

Macchine a Fluido



INTRODUZIONE AL SOFTWARE DI CALCOLO EES

Prof. Rodolfo Taccani

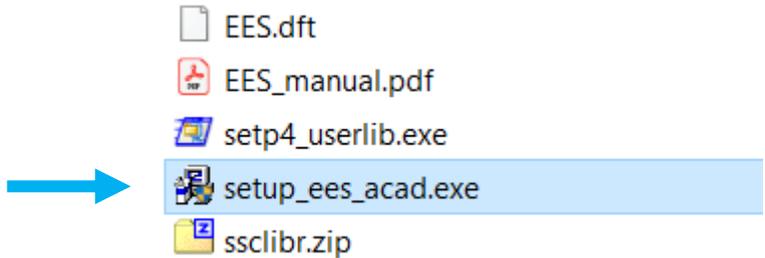
Ing. Federico Del Mondo

A.A. 2022-2023

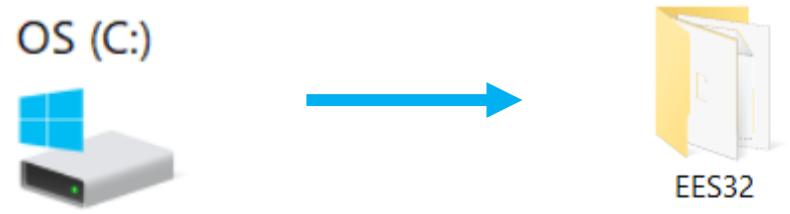


Installazione EES – Engineering Equation Solver

Contenuto Cartella installazione:



A installazione terminata copiare file di licenza (EES.dft) nella directory programma:





Software Engineering Equation Solver (EES)

Regole e comandi base:

- 1) NON c'è distinzione tra lettere maiuscole e minuscole
- 2) Si possono inserire spazi e saltare righe
- 3) Commenti: "commenti che poi appaiono nella finestra con le equazioni formattate", {commenti che non compaiono nella finestra delle eq. formattate}
- 4) variabili di tipo array hanno l'indice tra parentesi quadre: es. $x[1]$, $x[2]$, ..., $x[j]$
- 5) I nomi delle variabili NON possono contenere $()^*/+^{-}\{\}$
- 6) **È un solutore simultaneo: L'ORDINE DI SCRITTURA DELLE EQUAZIONI NON HA IMPORTANZA**



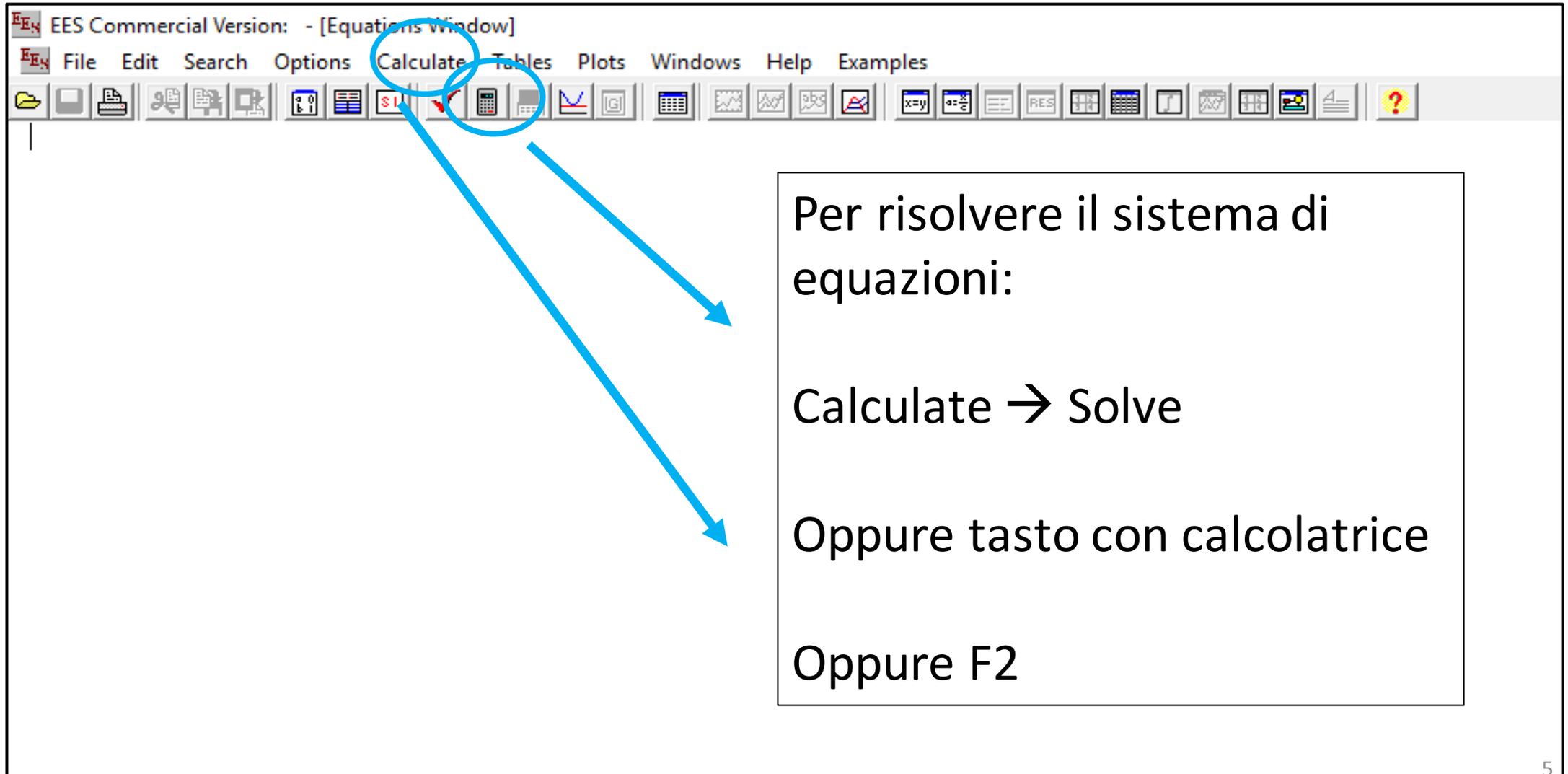
Software Engineering Equation Solver (EES)

Equation Window: è la finestra che appare all'apertura del software; è qui che posso scrivere le equazioni

Tasto per tornare all'Equations Window



Software Engineering Equation Solver (EES)



EES Commercial Version: - [Equations Window]

File Edit Search Options **Calculate** Tables Plots Windows Help Examples

Per risolvere il sistema di equazioni:

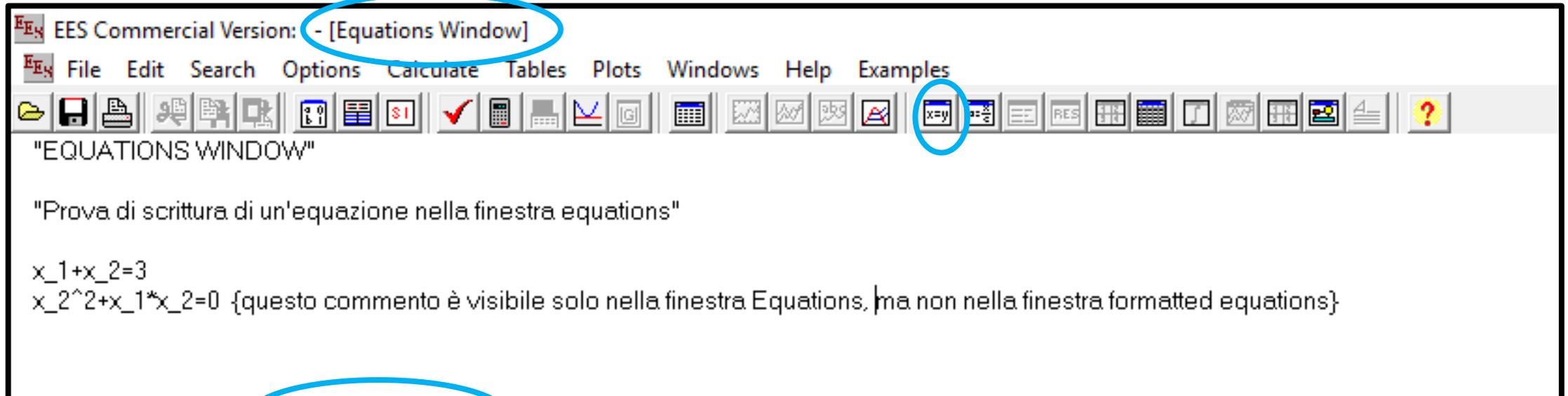
Calculate → Solve

Oppure tasto con calcolatrice

Oppure F2



Software Engineering Equation Solver (EES)



EES Commercial Version: - [Equations Window]

