



POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

21/07/2017

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.

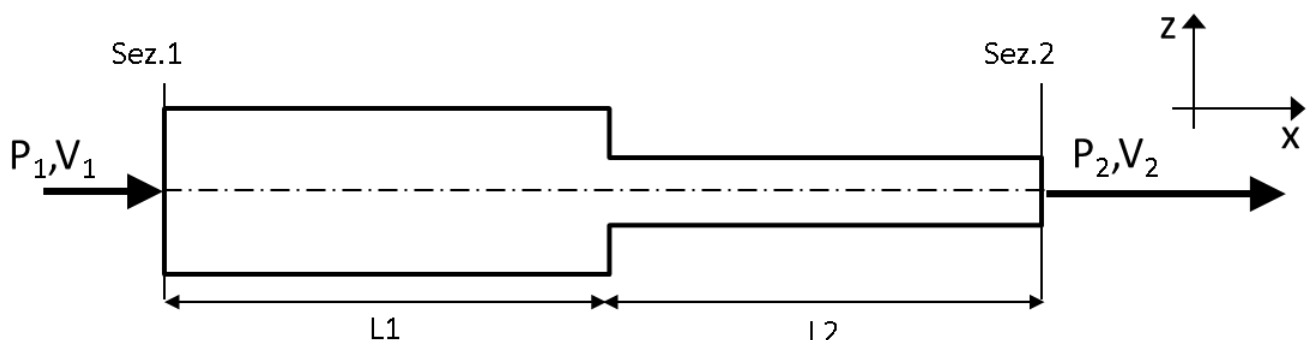
Dati per la risoluzione dei quesiti

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

□ **ESERCIZIO 1 (punti 6)**

Una portata di 150 kg/s di un fluido incompressibile (densità $= 900 \text{ kg/m}^3$, viscosità cinematica $= 1\text{E-}6 \text{ m}^2/\text{s}$) scorre nel sistema di tubi a sezione circolare rappresentato in figura, costituito da un primo tratto di lunghezza $L_1 = 115 \text{ m}$ e $D_1 = 0.6 \text{ m}$ in serie con un secondo tratto di lunghezza $L_2 = 130 \text{ m}$ e diametro $D_2 = 0.3 \text{ m}$. La scabrezza assoluta, uguale per entrambi i tubi, è pari a 0.1 mm mentre il coefficiente delle perdite di carico concentrate è 0.5 (riferito alla velocità V_2). Sapendo che la pressione P_1 è pari a 10 bar e che la forza di gravità agisce lungo la direzione z , si chiede di calcolare:

- la velocità e la portata volumetrica nei due tratti
- il coefficiente di attrito per i due tratti (riportando i valori sul diagramma di Moody allegato)
- la pressione P_2 nella sezione di scarico
- la spinta del fluido sulla parete (S) riportando il modulo delle 3 componenti S_x, S_y, S_z .



□ ESERCIZIO 2 (punti 7)

Un parallelepipedo di materiale solido ($k_{\text{mat}}=1 \text{ W/m/K}$) a sezione quadrata (lato pari a 0.5 m) ed altezza di 12 cm è sede di una generazione di potenza volumetrica pari a 10 kW/m^3 . La superficie laterale e quella inferiore sono adiabatiche. Uno strato di materiale (spessore 3 cm) con conduttività termica di 0.18 W/m/K è posto sulla superficie superiore (come riportato in figura).

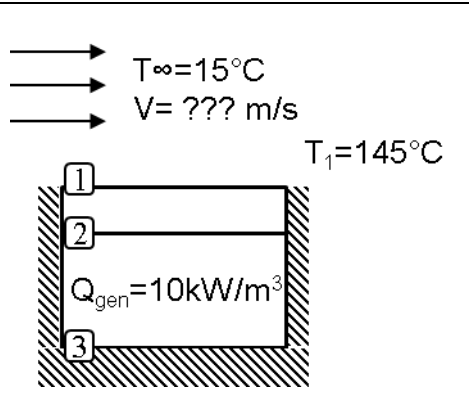
La superficie 1 è lambita da una corrente d'aria a 15°C . Con l'obiettivo di mantenere la superficie 1 ad una temperatura di 145°C , si chiede di (scambio termico radiativo trascurabile, condizioni stazionarie):

- Calcolare il coefficiente di scambio termico convettivo
- Calcolare la velocità dell'aria per garantire il raffreddamento richiesto
- Calcolare la resistenza termica dello strato 1-2 e la temperatura all'interfaccia 2
- Disegnare il profilo di temperatura nei due strati

Correlazione per convezione forzata per lastra piana orizzontale (lunghezza caratteristica pari al lato del quadrato):

$$Nu = (0.037 * Re^{0.8} - 871) Pr^{\frac{1}{3}}$$

Proprietà termofisiche aria (gas perfetto) valutate alla temperatura di film di 80°C :

	c_p	1010.1	J/kg/K
	k	0.030	W/mK
	μ	2.13E-05	Pa*s
	densità	0.9853	kg/m ³

□ ESERCIZIO 3 (punti 7)

Si consideri il ciclo Rankine rigenerativo con un rigeneratore aperto in cui il vapore spillato dalla turbina viene miscelato con l'acqua di alimento.

