

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

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

1. Scrivere le espressioni delle variazioni di entalpia ed entropia specifiche per un gas ideale in funzione di temperatura e volume specifico

2. Scrivere il sistema di tre equazioni che modella lo scambio energetico tra i due fluidi in uno scambiatore di calore tubo-in-tubo a correnti parallele

3. Scrivere l'espressione del rendimento isoentropico di un compressore nel caso di gas ideale, in funzione delle temperature ad inizio e fine compressione

4. Scrivere il bilancio entropico per il sistema complessivo che opera un ciclo termodinamico nelle due forme: a) valutando i calori scambiati dal punto di vista del ciclo, b) valutando i calori scambiati dal punto di vista delle sorgenti
5. Rappresentare in un diagramma T-s un ciclo Joule diretto con compressore isoentropico e turbina invece non isoentropica
6. Scrivere l'equazione generale della conduzione per un mezzo avente conduttività costante e uniforme
7. Rappresentare, qualitativamente ma in modo fisicamente accurato, alcune curve del potere emissivo di corpo nero in funzione di temperatura e lunghezza d'onda, e tracciare il luogo dei punti rappresentato dalla legge di Wien

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

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

Esercizio 1 (11 punti) Un sistema cilindro + pistone adiabatico contiene una massa  $M_g = 2$  kg di azoto approssimabile a gas perfetto ( $M = 28$  kg/kmol) e una massa  $M_p = 0.2$  kg di nanoparticelle di alluminio ( $c_{Al} = 905$  J/kgK). Il sistema è inizialmente a  $P_i = 3$  bar e  $T_i = 20$  °C. Il pistone viene poi mosso, comprimendo il gas (senza schiacciare le particelle di alluminio) in modo internamente reversibile fino alla pressione finale  $P_f = 6$  bar. Durante la trasformazione, gas e nanoparticelle possono essere considerati costantemente in equilibrio termico. Determinare se la trasformazione subita dal gas è una politropica e in caso affermativo determinarne l'indice e il calore specifico; calcolare poi la variazione di energia interna subita dal gas ed il lavoro richiesto dalla compressione.

Esercizio 2 (11 punti) Una parete piana, infinitamente estesa lungo due direzioni spaziali ortogonali, è costituita lungo la terza direzione da quattro strati, descritti di seguito (da sinistra a destra):

- strato A, passivo,  $s_A = 120$  mm,  $\lambda_A = 3$  W/mK;
- strato B, attivo,  $s_B = 20$  mm,  $\lambda_B$  e  $U_B$  da determinare;
- intercapedine piena d'aria C,  $s_C = 300$  mm,  $h_C = 35$  W/m<sup>2</sup>K sia sulla faccia sinistra sia sulla faccia destra dell'intercapedine;
- strato D, passivo,  $s_D = 150$  mm,  $\lambda_D = 50$  W/mK.

Entrambe le facce esterne della parete sono in contatto con un fluido: sul lato sinistro a  $T_{\infty 1} = 100$  °C ( $h_1 = 40$  W/m<sup>2</sup>K), sul lato destro a  $T_{\infty 2} = 10$  °C ( $h_2 = 20$  W/m<sup>2</sup>K). Si sa inoltre che all'interfaccia tra gli strati A e B la temperatura è  $T_1 = 150$  °C, mentre all'interfaccia tra lo strato B e l'intercapedine C la temperatura è  $T_2 = 140$  °C.

Determinare i valori della generazione interna di potenza e della conduttività nello strato attivo B.

Esercizio 3 (11 punti) In un ciclo termodinamico diretto, la sorgente calda è costituita da una portata  $\dot{M}_H = 1.5$  kg/s di fumi caldi (con proprietà termofisiche approssimabili a quelle dell'aria secca) che passano da  $T_{Hi} = 800$  °C a  $T_{Hu} = 150$  °C. La sorgente fredda è invece costituita da una portata  $\dot{M}_C = 0.75$  kg/s di acqua che entra come liquido saturo ed evapora parzialmente grazie al calore ricevuto dal fluido di lavoro. Sapendo che la potenza meccanica netta offerta dal ciclo è  $L = 400$  kW e che la produzione entropica totale del processo ciclico è  $S_p = 445$  W/K, determinare il rendimento di Primo Principio del ciclo, la temperatura dell'acqua che costituisce la sorgente fredda ed il titolo a cui essa arriva a fine scambio termico con il fluido di lavoro.

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

## SOLUZIONI

### Soluzione esercizio 1

%DATI

Pi=3e5;

Ti=20+273.15;

Pf=6e5;

Mg=2;

Mp=0.2;

MM=28;

cAl=905;

%SOLUZIONE

R=8314/MM;

cV=5/2\*R;

cP=7/2\*R;

Impostando il bilancio energetico sul sistema totale e sui sottosistemi gas (pedice g) e nanoparticelle (pedice p), non essendo presenti lavori di tipo non dilatativo, si ha:

$$\Delta U_{tot} = L_{ext} + Q_{ext}$$

$$\Delta U_g = L_g + Q_g$$

$$\Delta U_p = L_p + Q_p$$

dovento però anche essere:

$$\Delta U_{tot} = \Delta U_g + \Delta U_p$$

$$L_{ext} = L_g$$

$Q_{ext} = 0$  perchè il sistema cilindro + pistone è adiabatico

$L_p = 0$  perchè le nanoparticelle non subiscono alcuna dilatazione

Sostituendo i risultati fin qui trovati nelle equazioni di bilancio energetico, si ottiene:

$$\Delta U_{tot} = L_g$$

$$\Delta U_{tot} = L_g + Q_g + Q_p$$

e dunque  $L_g = L_g + Q_g + Q_p$ , da cui  $Q_p = -Q_g$ .