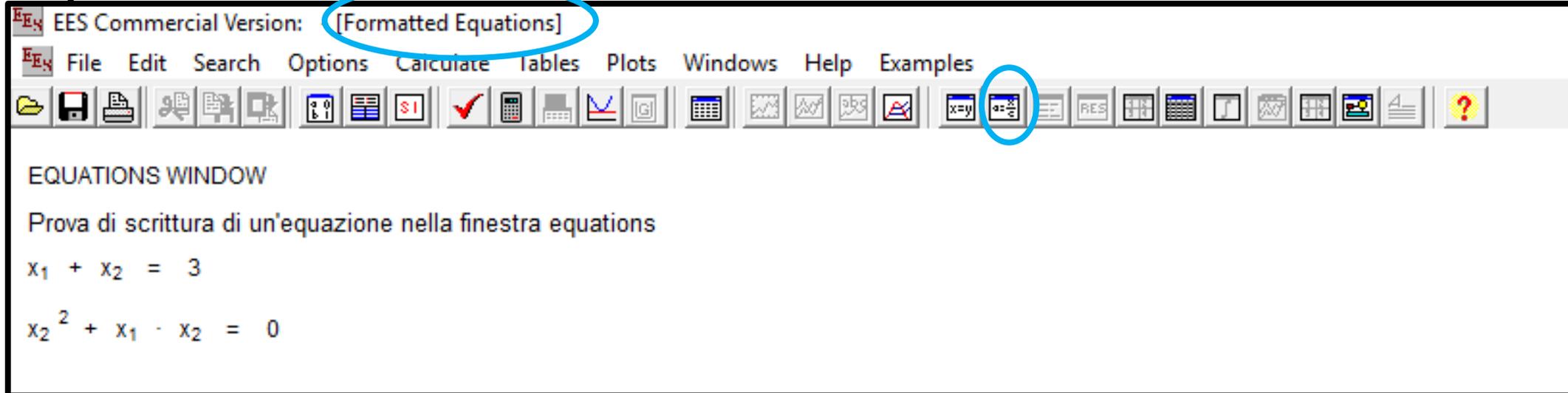
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

"EQUATIONS WINDOW"

"Prova di scrittura di un'equazione nella finestra equations"

$x_1 + x_2 = 3$
 $x_2^2 + x_1 \cdot x_2 = 0$ {questo commento è visibile solo nella finestra Equations, ma non nella finestra formatted equations}

Detailed description: This screenshot shows the 'Equations Window' in EES. The title bar reads 'EES Commercial Version: - [Equations Window]'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Search', 'Options', 'Calculate', 'Tables', 'Plots', 'Windows', 'Help', and 'Examples'. The toolbar contains various icons, with the 'x=y' icon circled in blue. The main text area contains the title 'EQUATIONS WINDOW', a subtitle 'Prova di scrittura di un'equazione nella finestra equations', and two equations: $x_1 + x_2 = 3$ and $x_2^2 + x_1 \cdot x_2 = 0$. A comment in curly braces follows the second equation: '{questo commento è visibile solo nella finestra Equations, ma non nella finestra formatted equations}'.



EES Commercial Version: [Formatted Equations]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

EQUATIONS WINDOW

Prova di scrittura di un'equazione nella finestra equations

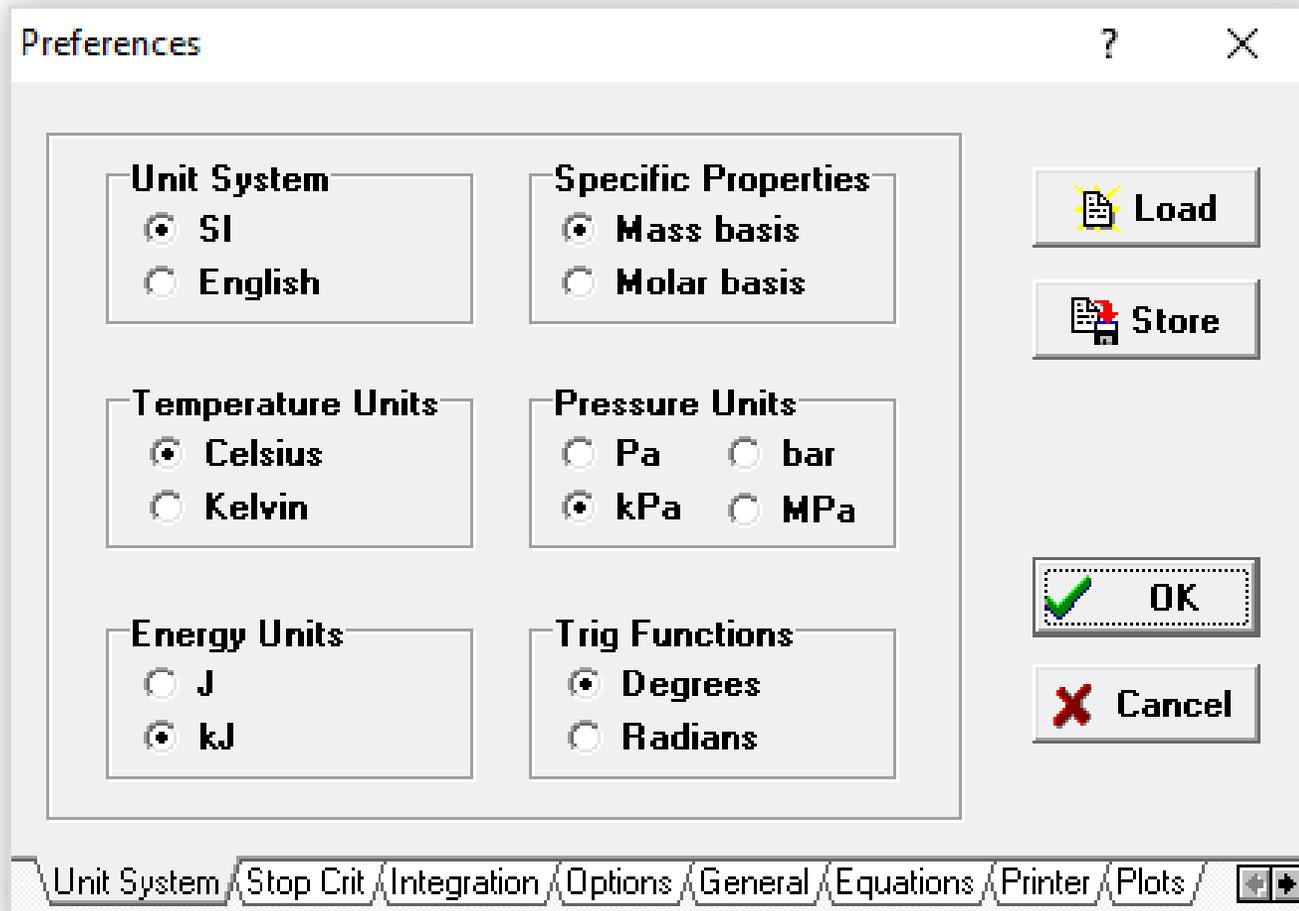
$x_1 + x_2 = 3$
 $x_2^2 + x_1 \cdot x_2 = 0$

Detailed description: This screenshot shows the 'Formatted Equations Window' in EES. The title bar reads 'EES Commercial Version: [Formatted Equations]'. The menu bar is identical to the previous window. The toolbar is also identical, with the 'a=b/c' icon circled in blue. The main text area contains the title 'EQUATIONS WINDOW', the subtitle 'Prova di scrittura di un'equazione nella finestra equations', and the same two equations as the previous window, but they are formatted: $x_1 + x_2 = 3$ and $x_2^2 + x_1 \cdot x_2 = 0$. The comment is not visible in this window.



Software Engineering Equation Solver (EES)

Prima di iniziare: impostare sistema delle unità di misura

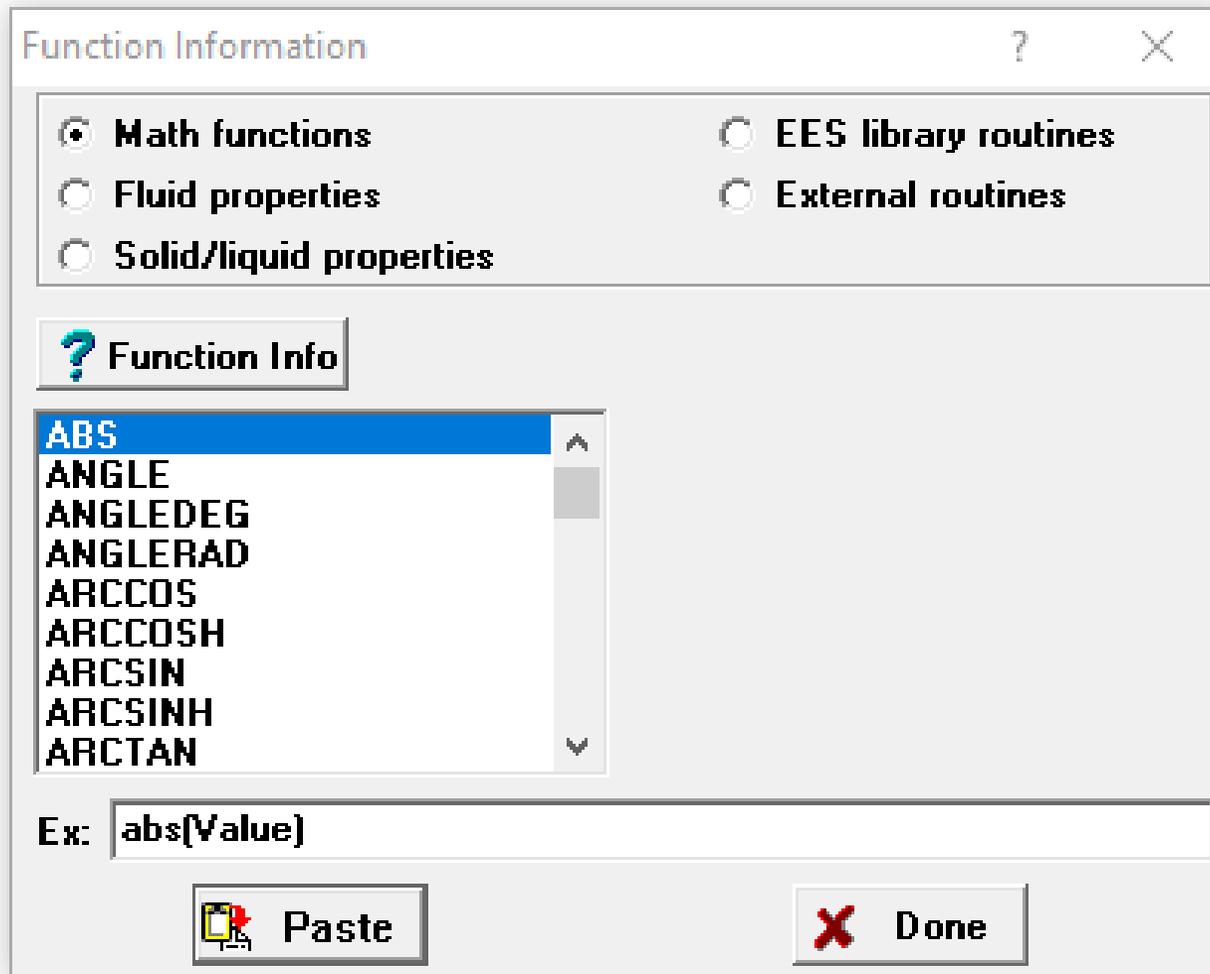


Options → Unit System



Software Engineering Equation Solver (EES)

Per avere informazioni sulla sintassi delle funzioni:

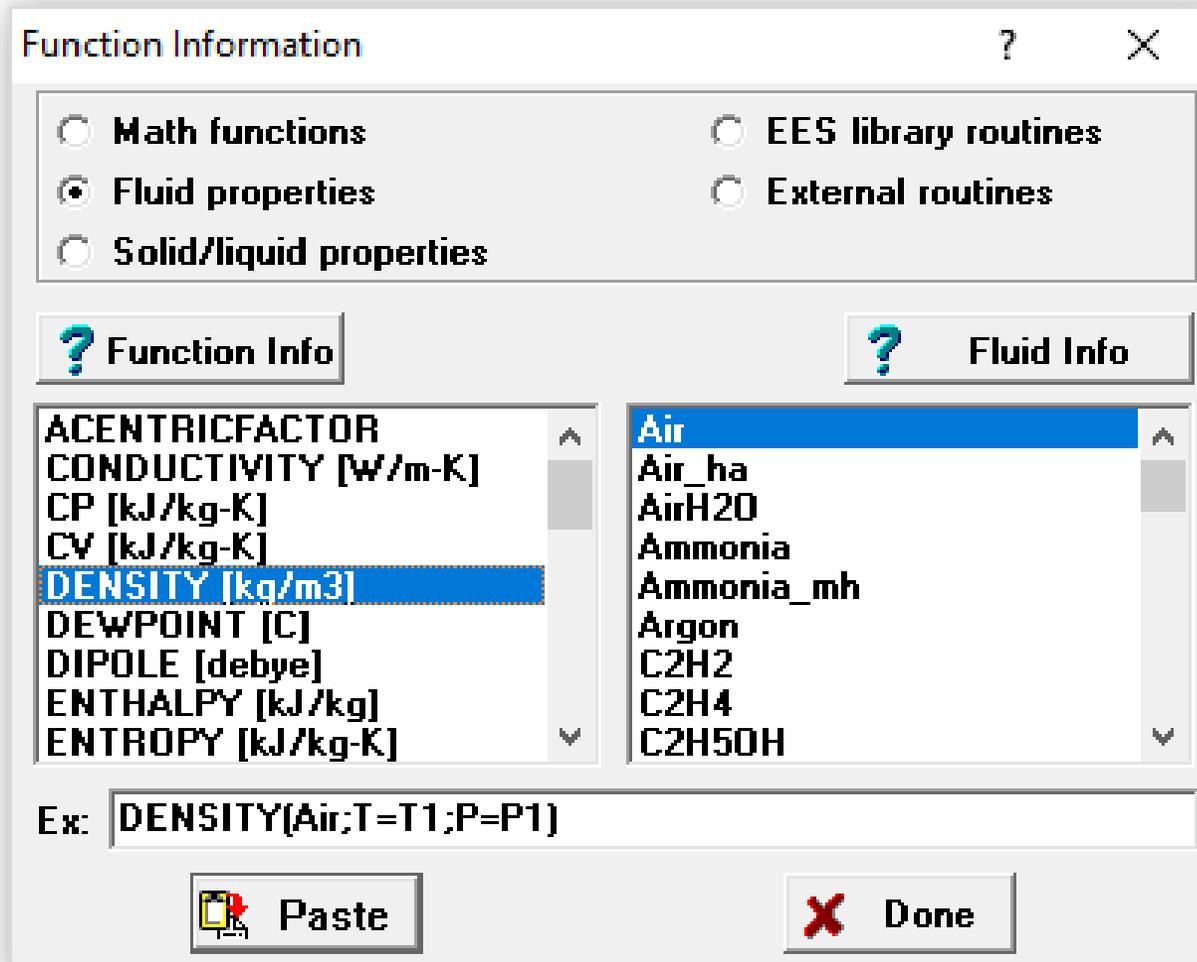


Options → Function Info



Software Engineering Equation Solver (EES)

Per avere informazioni sulla sintassi delle funzioni:



Options → Function Info

- Lista delle proprietà fisiche e termodinamiche che possono essere calcolate
- Lista delle sostanze presenti nella libreria



Esercizio 1: calcolo di proprietà fisiche e termodinamiche

1. Calcolare la densità [kg/m^3] dell'acqua alla pressione di 1 [bar] ed alla temperatura di 25 [$^{\circ}\text{C}$].
2. Calcolare la densità [kg/m^3] dell'idrogeno alla pressione di 1 [bar] e temperatura di 25 [$^{\circ}\text{C}$].
3. Calcolare la densità [kg/m^3] dell'idrogeno alla pressione di 1 [bar] e alla temperatura di -253 [$^{\circ}\text{C}$].
4. Calcolare l'entalpia dell'ammoniaca alla pressione di 5 [bar] e alla temperatura di 7 [$^{\circ}\text{C}$].
5. Determinare la temperatura [$^{\circ}\text{C}$] alla quale il fluido refrigerante R134a alla pressione di 1 [Mpa] presenta un'entalpia pari a 38.6 [kJ/kg].



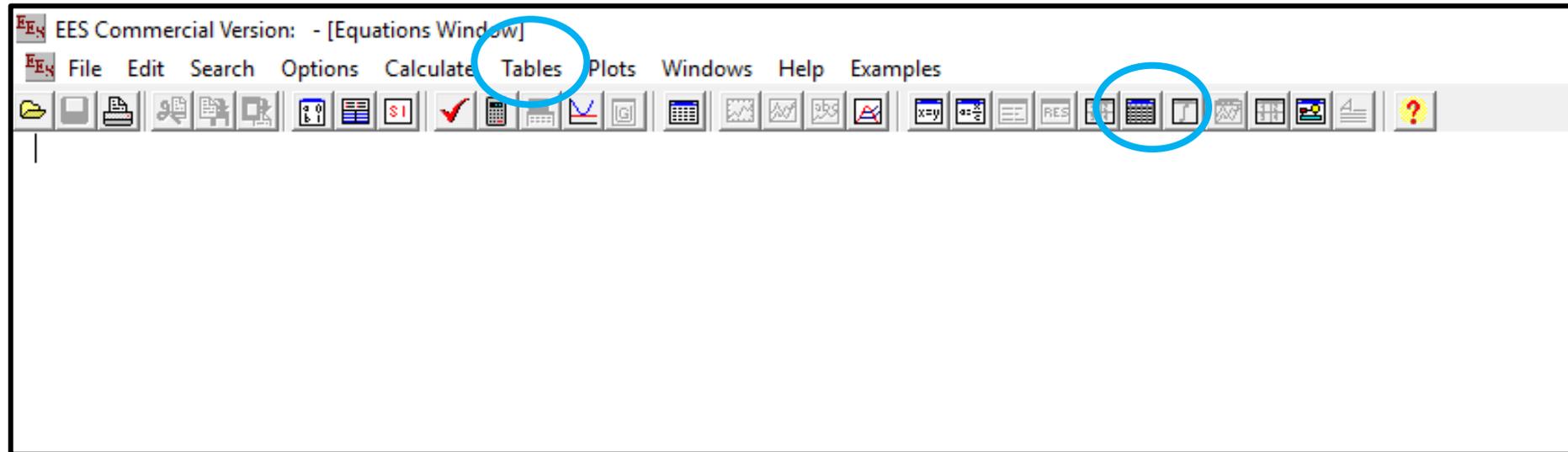
Esercizio 1: calcolo di proprietà fisiche e termodinamiche

1. Calcolare la densità [kg/m^3] dell'acqua alla pressione di 1 [bar] ed alla temperatura di 25 [$^{\circ}\text{C}$]. $\rightarrow \rho = 997 \text{ [kg}/\text{m}^3]$
2. Calcolare la densità [kg/m^3] dell'idrogeno alla pressione di 1 [bar] e temperatura di 25 [$^{\circ}\text{C}$]. $\rightarrow \rho = 0.081 \text{ [kg}/\text{m}^3]$
3. Calcolare la densità [kg/m^3] dell'idrogeno alla pressione di 1 [bar] e alla temperatura di -253 [$^{\circ}\text{C}$]. $\rightarrow \rho = 71.1 \text{ [kg}/\text{m}^3]$
4. Calcolare l'entalpia dell'ammoniaca alla pressione di 5 [bar] e alla temperatura di 7 [$^{\circ}\text{C}$]. $\rightarrow h = 1474 \text{ [kJ}/\text{kg}]$
5. Determinare la temperatura [$^{\circ}\text{C}$] alla quale il fluido refrigerante R134a alla pressione di 1 [Mpa] presenta un'entalpia pari a 38.6 [kJ/kg]. $\rightarrow T = -10.1 \text{ [}^{\circ}\text{C}]$



