

# Corso di macchine



## INTRODUZIONE AL SOFTWARE DI CALCOLO EES

Prof. Rodolfo Taccani

Ing. Chiara Dall'Armi

A.A. 2021-22



## 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**



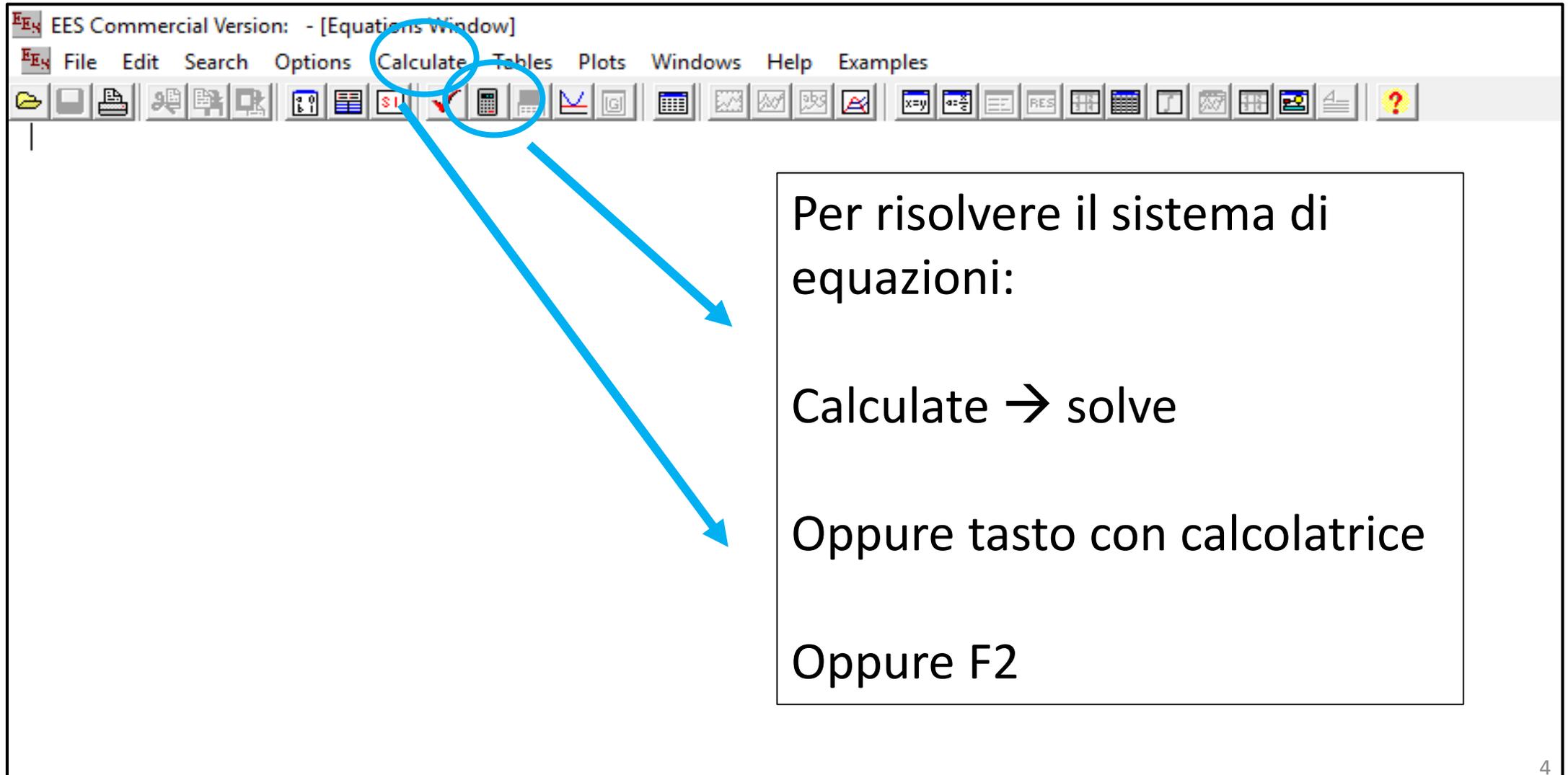
# Software Engineering Equation Solver (EES)

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:

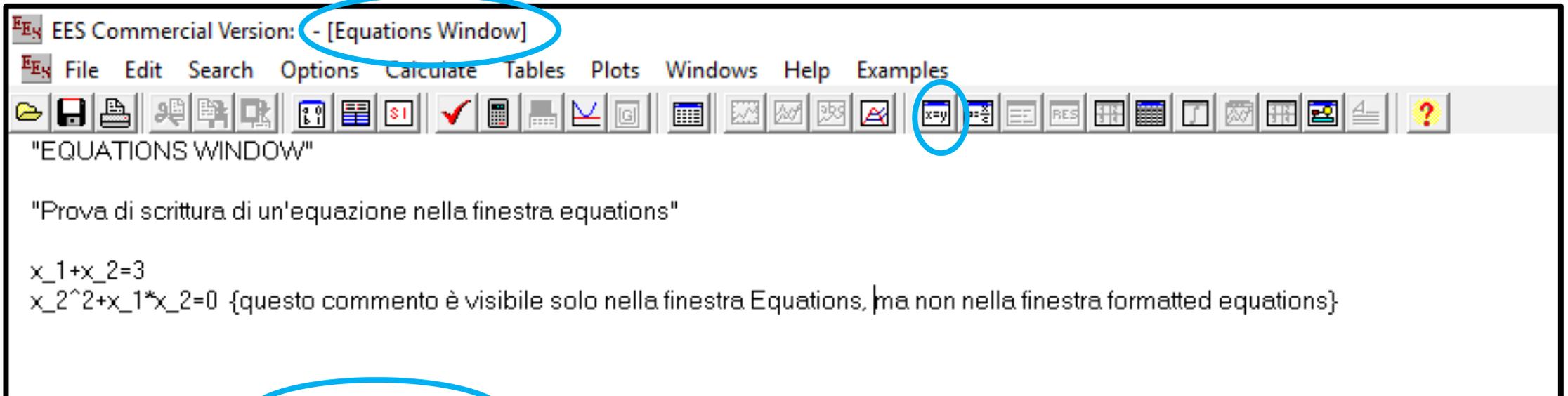
Calculate → solve

Oppure tasto con calcolatrice

Oppure F2



# Software Engineering Equation Solver (EES)



EES Commercial Version: - [Equations Window]

