

Impianti di microgenerazione

Descrizione della tecnologia

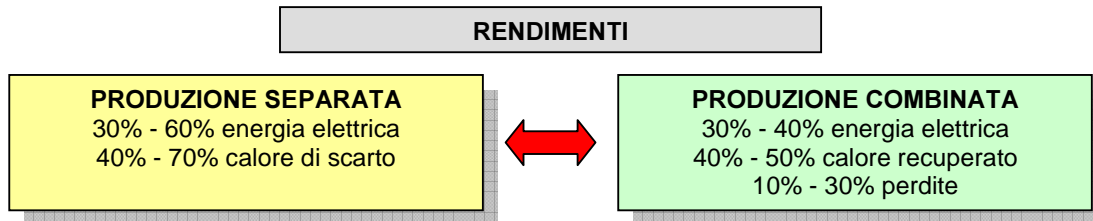
Si tratta di impianti che utilizzano un combustibile per la produzione combinata di elettricità e calore (detta cogenerazione), di piccola taglia (potenze elettriche generalmente inferiori a 200-500 kW) e diffusi presso le utenze così da ridurre le dispersioni, di energia elettrica e di energia termica, connesse con la fase di distribuzione dalla centrale di produzione al sito di consumo.

Nel campo della cogenerazione diffusa, oltre agli impianti propriamente detti di microgenerazione, rientrano anche impianti di taglia superiore in grado di soddisfare anche i fabbisogni elettrici industriali (**Tab.1**).

Tab.1 – Applicazioni specifiche della cogenerazione diffusa

Tipologia di utenza	Taglia degli impianti di cogenerazione
Mono familiare	Pochi kW elettrici
Piccolo terziario	Decine – centinaia di Kw elettrici
Grande terziario e industriale piccolo-medio	Fino a qualche MW elettrico

Il principio della cogenerazione, o produzione combinata, sta nello sfruttamento del calore residuo che si ha nei tradizionali impianti termoelettrici al termine della fase in cui si produce energia elettrica; questo contenuto termico può essere utilizzato come sorgente di calore a fini di riscaldamento degli ambienti o a fini produttivi. La produzione combinata consente uno sfruttamento più efficiente del combustibile impiegato dagli impianti, ovvero un risparmio energetico.



Per la realizzazione di processi di cogenerazione sono utilizzabili le seguenti tipologie impiantistiche:

- motori endotermici;
- turbine a gas;
- turbine a vapore;
- celle a combustibile;
- cicli combinati.

Ogni specifico sistema, in funzione delle proprie caratteristiche e condizioni di funzionamento, grado di efficienza, rapporto tra energia elettrica e calore erogati e altri elementi peculiari, si adatta meglio ad alcuni impieghi piuttosto che altri, anche se gli sviluppi continui che interessano la tecnologia della cogenerazione stanno portando ad incrementare i rendimenti (ed in particolare quello della produzione di elettricità) e a rendere più flessibili le applicazioni.

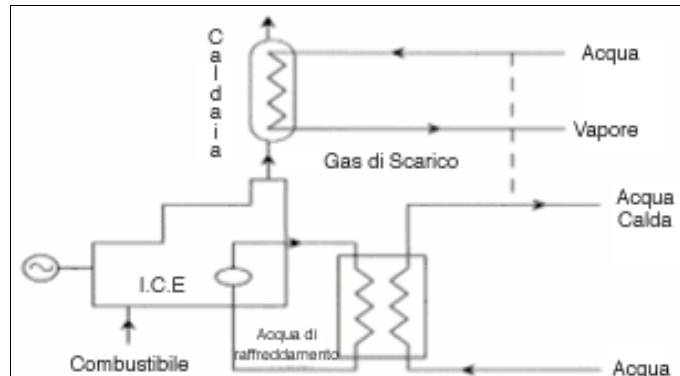
Per la taglia di impianti del settore della microgenerazione propriamente detta (fino a 500 kW_{el}) le tecnologie più indicate sono quelle dei motori endotermici alternativi (si tratta di motori alternativi a combustione interna con configurazione a ciclo Otto o Diesel) e delle turbine a gas. Nell'ambito delle applicazioni funzionali a soddisfare le esigenze di utenze industriali piccole e medie (ovvero impianti fino a qualche MW di potenza elettrica) è utilizzabile anche la tecnologia delle turbine a vapore.

