



# POLITECNICO DI MILANO

## DIPARTIMENTO DI ENERGIA

### SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

21/02/2018

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 5)**

Una turbina a gas opera secondo un ciclo Joule-Brayton aperto. Il compressore aspira una portata di aria pari a 590 kg/s. La potenza termica in ingresso è 514 MW e viene fornita dalla combustione di 14.8 kg/s di gas naturale. Il rendimento della turbina a gas è 39.4%. Considerata l'elevata temperatura dei gas di scarico ( $T_{GS}=473^\circ\text{C}$ ) si decide di sfruttare la corrente di gas allo scarico per produrre vapore saturo alla pressione di 15 bar a partire da liquido saturo alla stessa pressione. La temperatura dei gas a valle del recupero termico è pari a  $300^\circ\text{C}$ .

Sapendo che il calore specifico dei gas combusti dipende linearmente da T secondo la relazione  $c_p[\text{kJ}/\text{kg}/\text{K}]=a+b \cdot T[\text{K}]$  con  $a=1.08 [\text{kJ}/\text{kg}/\text{K}]$  e  $b=0.00094 [\text{kJ}/\text{kg}/\text{K}^2]$ ;

Si chiede di:

- Calcolare la potenza elettrica della turbina a gas
- Calcolare la portata massica dei gas di scarico della turbina a gas
- Rappresentare la trasformazione di generazione di vapore
- Calcolare la portata di vapore prodotta
- Assumendo una temperatura ambiente di  $15^\circ\text{C}$ :
  - Quale sarebbe la potenza elettrica prodotta da un ciclo Rankine saturo con rendimento di secondo principio pari a 0.7 che utilizzi il vapore prodotto come sorgente termica?

□ **ESERCIZIO 2 (punti 5)**

Si vuole trasferire una portata di olio (densità=650 kg/m<sup>3</sup>, viscosità cinematica=178E-6 m<sup>2</sup>/s) dal serbatoio A ( $z_A=2$  m,  $P_A=2$  bar) al serbatoio B ( $z_B=0$  m,  $P_B=1.5$  bar). Il collegamento tra i due serbatoi è costituito da:

- un primo tratto di lunghezza 1 m e diametro 30 mm
- un secondo tratto costituito da 2 tubi in parallelo identici di diametro 20 mm pari a 2 m.

Assumendo che il coefficiente di attrito  $f$  sia uguale per tutti i tubi e pari a 0.12, si chiede di:

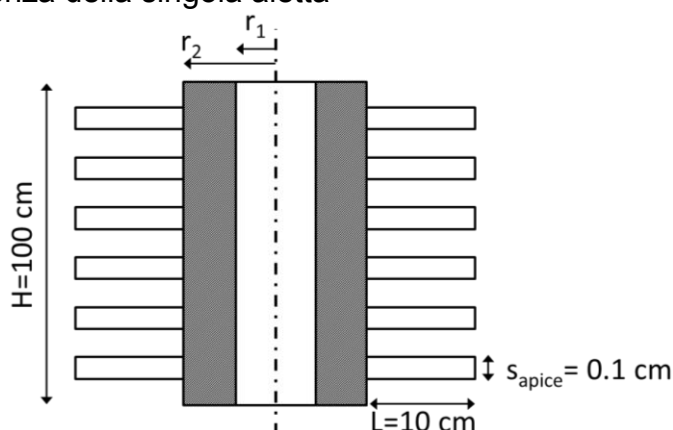
- Disegnare il sistema
- Esprimere il bilancio di energia tra il serbatoio A e il serbatoio B (fluido incompressibile)
- Calcolare la portata massica circolante nel sistema e le velocità nei vari tratti
- Determinare il regime di moto all'interno dei condotti

□ **ESERCIZIO 3 (punti 5)**

In un contenitore cilindrico di diametro interno 50 cm (spessore 5 cm) e altezza 1 m avviene una generazione di potenza di 10 kW/m<sup>3</sup>. Il cilindro è di acciaio ( $k_1=50$  W/m/K). Con l'obiettivo di raffreddare la superficie interna del contenitore fino a 80°C si decide di aggiungere 6 alette circolari a sezione costante di lunghezza  $L$  pari a 10 cm e spessore 1 mm (Resistenza di contatto trascurabile) (Vedi Figura). La temperatura dell'aria ambiente è 30 °C mentre il coefficiente di scambio termico convettivo è 15 W/m<sup>2</sup>/K (sia per le alette che per le superficie che rimane non alettata).