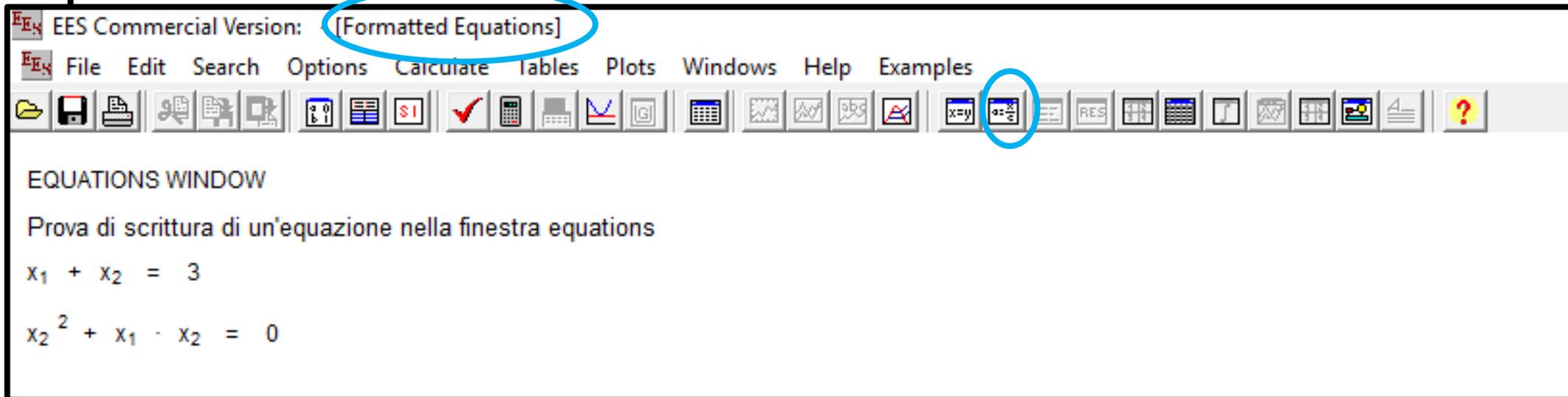
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

"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 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

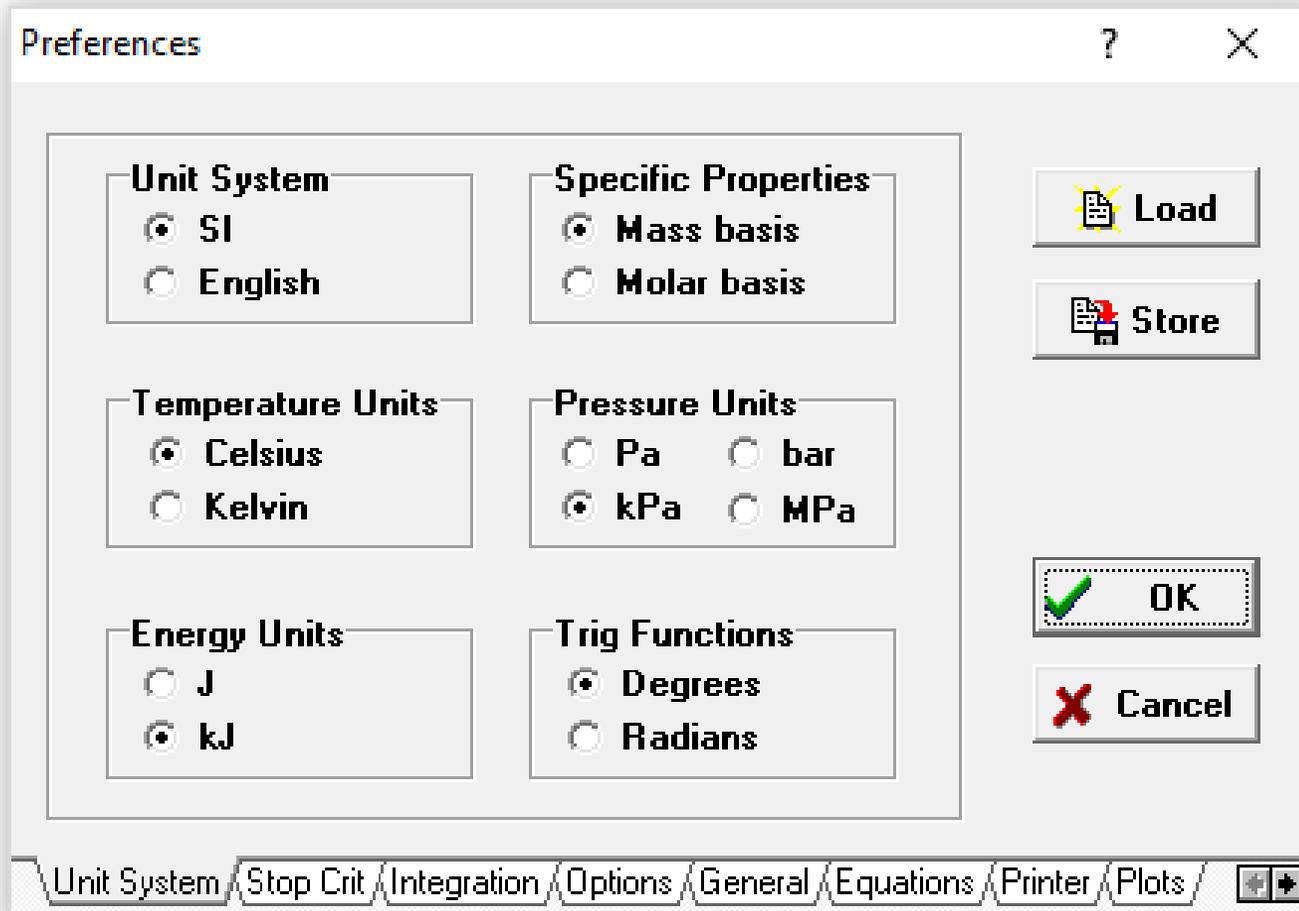
$x_1 + x_2 = 3$   
 $x_2^2 + x_1 \cdot x_2 = 0$

