

Cognome e Nome _____ Matricola _____ Firma _____

Teoria (10 punti a domanda, penalizzazione errori secondo quanto indicato sul portale BEEP)

1. 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.
2. Descrivere le condizioni in cui un gas può essere trattato come ideale; riportare un'equazione di stato di un modello di gas reale e descrivere il significato fisico dei termini che vi appaiono.
3. Scrivere l'equazione di conservazione della massa: a) in forma finita per un sistema avente molti ingressi e molte uscite in condizioni di transitorio, b) in forma differenziale per un sistema a singolo ingresso e singola uscita in condizioni stazionarie

Esercizi (penalizzazione errori secondo quanto indicato su BEEP)

Esercizio 1 (9 punti)

In un sistema fluente una portata $M_{N_2} = 2 \text{ kg/s}$ di azoto a pressione atmosferica e $T_{N_{2i}} = 333 \text{ K}$ viene miscelata con una portata $M_{O_2} = 0.5 \text{ kg/s}$ di ossigeno anch'essa a pressione atmosferica e a $T_{O_{2i}} = 293 \text{ K}$. Le sezioni di passaggio sono dimensionate per rendere trascurabili le variazioni di velocità; le perdite di carico sono anch'esse trascurabili così come le interazioni chimiche tra i due gas. Sapendo inoltre che durante il processo di miscelamento viene ceduta dai due gas una potenza termica $Q = 1 \text{ kW}$ ad un ambiente esterno a $T_{EXT} = 10 \text{ °C}$ (approssimabile a costante), determinare:

- 1) la temperatura di uscita della miscela;
- 2) la variazione entropica dei gas;
- 3) l'irreversibilità totale del processo.

Esercizio 2 (12 punti) Una pompa di calore reale riscalda una portata d'aria di 2 kg/s , a pressione ambiente, dalla temperatura di 18 °C a 28 °C e raffredda una portata d'acqua di 1 kg/s a pressione ambiente dalla temperatura di 14 °C a 10 °C . Si determini:

- 1) il COP della macchina;
- 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 1 kW venga dispersa dallo scambiatore dell'aria verso l'ambiente esterno a 7 °C .


Esercizio 3 (12 punti) Una barra d'acciaio cilindrica ($k=60 \text{ W/(mK)}$, $\rho=8000 \text{ kg/m}^3$, $C=450 \text{ J/(Kg K)}$), con diametro pari a 1 cm e lunghezza di 1 m , è alla temperatura iniziale di 230 °C . In seguito è immersa in un flusso di aria alla temperatura di 20 °C e velocità pari a 5 m/s , che la lambisce perpendicolarmente alla lunghezza e la raffredda fino a 25 °C . Si determini:

- 1) il coefficiente di scambio termico convettivo;
- 2) se è possibile utilizzare il metodo dei parametri concentrati;
- 3) il tempo necessario affinché la barra raggiunga $T=25 \text{ °C}$;
- 4) l'espressione della potenza termica ceduta nel tempo.

Proprietà dell'aria a pressione ambiente

Temperatura K	Conducibilità termica $W/(mK)$	Viscosità dinamica $kg/(m \cdot s)$	Viscosità cinematica m^2/s	Numero di Prandtl Pr
200	0.0181	1.34×10^{-5}	0.76×10^{-5}	0.740
250	0.0223	1.61×10^{-5}	1.14×10^{-5}	0.724
280	0.0246	1.75×10^{-5}	1.40×10^{-5}	0.717
290	0.0253	1.80×10^{-5}	1.48×10^{-5}	0.714
300	0.0261	1.85×10^{-5}	1.57×10^{-5}	0.712
310	0.0268	1.90×10^{-5}	1.67×10^{-5}	0.711
320	0.0275	1.94×10^{-5}	1.77×10^{-5}	0.710
330	0.0283	1.99×10^{-5}	1.86×10^{-5}	0.708
340	0.0290	2.03×10^{-5}	1.96×10^{-5}	0.707
350	0.0297	2.08×10^{-5}	2.06×10^{-5}	0.706
400	0.0331	2.29×10^{-5}	2.60×10^{-5}	0.703

Correlazioni per la previsione del coefficiente convettivo per flusso esterno alla barra

Sezione trasversale del cilindro	Fluido	Campo di Re	Numero di Nusselt
Cerchio 	Gas o liquido	0.4-4	$Nu = 0.989 Re^{0.330} Pr^{1/3}$
		4-40	$Nu = 0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$
		40-4000	$Nu = 0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$
		4000-40 000	$Nu = 0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$
		40 000-400 000	$Nu = 0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$

