

\* DATI \*

$$\begin{aligned}
 D_1 &= 0,2 \text{ m} & D_2 &= 0,18 \text{ m} \\
 V_1 &= 3 \text{ m/s} & z_1 = z_2 & P_1 = 2 \text{ bar} & P_2 = 15 \text{ bar} \\
 \eta_{MECC} &= 0,94 & \eta_{EL} &= 0,96 & \Delta T_{1 \rightarrow 2} = 0,1 \text{ K} \\
 \text{macchina} & & & & l_{IO} = ? & \eta_{EL} = ? \\
 \text{MOTRICE} & \swarrow ? \downarrow & \text{OPERATRICE} & & &
 \end{aligned}$$

Acqua Liquida  $\rightarrow$  Liquido Incompressibile  $\int = \text{cost}$

Cons. ENERGIA ( $\int = \text{cost}$ )



$$\frac{P_1}{\int} + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 + l_{IO} + q = \frac{P_2}{\int} + \frac{V_2^2}{2} + g z_2 \quad (\text{REGIME STAZIONARIO})$$

$\downarrow$  MACCHINA ADIABATICA

$$\frac{P_1}{\int} + \frac{V_1^2}{2} + l_{IO} = \frac{P_2}{\int} + \frac{V_2^2}{2}$$

- Per ricavare la velocità  $V_2$  considero il Princípio di Cons. MASSA

$$m = \int V_1 A_1 = \int V_2 A_2 \implies \frac{V_1}{V_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi D_2^2 / 4}{\pi D_1^2 / 4} \implies V_2 = 3,7 \text{ m/s}$$

$$m = 94,25 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{PONTATA MASSICA ELABORATA DALLA MACCHINA})$$

$$l_{IO} = \left( \frac{P_2 - P_1}{\int} \right) + \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) = 1302,3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

LAVORO DELL'ACQUA MACCHINA INUTILE

$\Rightarrow$  MACCHINA OPERATRICE

\* MACCHINA REALE \*  $\rightarrow \Delta T_{1 \rightarrow 2} = 0,1 \text{ K}; \eta_{MECC} < 1; \eta_{EL} < 1$

$$\gamma = c \Delta T = 418,6 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \quad (\text{EFFETTO DELLE IRREVERSIBILITÀ})$$

$\downarrow$   
 $4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

$$\frac{P_1}{\eta} + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 + \ell = \frac{P_2}{\eta} + \frac{V_2^2}{2} + g z_2 + \gamma$$

↓

$\ell = \ell_{\text{IO}} + \gamma$  (CE irreversibilità causano un aumento del lavoro)  
richiesto dalla macchina operatrice

$$W_{\text{el}} = \frac{\ell}{\eta_{\text{MECC}} \cdot \eta_{\text{EL}}} = 179739,1 \text{ kW}$$

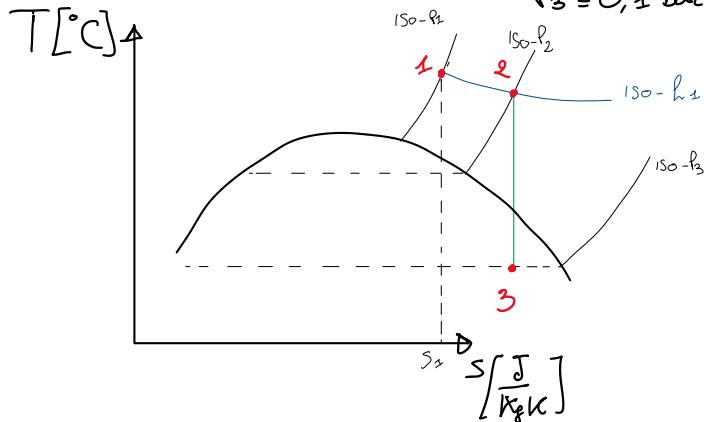
(Potenza Elettrica Richiesta dalla Macchina)

\* DATI \*

$$1 \rightarrow 2 (\text{iso-h}) \quad 2 \rightarrow 3 (\text{iso-s})$$

$$P_1 = 10 \text{ bar}; T_1 = 400^\circ\text{C}; P_2 = 5 \text{ bar}$$

$$P_3 = 0,1 \text{ bar}$$



$$h_{12} (P_1 = 10 \text{ bar}, T_1 = 400^\circ\text{C}) = 3264,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$h_2 = h_{12}$  Carnotiana Adiabatica (iso-h)

$$S_2 (P_2 = 5 \text{ bar}; h_2) = 7,784 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

ESPANSIONE ISOENTROPICA ( $2 \rightarrow 3$ )  $S_2 = S_3$

(DAL Momento che  $S_{12} < S_3 < S_{23}$  il punto 3 è in Cond. BIFASE)

$$X_3 = \frac{S_3 - S_{12}}{S_{23} - S_{12}} = 0,951$$

TABELLE → TABELE

$$S_{12} (P = P_3 = 0,1 \text{ bar}) \quad S_{23} (P = P_3 = 0,1 \text{ bar})$$

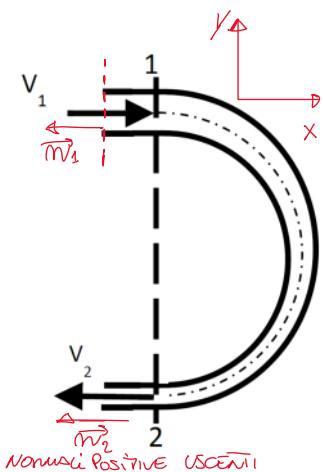
REGOLA LEVA

$$h_3 = (1 - X_3) h_{12} (P = 0,1 \text{ bar}) + X_3 h_{12} (P = 0,1 \text{ bar}) = 2467,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

TABELE → TABELE

$$\Delta S = S_3 - S_1 = 0,31684 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\Delta h = h_3 - h_1 = -797 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**\* DATI \***

AQUA  $\rightarrow$  LIQ. IDEALE  $f = \text{cost}$   
 $D_1 = 200 \text{ mm}$   $V_1 = 5 \text{ m/s}$

$D_2 = 150 \text{ mm}$  SPISTA ESERCITATA DALL'AQUA?  
 Saco Cunus

$$P_1 = 88,7 \text{ kPa} ; P_2 = 51,4 \text{ kPa}$$

$\rightarrow$  REGIME STAZIONARIO (Pn. cons. MASSA)  $m_{in1} = m_{in2}$

$$f_1 V_1 S_1 = f_2 V_2 S_2 \Rightarrow f_1 = f_2 = f \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{S_2}{S_1} = V_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 = 8,89 \text{ m/s}$$

$$\text{PONTATA MASSICA CIRCOLANTE } m = \int_1^2 V_1 \frac{\pi D^2}{4} = 157,08 \text{ kg/s}$$

\* P2 CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO \* (DIREZIONE  $V_{TORSO}$ )

$$\vec{G} - \vec{T}_{11} - \vec{T}_{22} + \vec{R}_3 = \vec{M}_2 - \vec{M}_1$$

$\vec{M}_g$   
 $\vec{P}_1 S_1 m_1$   
 $\vec{P}_2 S_2 m_2$

$\vec{m} V_2$   
 $\vec{m} V_1$

FORZA ESERCITATA DALLA  
 PARTE SUL FLUIDO  $\int (-P \vec{n} + \tau \vec{t}) ds$   
 $s_3$  (PARTE TUBO)

$$-\vec{R}_3 \quad (\text{FORZA ESERCITATA DAL FLUIDO SULLA PARTE}) = \vec{G} - \vec{T}_{11} - \vec{T}_{22} - \vec{M}_2 + \vec{M}_1$$

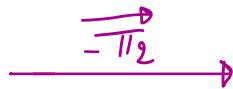
\* VETTORI \*

$$\vec{G} = f V \vec{g} \quad \text{DIREZIONE, VERSO CONCORDI CON } \vec{g} \quad (\text{COMPONENTE NERA SU PIANO ORIZONTALE})$$

$$|\vec{T}_{11}| = P_1 \left( \frac{\pi D_1^2}{4} \right) = \left( 88700 \pi \frac{0,2^2}{4} \right) N$$



$$|\vec{T}_{22}| = P_2 \left( \frac{\pi D_2^2}{4} \right) = \left( 51400 \pi \frac{0,15^2}{4} \right) N$$



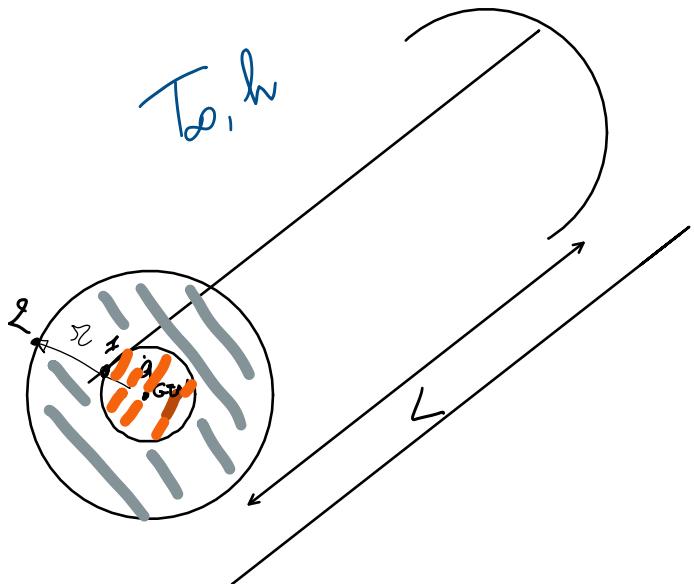
$$|\Pi_2| = P_2 \left( \frac{\pi D_2^2}{4} \right) = \left( 51400 \pi \frac{0.15^2}{4} \right) N$$

$$|M_1| = m |V_1| = (157,08 \cdot 8.89) N$$

$$|M_2| = m |V_2| = (157,08 \cdot 5) N$$

-R<sub>3</sub>

$$-R_{3,y} = 0 ; -R_{3,x} = 5876,6 N ; -R_{3,z} = |G|$$



\* DATI \* (TUBO IN ACCIAIO CHE CONTIENE MATERIALI RADIAZIVI)

$$K_{ACC} = 15 \frac{W}{mK}; L = 1 \text{ m}$$

$$\pi r_1 = 200 \text{ mm}; \pi r_2 = 250 \text{ mm}; q_{GEN} = 10^5 \frac{W}{m^3}$$

$$T_\infty = 25^\circ C; h = 500 \frac{W}{m^2 K}$$

REGIME STAZIONARIO  $T_1 = ?$   
Scambio Termico in Direzione Radiale  $T(r)$

### \* RESISTENZA CONDUTTIVA STRATO ACCIAIO \*

$$R_{COND} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_{ACC} L} = 2,37 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

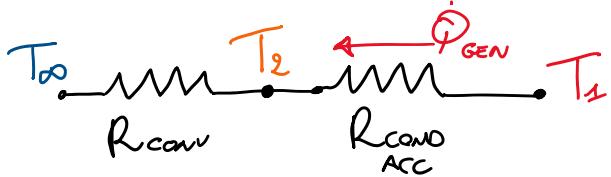
### \* RESISTENZA TERMICA CONVETTIVA \*

$$R_{CONV} = \frac{1}{h 2\pi r_2 L} = 1,27 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

### \* TEMPERATURA SUPERFICIE INTERNA $T_1$ \*

$$\dot{Q}_{GEN} [W] = \dot{q}_{GEN} \left[ \frac{W}{m^3} \right] \cdot \underbrace{\pi r_1^2 L}_{\text{Volume}} = 12566 W$$

### \* CIRCUITO EQUIVALENTE \*



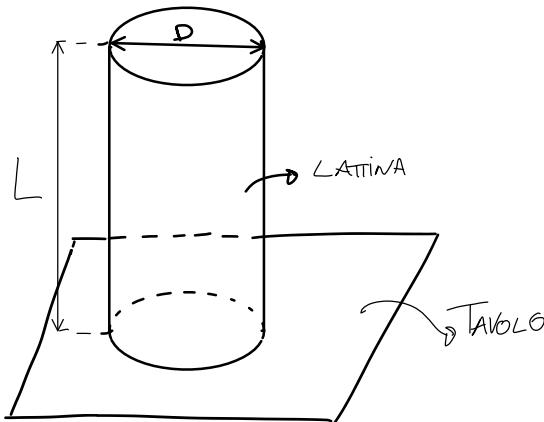
$$\dot{Q}_{GEN} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{CONV} + R_{COND}_{ACC}} \Rightarrow T_1 = T_\infty + \dot{Q}_{GEN} (R_{CONV} + R_{COND}_{ACC}) = 70,75^\circ C$$

RISISTENZA EQUIVALENTE ( $R_{equivalent} = \sum R_i$ )

RESISTENZA EQUIVALENTE (  $R_{SERIE} = \sum_{i=1}^n R_i$  )

## Ese 5

martedì 14 dicembre 2021 09:49



\* DATI \*

$$L = 113 \text{ mm} \quad d = 53 \text{ mm} \quad (\text{SPESSEZZE LATINA TRASCRIBBIBILE})$$

$$T(t=0) = 6^\circ\text{C} \quad T_\infty = 24^\circ\text{C} \quad h = 4,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$$

$$\rho_F = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad C_F = 4,1 \text{ kJ/kg/K}; \quad K_F = 0,6 \text{ W/m/K}$$

$$T(t=2h) = ? \quad t^*(T_f=20^\circ\text{C}) ?$$

- Scambio Termico con l'Aria avviene attraverso la Superficie laterale e la base superiore del Cilindro

- Condizione Non Stazionaria (Transitorio)



Controlla la possibilità di utilizzare l'Approssimazione a Parametri Concentrati

$$m^o \text{ Biot} = Bi = \frac{h L_c}{K} \xrightarrow{\text{LUNGHEZZA CARATTERISTICA}} < 0,1$$

COEFF. SCAMBIO  $\leftrightarrow$   
TERNUO CONVETTIVO

$$L_c = \frac{\text{Volume Contenuto}}{\text{Superficie di Scambio}} = \frac{\pi D^2 L}{\frac{\pi D^2 + \pi D L}{4}} = 0,01185 \text{ m}$$

$$Bi = 0,0889 < 0,1 \quad \left( \begin{array}{l} \text{è possibile modellizzare il Processo con l'Approssimazione} \\ \text{a Parametri Concentrati} \end{array} \right)$$

- Bilancio Energetico

$$\dot{Q}_{IN} + \cancel{\dot{Q}_{GEN}} - \cancel{\dot{Q}_{OUT}} = \dot{U}_{ACC} \quad \left( \dot{Q}_{IN} > 0 \text{ il Contenuto si Satura} \right)$$

$$h A_{scambio} (T_\infty - T(t)) = \rho c V \frac{dT}{dt}$$

$$\cdot \text{SOSTITUZIONE VARIABILI} \quad \Theta = T - T_\infty; \quad d\Theta = dT$$

$$-\ln \frac{\theta}{\theta_i} = \beta C V \frac{d \theta}{dt} \quad (\text{eq. differenziale a variabili separabili})$$

$$\int_{\theta_i}^{\theta_f} -\frac{\beta C V}{hA} \frac{d\theta}{\theta} = \int_{t_i}^{t_f} dt \Rightarrow t_f = \frac{-\beta C V}{hA} \ln \frac{\theta_f}{\theta_i} \quad t_i = 0 s$$

$$\theta_f = \theta_i e^{-\frac{(hA+t_f)/(\beta C V)}{l}} \quad \Rightarrow \quad T_f = T_\infty + (T_i - T_\infty) e^{-\frac{hAt_f}{\beta CV}} = 14,76^\circ C$$

$T_i - T_\infty = 6^\circ C - 24^\circ C = -18^\circ C$

Tempo = 7200 s

• Temp Necessario per raggiungere una  $T_f = 20^\circ C$

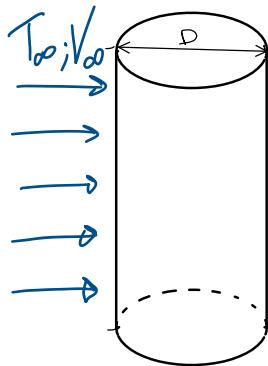
$$t = \frac{\beta C V}{hA} \ln \frac{\theta_f}{\theta_i} = 16251 s$$

$\rightarrow 20^\circ C - 24^\circ C$

$6^\circ C - 24^\circ C$

## Ese 6

martedì 14 dicembre 2021 18:46



$$Nu_0 = c Re_0^{m} Pr^{1/3}$$

$$\frac{hD}{K_{\text{Fluido}}} = c \left( \frac{\rho_{\text{Fluido}} V_{\infty} D}{\mu_{\text{Fluido}}} \right)^m \left( \frac{C_p / \mu}{K} \right)^{1/3}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{Re = 48007}$        $\underbrace{\hspace{10em}}_{Pr = 0,715}$

