

**POLITECNICO DI TORINO**  
**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE**  
**DI INGEGNERE INDUSTRIALE JUNIOR**

**Il Sessione 2013 - Sezione B**  
**Settore Industriale**

**Prova pratica del 23 gennaio 2014**

Il candidato svolga uno a scelta fra i seguenti temi proposti:  
(indicare sulla busta il numero del tema svolto)

**Tema n. 1**

Il moto di avanzamento e di ritorno di una slitta viene ottenuto trascinando la slitta mediante un sistema meccanico realizzato secondo lo schema riportato nella figura. In questo sistema meccanico il motore ruota alla velocità angolare costante  $n_o = 384$  giri/min ed è collegato tramite un riduttore avente rapporto di trasmissione  $\tau_r = 1/12$  ad un tamburo A dal quale il moto viene poi trasmesso alla puleggia L o a quella R per mezzo di una cinghia piana.

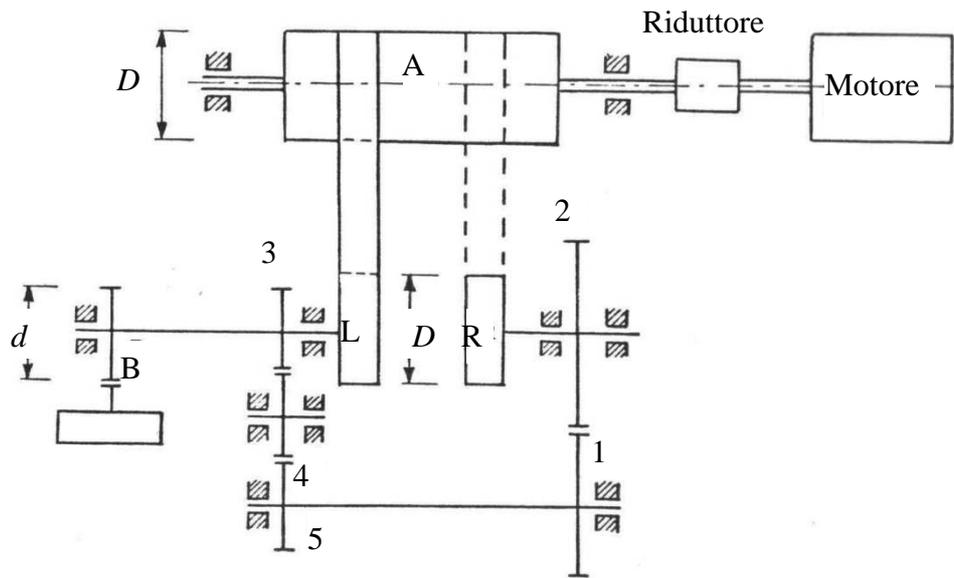
La puleggia L è calettata all'albero che porta il rocchetto dentato B il quale ingrana con una dentiera solidale alla slitta traslante. Quando la cinghia piana trasmette il moto dal tamburo A alla puleggia L si ha la corsa di andata della slitta. Quando la cinghia piana viene spostata in modo da trasmettere il moto dal tamburo A alla puleggia R si ottiene il moto di ritorno. In questa condizione la trasmissione del moto dalla puleggia R al rocchetto dentato B avviene attraverso un rotismo ordinario costituito dalle ruote dentate 1, 2, 3, 4, 5.

Di questo sistema meccanico si conoscono i seguenti parametri:

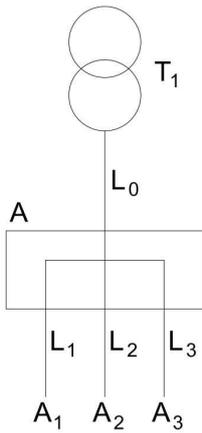
- Diametro delle pulegge L, R e del tamburo A:  $D = 400$  mm
- Massa di ciascuna delle pulegge:  $m_1 = 30$  kg (si può considerare tutta la massa concentrata alla periferia delle pulegge)
- Tensione di forzamento della cinghia (sia quando è attiva la puleggia L che la R):  $T_o = 600$  N
- Coefficiente di attrito cinghia-puleggia:  $f = 0,25$
- Rendimento di ogni ingranamento  $\eta_i = 0,97$ ; rendimento del riduttore:  $\eta_r = 0,92$
- Massa della slitta e degli elementi ad essa solidali:  $m_2 = 300$  kg
- Diametro del rocchetto dentato B:  $d = 300$  mm
- Rapporti di trasmissione tra le ruote dentate:  $\tau_{2,1} = \omega_1/\omega_2 = 2$ ;  $\tau_{5,4} = \omega_4/\omega_5 = 1$ ;  $\tau_{4,3} = \omega_3/\omega_4 = 1$
- Corsa della slitta:  $X = 900$  mm
- Forza resistente agente sulla slitta durante la corsa di andata:  $F_R = 0$  dalla posizione iniziale fino a 100 mm;  $F_R = 300$  N tra 100 mm e 800 mm;  $F_R = 0$  tra 800 mm e 900 mm
- La forza resistente è nulla durante la corsa di ritorno

## Quesiti

- 1) Calcolare la velocità di avanzamento a regime della slitta durante la corsa di andata e durante quella di ritorno
- 2) Calcolare forze e coppie nei diversi componenti della trasmissione durante la parte centrale della corsa di andata
- 3) Effettuare un dimensionamento di massima dei componenti del sistema meccanico.
- 4) Calcolare l'accelerazione della slitta durante i transitori (passaggio dalla corsa di andata a quella di ritorno e viceversa) e la coppia richiesta al motore durante i transitori



## Tema n. 2



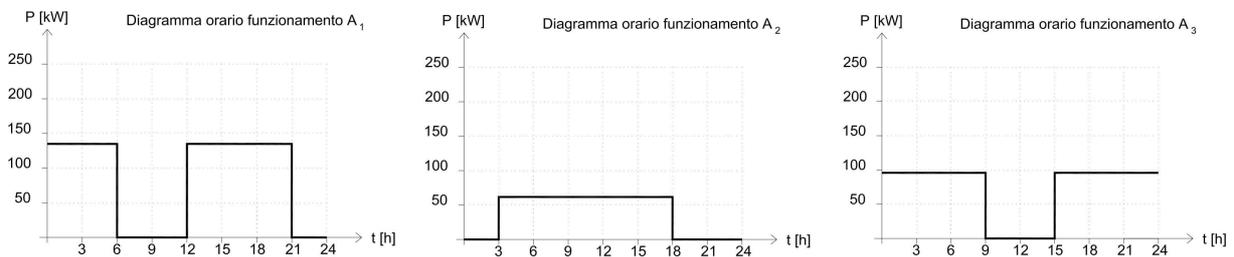
Un trasformatore MT/BT  $T_1$  alimenta il quadro elettrico A, cui sono sottesi i carichi trifase  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ , mediante linea in cavo  $L_0$  trifase (3F+N+PE) come da schema riportato a fianco.

I carichi  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  hanno le seguenti caratteristiche:

- $A_1$ :  $U=400$  V,  $P_n = 130$  kW,  $\cos\varphi=0,87$  ind, distanza dal quadro A  $L_1=40$ m, posa in cunicolo
- $A_2$ :  $U=400$  V,  $P_n = 60$  kW,  $\cos\varphi=0,83$  ind, distanza dal quadro A  $L_2=50$ m, posa in tubo
- $A_3$ :  $U=400$  V,  $P_n = 98$  kW,  $\cos\varphi=0,90$  ind, distanza dal quadro A  $L_3=35$ m, posa su canale metallico

La linea in cavo  $L_0$  è posata su passerella perforata ed è lunga  $L_0=80$ m

Il profilo di funzionamento orario dei carichi  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  è riportato nei diagrammi seguenti.



