



POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA

29/07/2019

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

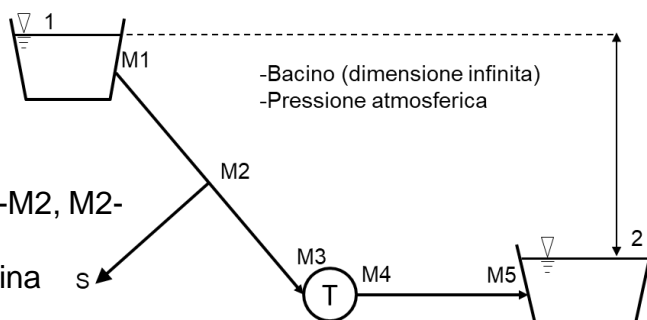
Costante universale dei gas $\mathcal{R} = 8314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$

□ **ESERCIZIO 1 (punti 5)**

La portata di acqua elaborata dalla turbina, nell'impianto riportato in figura, è pari a $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Il 30% della portata proveniente dal serbatoio 1 viene deviato in un condotto secondario (M2-S). Il tratto M4-M5 e i due tratti principali a monte della turbina M1-M2 e M2-M3 hanno tutti un diametro di 12.5 cm e lunghezza di 85 m. La differenza di quota tra i due bacini è 60 m. Il coefficiente di attrito si può assumere pari a 0.025 per tutti i tubi.

Ogni tubo ha una perdita di carico concentrata (k) pari a 7 altezze cinetiche. Sapendo che il rendimento idraulico della turbina è 80%, si chiede di:

- Calcolare le velocità nei condotti
- Stimare le perdite dell'impianto nei tratti M1-M2, M2-M3 e M4-M5.
- Calcolare la potenza elettrica della turbina (rendimento meccanico-elettrico è 97.5%)



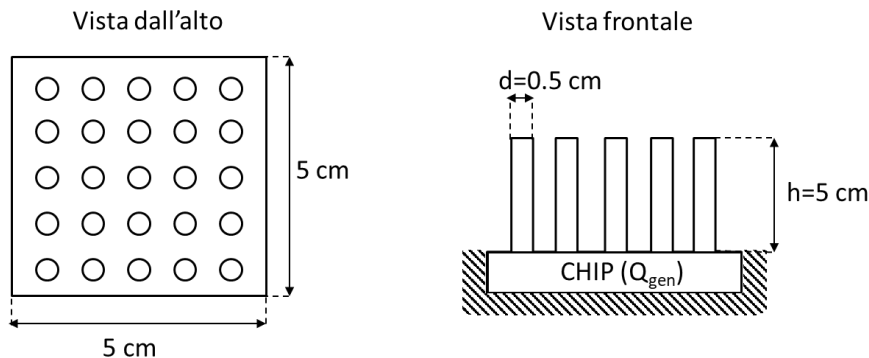
Densità dell'acqua: $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$

□ ESERCIZIO 2 (punti 5)

Si ha a disposizione un dissipatore di calore in lega di alluminio ($k=180 \text{ W/m/K}$) costituito da una base quadrata di lato 5 cm e spessore trascurabile. Sono presenti 25 alette di sezione circolare ($d=0.5 \text{ cm}$) e altezza 5 cm. Il dissipatore è investito da una corrente d'aria a 25°C e velocità 2 m/s. Si assuma l'apice delle alette adiabatico.

Assumendo che il coefficiente di scambio termico convettivo della superficie non alettata è $30 \text{ W/m}^2/\text{K}$ e che il coefficiente di scambio termico convettivo delle alette può essere valutato tramite la correlazione per geometria cilindrica proposta in tabella, si chiede di calcolare:

- Il coefficiente di scambio termico convettivo delle alette
- L'efficienza dell'aletta
- La massima potenza del chip elettronico sul quale è posto il dissipatore, sapendo che la superficie di contatto tra dissipatore e chip non deve superare i 60°C .



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

Intervallo Numero Re	Convezione Forzata	Proprietà aria	
0.4-40	$Nu=0.989 Re^{0.33} Pr^{1/3}$		Valore
4-40	$Nu=0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$	c_p [J/kg/K]	1006
40-4000	$Nu=0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$	μ [$10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$]	17.95
4000-40000	$Nu=0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$	k [10^{-3} W/m/K]	25.04
40000-400000	$Nu=0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$	ρ [kg/m^3]	1.21

□ ESERCIZIO 3 (punti 6)

Un processo industriale necessita di una potenza termica che viene fornita tramite la combustione di 10 kg/s di gas naturale con una portata di aria pari a 170 kg/s. La potenza termica contenuta nei fumi di scarico dell'impianto industriale, che si trovano a 350°C , viene utilizzata per produrre energia elettrica tramite un ciclo Rankine saturo (il fluido di lavoro è acqua). I fumi vengono raffreddati fino a 250°C . La temperatura massima del ciclo Rankine è pari a 240°C mentre la temperatura minima è pari a 45°C .

La turbina e la pompa possono essere assunte ideali.

