



# 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.

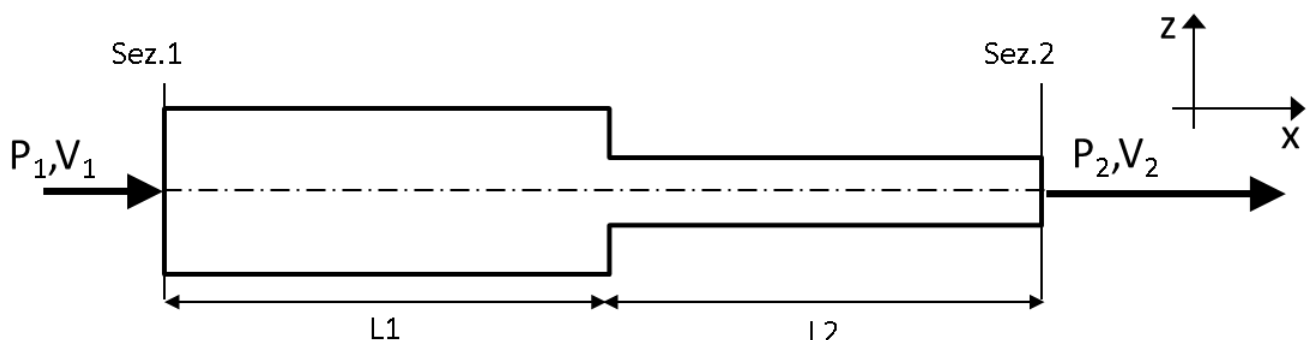
#### Dati per la risoluzione dei quesiti

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

#### □ **ESERCIZIO 1 (punti 6)**

Una portata di  $150 \text{ kg/s}$  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  $0.1 \text{ mm}$  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  $10 \text{ bar}$  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  $10 \text{ kW/m}^3$ . La superficie laterale e quella inferiore sono adiabatiche. Uno strato di materiale (spessore 3 cm) con conduttività termica di  $0.18 \text{ W/m/K}$  è posto sulla superficie superiore (come riportato in figura).

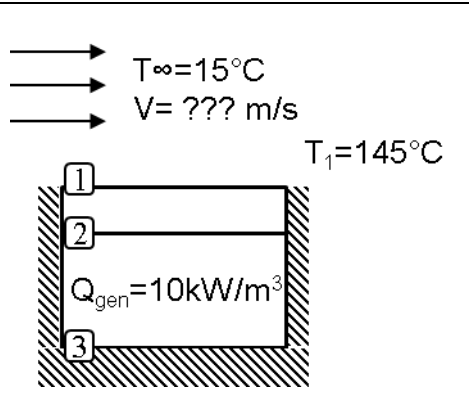
La superficie 1 è lambita da una corrente d'aria a  $15^\circ\text{C}$ . Con l'obiettivo di mantenere la superficie 1 ad una temperatura di  $145^\circ\text{C}$ , si chiede di (scambio termico radiativo trascurabile, condizioni stazionarie):

- 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  $80^\circ\text{C}$ :

	$c_p$	1010.1	J/kg/K
	$k$	0.030	W/mK
	$\mu$	2.13E-05	Pa*s
	densità	0.9853	kg/m <sup>3</sup>

### □ 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.

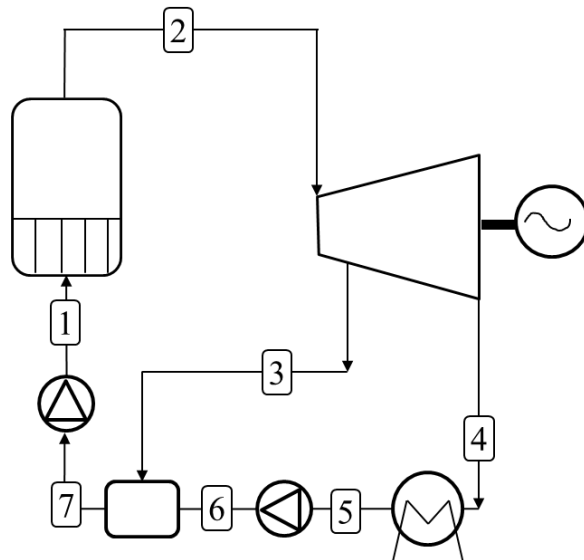
Lo schema di impianto è riportato in figura e si conoscono le proprietà dei punti termodinamici riportati in tabella.