Nei motori a combustione interna (**Fig.1**) la fase di produzione di elettricità è legata alla produzione di energia meccanica (movimento del pistone prodotto dall'accensione del combustibile all'interno del cilindro) e l'energia termica può essere ricavata direttamente dal motore (attraverso il circuito di raffreddamento) e dai gas di scarico. Nei sistemi di cogenerazione con motori a combustione interna si ha la possibilità di avere due flussi di calore distinti (e quindi più facilmente adattabili ad esigenze termiche differenziate): nel circuito di raffreddamento del motore si raggiungono temperature tra i 90 e 120°C, mentre nei gas di scarico si arriva a livelli pari a 400-700°C (e anche maggiori nei motori diesel).

Oltre al motore vero e proprio in cui avviene la combustione, gli altri componenti del sistema sono:

- una macchina ad assorbimento per il recupero del calore dal circuito di raffreddamento del motore;
- una caldaia per il recupero del calore dai fumi di combustione;
- un sistema di controllo;
- un insieme di elementi accessori (pompe, ecc.).

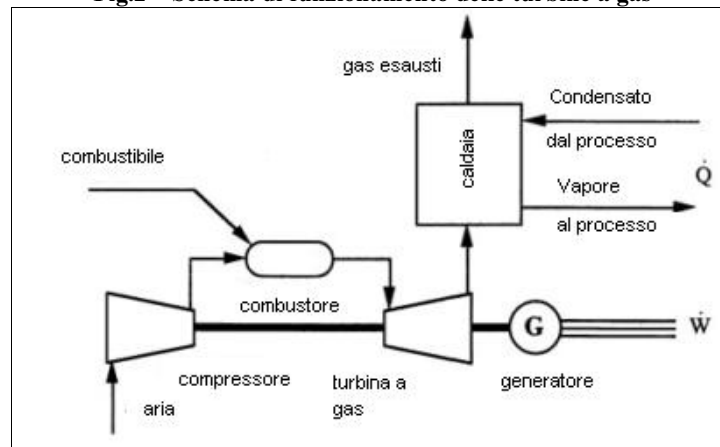
Fig.1 – Schema di funzionamento dei motori alternativi a combustione interna.



A causa delle problematiche ambientali e gestionali connesse con l'uso di gasolio, l'impiego dei motori diesel è ormai limitato ai casi in cui non sia disponibile il gas naturale, sebbene questi presentino rendimenti elettrici migliori rispetto a quelli a ciclo otto.

Negli ultimi anni anche la tecnologia delle turbine a gas (**Fig.2**) è diventata interessante per gli impianti di piccola taglia. La produzione di energia elettrica deriva dalla fase di espansione dei gas di combustione che si realizza in turbina (il lavoro meccanico viene tradotto in energia elettrica da un generatore connesso con l'asse della turbina) mentre il recupero di calore interessa i gas di combustione scaricati dal sistema (che raggiungono temperature attorno a 450-600°C).

Fig.2 – Schema di funzionamento delle turbine a gas



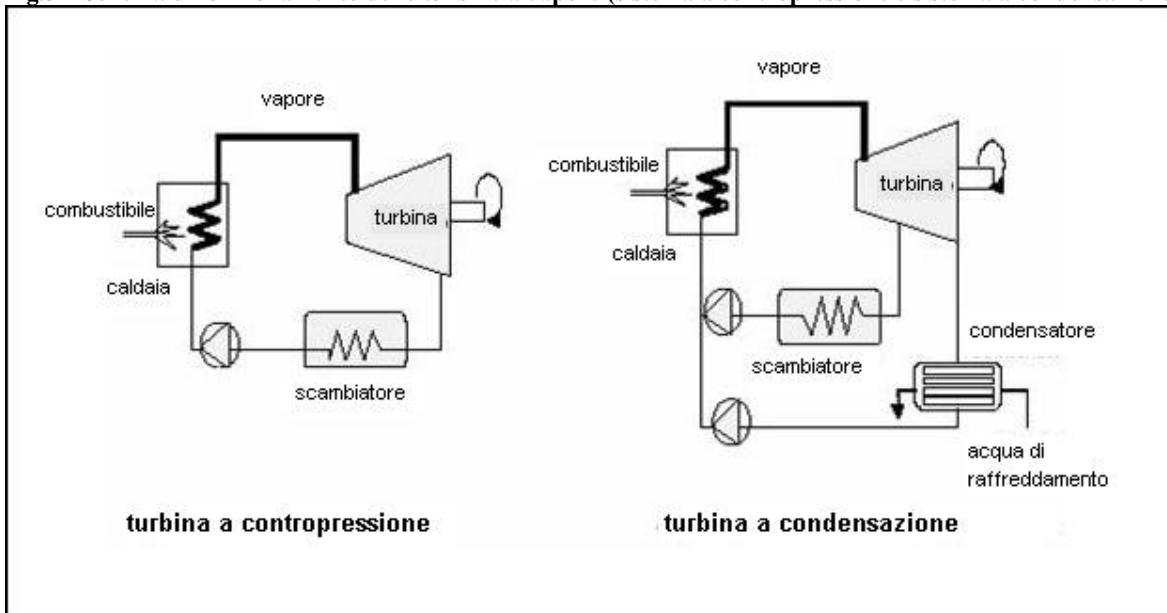
I cogeneratori con microturbina a gas richiedono, per il loro funzionamento, oltre alla turbina, la presenza:

- di un compressore dove viene alimentata l'aria comburente al fine di aumentarne pressione e temperatura;
- una camera di combustione in cui l'aria compressa viene miscelata al combustibile ed avviene la combustione;
- un generatore che trasforma in elettricità l'energia meccanica prodotta in turbina attraverso l'espansione dei gas di combustione;
- una caldaia alimentata con i gas scaricati dalla turbina che produce vapore.

Per le PMI che richiedono potenze elettriche anche fino a qualche MW elettrico risultano idonee le turbine a vapore. La turbina viene fatta lavorare, con produzione di energia elettrica, mediante alimentazione con vapore ad alto contenuto energetico (alta temperatura e pressione): il vapore può essere compresso da pochi bar fino a pressioni di circa 100 bar e surriscaldato da pochi gradi a circa 450°C, arrivando in alcuni casi anche vicino ai 540°C. L'energia termica per l'utenza può essere estratta dal sistema, in funzione delle specifiche esigenze, sia mediante spillamenti di vapore dalla turbina sia dal vapore esausto che viene scaricato al termine del ciclo di lavoro (attraverso uno scambiatore di calore). In relazione alle condizioni del vapore uscente dalla turbina si possono avere due sistemi diversi tra loro (**Fig.3**):

- sistemi in contropressione, utilizzati quando la turbina scarica vapore a pressione atmosferica o superiore: lo scambiatore di calore per il recupero termico raffredda il vapore senza portarlo allo stato liquido e quindi il vapore raffreddato viene nuovamente alimentato in caldaia previo passaggio di compressione;
- sistemi a condensazione, impiegati quanto il vapore che esce dalla turbina ha una pressione inferiore a quella atmosferica: parte del vapore viene raffreddato – con recupero di calore – in un'unità di condensazione che quindi invia alla caldaia il condensato.

