

POLITECNICO DI TORINO
ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 Prima sessione – ANNO 2010
 Settore INDUSTRIALE - Classe 33/S Ingegneria Energetica e nucleare
Terza prova (prova pratica del 22-7-2010)

Un impianto nucleare di potenza produce vapore saturo e secco in accordo ai dati riportati in tabella 1.

Tabella 1:

	unità di misura	valore
Potenza termica	MW	3926
Potenza elettrica	MW	1350
Pressione media fluido termovettore nel reattore	MPa	7,17
temperatura del fluido refrigerante in uscita dall'impianto	°C	287
Temperatura dell'acqua di alimentazione del reattore	°C	215,6

Si faccia riferimento ad un impianto a ciclo diretto. La figura 1 rappresenta uno schema delle possibili configurazioni impiantistiche delle turbine a vapore. Allo scarico dei corpi turbina di alta pressione sono presenti dei separatori di condensa e dei surriscaldatori (MSR: Moisture Separator Reheater).

La tabella 2 caratterizza alcuni dati di riferimento per il ciclo termodinamico realizzato.

Tabella 2: Alcuni dati di riferimento

Grandezza	Unità di misura	valore
Pressione del vapore alimentazione turbina di alta pressione	MPa	7,11
Temperatura del vapore ingresso turbina di alta pressione	°C	286,9
Portata di refrigerante (totale) nel reattore	Mkg/h	36
Pressione ingresso vapore corpo turbina di bassa pressione	MPa	3,2
Minimo titolo ammissibile nei corpi turbina	%	80
Temperatura di saturazione alla pressione di ingresso corpo turbina di bassa pressione	°C	237
Temperatura del vapore all'ingresso del corpo di bassa pressione	°C	250
Rendimento indicato espansione vapore:	$\eta_i = 0,88 - 0,6 * (1 - X_{\text{medio}})$	
Pressione nel condensatore	MPa	0,005
Pressione nel degasatore (direct contact feed-water-heater)	MPa	0,6
Rigenerazioni: quattro tra condensatore e degasatore e due tra degasatore ed ingresso reattore		

X_{medio} = titolo medio del vapore lungo l'espansione in turbina

Si ipotizzi che le temperature di drenaggio dell'acqua nei preriscaldatori di alta pressione e di bassa pressione siano pari alla temperatura dell'acqua di alimentazione del preriscaldatore aumentata di 5 °C.

Si ipotizzi anche che la temperatura dell'acqua in uscita da ogni preriscaldatore, lato acqua da preriscaldare, sia pari alla temperatura del vapore (saturo) spillato dalla turbina ridotta di 5 °C. In ogni caso sono da evitare fenomeni di ebollizione nel trasferimento dei drenaggi tra i preriscaldatori ed anche verso il condensatore e verso il degasatore.

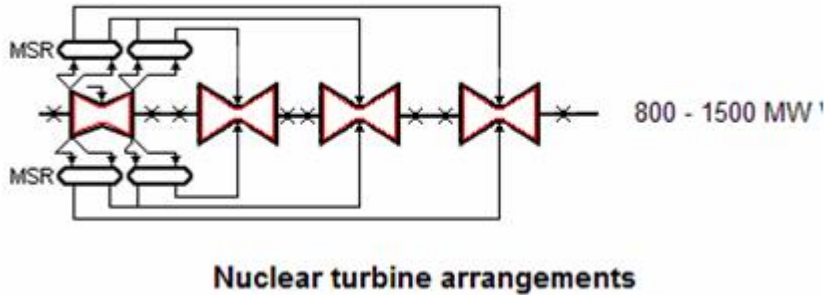


Fig.1 Possibile Configurazione della turbina a vapore.

Lo schema di riferimento semplificato ed approssimato per l'impianto è riportato in fig. 2.

