

L'ALTERNATORE LINEARE NELLA MICROPRODUZIONE ELETTRICA

NUOVE APPLICAZIONI DI MACCHINE ELETTRICHE
PER LE MODERNE ESIGENZE ENERGETICHE

Il motore Stirling è fondamentalmente un sistema per convertire energia termica in energia meccanica. Questo risultato si ottiene attraverso il funzionamento di una macchina termodinamica che segue, seppure in modo approssimato, uno specifico ciclo. Ciclo e motore prendono denominazione dal loro inventore, lo scozzese Robert Stirling, che lo ideò nella prima metà dell'Ottocento.

È bene ricordare che il primo motore di questo genere produceva potenza meccanica che veniva trasmessa a un albero rotante, vincolato a un meccanismo collegato a due pistoni. Il successo del ciclo Stirling fu dovuto alla sicurezza connaturata con le basse pressioni in gioco, in contrapposizione alle alte pressioni dei motori a vapore, diffusi durante la prima fase della rivoluzione industriale. L'evoluzione di questi ultimi, in termini di bontà dei materiali, e l'avvento dei motori endotermici a ciclo Otto (benzina) e Diesel (gasolio) relegarono il motore Stirling a una pura curiosità storica.

Ma nel corso del Ventesimo Secolo, numerosi tecnici furono attratti dall'idea di utilizzare questo ciclo, dagli indubbi connotati di efficienza, sicurezza, silenziosità e flessibilità di utilizzo, stante la non comune caratteristica di poter funzionare con combustibili anche assai diversi tra loro.

Nel 1964 William Beale, docente di meccanica all'Università dell'Ohio, introdusse una rivoluzionaria interpretazione del motore Stirling, denominato "free piston". Questa soluzione eliminava ogni meccanismo legato al movimento del pistone, ovvero cinematismi piuttosto complicati e causa di perdite per attrito; ma eliminare i meccanismi comportava soprattutto risolvere pesanti problemi di tenuta delle guarnizioni. In sostanza, questa innovazione consentiva di convertire il moto alternativo del pistone (o di più pistoni, se necessario) direttamente in potenza elettrica, attraverso l'uso di un alternatore (generatore elettrico) non più rotante, a questo punto, ma lineare.

Una siffatta configurazione consentiva una realizza-

zione completamente stagna delle parti in contatto con il fluido di lavoro rispetto all'esterno, verso cui poteva fluire solo energia elettrica già "utilizzabile".

Un generatore lineare per un nuovo motore

Per le applicazioni di nostro interesse, ovvero legate alla produzione di energia distribuita, i motori Stirling sono stati sviluppati con configurazione "free piston" e sostanzialmente ricalcano un'"architettura" ricorrente, adottata da alcuni costruttori, che presenta peculiarità interessanti. Il pistone di potenza è caratterizzato da una corsa breve, pari a circa 10 mm, e da un dislocatore (ripartitore di flussi termici) di corsa leggermente superiore (indicativamente circa 15 mm).

La libertà di movimento del pistone deve però consentire al medesimo di portarsi a una frequenza di movimento di 50 Hz per poter generare energia elettrica già compatibile con la rete generale (evitando quindi l'impiego di variatori di frequenza).

In realtà, almeno in fase di avviamento, è la rete esterna a imporre la frequenza di movimento al pistone, e di conseguenza al dislocatore, e in definitiva all'intero motore. Ciò si ottiene grazie all'impiego di molle (a spirale) poste nella parte inferiore della macchina e collegate meccanicamente al pistone con caratteristiche di elasticità tali da poter ottenere una stabilizzazione della pulsazione alla frequenza corretta.

