



POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

06/07/2018

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.

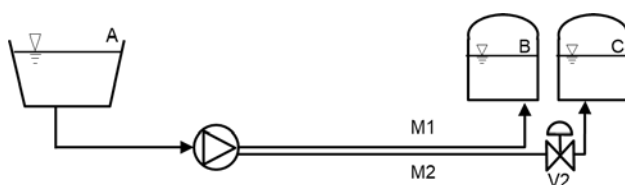
Dati per la risoluzione dei quesiti

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

□ **ESERCIZIO 1 (punti 6)**

Si vuole trasferire una portata di $10 \text{ m}^3/\text{h}$ di un fluido incompressibile (densità= $789 \text{ kg}/\text{m}^3$, viscosità dinamica= $1.2\text{E}-3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, calore specifico = $2.6 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$) dal serbatoio A ai serbatoi B e C (vedi figura). Il serbatoio A è alla pressione atmosferica di 1 bar mentre i serbatoi B e C sono ad una pressione pari a 6 bar. Il pelo libero di tutti i serbatoi si trova alla stessa quota z (5 m). Il tubo di aspirazione ha un diametro di 80 mm e lunghezza di 100 m, mentre il sistema di mandata è costituito da 2 tubi M1 e M2 di pari lunghezza (50 m) ma con diametri differenti ($D_{M1}=40 \text{ mm}$ $D_{M2}=45 \text{ mm}$). Assumendo tubi lisci, si chiede di calcolare:

- la pressione all'aspirazione della pompa (quota dell'aspirazione pari a 0 m)
- l'angolo di chiusura δ (vedi tabella allegata, interpolando linearmente) della valvola V2 per garantire un'uguale distribuzione della portata nei due tubi M1 e M2
- la potenza elettrica richiesta dalla pompa sapendo che l'incremento di temperatura a cavallo di essa è $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ e che il rendimento organico-elettrico della pompa è 93%.



Fattore di attrito per tubi lisci in regime turbolento:

per $3000 < \text{Re} < 1\text{e}5$

$$f = 0.079 / \text{Re}^{0.25}$$

4. Ball Valve

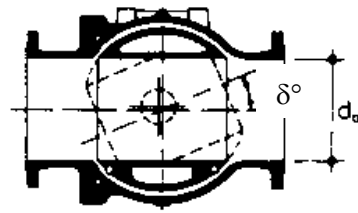


Tabella 1 Andamento del coefficiente di perdita di carico concentrate della valvola (k_c) in funzione dell'angolo di chiusura.

δ°	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	67
k_c	0.05	0.31	0.88	1.84	3.45	6.15	11.2	20.7	41.0	95.3	275	∞

□ ESERCIZIO 2 (punti 4)

Si vuole caricare una bombola di volume pari a 0.5 m^3 con azoto compresso (N_2) prelevata da un ambiente a 10°C (T_{amb}) e pressione di 1 bar (P_1). La portata di azoto è di 0.1 kg/s (\dot{m}).

La compressione è isoterma e l'azoto contenuto nella bombola viene mantenuto a 10°C .

La pressione finale all'interno della bombola di 45 bar (P_2).

Assumendo il comportamento volumetrico dell'azoto assimilabile a quello di un gas perfetto biatomico ($MM=28 \text{ kg/kmol}$), si chiede di determinare:

- La portata volumetrica aspirata dal compressore e la massa di azoto contenuta nella bombola alla fine del riempimento
- Il tempo (t) richiesto per riempire la bombola
- Il calore specifico (massico) a pressione costante dell'azoto

Si discuta:

- qualitativamente la correttezza o meno di stimare l'energia del compressore come

$$E_{\text{compr}} = t \left(\dot{m} \frac{R}{MM} T_{\text{amb}} \ln \frac{P_2}{P_1} \right)$$

- La massa di azoto contenuta nella bombola considerato un fattore di compressibilità di 0.99 (alla pressione di 45 bar e una temperatura di 10°C).

□ ESERCIZIO 3 (punti 4)

Si ha una corrente di fumi (portata massima \dot{m}_F di 125 kg/s) alla temperatura T_A di 325°C e una sorgente fredda alla temperatura T_{AMB} di 25°C (costante).

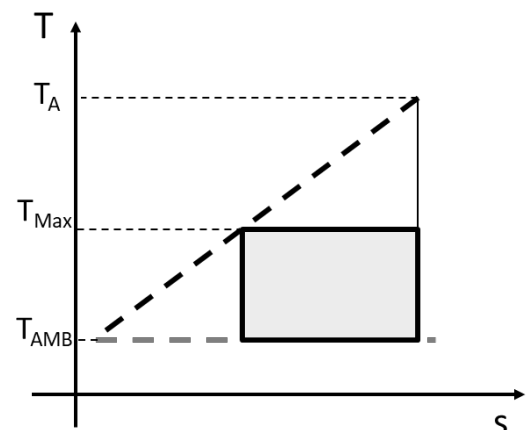
Il calore specifico a pressione costante dei fumi è $1.11 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

