

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

**Teoria (penalizzazione errori secondo quanto indicato sul portale BEEP)**

1. Scrivere le definizioni di lavoro utile specifico uscente rispettivamente da un sistema chiuso ed un sistema aperto durante una trasformazione reversibile

2. 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 negativa

3. Scrivere le espressioni differenziali di 2 potenziali termodinamici

4. Riportare sul diagramma T,s un ciclo Rankine inverso reale e scrivere le espressioni (in funzione di opportuni potenziali termodinamici) dei COP associati all'utilizzo del ciclo come macchina frigorifera e pompa di calore.

5. Scrivere le equazioni di partenza e le ipotesi necessarie per ricavare l'equazione generale della conduzione

6. Disegnare i profili di velocità e temperatura in un fluido che scorre all'interno di un tubo in caso di regime laminare e turbolento

7. Riportare un'equazione di stato di un modello di gas reale, descrivere il significato fisico dei termini che vi appaiono e le condizioni in cui un gas può essere trattato come ideale

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

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

Esercizio 1 (9 punti) Un volume  $V = 100$  l di azoto a  $P = 1$  atm e  $T = 60$  °C viene miscelata in un sistema cilindro-pistone adiabatico con un volume  $V = 50$  l di ossigeno a  $P = 1$  atm,  $T = 200$  °C. Durante il processo, il pistone è costantemente sottoposto alla pressione atmosferica (1 atm). Dopo il raggiungimento dell'equilibrio, determinare:

- temperatura e composizione molare finale della miscela;
- l'irreversibilità del processo;
- il lavoro scambiato dal sistema con l'ambiente esterno tra inizio e fine del miscelamento.

Esercizio 2 (12 punti) Un compressore adiabatico reale, con un rendimento isoentropico  $\eta_{is}$  pari a 0.85, comprime un flusso d'aria a pressione ambiente e temperatura di 280 K fino a 1.5 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 porterebbe l'aria dallo stesso stato di ingresso allo stesso stato di uscita;
- il lavoro specifico che sarebbe necessario se il compressore operasse una trasformazione isoterma internamente reversibile.

Esercizio 3 (12 punti) Una portata di vapore saturo alla temperatura di 50°C, pari a 50 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 7000 W/(m<sup>2</sup> K). Una portata di acqua di mare (si tratti come acqua dolce) pari a 2500 kg/s scorre all'interno di 2500 tubi in parallelo del diametro di 20 mm e spessore trascurabile, riscaldandosi da una temperatura di 15°C 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	$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$	$n = 0.4$ riscaldamento
	$f = 0.184 Re^{-0.2}$	$n = 0.3$ 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

Temperature (K)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m <sup>3</sup> )	Vapor Density (kg/m <sup>3</sup> )	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
278.15	0.00087258	999.92	0.0068022	21.019	2381.8	21.020	2510.1	0.076254	9.0248
283.15	0.0012282	999.65	0.0094071	42.020	2388.6	42.021	2519.2	0.15109	8.8998
288.15	0.0017058	999.06	0.012841	62.980	2395.5	62.981	2528.3	0.22446	8.7803
293.15	0.0023393	998.16	0.017314	83.912	2402.3	83.914	2537.4	0.29648	8.6660
298.15	0.0031699	997.00	0.023075	104.83	2409.1	104.83	2546.5	0.36722	8.5566
303.15	0.0042470	995.61	0.030415	125.73	2415.9	125.73	2555.5	0.43675	8.4520
308.15	0.0056290	993.99	0.039674	146.63	2422.7	146.63	2564.5	0.50513	8.3517
313.15	0.0073849	992.18	0.051242	167.53	2429.4	167.53	2573.5	0.57240	8.2555
318.15	0.0095950	990.17	0.065565	188.43	2436.1	188.43	2582.4	0.63861	8.1633
323.15	0.012352	988.00	0.083147	209.33	2442.7	209.34	2591.3	0.70381	8.0748
328.15	0.015762	985.66	0.10456	230.24	2449.3	230.26	2600.1	0.76802	7.9898
333.15	0.019946	983.16	0.13043	251.16	2455.9	251.18	2608.8	0.83129	7.9081
338.15	0.025042	980.52	0.16146	272.09	2462.4	272.12	2617.5	0.89365	7.8296
343.15	0.031201	977.73	0.19843	293.03	2468.9	293.07	2626.1	0.95513	7.7540
348.15	0.038595	974.81	0.24219	313.99	2475.2	314.03	2634.6	1.0158	7.6812
353.15	0.047414	971.77	0.29367	334.96	2481.6	335.01	2643.0	1.0756	7.6111
358.15	0.057867	968.59	0.35388	355.95	2487.8	356.01	2651.3	1.1346	7.5434
363.15	0.070182	965.30	0.42390	376.97	2494.0	377.04	2659.5	1.1929	7.4781
368.15	0.084608	961.88	0.50491	398.00	2500.0	398.09	2667.6	1.2504	7.4151
373.15	0.10142	958.35	0.59817	419.06	2506.0	419.17	2675.6	1.3072	7.3541
378.15	0.12090	954.70	0.70503	440.15	2511.9	440.27	2683.4	1.3633	7.2952
383.15	0.14338	950.95	0.82693	461.26	2517.7	461.42	2691.1	1.4188	7.2381
388.15	0.16918	947.08	0.96540	482.41	2523.3	482.59	2698.6	1.4737	7.1828
393.15	0.19867	943.11	1.1221	503.60	2528.9	503.81	2705.9	1.5279	7.1291
398.15	0.23224	939.02	1.2987	524.83	2534.3	525.07	2713.1	1.5816	7.0770
403.15	0.27028	934.83	1.4970	546.09	2539.5	546.38	2720.1	1.6346	7.0264

