
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2016 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
Prova Pratica di Progettazione
TEMA N. 6: ENERGETICA - ENERGETICA

Si consideri un gruppo turbogas con inter-cooler e recupero termico dai gas di scarico della turbina. Il gruppo è caratterizzato da un rapporto di compressione pari a 20 (equamente ripartito tra i due tronchi di compressione) e da una temperatura di ingresso in turbina pari a 1300°C. La portata d'aria aspirata dal compressore risulta essere pari a 120 kg/s e il combustibile è caratterizzato da un potere calorifico inferiore pari a 50000 kJ/kg. Si ipotizzino inoltre perdite di carico pari al 2% ciascuna nell'attraversamento di inter-cooler e recuperatore, una perdita di carico del 3% dovuta alla camera di combustione. Il pinch-point relativo al recuperatore si assuma infine pari a 50°C.

Nel dettaglio si richiede di:

1. Rappresentare il layout del sistema.
2. Rappresentare sul diagramma termodinamico (T, s) le trasformazioni reali ed isoentropiche relative al ciclo in esame.
3. Determinare le prestazioni del gruppo turbogas (lavoro utile, rendimento termodinamico, rendimento totale, potenza totale, consumo di combustibile).

Si ipotizzi successivamente di utilizzare il suddetto gruppo turbogas come topper di un sistema integrato. Tale sistema ha per bottomer un Ciclo Rankine Organico (ORC) recuperato a base di toluene (ciclo Rankine, senza surriscaldatore, ma con rigeneratore che preriscalda il fluido in uscita dalla pompa sfruttando il contenuto entalpico ancora disponibile in uscita all'espansore). Per motivi di sicurezza viene interposto un circuito intermedio ad olio diatermico ($c_{p,oil} = 2.5 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, $T_{oil,max} = 300^\circ\text{C}$) tra i gas caldi provenienti dal turbogas e il toluene. Si assumano le seguenti ipotesi:

- la differenza di temperatura tra i gas al camino e l'olio diatermico in ingresso allo scambiatore gas-olio è pari a 25°C;
- il pinch point nell'evaporatore olio-toluene è di 5°C;
- il sottoraffreddamento nell'economizzatore olio-toluene è di 10 °C;
- il pinch point nel recuperatore del ciclo ORC è di 15°C;
- efficienza della pompa del ciclo ORC pari all'80%;

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2016 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
Prova Pratica di Progettazione
TEMA N. 6: ENERGETICA - ENERGETICA

- la perdita di carico attraverso il recuperatore del ciclo ORC è pari al 2% su entrambi i lati;
- il condensatore è ad acqua (alimentata a 15°C) e presenta un pinch point uguale a 10°C. Lo scambio termico avviene con $\Delta T_{H_2O} = 15^\circ\text{C}$;
- rendimento isoentropico espansore pari a 0.85;
- la pressione in ingresso all'espansore è di 22 bar.

Si richiede di:

1. Rappresentare il layout relativo al sistema integrato in esame.
2. Determinare gli stati fisici nelle sezioni dell'ORC e rappresentarli sul diagramma (*log p-h*) del toluene allegato.
3. Calcolare le prestazioni complessive del sistema (potenza generata, rendimento termodinamico).

Tutti i parametri non esplicitamente indicati ma utili ai fini del calcolo vengano scelti in base a considerazioni di buon progetto e motivati di conseguenza.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2016 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 Prova Pratica di Progettazione
 TEMA N. 6: ENERGETICA - ENERGETICA