Nel caso in cui si utilizzi un ciclo di Carnot che sfrutti come sorgente termica la corrente di fumi (vedi figura), si chiede di determinare:

- La temperatura massima del ciclo di Carnot (assumendo la temperatura minima pari a T_{AMB}) che massimizza la potenza producibile

Si chiede inoltre di calcolare:

- la massima potenza producibile da un ciclo di potenza reversibile che sfrutti tutto il calore disponibile dei fumi caldi
- la potenza producibile da un ciclo reale con rendimento di secondo principio $\eta_{II}=0.6$



□ ESERCIZIO 4 (punti 6)

Uno specchio cilindro-parabolico concentra la radiazione solare su un tubo di diametro esterno pari a 70 mm e lungo 400 m. Sulla superficie del tubo, caratterizzata da un'assorbanza di 0.9, incide una potenza solare radiativa di 1200 kW.

Nel tubo entra una portata di acqua in condizioni di liquido saturo alla pressione di 50 bar ed esce vapore saturo alla stessa pressione.

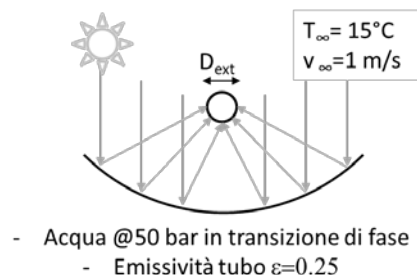
La temperatura ambiente è 15°C e la velocità del vento è 1 m/s.

Le perdite termiche tra tubo e ambiente avvengono per convezione e irraggiamento (emissività del tubo è 0.25).

Assumendo l'ambiente circostante come un corpo nero a T_∞ e trascurando la resistenza convettiva interna e quella conduttiva dello spessore del tubo, si

chiede di calcolare:

- La T dell'acqua e T sulla superficie esterna del tubo
- Il coefficiente di scambio termico convettivo e la corrispondente resistenza termica
- la potenza termica dissipata verso l'ambiente (sia per convezione che per irraggiamento)
- la potenza trasferita all'acqua
- la portata massica di acqua circolante nel tubo



Correlazioni per geometria Cilindrica (Dimensione caratteristica \rightarrow Diametro del cilindro)

Le proprietà termofisiche sono riferite alla **temperatura di film**.

Considerare l'aria come gas perfetto ($M=28.96$ kg/kmol). Le proprietà termofisiche sono dipendenti linearmente da T secondo la relazione $a \cdot T[K] + b$ (vedi tabella allegata).

Intervallo Numero Re	Convezione Forzata	Proprietà aria		
0.4-40	$Nu=0.989 Re^{0.33} Pr^{1/3}$		a	b
4-40	$Nu=0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$	c_p [J/kg/K]	0.207643	927.5679
40-4000	$Nu=0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$	μ [10^{-6} Pa*s]	0.034793	9.173929
4000-40000	$Nu=0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$	k [10^{-3} W/m/K]	0.062293	9.058929
40000-400000	$Nu=0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$			

□ 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 della rigenerazione per un ciclo Joule-Brayton.

□ 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 type="checkbox"/> L'esistenza di legame tra 4 gruppi adimensionali <input type="checkbox"/> Identificare funzione che lega 2 numeri adimensionali <input type="checkbox"/> Applicarlo solo se il fenomeno è di tipo convettivo <input checked="" type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Due fluidi diversi nelle stesse cond. di P_1 e T_1 sono laminati adiabaticamente fino alla stessa P e poi miscelati adiabaticamente (2):	<input type="checkbox"/> Se entrambi gas perfetti allora T finale dipende da \dot{m} <input type="checkbox"/> Se $m_2 > m_1$ allora $T_2 > T_1$ <input type="checkbox"/> Se $P_2 > P_1$ allora $T_2 > T_1$ <input checked="" type="checkbox"/> Dati insufficienti per definire lo stato finale
Una turbina a gas basata su ciclo Joule Brayton ideale:	<input type="checkbox"/> η dipende dalla massa molecolare del gas <input checked="" type="checkbox"/> $\eta = 1 - T_1/T_2$ <input type="checkbox"/> Il lavoro specifico è crescente con β <input type="checkbox"/> Il rendimento e il lavoro specifico aumentano con T_{max}

