

# Corso di macchine



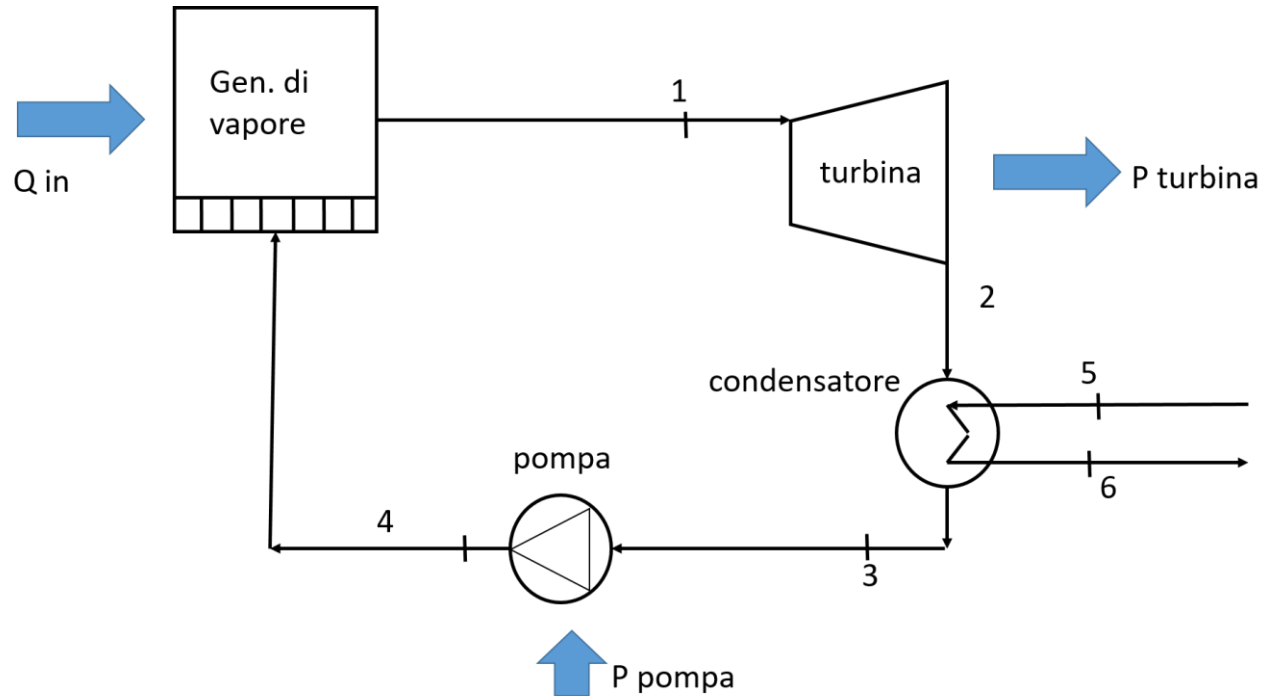
EES – Esercizi su impianti a vapore

Prof. Rodolfo Taccani

Ing. Chiara Dall'Armi

A.A. 2021-2022

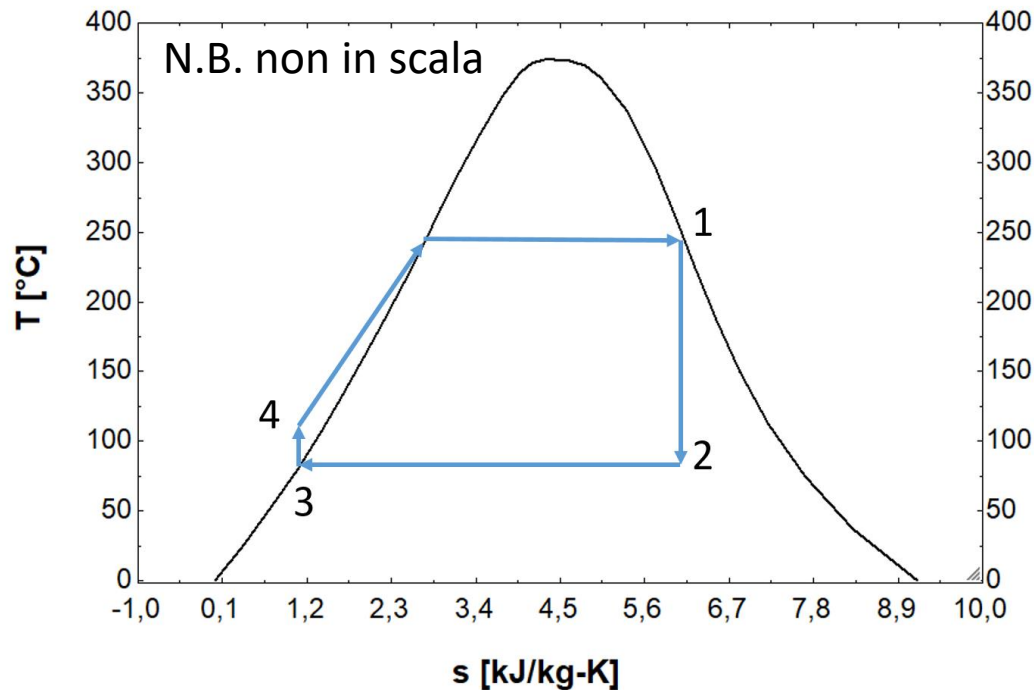
## Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale



- Pressione al condensatore 0.08 bar
- Pressione all'ingresso in turbina 80 bar
- Potenza netta 100 MW
- Vapore saturo all'ingresso in turbina
- Liquido saturo all'uscita del condensatore
- Si trascurano le perdite di carico
- Temperature dell'acqua al condensatore ingresso e uscita: 15°C e 35°C



## Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale



Bisogna definire ogni punto sul diagramma di stato.

Ogni punto risulta definito da:

