

A photograph of a large industrial Stirling engine system. The central component is a bright green Stirling engine mounted on a black base. To its left is a large blue cylindrical heat exchanger. The system is connected to a complex network of white and stainless steel pipes, including a tall vertical stainless steel stack on the far left. The entire setup is located in a room with white walls and a concrete floor.

**Impianto con motore Stirling
da 35 kWe di Castel d'Aiano**

Tavolo tecnico 23-04-2010
Azienda Agraria Sperimentale "Stuard"

Ing. Filippo Marini

La cogenerazione da cippato di legno

Allo stato attuale le tecnologie presenti sul mercato permettono la cogenerazione da cippato di legno solo per impianti di taglia superiore a 400-600 kWel, associati a reti di teleriscaldamento medio grandi.

Consumi di legno superiori alle **10.000 ton/anno** in zone localizzate

Bacino di approvvigionamento esteso

Forte dispersione di calore nei mesi estivi

Scarso rendimento elettrico

Investimenti economici elevati da parte di società private

Difficoltà di applicazione nel territorio dell'Appennino Emiliano

Tipologia forestale delle specie autoctone a bassa ricrescita annua, difficile comunicazione intervalliva, caratteristiche geologiche e morfologiche dei terreni che creano più complicato l'esbosco e la posa di lunghe condotte di teleriscaldamento

La cogenerazione da cippato di legno

L'impianto di Castel d'Aiano è il primo sistema in Europa a produrre energia elettrica e termica di piccola taglia

Efficienza
energetica
elevatissima

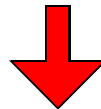
Bacino di approvvigionamento
ristretto ai territori limitrofi

Generazione di energia elettrica e
termica distribuita nel territorio anche in
zone difficilmente raggiungibili

Minima dispersione di calore e conseguente
valorizzazione delle risorse locali

Coinvolgere le realtà
agricole e forestali locali

Sistema ideale per il territorio dell'Appennino Emiliano



Impianto pilota con monitoraggio
sui parametri di funzionamento
per la replicabilità del sistema



Impianto pilota

Cogenerazione, applicabile a reti di teleriscaldamento per comuni montani



Obiettivi

Costruire un modello replicabile nei comuni dell'Appennino Tosco-Emiliano, che permetta:

- lo sviluppo di piccole reti di teleriscaldamento distribuite nel territorio
- l'avviamento di piccole filiere del legno forestale
- il forte incremento della produzione di energie rinnovabili

Innovazione

Occupazione locale

Migliorare la qualità dei servizi

Attenzione verso l'ambiente



Obiettivi

Creare un polo tecnologico,
con esperienze
e sperimentazioni uniche
fortemente innovative, per:

- dare un impulso all'industria e all'impresa tecnologica
- creare competenze specifiche nel campo dell'energia

Il futuro è sviluppo sostenibile
attraverso l'innovazione
tecnologica



Impianto di cogenerazione combinato

Produrre energia termica ed elettrica da biomassa vegetale (cippato di legno, sostanze organiche da colture dedicate), abbinando:

Gassificazione



Motori a combustione esterna di Stirling



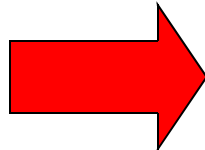
Gassificazione

La gassificazione da biomassa vegetale ha avuto una forte diffusione nei paesi in via di sviluppo come la Cina, l'India ed il Sud America, anche grazie:

- Basso costo della materia prima
- Possibilità di fornire energia elettrica in zone rurali isolate
- Semplicità impiantistica

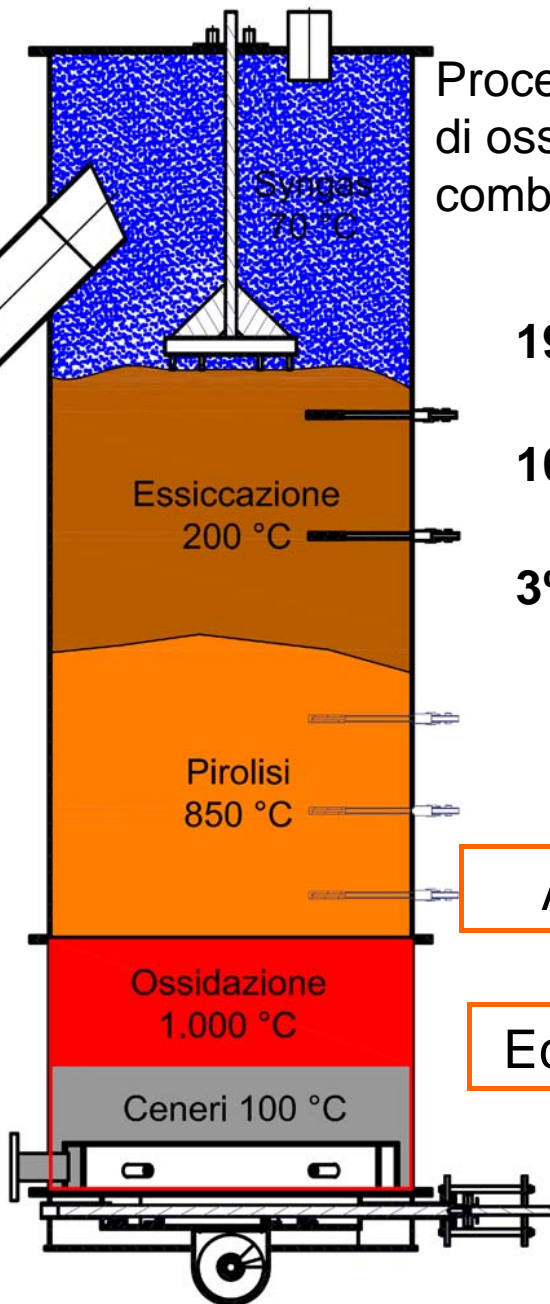
Sulla scia del crescente interesse per l'energie rinnovabili ed in particolare per l'utilizzo della biomassa vegetale, anche molti paesi Europei stanno implementando sistemi di gassificazione e pirolisi con ottimi risultati.

Impianto della Schmitt Enerotec, 80 kWel
Germania



Gassificazione

Processo di combustione parziale della biomassa in carenza di ossigeno a temperatura di 600-800 °C, atto a produrre gas combustibile caratterizzato da un basso potere calorifico:



19% CO

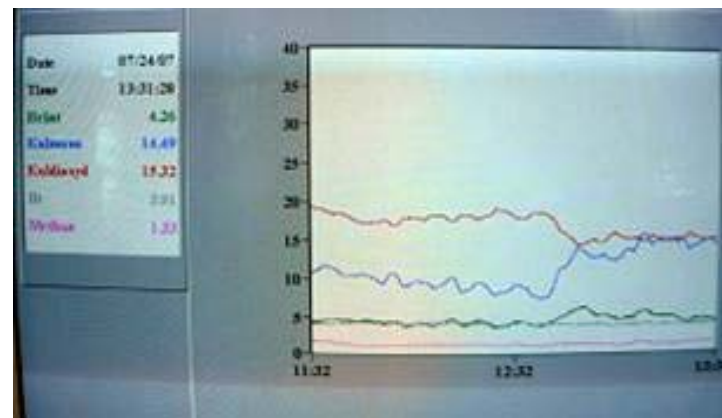
18% H₂

P.C.I. = 1,3 kWh/Nm³

10% CO₂

50% N₂

3% CH₄



Semplice

Affidabile

Facilmente controllabile variando pochi parametri in automatico

Economico

Bassa temperatura

Permette l'utilizzo di biomassa meno nobile, come le ramaglie o gli scarti agricoli

Gassificazione e motori endotermici

Normalmente la gassificazione viene abbinata a sistemi tradizionali di combustione interna come i motori a ciclo Otto

Gassificatori down-draft
per biomassa secca

Depurazione del gas con residui
considerati rifiuti speciali e perdite
energetiche

