



# POLITECNICO DI MILANO

## DIPARTIMENTO DI ENERGIA

### SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

29/08/2017

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 4)**

Un impianto idroelettrico (densità acqua=  $1000 \text{ kg/m}^3$ , viscosità dinamica=  $1.137 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ) lavora tra due bacini A e B rispettivamente alla quota  $h_A=1100 \text{ m}$  e  $h_B=350 \text{ m}$ . Il condotto di aspirazione è costituito da 2 tubi in serie entrambi di lunghezza pari a  $2500 \text{ m}$  e diametro rispettivamente di  $500 \text{ mm}$  e  $400 \text{ mm}$ . Il condotto di scarico ha una lunghezza  $50 \text{ m}$ , un diametro di  $550 \text{ mm}$  e la velocità dell'acqua è pari a  $1.8 \text{ m/s}$ . Il coefficiente di attrito è pari a  $0.02$  mentre il coefficiente  $K_c$  delle perdite di carico concentrate è  $6$  per tutti i condotti. Assumendo un rendimento idraulico della turbina di  $87\%$  e un rendimento organico elettrico di  $95.5\%$ , si chiede di:

- Rappresentare lo schema di impianto evidenziando le portate e le velocità nei condotti
- Determinare la massima potenza idealmente producibile dall'impianto
- Determinare le perdite dell'impianto
- Calcolare la potenza netta prodotta dalla turbina e il rendimento globale di impianto

#### **□ ESERCIZIO 2 (punti 4)**

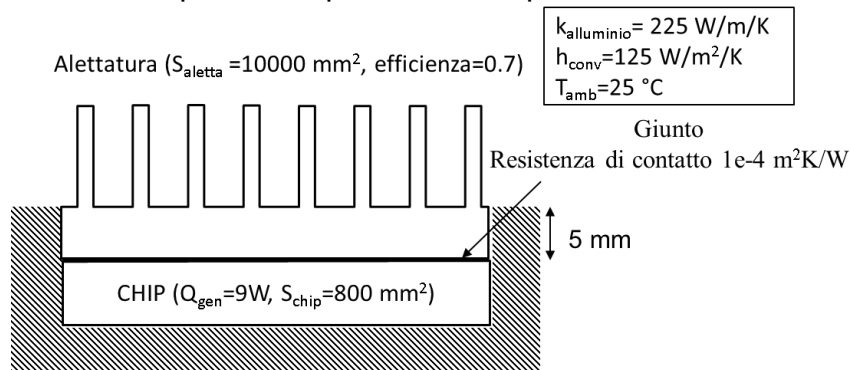
Una portata volumetrica di  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  di elio (gas perfetto monoatomico,  $MM=4 \text{ kg/kmol}$ ) alla temperatura di  $700^\circ\text{C}$  e alla pressione di  $140 \text{ bar}$  viene laminato adiabaticamente fino a  $130 \text{ bar}$  e successivamente espanso in una turbina (fino alla pressione di  $50 \text{ bar}$ ) con rendimento isoentropico pari a  $0.88$ . Si chiede:

- La rappresentazione sul diagramma di T-s delle trasformazioni  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$  identificando i valori di temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) e entropia ( $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ ) (Assumere  $s_1=0 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ )
- La potenza termica e la potenza meccanica caratteristiche delle singole trasformazioni

### □ ESERCIZIO 3 (punti 5)

Un chip, di superficie pari a  $800 \text{ mm}^2$ , è incastonato in un supporto adiabatico e dissipa una potenza pari a  $9 \text{ W}$ . Sulla superficie superiore del chip è incollato un dissipatore in alluminio ( $k_{\text{alluminio}}=225 \text{ W/m/K}$ ) costituito da uno strato di  $5 \text{ mm}$  e da una serie di alette di superficie totale di  $10000 \text{ mm}^2$  con efficienza pari a  $0.7$ . Al giunto tra il chip e il dissipatore è associata una resistenza di contatto pari a  $1.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W}$ . L'aria di raffreddamento si trova a  $25^\circ\text{C}$  con un coefficiente di scambio termico convettivo pari a  $125 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Assumendo la monodimensionalità e stazionarietà del problema, si chiede di calcolare:

- la temperatura della base delle alette
- la temperatura sulla superficie superiore del chip