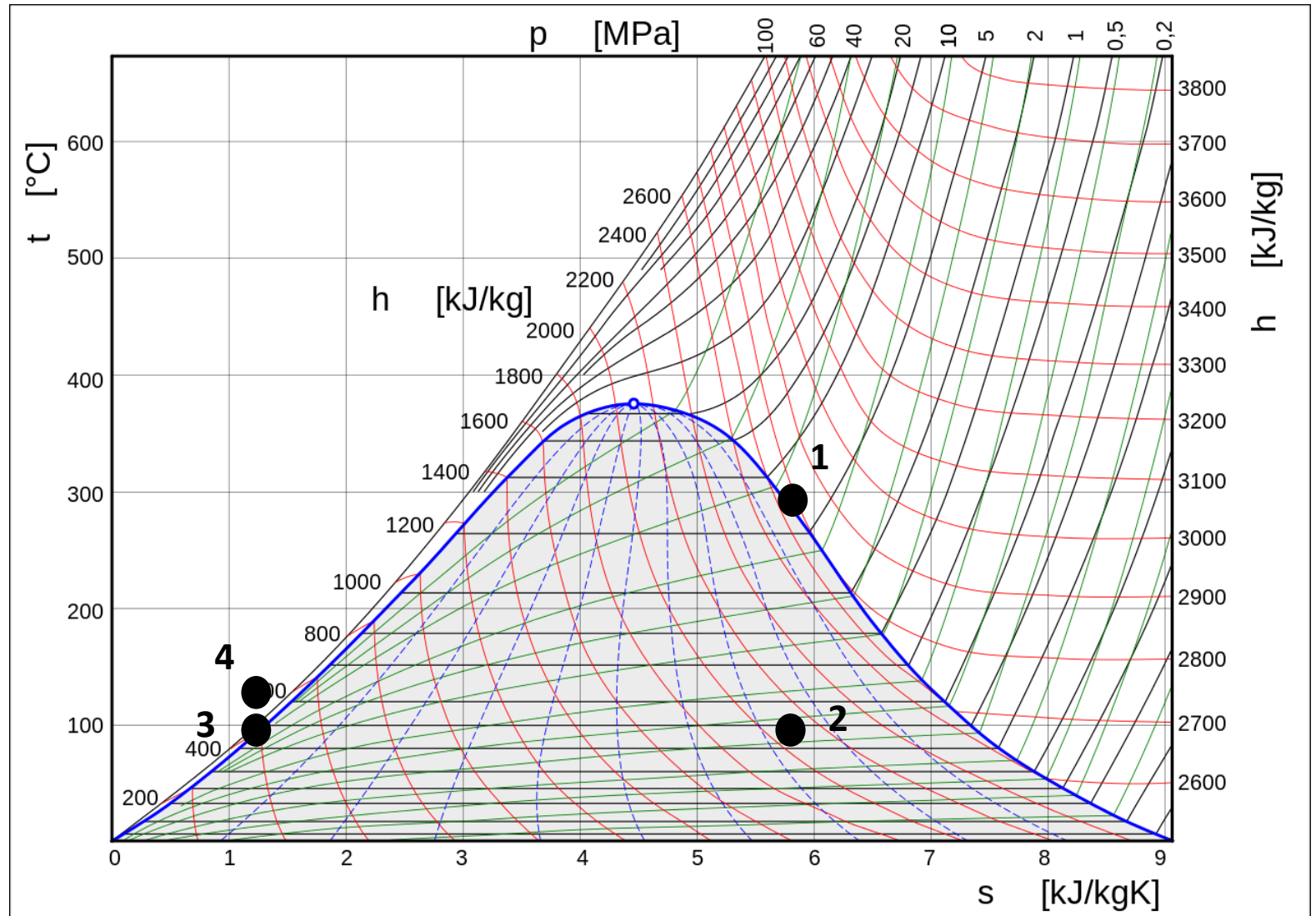
- Pressione
- Temperatura
- Entalpia
- Entropia
- Titolo di vapore

$$\eta_{th} = \frac{P_{NET}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{P_{turbina} - P_{pompa}}{\dot{m}(h_1 - h_4)}$$

$$P_{NET} = 100 \text{ MW}$$

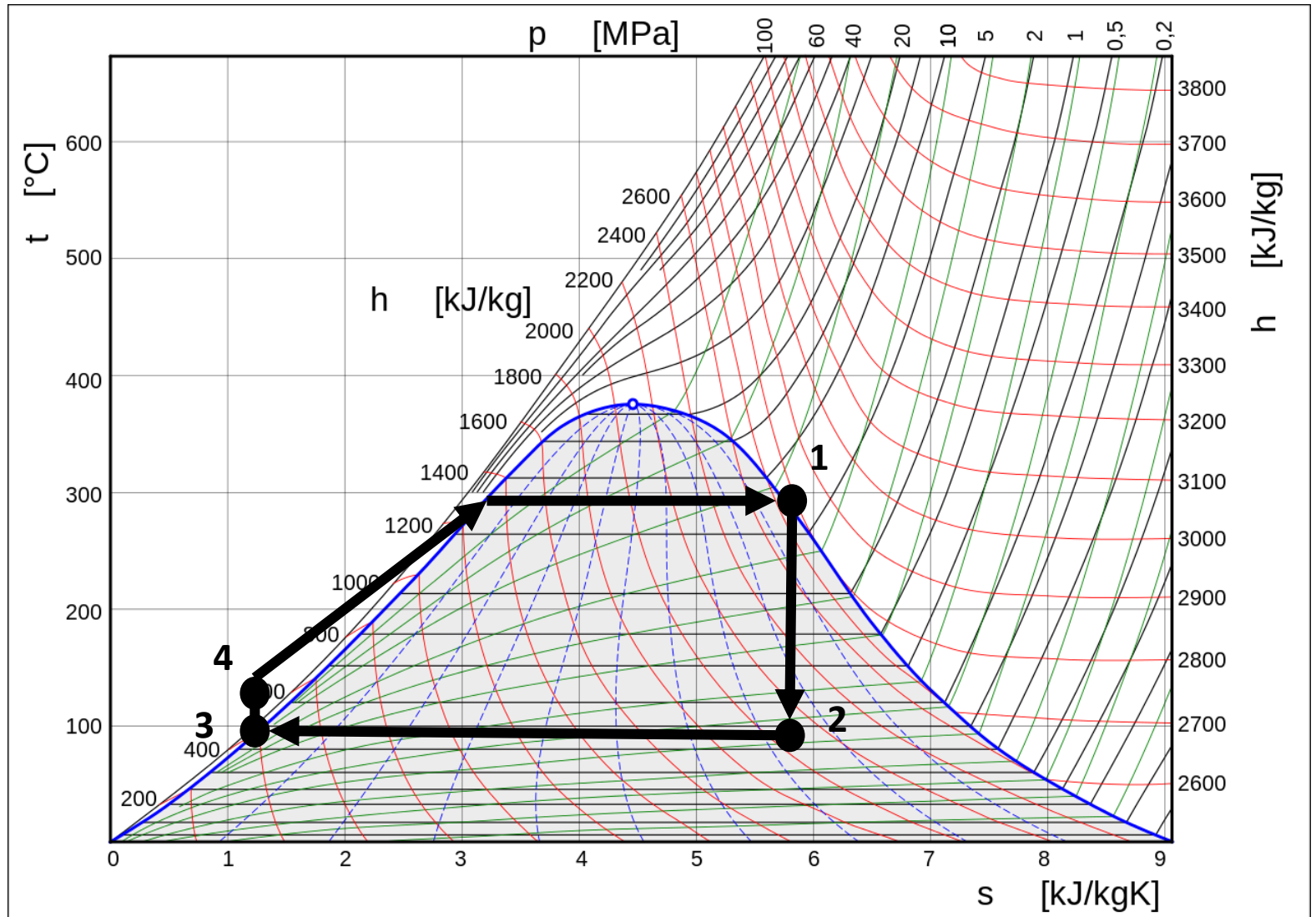


# Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale





# Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale





## Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

In EES creo array con le proprietà in ogni punto (es. per le entalpie sarà  $h=(h_1,h_2,h_3,h_4)$ ).

