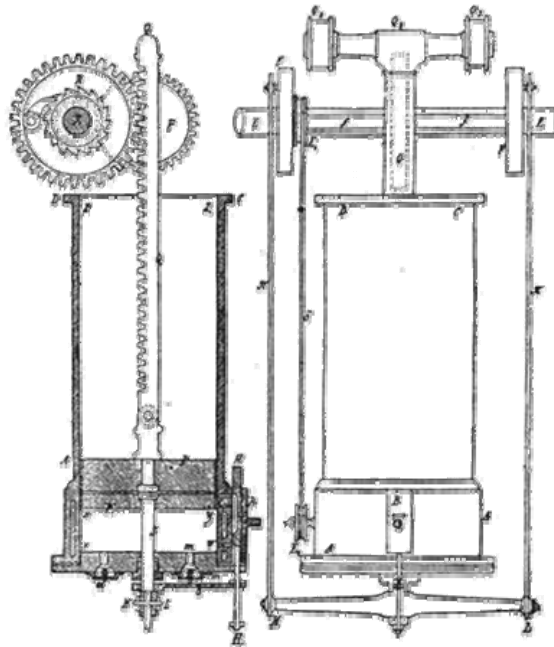


## Motori alternativi a combustione interna

### Sistemi Energetici da Fonti Rinnovabili e Convenzionali

Laurea magistrale in *Ingegneria dell'Ambiente per lo Sviluppo Sostenibile*



1. *Cenni storici*
2. *Introduzione e classificazione dei MaCI*
3. *Organi di un motore*
4. *Principali grandezze geometriche e cinematiche*
5. *Studio termodinamico dei MaCI*
6. *Considerazione sul reale funzionamento dei MaCI.*  
*Fasatura*
7. *Curve caratteristiche ed accoppiamento all'utilizzatore*
8. *Bilancio energetico di un MaCI*
9. *influenza delle condizioni operative*
10. *Schemi impiantistici cogenerativi*
11. *Analisi economico-ambientale*

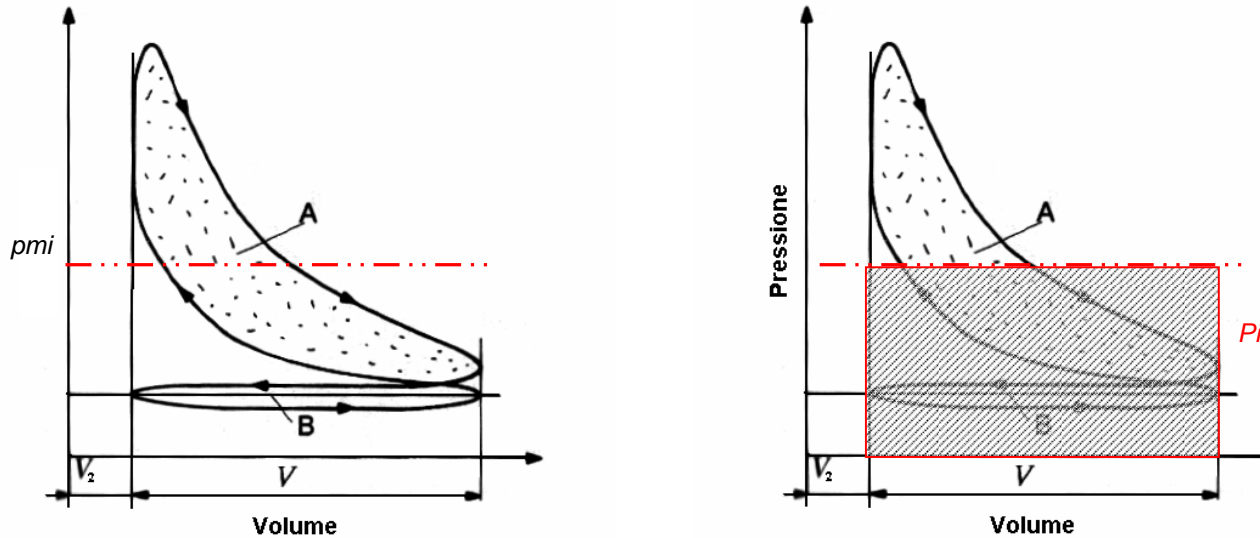
## 7. Curve caratteristiche ed accoppiamento all'utilizzatore

Le curve che caratterizzano il funzionamento di un MaCI sono quelle di coppia effettiva  $C_e$  e di potenza effettiva  $P_e$ , legate dalla relazione

$$P_e = C_e \cdot 2\pi n / 60$$

## Prima espressione della potenza

Basata sull'impiego delle informazioni contenuto nel diagramma indicato



*Potenza indicata*

$$P_i = p_{mi} \cdot V_{tot} \cdot n / (60\varepsilon)$$

dove  $V_{tot}$  rappresenta la cilindrata totale, tenendo presente che il motore potrebbe essere pluricilindrico

*Potenza effettiva*

la potenza effettiva, cioè all'albero, tiene conto delle perdite di natura meccanica negli accoppiamenti cinematici e del lavoro necessario a trascinare tutti gli ausiliari del MaCI, grandezze non visibili nel diagramma indicato.

$$P_e = \eta_o P_i = \eta_o p_{mi} V_{tot} n / (60\varepsilon) = p_{me} V_{tot} n / (60\varepsilon)$$

$$p_{me} = \eta_o p_{mi}$$

dove  $\eta_o$  è il rendimento organico del motore

## Seconda espressione della potenza

Espressa a partire dalla potenza termica fornita dal combustibile, in funzione del rendimento globale  $\eta_g$  di cui il rendimento organico è chiaramente una frazione

$$P_e = \eta_g m_c H_i$$

i. se si introduce il rapporto aria combustibile  $\alpha = m_a/m_c$  allora  $m_c = m_a/\alpha$

$$P_e = \eta_g \frac{m_a}{\alpha} H_i$$

dove nei motori ad accensione comandata  $\alpha = \alpha_{st}$

ii. è possibile riferire la portata di aria effettivamente aspirata a quella teorica  $\lambda_v = m_a/\rho_{a0}V_{tot} = m_a/\rho_{a0}zV$

(con z numero di cilindri)

$$P_e = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g$$

$$P_e = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g \begin{cases} \eta_g = 0,28 \div 0,36 \text{ BdR automobilistico} \\ \eta_g = 0,34 \div 0,45 \text{ Diesel autotrazione pesante} \\ \eta_g = 0,44 \div 0,55 \text{ Turbo - Diesel impianti fissi} \end{cases}$$

iii. ovvero, esplicitando, l'espressione della coppia motrice

$$P_e = C_e n = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g \quad \text{con} \quad C_e = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{1}{60\varepsilon} \eta_g$$

## Seconda espressione della potenza, osservazioni

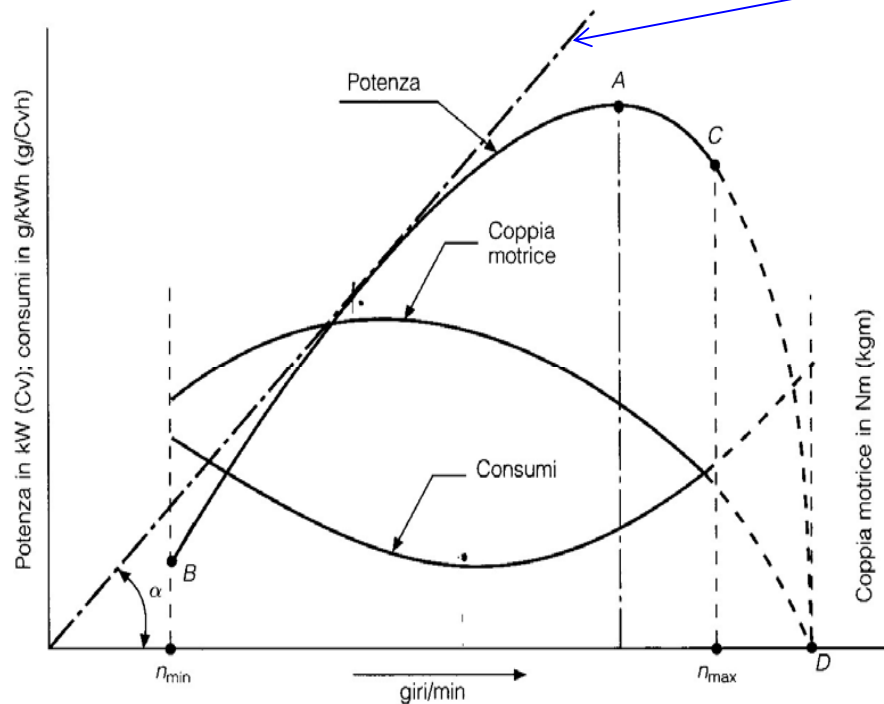
$$P_e = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g$$