SOLUZIONE ESERCIZIO 1

```
%DATI
MMN2=28;
MMO2=32;
MN2=2;
MO2=0.5;
TN2i=333;
TO2i=293;
Text=10+273.15;
Q=-1000;
R=8314;
Ptot=1e5;

%SOLUZIONE
cpO2=7/2*R/MMO2;
cpN2=7/2*R/MMN2;
%dato che la complessità molecolare è la stessa cpmix si può riscoprire e si ottiene:
Tm=(MN2*cpN2*TN2i+MO2*cpO2*TO2i+Q)/(MN2*cpN2+MO2*cpO2);
%il contributo delle temperature al DS:
DS_gas_noP=MN2*cpN2*log(Tm/TN2i)+MO2*cpO2*log(Tm/TO2i);
%più il contributo delle pressioni:
NN2=MN2/MMN2;
NO2=MO2/MMO2;
PpN2=NN2/(NN2+NO2)*Ptot;
PpO2=NO2/(NN2+NO2)*Ptot;
DS_gas_soloP=-MN2*R/MMN2*log(PpN2/Ptot)-MO2*R/MMO2*log(PpO2/Ptot);
%il DS totale dei gas
DS_gas_conP=DS_gas_noP+DS_gas_soloP;
%il DS dell'esterno
DS_ext=-Q/Text;
%il DS totale
DStot=DS_gas_conP+DS_ext;

DS_ext          3.5317
DS_gas_conP     340.5146
DS_gas_noP      -0.0993
DS_gas_soloP    340.6139
DStot           344.0463
MMN2            28
MMO2            32
MN2             2
MO2             0.5000
NN2             0.0714
NO2             0.0156
PpN2            8.2051e+04
PpO2            1.7949e+04
Ptot            100000
Q               -1000
R               8314
TN2i            333
TO2i            293
Text            283.1500
Tm              325.4258
cpN2            1.0393e+03
cpO2            909.3438
```

SOLUZIONE ESERCIZIO 2

%DATI

```
Ma=2;
Mh=1;
Tai=18+273.15;
Tau=28+273.15;
Thi=14+273.15;
Thu=10+273.15;
```

```
Qdisp=1e3;
Text=7+273.15;
```

```
cph=4186;
cpa=1000;
```

%SOLUZIONE

%potenze scambiate (punto di vista sorgente)

```
QSC=Mh*cph*(Thu-Thi);
QSH=Ma*cpa*(Tau-Tai);
```

%potenza meccanica richiesta

```
L=-(-QSH)-(-QSC);
```

%COP

```
COP=QSH/L;
```

%irreversibilità

```
DS=Ma*cpa*log(Tau/Tai)+Mh*cph*log(Thu/Thi);
```

%per avere potenza meccanica minima deve essere $DS = 0$,

%da cui dovendo mantenere la stessa QSH l'unica incognita è Thu_id:

```
Thu_id=Thi*(Tau/Tai)^(-(Ma*cpa)/(Mh*cph));
```

```
QSC_id=Mh*cph*(Thu_id-Thi);
```

```
L_id=-(-QSH)-(-QSC_id);
```

%DS includendo lo scambio con l'esterno

```
DS_con_disp=DS+Qdisp/Text;
```

COP	6.1425
DS	8.8188
DS_con_disp	12.3883
L	3256
L_id	761.5775
Ma	2
Mh	1
QSC	-16744
QSC_id	-1.9238e+04
QSH	20000
Qdisp	1000
Tai	291.1500
Tau	301.1500
Text	280.1500
Thi	287.1500
Thu	283.1500
Thu_id	282.5541
cpa	1000
cph	4186

SOLUZIONE ESERCIZIO 3

```
%DATI
lbd_s=60;
rho_s=8000;
c=450;
D=1e-2;
L=1;
Tsi=230+273.15;
Too=20+273.15;
woo=5;
Tsf=25+273.15;
P=1e5;
R=8314/29;

%SOLUZIONE

%stima di h
%valutando per semplicità le proprietà termofisiche ad una Tfilm media tra inizio e fine
Tfilm=((Tsi+Tsf)/2+Too)/2;
rho_film=P/(R*Tfilm);
vi_film=2.01e-5;
Re=rho_film*woo*D/vi_film;
Pr=0.7066;
Nu_D=0.683*Re^0.466*Pr^(1/3);
lbd_f=0.0294;
h=Nu_D*lbd_f/D;

%Bi<<1? (trascurando lo scambio attraverso le basi)
Bi=h*(pi*D^2/4*L)/(pi*D*L)/lbd_s;

%tempo necessario:
tau=-rho_s*c*(pi*D^2/4*L)/(h*(pi*D*L))*log((Tsf-Too)/(Tsi-Too));

%espressione della potenza ceduta:
%Q(0->tau)=integrale tra 0 e tau di: - h A (theta_I exp [-h A tau / (rho c V)] - Too)
dtau

Bi                0.0029
D                 0.0100
L                 1
Nu_D              23.3178
P                 100000
Pr                0.7066
R                 286.6897
Re                2.5013e+03
Tfilm             346.9000
Too               293.1500
Tsf               298.1500
Tsi               503.1500
c                 450
h                 68.5542
lbd_f             0.0294
lbd_s             60
rho_film          1.0055
rho_s             8000
tau               490.6925
vi_film           2.0100e-05
woo               5
```