### Punto 1

$$p_1 = p[1] = 80 \text{ bar}$$

Vapore saturo all'ingresso in turbina  $\rightarrow x_1 = x[1] = 1$

Calcolo  $T[1]$ ,  $s[1]$  e  $h[1]$  tramite le funzioni termodinamiche di EES a partire dai valori noti di  $p[1]$  e  $x[1]$

### Punto 2

Nell'ipotesi di **ciclo ideale** ed **assenza di perdite** di carico al condensatore si ha:

$$s[2] = s[1]$$

$$p[2] = p[3] \text{ (} p[3] \text{ è la pressione al condensatore, dato noto: } p[3] = 0.08 \text{ bar)}$$

Calcolo  $T[2]$ ,  $h[2]$  e  $x[2]$  tramite le funzioni di EES a partire dai valori di  $s[2]$  e  $p[2]$



## Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

### Punto 3

$$p[3] = 0.08 \text{ bar}$$

Liquido saturo a valle del condensatore  $\rightarrow x[3] = 0$

Calcolo  $T[3]$ ,  $h[3]$  e  $s[3]$  tramite le funzioni termodinamiche di EES

### Punto 4

Nell'ipotesi di **ciclo ideale** ed **assenza di perdite di carico** nel generatore di vapore si ha:

$$p[4] = p[1] \text{ (dopo il gen. di vapore ho la stessa pressione che ho in uscita dalla pompa)}$$

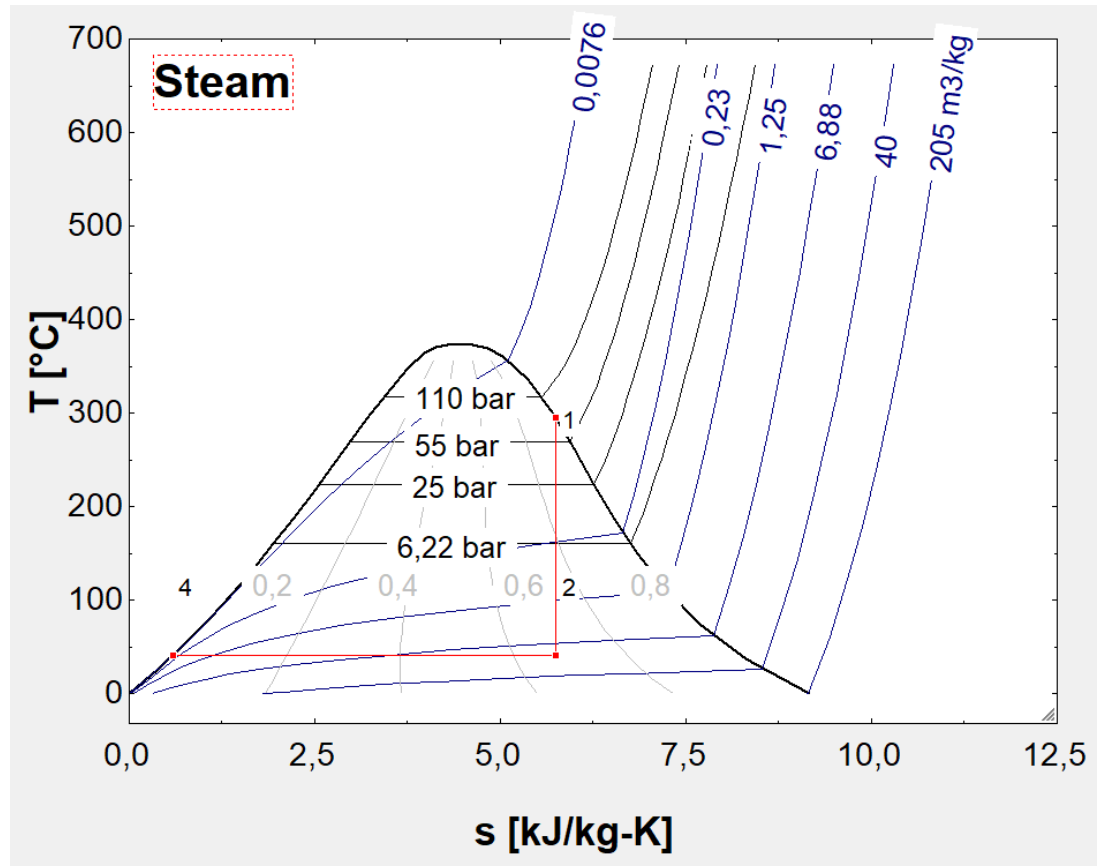
$$s[4] = s[3]$$

Calcolo  $T[4]$  e  $h[4]$  tramite le funzioni termodinamiche di EES



# Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

Riporto tutti i punti sui diagrammi T-s e h-s del vapore:

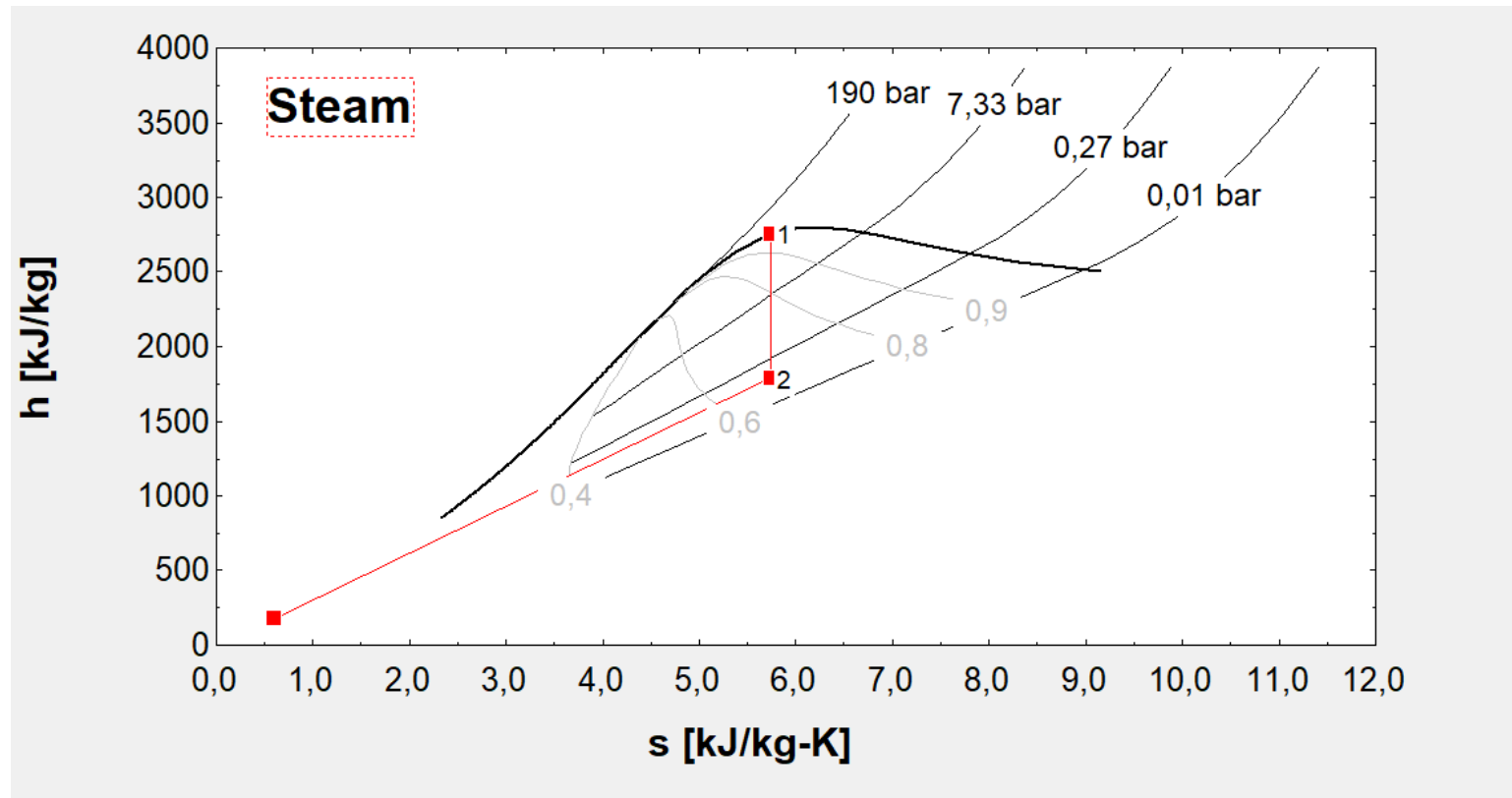






## Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

Riporto tutti i punti sui diagrammi T-s e h-s del vapore:





## Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

### Potenza della pompa

La potenza che la pompa deve fornire al ciclo è pari al salto entalpico tra i punti 3 e 4 moltiplicato per la portata di vapore.

### Potenza della turbina

La potenza ottenuta dall'espansione del vapore in turbina è il salto entalpico tra i punti 1 e 2 moltiplicato per la portata di vapore.

### Potenza netta

$$P_{NET} = P_{turbina} - P_{pompa}$$

### Calore fornito dal generatore di vapore

Il calore che il gen. di vapore deve fornire alla portata di vapore è pari al salto entalpico tra i punti 4 e 1 moltiplicato per la portata di vapore.

Posso a questo punto calcolare il rendimento termico dell'impianto (o di primo principio)



## Esercizio 6 – risultati

I risultati che si ottengono su EES sono:

Unit Settings: [kJ]/[C]/[bar]/[kg]/[degrees]

$$\eta_{th} = 0,3708$$

$$m_{vapore} = 104,7$$

$$P_{NET} = 100000$$

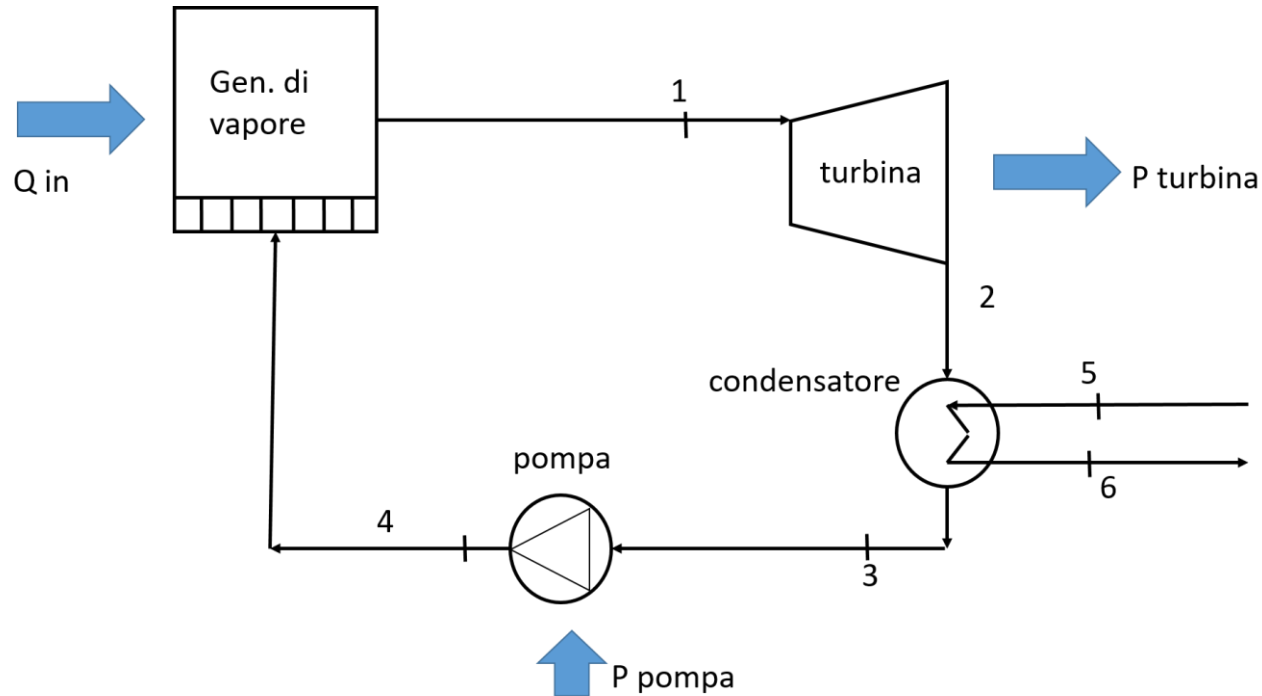
$$P_{pompa} = 842,3$$

$$P_{turbina} = 100842$$

$$Q_{in} = 269655$$

|     | 1                | 2     | 3                  | 4            | 5      |
|-----|------------------|-------|--------------------|--------------|--------|
|     | $h_i$<br>[kJ/kg] | $p_i$ | $s_i$<br>[kJ/kg-K] | $T_i$<br>[C] | $x_i$  |
| [1] | 2758             | 80    | 5,743              | 295          | 1      |
| [2] | 1794             | 0,08  | 5,743              | 41,49        | 0,6746 |
| [3] | 173,7            | 0,08  | 0,5921             | 41,49        | 0      |
| [4] | 181,8            | 80    | 0,5921             | 41,73        |        |

