

Cognome e Nome _____ Matricola _____ Firma _____

Esercizi (penalizzazione errori secondo quanto indicato sulla pagina BEEP del corso)

Esercizio 1 (10 punti)

Un serbatoio sferico è costituito da nucleo solido di rame ($\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$, $c = 385 \text{ J/kg}$), di diametro $D_n = 50 \text{ mm}$, e da una corona sferica di spessore $s_c = 250 \text{ mm}$ all'interno della quale è contenuto azoto molecolare (N_2 , $MM = 28 \text{ kg/kmol}$) approssimabile a gas perfetto. Il nucleo solido è riscaldabile elettricamente per effetto Joule, potendo garantire una generazione interna di potenza costante e uniforme $U''' = 10^6 \text{ W/m}^3$, e si può assumere che il coefficiente di scambio termico tra nucleo e gas sia abbastanza elevato da poterli considerare costantemente alla stessa temperatura. Il guscio esterno del serbatoio, di spessore trascurabile, può essere approssimato a perfettamente rigido e adiabatico ed è dotato di una valvola di sicurezza che si apre automaticamente, lasciando fuoriuscire il gas, quando la pressione nella corona sferica raggiunge i 2 bar. Se inizialmente l'intero serbatoio, incluso l'azoto, è a $T_0 = 25 \text{ °C}$ e l'azoto è a $P_0 = 1 \text{ bar}$, e il riscaldatore elettrico viene mantenuto in funzione per un tempo $\Delta\tau = 10 \text{ min}$, determinare:

- la temperatura del gas nel momento in cui viene spento il riscaldatore;
- se il processo può essere completato senza che si apra la valvola di sicurezza;
- la variazione di entropia del serbatoio sferico.

Esercizio 2 (10 punti)

Una portata di aria umida entra in un condotto di diametro interno $D = 100 \text{ mm}$, spessore trascurabile e lunghezza $L = 10 \text{ m}$ con velocità $w_1 = 2 \text{ m/s}$ e in condizioni $T_1 = 20 \text{ °C}$, $P_1 = 1 \text{ bar}$ e $X_1 = 0.01$. La superficie esterna del condotto è approssimabile a superficie grigia avente emissività $\epsilon = 0.25$ e su di essa incide un flusso radiativo netto (con lunghezze d'onda nella banda dell'infrarosso) pari a $E_I''' = 1200 \text{ W/m}^2$. L'emissione radiativa da parte della superficie è trascurabile. Sapendo che il sistema è in condizioni stazionarie e approssimando la densità dell'aria umida a quella dell'aria secca, determinare la potenza assorbita dall'aria e la temperatura dell'aria umida in uscita dal condotto.

Esercizio 3 (13 punti)

Un freezer domestico è approssimabile come un parallelepipedo avente base quadrata di lato $W = 60 \text{ cm}$ e altezza $H = 120 \text{ cm}$. Quattro lati di tale parallelepipedo sono realizzate in un multistrato costituito da uno strato di materiale polimerico (conduttività $\lambda_p = 0.33 \text{ W/mK}$, spessore $s_p = 1 \text{ mm}$), uno strato di isolante (conduttività $\lambda_i = 0.027 \text{ W/mK}$, spessore $s_i = 50 \text{ mm}$) e uno strato di lega di alluminio (conduttività $\lambda_a = 180 \text{ W/mK}$, spessore $s_a = 0.25 \text{ mm}$). La faccia inferiore, appoggiata al pavimento, e quella posteriore possono invece essere approssimate a perfettamente adiabatiche. Esternamente alla faccia posteriore è posizionata la serpentina, di diametro interno $D_s = 4 \text{ mm}$, spessore trascurabile e lunghezza totale $L_s = 24 \text{ m}$, entro la quale condensa a $T_{fl} = 35 \text{ °C}$ il fluido di lavoro (un fluido refrigerante), che cede così calore all'aria della stanza, la cui T_∞ è 24 °C (il contributo dovuto al raffreddamento pre-condensazione del fluido di lavoro può essere considerato trascurabile). I coefficienti di scambio convettivo valgono rispettivamente: all'interno del freezer $h_{if} = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$, all'interno della serpentina $h_{is} = 3000 \text{ W/m}^2\text{K}$, all'esterno della serpentina $h_{es} = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$, all'esterno delle facce verticali e della faccia superiore del freezer $h_{ef} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sapendo che la temperatura interna del freezer deve essere mantenuta a $T_{if} = -18 \text{ °C}$ e ipotizzando un funzionamento in condizioni stazionarie, determinare la potenza richiesta dal freezer, i suoi parametri prestazionali di I e II Principio e l'irreversibilità per unità di tempo del processo.