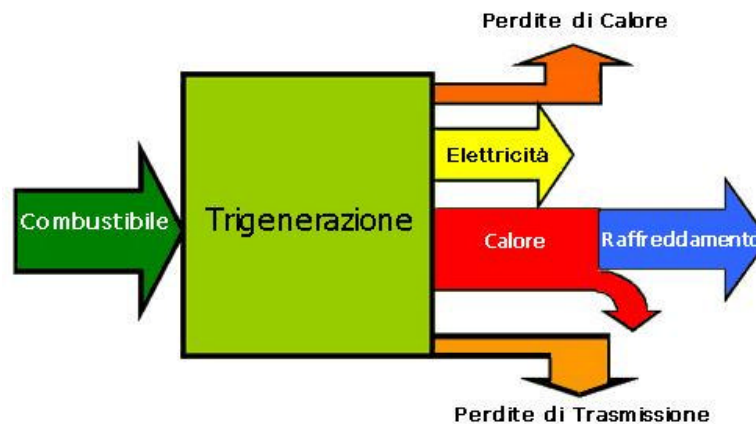
Fig.3 – Schema di funzionamento delle turbine a vapore (sistema a contropressione e sistema a condensazione)



L'applicazione delle celle a combustibile in impianti di cogenerazione di piccola taglia rappresenta una tecnologia emergente. Si tratta di un dispositivo elettromeccanico che converte l'energia chimica del combustibile direttamente in elettricità, senza stadi intermedi di combustione e produzione di lavoro meccanico.

Un'ulteriore sviluppo della tecnologia di produzione energetica combinata è rappresentato dalla cosiddetta trigenerazione, sistema in cui il calore recuperato dalla fase di produzione elettrica viene usato, a seconda del bisogno, per esigenze di riscaldamento o di raffreddamento. La funzione di raffreddamento viene svolta da un gruppo frigo ad assorbimento che sfrutta una sorgente calda per raffreddare un fluido. L'impianto di raffreddamento ad assorbimento può essere integrato con le tecnologie di cogenerazione precedentemente descritte. Nelle utenze in cui vi sia un fabbisogno termico anche nei periodi estivi (come nel caso di richieste termiche di cicli industriali), sarà destinata all'impianto di raffreddamento solo la quota di calore utilizzata nel periodo invernale per il riscaldamento dei locali (**Fig.4**).

Fig.4 – Schema dei flussi energetici nei sistemi di trigenerazione



Per il funzionamento del gruppo frigo ad assorbimento servono due fluidi (il refrigerante e la soluzione assorbente). Le coppie di fluidi più utilizzate sono:

- acqua e ammoniaca, maggiormente impiegata per raggiungere condizioni di raffreddamento con basse temperature (sotto i 0°C), tipiche di sistemi di refrigerazione industriale (es. settore delle produzioni alimentari);
- acqua e bromuro di litio ampiamente usata per le applicazioni di condizionamento dell'aria dove non sono necessarie temperature sotto i 0°C.

I sistemi che usano acqua e bromuro di litio richiedono una fonte di calore con una temperatura minima di 60-80°C mentre per quelli funzionanti con acqua e ammoniaca la sorgente di calore deve avere una temperatura di 100-120°C.

Specifiche tecniche per l'installazione e la manutenzione

Nella scelta del tipo di impianto di microgenerazione da andare ad installare, assieme alla potenza elettrica erogabile, occorre valutare altri parametri connessi con la produttività del sistema in modo da individuare la tecnologia che meglio si adatta alle specifiche esigenze dell'utente. Oltre ad un valore di rendimento complessivo (che descrive quanto del carburante consumato è stato "trasformato" in energia – elettrica e termica – che può essere impiegata dall'utente¹), ciascuna tecnologia è caratterizzata da specifici rendimenti elettrici e termici (che evidenziano l'efficienza del sistema di utilizzare il combustibile per produrre energia elettrica e di recuperare il calore della combustione) e da un rapporto tra la produzione elettrica e il recupero di calore.

¹ Il rendimento totale è espresso come rapporto percentuale tra energia primaria fornita dal combustibile e energia utile prodotta.

In **Tab.2** sono riepilogati i dati caratteristici delle diverse tecnologie descritte al paragrafo precedente (ovvero i sistemi applicabili per la microcogenerazione e la cogenerazione diffusa ad uso di utenze industriali di taglia medio-piccola).

Tab.2 – Dati caratteristici dei sistemi per la microcogenerazione e la cogenerazione diffusa per le PMI

Tecnologia	Potenza elettrica KWel	Rendimento totale %	Rendimento elettrico %	Rendimento termico %	Indice elettrico-termico Ie	T sorgenti da usare per recupero termico
Motori endotermici (*)	3–20.000 diesel 5–5.000 gas	70 - 85	25 - 50	30 - 45	0.6 – 2	Due livelli: uno ad alta T (400-700°C) e uno a bassa T (90-120°C)
Microturbine a gas	30 – 400	70 - 80	23 - 33	60 – 75	0.3 – 0.6	450-600°C
Celle a combustibile	10 – 1.000	70-90	30-60	35-45	0.6 - 2	T varie in funzione del tipo di cella: da 70-100°C delle celle con elettrolita polimerico agli 800-1000°C delle celle con ossidi solidi
Turbine a vapore	500 – 100.000	60-85	20-38	35-50	0.4 - 0.8	Possibilità di spillare vapore surriscaldato dalla turbina in vari stadi del processo (da circa 540°C a livelli termici inferiori)

(*) I valori del rendimento sono riferiti al recupero di tutto il calore disponibile; nel caso in cui si sfruttino solo i gas di scarico il rendimento complessivo cala del 15-30%. Va valutata caso per caso la possibilità di recuperare tutto il calore disponibile e di raggiungere quindi la piena efficienza della cogenerazione.

Le utenze in cui la richiesta elettrica è preponderante rispetto a quella termica dovranno privilegiare i sistemi con un indice elettrico-termico (Ie) alto. Anche le necessità termiche (ad esempio quelle connesse con l'impiego di calore in cicli di produzione) rappresentano un fattore che orienta verso una scelta piuttosto che un'altra essendo ciascuna tecnologia caratterizzata da specifici livelli termici. Nei sistemi di trigenerazione l'energia primaria fornita dal combustibile viene trasformata con i seguenti valori di rendimento: 30% per la produzione elettrica e 55% per il recupero di calore (disponibile per soddisfare sia le esigenze di riscaldamento che di raffrescamento).

Tab.3 – Combustibili utilizzati dai sistemi per la microcogenerazione e la cogenerazione diffusa per le PMI

Tecnologia	Tipo di combustibile	Note
Motori endotermici	Gas naturale, gasolio, biodisel, biogas	-
Microturbine a gas	Gas naturale, distillati leggeri del petrolio, prodotti della gassificazione del carbone e di altri prodotti organici (syngas), biodiesel	In una turbina a ciclo aperto, le pale sono direttamente esposte ai gas prodotti dalla combustione e quindi vanno evitati combustibili che possono dar luogo a prodotti corrosivi. Le turbine a ciclo chiuso possono invece essere collegate anche a sistemi di incenerimento dei rifiuti.
Celle a combustibile	Idrogeno puro	Possibilità di produrre idrogeno da gas naturale di rete o da biomasse: processo di reforming e successivo stadio di purificazione dell'idrogeno.
Turbine a vapore	Qualsiasi tipo di combustibile (compresi prodotti di scarto) o alcune combinazioni di combustibili	-

Il tipo di combustibile utilizzato dagli impianti di cogenerazione (**Tab.3**) influenza la scelta da compiere (a seconda che l'utenza sia o meno connessa alla rete di distribuzione del gas metano) e, in alcuni casi, può implicare anche l'installazione di specifici sistemi (come nel caso dell'utilizzo di celle combustibili che usano idrogeno prodotto per reazione dal gas metano).

Le varie tecnologie descritte presentano differenti esigenze di manutenzione e durate di funzionamento (**Tab.4**).

