

asdf

LA COGENERAZIONE

4 June 2012

Cogenerazione : aspetti introduttivi

In molti impianti di impiego industriale, ma anche civile, sono sempre più richieste contemporaneamente sia l'energia elettrica E che quella termica Q_u , quest'ultima generalmente sotto forma di vapore, acqua calda o aria preriscaldata per gli usi tecnologici dei processi di lavorazione.

Per soddisfare queste richieste si ricorre ad un collegamento alla rete nazionale per quanto concerne l'energia elettrica e producendo in proprio, bruciando combustibile in una caldaia posta nello stabilimento stesso, il vapore o il fluido caldo.

Oppure si può pensare di delegare la produzione dell'energia elettrica ad un impianto motore primo termico all'interno dello stabilimento, per soddisfare quindi il fabbisogno interno, lasciando la produzione di vapore o aria calda ad un'altra apparecchiatura, come una caldaia ad esempio, svincolata dal primo impianto.

A questo scopo, consideriamo le seguenti due figure **a** e **b** :

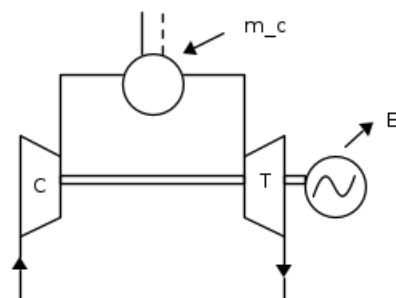


fig. a

produzione di energia elettrica
tramite impianto con turbina a gas

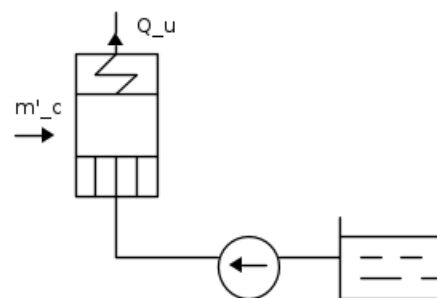


fig. b

produzione di energia termica
tramite generatore di vapore

Nella figura **a** si è supposto per l'appunto che l'energia elettrica E venga prodotta con un impianto con turbina a gas; nella figura **b** si è supposto che il calore Q_u venga prodotto sotto forma di vapore d'acqua in determinate condizioni di temperatura e pressione mediante un generatore di vapore.

Poiché, però, i gas che sono scaricati dalla turbina si trovano ad una temperatura elevata è possibile installare il generatore di vapore proprio a valle della turbina : in questo modo si produce il vapore, e quindi il calore Q_u , a spese dei gas di scarico. In

questo modo si evita di adoperare appositamente del combustibile m'_c , risparmiando molto in termini economici.

Si viene a realizzare così un **impianto di cogenerazione**, schematicamente rappresentato nella figura **C** sottostante, in cui sono prodotte contemporaneamente energia elettrica e termica :

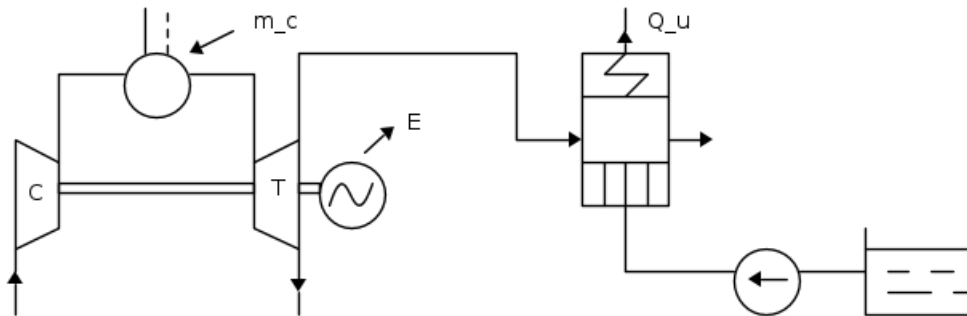


fig. c

schema semplificato di un impianto di cogenerazione

Dato che la produzione di energia elettrica è legata a quella di calore occorre comunque effettuare il collegamento alla rete elettrica nazionale, da cui si andrà a prelevare l'energia se la produzione interna è inferiore alla richiesta; in caso contrario l'energia in esubero verrà immessa in rete e venduta.

Consideriamo ancora la figura **C**.

Il rapporto :

$$I = \frac{E + Q_u}{m_c H_i}$$

tra la somma delle energie elettrica e termica prodotte e quella primaria fornita dal combustibile può giungere anche a valori dell'ordine del 90%, ma non possiamo intendere questo rapporto come un rendimento dell'impianto poiché al numeratore di esso si sommano due tipologie di energie che non hanno la stessa qualità. E' definito quindi come **indice di sfruttamento del combustibile**.

Per avere un'idea di quale possa essere il risparmio di energia primaria che si può ottenere con un impianto di cogenerazione consideriamo le figure **d** ed **e** che seguono, in cui vengono riportati i flussi di energia per un impianto convenzionale ed uno di cogenerazione, qualora si voglia ottenere da entrambi 30 kWh elettrici e 55 kWh termici :

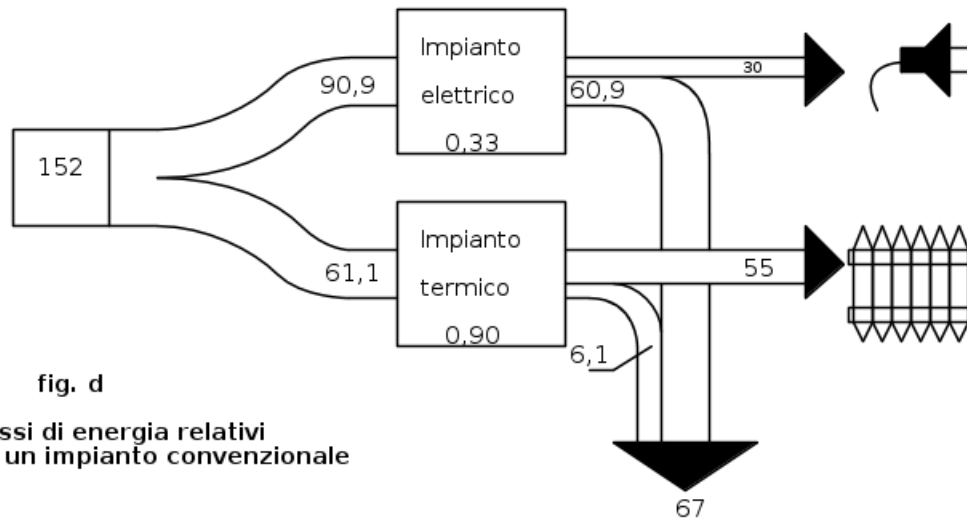


fig. d

flussi di energia relativi
ad un impianto convenzionale

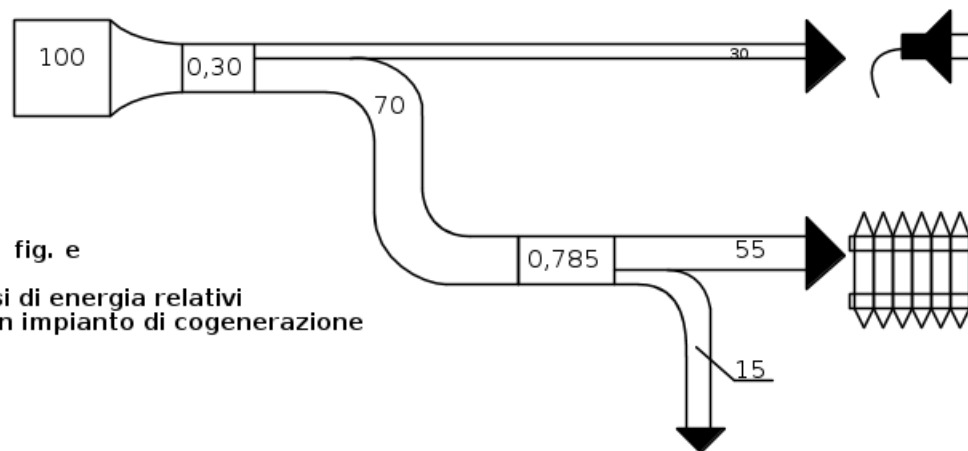


fig. e

flussi di energia relativi
ad un impianto di cogenerazione

Per quanto riguarda l'impianto convenzionale si è assunto pari a 0,33 il rendimento con cui si produce energia elettrica, in cui sono comprese anche le perdite di trasmissione che ci sono dal luogo di produzione a quello di utilizzazione finale. Si è assunto pari a 0,90 il rendimento dell'apparecchiatura necessaria alla produzione di energia termica.