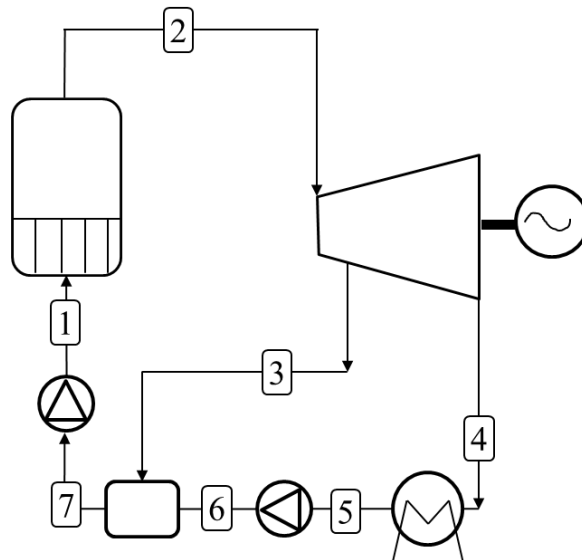
Lo schema di impianto è riportato in figura e si conoscono le proprietà dei punti termodinamici riportati in tabella.

Le trasformazioni all'interno del condensatore, nel generatore di vapore e nel rigeneratore a miscela sono isobare.

Il rendimento organico-elettrico della turbina a vapore e delle pompe sono rispettivamente pari a 98% e 95.5%. Il rendimento del generatore di vapore è pari a 98%.

Assumendo per semplicità che le trasformazioni nelle pompe siano isoentropiche, si chiede di:

- Rappresentare il ciclo nel diagramma T-s allegato
- Completare la tabella con le proprietà mancanti dei punti termodinamici
- Calcolare la portata massica dello spillamento (punto 3)
- Determinare il rendimento isoentropico del tratto di espansione 2→3
- Determinare la potenza della turbina e la potenza netta dell'impianto
- Determinare la potenza termica entrante nel ciclo
- Determinare il rendimento netto dell'impianto



Punto TDN	m [kg/s]	P [bar]	T [°C]	h [kJ/kg]	x[-]
1	20		181.7	775.3	
2		100	506.85		
3		10		2850.0	
4		0.1		2400.0	
5					0 (Liq_saturo)
6		10	45.9	193.0	
7					0 (Liq_saturo)

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

1- Descrivere il diagramma T-s per un fluido generico. Evidenziare in che zona il comportamento può essere assimilato a quello di gas ideale. Introdurre il fattore di comprimibilità e discutere la legge degli stati corrispondenti.

2- Descrivere il layout e la rappresentazione su un piano T-s di un ciclo Rankine saturo. Discutere l'effetto dell'aggiunta del surriscaldamento sulle prestazioni.

□ **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).

Considerando i calori specifici a pressione (c_p) e volume costante (c_v):	<input type="checkbox"/> $c_p = c_v + R$ solo per gas ideale <input type="checkbox"/> $c_p \approx c_v$ per gas ideali monoatomici <input type="checkbox"/> sono espressi in J/kg o J/kmol <input type="checkbox"/> $c_p < c_v$
Un gas perfetto (T_1, P_1) viene compresso isoentropicamente fino a P_2 . La trasformazione avviene in un sist. chiuso e in un sist. aperto:	<input type="checkbox"/> $ L_{\text{aperto}} = L_{\text{chiuso}} $ [kJ/kg] <input type="checkbox"/> $ L_{\text{aperto}} > L_{\text{chiuso}} $ [kJ/kg] <input type="checkbox"/> $ L_{\text{aperto}} < L_{\text{chiuso}} $ [kJ/kg] <input type="checkbox"/> $ L_{\text{aperto}} < L_{\text{chiuso}} $ [kJ/kg] solo se gas monoatomico

