

**Giornata di Studio**  
**SU**  
**“Cogenerazione e trigenerazione”**

**Latina, 16 giugno 2004**

**Dott. Ing. Angelo Tanzilli**

**Progetto Energia srl**



**Progetto Energia srl**

**Energy Services COmpany**



European Commission  
**Directorate-General for Energy and Transport**

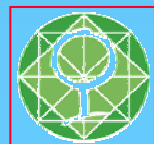
*In concorso con i programmi della Comunità Europea:*



**Greenlight endorser**



**Motor challenge endorser**



**European Directory of Biomass Technology**

ENERGIE



**Progetto Energia srl**

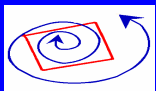
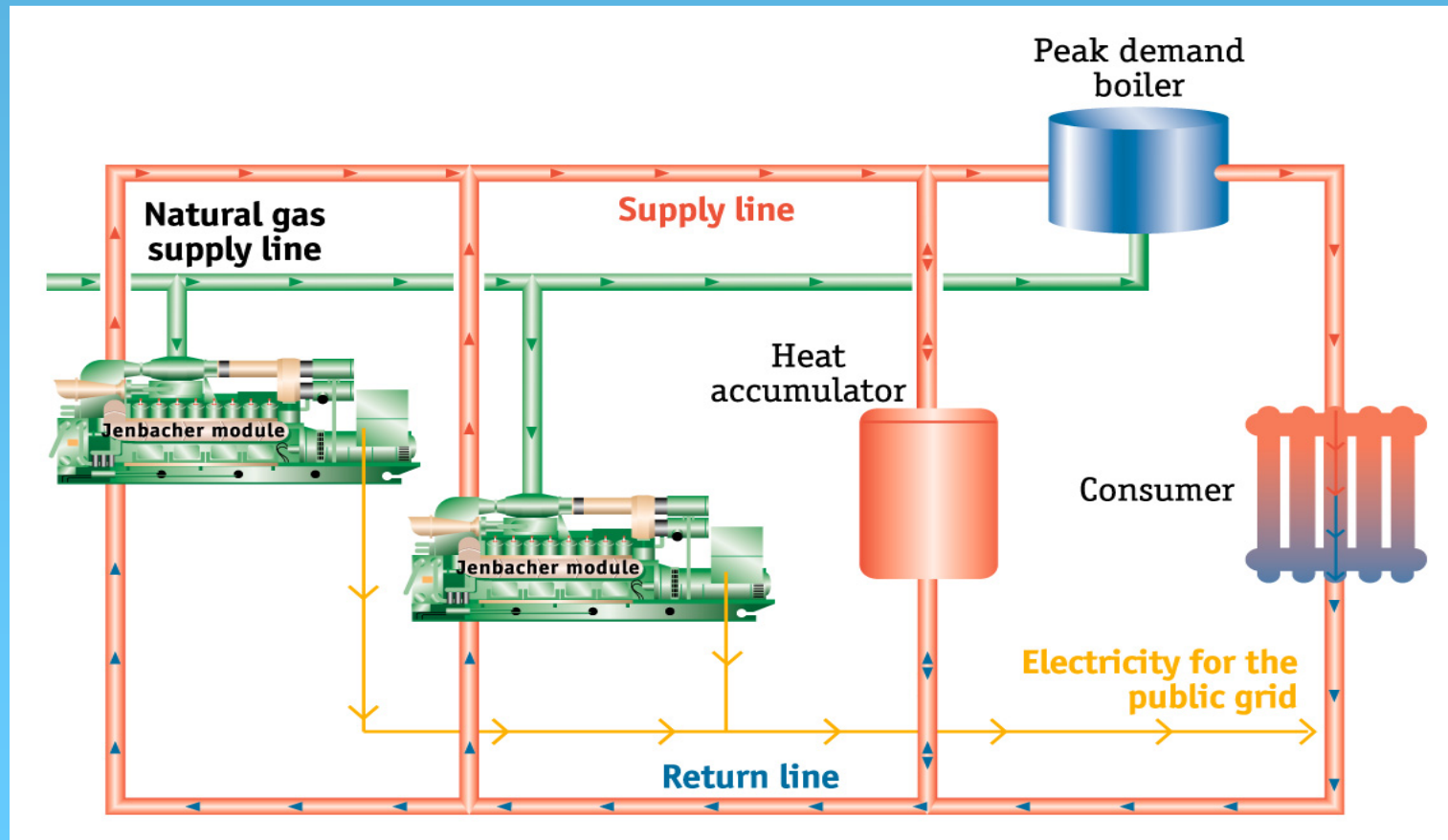
**Energy Services COmpany**

# COGENERAZIONE

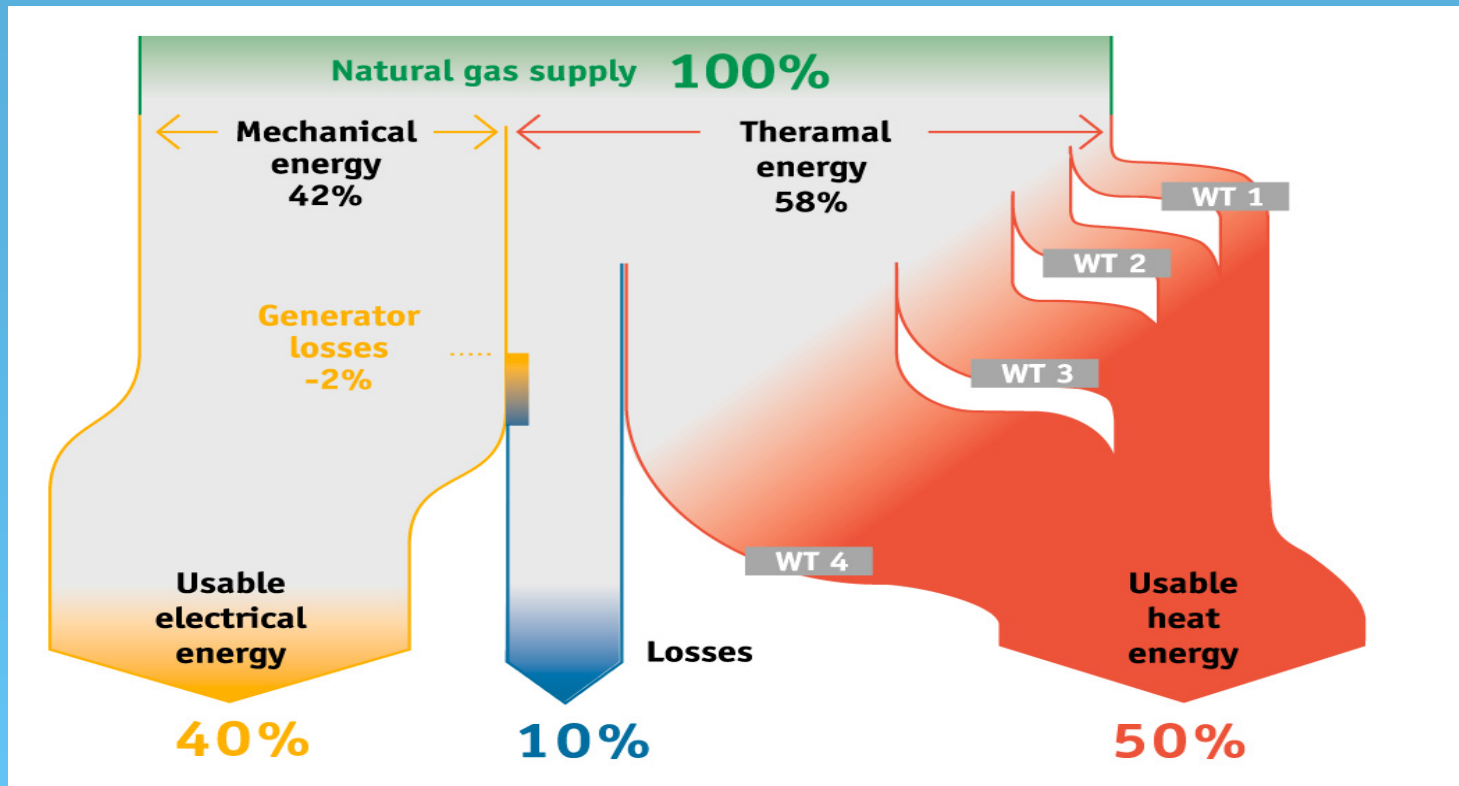
Produzione combinata di energia termica ed elettrica

L'acronimo che la distingue è

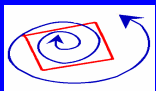
CHP = Combined Heat & Power



# BILANCIO ENERGETICO



- ? WT1 = Recupero da intercooler;
- ? WT2 = Recupero da scambiatore olio;
- ? WT3 = Recupero da acqua di raffreddamento motore;
- ? WT4 = Recupero da scambiatore gas di scarico.



# PERCHE' LA COGENERAZIONE?

Nel processo di cogenerazione, l'energia primaria viene utilizzata in modo più razionale rispetto ai processi che producono separatamente le due forme di energia

**Per un'utenza che consumi, contemporaneamente:**

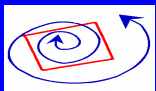
- ? **Energia elettrica  $Q_e = 60$  unità;**
- ? **Energia termica  $Q_{th} = 100$  unità.**

**Nelle ipotesi di:**

- ? **Efficienza nella generazione elettrica = 0.33;**
- ? **Efficienza nella produzione di calore = 0.87.**

**Il bilancio energetico prevede:**

Energia	Energia utile	Efficienza	Energia primaria
<b>Elettrica</b>	60	0.33	182
<b>Termica</b>	100	0.87	115
<b>Totale</b>	160		297
<b>Efficienza energetica complessiva</b>		0.54	



# PERCHE' LA COGENERAZIONE?

- ? L'efficienza energetica complessiva viene calcolata come il rapporto tra le 160 unità di energia utile e l'energia primaria complessivamente utilizzata;
- ? L'efficienza energetica viene definita come Rendimento Energetico, ovvero la quantità di lavoro eseguita o di profitto ottenuto per unità di risorsa energetica impiegata:

$$\text{Efficienza Energetica} = \text{Energia Utile} / \text{Energia Primaria}$$

- ? La tabella evidenzia come, nel caso di produzione separata, per produrre 160 unità di energia utile, sono state consumate 297 unità di energia primaria con un'efficienza totale del 54%



# PERCHE' LA COGENERAZIONE?

- ? L'efficienza energetica complessiva viene calcolata come il rapporto tra le 160 unità di energia utile e l'energia primaria complessivamente utilizzata;
- ? L'efficienza energetica viene definita come Rendimento Energetico, ovvero la quantità di lavoro eseguita o di profitto ottenuto per unità di risorsa energetica impiegata:

$$\text{Efficienza Energetica} = \text{Energia Utile} / \text{Energia Primaria}$$

- ? La tabella evidenzia come, nel caso di produzione separata, per produrre 160 unità di energia utile, sono state consumate 297 unità di energia primaria con un'efficienza totale del 54%.



# PERCHE' LA COGENERAZIONE?

## Produzione energetica separata

Energia	Energia utile	Efficienza	Energia primaria
Elettrica	60	0.33	182
Termica	100	0.87	115
Totale	160		297
Efficienza energetica complessiva		0.54	

## Cogenerazione

Energia	Energia utile	Efficienza	Energia primaria	Riduzione %
Elettrica	60			
Termica	100			
Totale	160		195	- 34 %
Efficienza energetica complessiva		0.82		



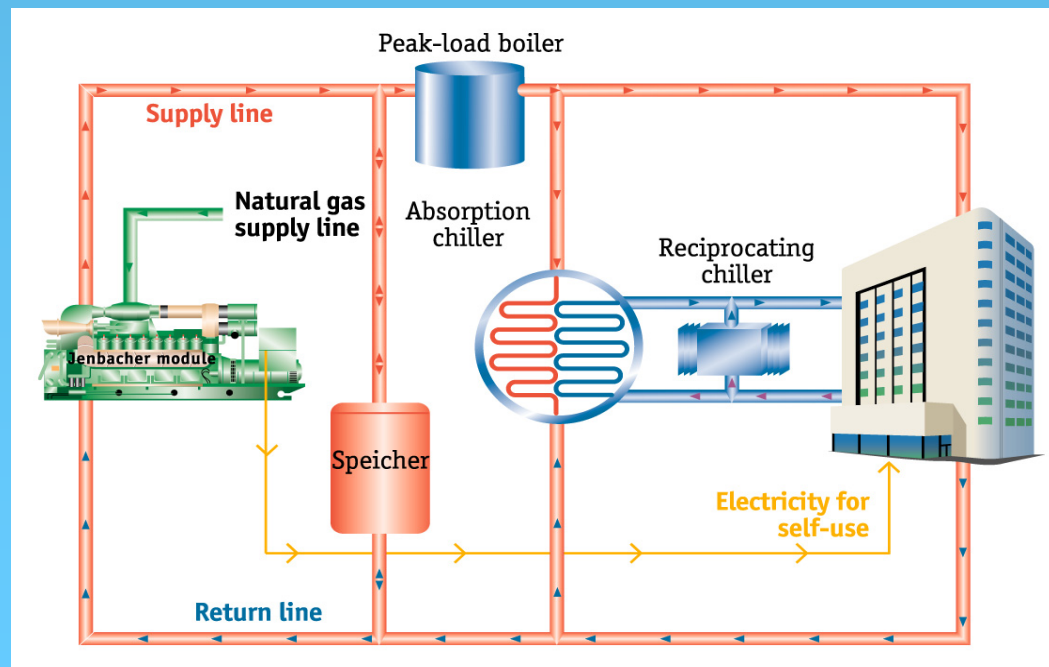


# TRIGENERAZIONE

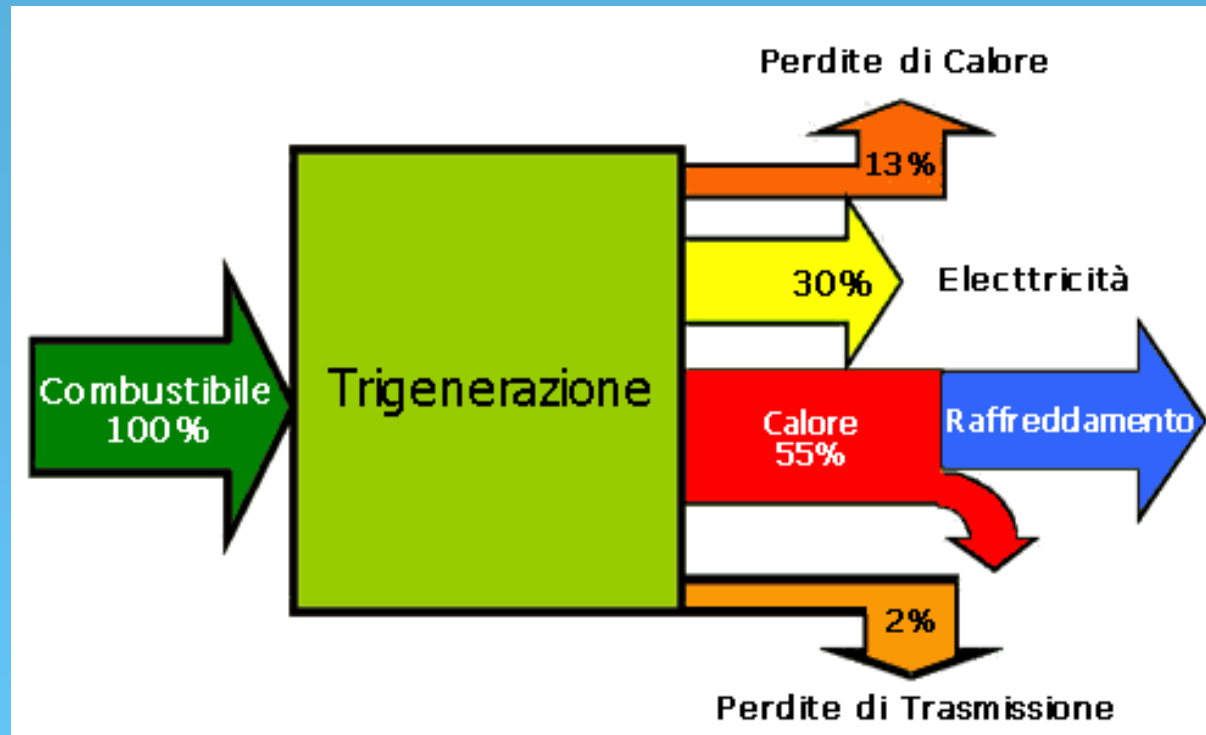
Produzione contemporanea di elettricità, calore e freddo (acqua refrigerata per condizionamento o processi industriali) utilizzando un solo combustibile

E' costituita da un sistema di cogenerazione (CHP) combinato con gruppo frigo ad assorbimento.

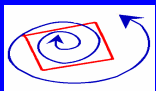
L'acronimo che la distingue è CHCP = Combined Heat, Cooling & Power



# BILANCIO ENERGETICO



Rendimenti fino all'85% con le migliori tecnologie di trigenerazione



# COGENERAZIONE E GENERAZIONE DISTRIBUITA

## I VANTAGGI (economici, ambientali e sociali)

- ? Costi energetici inferiori dati dal maggiore rendimento;
- ? Migliore qualità dell'energia e indipendenza energetica;
- ? Riduzione delle perdite di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica;
- ? Riduzione dell'emissione in atmosfera. In media per ogni kWh prodotto si ha un risparmio di CO<sub>2</sub> pari a 450 g rispetto alla produzione separata di elettricità e calore;
- ? Possibilità di generazione in zone isolate e poco accessibili;
- ? Nuove opportunità per gli operatori del mercato energetico.



# COGENERAZIONE E GENERAZIONE DISTRIBUITA

## LE BARRIERE (tecniche e burocratiche)

- ? Passaggio da reti elettriche passive a reti attive;
- ? Iter burocratici lunghi e costosi sproporzionati rispetto alla taglia dei generatori;
- ? Incertezza sulla dinamica futura del mercato del gas e dell'energia elettrica;
- ? Scarsa presenza di microreti di teleriscaldamento e raffrescamento.



# PROGETTAZIONE E SCELTA DEI SISTEMI DI TRIGENERAZIONE

Punto di partenza:

Caratterizzazione energetica dell'utenza



Soluzione ottimale dal punto di vista tecnico

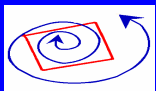


Fattibilità economica



# CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DELL'UTENZA

1. Analisi della situazione energetica dello “stato di fatto”:
  - ? Determinazione delle richieste energetiche delle varie utenze, comprendendo:
    - ? Domanda di energia elettrica;
    - ? Domanda di energia termica;
    - ? Domanda di energia frigorifera.
  - ? Determinazione dei sistemi di distribuzione dell'energia;
  - ? Determinazione dei parametri indicizzati dei consumi;
  - ? Determinazione dei costi per la distribuzione energetica.



# CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DELL'UTENZA

2. Valutazione della domanda futura;
3. Valutazione tecnica;
4. Valutazione economica.



# DEFINIZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO DELL'UTENZA

**1. Analisi e registrazione**, nel corso dei tre anni precedenti l'inizio delle verifiche, **dei consumi di:**

? Combustibili;

? Acqua calda;

? Vapore;

? Acqua fredda;

? Elettricità.





# DEFINIZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO DELL'UTENZA

## 2. Costruzione dei diagrammi di carico:

? Giornalieri;

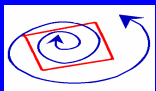
? Mensili;

? Annuali.

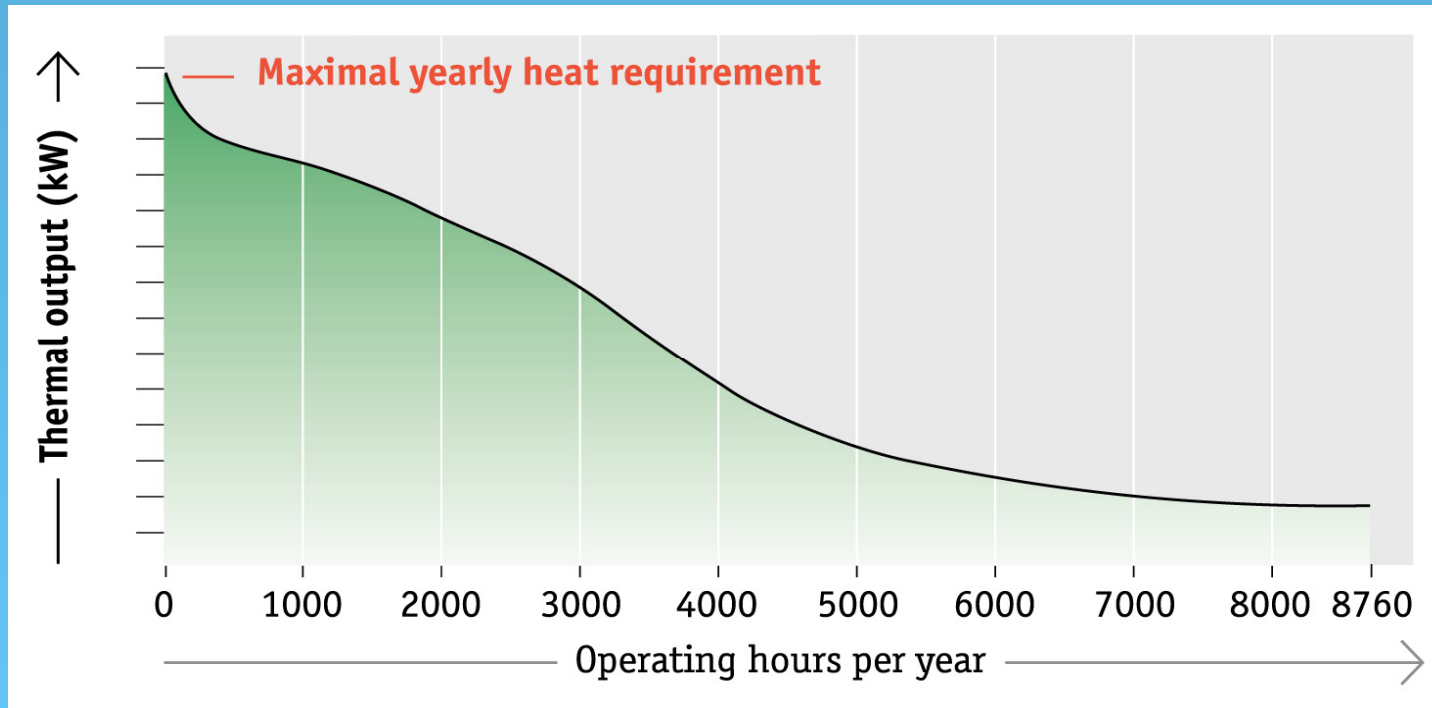
## 3. Determinazione del fattore di utilizzo $K_u$ o di carico degli impianti: $K_u = P / P_n$

? P: potenza effettivamente assorbita;

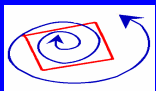
?  $P_n$ : potenza nominale (di dimensionamento).



# DEFINIZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO DELL'UTENZA



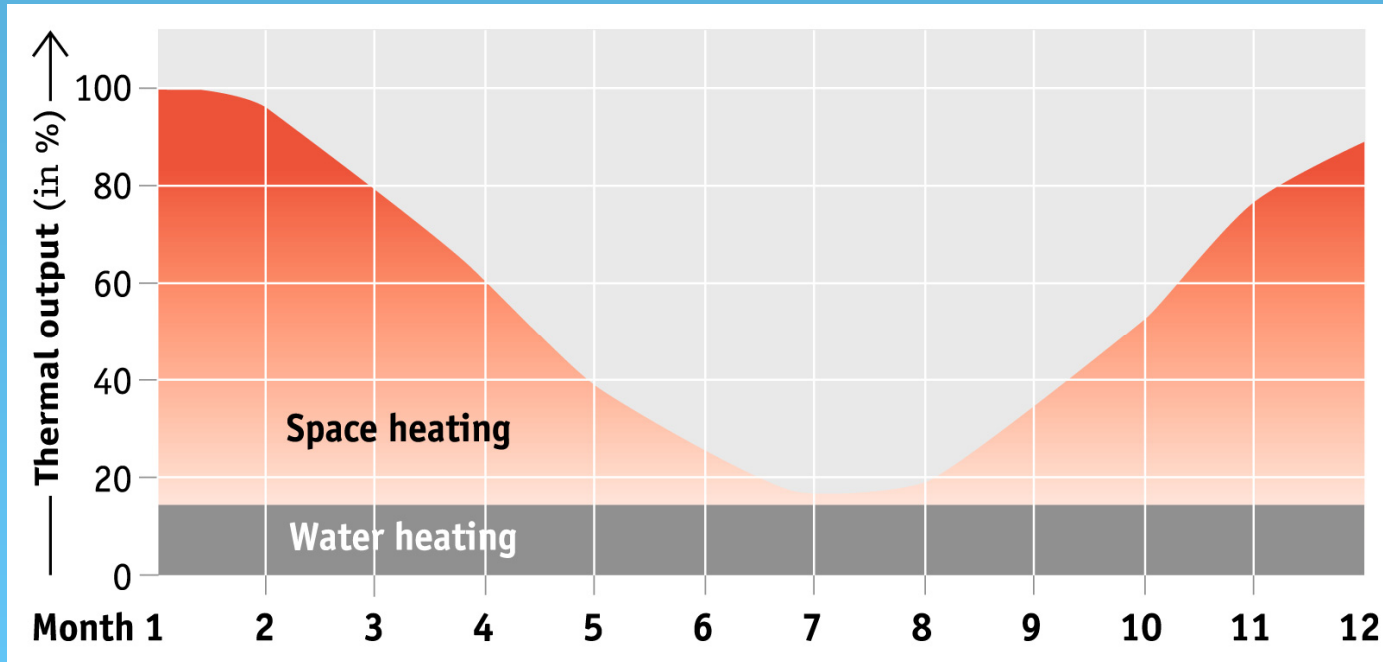
Curva di carico termico per un sistema di CHP in funzione del tempo



Progetto Energia srl

Energy Services Company

# DEFINIZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO DELL'UTENZA



Andamento % di Ku "termico" per un sistema di CHP (riscaldamento ed acqua sanitaria) su base mensile



# DEFINIZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO DELL'UTENZA

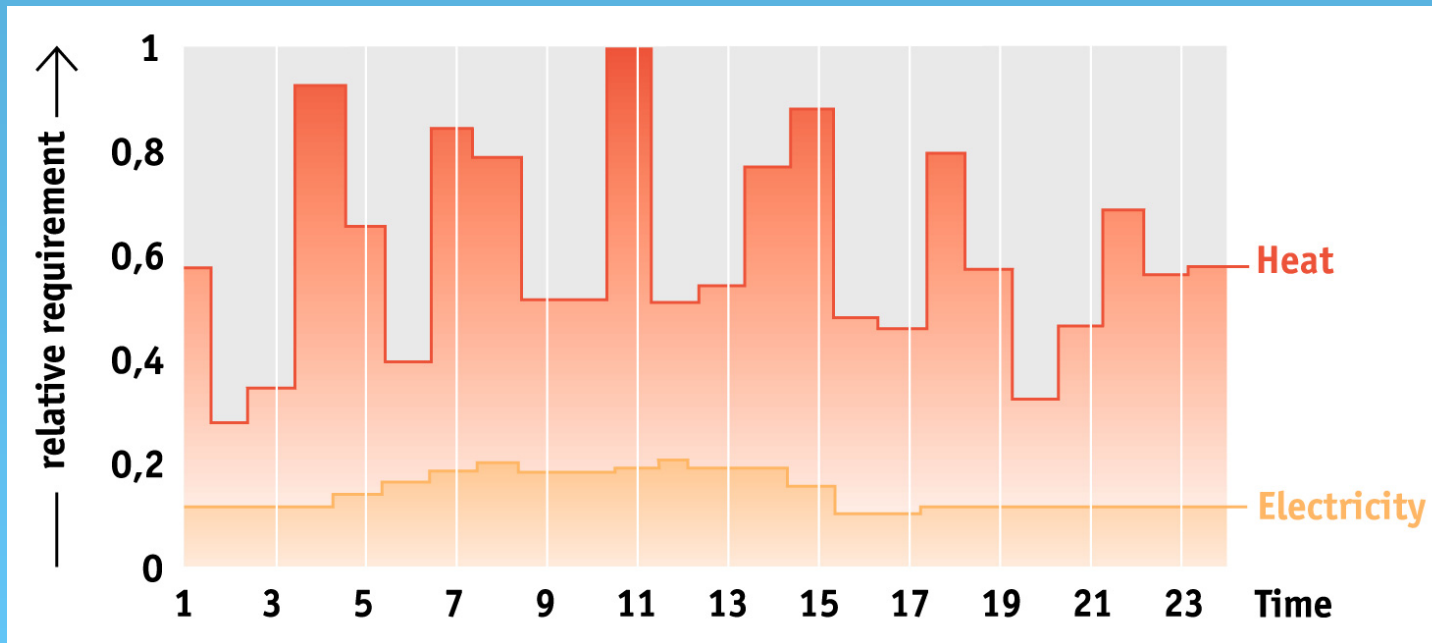
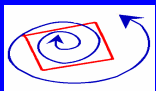
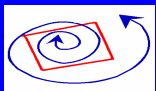
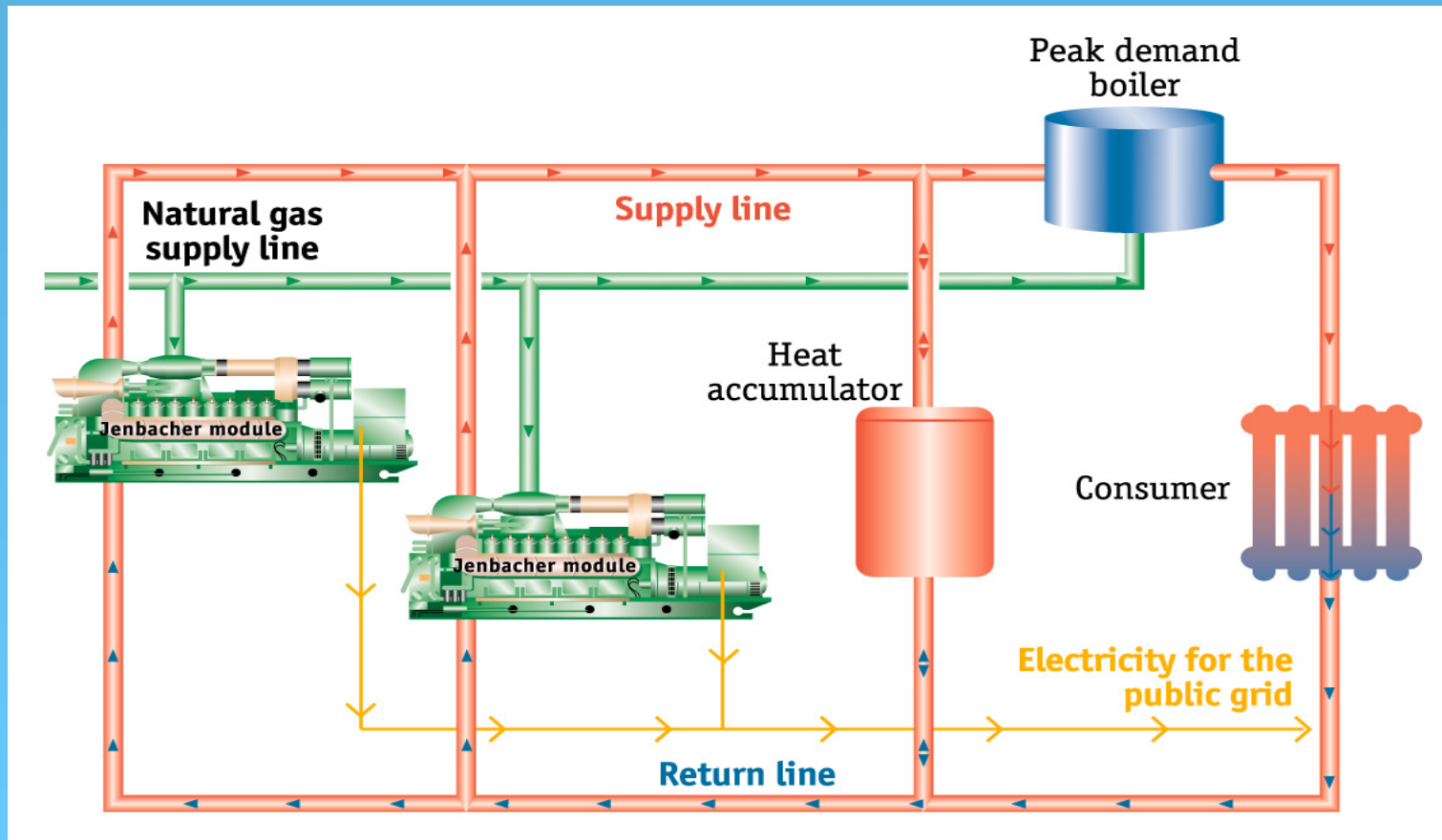


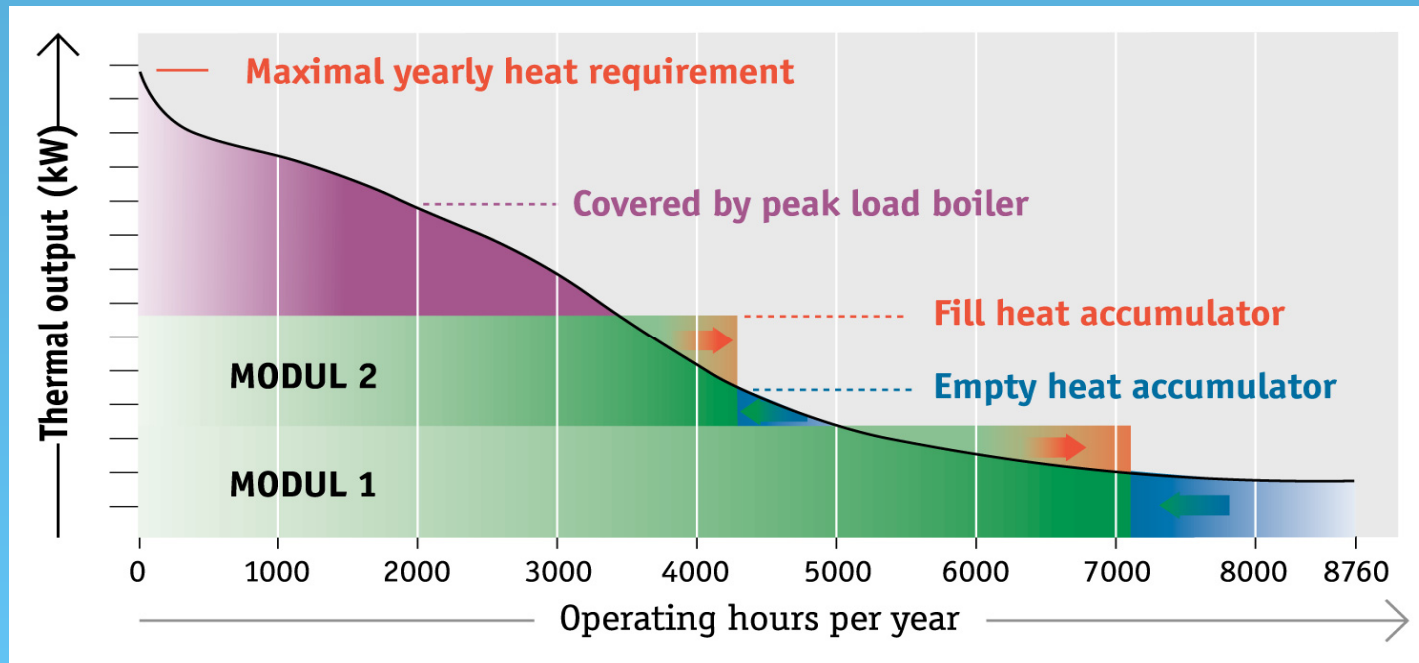
Diagramma di carico giornaliero tipico su base percentuale  
(raccolta dati digitali con sistemi di supervisione)



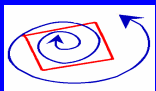
# UTILIZZO DEL DIAGRAMMA DI CARICO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO



# UTILIZZO DEL DIAGRAMMA DI CARICO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO



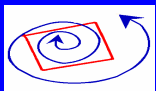
- ? Cogeneratori;
- ? Caldaia ausiliaria;
- ? Serbatoio d'accumulo;
- ? Ore di utilizzazione annue.



# CONSIDERAZIONI ECONOMICHE

4. Analisi del trend energetico futuro nell'ottica del "business as usual". I parametri da tenere presente sono:

- ? Capitale investito:  
E' l'esborso finanziario per la realizzazione dell'intervento.
- ? Costo del capitale:  
E' il costo medio dei mezzi di finanziamento comprensivo degli interessi passivi e delle variazioni dei costi in opera.
- ? Vita economica dell'impianto:  
Coincide con gli anni di ammortamento, anche se la vita tecnica è maggiore.
- ? Costi di gestione e manutenzione.
- ? Tasso di inflazione.



# CONSIDERAZIONI ECONOMICHE

- ? Pay back semplice:  
E' il tempo (anni) occorrente per il recupero dell'investimento ( $I$ ) considerando costante il costo del denaro:  $PBS = I/R$   
 $R$  = risparmio ottenuto negli anni.
  
- ? Valore attuale netto VAN:  
E' una valutazione economica di un investimento che tiene conto delle seguenti variabili:
  - ? Tasso di inflazione;
  - ? Tasso di sconto reale;
  - ? Risparmi conseguiti;
  - ? Variazioni dei costi di gestione nel tempo;
  - ? Ammortamenti e tasse.





# CONSIDERAZIONI ECONOMICHE

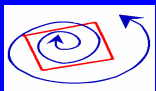
Il VAN rappresenta il risparmio conseguibile con l'impianto realizzato rispetto alla soluzione tradizionale. Al termine della vita utile dovrà quindi essere il più alto possibile.

- ? Tasso interno di redditività, IRR:  
E' il tasso di sconto nominale che al termine del 20° anno annulla il VAN, la somma dei benefici uguaglia la somma dei costi. Maggiore è la differenza tra IRR e costo del denaro, più è redditizio l'investimento.



## LIMITAZIONI

- ? La domanda di calore deve essere a bassa temperatura, la convenienza svanisce a temperature elevate;
- ? Dato che elettricità e calore sono non accumulabili, le due richieste devono essere contemporanee;
- ? Le richieste di calore ed elettricità si devono manifestare nello stesso luogo per eliminare i costi del trasporto energetico;
- ? Il rapporto calore ed elettricità richiesti dalle utenze devono essere uguali a quelli offerti dalle macchine;
- ? Le domande energetiche devono presentarsi per un elevato numero d'ore l'anno;
- ? È inevitabile prevedere l'intervento di una fonte energetica convenzionale d'integrazione.



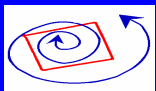
# SISTEMI DI COGENERAZIONE

- ? Turbina a gas (ciclo Brayton);
  - ? Turbina a vapore (ciclo Rankine);
  - ? Cicli combinati;
  - ? Motori endotermici (diesel, gas, gpl, biogas);
  - ? Celle a combustibili;
  - ? Motori Stirling.
- ? Forme assimilate di cogenerazione:
- ? Azionamento di pompe di calore con motore a gas per climatizzazione;
  - ? Azionamento di macchine frigorifere con cicli ad assorbimento.



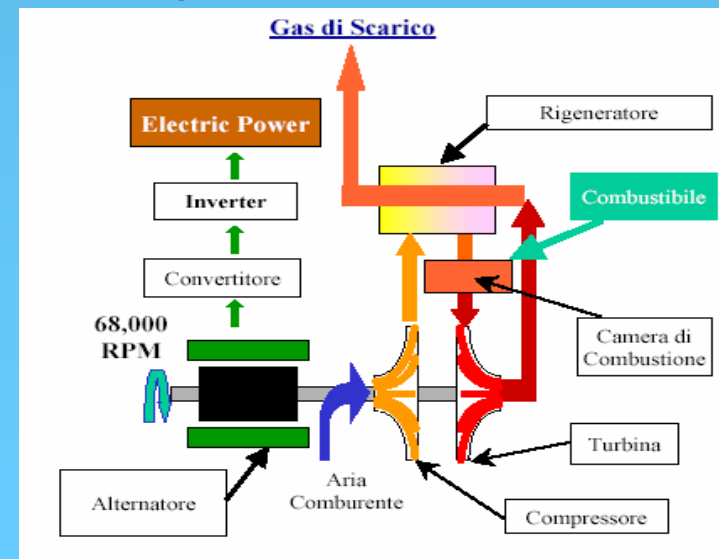
# Turbina a gas (ciclo Bryton)

<b>Potenza (MW)</b>	0,2 ? 100 (anche maggiori).
<b>Tipo configurazione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbina a gas a ciclo aperto;</li> <li>• Turbina a gas a ciclo chiuso.</li> </ul>
<b>Funzionamento</b>	Ciclo Bryton. Il compressore impiega il 65% dell'energia prodotta dalla turbina, mentre il 35% è disponibile come potenza meccanica per la conversione in potenza elettrica. Il calore dei gas di scarico viene recuperato con caldaie di recupero.
<b>Condizioni di funzionamento</b>	Combustione con eccesso di aria (15 ? 16%). La temperatura più alta del ciclo è attualmente di 1300 °C. I gas di scarico vengono liberati a 450 ? 600 °C.
<b>Tipo Combustibile</b>	Qualsiasi tipo liquido o gassoso "pulito". Nelle turbine a ciclo chiuso si possono usare anche rifiuti industriali e urbani.
<b>Efficienza</b>	60 ? 85%.
<b>Rapporto elettricità calore (PHR)</b>	0.5 ? 0.8.
<b>Vantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basso costo iniziale e alta disponibilità;</li> <li>• Alta efficienza per grosse taglie;</li> <li>• Polialimentazione di combustibile;</li> <li>• Elevate temperature dei gas di scarico;</li> <li>• Immediata risposta alle variazioni di carico;</li> <li>• Lungo ciclo di vita 15 ? 20 anni.</li> </ul>
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizzo di combustibili di alta qualità;</li> <li>• Alta pressione di alimentazione per il gas naturale;</li> <li>• Personale specializzato per il funzionamento.</li> </ul>
<b>Periodo di installazione</b>	9 ? 11 mesi per piccole unità, fino a 2 anni per sistemi più grandi.



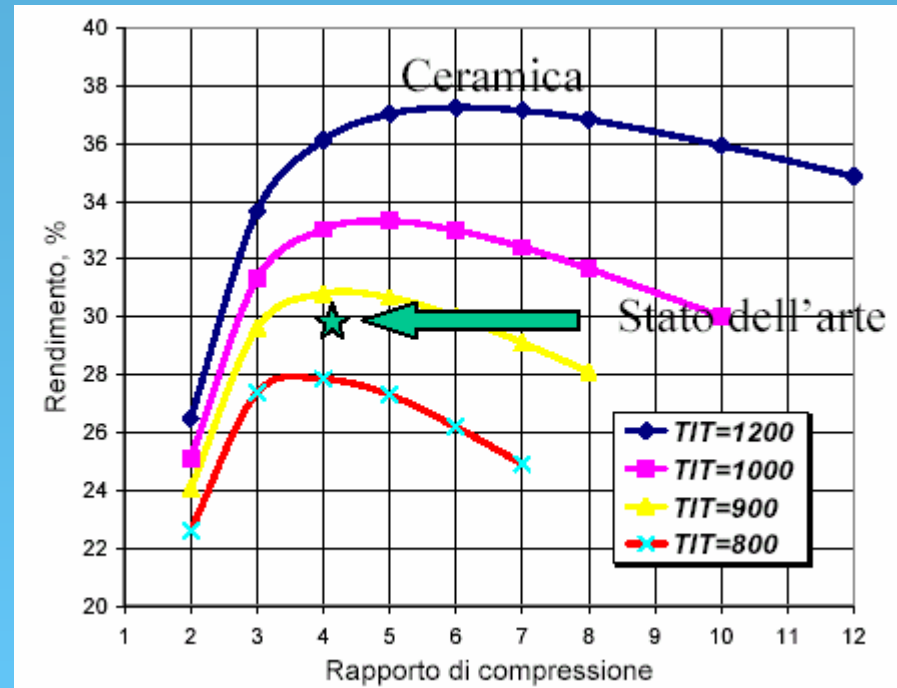
# MICROTURBINE A GAS

- ? Taglia da 30 a 200 kWel;
- ? Utilizzo di turbomacchine radiali invece che assiali;
- ? Adozione del ciclo rigenerativo (rapporto di compressione basso ? 4);
- ? Turbina non raffreddata;
- ? Eliminazione del riduttore di giri meccanico;
- ? Adozione della conversione statica di frequenza.



# MICROTURBINE A GAS

## RENDIMENTO



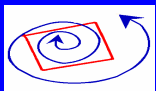
Potenza elettrica	Potenza termica (acqua calda)	Consumo gas metano	Rendimento elettrico	Rendimento termico (acqua calda)	Rendimento totale
[kW]	[kW]	[mc/h]	[%]	[%]	[%]
30	62	13	26	49	75
60	127	25	25	53	78
80	154	30	28	54	82
100	167	36	30	48	78



# MICROTURBINE A GAS

## PRINCIPALI MACCHINE PRESENTI SUL MERCATO

Costruttore	Potenza (kW)	Rendimento (LHV)	Tmax (°C)	$\beta$	Portata aria (kg/s)	n° giri/m
Honeywell Power Systems "Parallon 75"	75	30%	1.010	3,8	0,68	75.000
Capstone	30	28%	900	3,3	n.d.	96.000
Elliott Turbomachinery Co. "TA 45"	45	30%	1.010	4	0,41	116.000
Elliott Turbomachinery Co. "TA 80"	80	30%	1.010	4	0,835	68.000
Norton Research - NREC	70	33%	700	3	n.d	n.d
Volvo/ABB "T100"	100	30%	910	4,1	0,8	70.000



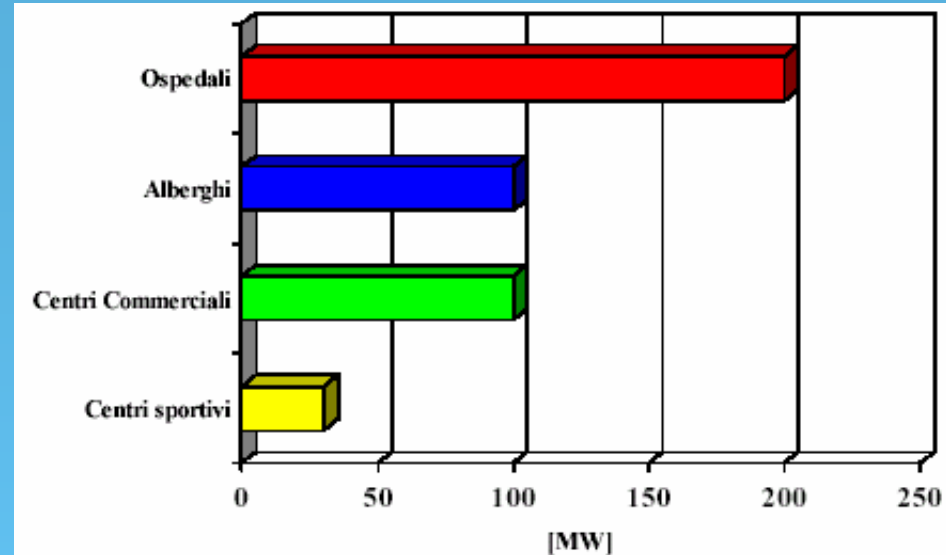
# MICROTURBINE A GAS

- ? **Efficienza energetica:** rendimenti elevati e costi ridotti permettono vantaggi economici e gestionali;
- ? **Costi specifici di acquisto:** concorrenziali rispetto alle tecnologie alternative (circa 600 €/kWel);
- ? **Facilità di gestione e telecontrollo:** la modalità di controllo a microprocessore semplifica la gestione dell'impianto, anche a distanza;
- ? **Manutenzione:** notevolmente ridotta e a costi sensibilmente inferiori;
- ? **Basso impatto acustico;**
- ? **Tutela ambientale:** emissioni inquinanti contenute ed inferiori alle tecnologie concorrenti (motori alternativi);
- ? **Modularità:** configurazioni adeguate al fabbisogno energetico;
- ? **Elevato rapporto potenza/peso;**
- ? **Flessibilità ai carichi parziali;**
- ? **Durata:** circa 60.000 ore con normali intervalli manutentivi;





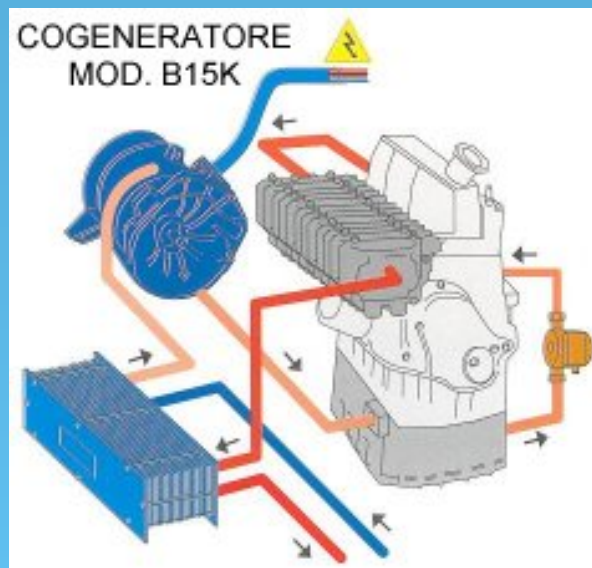
# STIMA DEL MERCATO POTENZIALE NEL TERZIARIO



- ? Utenze terziarie caratterizzate da consistenti variazioni stagionali di carico;
- ? Necessità di utilizzo di caldaia integrativa o pompa di calore;
- ? Funzionamento ottimale a potenza nominale con eventuale cessione alla rete del surplus elettrico nelle ore piene;



# MICROCOGENERAZIONE CON MOTORI ENDOTERMICI



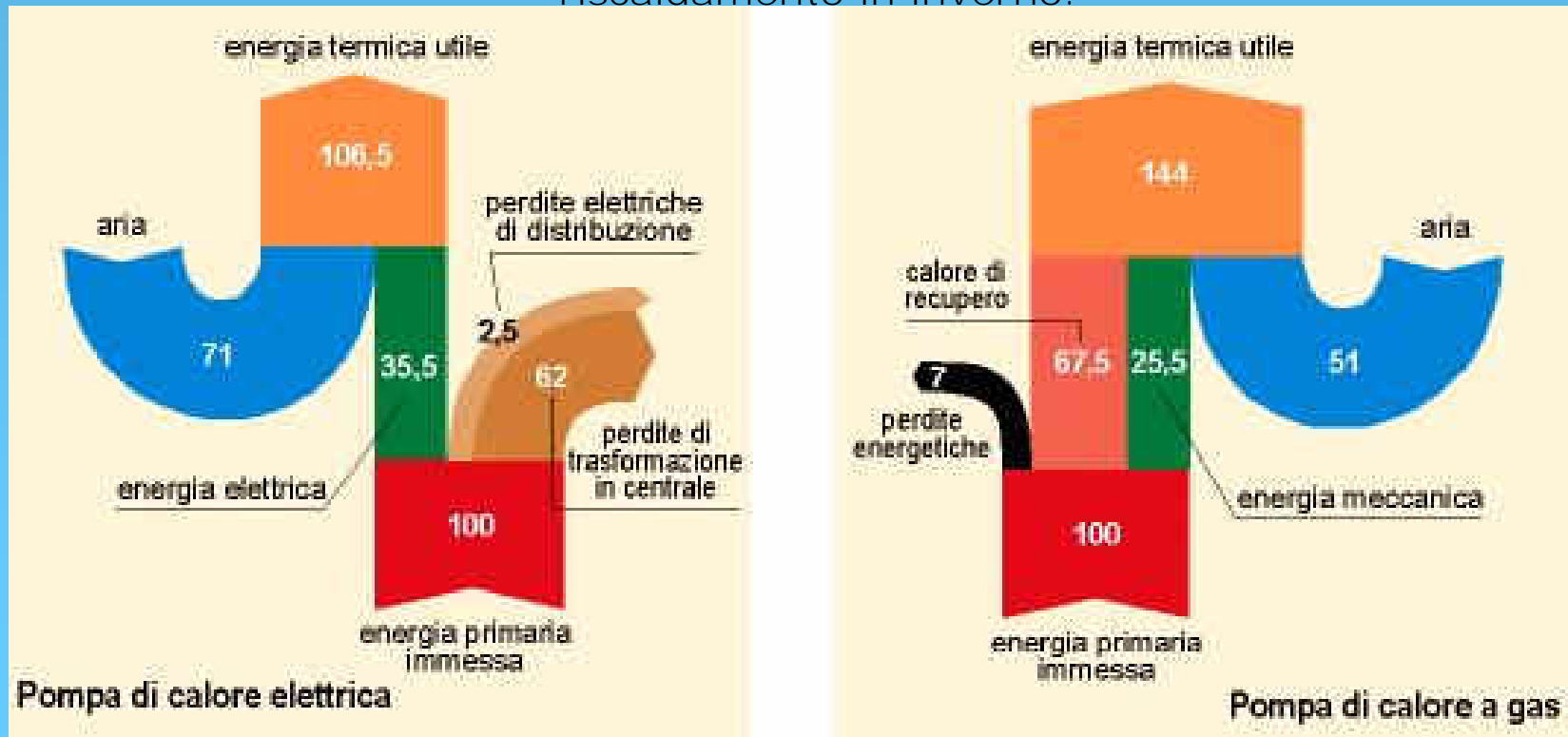
<b>Potenza in ingresso (kw)</b>	56,2
<b>Potenza termica resa (kw)</b>	39
<b>Potenza elettrica resa (kw)</b>	15
<b>Consumo metano (mc/h)</b>	5.7
<b>Consumo GPL (kg/h)</b>	4.2
<b>Temperatura massima acqua in ingresso (°C)</b>	70
<b>Temperatura massima acqua in ingresso (°C)</b>	80
<b>Rendimento (ipotizzato dal costruttore)</b>	96 %



# FORME ASSIMILATE DI COGENERAZIONE

## Pompe di calore alimentate a gas

Sono cogeneratori costituiti da un motore endotermico alimentato a gas accoppiato ad un compressore frigorifero funzionante in pompa di calore. Sono dotati di circuiti separati per la produzione di acqua calda ed energia frigorifera in estate, energia per riscaldamento in inverno.



# FORME ASSIMILATE DI COGENERAZIONE

## Rendimenti

- ? La comparazione in termini di efficienza con la pompa di calore elettrica, a parità di energia primaria consumata, è effettuata sulla base dei seguenti parametri:
  - ? Aria esterna utilizzata come sorgente fredda;
  - ? Identiche condizioni operative dei cicli frigoriferi;
  - ? COP pari a 3;
  - ? Rendimento convenzionale del sistema elettrico pari al 38%.
  
- ? Dal confronto si deduce che il rapporto tra l'energia termica utile e l'energia primaria utilizzata dalla pompa di calore elettrica è del 106,5%, contro il 144% della pompa di calore endotermica a gas. Questo elevato valore di rendimento si abbina positivamente alle riduzioni del prezzo del gas dovuto alle agevolazioni che le maggiori aziende distributrici praticano per i consumi estivi consentendo un rapido rientro dell'investimento.



# SISTEMI DI COGENERAZIONE

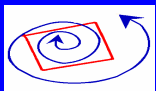
## Turbina a vapore (ciclo Rankine)

<b>Potenza (MW)</b>	0,5 ? 100 (anche maggiori)
<b>Tipo configurazione</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contropressione (scarico a pressione atmosferica o maggiore);</li><li>• Condensazione (scarico a pressione atmosferica o inferiore);</li><li>• Ciclo Bottoming;</li><li>• Ciclo Bottoming Rankine con fluido organico.</li></ul>
<b>Funzionamento</b>	Ciclo Rankine base o con riscaldamento del vapore e preriscaldamento rigenerativo dell'acqua.
<b>Condizioni di funzionamento</b>	Per cogenerazione la pressione può arrivare a 100 bar. Il surriscaldamento può raggiungere 540 °C. L'affidabilità e la disponibilità possono raggiungere il 95 %.
<b>Tipo Combustibile</b>	Qualsiasi tipo, anche nucleare, RES e prodotti di scarto.
<b>Efficienza</b>	60 ? 85%.
<b>Rapporto elettricità calore (PHR)</b>	Basso, 0.1?0.5.
<b>Vantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Impiego di qualsiasi combustibile;</li><li>• Vapore a temperatura e pressione qualsiasi;</li><li>• Lungo ciclo di vita (25?35 anni).</li></ul>
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costruzione di grande dimensione;</li><li>• Lenta risposta alle variazioni di carico;</li><li>• Alto costo iniziale;</li><li>• Bisogno di vapore ad alta entalpia.</li></ul>
<b>Periodo di installazione</b>	12 ? 18 mesi per piccole unità, fino a 3 anni per sistemi più grandi.



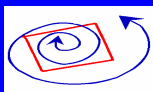
# Cicli combinati

<b>Potenza (MW)</b>	4 ? 100. Ci sono sistemi CCGT di 400 MW.
<b>Tipo configurazione</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ciclo combinato Joule-Rankine;</li><li>• Ciclo combinato Diesel-Rankine.</li></ul>
<b>Funzionamento</b>	Combinazione di turbina a gas e vapore con una caldaia di recupero tra le stesse.
<b>Condizioni di funzionamento</b>	Il sistema più impiegato è il ciclo Joule-Rankine. La massima temperatura del vapore senza alimentazione supplementare è di 25 ? 40 °C più bassa di quella dei gas di scarico della turbina. La pressione del vapore può raggiungere 80 bar. Per temperature e pressioni maggiori è richiesta una post-combustione. Con alimentazione addizionale, la temperatura del vapore può arrivare a 540 °C e la pressione a 100 bar.
<b>Tipo Combustibile</b>	Stessi combustibili delle turbine a gas.
<b>Efficienza</b>	70 ? 90%.
<b>Rapporto elettricità calore (PHR)</b>	0.6 ? 2.0.
<b>Vantaggi</b>	Efficienza elevata derivante sia dal sistema a gas che da quello a vapore.
<b>Svantaggi</b>	Diseconomico per piccole installazioni.
<b>Periodo di installazione</b>	9 ? 11 mesi per piccole unità, fino a 2 anni per sistemi più grandi.
<b>Ciclo di vita</b>	15 ? 25 anni.



# Motori endotermici

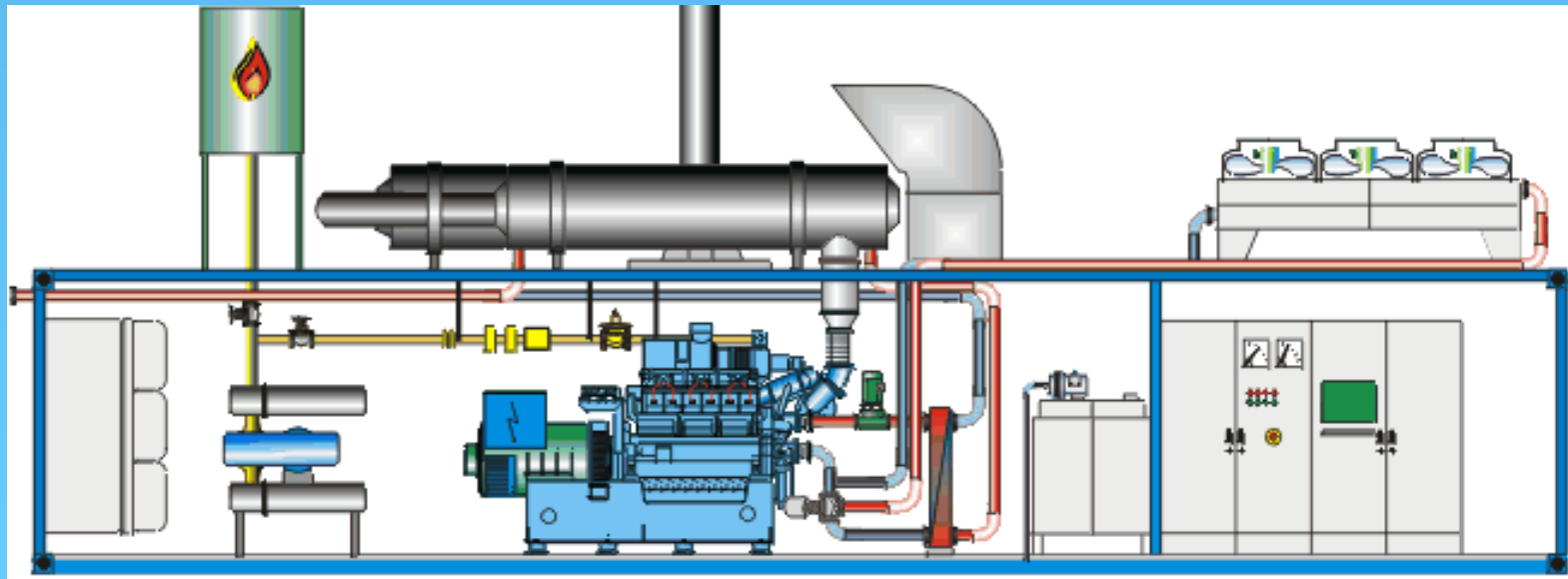
<b>Potenza (MW)</b>	0,015 ? 2. Applicazioni particolari fino a 6 MW.
<b>Tipo configurazione</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ciclo Otto;</li><li>• Ciclo Diesel.</li></ul>
<b>Funzionamento</b>	Ciclo Bryton. Il compressore impiega il 65% dell'energia prodotta dalla turbina, mentre il 35% è disponibile come potenza meccanica per la conversione in potenza elettrica. Il calore dei gas di scarico viene recuperato con caldaie di recupero.
<b>Condizioni di funzionamento</b>	Condizioni di funzionamento standard per i cicli Otto e Diesel.
<b>Tipo Combustibile</b>	Ampia varietà di combustibili liquidi o gassosi.
<b>Efficienza</b>	70 ?85%.
<b>Rapporto elettricità calore (PHR)</b>	0. 8 ?2.4.
<b>Vantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Il calore recuperato non incide sulla produzione di energia meccanica;</li><li>• Disponibilità 80 ? 90 %;</li><li>• Calore disponibile a due livelli di temperatura (gas di scarico e fluidi di raffreddamento);</li><li>• Buona risposta alle variazioni di carico;</li><li>• Versatilità con più motori in parallelo.</li></ul>
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Macchine più complesse rispetto alle turbine;</li><li>• Difficoltà nel controllo del rumore, specialmente per i motori Diesel.</li></ul>
<b>Periodo di installazione</b>	Breve, 9 ?12 mesi.
<b>Ciclo di vita</b>	Per piccole unità, 10.000 ?30.000 ore; Per grandi unità, 3 ? 6 MW 15 ?20 anni.



# Motori endotermici a biogas

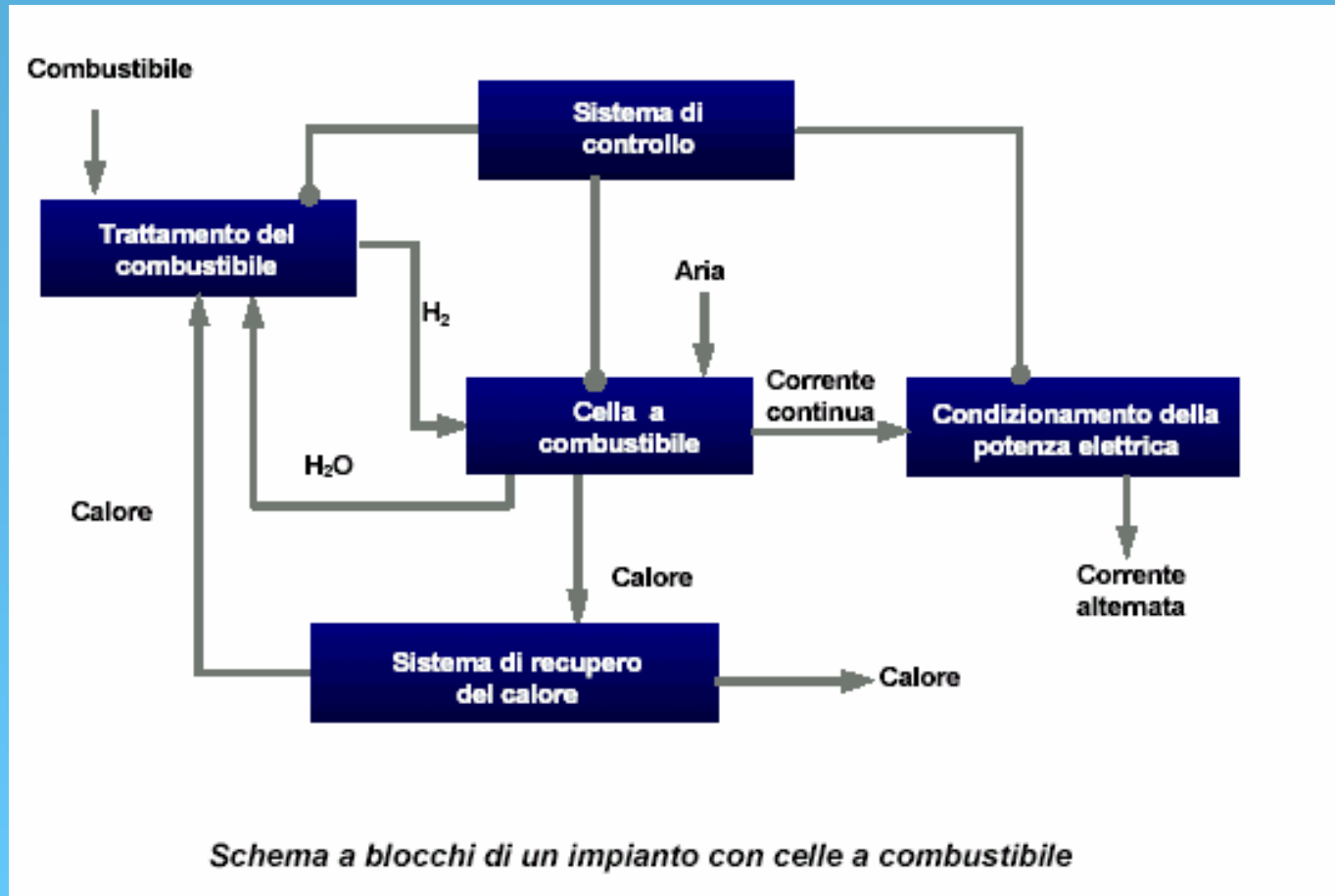
Il biogas deriva dalla trasformazione anaerobica delle sostanze organiche contenuti nei rifiuti ed è costituito, mediamente, dal 50 al 60% di metano, anidride carbonica, composti solforati ed acqua.

Il recupero è possibile da tutti i tipi di impianti (anche di medie e piccole dimensioni) che trattano rifiuti organici.





# Celle a combustibile



## Celle a combustibile

<b>Potenza (MW)</b>	0,01 ? 0.4
<b>Tipo configurazione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cella a combustibile alcalina (AFC), applicazioni spaziali;</li> <li>• Cella a combustibile a polimeri elettroliti (PEFC);</li> <li>• Cella a combustibile ad acido fosforico (PAFC);</li> <li>• Cella a combustibile a carbonati fusi (MCFC);</li> <li>• Cella a combustibile ad ossidi solidi (SOFC).</li> </ul>
<b>Funzionamento</b>	Conversione di energia chimica del combustibile in elettricità senza combustione produzione di energia meccanica, ma con emissione di calore.
<b>Condizioni di funzionamento</b>	A seconda del tipo di elettrolito, la temperatura è compresa tra 80 e 1000 °C. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moduli PAFC, 400 kW a 400 °C;</li> <li>• Moduli MCFC, 50 100 kW a 1100 °C;</li> <li>• Moduli sperimentali SOFC 25 kW a 1100 °C.</li> </ul>
<b>Tipo Combustibile</b>	Idrogeno puro, gas naturale, metanolo.
<b>Efficienza</b>	85 ? 90%.
<b>Rapporto elettricità calore (PHR)</b>	0. 8 ? 1.0.
<b>Vantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funzionamento silenzioso;</li> <li>• Efficienza elevata e costante con i carichi;</li> <li>• Costruzione modulare;</li> <li>• Assenza di parti in movimento;</li> <li>• Bassissimo impatto ambientale.</li> </ul>
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevato costo iniziale;</li> <li>• Elevati costi di manutenzione.</li> </ul>
<b>Periodo di installazione</b>	Breve.
<b>Ciclo di vita</b>	Breve.

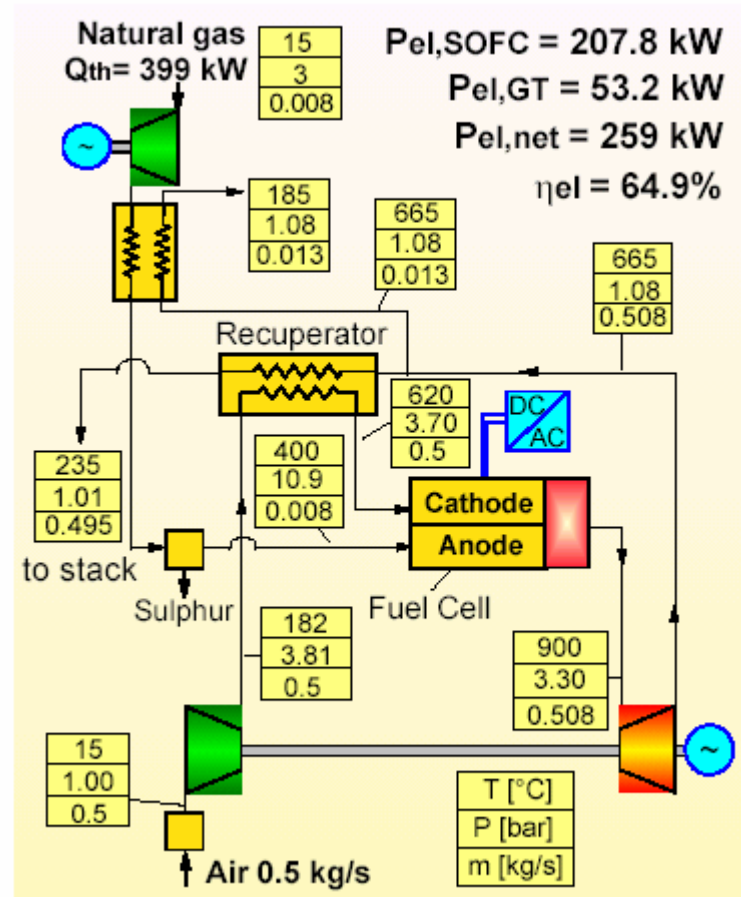


# Celle a combustibile

## Cicli ibridi con turbina a gas

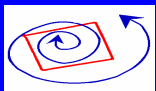
### SOFC + GT cycle configuration

200 kW SOFC +  
50 kW microturbine;  
65% LHV net electric  
efficiency  
and 230°C exhaust  
gas for cogeneration

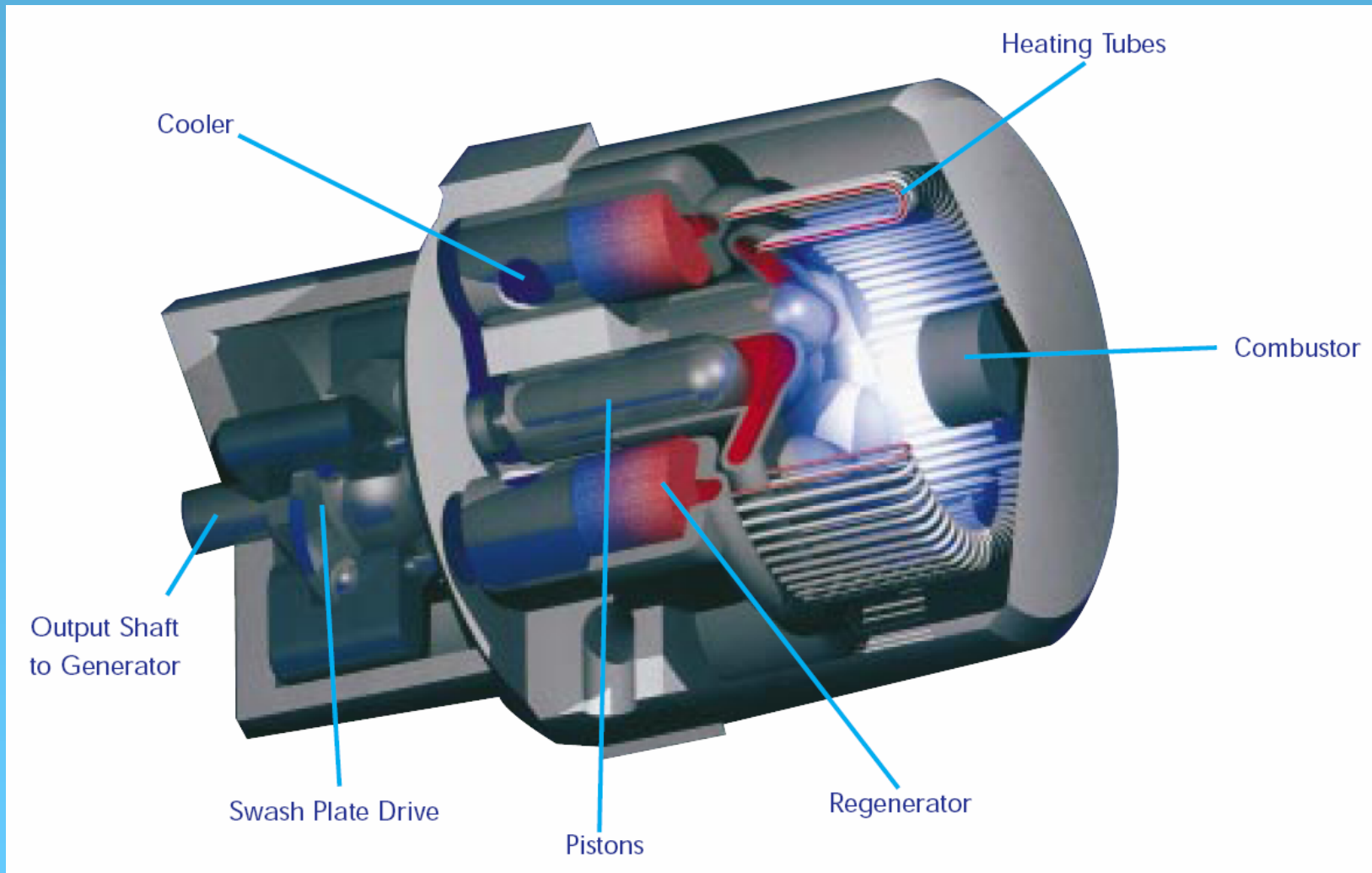


# Motori Stirling

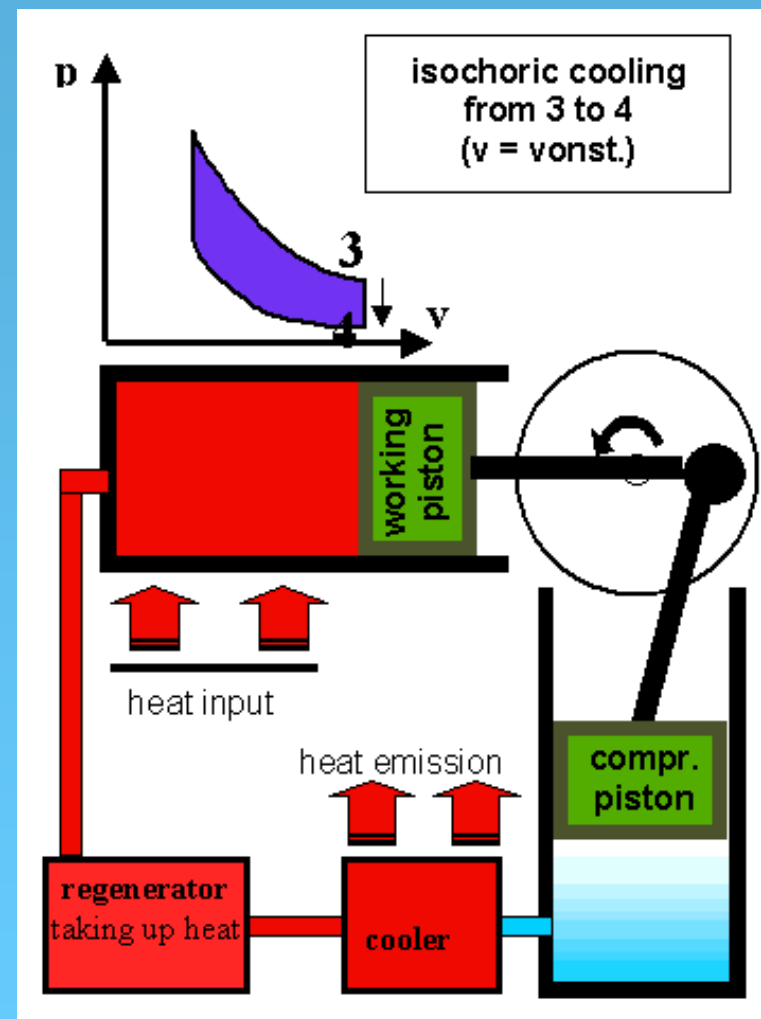
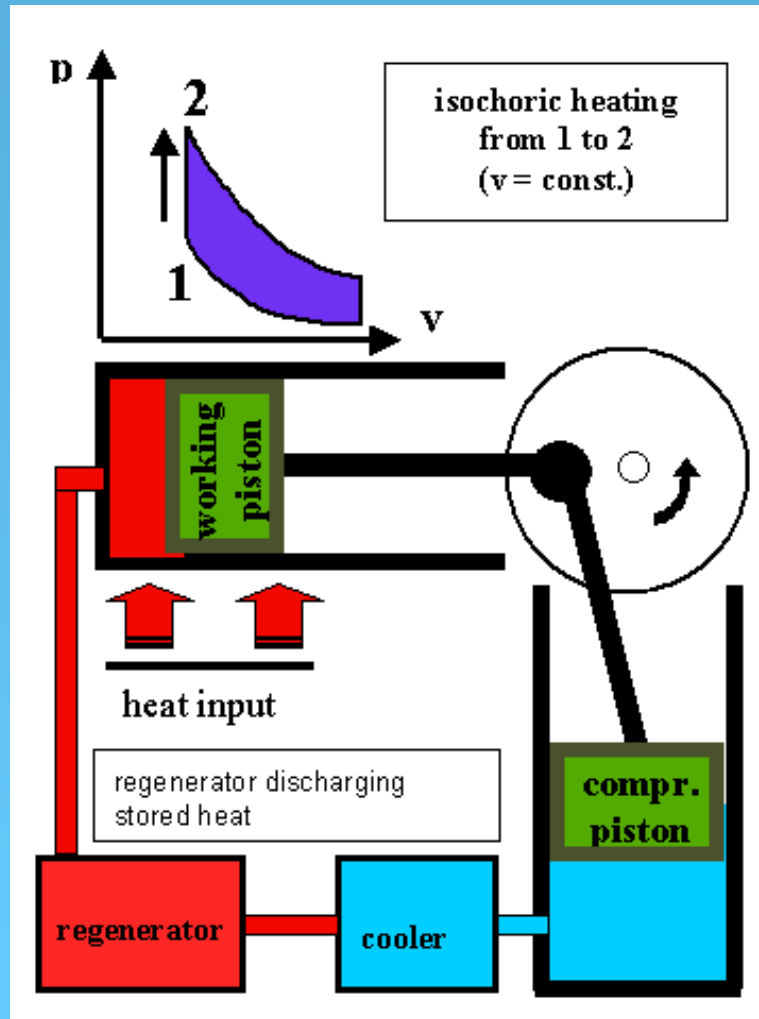
<b>Potenza (MW)</b>	0,003 ? 1.5
<b>Tipo configurazione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alfa: due pistoni collocati in cilindri separati connessi in serie da unità di rigenerazione e raffreddamento;</li> <li>• Beta: i pistoni di compressione e i pistoni di trasferimento sono collocati nello stesso cilindro;</li> <li>• Gamma: i pistoni di compressione e i pistoni di trasferimento sono collocati in cilindri separati.</li> </ul>
<b>Funzionamento</b>	Conversione di energia chimica del combustibile in elettricità senza combustione produzione di energia meccanica, ma con emissione di calore.
<b>Condizioni di funzionamento</b>	Il calore è fornito esternamente al cilindro e trasmesso al gas in esso contenuto che si espande e genera il movimento del pistone. Il gas operante funziona all'interno di un ciclo chiuso e non partecipa alla combustione. Le parti in movimento non sono esposte ai prodotti della combustione.
<b>Tipo Combustibile</b>	Liquidi o gassosi, carbone, prodotti di liquefazione e gassificazione del carbone, biomassa, ecc. Possibilità di cambiare il combustibile senza apportare modifiche al motore. Possibilità di utilizzare l'energia nucleare o solare.
<b>Efficienza</b>	65 ? 85%.
<b>Rapporto elettricità calore (PHR)</b>	1. 2 ? 1.7.
<b>Vantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funzionamento più silenzioso e con meno vibrazioni rispetto ai motori alternativi a combustione interna;</li> <li>• Buone prestazioni ai carichi parziali;</li> <li>• Flessibilità di alimentazione.</li> </ul>
<b>Periodo di installazione</b>	Breve.
<b>Ciclo di vita</b>	15 ? 20 anni.



# Motori Stirling

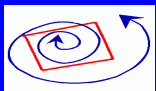


# Motori Stirling Ciclo

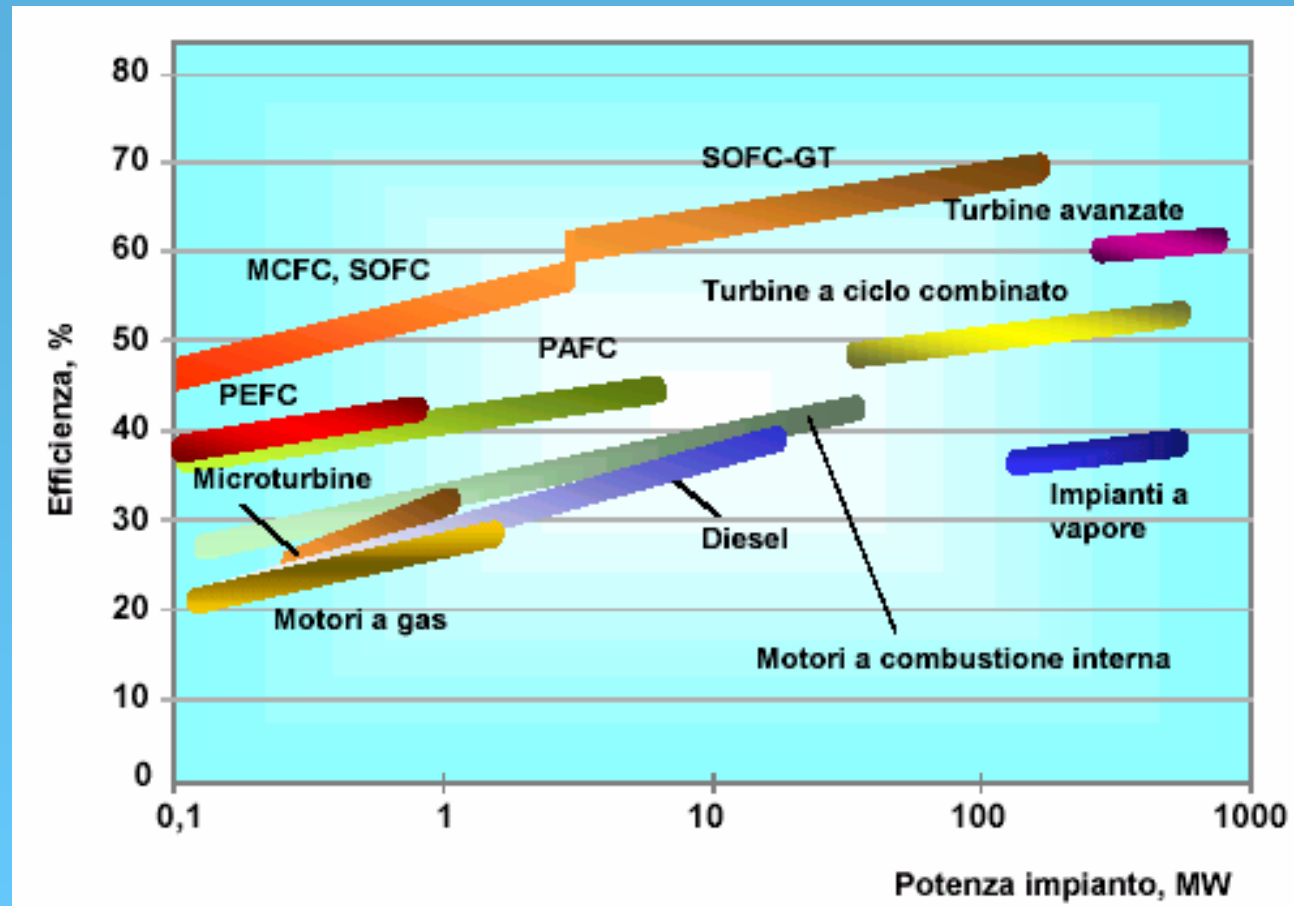


# CONFRONTO TECNICO ECONOMICO

	Turbina a gas	Turbina a vapore	Ciclo combinato	Motore a combustione interna	Motore Stirling	Celle a combustibile
<b>Totale efficienza (%)</b>	60 ? 85	60 ? 85	70 ? 90	70 ? 85	63 ? 86	55 ? 90
<b>Ciclo di vita (anni)</b>	15 ? 20	20 ? 35	15 ? 25	10 ? 20	10 ? 20	> 5
<b>Carico minimo (%)</b>	75	20	75	50	30	Nessun limite
<b>Disponibilità (%)</b>	90 ? 98	99	90 ? 98	92 ? 97	92 ? 97	> 95
<b>Costo installazione (€/kWh)</b>	600 ? 800	700 ? 900	600 ? 800	700 ? 1400	2.400	> 2.500
<b>Costo servizio (€/MWh)</b>	2 ? 7	3	2 ? 6	6 ? 12	1 ? 4	2 ? 12
<b>NOx (Kg/MWh)</b>	0.2 ? 2	0.9	0.2 ? 2	1 ? 14	< 0.01	< 0.01
<b>Temp. Utilizzabile (°C)</b>	450 ? 800	-	450 ? 800	300 ? 600	100 ? 150	250 ? 550
<b>Utilizzo del calore</b>	acqua vapore	vapore	acqua vapore	acqua vapore	acqua vapore	acqua vapore
<b>Combustibile</b>	Gas	Tutti	Gas, liquidi	Gas. Olio, diesel	Tutti	Gas

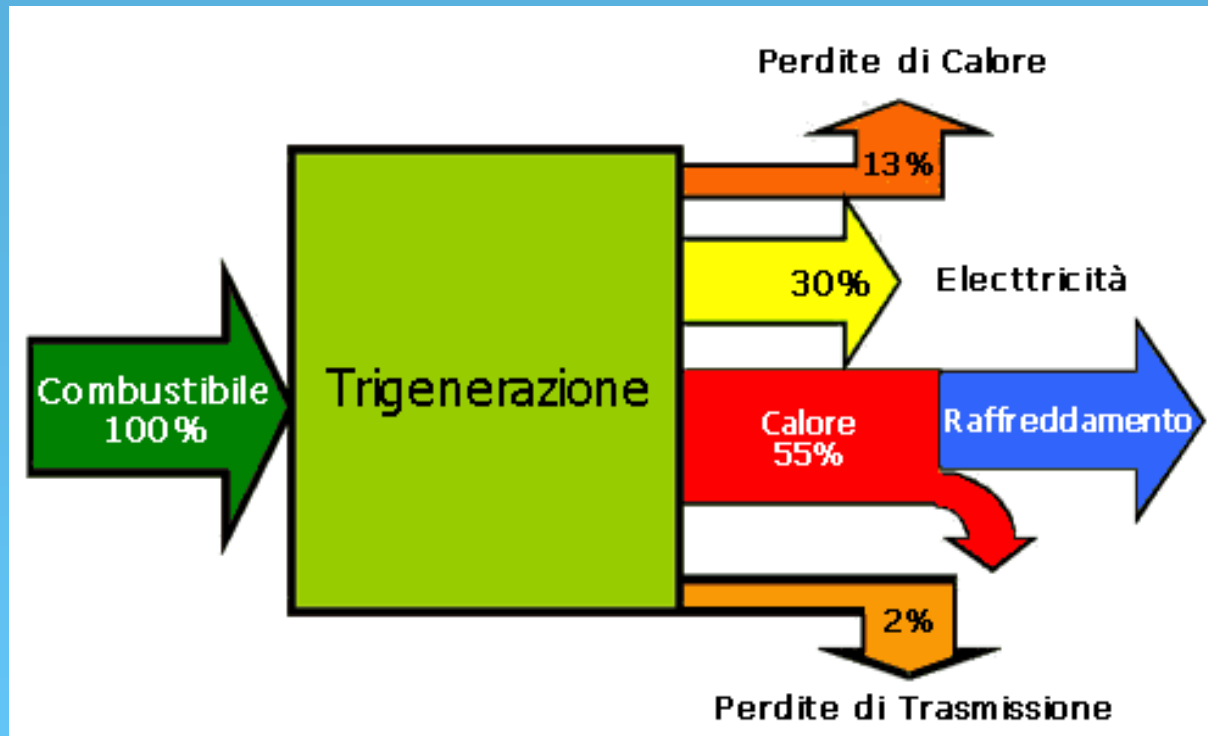


# EFFICIENZE E POTENZE

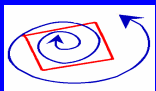




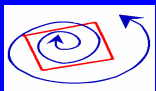
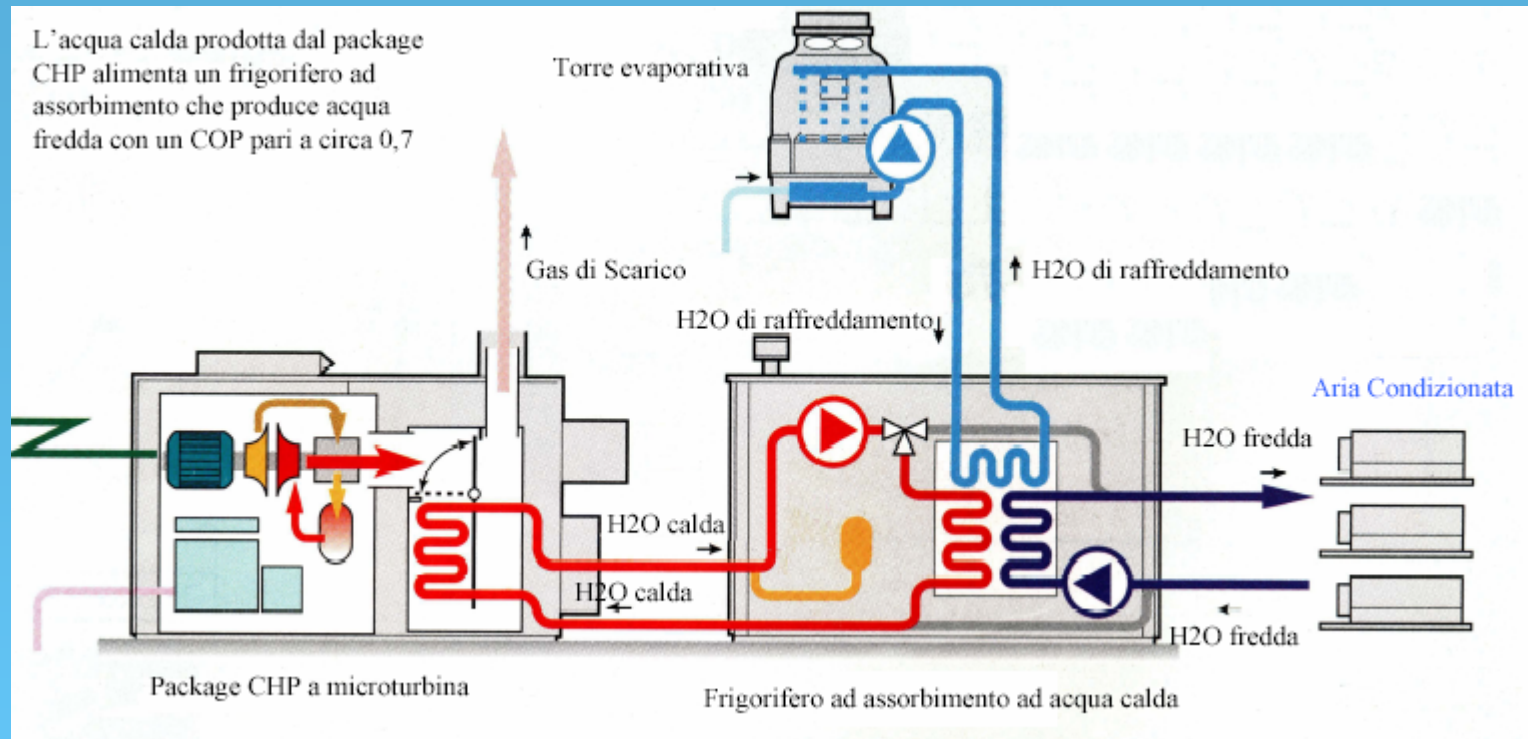
# BILANCIO ENERGETICO



Rendimenti fino all'85% con le migliori tecnologie di trigenerazione



# TRIGENERAZIONE CON MICROTURBINA



# TRIGENERAZIONE CON MICROTURBINA

L'evoluzione futura:  
Frigorifero ad assorbimento a gas diretti

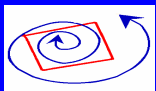
I gas di scarico del package CHP  
alimentano un frigorifero ad  
assorbimento che produce acqua  
fredda con un COP pari circa ad 1

Frigorifero ad assorbimento a gas diretti

Torre evaporativa



Package CHP



# TRIGENERAZIONE CON MICROTURBINA

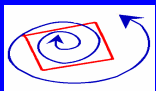
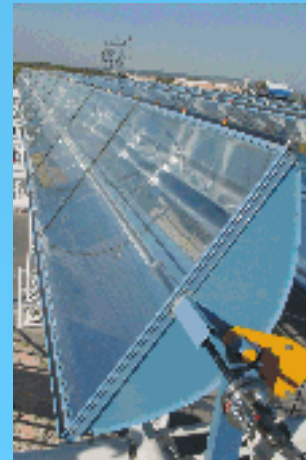
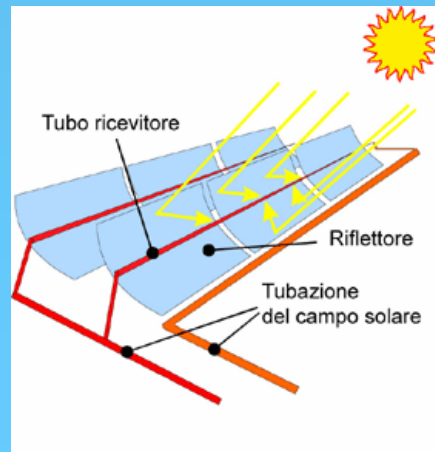
Vantaggi dell'assorbitore alimentato direttamente dai gas di scarico

- ? Maggiore efficienza (+ 30%);
- ? Possibilità di funzionamento come boiler per produrre acqua a 55 °C (riscaldamento a tubi radianti);
- ? Possibilità di funzionamento indipendente dal package CHP (bruciatore interno);
- ? Riduzione dei costi complessivi di impianto per le piccole potenze.



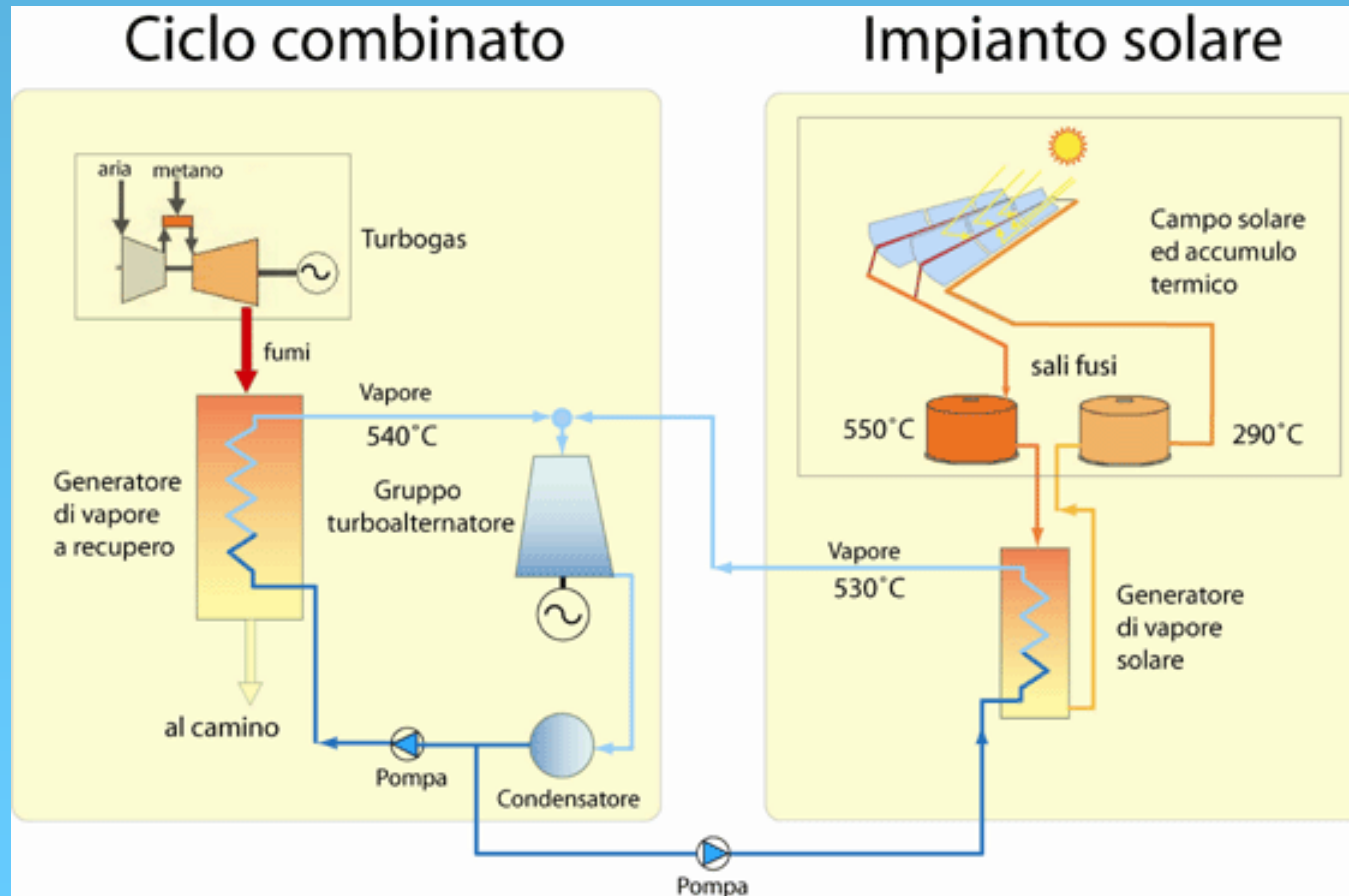
# SISTEMI DI COGENERAZIONE E TRIGENERAZIONE AD ENERGIA SOLARE

- ? Concentrazione della radiazione solare nei fuochi di collettori parabolici lineari ad inseguimento (SEGS);
- ? Riscaldamento del fluido termovettore ad alta temperatura (300 °C);
- ? Vaporizzazione a bassa pressione del condensato in uscita dal condensatore della turbina;
- ? Surriscaldamento del vapore ad alta pressione con fonte di calore esterna;
- ? Utilizzo del fluido refrigerante del condensatore in un ciclo frigorifero ad assorbimento;



# IL PROGETTO ARCHIMEDE DELL'ENEA

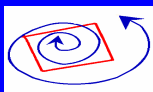
Progetto "Archimede":  
Integrazione tra i due sistemi



# IL PROGETTO ARCHIMEDE DELL'ENEA

## Centrale termoelettrica di Priolo Gargallo (Siracusa)

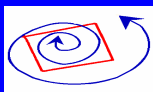
<b>Numero collettori</b>		360
<b>Area del campo solare</b>	ha	40
<b>Superficie collettori</b>	m <sup>2</sup>	200.000
<b>Energia termica raccolta</b>	GWh/a	179,4
<b>Capacità di accumulo</b>	MWh	600
<b>Potenza elettrica nominale</b>	MW	20,8
<b>Energia elettrica prodotta</b>	GWh/a	59,2
<b>Rendimento medio annuo</b>	%	16,4
<b>Risparmi di energia primaria</b>	TEP	12.703
<b>Emissioni di CO<sub>2</sub> evitate</b>	t/a	39.458
<b>Investimento complessivo</b>	€	50.000.000
<b>Payback</b>	anni	8
<b>Costo kWh a regime (2008)</b>	€/kWh	0,062



# IL PROGETTO ARCHIMEDE DELL'ENEA

Centrale termoelettrica di Specchia (Lecce)  
(operativa nel 2006)

<b>Numero collettori</b>		348
<b>Superficie collettori</b>	m <sup>2</sup>	200.000
<b>Orientamento</b>	Gradi	27° O
<b>Energia termica raccolta</b>	GWh/a	160,3
<b>Capacità di accumulo</b>	MWh	600
<b>Potenza elettrica nominale</b>	MW	12
<b>Energia elettrica prodotta</b>	GWh/a	51,9
<b>Efficienza lorda dell'impianto</b>	%	39
<b>Risparmi di energia primaria</b>	TEP	11.135
<b>Emissioni di CO<sub>2</sub> evitate</b>	t/a	34.588





# IL PROGETTO ARCHIMEDE DELL'ENEA

- ? Tecnologia con sistemi a collettori parabolici lineari (SEGS) di nuova concezione con un aumento della densità di energia solare di un fattore pari a 100;
- ? Sistema di accumulo termico con due serbatoi di stoccaggio per l'erogazione di potenza elettrica nelle 24 ore;
- ? Temperatura di funzionamento elevata (circa 550 °C) con fluido termovettore innovativo a base di sali di sodio e potassio (60% NaNO<sub>3</sub> - 40% KNO<sub>3</sub>) atossico e non infiammabile;
- ? Tubo ricevitore con elevato assorbimento nello spettro della luce solare e la minima emissione di radiazione infrarossa;
- ? Specchi, ad elevato potere riflettivo e resistenza adatti ad una produzione economica in serie;
- ? Possibilità di realizzare impianti con potenza variabile (1 ? 500 MW).

