



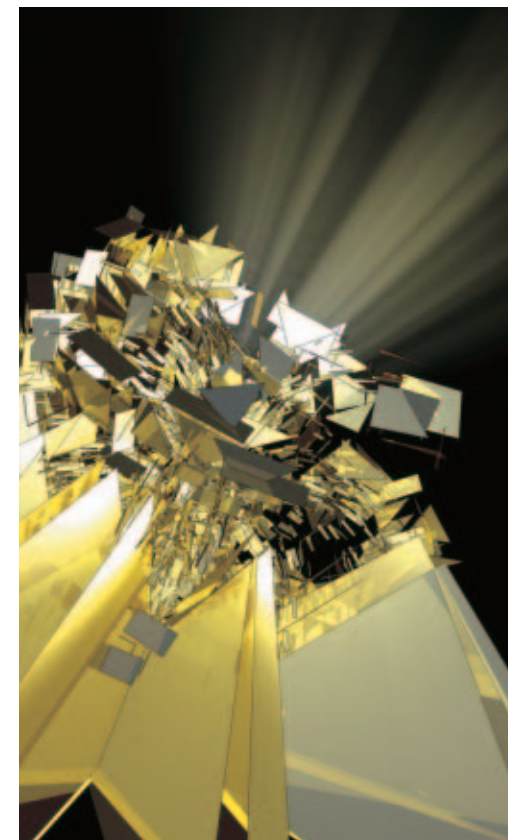
GUIDA ALLA MICRO-COGENERAZIONE: efficienza energetica e benefici ambientali con la produzione elettrica distribuita

INTRODUZIONE

C'è una tecnologia che può dare la scossa all'economia italiana, aiutando le imprese a competere nel mercato globale e creando allo stesso tempo ricerca, innovazione ed efficienza energetica per il nostro Paese. Il suo nome è micro-cogenerazione. La cogenerazione è una tecnologia ormai consolidata, in grado di realizzare la produzione combinata, in un unico processo e direttamente presso il sito dell'utente, di energia elettrica e calore (ed eventualmente anche freddo, nel qual caso si parla più correttamente di tri-generazione) per usi sia industriali che civili.

La cogenerazione consiste in una produzione interconnessa "in cascata" di elettricità e di calore/freddo per usi di processo o condizionamento ambientale, partendo dalla medesima energia chimica contenuta nel combustibile utilizzato (di solito gas naturale). Dal suo utilizzo ne consegue un uso più efficiente e con meno sprechi della medesima risorsa combustibile, in prospettiva sempre più scarsa in natura ed a costi crescenti nel tempo.

L'incremento mondiale della domanda di energia primaria, accompagnato dall'elevato prezzo del petrolio, ha dato uno slancio allo sviluppo delle principali fonti rinnovabili, nonché al settore della cogenerazione. Risulta quindi di primaria importanza l'incentivo e la sponsorizzazione di tali tecno-



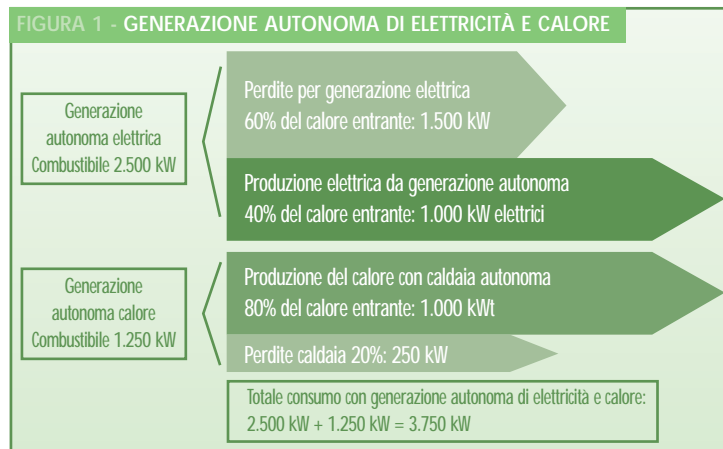
logie, attraverso strategie che mirino ad accrescere sia il risparmio economico che quello energetico per privati ed imprese. È fondamentale comprendere le caratteristiche della cogenerazione, le soluzioni impiantistiche che permettono un uso più razionale dell'energia e le opportunità derivanti dal recepimento da parte del governo della Direttiva Comunitaria 2004/8 inerente gli incentivi ai sistemi di cogenerazione.

COME FUNZIONA LA COGENERAZIONE

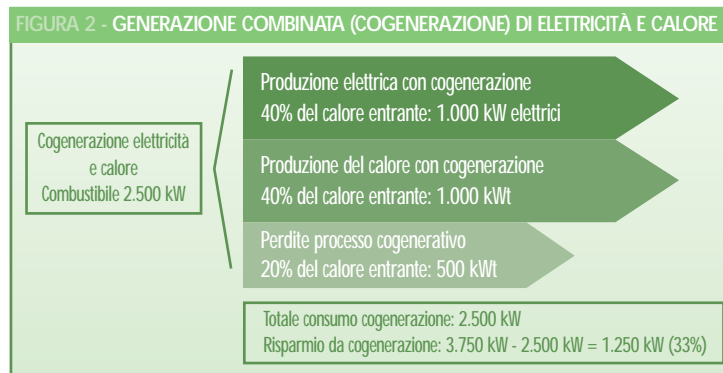
Un impianto convenzionale che produce energia elettrica ha un rendimento del motore primo che trascina l'alternatore pari a circa il 35-40% dell'energia del combustibile utilizzato, mentre il restante 60-65% viene disperso nell'ambiente sotto forma di calore, tenendo conto di tutte le dissipazioni e dispersioni presenti in tale processo, dalla generazione sino alla distribuzione a mezzo elettrodotti all'utente finale.

Con un impianto di cogenerazione, invece, il calore prodotto dalla combustione nel motore primo non viene disperso nell'ambiente, bensì recuperato per altri utilizzi e tipicamente soddisfa le esigenze termiche delle utenze collegate all'impianto stesso (vapore, olio diatermico, acqua calda). In questo modo la cogenerazione permette di raggiungere il massimo utilizzo del combustibile, con recupero di un rendimento complessivo superiore all'80-85% (il che significa minimizzare lo spreco di energia pregiata contenuta nel combustibile). Lo schema concettuale dei vantaggi energetici della cogenerazione sono sintetizzati nei due seguenti diagrammi a fiume, dove sono rappresentate le moda-

lità classiche (Figura 1) e cogenerative (Figura 2) del soddisfacimento di un consumo di 1.000 kW elettrici e termici da parte di un ipotetico utente industriale.



In questo caso, ipotizzando un rendimento del sistema elettrico complessivo del 40% e della caldaia generatrice dell'80%, il soddisfacimento dell'esigenza energetica dell'utente finale di 1.000 kW elettrici + 1.000 kW termici comporta un utilizzo di energia primaria sotto forma di combustibile pari a 3.750 kW.



Come si nota, l'utilizzo della cogenerazione, che tipicamente prevede un rendimento del motore elettrico del 40% per un recupero termico di pari efficienza, permette una produzione dei medesimi 1.000 kW elettrici e termici presso l'utente finale con un consumo di energia primaria sotto forma di combustibile pari a soli 2.500 kW, garantendo un cospicuo risparmio di quest'ultimo, circa il 33% di quanto richiesto nel caso precedente. Pur avendo esemplificato in questi due esempi schematici il concetto tecnico alla base della cogenerazione, appare evidente come essa comporti un più razionale utilizzo del combustibile primario attraverso il recupero efficiente di un contenuto termico dei fumi di scarico del motore primo che, viceversa, va del tutto disperso nel caso di una produzione elettrica e termica separata.

I BENEFICI DELLA COGENERAZIONE

Chiarito il concetto tecnico di fondo, è evidente che i vantaggi della cogenerazione sono molteplici:

- **Vantaggi economici:** con la cogenerazione si sfrutta meglio l'energia contenuta nel combustibile, ovvero a parità di energia utile prodotta, si consuma meno combustibile. Inoltre la cogenerazione consente la riduzione dei costi di gestione degli impianti di produzione dell'energia, limitando le perdite di impianto, e soprattutto, permette di avere costi di produzione altamente competitivi, a partire dalle fasce orarie tariffarie a maggior costo elettrico unitario.
- **Vantaggi operativi e tecnologici:** la cogenerazione consente maggiore flessibilità operativa e riduzione del rischio black-out, con in più garanzie della qualità della fornitura che in taluni casi (processi critici e/o continui) può diventare indispensabile.
- **Vantaggi ambientali:** la riduzione dell'utilizzo percentuale di combustibili fossili per esigenze di riscaldamento e la diminuzione dell'emissione di CO₂, responsabile primaria dell'effetto serra, comporta una diminuzione dei costi sociali dell'inquinamento e consente di adempiere alle prescrizioni previste dal Protocollo di Kyoto.
- **Salvaguardia delle risorse:** la cogenerazione consente un utilizzo più efficiente delle risorse energetiche tradizionali (petrolio, carbone, gas naturale), ridu-



ciendo gli sprechi, grazie anche alle minori perdite di trasmissione e distribuzione elettrica conseguente alla localizzazione dell'impianto in diretta prossimità dell'utenza.

- **Vantaggi finanziari:** con l'attuazione della direttiva UE 2004/8, recentemente approvata dal Consiglio dei Ministri, la cogenerazione beneficerà di semplificazioni amministrative e di nuovi criteri in base ai quali saranno rilasciati i "certificati bianchi", titoli di efficienza energetica che sono scambiati sul mercato e hanno un valore economico. Come ulteriore vantaggio finanziario

della cogenerazione, si deve tener conto dell'opportunità di realizzare un impianto con ridotti tempi di rientro del capitale investito, anche grazie alla normativa che consente una defiscalizzazione del gas naturale usato come combustibile per la cogenerazione. Un impianto cogenerativo correttamente dimensionato consente risparmi energetici dell'ordine del 20-30% (si vedano al riguardo le figure 1 e 2 nel paragrafo precedente) ed un pay-back dell'investimento intorno ai 36-60 mesi.



Ipotizzando per l'esempio al paragrafo precedente i seguenti valori annui economici e di consumo energetico:

Costo impianto cogenerativo 1.000 kW _e / kW _t :	900.000 €
Costo metano:	0,30 Cent/Smc (1 Smc = 9,6 kWh)
Costo medio elettricità:	110 Euro/MWh
Costo manutenzione:	8,0 Euro/MWh
Ore funzionamento:	4.500 annue
SENZA COGENERAZIONE:	
Consumo elettrico: 1.000 x 4.500 h = 4.500.000 kWh	Spesa elettrica: 110 x 4.500 h = 495.000 €
Consumo metano: 1.250 x 4.500 h / 9,6 = 585.900 Smc	Spesa metano: 585.900 x 0,30 = 175.770 €
CON LA COGENERAZIONE:	
Consumo metano: 2.500 x 4.500 / 9,6 = 1.171.875 Smc	Spesa: 585.900 x 0,30 = 351.560 €
Costo manutenzione annua: 4.500 x 8 = 36.000 €	
Risparmio ottenuto: 495.000+175.770 – 351.560 – 36000	= 283.210 €/anno
Pay Back (senza oneri finanziari): 900.000 / 283.210	= 3,2 anni circa

COME VALUTARE LA SCELTA TECNICA PER COGENERARE

Il punto di partenza per uno studio di ottimizzazione energetica attraverso la cogenerazione è comprendere che il limite principale di tale tecnologia riguarda soprattutto la corrispondenza tra produzione e domanda di energia elettrica e termica; non serve a molto ottenere alti rendimenti complessivi se poi non si può razionalmente utilizzare tutta l'energia prodotta.

- re eventuali modifiche volte ad incrementare il rendimento energetico dell'impianto;
- scegliendo la configurazione ottimale di funzionamento dei cogeneratori, ovvero comprendere quando dal punto di vista economico ed energetico risulta conveniente produrre;
- ricercando nuovi fornitori di energia e combustibile. Il mercato libero, infatti, consente di perseguire notevoli risparmi attraverso la ricerca della migliore offerta.

La convenienza tecnico-economica nella gestione di un impianto di cogenerazione è un problema complesso, a causa dell'elevato numero di variabili in gioco. Lo studio di ottimizzazione di un impianto di cogenerazione richiede la conoscenza e la valutazione di molti parametri e grandezze che spaziano da quelli tecnici e termodinamici a quelli economici e tariffari.

A meno di situazioni particolarmente sfavorevoli, l'autoproduzione di elettricità, accompagnata dall'utilizzo del calore prodotto, consente di ottenere apprezzabili vantaggi. Vediamo ora quali sono i passi da effettuare per lo studio di ottimizzazione dell'impianto cogeneratore.

Da un punto di vista concettuale, le tappe da percorrere per arrivare ad una realistica quantificazione dei benefici economici ed energetici prodotti da un impianto di cogenerazione sono:

- studio del sistema energetico dell'utenza.
- Definizione dei consumi elettrici e termici orari, specificando le temperature di esercizio richieste. È estremamente importante co-

Le utenze civili e industriali assorbono l'energia elettrica e termica con leggi sostanzialmente indipendenti e, considerando che l'elettricità non è praticamente accumulabile ed il calore lo è solo per brevi periodi, la cogenerazione è proponibile e conveniente quando le domande di energia elettrica e termica sono compatibili e usufruibili contemporaneamente nel tempo.

L'ottimizzazione energetica ed economica della fornitura di energia attraverso l'impianto di cogenerazione è realizzabile andando ad operare nei seguenti punti:

- analizzando la logica di funzionamento del sistema energetico in modo tale da propor-

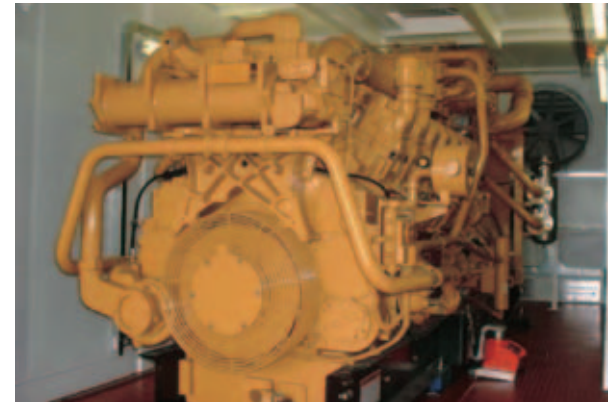


noscere la tipologia di calore da utilizzare: la cogenerazione difficilmente produce calore superiore ai 200-250°C. La funzione più classica della cogenerazione, quella che consente un maggiore recupero, è quella che privilegia recuperi termici a bassa temperatura (ciò è vero soprattutto per il motore endotermico).

- Valutazione oraria della effettiva contemporaneità di utilizzo di energia elettrica e calore/freddo, a causa della contemporaneità di produzione delle due fonti. Poiché nella cogenerazione elettricità e calore sono contemporaneamente prodotti e, dato che il calore è difficilmente stoccabile, la cogenerazione è tanto più efficiente quanto più le esigenze elettriche e termiche dell'utente si presentano congiunte, nel medesimo istante (diversamente, la cogenerazione non potrebbe garantire i medesimi benefici economici ed energetici).
- Valutazione della tecnologia di cogenerazione da adottare. Tale scelta è direttamente correlata all'analisi del rapporto elettricità-calore che si desidera ottenere. Generalmente è opportuno evitare una cogenerazione con sovrapproduzione di calore rispetto alle reali necessità aziendali. È anzi opportuno dimensionare l'impianto cogenerativo in base alla potenza termica richiesta, al fine di evitare lo spreco di calore. In funzione della scelta termica, è poi possibile determinare l'output elettrico il quale può essere insufficiente o esuberante a coprire il fabbisogno. Di conseguenza, se insufficiente, è il parallelo con la rete elet-

trica che garantirà il fabbisogno dell'utenza, mentre se esuberante, vi sarà una cessione strutturale di energia all'esterno che deve essere attentamente valutata (le cessioni elettriche nelle ore vuote notturne o festive sono critiche, in quanto poco valorizzate dal mercato).

- Determinazione degli spazi di installazione dell'impianto. L'utente deve essere disposto a privarsi di una quota parte delle proprie aree interne per un periodo considerevole pari alla vita utile dell'impianto (10-20 anni).
- Definizione dell'ambiente e dei vincoli circostanti che condizionano la gestione dell'impianto: condizioni di fornitura dell'elettricità e dei combustibili (tensione elettrica, pressione/portata gas metano, ecc.), connessioni con altri impianti, vincoli normativi, ecc. La disponibilità del combustibile necessario deve essere attentamente valutata, soprattutto per il gas naturale può non essere possibile il potenziamento della rete gas ai valori richiesti. Altro caso tipico è l'insufficiente disponibilità di pressione per una soluzione cogenerativa con turbogas (almeno 5 bar richiesti). In questa circostanza è necessario dotare l'impianto cogenerativo di un compressore che aumenta il costo e diminuisce l'efficienza.
- Analisi dei vincoli ambientali sia sulle emissioni al camino che su quelle sonore, soprattutto per i motori alternativi che generano vibrazioni pulsanti a bassa frequenza fastidiose per eventuali nuclei abitativi vicini e che possono richiedere onerosi interventi di insonorizzazione.



IL QUADRO NORMATIVO ATTUALE

Attualmente è stata recepita la Direttiva Comunitaria UE 2004/8 al fine di potenziare l'uso della cogenerazione come mezzo per risparmiare energia. Considerati i benefici della cogenerazione in termini di risparmio di energia primaria, di prevenzione delle perdite di rete e di riduzione delle emissioni, in particolare quelle dei gas a effetto serra, la promozione della cogenerazione ad alto rendimento basata su una domanda di calore utile è una priorità comunitaria. Inoltre, poiché l'uso efficiente dell'energia di cogenerazione può contribuire alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla competitività dell'Unione europea e dei suoi Stati membri, è stato necessario adottare misure che consentano di sfruttare meglio questo potenziale nel quadro del mercato interno dell'energia. Grazie a questa direttiva lo Stato deve elaborare regimi di sostegno della durata di almeno 4 anni, evitando frequenti cambiamenti nelle procedure amministrative ed assicurando che i regimi di sostegno pubblico rispettino il principio di soppressione graduale del sostegno. Il meccanismo d'incentivazione principale è quello dei cosiddetti titoli di efficienza energetica o certificati bianchi, varati per tutte le iniziative di risparmio energetico.

LA MICRO-COGENERAZIONE

Il processo cogenerativo è particolarmente indicato ed ha storicamente avuto maggiore applicazione in processi energetici produttivi di grande taglia e ad alta intensità energetico/termica (cartiere, teleriscaldamento urbano, chimica di processo): in quegli ambiti l'economia di scala del grande impianto premia una scelta che energeticamente ed economicamente favorisce l'installazione quando esiste grande contemporaneità elettrico-termica.

Tuttavia, recentemente, un ambito molto interessante di applicazione della tecnologia è diventato anche quello della micro-cogenerazione, ovvero un ambito di potenze elettriche tra i 50 ed i 1.000 kW, ambito nel quale il Ministero dello Sviluppo economico (di concerto con il Ministero dell'Ambiente e dell'Interno) prevede di implementare procedure autorizzative semplificate per l'installazione e l'esercizio, nonché condizioni tecnico-economiche di connessione alla rete per la cogenerazione ad alto rendimento, particolarmente incentivanti e premianti.

Inoltre lo sviluppo tecnologico ha portato alla creazione di una nuova generazione di unità micro-cogenerative particolarmente compatte ed efficienti, la cui introduzione nel processo produttivo aziendale risulta essere poco invasiva e premiante, soprattutto laddove sia necessaria una produzione di calore a bassa temperatura.

I settori applicativi in cui la tecnologia della micro-cogenerazione si colloca idealmente con le esigenze energetiche delle utenze sono il terziario, la piccola e la media industria e il settore residenziale.

Di particolare rilevanza è lo sviluppo di tale tecnologia nel campo delle utenze civili. Infatti, se si considera l'applicazione della micro-cogenerazione nell'ambito domestico, si può pensare di sostituire le caldaie a gas naturale con sistemi che abbiano le stesse caratteristiche di sicurezza e semplicità d'uso e d'installazione, ma che abbiano la caratteristica di realizzare la coproduzione di elettricità e calore in modo "intelligente", vale a dire recuperando sempre integralmente il calore e concentrando la produzione elettrica nelle ore in cui il prezzo è più elevato.

A titolo di esempio, è da segnalare la disponibilità sul mercato di un cogeneratore domestico di bassissimo impatto sonoro ed ambientale, della potenza elettrica di 1,2 kW e 8 kW termici, perfettamente integrabile in una cucina domestica, come si può notare nella foto a fianco.