Il candidato, sulla base dei dati forniti, degli studi condotti e delle esperienze maturate, stimando gli eventuali dati mancanti, determini:

1. la potenza minima nominale del trasformatore  $T_1$  per l'alimentazione dei carichi  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ;
2. la capacità del banco di condensatori da collegare alla sbarra principale del quadro A per rifasare il carico ( $A_1 + A_2 + A_3$ ) al valore minimo  $\cos\varphi=0,92$
3. le caratteristiche del cavo  $L_0$  (formazione, tipo, sezione, ecc.) al fine di assicurare una caduta di tensione globale non superiore al 4%
4. le caratteristiche dei cavi  $L_1, L_2, L_3$  (formazione, tipo, sezione, ecc.) al fine di assicurare una caduta di tensione ai morsetti di ciascun carico non superiore al 4%
5. le caratteristiche della protezione contro le sovracorrenti da installare a protezione del cavo  $L_0$  immediatamente a valle del trasformatore  $T_1$
6. le caratteristiche delle protezioni contro le sovracorrenti da installare nel quadro A a protezione dei cavi  $L_1, L_2, L_3$

Gli elaborati prodotti dovranno essere stilati in forma chiara ed ordinata.

La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

### Tema n. 3

Un impianto nucleare di potenza a ciclo diretto (tipo ESBWR) produce **vapore saturo e secco** in accordo ai dati riportati in tabella 1.

In fig.1 è schematizzato lo schema della parte dell'impianto che converte l'energia termica prodotta dal reattore e disponibile come vapore saturo in energia elettrica. Il reattore è equivalente ad un generatore di vapore a circolazione assistita che produce vapore saturo.