Tab.4 – Dati relativi alla manutenzione e alla durata delle varie tecnologie di microcogenerazione e di cogenerazione diffusa per le PMI

Tecnologia	Intervallo di manutenzione ordinaria (h)	Intervallo di manutenzione straordinaria (h)	Note	Durata
Motori endotermici	2.000-5.000 sia per motori diesel sia per motori a gas	20.000-30.000 diesel 48.000-60.000 gas	Alti costi di manutenzione e la necessità di effettuare la manutenzione straordinaria più frequentemente degli altri sistemi.	10.000-60.000 ore per le piccole unità 15-20 anni per le grandi unità (3-6 MW)
Microturbine a gas	6.000-8.000	30.000 – 60.000	in competizione con i motori endotermici per le piccole taglie grazie ai minori oneri di manutenzione	15-20 anni
Celle a combustibile	Dato n.d.	Dato n.d.	Sono ancora da superare alcuni problemi di resistenza alla corrosione e/o agli stress termici per le celle ad alta temperatura.	Ciclo di vita breve
Turbine a vapore	Dato n.d.	Dato n.d.	Maggiore complessità impiantistica e gestionale per la presenza del generatore di vapore e del suo circuito	Lunga durata, circa 25-35 anni

Campo di applicabilità e convenienza

La tecnologia della cogenerazione è indicata in tutte le situazioni in cui si ha contemporanea richiesta di energia elettrica e di calore e, generalmente, quando l'ammontare annuo del tempo di funzionamento supera le 4000 ore.

Il rendimento complessivo degli impianti di cogenerazione è piuttosto elevato ma, affinché questo venga pienamente sfruttato, occorre che non vi siano periodi di funzionamento "a vuoto" in cui, cioè, manchi da parte dell'utenza la richiesta di energia elettrica o termica.

I sistemi di cogenerazione vanno visti come sistemi aperti che interscambiano con la rete, cosicché non si verifichi mai una condizione di "perdita" dell'energia elettrica prodotta.

Per quanto concerne l'utilizzo del flusso termico recuperato dai sistemi di cogenerazione, le applicazioni più convenienti sono quelle in cui si ha una richiesta di calore abbastanza costante nel corso dell'anno ovvero:

- applicazioni industriali che utilizzano calore nel processo produttivo;

- utilizzo del calore recuperato per la climatizzazione degli ambienti (riscaldamento invernale e raffrescamento estivo, mediante l'adozione della tecnologia di raffrescamento ad assorbimento).

Altra soluzione, per garantire che il rendimento offerto dalla tecnologia di cogenerazione sia completamente sfruttato, è rappresentata dall'installazione di impianti dimensionati per soddisfare un contemporaneo carico elettrico e termico "di base", cui vengono integrate caldaie per coprire l'ammontare complessivo di richiesta termica (quando questa supera il carico di base) e dove l'allacciamento alla rete di distribuzione elettrica permette di compensare le richieste di energia elettrica non soddisfatte dall'impianto di cogenerazione.

Un impianto di cogenerazione può essere a servizio anche di più utenze, sempre che le distanze tra l'impianto e le singole utenze siano limitate in modo da contenere sia i costi che le perdite termiche connesse con la fase di distribuzione.

Quando i sistemi di cogenerazione sono correttamente sfruttati permettono di conseguire risultati di risparmio energetico, rispetto alla produzione separata di energia elettrica e calore, stimabili attorno al 35-40%.

In **Tab.5** sono riportati i costi tipici dei diversi sistemi di produzione combinata indicati per applicazioni di microcogenerazione e di cogenerazione diffusa presso le PMI.

Tab.5 – Costi di installazione e manutenzione rappresentativi delle tecnologie di microcogenerazione e di cogenerazione diffusa per le PMI

Tecnologia	Costo di impianto €/kW	Costi di manutenzione €/kWh
Motori endotermici	200-350 diesel 250-750 gas	0,005-0,01 diesel 0,007-0,02 gas
Microturbine a gas	800-1100	0,005-0,01
Celle a combustibile	3500-5000	0,005-0,02
Turbine a vapore	500-1300	0,006-0,008

I motori alternativi a combustione interna richiedono generalmente un limitato investimento ma i costi di manutenzione possono non essere trascurabili; questi sistemi presentano comunque il vantaggio di essere adatti a carichi variabili e sopportano meglio delle turbine arresti e partenze. I tempi di installazione sono piuttosto rapidi (massimo 9-12 mesi).

