightarrow T_{\text{apice}} \downarrow$</p> <p>Se $L \rightarrow \infty$ allora l'efficienza $\rightarrow 0$</p> <p>Se $L_1=3L_2 \rightarrow Q_1=3Q_2$ poiché l'area di scambio triplica</p> <p>Se $T_{\text{base}} \uparrow$ allora la pot. scambiata \uparrow sempre</p>	<input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> falso	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso
2 kg/s di liquido ideale alla pressione di 2 bar si distribuiscono in 2 tubi in parallelo (A-B): f → Coeff. attrito	<p>La pressione all'uscita dei due tubi è sempre uguale</p> <p>Se $L_A=L_B$ allora la portata si ripartisce ugualmente</p> <p>A pari caratteristiche fisiche dei tubi e f, se la portata totale cambia, m_A/m_B rimane sempre lo stesso</p> <p>ΔP [Pa] si calcola come $f \cdot L/D \cdot v^2/2$</p>	<input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> falso	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso

