



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Corso di Macchine

INTRODUZIONE AL SOFTWARE

ENGINEERING EQUATION SOLVER (EES)

Prof. Rodolfo Taccani

Prof. Lucia Parussini

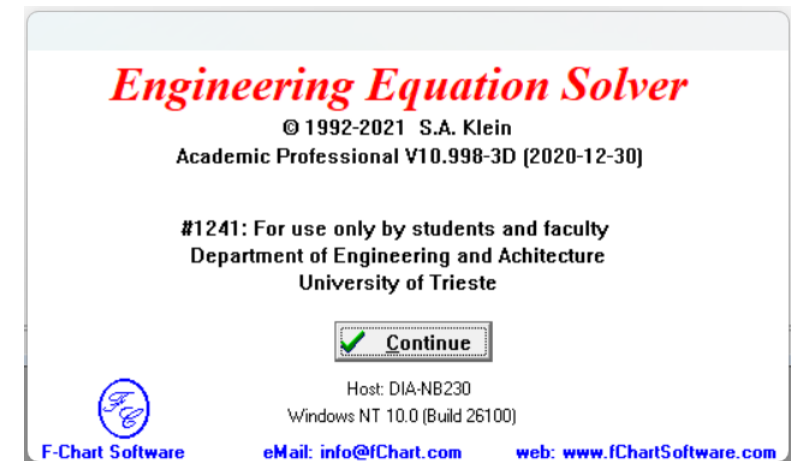
Prof. Ronelly De Souza

A.A. 2025-2026



Software Engineering Equation Solver (EES)

Introduzione



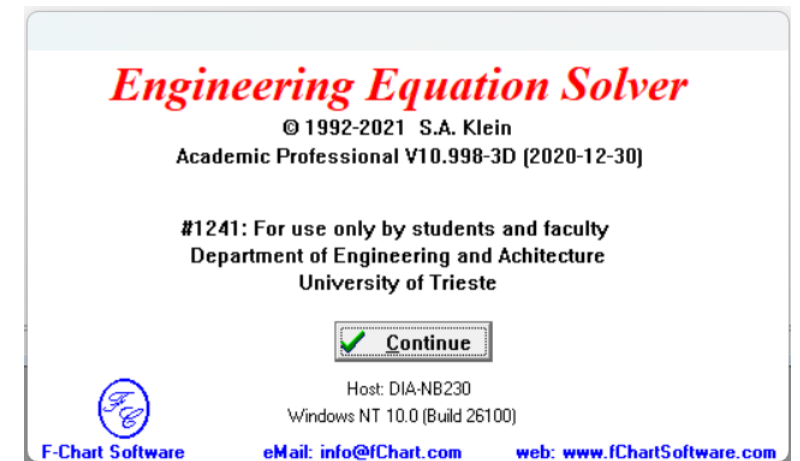
- **Definizione:** Un software di calcolo numerico che risolve sistemi di migliaia di equazioni algebriche e differenziali non lineari.
- **Funzione principale:** Accetta equazioni in qualsiasi ordine e risolve contemporaneamente le incognite, eliminando la necessità di riorganizzare le formule.
- **Caratteristica distintiva:** Include un vasto e preciso database di proprietà termodinamiche e di trasporto per centinaia di sostanze (fluidi, refrigeranti, gas), accessibile tramite funzioni integrate.



Software Engineering Equation Solver (EES)

Funzionalità chiave

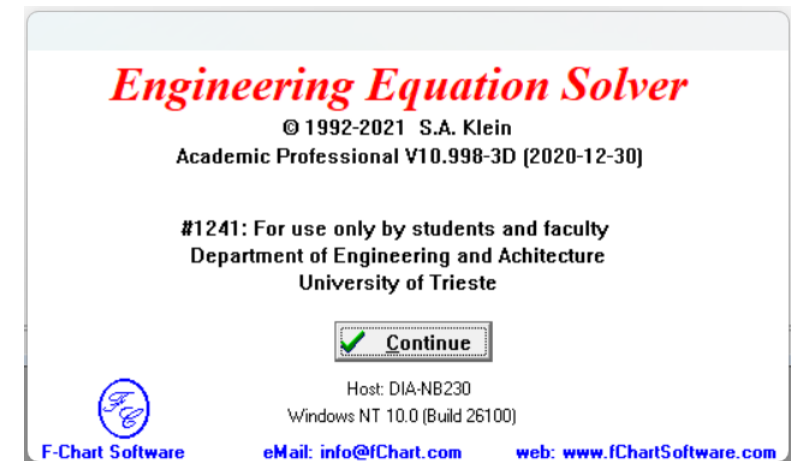
- **Analisi avanzate:** Permette studi parametrici, ottimizzazione (per minimizzare o massimizzare una variabile) e analisi di incertezza.
- **Gestione delle unità:** Controlla automaticamente la coerenza delle unità di misura e offre funzionalità di conversione.
- **Grafici:** Genera grafici 2D e 3D per visualizzare i risultati in modo efficace.





Software Engineering Equation Solver (EES)

Funzionalità chiave



- Visualizzazione delle equazioni formattata con lettere greche e simboli matematici.

$$P_{crit} = P_{su} * (2 / (\gamma_r + 1))^{(\gamma_r / (\gamma_r - 1))}$$



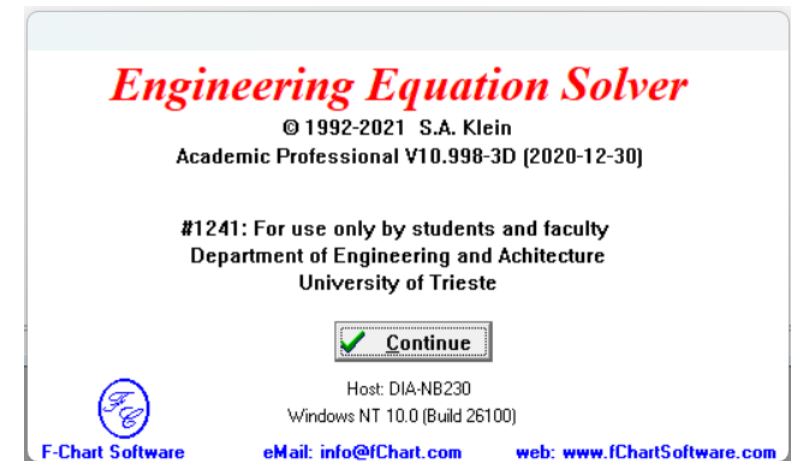
$$P_{crit} = P_{su} \cdot \left[\frac{2}{\gamma_r + 1} \right]^{\left[\frac{\gamma_r}{\gamma_r - 1} \right]}$$

- Tanti programmi di esempio online.
- Manuale disponibile online.



Software Engineering Equation Solver (EES)

Applicazioni



- **Termodinamica:** Analisi di cicli termodinamici (ad es. cicli Rankine e Brayton) e bilanci energetici di sistemi.
- **Trasferimento di calore:** Simulazione di problemi di conduzione, convezione e irraggiamento, e progettazione di scambiatori di calore.
- **Meccanica dei fluidi:** Calcolo delle perdite di carico, analisi del flusso in tubazioni e studi sulle prestazioni di pompe.
- **Ingegneria chimica:** Modellazione di reazioni chimiche, simulazioni di processi e calcoli di bilanci di massa.
- **Educazione e Ricerca:** È uno strumento standard nell'insegnamento universitario e nella ricerca per le sue capacità di modellazione e risoluzione.