Assumendo i gas combusti come gas perfetto con calore specifico a pressione costante pari a 1.08 [kJ/kg/K] (indipendente da T), si chiede di:

- Disegnare lo schema di impianto del sistema e riportare su un piano T-s il ciclo a vapore
- Calcolare la portata massica di fumi provenienti dalla combustione
- Calcolare la portata di vapore prodotta
- Calcolare il titolo di vapore allo scarico della TV e commentare il valore
- Calcolare la potenza elettrica netta del ciclo Rankine e il rendimento elettrico netto
- Assumendo una temperatura ambiente di 30°C :
 - Quale sarebbe la massima potenza elettrica producibile da un ciclo termodinamico che sfrutti i gas di scarico come sorgente termica?

Assumere l'acqua elaborata dalla pompa come un liquido incompressibile ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$)

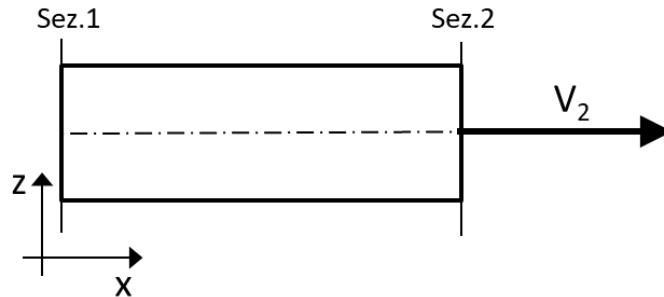
□ **ESERCIZIO 4 (punti 4)**

Una portata di olio ($\rho=750 \text{ kg/m}^3$, $\text{visc.cinematica}=2.8\text{E-}4 \text{ m}^2/\text{s}$) entra in tubo di sezione circolare ($D_1=50 \text{ mm}$) e lunghezza pari a 30 m .

La forza esercitata dalla parete del tubo sul fluido è pari in modulo a 500 N .

Assumendo che il moto sia laminare e che l'accelerazione di gravità abbia verso $-\vec{z}$, si chiede di:

- Calcolare la differenza di pressione tra 1 e 2
- Calcolare la velocità in ingresso (Sez. 1) e in uscita (Sez.2)
- Verificare se il regime di moto è laminare
- Calcolare il coefficiente di attrito



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

1- Ricavare il coefficiente di attrito per un flusso laminare completamente sviluppato. Identificare chiaramente le ipotesi adottate.

2- Descrivere un ciclo Joule-Brayton ideale e ricavare l'espressione del rendimento netto e del lavoro netto. Commentare l'effetto del rapporto di compressione sul rendimento e sul lavoro netto

□ **QUESITO 6 (DOMANDE A RISPOSTA GUIDATA) (punteggio 7.5)**

Rispondere alle seguenti 20 domande a risposta guidata. Segnare le **risposte corrette ad ogni domanda** (0.375 punto per risposta corretta, -0.125 punti se sbagliata).

Una laminazione (dallo stato 1 allo stato 2):	Implica $P_2 < P_1$	<input type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
	E' rappresentabile sempre da un'isoentalpica	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Implica $T_2 < T_1$	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Per gas reale non può mai essere isoterma	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
Per un ciclo Rankine ideale surriscaldato:	A pari T_{\max} e P_{\max} , se $P_{\min} \uparrow$ $\eta \downarrow$	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
	A pari P_{\max} e P_{\min} , se $T_{\max} \uparrow$, il titolo scarico della TV \uparrow	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
	La rigenerazione ideale porta ad un η pari a η_{Carnot}	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Se $P_{\text{cond}} \downarrow$, $T_{\text{cond}} \downarrow$	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
Il diagramma di Nukiyama:	Lega il flusso termico con la differenza di T tra la piastra riscaldante e la T di saturazione	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
	Definisce, con un unico grafico, il comportamento di tutti i fluidi in ebollizione statica	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Per stesso fluido, la P operativa modifica il diagramma	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
	Mostra andamento monotono tra flusso termico e ΔT	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
Due cubi identici di materiale differente si trovano alla stessa temperatura iniziale (T_0), a pari h e $T_{\text{amb}} > T_0$:	Se Bi uguali, hanno lo stesso comportamento termico	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Se $Bi=0.01$, se $c_1=c_2$ e $\rho_1 > \rho_2$ allora dopo 5 s $T_1 > T_2$	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Se $Bi \cdot Fou$ è uguale e $Bi < 0.01$, allora $T(5s)$ è circa uguale per i due cubi	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
	L'energia interna a $t=0$ s è proporzionale a $\rho \cdot c$	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
In un diagramma h-s:	Punto crit. è punto di tang. di una retta inclinata di $1/T$	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Se $Z \rightarrow 1$, le isobare son curve esponenziali	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso
	Per fluido incompressibile le isobare collassano	<input type="checkbox"/> vero	<input checked="" type="checkbox"/> falso
	Nella zona bifase le iso-T coincidono con le iso-P	<input checked="" type="checkbox"/> vero	<input type="checkbox"/> falso

Proprietà termodinamiche dell'acqua alla saturazione (10 °C - 270 °C)