Elevata manutenzione

Rumore



Gassificazione e motori esotermici

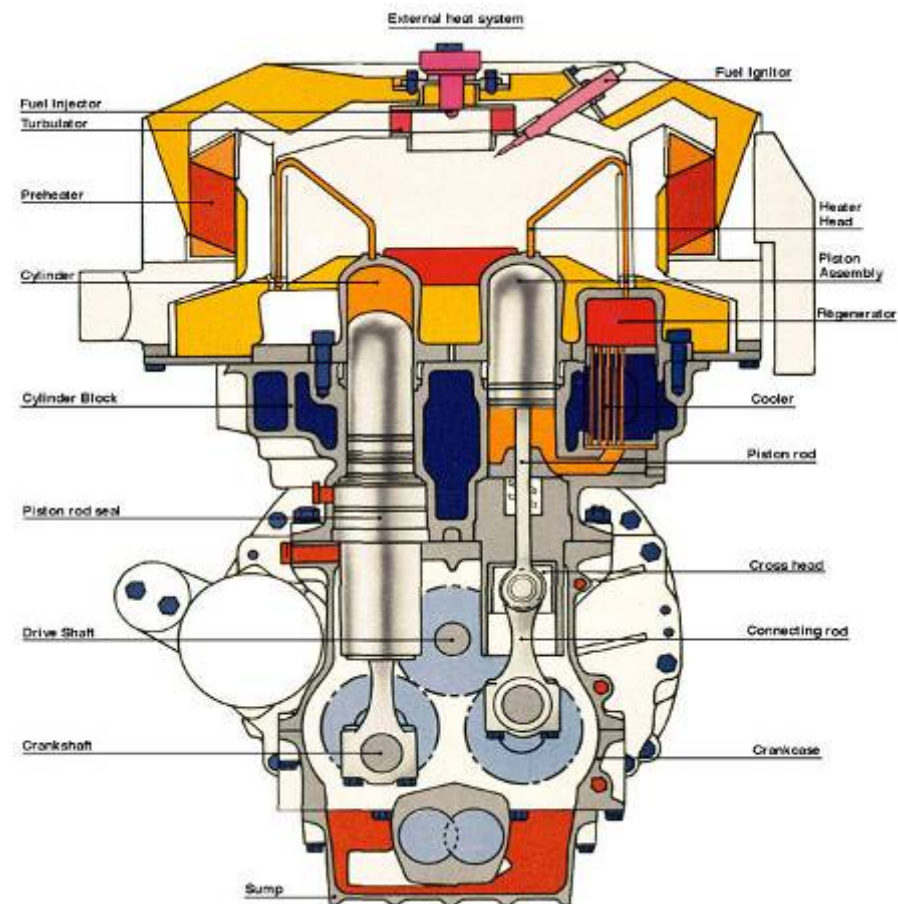
Abbinare la gassificazione a motori a combustione esterna permette notevoli vantaggi:

Gassificatori up-draft per biomassa con W fino al 60%

Combustione diretta del gas

Il gas viene bruciato in camera di combustione controllata elettronicamente aumentando l'efficienza complessiva e minimizzando le emissioni

Minima manutenzione, il combustibile non entra in contatto con gli organi in movimento



Autonomia di funzionamento

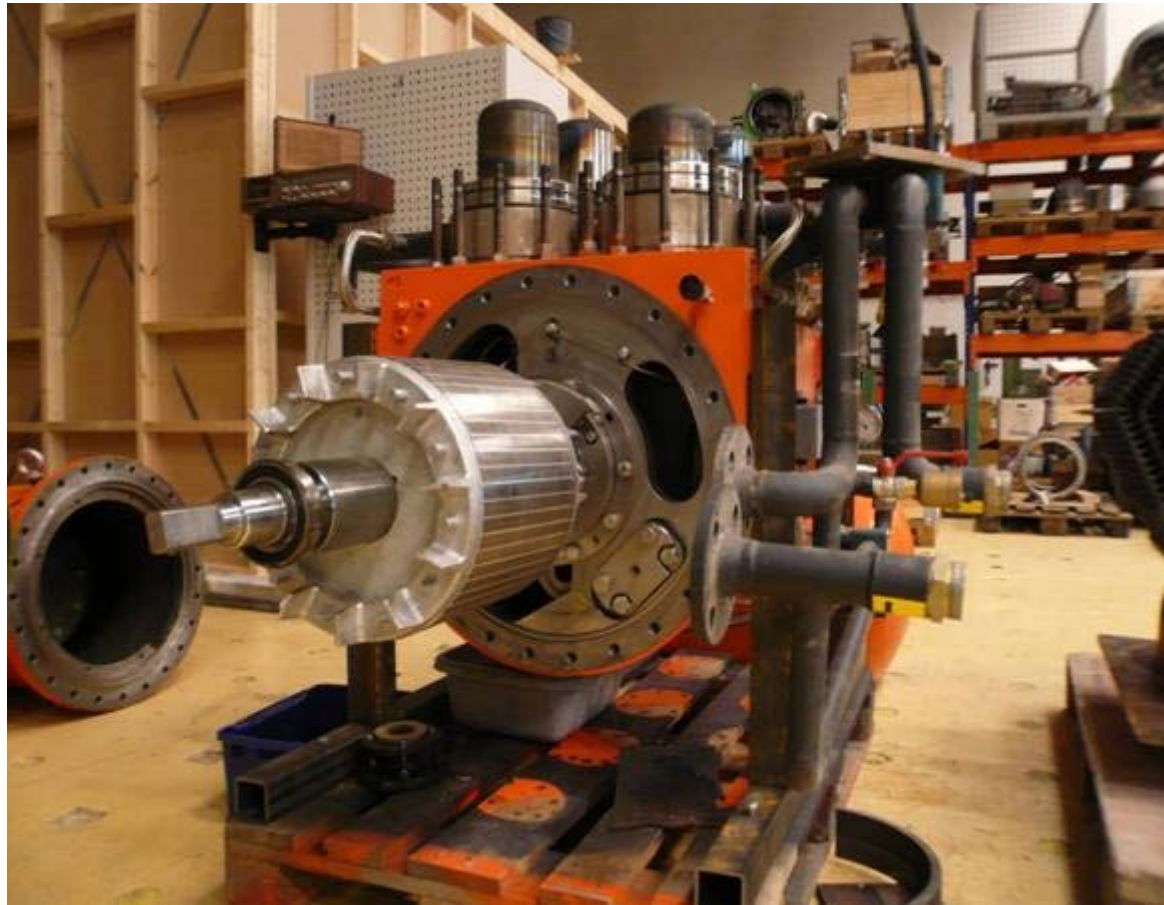
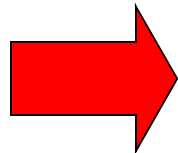
Silenziosità

Il motore Stirling

Motore esotermico a ciclo chiuso

- Sfrutta una fonte di calore esterna
- Sigillato, utilizza come fluido operatore elio in pressione
- Poca manutenzione (ogni 5.000 ore)
- Silenzioso
- Flessibile (fino al 20% della P_{nom})
- Elevato rendimento
- Sicuro

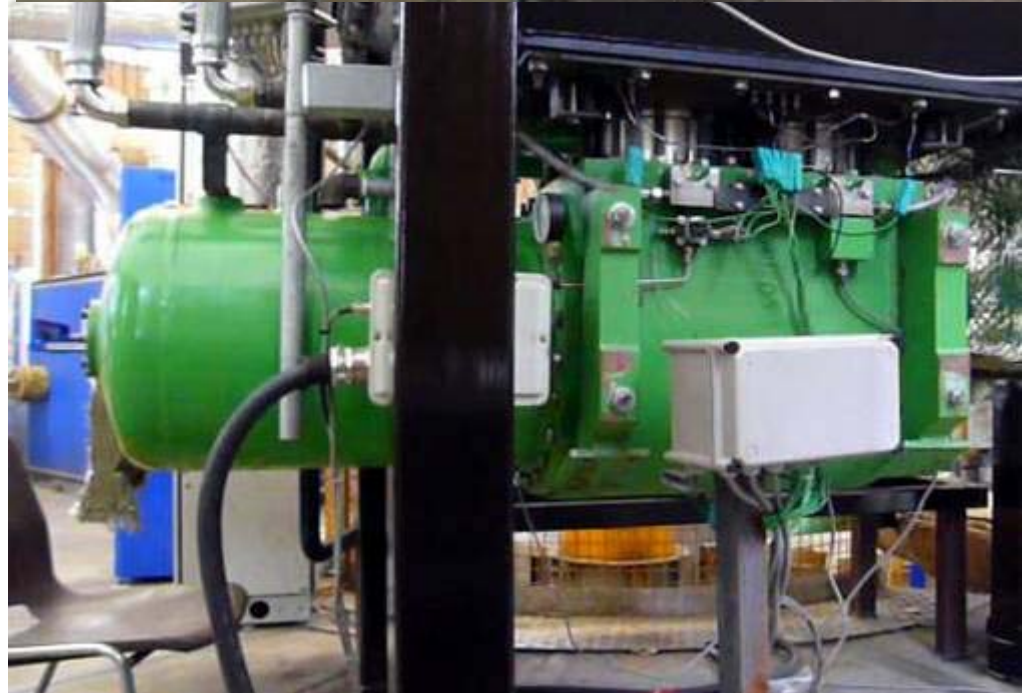
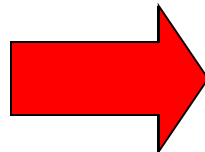
Motore Stirling 4 cilindri in fase di montaggio, Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, Copenhagen



Collaborazione con la facoltà di ingegneria di Copenhagen

In Danimarca un gruppo di ricercatori universitari ha progettato e testato un impianto di cogenerazione composto da un gassificatore updraft ed un motore Stirling da 35 kWel, ottenendo ottimi risultati.

Impianto sperimentale
di Billund

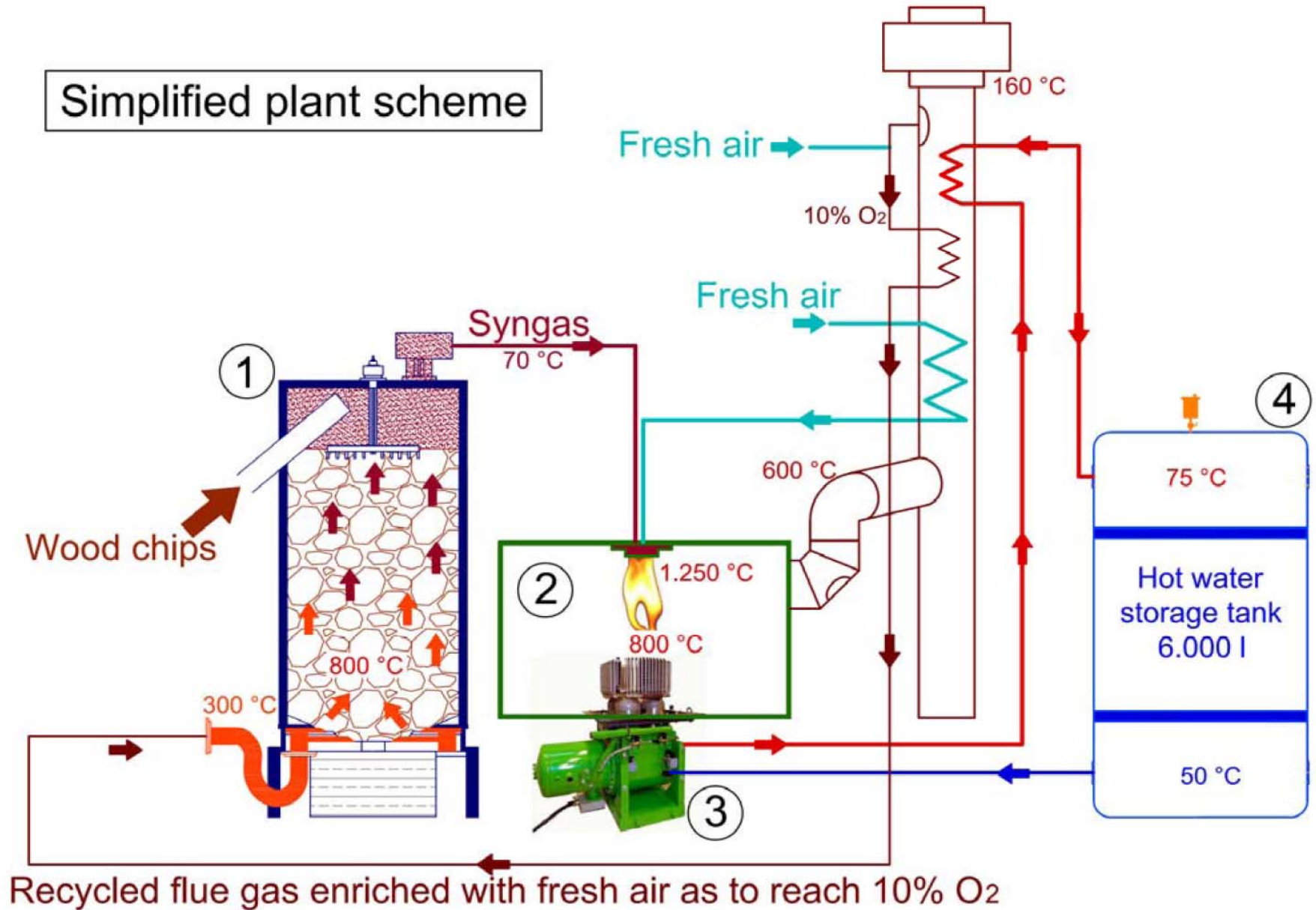


Caratteristiche dell'impianto



Schema di funzionamento

Simplified plant scheme



Parametri principali

Funzionamento 5.800 ore/anno

1.160 MWh 435 t/anno

energia
primaria

W=40 %



480 MWh

energia
termica

20 famiglie



200 MWh

energia
elettrica

68 famiglie



Confronto con altre FER

Funzionamento 5.800 ore/anno

200.000 kWh energia elettrica

180 kW fotovoltaico

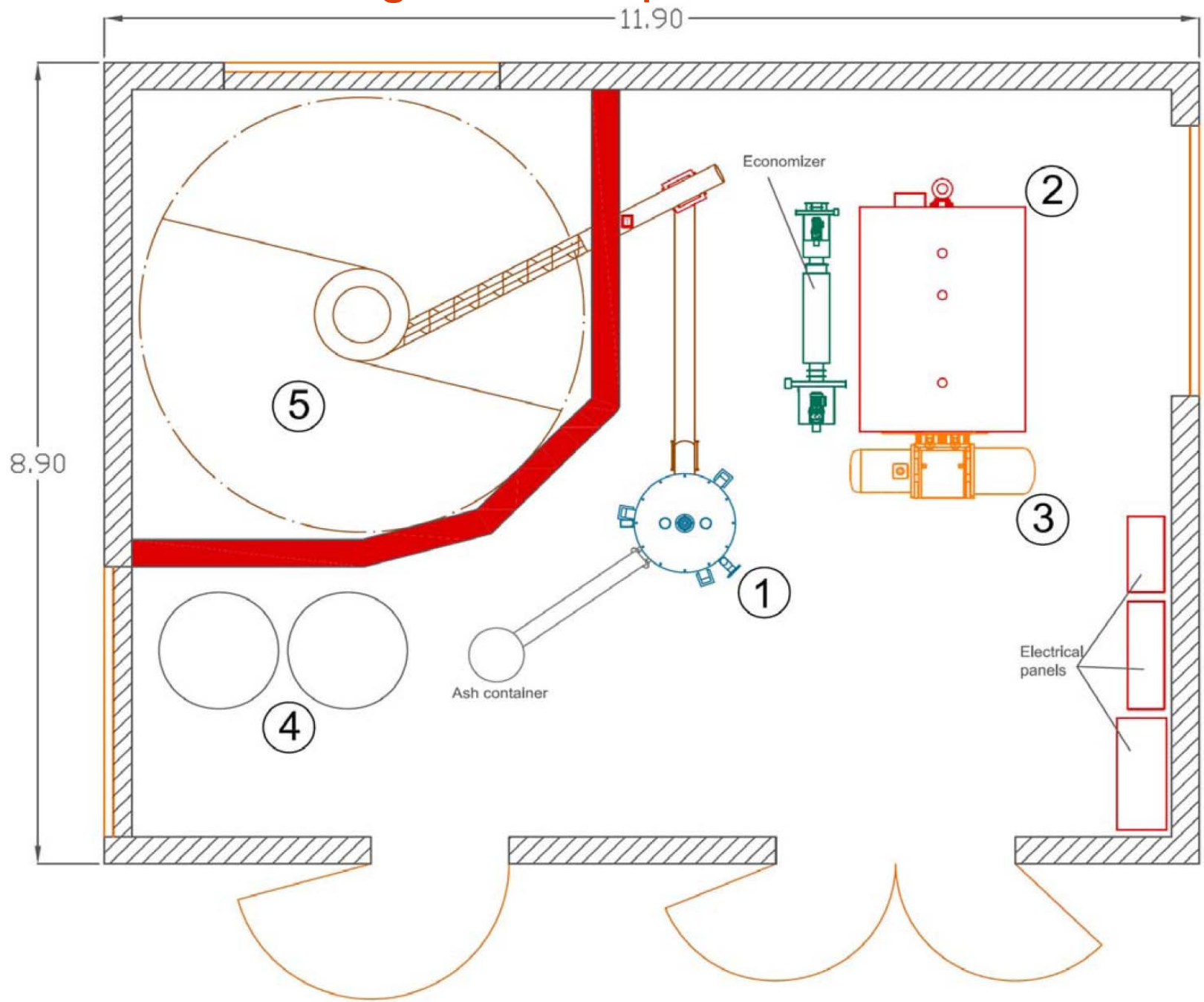
1.500 m² di pannelli



140 kW eolico

7 pale da 20 kW alte
25-30 m

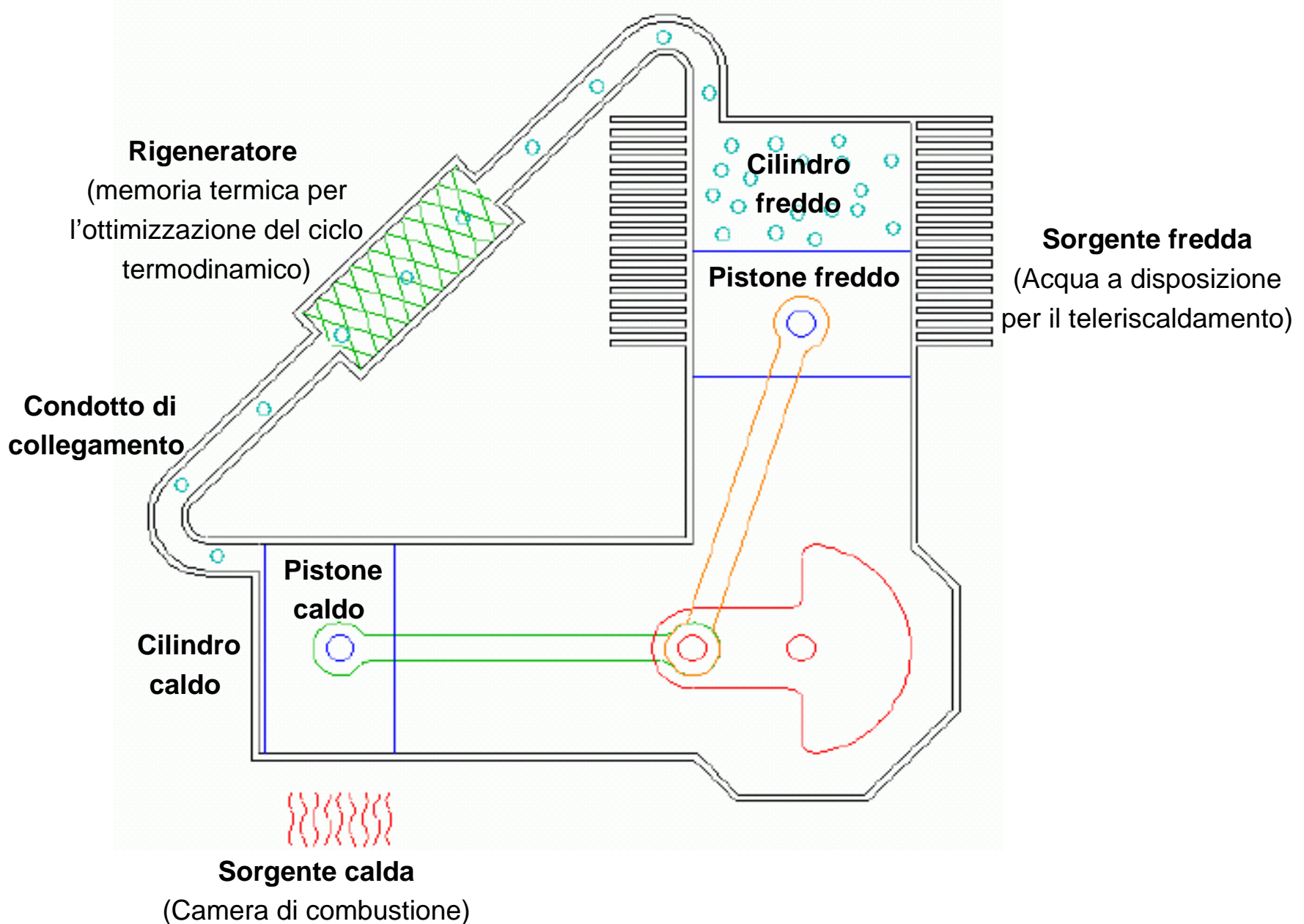
Ingombri e opere edili



Il motore Stirling

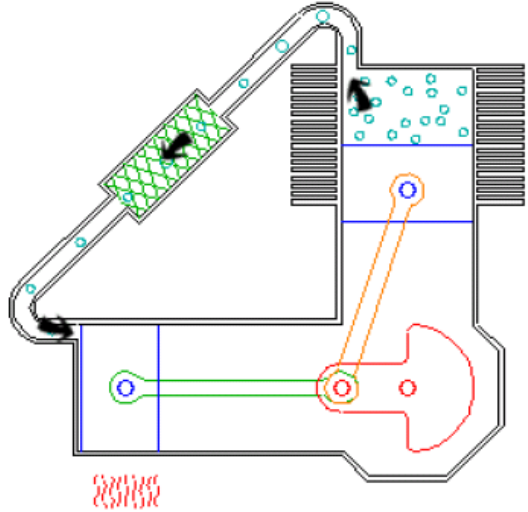


Il motore Stirling



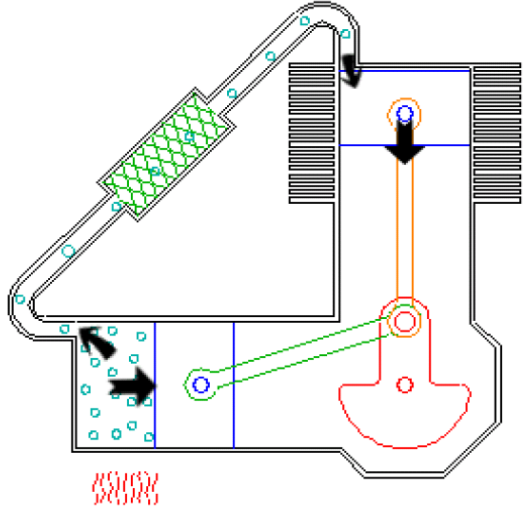
1 il pistone caldo si trova al PMS

Il pistone freddo accelera ed il pistone caldo decelera, l'elio si muove dal pistone freddo a quello caldo, percorrendo il condotto di collegamento ed **fase di compressione ed aumento di pressione per riduzione di volume**



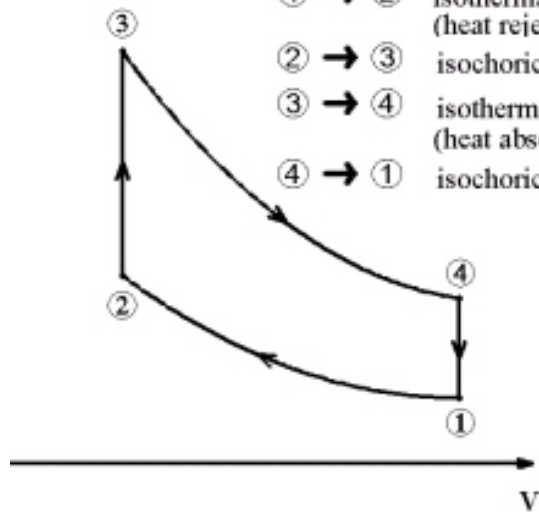
2 il pistone freddo si trova al PMS

L'elio si trova alla massima compressione all'interno del condotto di collegamento e nel cilindro caldo, **fase di riscaldamento ed aumento di pressione per aumento di temperatura**