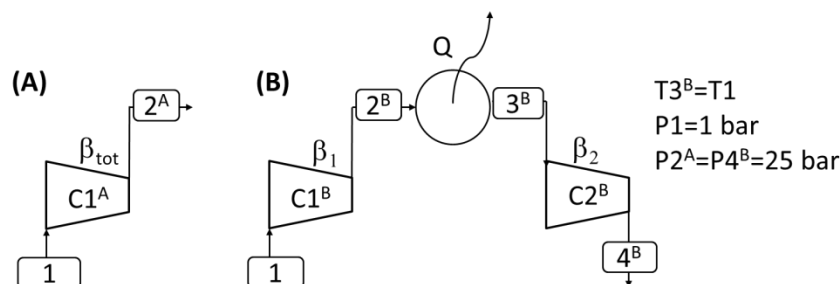
Assumendo condizioni stazionarie, le basi del cilindro e l'apice delle alette adiabatiche si chiede di:

- Valutare la resistenza termica della parete di acciaio
- Valutare la temperatura sulla superficie esterna dello strato di acciaio
- Ricavare e disegnare il profilo di temperatura nello strato di acciaio
- Calcolare l'efficienza della singola aletta



□ **ESERCIZIO 4 (punti 5)**

Si vogliono confrontare due soluzioni per comprimere 25 m<sup>3</sup>/s di aria (assunta come gas ideale biatomico,  $MM=28.9$  kg/kmol) dalle condizioni ambiente ( $T_1=25^\circ\text{C}$ ,  $P_1=1\text{e}5$  Pa) fino alla pressione di 25 bar. La soluzione (A) prevede una compressione isoentropica. La soluzione (B) prevede la suddivisione della compressione in due stadi  $C1^B$  e  $C2^B$  (isoentropici) tra cui è presente una cessione di calore isobara che riporta la temperatura di ingresso nel secondo stadio pari a quella ambiente  $T_1$  (Vedi Figura).



Si chiede di:

1. Calcolare la potenza richiesta dal sistema (A)
2. Come deve essere distribuito il rapporto di compressione totale tra i due compressori della soluzione (B) per minimizzarne il lavoro di compressione?

**Nota: nel caso non si riuscisse a determinare  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , utilizzare  $\beta_1=6$  per il calcolo dei punti 3 e 4.**

3. Calcolare la potenza termica ceduta all'ambiente nella soluzione (B)
4. Rappresentare sul piano T-s la compressione (A) e la compressione (B) riportando i valori di temperatura ed entropia (assumere  $s=0$  kJ/kg/K per le condizioni di aspirazione)
5. Era possibile dire quale delle due soluzioni richiedesse il lavoro inferiore senza svolgere i calcoli?

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

1- Ricavare l'espressione del profilo di velocità per flusso laminare evidenziando le ipotesi utilizzate. (E' sufficiente ricavare l'equazione differenziale caratteristica evidenziando le condizioni al contorno necessarie alla chiusura del problema anche senza integrarla).

2- Descrivere l'effetto del surriscaldamento sulle prestazioni di un ciclo Rankine.

□ **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).

Dato un fenomeno fisico che lega 5 variabili in 3 grandezze fondamentali, grazie al Teorema di Buckingham, è possibile:	<input checked="" type="checkbox"/> Ridurre il numero di variabili per spiegare il fenomeno <input type="checkbox"/> Provare esistenza di legame tra 3 gruppi adimens. <input type="checkbox"/> Identificare funzione che lega 3 numeri adimensionali <input type="checkbox"/> Applicarlo solo se il fenomeno è di tipo convettivo
Per una miscela acqua-etanolo in stato bifase, si può dire che:	<input type="checkbox"/> Le isoterme e le isobare coincidono <input type="checkbox"/> Le isobare sono sempre curve esponenziali <input checked="" type="checkbox"/> Lo stato è definito da 2 variabili intensive indipendenti <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Una turbina a gas basata su ciclo Joule Brayton reale aperto:	<input type="checkbox"/> $\eta \uparrow$ se $\beta \uparrow$ <input type="checkbox"/> $\eta = 1 - T_1/T_2$ <input type="checkbox"/> Il lavoro specifico è crescente con $\beta$ <input checked="" type="checkbox"/> Il rendimento e il lavoro specifico aumentano con $T_{\max}$
Una sfera (diametro D) a temperatura T si trova in una stanza con aria più fredda in quiete ( $T_\infty$ ), il coeff. di scambio convettivo h è: ( $k \rightarrow$ cond.termica, $a, m, n \rightarrow$ costante)	<input type="checkbox"/> proporzionale $k/D \cdot Re^m \cdot Pr^n$ <input type="checkbox"/> funzione di Re e Gr <input checked="" type="checkbox"/> decrescente con $(T - T_\infty)$ <input checked="" type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti

Si hanno 2 tubi in parallelo di diametro diverso ( $D_1$ e $D_2$ ). Se $f$ è uguale nei due casi ed in assenza di $k_C$ , allora: (fluido incompressibile)	<input type="checkbox"/> E' impossibile che la portata si ripartisca ugualmente <input type="checkbox"/> Se regime turbolento allora $Re_1=Re_2$ <input type="checkbox"/> se $v_1=v_2$ allora $m_1=m_2$ <input checked="" type="checkbox"/> Se $L_1/L_2=D_2/D_1$ si ha $v_1=v_2$
Dati due corpi neri (1 e 2) che si trovano a $T_1=1000^\circ\text{C}$ e $T_2=1500^\circ\text{C}$ :	<input checked="" type="checkbox"/> Potenza incidente su 2 dipende dal fattore di vista <input type="checkbox"/> Potenza radiativa emessa da 1 è tutta assorbita da 2 <input type="checkbox"/> Il potere emissivo è indipendente da $\lambda$ <input type="checkbox"/> Poiché corpi neri $\lambda_{\max,1}=\lambda_{\max,2}$
Il coefficiente di Joule-Thompson:	<input type="checkbox"/> E' un numero adimensionale <input checked="" type="checkbox"/> Dipende da $P$ , $h$ dello stato a monte della laminazione <input type="checkbox"/> E' $(\partial T/\partial h)_p$ <input type="checkbox"/> E' sempre $>0$ per gas perfetto
Un tubo di diametro interno $D$ (spessore $s$ - attraversato da fluido a temperatura $T$ ), se $T_{\text{amb}}>T$ , certamente si può dire che:	<input type="checkbox"/> Esiste sempre valore di $s>0$ che massimizza potenza <input type="checkbox"/> Resistenza termica $\uparrow$ se $s \uparrow$ indipendentemente da $D$ <input checked="" type="checkbox"/> Resistenza termica convettiva $\uparrow$ se $h \downarrow$ <input type="checkbox"/> Potenza termica scambiata è sempre decrescente con $s$
Un aumento della pressione di condensazione in un ciclo Rankine:	<input type="checkbox"/> E' limitato dalla temperatura ambiente <input type="checkbox"/> Implica una riduzione della $T$ di condensazione <input type="checkbox"/> E' benefico in termini di rendimento del ciclo <input checked="" type="checkbox"/> Aumenta il titolo di vapore allo scarico della turbina
<del>Un pompa elabora 1 kg/s di acqua. A cavallo della pompa si misura un aumento di pressione di 3 bar e un <math>\Delta T=0.01^\circ\text{C}</math> (<math>\Delta Z=0\text{ m}</math>, <math>\Delta v=0\text{ m/s}</math>):</del>	<del><input type="checkbox"/> Rendimento idraulico circa 76%</del> <del><input type="checkbox"/> Se il fluido fosse olio, il <math>\Delta T</math> rimarrebbe lo stesso</del> <del><input type="checkbox"/> Se <math>\eta_{\text{org-el}} \uparrow</math> allora <math>\Delta T \uparrow</math></del> <del><input type="checkbox"/> Se <math>\eta_{\text{org-el}}=0.95</math> allora potenza elettrica pari a 315.8 kW</del>
In un diagramma T-s:	<input type="checkbox"/> E' impossibile trasformazione con diminuzione di $s$ <input type="checkbox"/> L'area contenuta in un ciclo rappresenta il lavoro <input checked="" type="checkbox"/> Il calore è l'area sottesa a trasformazione reversibile <input type="checkbox"/> Una isobara è rappresentata sempre da esponenziale
L'aggiunta della rigenerazione in un ciclo Joule-Brayton (considerare ciclo e rigenerazione ideale):	<input type="checkbox"/> E' sempre vantaggiosa in termini di rendimento <input type="checkbox"/> Influenza il lavoro specifico del ciclo <input type="checkbox"/> Permette il raggiungimento di $\eta=\eta_{\text{CARNOT}}$ <input checked="" type="checkbox"/> Esiste un $\beta$ al di sotto del quale è possibile rigenerare
Dati due cicli reali (1 e 2) con input termico di 100 MW. Ciclo 1 opera tra 1500 K e 250 K mentre il Ciclo2 opera tra 750 K e 250 K. Si può concludere che:	<input type="checkbox"/> $\eta_{II1}>\eta_{II2}$ <input type="checkbox"/> $\eta_1>\eta_2$ <input checked="" type="checkbox"/> Se lavoro netto [kJ/kg] è uguale allora cicli $\eta_2=\eta_1$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
1 kg di $\text{H}_2\text{O}$ riempie completamente 2 lattine cilindriche ( $D_1=6\text{ cm}$ , $D_2=3\text{ cm}$ , $k=0.6\text{ W/m/K}$ , $\rho=1000\text{ kg/m}^3$ , $c=4190\text{ J/kg/K}$ ) a $T_{\text{iniziale}}=8^\circ\text{C}$ . Sono su una sup.adiabatica in un ambiente con aria a $30^\circ\text{C}$ ( $h=2.5\text{ W/m}^2/\text{K}$ ).	<input type="checkbox"/> Non si può usare l'approccio a param. Concentrati <input checked="" type="checkbox"/> L'acqua in 1 si riscalda più lentamente <input type="checkbox"/> $Fou_2$ è costante <input type="checkbox"/> Il numero di Biot è uguale nei due casi (stesso volume e geometria)
La legge degli stati corrispondenti:	<input checked="" type="checkbox"/> $Z$ è approssimabile come funz. di $P_{\text{ridotta}}[-]$ e $T_{\text{ridotta}}[-]$ <input type="checkbox"/> E' definito come $(Pv)_{\text{ideale}}/(R^*T)$ <input type="checkbox"/> Fornisce esattamente il valore di $v$ per ogni fluido <input type="checkbox"/> Lega il fattore $Z$ con $P_{\text{critica}}[\text{Pa}]$ e $T_{\text{critica}}[\text{K}]$