Tabella – Proprietà termodinamiche toluene

		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
Temperature	Pressure	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
(°C)	(MPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)	(kJ/kg-K)
-10	0.00046423	893.59	0.019563	-215.75	218.48	-0.66981	0.98033
-5	0.00065225	889.05	0.02698	-207.73	223.44	-0.6396	0.96836
0	0.00090308	884.5	0.036681	-199.64	228.5	-0.60971	0.95772
5	0.0012332	879.96	0.049205	-191.48	233.66	-0.5801	0.94834
10	0.0016623	875.4	0.065179	-183.24	238.9	-0.55075	0.94014
15	0.0022133	870.84	0.08532	-174.93	244.24	-0.52166	0.93305
20	0.0029131	866.26	0.11044	-166.55	249.67	-0.49281	0.927
25	0.0037926	861.68	0.14146	-158.08	255.19	-0.46419	0.92193
30	0.0048868	857.08	0.1794	-149.54	260.8	-0.43578	0.91779
35	0.0062354	852.47	0.22539	-140.91	266.49	-0.40757	0.91452
40	0.0078831	847.84	0.28068	-132.21	272.26	-0.37955	0.91207
45	0.0098793	843.2	0.34662	-123.42	278.12	-0.35171	0.9104
50	0.012279	838.53	0.42468	-114.55	284.06	-0.32405	0.90946
55	0.015141	833.84	0.51645	-105.59	290.08	-0.29655	0.9092
60	0.018532	829.13	0.62362	-96.544	296.17	-0.26921	0.90959
65	0.022523	824.4	0.74802	-87.411	302.34	-0.24201	0.91059
70	0.027188	819.63	0.89158	-78.19	308.58	-0.21496	0.91217
75	0.032611	814.84	1.0563	-68.879	314.9	-0.18804	0.91429
80	0.038878	810.02	1.2445	-59.477	321.28	-0.16125	0.91693
85	0.046081	805.16	1.4583	-49.984	327.73	-0.13458	0.92004
90	0.054318	800.27	1.7001	-40.398	334.24	-0.10803	0.92361
95	0.063693	795.34	1.9726	-30.72	340.82	-0.081593	0.9276
100	0.074312	790.37	2.2782	-20.946	347.45	-0.055261	0.932
105	0.086288	785.36	2.6199	-11.078	354.14	-0.029032	0.93678
110	0.09974	780.3	3.0005	-1.1144	360.89	-0.002901	0.94191
115	0.11479	775.19	3.4231	8.9465	367.69	0.023137	0.94737
120	0.13156	770.04	3.8908	19.105	374.54	0.049086	0.95314
125	0.15019	764.83	4.407	29.362	381.43	0.074949	0.95921
130	0.1708	759.56	4.9752	39.719	388.37	0.10073	0.96555
135	0.19354	754.23	5.5992	50.176	395.35	0.12644	0.97215
140	0.21856	748.84	6.2828	60.735	402.37	0.15207	0.97898
145	0.24598	743.38	7.0301	71.396	409.43	0.17763	0.98603

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2016 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 Prova Pratica di Progettazione
 TEMA N. 6: ENERGETICA - ENERGETICA

		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
Temperature	Pressure	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
(°C)	(MPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)	(kJ/kg-K)
150	0.27598	737.85	7.8456	82.161	416.52	0.20312	0.99328
155	0.30869	732.24	8.7338	93.031	423.63	0.22856	1.0007
160	0.34429	726.55	9.6997	104.01	430.77	0.25393	1.0083
165	0.38291	720.77	10.749	115.09	437.94	0.27925	1.0161
170	0.42474	714.9	11.886	126.28	445.12	0.30452	1.024
175	0.46993	708.94	13.118	137.59	452.32	0.32974	1.032
180	0.51866	702.86	14.452	149	459.52	0.35492	1.0402
185	0.5711	696.68	15.894	160.53	466.73	0.38006	1.0484
190	0.62743	690.37	17.452	172.18	473.94	0.40517	1.0567
195	0.68782	683.93	19.135	183.95	481.15	0.43025	1.0651
200	0.75246	677.35	20.952	195.84	488.34	0.45531	1.0735
205	0.82155	670.62	22.914	207.85	495.51	0.48035	1.082
210	0.89526	663.73	25.032	219.99	502.66	0.50537	1.0904
215	0.9738	656.66	27.318	232.26	509.78	0.5304	1.0989
220	1.0574	649.4	29.788	244.67	516.85	0.55542	1.1074
225	1.1462	641.93	32.459	257.22	523.88	0.58046	1.1158
230	1.2405	634.23	35.347	269.91	530.84	0.60552	1.1241
235	1.3404	626.28	38.476	282.76	537.73	0.63062	1.1324
240	1.4462	618.05	41.87	295.76	544.53	0.65575	1.1405
245	1.5582	609.51	45.559	308.94	551.22	0.68095	1.1485
250	1.6766	600.62	49.575	322.29	557.8	0.70621	1.1564
255	1.8015	591.36	53.962	335.83	564.23	0.73157	1.164
260	1.9334	581.66	58.767	349.57	570.49	0.75704	1.1714
265	2.0725	571.47	64.05	363.53	576.55	0.78266	1.1785
270	2.2191	560.71	69.888	377.73	582.38	0.80844	1.1852
275	2.3734	549.3	76.373	392.19	587.93	0.83444	1.1915
280	2.536	537.12	83.628	406.96	593.14	0.86071	1.1973
285	2.707	524.02	91.813	422.05	597.94	0.8873	1.2024
290	2.8869	509.8	101.15	437.55	602.23	0.91431	1.2067
295	3.0761	494.17	111.96	453.52	605.87	0.94189	1.21
300	3.2752	476.69	124.72	470.1	608.66	0.97022	1.212
305	3.4847	456.57	140.23	487.52	610.27	0.9997	1.212

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2016 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
Prova Pratica di Progettazione
TEMA N. 6: ENERGETICA - ENERGETICA

