

Cognome e Nome _____ Matricola _____ Firma _____

Teoria (penalizzazione errori secondo quanto indicato sul portale BEEP)

1. La definizione di trasformazione internamente reversibile e di trasformazione esternamente reversibile

2. Sapendo che per un gas perfetto vale $du = c_v dT$, dimostrare che vale anche $dh = c_p dT$

3. Disegnare una trasformazione isobara ed una trasformazione isocora di un gas ideale sul diagramma T-s ed indicarne le funzioni $T=f(s)$

4. Le definizioni di lavoro utile specifico uscente rispettivamente da un sistema chiuso ed un sistema aperto durante una trasformazione reversibile

5. Rappresentare il diagramma di Mollier (h, s) per l'acqua ed indicare dove vale l'approssimazione a gas ideale

6. La definizione ed il significato dei gruppi adimensionali Nusselt e Prandtl.

7. L'espressione del profilo di temperatura in una lastra in stato stazionario soggetta a generazione interna di potenza con temperatura sulle superfici nota e costante.

Cognome e Nome _____ Matricola _____ Firma _____

Esercizi (penalizzazione errori secondo quanto indicato su BEEP)

Esercizio 1 (11 punti) Una pompa di calore reale riscalda una portata d'aria di 2 kg/s, a pressione ambiente, dalla temperatura di 20°C a 30°C e raffredda una portata d'acqua di 1,2 kg/s a pressione ambiente dalla temperatura di 15 °C a 12 °C. Si determini:

- 1) il COP della macchina frigorifera;
- 2) la generazione di entropia per irreversibilità;
- 3) la potenza meccanica minima idealmente richiesta per trasferire lo stesso Q_H ;
- 4) la generazione di entropia per irreversibilità del sistema se si considera anche che una potenza termica di 2 kW invece che arrivare alla sorgente calda venga dispersa dallo scambiatore dell'aria verso l'ambiente esterno a 5°C.

Esercizio 2 (11 punti) Una parete di spessore $s = 8$ cm e conducibilità $\lambda = 0.7$ W/mK è lambita da un lato da aria secca a $T_e = -5$ °C con h_e pari a 10 W/m²K e dall'altro da aria umida a $T_i = 20$ °C e umidità relativa $\phi_i = 70$ % con h_i pari a 6 W/m²K.

- 1) si dimostri che si avrà condensa sulla faccia lambita dall'aria umida;
- 2) si determini l'incremento di spessore della parete minimo (limite inferiore) per evitare la condensa (nell'ipotesi che i coefficienti convettivi non cambino);

Esercizio 3 (11 punti) Calcolare per ciascuno dei seguenti casi la potenza meccanica prodotta ed il rendimento di Primo Principio del ciclo termodinamico che permetta di produrre la massima potenza meccanica avendo a disposizione il flusso descritto e avendo come sorgente fredda l'ambiente (aria a 1 atm e 15 °C):

1. 1 kg/s di acqua a 80°C e 1 atm utilizzabile come sorgente calda;
2. 0.2 kg/s di vapore acqueo a 100 °C e 1 atm utilizzabile come sorgente calda;
3. 0.2 kg/s di aria a 375°C e 17 atm utilizzabile come fluido di lavoro o sorgente calda.

Proprietà dell'acqua in transizione di fase

Temperature (K)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	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

SOLUZIONI

Esercizio 2

```
%dati
s=0.08;
k=0.7; %conduttività
Te=-5+273.15;
he=10;
Ti=20+273.15;
fii=0.7;
hi=6;

%calcolo TR dell'aria umida
Pvs_Ti=0.0023393e6; %da tabella
Pvi=Pvs_Ti*fii;
TR=288.15; %da tabella

%bisogna verificare se Tpi<=>TR
Qp2=-(Ti-Te)/(1/he+s/k+1/hi);
%Qp2=-hi*(Ti-Tpi) => ...
Tpi=Qp2/hi+Ti; %Tpi<TR quindi si ha rugiada

%il limite inferiore per non avere rugiada è che Tpi sia esattamente
%coincidente con TR
%quindi
Qp2_NoR=-hi*(Ti-TR);
%essendo poi Rtot=1/he+s/k+1/hi=(Ti-Te)/Qp2_noR
s_noR=k*(-(Ti-Te)/Qp2_NoR-(1/he+1/hi));
```

Name ▲	Value
Pvi	1.6375e+03
Pvs_Ti	2.3393e+03
Qp2	-65.6250
Qp2_NoR	-30
TR	288.1500
Te	268.1500
Ti	293.1500
Tpi	282.2125
fii	0.7000
he	10
hi	6
k	0.7000
s	0.0800
s_noR	0.3967

ESERCIZIO 1

Dati

Ts in	293 K
Ts out	303
Ti in	288
Ti out	285
m acqua	1,2 kg/s
m aria	2 kg/s

Risoluzione

C acqua	4,186 kJ/(kg K)
Cp aria	1 kJ/(kg K)
Qi=macqua Cacqua (Tiin-Tiout)=	15,0696 kW
Qs=maria Caria (Tsout-Tsin)=	20,00 kW
P=Qs-Qi=	4,93 kW
COP=Qs/P=	4,06
$\Delta Ss=ms Cps \ln(Ts out/Ts in)=$	0,067 kW/K
$\Delta Si ideale =\Delta Ss; Ti out id=$	284,2 K
Qi ideale= mi Ci (Ti out id-T i in)=	19,20 kW
P ideale=Qs ideale-Qi=	0,80 kW
COP ideale=	25,1
$\eta II=COP/COP ideale$	0,16
$\Delta Si reale=mi Ci \ln(Tiin/Tiout)=$	-0,053 kW/K
Sgen=$\Delta Ss - \Delta si reale =$	14,521 W/K

Con dispersione su aria	2 kW
Tambiente	278 K
Qi=macqua Cacqua (Tiin-Tiout)=	15,0696 kW
Qs=maria Caria (Tsout-Tsin)=	18,00 kW
P=Qs-Qi=	4,93 kW
COP=Qs/P=	3,65
Ts out2=	302 K
$\Delta Ss2=ms Cps \ln(Ts out2/Ts in)=$	0,061 kW/K
Sgen=$\Delta Ss2 - \Delta si reale + Qdis/Ta=$	15,104 W/K

Esercizio 3

T ambiente	288 k
Vapore	
T vapore	373 k
m vapore	0,2 kg/s
q evap=	2250 kJ/kg
Qevap=	450 kW
eta 1=	22,8%
W1 evap	102,55 kW
Tml l=	328,67 K
eta 2=	12,4%
Qliq=	71,162 kW
W2 liq	8,81 kW
W tot=	111,35 kW

eta tot= 21,4%

Acqua

T a 353 K
m a 1 kg/s
Tml a= 319,4 K
Q a 272,09 kW

eta a 9,8%

W a 26,75 kW

Aria

m 0,2 kg/s
T in 648 K
P 17 atm

T fin 288,42 K

W aria esp 71,9 kW

W aria comp 71,9 kW

T ml aria= 443,9346232 K

Q aria= 72 kW

eta aria= 35,1%

W aria= 25,29 kW

(T espansione coincide con T ambiente, quindi W espansione corrisponde con W compressione! Il ciclo che usa come fluido di processo non ha senso)