

Cognome e Nome \_\_\_\_\_ Matricola \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

**Teoria (10 punti a domanda, penalizzazione errori secondo quanto indicato sul portale BEEP)**

1. Determinare i profili generali del flusso termico e della temperatura in funzione del raggio per un cilindro di lunghezza indefinita omogeneo ed isotropo, tramite l'integrazione dell'equazione della conduzione in condizioni stazionarie e con generazione di potenza. Commentare la condizione al contorno in corrispondenza dell'asse del cilindro per cilindri pieni.
2. Scrivere le equazioni di partenza e le ipotesi necessarie per ricavare l'equazione generale delle trasformazioni politropiche
3. Scrivere il bilancio entropico per un generico sistema fluente, indicando il significato dei termini che vi compaiono, e riportare un esempio di trasformazione irreversibile con variazione di entropia nulla.

**Esercizi (penalizzazione errori secondo quanto indicato su BEEP)**

**Esercizio 1 (9 punti)**

Un recipiente chiuso e perfettamente rigido e adiabatico, di volume  $V = 0.5$  l, è inizialmente pieno di acqua a pressione atmosferica e temperatura  $T_{ai} = 10$  °C. Nel recipiente vengono immerse due sfere di rame ( $\rho = 8900$  kg/m<sup>3</sup>,  $c = 385$  J/kgK), entrambe di diametro  $D = 50$  mm e aventi temperatura  $T_{1i} = 200$  °C la prima e  $T_{2i} = 150$  °C la seconda. A causa dell'immersione delle sfere, un corrispondente volume di liquido esce dal recipiente che viene poi immediatamente richiuso dopo l'immersione. Trascurando l'eventuale evaporazione locale dell'acqua e ipotizzando che sia l'acqua sia le sfere siano approssimabili a perfettamente incompressibili, determinare la temperatura finale del sistema liquido + sfere una volta raggiunto lo stato di equilibrio, e la corrispondente variazione totale di entropia rispetto allo stato iniziale.

**Esercizio 2 (12 punti)** Un compressore adiabatico reale, con un rendimento isoentropico pari a 0.85, comprime un flusso d'aria a pressione ambiente e temperatura di 300 K fino a 1.8 Mpa. Si determini:

- la temperatura dell'aria all'uscita del compressore
- l'entropia specifica generata per irreversibilità
- l'indice  $n$  della trasformazione ideale politropica che riproduce l'evoluzione dell'aria dallo stato di ingresso a quello di uscita
- il lavoro specifico necessario se il compressore operasse una trasformazione isoterma internamente reversibile

**Esercizio 3 (12 punti)** Una portata di vapore saturo alla temperatura di 40°C, pari a 100 kg/s, entra nel lato mantello di un condensatore tubi/mantello di un ciclo Rankine, dove condensa parzialmente con un coefficiente di scambio termico convettivo  $h_e$  pari a 6000 W/(m<sup>2</sup> K). Una portata di acqua di mare (si tratti come acqua dolce) pari a 5000 kg/s scorre all'interno di 5000 tubi in parallelo del diametro di 20 mm e spessore trascurabile, riscaldandosi da una temperatura di 15°C e a 25°C. Si determini:

- il titolo di vapore in uscita dal condensatore
- il coefficiente di scambio termico totale [W/(m<sup>2</sup> K)]
- la lunghezza dei tubi
- la potenza della pompa per vincere le perdite di carico (si considerino tubi lisci)

### Correlazioni per il calcolo di Nu e f (friction factor) per flusso all'interno di tubi

Re > 4000 Turbolento	Nu = 0.023 Re <sup>0.8</sup> Pr <sup>n</sup>	n = 0.4 riscaldamento
	f=0.184 Re <sup>-0.2</sup>	n = 0.3 raffreddamento
Re < 2500 Laminare	Nu = 4.36	flusso termico costante
	Nu = 3.66	T superficiale costante
	f=64/Re	

### Proprietà dell'acqua in transizione di fase

Press. p kPa	Temp. sat. T <sub>m</sub> °C	Volume specifico m <sup>3</sup> /kg		Energia interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropia kJ/(kg · K)		
		Liquido sat. u <sub>l</sub>	Vapore sat. u <sub>v</sub>	Liquido sat. u <sub>l</sub>	Evap. u <sub>lv</sub>	Vapore sat. u <sub>v</sub>	Liquido sat. h <sub>l</sub>	Evap. h <sub>lv</sub>	Vapore sat. h <sub>v</sub>	Liquido sat. s <sub>l</sub>	Evap. s <sub>lv</sub>	Vapore sat. s <sub>v</sub>
0.6113	0.01	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001000	129.21	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001001	87.98	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.50	0.001001	67.00	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001002	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	0.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001003	45.67	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001004	34.80	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001005	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001008	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	0.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001010	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001014	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001017	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001020	6.204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30	69.10	0.001022	5.229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001027	3.993	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700