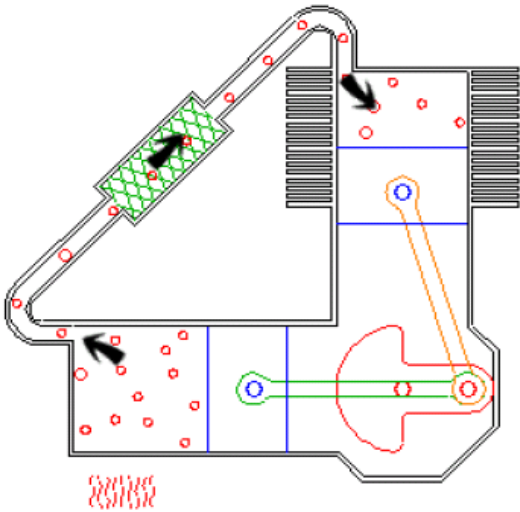
D

- ① → ② isothermal compre (heat rejection)
- ② → ③ isochoric heating
- ③ → ④ isothermal expans (heat absorption)
- ④ → ① isochoric cooling



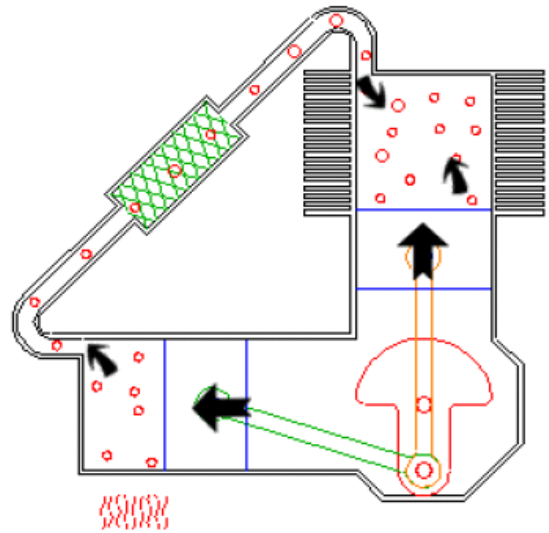
3 il pistone caldo si trova al PMI

L'elio libera la propria pressione e si espande cedendo energia all'albero motore, l'elio percorre il condotto in senso contrario, **fase di espansione e riduzione di pressione per aumento di volume**

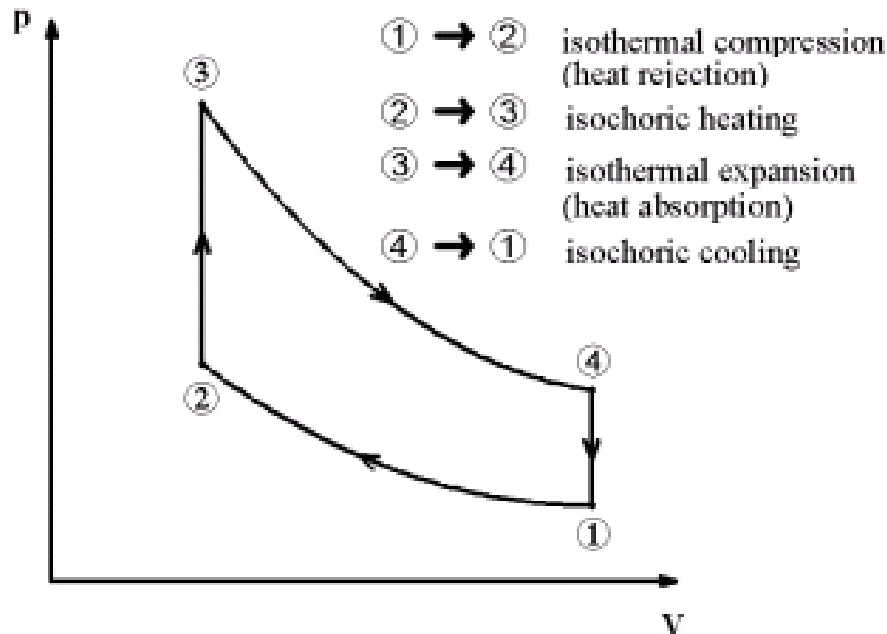


4 il pistone freddo si trova al PMI

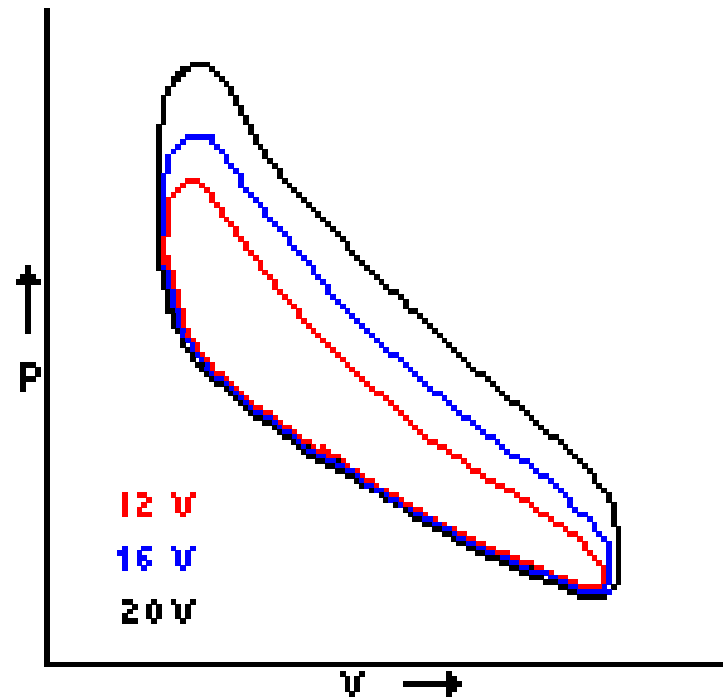
L'elio ha raggiunto il pistone freddo e cede calore all'acqua di raffreddamento, perdendo pressione, **inizia la fase di raffreddamento e diminuzione di pressione per calo di temperatura**