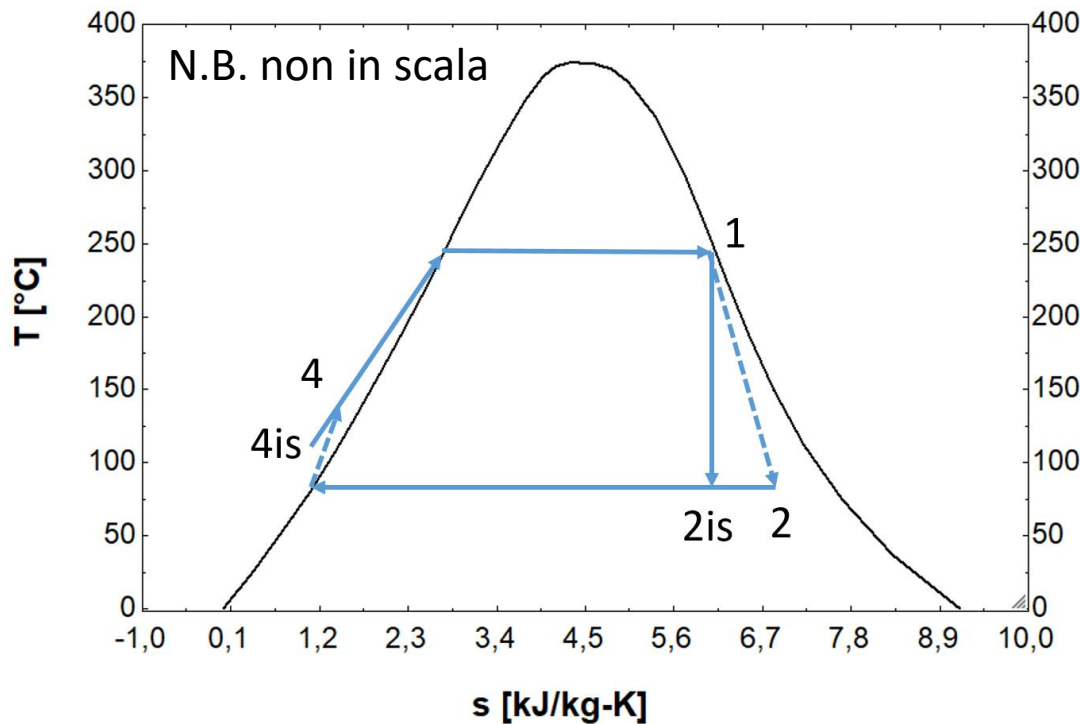
## Esercizio 7 – Ciclo Rankine con irreversibilità



- Pressione al condensatore 0.08 bar
- Pressione all'ingresso in turbina 80 bar
- Potenza netta 100 MW
- Rendimenti isoentropici pompa e turbina 85%
- Vapore saturo all'ingresso in turbina
- Liquido saturo all'uscita del condensatore
- Si trascurano le perdite di carico
- Temperature dell'acqua al condensatore ingresso e uscita: 15°C e 35°C

# Esercizio 7 – Ciclo Rankine con irreversibilità

La struttura dell'impianto e le assunzioni sono le stesse dell'esercizio 6, ma si considerano le irreversibilità nella pompa e nella turbina:



$$\eta_{is\ turbina} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2is}}$$

$$\eta_{is\ pompa} = \frac{h_{4is} - h_3}{h_4 - h_3}$$

$$\eta_{th} = \frac{P_{NET}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{P_{turbina} - P_{pompa}}{\dot{m}(h_1 - h_4)}$$



## Esercizio 7 – Ciclo Rankine con irreversibilità

Procedo, come fatto nell'Esercizio 6, a determinare i da 1 a 4 in termini di T, p, h, s.

Ciò che cambia rispetto all'esercizio 6 sono i punti 2 e 4, rispettivamente a valle della turbina e della pompa.

### Punto 2

Nell'ipotesi di **assenza di perdite** di carico al condensatore si ha:

$$p[2] = p[3] \quad (p[3] \text{ è la pressione al condensatore, dato noto: } p[3] = 0.08 \text{ bar})$$

Per il punto 2\_s di fine espansione isoentropica, che si trova alla stessa pressione  $p[2]$  del punto 2 reale, vale:

$$s_{is}[2] = s[1]$$

Da cui posso ricavare  $h_{is}[2]$  tramite le funzioni di EES.

Dall'espressione del rendimento isoentropico della turbina si può poi ricavare l'entalpia  $h[2]$  del punto 2 reale.

Calcolo  $T[2]$ ,  $s[2]$  e  $x[2]$  tramite le funzioni di EES a partire dai valori di  $h[2]$  e  $p[2]$ .



## Esercizio 7 – Ciclo Rankine con irreversibilità

### Punto 4

Nell'ipotesi di **assenza di perdite** di carico al gen. di vapore si ha:

$p[4] = p[1]$  ( $p[1]$  è la pressione all'ingresso in turbina, dato noto:  $p[1] = 80$  bar)

Per il punto 4\_s di fine pompaggio isoentropico, alla stessa pressione  $p[4]$  del punto 4 reale, vale:

$$s_{is}[4] = s[3]$$

Da cui posso ricavare  $h_{is}[4]$  tramite le funzioni di EES.

Dall'espressione del rendimento isoentropico della pompa si può poi ricavare l'entalpia  $h[4]$  del punto 4 reale.

Calcolo  $T[4]$ ,  $s[4]$  e  $x[2]$  tramite le funzioni di EES a partire dai valori di  $h[4]$  e  $p[4]$ .



## Esercizio 7 – Ciclo Rankine con irreversibilità

### Portata d'acqua di raffreddamento al condensatore

Bilancio di energia al condensatore:

$$Q_{cond} = \dot{m}_{raff} * c_{p_{water}} * (T_{w,out} - T_{w,in}) = m_{vapore} * (h_2 - h_3)$$

Dove  $c_{p_{water}}$  è il calore specifico dell'acqua.

Per comodità, indico i punti di ingresso e uscita dell'acqua dal condensatore come 5 e 6 rispettivamente per poterli avere nella tabella *arrays* di EES:

$$T[5] = Tw\_in = 15^{\circ}\text{C}$$

$$T[6] = TW\_out = 35^{\circ}\text{C}$$





## Esercizio 7 – risultati

I risultati che si ottengono su EES sono:

Unit Settings: [kJ]/[C]/[bar]/[kg]/[degrees]