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	100	181.7	775.3	Liq. Sott
2	20	100	506.85	3392.7	Vap. Surr
3	4	10	45	2850.0	Vap. Surr
4	4	0.1	45	2400.0	0.923
5	16.0	0.1	45	191.8	0 (Liq_saturo)
6	16.0	10	45.9	193.0	Liq. Sott
7	20	10	179.9	762.68	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 checked="" 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 checked="" 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:	<input type="checkbox"/> Se $P_{\max} \uparrow$ allora $x \uparrow$ allo scarico della turbina <input checked="" type="checkbox"/> la rigenerazione fa aumentare la T media di introduzione calore <input type="checkbox"/> l'energia elettrica prodotta è > calore al condensatore <input type="checkbox"/> 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:	<input type="checkbox"/> Indipendentemente da $D_2/D_1$ si ha $V_1 > V_2$ [ $m^3/s$ ] <input checked="" type="checkbox"/> E' possibile $v_2 < v_1$ [m/s] (velocità) <input type="checkbox"/> A seconda del valore di $D_2$ può essere $m_1 < m_2$ [kg/s] <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> $d\rho/\rho + dv/v + dS/S = m$ <input checked="" type="checkbox"/> $d\rho/\rho + dv/v + dS/S = 0$ <input type="checkbox"/> $d\rho/\rho + dv/v - dS/S = 0$ <input type="checkbox"/> $d\rho/\rho - dv/v - dS/S = 0$
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:	<input type="checkbox"/> $\alpha_2 > \alpha_1$ <input type="checkbox"/> L'energia scambiata dopo 1h è circa 269 kWh <input checked="" type="checkbox"/> $2\lambda_{\max-1} = \lambda_{\max-2}$ <input checked="" type="checkbox"/> La potenza scambiata rimane costante nel tempo
Quali di queste trasformazioni potrebbe portare ad un raffreddamento di un gas perfetto?	<input type="checkbox"/> Espansione isoentropica + compressione (tra le stesse pressioni) con $\eta_{is}=0.8$ <input type="checkbox"/> Laminazione adiabatica se $(\partial T/\partial P)_h > 0$ <input checked="" type="checkbox"/> Espansione isoterma + laminazione non adiabatica <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Un cilindro di ferro ( $k=73W/m/K$ , $D=2mm$ , altezza=30cm) appoggia una faccia su un piano a $5^\circ C$ . Se $h_{aria}=90W/m^2/K$ (sup.laterale), faccia superiore adiabatica, $T_{aria}=95^\circ C$ :	<input type="checkbox"/> La potenza termica scambiata è circa 0.71 W <input type="checkbox"/> Il raffreddamento del cilindro aumenta se $h \uparrow$ <input type="checkbox"/> La $T(y=10\text{ cm}) > T(y=20\text{ cm})$ ( $y=0 \rightarrow$ piano a $5^\circ C$ ) <input checked="" type="checkbox"/> Comportamento quasi identico a quello di cilindro con altezza 1m
In un ciclo Joule-Brayton ideale:	<input type="checkbox"/> Essendo ideale, il $\eta_{II}$ è unitario <input type="checkbox"/> Il lavoro utile non dipende da $T_{\max}$ <input type="checkbox"/> Esiste un $\beta_{\text{compr}}$ che massimizza il rendimento <input checked="" type="checkbox"/> A pari $\beta_{\text{compr}}$ , $\eta$ è maggiore per gas monoatomici
Un ciclo Otto ideale è costituito da:	<input checked="" type="checkbox"/> Due isocore e due isoentropiche <input type="checkbox"/> Due isobare e due isoentropiche <input type="checkbox"/> Due isoentropiche e due isoterme <input type="checkbox"/> Due isoentropiche, una isobara e una isocora
Data la curva a campana in un piano a T-s, per la rappresentazione delle curve isotitolo:	<input type="checkbox"/> Si deve conoscere l'equazione di stato <input type="checkbox"/> E' necessario il valore della pressione critica <input type="checkbox"/> Si può sfruttare la simmetria rispetto alla curva $x=0.5$ <input checked="" type="checkbox"/> Non sono necessarie altre informazioni
Le isocore e le isobare di un fluido rappresentate in un diagramma P-v:	<input type="checkbox"/> Presentano punti angolosi per $P > P_{\text{critica}}$ <input checked="" type="checkbox"/> Sono curve a pendenza costante <input type="checkbox"/> Sono curve con pendenza crescente con T <input type="checkbox"/> 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 $T_{\max}$ :	<input type="checkbox"/> Non può mai essere $\eta_{\text{Carnot}} < \eta_{\text{Joule}}$ <input type="checkbox"/> $\eta_{\text{Carnot}}$ dipende dal fluido di lavoro <input type="checkbox"/> $\eta_{\text{Carnot}} = \eta_{\text{Joule}}$ solo se $T_{\max} = T_2$ <input checked="" type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Una sfera di granito ( $D=3\text{ cm}$ , $k=3.5\text{ W/m/K}$ , $\rho=2800\text{ kg/m}^3$ , $c=790\text{ J/kg/K}$ ) a $T_{\text{iniziale}}=100^\circ C$ è immersa in vasca con acqua in ebollizione a 1 atm, si può dire che:	<input type="checkbox"/> E' corretto approccio parametri concentrati <input type="checkbox"/> Dopo 10 min la $T_{\text{granito}} < 70^\circ C$ <input type="checkbox"/> Il numero di Fourier dopo 5 minuti è 0.52 <input checked="" type="checkbox"/> La diffusività termica è $1.58\text{ mm}^2/s$

Il principio degli stati corrispondenti:	<input type="checkbox"/> Esprime $Z[-]$ in funzione di $P_{ridotta}[\text{Pa}]$ e $T_{ridotta}[\text{K}]$
	<input type="checkbox"/> Sostituisce sempre conoscenza equazione di stato
	<input checked="" type="checkbox"/> Diversi fluidi hanno $Z$ molto simili per $T_{ridotta}$ e $P_{ridotta}$ uguale
	<input type="checkbox"/> E' rigorosamente verificato per tutti i fluidi

