



POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

18/02/2019

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 $R = 8314 \text{ J/(kmol}\cdot\text{K)}$

□ ESERCIZIO 2 (punti 4)

Una portata di Krypton (massa molare 83.798 kg/kmol) viene compressa isotermicamente in modo reversibile dalle condizioni 1 ($P_1=5 \text{ bar}$ e $T_1=50^\circ\text{C}$) fino alla pressione P_2 (45 bar). Successivamente, il gas viene riscaldato lungo un'isobara fino alla temperatura T_3 pari a 350°C . Infine, il gas viene laminato adiabaticamente fino alla pressione P_1 .

Sapendo che la potenza termica netta entrante nel fluido è pari a 400 kW , e che il Krypton può essere trattato come gas perfetto monoatomico, si chiede di:

- Rappresentare sul piano T-s i punti delle trasformazioni ($s_1=0 \text{ J/kg/K}$)
- Calcolare la portata volumetrica all'aspirazione del compressore
- Calcolare la potenza meccanica netta del sistema

□ ESERCIZIO 3 (punti 5)

Una turbina a gas opera secondo un ciclo Joule-Brayton aperto. Il compressore aspira una portata di aria pari a 6.44 kg/s . La potenza termica in ingresso è 4.9 MW e viene fornita dalla combustione di 0.1 kg/s di gas naturale. Il rendimento netto della turbina a gas è 24.3% .

La temperatura massima del ciclo è 1100°C , il rapporto di espansione è pari a 6.7 e il rendimento isoentropico dell'espansione è pari a 0.88 .

I gas di scarico vengono utilizzati per produrre 1 kg/s vapore saturo alla pressione di 15 bar a partire da liquido saturo alla stessa pressione.

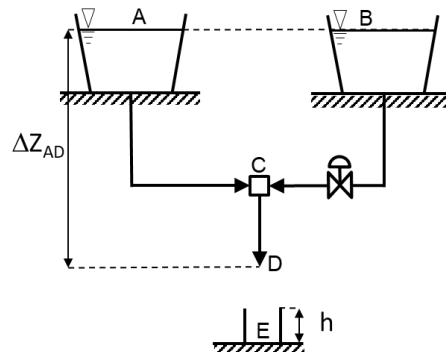
Assumendo i gas combusti come gas perfetto con calore specifico a pressione costante pari a 1.08 [kJ/kg/K] (indipendente da T) e massa molare pari a 27.7 kg/kmol , si chiede di:

- Calcolare la potenza elettrica netta della turbina a gas
- Calcolare la portata massica e la temperatura dei gas di scarico della turbina a gas

- Calcolare la temperatura dei fumi a valle del recupero termico
- Assumendo una temperatura ambiente di 30°C:
 - o Quale sarebbe la potenza elettrica prodotta da un ciclo termodinamico con rendimento di secondo principio pari a 0.6 che utilizzi il vapore prodotto come sorgente termica?

□ ESERCIZIO 1 (punti 6)

Sono dati due serbatoi A e B (approssimabili come infiniti) contenenti acqua a temperatura differente ($T_A=20^\circ\text{C}$ e $T_B=25^\circ\text{C}$). Inizialmente si mantiene completamente chiusa la valvola e si inizia a riempire il contenitore cilindrico E di altezza (h) 500 mm e diametro 250 mm. Dopo 10 secondi si apre completamente la valvola e le due portate provenienti da A e B si miscelano prima di entrare nel tratto C-D e continuare a riempire il recipiente E. Tutti i tratti di tubo hanno stesso diametro (15 mm) e stesso coefficiente di attrito f pari a 0.01. I tratti A-C e B-C hanno la stessa lunghezza (3 m) mentre il tratto C-D è lungo 1 m. Sapendo che la differenza di quota ΔZ_{AD} è pari a 2 m e che la pressione in D è 1 atm, si chiede di calcolare:



- La massa di acqua contenuta in E dopo 10 s
- Il tempo di riempimento del serbatoio E
- La T finale dell'acqua in E (assunto adiabatico)

Proprietà acqua indipendenti da T: $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $c=4.2 \text{ kJ/kg/K}$