Il consumo di energia primaria dell'impianto convenzionale, E_{conv} , è :

$$E_{conv} = 30/0,33 + 55/0,90 = 90,9 + 61,1 = 152 \text{ kWh}$$

Per quanto riguarda l'impianto di cogenerazione, si è assunto pari a 0,30 il

rendimento complessivo relativo alla produzione di energia elettrica e pari a 0,785 il rendimento dell'apparecchiatura necessaria alla produzione dell'energia termica.

Il consumo di energia primaria dell'impianto di cogenerazione, E_{cog} , è :

$$E_{cog} = 30 / 0,30 = 100 \text{ kWh}$$

La differenza (100-30) kWh moltiplicata per 0,785 è pari a 55 kWh ed è l'energia termica richiesta.

Il **risparmio di energia** R è :

$$R = \frac{E_{conv} - E_{cog}}{E_{conv}} = \frac{152 - 150}{152} = 34,2 \%$$

Oltre al risparmio visto, un altro vantaggio dovuto alla cogenerazione è la **riduzione di emissioni inquinanti nell'atmosfera** poiché questi impianti adoperano metano o combustibili gassosi con un basso contenuto di zolfo.

I sistemi

La classificazione è eseguita in base al motore primo adoperato per la produzione di energia elettrica :

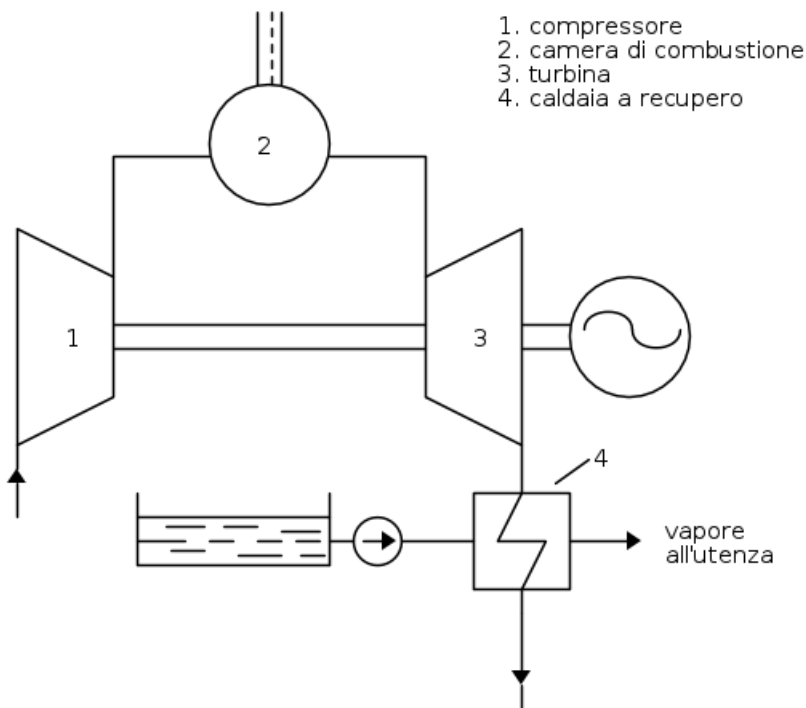
- con turbina a gas;
- con turbina a vapore
- con turbina a gas e con turbina a vapore (impianti combinati);
- con motore alternativo a combustione interna.

Con turbina a gas

Questa tipologia di impianto riscuote un interesse crescente nell'ambito della cogenerazione grazie al fatto, ad esempio, che il calore che si recupera dalle turbine a gas è reso disponibile ad un'unica fonte ad una temperatura molto elevata che dipende comunque dalla temperatura massima T_3 e dal rapporto di compressione del ciclo. Questo sta ad indicare compattezza ed efficienza del sistema di recupero.

Ciò può essere fatto utilizzando direttamente i gas di scarico dalla turbina come fluido caldo, quando possibile, o inviando i gas stessi in una caldaia per produrre vapore o aria calda a seconda delle esigenze.

Nella figura che segue è ritratto un **impianto di cogenerazione con turbina a gas con caldaia a recupero** :



Il recupero del calore è più spinto nel primo caso quando sono assenti le perdite relative allo scambio termico tra gas combusti e fluido intermedio.

Le turbine a gas dalle quali si recupera il calore sono le stesse che vengono adoperate in altre applicazioni come semplice impianto motore primo; il recupero di calore non ne penalizza in misura apprezzabile né il rendimento né la potenza erogata.

Generalmente, i criteri di massima in base ai quali sono dimensionate le caldaie a recupero hanno a che fare con la superficie di scambio termico, risultato di un compromesso tra esigenza di recupero di calore e costo dei materiali, e le perdite di carico che si riflettono sulla potenza e sul rendimento della turbina.

Le turbine a gas permettono di usufruire di una notevole flessibilità dell'impianto, cioè di variare il rapporto tra energia termica ed elettrica prodotte, che può variare in genere tra 1,8 e 4 poiché, dato l'alto contenuto di ossigeno nei gas di scarico, si può realizzare una combustione aggiuntiva facendo arrivare il rapporto Q_u / E a valori intorno a 4.

Questa flessibilità avvantaggia il progettista e l'utilizzatore dell'impianto.

Inoltre i tempi di messa in marcia dell'impianto sono contenuti poiché si può disporre della potenza elettrica nel giro di 4-8 minuti dal segnale di avviamento mentre la caldaia a recupero inizia a produrre dopo 20-30 minuti (o meno) nel caso di avviamento a caldo.

Confrontando le turbine a gas con altri tipi di impianti motori, si ha una "vittoria" delle prime poiché a parità di potenza installata, si hanno maggiori vantaggi relativamente ai costi del macchinario e delle opere civili grazie ai pesi ridotti e ai volumi delle macchine.

I tempi di costruzione, inoltre, sono maggiormente contenuti sia per la semplicità delle caldaie a recupero, sia per la standardizzazione elevata delle turbine a gas che vengono spesso costruite con programmi di magazzino; sono bassi anche i tempi di installazione, poiché elevato è il grado di premontaggio dei componenti.

Va precisato anche che la turbina a gas adopera metano o combustibili liquidi costituiti essenzialmente da frazioni leggere della distillazione del petrolio.

Con turbina a vapore

Gli impianti di cogenerazione con turbina a vapore possono essere classificati in :

- a contropressione;
- a derivazione e contropressione;
- a derivazione e condensazione.