Aspetti costruttivi

Ricordiamo per i lettori non elettrotecnici che un alternatore

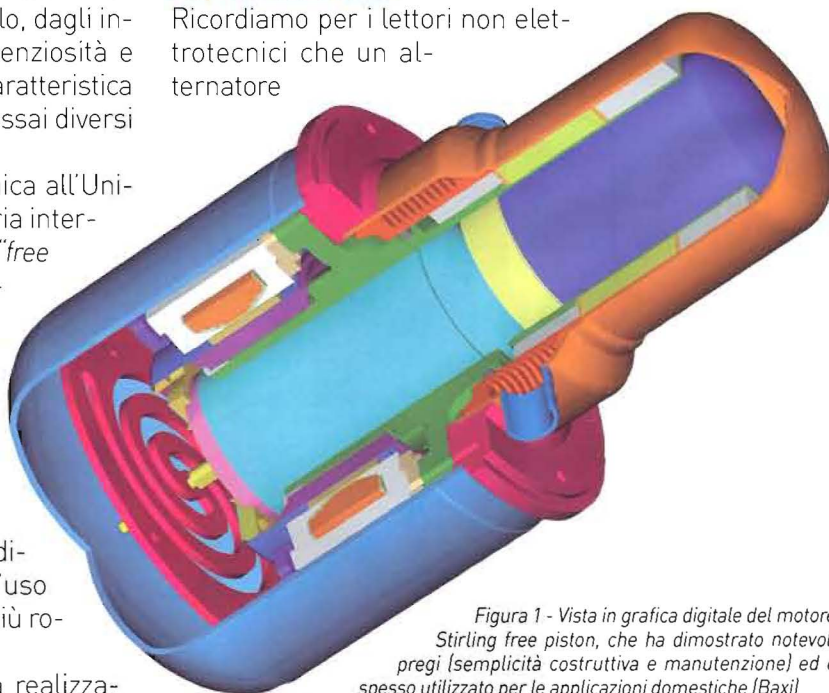


Figura 1 - Vista in grafica digitale del motore Stirling free piston, che ha dimostrato notevoli pregi (semplicità costruttiva e manutenzione) ed è spesso utilizzato per le applicazioni domestiche [Baxi]