- La potenza cresce aumentando il numero di giri  $n$  (in modo non lineare), ma bisogna tenere conto che non si può salire indefinitamente con  $n$  perché aumentano anche le sollecitazioni;
- La potenza aumenta con  $V_{tot}$ , aumentando il frazionamento su più cilindri in modo da evitare rapporti sproporzionati tra lunghezza di biella e raggio di manovella ed allo scopo di rendere più uniforme la coppia perché le combustioni avvengono sfasate nel tempo;
- La potenza aumenta con il coefficiente di riempimento  $\lambda_v$  (in condizioni nominali di funzionamento valutabile intorno a 0.85) più elevato porta a potenze maggiori (come accade per i motori pluri-valvole e quelli sovralimentati);
- La potenza aumenta nei motori a 2 tempi ovvero per  $\varepsilon$  pari a 1, e quindi ad un raddoppio teorico della potenza (nella realtà ciò non avviene perché il rendimento dei 2 tempi è più basso).

### Curva di coppia teorica e reale

$$P_e = C_e n = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g \quad \text{con} \quad C_e = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{1}{60\varepsilon} \eta_g$$

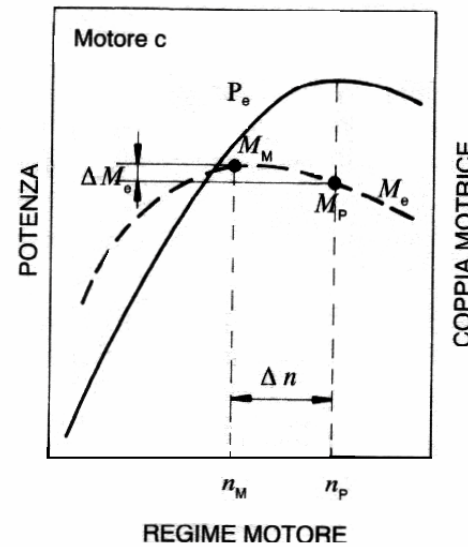
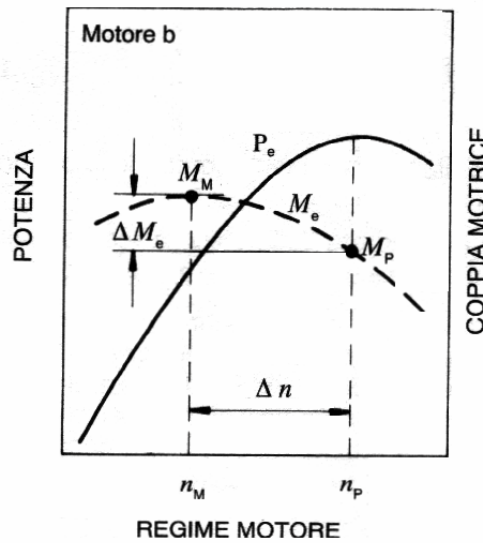
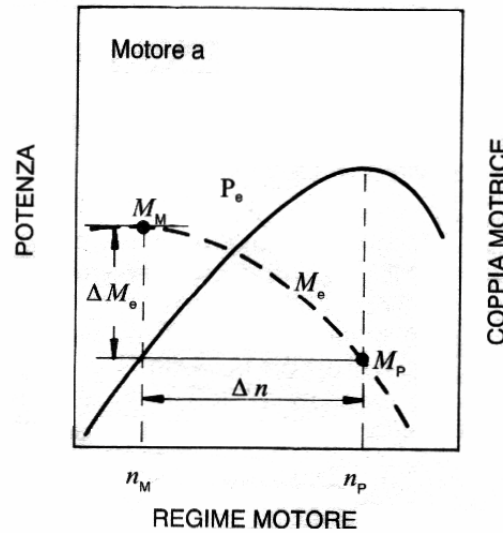
La coppia erogata è teoricamente costante al variare di  $n$  e la *potenza teorica* cresce linearmente con  $n$



*Fattori di perdita al variare di  $n$*

Il rendimento globale  $\eta_g$  decresce con  $n$  per l'aumento delle perdite per attrito normalmente  $\eta_g$  in condizioni ottimali di funzionamento è dell'ordine di 0.3 per motori a benzina e 0.4 per i Diesel

Il coefficiente di riempimento dipende in maniera complessa da  $n$ , essendo massimo ad un regime intermedio di giri.



$n_{min}$  il motore non riesce a sostenersi e si creano fenomeni di instabilità che portano allo spegnimento

$n_{max}$ , superato un valore limite di  $n$  la potenza è uguale a quella erogata a regimi più bassi, che sono caratterizzati da minori sollecitazioni

il concetto di **elasticità** del motore. Un motore risulta essere tanto più elastico quanto più la sua potenza si mantiene costante all'interno dell'intervallo di  $n$  per cui viene utilizzato

In un motore elastico la massima coppia si trova a valori di  $n$  molto minori del valore di potenza massima, in modo da avere un ampio intervallo di buon funzionamento,

## Regolazione

### Motori ad accensione comandata

- La potenza erogata è regolata modificando la quantità di miscela aspirata modificando la sezione di passaggio del condotto di aspirazione per mezzo della valvola a farfalla

L'operazione consente di modificare il coefficiente di riempimento del motore

$$P_e = \frac{H_i}{\alpha_{st}} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g$$

- Questa operazione riduce notevolmente il rendimento del motore ai bassi carichi (potenza ridotta)

### Motori Diesel

- La potenza erogata è regolata modificando la quantità di combustibile iniettata nella camera di combustione

L'operazione consente di modificare il rapporto aria/combustibile

$$P_e = \frac{H_i}{\alpha} \rho_{a0} V_{tot} \lambda_v \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g$$

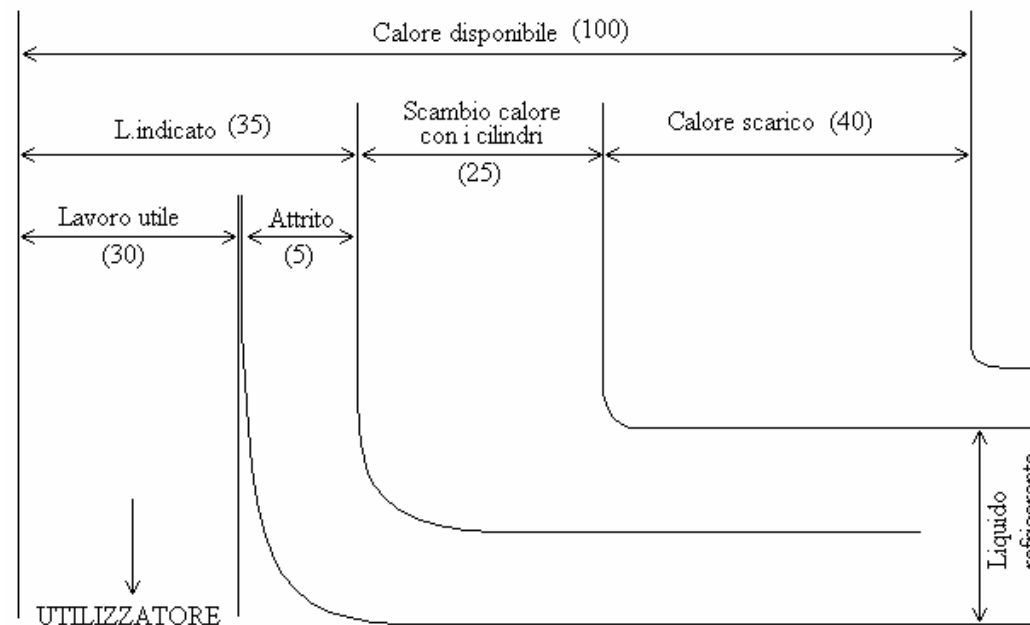
- L'assenza della valvola a farfalla consente di mantenere elevato il rendimento del motore anche ai bassi carichi (potenza ridotta)



## 8. Bilancio energetico di un MaCI

Esprime la valutazione del bilancio complessivo del processo di conversione termo-meccanica della quantità di combustibile  $Q_i = m_c H_i$

La ripartizione dei flussi di energia in un MaCI per trazione stradale nella forma di un diagramma fiume di Sankey.