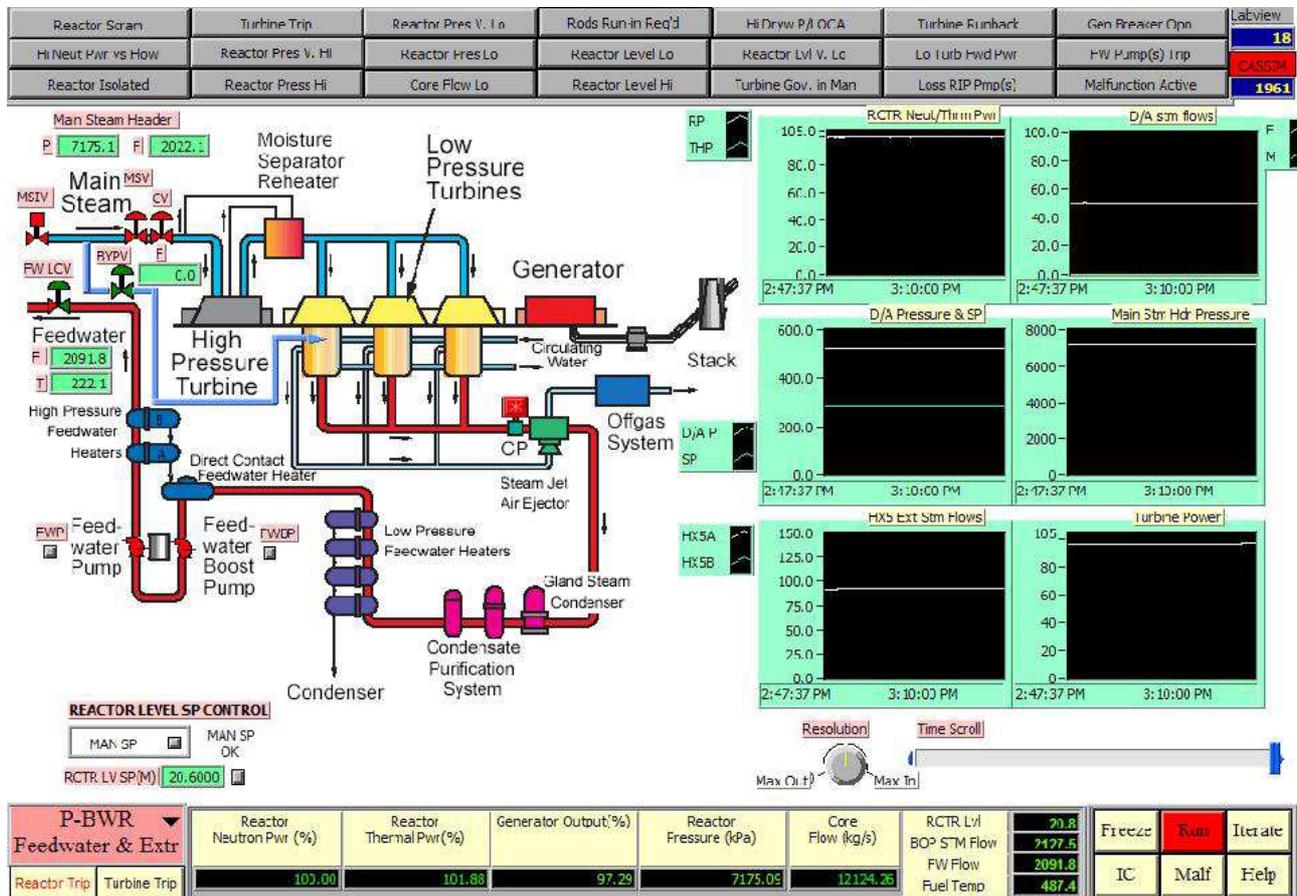


Fig. 1: Schema dell'impianto come visto in sala controllo.

Tabella 1:

|   | unità di misura | valore |
|---|-----------------|--------|
| Potenza termica   | MW              | 4500   |
| Potenza elettrica lorda prodotta                        | MW              | 1550   |
| Pressione media fluido termovettore nel reattore        | MPa             | 7,175  |
| Temperatura del vapore (saturo) all'uscita del reattore | °C              | 286,9  |
| Temperatura dell'acqua di alimentazione del reattore    | °C              | 216    |
| titolo medio all'uscita dal core                        | %               | 17     |

Allo scarico dei corpi turbina di alta pressione (fig. 2) sono presenti, in parallelo, **quattro** separatori di condensa/ surriscaldatori (MSR: Moisture Separator Reheater A1, A2, B1, B2) di vapore di alimentazione delle turbine di bassa pressione connessi in parallelo.