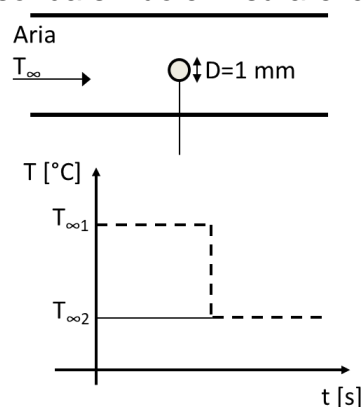
□ ESERCIZIO 4 (punti 5)

Un misuratore di temperatura è costituito da una sonda sferica metallica ($k=100 \text{ W/m/K}$, $\rho=7800 \text{ kg/m}^3$, $c=400 \text{ J/kg/K}$) di diametro pari a 1 mm. Con tale sonda si vuole misurare la temperatura di una corrente d'aria circolante in un tubo di diametro pari a 100 mm. La sonda è inizialmente in equilibrio termico con l'aria $T_{\infty 1}$.

Ci si vuole accertare che la sonda sia in grado di misurare lo 0.5% del gradino di temperatura ($T_{\infty 1} - T_{\infty 2}$) con un tempo di risposta non superiore a 10 ms.

Assumendo le proprietà dell'aria costanti, si chiede di:

- Giustificare l'approccio modellistico utilizzato
- Determinare la minima portata massica di aria circolante che permetta di soddisfare le specifiche di misura richieste



Correlazioni per geometria Sferica (Dim. caratteristica $\rightarrow D_{\text{SFERA}}$)

Convezione Forzata	Proprietà aria	
$Nu=2+0.47 \cdot Re^{0.5} Pr^{0.36}$	$c_p \text{ [J/kg/K]}$	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

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

1- Ricavare l'equazione caratteristica dell'aletta e il profilo di temperatura nel caso di aletta infinita (con temperatura alla base imposta). Definire l'efficienza e l'efficacia dell'aletta.

2- Descrivere un ciclo Rankine saturo ideale e discutere la pratica della rigenerazione ideale.

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

Rispondere alle seguenti 15 domande a risposta guidata. Segnare la casella relativa alla **sola risposta corretta** (0.5 punto per risposta corretta, -0.125 punti se sbagliata).

Una parete piana è sede di una gen. di potenza volumica costante. Una faccia ($x=0$ m) è adiabatica e l'altra ($x=L$) è T imposta (cond.staz.):	<input type="checkbox"/> La pot. termica scambiata dipende dalla cond.termica <input checked="" type="checkbox"/> $T(x=0)=T_{MAX}$ <input type="checkbox"/> Il profilo di T è indipendente dalla cond.termica <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
In un ciclo Joule-Brayton reale (a pari β):	<input checked="" type="checkbox"/> $\eta \uparrow$ se $T_{MAX} \uparrow$ <input type="checkbox"/> Lavoro specifico è indipendente da T_{MAX} <input type="checkbox"/> Cessione del calore può avvenire solo in scambiatore <input type="checkbox"/> La compressione e l'espansione sono isoentropiche
La relazione $u=h-pv$ è valida:	<input type="checkbox"/> Per gas perfetti <input type="checkbox"/> Mai <input type="checkbox"/> Solo in fase gas <input checked="" type="checkbox"/> Sempre
Un gas reale viene laminato in una valvola, la differenza di temperatura a cavallo della valvola è:	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> >0 <input type="checkbox"/> <0 <input checked="" type="checkbox"/> Dati insufficienti
50 m ³ /h di acqua viene elaborata da pompa che fornisce $\Delta P=3$ bar. Se $\eta_{idr}=0.88$: (Trascurare contributo cinetico e geodetico a cavallo della pompa)	<input type="checkbox"/> La potenza richiesta è 4166.7 kW <input checked="" type="checkbox"/> ΔT a cavallo della pompa è 0.01 °C <input type="checkbox"/> Potenza ideale > Potenza reale <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
L'aumento della pressione massima di un ciclo Rankine:	<input type="checkbox"/> A pari T_{MAX} , il titolo di vapore aumenta <input checked="" type="checkbox"/> Implica un aumento del rendimento <input type="checkbox"/> E' limitato al valore della pressione critica del fluido <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
2 tubi in parallelo identici sono alimentati da una pompa che elabora 1 kg/s di acqua. Se la portata fosse 2 kg/s (regime turbolento e f cost):	<input type="checkbox"/> la portata si ripartirebbe in modo diseguale nei 2 tubi <input type="checkbox"/> La caduta di pressione complessiva raddoppierebbe <input type="checkbox"/> Il numero di Re nei due tubi rimarrebbe invariato <input checked="" type="checkbox"/> la potenza della pompa aumenterebbe di 8 volte
In un recipiente di volume 1 dm ³ è presente 1 mol di gas perfetto a $T=90^\circ\text{C}$. Se il recipiente fosse riempito da 1 mole di gas reale con $Z=1.1$ alla stessa T :	<input type="checkbox"/> $P_{gas\ perfetto} > P_{gas\ reale}$ <input checked="" type="checkbox"/> $P_{gas\ perfetto} < P_{gas\ reale}$ <input type="checkbox"/> $P_{gas\ perfetto} = P_{gas\ reale}$ poiché entrambi i fluidi sono gas <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Date due sorgenti di temperature T_A e T_B tra cui lavora un ciclo termodinamico:	<input type="checkbox"/> Se il ciclo è internamente rev. allora il lav.spec. è max <input type="checkbox"/> $\eta_{ciclo-irreversibile}$ sempre $< \eta_{ciclo-internamente-revers.}$ <input checked="" type="checkbox"/> $\eta_{ciclo-irreversibile}$ può essere $> \eta_{ciclo-internamente-revers.}$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
2 sfere (A e B) generano potenza (q [W/kg]). Le superfici esterne sono grigie ($\varepsilon < 1$) e $T_{amb}=25^\circ\text{C}$ (amb. corpo nero). (cond.staz.)	<input type="checkbox"/> Il valore di ε non influisce su T (temp.esterna) <input type="checkbox"/> Se $\rho_A > \rho_B$ allora $Q_A < Q_B$ [W] (stesso diametro D) <input checked="" type="checkbox"/> Se $D_A = 2D_B$ allora $T_A < 2T_B$ (stesso materiale) <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Dato un tubo di $D_{ext}=5$ cm e spessore 2 mm ($k=5$ W/m/K), la resistenza termica conduttiva:	<input type="checkbox"/> Non è determinabile <input type="checkbox"/> Aumenta all'aumentare della densità del materiale <input checked="" type="checkbox"/> E' 0.00265 mK/W <input type="checkbox"/> E' circa 376 mK/W
Per un ciclo Rankine saturo ideale:	<input type="checkbox"/> $\eta = 1 - T_{MIN}/T_{MAX}$ <input checked="" type="checkbox"/> η_{II} è sempre < 1 a causa del preriscaldamento del liquido <input type="checkbox"/> Il fluido di lavoro può essere solo acqua <input type="checkbox"/> Pressione massima può essere maggiore di $P_{CRITICA}$

In un piano h-s	<input checked="" type="checkbox"/> Le isotermodariche sono segmenti rettilinei <input type="checkbox"/> Il punto critico coincide con il massimo della campana <input type="checkbox"/> L'area racchiusa da un ciclo rappresenta il lavoro <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
In un ciclo combinato: $\eta_{CC} \rightarrow$ rendimento ciclo combinato $\eta_{TG} \rightarrow$ rendimento turbina a gas $\eta_{VAP} \rightarrow$ rendimento ciclo a vapore	<input type="checkbox"/> $\eta_{CC} = \eta_{TG} + \eta_{VAP}$ <input checked="" type="checkbox"/> Sempre $\eta_{CC} > \eta_{TG}$ <input type="checkbox"/> $\eta_{CC} > (1 - T_{AMB}/T_{MAX, TG})$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Se si ricopre un conduttore a sez. circolare di diametro D (in cui circola corrente elettrica) con uno strato di isolante (spessore s):	<input type="checkbox"/> La pot. termica dissipata diminuisce <input type="checkbox"/> Se $D < 2 \frac{k}{h}$, la pot.termica dissipata \uparrow per qualsiasi s <input type="checkbox"/> Se $D > 2 \frac{k}{h}$, la pot.termica dissipata \downarrow per qualsiasi s <input checked="" type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti