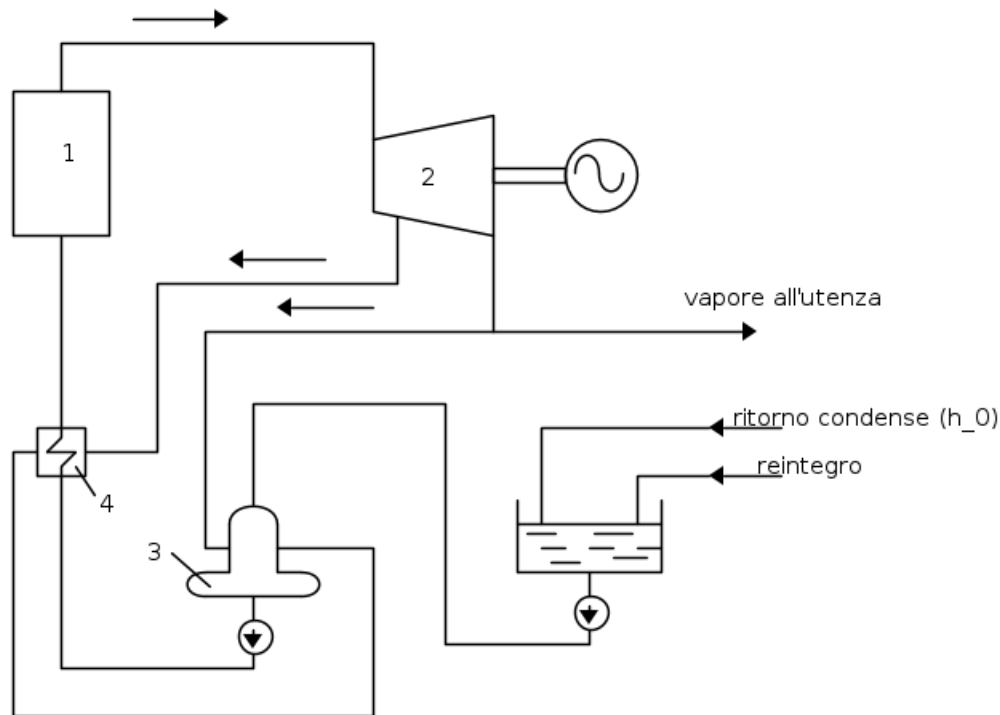
Vi sono anche altre tipologie, ma esse possono essere comunque ricondotte a queste tre.

Tutti possono adoperare qualsiasi tipo di combustibile, poiché sono impianti a combustione esterna e quindi i prodotti della combustione, non costituendo il fluido motore, non entrano nella turbina e non la danneggiano.

a contropressione

Storicamente parlando, è il primo tipo di impianto realizzato per produrre in maniera combinata energia elettrica e calore.

Lo schema con cui è realizzata la cogenerazione, in questo tipo di impianto, è il seguente :



1. Generatore di vapore
2. Turbina a vapore
3. Degassatore
4. Scambiatore di calore

Il vapore evolvente nella turbina di potenza viene fatto espandere fino alla pressione p_4 , la cui corrispondente temperatura di saturazione è quella richiesta per gli usi tecnologici. Il vapore deve avere caratteristiche termodinamiche adeguate, in modo tale da ottemperare alla contemporanea richiesta di energia elettrica e calore.

In questi impianti la potenza prodotta dalla turbina è direttamente proporzionale alla quantità di vapore richiesta, istante per istante, dal processo tecnologico e dalle utenze proprie di centrale. Si ha, quindi, che la potenza elettrica producibile E e quella termica Q_u sono legate tra loro dalle seguenti relazioni :

$$E = \dot{m}_v(h_3 - h_4) \quad [\text{kJ/s}]$$

$$Q_u = \dot{m}_v(h_4 - h_0) \quad [\text{kJ/s}]$$

dove :

- $\dot{m}_v$ è la portata di vapore che evolve in turbina;
- h_3 è l'entalpia del vapore all'ingresso in turbina;
- h_4 è l'entalpia del vapore allo scarico della turbina;
- h_0 è l'entalpia della condensa di ritorno dall'impianto tecnologico.

In questi impianti la pressione del vapore vivo prodotto in caldaia varia tra i 10-15 bar e i 120-130 bar mentre le temperature del vapore surriscaldato assumono valori intorno ai 500°C. Il rapporto Q_u / E si mantiene tra 5 e 7.

In impianti di questo tipo, inoltre, vi è un limite superiore alla produzione di energia elettrica per unità di massa di vapore prodotto nel senso che al diminuire del fabbisogno di calore e di vapore, diminuisce la produzione di energia elettrica che risulta un sottoprodotto del vapore. Questo fattore rende "rigido" il sistema, incompatibilmente con le esigenze dell'impianto.

Il rendimento non è molto elevato perché il calore poiché il calore Q_2 viene ceduto ad una temperatura molto più alta, cioè a quella a cui occorre il calore per le esigenze dello stabilimento.

a derivazione e contropressione

E' conveniente l'uso di questi impianti qualora si richieda la variazione del rapporto tra la quantità di energia elettrica prodotta e la quantità di calore utilizzato.

In essi è possibile variare entro certi limiti, con elevato indice di sfruttamento del combustibile, il rapporto caratteristico Q_u / E .

Le caratteristiche del vapore prodotto, l'indice di sfruttamento del combustibile e l'entità delle potenze installate sono simili a quelle degli impianti a contropressione pura e si distinguono da essi relativamente all'entità del rapporto calore utilizzato/energia prodotta e alla possibilità di modificare questo rapporto in relazione alle condizioni di esercizio dell'impianto.

a derivazione e condensazione

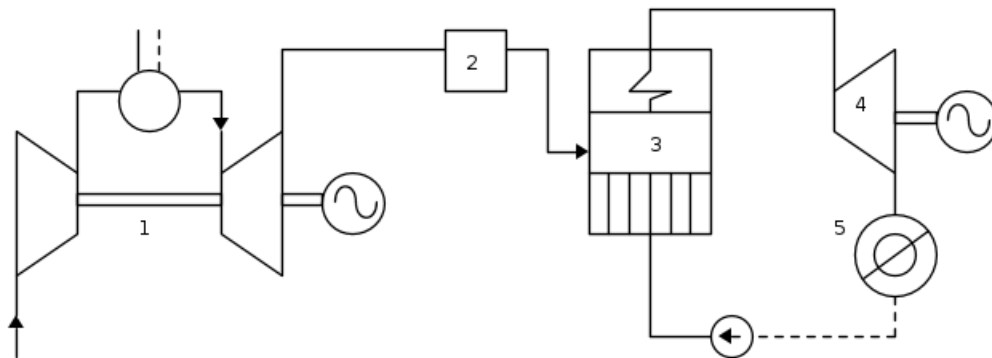
Questi impianti presentano un condensatore allo scarico della turbina e sono convenienti allorquando si chiede la variazione del rapporto tra energia elettrica e calore prodotti e specialmente quando la quantità di energia elettrica da produrre è elevata in rapporto alla quantità di vapore richiesta.

In questi impianti, a valori generalmente modesti del rapporto caratteristico Q_u / E , si accompagnano valori più contenuti dell'indice di sfruttamento del combustibile.

Con impianti combinati

In questo tipo di impianti di cogenerazione, i gas di scarico della turbina a gas sono utilizzati per produrre vapore ad alta pressione che espande successivamente in una turbina a contropressione. Questi impianti presentano un valore alto del rapporto Q_u / E fino a 4 e valori elevati del rendimento relativo alla produzione di energia elettrica. Sono economicamente proponibili solo per potenze maggiori di 3,5 MW.

La seguente figura mostra lo schema di un impianto di cogenerazione con impianto combinato gas-vapore :



1. Turbina a gas
2. Postbruciatore
3. Caldaia a recupero
4. Turbina a vapore a contropressione
5. Utilizzatore vapore

Con motore alternativo a combustione interna

I motori alternativi adoperati per la cogenerazione sono in genere sovralimentati e rientrano tra i :

- motori diesel, alimentati con combustibile liquido;
- motori ad accensione comandata, alimentati a gas;
- motori *dual fuel*, a ciclo diesel, funzionanti a gas con aggiunta di una percentuale modesta di combustibile liquido.

Il rapporto Q_u / E è molto inferiore rispetto a quello dei cicli a vapore e dei cicli a gas, attestandosi su valori intorno all'unità per i motori diesel ed intorno a 1,5 per quelli a benzina.

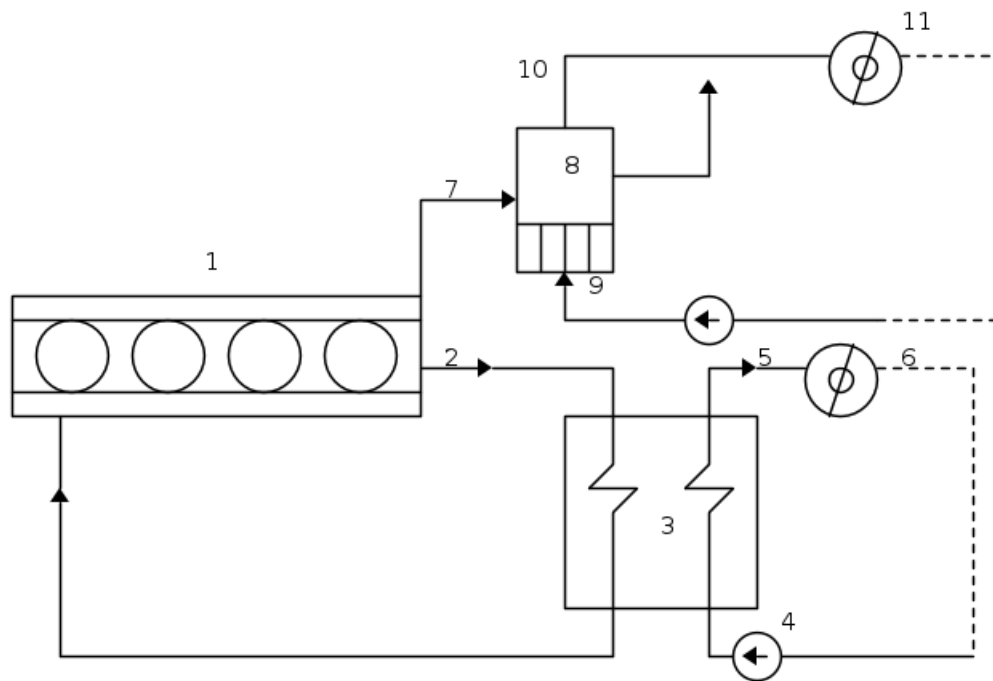
Il livello della potenza termica disponibile è basso, inferiore rispetto a quello richiesto normalmente dall'industria e l'aliquota a temperatura superiore a 120°C non va oltre il 65% della potenza del motore.

E' possibile, laddove ci sia, adoperare l'ossigeno presente nei gas di scarico per una combustione aggiuntiva, al fine di variare il rapporto Q_u / E ed aumentare il livello termico dell'energia.

Con questo tipo di impianti è più difficile recuperare il calore poiché questo è distribuito nei gas di scarico, nel liquido refrigerante, nell'aria di alimentazione e nell'olio lubrificante, una piccola parte è va persa per irraggiamento.

Il calore recuperato dai gas di scarico, in molti degli impianti realizzati, è utilizzato per produrre vapore fino a 15 bar mentre il calore a temperatura più bassa è utilizzato per riscaldare dell'acqua fino a 85 - 90 °C.

La seguente figura ritrae uno schema di impianto di cogenerazione con motore alternativo a c.i. :



1. Motore
2. Liquido refrigerante del motore
3. Scambiatore di calore
4. Ingresso acqua fredda
5. Uscita acqua calda
6. Utilizzatore acqua calda
7. Gas combusti
8. Caldaia a recupero
9. Ingresso acqua
10. Uscita vapore
11. Utilizzatore vapore

Quando è consentito dal processo tecnologico, il calore dei gas di scarico del motore può essere recuperato in modo più completo inviando i gas stessi direttamente nell'ambiente da riscaldare. Oppure si può pensare di impiegare il calore recuperato in impianti di condizionamento o frigoriferi qualora vi siano macchine ad assorbimento che adoperano vapore o acqua calda.