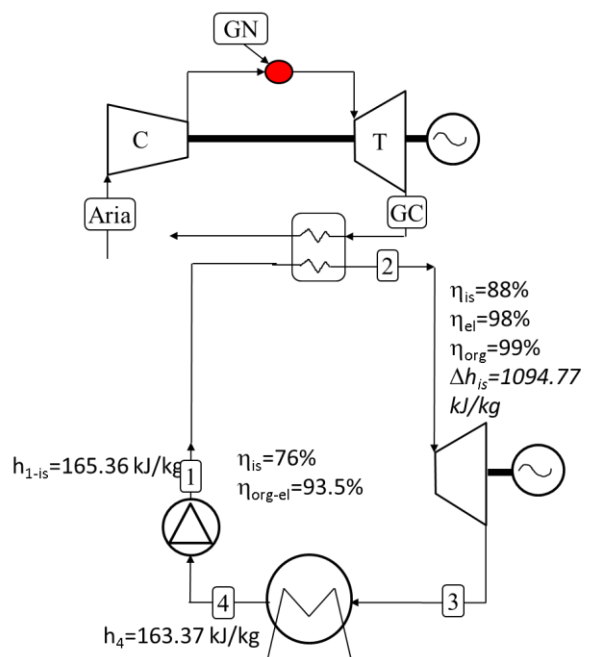
Se non fosse presente l'alettatura (solo supporto protettivo di alluminio di  $5 \text{ mm}$  e giunto a con stesso coefficiente di scambio termico convettivo), a che temperatura si porterebbe la superficie superiore del chip?

### □ ESERCIZIO 4 (punti 7)

Una turbina a gas opera secondo un ciclo Brayton aperto. Il compressore aspira una portata di aria pari a  $600 \text{ kg/s}$ . La potenza termica in ingresso è pari a  $514 \text{ MW}$  e viene fornita dalla combustione di  $15 \text{ kg/s}$  di gas naturale. Il rendimento della turbina a gas è pari  $39.4\%$ . Considerata l'elevata temperatura dei gas di scarico ( $T_{\text{GC}}=473^\circ\text{C}$ ,  $c_p=1.08 \text{ kJ/kg/K}$ ) si decide di sfruttare la corrente di gas allo scarico della turbina come sorgente di calore di un ciclo a vapore con surriscaldamento (Ciclo combinato riportato in figura). La portata di vapore prodotta è  $65 \text{ kg/s}$  mentre la pressione e la temperatura massima del ciclo sono rispettivamente  $20 \text{ bar}$  e  $450^\circ\text{C}$ . Le caratteristiche del ciclo a vapore sono riportate in figura.

Si chiede di:

- Rappresentare il ciclo a vapore nel diagramma T-s allegato
- Calcolare la potenza elettrica della turbina a gas
- Calcolare la portata massica dei gas di scarico della turbina a gas (punto GC)
- Calcolare la potenza termica in ingresso al ciclo a vapore
- Calcolare la temperatura dei gas a valle della cessione di calore ( $G_{\text{Cout}}$ )
- Determinare la pressione di condensazione e il titolo di vapore allo scarico della turbina
- Calcolare la potenza elettrica netta del ciclo a vapore e il rendimento netto complessivo dell'impianto



□ **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- Ricavare l'equazione generale dello scambio termico per conduzione (3D, generazione di potenza instazionaria). Applicare l'equazione ricavata per determinare il profilo di temperatura per una lastra piana 1D con sottrazione uniforme di potenza e temperature uguali imposte agli estremi.

□ **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).

