

# Macchine a Fluido



INTRODUZIONE AL SOFTWARE DI CALCOLO EES

Prof. Rodolfo Taccani

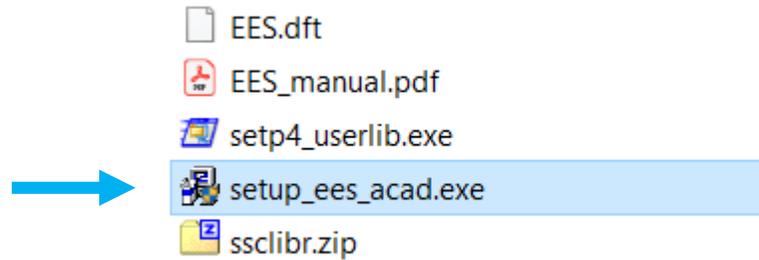
Ing. Federico Del Mondo

A.A. 2023-2024

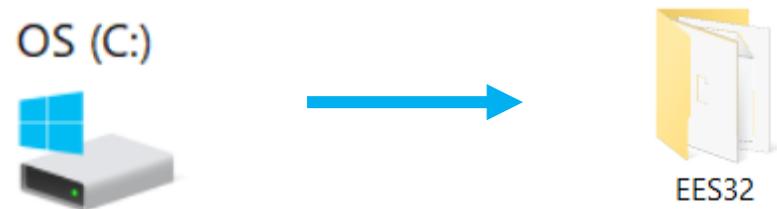


# Installazione EES – Engineering Equation Solver

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)

EES Commercial Version: - [Equations Window]

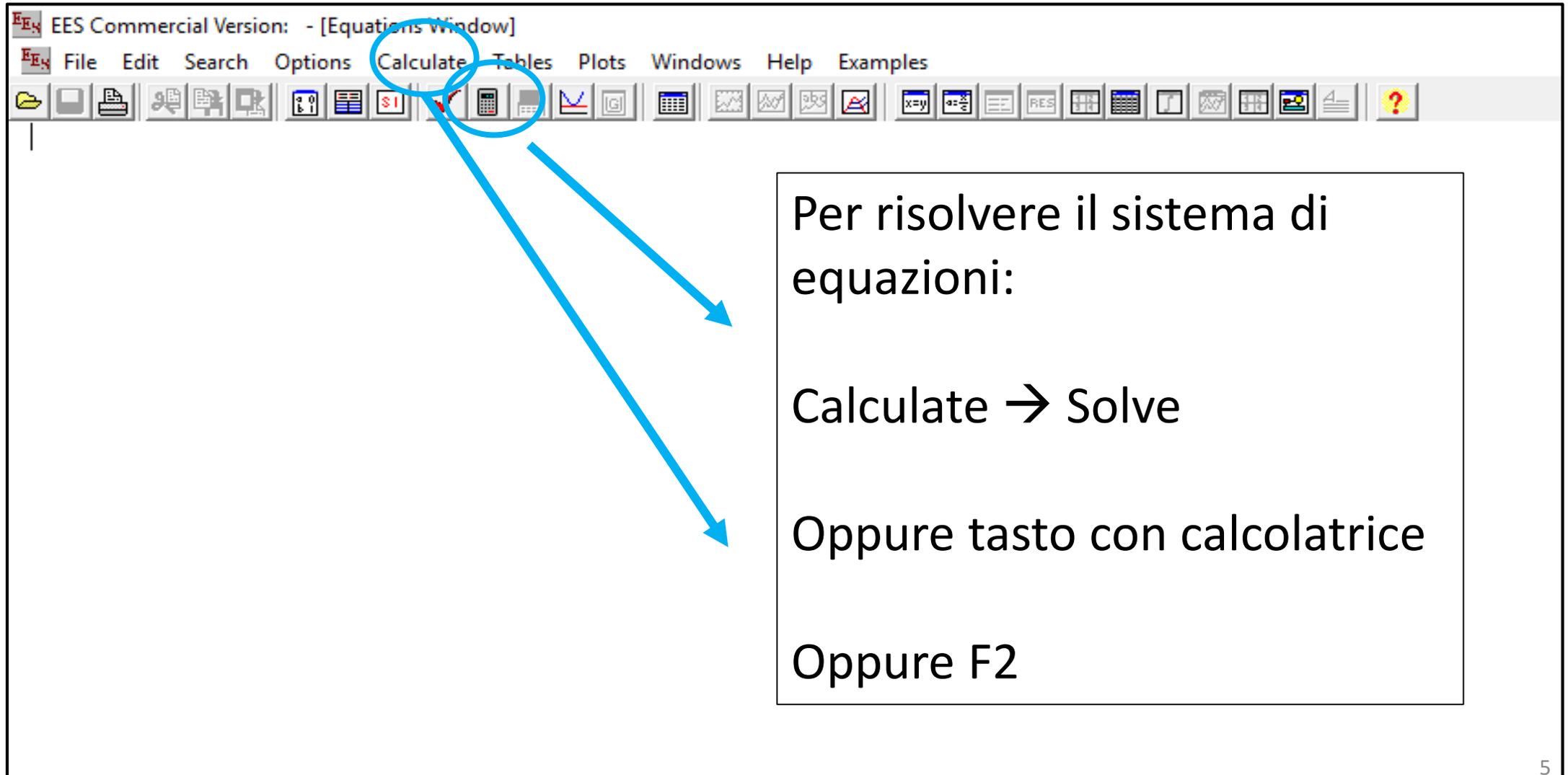
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

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:

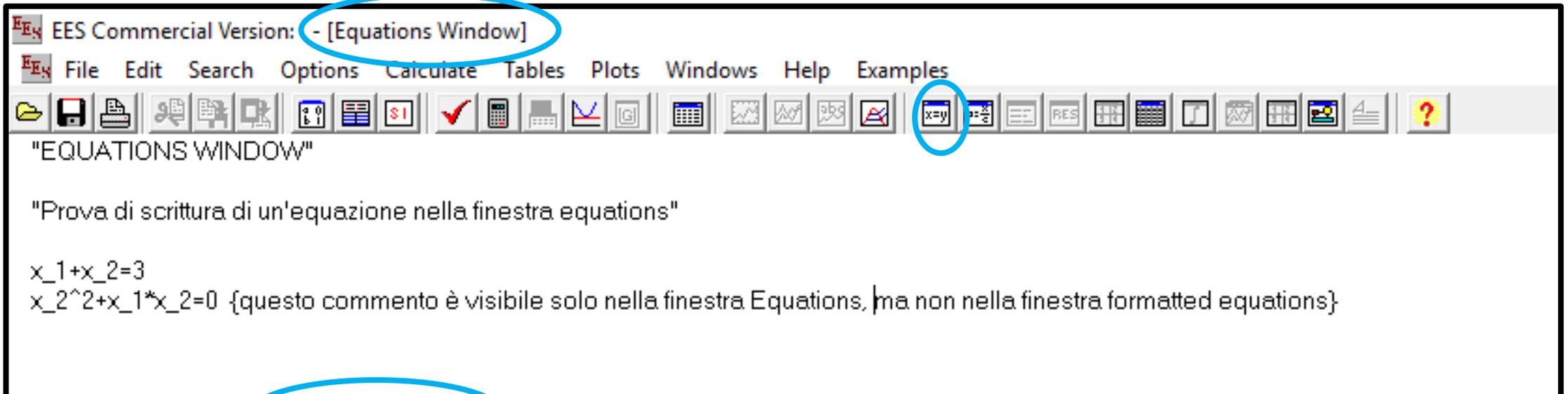
Calculate → Solve

Oppure tasto con calcolatrice

Oppure F2



# Software Engineering Equation Solver (EES)



EES Commercial Version: - [Equations Window]

