

DESCRIZIONE TECNICA

I motori alternativi a ciclo Otto e ciclo Diesel costituiscono la tecnologia dominante nel campo delle piccole potenze, da pochi kW fino a circa 30 MW. Questo tipo di macchina è quella con il più ampio range di potenze erogabili rispetto a tutte le altre, ed è stata sviluppata e ha sperimentato eccezionali progressi di prestazioni e di affidabilità come propulsore per i mezzi di trasporto dopo i primi successi commerciali di inizio scorso secolo. La lunga "storia" del motore alternativo fa sì che, al pari dei cicli vapore, rappresenti una tecnologia più che "matura". Ancora oggi, grazie al continuo lavoro di ricerca e sviluppo, soprattutto nel settore automotive, si riscontrano anno dopo anno significativi progressi, soprattutto in termini di incremento della densità di potenza. La classificazione più naturale di questi motori dipende dal tipo di ciclo termodinamico realizzato:

- motori Otto o ad accensione comandata, nei quali la fase di combustione avviene in seguito all'innesco di una energia esterna
- motori Diesel o ad accensione spontanea, nei quali la fase di combustione avviene a pressione pressoché costante senza necessità di innesco.

Esistono inoltre esempi di altri cicli (ad esempio il ciclo Miller) già impiegati in ambito cogenerativo dall'italiana Coke.

Vista l'enorme diffusione, questi motori rivestono un ruolo fondamentale in una serie di applicazioni stazionarie quali:

- gruppi elettrogeni di emergenza
- generazione di elettricità in siti remoti
- cogenerazione di piccola - media potenza.

Elementi distintivi delle applicazioni stazionarie di questa tecnologia sono:

- grandissima flessibilità e affidabilità ottenuta mediante il trasferimento dell'esperienza accumulata nella propulsione
- modularità, realizzata variando il numero dei cilindri in funzione della potenza da erogare
- rendimenti elettrici elevati, dal 20-25% delle macchine da qualche decina di kW al 40% e oltre per i motori da diverse centinaia di kW
- facilità nel reperimento di servizi e di personale per la manutenzione grazie alla capillare diffusione delle versioni automobilistiche che richiedono pratiche concettualmente simili
- costi di manutenzione più elevati delle altre tecnologie per impianti fissi di grande potenza. L'onere della manutenzione è proprio l'elemento fondamentale che, per taglie superiori a qualche MW, impone il passaggio ad altre tecnologie basate su turbomacchine
- emissioni piuttosto elevate di tutti i maggiori macro-inquinanti di interesse normativo nei sistemi non ottimizzati e privi di sistemi di post-trattamento dello scarico. Per soluzioni ben progettate e ottimizzate è possibile rientrare nei limiti di emissione consentiti
- vasta diffusione della sovralimentazione, che consente di aumentare le potenze specifiche (kW per unità di cilindrata) e quindi ridurre i costi
- facilità di avviamento e affidabilità del sistema di accensione, contestualmente alla rapidità di messa a regime.

Le quattro fonti di calore potenzialmente utilizzabili per fini cogenerativi in questi sistemi sono:

- i *gas di scarico* che rappresentano la sorgente termodinamicamente più pregiata, in quanto sono disponibili a temperatura piuttosto elevata (tra 400 e 500 °C). Come tali essi consentono la produzione di vapore di media pressione, tipicamente è riconducibile ai prodotti di combustione il 30-35% del calore totale liberato dal combustibile.
- l'*acqua di raffreddamento* che rappresenta circa il 15-25% dell'input termico totale. Disponibile a temperature prossime ai 100 °C è impiegabile per la produzione di acqua calda ma non ovviamente per la produzione di vapore.
- l'*olio lubrificante*, che rappresenta il 4-7% del totale ed è disponibile a 75-90 °C (recupero conveniente solo nei motori di grossa taglia).
- l'*aria di sovralimentazione*, disponibile solo nel caso di motori turbocompressi, che viene raffreddata per ridurre la densità fino a 60-80°C. Permette di recuperare una quantità di calore pari a quello recuperabile dall'olio di lubrificazione (recupero conveniente solo nei motori di grossa taglia).

I motori alternativi presentano un'elevata flessibilità di impiego per quanto riguarda i combustibili utilizzabili.

I MCI ad accensione comandata, che nel campo della propulsione funzionano prevalentemente a benzina e molto meno diffusamente a GPL e metano, nell'impiego stazionario sono generalmente alimentati a gas naturale oppure a biogas. Il GPL può essere usato in installazioni stazionarie di piccola taglia laddove è facilmente reperibile e a costi vantaggiosi.

