



4. Determinare i profili generali del flusso termico e della temperatura in funzione del raggio per un cilindro di lunghezza indefinita omogeneo ed isotropo, tramite l'integrazione dell'equazione della conduzione in condizioni stazionarie e con generazione di potenza.
5. Scrivere la definizione ed il significato dei gruppi adimensionali Nusselt e Biot
6. Rappresentare in un diagramma T-s un ciclo Rankine con un solo surriscaldamento.
7. Ricavare, partendo dalla definizione di rendimento isoentropico, l'espressione di tale grandezza per una turbina che processi gas ideale, in funzione delle temperature ad inizio e fine espansione

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

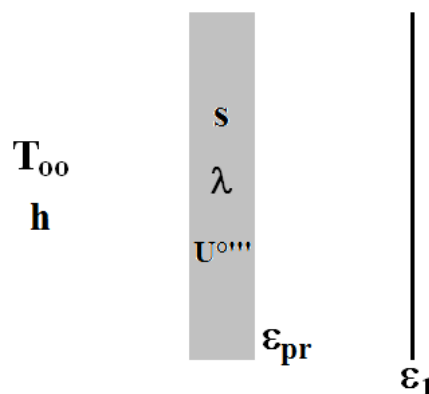
**Esercizi (penalizzazione errori secondo quanto indicato sulla pagina BEEP del corso)**

**Esercizio 1 (10 punti)**

Un recipiente chiuso contiene acqua liquida a 25 °C e vapore d'acqua saturo a 50 °C. Per ciascuna fase è presente una massa pari a 1 kg. Durante il miscelamento tra le fase, attraverso i contorni del recipiente la miscela cede all'ambiente esterno, che si trova ad una temperatura  $T_E = 15$  °C, una quantità di calore pari a  $Q = 1$  kJ. Sapendo che il recipiente è costantemente mantenuto a pressione costante, determinare lo stato finale della miscela, la variazione entropica della miscela (commentandone il segno) e l'irreversibilità del processo.

**Esercizio 2 (10 punti)**

Si consideri la parete piana rappresentata in figura. Ha uno spessore  $s = 20$  mm, è fatta di un materiale avente conduttività  $\lambda = 0.5$  W/mK ed è riscaldata elettricamente (generazione interna di potenza uniforme  $U'''$ ). La faccia sinistra della parete, che è a temperatura  $T_{pl} = 210$  °C, è lambita da aria con  $T_\infty = 22$  °C,  $h = 6.5$  W/m<sup>2</sup>K. Sul lato destro, la temperatura della parete è  $T_{pr} = 200$  °C e la parete è affacciata verso una sottile superficie, mantenuta ad una temperatura costante e uniforme. Le emissività della superficie sottile è  $\epsilon_1 = 1$ , mentre l'emissività della faccia destra della parete è  $\epsilon_{pr} = 0.75$ . Sapendo che il sistema è in condizioni stazionarie, che l'irraggiamento è trascurabile a sinistra della parete e la convezione è trascurabile a destra, calcolare il valore della generazione interna di potenza  $U'''$  nella parete e la temperatura della superficie sottile.



Se si introducesse fra la superficie sottile e la parete piana un'altra superficie sottile con  $\epsilon_s = 1$ , che valore assumerebbe la temperatura di quest'ultima?

**Esercizio 3 (13 punti)**

Una portata di azoto a  $T_1 = 200$  K e  $P_1 = 10$  bar attraversa un condotto rettilineo lungo  $L = 10$  m, di spessore trascurabile, con diametro interno che varia linearmente fra ingresso e uscita da 30 cm a 25 cm, coibentato con un isolante di spessore  $s = 1$  cm e conducibilità  $\lambda_{is} = 0.1$  W/mK, subendo un incremento di temperatura di 2 K e una riduzione di pressione di 0.3 bar. La velocità nelle sezione di ingresso è  $w_1 = 2$  m/s. Il condotto è esternamente investito da una corrente d'aria a  $T_e = 15$  °C. Si determini, motivando tutte le approssimazioni che si adottano:

- 1) la potenza termica dispersa verso l'ambiente;
- 2) il coefficiente di scambio termico convettivo lato interno ( $\mu_{azoto} = 1.3 \cdot 10^{-5}$  Pa s,  $\lambda_{azoto} = 0.02$  W/mK);
- 3) il coefficiente di scambio termico convettivo lato esterno;
- 4) l'irreversibilità del processo.

Acqua satura: tabella in temperatura

Temp. $T$ °C	Press. sat. $p_{sat}$ kPa	Volume specifico m <sup>3</sup> /kg		Energia interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropia kJ/(kg · K)		
		Liquido sat. $v_l$	Vapore sat. $v_u$	Liquido sat. $u_l$	Evap. $u_{lu}$	Vapore sat. $u_u$	Liquido sat. $h_l$	Evap. $h_{lu}$	Vapore sat. $h_u$	Liquido sat. $s_l$	Evap. $s_{lu}$	Vapore sat. $s_u$
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763

Correlazioni per il calcolo di Nu e f (friction factor) per flusso all'interno di tubi

Re > 4000 Turbolento	$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$	$n = 0.4$ riscaldamento
	$f = 0.184 Re^{-0.2}$	$n = 0.3$ raffreddamento
Re < 2500 Laminare	$Nu = 4.36$	flusso termico costante
	$Nu = 3.66$	T superficiale costante
	$f = 64/Re$	