L'impianto di cogenerazione con motore alternativo a c.i. presenta notevole flessibilità poiché è possibile adeguare velocemente l'erogazione di energia alla richiesta senza avere incrementi rilevanti nel consumo specifico di combustibile.

I motori alternativi che si prestano meglio ad un recupero conveniente del calore sono quelli di elevata potenza, quindi generalmente a ciclo diesel a due e a quattro tempi destinati alla propulsione navale o alle applicazioni industriali.

Alcune considerazioni finali

Come si può intuire, sono le varie e contingenti considerazioni di carattere economico e tecnico che fanno propendere per l'una o l'altra soluzione e quindi si può dedurre che non vi è un impianto che in ogni caso fornisce la soluzione più adatta al problema che si sta affrontando.

Tra i fattori che influenzano le scelte operative e i calcoli energetici ed economici si segnalano :

- i carichi che sono richiesti dalle utenze termiche ed elettriche che variano nel tempo, in maniera spesso indipendente gli uni dagli altri;
- le unità di generazione e di utilizzazione possono essere numerose e di vario tipo : in questo caso il sistema va gestito in modo coordinato;
- i generatori ed i motori elettrici sono collegati alla rete nazionale con cui avvengono scambi continui di energia sia in un senso che nell'altro e sono regolati da contratti molto complessi e con tariffe che sono comunque variabili nel tempo;
- i combustibili non possono essere impiegati in maniera indifferente in uno qualunque degli impianti finora visti.

Trigenerazione

Diamo qualche cenno relativo alla trigenerazione.

Il sistema di cogenerazione è efficacemente utilizzato quando utenza termica ed elettrica sono contemporanee.

Nel settore residenziale e terziario, però, l'utenza termica richiede energia solo in un periodo limitato dell'anno, cioè quando occorre riscaldare gli edifici.

Questo vuol dire che nei periodi più caldi dell'anno bisogna tenere fermo l'impianto cogenerativo o farlo funzionare dissipando però il calore prodotto. Queste due alternative sono entrambe sfavorevoli sia per motivi economici di fattibilità

dell'impianto, sia per l'efficienza complessiva.

Nel periodo estivo, però, le utenze richiedono energia frigorifera, per raffrescare gli edifici.

Da qui nasce l'importanza dei **sistemi trigenerativi** che sono capaci di produrre energia elettrica, termica e frigorifera.

La **trigenerazione (CCHP, Combined Cooling, Heating and Power)** consente quindi di utilizzare il calore recuperato da un impianto motore direttamente nei mesi invernali, mentre nei mesi estivi è fornito ad una macchina frigorifera, la più adatta delle quali è la macchina frigorifera ad assorbimento, per le sue caratteristiche funzionali.

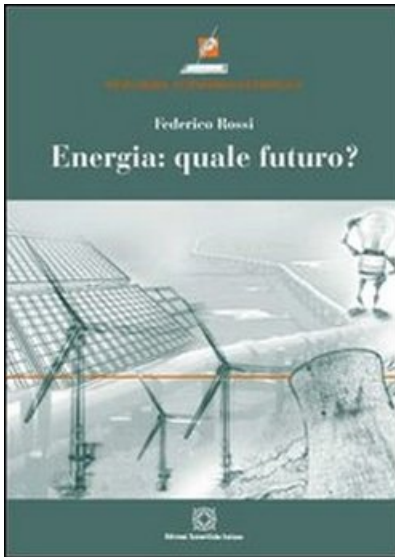
Bibliografia

Quanto esposto è tratto da :

- **Macchine - Renato della Volpe;**



- **Energia : quale futuro ? - Federico Rossi.**



Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Asdf:la-cogenerazione>"