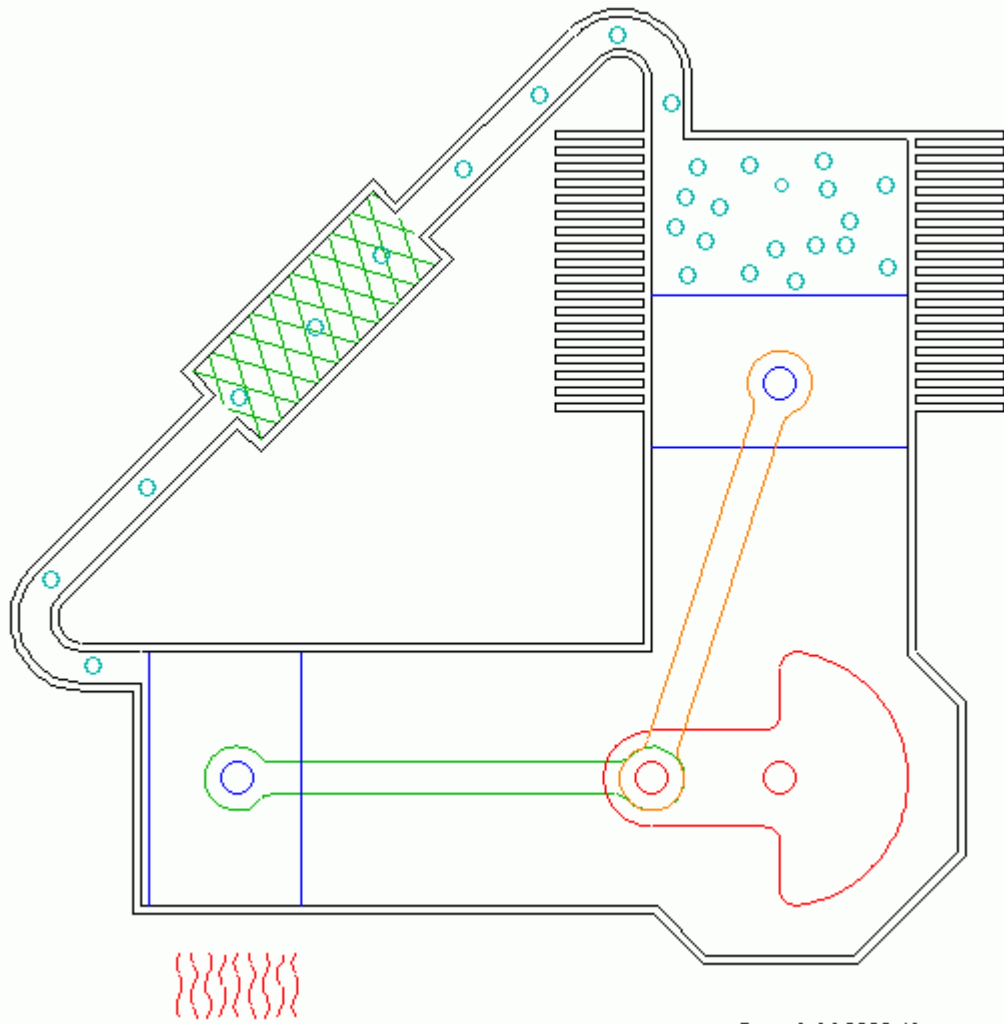
Ciclo ideale



Ciclo reale

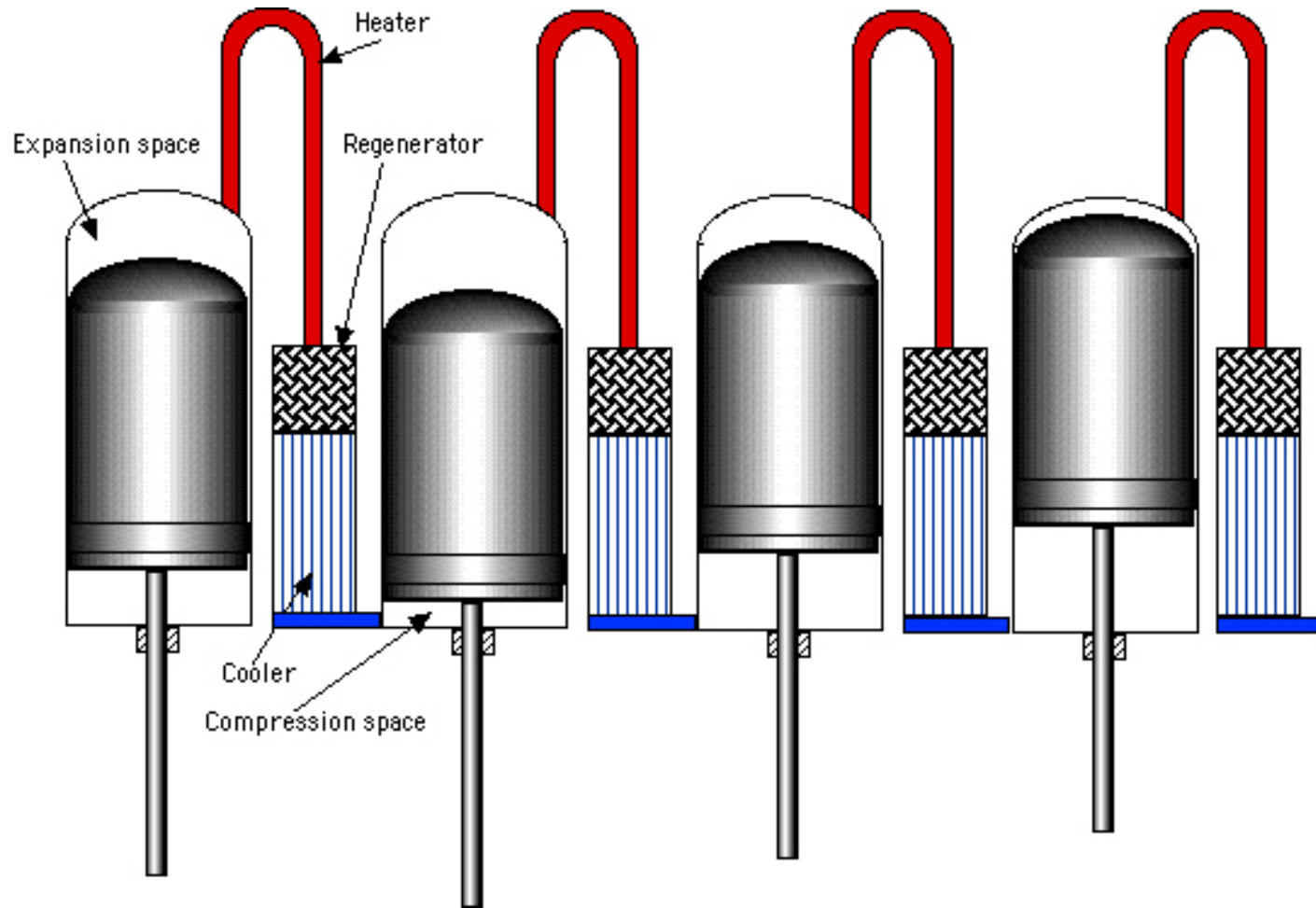


In realtà il ciclo termodinamico si scosta da quello ideale, generando perdite energetiche, che determinano una diminuzione del rendimento del processo termodinamico inferiore a quello teorico che è piuttosto elevato, soprattutto a causa dell'**impossibilità** di avere la fase di **riscaldamento e raffreddamento isocoro**, i pistoni infatti non possono fermarsi e quindi l'elio non può assorbire o cedere calore a volume costante



Copyright 2000, Kaveney.com

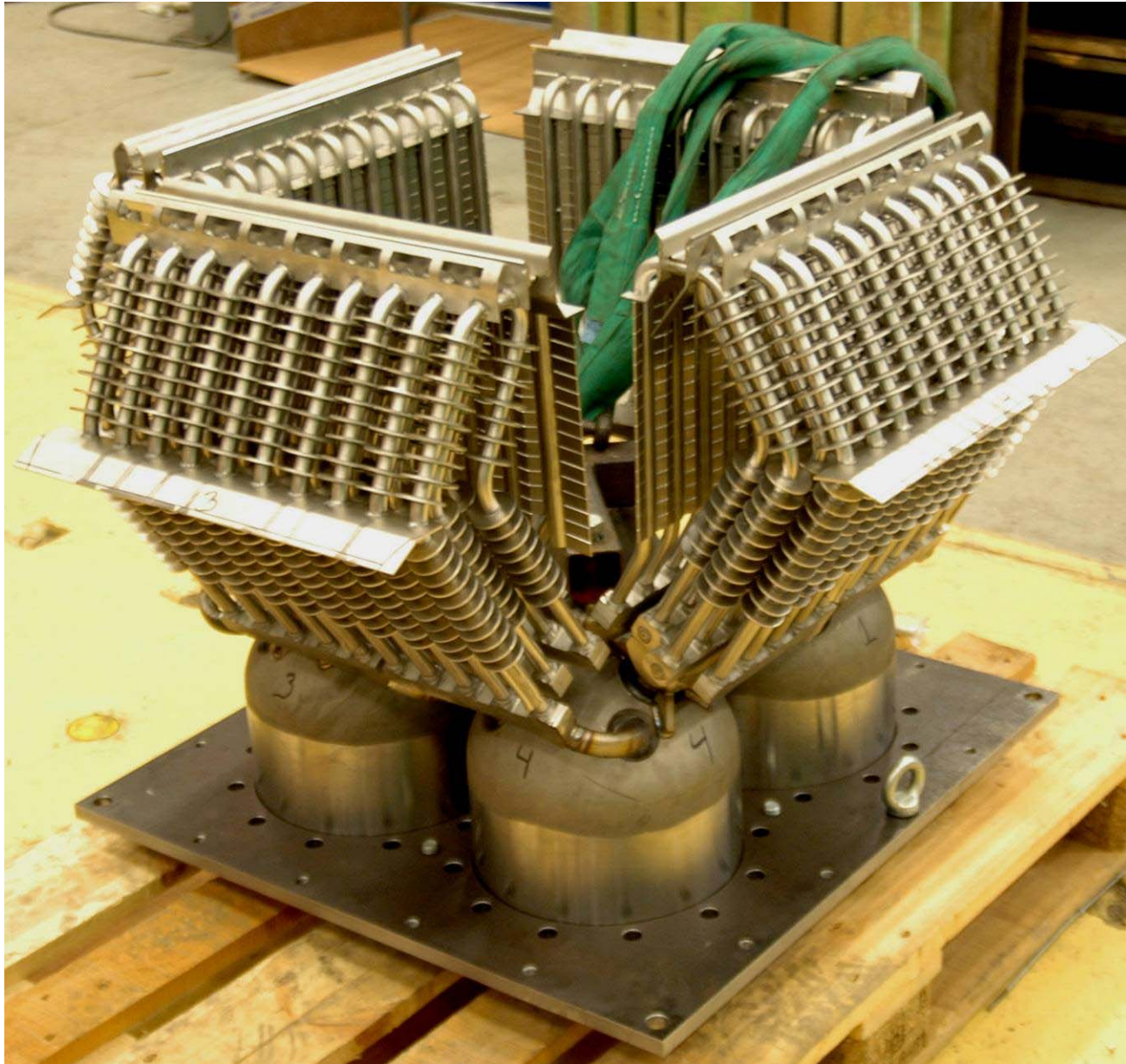
Il motore Stirling a 4 cilindri doppio effetto



Ogni fase è occupata $\frac{1}{4}$ del giro completo dell'albero motore (sfasamento di 90°), quindi se mettiamo quattro cilindri in serie, ognuno potrà fungere da pistone caldo nella sua parte superiore e da pistone freddo in quella inferiore (**doppio effetto**), mentre la parte alta del cilindro potrà fungere da zona di espansione, mentre la parte bassa da zona di compressione.

In questo caso il condotto di collegamento è totalmente immerso nella camera di combustione e funge da scambiatore di calore.

Scambiatore di calore





Piano di monitoraggio

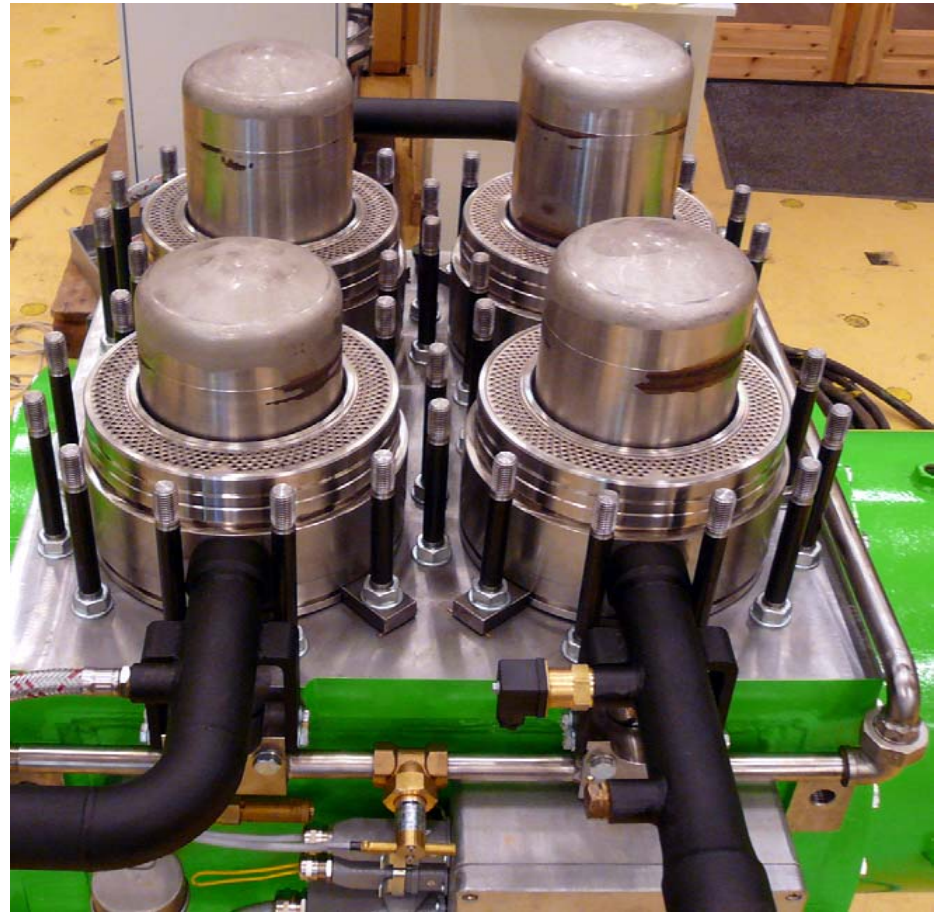
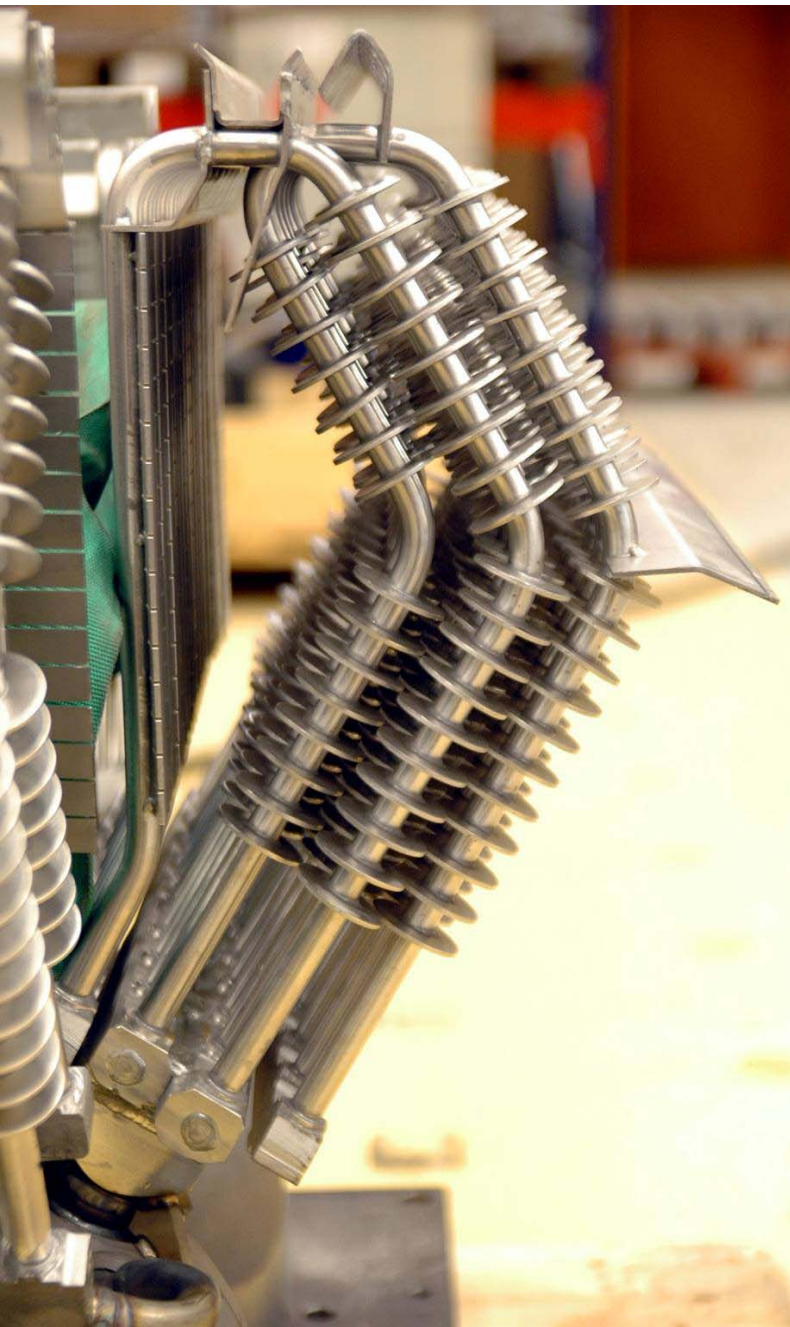
The image shows a complex industrial monitoring system. A large, horizontal cylindrical tank is the central component, painted in a bright blue color. Attached to its right end is a smaller, bright green cylindrical component, likely a pressure vessel or a sensor housing, which is densely packed with various gauges, valves, and electrical connections. A silver metal control box is mounted on the side of the green component. The entire assembly is supported by a black metal frame. To the left of the blue tank, there is a stainless steel structure containing several vertical cylindrical vessels, possibly part of a distillation or separation process. A network of white and stainless steel pipes connects these components, with some pipes running vertically and others horizontally. The background shows a plain white wall with some electrical conduits and a yellow safety light fixture.