$\eta_{ip} = 0,85$

$\eta_{it} = 0,85$

$\eta_{th} = 0,3144$

$m_{vapore} = 123,6$

$P_{NET} = 100000$

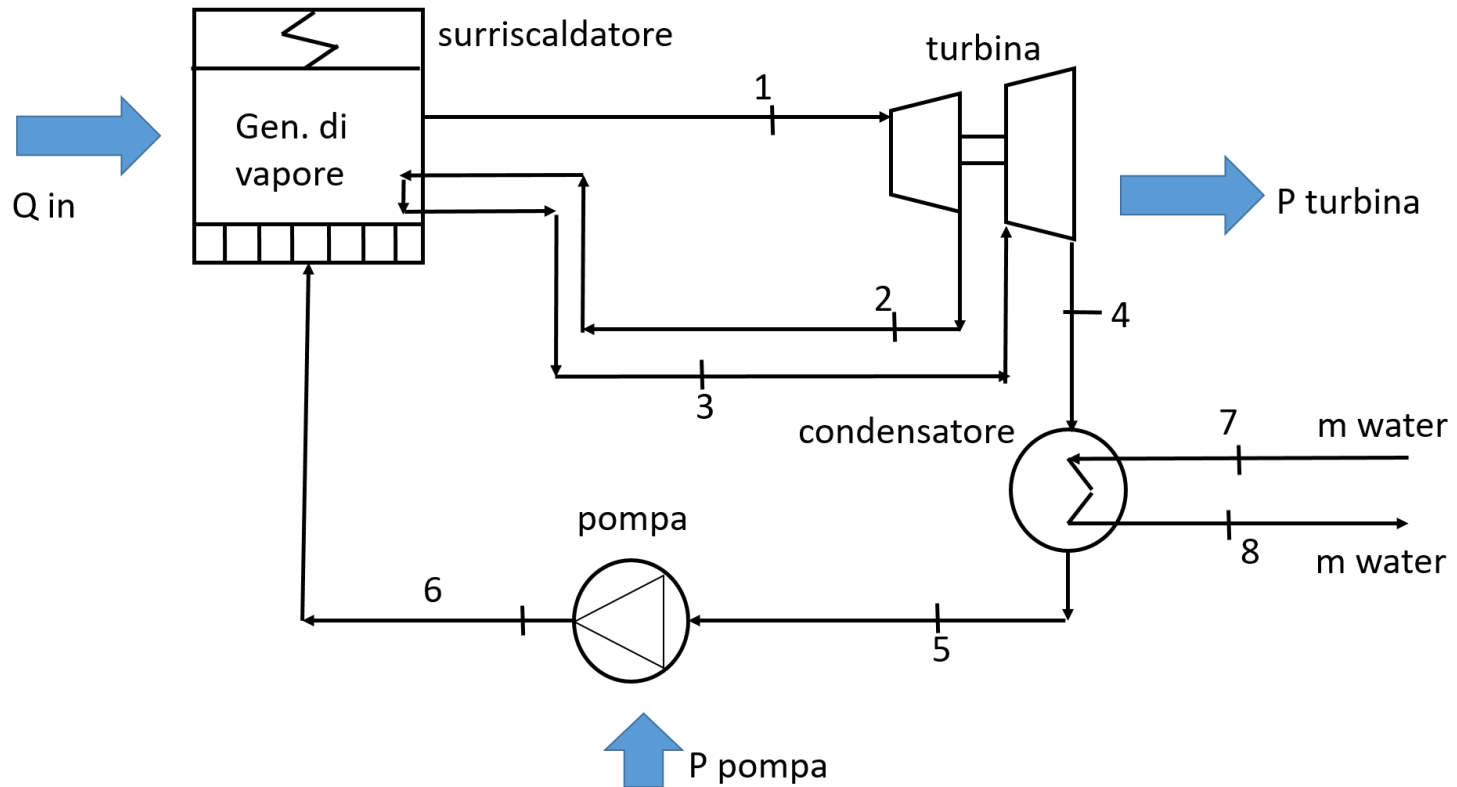
$P_{pompa} = 1170$

$P_{turbina} = 101170$

$Q_{in} = 318095$

|     | 1                | 2     | 3                  | 4            | 5      | 6                     | 7                       |
|-----|------------------|-------|--------------------|--------------|--------|-----------------------|-------------------------|
|     | $h_i$<br>[kJ/kg] | $p_i$ | $s_i$<br>[kJ/kg-K] | $T_i$<br>[C] | $x_i$  | $h_{is,i}$<br>[kJ/kg] | $s_{is,i}$<br>[kJ/kg-K] |
| [1] | 2758             | 80    | 5,743              | 295          | 1      |                       |                         |
| [2] | 1939             | 0,08  | 6,202              | 41,49        | 0,7348 | 1794                  | 5,743                   |
| [3] | 173,7            | 0,08  | 0,5921             | 41,49        | 0      |                       |                         |
| [4] | 183,2            | 80    | 0,5967             | 42,07        |        | 181,8                 | 0,5921                  |

# Esercizio 8 – Ciclo di Hirn con riscaldamento

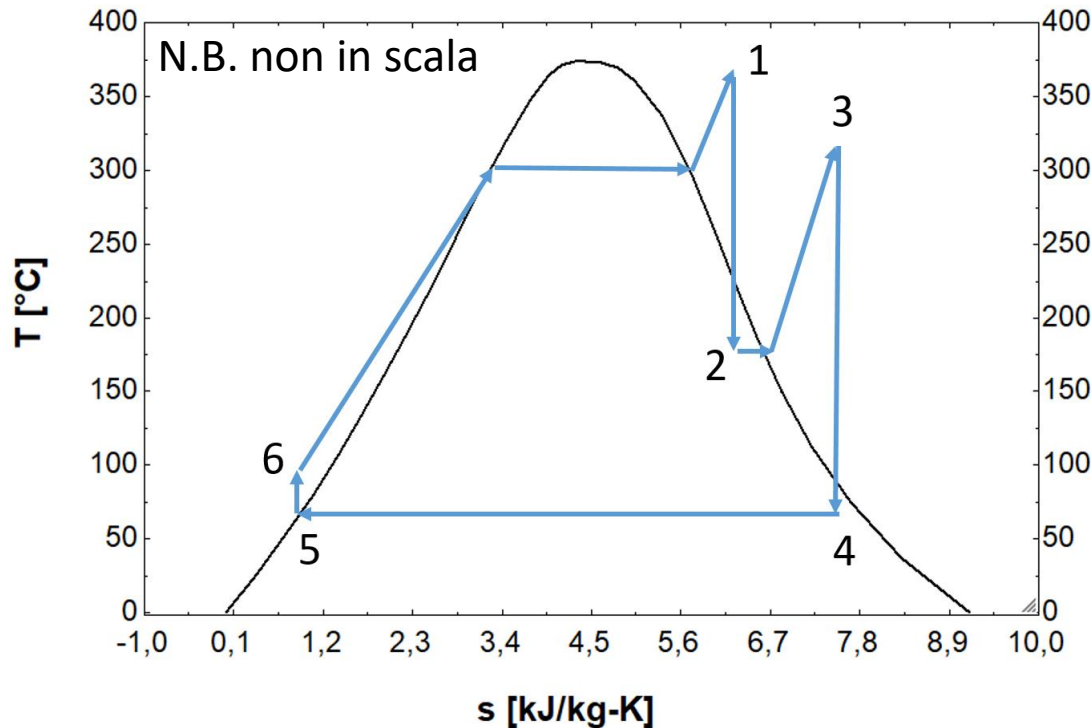


- $P[1] = 80 \text{ bar}$
- $T[1] = 480^\circ\text{C}$
- $P[2] = 7 \text{ bar}$

- $T[3] = 440^\circ\text{C}$
- $P[4] = 0.08 \text{ bar}$
- Potenza netta richiesta 100 MW

Si considera il caso di trasformazioni isoentropiche in turbina e pompa, con condensazione completa del vapore al condensatore.