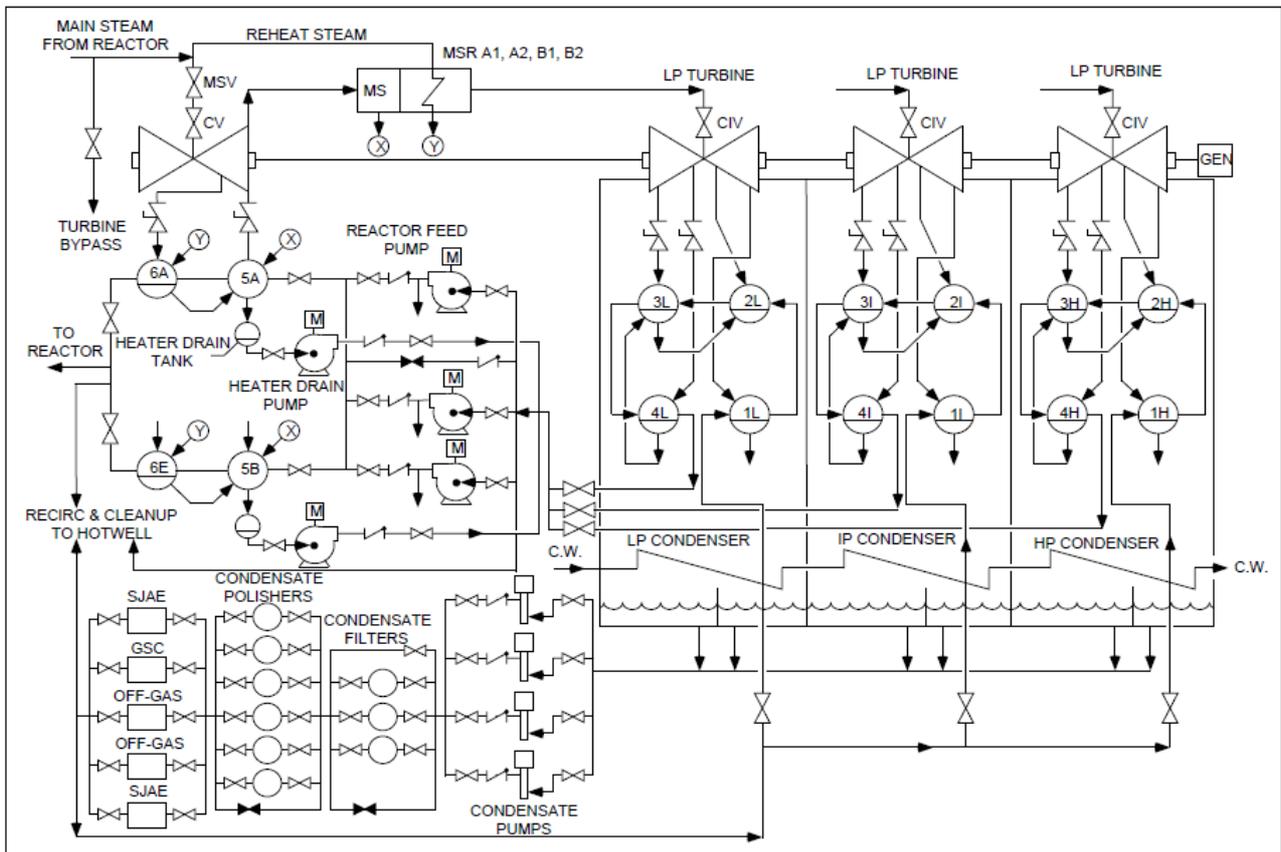


Fig.2 Schema di riferimento per il ciclo vapore (steam & power conversion system): CIV: Combined and Intermediate Valve (valvola di stop ed intermedia), MSV: Main Steam Valve; CV Control Valve, MS Moisture Separator, M motore; CW Cold Water.

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

Tabella 2: Alcuni dati di riferimento

| grandezza  | Unità di misura | di valore                           |
|--|-----------------|-------------------------------------|
| Pressione del vapore alimentazione turbina di alta pressione (valvola di ammissione in turbina)                                  | MPa             | 6,8                                 |
| Titolo del vapore in ingresso alla turbina di alta pressione   | -               | 0,996                               |
| Pressione ingresso vapore ai corpi delle turbine di bassa pressione  | MPa             | 3,2                                 |
| Temperatura del vapore (surriscaldato) all'ingresso dei corpi di bassa pressione   | °C              | 250                                 |
| Minimo titolo ammissibile nei corpi turbina allo scarico   | %               | 80                                  |
| Pressione nel condensatore   | kPa             | 5                                   |
| Pressione nel degasatore (direct contact feed-water-heater)  | kPa             | 600                                 |
| Rigenerazioni (pressioni di spillamento): <b>quattro tra condensatore e degasatore e due tra degasatore ed ingresso reattore</b> | kPa             | 24,5; 60,8; 147; 330<br>1353; 2311. |
| Massima variazione di temperatura ammissibile nell'acqua di raffreddamento del condensatore                                      | °C              | 18                                  |

Il rendimento termodinamico interno dell'espansione in turbina sia una funzione del titolo termodinamico medio  $X_{\text{medio}}$  secondo la relazione:

$$\eta_i = 0,9 - 0,6 * (1 - X_{\text{medio}})$$

se  $X_{\text{medio}}$  è pari a 1 o maggiore si assuma per il rendimento termodinamico interno il valore di 0.9.

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. ed anche che la temperatura dell'acqua in uscita da ogni preriscaldatore, lato acqua da preriscaldare, sia pari alla temperatura del vapore spillato dalla turbina ridotta di 5°C.

Sulla base delle suddette informazioni, di quanto riportato in allegato, e di ipotesi progettuali per eventuali dati mancanti:

1. Valutare il rendimento globale lordo dell'impianto, la produzione di vapore saturo e secco, la portata totale che fluisce nel core, la caduta di pressione tra uscita reattore e valvola di ammissione nella turbina di alta pressione.
2. Le perdite di energia termica nel condotto di alimentazione della turbina di alta pressione.
3. Caratterizzare il ciclo termodinamico realizzato con i capisaldi del ciclo. Sintetizzare i capisaldi del ciclo in tabella e/o in forma grafica nei piani (h,s) e (T,s) precisando le **condizioni termodinamiche** del vapore di spillamento per le rigenerazioni.
4. Stimare l'efficienza di ciascun separatore di condensa (l'efficienza è riferita alla capacità di rimozione della portata di liquido rispetto alla portata di liquido in ingresso all'MSR) in modo che il titolo del vapore all'ingresso del surriscaldatore sia pari ad almeno lo 0.99.
5. Calcolare la portata di vapore vivo e saturo secco di alimentazione del singolo 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 (superficie di scambio termico) per il surriscaldatore associato ad ogni modulo MSR
7. Valutare il rendimento del ciclo a vapore sulla base delle pressioni a cui sono effettuati gli spillamenti. Illustrare tutte le ipotesi su temperature, titoli, entalpie del vapore spillato, frazione della portata spillata rispetto alla portata di vapore necessaria per la valutazione del rendimento del ciclo.