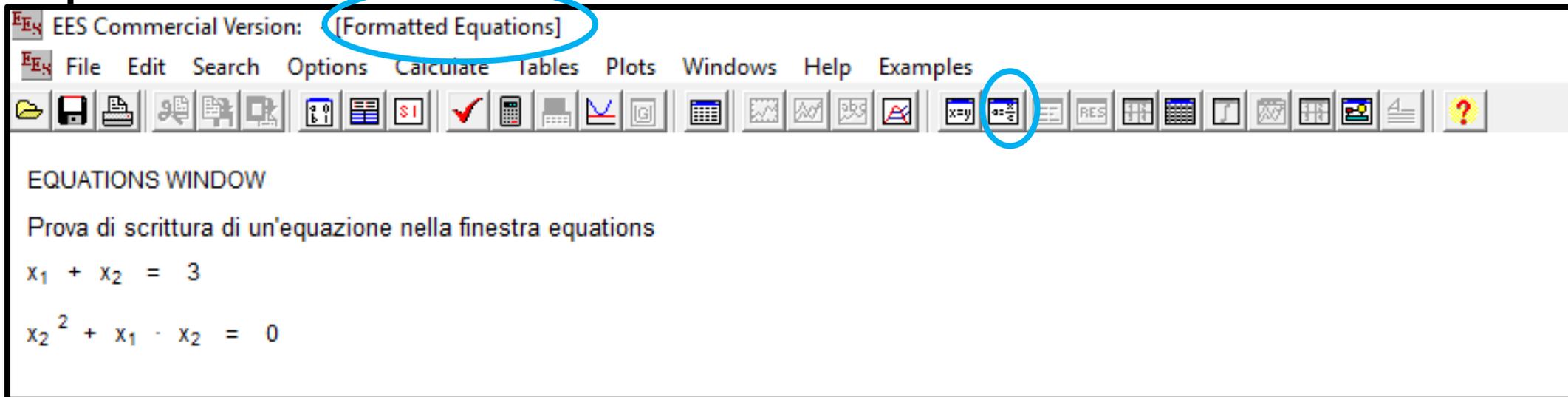
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

"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 prompt in Italian, 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.



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

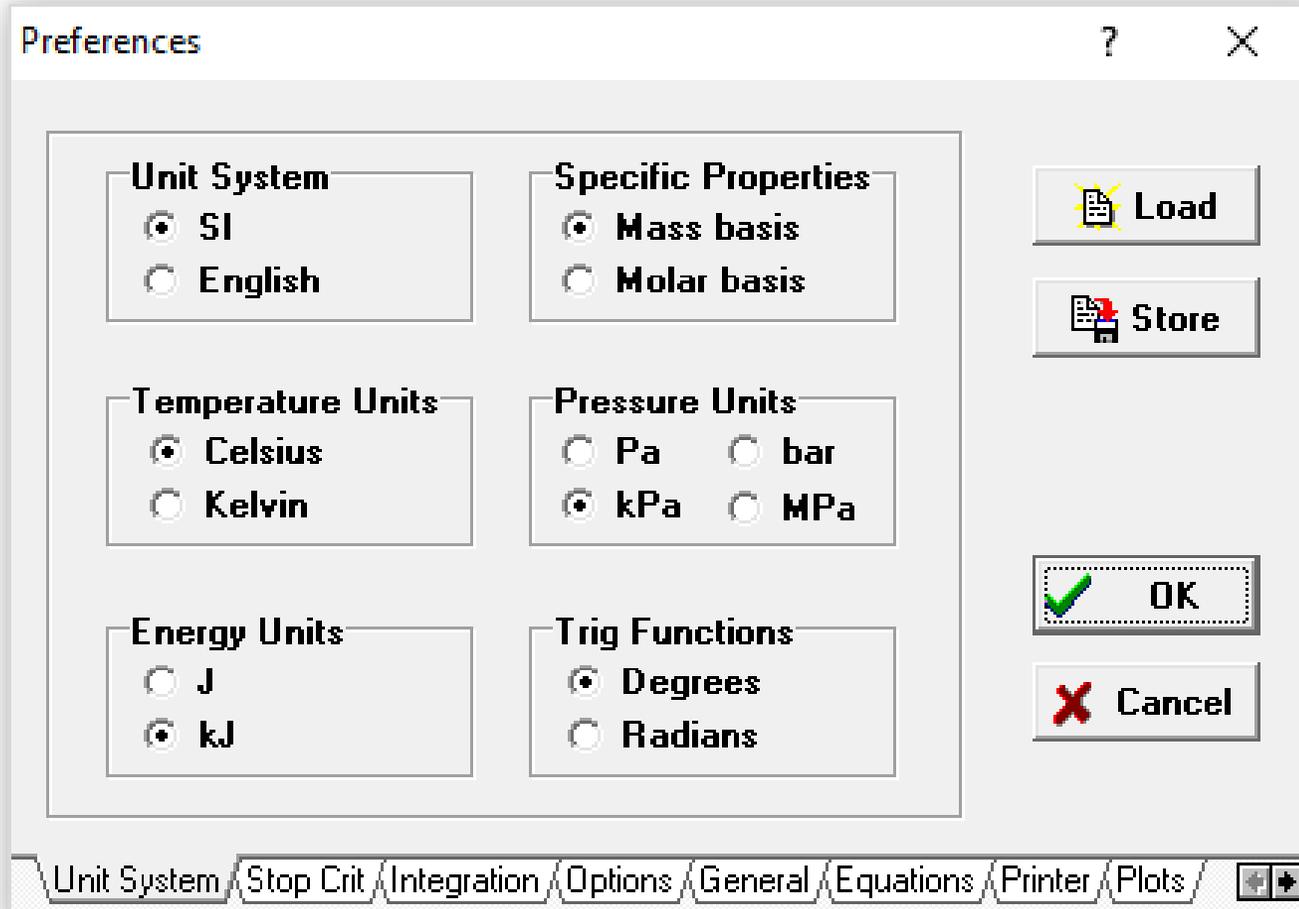
$x_1 + x_2 = 3$   
 $x_2^2 + x_1 \cdot x_2 = 0$

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 shows the title 'EQUATIONS WINDOW', the same prompt, and the two equations formatted with mathematical symbols:  $x_1 + x_2 = 3$  and  $x_2^2 + x_1 \cdot x_2 = 0$ .



# Software Engineering Equation Solver (EES)

Prima di iniziare: impostare sistema delle unità di misura

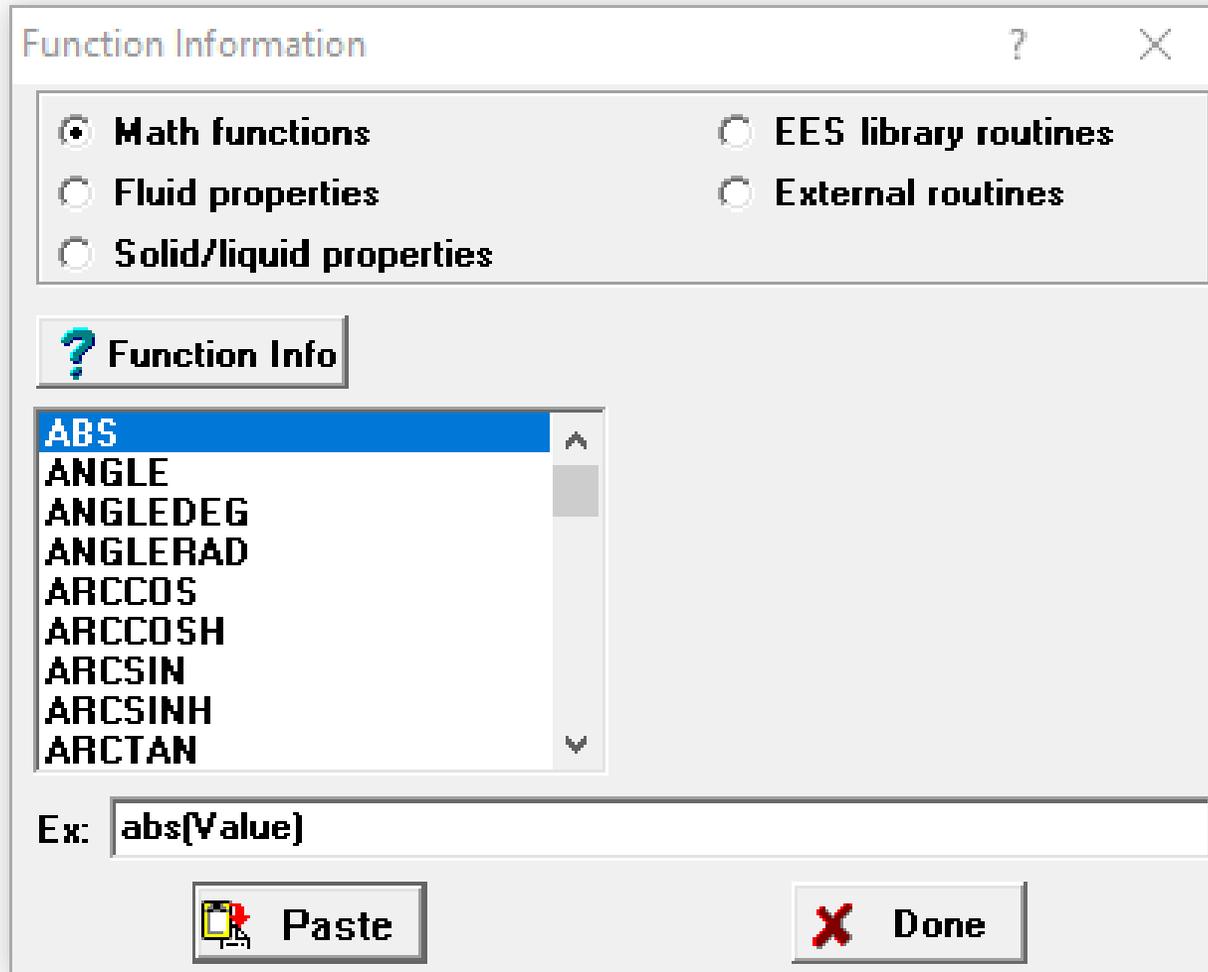


Options → Unit System



# Software Engineering Equation Solver (EES)

Per avere informazioni sulla sintassi delle funzioni:

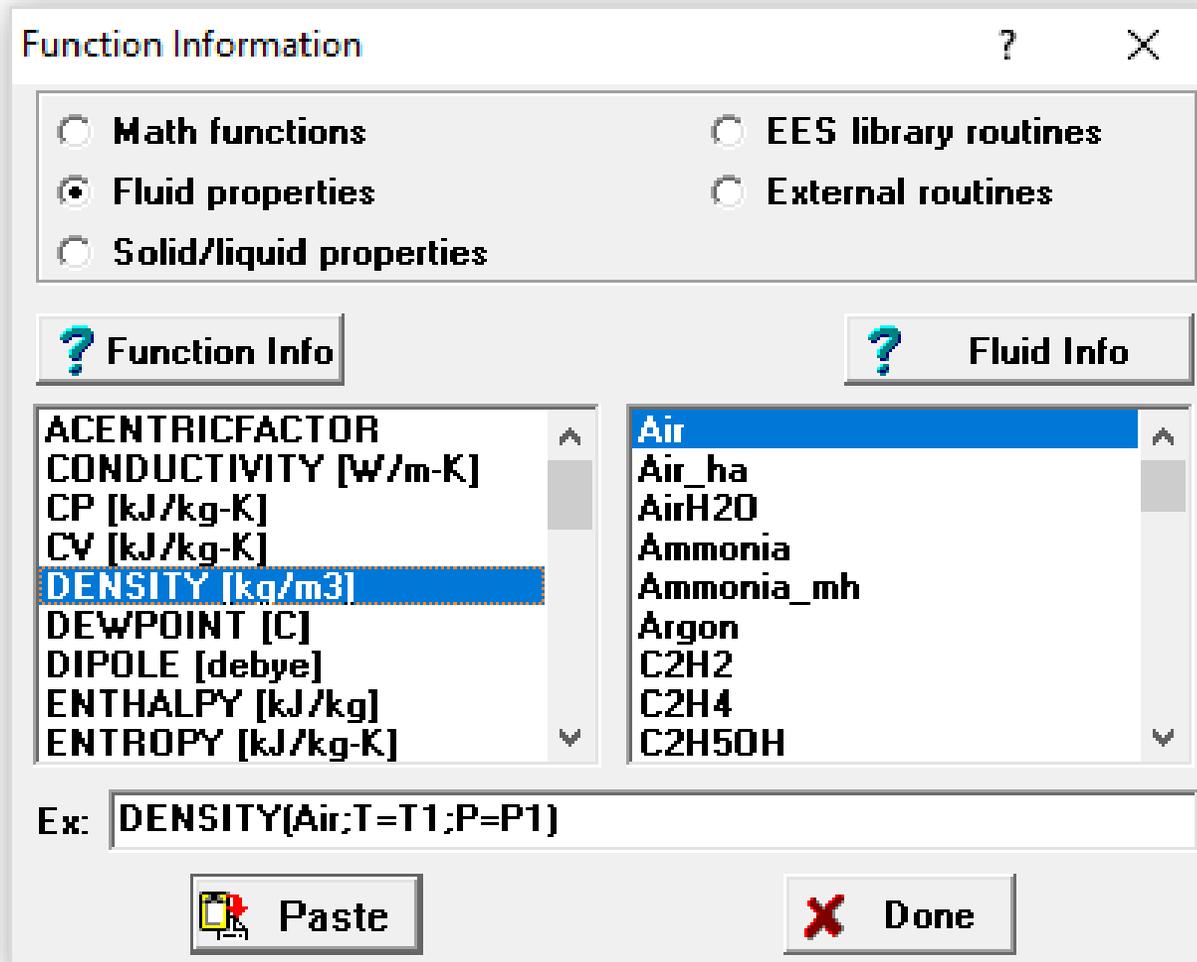


Options → Function Info



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



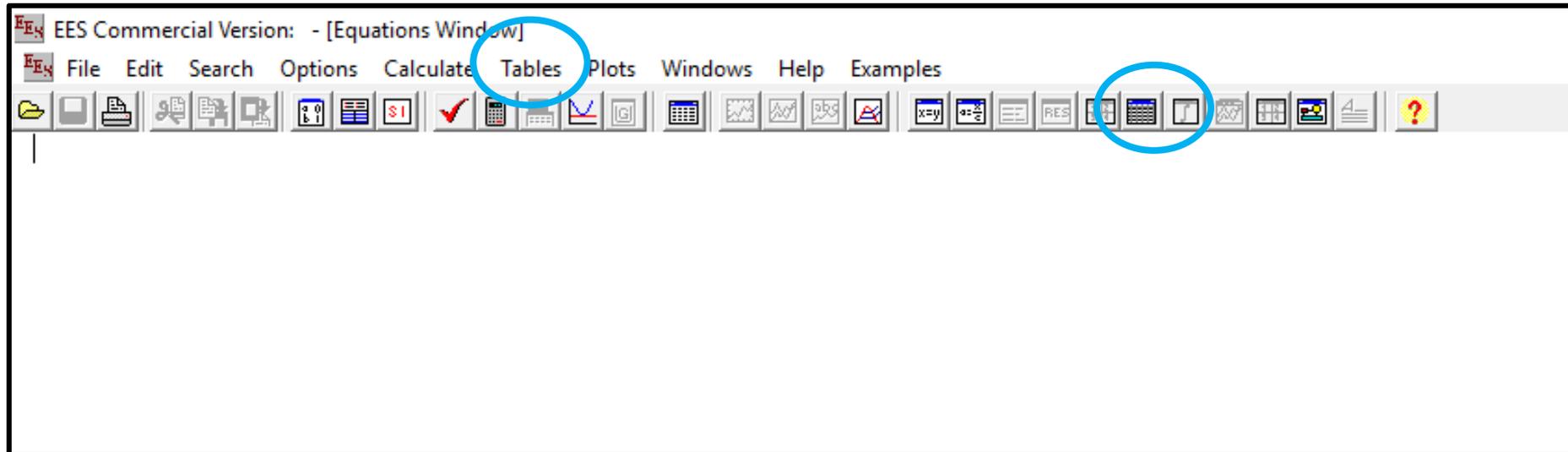
## Esercizio 1: calcolo di proprietà fisiche e termodinamiche

1. Calcolare la densità [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] 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 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] 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 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] 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**