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

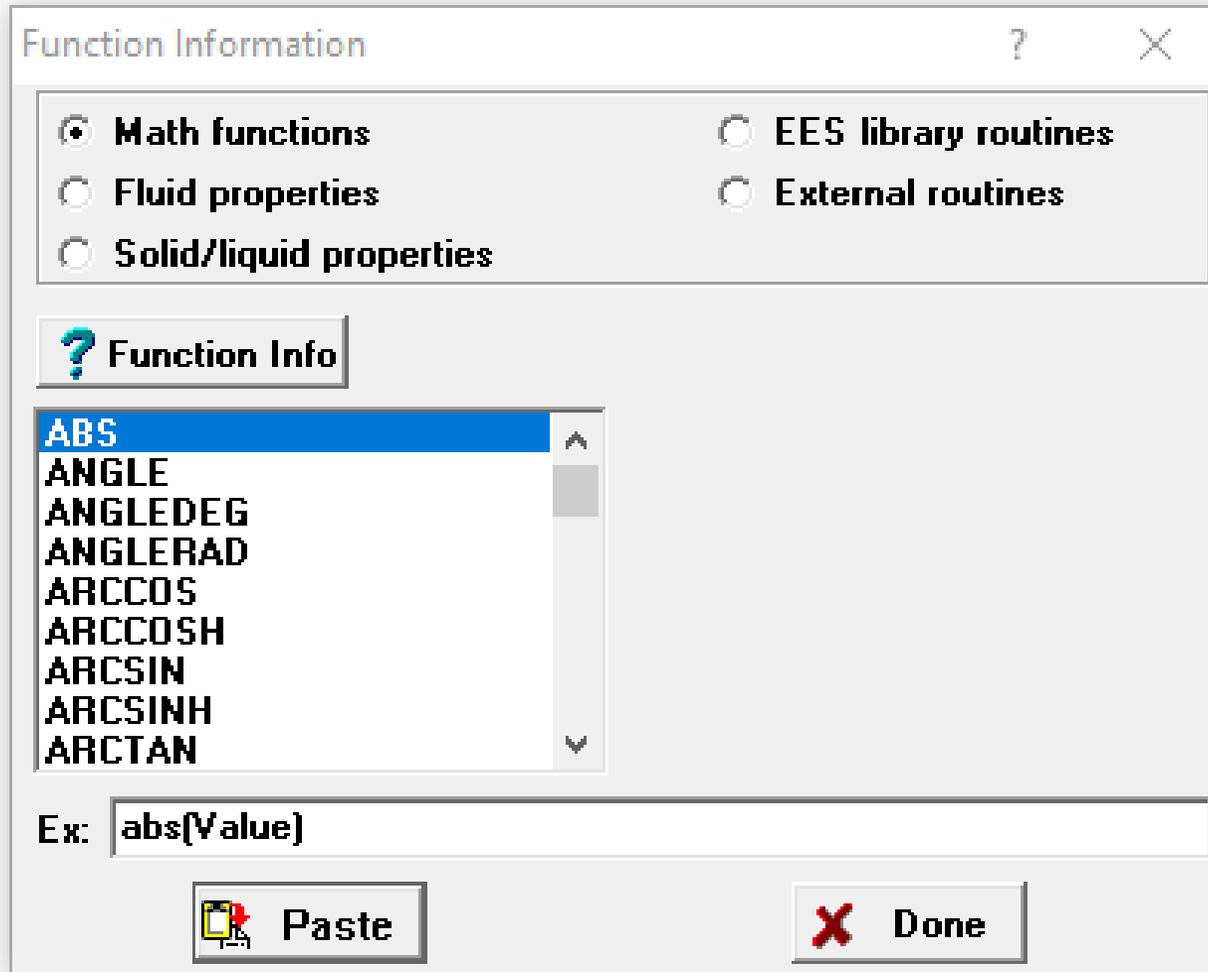


Options → unit system



# Software Engineering Equation Solver (EES)

Per avere informazioni sulla sintassi delle funzioni:

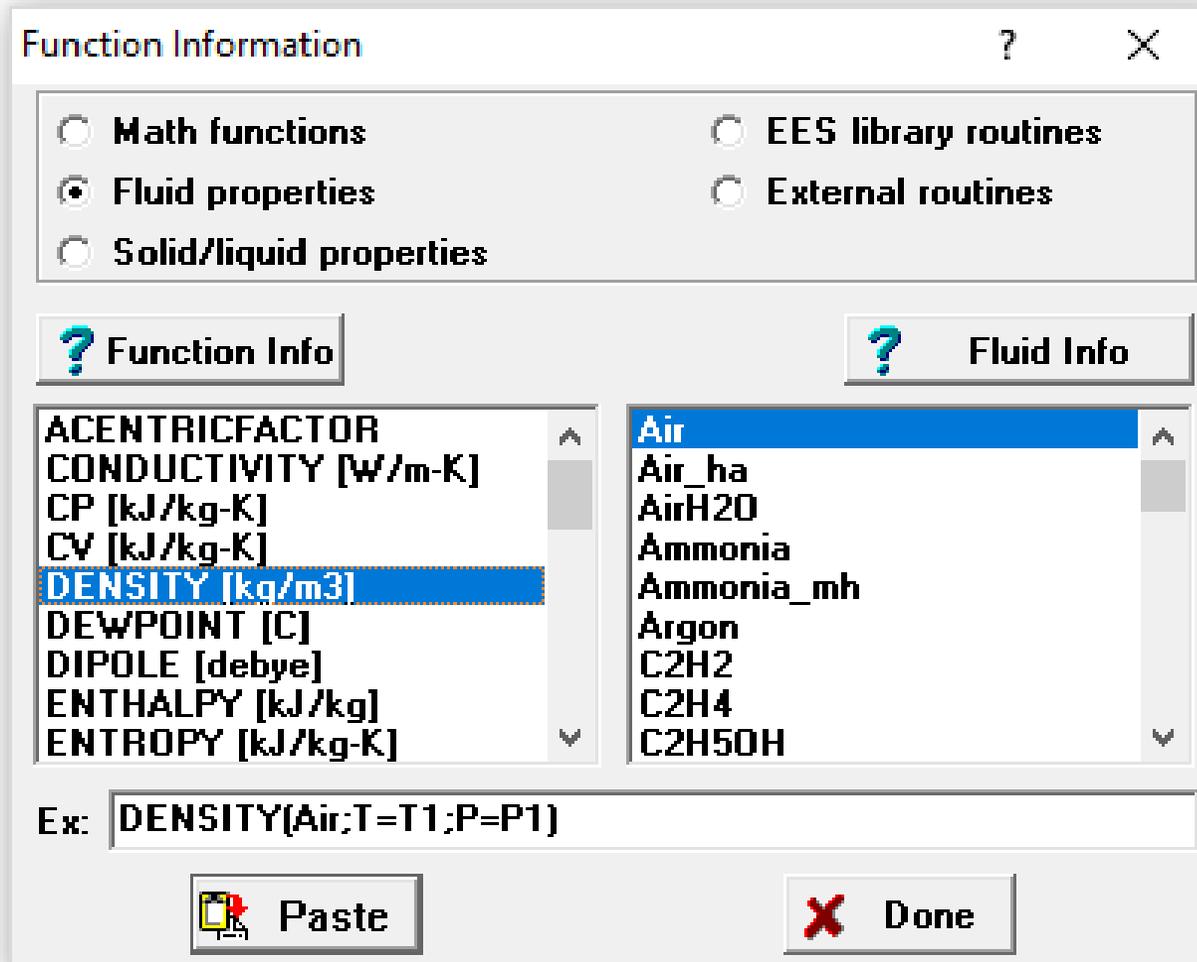


Options → Function info



# 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 ( $\text{kg/m}^3$ ) dell'acqua alla pressione di 1 bar ed alla temperatura di  $25^\circ\text{C}$ .
2. Calcolare la densità ( $\text{kg/m}^3$ ) dell'idrogeno alla pressione di 1 bar e temperatura di  $25^\circ\text{C}$ .
3. Calcolare la densità ( $\text{kg/m}^3$ ) 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  $38.6 \text{ kJ/kg}$ .



## Esercizio 1: soluzioni

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



# Software Engineering Equation Solver (EES)

Options → variable info

Variable Information

Show array variables  
 Show string variables

Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
cp_w	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_ll	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
eta_ise	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_isp		-infinity	infinity	A 3 N	
eta_th		-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
Ex[1]		-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[2]		-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[3]		-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[4]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[5]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[6]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[1]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[2]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[3]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[4]	1	-infinity	infinity	A 3 N	

Di default pari a 1; può essere utile modificare



# Software Engineering Equation Solver (EES)

Options → variable info

Variable Information

Show array variables  
 Show string variables

Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
cp_w	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_ll	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
eta_ise	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_isp	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_th	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
Ex[1]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[2]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[3]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[4]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[5]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[6]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[1]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[2]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[3]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[4]	1	-infinity	infinity	A 3 N	

Di default limiti di + infinito e - infinito



# Software Engineering Equation Solver (EES)

Options → variable info

Variable Information

Show array variables  
 Show string variables

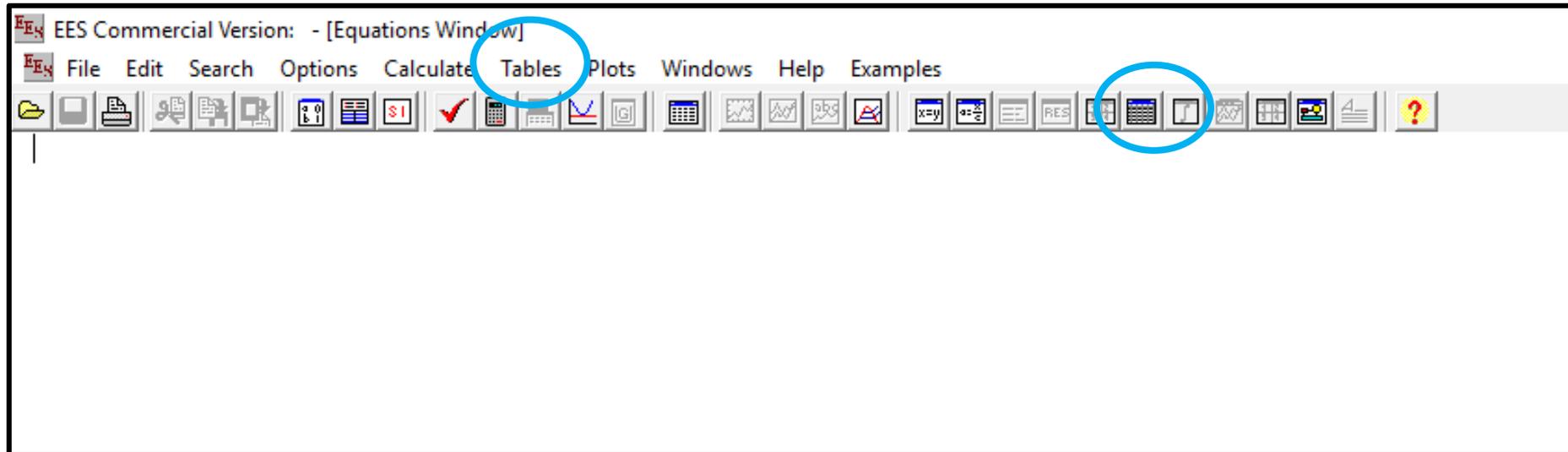
Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
cp_w	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_ll	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
eta_ise	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_isp	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_th	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
Ex[1]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[2]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[3]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[4]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[5]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[6]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[1]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[2]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[3]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
ex_ch[4]	1	-infinity	infinity	A 3 N	