## Allegati

### A1. Coefficienti globali di scambio termico $U_0$ di riferimento per il progetto di massima dei preriscaldatori e dei risurriscaldatori:

risurriscaldatore : 1000 W/(m<sup>2</sup>\*K);

preriscaldatori di alta pressione e bassa pressione: 3000 W/(m<sup>2</sup>\*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 kJ/(kg\*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 kJ/(kg\*K).

#### 1. Proprietà termodinamiche (liquido e vapore saturo) ad alcune pressioni caratteristiche

|        |           | densità              | densità              | entalpia | entalpia | entropia  | entropia  |
|--------|-----------|----------------------|----------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| T      | pressione | liquido              | vapore               | liquido  | vapore   | liquido   | vapore    |
| °C     | (MPa)     | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kJ/kg)  | (kJ/kg)  | (kJ/kg-K) | (kJ/kg-K) |
| 32,87  | 0,005     | 994,7                | 0,03548              | 137,75   | 2560,7   | 0,4762    | 8,3938    |
| 158,83 | 0,6       | 908,59               | 3,1687               | 670,38   | 2756,1   | 1,9308    | 6,7592    |
| 237,46 | 3,2000    | 816,92               | 16,006               | 1025,4   | 2803,1   | 2,6787    | 6,1602    |
| 283,78 | 6,7900    | 743,49               | 35,305               | 1256,8   | 2775,3   | 3,1034    | 5,8300    |
| 286,89 | 7,1100    | 737,76               | 37,169               | 1273,3   | 2771,2   | 3,1322    | 5,8068    |

Tabella 1.1 Proprietà del fluido saturo in corrispondenza delle pressioni di spillamento e nel degasatore

|             |          | Liquid               | Vapor                | Liquid   | Vapor    | Liquid    | Vapor     |
|-------------|----------|----------------------|----------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Temperature | Pressure | Density              | Density              | Enthalpy | Enthalpy | Entropy   | Entropy   |
| (°C)        | (MPa)    | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kJ/kg)  | (kJ/kg)  | (kJ/kg-K) | (kJ/kg-K) |
| 64.512      | 0.024500 | 980.78               | 0.15818              | 270.07   | 2616.7   | 0.88760   | 7.8371    |
| 86.266      | 0.060800 | 967.77               | 0.37064              | 361.34   | 2653.4   | 1.1494    | 7.5267    |
| 110.74      | 0.14700  | 950.38               | 0.84645              | 464.56   | 2692.2   | 1.4270    | 7.2297    |
| 136.80      | 0.33000  | 928.96               | 1.8052               | 575.46   | 2729.3   | 1.7060    | 6.9598    |
| 158.83      | 0.60000  | 908.59               | 3.1687               | 670.38   | 2756.1   | 1.9308    | 6.7592    |
| 185.47      | 1.1353   | 881.09               | 5.8084               | 787.26   | 2781.8   | 2.1920    | 6.5410    |
| 217.51      | 2.2110   | 843.39               | 11.080               | 932.06   | 2800.2   | 2.4945    | 6.3019    |

#### 2. Proprietà termodinamiche (fluido monofase) ad alcune pressioni e temperature

| T      | pressione | densità              | entalpia | entropia  |
|--------|-----------|----------------------|----------|-----------|
| °C     | (MPa)     | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kJ/kg)  | (kJ/kg-K) |
| 216    | 7,2       | 849,74               | 926,02   | 2,4702    |
| 250,00 | 3,2000    | 15,278               | 2846,1   | 6,2434    |
| 154,00 | 0,60000   | 913,28               | 649,50   | 1,8822    |
| 20,000 | 0,60000   | 998,44               | 84,476   | 0,29636   |
| 15,000 | 0,10000   | 999,10               | 63,076   | 0,22445   |