Per quanto riguarda la microcogenerazione in ambito industriale, essa è già disponibile ed applicabile grazie alla standardizzazione delle taglie di potenza, con modelli estremamente affidabili e di limitato ingombro da tempo disponibili sul mercato. Le applicazioni tipiche prevedono soprattutto utenze elettriche che richiedono una contemporanea produzione di acqua calda ad uso riscaldamento ambientale od ancor meglio produttivo. L'ambito può essere quanto mai vario, dall'utilizzo di acqua calda per processi di decapaggio a finalità di riscaldamento o pre-riscaldamento prodotto/macchinario nell'industria alimentare e/o chimica. La foto sottostante rappresenta gli ingombri di



impianto per un utilizzo in parallelo di tre microturbine a gas di tale tipologia, destinate alla produzione di acqua calda per il condizionamento di un edificio industriale. In prospettiva, l'attuazione della direttiva comunitaria 2004/8 consentirà di fare notevoli passi in avanti in termini di incentivazione della micro-cogenerazione, soprattutto grazie ad una auspicata semplificazione sotto l'aspetto burocratico, tecnico e normativo delle pratiche autorizzative.

TIPOLOGIE DI COGENERAZIONE

Esistono tre tipologie motoristiche base e consolidate, per la cogenerazione:

1. motori a combustione interna;
2. turbine a vapore;
3. turbine a gas.

La scelta ottimale della tecnologia è funzione del rapporto elettricità/calore dell'utente, della taglia dell'impianto e del livello di temperatura richiesto dall'utenza calore.

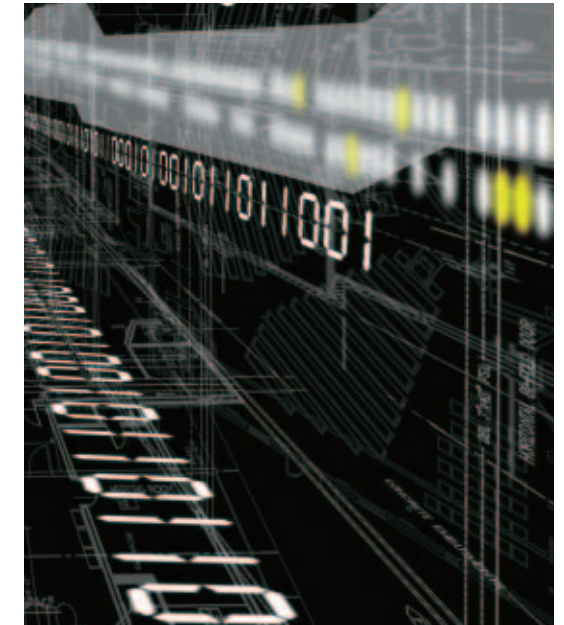
1. Motore a combustione interna.

Rappresenta la più semplice e standardizzata delle soluzioni ipotizzabili, con taglie



elettriche disponibili da 40 a 8.000 kW. Questi i dati fondamentali di un impianto cogenerativo:

Rendimento elettrico:	30÷50%.
Rendimento recupero termico:	30÷45%.
Rendimento complessivo:	65÷85%.
Rapporto produzione termica/elettrica:	0,5÷1,0.
Combustibili:	gas naturale, GPL, gasolio.
Costi installazione:	700÷1000 €/kW.
Costi manutenzione:	0,012÷0,016 €/kWh.



Vantaggi:

- rapidità di installazione;
- semplicità costruttiva;
- disponibilità a frequenti avviamenti ed arresti;
- buona attitudine a seguire le variazioni di carico;
- elevati rendimenti elettrici, anche a potenze di targa piccole;
- limitato costo unitario per kW installato.

Svantaggi:

- alto costo di manutenzione;
- vibrazioni e rumore;
- parte consistente del calore cogenerato a bassa temperatura (<100° C).

2. Turbina a vapore

In questo caso si produce vapore con una caldaia esterna; tale vapore viene espanso in turbina per la produzione elettrica e a valle

della stessa o in punti intermedi viene "spilato" vapore per le necessità di processo.

Taglie elettriche disponibili: 500-200.000 kW.
 Rendimento elettrico: 10÷35%.
 Rendimento recupero termico: 60÷75%.
 Rendimento complessivo: 75÷90%.
 Rapporto produzione termica/elettrica: 0,1÷1 e oltre.

Combustibili: gas, gasolio, olio combustibile, cherosene, gas da impianto di gassificazione, carbone, rifiuti ecc. Può essere efficacemente utilizzato anche calore di scarto a media/alta temperatura di esercizio.

Oneri di installazione: 1.500÷3.000 €/kW.
 Oneri di manutenzione: 0,002÷0,006 €/kWh.