Dalla figura si nota come, in un motore in assetto automobilistico, circa il 60% dell'energia termica liberata dalla combustione non viene convertita e deve essere ceduta all'ambiente esterno.

Ripartizione percentuale della potenza termica entrante al variare del numero di giri

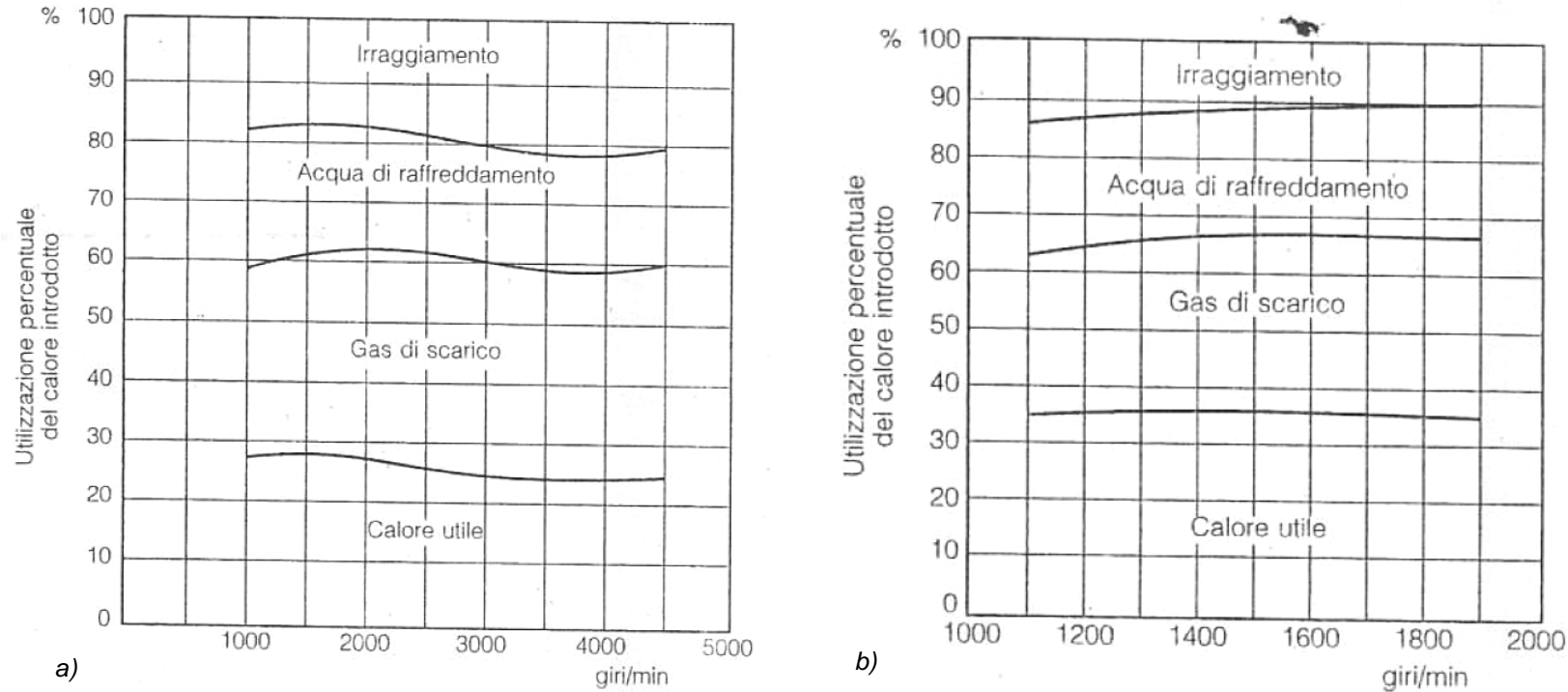
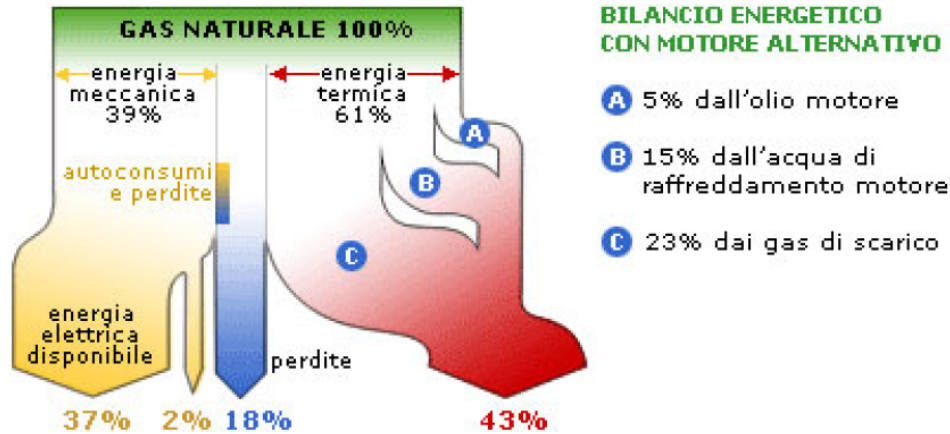


Figura 12. Bilancio termico di a) un motore a benzina 4t per autotrazione, b) un motore Diesel veloce

I bilanci termici dimostrano come i motori a combustione interna siano caratterizzati da un'ampia flessibilità di utilizzo requisito

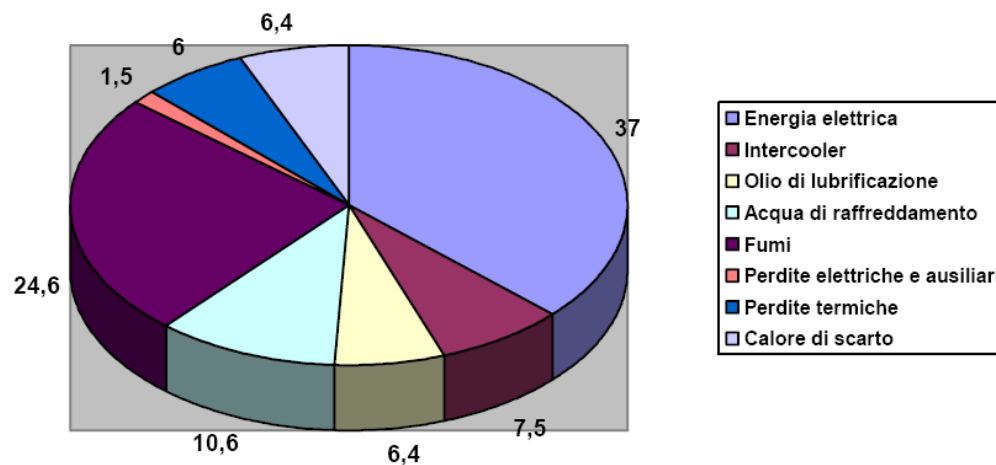
La variazione del bilancio termico, ovvero della distribuzione della potenza termica equivalente del combustibile, si dimostra quasi indifferente al regime rotazionale. Pur presentando con evidenza un regime rotazionale ottimale (dal punto di vista dell'effetto utile) prossimo ai 2000 giri/min.

Bilancio energetico di un MaCI cogenerativo



motori *aspirati* e non sovralimentati, le sorgenti inferiori per il recupero termico sono il circuito di lubrificazione (con una frazione del 5% di  $Q_1$ ), il circuito di raffreddamento del motore (con una frazione del 15% di  $Q_1$ ) ed il calore sensibile dei gas di scarico (con una frazione del 23% di  $Q_1$ ).