T	p	Liquido saturo			vapore saturo		
		h	s	v	h	s	v
[°C]	[bar]	[kJ/kg]	[kJ/kg-°C]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-°C]	[m³/kg]
10	0.01227	41.994	0.15099	0.0010003	2519.90	8.90196	106.43
15	0.01704	62.941	0.22432	0.0010008	2529.05	8.78257	77.978
20	0.02337	83.862	0.29630	0.0010017	2538.18	8.66840	57.838
25	0.03166	104.767	0.36701	0.0010029	2547.28	8.55916	43.402
30	0.04241	125.664	0.43651	0.0010043	2556.35	8.45456	32.929
35	0.05622	146.557	0.50486	0.0010060	2565.38	8.35434	25.245
40	0.07375	167.452	0.57212	0.0010078	2574.37	8.25826	19.546
45	0.09582	188.351	0.63832	0.0010099	2583.30	8.16607	15.276
50	0.12335	209.256	0.70351	0.0010121	2592.17	8.07757	12.046
55	0.15741	230.168	0.76772	0.0010145	2600.98	7.99255	9.5789
60	0.19920	251.091	0.83099	0.0010171	2609.71	7.91081	7.6785
65	0.25009	272.025	0.89334	0.0010199	2618.36	7.83217	6.2023
70	0.31162	292.973	0.95482	0.0010228	2626.92	7.75647	5.0463
75	0.38549	313.936	1.01544	0.0010259	2635.39	7.68353	4.1341
80	0.47360	334.916	1.07525	0.0010292	2643.75	7.61322	3.4091
85	0.57803	355.917	1.13427	0.0010326	2652.01	7.54537	2.8288
90	0.70109	376.940	1.19253	0.0010361	2660.14	7.47987	2.3613
95	0.84526	397.988	1.25005	0.0010399	2668.14	7.41658	1.9822
100	1.01325	419.065	1.30687	0.0010437	2676.01	7.35538	1.6730
105	1.20800	440.173	1.36301	0.0010477	2683.73	7.29616	1.4193
110	1.43266	461.316	1.41849	0.0010519	2691.31	7.23880	1.2099
115	1.69060	482.497	1.47334	0.0010562	2698.72	7.18321	1.0363
120	1.98543	503.719	1.52759	0.0010606	2705.96	7.12928	0.89152
125	2.32098	524.988	1.58126	0.0010652	2713.03	7.07693	0.77023
130	2.70132	546.306	1.63436	0.0010700	2719.90	7.02606	0.66814
135	3.13075	567.677	1.68693	0.0010750	2726.59	6.97659	0.58181
140	3.61379	589.105	1.73899	0.0010801	2733.07	6.92844	0.50849
145	4.15520	610.594	1.79055	0.0010853	2739.33	6.88153	0.44597
150	4.75997	632.150	1.84164	0.0010908	2745.37	6.83578	0.39245
155	5.43330	653.775	1.89227	0.0010964	2751.17	6.79112	0.34644
160	6.18065	675.475	1.94247	0.0011022	2756.73	6.74749	0.30676
165	7.00766	697.254	1.99225	0.0011082	2762.03	6.70481	0.27240
170	7.92023	719.117	2.04164	0.0011145	2767.06	6.66303	0.24255
175	8.92444	741.069	2.09064	0.0011209	2771.81	6.62207	0.21654
180	10.0266	763.116	2.13929	0.0011275	2776.27	6.58189	0.19380
185	11.2333	785.263	2.18760	0.0011344	2780.42	6.54242	0.17386
190	12.5512	807.517	2.23558	0.0011415	2784.26	6.50361	0.15632
195	13.9873	829.884	2.28326	0.0011489	2787.77	6.46541	0.14084
200	15.5488	852.371	2.33066	0.0011565	2790.94	6.42776	0.12716
205	17.2430	874.985	2.37779	0.0011644	2793.75	6.39062	0.11503
210	19.0774	897.734	2.42467	0.0011726	2796.20	6.35393	0.10424
215	21.0598	920.627	2.47133	0.0011811	2798.26	6.31765	0.094625
220	23.1983	943.674	2.51779	0.0011900	2799.92	6.28172	0.086038
225	25.5009	966.883	2.56406	0.0011992	2801.16	6.24610	0.078349
230	27.9760	990.266	2.61017	0.0012087	2801.97	6.21074	0.071450
235	30.6323	1013.83	2.65614	0.0012187	2802.33	6.17559	0.065245
240	33.4783	1037.60	2.70200	0.0012291	2802.21	6.14059	0.059654
245	36.5232	1061.58	2.74777	0.0012399	2801.59	6.10569	0.054606
250	39.7760	1085.78	2.79348	0.0012513	2800.43	6.07083	0.050037
255	43.2462	1110.23	2.83917	0.0012632	2798.72	6.03594	0.045896
260	46.9434	1134.94	2.88485	0.0012756	2796.42	6.00097	0.042134
265	50.8773	1159.93	2.93056	0.0012887	2793.48	5.96583	0.038710
270	55.0581	1185.23	2.97635	0.0013025	2789.87	5.93045	0.035588