Vantaggi:

- possibilità di utilizzare combustibili non pregiati;
- estrema affidabilità;
- efficienza globale più elevata;
- disponibilità a variare il rapporto termico/elettrico.

Svantaggi:

- basso indice energetico e basso rendimento elettrico;
- rendimento ridotto a carichi parziali;
- complessità di gestione;
- sensibilità alle variazioni di carico termico.

3. Turbina a gas

In questa macchina viene compressa aria esterna ad alta pressione e in essa bruciato il combustibile che viene poi a valle espanso in una turbina integrata sul medesimo asse del compressore per la produzione di elettricità. A valle dell'espansione viene effettuato il

recupero termico cogenerativo, con il vantaggio della concentrazione del calore recuperabile in un'unica vena fluida.

Taglie elettriche disponibili: 30-100.000 kW.
 Rendimento elettrico: 20÷38%.
 Rendimento recupero termico: 35÷50%.
 Rendimento complessivo: 70÷85%.

Rapporto produzione termica/elettrica: 0,2÷0,8.

Combustibili: sostanzialmente gas naturale.
 Costi installazione: 500÷1800 €/kW.
 Costi manutenzione: 0,006÷0,009 €/kWh.
 Temperatura fumi: 400-550 °C.

Vantaggi:

- rapidità di installazione;
- spazi ridotti per la macchina operatrice;
- semplicità operativa;
- energia termica disponibile ad alta temperatura;
- possibilità di operare in postcombustione.

Svantaggi:

- rendimento ridotto a carichi parziali;
- sensibilità alle variazioni di temperatura e pressione esterne;
- non disponibilità a frequenti avviamenti ed arresti;
- tempi di realizzazione.

LE MICRO-TURBINE A GAS PER LA COGENERAZIONE

Nell'ambito della micro-cogenerazione con turbina a gas, importanza sempre maggiore stanno assumendo le cosiddette microturbine a gas a cogenerazione integrata, di taglia compresa tra i 30 ed i 200 kW. Queste nuove microturbine prevedono le seguenti importanti innovazioni di macchina:

- Turbomacchina ad espansione radiale anziché assiale.
- Basso rapporto di compressore e ciclo rigenerativo.
- Eliminazione del riduttore per alternatore.
- Generazione in conversione statica di frequenza.

La taglia particolarmente ridotta, il limitato ingombro e l'elevata affidabilità di questa tipologia di macchina la rendono particolarmente apprezzata in soluzioni cogenerative di tipo civile od utilizzo servizi-uffici, laddove non sia necessaria una elevata temperatura del fluido caldo.

L'immagine ben rappresenta i limitati ingombri e la tipologia poco invasiva di un impianto a micro-turbina a gas.



Per facilitare la scelta della soluzione più adatta alle specifiche esigenze della singola impresa, la figura 3 riporta alcune combinazioni di potenza, rendimento e dimensione attualmente disponibili sul mercato.

Come si nota, il limitato ingombro ed il peso ridotto rendono questa filosofia cogenerativa particolarmente interessante, qualora l'elemento spazio diventi una delle variabili critiche dell'impianto.

FIGURA 3 - CONFIGURAZIONI DI MICRO-TURBINA A GAS

Configurazione	Potenza (kW)	Rendimento elettrico netto %	Peso (kg)	Ingombri (lunghezza x larghezza x altezza - mm)
Ipotesi #1	30	25	405	1.515 x 762 x 1.943
Ipotesi #2	60	28	1.250	1.956 x 762 x 2.764
Ipotesi #3	80	28	1.930	3.100 x 876 x 1.922
Ipotesi #4	100	29	2.040	3.000 x 840 x 2.110
Ipotesi #5	100	30	2.000	2.900 x 840 x 1.920
Ipotesi #6	200	33	n.d.	n.d.





CONCLUSIONI

La micro-cogenerazione distribuita è un processo energetico ormai consolidato, in grado di fornire alle aziende che ne

hanno le caratteristiche idonee un importante strumento di risparmio ed ottimizzazione energetica.



Dal punto di vista economico, se correttamente dimensionata, la cogenerazione può garantire risparmi importanti, sia per l'azienda che la implementa con successo, sia per il Paese, portando un contributo di efficienza al sistema produttivo più che mai prezioso per il mantenimento di una posizione di competitività di prodotto e di processo nel contesto dei mercati internazionali, nel medio e lungo periodo.