Software Engineering Equation Solver (EES)

Per analizzare andamento di una funzione al variare di una variabile si può usare la **Parametric table**



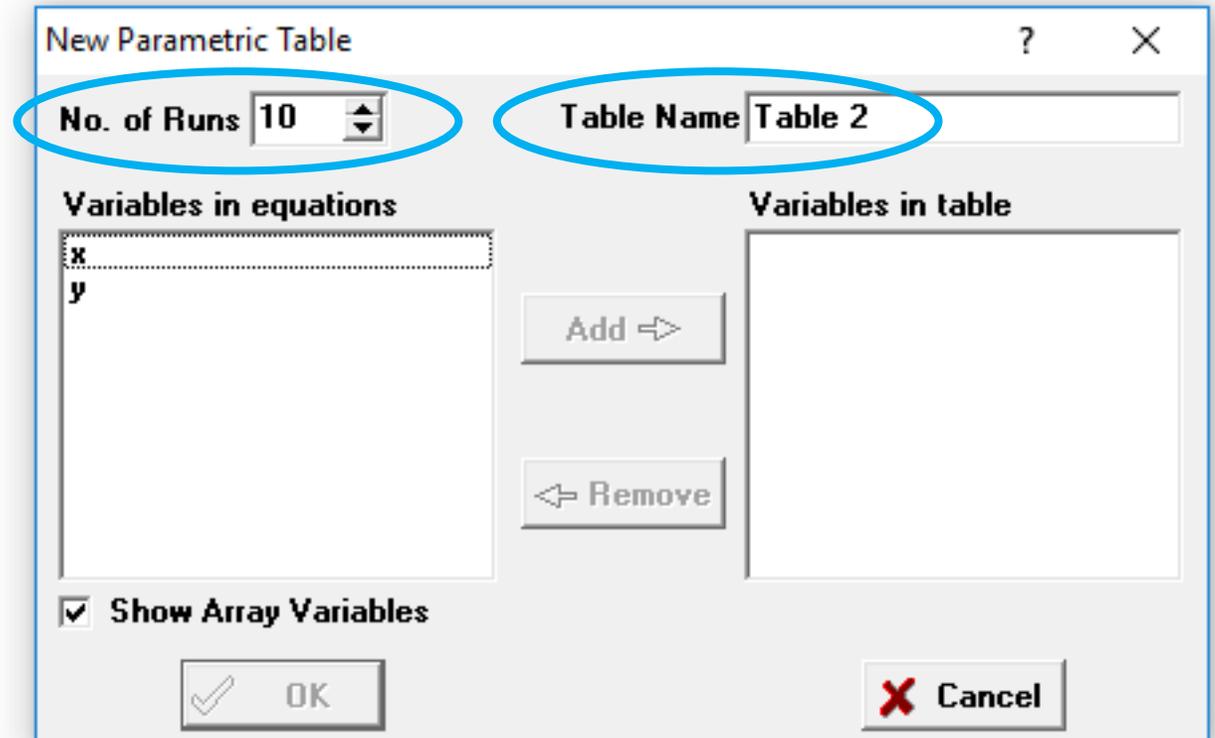
Tables → New Parametric Table



Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

Si consideri l'equazione $y = \sin(x)$.
Valutare i valori di y per $0^\circ \leq x \leq 359^\circ$
su due diverse parametric table:

- Parametric Table nominata "Funzione seno 1" con 10 elementi
- Parametric Table nominata "Funzione seno 2" con 150 elementi





Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

Si consideri l'equazione $y = \sin(x)$.
Valutare i valori di y per $0^\circ \leq x \leq 359^\circ$
su due diverse parametric table:

- Parametric Table nominata "Funzione seno 1" con 10 elementi
- Parametric Table nominata "Funzione seno 2" con 150 elementi

The screenshot shows the EES Commercial Version interface. A table titled "Table 2 Funzione seno 1" is displayed with columns for "x" and "y". A blue circle highlights the column header "2" for the "y" column. A blue arrow points from this circle to a dialog box titled "x: Column 1". The dialog box contains the following settings:

- First Row: 1
- Last Row: 10
- Clear Values:
- Set Values:
- First Value: []
- Last value: []
- Repeat pattern every: 10 rows
- OK button (checked)
- Cancel button



Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

Si consideri l'equazione $y = \sin(x)$.
Valutare i valori di y per $0^\circ \leq x \leq 359^\circ$
su due diverse parametric table:

- Parametric Table nominata "Funzione seno 1" con 10 elementi
- Parametric Table nominata "Funzione seno 2" con 150 elementi

EES Commercial Version: C:\Users\262938\Documents\Corsi\Impiego industriale dell'energia\Esercitazi...

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Table 2 Funzione seno 1

	1 x	2 y
1..10		
Run 1	0	
Run 2	39,89	
Run 3	79,78	
Run 4	119,7	
Run 5	159,6	
Run 6	199,4	
Run 7	239,3	
Run 8	279,2	
Run 9	319,1	
Run 10	359	



Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

Si consideri l'equazione $y = \sin(x)$.
Valutare i valori di y per $0^\circ \leq x \leq 359^\circ$
su due diverse parametric table:

- Parametric Table nominata "Funzione seno 1" con 10 elementi
- Parametric Table nominata "Funzione seno 2" con 150 elementi

EES Commercial Version: C:\Users\262938\Documents\Corsi\Impiego industriale dell'energia\Esercitazi...

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Table 2 Funzione seno 1

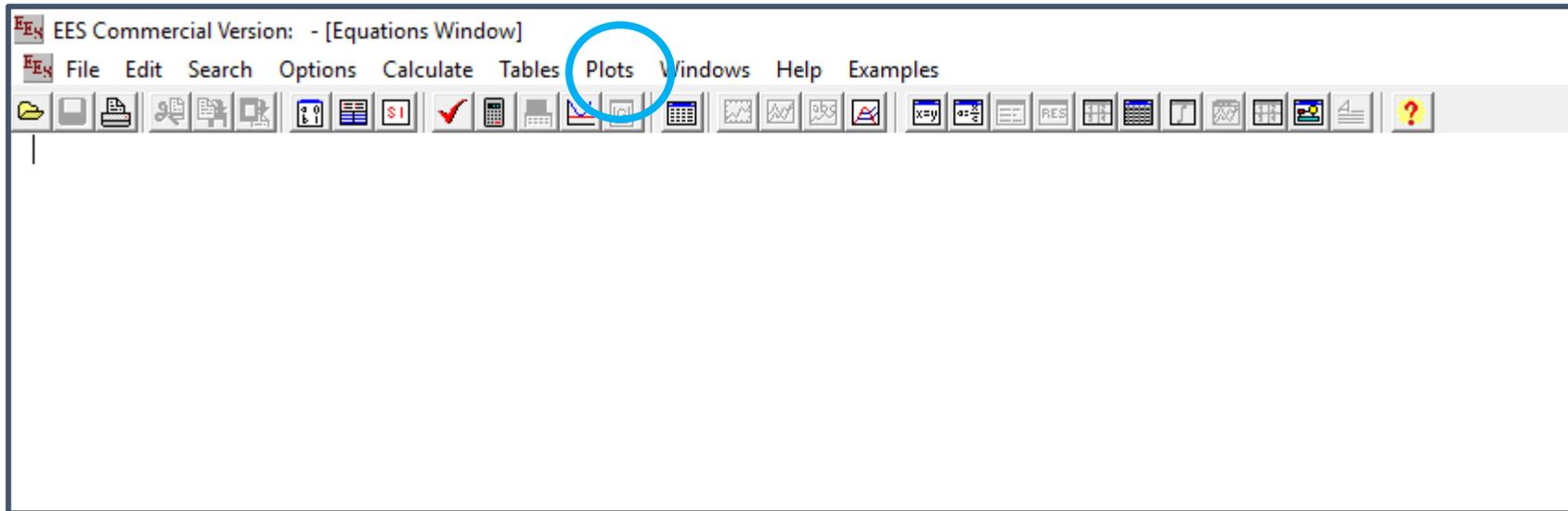
	1 x	2 y
1..10		
Run 1	0	
Run 2	39,89	
Run 3	79,78	
Run 4	119,7	
Run 5	159,6	
Run 6	199,4	
Run 7	239,3	
Run 8	279,2	
Run 9	319,1	
Run 10	359	

SALVARE E MANTENERE IL FILE APERTO



Software Engineering Equation Solver (EES)

EES consente di tracciare grafici di **funzioni** matematiche e di **proprietà termodinamiche**