Display:  
A = automatico  
E = esponenziale  
N = nessuna  
formattazione in  
risultati  
U = verrà sottolineata  
nella fin. Solution  
3 = numero di cifre  
dopo la virgola



# Software Engineering Equation Solver (EES)

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



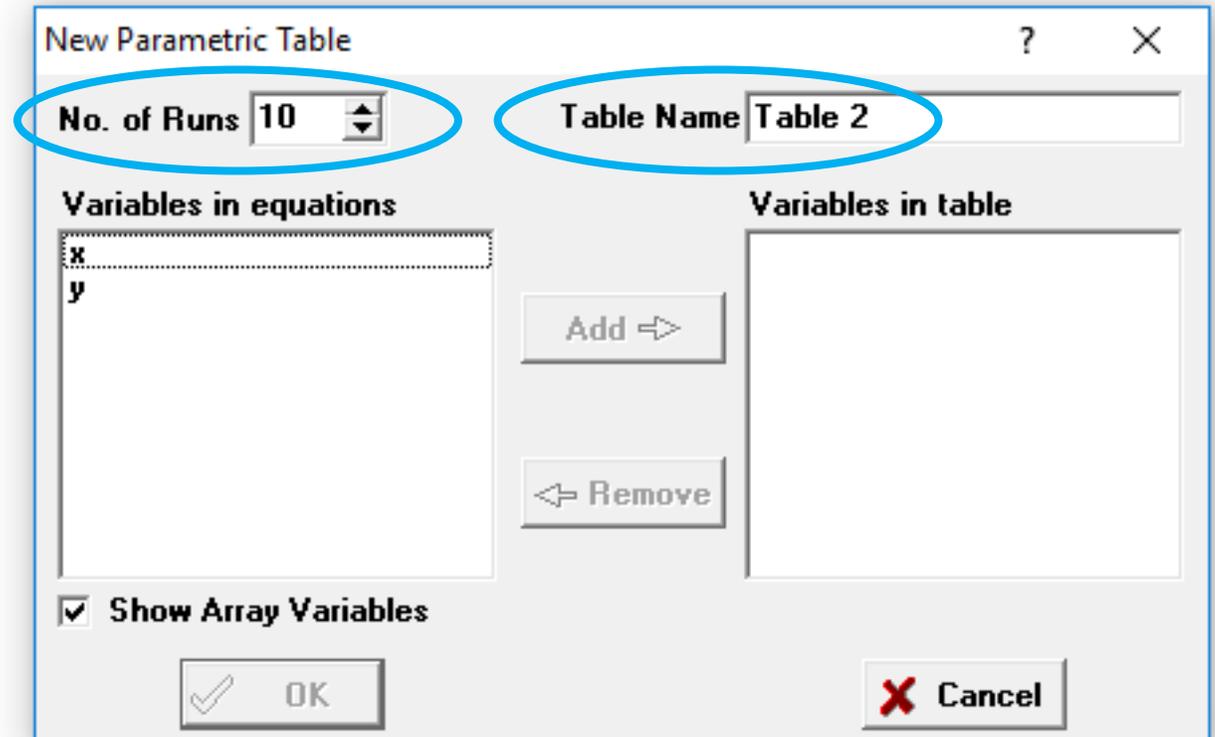
Tables → new parametric table



## Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

Si consideri l'equazione  $y = \sin(x)$ .  
Valutare i valori di  $y$  per  $0^\circ \leq x \leq 359$   
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  $0^\circ \leq x \leq 359$   
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". The table has 10 rows labeled "Run 1" through "Run 10". A blue circle highlights the column header "x" and an arrow points 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:
- Cancel:



## Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

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



## Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

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

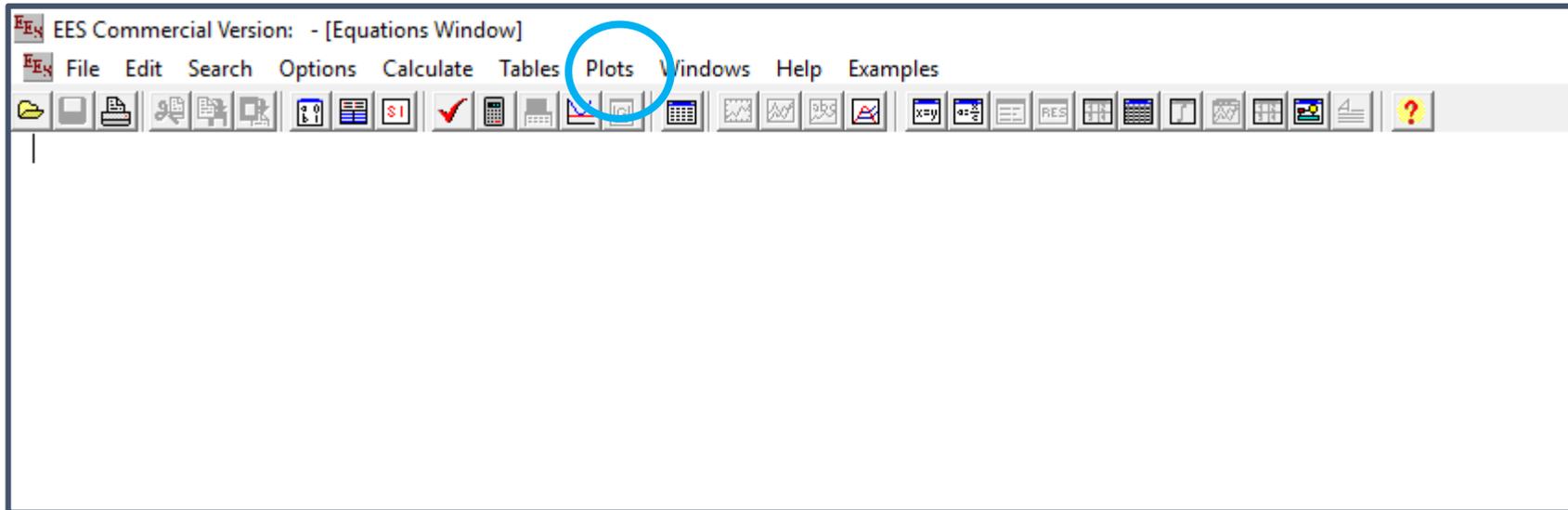
1..10	x	y
Run 1	0	
Run 2	39,89	
Run 3	79,78	
Run 4	119,7	
Run 5	159,6	
Run 6	199,4	
Run 7	239,3	
Run 8	279,2	
Run 9	319,1	
Run 10	359	

