

ITIS FERMI TREVISO A.S. 2010/2011

SIMULAZIONE: SECONDA PROVA

INDIRIZZO: TERMOTECNICA

TEMA DI: TERMOTECNICA, MACCHINE A FLUIDO

ALUNNO 5 AT:

DATA:

Un impianto con turbina a vapore ha una potenza utile di 160 MW ed un rendimento utile di 0,43. La pressione di condensazione è di 0,1 bar e allo scarico della turbina l'entropia specifica è di 8,05 kJ/(kg·K). L'acqua condensatrice viene prelevata alla temperatura di 20 °C ed è scaricata a 30 °C.

- Eseguire lo schema dell'impianto e rappresentarlo nel diagramma entropico.
- Determinare le portate di vapore e di acqua condensatrice.
- Calcolare inoltre sia la portata di vapore spillata alla pressione di 1 bar e alla temperatura di 150 °C, necessaria a preriscaldare l'acqua di alimento fino alla temperatura di 90°C sia la superficie dello scambiatore di calore assumendo un coefficiente di scambio termico globale pari a 5000 W/m²K.

Il candidato assuma motivandolo ogni eventuale altro dato mancante.

Per lo svolgimento della simulazione è previsto l'utilizzo di Manuali tecnici.

Soluzione:

Dalla definizione di rendimento utile è possibile calcolare la potenza termica fornita al ciclo:

$$\eta = \frac{P_U}{\dot{Q}_1} \Rightarrow \dot{Q}_1 = P_U / \eta = 160 / 0.43 \cong 372,1 \text{ MW}$$

La potenza indicata del ciclo si ricava con la seguente espressione:

$$P_i = \dot{Q}_1 - \dot{Q}_2$$

Avendo la potenza utile se si ipotizza ragionevolmente un rendimento meccanico di 0,98 si può ricavare la potenza indicata del ciclo:

$$\eta_M = \frac{P_U}{P_i} \Rightarrow P_i = \frac{P_U}{\eta_M} = \frac{160}{0.98} \text{ MW} \cong 163,26 \text{ MW}$$

La potenza termica sottratta al ciclo risulta:

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_1 - P_i = 372,1 - 163,26 = 208,84 \text{ MW}$$

Allo scarico con

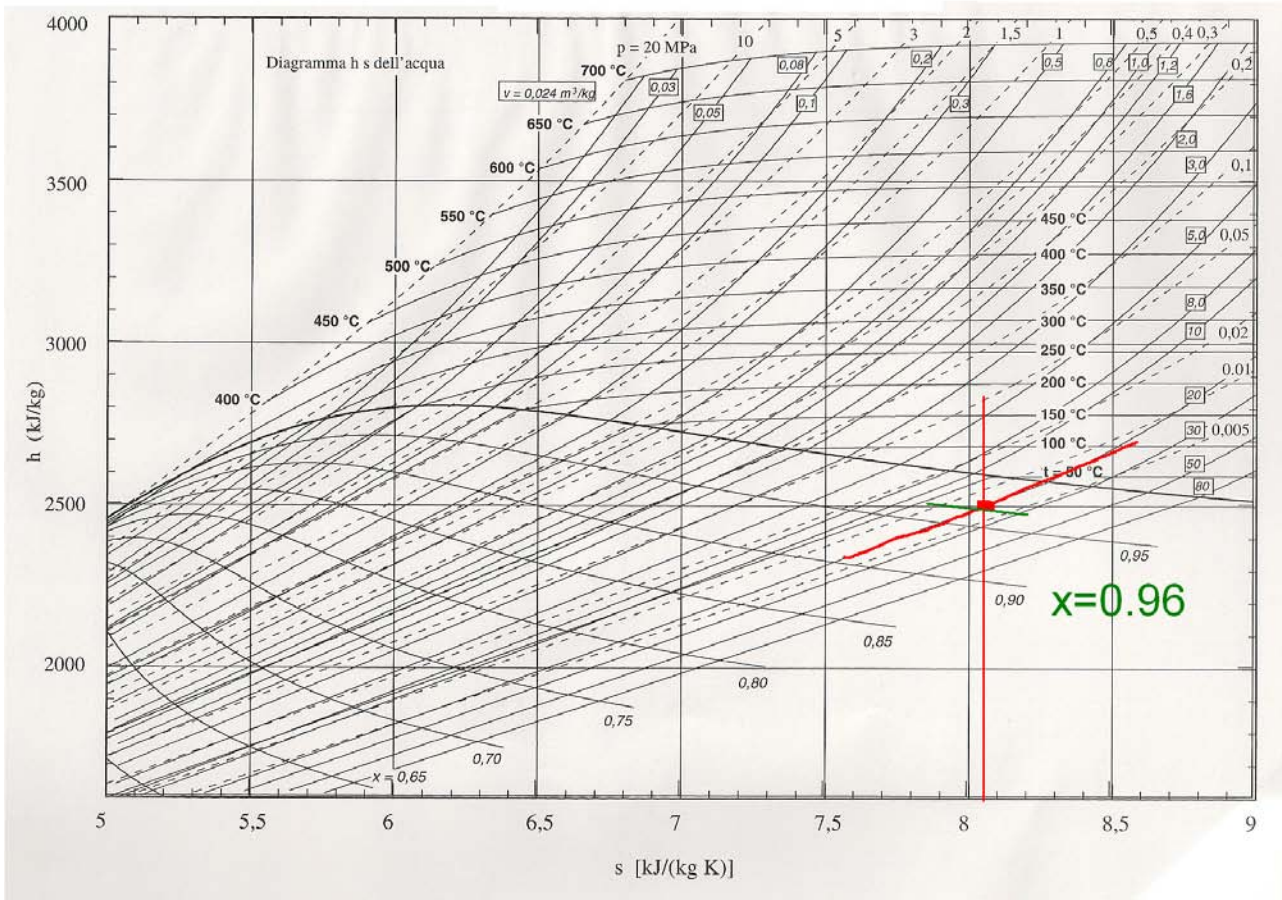
Alla pressione di condensazione di 0,1 bar e con un valore di entropia allo scarico di 8,05 kJ/(kg·K) dal grafico e dalle tabelle si ricava il calore latente di condensazione ed il titolo della miscela:

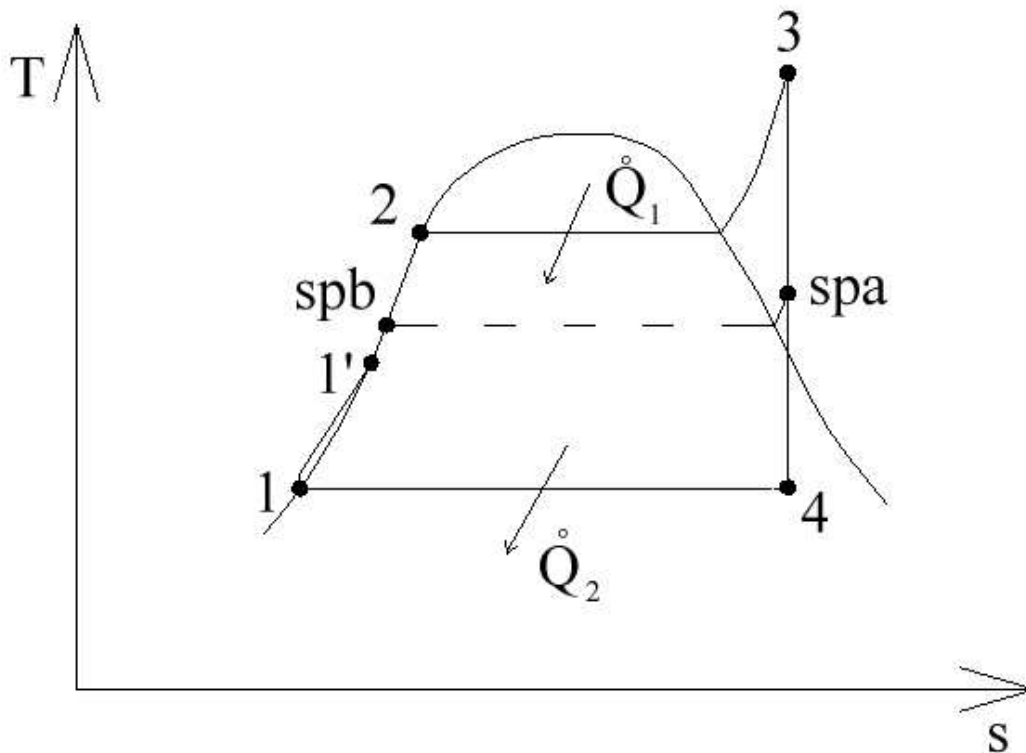
Tabella 15.1 Pressioni, temperature, volumi massici, entalpia ed entropia dell'acqua e del vapore (continua)

Pressione [bar]	Temperatura [°C]	Volume massico [m ³ /kg]		Entalpia [kJ/kg]		Entropia [kJ/(kg K)]	
		vl Liquido saturo	vs Vapore saturo	hl Liquido saturo	hs Vapore saturo	hl Liquido saturo	hs Vapore saturo
0,02	17,5	1×10 ⁻³	67,0	73,5	2534	0,261	8,72
0,03	24	1×10 ⁻³	45,7	101,0	2546	0,354	8,58
0,04	29	1×10 ⁻³	34,8	121,5	2554	0,422	8,47
0,05	33	1×10 ⁻³	28,2	137,8	2562	0,476	8,4
0,075	40	1×10 ⁻³	19,2	168,8	2575	0,576	8,25
0,1	46	1,01×10 ⁻³	14,7	191,8	2585	0,649	8,15
0,2	60	1,02×10 ⁻³	7,65	251,4	2610	0,832	7,91
0,3	69	1,02×10 ⁻³	5,23	289,2	2625	0,944	7,77
0,4	76	1,03×10 ⁻³	3,99	317,6	2637	1,03	7,67
0,5	81	1,03×10 ⁻³	3,24	340,5	2646	1,09	7,59
0,75	92	1,04×10 ⁻³	2,22	384,4	2663	1,21	7,46
1	99	1,04×10 ⁻³	1,69	417	2676	1,30	7,36
1,25	106	1,05×10 ⁻³	1,37	444	2685	1,37	7,28
1,75	116	1,06×10 ⁻³	1,00	487	2701	1,48	7,17
2	120	1,06×10 ⁻³	0,89	505	2707	1,53	7,13
2,5	127	1,07×10 ⁻³	0,72	535	2716	1,61	7,05
3	134	1,07×10 ⁻³	0,61	561	2725	1,67	6,99
3,5	139	1,08×10 ⁻³	0,52	584	2732	1,73	6,94
4	144	1,08×10 ⁻³	0,46	605	2739	1,78	6,90
4,5	148	1,09×10 ⁻³	0,41	623	2744	1,82	6,86
5	152	1,09×10 ⁻³	0,37	640	2749	1,86	6,82
6	159	1,10×10 ⁻³	0,32	671	2756	1,93	6,76
7	165	1,10×10 ⁻³	0,27	697	2764	1,99	6,71
8	170	1,11×10 ⁻³	0,24	721	2769	2,05	6,66
9	175	1,12×10 ⁻³	0,21	742	2774	2,09	6,62
10	180	1,13×10 ⁻³	0,19	762	2778	2,14	6,59
11	184	1,13×10 ⁻³	0,18	781	2781	2,18	6,55
12	188	1,14×10 ⁻³	0,16	799	2784	2,22	6,52
13	192	1,14×10 ⁻³	0,15	814	2787	2,25	6,50
14	195	1,15×10 ⁻³	0,14	830	2790	2,28	6,47
15	198	1,15×10 ⁻³	0,13	845	2792	2,31	6,44
17,5	206	1,17×10 ⁻³	0,11	879	2796	2,39	6,39
20	212	1,17×10 ⁻³	0,10	909	2800	2,44	6,34
25	224	1,20×10 ⁻³	80×10 ⁻³	962	2803	2,50	6,30
30	234	1,21×10 ⁻³	67×10 ⁻³	1008	2804	2,65	6,19
35	243	1,23×10 ⁻³	57×10 ⁻³	1050	2803	2,73	6,13
40	250	1,25×10 ⁻³	50×10 ⁻³	1087	2801	2,80	6,07
50	264	1,29×10 ⁻³	39×10 ⁻³	1154	2794	2,92	5,97
60	276	1,32×10 ⁻³	32×10 ⁻³	1213	2784	3,03	5,89
70	286	1,35×10 ⁻³	27×10 ⁻³	1267	2772	3,12	5,81
80	295	1,38×10 ⁻³	24×10 ⁻³	1317	2758	3,21	5,74
90	303	1,42×10 ⁻³	20×10 ⁻³	1363	2742	3,29	5,68
100	311	1,45×10 ⁻³	18×10 ⁻³	1408	2725	3,36	5,61
110	318	1,49×10 ⁻³	16×10 ⁻³	1450	2706	3,43	5,55
120	325	1,53×10 ⁻³	14×10 ⁻³	1491	2685	3,50	5,49
130	331	1,58×10 ⁻³	13×10 ⁻³	1532	2662	3,56	5,43
140	337	1,61×10 ⁻³	11×10 ⁻³	1571	2637	3,62	5,37
150	342	1,66×10 ⁻³	10×10 ⁻³	1610	2610	3,8	5,31
160	347	1,71×10 ⁻³	93×10 ⁻⁴	1650	2580	3,75	5,25
170	352	1,77×10 ⁻³	84×10 ⁻⁴	1690	2547	3,81	5,18
180	357	1,84×10 ⁻³	75×10 ⁻⁴	1732	2509	3,87	5,10
190	362	1,92×10 ⁻³	67×10 ⁻⁴	1777	2464	3,94	5,02
200	366	2,04×10 ⁻³	58×10 ⁻⁴	1826	2409	4,01	4,93
210	370	2,21×10 ⁻³	50×10 ⁻⁴	1884	2334	4,11	4,80
221	374	3,16×10 ⁻³	32×10 ⁻⁴	2100	2099	4,43	4,43

$$r_{0,1bar} = h_s - h_l = 2585 - 191,8 = 2393,2 \frac{kJ}{kg}$$

DIAGRAMMA DI MOLLIER





Il titolo della miscela è di 0,96 mentre il salto entalpico nel condensatore è:

$$\Delta h_{\text{condensatore}} = r \cdot x = 2393,2 \cdot 0,96 \cong 2297,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

La portata di vapore che condensa si ricava nel seguente modo:

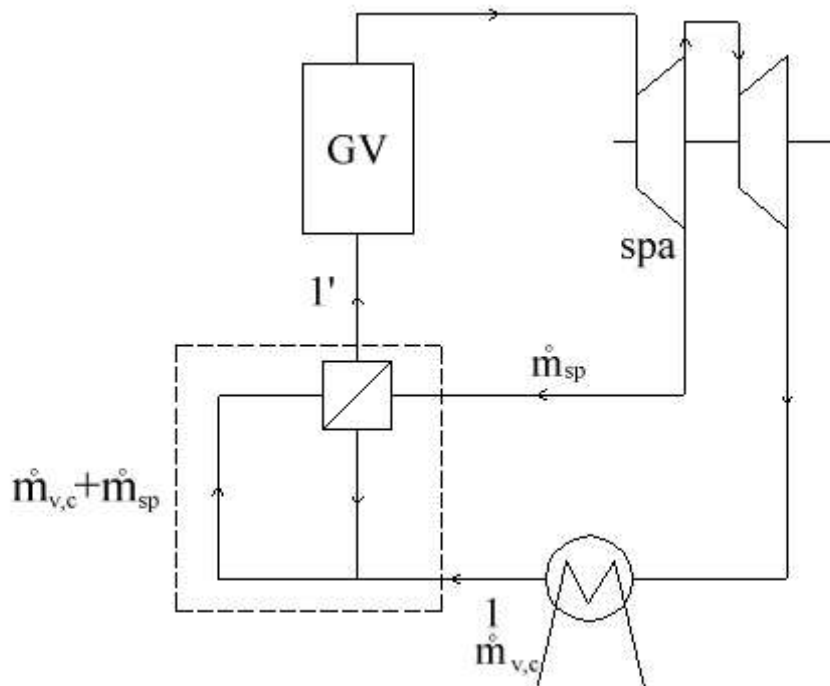
$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_v \cdot \Delta h_{\text{condensatore}} \Rightarrow \dot{m}_v = \frac{\dot{Q}_2}{\Delta h_{\text{condensatore}}} = \frac{208840 \text{ kW}}{2297,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \cong 90,9 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