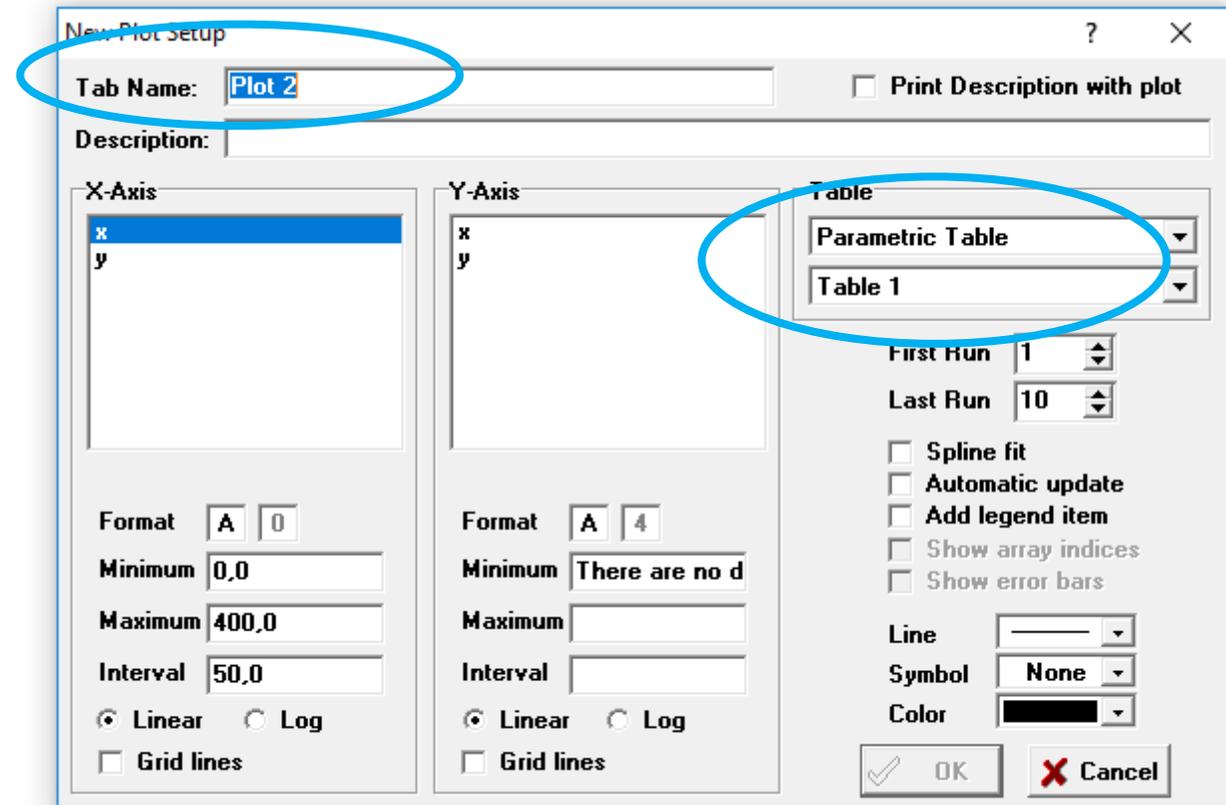
Plots → New Plot Window → tipo di grafico che si vuole tracciare



Esercizio 3: esempio di un grafico x-y a partire da parametric table

Si consideri l'equazione $y = \sin(x)$ e le parametric table tracciate nell'esercizio 2.

- Tracciare un grafico x-y a partire dalla Parametric Table "Funzione seno 1" con 10 elementi; nominare il grafico "Grafico x-y 1"
- Tracciare un grafico x-y dalla Parametric Table "Funzione seno 2" con 150 elementi; nominare il grafico "Grafico x-y 2"

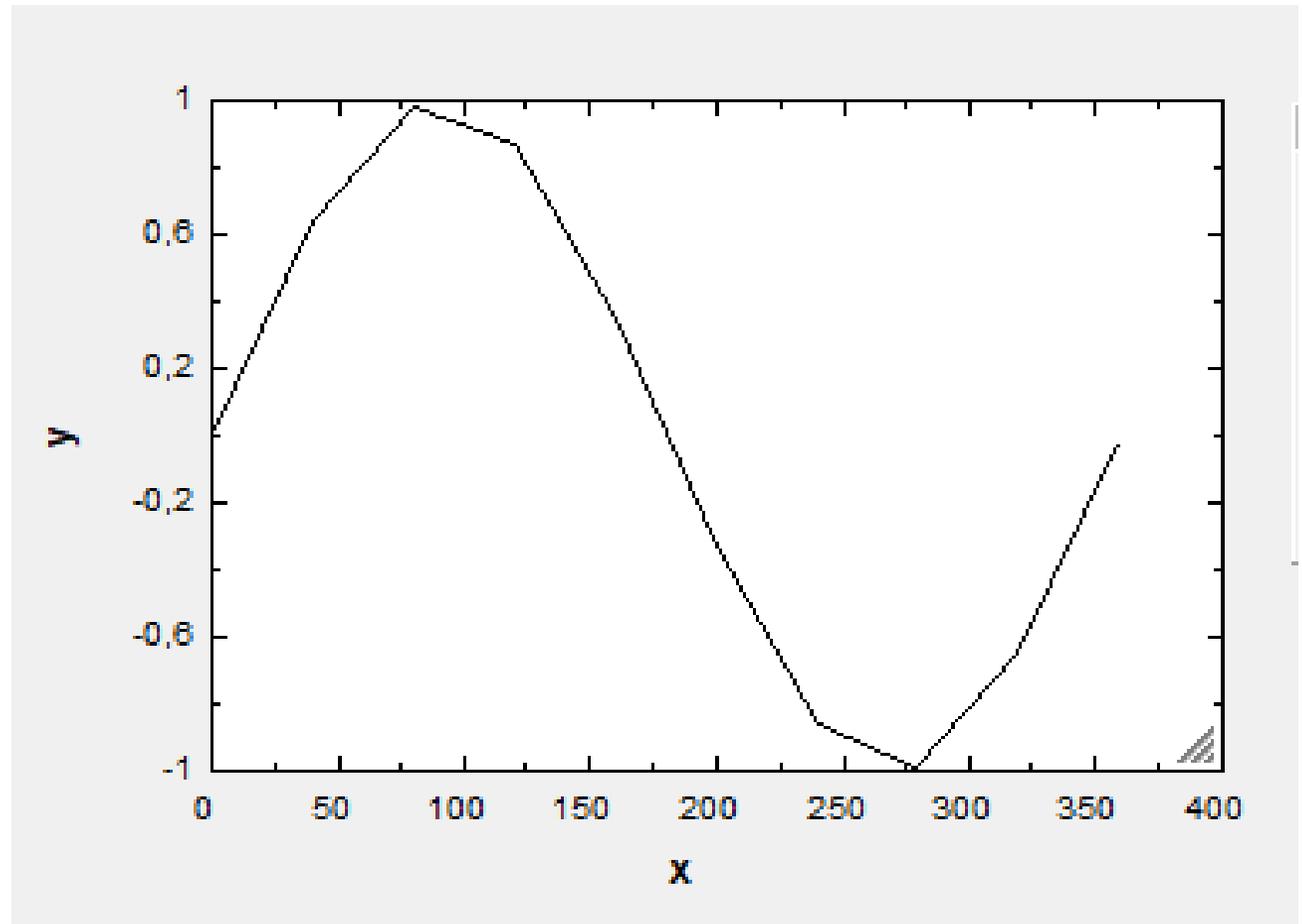




Esercizio 3: esempio di un grafico x-y a partire da parametric table

Si consideri l'equazione $y = \sin(x)$ e le parametric table tracciate nell'esercizio 2.

- Tracciare un grafico x-y a partire dalla Parametric Table "Funzione seno 1" con 10 elementi; nominare il grafico "Grafico x-y 1"
- Tracciare un grafico x-y dalla Parametric Table "Funzione seno 2" con 150 elementi; nominare il grafico "Grafico x-y 2"



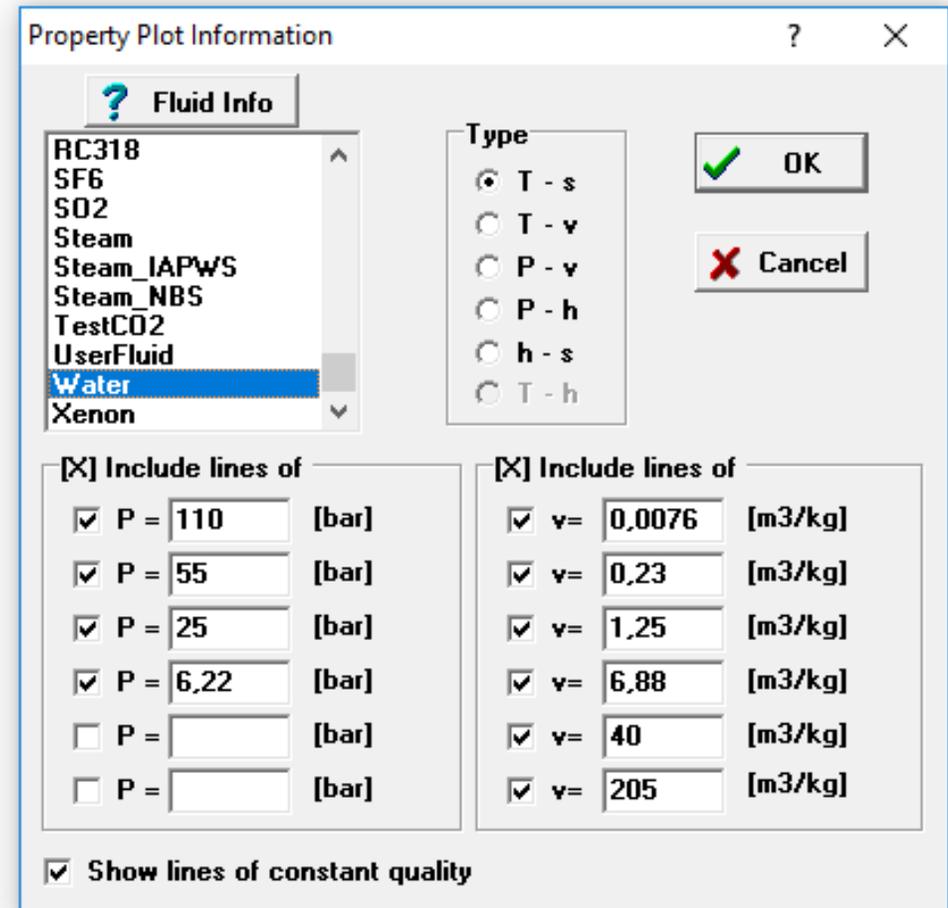


Esercizio 4: diagrammi di stato (*property plot*)

EES consente di tracciare i diagrammi di stato di diverse sostanze e di individuare in essi punti termodinamici calcolati nel sistema di equazioni.

