

Nome \_\_\_\_\_ Matricola \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

**Teoria (10 punti a domanda, errori lievi/medi/gravi determinano -1/-3/-7)**

1. Scrivere le equazioni di partenza e le ipotesi necessarie per ricavare l'equazione generale della conduzione

---

---

---

2. Esprimere il rendimento di un ciclo Joule diretto in funzione di 1) scambi energetici, 2) temperature

---

---

---

3. Scrivere due enunciati del Secondo Principio della Termodinamica e mostrarne l'equivalenza.

---

---

---

**Esercizi (10 punti ad esercizio, errori lievi/medi/gravi determinano -1/-3/-7)**

1. Una massa  $M_{Fe} = 40$  kg di ferro ( $C_p = 450$  J/kgK) inizialmente a  $T_{Fe1} = 550$  °C, cede calore a pressione costante a un ciclo di Carnot diretto. A sua volta tale ciclo cede calore a una sorgente fredda (pozzo) a  $T_C = 20$  °C. Sapendo che il calore assorbito dal ciclo è  $Q_H = 3$  MJ e che il suo rendimento di Primo Principio  $\eta_I$  è pari a 0.25, determinare il lavoro fornito dal ciclo e l'irreversibilità totale del processo.

2. Una parete piana indefinitamente estesa lungo due direzioni spaziali è costituita lungo la terza da tre strati: uno strato A ( $\lambda_A = 20$  W/mK,  $s_A = 0.2$  m) sede di generazione interna di potenza  $g = 5 \cdot 10^4$  W/m<sup>3</sup>, uno strato B ( $\lambda_B = 2$  W/mK,  $s_B = 0.5$  m) puramente passivo, uno strato C ( $\lambda_C = 20$  W/mK,  $s_C = 0.2$  m) sede di generazione interna di potenza  $g = 5 \cdot 10^4$  W/m<sup>3</sup>. Esternamente la parete è lambita da entrambi i lati da aria a  $T_{oo} = 20$  °C (coefficiente convettivo  $h = 30$  W/m<sup>2</sup>K). Ipotizzando di essere in condizioni stazionarie, determinare la potenza termica che fluisce attraverso lo strato B, la temperatura massima raggiunta nel sistema e la posizione in cui viene raggiunta.

3. Una portata  $m=100$  kg/s di vapor d'acqua alla temperatura di 650 °C e 175 bar viene espansa in una turbina con rendimento isoentropico  $\eta_{is} = 0.8$  fino alla pressione di 20 kPa. In uscita dalla turbina tale portata entra, dal lato mantello, in uno scambiatore di calore a fascio tubiero, dove condensa completamente con un coefficiente di scambio termico convettivo  $h_e$  pari a 5000 W/m<sup>2</sup>K. All'interno dei 5000 tubi dello scambiatore (diametro interno  $D_i = 30$  mm, spessore  $s = 2$  mm, conduttività pari a 300 W/mK) scorre una portata di acqua [ $\mu=0.857 \cdot 10^{-3}$  Kg/(m s),  $\lambda=0.608$  W/(m K)] che si riscalda da  $T_{Ci} = 25$  °C a  $T_{Cu} = 35$  °C.

Si determinino:

- il titolo di vapore all'uscita dalla turbina
- il lavoro fornito dalla turbina e la potenza termica scambiata nel condensatore
- il coefficiente di scambio termico convettivo  $h_i$  nei tubi
- la lunghezza dei tubi dello scambiatore



**ESERCIZIO 1**

$Q_h = MC(T_i - T_f) =$	3 MJ
$Q_c =$	2,25 MJ
$L =$	0,75 MJ
$\Delta S_h = MC \ln(T_f/T_i) =$	-4,072 kJ/K
$\Delta S_c = Q_c/T_c =$	7,675 kJ/K
$S_{irr} = \Delta S_h + \Delta S_c =$	3,603 kJ/K

**ESERCIZIO 2**

cond al contorno, flusso convettivo	$q = -k \frac{dT}{dx}(s) = h(T_p - T_{oo}) = g \cdot s_a$
$T_p =$	626 K
Profilo di T in A e C ( $x=0$ a interfaccia A/B e C/B $T = -g \cdot x^2 / (2k) + T_{max}$ )	
$T_{max} =$ (omogenea in tutto B)	676 K

**ESERCIZIO 3**

$h(650^\circ\text{C } 175 \text{ bar}) =$	3693,9 kJ/kg	$s(650^\circ\text{C } 175 \text{ bar}) =$	6,7357 kJ/kgK
$h(\text{vap sat } 20 \text{ kPa}) =$	2609,7 kJ/kg	$s(\text{vap sat } 20 \text{ kPa}) =$	7,9085 kJ/kgK
$h(\text{liq sat } 20 \text{ kPa}) =$	251,4 kJ/kg	$s(\text{liq sat } 20 \text{ kPa}) =$	0,832 kJ/kgK
$\eta_{\text{ta isoentropico}} =$	0,8		
$h_{\text{out is}} = X_{\text{is}} h_v + (1 - X_{\text{is}}) h_l =$	2218,9 kJ/kg	$X_{\text{is}} = (s - s_l) / (s_v - s_l) =$	0,83
$h_{\text{out}} = h - (h - h_{\text{out is}}) \cdot \eta_{\text{ta}} =$	2513,864 kJ/kg	$X = (h - h_l) / (h_v - h_l) =$	0,96
$P_{\text{turbina}} =$	118003,6		

**Proprietà fisiche acqua lato interno a 300 K**

$T_{i1} =$	308 K
$T_{i2} =$	298 K
$\lambda =$	0,608 W/mK
$n_i =$	$8,57 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
$Pr =$	5,66
$C_{pi} =$	4,177 kJ/kgK
$\rho =$	997 kg/m <sup>3</sup>

<b>Tubi</b>	
$v =$	1,538 m/s
$D_i =$	0,03 m
$s =$	0,002 m
$\lambda =$	300 W/mK
<b>Vapore Lato esterno 300 K</b>	
<b>Fattore area</b>	<b>1</b>
$m =$	100 kg/s
$q_{\text{evap}} =$	2262,464 kJ/kgK
$T_{e1} =$	333 K
$h_{\text{esterno}} =$	5000 W/m <sup>2</sup> K

**Svolgimento**

$DT_i =$	-10 K
$Q_e = m \cdot q_{\text{evap}} =$	226246,4 KW
$Q_e = Q_i = m_i \cdot C_{pi} \cdot DT_i$	
$m_i =$	5416,48 kg/s
$N_{\text{tubi}} =$	5000
$Re =$	53839 (turbolento)
$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} =$	280,37
$h_i = Nu \cdot \lambda /$	5682,2 W/m <sup>2</sup> K
$Q = U_i A_i \cdot DT_{ml}$	
$DT_{ml} = (DT_1 - DT_2) / \ln(DT_1 / DT_2)$	
$DT_1 = T_{i1} - T_{e2} =$	25 K
$DT_2 = T_{i2} - T_{e1} =$	35 K
$DT_{ml} = DT =$	29,7 K

$1/U_i = 1/h_i + D_i \cdot \ln(D_e/D_i) / 2\lambda + 1/h_e \cdot D_i/D_e$	
$U =$	2788 W/m <sup>2</sup> K
$A_i =$	2730,76 m <sup>2</sup>
$A_i = 3,14 \cdot D_i \cdot L \cdot N_{\text{tubi}}$	
$L =$	5,80 m