Una cilindro (diametro D) a temperatura T si trova in una stanza con aria più fredda in quiete (T^∞), il coeff. di scambio convettivo h è: ($k \rightarrow$ cond.termica, $a, m, n \rightarrow$ costante)	<input type="checkbox"/> proporzionale a $k/D \cdot Re^m \cdot Pr^n$ <input type="checkbox"/> funzione di Re e Gr <input type="checkbox"/> Crescente con T^∞ <input checked="" type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Si hanno 2 tubi in serie di diametro diverso (D_1 e D_2): (fluido incomprimibile)	<input type="checkbox"/> La portata volumetrica in 1 è maggiore di quella in 2 <input type="checkbox"/> Se regime laminare allora $Re_1 = Re_2$ <input checked="" type="checkbox"/> Se $v_1 > v_2$ allora $D_1 < D_2$ <input type="checkbox"/> A pari rugosità assoluta se $D_1 < D_2$ allora $Re_1 > Re_2$
Date 2 alette rettangolari geometricamente identiche: (stessa T_{amb} e stesso coeff. scambio convettivo h , apice adiabatico)	<input checked="" type="checkbox"/> Per T_{base} uguale allora se $k_1 = 2 \cdot k_2$ allora $\dot{Q}_1 = \sqrt{2} \dot{Q}_2$ <input type="checkbox"/> L'efficienza delle alette è la stessa <input type="checkbox"/> La T_{apice} è indipendente da T_{base} <input type="checkbox"/> Se k uguale allora se $T_{base1} = 3 \cdot T_{base2}$ allora $\dot{Q}_1 = 3 \cdot \dot{Q}_2$
Una turbina a vapore espande 50 kg/s di vapore a 100 bar e 860 K fino alla pressione di 10 bar: 1 \rightarrow ingresso; 2 \rightarrow scarico	<input type="checkbox"/> Se $\eta_{is} = 1$ allora s_2 è circa 6 kJ/kg/K <input type="checkbox"/> Se $\eta_{is} = 0.8$, il lavoro specifico è circa 3600 kJ/kg <input checked="" type="checkbox"/> Se $\eta_{is} = 0.8$, la potenza è circa 30 MW <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
Un tubo di diametro interno D (spessore s - attraversato da fluido a temperatura T), se $T_{amb} < T$, certamente si può dire che:	<input type="checkbox"/> Esiste sempre valore di $s > 0$ che massimizza potenza <input type="checkbox"/> Resistenza termica convettiva \uparrow se $h \uparrow$ <input checked="" type="checkbox"/> Res. termica conduttiva aumenta sempre se $s \uparrow$ <input type="checkbox"/> Potenza termica scambiata è sempre decrescente con s
Ad un aumento della pressione massima di un ciclo Rankine ideale, si ha:	<input checked="" type="checkbox"/> Sempre un aumento della T di evaporazione <input type="checkbox"/> Riduzione del rendimento <input type="checkbox"/> Un'influenza sulla pressione minima del ciclo <input checked="" type="checkbox"/> Diminuzione titolo di vapore allo scarico della turbina
Una parete piana di metallo è sede di una generazione di potenza (in regime stazionario), si può dire che:	<input checked="" type="checkbox"/> Potenza generata è uguale a pot.dispersa in ambiente <input type="checkbox"/> Profilo di T è sempre una parabola con T_{max} nella mezzeria <input type="checkbox"/> Se $k \uparrow$ allora $T_{max} \uparrow$ <input type="checkbox"/> Nessuna delle precedenti
In un diagramma h - s :	<input type="checkbox"/> L'area contenuta in un ciclo rappresenta il lavoro <input checked="" type="checkbox"/> Un'isobara nella zona bifase è un segmento rettilineo <input type="checkbox"/> Il calore è l'area sottesa a trasformazione reversibile <input type="checkbox"/> Una isoterma è un segmento rettilineo
In un rigeneratore a miscela di un ciclo Rankine:	<input checked="" type="checkbox"/> Portata liquida in uscita è maggiore di quella in entrata <input type="checkbox"/> La portata in uscita è in condizioni di vap. saturo <input type="checkbox"/> La portata spillata è in condizioni di liq.saturo <input type="checkbox"/> Acqua liquida è separata da portata di vapore spillato
La relazione $h = u + RT$ è valida:	<input type="checkbox"/> Mai <input type="checkbox"/> Sempre <input checked="" type="checkbox"/> Solo per gas perfetti <input type="checkbox"/> Solo per liquido incomprimibile
Due cubi identici (lato 1 cm) di materiali diversi ($k_1 = 300 \text{ W/m/K}$, $k_2 = 0.5 \cdot k_1$) sono a $T(0 \text{ s}) = 10^\circ\text{C}$. Se $h = 2.5 \text{ W/m}^2/\text{K}$ e $T_{amb} = 45^\circ\text{C}$ per entrambi i cubi:	<input type="checkbox"/> Non si può usare l'approccio a param. concentrati <input checked="" type="checkbox"/> Se la T finale è 30°C allora il $Q_1/Q_2 = p_1 c_1 / p_2 c_2$ <input type="checkbox"/> Dopo 5 secondi sicuramente si ha $T_2(5 \text{ s}) > T_1(5 \text{ s})$ <input type="checkbox"/> Il numero di Biot è uguale nei due casi (stesso volume e geometria)
In un ciclo combinato:	<input type="checkbox"/> Scarico della turbina a gas è inviato a condensatore <input type="checkbox"/> Q_{out} del ciclo a vapore è Q_{in} di un ciclo Joule-Brayton <input type="checkbox"/> Accoppia un ciclo diesel and una turbina a gas <input checked="" type="checkbox"/> L'input energetico è sottoforma di gas naturale