### 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	$1.34 \times 10^{-7}$	$1.79 \times 10^{-3}$	$1.79 \times 10^{-6}$	13.4
280	000	4197	0.582	$1.39 \times 10^{-7}$	$1.44 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-6}$	10.4
300	997	4177	0.608	$1.46 \times 10^{-7}$	$0.857 \times 10^{-3}$	$0.86 \times 10^{-6}$	5.88
320	989	4176	0.637	$1.54 \times 10^{-7}$	$0.579 \times 10^{-3}$	$0.59 \times 10^{-6}$	3.79
340	980	4187	0.659	$1.61 \times 10^{-7}$	$0.423 \times 10^{-3}$	$0.43 \times 10^{-6}$	2.69
360	967	4204	0.674	$1.66 \times 10^{-7}$	$0.320 \times 10^{-3}$	$0.33 \times 10^{-6}$	2.00
373.2	958	4220	0.681	$1.68 \times 10^{-7}$	$0.282 \times 10^{-3}$	$0.29 \times 10^{-6}$	1.75
400	937	4241	0.686	$1.73 \times 10^{-7}$	$0.219 \times 10^{-3}$	$0.23 \times 10^{-6}$	1.35
450	890	4419	0.673	$1.71 \times 10^{-7}$	$0.153 \times 10^{-3}$	$0.17 \times 10^{-6}$	1.01
500	832	4647	0.635	$1.64 \times 10^{-7}$	$0.118 \times 10^{-3}$	$0.14 \times 10^{-6}$	0.86
550	756	5272	0.571	$1.43 \times 10^{-7}$	$0.095 \times 10^{-3}$	$0.13 \times 10^{-6}$	0.88
600	650	6691	0.481	$1.11 \times 10^{-7}$	$0.076 \times 10^{-3}$	$0.12 \times 10^{-6}$	1.05

**Esercizio 1**

R	8.314	J/mol K
Cv	12.471	J/mol K
Cp	20.785	J/mol K
VN2	0.1	m <sup>3</sup>
VO2	0.05	m <sup>3</sup>
TN2	333	K
T O2	473	K
P	101325	Pa
n N2 =P V / R T	3.7	mol
n O2 = P V / R T	1.3	mol
X N2 =	74%	
X O2 =	26%	
m N2	0.102	kg
m O2	0.041	kg
Ho=Hf => Tf=	369.45	K
DeltaS N2=	17.08	J/K
DeltaS O2=	7.80	J/K
DeltaS	24.88	J/K
Vfin=	0.15	m <sup>3</sup>
L=P DeltaV	0	J

**Esercizio 2**

T in	280	K
eta is	0.85	
beta	15	
k=Cp/Cv	1.4	
Cp	1	kJ/(kg K)
Cv	0.71	kJ/(kg K)
Tout id=Tin*beta^(k-1)/k=	607	K
Tout=(Tout_id-Tin)/eta_is+Tin	665	K
DS=Sirr=Cp*ln(Tout/Tout_id)=	0.091	kJ/(kg K)
(n-1)/n=ln(Tout/Tin)/ln(beta)=	0.319	
n=	1.469	
l=Tin*R*ln(beta)=	217	kJ/kg

**Esercizio 3**

**Proprietà fisiche acqua lato interno a 300 K**

mi=	2500	kg/s
Ti1=	298	K
Ti2=	288	K
lambda	0.608	W/mK
ni	8.57E-07	m <sup>2</sup> /s
Pr	5.66	
Cpi	4.177	kJ/KgK
ro	997	kg/m <sup>3</sup>

**Tubi**

Ntubi	2500	
Di	0.02	m
s	0	m
lambda	20	W/mK
<b>ARIA Lato esterno 300 K</b>		
<b>Fattore area</b>	<b>1</b>	
m	50.00	kg/s
q evap	2391	kJ/KgK
Te1	323	K
h esterno	7000	W/m <sup>2</sup> K

**Svolgimento**

Qi=mi Cpi DTi=	104425	kW
Qi=Qe=me*qevap*X		
X	0.13	
v	3.19	m/s
Re=	74546	(turbolento)

	$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$	363.74	
$h_i = Nu \cdot \lambda / D =$	11057.8	W/m <sup>2</sup> K	
$Q = U_i A_i \Delta T_{ml}$			
$1/U_i = 1/h_i + D_i \cdot \ln(D_e/D_i) / 2\lambda + 1/h_e \cdot D_i/D_e$			
$U =$	4286	W/m <sup>2</sup> K	
$\Delta T_{ml} = (DT_1 - DT_2) / \ln(DT_1/DT_2)$			
$DT_1 = T_{i1} - T_{e2} =$	25	K	
$DT_2 = T_{i2} - T_{e1} =$	35	K	
$\Delta T_{ml} = \Delta T =$	29.7	K	
$A_i =$	819.69	m <sup>2</sup>	