## Soluzioni

### Soluzione esercizio 1

```
%DATI
Ml=1;
Mv=1;
Q=-1e3;
Te=15+273.15;

Tl=25+273.15;
Tv=50+273.15;

cpl=4186;

hl25=105e3; %cpl*(Tl-273.15);
hl50=209e3;
hv=2592.1e3; %da tabella

sl25=367; %cpl*log(Tl/273.15)*2;
sl50=704;
sv=8.0763e3; % da tabella

%bilancio entalpico:
hm=(Ml*hl25+Mv*hv+Q)/(Ml+Mv);

%hm indica che la miscela È nella regione bifase
%liquido-vapore
xm=(hm-hl50)/(hv-hl50);

sm=xm*sv+(1-xm)*sl50;

DSm=(Ml+Mv)*sm-(Ml*sl25+Mv*sv);
%positiva malgrado ceda calore a causa dell'entropia
%di miscelamento

DSe=-Q/Te;

DSirr=DSm+DSe;
```

name	value
DSe	3.4704
DSirr	15.6450
DSm	12.1746
Ml	1
Mv	1
Q	-1000
Te	288.1500
Tl	298.1500
Tv	323.1500
cpl	4186
hl25	105000
hl50	209000
hm	1348050
hv	2592100
sl25	367
sl50	704
sm	4.2277e+03
sv	8.0763e+03
xm	0.4780

### Soluzione esercizio 2

```
%DATI
s=20e-3;
k=0.5;
Tpl=210+273.15;
Tpr=200+273.15;
Too=22+273.15;
h=6.5;
eps1=1;
epspr=0.75;
epss=1;
sigma=5.67e-8;

%SOLUZIONE
%a sinistra si ha flusso convettivo
%scritto entrante nella parete
Qp2sx=-h*(Tpl-Too);

%nella parete si puó determinare U∞''' dall'integrazione dell'equazione di
%Poisson
%T(x)=-Up3/(2*k)*x2+C1*x+C2, Qp2(x)=Up3*x-k*C1
%quindi sapendo tutto a sinistra:
%T(0)=Tpl=C2;
%Qp2(0)=-k*C1=Qp2sx;
C2=Tpl;
```

C1	2444
C2	483.1500
Qp2dx	1722
Qp2dx_B	1722
Qp2sx	-1222
Qptot	2944
T1	313.2153
Too	295.1500
Tpl	483.1500
Tpr	473.1500
Ts	313.2153
Up3	147200
eps1	1
epspr	0.7500
epss	1
h	6.5000
k	0.5000
s	0.0200
sigma	5.6700e-08

```

C1=-Qp2sx/k;
%e infine:
%T(s)=-Up3/(2*k)*s^2+C1*s+C2=Tpr
Up3=- (Tpr-C2-C1*s)*2*k/s^2;
Qp2dx=Up3*s-k*C1;

%per verifica
Qptot=Up3*s;
Qp2dx_B=Qptot+Qp2sx;

%a destra flusso radiativo tra piani paralleli,
%scritto orientato in uscita dalla parete piana
%Qp2dx=-sigma*(T1^4-Tpr^4)/(1/epspr+1/eps1-1);
T1=(Tpr^4-Qp2dx*(1/epspr+1/eps1-1)/sigma)^(1/4);

%introducendo la parete sottile schermo:
%bilancio termico sulla superficie 2 in condizioni stazionarie
% -sigma*(T2^4-T1^4)/(1/eps1+1/eps2-1) - sigma*(T2^4-Tpr^4)/(1/epspr+1/eps2-1) =0
Ts=(Tpr^4-Qp2dx*(1/epspr+1/eps2-1)/sigma)^(1/4);

```

### Soluzione esercizio 3

ESERCIZIO C					
T1	200 K	Qin	5,20 kW		
P1	1,00E+06 Pa				
Din	0,3 m	L	10 m		
Dout	0,25 m	T aria	288 K		
sis	0,01 m	R	296,93 J/kg/k		
De in	0,32	Cp	1,05 kJ/kg/k		
De out	0,27	M azoto	28 g/mol		
w1	2 m/s	DeltaP	3,00E+04 Pa		
w2	3 m/s	k isol	0,1 W/m K		
Sez in	0,07 m2				
Sez out	0,05 m2				
ro1	16,84 kg/m3				
ro2	16,17 kg/m3	T2	202 K		
m	2,38 kg/s				
P2	970000,00 Pa				
T3=	203,85 K				
W=	4,41 kW				
<b>Proprietà fisiche azoto a 800 K</b>					
Ti1=	200 K				
Ti2=	202,0833333 K				
lambda	0,054 W/mK				
mu	3,52E-05 kg/m/s				
Pr	6,84E-01				
Cpi	1,05 KJ/KgK				
ro	16,50 kg/m3				
<b>Svolgimento</b>					
mi=	2,38 kg/s	Al=	8,64 m2		
Re=	257848	(turbolento)	Q=U A  DTml		
Nu=0,023*Re^0,8*Pr^0,3=	437,95		1/Ui=1/hi+Di*ln(De/Di)/2λ+1/he*Di/De		
hi=Nu*lambda/D=	86,0 W/m2K	Ui	7,00 W/m2K		
Q=U A  DTml		Q in	5,26 kW		
DTml=(DT1-DT2)/ln(DT1/DT2)		F	0,99		
DT1=Ti1-Te2=	88 K	h2	27 W/m2K		
DT2=Ti2-Te1=	85,9 K	DSgas	0,047 kW/k		
DTml=DT=	87,0 K	DSq	-0,018 kW/k		
		DS irr	0,029 kW/k		