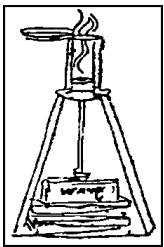


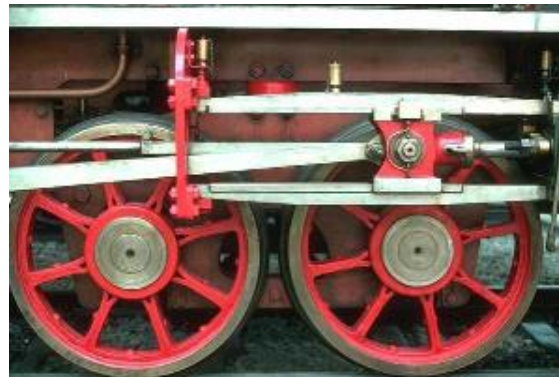
Cogenerazione.

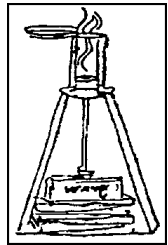


La cogenerazione

- **Cogenerazione: generazione combinata di**

Energia termica ed Energia Meccanica e/o Energia Elettrica

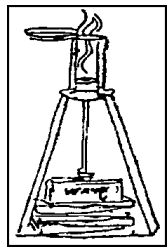




Caratteristiche delle forme di energia

- Lo studio dei sistemi cogenerativi riguarda le forme di energia **termica**, **meccanica** ed **elettrica**.
- Queste forme di energia differiscono per:
 - Meccanismi di conversione
 - Disponibilità
 - Tipologia di utilizzo
 - Trasportabilità
 - Capacità di stoccaggio
 - Costi





Energia Termica

- L'energia termica è la parte della energia interna dei corpi trasferibile sotto forma di calore e rappresenta, a livello microscopico, la somma delle energie cinetiche e della energia di legame degli atomi e delle molecole.
- L'energia termica, le cui relazioni con le altre forme di energia sono studiate dalla termodinamica, è una forma di energia più disordinata o "degradata". Mentre è infatti possibile convertire interamente energia dalle altre forme in energia termica, non è possibile operare completamente la trasformazione inversa, come sancito dal Secondo Principio della Termodinamica.
- L'energia termica può essere facilmente accumulata, sia sotto forma di calore sensibile che di calore latente dei fluidi, ma non trasportata agevolmente a lunghe distanze.

Termica

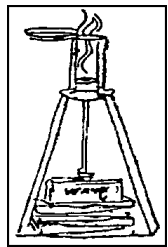


Meccanica



Elettrica





Energia Meccanica

- L'energia meccanica è ampiamente utilizzata nei sistemi di trasporto, dove serve lavoro meccanico per muovere il mezzo. In questo caso, l'energia meccanica è in genere ottenuta dalla conversione della energia chimica di un combustibile attraverso un motore a combustione interna.
- La utilizzazione diretta dell'energia meccanica ottenuta da una macchina motrice per l'azionamento di macchinari nell'industria, a cui si faceva quasi esclusivo ricorso nel secolo passato, è oggi marginale, essendo stata sostituita dalla energia elettrica, che offre decisivi vantaggi in termini di facilità di trasporto.
- L'energia meccanica si presenta nelle forme di energia potenziale, legata alla posizione del corpo all'interno di un campo di forze conservativo, ed energia cinetica, che può essere di tipo traslazionale e rotazionale.

Termica

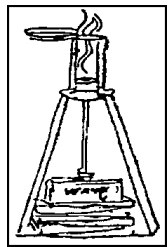


Meccanica



Elettrica





Energia Elettrica

- L'energia elettrica è una forma di energia che si manifesta a seguito delle forze dovute al movimento di cariche elettriche.
- L'energia elettrica presenta una grande versatilità, potendo essere trasportata a lunghe distanze e distribuita capillarmente. Una parte dell'energia viene in tal caso dissipata in energia termica, attraverso l'Effetto Joule. Buone prospettive per l'aumento della efficienza energetica nel trasporto sono offerte dagli studi sui fenomeni di superconduttività.
- L'energia elettrica non può essere facilmente accumulata: le batterie, che rappresentano la soluzione più diffusa, presentano ingombri, pesi e costi molto maggiori rispetto ad altre forme di accumulo energetico, quali quelle offerte dai combustibili (sotto forma di energia chimica) o dai bacini idroelettrici (come energia idraulica).

Termica

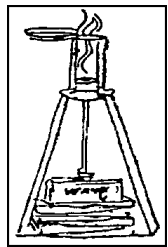


Meccanica



Elettrica

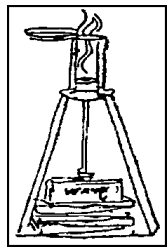




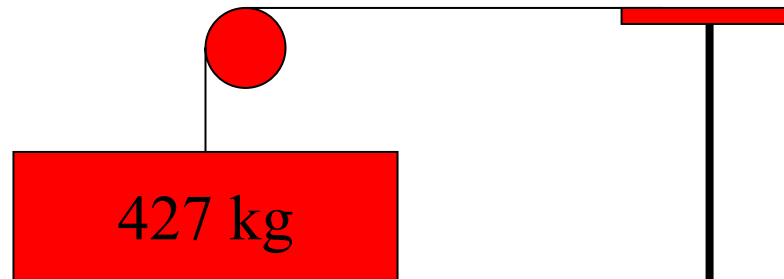
Equivalenza tra calore e lavoro

- Questa è la macchina con cui James Joule dimostrò la equivalenza tra calore e lavoro meccanico, nel 1854 (Primo principio della Termodinamica).
- Il Primo Principio sancisce la equivalenza tra calore e lavoro in quanto forme di energia, ma non stabilisce i criteri in base ai quali possono avvenire le trasformazioni spontanee.
- $1 \text{ Kcal} = 4186 \text{ J} = 427 \text{ Kg}_f \text{ m}$





L'equivalente meccanico del calore/1



$$F = 427 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 4186 \text{ N}$$

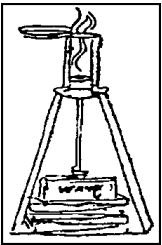


1 m

1 litro di acqua

$t_{in} = 14.5 \text{ }^\circ\text{C}$

La massa è collegata ad un mulinello che trasmette l'energia meccanica all'acqua.



L'equivalente meccanico del calore/2

$$F = 427 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 \\ = 4186 \text{ N}$$

Quando la massa scende di un metro, la temperatura dell'acqua aumenta di un grado.

$$4186 \text{ N} \times 1 \text{ m} \\ = 4186 \text{ J}$$

427 kg

1 m

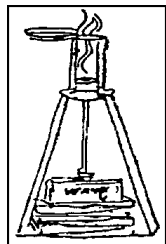
1 litro di acqua

$t_{\text{in}} = 14.5 \text{ }^\circ\text{C}$

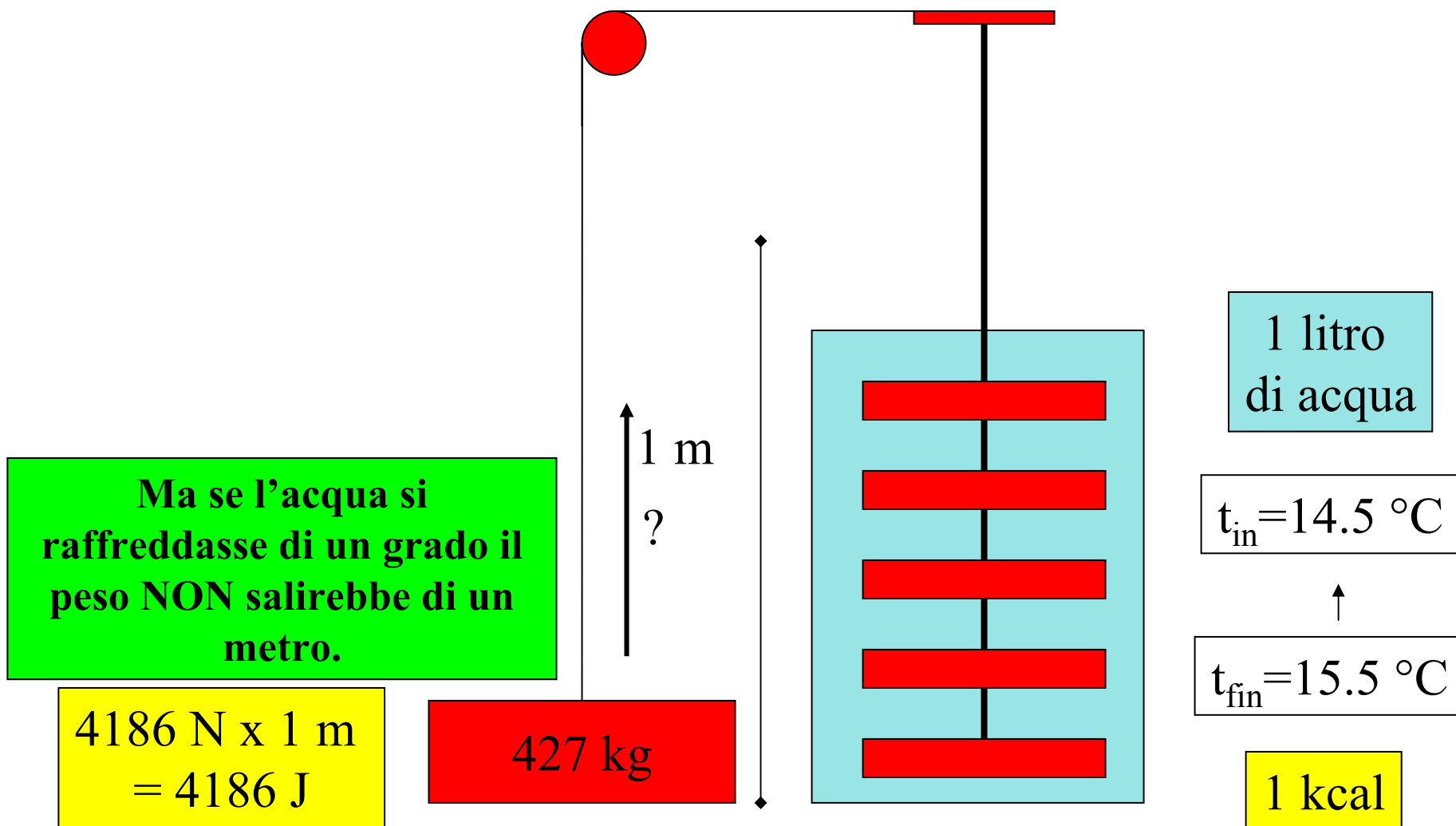


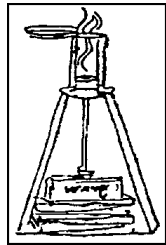
$t_{\text{fin}} = 15.5 \text{ }^\circ\text{C}$

1 kcal

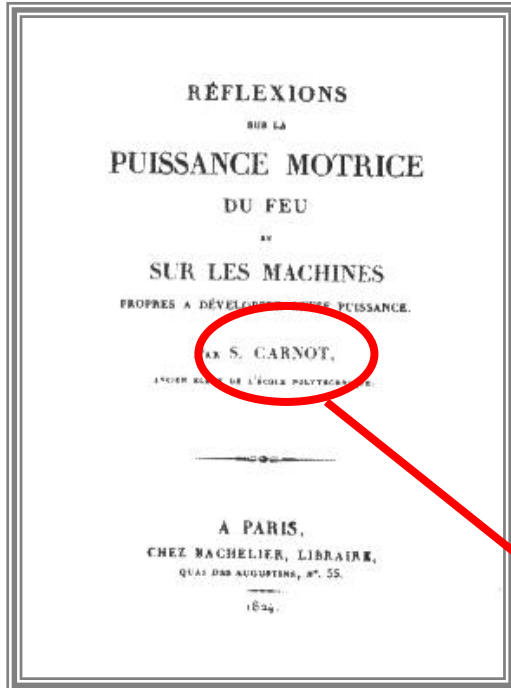


L'equivalente meccanico del calore/3

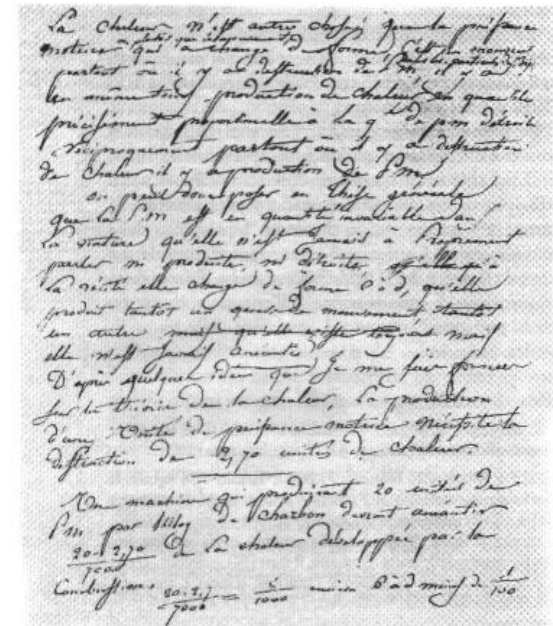
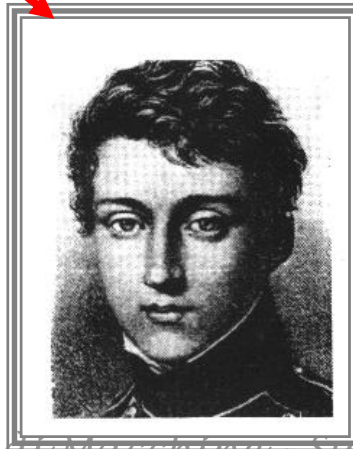


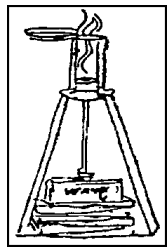


Il secondo principio della Termodinamica



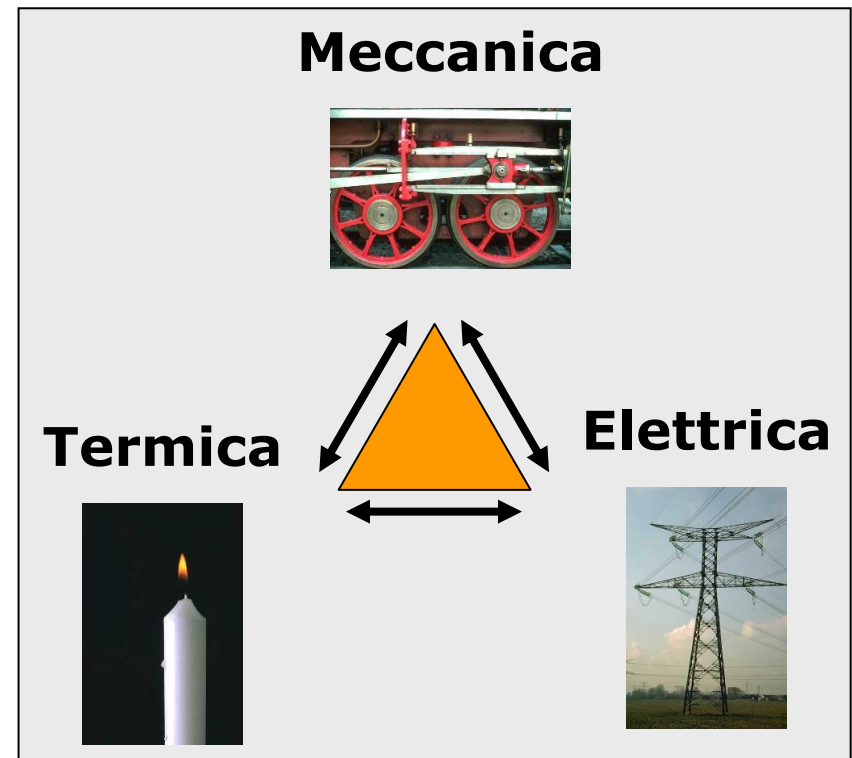
- Nel 1824 Sadi Carnot scrisse le “Reflexions sur la Puissance Motrice du feu”, in cui delineò le modalità di conversione del calore in lavoro nelle macchine termiche.

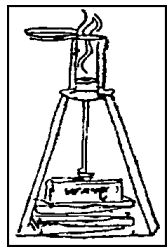




Conversioni tra diverse forme di energia

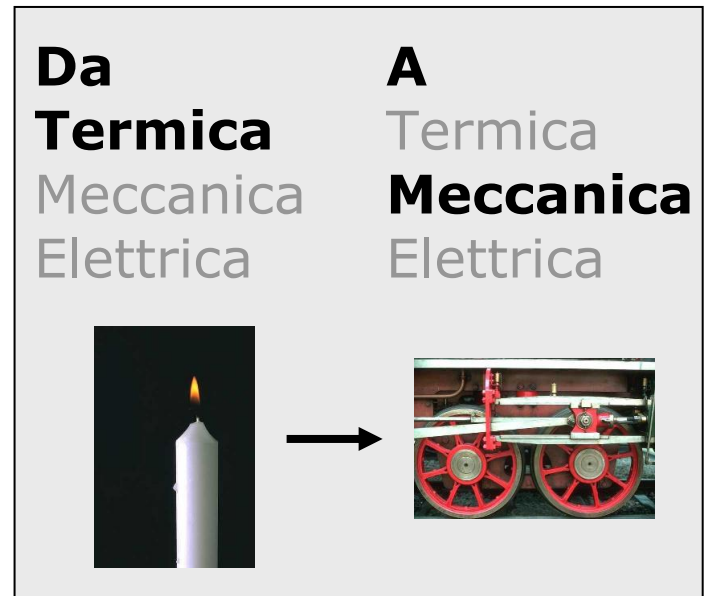
- In quanto forme di energia, l'energia termica, meccanica ed elettrica possono essere **convertite** da una forma all'altra.
- Le modalità di conversione sono regolate dal **Principio di conservazione dell'Energia** (generalizzazione del primo principio della Termodinamica) e dal **Secondo Principio della Termodinamica**.

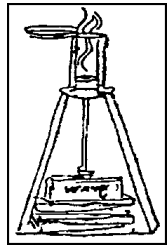




Conversioni energetiche: da Termica a Meccanica

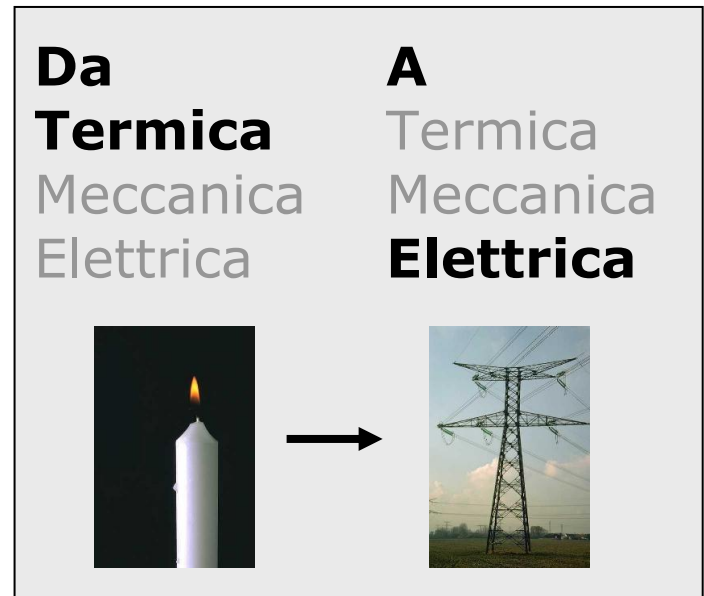
- L'energia termica può essere convertita in energia meccanica attraverso un **ciclo termodinamico diretto**, nelle **macchine termiche motrici** e negli **impianti motori termici**.
- Le modalità di conversione sono regolate dai principi della **termodinamica**. In particolare:
 - il **primo principio** sancisce l'equivalenza tra i due tipi di energia;
 - il **secondo principio** definisce dei limiti alle trasformazioni di energia termica in energia meccanica.

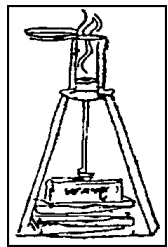




Conversioni energetiche: da Termica ad Elettrica

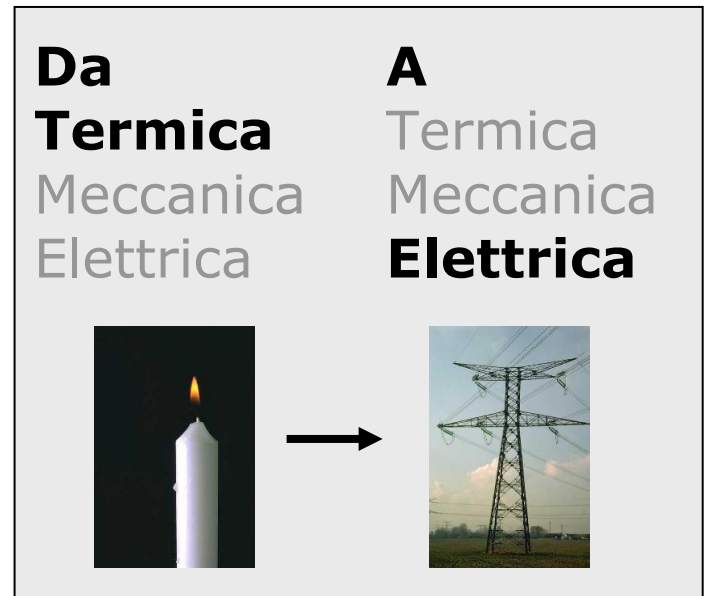
- L'energia termica può essere convertita direttamente in energia elettrica con:
 - **Sistemi Termoionici**
 - **Conversione Magnetoidrodinamica (MHD)**
 - **Sistemi termoelettrici ad**
 - Effetto Seebeck
 - Effetto Peltier

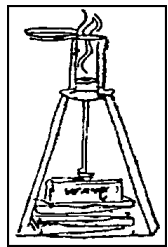




Conversioni energetiche: da Termica ad Elettrica

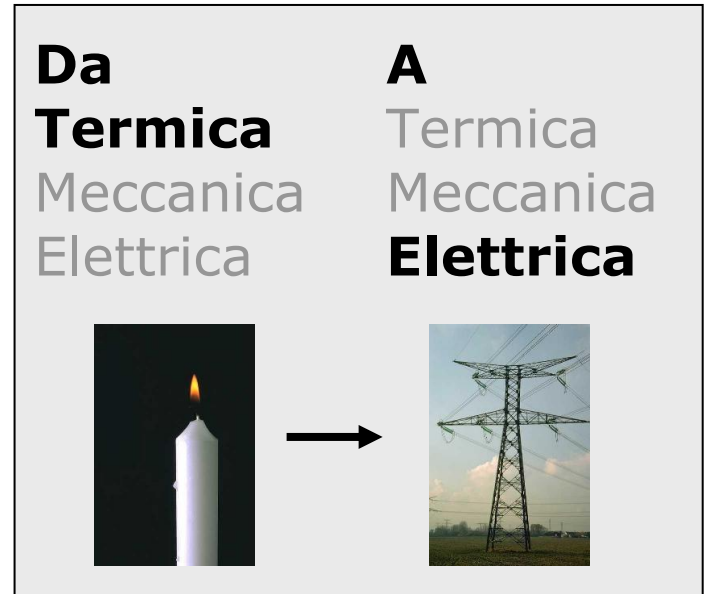
- **Sistemi Termoionici.** Un sistema motore termoionico è costituito da un catodo che, riscaldato ad elevata temperatura, emette un flusso di elettroni che, attraversando una zona sottoposta a vuoto, incide su un anodo, mantenuto a temperatura inferiore. Il flusso di elettroni può essere utilizzato da un carico esterno, come lavoro elettrico.

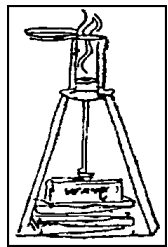




Conversioni energetiche: da Termica ad Elettrica

- **Conversione Magnetoidrodinamica (MHD).** Il principio di funzionamento dei convertitori magnetoidrodinamici è simile a quello delle macchine elettriche ad induzione. In questo caso, all'interno di un campo magnetico avviene il flusso di un gas, ad elevata temperatura ed elettricamente conduttore. Su due elettrodi opposti si crea quindi una differenza di potenziale, che può essere utilizzata per erogare energia elettrica.

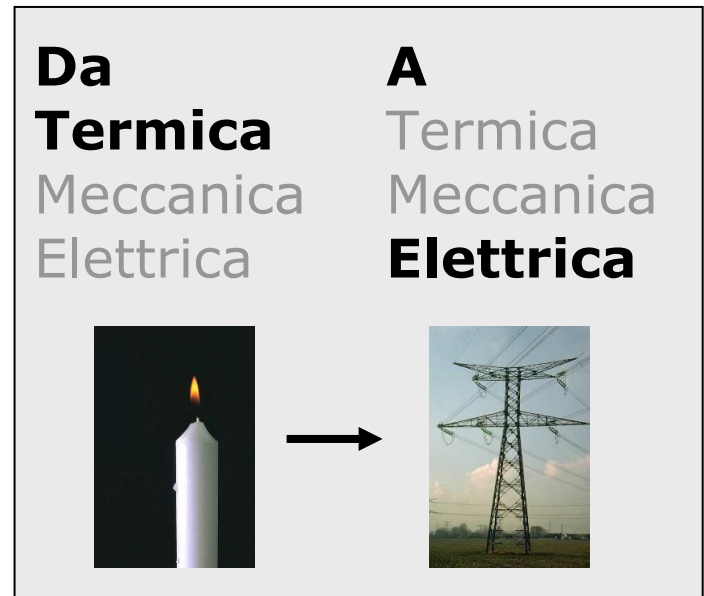


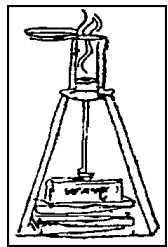


Conversioni energetiche: da Termica ad Elettrica

- **Sistemi termoelettrici.** Tra i sistemi termoelettrici possono essere citati quelli che utilizzano l'effetto Seebeck e l'effetto Peltier.

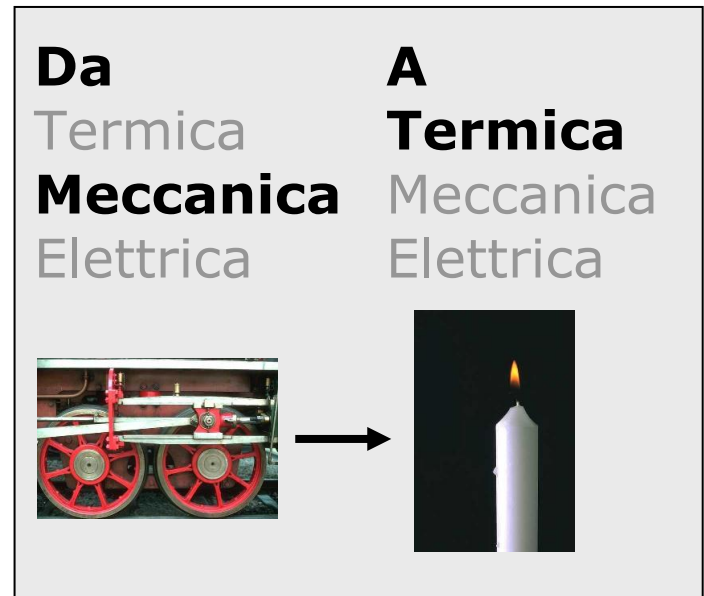
- **L'effetto Seebeck** (1821) consiste nella creazione di una corrente elettrica in un circuito chiuso formato da due diversi conduttori, le cui giunzioni siano mantenute a temperature diverse. Questo effetto è normalmente utilizzato per il rilievo delle temperature tramite termocoppie.
- **L'effetto Peltier** consiste nella variazione di temperatura di una giunzione tra conduttori diversi al passaggio di una corrente.

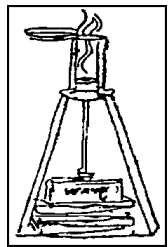




Conversioni energetiche: da Meccanica a Termica

- L'energia meccanica può essere convertita in energia termica sia attraverso **processi dissipativi**, quali l'attrito, che tramite i **cicli termodinamici inversi** (macchine frigorifere, pompe di calore, macchine ad assorbimento).
- A livello microscopico, l'energia termica è riconducibile all'agitazione delle molecole, e quindi alla loro energia meccanica.





Conversioni energetiche: da Meccanica a Elettrica

- La conversione di energia meccanica in energia elettrica avviene di norma nei **generatori elettrici**.

Da

Termica

Meccanica

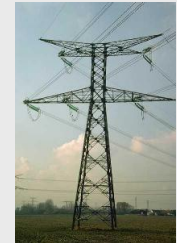
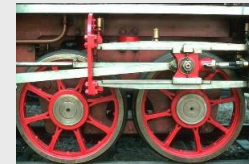
Elettrica

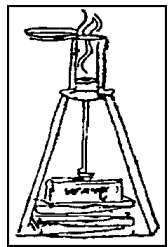
A

Termica

Meccanica

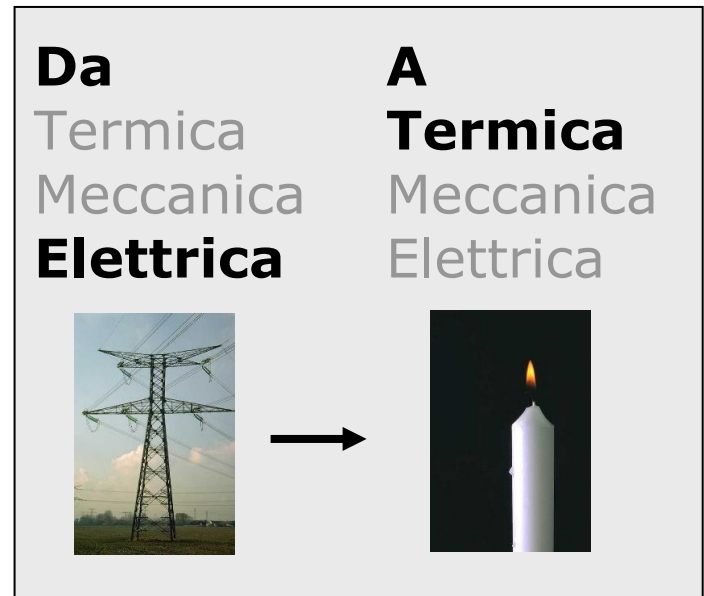
Elettrica

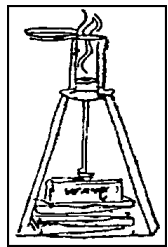




Conversioni energetiche: da Elettrica a Termica

- L'energia elettrica può essere convertita in energia termica attraverso l'**Effetto Joule**, fenomeno legato al passaggio di corrente elettrica attraverso un conduttore.
- Il calore sviluppato è proporzionale alla resistenza R ed al quadrato dell'intensità di corrente i .





Conversioni energetiche: da Elettrica a Meccanica

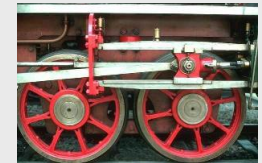
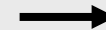
- L'energia elettrica può essere convertita in energia meccanica attraverso i **motori elettrici**.

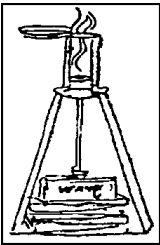
Da

Termica
Meccanica
Elettrica

A

Termica
Meccanica
Elettrica



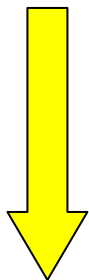


Conversioni tra calore e lavoro: il secondo principio della Termodinamica

E' possibile convertire interamente l'energia meccanica in energia termica

Non è possibile convertire interamente l'energia termica in energia meccanica

Energia meccanica

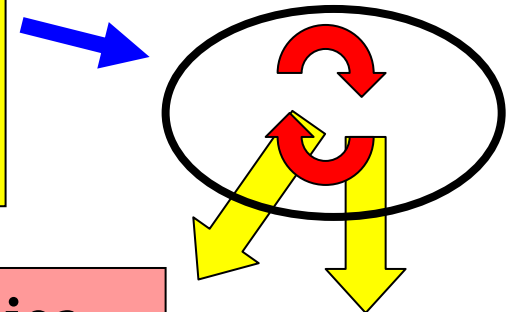


Energia termica

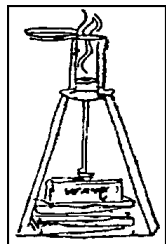
Serve una **macchina termica** che operi secondo una trasformazione ciclica (**ciclo termodinamico**)

Energia termica
(a temperatura inferiore)

Energia termica



Energia meccanica



Rendimento termodinamico

Il Rendimento è dato dal rapporto tra il lavoro e l'energia termica fornita

$$\eta = \frac{L}{Q_1}$$

Rendimento massimo (Ciclo di Carnot)

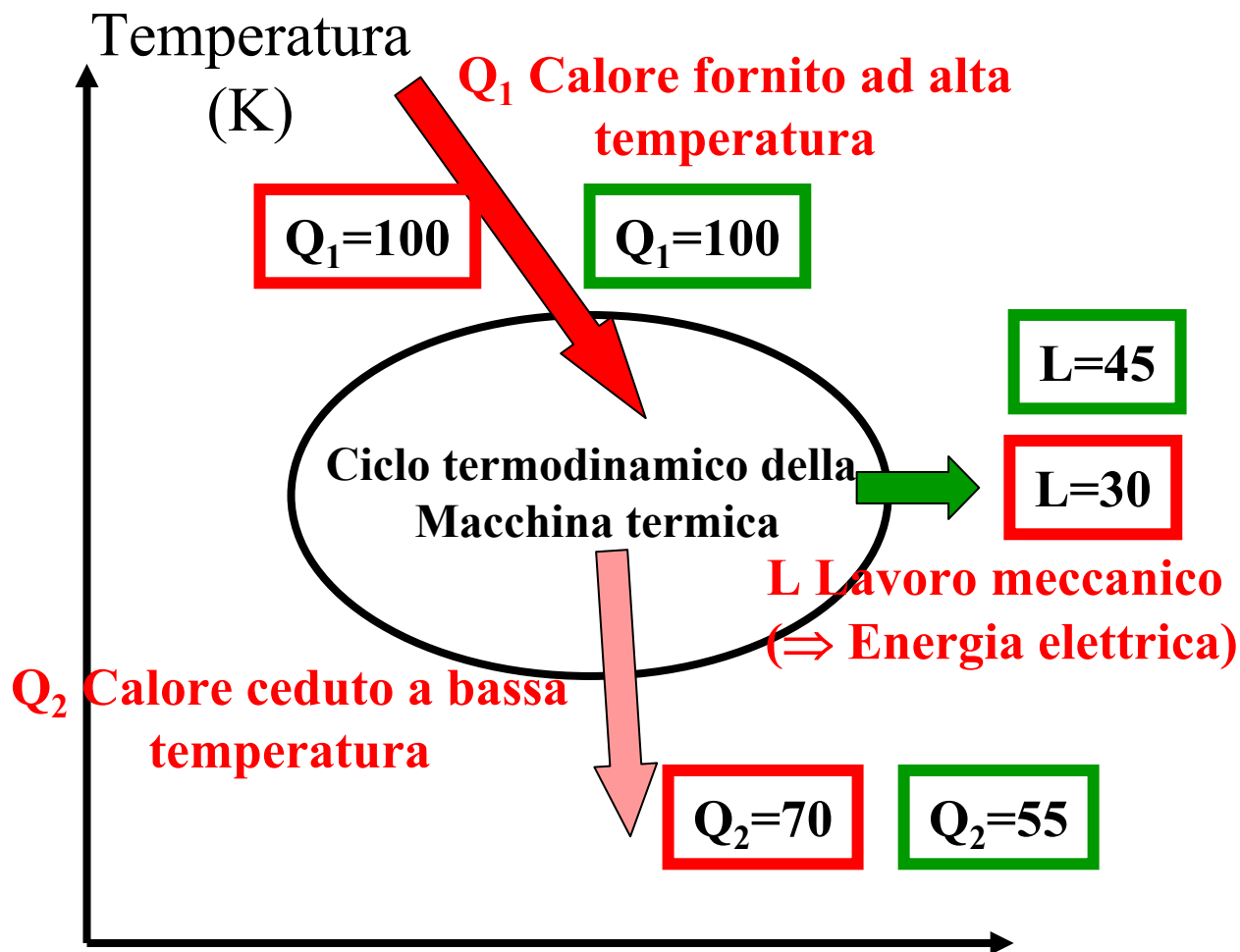
$$\eta = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$$

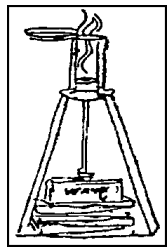
Per un motore automobilistico:

Rendimento = 30 %

Per una Centrale termoelettrica:

Rendimento = 45 %



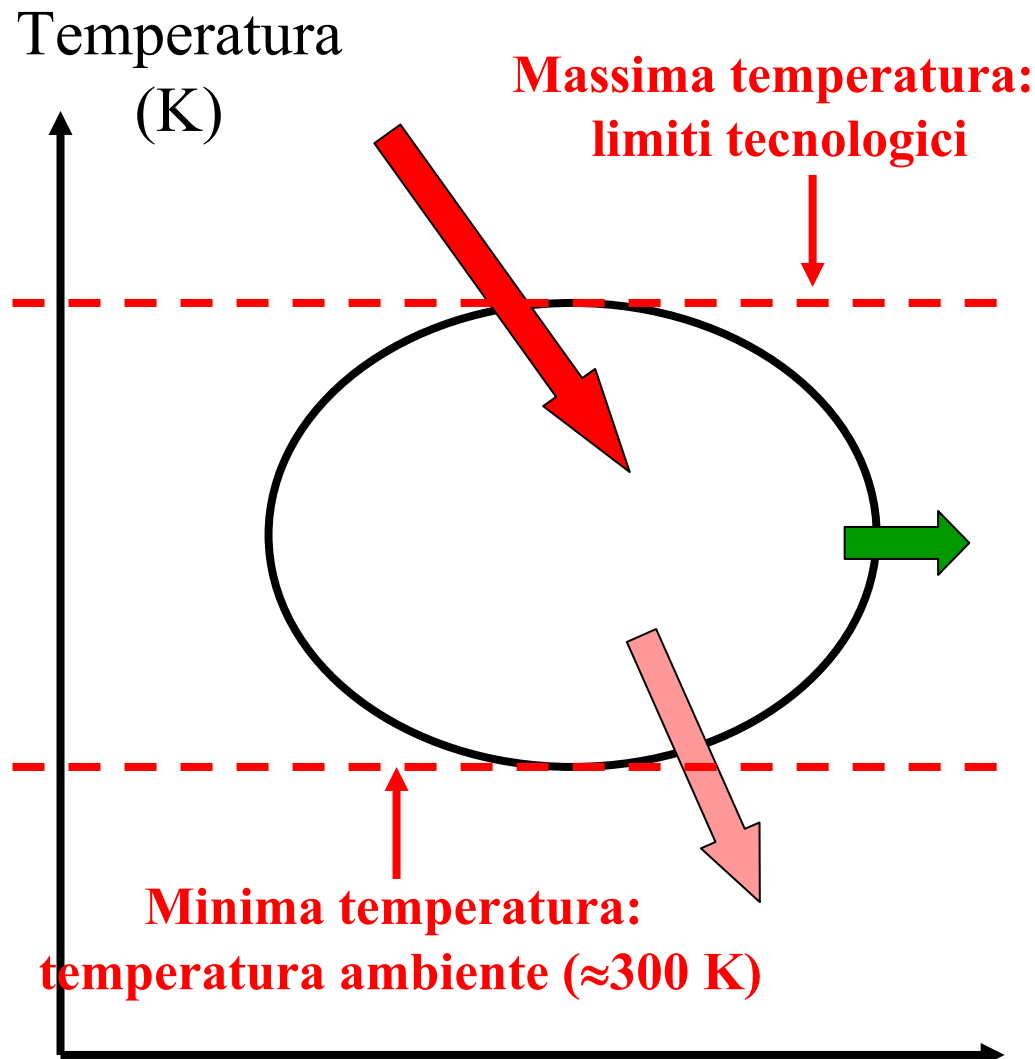


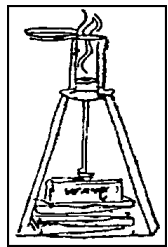
Come migliorare l'efficienza energetica

Per aumentare il rendimento di conversione in energia meccanica dovremmo:

- ◆ aumentare la temperatura massima;
- ◆ ridurre la temperatura minima: al limite, alla temperatura ambiente.

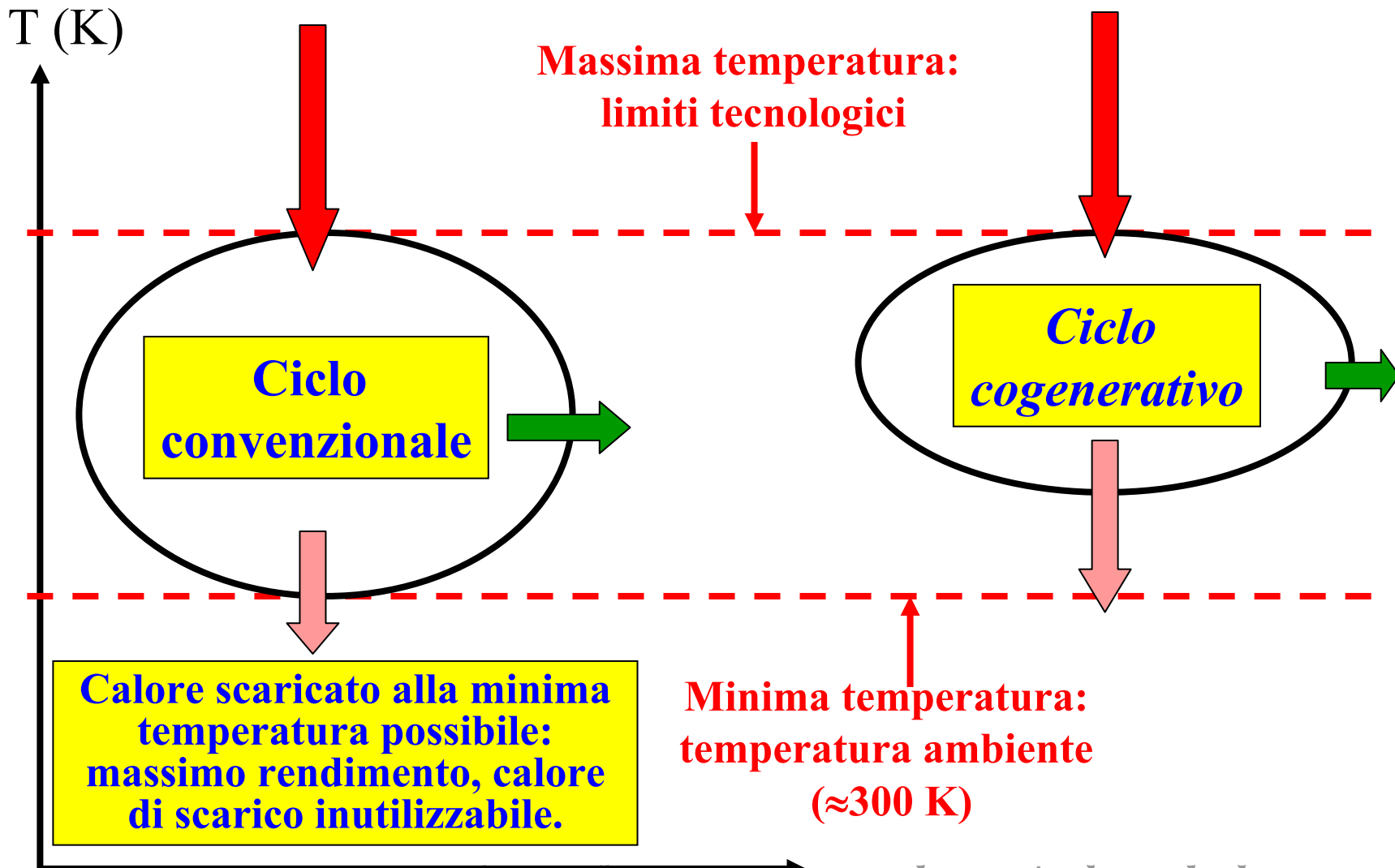
La utilizzabilità del calore scaricato si riduce con la sua temperatura: il calore scaricato a temperatura ambiente è inutilizzabile.

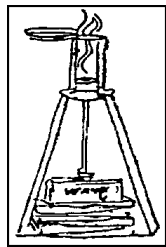




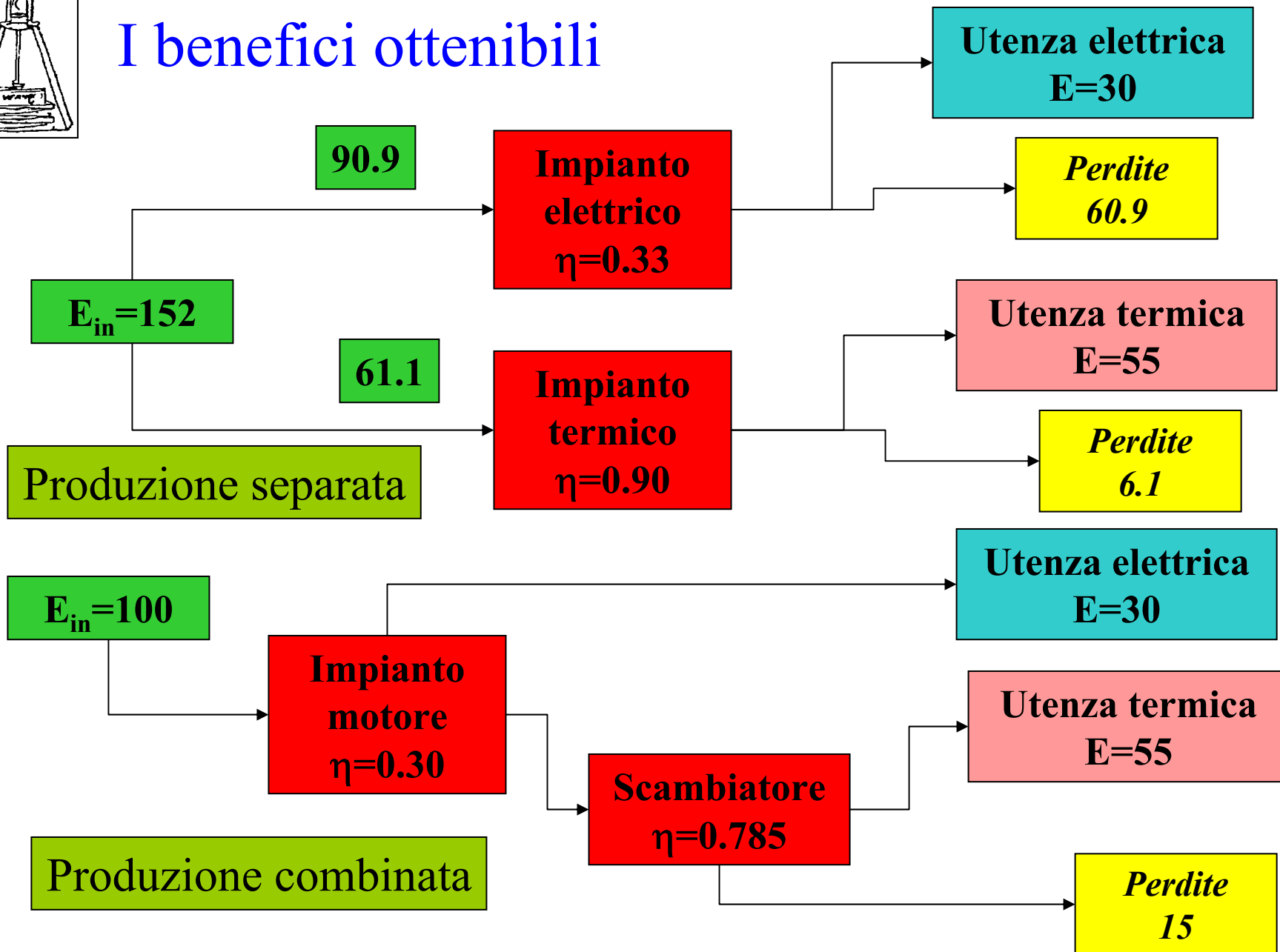
La cogenerazione

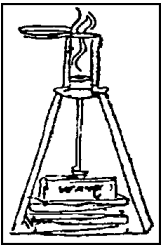
Calore scaricato ad una temperatura più alta: il rendimento termodinamico si riduce, ma è possibile utilizzare il calore di scarico.





I benefici ottenibili



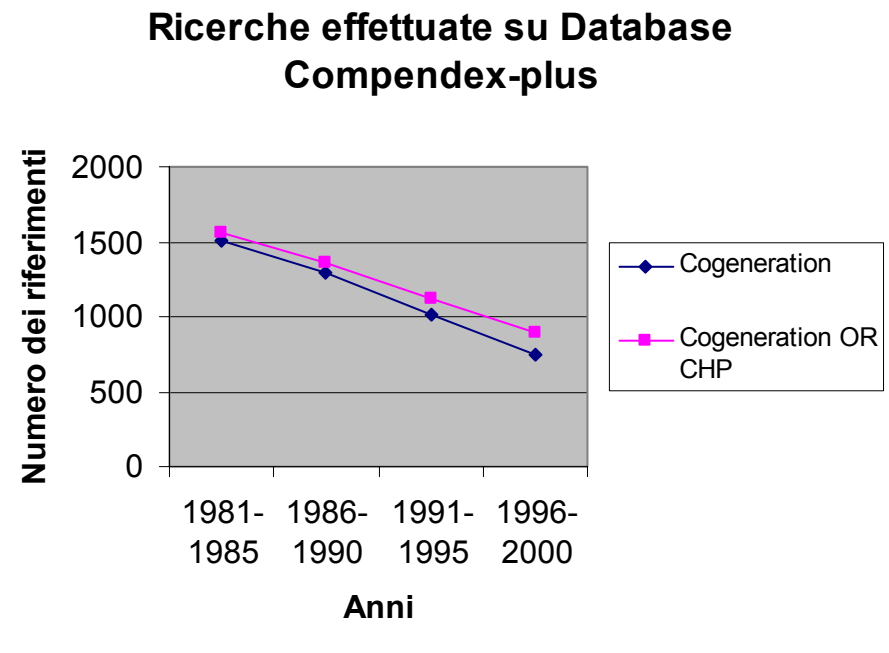


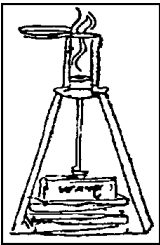
La ricerca sulla cogenerazione: alcuni risultati statistici

E' stata effettuata una ricerca bibliografica sui database Compendex-plus (www.eins.org). Il grafico mostra il numero di riferimenti (lavori scientifici presentati a congressi e/o pubblicati su riviste) divisi per quinquennio.

La ricerca ha evidenziato la presenza di oltre 5000 articoli sull'argomento, classificati con i termini *Cogeneration* e *CHP*

Si può anche notare un costante decremento dello sforzo di ricerca negli ultimi 20 anni, caratteristica tipica dei settori tecnologicamente "maturi".





Analisi delle frequenze 1/2

E' stata effettuata l'analisi della frequenza dei termini usati per classificare i lavori, su un campione di 200 riferimenti. I risultati permettono di valutare le linee di ricerca più seguite.

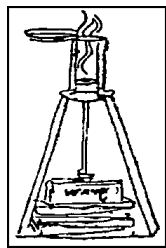
Frequency	List of Terms		
97	<input type="checkbox"/> COGENERATION PLANTS	13	<input type="checkbox"/> COMBINED CYCLE POWER PLANTS
52	<input type="checkbox"/> *COGENERATION PLANTS	13	<input type="checkbox"/> ELECTRIC UTILITIES
38	<input type="checkbox"/> ELECTRIC POWER GENERATION	13	<input type="checkbox"/> ENERGY CONSERVATION
28	<input type="checkbox"/> ENERGY EFFICIENCY	11	<input type="checkbox"/> *GAS TURBINES
28	<input type="checkbox"/> GAS TURBINES	11	<input type="checkbox"/> PAPER AND PULP MILLS
23	<input type="checkbox"/> COST EFFECTIVENESS	10	<input type="checkbox"/> HEAT EXCHANGERS
20	<input type="checkbox"/> NATURAL GAS	10	<input type="checkbox"/> INDUSTRIAL ECONOMICS
20	<input type="checkbox"/> WASTE HEAT UTILIZATION	10	<input type="checkbox"/> POWER GENERATION
19	<input type="checkbox"/> ENERGY UTILIZATION	10	<input type="checkbox"/> STEAM GENERATORS
19	<input type="checkbox"/> STEAM TURBINES	10	<input type="checkbox"/> THERMODYNAMICS
16	<input type="checkbox"/> COSTS	9	<input type="checkbox"/> COMPUTER SIMULATION
15	<input type="checkbox"/> BOILERS	9	<input type="checkbox"/> DISTRICT HEATING
15	<input type="checkbox"/> OPTIMIZATION	9	<input type="checkbox"/> ELECTRICITY
14	<input type="checkbox"/> ENVIRONMENTAL IMPACT	9	<input type="checkbox"/> INSTALLATION
14	<input type="checkbox"/> MATHEMATICAL MODELS	9	<input type="checkbox"/> PERFORMANCE
		8	<input type="checkbox"/> *FUEL CELLS
		8	<input type="checkbox"/> DEREGULATION

Tipologie di impianto

Metodologie usate

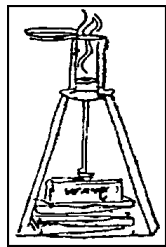
Applicazioni

Fonte energetica



Analisi delle frequenze 2/2

8	<input type="checkbox"/>	FUEL CONSUMPTION	6	<input type="checkbox"/>	ENERGY MANAGEMENT	5	<input type="checkbox"/>	ELECTRIC POWER DISTRIBUTION
8	<input type="checkbox"/>	GAS EMISSIONS	6	<input type="checkbox"/>	ENERGY POLICY	5	<input type="checkbox"/>	ELECTRIC POWER TRANSMISSION
8	<input type="checkbox"/>	STEAM	6	<input type="checkbox"/>	LAWS AND LEGISLATION	5	<input type="checkbox"/>	ENVIRONMENTAL PROTECTION
7	<input type="checkbox"/>	*PAPER AND PULP MILLS	6	<input type="checkbox"/>	NITROGEN OXIDES	5	<input type="checkbox"/>	EXHAUST GASES
7	<input type="checkbox"/>	EFFICIENCY	6	<input type="checkbox"/>	PARTICULATE EMISSIONS	5	<input type="checkbox"/>	INVESTMENTS
7	<input type="checkbox"/>	ELECTRIC GENERATORS	6	<input type="checkbox"/>	RELIABILITY	5	<input type="checkbox"/>	NUCLEAR POWER PLANTS
7	<input type="checkbox"/>	ELECTRIC LOAD MANAGEMENT	6	<input type="checkbox"/>	SUSTAINABLE DEVELOPMENT	5	<input type="checkbox"/>	POLYELECTROLYTES
7	<input type="checkbox"/>	INDUSTRIAL EMISSIONS	6	<input type="checkbox"/>	TEMPERATURE	5	<input type="checkbox"/>	RECYCLING
7	<input type="checkbox"/>	MARKETING	6	<input type="checkbox"/>	WASTE HEAT	5	<input type="checkbox"/>	SOCIETIES AND INSTITUTIONS
7	<input type="checkbox"/>	OPERATIONS RESEARCH	5	<input type="checkbox"/>	*PAPER AND PULP INDUSTRY	5	<input type="checkbox"/>	WOOD
7	<input type="checkbox"/>	PAPER AND PULP INDUSTRY	5	<input type="checkbox"/>	AIR POLLUTION CONTROL	4	<input type="checkbox"/>	*BIOMASS
6	<input type="checkbox"/>	BIOMASS	5	<input type="checkbox"/>	COMBUSTION	4	<input type="checkbox"/>	*ENERGY EFFICIENCY
6	<input type="checkbox"/>	COMPRESSORS	5	<input type="checkbox"/>	COOLING	4	<input type="checkbox"/>	AIR CONDITIONING
6	<input type="checkbox"/>	ELECTRIC INDUSTRY	5	<input type="checkbox"/>	DRYING	4	<input type="checkbox"/>	CARBON DIOXIDE
6	<input type="checkbox"/>	ELECTRIC LOADS	5	<input type="checkbox"/>	ECONOMICS	4	<input type="checkbox"/>	CARBON MONOXIDE
6	<input type="checkbox"/>	ELECTRIC POWER UTILIZATION				4	<input type="checkbox"/>	COST BENEFIT ANALYSIS



Esempio di ricerca incrociata

Esempio di risultati ottenuti attraverso una ricerca incrociata (Cogeneration and Stochastic Optimization), che ha permesso di individuare 4 articoli.

4 answers found in COMPENDEX*PLUS via CINECA DANTE SYSTEM to EINS PARTNER FIZ KARLSRUHE [Set no. 11]

Search query: (COGENERATION AND STOCHASTIC AND OPTIMIZATION)

References 1 - 4 of 4

Display

To display items, check their boxes below, choose a format and then click "Display"

All (AU 3.00 per reference) ▾

(For conversion rates from AU to your currency, see your National Centre's [Price List](#))

To receive items via e-mail, check their boxes below, choose a format, check this box and then click "Display"

Send references via email?

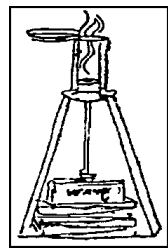
Reset all **Select all**

◀ Previous titles Next titles ▶

- | | | |
|--------------------------|---|--|
| <input type="checkbox"/> | 1 | Native Number:2002(43):2728 COMPENDEX
Title:Application of micro genetic algorithm to economic load dispatch. |
| <input type="checkbox"/> | 2 | Native Number:1999(3):1532 COMPENDEX
Title:Stochastic multiobjective generation dispatch of combined heat and power systems. |
| <input type="checkbox"/> | 3 | Native Number:1994(17):1765 COMPENDEX
Title:Energy, cost, and carbon dioxide optimization of disaggregated, regional energy-supply systems. |
| <input type="checkbox"/> | 4 | Native Number:1983(2):16055 COMPENDEX
Title:INTRODUCTION OF NON-DISPATCHABLE TECHNOLOGIES AS DECISION VARIABLES IN LONG-TERM GENERATION EXPANSION MODELS. |

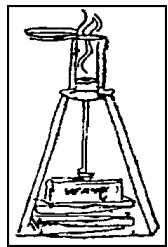
◀ Previous titles Next titles ▶

Display



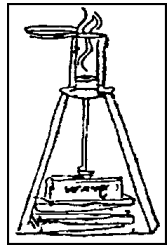
Risultati della ricerca: dettagli di un articolo.

No. 1	
Order	
Native Number	2002(43):2728 COMPENDEX
Title	Application of micro genetic algorithm to economic load dispatch.
Author(s)	Venkatesh, P. (Dept. of Elect. and Electron. Thiagarajar College of Engineering, Madurai 625 015, India); Kannan, P.S.; Anudevi, S.
Source	Journal of the Institution of Engineers (India): Electrical Engineering Division v 82 n SEPT. September 2001 2001.p 155-160 CODEN: JEELAC ISSN: 0020-3386
Publication Year	2001
Document Type	Journal
Treatment Code	Application; Theoretical
Language	English
Abstract	This paper presents an approach based on micro genetic algorithm (MGA) for solving the economic load dispatch (ELD) problem with losses for three thermal plants system, six thermal plant system and one plant as combined cycle cogeneration plant (CCCP) in three thermal plant system. Genetic Algorithms (GA) are stochastic adaptive search methods simulating some natural processes: selection, information, inheritance, and random mutation and population dynamics. MGA adapt a special feature Elitism that converges to optimal solution quickly rather than simple GA. The performance of MGA is compared with conventional methods and simple GAs and it is observed that this method can be replaced efficiently in different central load dispatch centres. 11 Refs.
Classification Code	921.6 Numerical Methods; 922.1 Probability Theory; 723.5 Computer Applications; 921.5 Optimization Techniques
Controlled Terms	*Genetic algorithms; Problem solving; Random processes; Convergence of numerical methods; Optimization; Computer simulation; Combined cycle power plants
Uncontrolled Terms	Economic load dispatch; Thermal plants system



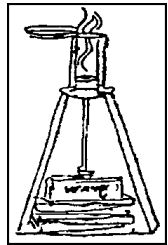
I campi di applicazione della Cogenerazione

- **Ambiti produttivi**
 - Industrie ceramiche, cartarie, alimentari, tessili
- **Ambito energetico**
 - Teleriscaldamento
- **Settore terziario**
 - ospedali, scuole, alberghi, piscine, impianti sportivi.



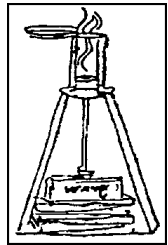
Cogenerazione: i principali problemi

- Benché si tratti di una tecnologia relativamente “matura”, affidabile e di provata economicità, essa non ha ancora visto in Italia quella diffusione che sarebbe possibile e che è auspicata dalla Commissione Europea.
- L'applicazione pratica del concetto apparentemente semplice di cogenerazione può diventare difficoltosa, se non impossibile, a causa di tre circostanze:
 - incongruenza tra le caratteristiche del calore reso disponibile dal ciclo di potenza ed il calore richiesto dalle utenze;
 - sfavorevole ubicazione del ciclo di potenza rispetto alle utenze di calore;
 - sfasamento temporale delle richieste di elettricità e calore.



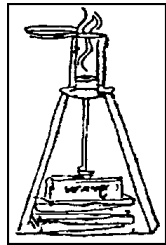
La cogenerazione nell'ambito delle politiche comunitarie

- La Commissione Europea ha affermato che: *“La cogenerazione è una delle pochissime tecnologie atte ad offrire un importante contributo, a breve e medio termine, alla problematica dell'efficienza energetica nell'Unione Europea e può contribuire positivamente alle politiche ambientali dell'UE”*.
- Cogenerazione ed **Effetto serra**: Secondo le stime e rispetto alla produzione separata di calore e di elettricità, 1 MWh di elettricità prodotto con la cogenerazione consentirebbe di evitare da 132 kg a 909 kg di CO₂ con una media ragionevole di 500 kg di CO₂ evitati al MWh.”
- E' di cruciale importanza la relazione tra impianti di cogenerazione e mercato dell'energia elettrica. In quasi tutti i paesi questo rapporto non è regolamentato in maniera tale da garantire ai produttori indipendenti un accesso non discriminatorio alla rete.



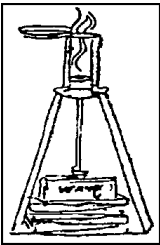
Ostacoli identificati alla diffusione della Cogenerazione:

- **Economici:**
 - tassi di remunerazione bassi per la cessione di elettricità da cogenerazione, prezzi elevati per l'elettricità di rete nel caso di inagibilità dell'impianto, mancanza di disponibilità di gas naturale a prezzi competitivi, tassi elevati per i combustibili di alimentazione, contratti a breve termine e imprevedibilità dei prezzi energetici, assenza di validi strumenti di mercato per internalizzare i costi ambientali esterni.
- **Regolamentari:**
 - normative sulle emissioni e sulla pianificazione, lunghe pratiche burocratiche o procedure costose per ottenere licenze di esercizio, ecc.
- **Istituzionali:**
 - atteggiamento negativo delle imprese di pubblico servizio circa la connessione di impianti di cogenerazione, ritardi e mancanza di trasparenza nell'ottenimento delle autorizzazioni, ecc.



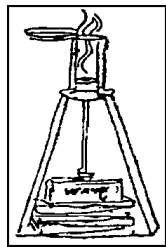
Azioni di sostegno

- La strategia comunitaria prevede diverse azioni di sostegno:
 - supporto all'ulteriore sviluppo delle soluzioni sotto il profilo tecnologico (miglioramento del rapporto costi/efficacia, adattamento a nuovi tipi di applicazioni, integrazione di processi alimentati con combustibili non tradizionali, ecc.);
 - supporto al superamento degli ostacoli non tecnologici (diffusione di informazioni, informazione su formule finanziarie alternative, analisi della domanda di servizi energetici ecc.);
 - promozione di accordi negoziati con l'industria e di sistemi di approvvigionamento tecnologico, cioè promozione di tecnologie specifiche in grado di rispondere a specifici bisogni di gruppi di imprese;
 - promozione dello scambio di informazione e cooperazione fra gli Stati membri;
 - controllo dell'impatto della liberalizzazione dei mercati energetici europei su cogenerazione e teleriscaldamento/raffreddamento;
 - promozione dell'internalizzazione dei costi esterni;
 - promozione di strumenti finanziari quali il Finanziamento Tramite Terzi e le ESCO (Energy Service Companies).



La cogenerazione in Europa

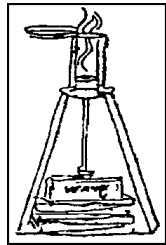




Austria



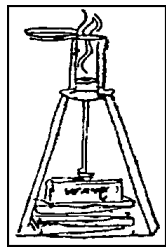
- Sulla base dei dati del 1994, l'Austria occupa il quarto posto, a livello europeo, per la produzione di elettricità tramite cogenerazione: benché la maggior parte dell'energia totale prodotta sia di origine idroelettrica (circa il 70%), il 76% della produzione per via termica avviene tramite Produzione Combinata di Elettricità e Calore (CHP).
- L'autoproduzione è principalmente basata su CHP, ma l'alta rilevanza della cogenerazione sul totale della produzione elettrica nazionale (23%) è dovuta soprattutto all'utilizzo di questa tecnologia da parte delle società elettriche (12,8%), in particolare per il teleriscaldamento. Si valuta infatti che il 69% del teleriscaldamento totale venga effettuato tramite cogenerazione, attingendo per il 21% da autoproduttori.
- Il carburante usato principalmente per alimentare gli impianti è il gas naturale (47,4%), seguono carbone (28,5%), petrolio (8,5%) e altri (15,6%).



Danimarca



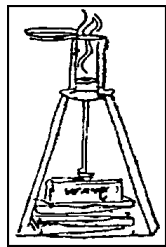
- La Danimarca, insieme ad Olanda e Finlandia, è una delle tre nazioni in cui la cogenerazione si è maggiormente sviluppata (40% della produzione elettrica nazionale).
- L'utilizzo della cogenerazione in Danimarca è in massima parte legato al teleriscaldamento (97%) e solo in piccola percentuale alle industrie.



Belgio



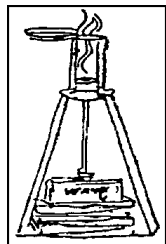
- Il Belgio presenta attualmente uno scarso livello di sviluppo per quanto riguarda la cogenerazione; si stima che la cogenerazione rappresenti circa il 3% della produzione nazionale di energia elettrica.
- Questa situazione dipende dal fatto che, fino a poco tempo fa il governo e le industrie energetiche hanno favorito una pianificazione centralizzata dell' energia.
- La situazione sta comunque cambiando; il governo infatti si é imposto di ridurre le emissioni di CO2 del 5% entro il 2000, in relazione ai dati del 1990. Poiché la cogenerazione è stata identificata come una tecnologia in grado di limitare le emissioni di carbonio, il “Programma nazionale per la riduzione delle emissioni di CO2 “, presentato nel 1994, prevedeva una incisiva promozione di questa tecnologia. Il primo passo verso questa direzione è stato attuato nel 1997 con l'introduzione di tariffe per l'elettricità e il gas favorevoli allo sviluppo della cogenerazione.



Italia

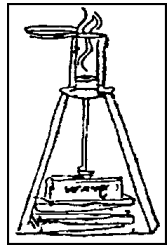


- La diffusione della cogenerazione in Italia può nel complesso essere considerata abbastanza buona, soprattutto se si considera che la quota di produzione di energia elettrica tramite cogenerazione rispetto alla produzione totale era nel 1994 circa l' 11%.
- Tale dato è abbastanza significativo se confrontato con le analoghe percentuali degli altri paesi europei: l'Italia si situa in questo quadro pressoché nella media europea che vede però alcune nazioni, come Danimarca e Olanda, arrivare al 40% e altre avere percentuali molto basse.
- L'Italia, da sempre povera di risorse fossili, ha cominciato a privilegiare la produzione combinata di elettricità e calore a partire dal secondo dopoguerra. Il successo della cogenerazione ha subito da allora andamenti molto altalenanti a seconda dei prezzi dei combustibili fossili e dell'ambiente normativo nel quale operava.



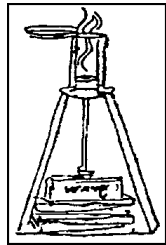
La cogenerazione. Anni '60-'80

- Negli anni '60 la nazionalizzazione del settore elettrico e la disponibilità di prodotti petroliferi a basso costo ha provocato un rallentamento della sua diffusione.
- La crisi petrolifera dei primi anni '70 ha invece riportato sulla cogenerazione un diffuso interesse.
- Il suo sviluppo è stato però ostacolato da una serie di provvedimenti normativi, tra cui l'introduzione del sovrapprezzo termico e delle tariffe multiorarie.
 - Il meccanismo del sovrapprezzo termico, deciso con provvedimento CIP n. 34 del 1974, serviva per riportare gli eventuali aumenti dei prezzi del combustibile sugli utenti finali, salvaguardando il conto economico delle imprese elettriche. Rimasto in vigore per circa 20 anni, questo sistema ha di fatto sfavorito la diversificazione delle fonti e l'uso razionale dell'energia.
 - Le tariffe multiorarie introdotte con provvedimento CIP n. 44 del 1980, avevano lo scopo di ridurre la domanda nelle ore di punta.



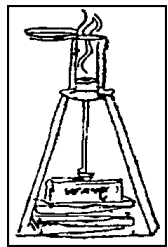
La legge n.308 del 1982.

- Con la legge 29 maggio 1982, n. 308 (“Norme sul contenimento dei consumi energetici, lo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e l’esercizio di centrali elettriche alimentate con combustibili diversi dagli idrocarburi”) vennero introdotti incentivi in conto capitale per il risparmio energetico e lo sviluppo delle fonti rinnovabili e un nuovo quadro giuridico per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e da cogenerazione, esentando però dalla riserva dell’Enel solo la generazione elettrica in impianti di potenza inferiore a 3 MW.
- La legge mostrò alcuni limiti nella fase attuativa, con forti ritardi nell’elaborazione delle graduatorie per l’assegnazione degli incentivi, e un limite di potenza assegnato agli impianti troppo basso per stimolare una reale ripresa del settore.



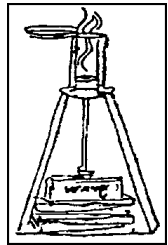
Il PEN del 1988

- Fu solo con il Piano Energetico Nazionale (PEN) del 1988 e le successive leggi attuative 9 gennaio 1991, n. 9 e 10 e il Provvedimento CIP 6/92 che è stato possibile dare un nuovo impulso allo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile e alla cogenerazione.
- Tali obiettivi sono stati perseguiti attraverso l'emanazione delle leggi 9 gennaio 1991 n. 9 e 10 che hanno definito le norme attuative del PEN ed in particolare rispettivamente:
 - Legge 9/91: Norme di attuazione per il nuovo Piano Energetico Nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali (<http://www.minindustria.it/leggi/legge9.htm>).
 - Legge 10/91: Norme di attuazione per il nuovo Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia (<http://www.minindustria.it/leggi/legge10.htm>).



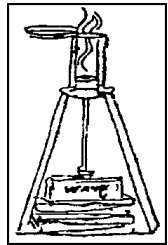
La legge 9/91

- La legge 9/91 ha profondamente rinnovato le norme relative all'area elettrica, aprendo ai privati il settore della produzione di elettricità.
- Molti vincoli, imposti agli autoproduttori dalla legge di nazionalizzazione elettrica del 1962, sono stati aboliti tramite l'art. 20; inoltre per la prima volta è stata permessa la libera circolazione dell'energia all'interno del gruppo industriale di appartenenza dell'autoproduttore.
- Contemporaneamente è stato ribadito che tutta la produzione eccedente andava comunque ceduta all'Enel, che ha continuato a detenere un monopolio per quanto riguarda il trasporto e la distribuzione dell'energia.
- L'art. 22 ha invece liberalizzato completamente la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e assimilate, abolendo il limite dei 3 MW previsto dalla legge 308/82.
- Il maggior limite della legge 9/91 è stato quello di non avere definito chiaramente gli obblighi dell'Enel rispetto al ritiro delle eccedenze di produzione di energia elettrica, a fronte dell'obbligo da parte dei produttori di venderla unicamente all'Enel. Questa ambiguità ha infatti successivamente permesso all'Enel di rifiutarsi di ritirare le eccedenze.



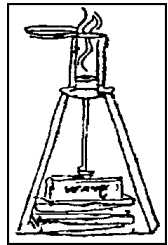
La legge 10/91

- La legge 10 ha previsto numerosi contributi in conto capitale per l'installazione di impianti di cogenerazione.
- In particolare quattro articoli della legge hanno previsto contributi, alcuni gestiti direttamente dal MICA - Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (artt. 11 e 12), altri (artt. 8 e 10) demandati in gestione alle Regioni ed alle Province autonome di Trento e Bolzano:
 - Art. 8 (Contributi in conto capitale a sostegno dell'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia nell'edilizia) prevede contributi per la cogenerazione al comma 1:
“...Possono essere concessi contributi in conto capitale nella misura minima del 20 per cento e nella misura massima del 40 per cento della spesa di investimento ammissibile documentata per ciascuno dei seguenti interventi: ...
 - d) installazione di apparecchiature per la produzione combinata di energia elettrica e di calore...”



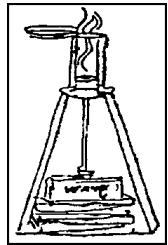
Legge 10/91 - Studi di fattibilità

- Art. 11 (Norme per il risparmio di energia e l'utilizzazione di fonti rinnovabili di energia o assimilate) prevede contributi per la cogenerazione al comma 1: "...Possono essere concessi contributi in conto capitale per studi di fattibilità tecnico-economica per progetti esecutivi di impianti civili, industriali, o misti di produzione, di recupero, di trasporto e di distribuzione dell'energia derivante dalla cogenerazione"; e al comma 2: "Il contributo ... È concesso ... nel limite massimo del 50 per cento della spesa ammissibile prevista sino ad un massimo di lire 50 milioni per gli studi di fattibilità tecnico-economica e di lire trecento milioni per i progetti esecutivi, purché lo studio sia effettuato secondo le prescrizioni del Ministro dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato e l'impianto abbia le seguenti caratteristiche minime:
 - a) potenza superiore a dieci megawatt termici e a tre megawatt elettrici
 - b) potenza elettrica installata per la cogenerazione pari ad almeno il 10 per cento della potenza termica erogata all'utenza."



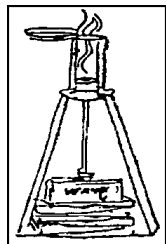
Legge 10/91 - Progetti dimostrativi

- Art. 12 (Progetti dimostrativi) prevede contributi anche per la cogenerazione ai commi 1 e 2: “Alle aziende pubbliche e private e loro consorzi, ed a consorzi di imprese ed enti pubblici possono essere concessi contributi in conto capitale per la progettazione e la realizzazione di impianti con caratteristiche innovative per aspetti tecnici e/o gestionali e/o organizzativi, che utilizzino fonti rinnovabili di energia e/o combustibili non tradizionali ovvero sviluppino prototipi a basso consumo specifico ovvero nuove tecnologie di combustione, di gassificazione, di liquefazione del carbone e di smaltimento delle ceneri, nonché iniziative utilizzanti combustibili non fossili la cui tecnologia non abbia raggiunto la maturità commerciale o di esercizio. ... Il contributo è concesso ... nel limite del 50 per cento della spesa ammissibile preventivata...”.
- Secondo l’art. 17 della stessa legge (Cumulo di contributi e casi di revoca) gli articoli sono cumulabili con altre incentivazioni eventualmente previste da altre leggi statali fino al 75% dell’investimento complessivo.



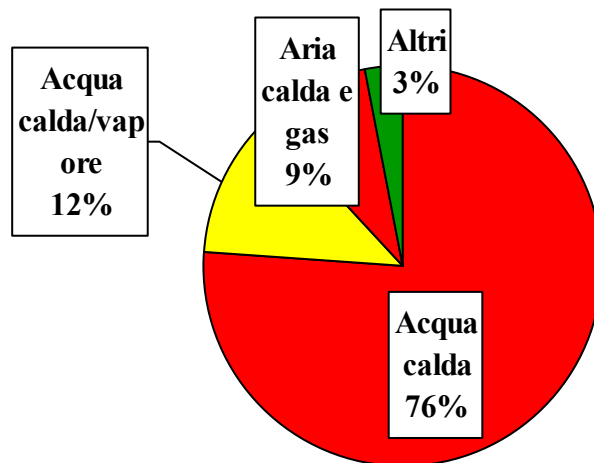
Il CIP 6/92

- La legge 9/91 prevedeva che fosse il Comitato Interministeriale dei Prezzi a definire i prezzi relativi alla cessione, alla produzione per conto dell'Enel, al vettoriamento dell' energia elettrica ed i parametri relativi allo scambio, assicurando prezzi incentivanti per la produzione da nuovi impianti alimentati con fonti rinnovabili ed assimilate, e definendo le condizioni tecniche per l'assimilabilità.
- Il provvedimento CIP che ha regolamentato questi aspetti è stato il n. 6 del 29 aprile 1992.
- Il CIP ha definito le condizioni tecniche per cui un impianto di cogenerazione può essere considerato assimilabile a fonte rinnovabile ed usufruire quindi dei prezzi definiti dal CIP stesso.

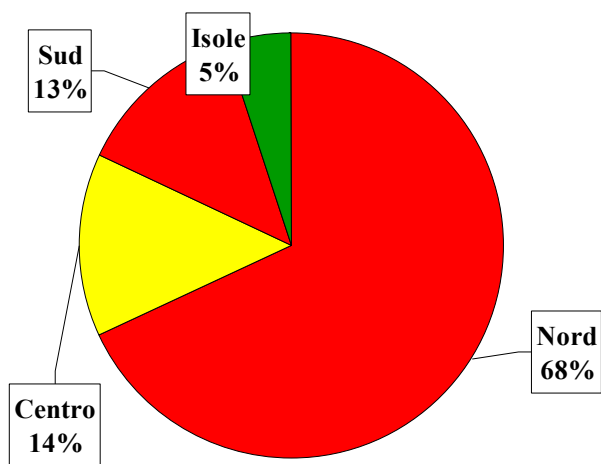


Impianti di cogenerazione in Italia. Statistiche

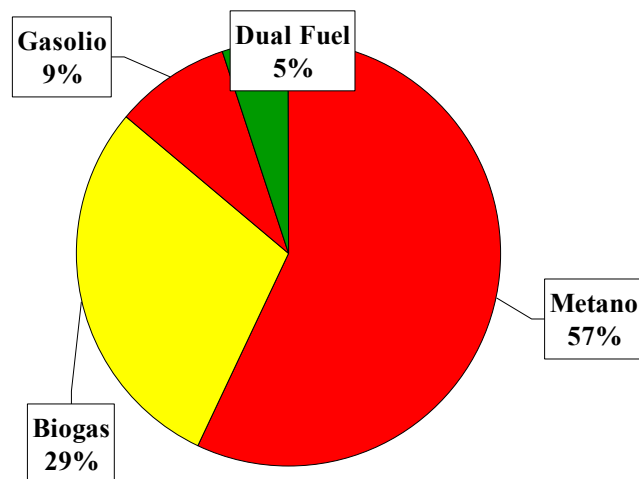
Utilizzo del calore recuperato

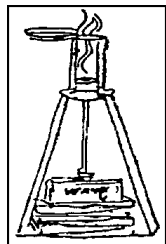


Ripartizione geografica



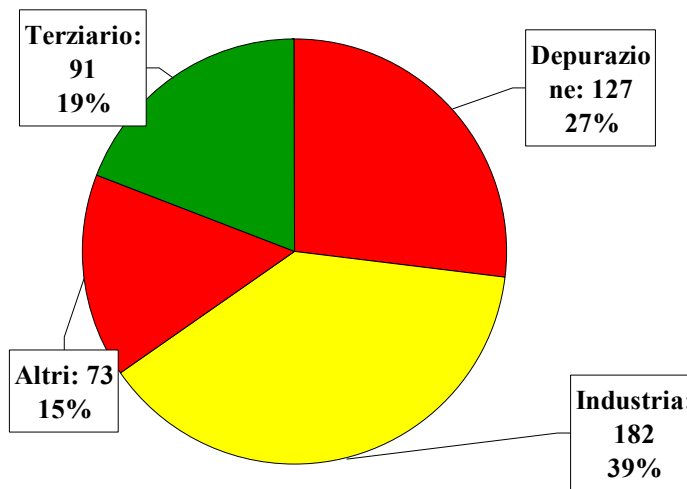
Tipo di combustibile



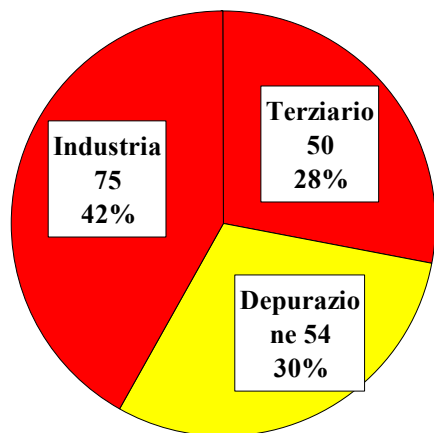


Impianti di cogenerazione in Italia. Statistiche

Ripartizione per settori
N. totale di impianti =
473

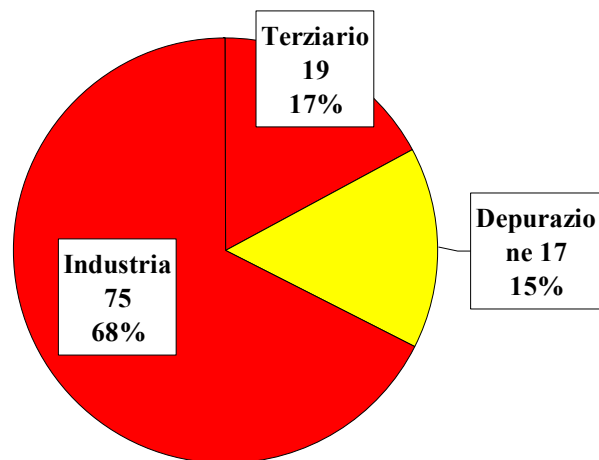


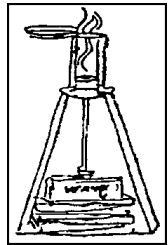
Compresa tra 20 e 300 kW



Maggiore di 300 kW

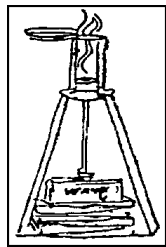
Ripartizione
per potenza
erogata





La domanda di energia

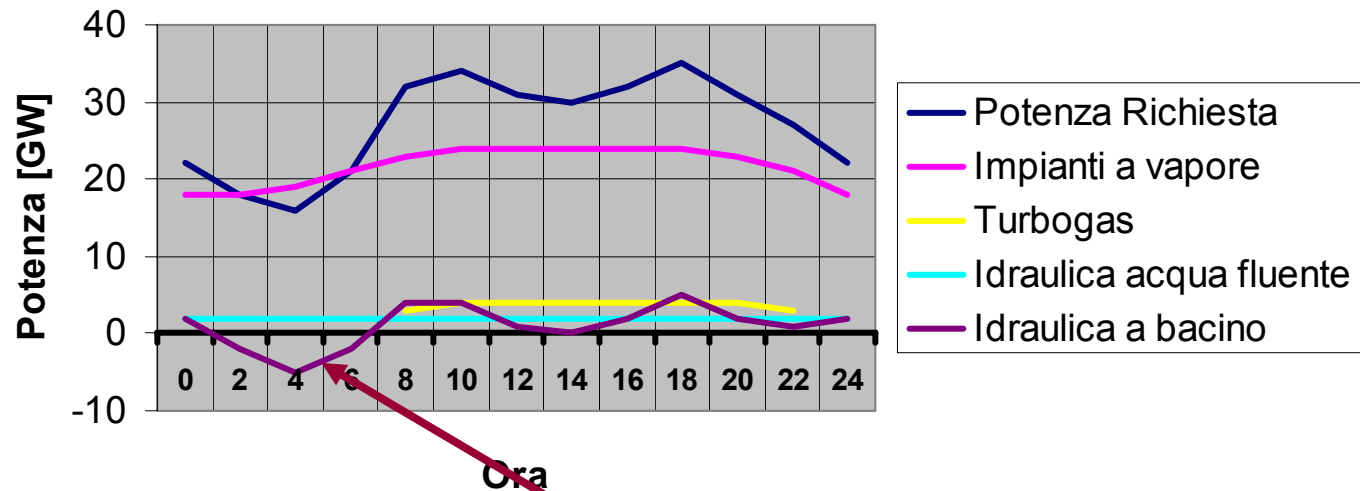
- Le condizioni di convenienza tecnico-economica di un impianto di cogenerazione dipendono in modo rilevante dalla distribuzione temporale delle domande di energia elettrica (meccanica) e termica, ed in particolare dal loro rapporto e dalla contemporaneità.
- Altro parametro importante per la scelta dell'impianto è la “qualità” dell'energia termica richiesta, legata al tipo di utenza. I principali utilizzi sono:
 - Acqua Calda Sanitaria (ACS)
 - Vapore.



Variabilità del fabbisogno di energia elettrica.

La **potenza richiesta** in rete manifesta notevoli variazioni nel corso della giornata.

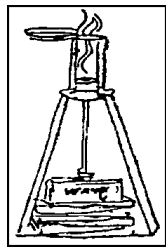
La potenza degli **impianti a vapore** non può ridursi a meno del 75% del carico nominale, pena inaccettabili riduzioni del rendimento.



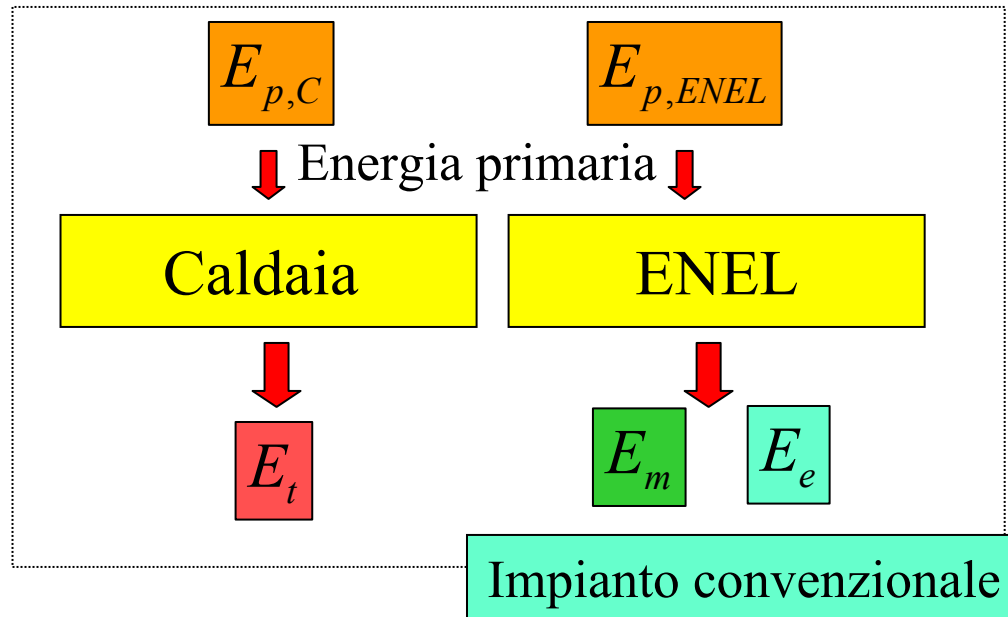
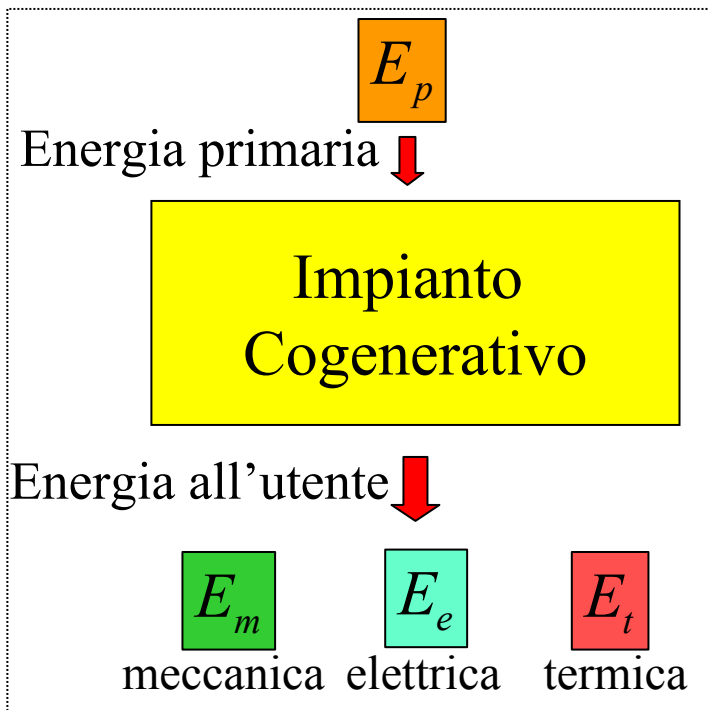
Gli impianti **turbogas** possono andare a regime con rapidità per fornire un surplus di potenza durante le ore di pieno carico.

Gli impianti idraulici ad **acqua fluente** funzionano a portata e potenza costante.

Parte degli impianti idraulici a bacino può lavorare in regime di **pompaggio** per accumulare nelle ore notturne il surplus di energia.



Parametri di valutazione energetica



Rendimento elettrico:

$$\eta_e = \frac{E_e}{E_p}$$

Rendimento termico:

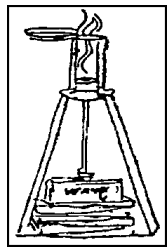
$$\eta_t = \frac{E_t}{E_p}$$

Coefficiente di utilizzo del combustibile:

$$CUC = \frac{\text{Energia utile all'utenza}}{\text{Energia primaria richiesta}} = \frac{E_e + E_m + E_t}{E_p}$$

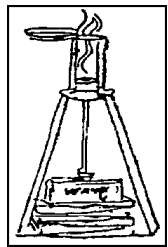
Risparmio di energia primaria:

$$REP = \frac{\text{Energia primaria risparmiata}}{\text{Fabbisogno di energia primaria}} = 1 - \frac{E_p}{E_{p,C} + E_{p,ENEL}}$$



Tipologie degli impianti di cogenerazione

- In linea di principio, tutti gli **Impianti Motori Termici** possono essere usati a fini cogenerativi, in quanto scaricano parte dell'energia a bassa temperatura.
- Le tipologie di impianto più adoperate sono:
 - Motori a combustione interna volumetrici (in genere alternativi);
 - Turbine a gas;
 - Turbine a vapore;
 - Impianti combinati gas-vapore;
- Queste soluzioni si differenziano per:
 - Taglia dell'impianto (livelli di potenza);
 - Temperature a cui è disponibile l'energia termica;
 - Elasticità di uso (gradi di libertà);
 - Rapporto tra potenza termica ed elettrica;
 - Costi di impianto e di esercizio;
 - Combustibili;
 - Impatto ambientale.

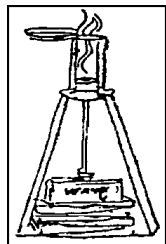


Tipologie di impianto

Impianti ad un
grado di libertà

Impianti a due gradi
di libertà

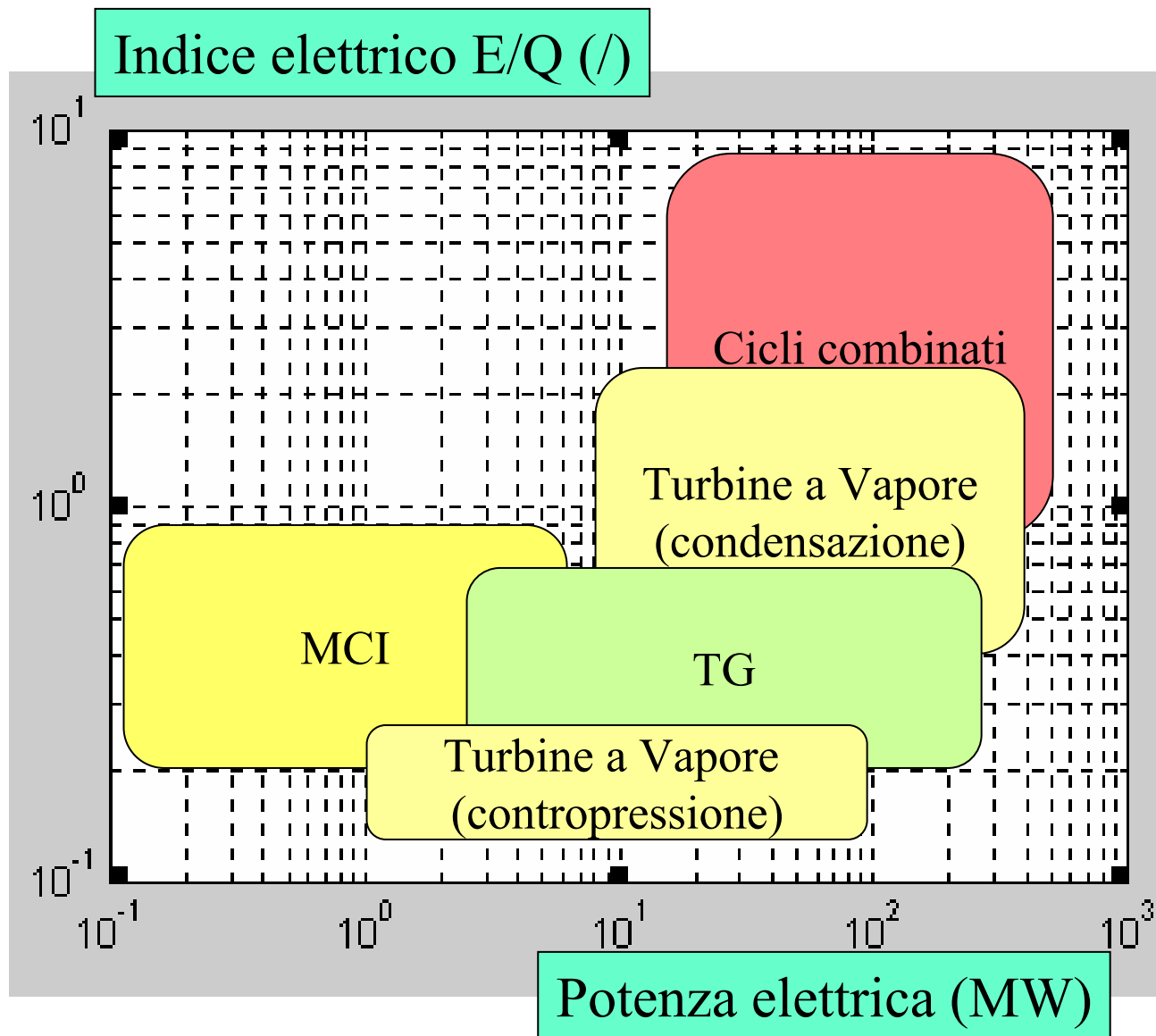
<i>Tecnologia</i>	<i>Potenza (MW)</i>
Ciclo Otto	0.02 - 5
Ciclo Diesel	0.1 - 30
Turbina a gas	0.4 - 130
Turbina a vapore	0.5 - 150
Impianto Combinato	> 5

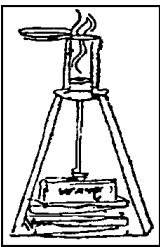


Campi di applicazione

Il grafico riporta i campi di potenza ed i relativi valori del rapporto tra potenza elettrica e termica per le diverse tipologie di impianto.

Ai livelli inferiori di potenza (microgenerazione) c'è il ricorso esclusivo ai MCI alternativi, mentre per le applicazioni industriali di grande taglia si ricorre ad impianti a vapore, combinati e non. Gli impianti a gas (TG) coprono una ampia gamma di potenze.



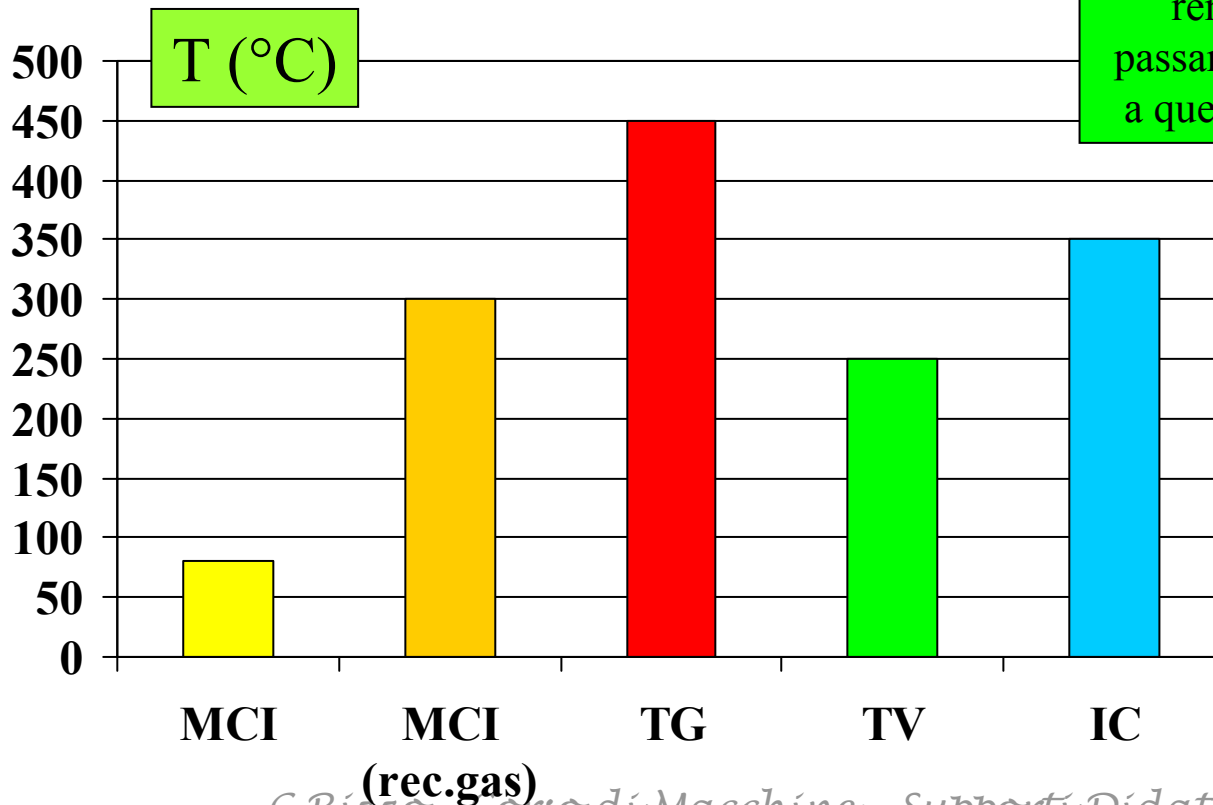


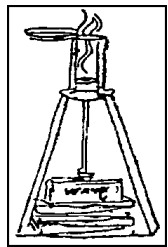
Qualità dell'energia termica disponibile

Nei motori alternativi, il calore recuperato dai fluidi refrigeranti è disponibile a temperature relativamente basse, mentre quello recuperato dai gas di scarico raggiunge livelli di temperatura più elevati.

Gli impianti a gas, ed in particolare quelli con post-combustione, permettono di raggiungere in assoluto le temperature più elevate.

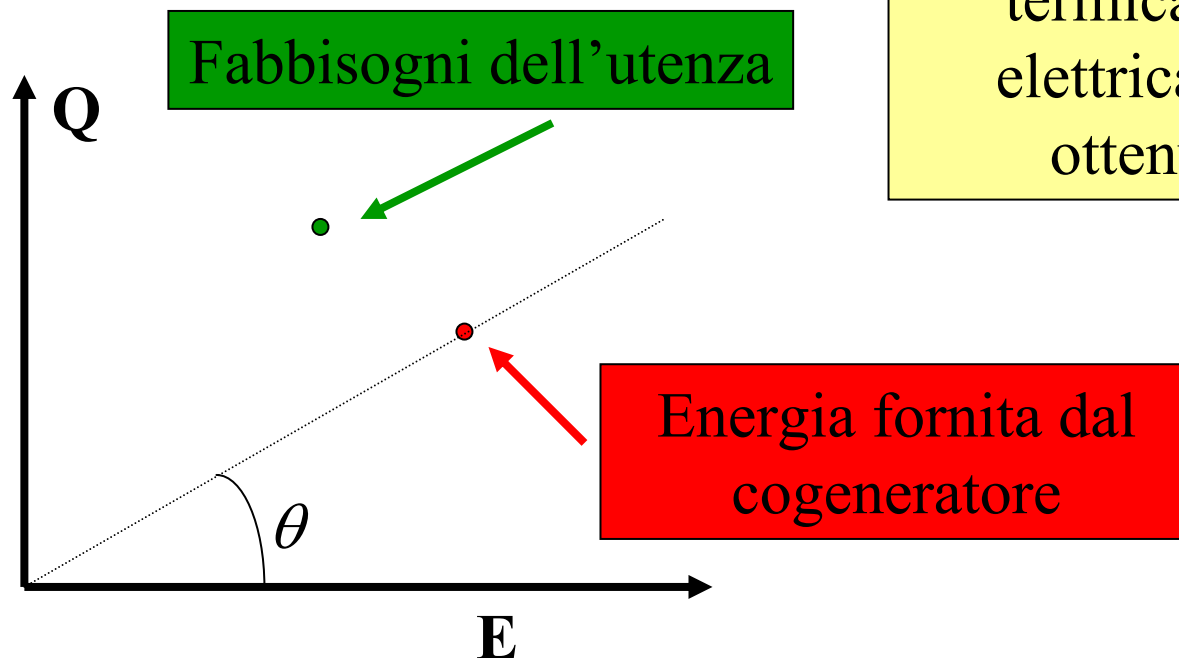
Negli impianti a vapore la temperatura di scarico influenza notevolmente il rendimento elettrico, che si riduce passando dagli impianti a condensazione a quelli a contropressione e derivazione





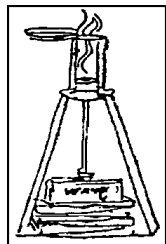
Piano delle energie

E' utile rappresentare i fabbisogni e le energie fornite su un piano (E,Q)



Il rapporto tra energia termica ed energia elettrica può essere ottenuto come:

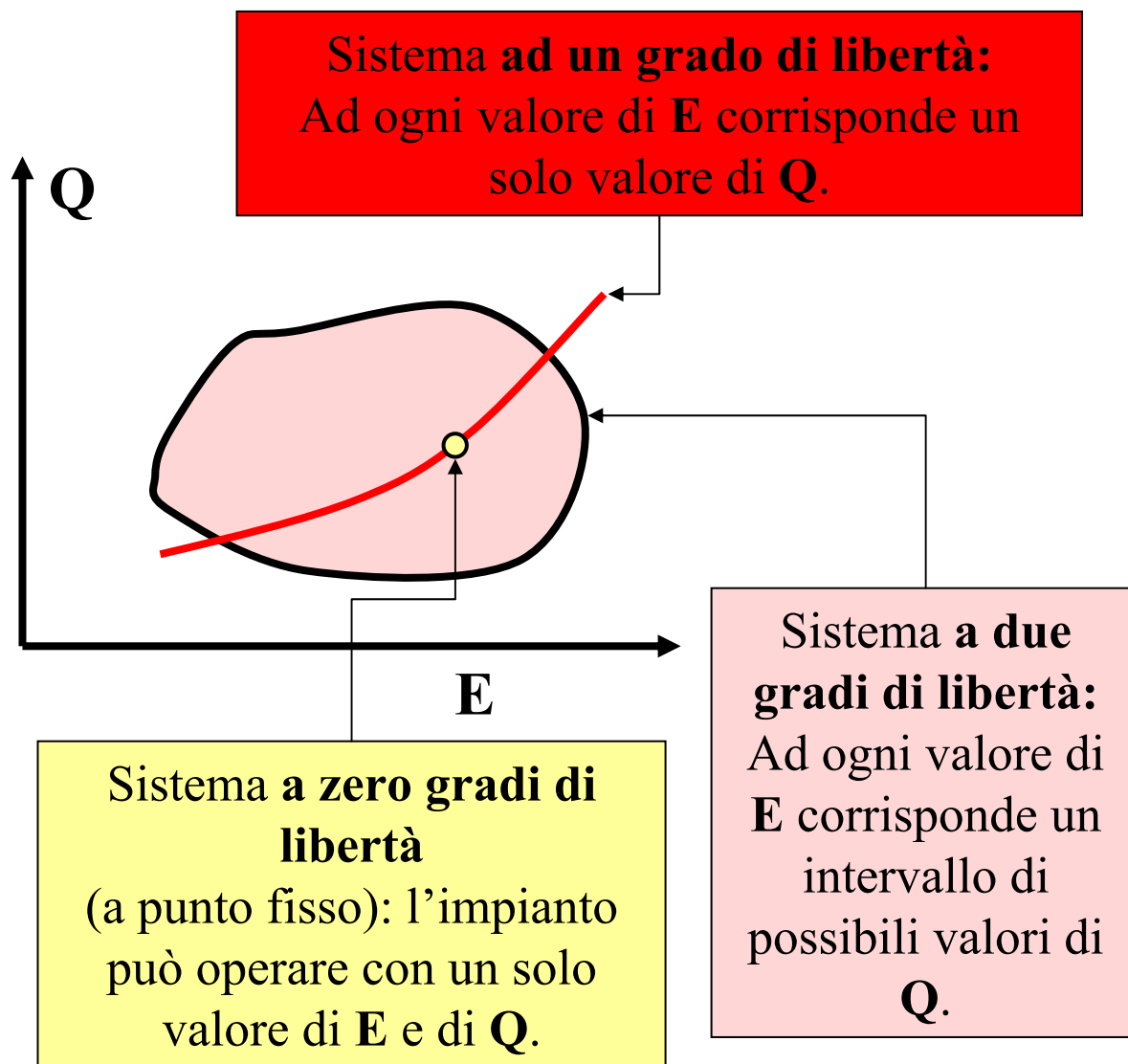
$$\tan(\theta) = \frac{Q}{E}$$



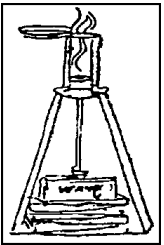
Gradi di libertà

In funzione della loro struttura e della loro complessità, gli impianti di cogenerazione possono operare con diversi valori del carico termico ed elettrico.

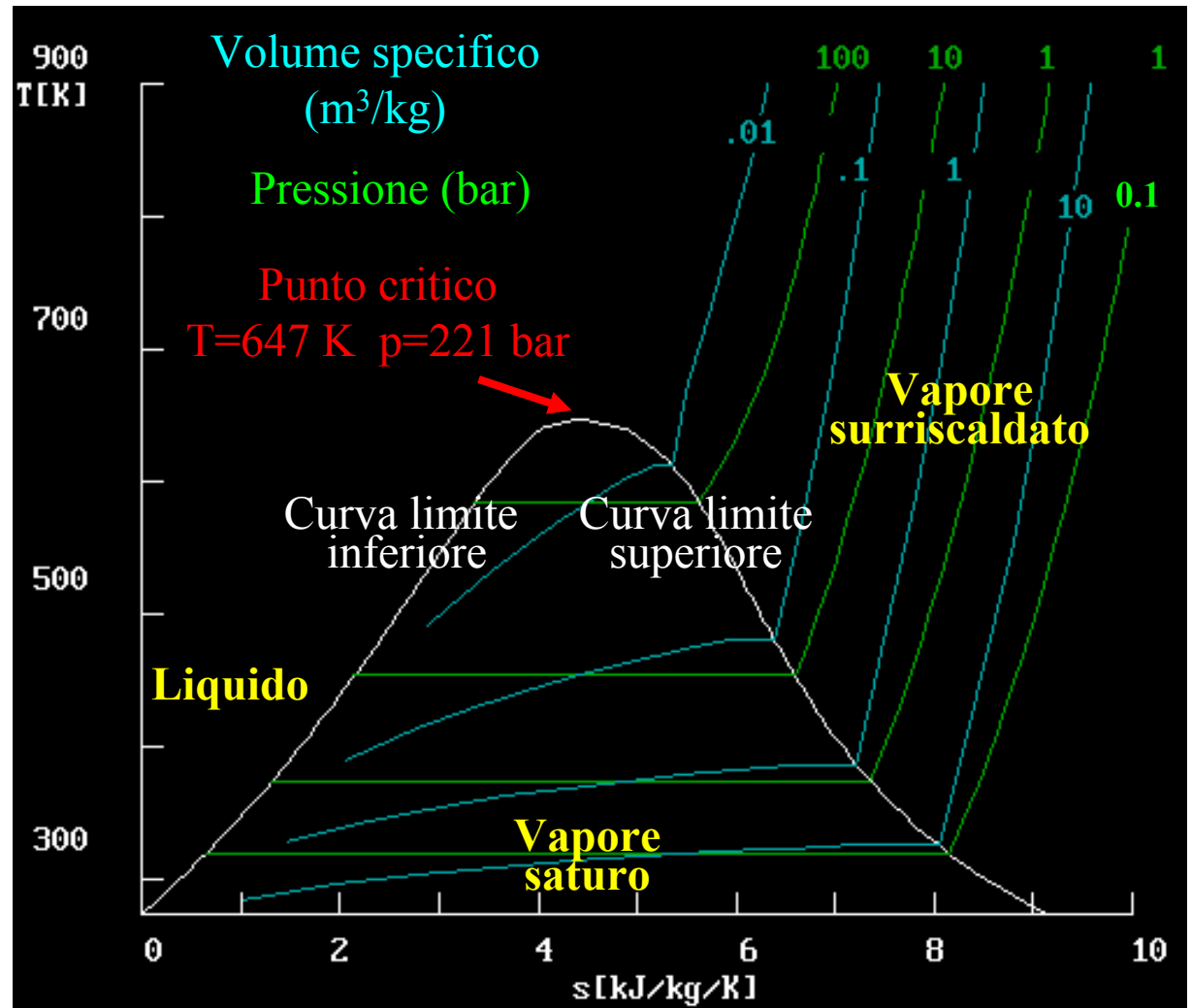
Gli impianti a due gradi di libertà presentano la massima capacità di adattamento alle variazioni del carico richiesto dall'utenza.

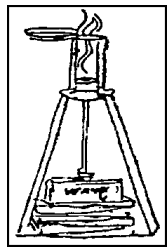


Il vapore d'acqua sul piano (Ts)



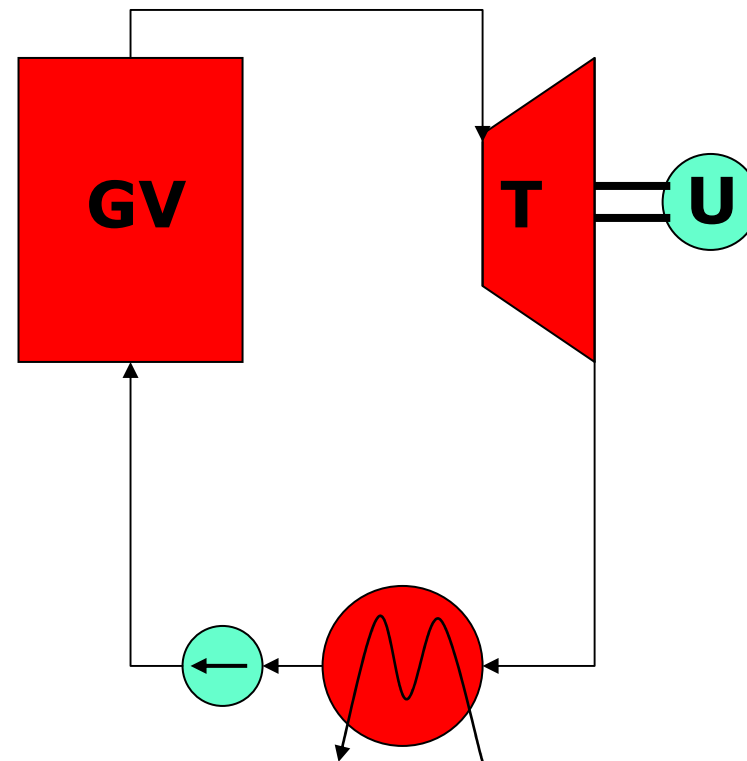
- Sotto la curva a campana, le isobare coincidono con le isoterme.
- Avvicinandosi al punto critico, il calore latente di vaporizzazione tende a zero.
- Alla temperatura ambiente, la pressione di saturazione è inferiore a 0.1 bar, mentre il volume specifico è molto elevato.

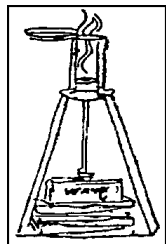




Impianto a vapore tradizionale

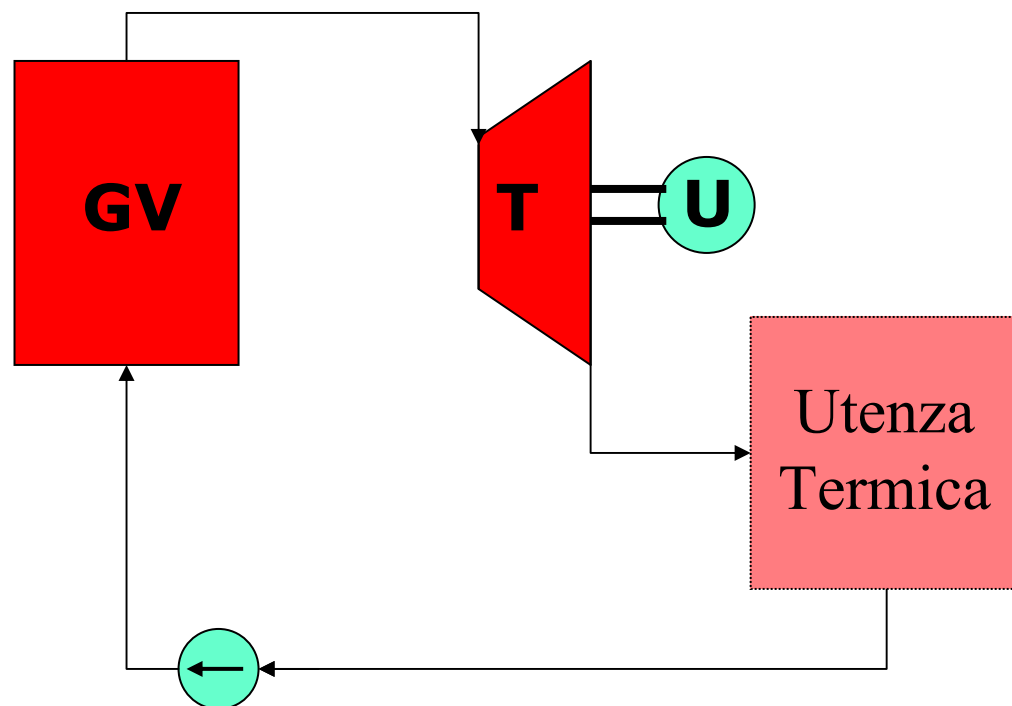
In un impianto a vapore tradizionale il fluido in uscita dalla turbina passa nel condensatore, che lo riporta alle condizioni iniziali, allo stato di liquido saturo. Il calore di scarico, a bassa temperatura, è quindi dissipato nell'ambiente.

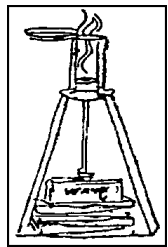




Impianto a contropressione

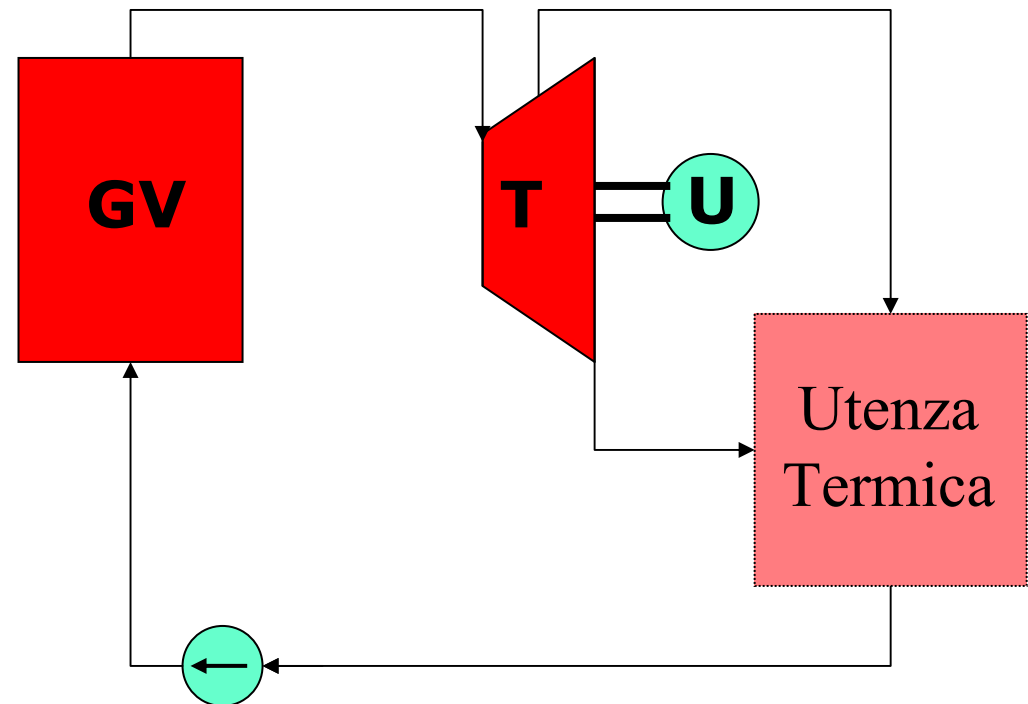
In un impianto a contropressione il condensatore è sostituito da uno scambiatore di calore, che cede il calore di scarico all'utenza termica, a pressione e temperatura opportune.

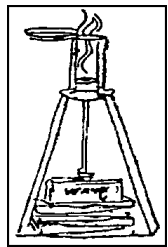




Impianto a derivazione e controcompressione

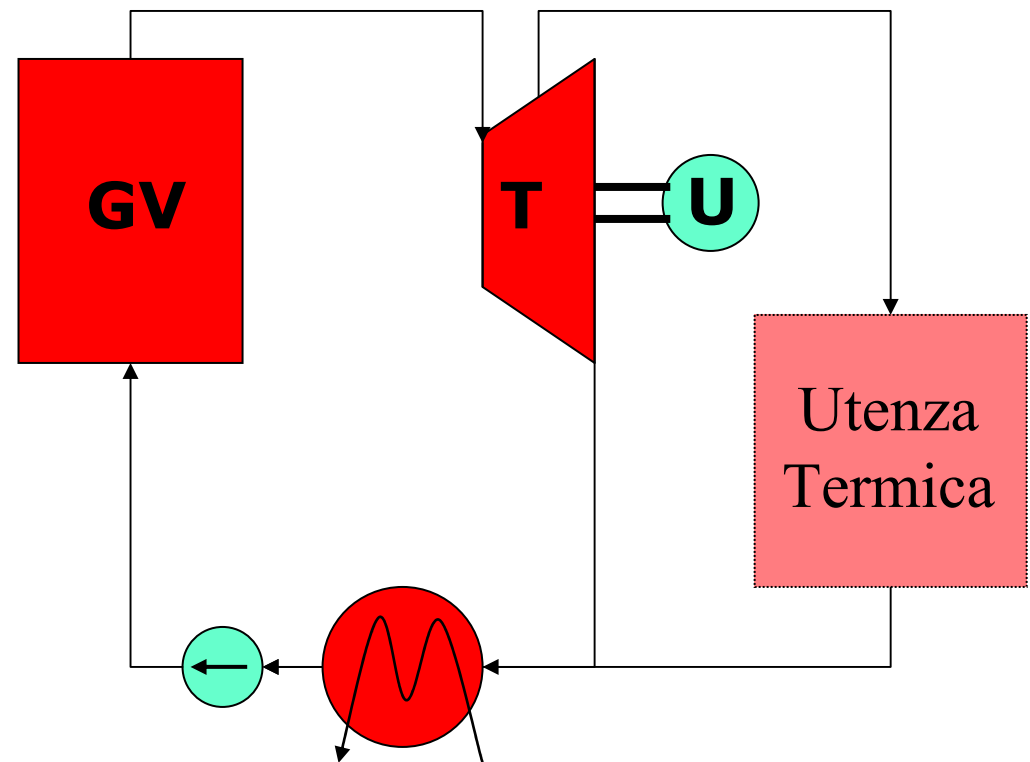
In un impianto a derivazione e controcompressione il flusso termico all'utenza è ottenuto, oltre che dal calore di scarico della turbina, attraverso uno o più spillamenti di vapore dalla turbina.

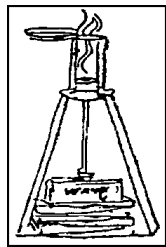




Impianto a derivazione

In un impianto a derivazione il flusso termico all'utenza è ottenuto soltanto attraverso spillamenti di vapore. Il flusso in uscita dalla turbina è inviato ad un condensatore.

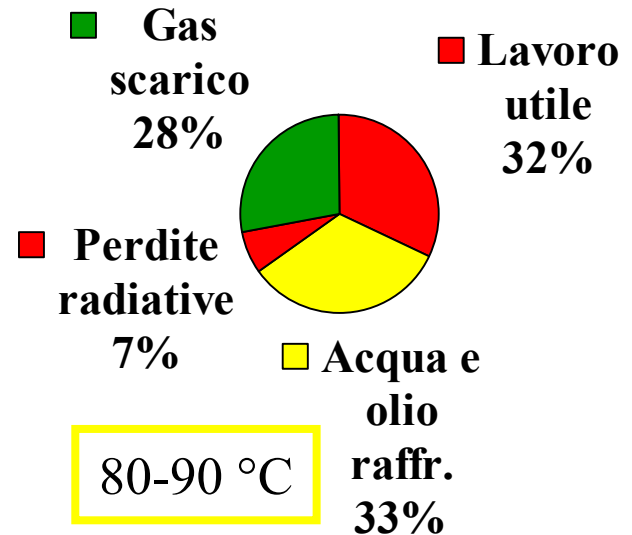


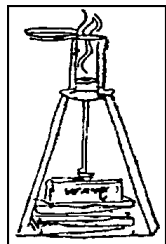


Bilancio energetico di un MCI alternativo

- In un motore alternativo a c.i. l'energia termica può essere recuperata sia dai **gas di scarico**, a temperatura relativamente elevata, che dai **fluidi di raffreddamento** (acqua, olio), a temperature inferiori ai 100°C.
- Al di sotto dei 140°C circa, nei gas di scarico avviene la **condesazione di prodotti acidi**: per questo motivo il recupero del calore non può essere esteso fino alle basse temperature.
- Una aliquota in genere inferiore al 10% viene dispersa nell'ambiente, attraverso **scambi radiativi**.

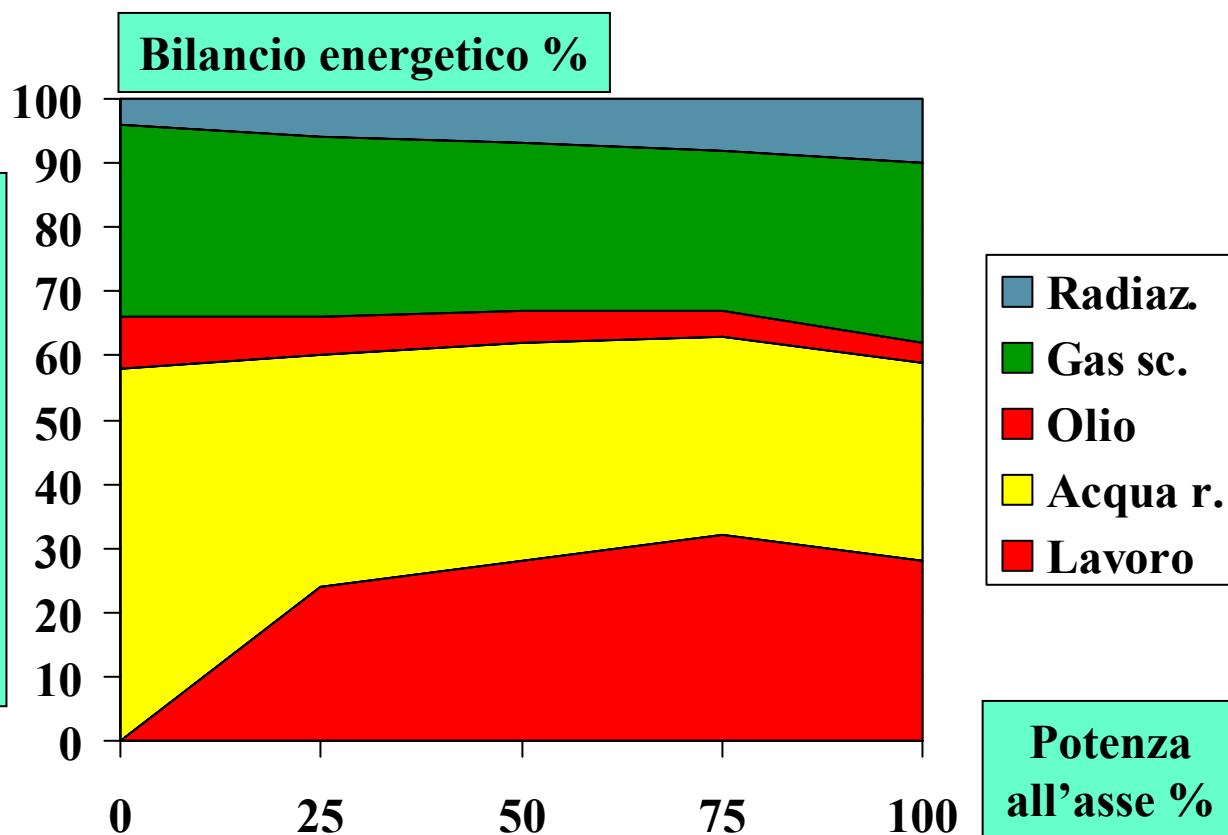
400-600 °C



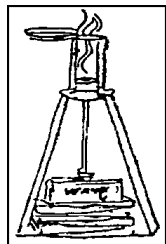


Bilancio energetico: effetti della potenza

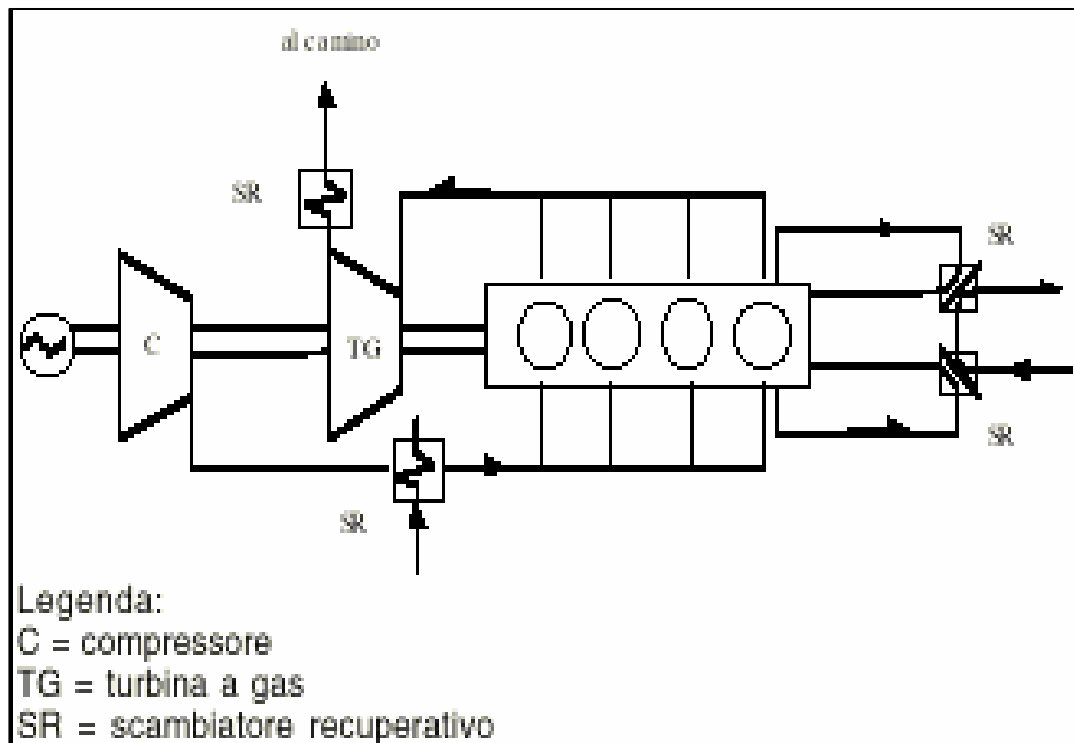
La ripartizione relativa tra i flussi energetici in uscita dipende dal tipo di motore e dalla taglia. Inoltre, per un dato motore varia con la potenza all'asse.



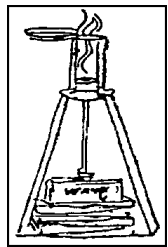
Il grafico riporta una suddivisione qualitativa del bilancio energetico in funzione del carico percentuale. Si può notare come il calore recuperato dall'olio sia molto inferiore a quello recuperabile dall'acqua di raffreddamento, e come ai bassi carichi (<25%) il minor lavoro meccanico si traduca essenzialmente in un aumento del calore prelevabile dall'acqua di raffreddamento.



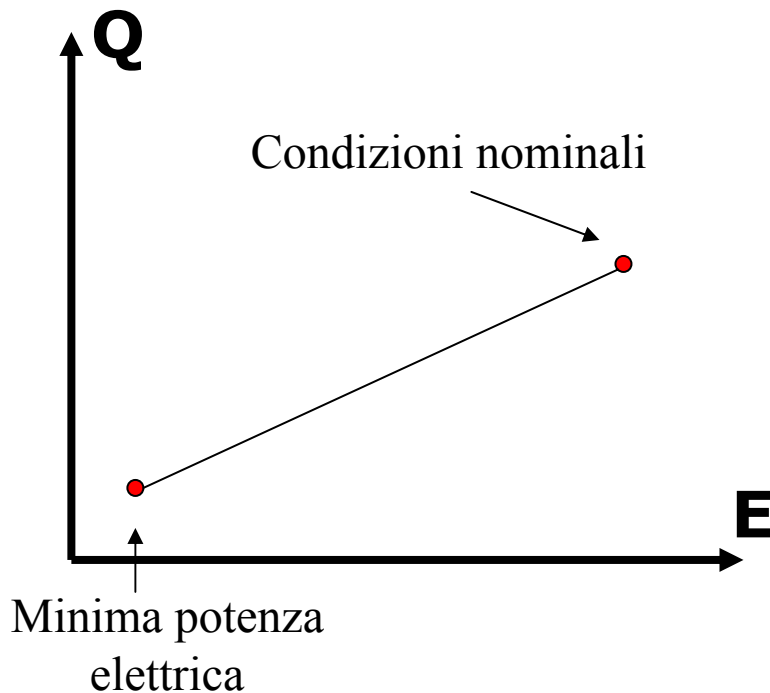
Cogenerazione con motore alternativo



Schema di un motore Diesel con turbo-sovralimentatore per uso rigenerativo. Sono presenti scambiatori recuperativi (SR) per i fluidi refrigeranti (bassa temperatura), per il fluido all'uscita del compressore (Inter-Cooler) e per i gas di scarico all'uscita della turbina.

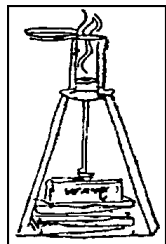


MCI alternativi: piano E/Q

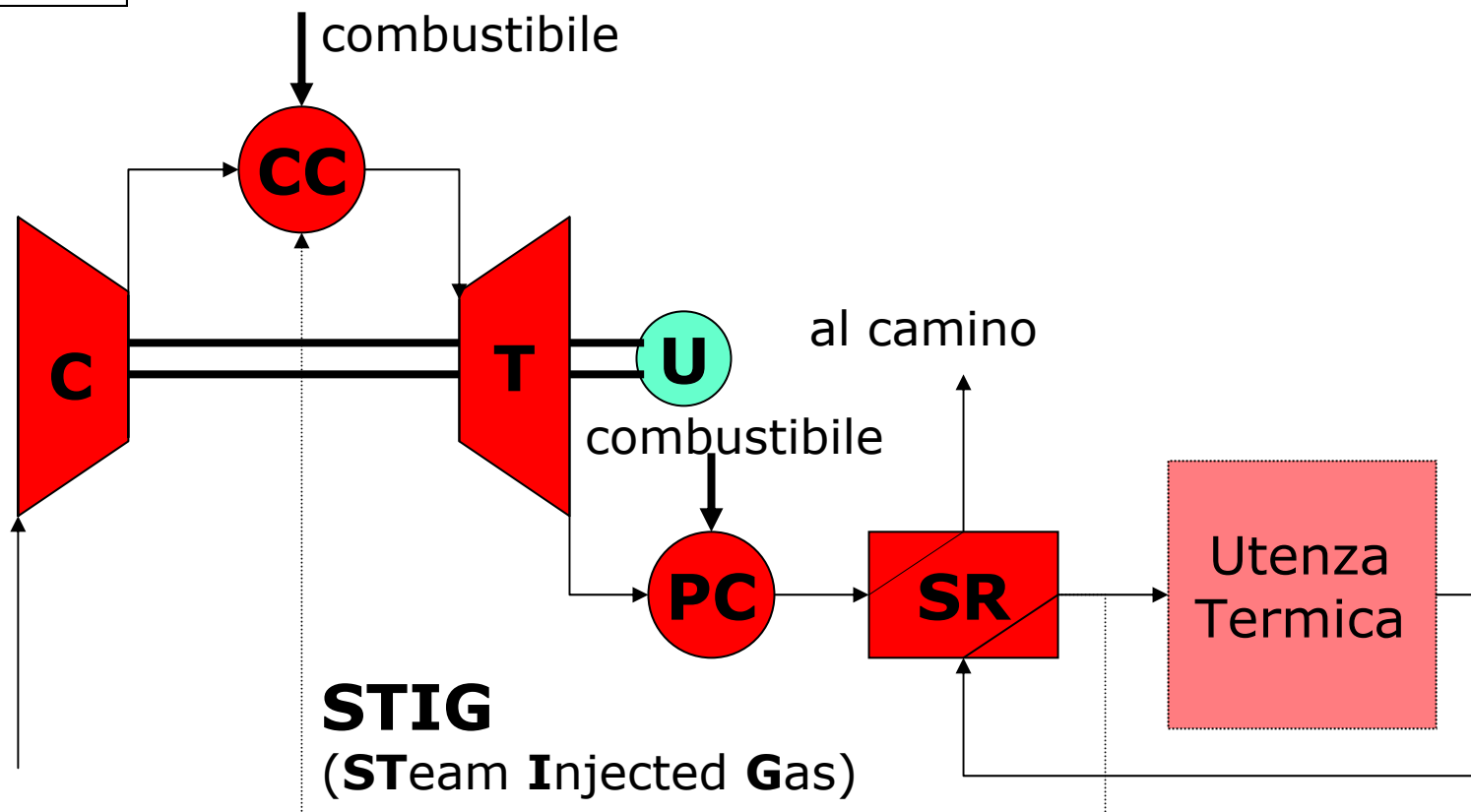


Il grafico mostra qualitativamente i valori di carico elettrico e termico ottenibili al variare della potenza. Il motore alternativo può essere considerato come sistema ad un grado di libertà, e pertanto il carico termico è funzione del carico elettrico.

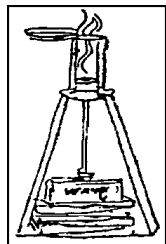
A rigore, nei MCI ad accensione comandata possono ottenersi variazioni del carico termico a parità di carico elettrico agendo su anticipo di accensione e sul rapporto di miscela, con effetti su rendimenti ed emissioni.



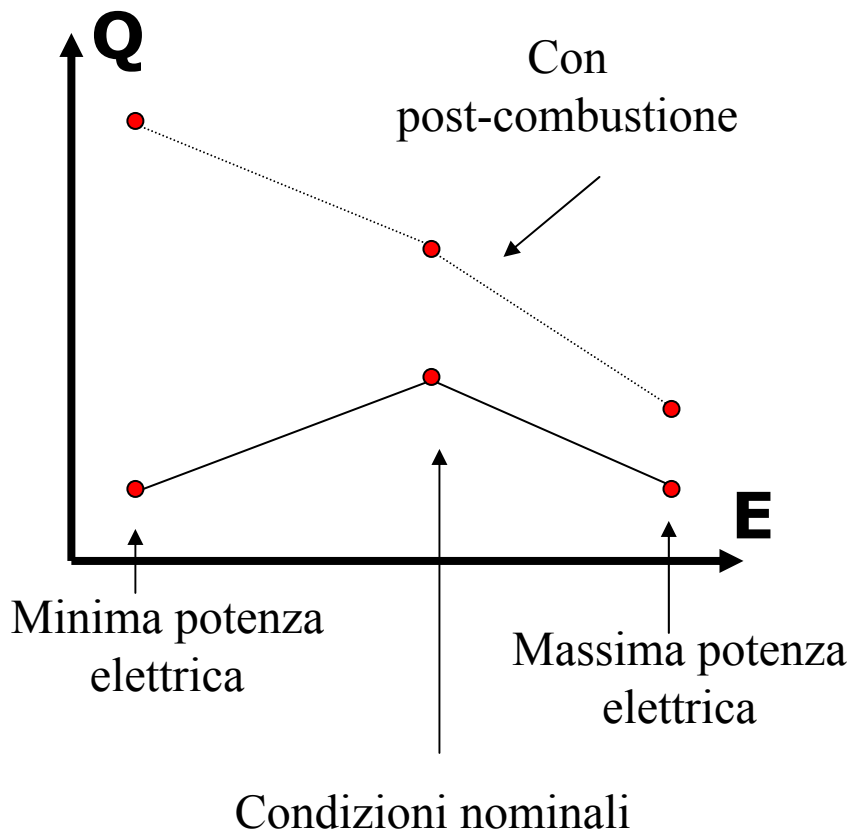
Impianti con turbina a gas per uso cogenerativo



Schema di un impianto a gas cogenerativo con post-combustione (PC), scambiatore recuperativo (SR) ed iniezione di vapore in camera di combustione (STIG).

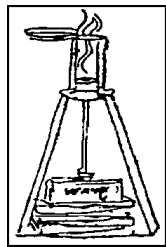


Turbine a gas: piano E/Q



Il grafico mostra qualitativamente i valori di carico elettrico e termico ottenibili al variare della potenza.

L'adozione della post-combustione permette di estendere il campo di funzionamento, incrementando il rapporto Q/E a parità di carico elettrico (sistema a due gradi di libertà). La post-combustione ha la sua massima applicazione ai bassi carichi, dove è presente la massima quantità di ossigeno allo scarico della turbina.



L'indice energetico (IEN)

Il criterio di assimilabilità definito dal CIP 6 si basa sul concetto di Indice energetico (**IEN**) definito come:

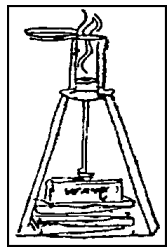
E_c = energia immessa annualmente nell'impianto attraverso i combustibili fossili commerciali

E_t = energia termica utile prodotta annualmente dall'impianto

E_e = energia elettrica utile prodotta annualmente dall'impianto al netto dell'energia assorbita dai servizi ausiliari, sulla base del programma annuale di utilizzo

$$IEN = \frac{E_e}{E_c} + \frac{E_t}{0.9E_c} - a$$
$$a = \left(\frac{1}{0.51} - 1 \right) \left(0.51 - \frac{E_e}{E_c} \right)$$

Affinché un impianto convenzionale sia assimilabile ad un impianto che usa fonti rinnovabili dovrà risultare **IEN > 0,51**. Si avrà poi una tariffa ancora più favorevole nel caso di **IEN > 0,60**.

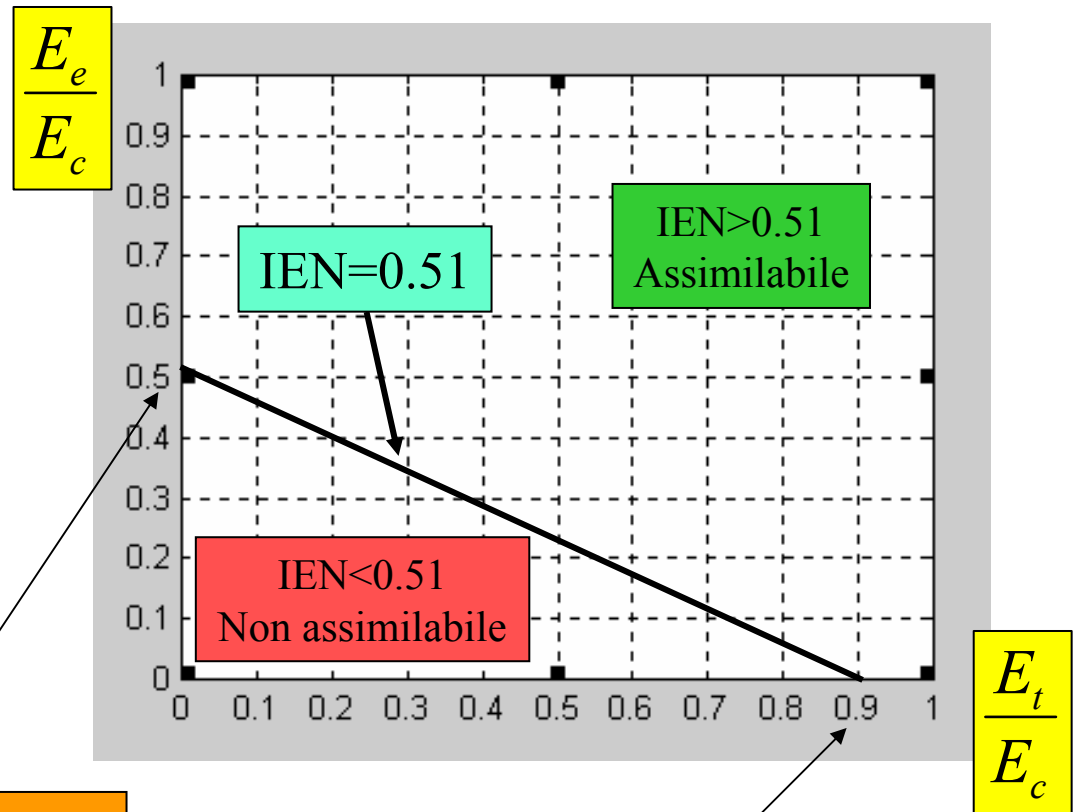


Condizioni di assimilabilità

$$IEN = \frac{E_e}{E_c} + \frac{E_t}{0.9E_c} - a$$

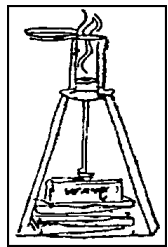
$$a = \left(\frac{1}{0.51} - 1 \right) \left(0.51 - \frac{E_e}{E_c} \right)$$

L'indice IEN è funzione lineare crescente sia del rapporto E_e/E_c che del rapporto E_t/E_c .



Pura erogazione di energia elettrica, con rendimento pari a 0.51

Pura erogazione di energia termica, con rendimento pari a 0.90



Le tariffe elettriche in Italia

Il costo dell'energia elettrica **CE** è dato dalla somma di 4 termini:

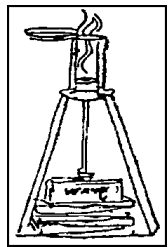
Corrispettivo di energia,
proporzionale al consumo

Sovrapprezzo termico, proporzionale
al consumo (introdotto per adeguare
il prezzo dell'energia a quello dei
combustibili)

$$CE = QP + QF + ST + I$$

Corrispettivo di potenza (quota fissa),
proporzionale alla potenza massima
richiesta (potenza impegnata)

Imposte, proporzionali al
consumo



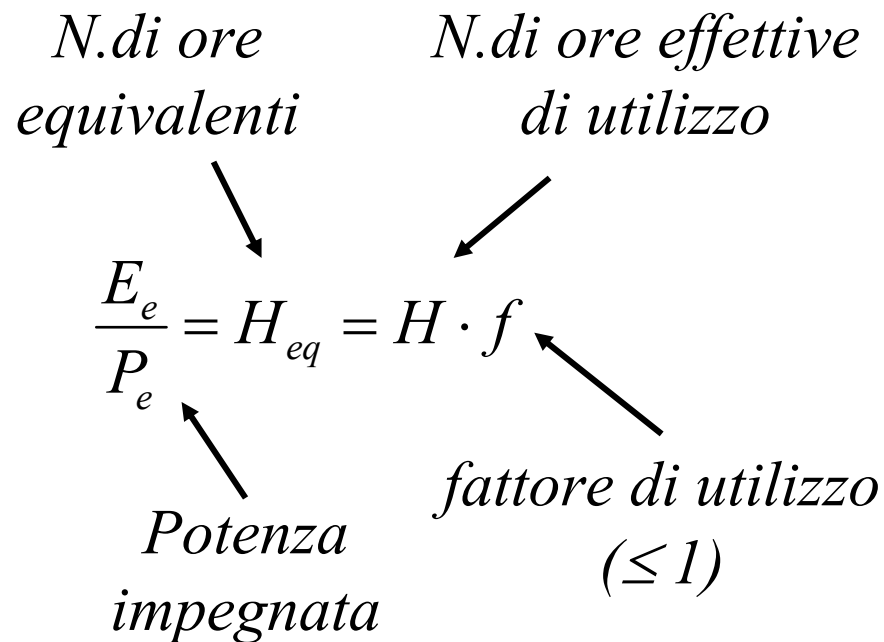
Costo unitario dell'energia elettrica

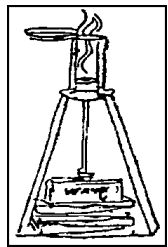
$$C_{ue} = \frac{QP + QF + ST + I}{E_e} =$$
$$= \frac{qp \cdot E_e + qf \cdot P_e + st \cdot E_e + i \cdot E_e}{E_e}$$

$$C_{ue} = qp + \frac{qf}{\frac{E_e}{P_e}} + st + i$$

Numero di ore equivalenti di utilizzo dell'energia impegnata

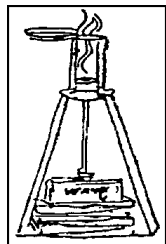
Il costo unitario si ottiene dividendo il costo totale per l'energia consumata E_e





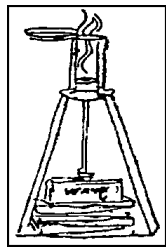
Tariffe

- Si considerano diverse tariffe, in funzione della tipologia di utilizzo:
 - Usi domestici
 - Luoghi diversi dalle abitazioni
 - **Binomia multioraria** (utenze alimentate in alta tensione – oltre 50 kV – ed in media tensione; potenza impegnata superiore ai 400 kW; esclusi usi agricoli ed illuminazione pubblica).
 - **Binomia semplice** (utenze alimentate in bassa tensione, ed in media ed alta tensione con potenza impegnata non superiore ai 400 kW).
 - **Bioraria** (utenze alimentate in bassa tensione; potenza impegnata superiore ai 25 kW).



Tariffa binomia multioraria

Fasce orarie		Orario	Giorni	Periodo
1	Ore di punta	8.30-10.30 16.30-18.30	Dal lunedì al venerdì	Invernale (ottobre-marzo)
2	Ore di alto carico	6.30-8.30 10.30-16.30 18.30-21.30	Dal lunedì al venerdì	Invernale (ottobre-marzo)
		8.30-12.00	Dal lunedì al venerdì	Estivo (aprile-settembre) - escluso agosto
3	Ore di medio carico	6.30-8.30 12.00-21.30	Dal lunedì al venerdì	Estivo (aprile-settembre) - escluso agosto
4	Ore vuote	0.00-6.30 21.30-24.00	Dal lunedì al venerdì	Invernale ed estivo
		0.00-24.00	Sabato e domenica + giorni festivi	Invernale ed estivo
		0.00-24.00	Intera settimana	Agosto



Tariffa binomia multioraria

- Il corrispettivo di potenza ed il prezzo dell'energia hanno i massimi valori nelle ore di punta e decrescono fino alle ore vuote.
- E' possibile impegnare potenze diverse per le quattro fasce. La potenza impegnata nella i-esima fascia deve essere però non superiore a quella della fascia successiva:

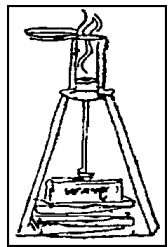
$$P1 \leq P2 \leq P3 \leq P4$$

Corrispettivo di energia:

$$QP = qp_1 \cdot E1 + qp_2 \cdot E2 + qp_3 \cdot E3 + qp_4 \cdot E4$$

Corrispettivo di potenza:

$$QF = qf_1 \cdot P1 + qf_2 \cdot (P2 - P1) + qf_3 \cdot (P3 - P2) + qf_4 \cdot (P4 - P3)$$

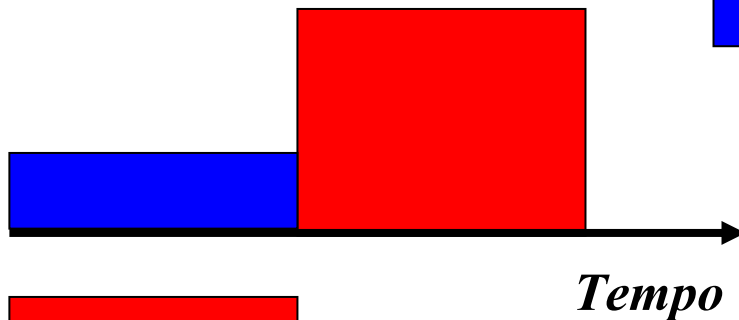


La sinergia delle utenze

**Domanda di
energia elettrica**

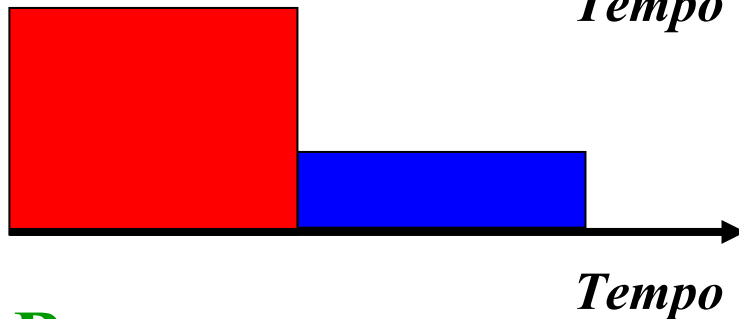
**Domanda di
energia termica**

A



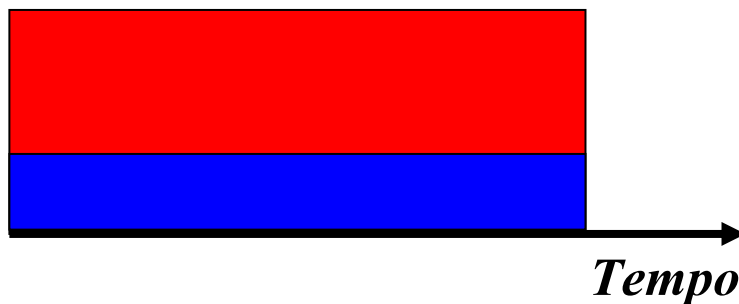
Caso A: domande sfasate nel tempo,
cogenerazione non conveniente

B

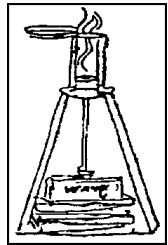


Caso B: domande sfasate nel tempo,
cogenerazione non conveniente

A+B

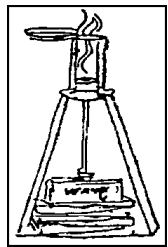


Caso A+B: domande fasate nel tempo,
cogenerazione conveniente

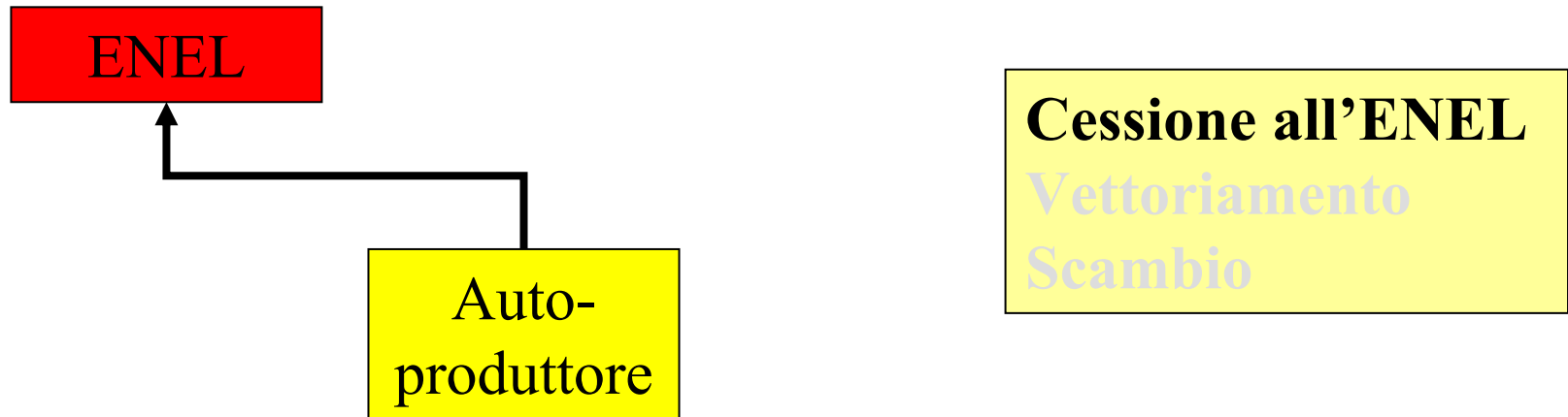


Modalità di cessione dell'energia autoprodotta

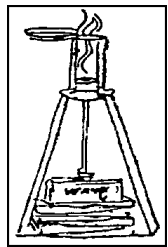
- In applicazione della legge 10/91, il CIP ha regolamentato i prezzi relativi alla cessione di energia all'ENEL e le relative modalità di trasferimento dell'energia.
- L'energia autoprodotta può essere ceduta secondo tre diverse modalità:
 - **Cessione all'ENEL.**
 - **Vettoriamiento.**
 - **Scambio.**



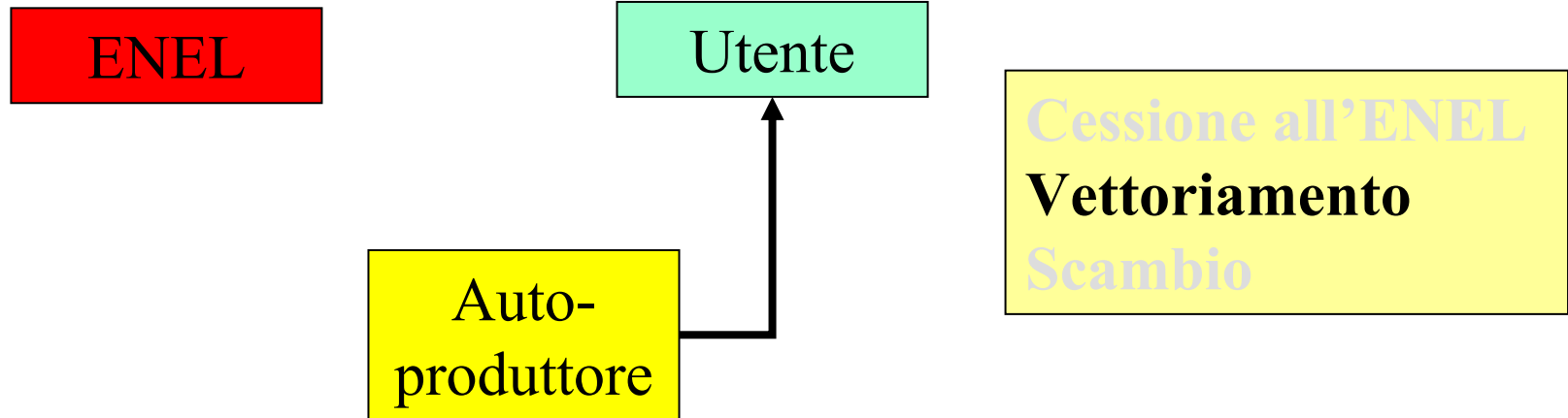
Modalità di cessione dell'energia 1/3



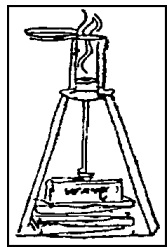
- L'ENEL può acquistare l'energia prodotta e le eccedenze degli autoproduttori.
- Il prezzo dipende dal tipo di impianto (esistente o nuovo), dalle fonti di energia utilizzate (rinnovabili ed assimilate o convenzionali), dai valori dell'indice IEN, dal fatto che l'impianto sia dedicato o venda eccedenze di produzione.



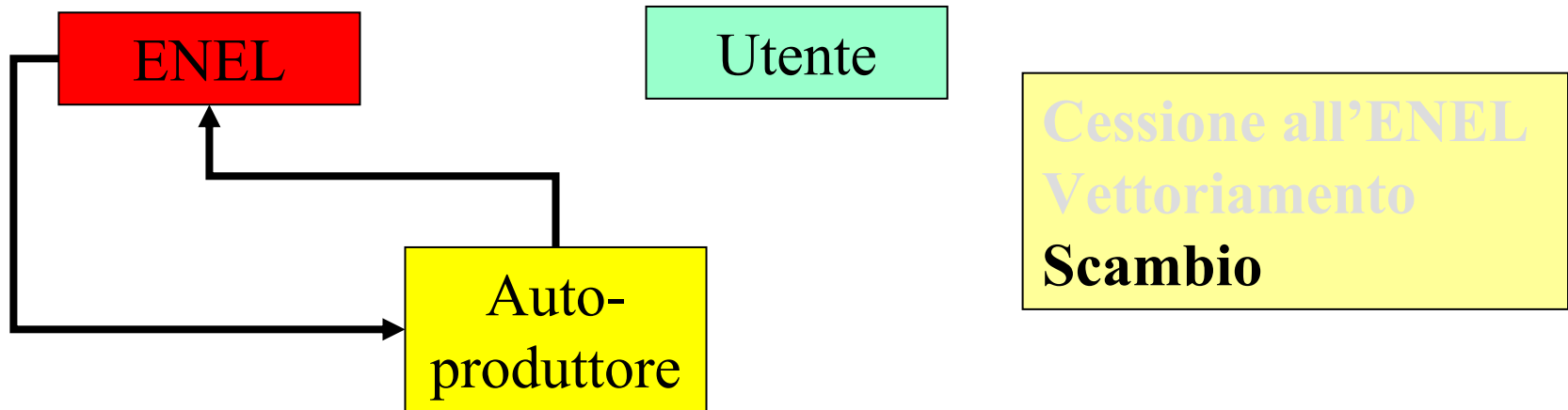
Modalità di cessione dell'energia 2/3



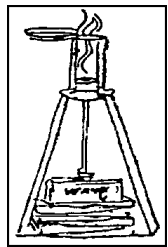
- Con la modalità del vettoriamento, la rete ENEL è utilizzata per trasportare energia verso un altro utente consorziato con l'auto-produttore.
- L'utente consorziato potrà quindi limitare il suo impegno di potenza presso l'ENEL.



Modalità di cessione dell'energia 3/3

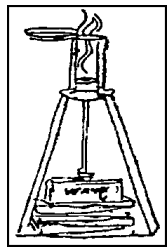


- Con la modalità dello scambio, è possibile essere autorizzati ad immettere energia in rete in determinati periodi e prelevarla in altri, anche da luoghi diversi.
- E' però necessario comunque impegnare la potenza da prelevare.

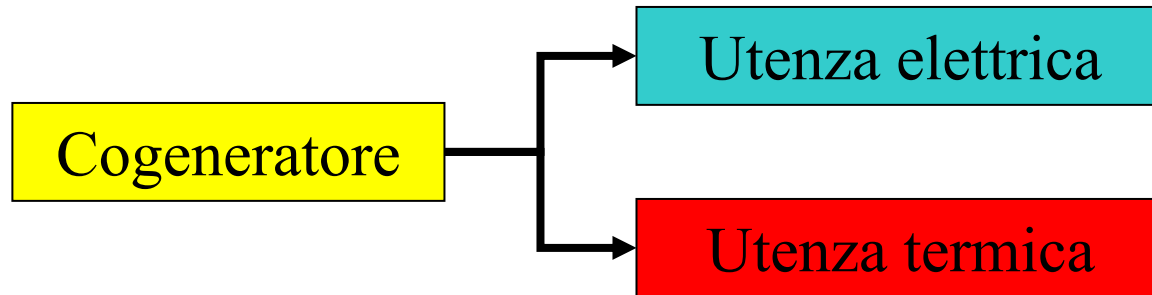


Modalità di funzionamento degli impianti

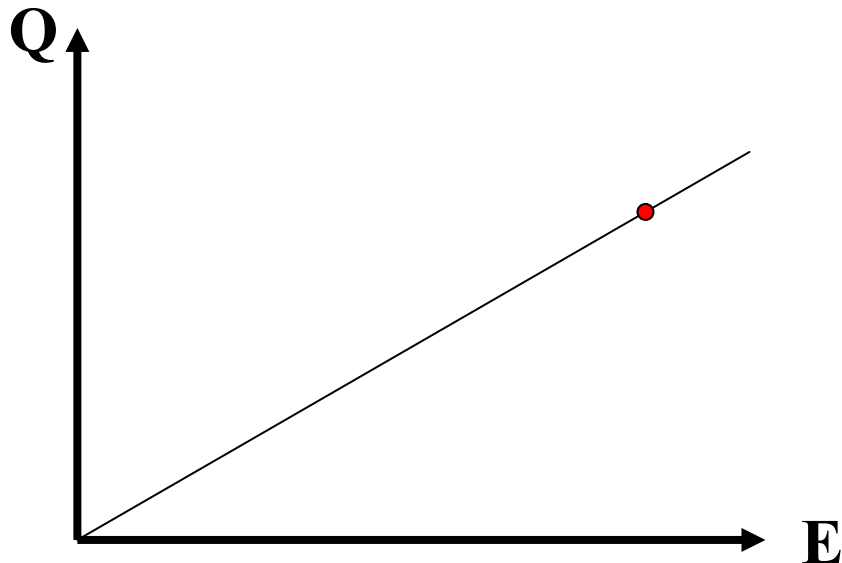
- Esistono diverse possibilità di proporzionamento e di funzionamento di un impianto di cogenerazione:
 - **Ad isola:** l'utenza non è connessa alla rete ENEL.
 - **In parallelo:** l'impianto è connesso alla rete ENEL. In tal caso può operare:
 - a punto fisso
 - con pilotaggio elettrico
 - con pilotaggio termico.



