



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



**dipartimento
di ingegneria
e architettura**

Corso di Macchine

INTRODUZIONE AL SOFTWARE

ENGINEERING EQUATION SOLVER (EES)

Rodolfo Taccani

Ronelly De Souza

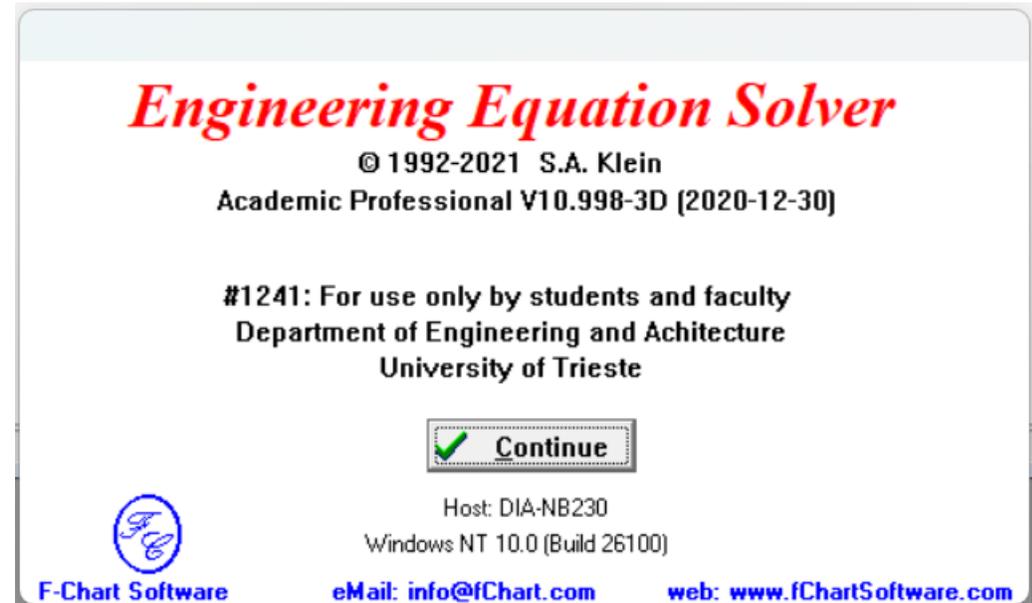
A.A. 2024-2025



Software Engineering Equation Solver (EES)

Introduzione

- EES (anche pronunciato “Ease”) è un risolutore di equazioni di uso generale, uno strumento di modellazione e di analisi nato specificamente per l'insegnamento dell'ingegneria (ma usato anche nell'industria).
- Non richiede una vera e propria programmazione (anche se è possibile farlo).
- Implicito (risolutore iterativo) - equazioni in qualsiasi ordine.
- È orientato ai problemi di ingegneria.





Software Engineering Equation Solver (EES)

Introduzione

- Se può definire le unità di misura e routine di conversione delle unità di misura.
- 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.



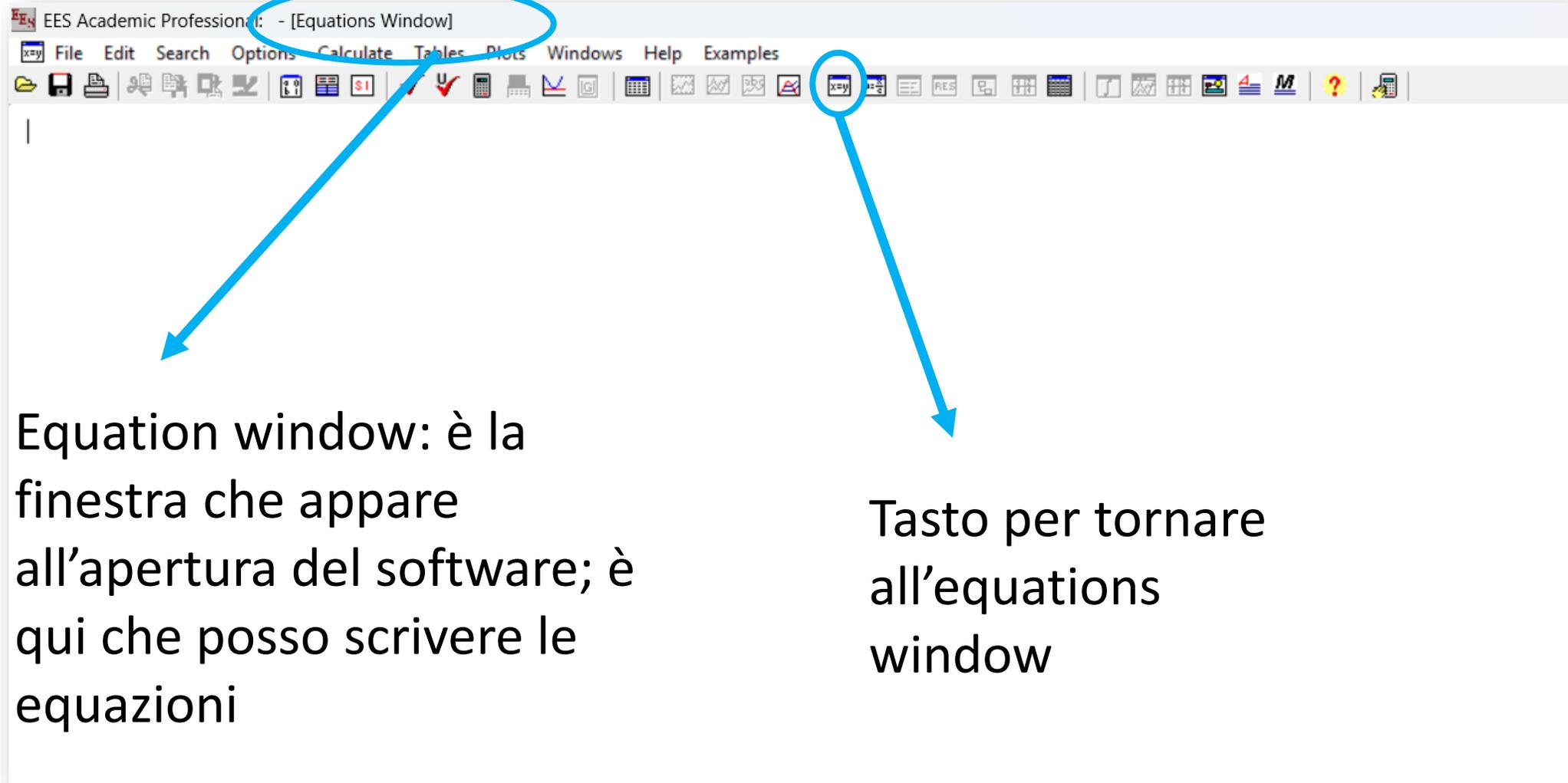
Software Engineering Equation Solver (EES)

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

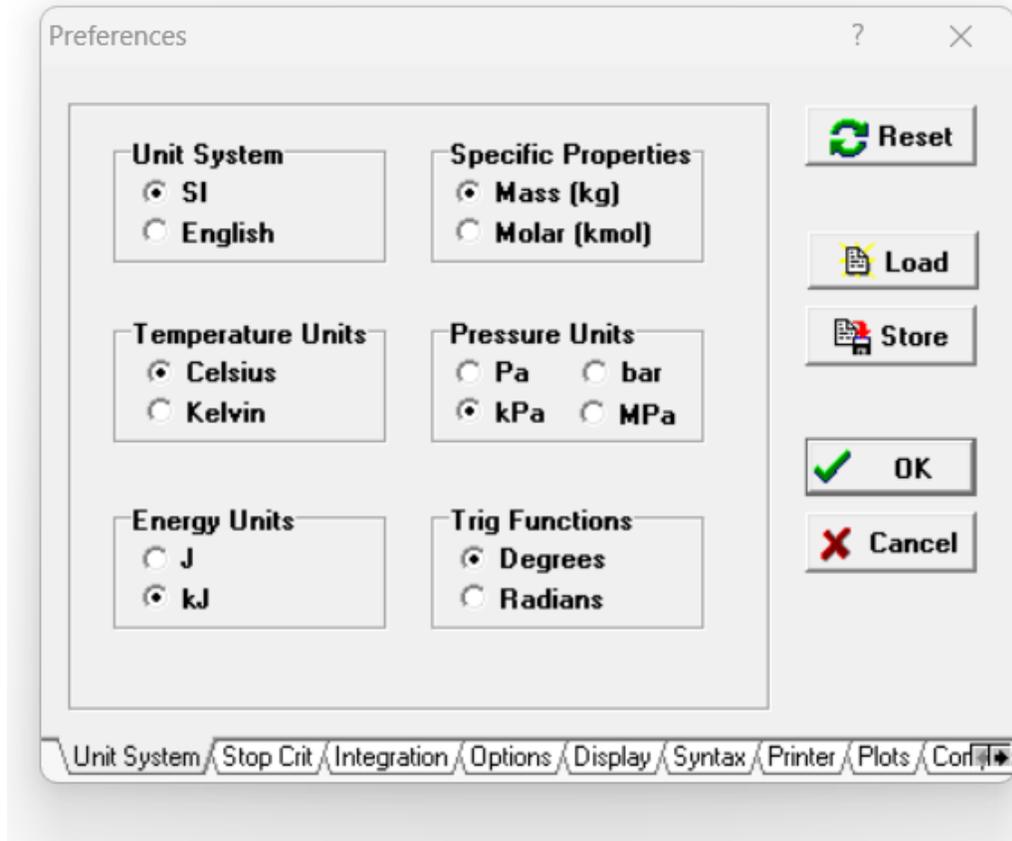
$x_1 + x_2 = 3$

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



Software Engineering Equation Solver (EES)

Prima di iniziare: impostare sistema delle unità di misura

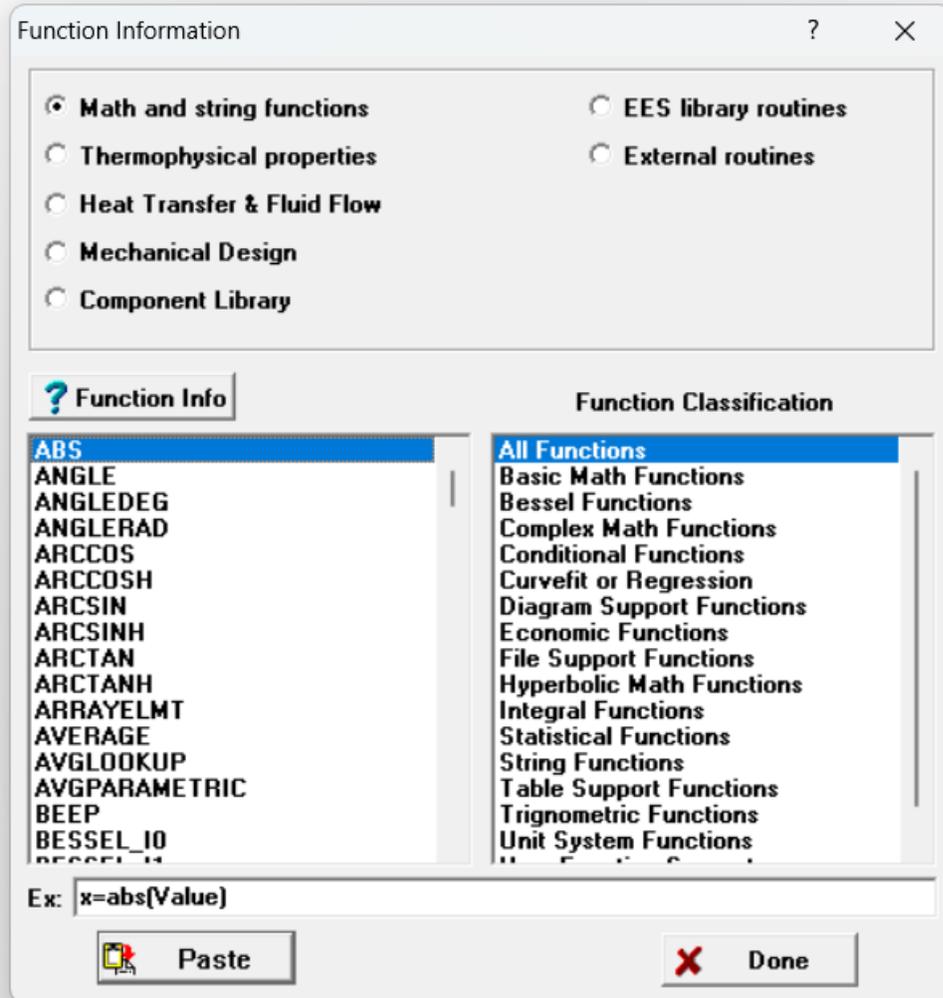


Options → unit system



Software Engineering Equation Solver (EES)

Per avere informazioni sulla sintassi delle funzioni:

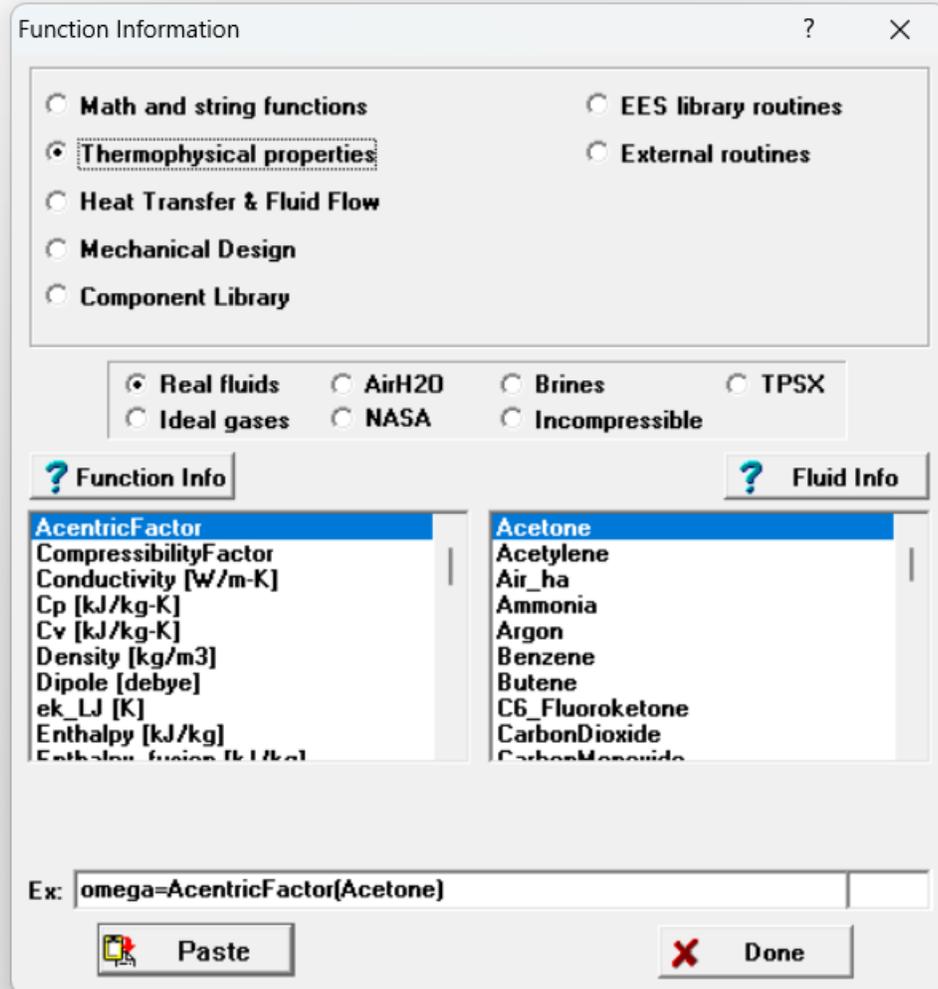


Options → Function info



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

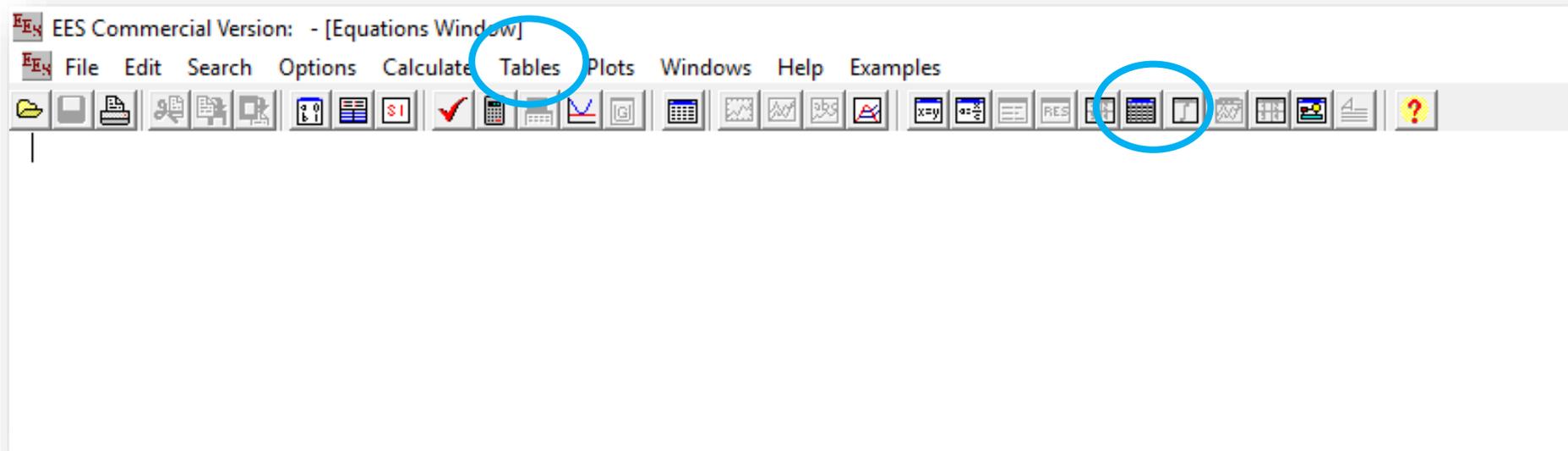
Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
cp_w	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_ll	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
eta_ise	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_isp	1	-infinity	infinity	A 3 N	
eta_th	1	-infinity	infinity	A 3 <u>U</u>	
Ex[1]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[2]	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Ex[3]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



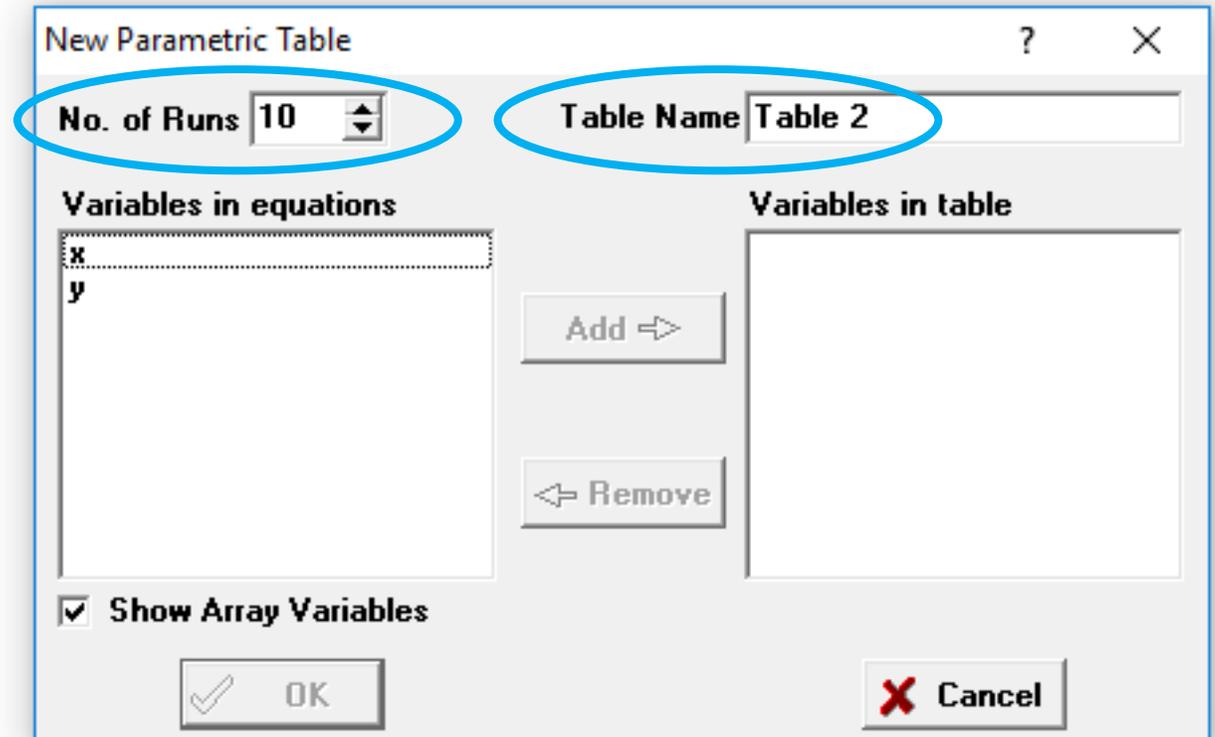
Tables → new parametric table



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

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 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 $0^\circ \leq x \leq 359$
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

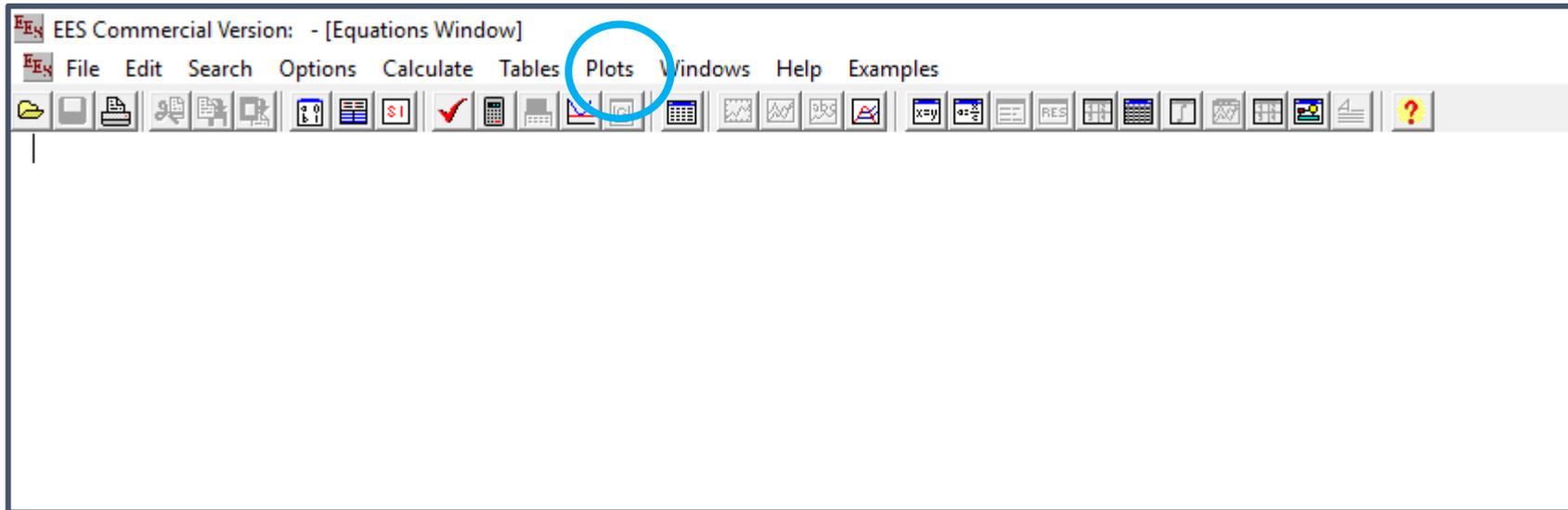
1..10	x	y
Run 1	0	
Run 2	39,89	
Run 3	79,78	
Run 4	119,7	
Run 5	159,6	
Run 6	199,4	
Run 7	239,3	
Run 8	279,2	
Run 9	319,1	
Run 10	359	

SALVARE E MANTENERE IL FILE APERTO



Software Engineering Equation Solver (EES)

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



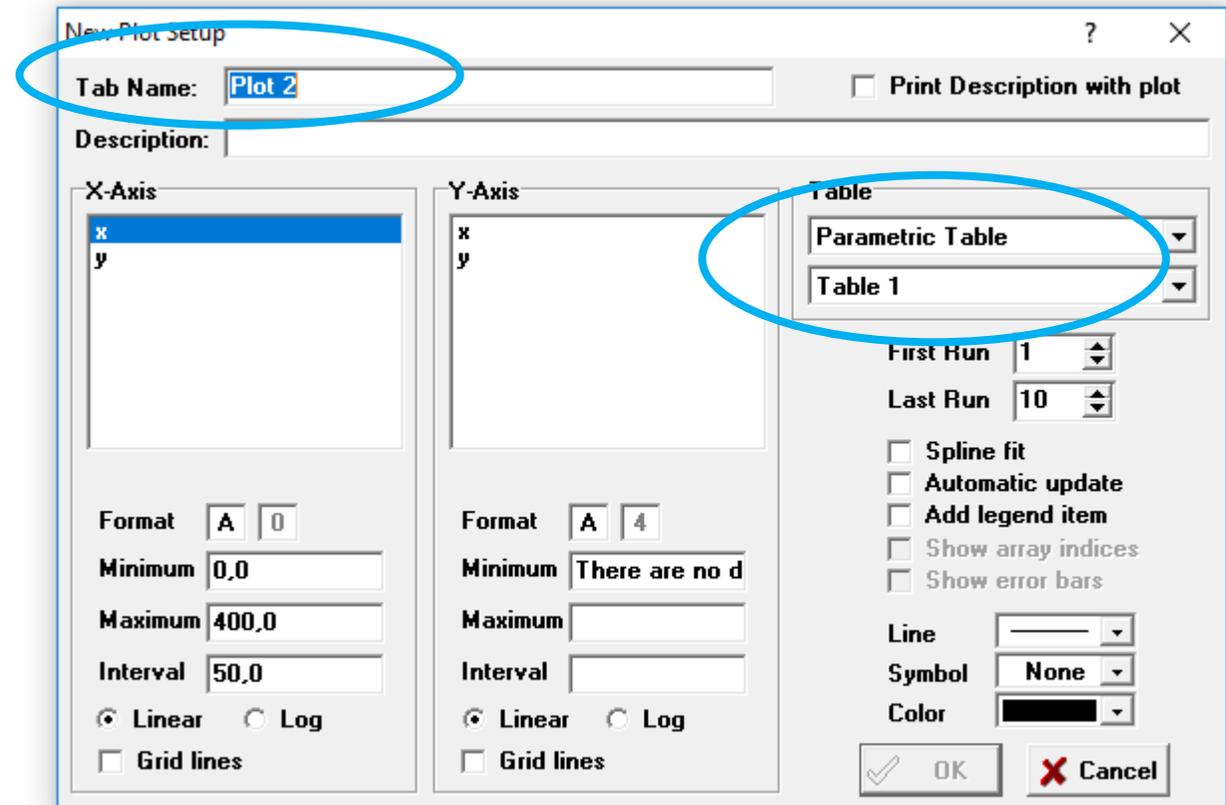
Plots → new plot window → tipo di grafico che si vuole tracciare



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"

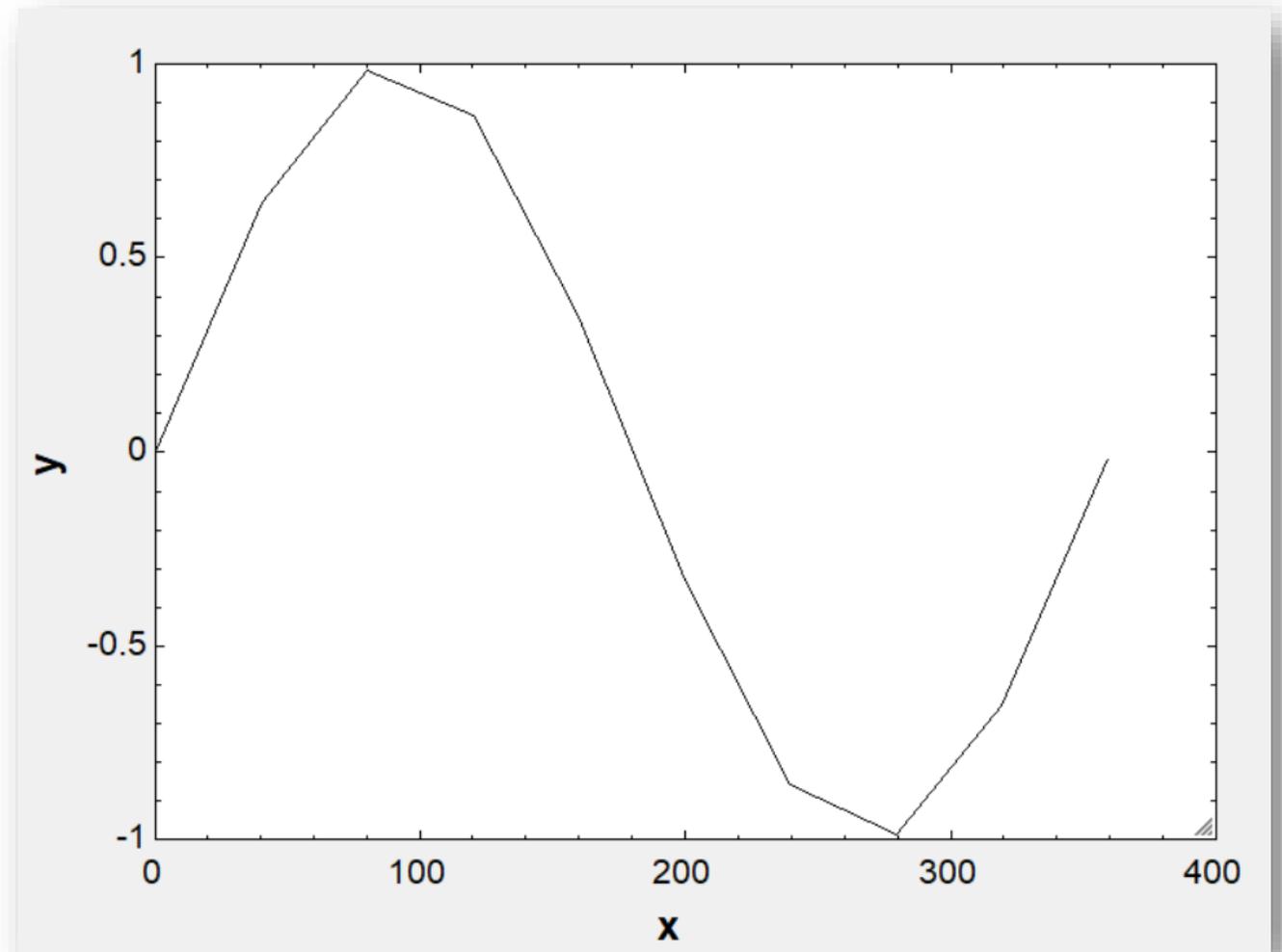




Esercizio 3: esempio di un grafico x-y a partire da parametric table

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.

The screenshot shows the 'Property Plot Information' dialog box. It is configured for a 'Real Fluid' (Acetone) and a 'T - s' plot. The plot temperature range is set from 7.526 to 236.9 °C. The plot includes lines of constant pressure (P) and constant volume (v). The pressure lines are at 3000, 2000, 900, 400, 100, and 30 kPa. The volume lines are at 0.0045, 0.038, 0.11, 0.33, 0.97, and 2.86 m³/kg. The line color is set to Black, and the reference is set to DFT.

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
N4

Type
 T - s
 T - v
 P - v
 P - h
 h - s
 T - h
 T - ρ
 P - T

OK
Cancel
Reference
DFT

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

Information

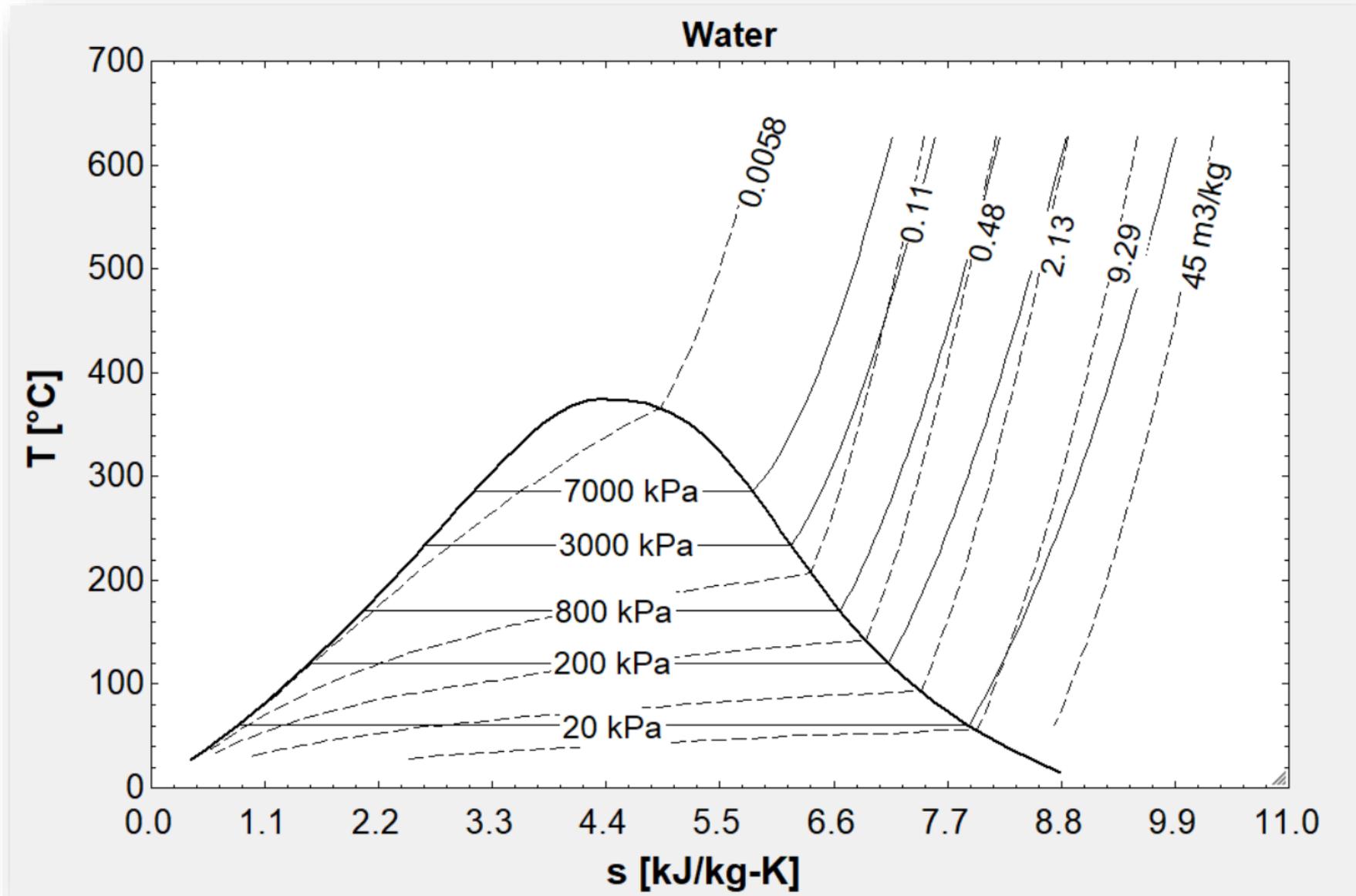
[X] Include lines of
P = 3000 [kPa]
P = 2000 [kPa]
P = 900 [kPa]
P = 400 [kPa]
P = 100 [kPa]
P = 30 [kPa]
Line color Black

[X] Include lines of v h
v = 0.0045 [m³/kg]
v = 0.038 [m³/kg]
v = 0.11 [m³/kg]
v = 0.33 [m³/kg]
v = 0.97 [m³/kg]
v = 2.86 [m³/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***.

Setup Overlay on T-s: Water

Tab Name: Print Description with plot

Description:

X-Axis

X1 (lower X-scale)

Format

Minimum

Maximum

Interval

Linear Log

Y-Axis

Y2 (right Y-scale)

Format

Minimum

Maximum

Interval

Linear Log

Table

Arrays Table

Main

First Run

Last Run

Spline fit

Automatic update

Add legend item

Add point labels

Show error bars

Line

Symbol

Color



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*)

