



POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA (Prova Online)

20/02/2021

Allievi fisici

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

NOME E COGNOME.....

Tempo a disposizione: 2 ore

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 1 (punti 9)

Si studino le caratteristiche dell'impianto schematizzato in figura, costituito da un ciclo Joule-Brayton reale in cui l'input termico avviene in due trasformazioni $2 \rightarrow 3$ e $3 \rightarrow 4$ e il calore contenuto nel flusso allo scarico della turbina viene in parte recuperato per produrre vapore.

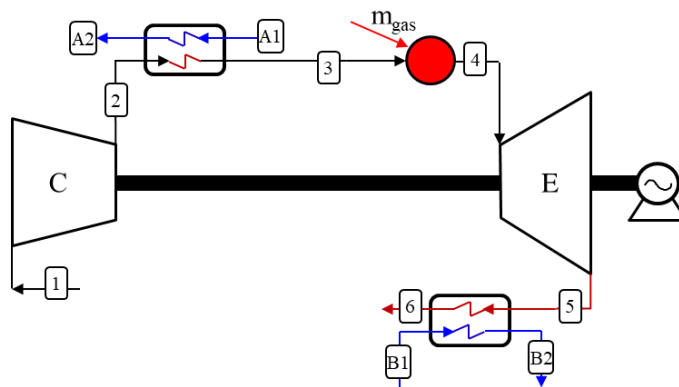
$10 \text{ m}^3/\text{s}$ aria nelle condizioni 1 ($P_1=1 \text{ bar}$, $T_1=35^\circ\text{C}$) vengono elaborati da un compressore (C) con un rapporto di compressione pari a 12 e un rendimento isoentropico di 0.85.

L'aria compressa viene riscaldata a pressione costante in uno scambiatore di calore, da 20 kg/s di aria (flusso A1) che si raffreddano di 200°C . Successivamente, l'aria viene inviata ad un combustore e scaldata fino a 1200°C con una portata di combustibile pari a 0.1 kg/s . I gas combusti vengono espansi fino alla pressione di 1 bar ($P_5=1 \text{ bar}$) in un espansore adiabatico caratterizzato da un rendimento isoentropico pari a 0.9. Il rendimento meccanico-elettrico del sistema è 0.97.

Per semplicità, si tratti l'aria come gas perfetto ($c_{p,aria}=1000 \text{ J/kg/K}$, $MM_{aria}=28.9 \text{ kg/kmol}$) così come i gas combusti ($c_{p,gas}=1100 \text{ J/kg/K}$, $\gamma_{gas}=1.36$).

Si chiede di:

- identificare su un piano T-s il punto 2 e il punto 3 ($s_1=0 \text{ J/kg/K}$)
- calcolare la potenza elettrica netta
- I gas scaricati dalla turbina vengono inviati in uno scambiatore di calore per produrre 3 kg/s di una miscela liquido-vapore con titolo 0.85 (B2) a partire da liquido saturo (B1) (pressione 50 bar). Valutare la fattibilità di questa operazione.



Proprietà saturazione acqua (LS→Liq. Saturo, VS→ Vap. Saturo)

P [bar]	T [°C]	hLS [kJ/kg]	hVS [kJ/kg]
50	263.94	1154.50	2794.23

□ ESERCIZIO 2 (punti 11)

Un cilindro di metallo ($L=100$ mm, $D=5$ mm, $\rho=6500$ kg/m³, $c=400$ J/kg/K, $k=100$ W/m/K) si trova alla temperatura di 5°C e viene immerso in un recipiente contenente 50 cm³ di acqua liquida ($\rho=995$ kg/m³, $c=4186$ J/kg/K) a 65°C. Raggiunte le condizioni di equilibrio (considerare il recipiente adiabatico) si estrae il cilindro e lo si pone a contatto con una corrente di aria a 15°C (Taria). Si vuole portare il cilindro fino alla temperatura di 20°C in 3 minuti, si chiede di valutare:

- la temperatura di equilibrio del sistema acqua+cilindro
- l'energia ceduta all'aria durante il processo di raffreddamento
- il coefficiente di scambio termico convettivo e la velocità della corrente d'aria (verificare ipotesi adottate per il calcolo)

PER SEMPLICITA' SI ASSUMANO LE BASI DEL CILINDRO COME ADIABATICHE E LA PRESSIONE DELL'ARIA AMBIENTE PARI A 101325 Pa

Se invece l'aria fosse in quiete:

- A quale temperatura si porterebbe il cilindro dopo 3 minuti? (Consiglio: esprimere il coefficiente di scambio termico convettivo come $B \cdot (T - T_{aria})^n$ (calcolare la costante B e l'esponente n)

Correlazioni per geometria cilindrica (Dim. caratteristica → Diametro del Cilindro) (Per semplicità si assuma l'aria come gas perfetto e le proprietà dell'aria costanti valutate ad una temperatura pari a Taria)

Convezione Naturale	Convezione Forzata	Proprietà Aria		
$Nu = 0.53Ra^{0.25}$ $= 0.53 (Gr * Pr)^{0.25}$	$Nu = 0.51Re^{0.5}Pr^{0.37}$	c_p	1006	J/kgK
		k	0.025	W/mK
		μ	17.95E-06	Pa*s
		MM	28.9	kg/kmol

□ **QUESITO 3 (Rispondere ad una sola delle due domande) (punteggio 7.5)**

1- Ricavare il principio di conservazione quantità di moto per flusso monodimensionale in condizioni stazionarie. Riportare graficamente le componenti della forza agente su una curva (180°) di un condotto con area della sezione di ingresso pari al doppio di quella della sezione di uscita (fluido incompressibile e condotto vincolato ad un piano orizzontale). (Attenzione alle proporzioni).

2- Ricavare l'equazione dell'aletta e il profilo di temperatura nel caso di lunghezza infinita e temperatura alla base imposta (Disegnare qualitativamente il profilo di T nel caso di $T_{BASE} < T_{\infty}$). Definire e commentare l'efficienza e l'efficacia.

QUESITO 5 (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, -0.2 punti se sbagliata).

In un ciclo combinato: $\eta_{CC} \rightarrow$ rendimento ciclo combinato $\eta_{TG} \rightarrow$ rendimento turbina a gas $\eta_{VAP} \rightarrow$ rendimento ciclo a vapore	$\eta_{CC} < (1 - T_{AMB}/T_{MAX, TG})$ L'input energetico deriva dalla combustione di carbone $\eta_{CC} = \eta_{TG} + \eta_{VAP}$	<input checked="" type="checkbox"/> vero <input type="checkbox"/> vero <input type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso
Dato un ciclo Rankine saturo ideale: $P \rightarrow$ Pressione $T \rightarrow$ Temperatura	Aggiungere un rigeneratore a miscela implica $\eta = \eta_{CARNOT}$ per una P dello spillamento ottima L'aggiunta del surriscaldamento aumenta il rendimento L'aumento di T_{eva} implica sempre un aumento di P_{eva}	<input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso <input type="checkbox"/> falso <input type="checkbox"/> falso
Una parete piana è sede di una generazione interna di potenza [W]. Le due facce sono lambite da due fluidi con T e h differente (cond.stazionarie):	Somma delle potenze termiche che attraversano le pareti è indipendente dalla conduttività termica della parete La T_{max} è sempre nel centro della parete Il profilo di temperatura dipende dalla densità della parete	<input checked="" type="checkbox"/> vero <input type="checkbox"/> vero <input type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso
In regime stazionario, un liquido (densità \downarrow se $T \uparrow$) scorre in tubo a D crescente ($1 \rightarrow 2$). Sapendo che la T è crescente lungo il tubo:	Indipendentemente da D_2/D_1 si ha $V_1 = V_2$ [m ³ /s] In funzione del valore D_2/D_1 si può avere $m_1 < m_2$ [kg/s] E' possibile una situazione in cui $v_2 > v_1$ [m/s] (velocità)	<input type="checkbox"/> vero <input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso <input type="checkbox"/> falso
Per un fluido reale:	$Tds = dh - vdp$ è sempre valida $c_p = c_v + R$ ($R = 8314$ J/kmol/K) è sempre verificata Nel piano T-s, nella zona bifase le isoentalpiche sono monotone	<input checked="" type="checkbox"/> vero <input type="checkbox"/> vero <input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso <input checked="" type="checkbox"/> falso <input type="checkbox"/> falso