Il calore di evaporazione (espresso in J/kg) per un fluido puro:	<input type="checkbox"/> A pari pressione è minore del calore di condensazione <input type="checkbox"/> E' Maggiore del calore di condensazione <input type="checkbox"/> Crescente con la temperatura <input type="checkbox"/> Decrescente con la temperatura
Per una miscela acqua-ammoniaca, nella zona bifase si ha che:	<input type="checkbox"/> Le isoterme e le isobare coincidono <input type="checkbox"/> Le isobare sono sempre curve esponenziali <input type="checkbox"/> Lo stato è definito da 2 variabili intensive indipendenti <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Per un ciclo Rankine a vapore rigenerativo (ideale) con un rigeneratore aperto:	<input type="checkbox"/> Maggiore è $P_{\text{spillamento}}$ maggiore il $\eta$ del ciclo <input type="checkbox"/> vapore spillamento è separato dall'acqua di alimento <input type="checkbox"/> Esiste una pressione ottima che massimizza il $\eta$ <input type="checkbox"/> la $P_{\text{min}}$ del ciclo è di norma $>$ di $P_{\text{spillamento}}$
Un cilindro (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: ( $k \rightarrow \text{cond.termica}$ , $a, m, n \rightarrow \text{costante}$ )	<input type="checkbox"/> proporzionale a $k/D \cdot \text{Re}^m \cdot \text{Pr}^n$ <input type="checkbox"/> linearmente dipendente da $T$ <input type="checkbox"/> crescente con $(T - T_{\infty})$ <input type="checkbox"/> dipendente dal velocità dell'aria incidente sul cilindro
In due tubi uguali di lunghezza e diametro $D$ fluiscono due fluidi differenti (1 e 2) se $\text{Re}_1 > \text{Re}_2 > 2300$ . Si può concludere che:	<input type="checkbox"/> se $v_1 = v_2$ allora $\mu_1 = \mu_2$ <input type="checkbox"/> se $v_1 > v_2$ allora sicuramente $f_1 > f_2$ <input type="checkbox"/> se $v_1 = v_2$ allora $\rho_1 = \rho_2$ <input type="checkbox"/> $f_1 = 64/\text{Re}_1$ e $f_2 = 64/\text{Re}_2$
Un corpo grigio (superficie $2 \text{ m}^2$ ) a $1000^\circ\text{C}$ è caratterizzato da:	<input type="checkbox"/> Una potenza emessa di circa $113.4 \text{ kW}$ <input type="checkbox"/> Un'emissività pari a 1 <input type="checkbox"/> Un potere emissivo indipendente da lunghezza d'onda <input type="checkbox"/> Se $\varepsilon = 0.9$ , un potere emissivo totale di $134 \text{ kW/m}^2$
Quali di queste trasformazioni può portare senza dubbio ad un riscaldamento di un gas reale?	<input type="checkbox"/> Compressione isoentropica + espansione isoentropica (tra le stesse pressioni) <input type="checkbox"/> Espansione isoterma + laminazione adiabatica <input type="checkbox"/> Laminazione adiabatica se $(\partial T / \partial P)_h < 0$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
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"/> Potenza termica scambiata è sempre decrescente con $s$ <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 type="checkbox"/> Resistenza termica conduttiva $\uparrow$ se $s \uparrow$
In un ciclo Joule-Brayton reale:	<input type="checkbox"/> il $\eta_{II}$ è sempre minore di 1 <input type="checkbox"/> Il lavoro utile non dipende da $T_{\text{max}}$ <input type="checkbox"/> Esiste un $\beta_{\text{compr}}$ che massimizza il rendimento <input type="checkbox"/> $\beta_{\text{compr}} = \beta_{\text{turb}}$

Un ciclo Diesel ideale è costituito da:	<input 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
La relazione $Tds=dh-vdP$ , è valida:	<input type="checkbox"/> Solo lungo un'isoterma <input type="checkbox"/> Solo per gas perfetti <input type="checkbox"/> Sempre <input type="checkbox"/> Solo per sistemi aperti
Viene fornito calore a un fluido puro in condizioni di liq.saturo ( $T=115^{\circ}\text{C}$ , $P=1.2\text{ bar}$ ) fino a raggiungere le cond.vap.saturo. Se $\Delta s=6.5\text{ kJ/kgK}$ :	<input type="checkbox"/> Il calore è $2523\text{ kJ/kg}$ <input type="checkbox"/> La trasformazione inversa richiede più calore <input type="checkbox"/> Da $Tds=dh-vdP$ segue che il calore dipende da $P$ <input type="checkbox"/> Il calore dipende dal $\Delta T$
Dati due cicli reali (1 e 2). Ciclo 1 opera tra $1500\text{ K}$ e $500\text{ K}$ mentre il Ciclo2 opera tra $750\text{ K}$ e $250\text{ K}$ :	<input type="checkbox"/> Se $\eta_{II1}=\eta_{II2}$ allora $\eta_1=\eta_2$ <input type="checkbox"/> Se $\eta_1>\eta_2$ allora $\eta_{II1}<\eta_{II2}$ <input type="checkbox"/> $\eta_{II1}=\eta_{II2}=1$ poiché 1 e 2 sono cicli reversibili <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Una lattina contiene un liquido ( $D=6\text{ cm}$ , altezza= $10\text{ cm}$ , $k=0.6\text{ W/m/K}$ , $\rho=1000\text{ kg/m}^3$ , $c=4190\text{ J/kg/K}$ ) a $T_{\text{iniziale}}=8^{\circ}\text{C}$ è posta su una sup.adiabatica in un ambiente con aria a $30^{\circ}\text{C}$ ( $h=10\text{ W/m}^2/\text{K}$ ).	<input type="checkbox"/> Se $h\uparrow$ allora il tempo di riscaldamento $\uparrow$ <input type="checkbox"/> La lunghezza caratteristica è $0.015\text{ m}$ <input type="checkbox"/> Il numero di Fourier è costante nel tempo <input type="checkbox"/> Il numero di Biot è pari a $0.2210$
Il fattore di compressibilità $Z$ :	<input type="checkbox"/> E' approssimabile come funz. di $P_{\text{ridotta}}[\text{Pa}]$ e $T_{\text{ridotta}}[\text{K}]$ <input type="checkbox"/> E' definito come $(Pv)_{\text{reale}}/(R^*T)$ <input type="checkbox"/> Per gas a bassa pressione e alta $T$ , è circa $= 0$ <input type="checkbox"/> E' simile per fluidi con stessa $P_{\text{critica}}[\text{Pa}]$ e $T_{\text{critica}}[\text{K}]$