Soluzioni

Soluzione esercizio 1

R=8314;

rhon=8900;

cn=385;

Rn=(50e-3)/2;

Up3=1e6;

sc=250e-3;

MM=28;

Rs=R/MM;

cvg=5/2*Rs;

T0=25+273.15;

P0=1e5;

rhog0=P0/(Rs*T0);

Dt=600; %in sec

Vn=4/3*pi*Rn^3;

Mn=Vn*rhon;

Vg=(4/3*pi*(Rn+sc)^3)-Vn;

Mg=Vg*rhog0;

Qp=Up3*Vn;

Q=Qp*Dt;

%Q=DUtot => Q=Mn*cn*(T1-T0)+Mg*cvg*(T1-T0)

T1=(Q+Mn*cn*T0+Mg*cvg*T0)/(Mn*cn+Mg*cvg);

%fino all'apertura della valvola la trasformazione è isocora

%=> PV=MRT; R,V = cost => P1/P0=T1/T0, P1=T1/T0*P0;

P1=T1/T0*P0;

DS=Mn*cn*log(T1/T0)+Mg*cvg*log(T1/T0);

DS	109.0300
Dt	600
MM	28
Mg	0.0983
Mn	0.5825
PO	100000
P1	1.4431e+05
Q	3.9270e+04
Qp	65.4498
R	8314
Rn	0.0250
Rs	296.9286
TD	298.1500
T1	430.2588
Up3	1000000
Vg	0.0870
Vn	6.5450e-05
cn	385
cvg	742.3214
rhog0	1.1296
rhon	8900
sc	0.2500

Soluzione esercizio 2

D=100e-3;

L=10;

wi=2;
 ti=20;
 Ti=ti+273.15;
 Pi=1e5;
 Xi=0.01;

Rsa=287; %aria secca
 Rsh=462; %acqua
 rhoi=Pi/(Rsa*Ti);
 Mpau=rhoi*wi*pi*D^2/4;

Mpas=Mpau/(1+Xi);
 cpas=7/2*Rsa;
 cpv=4*Rsh;
 lambdaLV=2501000;
 hi=cpas*ti+Xi*(lambdaLV+cpv*ti);

Ep2=1200;
 Al=pi*D*L; %area laterale del condotto
 %superficie grigia con eps=0.25 significa che - assumendo valida la legge
 %di Kirchhoff - anche il coefficiente di assorbimento è alfa=0.25,
 alfa=0.25;
 Qp=alfa*Ep2*Al;

%bilancio energetico
 %Qp=Mpas*(hu-hi) => hu=hi+Qp/Mpas
 hu=hi+Qp/Mpas;

%il puro riscaldamento è iso-X, per cui:
 Xu=Xi;

%hu=cpas*tu+Xu*(lambdaLV+cpv*tu);

```
tu=(hu-Xu*lambdaLV)/(cpas+Xu*cpv);
```

Al	3.1416
D	0.1000
Ep2	1200
L	10
Mpas	0.0185
Mpau	0.0187
Pi	100000
Qp	942.4778
Rsa	287
Rsh	462
Ti	293.1500
Xi	0.0100
Xu	0.0100
alfa	0.2500
cpas	1.0045e+03
cpv	1848
hi	4.5470e+04
hu	9.6455e+04
lambdaLV	2501000
rhoi	1.1886
ti	20
tu	69.8399
wi	2

Soluzione esercizio 3

```
W=0.6;  
H=1.2;
```

```
kp=0.33;  
sp=1e-3;  
ki=0.027;  
si=50e-3;  
ka=180;  
sa=0.25;
```

```
Ds=4e-3;  
Ls=24;
```

```
Tf1=35+273.15;  
Too=24+273.15;  
Tif=-18+273.15;
```

```
hif=10;  
hef=5;  
his=3000;  
hes=20;
```

```
%calcolo del calore ricevuto dall'interno del freezer  
Af=3*W*H+W*W; %3 facce laterali + quella superiore
```

```
%calcolo della resistenza totale  
RtotC=(1/hif+sp/kp+si/ki+sa/ka+1/hef)/Af;
```

```
%calcolo del calore che la sorgente fredda (che è l'interno del freezer) riceve  
dall'esterno, e  
%che quindi il fluido di lavoro deve strappare alla sorgente fredda  
Qext_int=-(Tif-Too)/RtotC;  
QSC=-Qext_int;
```

```
QC=-QSC;
```

```
%calcolo del calore ceduto dal fluido di lavoro, durante la condensazione, alla sorgente calda
```

```
As=pi*Ds*Ls;
```

```
RtotH=(1/his+1/hes)/As;
```

```
QSH=-(Too-Tfl)/RtotH;
```

```
QH=-QSH;
```

```
%potenza richiesta
```

```
L=-QH-QC;
```

```
eps=QC/L;
```

```
epsCR=Tif/(Too-Tif);
```

```
etaII=eps/epsCR;
```

```
%irreversibilità
```

```
SP=QSH/Too+QSC/Tif;
```

Af	2.5200
As	0.3016
Ds	0.0040
H	1.2000
L	16.8263
Ls	24
QC	49.0847
QH	-65.9110
QSC	-49.0847
QSH	65.9110
Qext_int	49.0847
RtotC	0.8557
RtotH	0.1669
SP	0.0294
Tfl	308.1500
Tif	255.1500
Too	297.1500
W	0.6000
eps	2.9171
epsCR	6.0750
etall	0.4802
hef	5
hes	20
hif	10
his	3000
ka	180
ki	0.0270
kp	0.3300
sa	0.2500
si	0.0500
sp	1.0000e-03