## Esercizio 8 – Ciclo di Hirn ideale con riscaldamento



$$\eta_{th} = \frac{P_{NET}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{P_{turbina,1\ stadio} + P_{turbina,2\ stadio} - P_{pompa}}{\dot{m}(h_1 - h_6) + \dot{m}(h_3 - h_2)}$$



## Esercizio 8 – Ciclo di Hirn ideale con riscaldamento

Procedo a determinare i da 1 a 5 in termini di T, p, h, s.

### **Punto 1**

Essendo in presenza di surriscaldamento, il punto 1 non sarà più sulla curva di saturazione; è quindi necessario avere a disposizione il valore della temperatura, che insieme alla pressione costituisce il set di variabili indipendenti a partire dalle quali è possibile calcolare le altre variabili termodinamiche.

$P[1] = 80 \text{ bar}$  (noto)

$T[1] = 480 \text{ °C}$

Calcolo  $s[1]$  e  $h[1]$  tramite le funzioni di EES.

### **Punto 2**

Per determinare il punto 2 si procede come fatto nell'esercizio 6, conoscendo la pressione  $p[2]$  e considerando l'espansione ideale isoentropica.



## Esercizio 8 – Ciclo di Hirn ideale con riscaldamento

### Punto 3

$$T[3] = 440 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nell'ipotesi in cui **non vi siano perdite di carico** negli scambi di calore:

$$p[3]=p[2]$$

Calcolo le altre proprietà termodinamiche a partire dalle funzioni EES.

### Punto 4

Conoscendo la pressione al condensatore, nell'ipotesi in cui vengano **trascurate le perdite di carico negli scambiatori** e si consideri l'espansione nel secondo stadio della turbina **ideale isoentropica**, procedo al calcolo delle proprietà nel punto 4 analogamente a come effettuato per il punto 2.

### Punto 5 e punto 6

Le proprietà termodinamiche a valle del condensatore e dopo la pompa vengono calcolate in modo analogo a quanto fatto nell'es. 6, trascurando le perdite di carico e considerando una pompa isoentropica.



## Esercizio 8 – risultati

Unit Settings: [kJ]/[K]/[bar]/[kg]/[degrees]

$$\eta_{th} = 0,4034$$

$$P_{turbina,1st} = 39820$$

$$Q_{in,tot} = 247921$$

$$m_{vapore} = 65,62$$

$$P_{turbina,2st} = 60708$$

$$P_{NET} = 100000$$

$$Q_{in,23} = 40126$$

$$P_{pompa} = 527,9$$

$$Q_{in,61} = 207795$$

|     | 1                | 2     | 3                  | 4     | 5      |
|-----|------------------|-------|--------------------|-------|--------|
|     | $h_i$<br>[kJ/kg] | $p_i$ | $s_i$<br>[kJ/kg-K] | $T_i$ | $x_i$  |
| [1] | 3349             | 80    | 6,659              | 753,2 |        |
| [2] | 2742             | 7     | 6,659              | 438,1 | 0,9896 |
| [3] | 3353             | 7     | 7,757              | 713,2 |        |
| [4] | 2428             | 0,08  | 7,757              | 314,6 | 0,9384 |
| [5] | 173,7            | 0,08  | 0,5921             | 314,6 | 0      |
| [6] | 181,8            | 80    | 0,5921             | 314,9 |        |



## Esercizio 9 – Ciclo di Hirn reale con riscaldamento

Per la prossima lezione: si consideri lo stesso impianto descritto nell'esercizio 8, ma si imposti un rendimento isoentropico per la turbina (entrambi gli stadi) e la pompa pari a 85%.

Si determini:

1. Rendimento termico (di primo principio dell'impianto)
2. Il calore fornito dal generatore di vapore per portare il vapore dal punto 6 al punto 1 e per portare il vapore dal punto 2 al punto 3
3. il calore che deve essere asportato al condensatore  $Q_{\text{cond}}$ .
4. Nell'ipotesi in cui l'acqua di raffreddamento al condensatore entri ad una temperatura  $T[7]$  di  $15^{\circ}\text{C}$  ed esca alla temperatura  $T[8]$  di  $35^{\circ}\text{C}$ , calcolare la portata di acqua di raffreddamento necessaria al condensatore.



## Esercizio 9 – risultati

1.  $\eta_{th} = 0,3507$
2.  $Q_{in\_61} = 245 \text{ MW}$ ;  $Q_{in\_23} = 40,2 \text{ MW}$ ;
3.  $Q_{cond} = 185 \text{ MW}$
4.  $m_{water} = 2211 \text{ kg/s}$





## Esercizio 6 – SCRIPT

"Determino il punto 1"

$$p[1] = 80 \text{ [bar]}$$

$$x[1]=1 \text{ \{vapore saturo all'ingresso della turbina\}}$$

$$T[1] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[1]; x=x[1])$$

$$s[1] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[1]; x=x[1])$$

$$h[1]=\text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[1]; x=x[1])$$

"Determino il punto 2"

$$s[2] = s[1] \text{ \{IPOTESI: ciclo ideale senza irreversibilità\}}$$

$$p[2] = p[3] \text{ \{IPOTESI: no perdite di carico al condensatore\}}$$

$$T[2] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[2]; s=s[2])$$

$$h[2] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[2]; s=s[2])$$

$$x[2] = \text{quality}(\text{steam}; p=p[2]; s=s[2])$$

"Determino il punto 3"

$$p[3] = 0,08 \text{ [bar]}$$

$$x[3]=0 \text{ \{IPOTESI: condensazione completa; liquido saturo all'uscita dle condensatore\}}$$

$$T[3] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[3]; x=x[3])$$

$$h[3] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[3]; x=x[3])$$

$$s[3] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[3]; x=x[3])$$

"Determino il punto 4"

$$p[4]=p[1] \text{ \{IPOTESI: assenza di perdite di carico al generatore di vapore\}}$$

$$s[4]=s[3] \text{ \{IPOTESI: ciclo ideale senza irreversibilità\}}$$

$$T[4] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[4]; s=s[4])$$

$$h[4] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[4]; s=s[4])$$

"Calcolo della portata di vapore necessaria ad ottenere la potenza netta richiesta"

$$P_{\text{NET}} = 100 \cdot 10^3 \text{ [kW]}$$

$$P_{\text{NET}} = P_{\text{turbina}} - P_{\text{pompa}}$$

$$P_{\text{turbina}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[1] - h[2]) \text{ \{kW\}}$$

$$P_{\text{pompa}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[4] - h[3]) \text{ \{kW\}}$$