Nell'impiego stazionario e per le taglie a partire da 50 kWe, il progetto del motore viene quasi sempre ottimizzato in funzione dell'alimentazione a gas. In tal caso, i motori a gas a ciclo Otto funzionano tipicamente in regime lean-burn, con forti eccessi d'aria, e con precamera per la stabilizzazione dell'accensione. Se si impiega il biogas, il funzionamento è analogo ma è richiesta una modifica del sistema di iniezione per consentire l'ingresso di portate di combustibile maggiore; il biogas essendo principalmente composto di metano e anidride carbonica ha poteri calorifici (tipicamente dell'ordine di 9000-17000 kJ/kg) inferiori al gas

naturale. Una criticità frequente riguarda il controllo del rapporto di miscela che per una data installazione può subire variazioni sensibili nel corso del tempo: a causa dell'irregolarità di composizione delle biomasse di partenza il contenuto di metano nel biogas subisce fluttuazioni notevoli (presentando valori che vanno dal 30 al 60%). Per questo motivo si adottano sistemi di controllo in retroazione del rapporto di miscela, mediante sonda nei fumi che regola la preparazione della miscela.

Esiste inoltre la possibilità di utilizzo di biocarburanti liquidi quali l'etanolo derivante da processi di trasformazione di biomasse vegetali a contenuto zuccherino (canna, barbabietola, ecc.). In questo caso, il funzionamento avviene sempre in miscela con le benzine (almeno al 10%) in modo da consentire l'avviamento a freddo. I motori funzionanti a bioetanolo-benzina non richiedono modifiche se la miscela presenta meno del 10% di etanolo, mentre è richiesta la ri-mappatura della centralina di controllo del motore se il contenuto di biocarburante è maggiore. La presenza di etanolo nel motore può causare erosione degli elastomeri.

I MCI industriali ad accensione spontanea per impiego stazionario possono essere alimentati a gasolio, ad olio combustibile oppure, molto frequentemente, a gas naturale, con l'aggiunta di una piccola percentuale di gasolio: 1-10 % per l'iniezione pilota, che ha la funzione di provocare l'autoaccensione della carica (si parla di motori dual-fuel).

L'impiego del gas al posto di un combustibile liquido fa riscontrare un aumento della potenza poiché è possibile un funzionamento con minore eccesso d'aria senza incorrere in incombusti allo scarico.

Nel campo dei combustibili rinnovabili vi sono una molteplicità di applicazioni: bio-diesel, oli vegetali, oli derivanti da processi industriali di lavorazione di sostanze organiche, oli da grassi animali, oli esausti da cottura cibi, ecc. Il bio-diesel è un combustibile liquido con proprietà molto simili a quelle del gasolio; è un derivato di biomasse oleaginose da cui viene estratto un olio (olio vegetale grezzo) che viene trasformato in bio-diesel, mediante un processo di transesterificazione e raffinazione.

Il biodiesel può essere utilizzato puro al 100% (nei motori di nuova concezione, dove ha una funzione di pulizia iniettori, non richiede interventi; nei motori di vecchia concezione dove si può avere usura di elastomeri dovuta al maggior potere solvente del combustibile si può usare il biodiesel previa modifica di alcune parti) o in miscela con gasolio convenzionale al 30+40% senza alcun intervento sul motore.

L'impiego di biodiesel, che ha minor potere calorifico del gasolio, porta ad un maggior consumo in termini di volume, ma le penalizzazioni di potenza sono contenute in pochi punti percentuali. Rispetto al gasolio, il biodiesel utilizzato puro, elimina completamente i problemi delle emissioni di ossidi di zolfo.

STATO DI AVANZAMENTO

Internazionale

La tecnologia degli MCI è certamente quella più diffusa per il trasporto ma nel caso delle applicazioni CHP è utilizzata principalmente per applicazioni di piccola e media taglia di potenza (10 kWe-1 MWe).

Nazionale

La diffusione in territorio nazionale ricalca quanto già evidenziato in ambito internazionale. La potenza totale prodotta in impianti CHP a motore a combustione interna è di circa 500 MWe.

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

I MCI rappresentano una tecnologia ormai matura (TRL 9) e molto diffusa soprattutto nella fascia di potenza elettrica tra 100 kW e qualche MW, sebbene ulteriori sviluppi sono sempre ricercati per aumentare l'efficienza di conversione.

RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

L'interazione con le altre fonti energetiche è essenzialmente legata alla natura del combustibile utilizzato, che può essere molto vario: Gas naturale, Gasolio, Biogas, Bioliquidi, GPL, Olio minerale combustibile, Olio vegetale.

VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

La tecnologia impatta positivamente sul settore automotive e trasporti in genere, macchine operatrici e per movimento terra.

I motori a combustione interna sono ad oggi la forma più diffusa e adottata di propulsione nel settore dei trasporti.

Pertanto le tecnologie sviluppate in più settori possono essere in parte o in toto trasferite da un settore all'altro.

Particolarmente rilevanti sono gli sviluppi nelle tecnologie per la sovralimentazione, il recupero di calore allo scarico e i sistemi di post-trattamento dei gas di scarico, tutti aspetti di forte interesse attuale nel settore trasporti.

POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

L'Italia si configura come un mercato particolarmente interessante per lo sfruttamento di sistemi cogenerativi di piccola media taglia. I principali fattori a supporto della diffusione della tecnologia sono sicuramente l'intensa urbanizzazione, in particolare al Nord Italia, e l'efficienza della rete di distribuzione di gas naturale che copre l'intero paese.

IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Oltre alla CO₂ gli MCI portano alla produzione principalmente di NO_x, CO e idrocarburi incombusti (HC) nonché di particolato (soprattutto legato ai motori diesel). Le emissioni di CO rapportate al volume di gas di scarico variano tra 300 e 1000 mg/Nm³ (al 5% di O₂). Le emissioni di CO rapportate alla potenza elettrica prodotta oscillano invece tra 1000 3000 mg/kWhe. Le emissioni possono essere ridotte lavorando in condizione di rapporto combustibile/aria controllato e con opportuni filtri antiparticolato (FAP). Tuttavia ad oggi l'unica via per avere un abbattimento delle emissioni inquinanti veramente apprezzabile (fino ai valori permessi dalle normative) è ricorrere all'uso di reattori termici o catalitici che permettono di completare l'ossidazione del CO e degli HC e di ridurre gli ossidi di azoto.

Emissioni CO₂/MWh

Per un MCI alimentato a gas naturale le emissioni di CO₂ sono pari a circa 0.5 kg/kWh.

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

Per quanto riguarda il rendimento elettrico (oscillante tra il 28,9 e il 41,1%) rimane abbastanza confermata la sua tendenza ad aumentare con la potenza disponibile; in particolare sono da evidenziare le ottime prestazioni dei gruppi BAXTER CHP motorizzati MAN (tra il 34,8 e il 36,3%) soprattutto in rapporto alla piccola potenza elettrica (che dovrebbe svantaggiarli). Nella fascia medio alta spiccano le unità DEUTZ TCG 2016 che fanno registrare rendimenti elettrici del 40,8 e de 41,1% (il massimo ottenuto).

Prendendo in considerazione invece il rendimento totale (oscillante tra 82,6 e il 91,9%) si comportano molto bene i gruppi CPL (89,9-90,5%), BAXTER (87,3-87,9%) e DEUTZ 2015 (89,2%), mentre eccelle l'unità MTU (91,9%); spicca anche il GE JENBACHER (88,9%).

La vita utile si attesta sui 15 anni.

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Costo investimento: ~3500€/kW impianto completo.

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

- Settore alberghiero
- Industria
- Aeroporti
- Centri commerciali
- ESCO
- Aziende agricole.

Sviluppo della tecnologia

I principali attori italiani nello sviluppo della tecnologia sono:

- Iveco
- Isotta Fraschini Motori S.p.A.
- VM Motori S.p.A.
- Riello S.p.A.
- Riello e Bosch sono inoltre coinvolte nella filiera delle applicazioni CHP (sviluppo di microgeneratori).

■ ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

Le attività di ricerca sono da anni orientate all'efficientamento energetico, al contenimento delle emissioni e al miglioramento delle prestazioni in termini di potenza e affidabilità e sono svolte prevalentemente da Università (Politecnico di Milano, Politecnico di Torino - Dipartimento energia, Università di Cassino, di Perugia, DIEM – Università degli studi di Bologna e di Ferrara ecc.) e centri di ricerca (CNR, ENEA) nonché dal settore privato.

■ BEST PRACTICES

Tra i principali produttori di motori industriali d'interesse per applicazioni cogenerative troviamo nella fascia di potenze tra 100 kW e 10 MW:

- AB-energy
- Caterpillar
- Deutz Power System
- Isotta Fraschini Motori
- Jenbacher
- MAN
- MTU
- Rolls-Royce
- Wartsila
- Waukesha
- Iveco.

Nella fascia di potenze inferiori (< 100kW):

- Aisin (Toyota)
- CPL-Concordia
- EMD
- Energia Nova
- Honda
- MAN
- Sentertech
- Energifera
- Ecogen
- Senertec (DACHS).

Honda, Aisin e Senertec hanno immesso sul mercato macchine molto piccole, nel range 1÷10 kW, destinate espressamente al settore della cogenerazione civile.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] G. Ferrari, "Motori a combustione interna", 2008
- [2] E. Macchi, S. Campanari, P. Silva, "La microcogenerazione a gas naturale", 2005
- [3] Combined heat and power - Evaluating the benefits of Greater global investment - 2008 - IEA (International Energy Agency)
- [4] Isotta Fraschini Motori (<http://www.isottafraschini.it/>)
- [5] MAN (<http://powerplants.man.eu>)
- [6] AB cogenerazione (<http://www.gruppoab.it/>)
- [7] GE (<https://information.jenbacher.com>)