La portata d'acqua necessaria a far condensare il vapore si ricava dall'eguaglianza delle potenze termiche nel condensatore:

$$\dot{Q}_2 = Q_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O} \text{ con } \begin{cases} \Delta T_{H_2O} : 10 \text{ K} \\ Q_{H_2O} : \text{portata volumetrica acqua } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ \rho_{H_2O} : \text{densità acqua} : 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ c_{H_2O} : \text{calore specifico acqua} = 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{cases}$$

$$\text{da cui : } Q_{H_2O} = \frac{\dot{Q}_2}{\rho_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O}} = \frac{208840}{1000 \cdot 4,187 \cdot 10} \cong 4,99 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

La portata di vapore che si deve spillare per consentire il preriscaldamento dell'acqua di alimento si può ricavare dal bilancio termico sul volume di controllo sotto rappresentato in tratteggiato:



$$\dot{m}_{v,c} h_1 + \dot{m}_{sp} h_{spa} = (\dot{m}_{v,c} + \dot{m}_{sp}) h'_1 \rightarrow \dot{m}_{sp} = \dot{m}_{v,c} \cdot \frac{h'_1 - h_1}{h_{spa} - h'_1}$$

dove:

- $h_{spa} = 2775 \text{ KJ/Kg}$ è l'entalpia del vapore alle condizioni di spillamento (dal diagramma di Mollier per $t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$; $p = 1 \text{ bar}$);
- $h'_1 = 376.77 \text{ KJ/Kg}$ è l'entalpia dell'acqua all'uscita del rigeneratore (dalle tabelle del vapor d'acqua per $t = 90 \text{ }^\circ\text{C}$);
- $h_1 = 191.83 \text{ KJ/Kg}$ è l'entalpia dell'acqua a fine condensazione (dalle tabelle del vapor d'acqua per $p_c = 0.1 \text{ bar}$).

La portata di spillamento vale quindi:

$$\dot{m}_{sp} = \dot{m}_{v,c} \cdot \frac{h'_1 - h_1}{h_{spa} - h'_1} = 90,9 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{(376,77 - 191,83)}{(2775 - 376,77)} \cong 7,01 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Per calcolare la superficie dello scambiatore di calore si parte dall'analisi della potenza termica fornita dal vapore spillato:

$$\dot{Q}_{sp} = K \cdot S \cdot \overline{\Delta T}$$

La differenza di temperatura media nello scambiatore è la seguente:

$$\overline{\Delta T} \cong T_{sp} - \frac{T'_1 + T_1}{2} \cong 31,7^\circ\text{C} \text{ essendo:}$$

T_{sp}	Temperatura di condensazione del vapore spillato ricavabile dalle tabelle del vapor d'acqua	99,6 °C
T_1	Temperatura di fine condensazione del ciclo ricavabile dalle tabelle del vapor d'acqua	45,83°C

La potenza termica fornita dal vapore spillato si determina così:

$$\dot{Q}_{sp} = \dot{m}_{sp} \cdot (h_{spa} - h_{spb}) = 7,01 \frac{kg}{s} \cdot (2775 - 417,51) \frac{kJ}{kg} \cong 16526 kW$$

Essendo h_{spb} l'entalpia di fine condensazione del vapore spillato, ricavabile dalle tabelle del vapor d'acqua per $p = 1$ bar ($h_{spb} = 417,51$ kJ/kg).

Pertanto la superficie dello scambiatore vale:

$$\dot{Q}_{sp} = K \cdot S \cdot \overline{\Delta T} \Rightarrow S = \frac{\dot{Q}_{sp}}{K \cdot \overline{\Delta T}} = \frac{16526 \cdot 10^3 W}{5000 \frac{W}{m^2 K} \cdot 31,7^\circ C} \cong 104,26 m^2$$