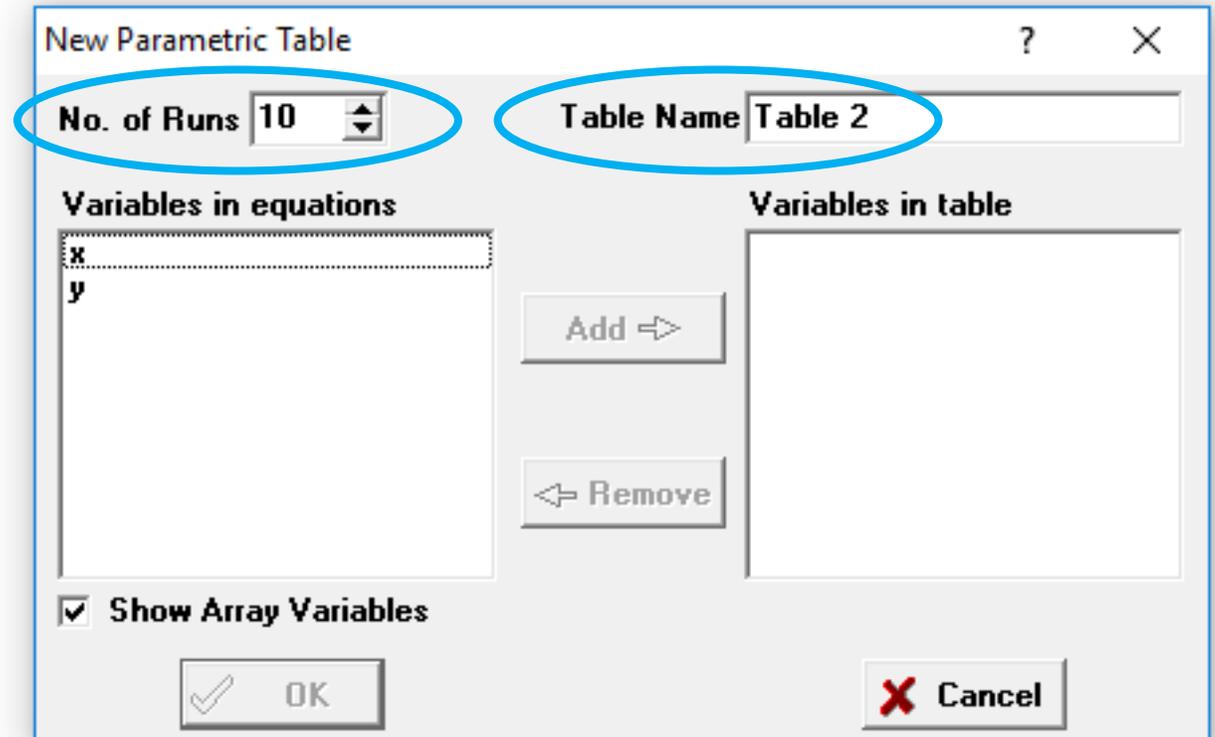
Tables → New Parametric Table



## 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 visible, with columns for "x" and "y". The table has 10 rows labeled "Run 1" through "Run 10". A blue circle highlights the column header "x" in the second column, and a blue arrow points from this circle to a dialog box titled "x: Column 1".

The dialog box "x: Column 1" 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 (with a green checkmark icon)
- Cancel button (with a red X icon)



## 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\263938\Documents\Corsi\Impiego industriale dell'energia\Esercitazi...

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Table 2 Funzione seno 1

1..10	x	y
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\263938\Documents\Corsi\Impiego industriale dell'energia\Esercitazi...

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Table 2 Funzione seno 1

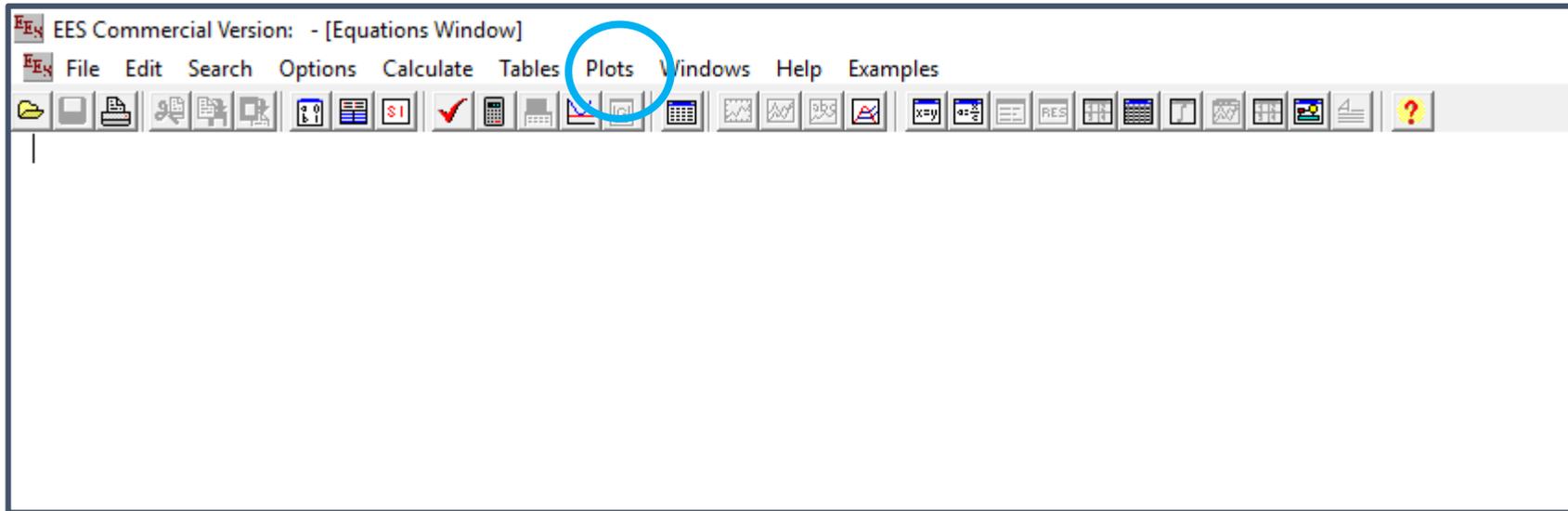
	1 x	2 y
Run 1	0	
Run 2	39,89	
Run 3	79,78	
Run 4	119,7	
Run 5	159,6	
Run 6	199,4	
Run 7	239,3	
Run 8	279,2	
Run 9	319,1	
Run 10	359	

SALVARE E MANTENERE IL FILE APERTO



## Software Engineering Equation Solver (EES)

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



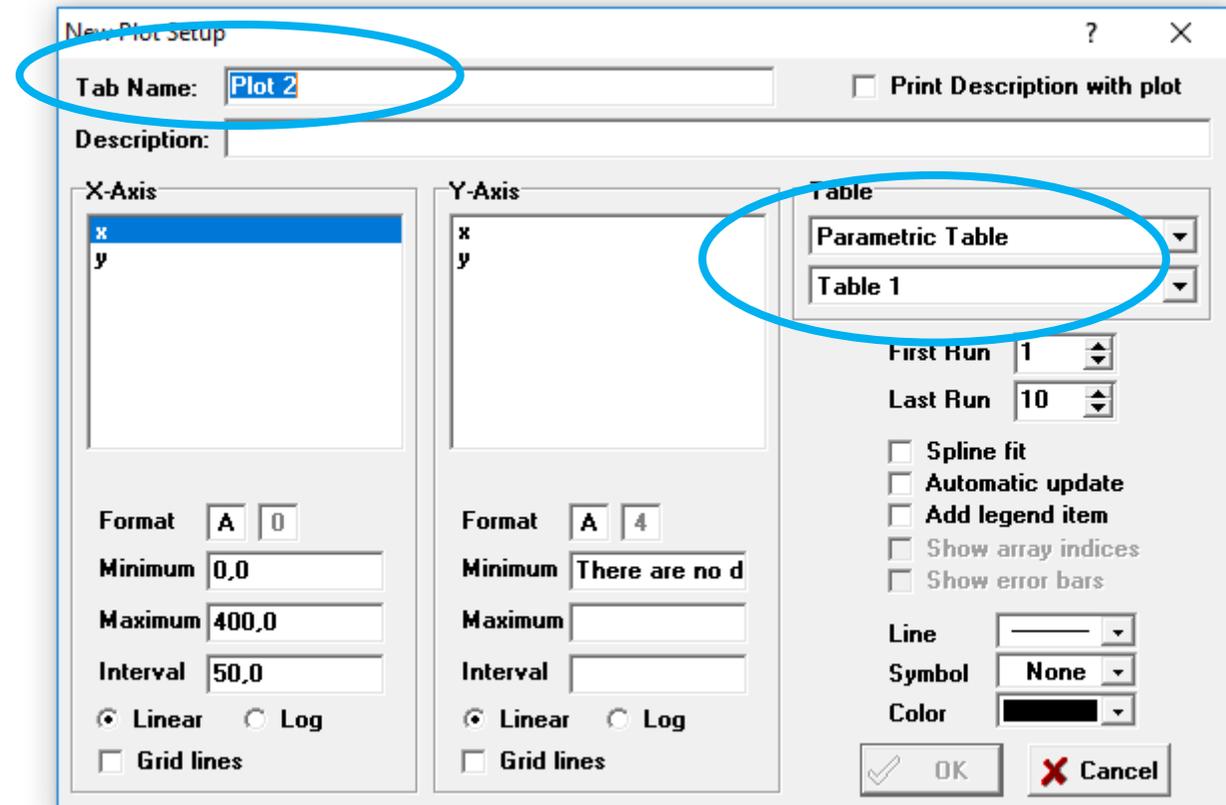
Plots → New Plot Window → tipo di grafico che si vuole tracciare



## 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"

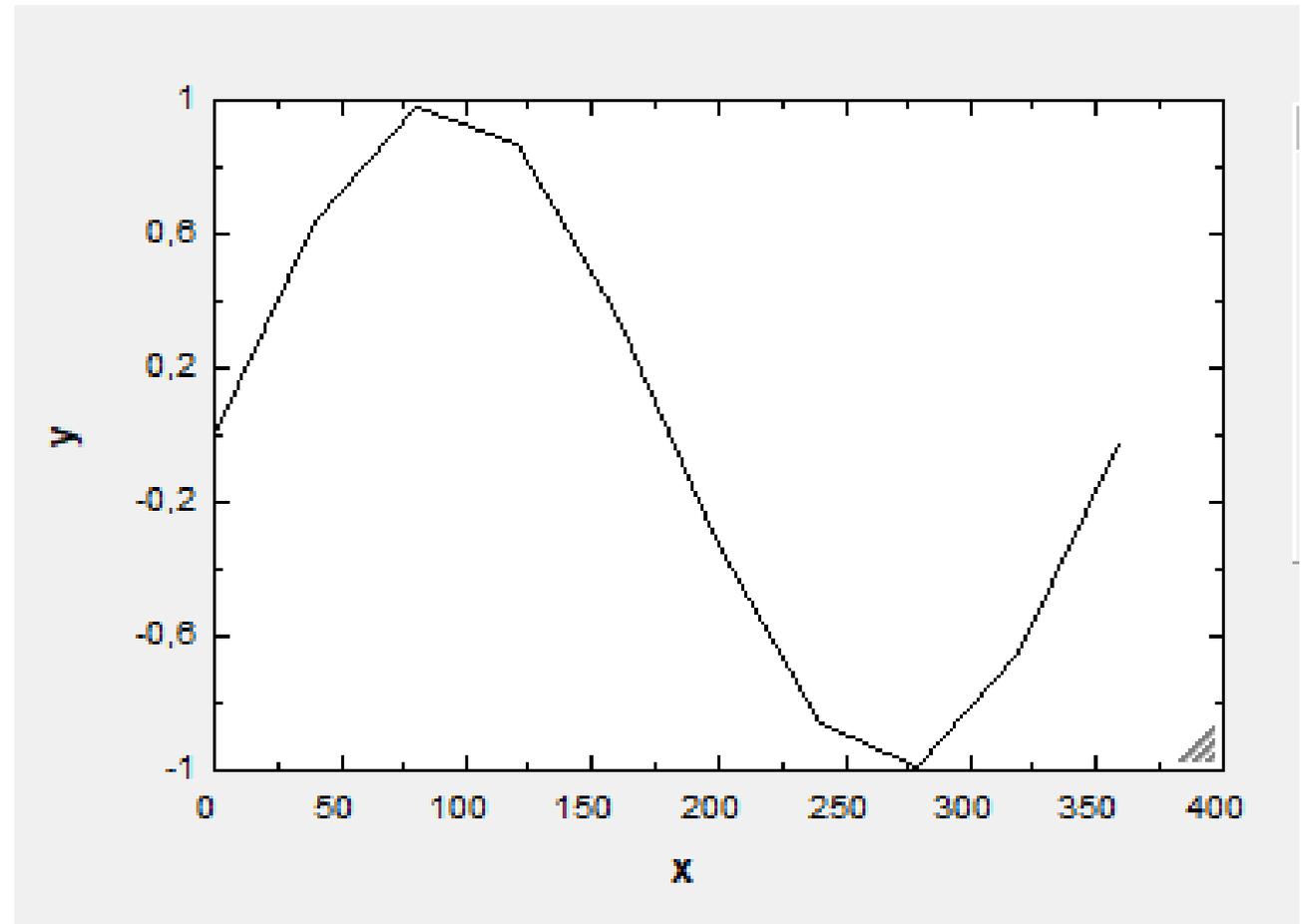




## Esercizio 3: esempio di un grafico x-y a partire da parametric table

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.

Property Plot Information

Fluid Info

- RC318
- SF6
- SO2
- Steam
- Steam\_IAPWS
- Steam\_NBS
- TestCO2
- UserFluid
- Water**
- Xenon

Type

- T - s
- T - v
- P - v
- P - h
- h - s
- T - h

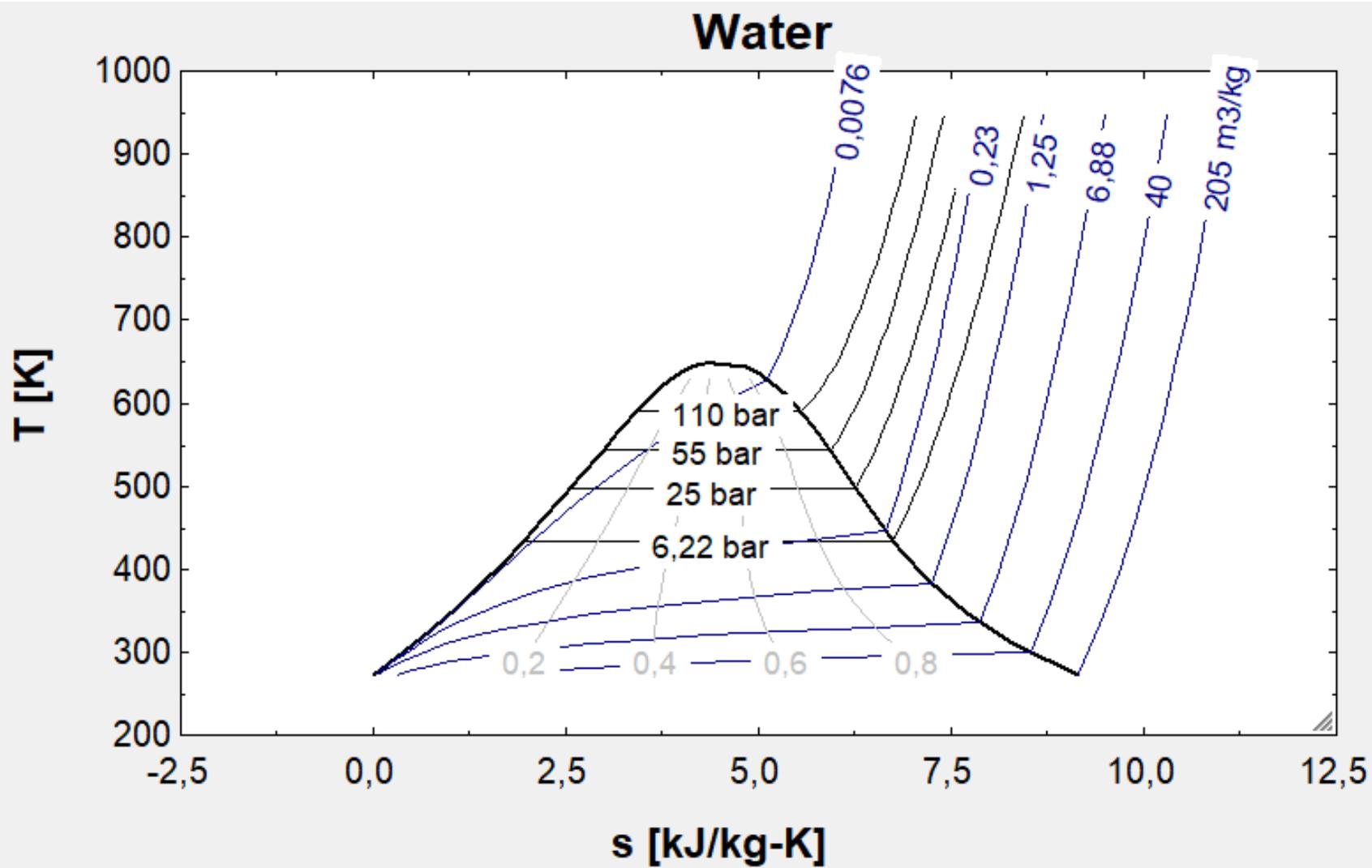
OK

Cancel

[X] Include lines of

<input checked="" type="checkbox"/> P = 110 [bar]	<input checked="" type="checkbox"/> v = 0,0076 [m3/kg]
<input checked="" type="checkbox"/> P = 55 [bar]	<input checked="" type="checkbox"/> v = 0,23 [m3/kg]
<input checked="" type="checkbox"/> P = 25 [bar]	<input checked="" type="checkbox"/> v = 1,25 [m3/kg]
<input checked="" type="checkbox"/> P = 6,22 [bar]	<input checked="" type="checkbox"/> v = 6,88 [m3/kg]
<input type="checkbox"/> P = [bar]	<input checked="" type="checkbox"/> v = 40 [m3/kg]
<input type="checkbox"/> P = [bar]	<input checked="" type="checkbox"/> v = 205 [m3/kg]

