



# POLITECNICO DI MILANO

## DIPARTIMENTO DI ENERGIA

### SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

26/07/2018

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  $R = 8314 \text{ J/(kmol}\cdot\text{K)}$ , densità acqua =  $1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_{\text{acqua}}=4.2 \text{ kJ/kg/K}$ ,  $\mu_{\text{acqua}}=1.14\text{E-}03 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

#### □ **ESERCIZIO 1 (punti 5)**

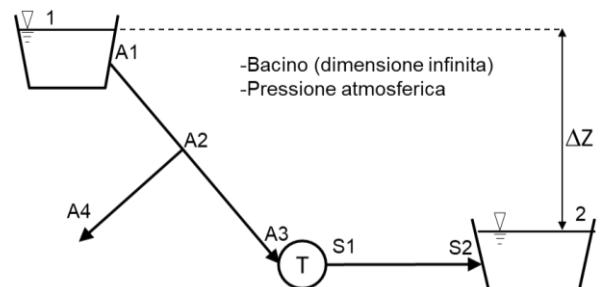
Un impianto idroelettrico produce 1 MW sfruttando la differenza di quota tra due bacini 1 e 2. Il 15% della portata estratta dal serbatoio 1 viene deviata nel tratto A2-A4, mentre la rimanente parte viene inviata alla turbina.

Il tratto A1-A2 è lungo 350 m ed ha un diametro di 800 mm, i tratti A2-A3 e S1-S2 sono entrambi lunghi 250 m.

La velocità dell'acqua è uguale in tutti i tubi (2 m/s) così come il coefficiente di perdita  $f$  (0.03) e il coefficiente delle perdite di carico concentrate ( $K_c=6$ ).

Sapendo che il rendimento idraulico e il rendimento meccanico-elettrico della turbina sono rispettivamente pari a 0.85 e 0.98, calcolare:

- portata massica nei vari tratti dell'impianto
- differenza di quota tra i due bacini
- pressione all'ingresso della turbina (assumere  $Z_{\text{turbina}}=Z_2$ )



#### □ **ESERCIZIO 2 (punti 4)**

Una portata di elio alla temperatura di  $900^\circ\text{C}$  e pressione 110 bar viene espansa a temperatura costante fino alla pressione di 30 bar. Successivamente viene compressa isoentropicamente fino alla pressione iniziale e laminata adiabaticamente fino ad avere

$$s_4 = 2 \cdot s_2.$$

Assumendo il comportamento dell'elio assimilabile a quello di gas perfetto ( $M=4$  kg/kmol), si chiede di:

- Rappresentare su un piano T-s le trasformazioni ed identificare i punti termodinamici ( $s_1=0$  kJ/kg/K)
- Valutare la potenza termica scambiata e la potenza meccanica della sequenza di trasformazioni (in entrambi i casi specificando se assorbita o ceduta).

### ESERCIZIO 3 (punti 6)

Si vuole studiare lo scambio termico del sistema costituito da 3 pareti piane in figura.

La parete centrale (spessore  $s_2=20$  cm) è di materiale solido ( $k=55$  W/m/K) ed è sede di una generazione di potenza pari a  $100$  kW/m<sup>3</sup>.

Le due pareti laterali sono di spessore  $5$  cm e conduttività termica rispettivamente  $k_1=20$  W/m/K e  $k_3=10$  W/m/K. La parete esterna dello strato 1-2 è a contatto con un fluido a  $400^\circ\text{C}$  con coefficiente di scambio convettivo pari a  $50$  W/m<sup>2</sup>/K. La parete esterna dello strato 3-4 è lambita da aria a  $15^\circ\text{C}$ .

Sapendo che il flusso termico scambiato tra la parete 1 e il fluido è  $300$  W/m<sup>2</sup> e che le temperature superficiali  $T_1$  e  $T_4$  sono uguali, si chiede di (problema stazionario e monodimensionale):

- Calcolare la resistenza termica delle due pareti 1-2 e 3-4
- Calcolare le temperature  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$ .
- Calcolare il coefficiente di scambio termico convettivo  $h_{\text{amb-4}}$  e la velocità dell'aria

