

Termodinamica di un motore a combustione interna

Valutazioni energetiche ed exergetiche

E' dato un motore a combustione interna che utilizza un combustibile di LHV (potere calorifico inferiore) pari a 35.000 kJ/kg. Il rendimento termico (L/Q_H) o di 1° principio è pari a 30%. Si assuma una temperatura media di combustione di 1500 K. La potenza meccanica erogata è di 100 kW. E' noto che il 40% dell'energia entrante è dissipata nei gas di scarico a 900 K, il 30% attraverso uno scambiatore ad acqua. Le pareti del motore raggiungono una temperatura media di 450 K, il fluido di raffreddamento 353K, l'ambiente esterno è a 20°C. Nell'ipotesi che il liquido di raffreddamento (per semplicità acqua) esca dal motore a 363 K e sia portato dal radiatore a 343 K all'ingresso dello stesso, si determini la portata di refrigerante richiesta.

Analisi energetica

Ricaviamo il consumo di combustibile e determiniamo i flussi energetici ed exergetici completi.

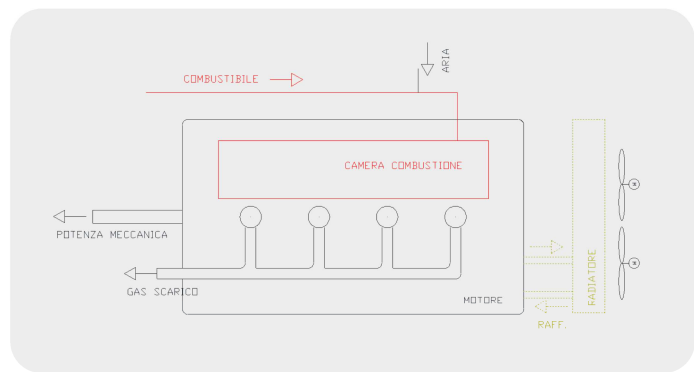
La potenza termica in ingresso al motore, derivante dalla combustione del carburante, è pari a:

$$\dot{Q}_H = \frac{\dot{W}}{\eta_{th}} = 333 \text{ kW}$$

E da questo valore, per il primo principio, possiamo ricavare la potenza termica dissipata:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_L &= \dot{Q}_H - \dot{W} = \dot{Q}_H - \eta_{th} * \dot{Q}_H = \dot{Q}_H(1 - \eta_{th}) \\ &= 233 \text{ kW} \end{aligned}$$

La potenza termica ottenuta dal combustibile



equivale al prodotto della portata dello stesso per il suo LHV:

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{comb} * LHV$$

Da cui ricaviamo la portata di combustibile, pari a:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{333 * 10^3}{35000 * 10^3} = 0,0095 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

La potenza termica dissipata nei fumi è:

$$\dot{Q}_f = 0,4 * \dot{Q}_H = 133 \text{ kW};$$

$$\dot{Q}_{pareti} = 0,3 * \dot{Q}_H = 100 \text{ kW}$$

Questo ultimo termine attraversa il blocco del motore ed è scambiato con il liquido di raffreddamento. Per un liquido la variazione dell'energia interna, pari a

$$\Delta U = c\Delta T$$

Comporta per il primo principio

$$\Delta u = \Delta q - \Delta w \text{ con } \Delta w = 0$$

Che diventa: $\Delta q = c\Delta T$ per unità di massa, oppure

$$\Delta Q = mc\Delta T$$

In valore assoluto. In un sistema aperto, in cui fluisce una portata di fluido tra due sezioni di ingresso e uscita, diviene:

$$\dot{Q} = \dot{m} * c * \Delta T$$

Da cui si ricava la portata di massa:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{pareti}}{c * \Delta T} = 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 4,28 \text{ m}^3/\text{h}$$

Analisi exergetica

L'exergia (potenza exergetica) da flusso di calore si determina con la relazione seguente:

$$\dot{\Phi}_H = \dot{Q}_H \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right)$$

Ossia è il calore moltiplicato per il fattore di Carnot, che rappresenta il rendimento massimo ideale di una macchina termica che opera tra quella temperatura e l'ambiente di riferimento.

Applicata alla potenza termica erogata a 1500 K (333kW) dà:

$$\dot{\Phi}_H = 268 \text{ kW}$$

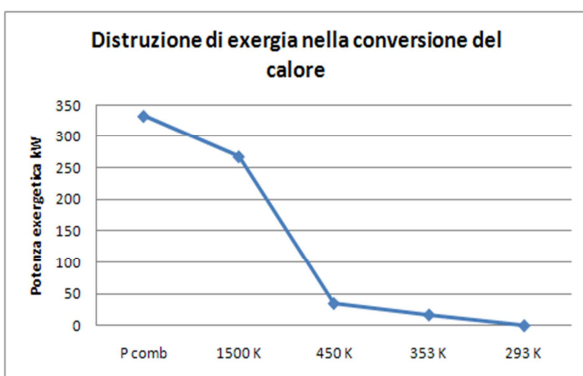
La potenza termica ceduta alle pareti (100 kW) determina:

$$\dot{\Phi}_{450K} = 35 \text{ kW}$$

La stessa potenza, nel refrigerante determina una potenza exergetica:

$$\dot{\Phi}_{353K} = 17 \text{ kW}$$

Di seguito abbiamo graficato i passaggi precedenti.



Il risultato evidenzia che oltre alla potenza meccanica (100 kW) ricavata dal motore, equivalente ad un flusso exergetico netto, il calore

recuperabile (100 kW) raddoppia il rendimento di primo principio, ma comporta una distruzione di exergetica principalmente nella combustione, a causa dell'elevato salto termico tra la stessa e l'involucro in cui avviene.

Le combustioni (con le loro elevatissime temperature) hanno un senso dal punto di vista termodinamico unicamente per la produzione di energia meccanica-elettrica (che è un flusso exergetico), ma devono essere evitate (se lo scopo è la produzione di calore a medio bassa temperatura), a favore di sistemi più efficienti.

NOTE: nei moderni motori a combustione interna utilizzati per cogenerazione il rendimento di primo principio (elettrico) raggiunge e supera valori del 40%. Il recupero termico aggiunge un altro 45%, in quanto si recupera calore anche dai fumi, dagli intercooler, dagli oli lubrificanti. Il resto è scaricato con i fumi nell'ambiente.

Pertanto si può intuire dall'esercizio svolto che il rendimento di primo principio (grado di utilizzo dell'energia) è molto elevato, oltre all'80%. Invece il rendimento exergetico, prossimo a quello elettrico (l'exergia del calore di scarto è molto limitata) è decisamente più basso.

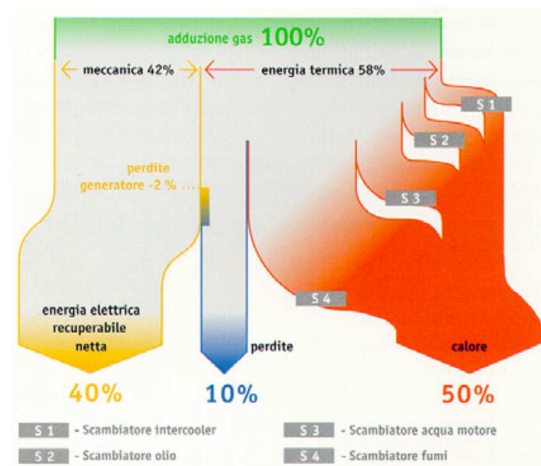


Figura 1: rendimento di un moderno motore a combustione interna per cogenerazione a gas metano [Jenbacher-GE]