Show lines of constant quality

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

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

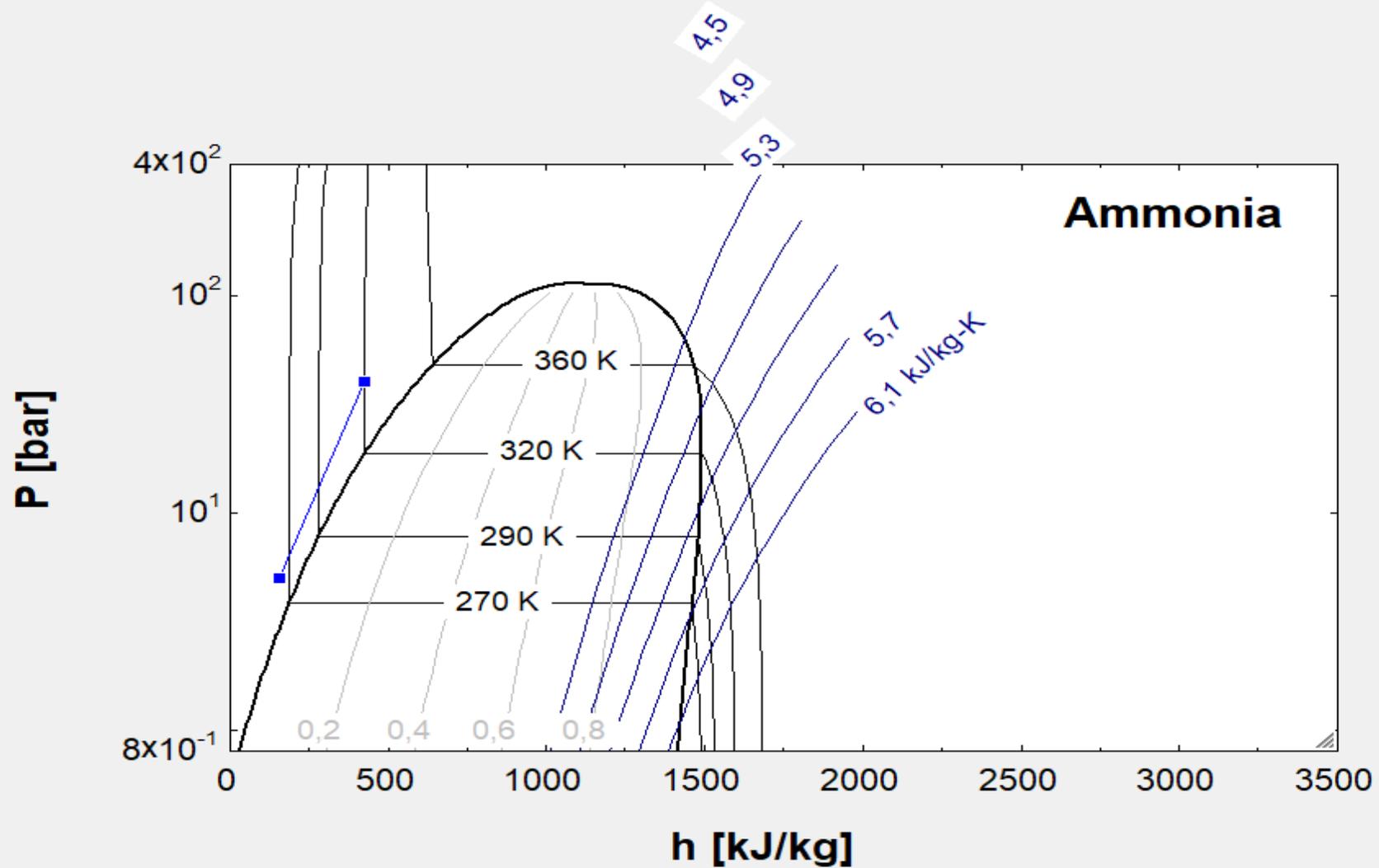


## Esercizio 5: diagrammi di stato (*property plot*)

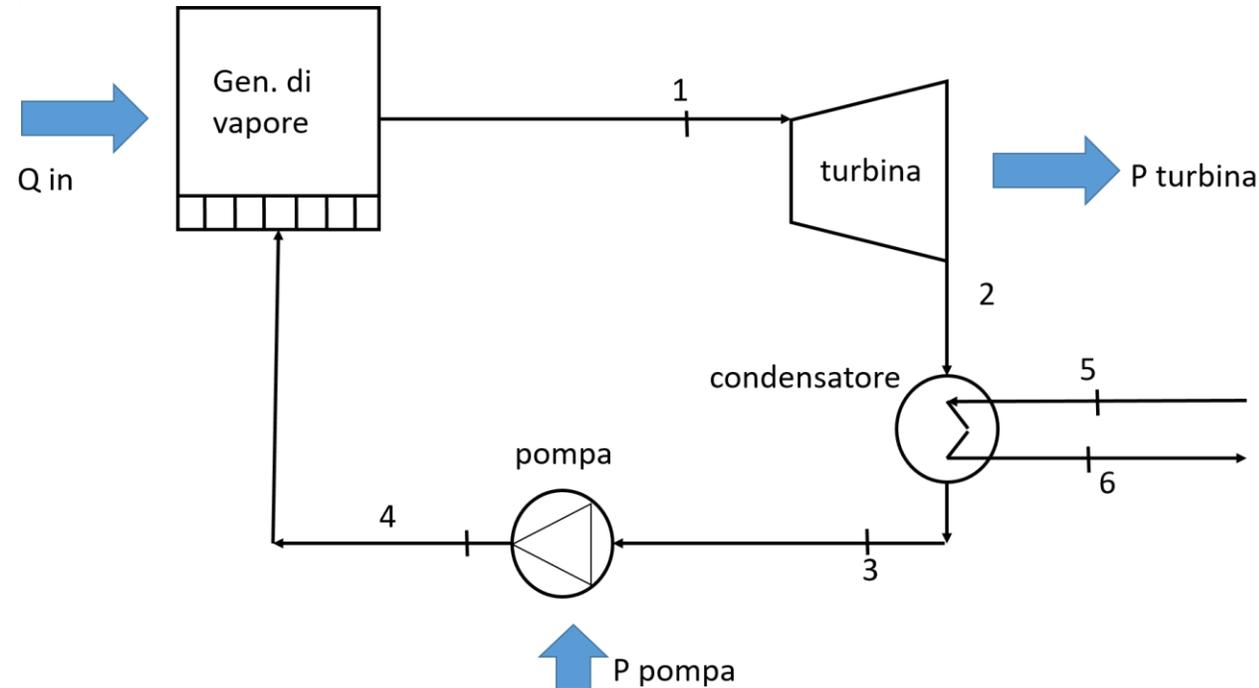
Tracciare il diagramma p-h dell'ammoniaca e determinare l'entalpia dell'ammoniaca nei punti 1 e 2 così definiti:

- **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

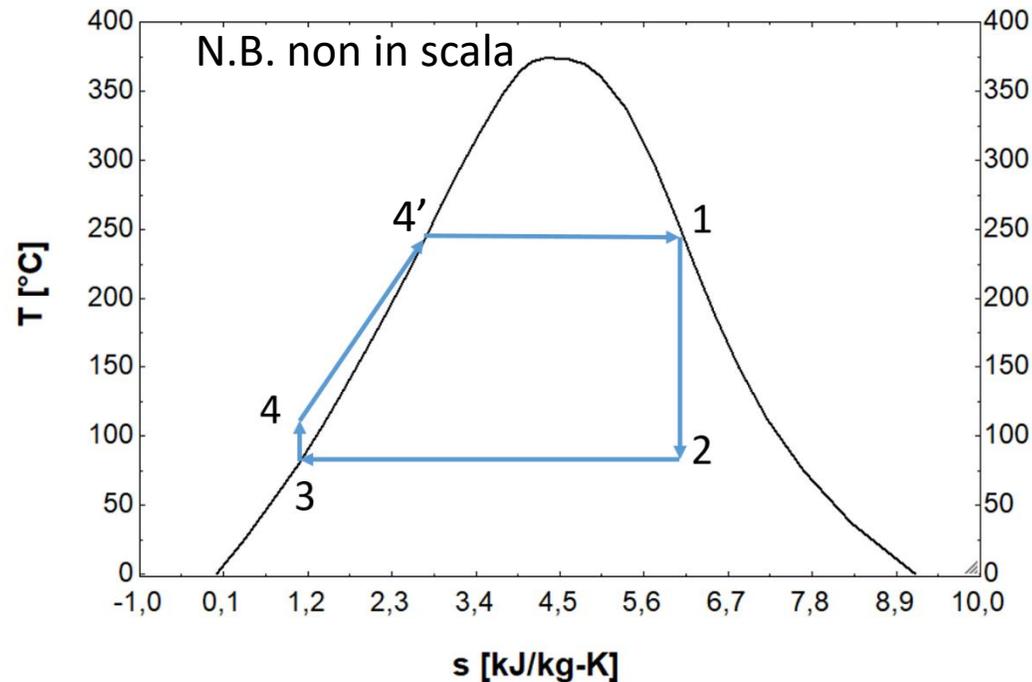


- Pressione al condensatore 0.08 [bar]
- Pressione all'ingresso in turbina 80 [bar]
- Potenza netta 100 [MW]
- Vapore saturo all'ingresso in turbina
- Vapore saturo all'uscita del condensatore
- Si trascurano le perdite di carico
- Temperature dell'acqua al condensatore

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:

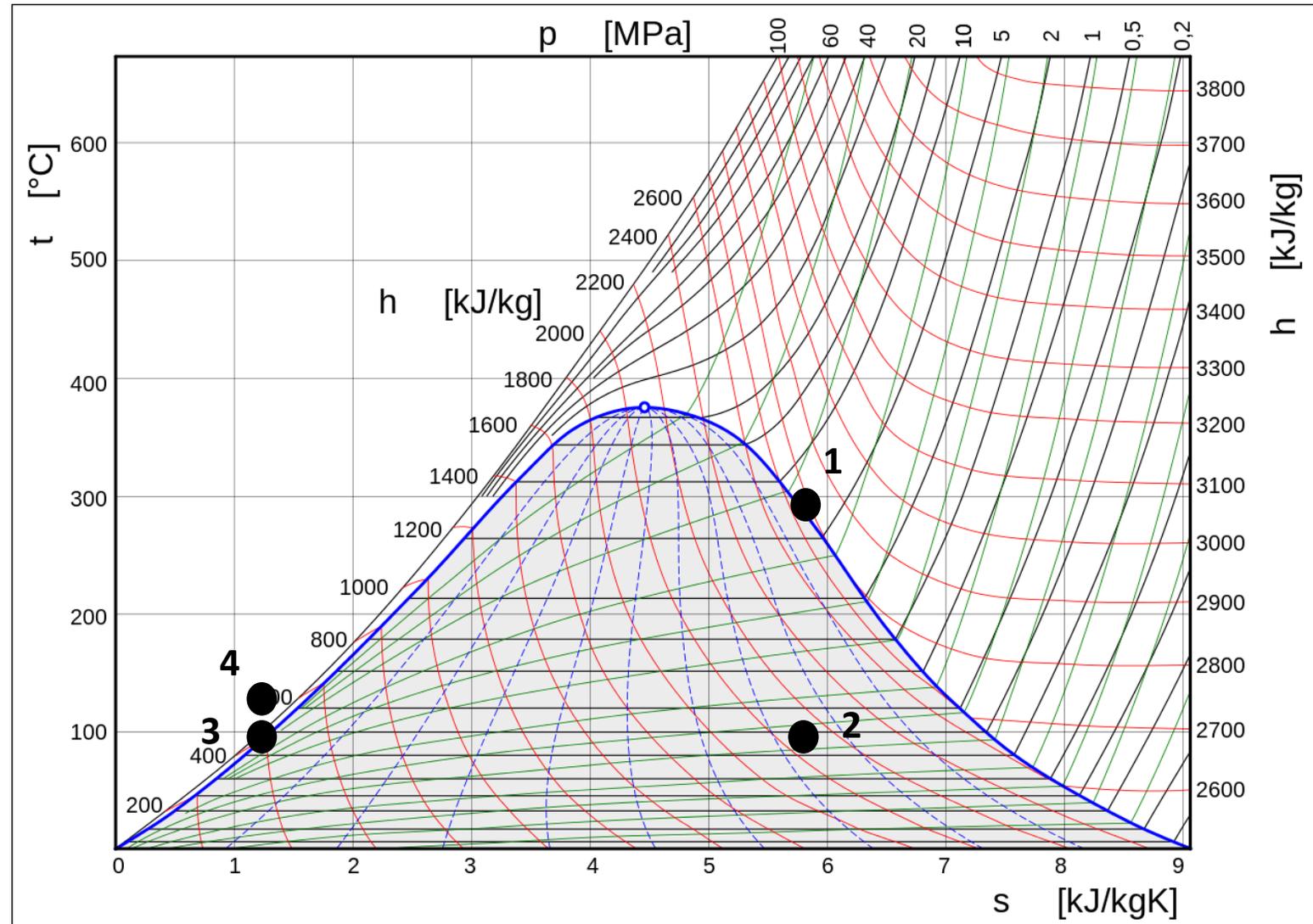
- Pressione
- Temperatura
- Entalpia
- Entropia
- Titolo di vapore

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

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

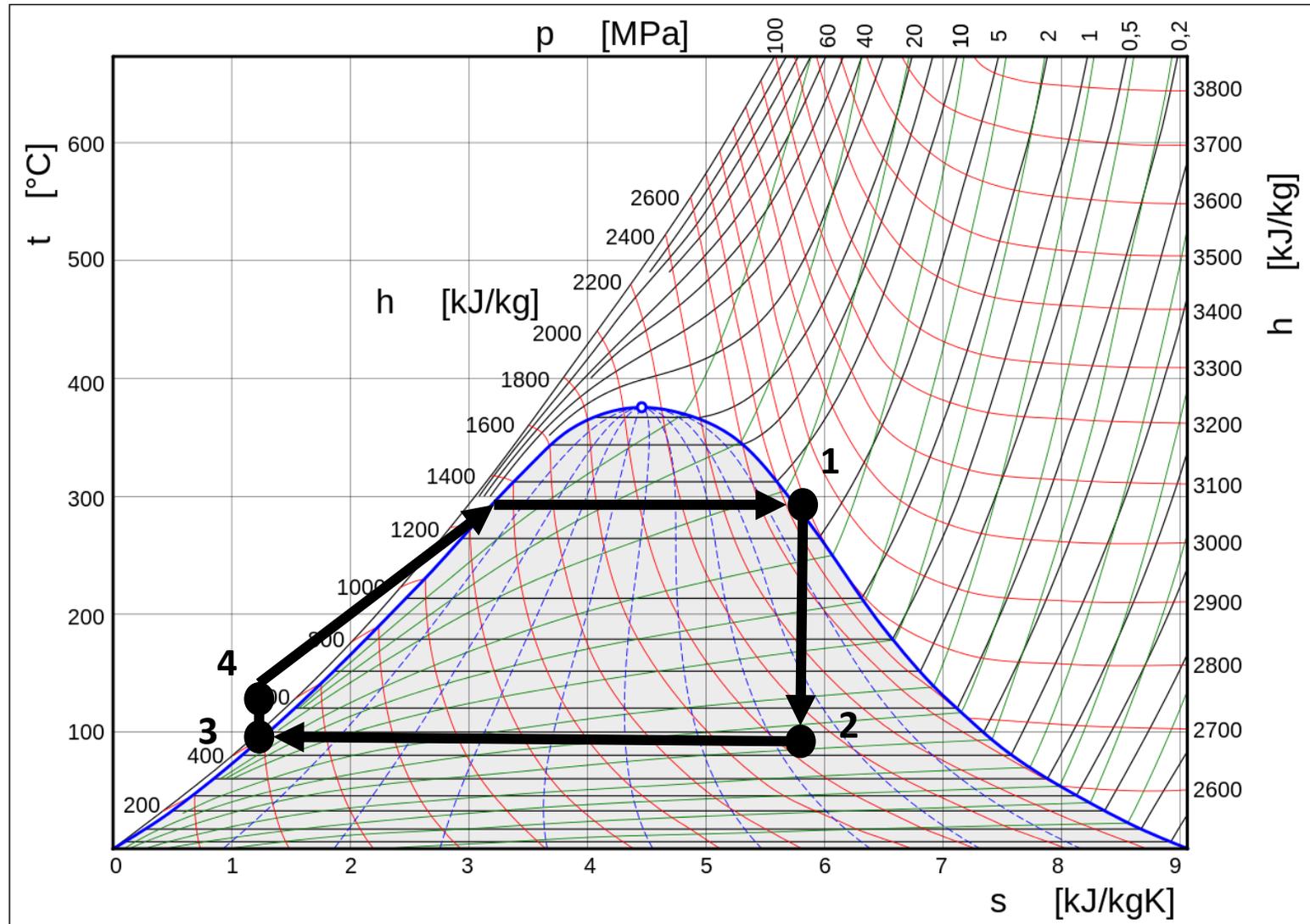


# Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale





# 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:

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

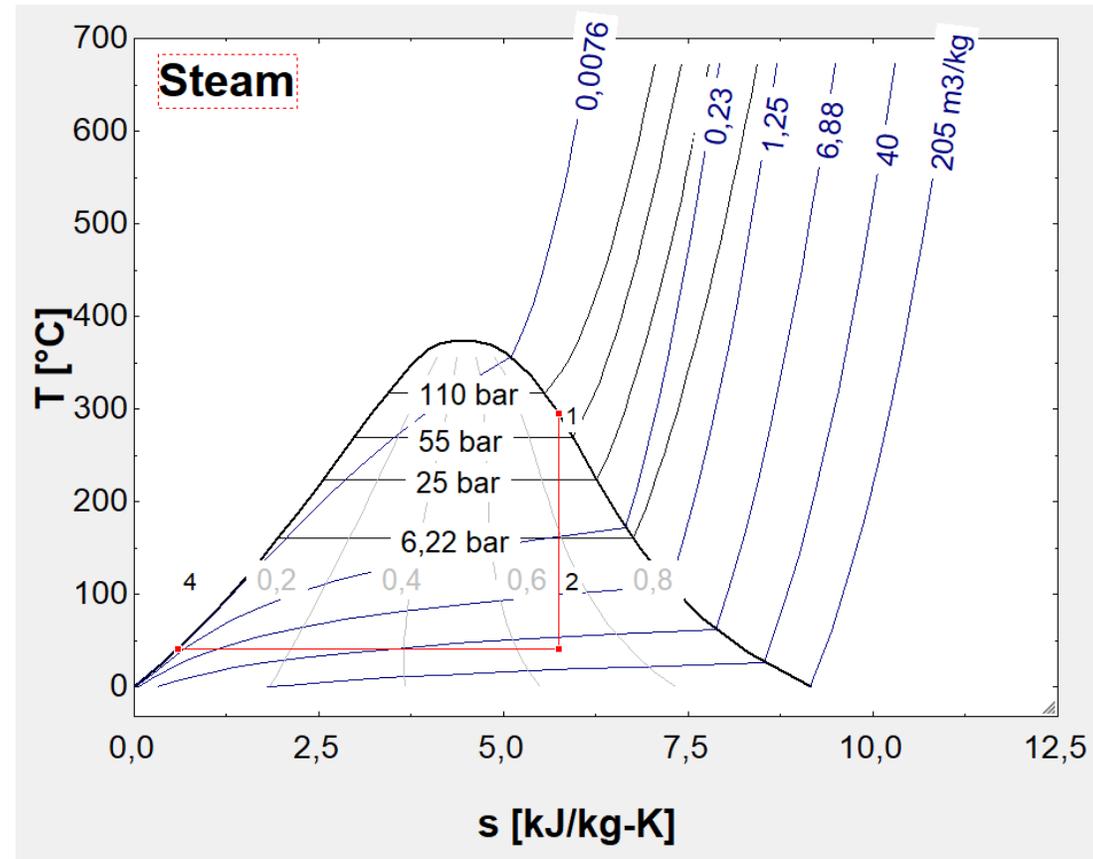
$$s[4] = s[3]$$

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



## Esercizio 6 – Ciclo Rankine ideale

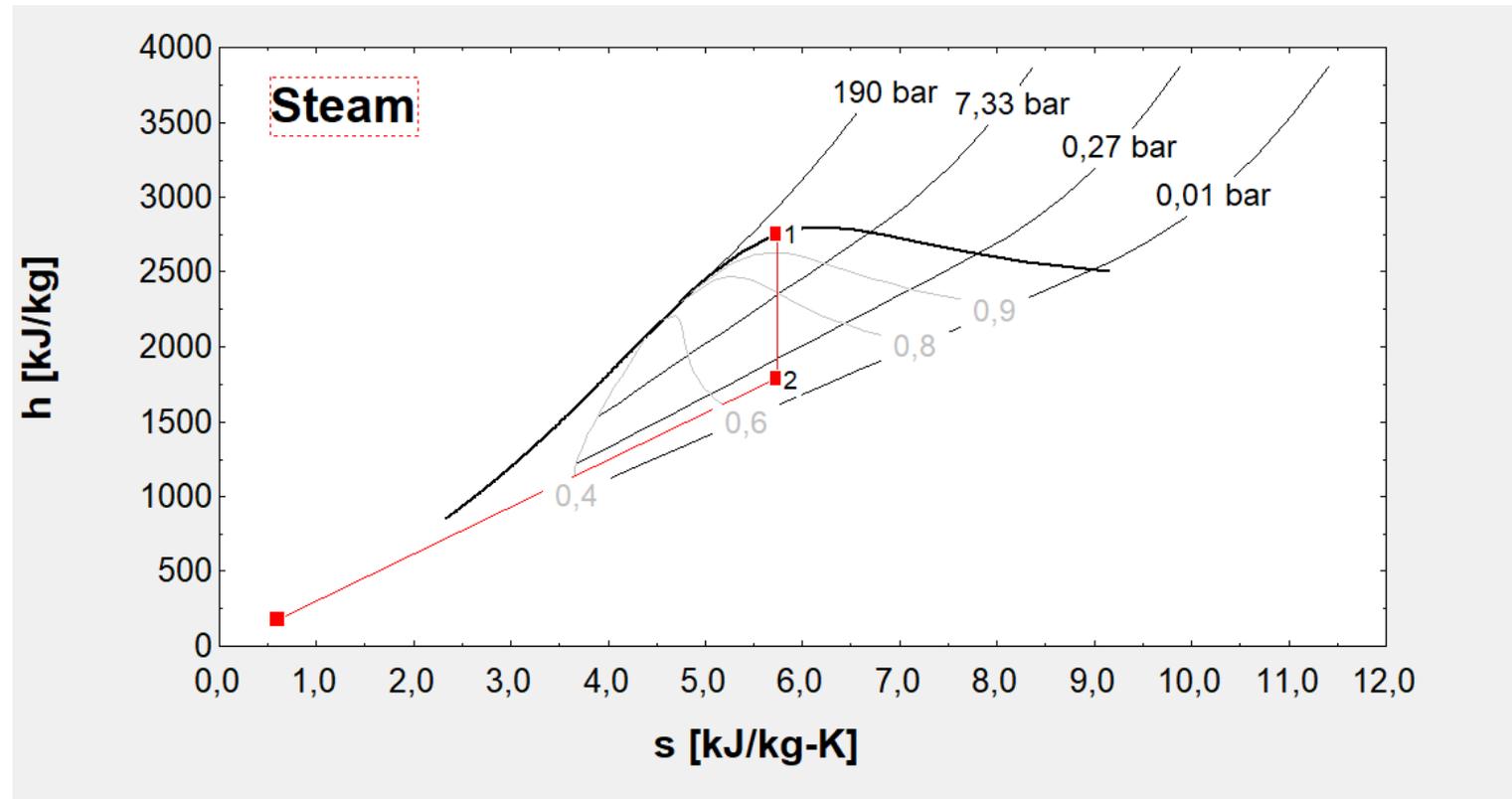
Riporto tutti i punti sui diagrammi T-s e h-s del vapore:





## 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](mailto:federico.delmondo@dia.units.it)