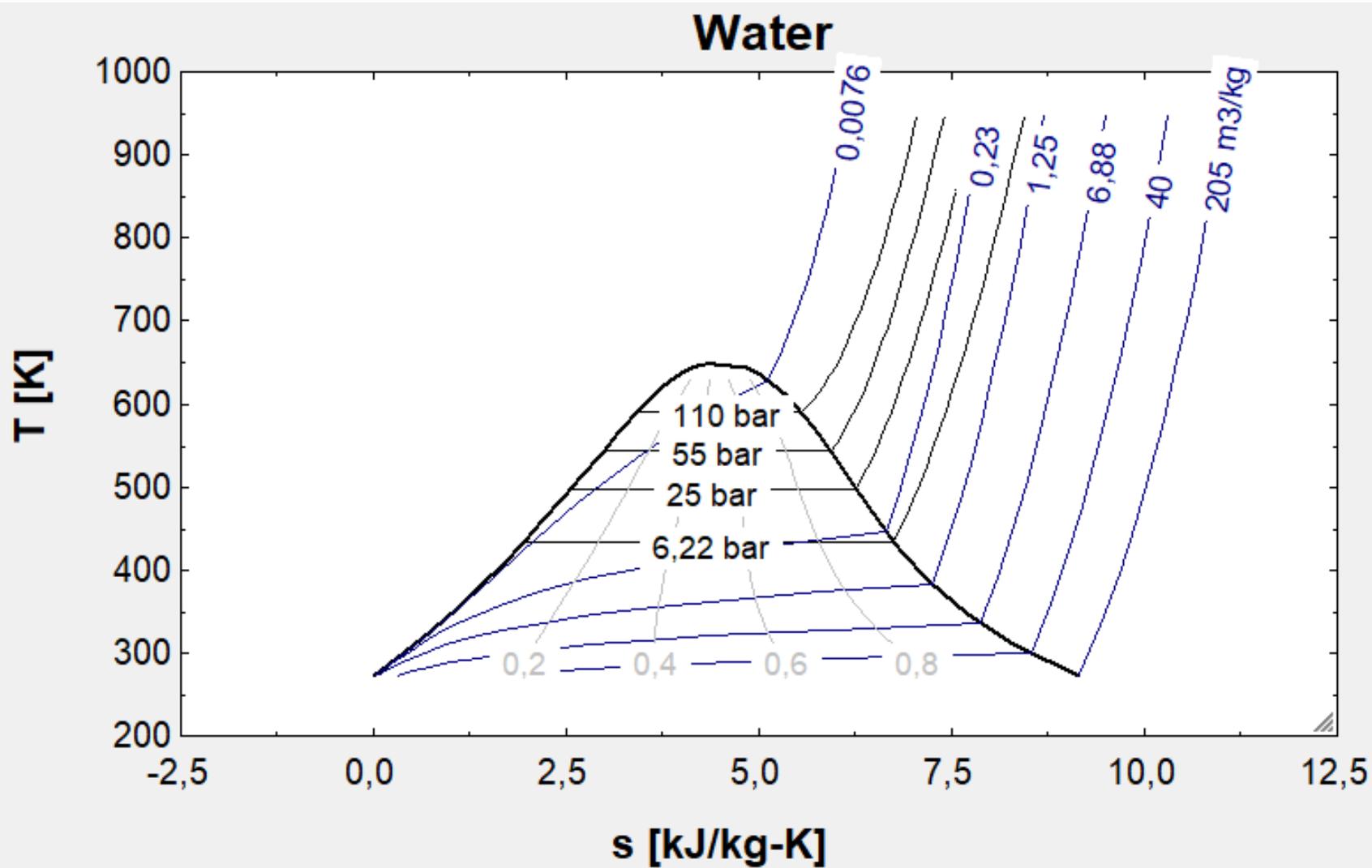
Plots → Property Plot

Si tracci ad esempio il diagramma T-s dell'acqua.





Esercizio 4: diagrammi di stato (*property plot*)



Con il comando *Overlay Plot* si possono includere nel grafico i punti specifici calcolati nella finestra *Equations*



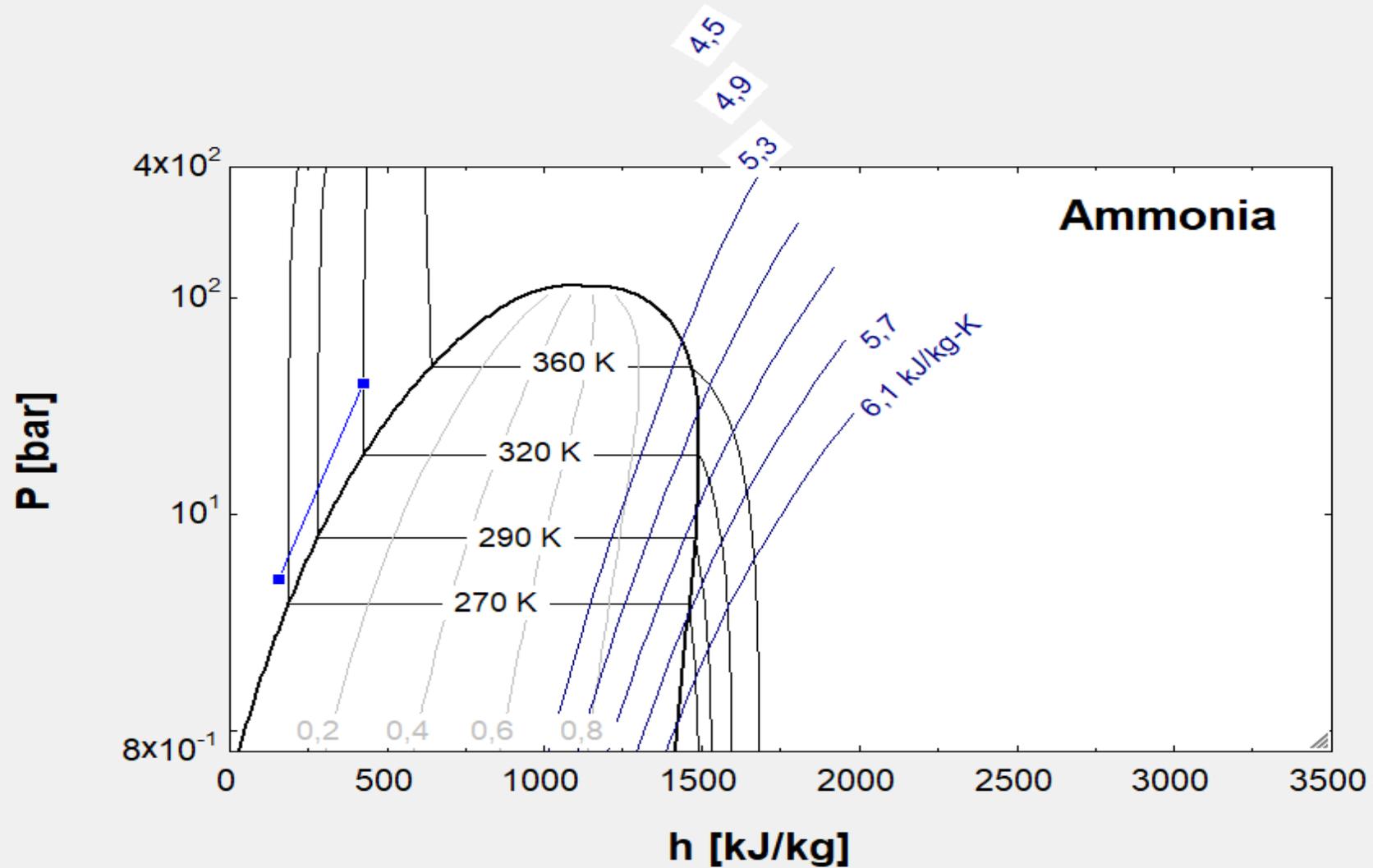
Esercizio 5: diagrammi di stato (*property plot*)

Tracciare il diagramma p-h dell'ammoniaca. Impostare come valori limite di pressione ed entalpia sugli assi 0.8÷400 [bar] e 0÷3500 [kJ/kg] rispettivamente.

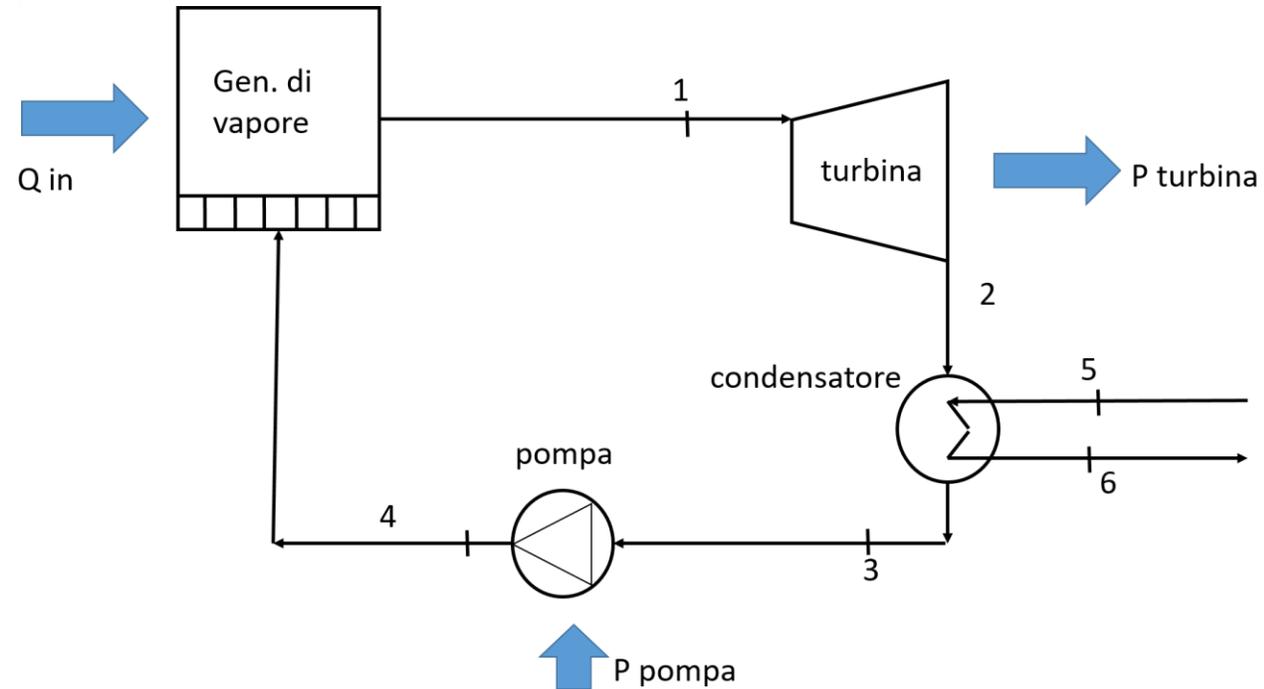
Determinare l'entalpia dell'ammoniaca nei punti 1 e 2 così definiti:

- **punto 1:** $p=5$ [bar]; $T= -10$ [°C];
- **punto 2:** $p=40$ [bar]; $T= 320$ [K];

Riportare i punti 1 e 2 sul diagramma p-h.

Esercizio 5: diagrammi di stato (*property plot*)

Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

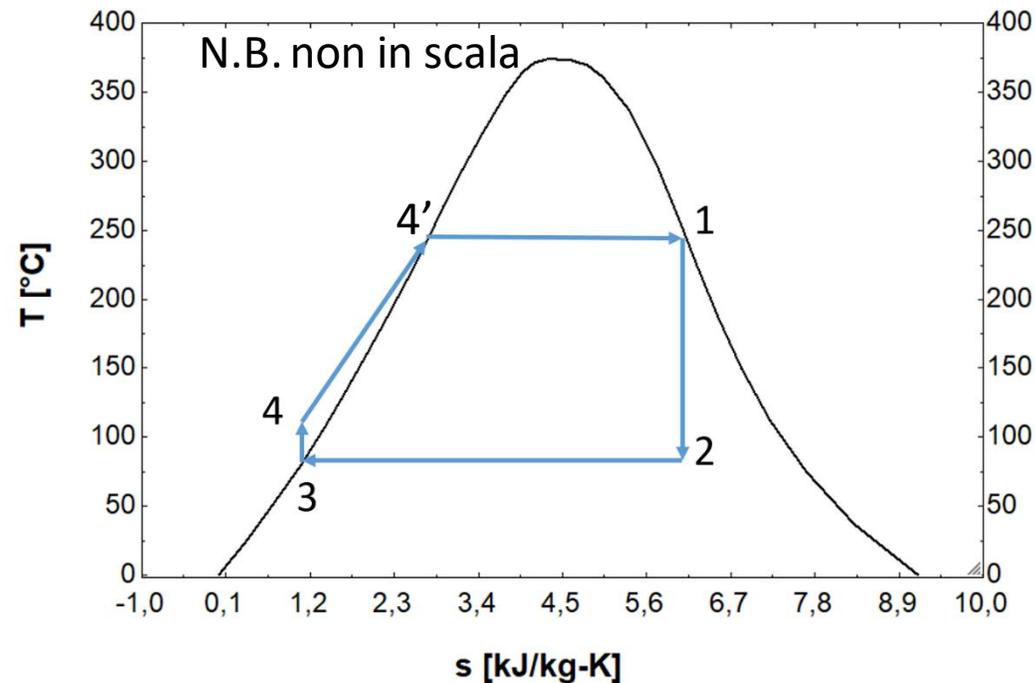


- Pressione al condensatore 0.08 [bar]
- Pressione all'ingresso in turbina 80 [bar]
- Potenza netta 100 [MW]
- Vapore saturo all'ingresso in turbina
- Vapore saturo all'uscita del condensatore
- Si trascurano le perdite di carico
- Temperature dell'acqua al condensatore

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:

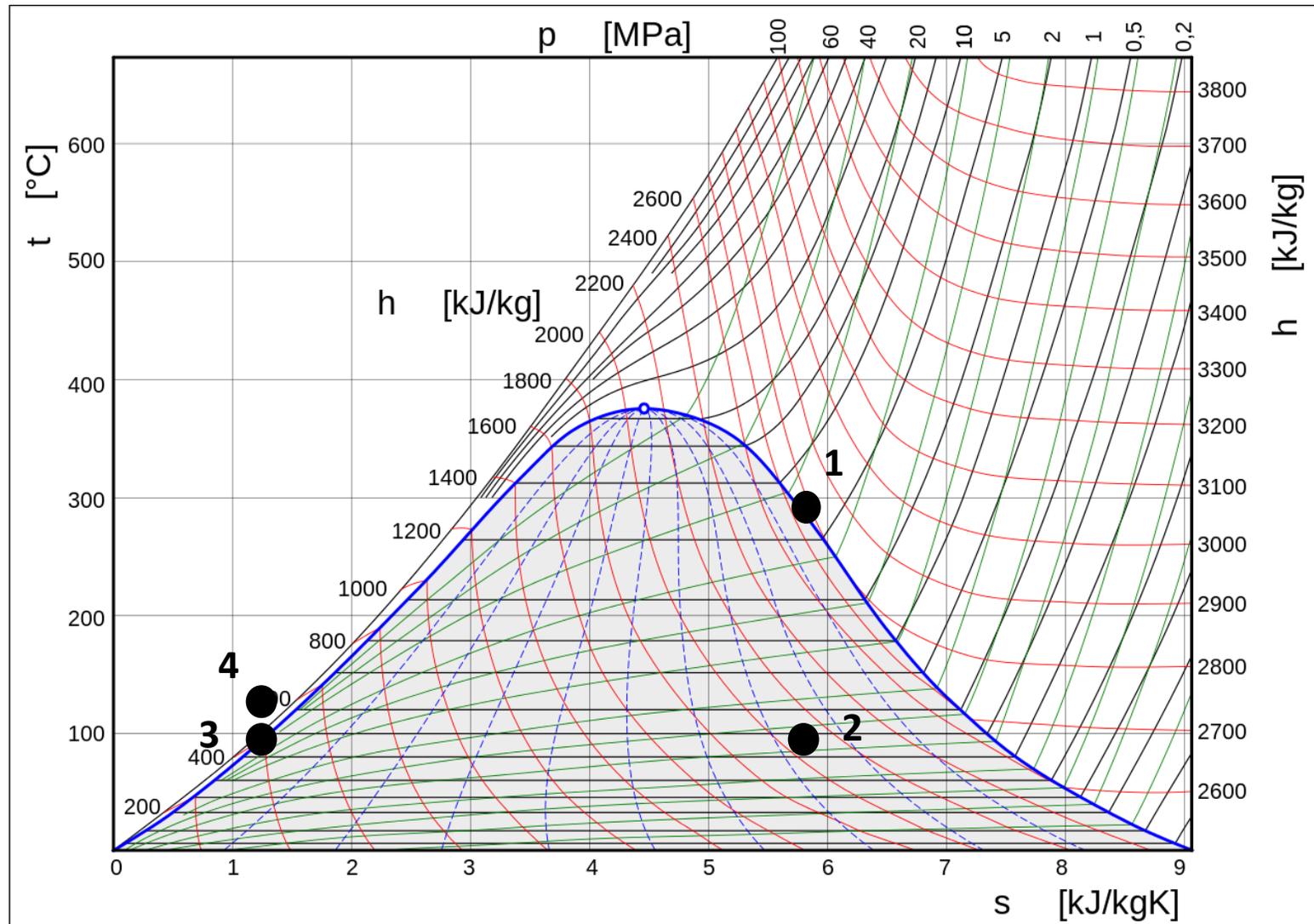
- Pressione
- Temperatura
- Entalpia
- Entropia
- Titolo di vapore