- Propri. Fluido NOTE

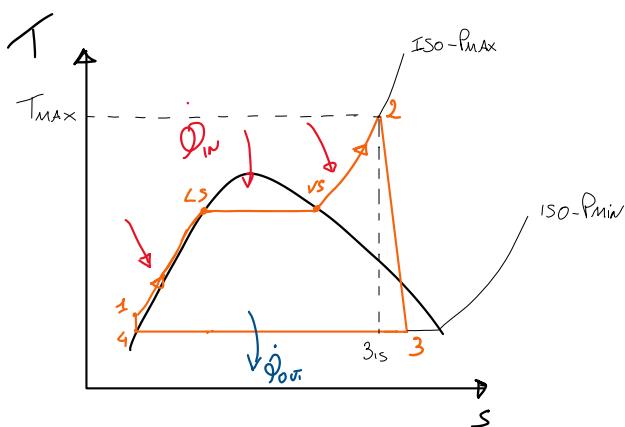
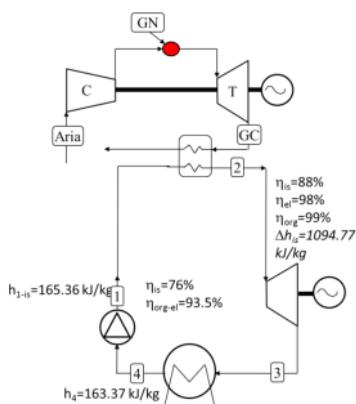
- Propri. Acciaio NON servono per il calcolo di  $h \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

da tabella  $c = f(Re) = 0,027$   
 $m = g(Re) = 0,805$

$$Nu_0 = 0,027 Re_0^{0,805} Pr^{1/3} = 141,67 \implies h = \frac{Nu_0 K_{\text{EFF}}}{D} = 41,65 \frac{W}{m^2 K}$$

\* POTENZA TERMICA SCAMBIA \* → Relazione di Newton

$$q_{\text{cic}} = h \pi D (T_s - T_{\infty}) = 1308,49 \frac{W}{m}$$



### Turbina a Gas (Ciclo Joule-Brunton Aperto)

Schematic of an open cycle gas turbine (Joule-Brunton cycle):

- Process: Air enters C, exits to E.
- Efficiency:  $\eta_{EL,TG} = 39.4\%$ .
- Properties:  $T_{GC} = 473^\circ\text{C}$ ,  $C_p,GC = 1.08 \text{ KJ/kg/K}$ .

$$\eta_{EL,TG} = \frac{\dot{W}_{EL}}{\dot{Q}_{in}} \Rightarrow \dot{W}_{EL} = \eta_{EL,TG} \dot{Q}_{in} = 202.5 \text{ MW}_e$$

PONTATA MASSICA GAS Combusti → Bilancio massa al Combustore

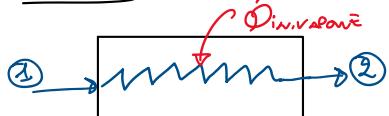


$$m_{GC} = m_{aria} + m_{GN} = 615 \text{ kg/s}$$

### \*CICLO A VAPORI SFUROTTA i GAS Combusti come SORGENTE Tenuica\*

↓  
TRANSFORMAZIONE 1 → 2  
MANDATA DELLA POMPA  $\hookrightarrow$  VAP. SOMMISCALATO

#### - CALCOLO $\dot{Q}_{in, VAPORI}$



$$m_1 = m_2$$

$$\dot{Q}_{in, VAPORI} = 65 \text{ kg/s} \text{ (dato)}$$

Bil. ENERGIA  $\frac{\text{Bil. ENERGIA}}{\text{Bil. MASSA}}$

$h_{1s} \rightarrow$  ENALPIA DELL'ACQUA ALLA MANDATA DELLA POMPA  $\rightarrow 165.36 \text{ kJ/kg}$  (dato)

T-s diagram showing the cycle on an ISO-Pmax and ISO-Pmin chart. The cycle path is 1-2-3-4-1. The diagram includes points 1s, 2s, 3s, 4s, and intermediate points 1s, 2s, 3s, 4s. Arrows indicate the direction of heat addition (1s to 2s) and heat rejection (3s to 4s).

$$\eta_{is,pompa} = \frac{\Delta h_{1s}}{\Delta h_{reale}} = \frac{h_{1s} - h_4}{h_1 - h_4} \Rightarrow h_{1s} = 165.38 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{is} = 0.76$$

$$163.37 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \text{ (dato)}$$

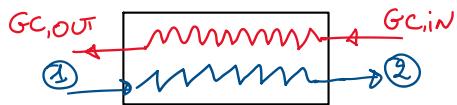
•  $h_2 \rightarrow$  ENERGIA DEL VAPORE SURNASCENDENTE  $\rightarrow$  uso Diagramma  $H_2O$