Flussi energetici in un MaCI cogenerativo di piccola taglia



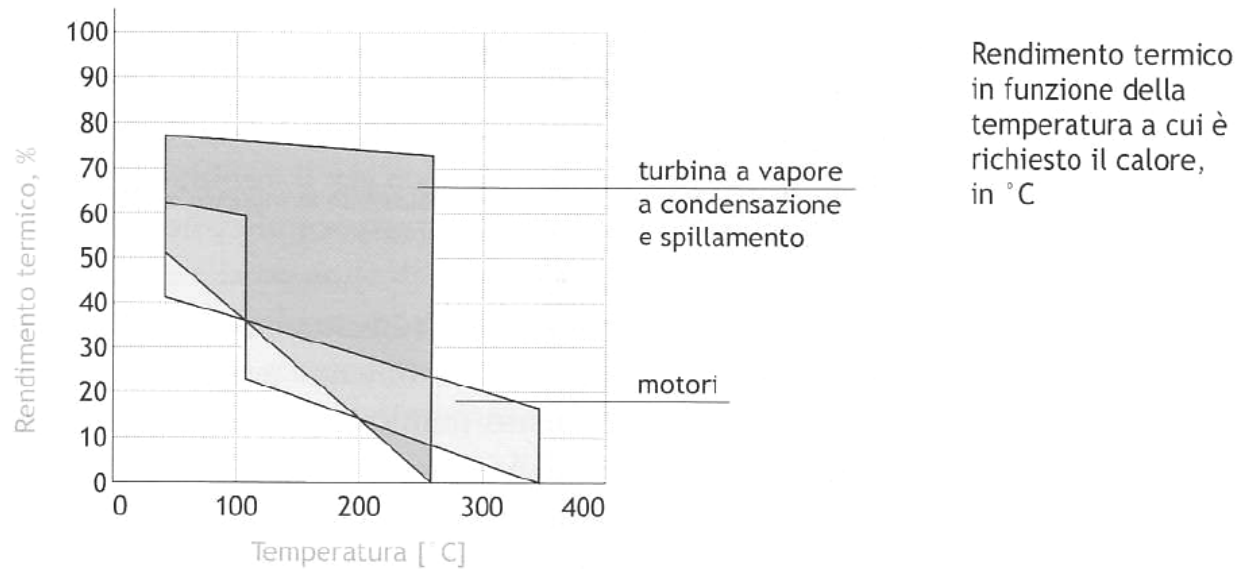
motori *sovralimentati* l'intercooler rende disponibile calore a 50-60 °C, l'olio del sistema di lubrificazione opera ad una temperatura compresa tra 75-85 °C mentre il circuito di raffreddamento ha una temperatura media di 90-95 °C (25% del calore recuperato)

I gas combusti in uscita dal motore si trovano invece ad una temperatura che oscilla tra i 400 e i 500 °C. Il calore idealmente disponibile è circa il 30% rispetto al calore entrante con il combustibile.

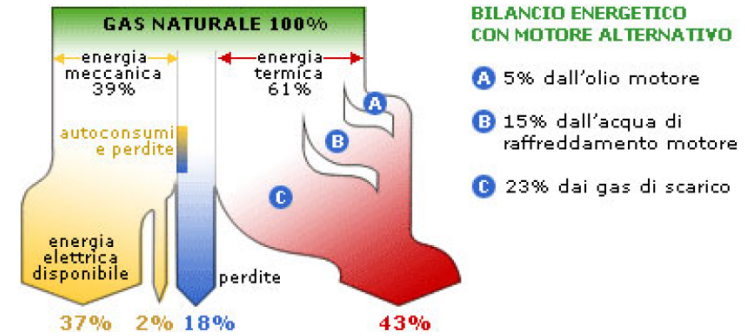
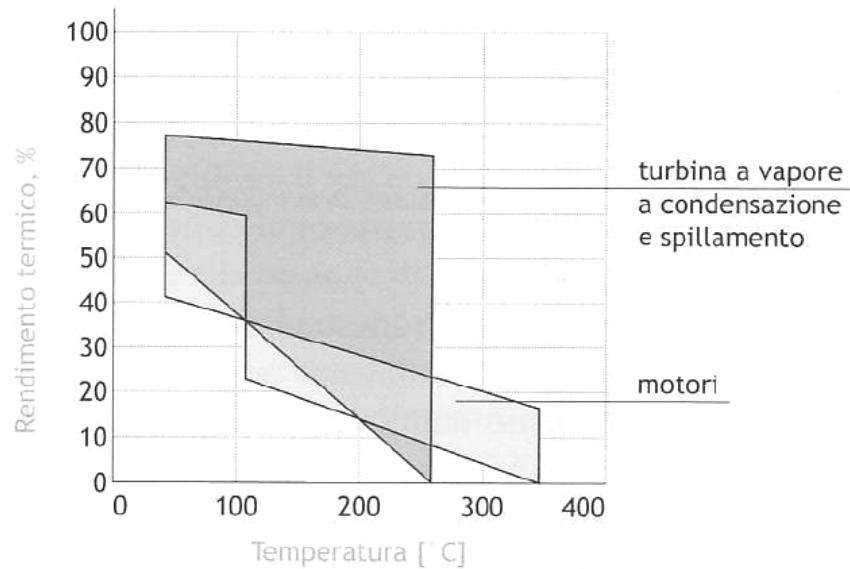
Flussi energetici in un MaCI cogenerativo da 500 kWel

Bilancio energetico di un MaCI cogenerativo, rendimento termico

rendimento termico in cogenerazione ( $\eta_{th} = Q_{th,red}/(m_f H_i)$  con  $H_i$  potere calorifico inferiore del combustibile) in funzione della qualità entalpica dell'utenza termica



- i. andamento crescente del rendimento termico al ridursi della temperatura dell'utenza termica. Questa circostanza, comune a tutti i sistemi cogenerativi, è conseguenza dell'aumento della potenza termica recuperabile in ragione dell'incremento della distanza termica tra sorgente ed utenza.
- ii. Una seconda circostanza di rilievo è costituita dalla presenza di una discontinuità nel rendimento termico in corrispondenza di una temperatura di 100 °C, al di sotto della quale l'incremento nella potenza termica recuperabile a parità di input termico dal combustibile è legata alla possibilità di sfruttare anche le sorgenti *inferiori* a bassa temperatura mentre al di sopra di tale limite è utile il solo calore sensibile dei fumi.



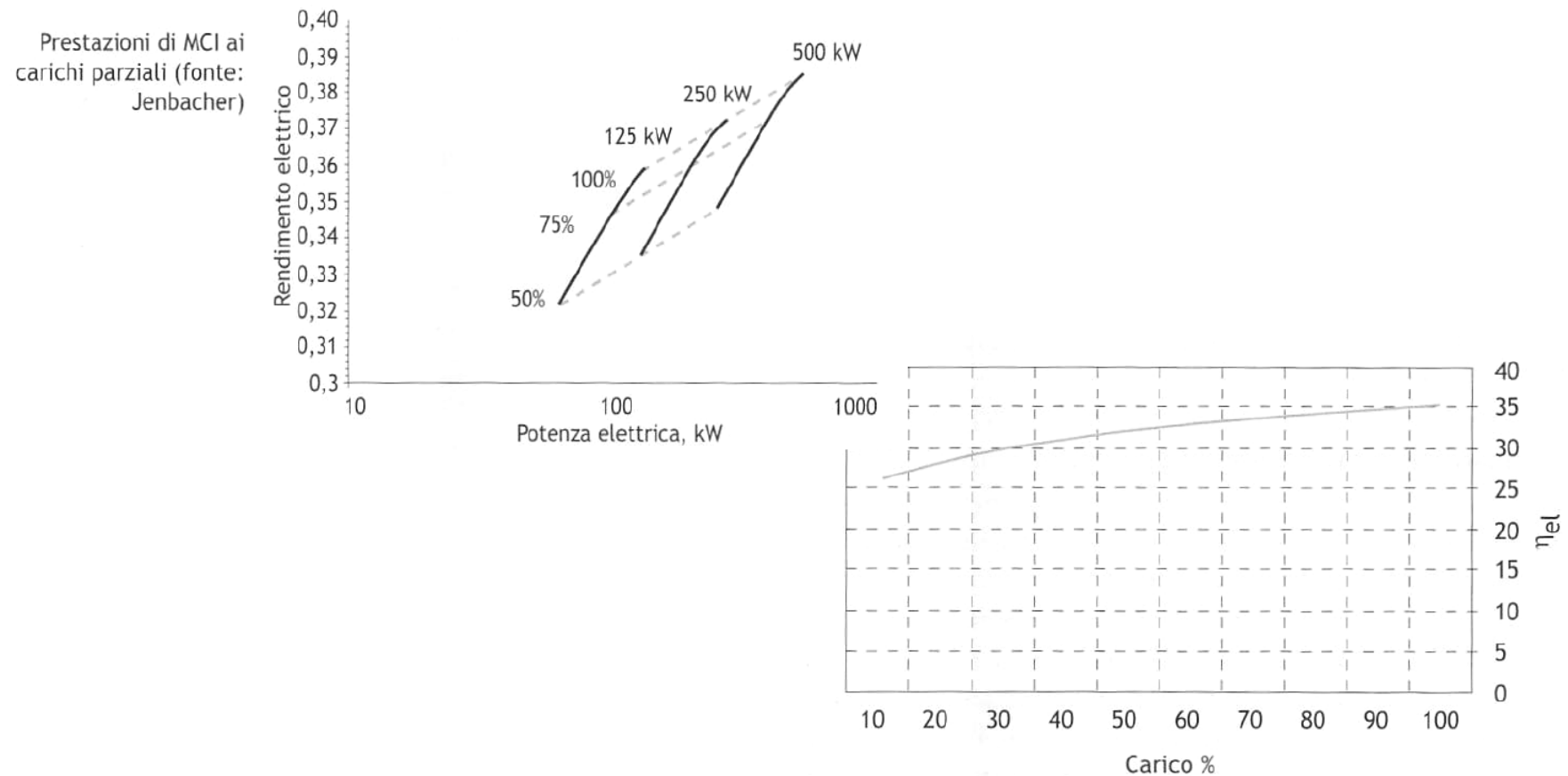
Da questa analisi risulta evidente che i MaCl è molto adatto per scopi cogenerativi soprattutto in due casi:

- quando è richiesto contemporaneamente calore a bassa temperatura (es. per il riscaldamento degli ambienti) e calore a temperatura intermedia (es. vapore per un processo industriale) in un rapporto all'incirca unitario;
- quando è richiesto esclusivamente calore a bassa temperatura.

## 9. Influenza delle condizioni operative

Nell'impiego cogenerativo il motore viene fatto funzionare a giri costanti in quanto direttamente accoppiato con il generatore elettrico

Il regime rotazionale è, quindi, funzione della frequenza di rete, i.e. 50 Hz o 60 Hz, e del numero di coppie polari del generatore elettrico.



Regolazione a numero di giri costante, potenza elettrica

$$P_e = \lambda_v \rho_a V_t \frac{H_i}{\alpha} \frac{n}{60\varepsilon} \eta_g = \Pi_{cost} \lambda_v \frac{1}{\alpha} \eta_g,$$

con:

$$\Pi_{cost} = \rho_a V_t H_i \frac{n}{60\varepsilon},$$

ad indicare l'insieme di fattori determinanti la potenza del motore non influenzati dalla regolazione di potenza, essendo lo stesso vincolato ad operare al numero di giri dettato dal sincronismo con la rete elettrica.

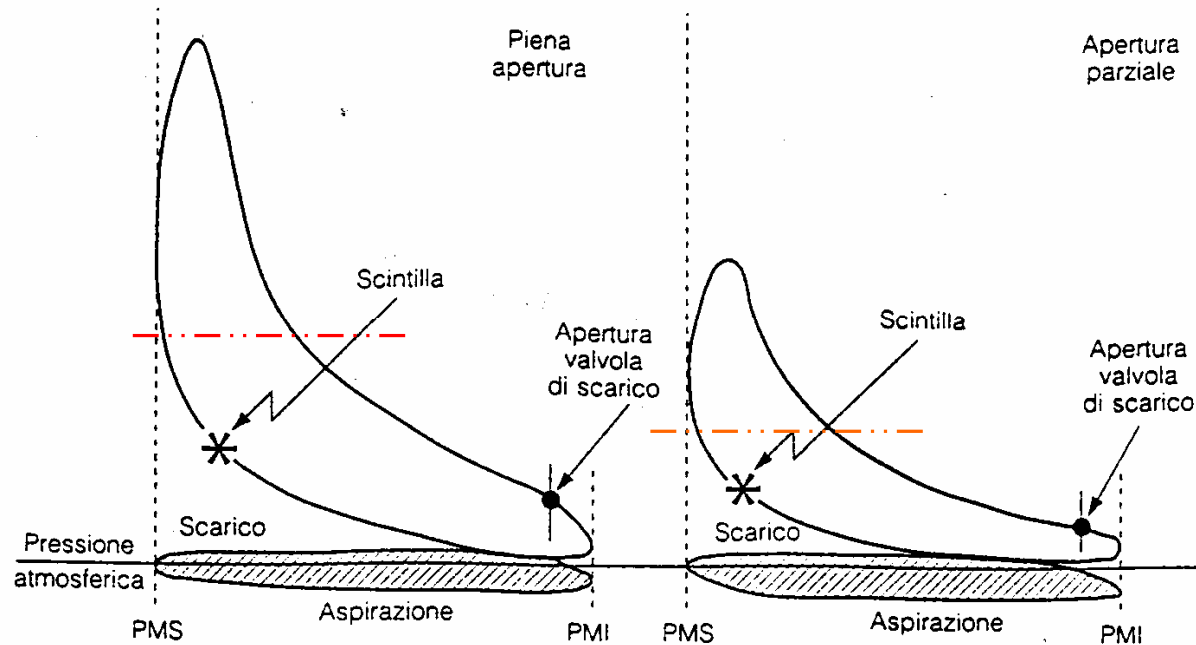
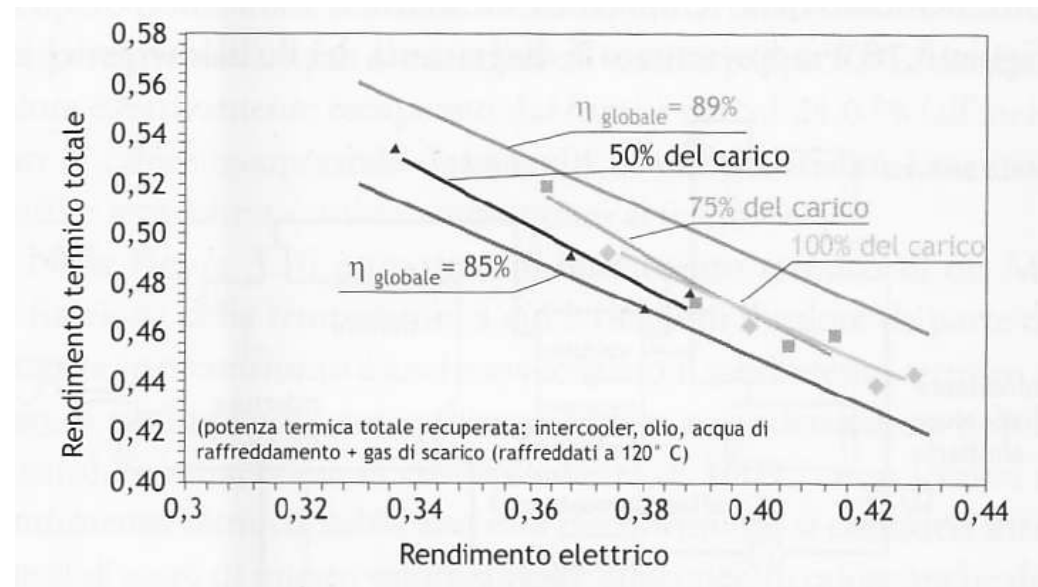
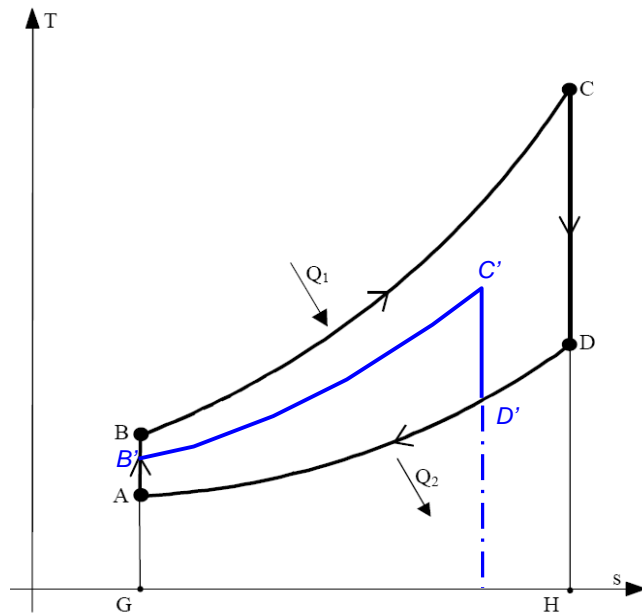


Figura 17. Confronto del diagramma indicato di un motore a ciclo Otto al variare del carico