**SALVARE E MANTENERE IL FILE APERTO**



# Software Engineering Equation Solver (EES)

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



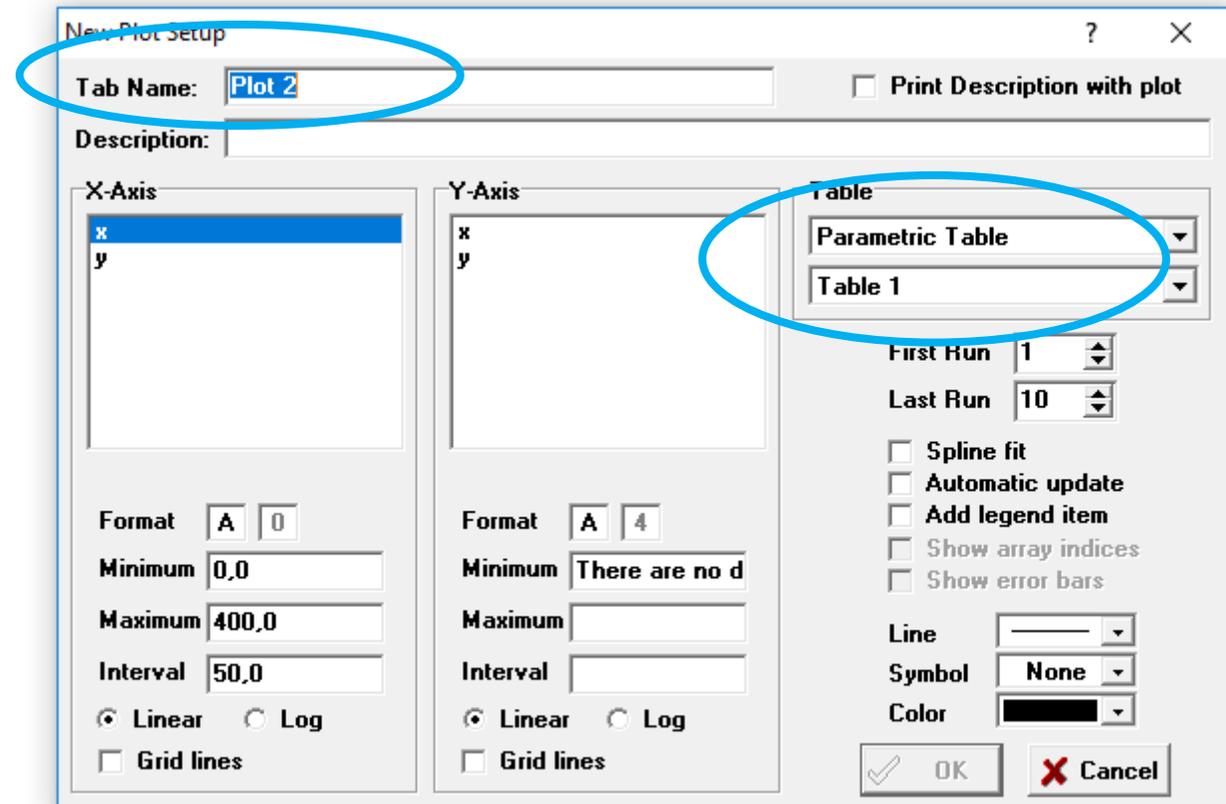
Plots → new plot window → tipo di grafico che si vuole tracciare



## 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 xy 1"
- Tracciare un grafico x-y dalla parametric table "Funzione seno 2" con 150 elementi; nominare il grafico "grafico xy 2"