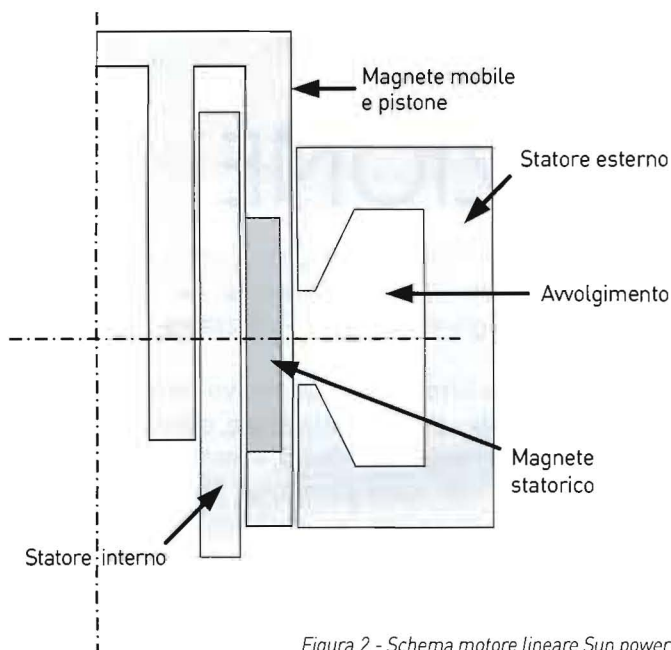


Figura 2 - Schema motore lineare Sun power

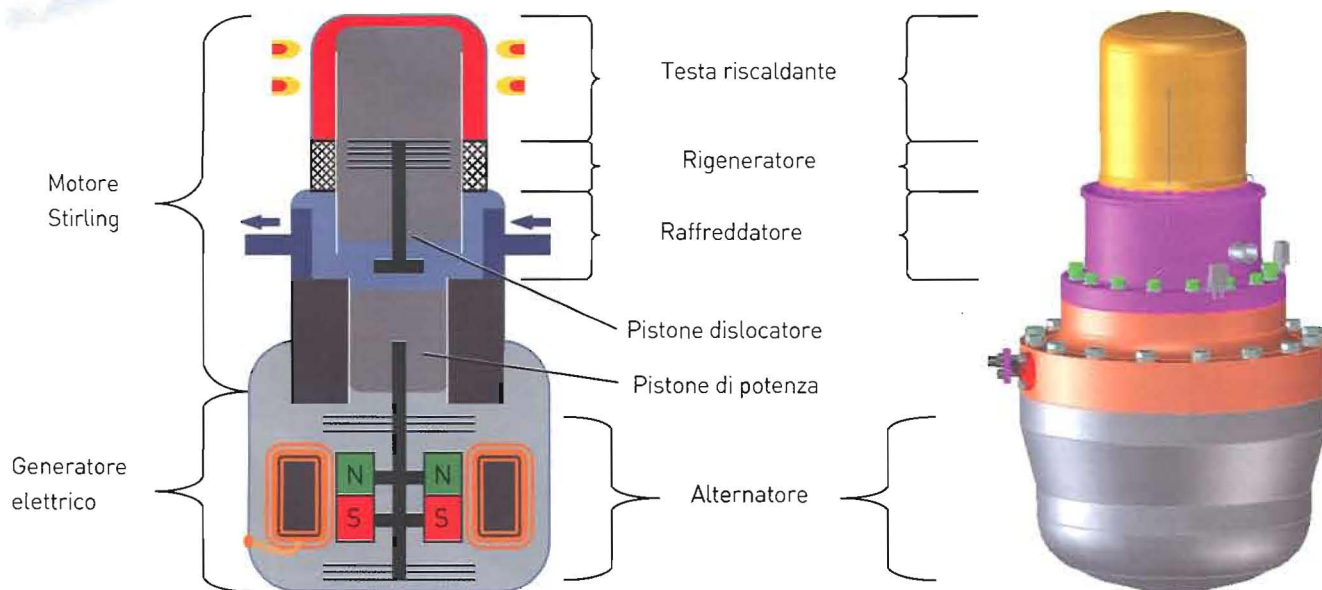
lineare è essenzialmente un motore lineare utilizzato come generatore elettrico. Costruttivamente analoghi, la differenza sostanziale risiede nel diverso (opposto) flusso energetico cui sono interessati: un alternatore converte energia meccanica in elettrica laddove nel motore avviene il contrario. Come buona parte dei motori e dei generatori elettrici, l'alternatore lineare lavora sulla base del principio dell'induzione elettromagnetica. Tuttavia, la maggior parte degli alternatori funziona sul movimento rotativo, in questo caso siamo invece in presenza di un movimento rettilineo. La teoria ci ricorda infatti che quando un magnete si muove rispetto a un avvolgimento a spirale (spira) si crea un flusso magnetico all'interno della spira stessa, ciò induce un flusso di corrente elettrica nel conduttore della spira stessa,

utilizzabile per produrre lavoro. Un alternatore lineare può quindi essere utilizzato per convertire un movimento alternato direttamente in energia elettrica, senza passare attraverso il moto rotatorio e macchina generatrice rotante. Questa "via breve" per produrre energia consente in effetti di eliminare manovellismi di conversione dal moto rettilineo a quello rotante necessario agli alternatori rotanti, con le relative perdite per attrito che ciò comporta.

Il generatore elettrico lineare

Venendo al caso specifico del motore Stirling per applicazioni cogenerative, si nota come la libertà di movimento del pistone deve però consentire al medesimo di portarsi a una frequenza di movimento di 50 Hz (la frequenza della normale corrente alternata fornita dalle compagnie elettriche), pertanto già compatibile con la rete generale evitando l'impiego di variatori di frequenza. In realtà, almeno in fase di avviamento, è la rete esterna a imporre la frequenza di movimento al pistone. Giunto quest'ultimo alla frequenza corretta, sarà poi il motore a mantenerne il valore grazie all'impiego di molle con caratteristiche elastiche tali da poter ottenere una stabilizzazione della pulsazione alla frequenza corretta. A questo alternatore viene inoltre richiesto di funzionare in un ambiente a elevata temperatura, anche dell'ordine dei 500 K, in quanto contenuto in un "involucro" costituente l'intera macchina termica "immersa" nel fluido di lavoro (Elio o Idrogeno), e ciò per motivi di tenuta del medesimo gas. Infatti, il portare potenza meccanica all'esterno avrebbe comportato tenute meccaniche complesse, ingombranti e pesanti nonché costose. La filosofia di esportare potenza già sotto forma elettrica deve quindi pagare lo scotto di avere un generatore elettrico a contatto con un fluido a una temperatura che costituisce un compromesso, che tiene conto delle esi-

