

F. Miccio - CNR
F. Armanasco - RSE

DESCRIZIONE TECNICA

I motori Stirling (motori a combustione esterna basati su ciclo termodinamico molto prossimo al ciclo di Carnot), ideati e sperimentalmente verificati molto prima dei motori a combustione interna, non hanno ancora sufficientemente penetrato il mercato della propulsione o generazione elettrica per il limitato rapporto potenza/massa installata. Macchine di microgenerazione sono state commercializzate ad oggi fino ad una taglia massima di 50 kWel. Essendo motori a “combustione esterna”, consentono l’impiego di molteplici tipologie di combustibile e fonti di calore, soprattutto quelle poco pregiate: sono in fase di sperimentazione avanzata impianti che sfruttano la biomassa con buoni rendimenti globali di cogenerazione in relazione alla piccola scala.

Nell’ambito delle unità cogenerative di piccolissima taglia, la scelta del combustibile, come per gli altri microcogeneratori, ricade sul gas naturale poiché, insieme alla possibilità di svolgere una combustione stazionaria, permette emissioni molto ridotte, tipicamente quelle di una caldaia domestica. Lo schema di un microgeneratore Stirling (Figura 1) prevede un motore primo inserito tra la camera di combustione (sorgente ad alta temperatura) e lo scambiatore con l’acqua di ritorno dall’impianto di riscaldamento (sorgente a bassa temperatura) che cede il lavoro meccanico prodotto ad un generatore elettrico. E’ possibile recuperare altro calore dai gas combusti inserendo uno scambiatore aria-acqua nel camino, per migliorare il rendimento termico. E’ possibile anche inserire un bruciatore ausiliario per coprire i carichi termici di punta, cedendo ulteriore potenza termica all’acqua in uscita dal motore Stirling quando questo non è in grado di soddisfare completamente la richiesta.

Le taglie previste per la commercializzazione sono tipicamente intorno a 1 kWel, con alcuni esemplari in grado di fornire potenze superiori. I rendimenti elettrici sono compresi tra il 12 e il 25%, in linea con il valore minimo delle macchine della Whisper Tech e della Baxi, che stanno già vendendo i propri prodotti con le piccole potenze elettriche, di 1 e 1,2 kWel rispettivamente; Whisper Tech equipaggia il proprio cogeneratore con un motore Stirling 4 cilindri in configurazione alfa a doppio effetto e trasmissione a piatto oscillante (wobbie joke) che ha dato prova di buona affidabilità (Figura 2). Baxi e Microgen propongono un prodotto basato sulla medesima tecnologia con motore Stirling LFPSE (Linear Free-Piston Stirling Engine), caratterizzato da elevata silenziosità (sotto i 45dB @1m), affidabilità e ottime prestazioni per la taglia cui appartiene. Si evidenzia come non vi sia un modello di microgeneratore Stirling in grado di distinguersi dagli altri; pur presentando soluzioni tecnologiche anche significativamente differenti si caratterizzano tutti da un ottimo rendimento globale di cogenerazione, compreso tra il 90 e il 97% (Tabella 1).

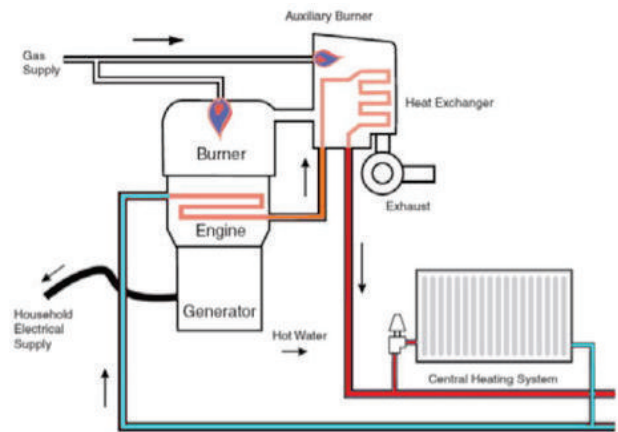


Figura 1 Schema di un microgeneratore Stirling

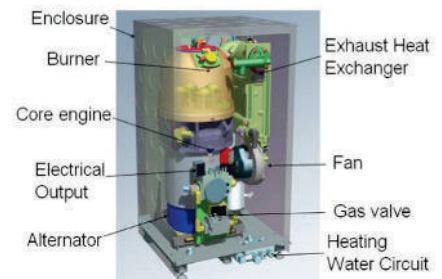


Figura 2 Cogeneratore domestico a motore Stirling della Whisper

Tabella 1 Caratteristiche tecniche cogeneratori domestici Stirling in commercio, o prossimi alla commercializzazione

Produttore	-	Whisper Tech	Baxi-Microgen	Sunmachion
Modello	-	Whispergen	Ecogen	Bioerdgas
Potenza elettrica	kW _{el}	0,85-1,2	0,2-1	1,5-3
Potenza elettrica nom.	kW _{el}	1,2	1	3
Potenza termica nom.	kW _{th}	8	6	10,5
T fluido di recupero (M/R)	°C	-	-	50-75 / max 60
Rendimento el. AC (rif. PCI)	%	12	13,5	20-25
Rendimento totale (rif. PCI)	%	97	92	90
Tipologia	-	alpha, 2 effetti	beta	alpha, 1 effetto
Trasmissione	-	swasplate	free-piston	biella-manov.
Fluido di lavoro	-	Azoto	elio	Azoto
Dimensioni (LxPxA)	cm	0,5x0,45x0,65	0,6x0,5x0,85	0,96x0,76x1,50
Massa	kg	138	115	300
Costo specifico	€/kW _{el}	3000-12000	-	6700
Rumore	dBA 1m	56	<45	47
Intervallo di manutenzione	h	-	-	3500

STATO DI AVANZAMENTO

Internazionale

Attualmente non ci sono dati a disposizione sulla diffusione dei microgeneratori basati su motori Stirling. I principali produttori di caldaie domestiche (Veissmann, Ariston ecc), stanno sviluppando un proprio package basato su un motore prodotto da terzi (Infinia, Whispergen ecc.).

Si cita una recente campagna di British Gas di fornitura ai clienti di una caldaia domestica cogenerativa con immissione nella rete elettrica dell'energia generata.

Nazionale

Esistono in Italia università e centri di ricerca che sviluppano o utilizzano motori Stirling per applicazioni innovative (Univ. La Sapienza, Univ. Sannio, IRC-CNR, RSE, ENEA). Attualmente non ci sono impianti cogenerativi commerciali di piccola taglia basati su motore Stirling installati e operativi in Italia. Per quanto concerne la microgenerazione domestica a gas naturale, alcuni prototipi da 1 kW sono in fase di test presso alcuni centri di ricerca (RSE, Polimi, ENEA, CNR).

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

Piccola cogenerazione (10-50 kW): TRL 4. Sono disponibili solo alcuni prototipi, dei quali non è stata ancora verificata l'affidabilità nel tempo. Microgenerazione domestica (1 kW): TRL 6. Sono disponibili diversi prototipi di microgeneratori domestici da 1 kW le cui prestazioni e affidabilità sono confermate da diversi test in campo.

RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

- Gas naturale – principalmente per la cogenerazione domestica (1kWel);
- Biomassa e scarti – per applicazioni su scala tra 10 e 50 kW eventualmente con integrazione di energia solare
- Cascami di calore - per applicazioni su scala inferiore a 50 kW
- Energia solare - per applicazioni su scala inferiore a 50 kW con eventuale integrazione di energia da biomassa.

VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Lo sviluppo di motori Stirling ad elevata efficienza richiede competenze nel settore dell'ingegneria meccanica, della combustione e della fluidodinamica dei gas. Non si esclude che un ulteriore avanzamento delle prestazioni (efficienza e potenza specifica) possa essere ottenuto grazie alla sinergia con la scienza dei materiali (ceramici innovativi UHTC ad elevata conduzione di calore) e con l'ingegneria elettronica per la gestione ottimale e controllata dell'intero sistema, anche grazie a sensori sofisticati.

POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

L'Italia si configura come un mercato particolarmente interessante per la microgenerazione domestica, in particolare al Nord Italia, dove il numero di case dotate di caldaia di riscaldamento autonoma e alimentate a gas naturale è elevatissimo.

L'immissione in rete di una limitata potenza cogenerata con continuità (es. 0.5 kW), senza penalizzare le prestazioni termiche della caldaia da un elevato numero di utenze (es. 10000), consentirebbe di produrre un effetto paragonabile a quello delle centrali termoelettriche, eoliche o fotovoltaiche di piccola scala. A tal fine è necessario superare le barriere amministrative e tecnologiche per la creazione di efficaci reti di generazione distribuita.

IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

I microgeneratori Stirling, essendo motori a combustione esterna, non hanno di per sé un impatto diretto sull'ambiente. La gestione delle emissioni inquinanti è limitata alla produzione del calore per alimentare il motore e dipende dalla fonte impiegata (caldaia a gas, caldaia a biomassa ecc.). La produzione di un'aliquota di energia primaria rende il sistema più efficiente sotto l'aspetto di un'analisi energetica. Nel caso di combustibili di minor pregio (biomasse e residui) limitati valori di emissione possono essere raggiunti adottando soluzioni tecnologiche superiori (es. sistemi a letto fluido e camere cicloniche) che consentono di abbattere significativamente i livelli di incombusti e particolato, anche rispetto alle ormai diffusissime caldaie convenzionali a pellet.

Emissioni CO₂/MWh

- 0,2- 0.4 tCO₂/MWh termico
- 1.0 – 2.0 tCO₂/MWhel

Valori stimati sulla base di combustibile vegetale ed efficienza di conversione elettrica pari 20%.

Emissioni CO₂/MWh evitate

- 20 -50% nel caso di combustibili (fossili valore inferiore)
- 100% nel caso di cascami energetici e solare.

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

L'efficienza elettrica di conversione varia dal 12 al 25%, mentre l'efficienza globale si attesta attorno al 90% per i diversi modelli prototipali. La vita utile del motore è paragonabile a quella di una caldaia domestica tradizionale nel caso della micro-cogenerazione. Per applicazioni di scala maggiore (10-50 kW) si ritiene che in virtù della semplicità costruttiva della macchina e della limitata velocità angolare di funzionamento, il tempo di vita sia elevato (> 20000 h) così come gli intervalli richiesti per la manutenzione (>5000 h).

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Lo sviluppo di un sistema commerciale di generazione con motore Stirling richiederebbe un progetto del costo di circa 5 M€, della durata di almeno 24 mesi con un impegno pari a 200 mesi-uomo suddivisi tra ricercatori, tecnici e operatori. Laboratori già attrezzati per lavorazioni meccaniche di precisione, prove termotecniche, sviluppo di componentistica elettronica e di materiali innovativi sarebbero sicuramente in grado di realizzare un prodotto prototipale da sottoporre all'ottimizzazione e sviluppo industriale da parte di un'azienda del settore meccanico e termotecnico. L'obiettivo finale è la realizzazione di un modulo Stirling con un costo specifico non superiore a 2000 €/kW_{el}, che consentirebbe un agevole rientro dei capitali da parte degli utilizzatori finali.

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Lo sviluppo della tecnologia necessita una stretta collaborazione e sinergia di competenze di ricerca e industriali già presenti sul territorio nazionale. Non si scorgono barriere di natura sociale, trattandosi di un prodotto per la micro generazione che non può dar luogo ad impatti significativi sull'ambiente e il territorio, fatta eccezione della eventuale installazione in campi solari.

POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

La tecnologia sviluppata troverebbe immediata applicazione in ambito nazionale in sostituzione o integrazione di tecnologie convenzionali (es. caldaie civili a gas, caldaie a pellet).

Essendo un prodotto a valore aggiunto (si stima almeno un incremento del 100% del valore della caldaia cogenerativa) avrebbe un positivo impatto sul PIL e l'occupazione in tale settore.

POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

La tecnologia è esportabile all'estero sia nei paesi ad elevato sviluppo che in quelli ad economia limitata (Africa, Asia, Sud America) in risposta ad esigenze locali di generazione elettrica e azioni mirate allo sviluppo sociale.

POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

La tecnologia trova principale applicazione nel settore residenziale e terziario. Per il settore trasporti, nel breve periodo, si intravedono solo applicazioni marginali (es. recupero di energia da fumi) o di promozione dell'immagine (es. modulo Stirling equipaggiato su un veicolo ibrido). La micro generazione con motore Stirling può trovare anche applicazione in ambito aeronautico (satelliti).

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

I principali destinatari di un prodotto basato sull'applicazione di motori Stirling sono aziende medio piccole interessate alla produzione continuativa di una limitata potenza elettrica per utilizzo interno o immissione in rete. La sorgente di calore necessaria al funzionamento dello Stirling deve essere necessariamente povera (costo nullo o molto limitato).

Si intravedono pertanto possibilità di applicazione in:

- opifici (es. falegnamerie e segherie) che producono scarti direttamente utilizzabili come combustibile
- aziende agricole e zootecniche
- stabilimenti balneari (metano + solare)
- fabbriche che emettano correnti gassose reflue a temperatura medio-alta (es. fonderie, vetrerie artigianali, ecc.)

A causa del limitato rapporto potenza-massa non si può prevedere uno sviluppo competitivo nel settore del trasporto automobilistico.

Sviluppo della tecnologia

Lo sviluppo di sistemi commerciali richiederà l'interazione del mondo accademico e della ricerca con quello della produzione, segnatamente aziende operanti nel settore metalmeccanico, termotecnico ed elettronico.

In Italia vi sono competenze per lo sviluppo di prodotti diversificati per taglia, fonte energetica e prestazioni.

Non si escludono infine possibilità di applicazione nel settore aeronautico per micro generazione solare. Anche in questo caso le aziende italiane del settore potrebbero essere interessate a progetti di produzione di piccoli moduli Stirling (es. macchine free-piston da 100 W).

ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

- **CNR:** Istituto Ricerche sulla combustione (IRC) (Napoli)
- **ENEA:** Saluggia (VC)
- **Università La Sapienza Roma** - Dip. Ingegneria Meccanica e Aerospaziale
- **Università degli Studi del Sannio** - Dipartimento di Ingegneria

BEST PRACTICES

E' operativo in Italia un impianto di cogenerazione (calore + elettricità) alimentato a cippato di legno, realizzato dal Centro Cisa nel comune di Castel D'Aiano. Si tratta di un sistema di cogenerazione basato sulla gassificazione delle biomasse e un motore a combustione esterna di tipo Stirling da 35 kWel. E' di rilievo il prototipo di bruciatore a letto fluido direttamente accoppiato a un motore Stirling sviluppato da IRC-CNR (Napoli) e Uni-Sannio che integra i vantaggi della combustione a letto fluido (elevata efficienza, basse emissioni, elevato scambio termico) con quelli della generazione elettrica da motore Stirling (semplicità costruttiva, flessibilità e affidabilità).

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] V. Naso, La macchina di Stirling, Casa Editrice Ambrosiana. Distribuzione esclusiva Zanichelli, 1991
- [2] E. Macchi, S. Campanari, P. Silva. La microcogenerazione a gas naturale, 2005.
- [3] H. I. Onovwiona, V.I. Ugursal. Residential cogeneration system: review of the current technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2004.
- [4] V.Kuhn, J. Klemes, I. Bulatov, MicroCHP: Overview of selected technologies, products and field test results. Applied Thermal Engineering, 2008.
- [5] G. Angrisani et al., Development of a New Concept Solar-Biomass Cogeneration System, Energy Conversion and Management, Vol. 75, p. 552-560, 2013
- [6] T. Bernd Benchmark testing of micro-CHP units..Applied Thermal Engineering, 2008.
- [7] Otag. (<http://www.otag.de>)
- [8] Microsystem. (<http://www.cogenmicro.com>)
- [9] Sunmachine. (<http://www.sunmachine.com>)
- [10] Microgen. (<http://www.microgen-engine.com>)
- [11] Whisper Tech Limited. (<http://www.whispergen.com>)