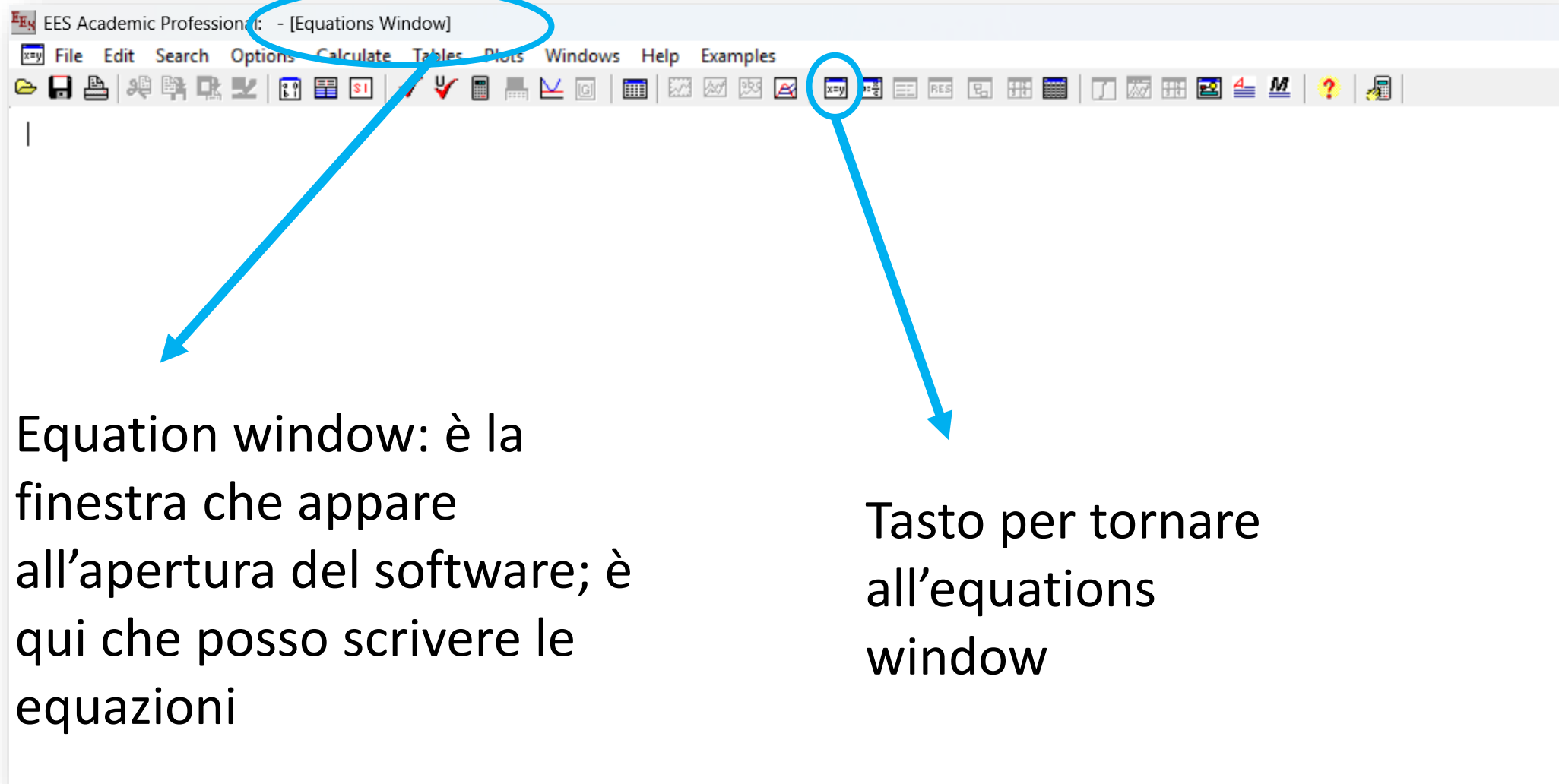
Software Engineering Equation Solver (EES)

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)