La relazione per il calcolo del numero di Nusselt è (lunghezza caratteristica pari alla profondità della parete  $L=5$  m):

$$Nu = 0.037 Re^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

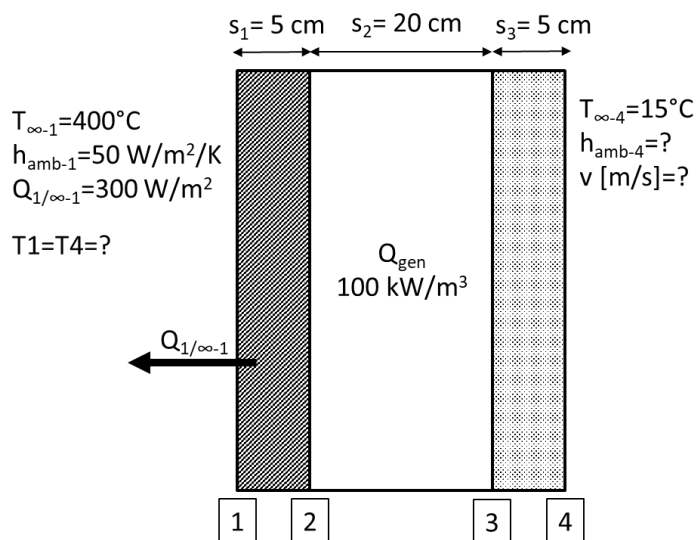
Proprietà dell'aria assunte costanti:

$$c_p = 1.006 \text{ kJ/kg/K}$$

$$k = 0.0262 \text{ W/m/K}$$

$$\mu = 1.873 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\rho = 1.15 \text{ kg/m}^3$$



### □ ESERCIZIO 4 (punti 5)

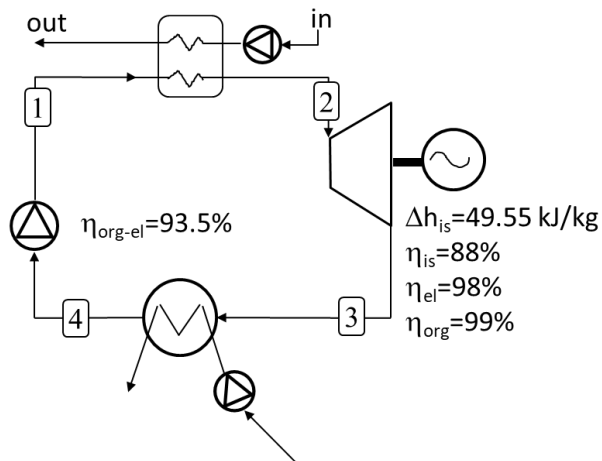
Si vuole studiare la produzione di potenza elettrica sfruttando la differenza di temperatura dell'acqua di mare a differente profondità tramite un ciclo Rankine saturo ad ammoniaca.

Si preleva una portata di  $9000$  kg/s di acqua in superficie a  $T_{\text{in}}=28^\circ\text{C}$  che funge da sorgente termica ad alta temperatura (acqua fluido incomprimibile,  $\rho=1000$  kg/m<sup>3</sup>,  $c=4200$  J/kg/K) e viene scaricata a  $T_{\text{out}}=24^\circ\text{C}$ .

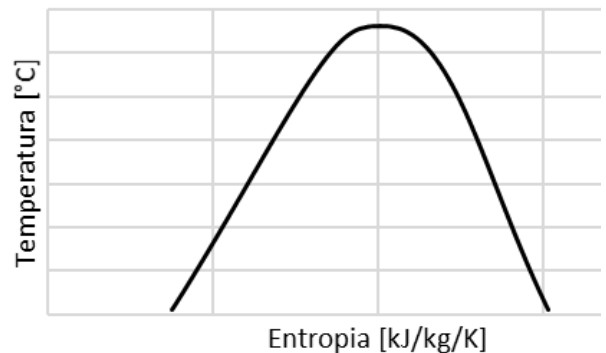
La sorgente termica a bassa temperatura è rappresentata da una portata di  $8500$  kg/s prelevata nelle profondità oceaniche.

La temperatura di evaporazione del ciclo è  $22^\circ\text{C}$  mentre la temperatura di condensazione è  $10^\circ\text{C}$ .