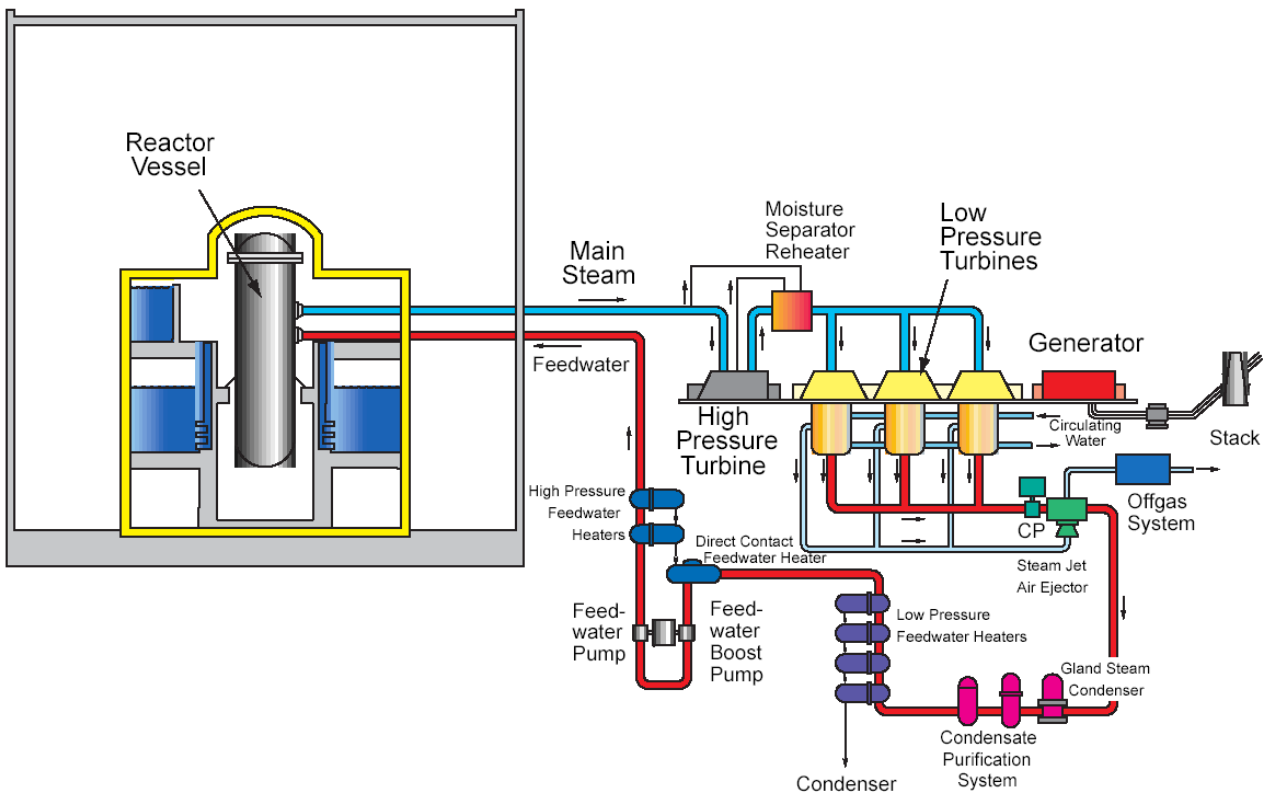


Fig. 2 Schema di riferimento dell'impianto

La fig. 3 illustra uno schema concettuale del separatore di condensa. Il vapore scaricato dal risurriscaldatore è anche impiegato per il preriscaldamento dell'acqua di alimento del reattore.

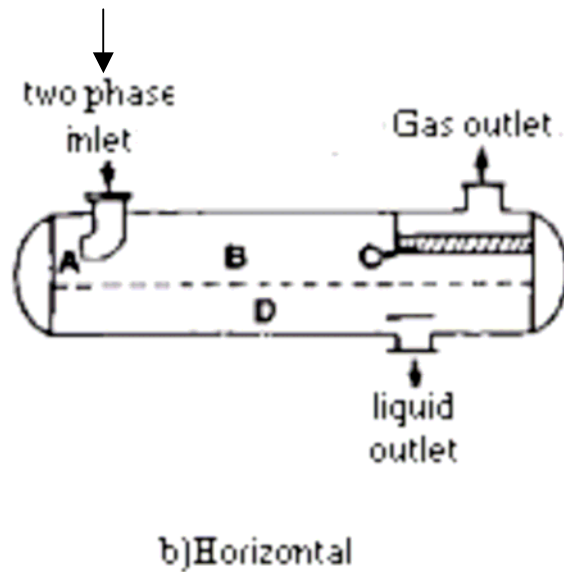


Fig. 3 Separatore di condensa

1. Descrivere la tipologia dell'impianto, il ciclo termodinamico realizzato, i capisaldi del ciclo. Sintetizzare i capisaldi del ciclo in tabella oltre che in forma grafica nel piano (T,s).
2. Valutare il rendimento globale dell'impianto e la portata di vapore saturo e secco prodotto alle condizioni nominali.
3. Valutare il rendimento del ciclo a vapore precisando le ipotesi nella scelta degli spillamenti (pressione, temperatura, titolo, entalpie del vapore spillato, frazione della portata spillata rispetto alla portata di vapore in ingresso alla turbina di alta pressione) ed eventualmente nei bilanci termici.
4. Valutare l'efficienza del separatore di condensa (l'efficienza è riferita alla rimozione della portata di liquido) installato allo scarico del corpo della turbina di alta pressione in modo che il titolo del vapore all'ingresso del surriscaldatore sia pari a 0.99.
5. Calcolare la portata di vapore vivo e saturo secco di alimentazione del surriscaldatore necessaria per assicurare all'ingresso della turbina di bassa pressione la temperatura di ingresso (vapore surriscaldato) riportata in tab. 2.
6. Dimensionare in un approccio estremamente semplificato il surriscaldatore e i due preriscaldatori di alta pressione in termini di superficie di scambio termico.
7. Effettuare un dimensionamento di massima (superficie di scambio termico, numero tubazioni, diametri interno/ esterno , lunghezza tubazioni ecc) per uno dei condensatori associato ad ogni corpo di turbina di bassa pressione precisando la portata di progetto, le scelte progettuali adottate, le correlazioni di scambio termico utilizzate, le ipotesi adottate per il dimensionamento e la metodologia di verifica .
8. Stimare, sulla base dei dati di tabella 2 e delle eventuali scelte progettuali effettuate, le cadute di pressione ammissibili lungo le linee che connettono la turbina ai preriscaldatori ed i preriscaldatori tra di loro.

Allegati

Tabella A1. Coefficienti globali di scambio termico U_0 di riferimento per il progetto di massima dei preriscaldatori, e del surriscaldatore: surriscaldatore : $500 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; preriscaldatori di alta pressione: $1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

A2. Proprietà termodinamiche di riferimento

- Per l'acqua in fase liquida in bassa pressione (pressione compresa tra 0,6 e 0,64 MPa si consideri un calore specifico a pressione costante pari a circa $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$).
- Per l'acqua in fase liquida a media pressione (pressione compresa tra 7,1 e 7,2 MPa) si consideri un calore specifico a pressione costante di circa $4,4 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

1. Condensatore e degasatore (liquido e vapore saturo)

			Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
T	Temperature	Pressure	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
°C	(K)	(MPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)	(kJ/kg-K)
32,87	306,02	0,005	994,7	0,03548	137,75	2560,7	0,4762	8,3938
158,83	431,98	0,6	908,59	3,1687	670,38	2756,1	1,9308	6,7592

2. Alimentazione reattore (liquido sottoraffreddato)

T	Temperature	Pressure	Density	Enthalpy	Entropy
°C	(K)	(MPa)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)
215,85	489	7,2	849,74	926,02	2,4702

3. Uscita reattore – ingresso turbina di alta pressione (proprietà alla saturazione)

			Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
T	Temperature	Pressure	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
°C	(K)	(MPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)	(kJ/kg-K)
286,89	560,04	7,11	737,76	37,169	1273,3	2771,2	3,1322	5,8068

4. Scarico turbina di alta pressione-ingresso turbina di bassa pressione

			Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
T	Temperature	Pressure	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
°C	(K)	(MPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)	(kJ/kg-K)
237,46	510,61	3,2	816,92	16,006	1025,4	2803,1	2,6787	6,1602

5. Vapore surriscaldato ingresso turbina di bassa pressione:

Temperature	Pressure	Density	Enthalpy	Entropy
(°C)	(MPa)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)
250	3,2	15,278	2846,1	6,2434

6. Proprietà dell'acqua alla saturazione:

T	Temperature	Pressure	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
°C	(K)	(MPa)	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
			(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)	(kJ/kg-K)
45,81	318,96	0,01	989,83	0,068166	191,81	2583,9	0,6492	8,1488
102,29	375,44	0,11	956,69	0,64539	428,84	2679,2	1,333	7,3269
121,76	394,91	0,21	941,68	1,1818	511,29	2708,5	1,5469	7,1106
134,64	407,79	0,31	930,85	1,7024	566,22	2726,4	1,6835	6,9807
144,5	417,65	0,41	922,08	2,2135	608,49	2739,2	1,7856	6,8872
152,58	425,73	0,51	914,58	2,7183	643,31	2749	1,868	6,814
159,47	432,62	0,61	907,96	3,2186	673,19	2756,9	1,9373	6,7537
165,52	438,67	0,71	901,99	3,7156	699,5	2763,4	1,9974	6,7022
170,92	444,07	0,81	896,51	4,2101	723,12	2768,8	2,0507	6,6574
175,82	448,97	0,91	891,42	4,7028	744,63	2773,5	2,0986	6,6175
180,31	453,46	1,01	886,67	5,1941	764,43	2777,5	2,1423	6,5816
184,46	457,61	1,11	882,18	5,6844	782,81	2781	2,1824	6,5489
188,33	461,48	1,21	877,93	6,1741	800	2784	2,2195	6,5188
191,96	465,11	1,31	873,88	6,6633	816,17	2786,7	2,2542	6,4909
195,37	468,52	1,41	870,01	7,1523	831,46	2789,1	2,2867	6,465
198,6	471,75	1,51	866,28	7,6413	845,98	2791,2	2,3173	6,4406
201,67	474,82	1,61	862,7	8,1304	859,81	2793	2,3463	6,4177
204,59	477,74	1,71	859,24	8,6198	873,04	2794,6	2,3738	6,396
207,39	480,54	1,81	855,89	9,1096	885,72	2796	2,4001	6,3755
210,06	483,21	1,91	852,64	9,5999	897,91	2797,3	2,4251	6,3559
212,63	485,78	2,01	849,49	10,091	909,65	2798,4	2,4491	6,3372
215,1	488,25	2,11	846,41	10,582	920,99	2799,4	2,4721	6,3193
217,48	490,63	2,21	843,42	11,075	931,96	2800,2	2,4943	6,3021
219,78	492,93	2,31	840,5	11,568	942,58	2800,9	2,5157	6,2856
222,01	495,16	2,41	837,64	12,062	952,88	2801,5	2,5363	6,2696
224,16	497,31	2,51	834,84	12,558	962,9	2802	2,5562	6,2543
226,25	499,4	2,61	832,1	13,054	972,64	2802,4	2,5755	6,2394
228,28	501,43	2,71	829,42	13,551	982,12	2802,7	2,5942	6,225
230,25	503,4	2,81	826,78	14,05	991,37	2802,9	2,6124	6,211
232,17	505,32	2,91	824,19	14,55	1000,4	2803,1	2,6301	6,1975
234,04	507,19	3,01	821,65	15,051	1009,2	2803,2	2,6472	6,1843
235,86	509,01	3,11	819,14	15,553	1017,8	2803,2	2,664	6,1714
237,64	510,79	3,21	816,68	16,057	1026,3	2803,1	2,6803	6,1589
239,37	512,52	3,31	814,25	16,562	1034,5	2803	2,6962	6,1467
241,06	514,21	3,41	811,86	17,069	1042,6	2802,8	2,7117	6,1348

242,72	515,87	3,51	809,5	17,577	1050,6	2802,6	2,7269	6,1232
244,34	517,49	3,61	807,17	18,087	1058,4	2802,3	2,7418	6,1118
245,93	519,08	3,71	804,88	18,598	1066	2802	2,7563	6,1006
247,48	520,63	3,81	802,61	19,111	1073,6	2801,6	2,7705	6,0897
249,01	522,16	3,91	800,36	19,625	1080,9	2801,2	2,7845	6,079
250,5	523,65	4,01	798,15	20,142	1088,2	2800,8	2,7981	6,0685
251,97	525,12	4,11	795,96	20,66	1095,4	2800,3	2,8115	6,0582
253,41	526,56	4,21	793,79	21,179	1102,4	2799,7	2,8247	6,0481
254,82	527,97	4,31	791,64	21,701	1109,3	2799,1	2,8376	6,0382
256,21	529,36	4,41	789,52	22,224	1116,2	2798,5	2,8503	6,0284
257,57	530,72	4,51	787,41	22,75	1122,9	2797,9	2,8627	6,0188
258,91	532,06	4,61	785,33	23,277	1129,6	2797,2	2,875	6,0093
260,23	533,38	4,71	783,26	23,806	1136,1	2796,5	2,8871	6
261,53	534,68	4,81	781,21	24,337	1142,6	2795,7	2,8989	5,9908
262,81	535,96	4,91	779,18	24,87	1149	2794,9	2,9106	5,9817
264,07	537,22	5,01	777,17	25,405	1155,3	2794,1	2,9221	5,9728
265,3	538,45	5,11	775,17	25,942	1161,5	2793,3	2,9335	5,964
266,52	539,67	5,21	773,19	26,481	1167,6	2792,4	2,9446	5,9553
267,73	540,88	5,31	771,22	27,022	1173,7	2791,5	2,9557	5,9467
268,91	542,06	5,41	769,27	27,566	1179,7	2790,6	2,9665	5,9382
270,08	543,23	5,51	767,33	28,112	1185,7	2789,6	2,9772	5,9298
271,23	544,38	5,61	765,4	28,66	1191,6	2788,6	2,9878	5,9216
272,37	545,52	5,71	763,48	29,21	1197,4	2787,6	2,9983	5,9134
273,49	546,64	5,81	761,58	29,762	1203,1	2786,6	3,0086	5,9053
274,6	547,75	5,91	759,69	30,317	1208,8	2785,6	3,0187	5,8973
275,69	548,84	6,01	757,81	30,874	1214,5	2784,5	3,0288	5,8893
276,77	549,92	6,11	755,94	31,434	1220,1	2783,4	3,0387	5,8815
277,84	550,99	6,21	754,08	31,996	1225,6	2782,3	3,0485	5,8737
278,89	552,04	6,31	752,23	32,56	1231,1	2781,1	3,0582	5,866
279,93	553,08	6,41	750,4	33,127	1236,5	2779,9	3,0678	5,8584
280,96	554,11	6,51	748,57	33,697	1241,9	2778,8	3,0773	5,8509
281,98	555,13	6,61	746,75	34,269	1247,3	2777,5	3,0867	5,8434
282,98	556,13	6,71	744,93	34,843	1252,5	2776,3	3,096	5,8359
283,97	557,12	6,81	743,13	35,421	1257,8	2775,1	3,1052	5,8286
284,95	558,1	6,91	741,33	36,001	1263	2773,8	3,1143	5,8213
285,93	559,08	7,01	739,55	36,583	1268,2	2772,5	3,1233	5,814
286,89	560,04	7,11	737,76	37,169	1273,3	2771,2	3,1322	5,8068
287,84	560,99	7,21	735,99	37,757	1278,4	2769,9	3,141	5,7997
288,78	561,93	7,31	734,22	38,348	1283,4	2768,5	3,1498	5,7926
289,71	562,86	7,41	732,46	38,942	1288,4	2767,1	3,1585	5,7856