Figura 3 - Configurazione costruttiva di un motore Stirling "free piston" utilizzabile in moduli cogenerativi. Si noti in basso l'alternatore schematicizzato



genze del ciclo termodinamico (che la richiede quanto più elevata) e dell'alternatore (che aumenta le perdite all'aumentare della temperatura stessa). In effetti, una temperatura così elevata non sarebbe tollerabile per macchine elettriche costruite con materiali convenzionali, pertanto si rende necessaria l'adozione di materiali speciali come il Samario Cobalto, noto per produrre magneti permanenti a elevata resistenza alla smagnetizzazione.

Un ulteriore effetto della temperatura sull'alternatore riguarda l'innalzamento della resistività dell'avvolgimento a spirale, che necessita quindi un sovradimensionamento della spira. Di conseguenza, proprio per contenere la dimensione e la massa di quest'ultima sono impiegati materiali dotati della massima possibile densità di flusso di saturazione. Le parti metalliche interne vengono inoltre realizzate sotto forma di laminati conici per rendere più elevata la densità di assiemaggio.

Studi effettuati su questa tipologia di macchine hanno evidenziato la relazione tra il parametro potenza specifica (riferita al peso del generatore) rispetto alla frequenza e all'ampiezza della corsa del pistone. La potenza specifica aumenta al crescere della frequenza e dell'ampiezza, ma occorre coniugare le contrastanti esigenze tra la termodinamica del ciclo del motore con quelle dell'alternatore. In particolare, al crescere della corsa del pistone favorisce l'alternatore, comportando però un decremento del diametro del pistone, riducendo l'effetto della sopra citata molla stabilizzatrice.

Come spesso accade nella tecnica, scoperte ritenute superate o non applicabili in un periodo storico ritrovano nuova vita grazie all'evoluzione di altre tecnologie complementari a esse, che nel frattempo si sono svilup-

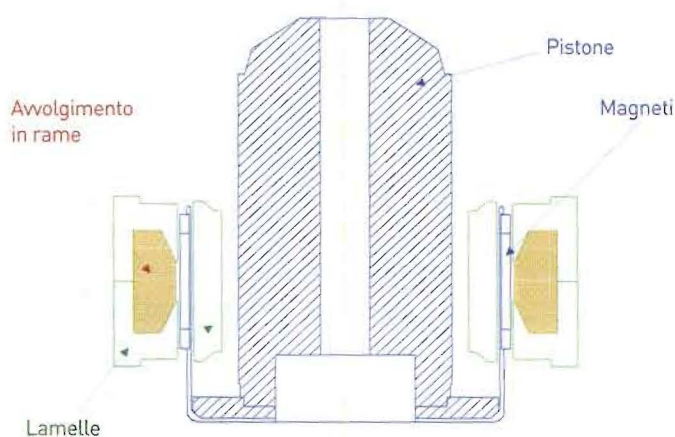


Figura 4 - Sezione di alternatore lineare progettato per motore Stirling. Per questi motori la tensione della rete determina la corsa del pistone mentre la frequenza della rete ne stabilisce la frequenza

pate. La regolazione elettronica e l'informatica, come lo sviluppo di nuovi materiali, sono stati motivi tali da consentire il superamento di quei limiti tecnologici che la scoperta di base del motore Stirling non poteva superare con le conoscenze dell'epoca. Nel caso specifico, la potenzialità dell'introduzione del motore Stirling come cogeneratore all'interno di gruppi caldaia a condensazione costituisce una soluzione realmente innovativa, tale da rivoluzionare il modo di produrre energia ai fini abitativi. L'impiego dell'alternatore lineare rende possibile la produzione di energia elettrica in modo conveniente anche in macchine di piccolissima dimensione e potenza e in prospettiva, laddove macchine alimentate da energia rinnovabile presentano moti rettilinei da sfruttare.

* Ingegnere meccanico a indirizzo energetico, project manager impianti produzione energia