Utilizzando le informazioni riportate in figura e le tabelle delle proprietà dell'ammoniaca in condizioni sature, si chiede di:



Curva di Andrews qualitativa per ammoniaca



- Rappresentare qualitativamente il ciclo in un piano T-s
- Completare la tabella dei punti termodinamici del ciclo
- La portata di ammoniaca circolante nel ciclo

Assumendo che il rendimento idraulico e il rendimento organico elettrico sono pari rispettivamente a 0.8 e 0.95 (uguali per entrambe le pompe di prelievo dell'acqua marina) e che il salto di pressione a cavallo delle pompe è 0.5 e 1 bar rispettivamente per l'acqua calda e quella fredda ( $\Delta Z=0$  m e  $\Delta V=0$  m/s), si chiede di determinare:

- La potenza delle pompe di prelievo dell'acqua di mare (sia calda che fredda)
- La potenza netta dell'intero impianto e il rendimento di primo principio

Flusso	Portata [kg/s]	Temperatura [°C]	Pressione [bar]	Entalpia [kJ/kg]	Titolo [-]
1	122.495	10.1	9.137	390.35	Liquido
2	122.495	22	9.137	1624.68	1
3	122.495	10	6.150	1581.08	0.972
4	122.495	10	6.150	389.72	0

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

1- Applicare il principio di conservazione dell'energia ad una laminazione adiabatica ed introdurre il coefficiente di Joule-Thompson ed il significato della curva di inversione.

2- Discutere l'approccio a parametri concentrati per la risoluzione di problemi di scambio termico in condizioni non stazionarie. Ricavare l'espressione dell'andamento di temperatura evidenziando i numeri adimensionali caratteristici.

□ **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).

Considerate un gas perfetto biatomico: $R=8314$ J/kmol/K	<input type="checkbox"/> $c_v=c_p+R$ <input checked="" type="checkbox"/> Sempre $c_p[\text{kJ/kg/K}]>c_v[\text{kJ/kg/K}]$ <input type="checkbox"/> $c_p=3/2 R$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Una sfera di rame ( $k=395$ W/m/K, $\rho=7850$ kg/m <sup>3</sup> , $c=385$ J/kg/K) a $T_{\text{iniziale}}=95^\circ\text{C}$ è immersa in vasca d'olio ( $T=30^\circ\text{C}$ , $h=20$ W/m <sup>2</sup> /K), la temperatura finale è $15^\circ\text{C}$ :	<input checked="" type="checkbox"/> Se $D=1$ m $\rightarrow$ t raffreddamento calcolabile approccio par.concentrati <input checked="" type="checkbox"/> L'energia totale è dipendente da $D^3$ <input type="checkbox"/> Se $D=1$ mm $\rightarrow$ t raffreddamento è 36 min <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
In un ciclo Rankine surriscaldato ideale, la riduzione del rendimento isentropico della turbina implica:	<input type="checkbox"/> Un aumento del rendimento del ciclo <input type="checkbox"/> Un aumento del lavoro del ciclo <input type="checkbox"/> Un aumento del lavoro della pompa di alimento <input checked="" type="checkbox"/> L'aumento del titolo di vapore allo scarico della turbina