Data la piccolissima dimensione delle nanoparticelle e l'elevata conduttività dell'alluminio, si può assumere che gas e nanoparticelle siano costantemente in equilibrio termico, per cui  $dT_p = dT_g$  e si ha quindi:

$$M_p \cdot c_p \cdot dT_p = -M_g \cdot c_{x_g} \cdot dT_g \quad \text{e dunque} \quad c_{x_g} = -M_p/M_g \cdot c_p$$

$c_x = -M_p/M_g \cdot c_{Al}$ ;

$k = (c_x - c_p) / (c_x - c_v)$ ;

$T_u = T_i \cdot (P_i/P_f)^{(1-k)/k}$ ;

$Du = c_v \cdot (T_u - T_i)$ ;

$DU = Mg \cdot Du$ ;

$q = c_x \cdot (T_u - T_i)$ ;

$Q = Mg \cdot q$ ;

$l = (c_v - c_x) \cdot (T_u - T_i)$ ;

$L = Mg \cdot l$ ;

DU	8.6969e+04
Du	4.3485e+04
L	9.7572e+04
MM	28
Mg	2
Mp	0.2000
Pf	600000
Pi	300000
Q	-1.0603e+04
R	296.9286
Ti	293.1500
Tu	351.7294
cAl	905
cP	1.0393e+03
cV	742.3214
cx	-90.5000
k	1.3565
l	4.8786e+04
q	-5.3014e+03

## Soluzione esercizio 2

```

%DATI
sA=120e-3;
lbdA=3;
sB=20e-3;
sC=300e-3;
hC=35;
sD=150e-3;
lbdD=50;

T1=150+273.15;
T2=140+273.15;
Too1=100+273.15;
Too2=10+273.15;

h1=40;
h2=20;

%SOLUZIONE
%Qp_tot=Qp_l+Qp_r;
%Qp_tot=Qp2_l*A+Qp2_r*A;
%Up3*V=Qp2_l*A+Qp2_r*A;
%Up3*V/A=Up3*sB=Qp2_l+Qp2_r;

Qp2_l=-(Too1-T1)/(1/h1+sA/lbdA);
Qp2_r=-(Too2-T2)/(1/h2+sD/lbdD+1/hC+1/hC);

Up3=(Qp2_l+Qp2_r)/sB;

%equazione di Poisson per lbdB
%c.c.: Qp''(0)=-Q''_left=-C1*lbdB
%e (T(sB)=T2)=-Up3*sB^2/(2*lbdB)+C1*sB+(C2=T1)
lbdB=(Up3*sB^2/2-Qp2_l*sB)/(T1-T2);

```

$Qp2l$	769.230769	$Qp2r$	1180.285344	$T1$	423.150000	$T2$	413.150000
$TAl$	392.380769	$TDr$	342.164267	$Too1$	373.150000	$Too2$	283.150000
$Up3$	97475.805647	$h1$	40.000000	$h2$	20.000000	$hC$	35.000000
$lbdA$	3.000000	$lbdB$	0.411055	$lbdD$	50.000000	$sA$	0.120000
$sB$	0.020000	$sC$	0.300000	$sD$	0.150000		

### Soluzione esercizio 3

%DATI

Mh=1.5; Mc=0.75; MMh=29; Rh=8314/29; Thi=800+273.15; Thu=150+273.15; L=-4e5; Sp=445;

%SOLUZIONE

$cPh=7/2 * Rh$ ;

$Qsh=Mh * cPh * (Thu - Thi)$ ;

$Qh=-Qsh$ ;

$Qc=-Qh-L$ ;

$Qsc=-Qc$ ;

$etal=-L/Qh$ ;

$%Sp=Mh * cPh * \ln(Thu/Thi) + Qsc/Tc$

$Tc=Qsc / (Sp - Mh * cPh * \log(Thu/Thi))$ ;

%nota Tc (= 313 K), si ricava dalla tabella dell'acqua a %saturazione il valore del calore di transizione di fase

$hls=167.53e3$ ;

$hvs=2573.5e3$ ;

$dhlv=hvs-hls$ ;

$x=Qsc / (Mc * dhlv)$ ;

L	-400000
MMh	29
Mc	0.7500
Mh	1.5000
Qc	-5.7833e+05
Qh	9.7833e+05
Qsc	5.7833e+05
Qsh	-9.7833e+05
Rh	286.6897
Sp	445
Tc	313.3373
Thi	1.0732e+03
Thu	423.1500
cPh	1.0034e+03
dhlv	2405970
etal	0.4089
hls	167530
hvs	2573500
x	0.3205