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

$$P_{NET} = 100 [MW]$$

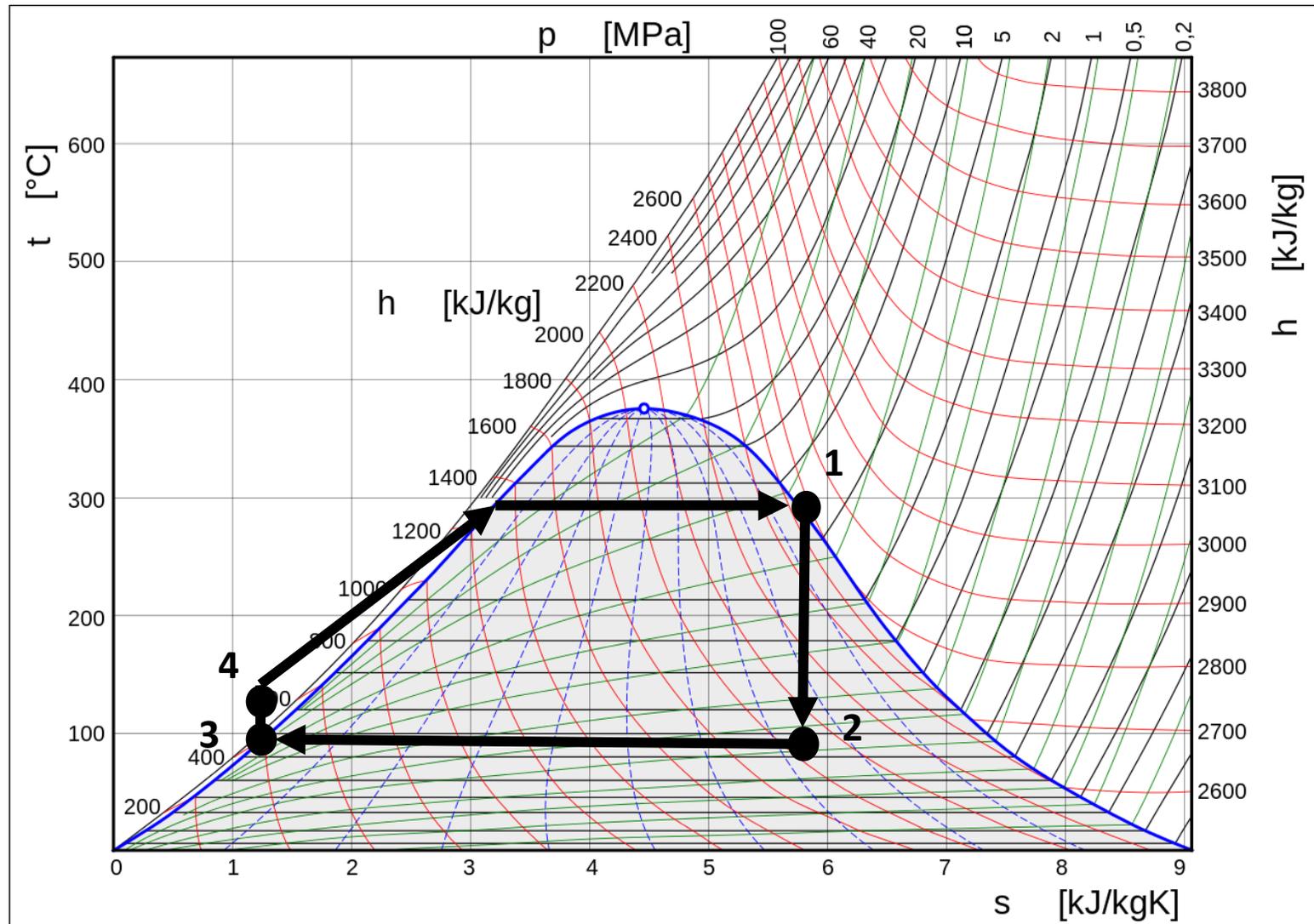


Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale





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:

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

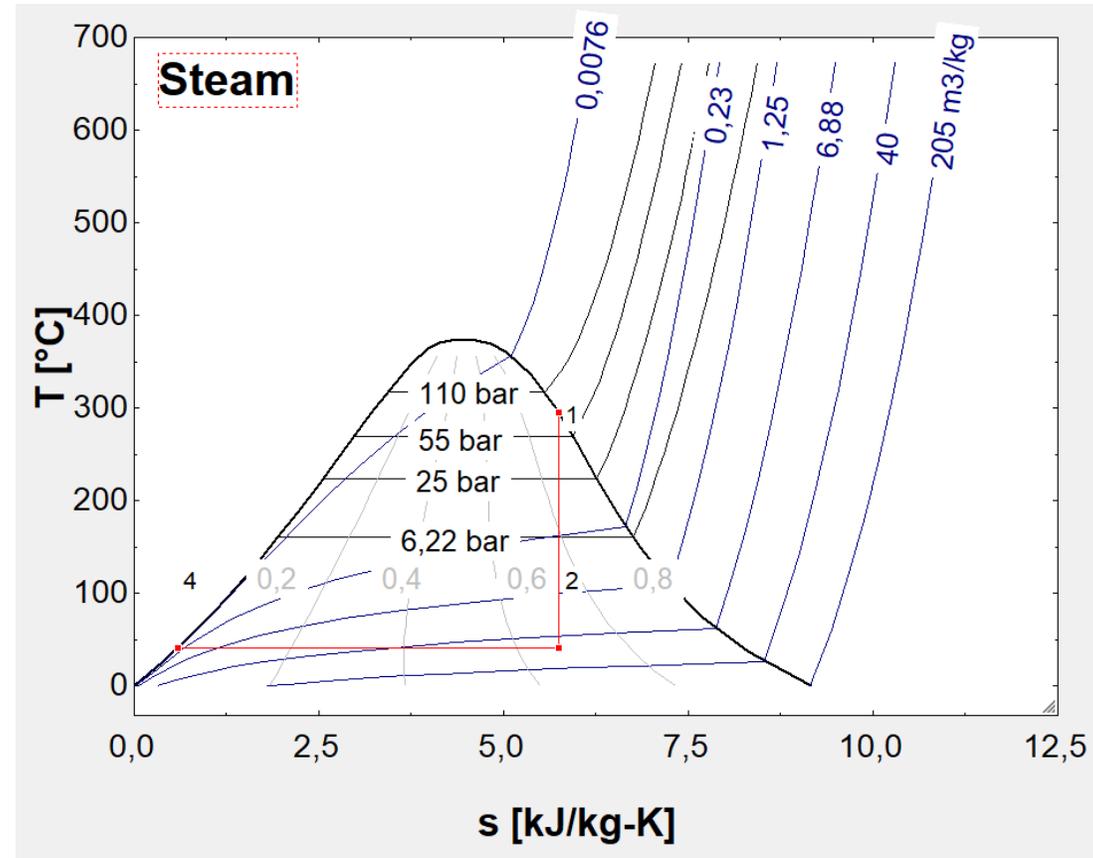
$$s[4] = s[3]$$

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



Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

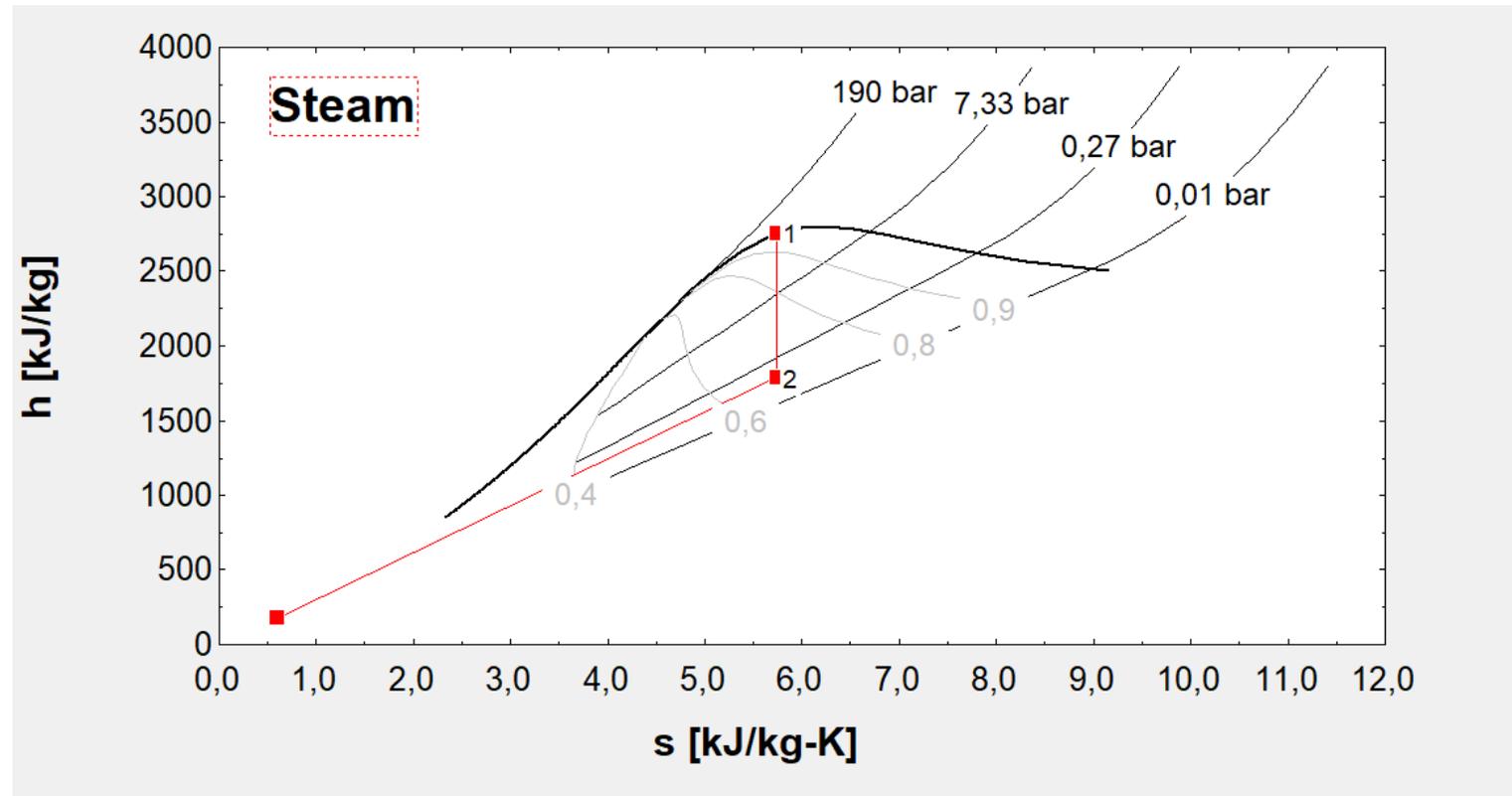
Riporto tutti i punti sui diagrammi T-s e h-s del vapore:





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 [kJ/kg]	p_i	s_i [kJ/kg-K]	T_i [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	



Software Engineering Equation Solver (EES)



federico.delmondo@dia.units.it