La resistenza termica conduttiva di uno strato cilindrico:	<input type="checkbox"/> Decresce all'aumentare dallo spessore dello strato <input type="checkbox"/> Dipende dalla densità del materiale <input checked="" type="checkbox"/> Dipende linearmente dal logaritmo di $D_{in}/D_{out}$ <input type="checkbox"/> Dipende linearmente dalla conduttività termica
Una portata di fluido incompressibile $m$ fluisce in un tubo verticale ( $z_1 - z_2 = 10$ m) di lunghezza $L$ e di diametro crescente, si può affermare che: $1 \rightarrow In$ ; $2 \rightarrow Out$	<input type="checkbox"/> $v_1 \cdot D_1 = v_2 \cdot D_2$ <input type="checkbox"/> $v_2 > v_1$ <input type="checkbox"/> Le perdite di carico portano ad aumento della velocità <input checked="" type="checkbox"/> Idealmente $P_2 > P_1$
Dato il corpo nero A ( $T_A = 1000$ K) e il corpo grigio B ( $T_B = 2000$ K) con $\epsilon_B = 0.1$ : $\lambda_{max} \rightarrow$ Lunghezza d'onda di massima emissione, $E \rightarrow$ Pot. Emissivo totale	<input type="checkbox"/> $\epsilon_A < \epsilon_B$ <input type="checkbox"/> Il flusso termico è sempre $q = \sigma \epsilon_B (T_B^4 - T_A^4)$ [W/m <sup>2</sup> ] <input checked="" type="checkbox"/> Il fattore di vista influenza il flusso termico <input type="checkbox"/> $\lambda_{max,B} > \lambda_{max,A}$
L'entropia di un fluido incompressibile è:	<input type="checkbox"/> Costante <input checked="" type="checkbox"/> Dipendente solo da $T$ <input type="checkbox"/> Dipendente da $T$ , $P$ e densità <input type="checkbox"/> Dipendente da $T$ e $P$
Si consideri un'aletta di alluminio di lunghezza $L_1$ e un'aletta di alluminio di lunghezza $L_2 = 2 \cdot L_1$ . Si può dire che: (stessa $T_{base}$ e $h$ )	<input checked="" type="checkbox"/> Efficienza $_1 >$ Efficienza $_2$ <input type="checkbox"/> Efficacia $_1 =$ Efficacia $_2$ poiché hanno lo stesso materiale <input type="checkbox"/> $T_{apice1} < T_{apice2}$ <input type="checkbox"/> Potenza scambiata $_2 = 2 \cdot$ Potenza Scambiata $_1$
Dati due cicli Joule-Brayton ideali chiusi (A e B). Se fluido A è elio (He) e il fluido B elabora azoto (N <sub>2</sub> ), si può dire che: ( $T_{1A} = T_{1B}$ )	<input checked="" type="checkbox"/> Se $T_{2A} = T_{2B}$ allora $\eta_A = \eta_B$ <input checked="" type="checkbox"/> Se $\beta_A = \beta_B$ allora $\eta_A > \eta_B$ <input type="checkbox"/> Se $T_{3A} = T_{3B}$ allora sicuramente $\eta_A > \eta_B$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Per un ciclo Rankine rigenerativo reale, si ha generalmente:	<input type="checkbox"/> Un $\eta$ pari a quello reversibile <input type="checkbox"/> $T_{media}$ introduzione calore più bassa del ciclo semplice <input checked="" type="checkbox"/> Un incremento del rendimento <input type="checkbox"/> $L_{netto}$ crescente con aumento del numero rigeneratori
La generica grandezza specifica $y$ della miscela è: (LS = liq. saturo, VS = vap. saturo, $x$ = frazione massica vapore, $x_v$ = frazione volumica vapore)	<input checked="" type="checkbox"/> $y = y_{LS} + x (y_{VS} - y_{LS})$ <input type="checkbox"/> $y = y_{VS} / (1 - x) + y_{LS} / x$ <input type="checkbox"/> $y = y_{VS} + x_v / (1 - x) y_{LS}$ <input type="checkbox"/> $y = (1 - x_v) y_{LS} + x_v y_{VS}$
Le isoterme di un fluido rappresentate in un diagramma $h-s$ :	<input checked="" type="checkbox"/> Presentano punti angolosi per $P < P_{critica}$ <input type="checkbox"/> Sono curve a pendenza costante <input type="checkbox"/> Sono rette con pendenza crescente con la $P$ <input type="checkbox"/> Sono segmenti orizzontali per liquido incompressibile
Data una turbina a gas reale, l'aggiunta di un ciclo a vapore reale che ha come sorgente termica i fumi di scarico della TG, implica:	<input checked="" type="checkbox"/> Un aumento del rendimento del sistema <input type="checkbox"/> Un aumento della $T$ dei fumi scaricati in ambiente <input type="checkbox"/> Un aumento della potenza della TG <input type="checkbox"/> Un $\eta_{II}$ pari a 1
Per una macchina operatrice che elabora un fluido incompressibile, si ha:	<input type="checkbox"/> $\Delta T_{ideale} > \Delta T_{reale}$ <input checked="" type="checkbox"/> $\Delta T_{reale}$ dipende dal rendimento idraulico e dal fluido <input type="checkbox"/> Pot. all'albero $>$ Pot. Elettrica $>$ Pot. ideale <input type="checkbox"/> Pot. ideale $>$ Pot. all'albero $>$ Pot. elettrica
7 g/s di olio (densità = 900 kg/m <sup>3</sup> , viscosità cinematica = 1.2 E-6 m <sup>2</sup> /s) scorre in tubo ( $D = 1$ cm). Sapendo che la lunghezza del tubo è 5 m:	<input checked="" type="checkbox"/> Il coefficiente di attrito è circa 0.08 <input type="checkbox"/> Il numero di Reynolds è circa 7.43E-5 <input type="checkbox"/> La caduta di pressione è circa 407 Pa <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti