

# CYCTHERM



*Un programma software per l'analisi di processi  
termodinamici complessi*

---

Presentazione

---

CYCTHERM è un prodotto di Idillium Technologies, un gruppo di esperti in Termodinamica e Informatica.

Per maggiori informazioni accedete al sito <http://spazioinwind.libero.it/taw/indexita.htm> o scrivete all'indirizzo [idillium@inwind.it](mailto:idillium@inwind.it)

THERPROP – un software per il calcolo delle proprietà termodinamiche – è un altro prodotto degli stessi autori.

Pisa, Dicembre 2002

---



# Introduzione a CYCTHERM

---

## Cosa è CYCTHERM ?

CYCTHERM è un software per la simulazione dei processi termodinamici idoneo anche per quelli strutturati in cicli complessi. CYCTHERM esegue anche l'analisi convenzionale del processo basata sul primo e il secondo principio della termodinamica.

L'analisi di secondo principio viene svolta adottando il concetto di exergia e compiendo l'analisi exergetica con i metodi ingegneristici più avanzati.

## Perché l'analisi exergetica ?

L'analisi exergetica è l'analisi del lavoro perduto, cioè l'analisi del lavoro potenziale che è perduto nel processo. La qualità di un processo, secondo l'analisi exergetica è misurata dall'efficienza razionale. Adottando l'efficienza razionale come criterio per qualificare un processo possiamo perseguire l'obiettivo di impiegare nel migliore dei modi le risorse che il processo utilizza.

## Come opera ?

CYCTHERM riconosce un insieme di processi termodinamici elementari ognuno dei quali è realizzato nella pratica da un componente meccanico specifico. L'architettura del programma consente di collegare insieme i componenti termomeccanici che realizzano il processo con la più ampia flessibilità. Una interfaccia grafica Windows molto versatile consente la costruzione rapida di diagrammi di flusso complessi.

Dopo aver disegnato il diagramma di flusso e specificato i parametri di processo, CYCTHERM risolve le equazioni che governano i bilanci di massa e di energia; quindi esegue il bilancio exergetico.



## Quali processi ?

CYCTHERM riconosce una ampia famiglia di materiali che vanno dai gas ideali all'aria umida passando attraverso le miscele gas-acqua e alcuni fluidi reali a due fasi quali l'acqua, i refrigeranti, il biossido di carbonio ecc. Ovviamente CYCTHERM riconosce i combustibili più comuni e infine la miscela binaria acqua-ammoniaca. La numerosa famiglia dei materiali e la struttura modulare del programma consentono di simulare processi di varia tipologia tra i quali rientrano quelli termoelettrici convenzionali e non come il ciclo HAT e il ciclo KALINA.

## A cosa serve ?

CYCTHERM trova impiego nella fase di progettazione concettuale di un processo e nella sua ottimizzazione ma può anche essere utilizzato in fase di verifica. Per le sue peculiari caratteristiche può trovare proficuo impiego come strumento didattico.

CYCTHERM non è un simulatore di impianto e non si presta all'analisi delle prestazioni fuori progetto.

## Quali problemi ?

CYCTHERM risolve i problemi diretti e quelli indiretti (impliciti o del tipo Se... Allora) e tratta anche i problemi di scenario o di analisi di sensibilità.

## L' architettura di CYCTHERM

CYCTHERM ha una architettura aperta che consente una agevole estensione del programma a trattare nuovi componenti e nuovi materiali.



# 2

## Lavorare con CYCTHERM

---

In questo capitolo sono trattati i seguenti argomenti:

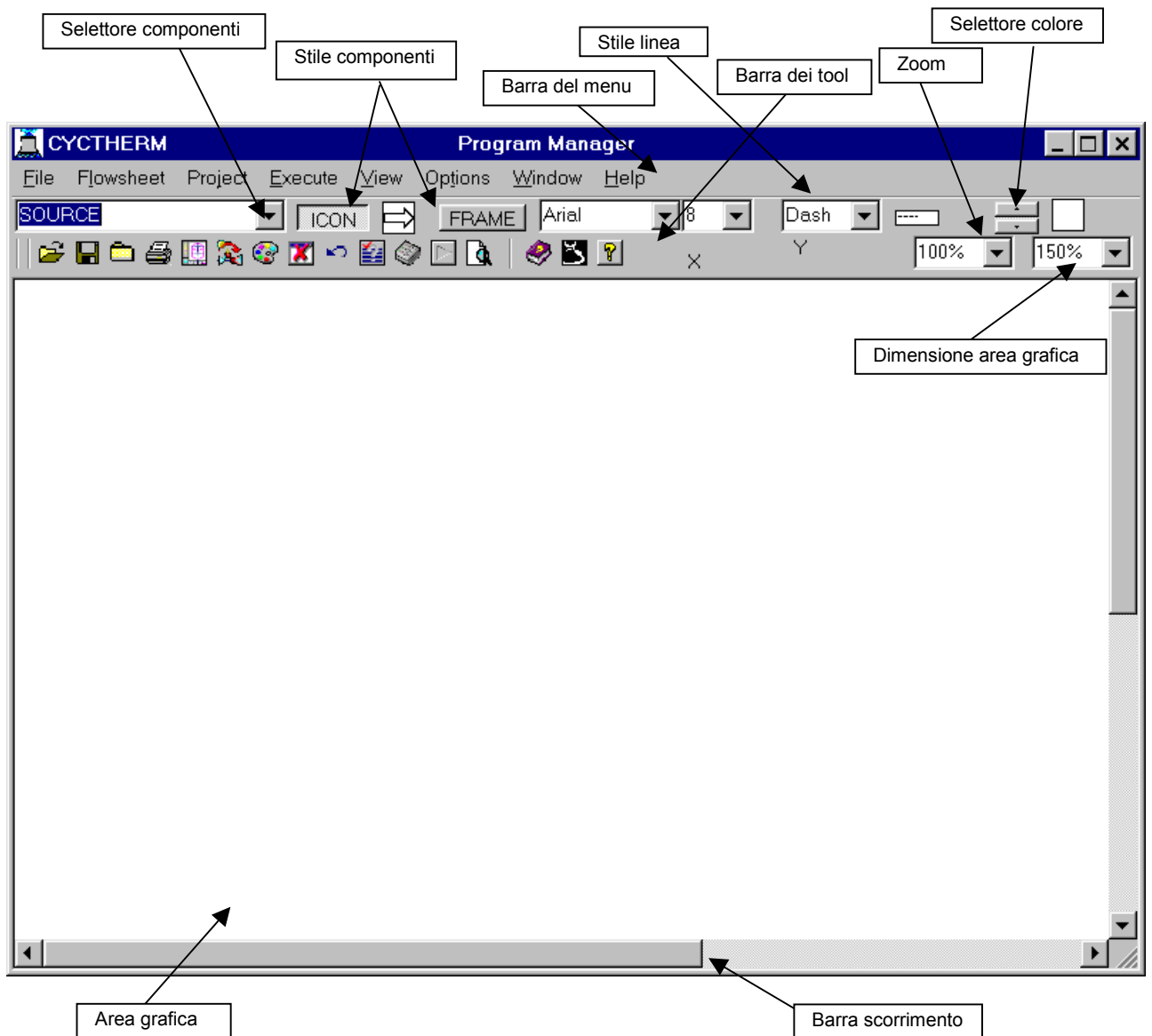
- Informazioni di base
- Costruire il diagramma di flusso
- Definire le condizioni operative
- Esaminare i risultati



## Informazioni di base

Quando CYCTHERM viene avviato sullo schermo del PC appare la finestra mostrata in Figura 2.1.

L'area grafica è l'area dove potete disegnare il diagramma di flusso del processo usando i comandi e le funzioni della barra del menu e della barra dei tool. Potete modificare le dimensioni dell'area grafica per meglio adattarla alle vostre esigenze.



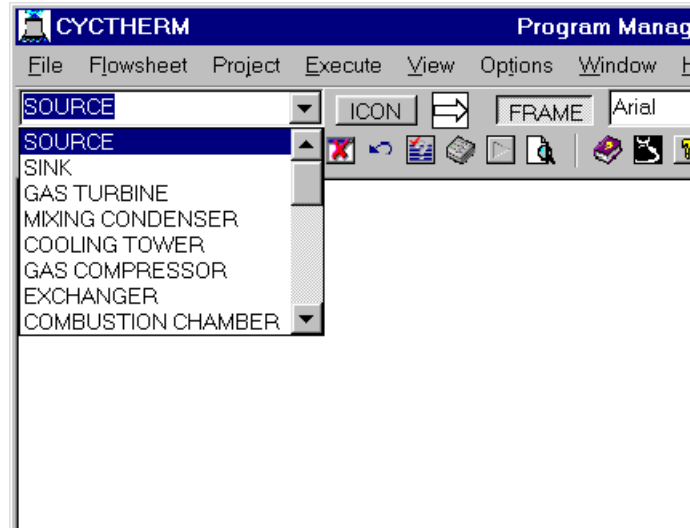
**Figura 2.1.** La finestra principale di CYCTHERM. Puntando con il mouse un oggetto nella barra dei tool viene mostrata la descrizione dell'oggetto.

Per simulare un processo dovete costruirne il modello nell'ambiente di CYCTHERM. La costruzione del modello comporta il disegno del diagramma di flusso e la definizione delle condizioni operative.



# Costruire il diagramma di flusso

CYCTHERM riconosce alcuni processi termodinamici elementari quali combustione, compressione ecc., che sono chiamati componenti. La lista dei componenti disponibili è mostrata cliccando la freccia della casella indicata con *Selettore componenti* in Figura 2.1.



**Figura 2.2. La lista dei componenti con apertura a discesa.**

Potete verificare le prestazioni di un singolo componente o di un processo. Un processo è costituito da un insieme di componenti collegati tra loro secondo i criteri definiti dalle condizioni operative.

Per disegnare il diagramma di flusso riconoscete quali sono i componenti del programma che simulano quelli reali. Eventualmente adattate il processo alle capacità di simulazione del programma. Per costruire il modello grafico cliccate nella barra dei tool uno degli stili ICON o FRAME disponibili per la rappresentazione dei componenti. Aprite la lista dei componenti e selezionate quello desiderato; aprite il menu **Flowsheet** e cliccate **Add New Component** oppure cliccate l'icona



della barra dei tool.

Il simbolo grafico che rappresenta il componente appare nell'angolo superiore sinistro dell'area grafica.

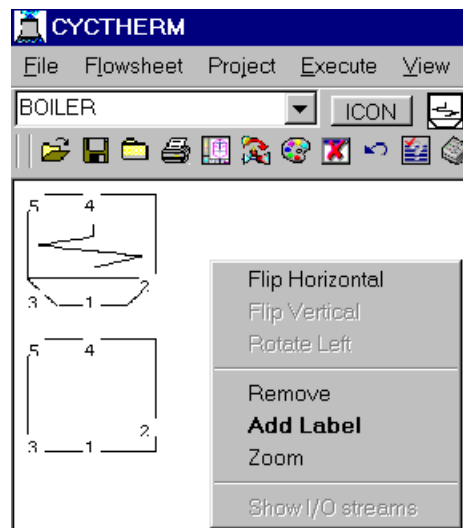
Qui di seguito è riportato l'elenco dei componenti disponibili. Per una descrizione più completa delle loro funzioni si veda il file **Guide to the use of program**.

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| 1- SOURCE           | Ingresso di materiale   |
| 2- SINK             | Uscita di materiale     |
| 3- GAS TURBINE      | Turbina a gas           |
| 4- MIXING CONDENSER | Condensatore a miscela  |
| 5- COOLING TOWER    | Torre di raffreddamento |
| 6- GAS COMPRESSOR   | Compressore di gas      |



COMPONENTI

7- EXCHANGER	Scambiatore di calore a superficie
8- COMBUSTION CHAMBER	Camera di combustione
9- SPLITTER	Divisore di fluido
10- GENERIC EXCHANGER	Scambiatore di calore
11- HRSG calore	Caldaia a vapore a recupero di calore
12- CLOSED FEEDWATER	Preriscaldatore a superficie
13- OPEN FEEDWATER (deareatore)	Preriscaldatore a miscela
14- PUMP	Pompa per liquidi
15- MIXER	Miscelatore di fluidi
16- SURFACE CONDENSER superficie	Condensatore di vapore a superficie
17- STEAM TURBINE	Turbina a vapore
18- THROATTLING VALVE	Valvola di strozzamento
19- BOILER risurriscaldatore	Caldaia a vapore con/senza risurriscaldatore
20- GEOTHERMAL TURBINE	Turbina per vapore geotermico
21- FLASHER	Camera di espansione (Flash tank)
22- GAS SATURATOR	Saturatore di gas
23- FICTITIOUS SOURCE	Sorgente fittizia di fluido
24- FLOW CONTROL	Controllo di portata
25- NULL	Componente neutro



**Figura 2.3. La rappresentazione del componente BOILER secondo le opzioni ICON e FRAME e il menu popup dei comandi per manipolare i componenti.**

- Trascinate il componente in una opportuna posizione dell'area grafica. Allo scopo cliccate il simbolo del componente con il tasto sinistro del mouse e muovete il mouse tenendo premuto il tasto.
- Cliccate a destra il simbolo per aprire il menu popup dei comandi per manipolare i componenti.

Sulla linea di contorno del simbolo sono mostrati i numeri che distinguono le porte attraverso le quali i materiali entrano e escono dal componente.

Puntando le porte con il mouse viene mostrata la descrizione della funzione della porta. Potete mandare in primo o in secondo piano i numeri della porta cliccando semplicemente il componente.



Per connettere funzionalmente un componente con un altro, riconoscete quali sono le porte dei componenti da connettere. Considerate prima il componente a monte, puntate con il mouse la porta da connettere e cliccate. La rappresentazione della porta cambia colore e diventa nera. Considerate quindi il componente a valle: puntate la porta da connettere al componente a monte e cliccate. La rappresentazione della porta cambia colore e una linea di tre segmenti, che connette le porte cliccate, compare sull'area grafica.

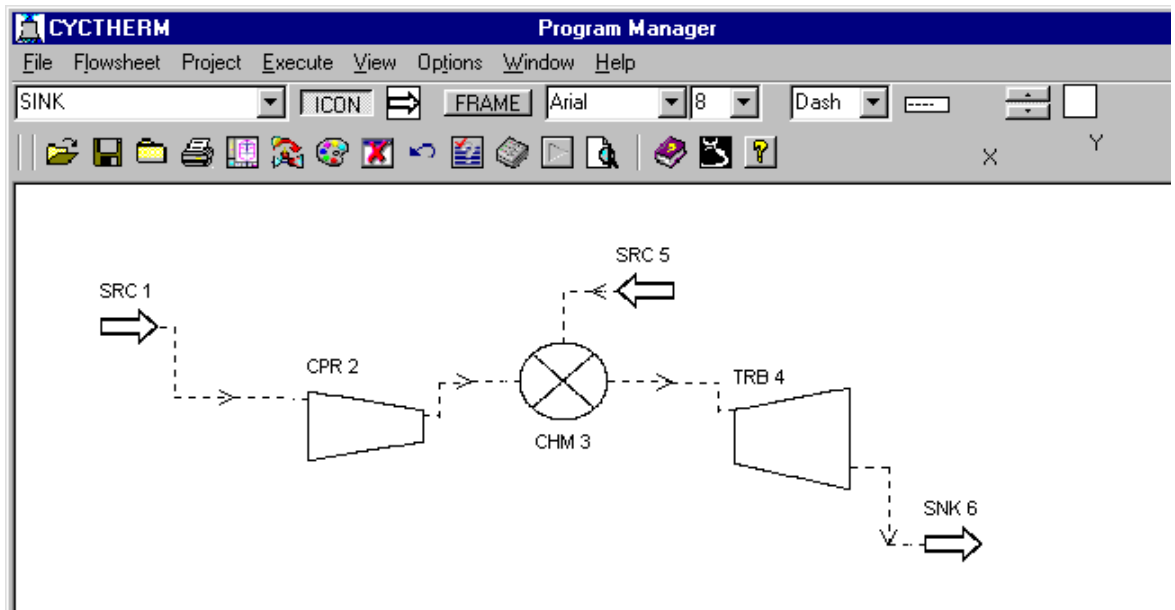
Potete personalizzare lo stile della linea che rappresenta una connessione. Nella barra dei tool potete selezionare la forma e il colore della linea e anche le funzioni **Delete** e **Undelete**.

I comandi che interessano lo stile delle connessioni sono anche presenti nel menù a discesa di **Flowsheet**.

Per cambiare la forma e il colore di una linea di connessione aprite, con gli appositi tool, le liste a discesa che consentono la selezione della forma e del colore, intercettate con il mouse un segmento della linea e cliccate. Per eliminare una connessione selezionate il comando **Delete** del menu **Flowsheet** oppure cliccate l'icona Delete nella barra dei tool e quindi intercettate con il mouse un segmento della linea e cliccate.

Modificare la geometria della linea è una cosa semplice: potete trascinare orizzontalmente i segmenti verticali e potete trascinare verticalmente i segmenti orizzontali. Per trascinare un segmento trascinatelo con il pulsante sinistro del mouse premuto.

La Figura 2.4 mostra come appare il diagramma di flusso di un semplice processo costruito nell'area grafica di CYCTHERM.



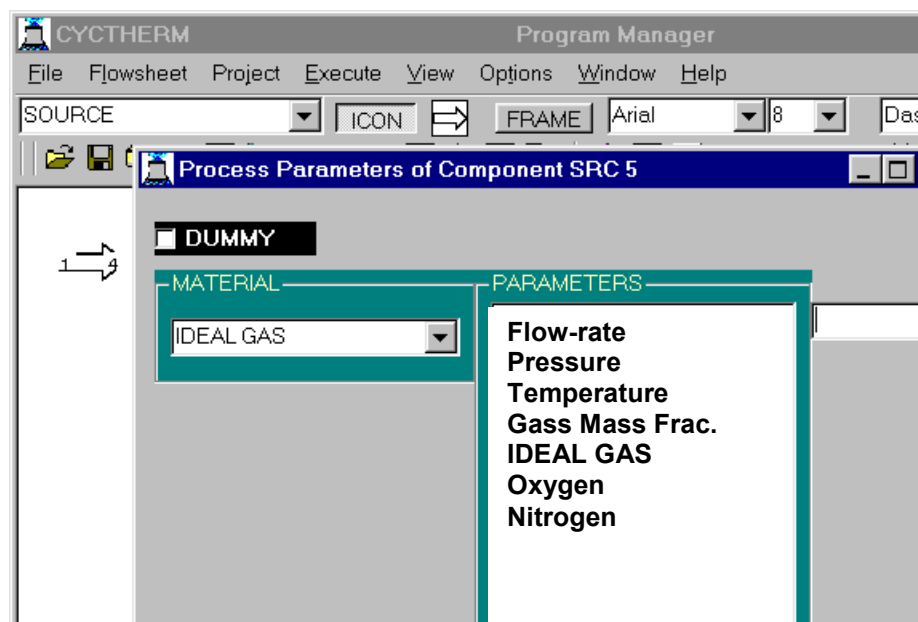
**Figura 2.4.** Il diagramma di flusso del ciclo Brayton a gas costruito nell'area grafica del programma.



## Definire le condizioni operative

Le condizioni operative del processo vengono definite stabilendo i parametri di processo. Questi parametri sono attributi dei componenti che ne determinano le prestazioni. Oltre ad essi dovete stabilire i parametri di controllo che specificano le modalità di calcolo.

Aprirete il menu a discesa della voce **Project** del menu principale, per accedere ai comandi che consentono di definire i parametri di processo e di controllo. Le Figure 2.5 e 2.6 mostrano le finestre che consentono di definire i parametri dei componenti SOURCE e TURBINE.



**Figura 2.5. La finestra impiegata per definire i parametri di SOURCE. Il materiale considerato è una miscela dei gas ideali Azoto e Ossigeno.**

Il componente SOURCE viene impiegato per specificare le proprietà di ogni materiale presente nel processo.

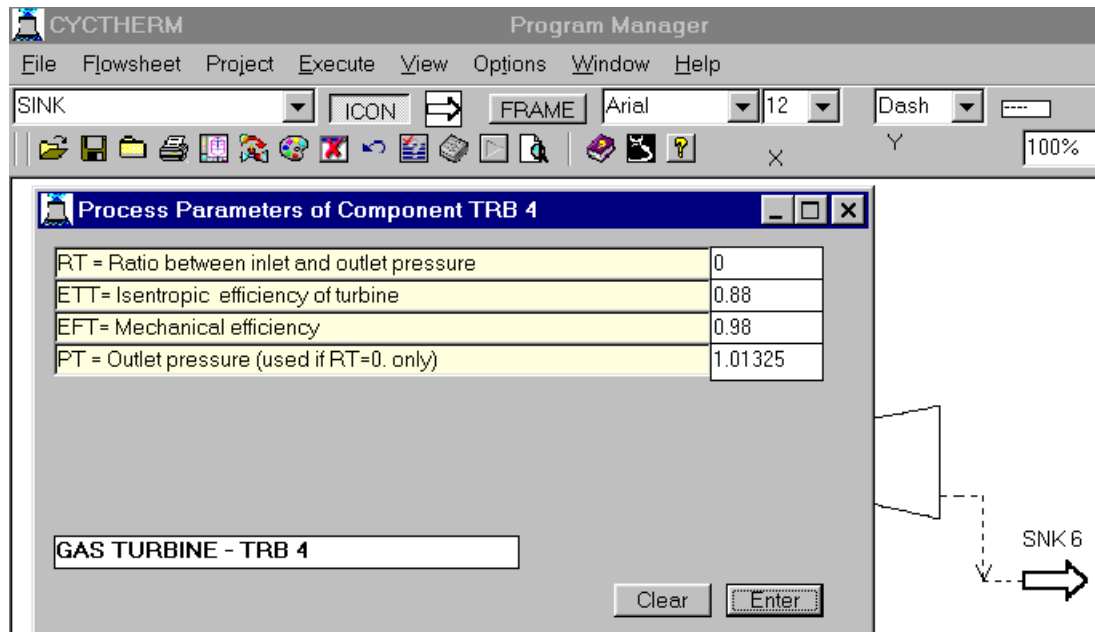
I materiali che CYCTHERM può trattare sono:

### MATERIALI

- Combustibili (Solidi, liquidi, gassosi). I liquidi e i gas più comuni
- Aria umida
- Gas Ideali
- Fluidi reali a due fasi: Acqua, Refrigeranti R134a, R22, Biossido di Carbonio, Ammoniaca, Metano
- La miscela binaria Acqua-Ammoniaca
- Miscele di acqua e gas ideali



La vasta famiglia di materiali consente la simulazione di processi di varia tipologia. Nella categoria dei processi per la produzione di energia potete non soltanto trattare i classici processi basati sui cicli a vapore e a gas, ma anche i processi non convenzionali quali il ciclo HAT, il ciclo Kalina e i processi dell'industria geotermica.



**Figura 2.6. La finestra usata per definire i parametri del componente TURBINE.**

I parametri di controllo sono utilizzati per:

- Definire le condizioni ambientali.
- Definire le opzioni di calcolo.

Le condizioni ambientali sono costituite dalla pressione, temperatura e composizione dell'aria ambiente. CYCTHERM adotta le condizioni standard secondo ASHRAE, che potete modificare a vostro piacimento.

Le opzioni di calcolo sono invocate quando dovete risolvere un problema di tipo implicito, cioè un problema del tipo "Se ... Allora.. ", oppure quando volete analizzare uno scenario.

Un esempio di problema implicito è: " Quale è il consumo di combustibile del ciclo Brayton a gas se la temperatura di ingresso turbina è mantenuta a 1100 °C ? ".

Invece analizzate uno scenario quando volete calcolare le prestazioni del ciclo Brayton al variare della pressione del compressore d'aria.

Le assegnazioni IMPLICIT=YES e CYCLE=YES nella finestra dei parametri di controllo, vengono effettuate per affrontare i problemi di tipo implicito nell'ambito di uno scenario.

La finestra che consente la definizione dei parametri di controllo è mostrata in Figura 2.7.

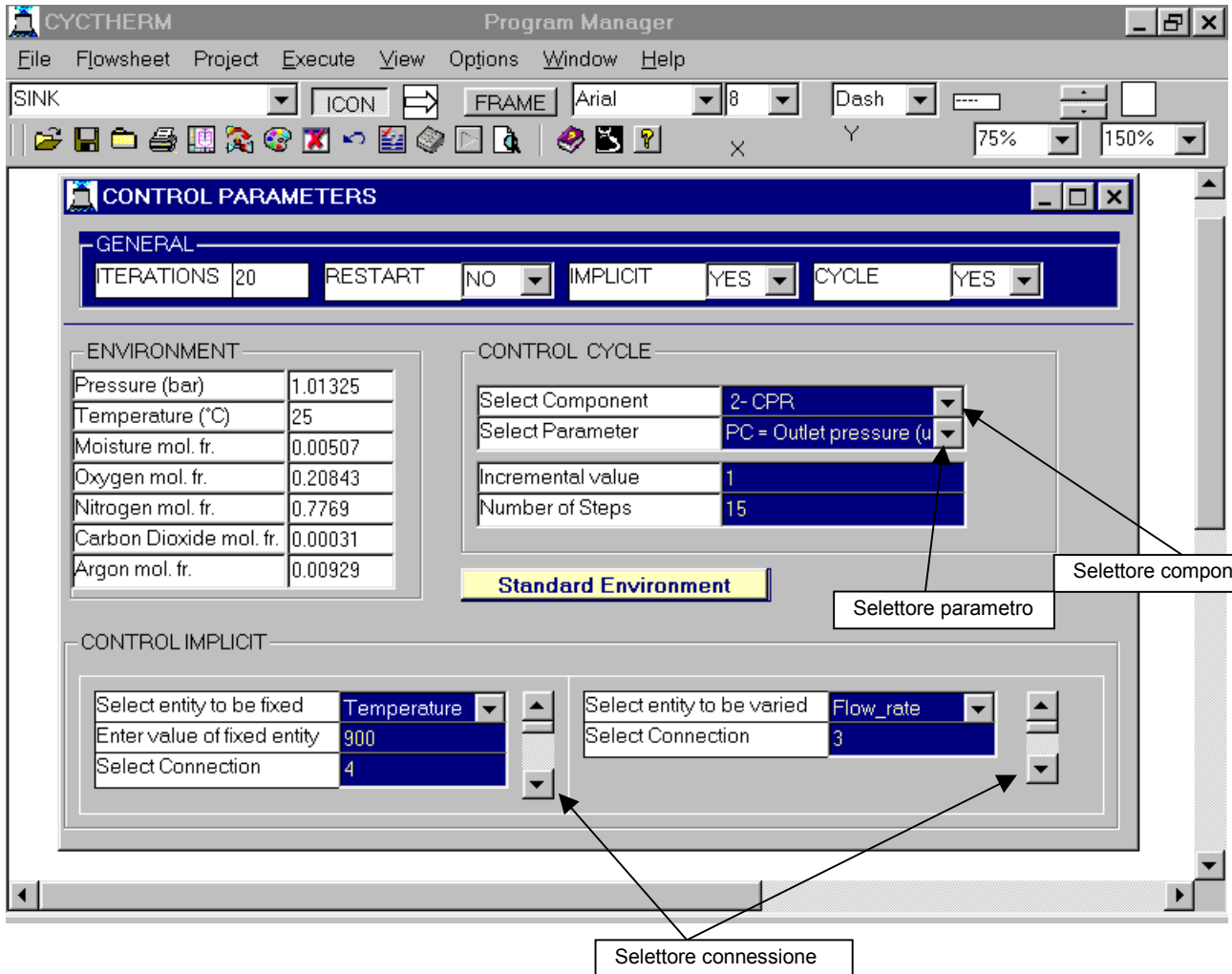


Figura 2.7. La finestra per la definizione dei parametri di controllo.



## Esaminare i risultati

L'esecuzione della simulazione è attivata cliccando il comando **Execute** del menu.

I risultati generati sono memorizzati in appositi file ASCII che possono essere aperti ed esaminati così come sono scritti, oppure potete esplorare il loro contenuto con le procedure di CYCTHERM.

La Figura 2.8 mostra come i risultati sono riportati nel file ASCII di output.

FLUID PROPERTIES AT THE GATES OF COMPONENTS

```
Component code      2
                   CPR 2
                   NINP1      NOUT1
                   1          2
FLOW-RATE           0.421000D+02 0.421000D+02
PRESSURE            0.101325D+01 0.140000D+02
ENTHALPY            0.292824D+03 0.659208D+03
QUALITY             0.100000D+01 0.000000D+00
FLUID               IDEAL GAS    IDEAL GAS
TEMPERATURE         0.150000D+02 0.371993D+03
ENTROPY             0.682508D+01 0.689552D+01
LHV                 0.000000D+00 0.000000D+00
X(GAS;NH3)         0.100000D+01 0.100000D+01
EXERGY              0.267283D+02 0.145673D+05
REL. HUM.           0.000000D+00 0.000000D+00
O2/O                0.231870D+00 0.231870D+00
N2/N                0.754610D+00 0.754610D+00
AR                  0.135100D-01 0.135100D-01

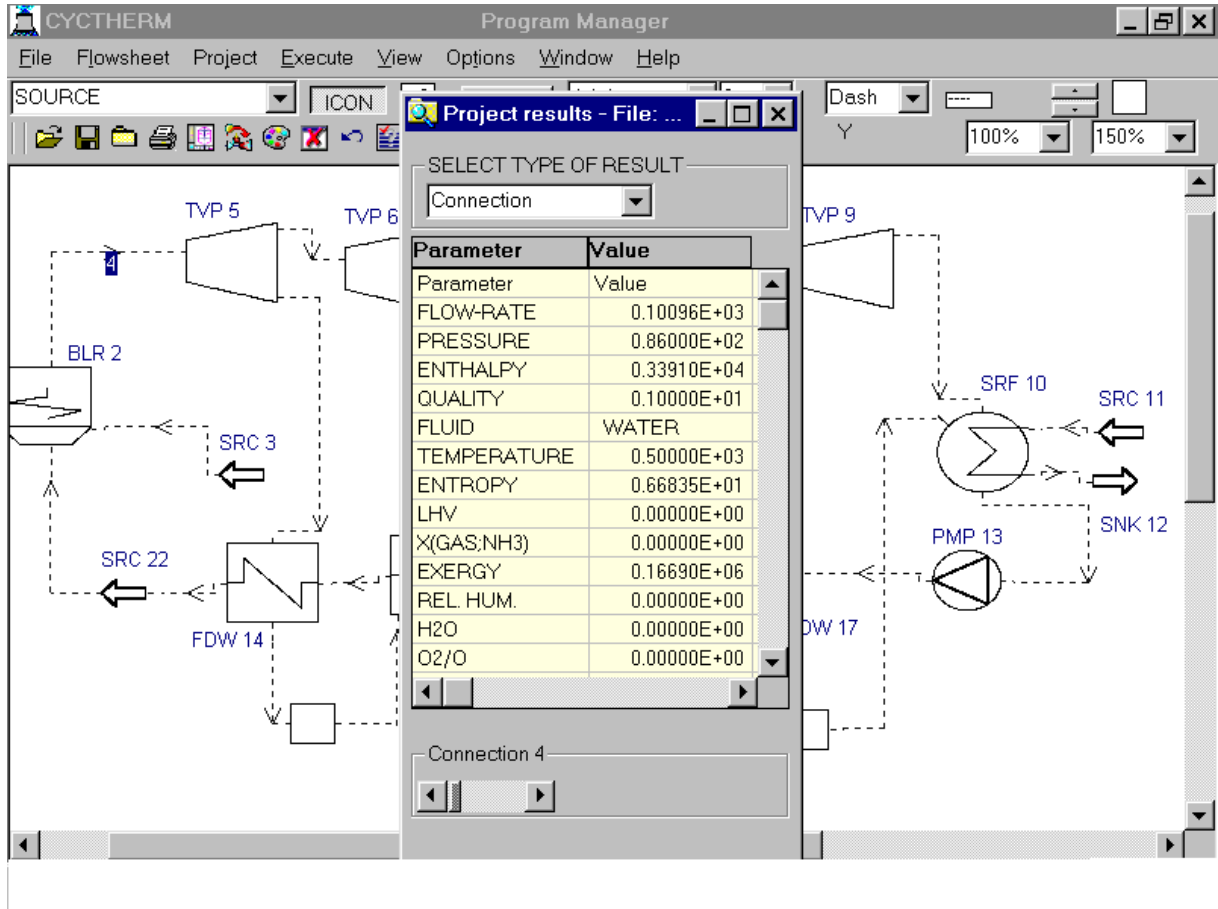
Performance assessment
Power required      (kW)      = 0.157396D+05
Thermodynamic efficiency = 0.880000D+00
Mechanical losses  (kW)      = 0.314792D+03
Enthalpy balance   (kW)      = 0.000000D+00
```

**Figura 2.8. Le proprietà dei fluidi alle porte del componente CPR 2. L'etichetta CPR sta per COMPRESSOR e le etichette NINP1, NOUT1 indicano le porte di ingresso e uscita.**

Per esplorare i risultati con le procedure del programma cliccate la voce del menu **View**, cliccate **Results of Simulation** e infine cliccate **Mode STANDARD** o **Mode CYCLE** a seconda dei parametri di controllo selezionati per effettuare l'esecuzione del programma. Il modo CYCLE è impiegato per eseguire i calcoli di uno scenario e per leggere i risultati appartenenti a uno scenario.

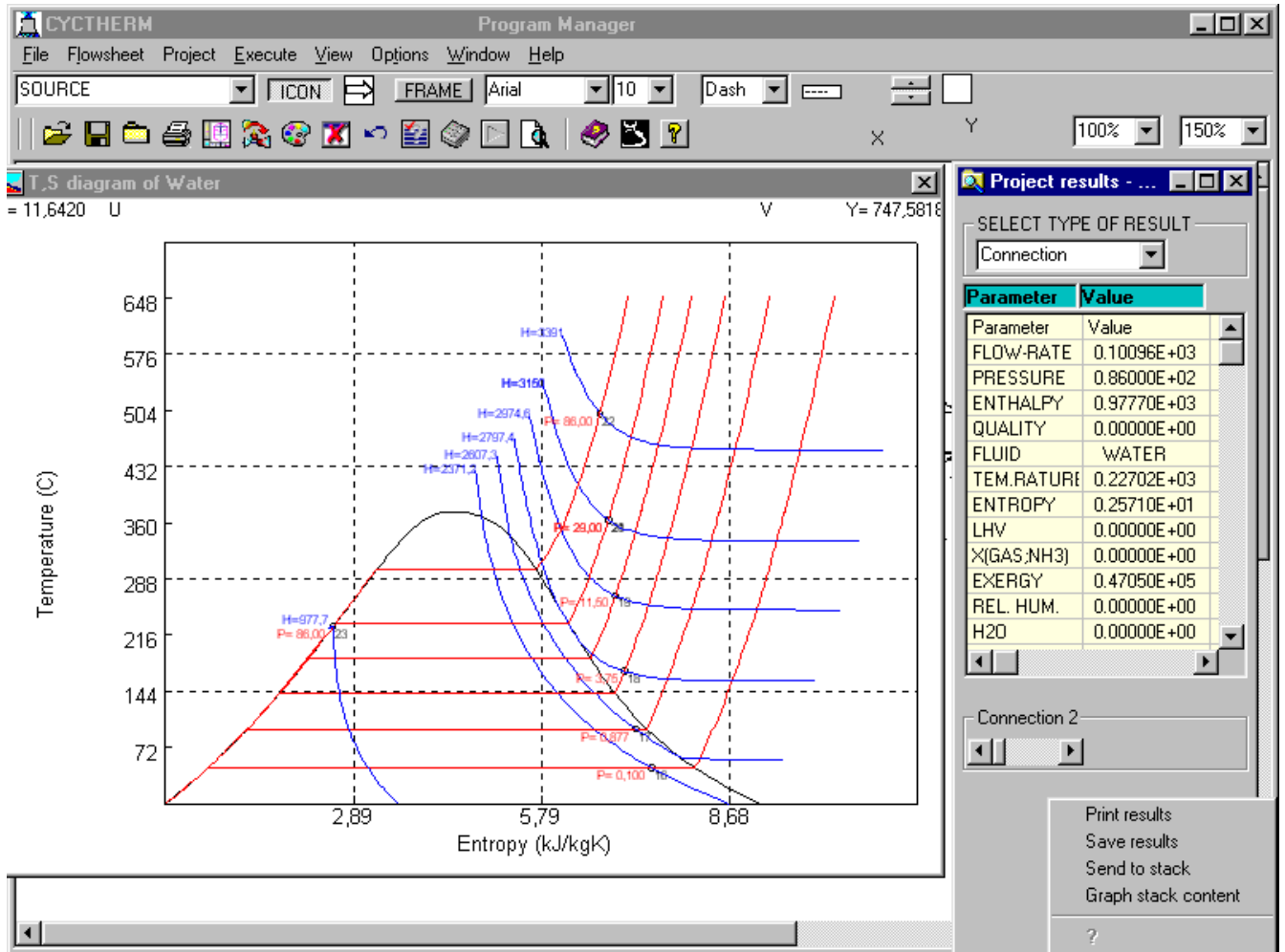
Potete esaminare i risultati raggruppati secondo le categorie **Componenti**, **Connessioni**, **Globali**, **Bilancio exergetico**. Una apposita finestra (vedi Figura 2.9) viene impiegata per mostrare i risultati: in essa potete selezionare il tipo di raggruppamento desiderato. Selezionando Connessioni potete vedere i valori delle proprietà dei materiali nei rami del diagramma di flusso.

Mentre selezionate la connessione nella finestra, la connessione selezionata viene marcata sul diagramma di flusso con il numero che la distingue. Potete stampare, salvare e porre su un grafico i risultati che compaiono nella finestra.



**Figura 2.9 . Le proprietà del fluido della connessione 4. La connessione selezionata è etichettata sul diagramma di flusso.**

La rappresentazione grafica delle proprietà termodinamiche delle connessioni è svolta riportando sopra un appropriato diagramma lo stato fisico del fluido. Potete utilizzare i diagrammi Temperatura-Entropia (T,S) o Entalpia-Pressione (H,P) per i fluidi reali a due fasi. In questi diagrammi potete rappresentare il ciclo compiuto nel processo dal fluido di lavoro. La Figura 2.10 mostra, sul diagramma T, S, lo stato fisico del fluido di lavoro (acqua) di un ciclo ideale Rankine a vapore.



**Figura 2.10.** Lo stato fisico dell'acqua dalla caldaia al condensatore. Posizionando il mouse su un punto del diagramma potete calcolare tutte le proprietà di quel punto con un doppio clic.

Potete personalizzare i colori del diagramma, potete stamparlo per allegarlo a una relazione o memorizzarlo.

Potete anche calcolare i valori delle proprietà termodinamiche in ogni punto del diagramma con un doppio clic del mouse.



# 3

## Esempi applicativi

---

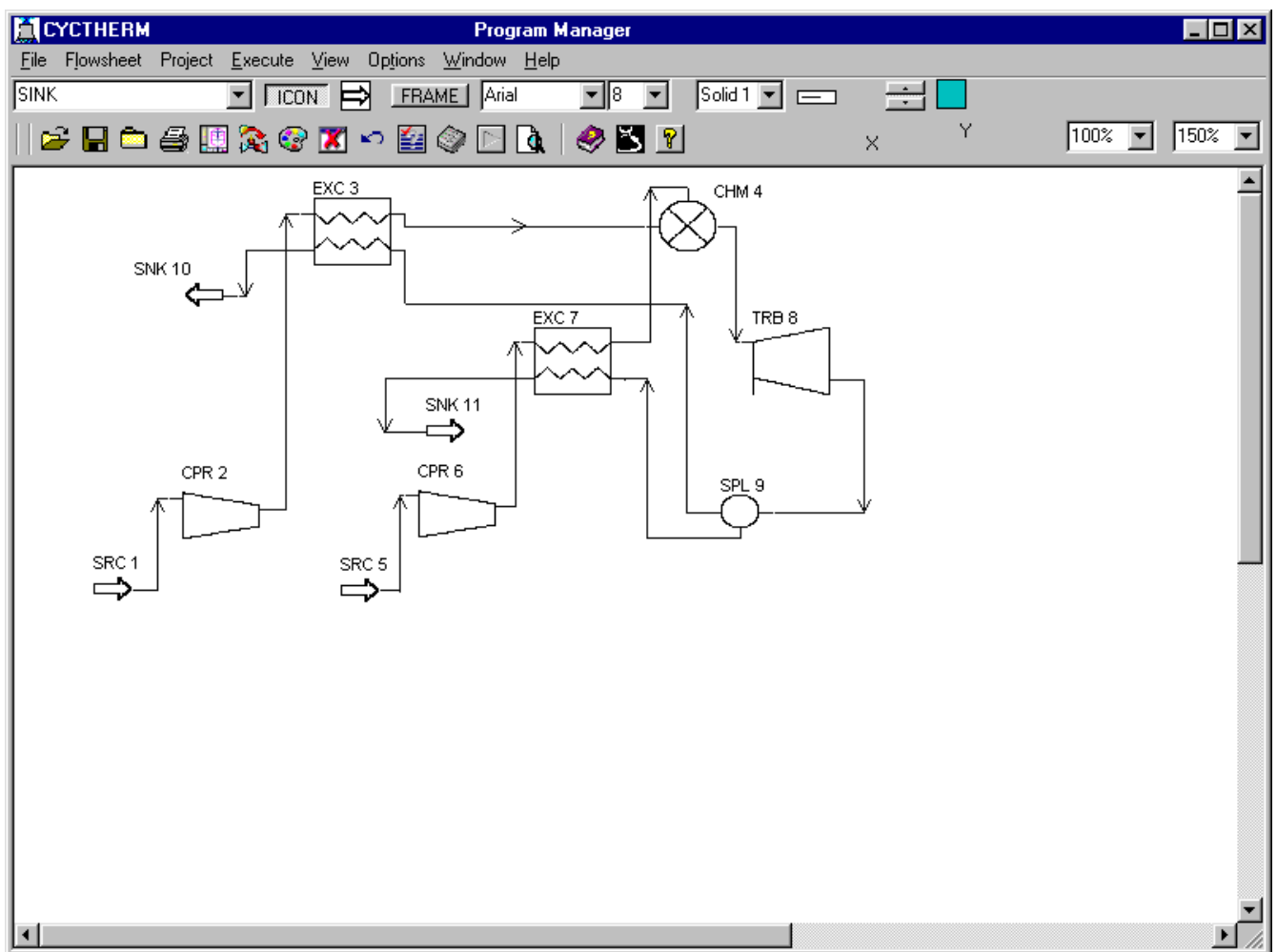
Questo capitolo mostra alcuni processi termodinamici simulati con CYCTHERM. Essi costituiscono solo una parte della tipologia dei processi che è possibile simulare; infatti gli esempi riportati non comprendono i processi ad aria umida e quelli frigoriferi, tanto per citarne alcuni.

In questo capitolo sono mostrati i seguenti processi:

- ALTOF - Ciclo turbogas rigenerativo
- GEOTER - Centrale geotermica a condensazione
- FLASH - Processo a doppio flash per generare vapor d'acqua da miscele di acqua e gas
- PLANT - Centrale termoelettrica alimentata a lignite
- KALINA - Il processo Kalina per il recupero energetico a bassa temperatura
- COMPLEX - Il ciclo termico di una unità termoelettrica supercritica
- COMBINE - Ciclo combinato a due livelli di pressione

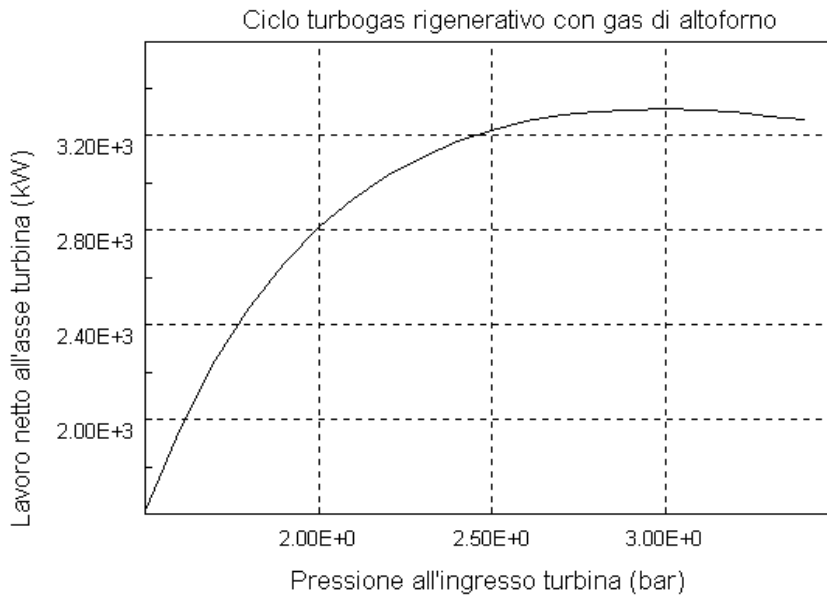


# ALTOF



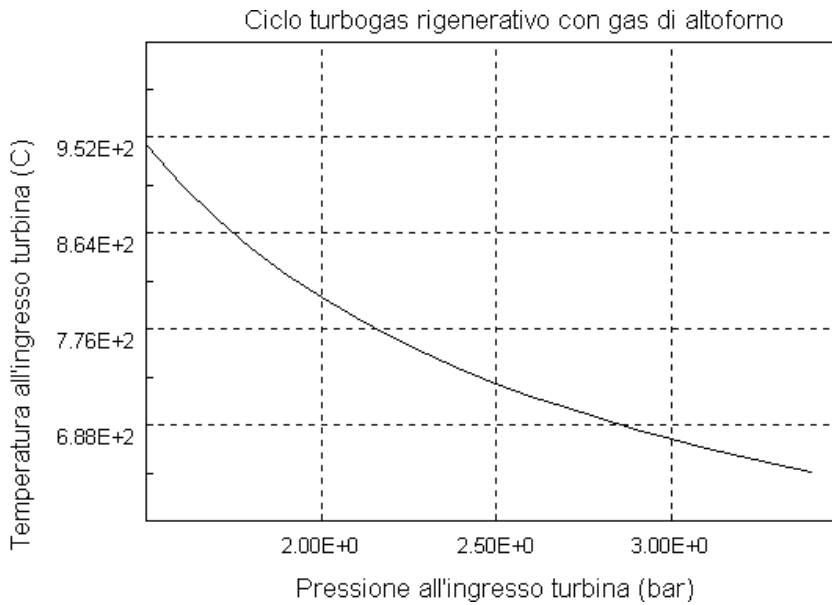
**Figura 3.1**

Ciclo turbogas in configurazione rigenerativa. Il combustibile è gas di altoforno di basso potere calorifico. Il combustibile e l'aria sono preriscaldati con i gas di scarico della turbina prima di entrare in camera di combustione. Il processo è stato studiato per determinare la pressione ottima all'ingresso della turbina. Nello studio è mantenuta costante la portata del combustibile mentre nessuna limitazione è posta alla temperatura all'ingresso della turbina.



**Figura 3.2**

Il lavoro meccanico netto all'asse della turbina del ciclo turbogas rigenerativo di Figura 3.1 in funzione della pressione in camera di combustione.

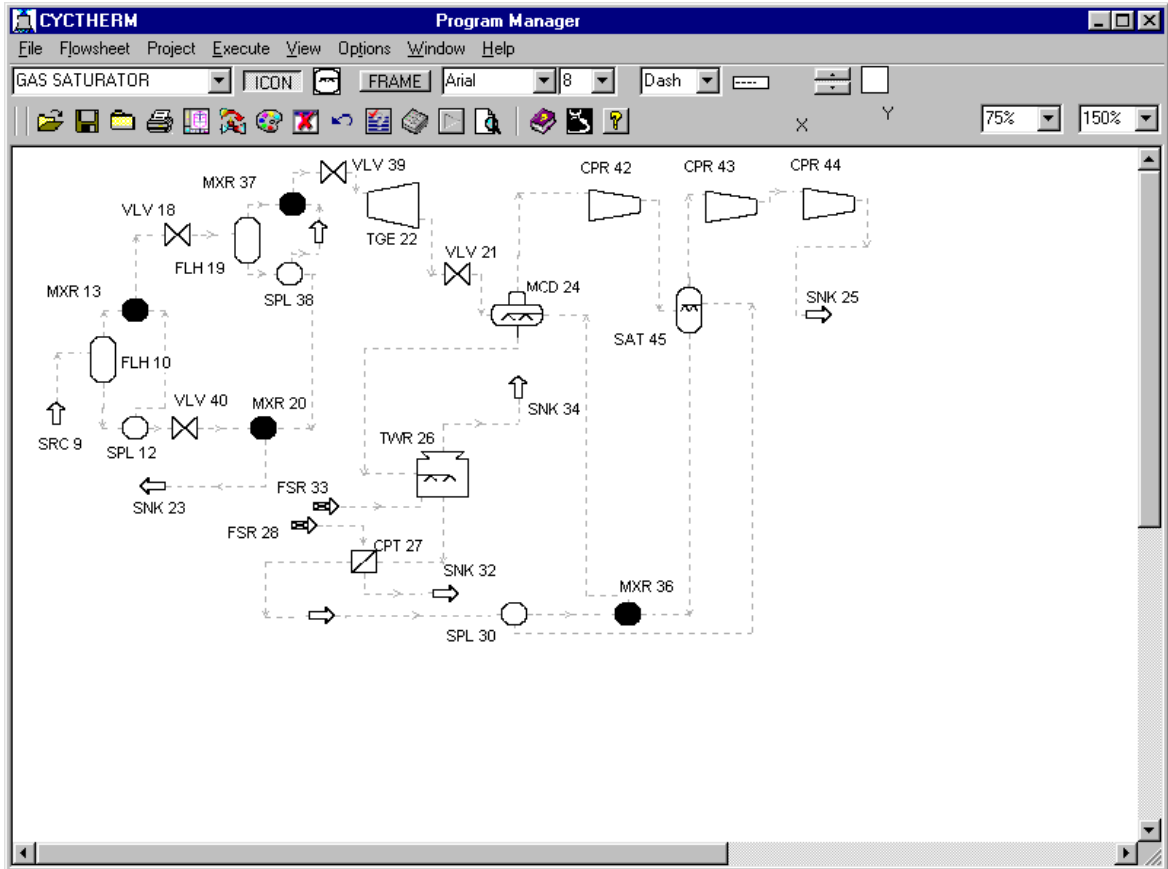


**Figura 3.3**

Andamento della temperatura dei gas di combustione all'ingresso della turbina del ciclo turbogas rigenerativo di Figura 3.1 al variare della pressione.



# GEOTER

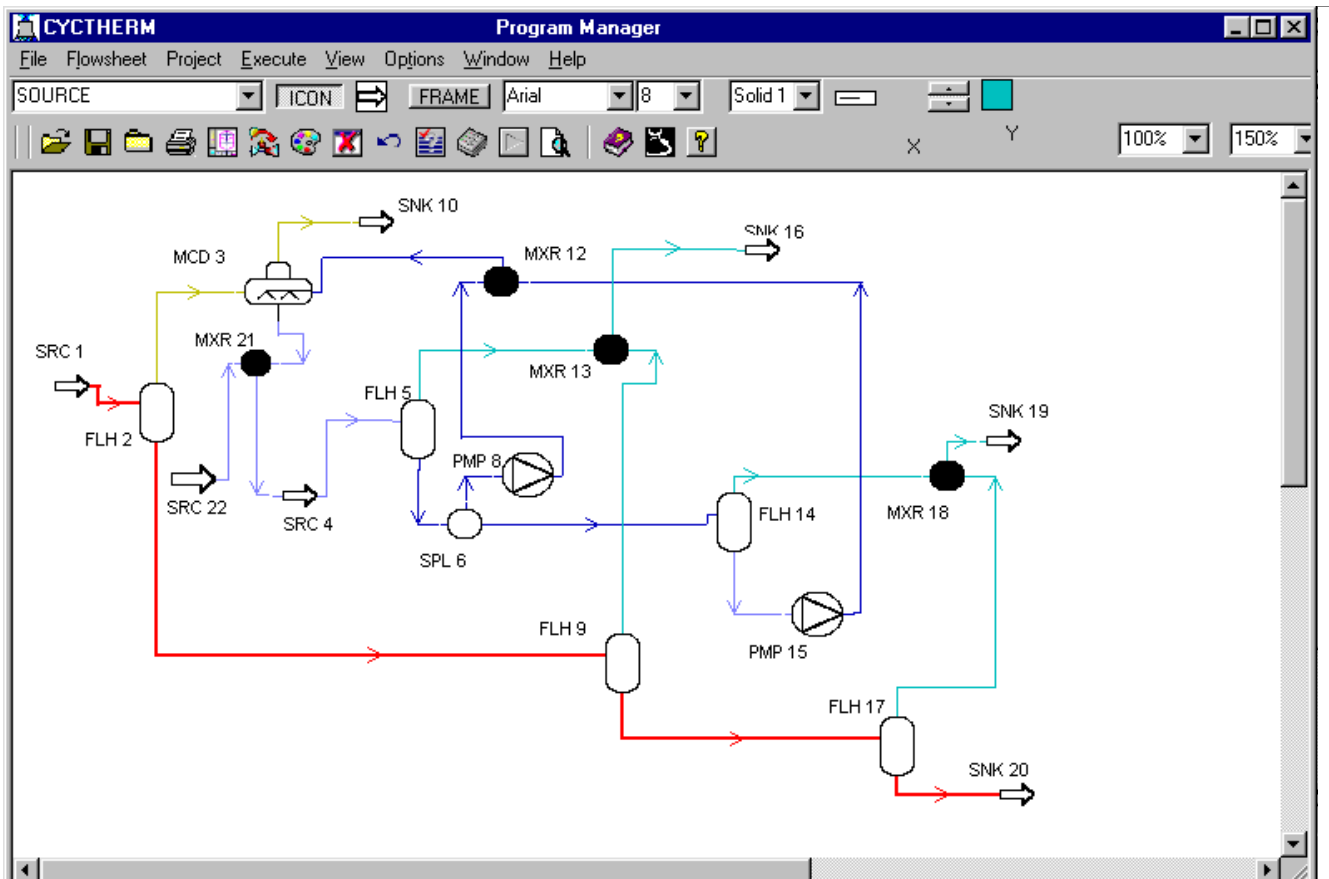


**Figura 3.4**

Il processo di una centrale geotermica a condensazione. Una miscela di vapor d'acqua, acqua liquida e biossido di carbonio alla pressione di 18 bar e alla temperatura di circa 205 C si espande, dopo la separazione della fase liquida, in una turbina a vapore che scarica in un condensatore a miscela da cui il biossido di carbonio viene estratto mediante un compressore a tre stadi inter-refrigerato. Una torre evaporativa a tiraggio forzato raffredda l'acqua scaricata dal condensatore. L'acqua proveniente dalla torre viene parzialmente scaricata all'esterno prima di ritornare al condensatore, poiché il processo produce acqua liquida in eccesso. I componenti VLV sono stati introdotti per simulare perdite di pressione.



# FLASH

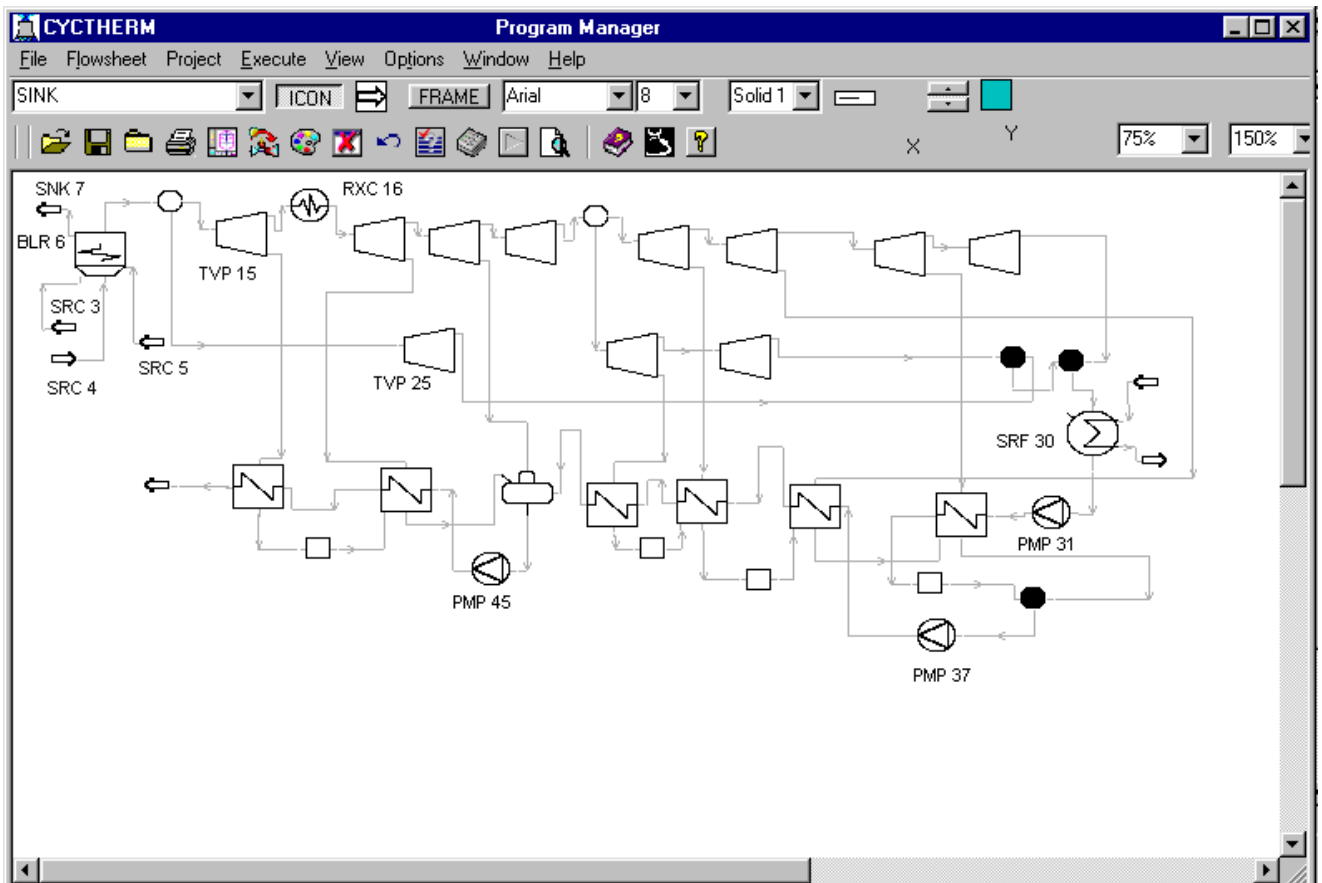


**Figura 3.5**

Processo a doppio flash. È utilizzato per generare vapor d'acqua con trascurabile contenuto di gas da una miscela di biossido di carbonio e acqua in prevalente fase liquida. Il componente MCD3 svolge la funzione di *condenser-reboiler* ed opera alla pressione di circa 11 bar. Il componente SRC1 immette nel processo la miscela acqua e gas da cui viene generato vapor d'acqua a due livelli di pressione.



# PLANT

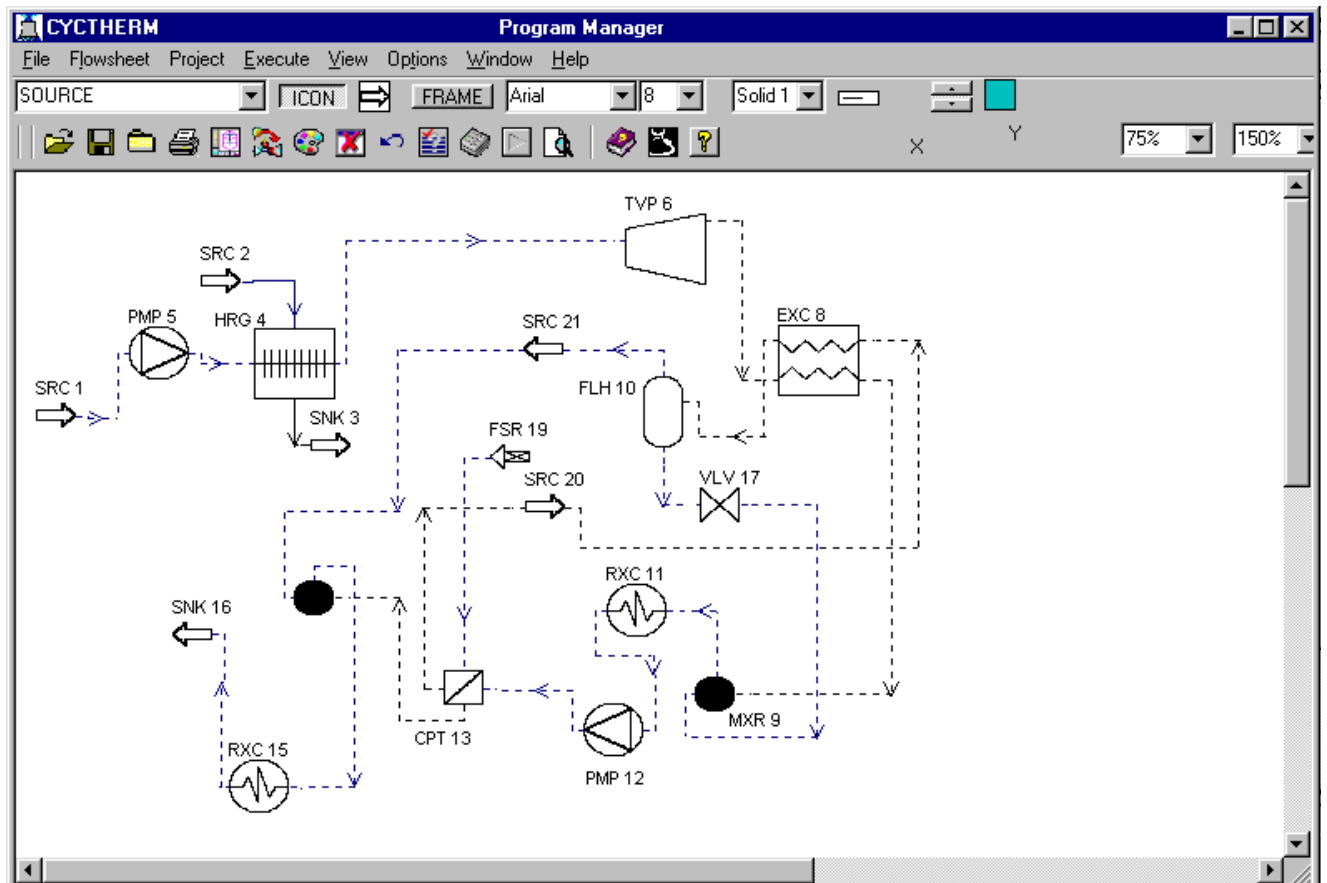


**Figura 3.6**

Centrale termoelettrica alimentata a lignite. La centrale adotta un ciclo termico subcritico con risurriscaldamento e ciclo rigenerativo a sette stadi. Il vapore viene generato a 170 bar e 538 C e si espande in tre turbine con spillamenti multipli. Il componente TVP è utilizzato per simulare l'espansione in uno o più stadi di turbina. Le turbine, collocate sullo stesso asse, sviluppano una potenza di circa 580 MW.



# KALINA

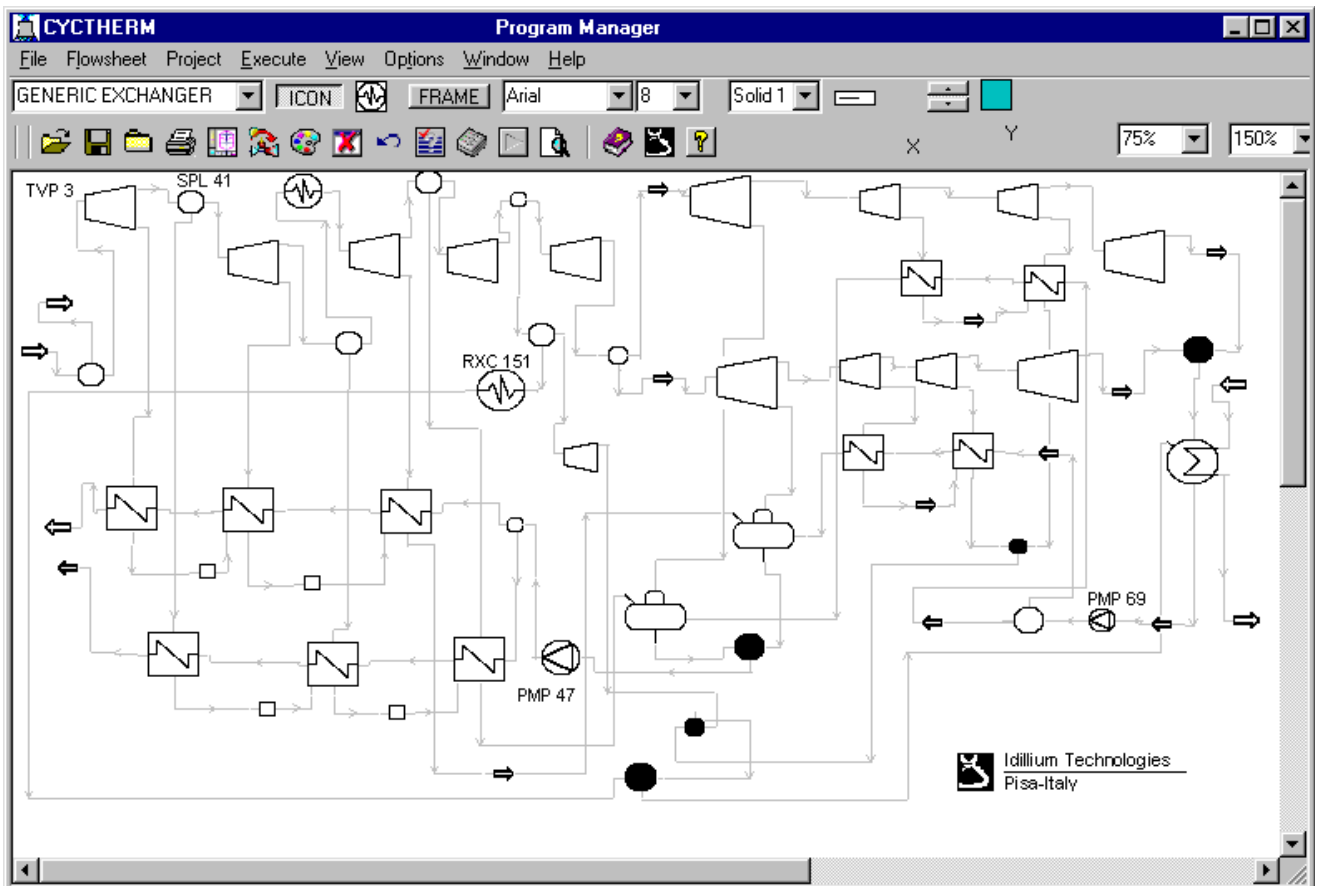


**Figura 3.7**

Ciclo Kalina. Il processo rappresentato in figura è basato sull'impiego di una miscela di acqua ed ammoniaca per recuperare il calore contenuto nei gas di scarico di un motore endotermico. I vapori di acqua e ammoniaca generati in un apposita caldaia a recupero di calore si espandono in una turbina, che scarica a pressione poco inferiore a quella atmosferica, generando lavoro utile. Un complesso sistema di condensazione posto all'uscita della turbina rigenera la miscela di acqua e ammoniaca che alimenta la caldaia.



# COMPLEX

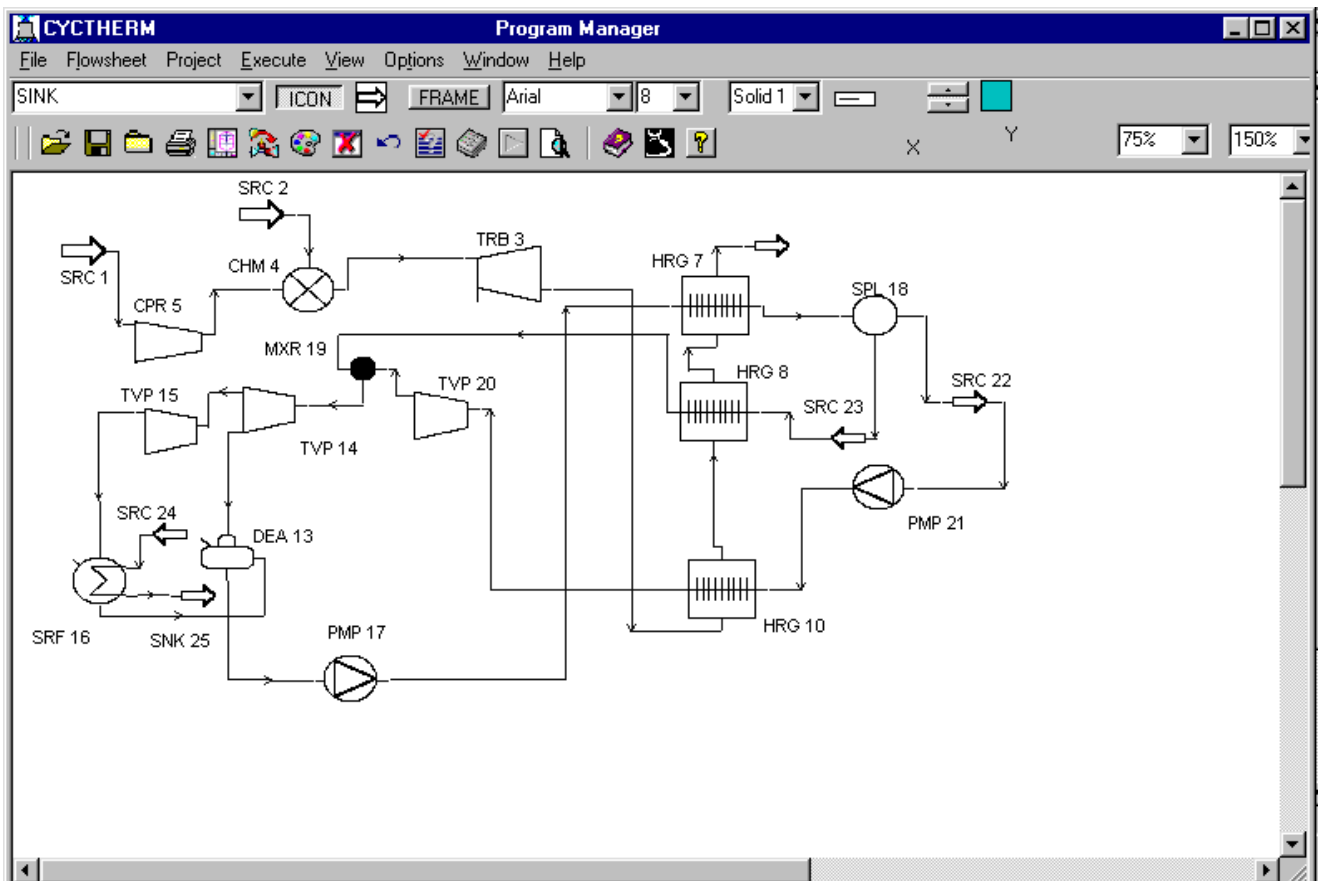


**Figura 3.8**

Ciclo termico di una centrale elettrica supercritica. La figura rappresenta il diagramma di flusso semplificato del ciclo termico di una unita' termoelettrica supercritica a vapore da 660 MW rielaborato con i componenti di CYCTHERM in forma idonea alla simulazione del processo.



# COMBINE



**Figura 3.9**  
Ciclo combinato. La figura rappresenta lo schema di un ciclo combinato gas-vapore, a due livelli di pressione di vapore, alimentato con gas naturale.