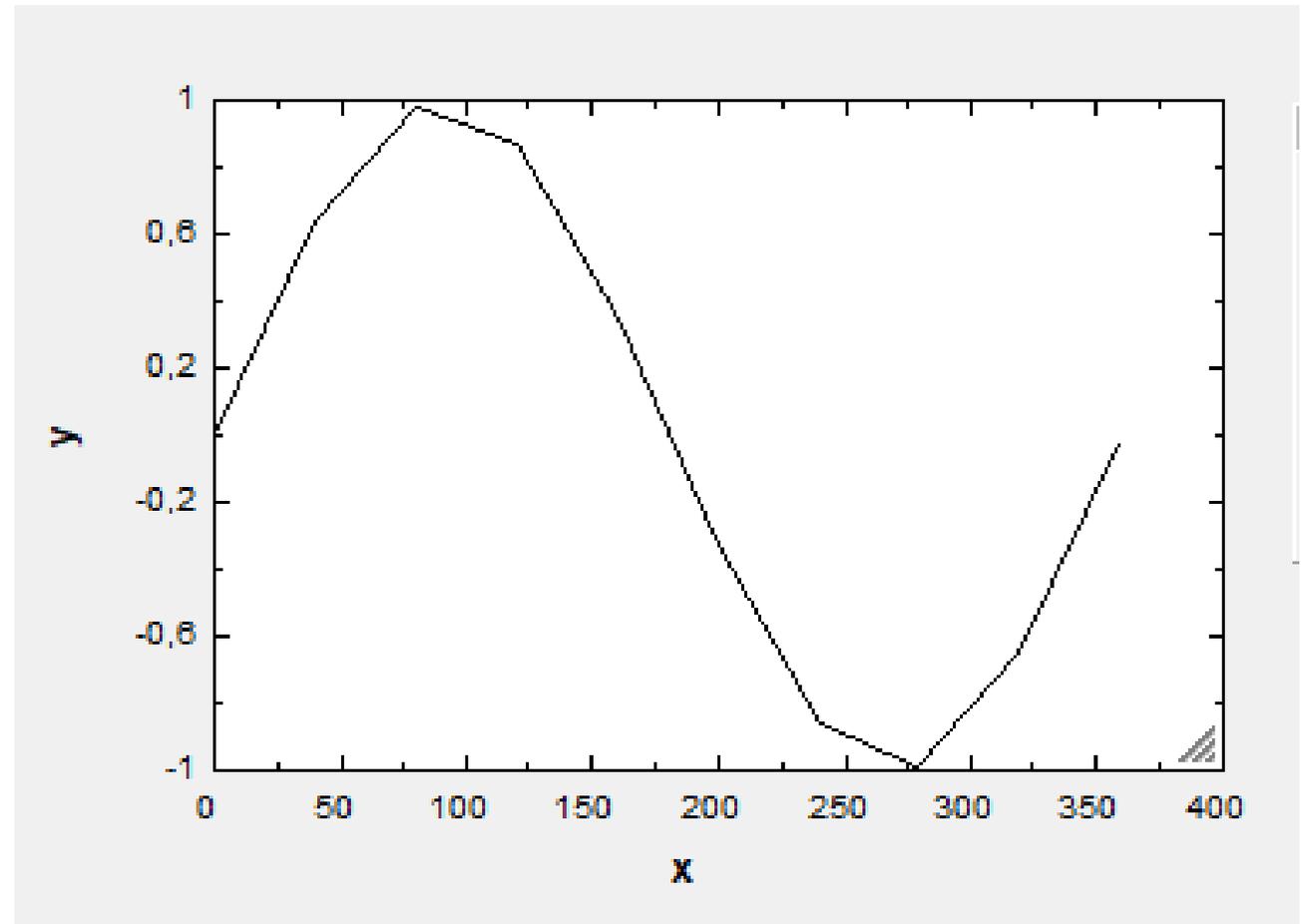




## Esercizio 3: esempio di un grafico x-y a partire da parametric table

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 xy 1"
- Tracciare un grafico x-y dalla parametric table "Funzione seno 2" con 150 elementi; nominare il grafico "Grafico xy 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

[X] Include lines of

- P = 110 [bar]
- P = 55 [bar]
- P = 25 [bar]
- P = 6,22 [bar]
- P = [ ] [bar]
- P = [ ] [bar]