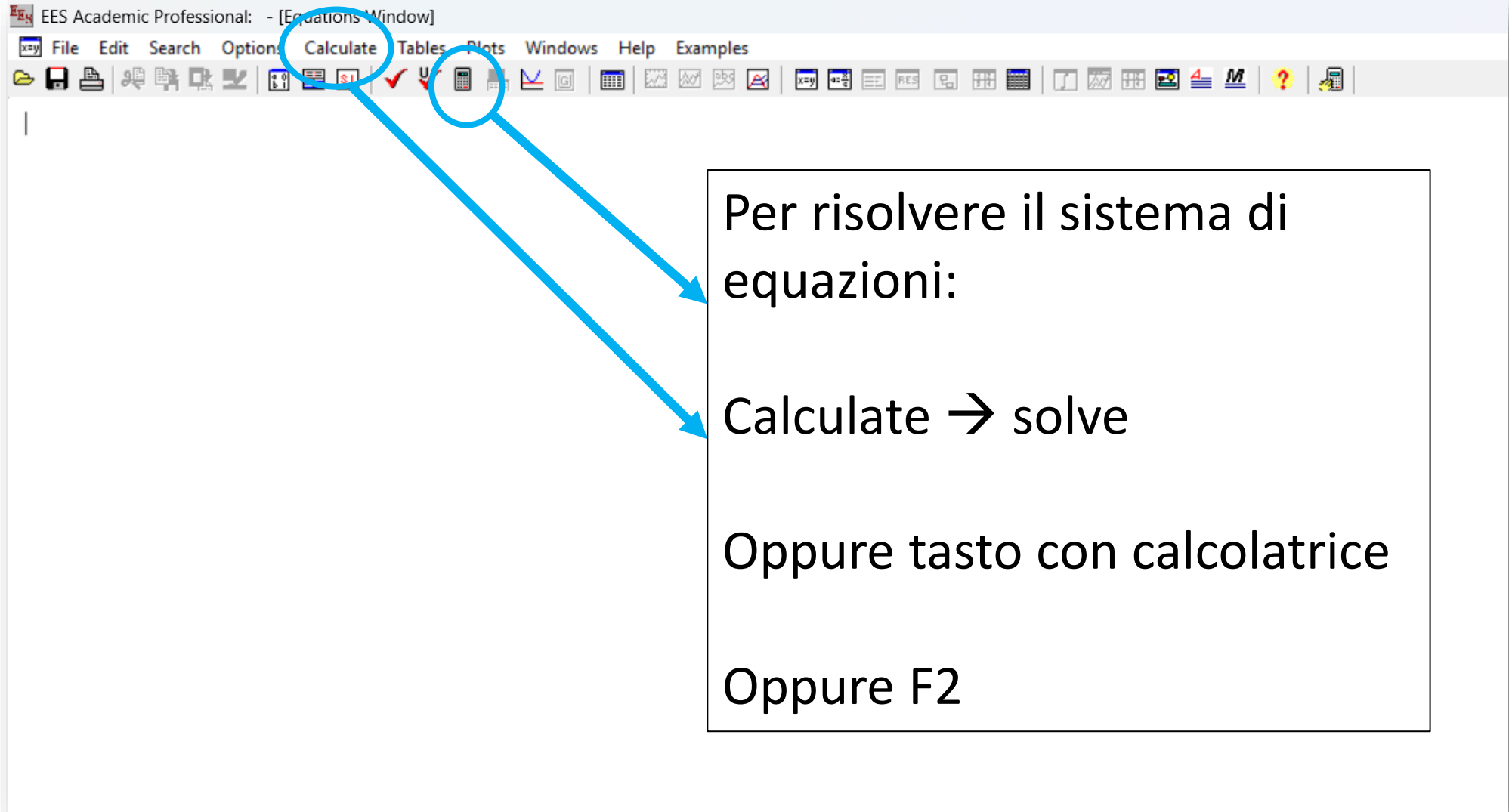


Equation window: è la finestra che appare all'apertura del software; è qui che posso scrivere le equazioni

Tasto per tornare all'equations window



Software Engineering Equation Solver (EES)



EES Academic Professional: - [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 Academic Professional: - [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}

EES Academic Professional: - [Formatted Equations]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

EQUATIONS WINDOW

Prova di scrittura di un'equazione nella finestra equations

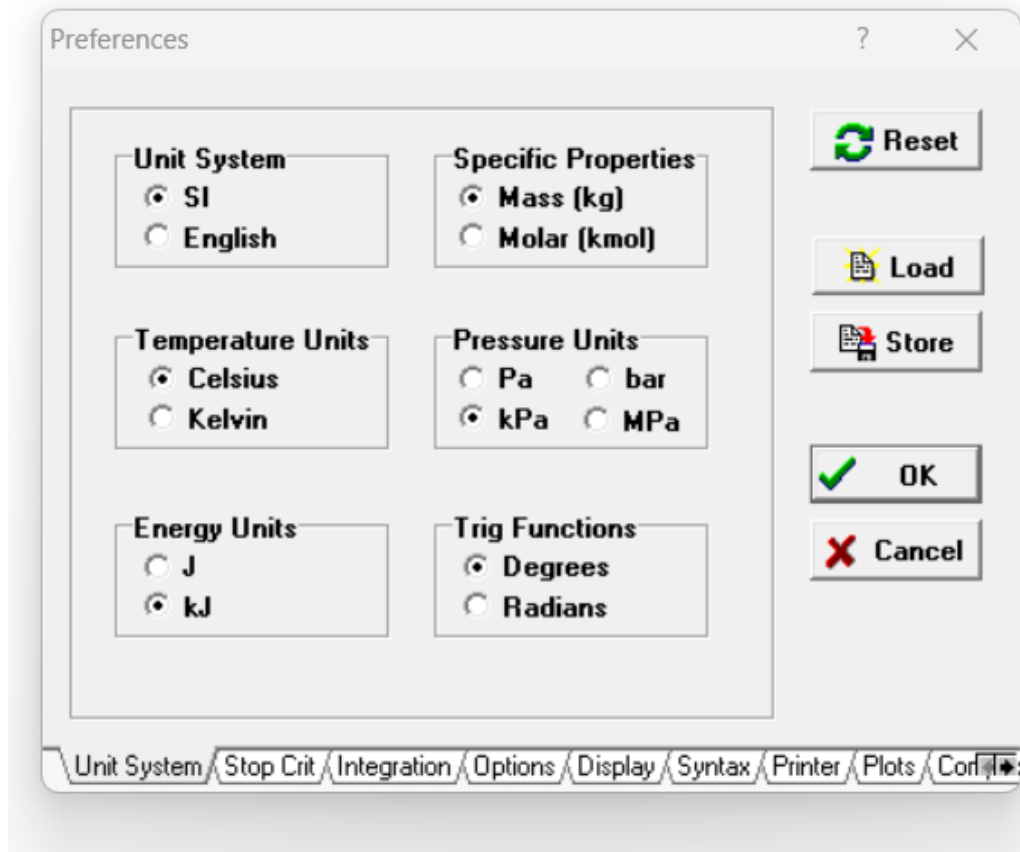
$x_1 + x_2 = 3$

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



Software Engineering Equation Solver (EES)

Prima di iniziare: impostare sistema delle unità di misura

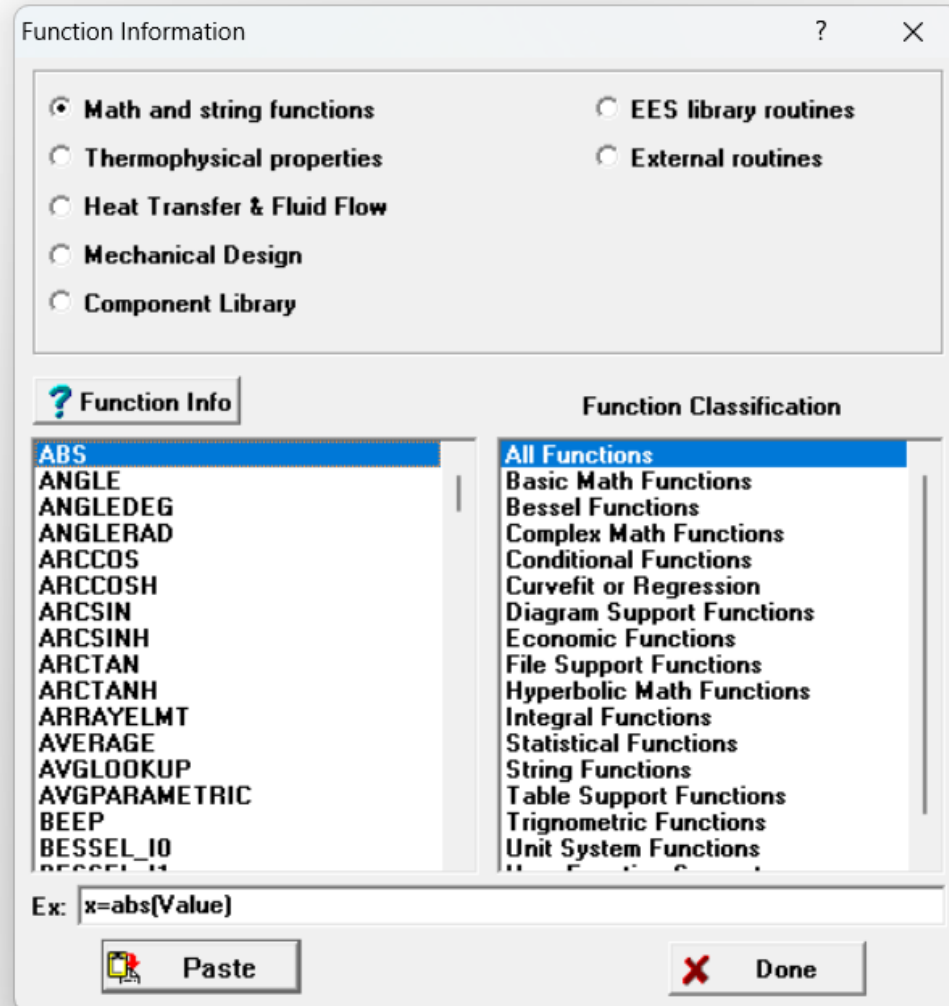


Options → unit system



Software Engineering Equation Solver (EES)

Per avere informazioni sulla sintassi delle funzioni:

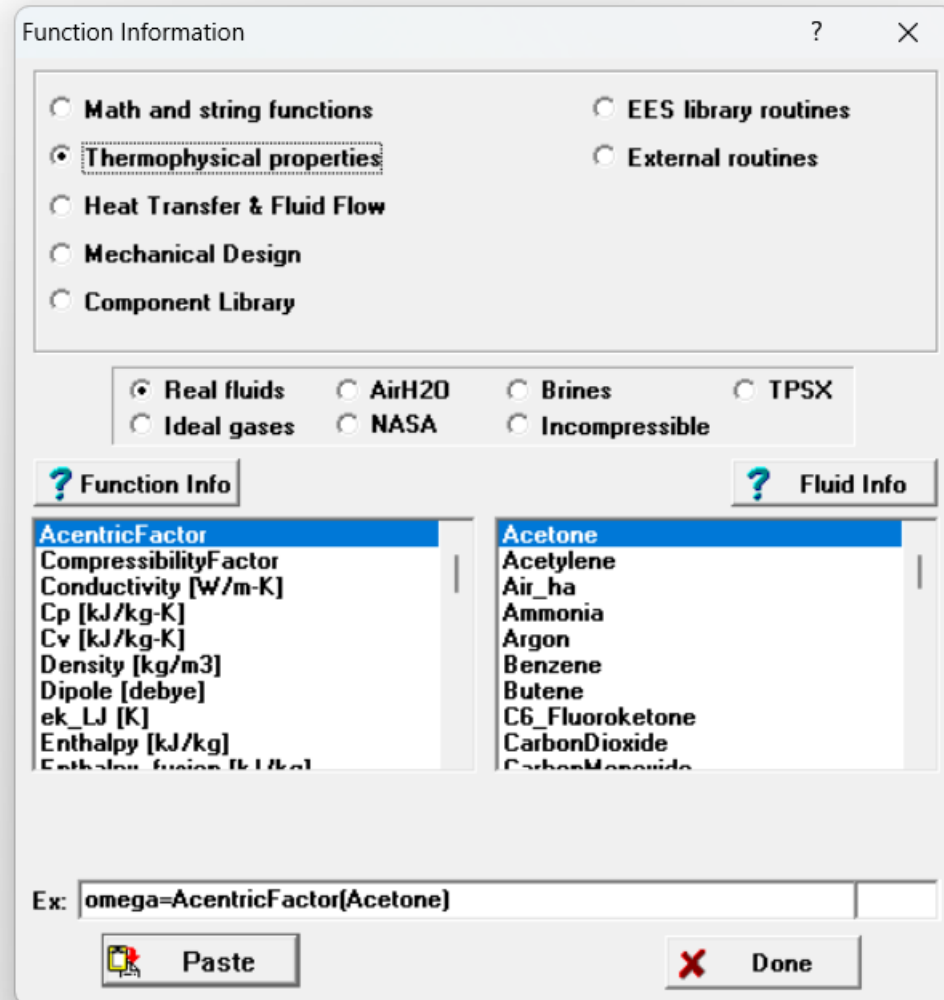


Options → Function info



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°C .
2. Calcolare la densità (kg/m^3) dell'idrogeno alla pressione di 1 bar e temperatura di 25°C .
3. Calcolare la densità (kg/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 ($^\circ\text{C}$) alla quale il fluido refrigerante R134a alla pressione di 1 MPa presenta un'entalpia pari a 38.6 kJ/kg .



Esercizio 1: soluzioni

1. Calcolare la densità (kg/m^3) dell'acqua alla pressione di 1 bar ed alla temperatura di 25°C . [$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$]
2. Calcolare la densità (kg/m^3) dell'idrogeno alla pressione di 1 bar e temperatura di 25°C . [$\rho = 0.081 \text{ kg/m}^3$]
3. Calcolare la densità (kg/m^3) dell'idrogeno alla pressione di 1 bar e alla temperatura di -253°C . [$\rho = 71.1 \text{ kg/m}^3$]
4. Calcolare l'entalpia dell'ammoniaca alla pressione di 5 bar e alla temperatura di 7°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 kJ/kg . [$T = -10.1^\circ\text{C}$]



Software Engineering Equation Solver (EES)

Options → variable info

Variable Information

☒ Show array variables
☐ Show string variables

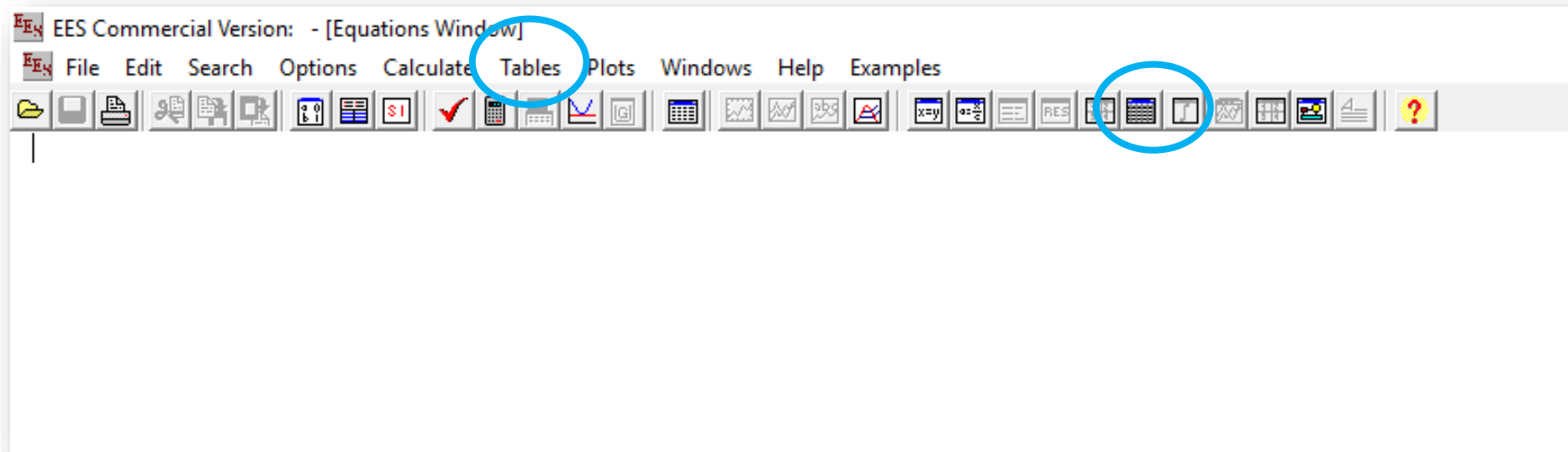
Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
cp_w	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_ll	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
eta_ise	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_isp	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_th	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
Ex[1]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[2]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[3]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



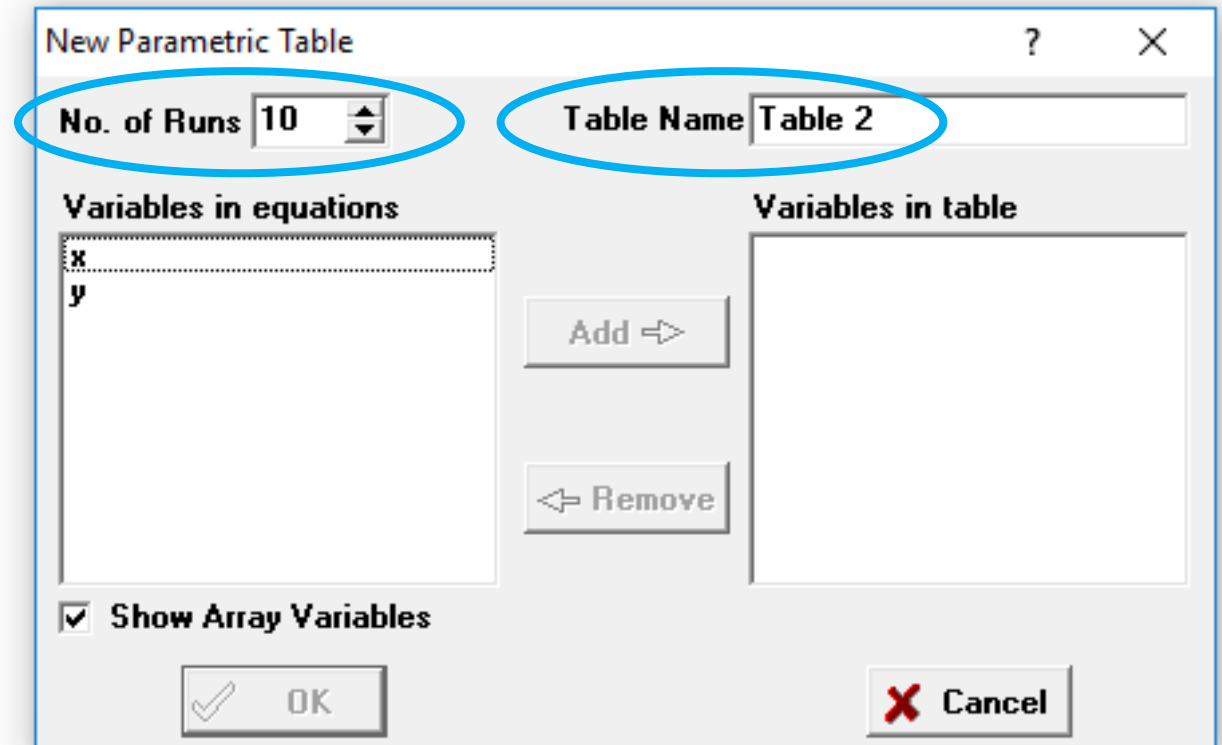
Tables → new parametric table



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

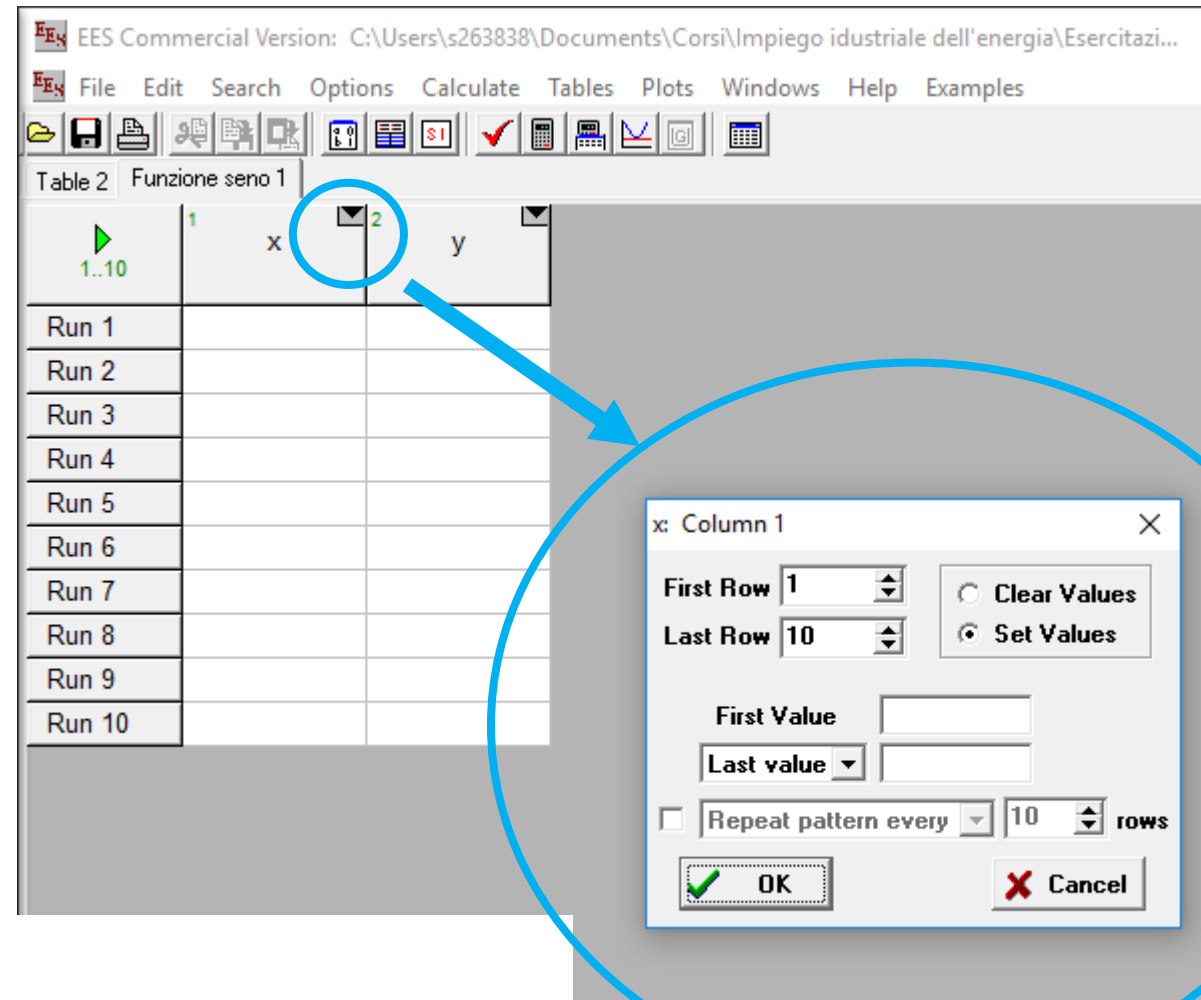




Esercizio 2: esempio di utilizzo di una parametric table

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





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

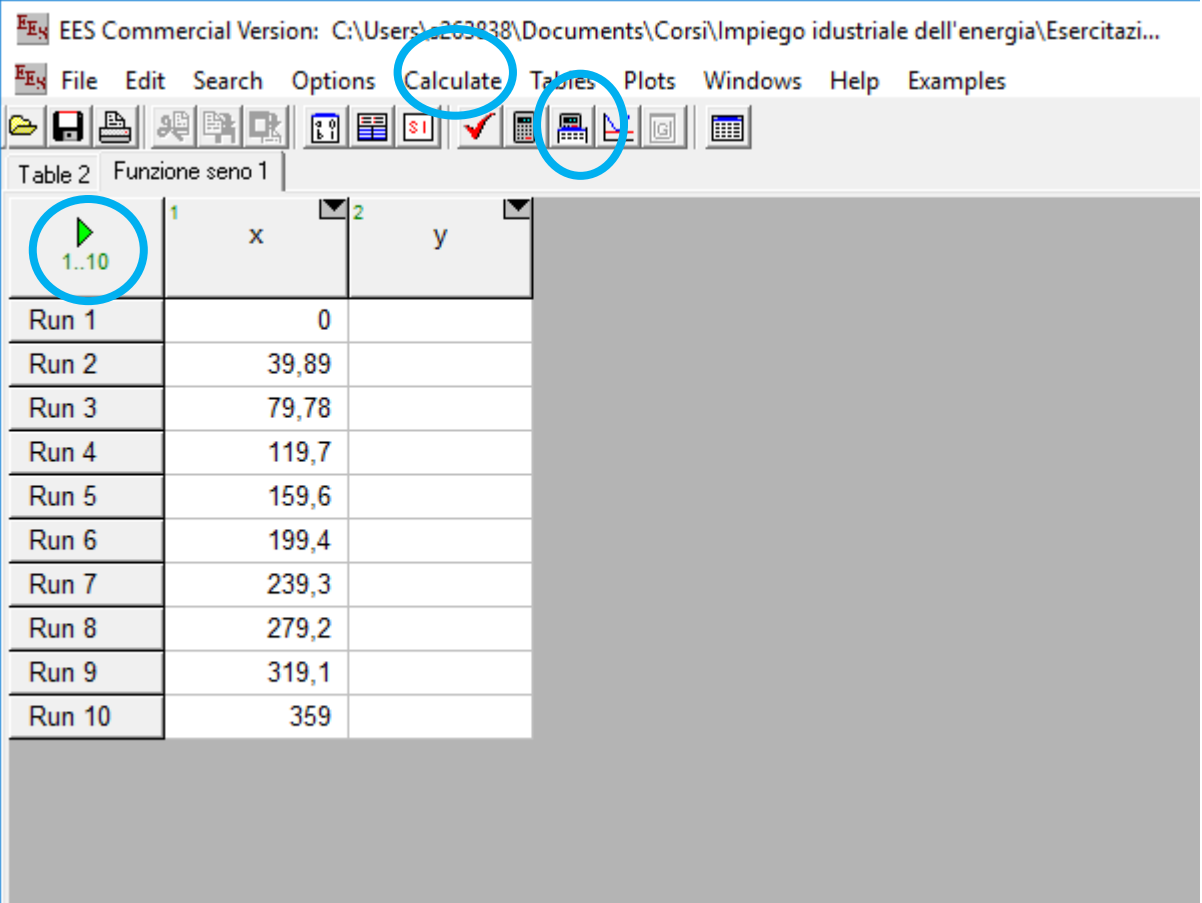
	1 x	2 y
Run 1	0	
Run 2	39,89	
Run 3	79,78	
Run 4	119,7	
Run 5	159,6	
Run 6	199,4	
Run 7	239,3	
Run 8	279,2	
Run 9	319,1	
Run 10	359	



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



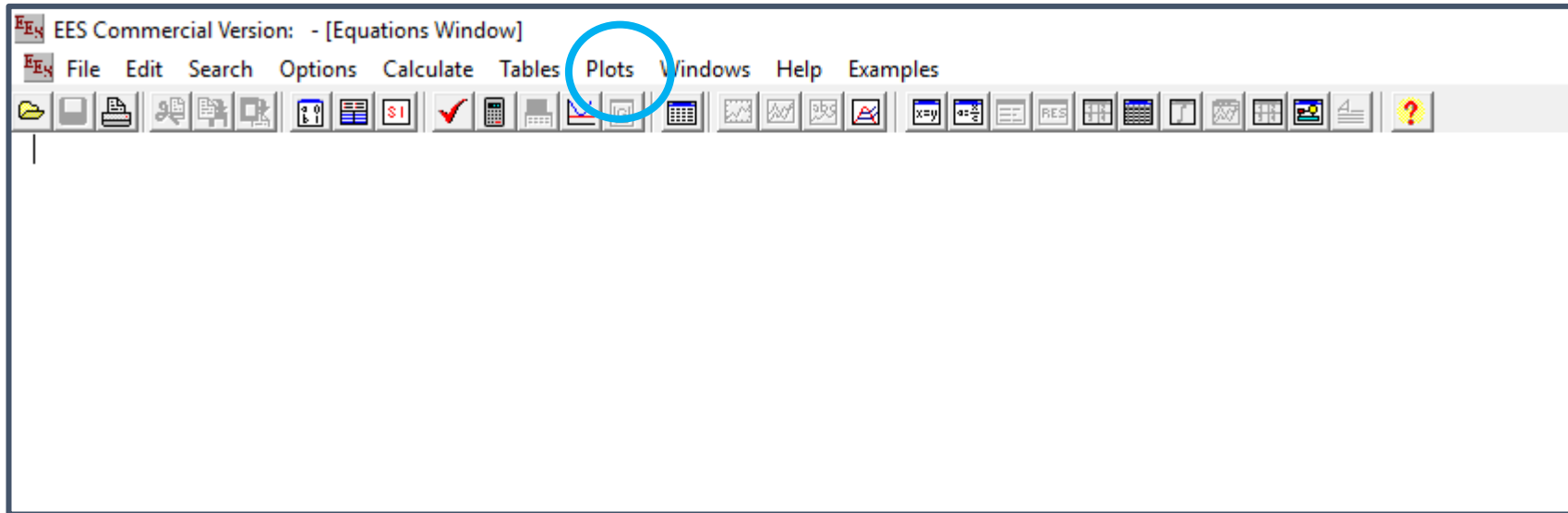
	1	2
	x	y
Run 1	0	
Run 2	39,89	
Run 3	79,78	
Run 4	119,7	
Run 5	159,6	
Run 6	199,4	
Run 7	239,3	
Run 8	279,2	
Run 9	319,1	
Run 10	359	

SALVARE E MANTENERE IL FILE APERTO



Software Engineering Equation Solver (EES)

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



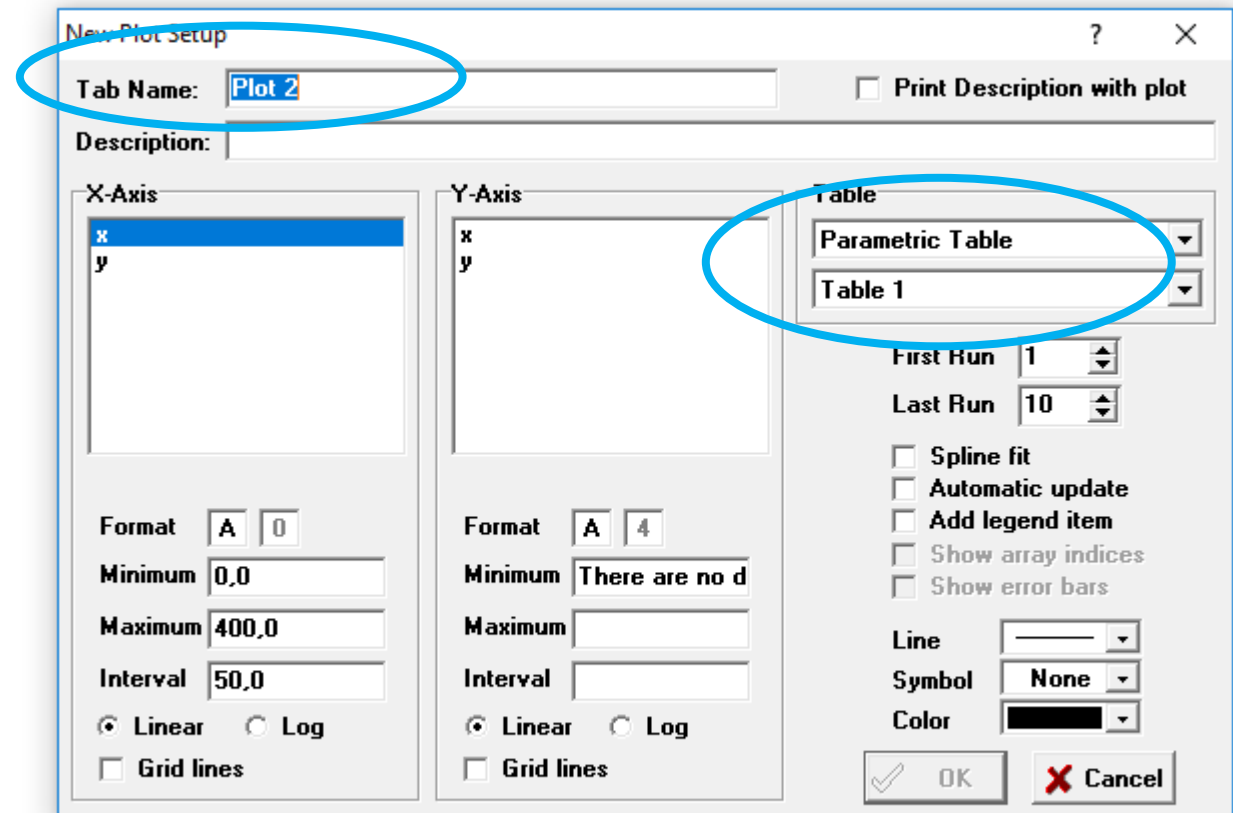
Plots → new plot window → tipo di grafico che si vuole tracciare



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.

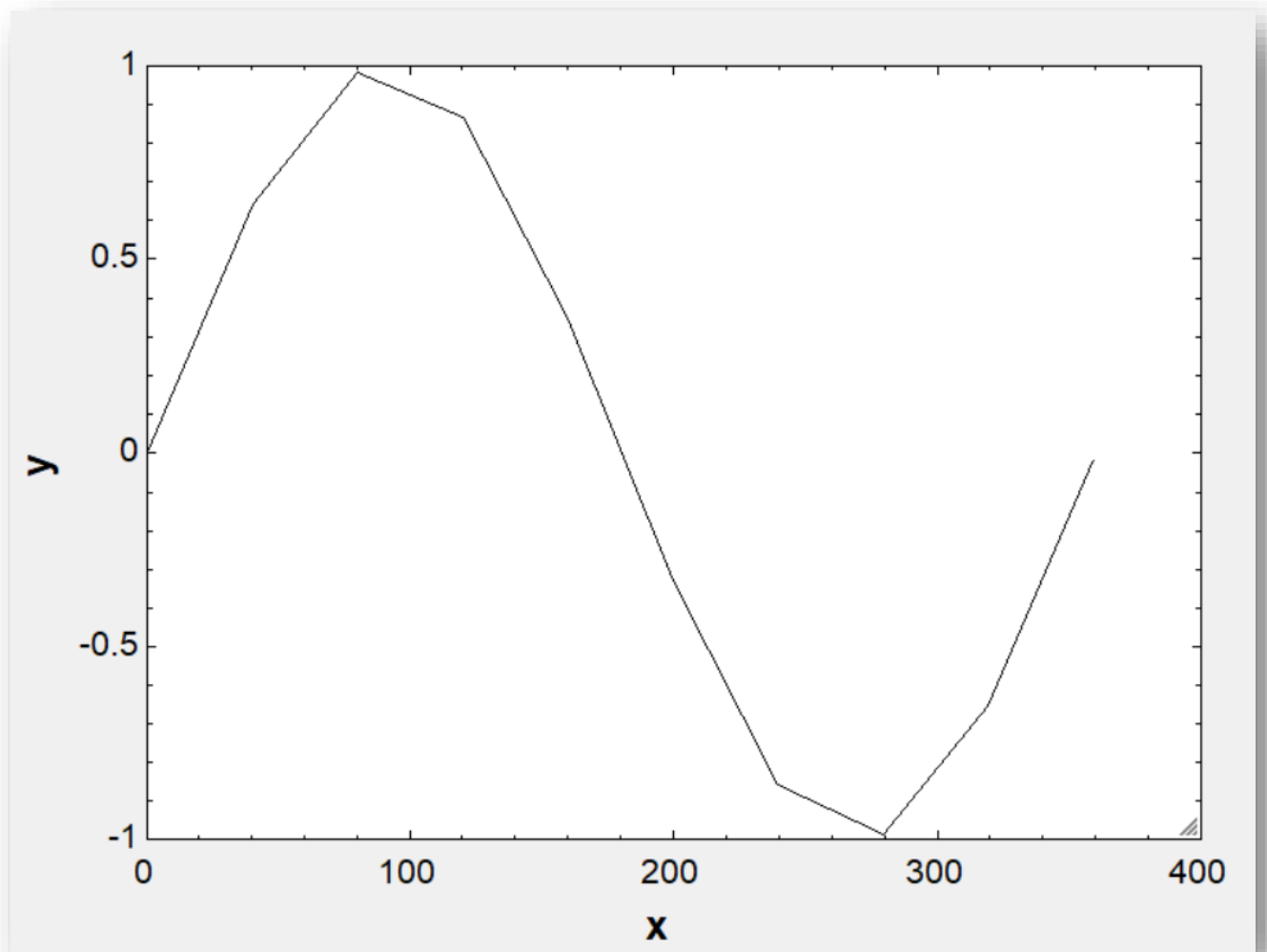
- Tracciare un grafico x-y a partire dalla parametric table "Funzione seno 1" con 10 elementi; nominare il grafico "grafico xy 1"
- Tracciare un grafico x-y dalla parametric table "Funzione seno 2" con 150 elementi; nominare il grafico "grafico xy 2"



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

☐ Ideal Gas ☐ Psych Chart ☐ Incompressible
☒ Real Fluid ☐ Brine ☐ TPSX

Acetone
Acetylene
Air_ha
Ammonia
Argon
Benzene
Butene
C6_Fluoroketone
CarbonDioxide
CarbonMonoxide
CarbonylSulfide
cis-2-butene
Cyclohexane
Cyclopentane
nA

Type
☒ T - s
☐ T - v
☐ P - v
☐ P - h
☐ h - s
☐ T - h
☐ T - p
☐ P - T

OK
Cancel
Reference
DFT

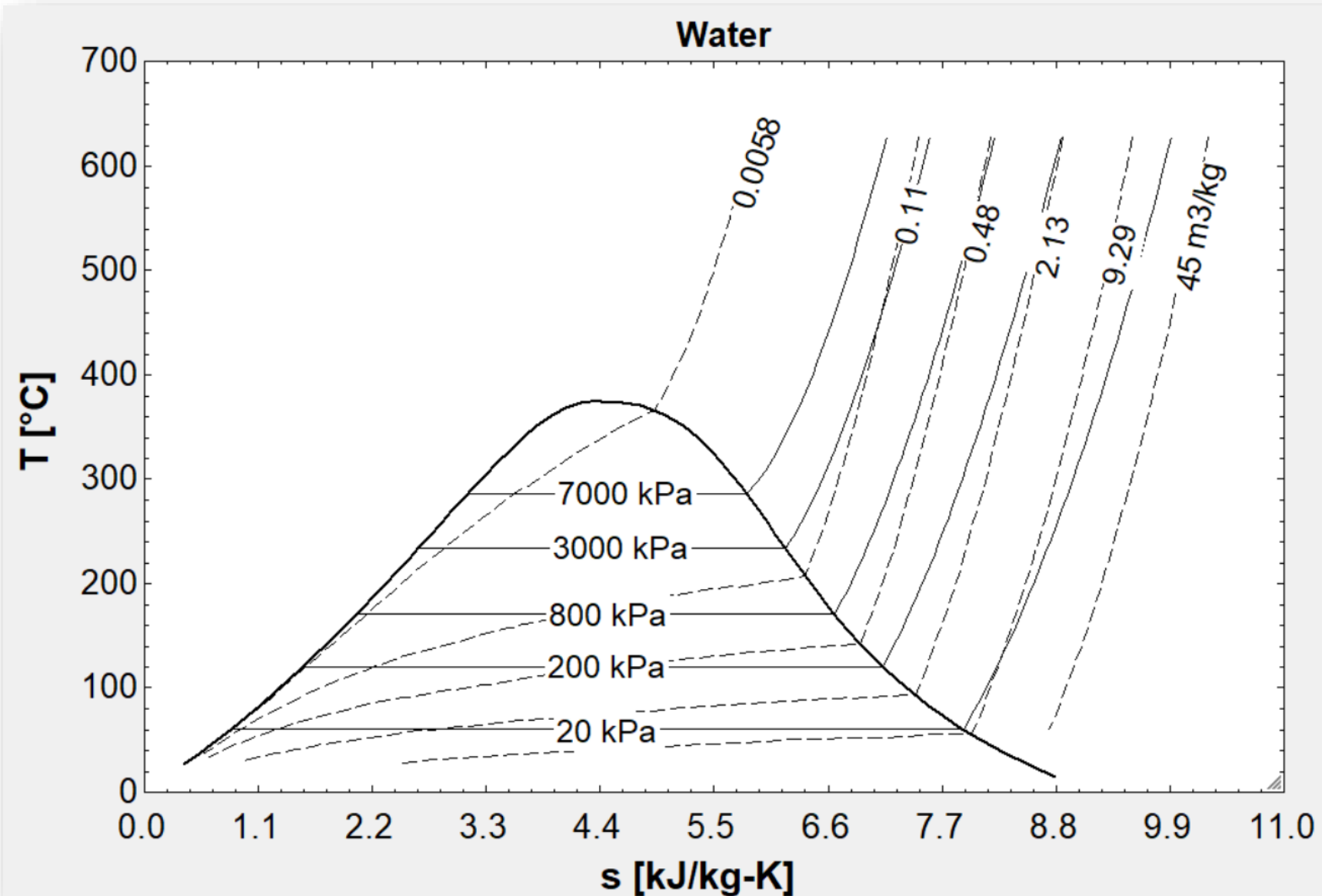
Plot Temp. Range [°C]
Min. 7.526
Max. 236.9

[X] Include lines of
☒ P = 3000 [kPa]
☒ P = 2000 [kPa]
☒ P = 900 [kPa]
☒ P = 400 [kPa]
☒ P = 100 [kPa]
☒ P = 30 [kPa]
Line color Black

[X] Include lines of ☒ v ☐ h
☒ v = 0.0045 [m^3/kg]
☒ v = 0.038 [m^3/kg]
☒ v = 0.11 [m^3/kg]
☒ v = 0.33 [m^3/kg]
☒ v = 0.97 [m^3/kg]
☒ v = 2.86 [m^3/kg]
Line color Black

☒ Show lines of constant quality

Esercizio 4: diagrammi di stato (*Property Plot*)





Esercizio 5: diagrammi di stato (*Overlay Plot*)

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

The screenshot shows the 'Setup Overlay on T-s: Water' dialog box. The 'Tab Name' is 'T-s: Water'. The 'Description' field is empty. The 'X-Axis' section has a list with 'h[i]' and 'P[i]', 'X1 (lower X-scale)' selected, 'Format' set to 'A' and '1', 'Minimum' at 0.0, 'Maximum' at 11.0, 'Interval' at 1.1, and 'Linear' selected. The 'Y-Axis' section has a list with 'h[i]' and 'P[i]', 'Y2 (right Y-scale)' selected, 'Format' set to 'F' and '0', 'Minimum' at 0, 'Maximum' at 700, 'Interval' at 100, and 'Linear' selected. The 'Table' section has 'Arrays Table' and 'Main' selected, 'First Run' at 1, 'Last Run' at 2, and checkboxes for 'Spline fit', 'Automatic update', 'Add legend item', 'Add point labels', and 'Show error bars'. The 'Line' section has a dashed line style, a diamond symbol, and a blue color. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Setup Overlay on T-s: Water

Tab Name: T-s: Water ☐ Print Description with plot

Description:

X-Axis

h[i]
P[i]

X1 (lower X-scale)

Format A 1

Minimum 0.0

Maximum 11.0

Interval 1.1

☒ Linear ☐ Log

Y-Axis

h[i]
P[i]

Y2 (right Y-scale)

Format F 0

Minimum 0

Maximum 700

Interval 100

☒ Linear ☐ Log

Table

Arrays Table

Main

First Run 1

Last Run 2

☐ Spline fit

☐ Automatic update

☐ Add legend item

☐ Add point labels

None

☐ Show error bars

Line ---

Symbol ◇

Color Blue

OK Cancel



Esercizio 5: diagrammi di stato (*Overlay Plot*)

Determinare l'entalpia dell'ammoniaca nei punti 1 e 2 così definiti:
(**usare Arrays Table.*)

- **punto 1:** $p=5$ bar; $T=-10^{\circ}\text{C}$;
- **punto 2:** $p=40$ bar; $T=320\text{K}$;

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

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

Esercizio 5: diagrammi di stato (*Overlay Plot*)

