

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 temperature sulle superfici note e costanti.

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 1

%dati

```
Mh=2;  
P=1e5;  
Thi=20+273.15;  
Thu=30+273.15;
```

```
Mc=1.2;  
Tci=15+273.15;  
Tcu=12+273.15;
```

```
Tamb=5+273.15;  
Q_vs_amb=2000;
```

%soluzione

%1)

```
cph=7/2*287;  
cpc=4186;  
Qsh=Mh*cph*(Thu-Thi);  
Qsc=Mc*cpc*(Tcu-Tci);  
Qh=-Qsh;  
Qc=-Qsc;  
L=-Qh-Qc;  
COP=-Qh/L;
```

%2)

```
DSh=Mh*cph*log(Thu/Thi);  
DSc=Mc*cpc*log(Tcu/Tci);  
Sp=DSh+DSc;
```

%3) per avere $Sp = 0$ a pari Qh e Tci ...

```
Tcu_Ds0=Tci*exp((-Mh*cph*log(Thu/Thi)/(Mc*cpc));  
Qsc_Ds0=Mc*cpc*(Tcu_Ds0-Tci);  
Qc_Ds0=-Qsc_Ds0;  
L_Ds0=-Qh-Qc_Ds0;
```

%4)

```
Qsh_p4=Mh*cph*(Thu-Thi)-Q_vs_amb;  
Thu_p4=Thi+Qsh_p4/(Mh*cph);
```

```
DSh_p4=Mh*cph*log(Thu_p4/Thi);  
DSamb=Q_vs_amb/Tamb;  
Sp_p4=DSh_p4+DSc+DSamb;
```

COP	4.0017	Qsh	20090
DSamb	7.1904	Qsh_p4	18090
DSc	-52.5719	Sp	14.8166
DSh	67.3885	Sp_p4	15.3987
DSh_p4	60.7803	Tamb	278.1500
L	5.0204e+03	Tci	288.1500
L_Ds0	801.6715	Tcu	285.1500
Mc	1.2000	Tcu_Ds0	284.3102
Mh	2	Thi	293.1500
P	100000	Thu	303.1500
Q_vs_amb	2000	Thu_p4	302.1545
Qc	1.5070e+04	cpc	4186
Qc_Ds0	1.9288e+04	cph	1.0045e+03
Qh	-20090		
Qsc	-1.5070e+04		
Qsc_Ds0	-1.9288e+04		

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=287.5; %da tabella, interpolando

%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));

%o anche, uguagliando Qp2 totale e esterno + vetro:
s_noR2=k*(-1/he-1/hi*(TR-Te)/(TR-Ti));
```

Pvi	1.6375e+03	fii	0.7000
Pvs_Ti	2.3393e+03	he	10
Qp2	-65.6250	hi	6
Qp2_NoR	-33.9000	k	0.7000
TR	287.5000	s	0.0800
Te	268.1500	s_noR	0.3296
Ti	293.1500	s_noR2	0.3296
Tpi	282.2125		

Esercizio 3

```
Tamb=15+273.15;

%in tutti i casi la potenza massima si ha per Sp=0; ipotizzando che Tamb
%sia costante e che sia possibile idealmente arrivare a Thu=Tamb si ha:

%1)
Mh=1;
Thi=80+273.15;
Thu=Tamb;
cph=4186;
Qsh=Mh*cph*(Thu-Thi);

%Mh*cph*log(Thu/Thi)+Qsc/Tc=0
Qsc=-Tamb*Mh*cph*log(Thu/Thi);
L=Qsh+Qsc;
etaI=L/Qsh;

%2)
Mh=0.2;
Thi=100+273.15;
Thu=Tamb;
```

```

cph=4186;
Dhvl=- (2675.6-419.17)*1000; %V->L, da tabella a 100 °C
Qsh=Mh*(Dhvl+cph*(Thu-Thi));
%Mh*(Dhvl/Thi+cph*log(Thu/Thi))+Qsc/Tc=0
Qsc=-Tamb*Mh*(Dhvl/Thi+cph*log(Thu/Thi));
L=Qsh+Qsc;
etaI=L/Qsh;

```

```

%3)
Mh=0.2;
Thi=375+273.15;
Thu=Tamb;
cph=7/2*287;
Qsh=Mh*cph*(Thu-Thi);

```

```

%Mh*cph*log(Thu/Thi)+Qsc/Tc=0
Qsc=-Tamb*Mh*cph*log(Thu/Thi);
L=Qsh+Qsc;
etaI=L/Qsh;

```

risultati numerici caso 1:

L	-2.6736e+04
Mh	1
Qsc	2.4535e+05
Qsh	-272090
Tamb	288.1500
Thi	353.1500
Thu	288.1500
cph	4186
etal	0.0983

risultati numerici caso 2:

Dhvl	-2256430
L	-1.1160e+05
Mh	0.2000
Qsc	4.1085e+05
Qsh	-522448
Tamb	288.1500
Thi	373.1500
Thu	288.1500
cph	4186
etal	0.2136

risultati numerici caso 3:

L	-2.5397e+04
Mh	0.2000
Qsc	4.6927e+04
Qsh	-72324
Tamb	288.1500
Thi	648.1500
Thu	288.1500
cph	1.0045e+03
etal	0.3511