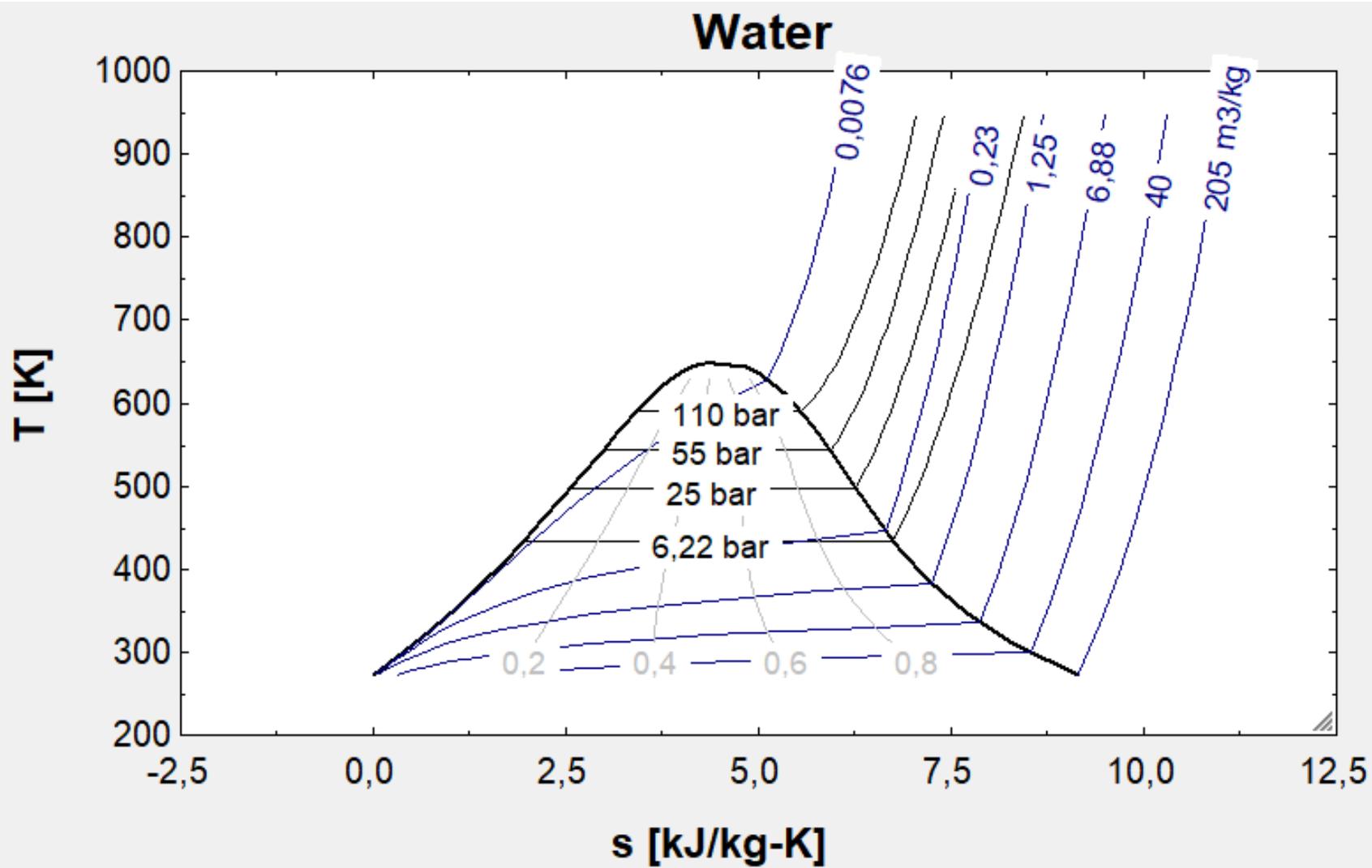
[X] Include lines of

- v = 0,0076 [m3/kg]
- v = 0,23 [m3/kg]
- v = 1,25 [m3/kg]
- v = 6,88 [m3/kg]
- v = 40 [m3/kg]
- v = 205 [m3/kg]

Show lines of constant quality

OK Cancel

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



Con il comando *overlay plot* si possono includere nel grafico i punti specifici calcolati nella finestra *equations*



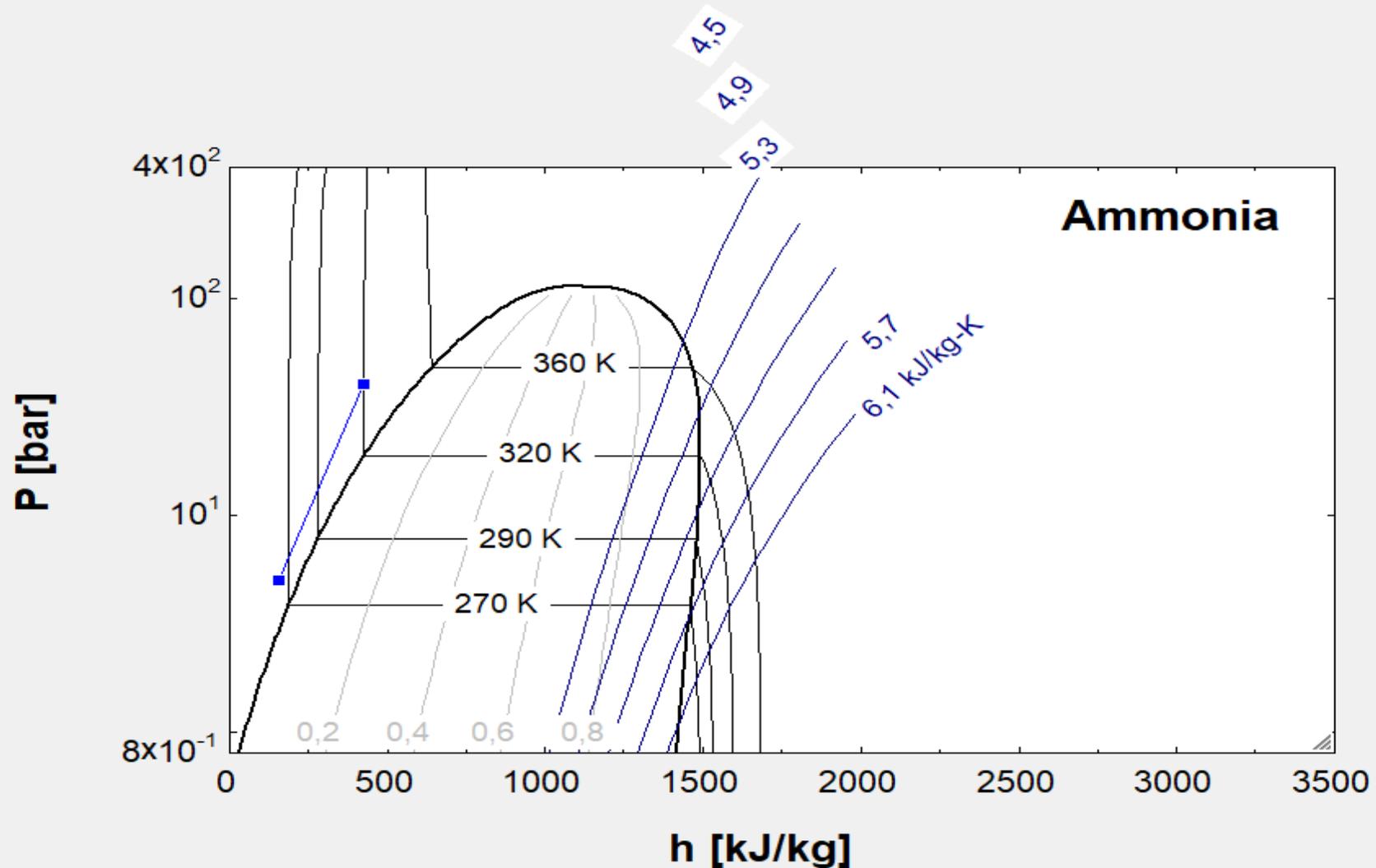
## Esercizio 5: diagrammi di stato (*property plot*)

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;  $T=-10^{\circ}\text{C}$ ;
- **punto 2:**  $p=40$  bar;  $T_2=320\text{K}$ ;

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

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



# Software Engineering Equation Solver (EES)



chiara.dall'armi@phd.units.it