Regolazione a numero di giri costante, potenza termica

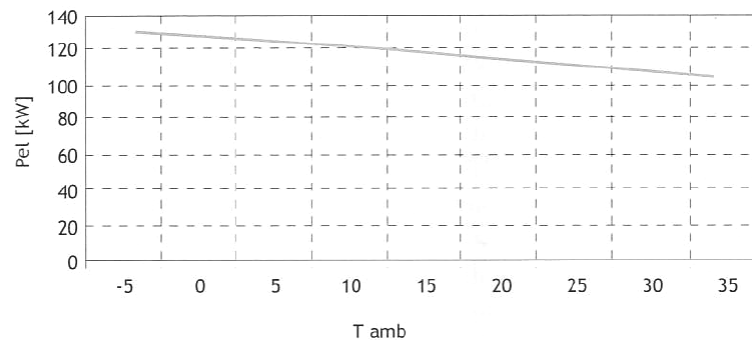
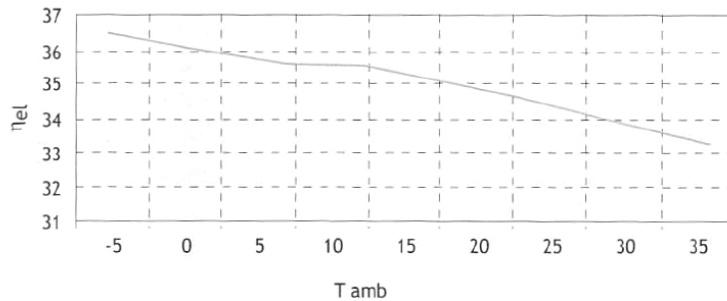
in conseguenza della riduzione del rendimento elettrico del motore (i.e. circa 5% per una riduzione del carico del 50%), si rende disponibile attraverso i gas combusti i quali vengono scaricati ad una temperatura inferiore rispetto al valore nominale





## 9.1 De-rating ambientale

Le condizioni atmosferiche influiscono in modo determinante sulle prestazioni di tutti i motori a combustione interna, ed in particolare dei motori volumetrici. Nelle applicazioni terrestri, propulsive o di generazione potenza, i parametri che determinano le condizioni atmosferiche ed hanno maggiore peso sono la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e la quota di lavoro del motore.



$$P_e = P_{ISO} \frac{p}{p_{ISO}} \sqrt{\frac{T_{ISO}}{T}}$$

dove:

$P_{ISO}$ , è la potenza del motore misurata in condizioni ISO di atmosfera standard ad una quota di 0 m s.l.m. (kW);

$P_e$ , è la potenza effettiva del motore (kW);

$p_{ISO}$ , è la pressione dell'aria in condizioni ISO di atmosfera standard (1,013 bar);

$T_{ISO}$ , è la temperatura dell'aria in condizioni ISO di atmosfera standard (288 K o 15°C);

$p$ , è la pressione effettiva dell'aria (bar);

$T$ , è la temperatura effettiva dell'aria (K o °C).

In generale si può ritenere che la perdita di potenza dovuta alla quota sia di circa il 10% sul valore ISO per ogni 1000 m di dislivello. Mentre, rispetto alla temperatura ambiente, a 35°C la riduzione di potenza è pari al 4% del valore ISO.

## 10. Schemi impiantistici cogenerativi

### Alimentazione a gas naturale

- i. ridotte emissioni inquinanti (rispetto all'impiego di combustibili derivati del petrolio)
- ii. presenza di una capillare infrastruttura di distribuzione (fattore sicuramente vero in Italia)
- iii. riduzione dei costi O&M, aumentando la disponibilità del motore ed l'intervallo tra due successive manutenzioni
- iv. aumento della vita utile del motore.

| Costi e caratteristiche             | Tedom<br>S22AP<br>45 kW | Waukesha<br>VSG11G<br>75 kW | MAN<br>100 kW | Cummins<br>GSK19G<br>300 kW | Caterpillar<br>G3516 LE<br>800 kW |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Potenza nominale[kW <sub>el</sub> ] | 45,5                    | 75,0                        | 100,0         | 300,0                       | 800,0                             |
| Rendimento elettrico [%, rif. PCI]  | 28,4                    | 27,2                        | 33,7          | 34,2                        | 36,6                              |
| Velocità di rotazione [rpm]         | 3000                    | 1500                        | 1500          | 1500                        | 1000                              |

Motori a gas naturale a ciclo Otto.

**Il gas viene iniettato nei condotti di aspirazione e forma una miscela con il comburente prossima al valore stechiometrico**

**Il rapporto di compressione** non supera normalmente valori compresi tra **9 e 12**, per evitare la detonazione della carica *gas naturale ha un numero di ottano pari a circa 120, contro 95-100 delle benzine con additivi*

**motori lean-burn** In alcuni casi si usano miscele magre (con rapporto aria./combustibile superiore al valore stechiometrico) per avere basse emissioni di NOx ed alti rendimenti.

Combustione in pre-camera o a carica stratificata

**I valori di emissione** di NOx, sono circa la metà di quelli tradizionali.

**Il rendimento dei motori** a gas ad accensione comandata va dal 27% nelle piccole unità (<50 kWel), fino al 38% circa di quelli da 500 kWel mentre supera il 45% nelle unità di potenza superiore al MWel.



### Motori a gas naturale Diesel *derivati*.

Molti motori cogenerazione derivano costruttivamente da motori Diesel.

La trasformazione a gas impone l'introduzione di un sistema di accensione comandata con l'aggiunta di una candela e la diminuzione della potenza nominale del motore (fino al 60 – 80%) per la detonazione  
*Queste modifiche determinano una crescita del costo per unità di potenza.*

### Motori a gas naturale a ciclo Diesel *dual-fuel*

Sono motori ad accensione spontanea alimentati prevalentemente a gas naturale, con l'aggiunta di piccole percentuali di gasolio (i.e. 1 - 10%) miscelato al combustibile gassoso con la funzione di provocare l'auto-accensione della carica e di favorire la lubrificazione di alcuni componenti del motore.

Iniezione a *bassa pressione*. il gas è iniettato nel collettore di aspirazione, mentre il gasolio pre-riscaldato è iniettato nel cilindro.

La potenza nominale, rispetto al motore a gasolio, deve esser ridotta del 15 – 20% per evitare problemi di detonazione.

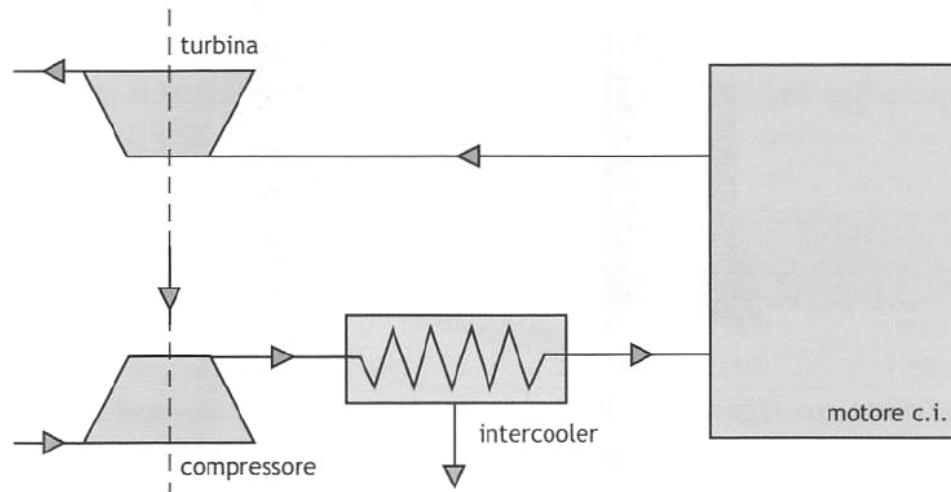
Iniezione ad *alta pressione*. Il gas naturale è iniettato direttamente in camera di combustione insieme al gasolio. L'iniezione ad alta pressione permette di eliminare il de-rating della potenza sviluppata dal motore, ma introduce una spesa energetica per il sistema di compressione del gas naturale che incide per un 4 – 7% della potenza del motore, oltre all'incremento di costo e di complessità dello schema impiantistico.



## Motori a gas naturale sovralimentati

Spesso i motori a combustione interna sono dotati di sistemi di sovralimentazione dinamica ovvero mediante gruppo turbina-compressore.