"Calcolo del calore fornito al sistema dal generatore di vapore"

$$Q_{\text{in}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[1] - h[4]) \text{ \{kW\}}$$

"Calcolo del rendimento termico del ciclo (rendimento di primo principio)"

$$\eta_{\text{th}} = P_{\text{NET}} / Q_{\text{in}}$$



## Esercizio 7 – SCRIPT

"Determino il punto 1"

$$p[1] = 80 \text{ {bar}}$$

$$x[1]=1 \text{ {vapore saturo all'ingresso della turbina}}$$

$$T[1] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[1]; x=x[1])$$

$$s[1] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[1]; x=x[1])$$

$$h[1]=\text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[1]; x=x[1])$$

"Determino il punto 2"

$$p[2] = p[3] \text{ {IPOTESI: no perdite di carico al condensatore}}$$

$$s_{is}[2] = s[1] \text{ {il punto 2is si riferisce alla trasformazione ideale isoentropica in turbina}}$$

$$h_{is}[2]=\text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[2]; s=s_{is}[2])$$

$$\eta_{it} = 0,85 \text{ {valore dato del rendimento isoentropico della turbina}}$$

$$\eta_{it} = (h[1]-h[2]) / (h[1]-h_{is}[2]) \text{ {da quest'espressione riesco a ricavare il valore di } h[2]}$$

$$T[2] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[2]; h=h[2])$$

$$s[2] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[2]; h=h[2])$$

$$x[2] = \text{quality}(\text{steam}; p=p[2]; h=h[2])$$

"Determino il punto 3"

$$p[3] = 0,08 \text{ {bar}}$$

$$x[3]=0 \text{ {IPOTESI: condensazione completa; liquido saturo all'uscita dle condensatore}}$$

$$T[3] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[3]; x=x[3])$$

$$h[3] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[3]; x=x[3])$$

$$s[3] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[3]; x=x[3])$$

"Determino il punto 4"

$$p[4]=p[1] \text{ {IPOTESI: assenza di perdite di carico al generatore di vapore}}$$

$$s_{is}[4]=s[3] \text{ {il punto 4is si riferisce alla trasformazione ideale isoentropica nella pompa}}$$

$$h_{is}[4]=\text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[4]; s=s_{is}[4])$$

$$\eta_{ip}=0,85 \text{ {valore dato del rendimento isoentropico della pompa}}$$

$$\eta_{ip} = (h_{is}[4]-h[3]) / (h[4]-h[3]) \text{ {da quest'espressione riesco a ricavare il valore di } h[4]}$$

$$T[4] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[4]; h=h[4])$$

$$s[4]=\text{entropy}(\text{steam}; p=p[4]; h=h[4])$$

"Calcolo della portata di vapore necessaria ad ottenere la potenza netta richiesta"

$$P_{NET} = 100 \cdot 10^3 \text{ {kW}}$$

$$P_{NET} = P_{turbina} - P_{pompa}$$

$$P_{turbina} = m_{vapore} \cdot (h[1]-h[2]) \text{ {kW}}$$

$$P_{pompa} = m_{vapore} \cdot (h[4]-h[3]) \text{ {kW}}$$

"Calcolo del calore fornito al sistema dal generatore di vapore"

$$Q_{in} = m_{vapore} \cdot (h[1]-h[4]) \text{ {kW}}$$

"Calcolo del rendimento termico del ciclo (rendimento di primo principio)"

$$\eta_{th} = P_{NET} / Q_{in}$$



## Esercizio 8 – SCRIPT

"Determino il punto 1"

$$p[1] = 80 \text{ {bar}}$$

$$T[1] = 480+273,15 \text{ {K}}$$

$$s[1] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[1]; T=T[1])$$

$$h[1] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[1]; T=T[1])$$

"Determino il punto 2"

$$s[2] = s[1] \text{ {IPOTESI: ciclo ideale senza irreversibilità}}$$

$$p[2] = 7 \text{ {bar}}$$

$$T[2] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[2]; s=s[2])$$

$$h[2] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[2]; s=s[2])$$

$$x[2] = \text{quality}(\text{steam}; p=p[2]; s=s[2])$$

"Determino il punto 3"

$$p[3] = p[2] \text{ {IPOTESI: perdite di carico trascurate}}$$

$$T[3] = 440+273,15 \text{ {K}}$$

$$h[3] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[3]; T=T[3])$$

$$s[3] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[3]; T=T[3])$$

"Determino il punto 4"

$$p[4] = 0,08 \text{ {bar}}$$

$$s[4] = s[3] \text{ {IPOTESI: ciclo ideale senza irreversibilità}}$$

$$T[4] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[4]; s=s[4])$$

$$h[4] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[4]; s=s[4])$$

$$x[4] = \text{quality}(\text{steam}; p=p[4]; s=s[4])$$

"Determino il punto 5"

$$p[5] = p[4] \text{ {IPOTESI: perdite di carico trascurate}}$$

$x[5] = 0$  {IPOTESI: condensazione completa fino a stato di liquido saturo}

$$T[5] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[5]; x=x[5])$$

$$s[5] = \text{entropy}(\text{steam}; p=p[5]; x=x[5])$$

$$h[5] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[5]; x=x[5])$$

"Determino il punto 6"

$$p[6] = p[1] \text{ {IPOTESI: perdite di carico trascurate}}$$

$$s[6] = s[5] \text{ {IPOTESI: trasformazione isoentropica nella pompa}}$$

$$T[6] = \text{temperature}(\text{steam}; p=p[6]; s=s[6])$$

$$h[6] = \text{enthalpy}(\text{steam}; p=p[6]; s=s[6])$$

"Calcolo della portata di vapore necessaria ad ottenere la potenza netta richiesta"

$$P_{\text{NET}} = 100 \cdot 10^3 \text{ {kW}}$$

$$P_{\text{NET}} = P_{\text{turbina\_1st}} + P_{\text{turbina\_2st}} - P_{\text{pompa}}$$

$$P_{\text{turbina\_1st}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[1] - h[2]) \text{ {kW}}$$

$$P_{\text{turbina\_2st}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[3] - h[4]) \text{ {kW}}$$

$$P_{\text{pompa}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[6] - h[5]) \text{ {kW}}$$

"Calcolo del calore fornito al sistema dal generatore di vapore"

$$Q_{\text{in\_61}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[1] - h[6]) \text{ {kW}}$$

$$Q_{\text{in\_23}} = m_{\text{vapore}} \cdot (h[3] - h[2]) \text{ {kW}}$$

$$Q_{\text{in\_tot}} = Q_{\text{in\_61}} + Q_{\text{in\_23}} \text{ {kW}}$$

"Calcolo del rendimento termico del ciclo (rendimento di primo principio)"

$$\eta_{\text{th}} = P_{\text{NET}} / Q_{\text{in\_tot}}$$



# Software Engineering Equation Solver (EES)



chiara.dall'armi@phd.units.it