In un ciclo Rankine a vapore:	<ul style="list-style-type: none"> Se $P_{\max} \uparrow$ allora $x \uparrow$ allo scarico della turbina la rigenerazione fa aumentare la T media di introduzione calore l'energia elettrica prodotta è > calore al condensatore la P_{\min} minima del ciclo è pari a quella atmosferica
In regime stazionario, un liquido (densità \downarrow se $T \uparrow$) scorre in tubo a D crescente ($1 \rightarrow 2$). La T è crescente lungo il tubo:	<ul style="list-style-type: none"> Indipendentemente da D_2/D_1 si ha $V_1 > V_2$ [m^3/s] E' possibile $v_2 < v_1$ [m/s] (velocità) A seconda del valore di D_2 può essere $m_1 < m_2$ [kg/s] Il termine di accumulo è > 0
L'equazione di continuità per flusso stazionario (in forma differenziale): $\rho \rightarrow$ densità, $v \rightarrow$ velocità, $S \rightarrow$ Sez. di passaggio, $m \rightarrow$ Port. Massica	<ul style="list-style-type: none"> $d\rho/\rho + dv/v + dS/S = m$ $d\rho/\rho + dv/v + dS/S = 0$ $d\rho/\rho + dv/v - dS/S = 0$ $d\rho/\rho - dv/v - dS/S = 0$
Due superfici piane grigie ($\epsilon_1 = 0.8$ e $\epsilon_2 = 0.2$, $A = 1m^2$) sono affacciate. Se le superfici sono mantenute a $T_1 = 1500$ K e $T_2 = 750$ K:	<ul style="list-style-type: none"> $\alpha_2 > \alpha_1$ L'energia scambiata dopo 1h è circa 269 kWh $2\lambda_{\max-1} = \lambda_{\max-2}$ La potenza scambiata rimane costante nel tempo
Quali di queste trasformazioni potrebbe portare ad un raffreddamento di un gas perfetto?	<ul style="list-style-type: none"> Espansione isoentropica + compressione (tra le stesse pressioni) con $\eta_{is} = 0.8$ Laminazione adiabatica se $(\partial T / \partial P)_h > 0$ Espansione isoterma + laminazione non adiabatica Nessuna delle precedenti
Un cilindro di ferro ($k = 73 W/m/K$, $D = 2mm$, altezza = 30cm) appoggia una faccia su un piano a $5^\circ C$. Se $h_{aria} = 90 W/m^2/K$ (sup. laterale), faccia superiore adiabatica, $T_{aria} = 95^\circ C$:	<ul style="list-style-type: none"> La potenza termica scambiata è circa 0.71 W Il raffreddamento del cilindro aumenta se $h \uparrow$ La $T(y = 10 \text{ cm}) > T(y = 20 \text{ cm})$ ($y = 0 \rightarrow$ piano a $5^\circ C$) Comportamento quasi identico a quello di cilindro con altezza 1m
In un ciclo Joule-Brayton ideale:	<ul style="list-style-type: none"> Essendo ideale, il η_{II} è unitario Il lavoro utile non dipende da T_{\max} Esiste un β_{compr} che massimizza il rendimento A pari β_{compr}, η è maggiore per gas monoatomici
Un ciclo Otto ideale è costituito da:	<ul style="list-style-type: none"> Due isocore e due isoentropiche Due isobare e due isoentropiche Due isoentropiche e due isoterme Due isoentropiche, una isobara e una isocora
Data la curva a campana in un piano a T -s, per la rappresentazione delle curve isotitolo:	<ul style="list-style-type: none"> Si deve conoscere l'equazione di stato E' necessario il valore della pressione critica Si può sfruttare la simmetria rispetto alla curva $x = 0.5$ Non sono necessarie altre informazioni
Le isocore e le isobare di un fluido rappresentate in un diagramma P - v :	<ul style="list-style-type: none"> Presentano punti angolosi per $P > P_{\text{critica}}$ Sono curve a pendenza costante Sono curve con pendenza crescente con T Tendono a coincidere per liquido incompressibile
Dato un ciclo di Carnot operante tra T_1 e T_2 e un ciclo Joule-Brayton ideale operante tra T_1 e T_{\max} :	<ul style="list-style-type: none"> Non può mai essere $\eta_{\text{Carnot}} < \eta_{\text{Joule}}$ η_{Carnot} dipende dal fluido di lavoro $\eta_{\text{Carnot}} = \eta_{\text{Joule}}$ solo se $T_{\max} = T_2$ Nessuna delle precedenti
Una sfera di granito ($D = 3 \text{ cm}$, $k = 3.5 W/m/K$, $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$, $c = 790 J/kg/K$) a $T_{\text{iniziale}} = 100^\circ C$ è immersa in vasca con acqua in ebollizione a 1 atm, si può dire che:	<ul style="list-style-type: none"> E' corretto approccio parametri concentrati Dopo 10 min la $T_{\text{granito}} < 70^\circ C$ Il numero di Fourier dopo 5 minuti è 0.52 La diffusività termica è $1.58 \text{ mm}^2/s$

Il principio degli stati corrispondenti:

- Esprime $Z[-]$ in funzione di $P_{ridotta}[Pa]$ e $T_{ridotta}[K]$
- Sostituisce sempre conoscenza equazione di stato
- Diversi fluidi hanno Z molto simili per $T_{ridotta}$ e $P_{ridotta}$ uguale
- E' rigorosamente verificato per tutti i fluidi