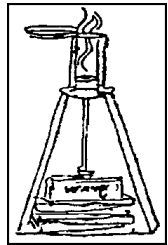
Caso ideale



- *Fabbisogno utenza*
- *Contributo cogeneratore*

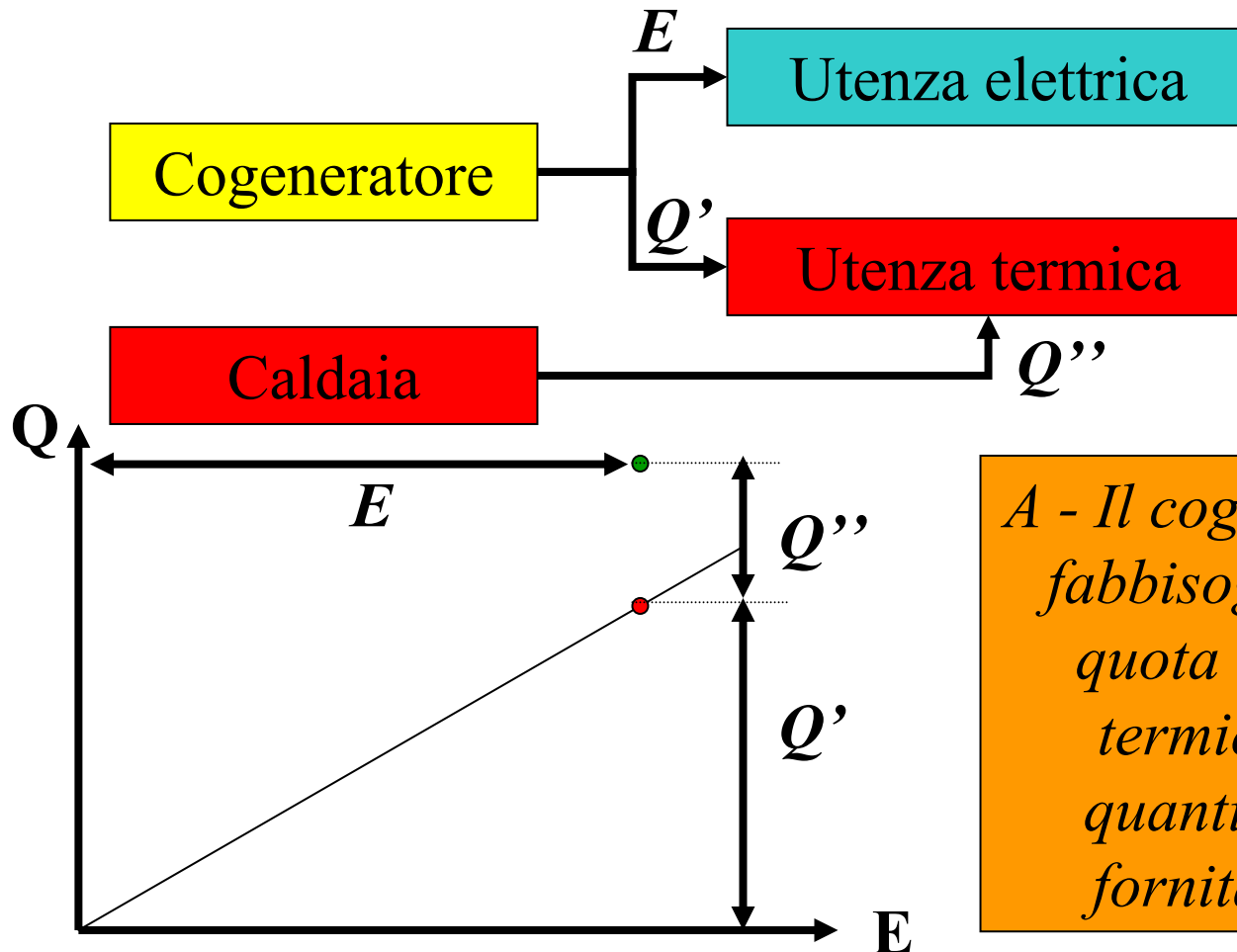


Nel caso ideale i carichi termici ed elettrici sono costanti ed uguali a quelli forniti dal cogeneratore

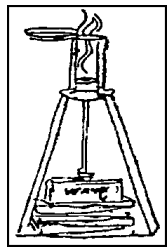


Pilotaggio elettrico 1/2

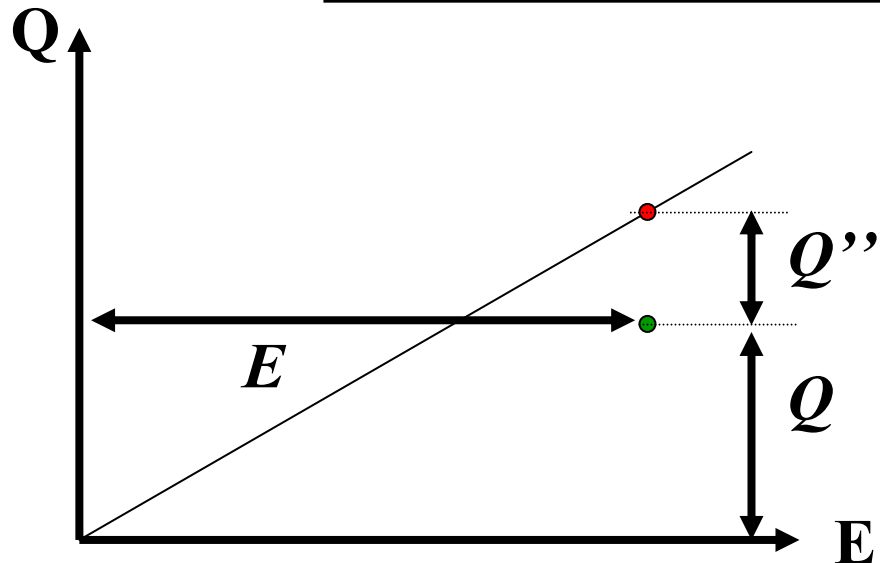
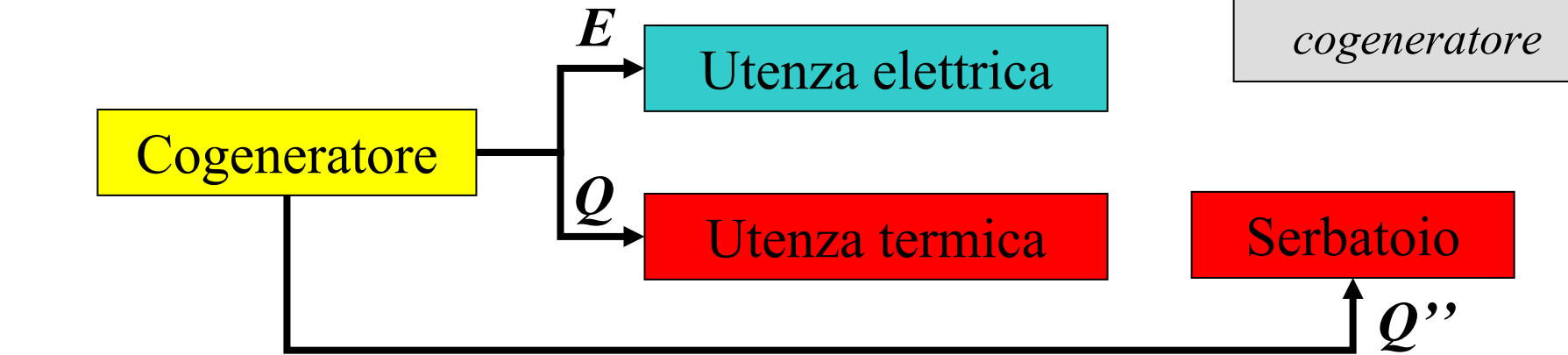
- *Fabbisogno utenza*
- *Contributo cogeneratore*



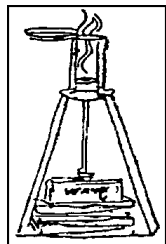
A - Il cogeneratore soddisfa il fabbisogno elettrico E e la quota Q' del fabbisogno termico Q . La restante quantità di calore Q'' è fornita da una caldaia.



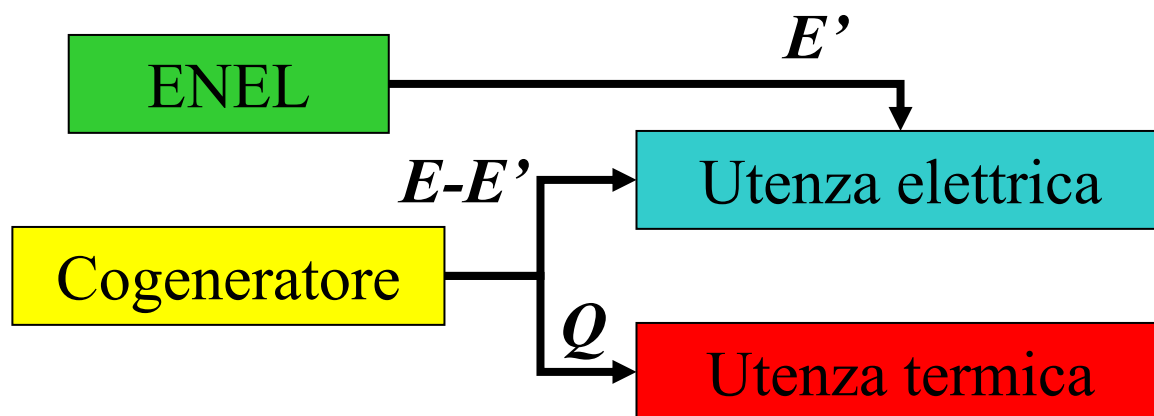
Pilotaggio elettrico 2/2



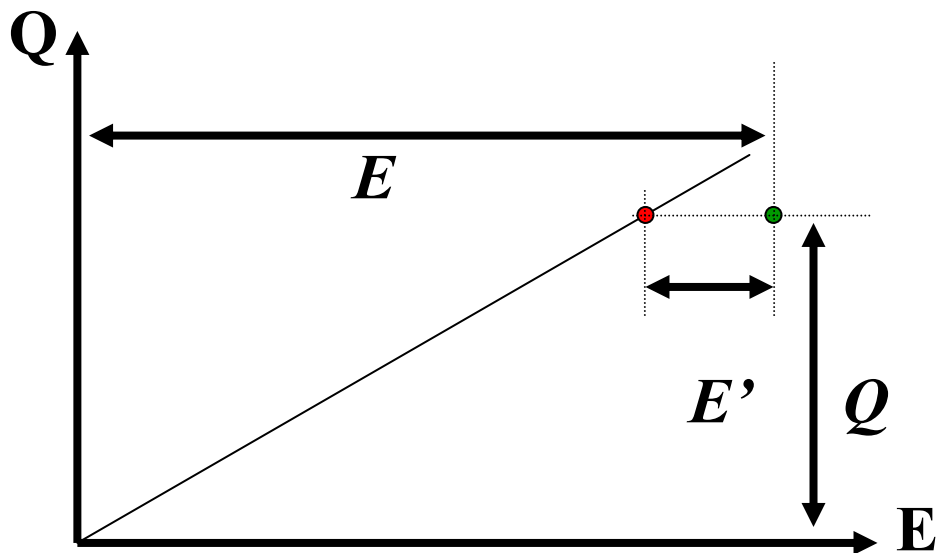
B - Il cogeneratore soddisfa il fabbisogno elettrico E producendo una quantità di calore maggiore della richiesta Q . L'eccedenza Q'' è dissipata o inviata ad un serbatoio.



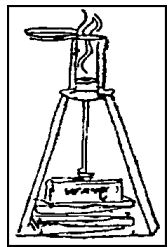
Pilotaggio termico 1/2



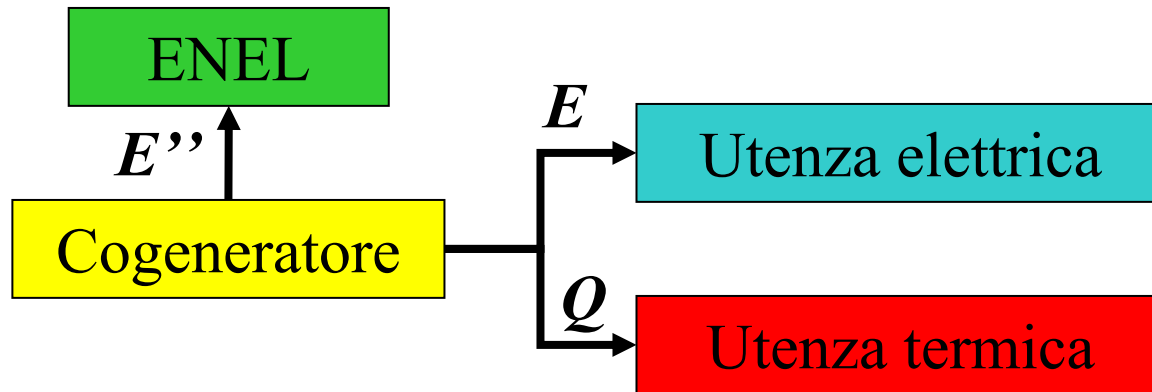
- *Fabbisogno utenza*
- *Contributo cogeneratore*



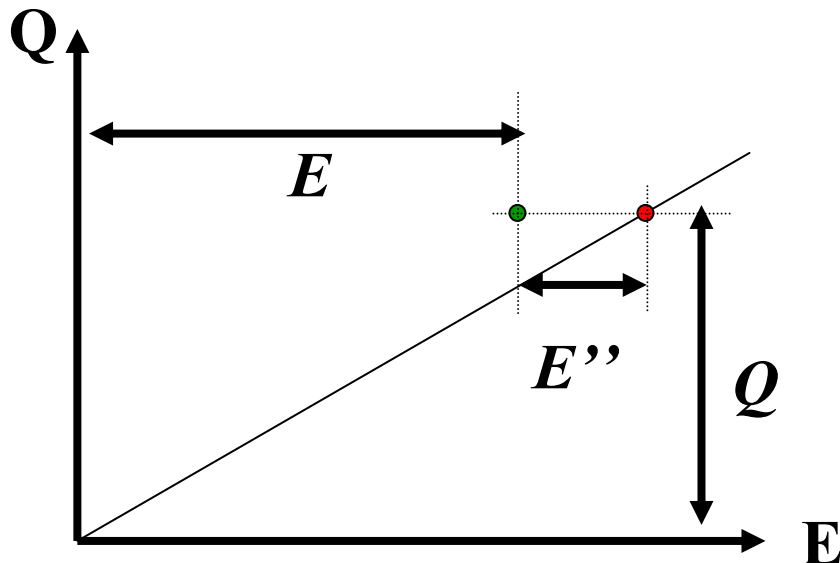
A - Il cogeneratore soddisfa il fabbisogno termico Q e parte del fabbisogno elettrico E . La restante quota di energia elettrica E' è fornita dall'ENEL.



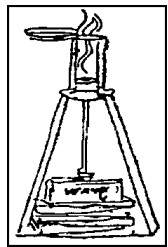
Pilotaggio termico 2/2



- *Fabbisogno utenza*
- *Contributo cogeneratore*

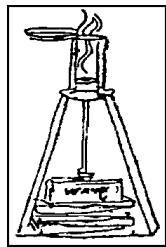


B - Il cogeneratore soddisfa il fabbisogno termico Q producendo più energia elettrica rispetto alla richiesta E . L'eccedenza E'' è immessa in rete, tramite cessione, scambio o vettoriamiento.

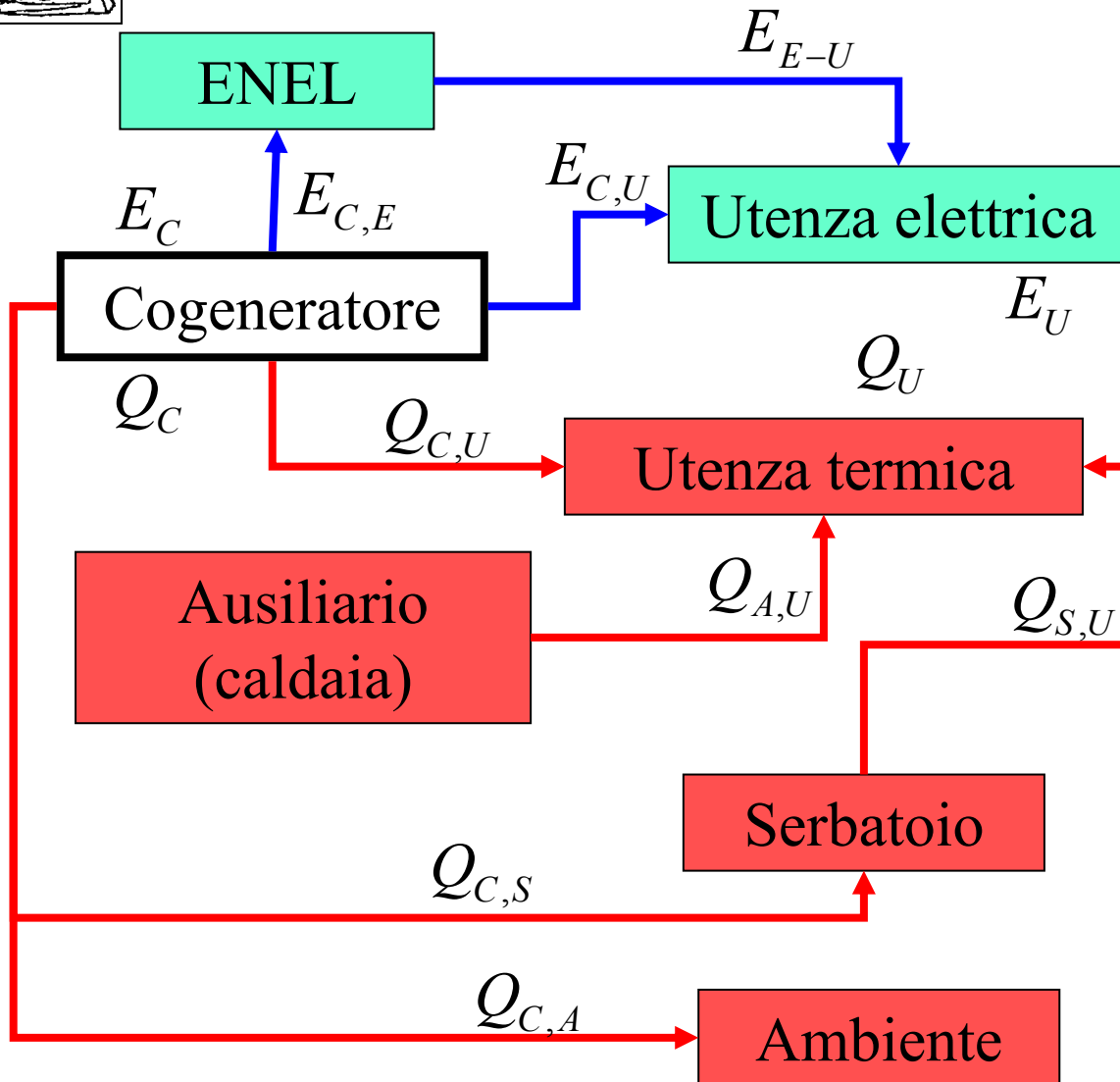


Processi decisionali: progettazione e controllo

- La scelta di un impianto cogenerativo è un processo complesso che implica numerosi aspetti decisionali:
 - Una **analisi di pre-fattibilità**, tesa a stabilire le condizioni di convenienza tecnico-economica ed a orientare la scelta su uno o più tipologie impiantistiche.
 - Analisi di **fattibilità** e di **progetto**, tese a definire:
 - Tipologia di impianto;
 - Taglia dell'impianto;
 - Criteri di gestione e controllo;
 - Aspetti tariffari e normativi.
- Un processo decisionale razionale per un caso reale può richiedere il confronto di un numero molto elevato di diverse opzioni, da effettuare con:
 - Sviluppo e validazione di un **modello** tecnico-economico del sistema;
 - Accoppiamento del modello con **tecniche di decisione** (simulazione, analisi parametrica, ottimizzazione).



Flussi di energia



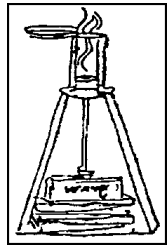
Bilanci dell'energia elettrica E e dell'energia termica Q per il cogeneratore (C) e per l'utenza (U)

$$E_U = E_{C-U} + E_{E-U}$$

$$E_C = E_{C,U} + E_{C,E}$$

$$Q_C = Q_{C,U} + Q_{C,S} + Q_{C,A}$$

$$Q_U = Q_{C,U} + Q_{A,U} + Q_{S,U}$$



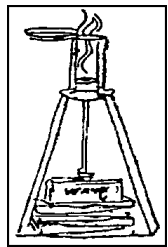
Altre relazioni funzionali

Legame tra energia termica ed elettrica in uscita dal cogeneratore

$$Q_C = E_C \cdot \frac{Q}{E}(E_C)$$

Consumo di combustibile nel cogeneratore, funzione del consumo specifico

$$m_{\text{Comb}} = E_C \cdot C_{sp}(E_C)$$



Carichi energetici e variabili di decisione

Obiettivo: determinazione del pilotaggio ottimale nell'arco di una giornata tipo.

Carico termico ed elettrico (valori orari)

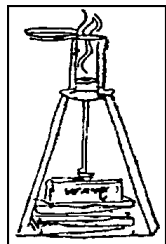
$$E_u, Q_u \quad i = 1, 24$$

Variabile di decisione: Indice Elettrico
($IE=1 \rightarrow$ Pilotaggio Elettrico)

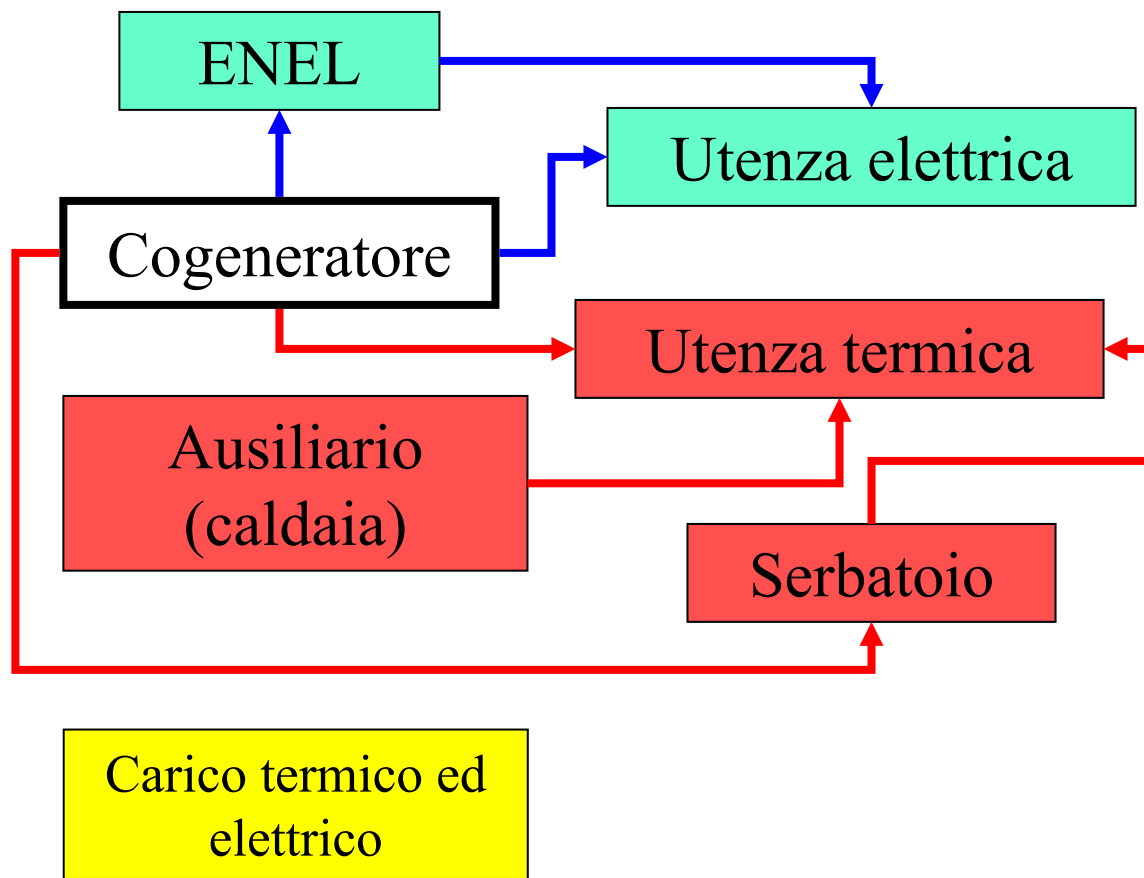
$$IE_i = \frac{E_{C,i}}{E_{U,i}} \quad i = 1, 24$$

Funzione obiettivo
e vincoli

$$\begin{aligned} \min_{IE} Costo &= \sum_{i=1,24} (c_{comb,C} + c_{comb,A} + c_{el,E} - r_{el,E}) \\ IE_i &\geq 0 \quad i = 1, 24 \\ T_{S,in} &= T_{S,fin} \end{aligned}$$



Modello generale del cogeneratore



$$E_U = E_{C-U} + E_{E-U}$$

$$E_C = E_{C-U} + E_{C-E}$$

$$Q_C = Q_{C-U} + Q_{C-S}$$

$$Q_U = Q_{C-U} + Q_{A-U} + Q_{S-U}$$

$$Q_C = E_C \cdot \frac{Q}{E}(E_C)$$

$$m_{\text{Comb}} = E_C \cdot C_{sp}(E_C)$$