Le microturbine a gas sono entrate in competizione con i motori endotermici alimentati a gas grazie ai minori oneri di manutenzione; i costi di investimento risultano invece ancora abbastanza elevati. Un vantaggio di tale tecnologia consta nell'erogazione di un rendimento elettrico abbastanza costante al variare del carico, grazie al funzionamento a giri variabili. Per l'installazione occorrono tempi abbastanza ridotti (9-14 mesi).

Le celle a combustibile sono ancora in fase prototipale o dimostrativa, salvo il caso di quelle ad acido fosforico che non risultano però competitive rispetto alle altre tecnologie di cogenerazione in quanto ai costi, elevati sia per quanto concerne l'investimento iniziale che le richieste di manutenzione. Richiedono un breve periodo di installazione.

Le turbine a vapore richiedono costi di installazione significativi. Hanno una lenta risposta alle variazioni di carico. Per l'installazione servono dai 12 ai 18 mesi, arrivando anche a periodi di 3 anni per i sistemi più grandi.

Aspetti ambientali

I benefici della microcogenerazione, rispetto alla produzione separata di energia elettrica e termica con impianti tradizionali, sono il risparmio energetico, derivante dal maggiore rendimento complessivo, e la conseguente riduzione delle emissioni di CO₂ grazie al minor utilizzo di combustibile.

Mediamente un impianto di cogenerazione alimentato con gas naturale permette, per ogni kWh prodotto, un risparmio di 450 grammi di CO₂ se confrontato con analoga produzione ottenuta con un tradizionale impianto termoelettrico e una convenzionale caldaia. Il ricorso ad impianti di piccola taglia dislocati presso le utenze incrementa ulteriormente il dato di CO₂ evitata precedentemente riportato grazie alla riduzione delle perdite di distribuzione.

Ciasuna delle tecnologie utilizzabili per la cogenerazione è caratterizzata da propri aspetti ambientali, riassunti in **Tab.6**.

Tab.6 – Aspetti ambientali caratteristici delle tecnologie di microcogenerazione

Tecnologia	Aspetti ambientali
Motori endotermici	Emissioni sonore [dBA a 1 m]: 70 – 120 Maggiori problematiche per i motori diesel (emissioni atmosferiche, stoccaggio gasolio, rumore) rispetto ai motori a gas
Microturbine a gas	Emissioni sonore [dBA a 1 m]: 70 – 80 Minori emissioni di NOx rispetto ai motori endotermici
Celle a combustibile	Emissioni sonore [dBA a 1 m]: < 60 Assenza di vibrazioni Livello molto basso di gas di scarico

Fonti

- “Libro Bianco su cogenerazione”, ATIG, 1997
- “Cogenerazione diffusa e microcogenerazione” – Ambienteitalia e Provincia di Torino, Corso di formazione sull’efficienza energetica e le fonti rinnovabili, novembre 2000 – marzo 2001.
- Federazione italiana per l’uso razionale dell’energia, www.fire-italia.it
- progetto “TriGeMed – Tri-Generation Solution for the Mediterranean”, www.trigemed.com
- Convegno AEI ATI – “La cogenerazione diffusa è un’opzione valida per la produzione dei flussi energetici necessari?”, 27 ottobre 2003: “Relazione introduttiva” – Ennio Macchi, Politecnico di Milano
- Convegno AEI ATI – “La cogenerazione diffusa è un’opzione valida per la produzione dei flussi energetici necessari?”, 27 ottobre 2003: “La cogenerazione in Italia – Situazione attuale e ipotesi di sviluppo alla luce dell’evoluzione tecnologica e delle aspettative degli utenti” – Fausto Sanson, CESI.
- “Dossier Microcogenerazione” – progetto RES&RUE Dissemination; R.Cremonesi, G.Pilati, G.Bergamini - Domotecnica
- www.iea.org (sito dell’agenzia internazionale per l’energia)