Analisi del motore Stirling

Efficienza elettrica

Comportamento in
funzione della temperatura
dell'acqua di
raffreddamento

Qualità della
corrente
prodotta



Analisi del sistema nel suo complesso

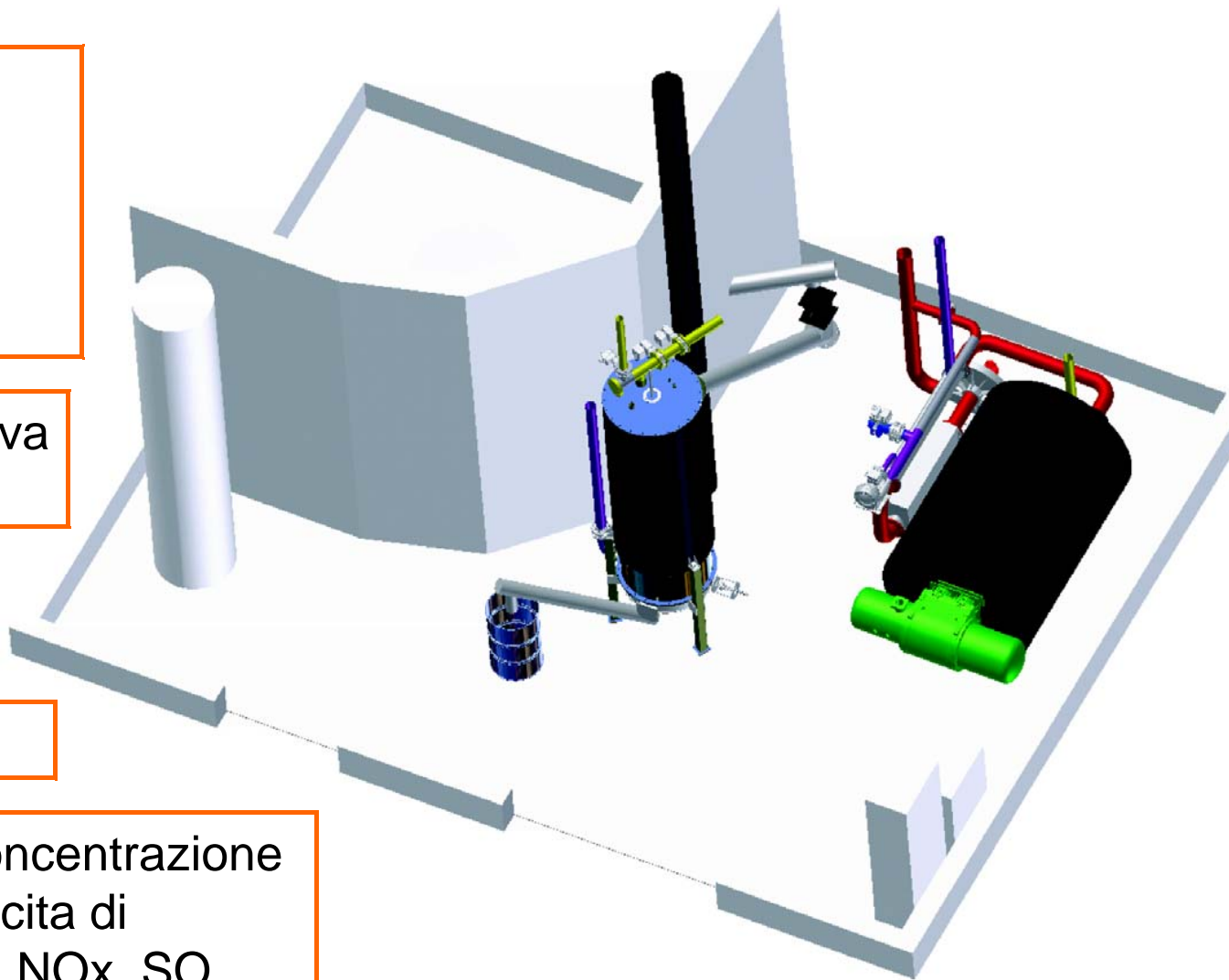
Analisi della qualità dei fumi in uscita dal camino, dell'efficienza complessiva dell'impianto, valutazione dei consumi di legno, determinazione delle condizioni ottimali di funzionamento

Definizione delle temperature e dei valori di ossigeno ottimali per la combustione

Efficienza complessiva dell'impianto

Consumo di legno

Rilevamento della concentrazione
Nei fumi in uscita di
 O_2 , CO , NO , NO_2 , NO_x , SO_2



Test con diverse tipologie di biomassa

Analisi del sistema di gassificazione e della qualità del gas prodotto con diverse matrici organiche

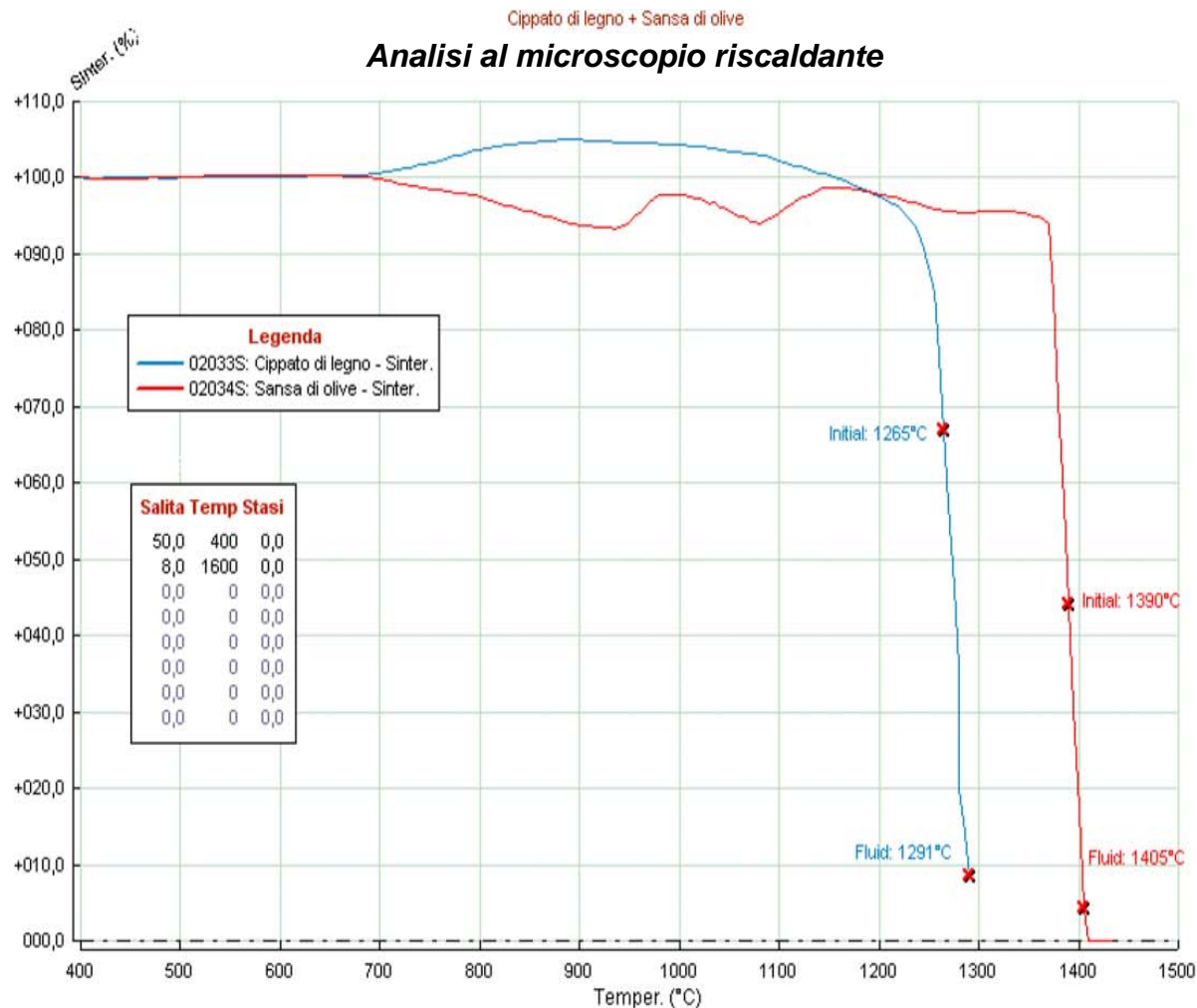
Diverse tipologie di essenze legnose con diversi quantitativi di umidità

Gassificazione di diverse matrici miscelate con cippato di legno

Sansa di olive

Bucce di caffè

Scarti dell'industria agroalimentare



A photograph of a massive sequoia tree in a forest. The tree has a thick, reddish-brown trunk and a dense green canopy. The text "Grazie per l'attenzione" is overlaid in the center in a bold, yellow font with a blue outline. The background shows other trees and a clear blue sky.

**Grazie per
l'attenzione**