### Proprietà dell'acqua (liquida) alla pressione di 1 atm

Temperatura K	Densità kg/m <sup>3</sup>	Calore specifico J/(KgK)	Conducibilità termica W/(mK)	Diffusività termica m <sup>2</sup> /s	Viscosità dinamica kg/(m s)	Viscosità cinematica m <sup>2</sup> /s	Numero di Prandtl Pr
Acqua (T in K)							
273.2	000	4205	0.564	1.34 × 10 <sup>-7</sup>	1.79 × 10 <sup>-3</sup>	1.79 × 10 <sup>-6</sup>	13.4
280	000	4197	0.582	1.39 × 10 <sup>-7</sup>	1.44 × 10 <sup>-3</sup>	1.44 × 10 <sup>-6</sup>	10.4
300	997	4177	0.608	1.46 × 10 <sup>-7</sup>	0.857 × 10 <sup>-3</sup>	0.86 × 10 <sup>-6</sup>	5.88
320	989	4176	0.637	1.54 × 10 <sup>-7</sup>	0.579 × 10 <sup>-3</sup>	0.59 × 10 <sup>-6</sup>	3.79
340	980	4187	0.659	1.61 × 10 <sup>-7</sup>	0.423 × 10 <sup>-3</sup>	0.43 × 10 <sup>-6</sup>	2.69
360	967	4204	0.674	1.66 × 10 <sup>-7</sup>	0.320 × 10 <sup>-3</sup>	0.33 × 10 <sup>-6</sup>	2.00
373.2	958	4220	0.681	1.68 × 10 <sup>-7</sup>	0.282 × 10 <sup>-3</sup>	0.29 × 10 <sup>-6</sup>	1.75
400	937	4241	0.686	1.73 × 10 <sup>-7</sup>	0.219 × 10 <sup>-3</sup>	0.23 × 10 <sup>-6</sup>	1.35
450	890	4419	0.673	1.71 × 10 <sup>-7</sup>	0.153 × 10 <sup>-3</sup>	0.17 × 10 <sup>-6</sup>	1.01
500	832	4647	0.635	1.64 × 10 <sup>-7</sup>	0.118 × 10 <sup>-3</sup>	0.14 × 10 <sup>-6</sup>	0.86
550	756	5272	0.571	1.43 × 10 <sup>-7</sup>	0.095 × 10 <sup>-3</sup>	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	0.88
600	650	6691	0.481	1.11 × 10 <sup>-7</sup>	0.076 × 10 <sup>-3</sup>	0.12 × 10 <sup>-6</sup>	1.05

### Esercizio 1

%DATI  
 P=1e5;  
 rhoCu=8900;  
 cCu=385;  
 rhoH2O=1000;  
 cH2O=4186; %cV=cP  
 vH2O=1e-3;  
 D=50e-3;  
 T1i=200+273.15;  
 T2i=150+273.15;  
 TH2O=10+273.15;  
 Vltot=0.5e-3;  
 Vs1=4/3\*pi\*(D/2)^3;  
 Vs2=Vs1;  
 kp=2.1e-4;  
 Vl=Vltot-Vs1-Vs2; %dopo l'uscita del liquido causa immer

Ms1=rhoCu\*Vs1;  
 Ms2=Ms1;

MH2O=Vl\*rhoH2O;

D	0.0500
DS	40.3581
MH2O	0.3691
Ms1	0.5825
Ms2	0.5825
P	100000
T1i	473.1500
T2i	423.1500
TH2O	283.1500
Tf	320.2727
VI	3.6910e-04
Vltot	5.0000e-04
Vs1	6.5450e-05
Vs2	6.5450e-05
cCu	385
cH2O	4186
kp	2.1000e-04
rhoCu	8900
rhoH2O	1000
vH2O	1.0000e-03

$$Tf = (MH2O * cH2O * TH2O + Ms1 * cCu * T1i + Ms2 * cCu * T2i) / (MH2O * cH2O + Ms1 * cCu + Ms2 * cCu);$$

$$DS = MH2O * cH2O * \log(Tf / TH2O) + Ms1 * cCu * \log(Tf / T1i) + Ms2 * cCu * \log(Tf / T2i);$$

### Esercizio 2

T in	300	K
eta is	0,85	
beta	18	
k=Cp/Cv	1,4	
Cp	1	kJ/(kg K)
Cv	0,71	kJ/(kg K)
Tout id=Tin*beta^(k-1)/k=	685	K
Tout=(Tout_id-Tin)/eta_is+Tin=	753	K
DS=Sirr=Cp*ln(Tout/Tout_id)=	0,095	kJ/(kg K)
(n-1)/n=ln(Tout/Tin)/ln(beta)=	0,318	
n=	1,467	
I=Tin*R*ln(beta)=	249	kJ/kg

### Esercizio 3

Proprietà fisiche acqua lato interno a 300 K

mi=	5000	kg/s
Ti1=	298	K
Ti2=	288	K
lambda	0,608	W/mK
ni	8,57E-07	m2/s
Pr	5,66	
Cpi	4,177	kJ/KgK
ro	997	kg/m3

Tubi		
Ntubi	6000	
Di	0,02	m
s	0	m
lambda	20	W/mK
ARIA Lato esterno 300 K		
Fattore area	1	
m	100,00	kg/s
q evap	2406	kJ/KgK
Te1	313	K
h esterno	6000	W/m2K

### Svolgimento

Qi=mi Cpi DTi=	208850	kW
Qi=Qe=me*qevap*X		
X	0,13	
v	2,66	m/s
Re=	62122	(turbolento)
	Nu=0,023*Re^0,8*Pr^0,4	314,38
hi=Nu*lambda/D=	9557,0	W/m2K
Q=UiAi DTml		
1/Ui=1/hi+Di*ln(De/Di)/2λ+1/he*Di/De		
U=	3686	W/m2K
DTml=(DT1-DT2)/ln(DT1/DT2)		
DT1=Ti1-Te2=	15	K
DT2=Ti2-Te1=	25	K
DTml=DT=	19,6	K
Ai=	2894,41	m2
Ai=3,14*Di*L*Ntubi		
L=	7,68	m
f=0.184*Re^-0.2=	0,0202	
DP=f*L/D*ro*v^2/2=	27456	Pa
P=m*v*DP=	137,7	kW