Questa soluzione è preferita nei motori con potenza superiore ai 200 kWel, con una tendenza all'impiego anche sulle unità di taglia inferiore.



la potenza del motore grazie all'aumento del coefficiente di riempimento volumetrico  $\lambda_v$ .

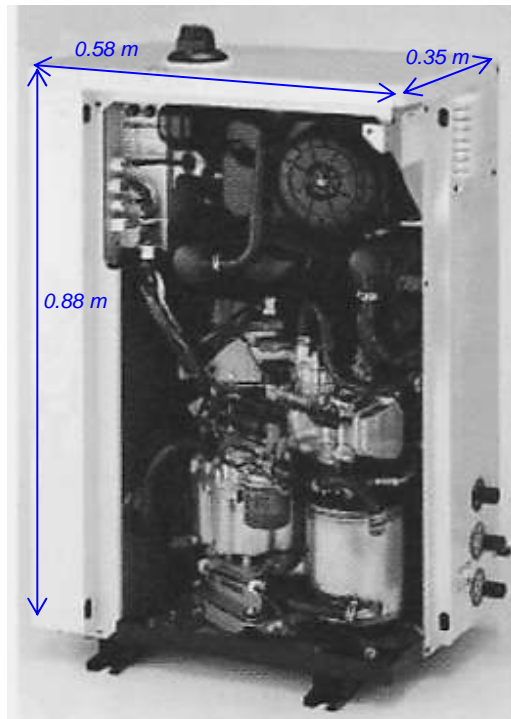
Nei motori di taglia media, questo dispositivo è abbinato ad uno scambiatore di calore (detto *intercooler*) per la inter-refrigerazione dell'aria compressa

La sovralimentazione con inter-refrigerazione in generale aumenta la potenza del motore diminuendone i costi specifici e nella maggior parte dei casi migliora il rendimento e riduce le emissioni inquinanti allo scarico (in particolar modo gli NOx).

Il rapporto di compressione realizzato dal turbo-compressore è normalmente dell'ordine di 1.5 - 2.5:1 ma esistono realizzazioni in cui si arriva a un rapporto 4 :1.

## 10.1 Cogeneratori per utenze domestiche

Recentemente sono stati proposti sul mercato alcuni modelli di MaCI di piccolissima taglia per il settore della cogenerazione domestica, e potenza compresa tra 1 e 5 kW<sub>el</sub>.



il motore Ecowill (consorzio Honda e OsakaGas, Giappone) da 1 kW<sub>el</sub> (Fig. 22); un package cogenerativo che impiega un motore DACHS da 5 kW<sub>el</sub> (azienda Senertec, Germania); infine, un motore da 4.7 kW<sub>el</sub> (Ecopower, Svizzera).

I tre motori di taglia micro impiegano comuni soluzioni progettuali, tra le quali:

- configurazione ad accensione comandata a ciclo Otto,
- motori monocilindrici a quattro tempi,
- alimentazione a gas naturale, con catalizzatore, e possibilità di alimentazione a propano (GPL).

| Caratteristiche                       | Ecowill (Honda)       | Senertec (DACHS)      |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Potenza elettrica                     | 1 kW <sub>el</sub>    | 5,0 kW <sub>el</sub>  |
| Rendimento elettrico netto            | 20% PCI               | 26% PCI               |
| Potenza termica recuperabile          | 3,25 kW <sub>th</sub> | 12,3 kW <sub>th</sub> |
| Rendimento totale (elettrico+termico) | 85%                   | 89%                   |
| Catalizzatore                         | 3 vie (sonda λ)       | Ossidante             |

## Caratteristiche motoristiche dei micro-cogeneratori

*Prestazioni.* rendimenti elettrici più bassi (compresi tra il 20% ed il 26%), con rendimenti globali che raggiungono valori 85% nel caso di utenza alimentata con acqua a 80°C o maggiori laddove si proceda al recupero del calore latente di condensazione del vapor d'acqua nei fumi (temperatura dell'acqua all'utenza intorno a 55 °C).

Come nei MaCI di taglia maggiore, il recupero termico viene effettuato dal raffreddamento del generatore elettrico (raffreddato a liquido), dall'olio motore, dalla camicia del cilindro e dai fumi.

*Regolazione di potenza.* Il sistema consente la regolazione in potenza del motore variando il suo regime di rotazione: la corrente generata a frequenza variabile da un generatore sincrono a magneti permanenti viene raddrizzata e poi prodotta alla frequenza di rete (50/60 Hz) da un inverter.

Dal punto di vista motoristico, la regolazione viene fatta a giri variabili mantenendo la valvola a farfalla in condizioni sempre vicine a quelle di massima apertura. In tal modo si ottengono rendimenti elevati anche ai carichi parziali

Per l'inseguimento del carico termico, è prevista la presenza di una caldaia integrativa per soddisfare le punte di richiesta.

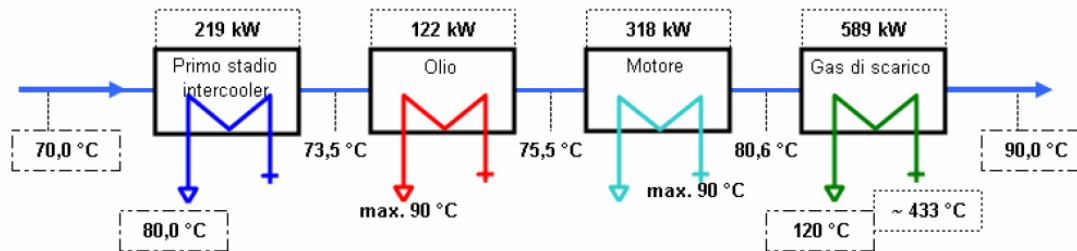
*Connessione alla rete.* I motori di taglia micro possono funzionare tanto in isola, stand-alone, quanto allacciati alla rete elettrica attraverso un'adeguata interfaccia di parallelo.

**Schema impiantistico di un motore cogenerativo della potenza di 1 MWe**

**Circuito acqua calda**

Potenze termiche recuperabili = 1.248 kW (+/- 8%)

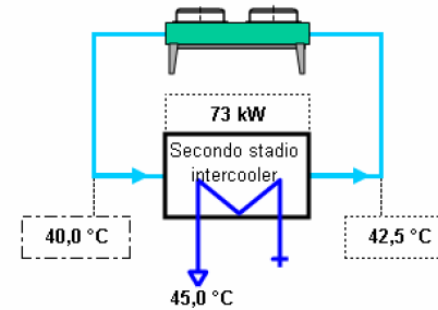
Portata nominale = 53,7 m³/h



**Circuito a bassa temperatura**

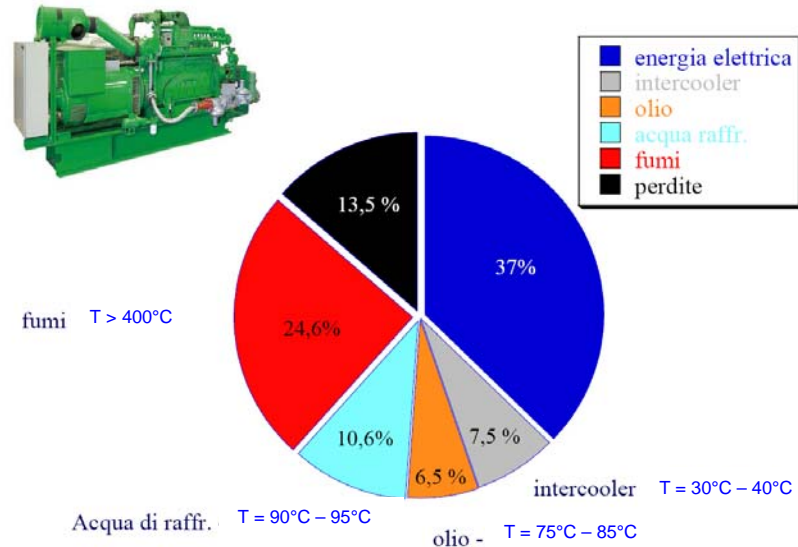
Potenza termica da dissipare = 73 kW (+/- 8%)

Portata acqua di raffreddamento = 25,0 m³/h





## Bilancio energetico di un motore cogenerativo della potenza di 1 MWe



### **Circuito a bassa temperatura 25% potenza termica recuperata**

l'intercooler rende disponibile calore a 30-40 °C, l'olio del sistema di lubrificazione si trova ad una temperatura compresa tra 75-85 °C, il circuito di raffreddamento è ad una temperatura media di 90-95 °C.