INGRESSO in Turbina

$$h_2 = h(P=20 \text{ bar}; T=450^\circ\text{C}) = 3358,052 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{in,vap} = m_{vap} (h_2 - h_1) = 207,5 \text{ MW}_th \quad \left( \begin{array}{l} \text{POSSOVA TERMICA IN} \\ \text{INGRESSO AL CICLO A} \\ \text{VAPORI} \end{array} \right)$$

\* Calcolo Temperatura dei Gas Combusti a Valore della Cessione di Calore \*



$$m_{gc} (h_{gc,in} - h_{gc,out}) = m_{vap} (h_2 - h_1) = \dot{Q}_{in,vap}$$

$\Downarrow$  GC trattati come GAS IDEALE

$$m_{gc} c_{pgc} (T_{in,gc} - T_{out,gc}) = \dot{Q}_{in,vap}$$

$\Downarrow$   $473^\circ\text{C}$  dato

$$T_{out,gc} = T_{in,gc} + \frac{\dot{Q}_{in,vap}}{m_{gc} c_{pgc}} = 160,5^\circ\text{C}$$

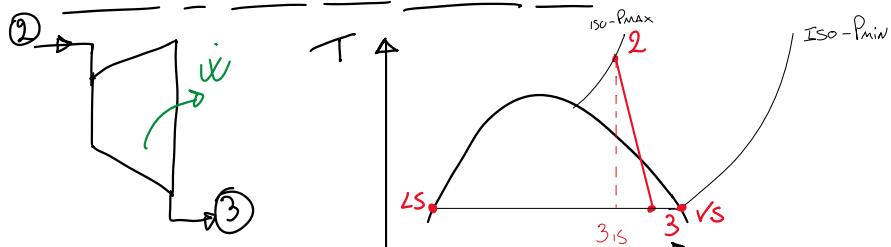
\* Pressione Condensazione \*

$\hookrightarrow$  (4)  $\rightarrow$  LIQ. SATURO (uscita dal CONDENSATORE)

- DALLE TABECCHE DI SATURAZIONE ( $H_2O$ ) IDENTIFICO  $h_4$  (affare inteflo)

$$P_4 = 0,07 \text{ bar} \quad T_4 = T_{min} = 33^\circ\text{C}$$

\* TITOLO di VAPORI ALLO SCARICO  $x_3$  \*



$$\gamma_{is,TV} = \frac{\Delta h_{real}}{\Delta h_{is}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_{3,IS}} \Rightarrow h_3 = 2394,65 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad \left( \begin{array}{l} \text{SCARICO REALE} \\ \text{DELLA TV} \end{array} \right)$$

$\Downarrow$

$0,88$  (dato)

$\Delta h_{is,TV} = 1034,77 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$  (dato)

ZONA BIFASE  $0 < x_3 < 1$  poiché  $h_{ls} < h_3 < h_{vs}$  ( $P_{cond}$ )

REGOLA DEI LEVA

$$h_3 = (1 - x_3) h_{ls} + x_3 h_{vs}$$

TABECCHE  $h_{ls}(P=0,07 \text{ bar})$   $163,37 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$

TABECCHE  $h_{vs}(P=0,07 \text{ bar})$   $2570 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$

$$\text{TABELLE } h_{LS}(P=0,07 \text{ bar}) \quad \text{TABELLE } h_{VS}(P=0,07 \text{ bar})$$

$$163,37 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$2570 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$X_3 = \frac{h_3 - h_{LS}}{h_{VS} - h_{LS}} = 0,93$$

\* Potenza Elettrica Nettta del Ciclo a Vapore \*

$$P_{EL,NET} = P_{EL,TG} - P_{EL,PUMA} = m_{VAP} (h_2 - h_3) \eta_{MECC} \eta_{EL} - m_{VAP} (h_1 - h_4)$$

60755 kW<sub>e</sub>

159 KkW<sub>e</sub>

$$P_{EL,NET} = 60595 \text{ kW}_e$$

\* Rendimento Netto del Ciclo Combinato \*

$$\eta_{EL,NET} = \frac{\dot{W}_{NET, \text{ciclo-combinato}}}{\dot{Q}_{in, \text{ciclo-combinato}}} = \frac{\dot{W}_{EL,TG} + \dot{W}_{EL,CV}}{\dot{Q}_{in,TG}} = 0,512$$