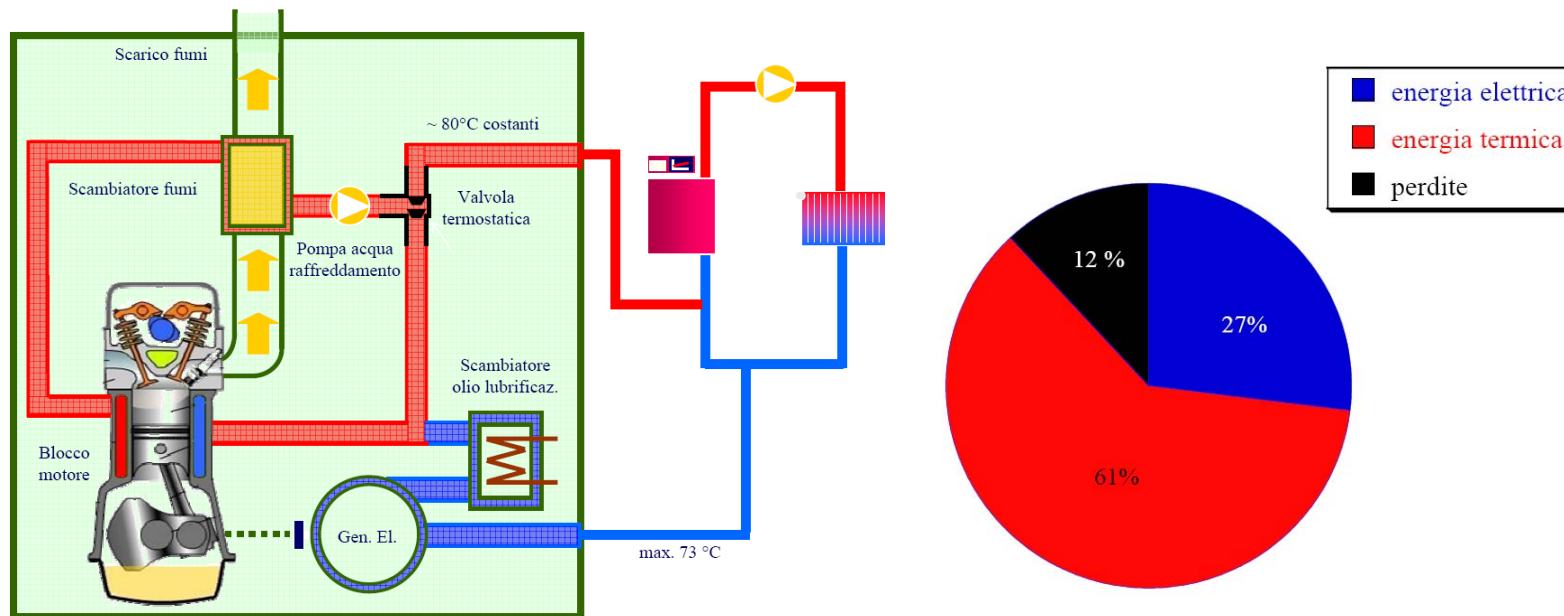
### **Circuito ad alta temperatura 30% potenza termica recuperata**

Il circuito di alta temperatura, che recupera il calore sensibile dei gas combusti, opera ad una temperatura che oscilla tra i 400 e i 500 °C, e la potenza termica idealmente recuperabile è pari al 30% dell'input termico al motore.

Dunque dai fumi è anche possibile produrre vapore in media pressione per un'utenza industriale (tipicamente 5-12 bar).

**Perdite termiche a camino ammontino ad una frazione compresa tra il 10 – 15 %.**

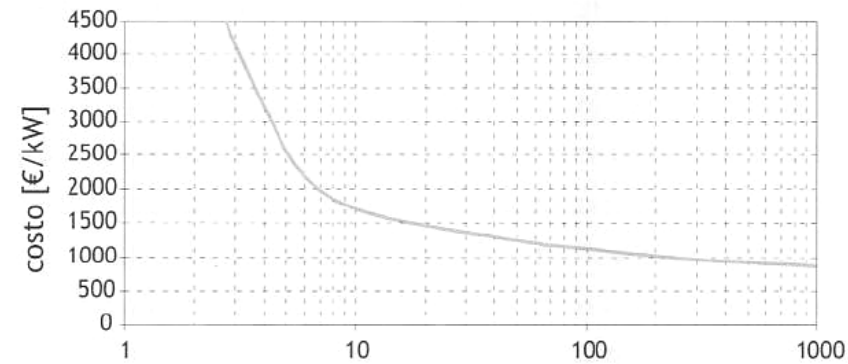
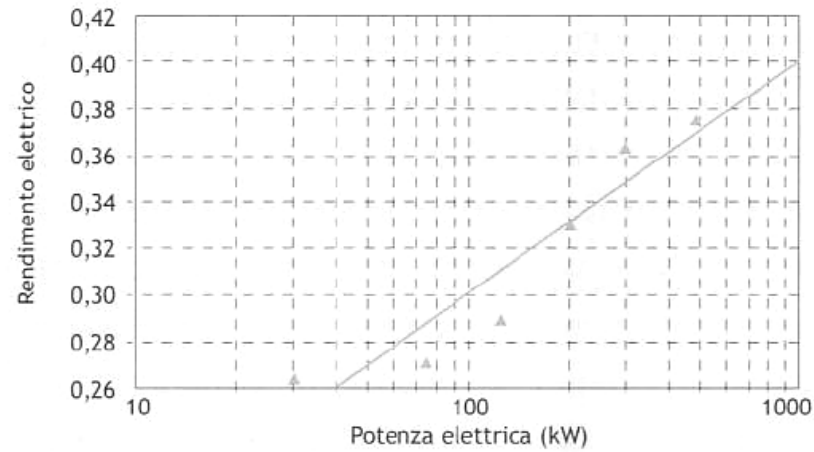
**Schema impiantistico e bilancio termico di un motore cogenerativo della potenza di 5 kWe**



Nell'ipotesi di una temperatura dell'acqua all'utenza intorno a 80°C, la quantità di calore globalmente recuperato dal motore è considerevole (rendimento termico pari a circa 60%) da cui risulta un valore del rendimento di primo principio pari al 87%.

## 11. Analisi economica

L'analisi di mercato dei MaCl in assetto cogenerativo dimostra l'esistenza di un legame tra la taglia del motore, il rendimento elettrico ed il costo specifico per kWe installato.



### Dati caratteristici di alcuni motori a gas per cogenerazione per taglie comprese tra 45 kW e 800 kW

Si noti che il costo di manutenzione per un MCI non è trascurabile e in genere si attesta su valori che vanno da 0,6 a 1,5 c€/kWh, a seconda della taglia.

#### MaCI 45 kWe – 800 kWe

| Costi e caratteristiche                            | Tedom<br>S22AP<br>45 kW | Waukesha<br>VSG11G<br>75 kW | MAN<br>100 kW | Cummins<br>GSK19G<br>300 kW | Caterpillar<br>G3516 LE<br>800 kW |
|--|-------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Potenza nominale[kW <sub>el</sub> ]                | 45,5                    | 75,0                        | 100,0         | 300,0                       | 800,0                             |
| Costo totale d'installazione (€/kW <sub>el</sub> ) | n.d.                    | 1 100                       | 1 190         | 950                         | 1 000                             |
| Rendimento elettrico [%; rif. PCI]                 | 28,4                    | 27,2                        | 33,7          | 34,2                        | 36,6                              |
| Costo di manutenzione €/MWh                        | n.d.                    | 15                          | 14,5          | 10                          | 7,6                               |

#### MaCI micro

| Caratteristiche                | Ecowill (Honda)    | Senertec (DACHS)     |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|
| Potenza elettrica              | 1 kW <sub>el</sub> | 5,0 kW <sub>el</sub> |
| Rendimento elettrico netto     | 20% PCI            | 26% PCI              |
| Dimensioni (Largh.xProf.xAlt.) | 0,38x0,58x0,88 m   | 0,72x1,1x1,0 m       |
| Massa                          | 81 kg              | 520 kg               |
| Costo (€)                      | 6 000              | 13 000               |
| Catalizzatore                  | 3 vie (sonda λ)    | Ossidante            |

I dati di costo dei motori di taglia micro. I costi di impianto si intendono per motori in assetto cogenerativo e sono comprensivi dell'impianto di recupero termico e del sistema di controllo.