

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI

FEDERICO II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Tesi di Laurea in Fisica Tecnica

**INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE DELLO STACK
SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DI UN MOTORE
TERMOACUSTICO AD ONDA STAZIONARIA**

Relatore

DOTT. ING. RAFFAELE DRAGONETTI

Correlatore

DOTT. ING. SABATO DI FILIPPO

Candidato

EDWIGE GARGIULO

MATR. M67/104

Anno accademico 2013/2014

La società odierna si basa su un sistema di produzione dell'energia che fa perno essenzialmente sull'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili ed esauribili. Un sistema di questo genere non tiene conto della limitatezza e la scarsità delle risorse ed è, per forza di cose, insostenibile sia per la pressione che viene posta sulle risorse naturali, sia per le esternalità negative che il sistema stesso genera e che ricadono sulla specie umana. L'energia prodotta da fonti non rinnovabili spesso si traduce in inquinamento atmosferico che grava sulla salute dei cittadini.

Gran parte degli sforzi sono concentrati per migliorare l'efficienza delle tecnologie esistenti nella ricerca di nuove riserve di petrolio, gas e carbone. Relativamente poco viene fatto, invece, per la ricerca scientifica sulle nuove fonti di energia alternative (solare, fotovoltaico, eolico, geotermico, idroelettrico, nucleare) nate prima della crisi energetica degli anni '70.

Tra le fonti rinnovabili di energia quella derivante dalle macchine termoacustiche è una tecnologia emergente ed ancora in fase di sviluppo che fa capo ad una nuova classe di motori e refrigeratori che possono aiutare a ridurre o eliminare le problematiche ambientali dovute all'utilizzo dei combustibili fossili.

Un motore termoacustico può essere semplicemente realizzato da un condotto, in cui si propaga un'onda piana stazionaria in cui pressione e velocità sono sfasate di circa 90° sfruttando il fenomeno di risonanza della cavità.

Il condotto è terminato da un lato da una parete rigida e all'estremità opposta da un utilizzatore che può convertire direttamente il movimento dell'aria in energia elettrica.

Il dispositivo presenta al suo interno un mezzo poroso che gioca un ruolo centrale nella conversione termoacustica dell'energia se alle sue estremità è imposto un opportuno gradiente di temperatura.

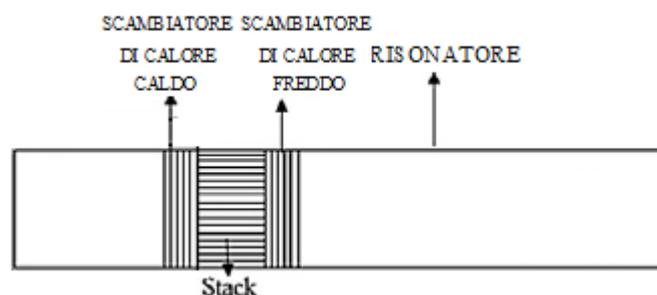


Figura 1-Motore termoacustico ad onda stazionaria

All'interno del mezzo poroso si realizza uno scambio termico tra il fluido di lavoro e la matrice solida che permette al gas, ivi contenuto, di compiere un ciclo termodinamico.

La modalità con cui avviene tale scambio termico dipende dal confronto tra il raggio idraulico r_h del poro e due grandezze caratteristiche del gas: le profondità di penetrazione termica δ_k e viscosa

δ_v . Esse esprimono quanto calore e quantità di moto possono diffondersi lateralmente, all'interno di un singolo poro, in un intervallo di tempo imposto dal periodo di oscillazione del gas all'interno del condotto.

Il mezzo poroso pertanto può essere caratterizzato dal rapporto adimensionale tra il raggio idraulico e la profondità di penetrazione termica, conosciuto con il nome di *numero di Lautrec*:

$$N_L = \frac{r_h}{\delta_k}$$

In particolare, se $N_L \geq 1$, il raggio idraulico è comparabile con la profondità di penetrazione termica del gas. Il mezzo poroso è chiamato *stack* ed è possibile dimostrare che in tali condizioni esso contribuirà ad uno sfasamento tra la pressione e la velocità delle particelle tipico di un'onda stazionaria. Gli effetti termoacustici nello stack avvengono principalmente nella regione vicina alle pareti del poro mentre il gas che si trova lontano da questa zona subisce delle oscillazioni di temperatura essenzialmente adiabatiche, simili al caso di propagazione acustica indisturbata.

L'efficienza di uno stack termoacustico dipende dal materiale di cui è costituito, dalla geometria dei pori e dalla porosità, dalla lunghezza, dalla forma e dalla posizione che occupa nel dispositivo termoacustico. In questo lavoro è stato indagato come le performance energetiche di un motore termoacustico ad onda stazionaria sono influenzate da tali caratteristiche.



Figura 2-Stack in Mylar e Celcor

Lo studio sarà condotto utilizzando DeltaEC (Design Environment for Low-Amplitude Thermoacoustic Energy Conversion) un software che permette di ottimizzare numericamente i dispositivi termoacustici e di stimarne l'efficienza.

Le variabili di interesse quali pressione $\bar{p}_M(x)$, velocità di volume $U(x)$ e temperatura $\bar{T}_M(x)$ vengono ricercate a partire da una loro forma differenziale nello spazio monodimensionale x facendo uso delle equazioni di continuità, di Navier-Stokes, dell'energia totale e della trasmissione

del calore semplificate secondo la teoria di Rott. Quanto esposto può essere espresso sinteticamente in forma matematica:

$$\frac{d\bar{p}_M}{dx} = F_{Navier-Stokes}(\bar{p}_M, U, T_0, \dot{H}_{tot}, p_0, \omega, \text{geometria, proprietà del gas, proprietà del solido, etc.})$$

$$\frac{dU}{dx} = F_{continuità}(\bar{p}_M, U, T_0, \dot{H}_{tot}, p_0, \omega, \text{geometria, proprietà del gas, proprietà del solido, etc.})$$

$$\frac{dT_0}{dx} = F_{energia}(\bar{p}_M, U, T_0, \dot{H}_{tot}, p_0, \omega, \text{geometria, proprietà del gas, proprietà del solido, etc.})$$

$$\frac{d\dot{H}_{tot}}{dx} = F(\bar{p}_M, U, T_0, \dot{H}_{tot}, p_0, \omega, \text{geometria, proprietà del gas, proprietà del solido, } \dot{Q}, \text{ etc.})$$

Da queste equazioni è evidente la complessità del problema derivante dall'elevato numero di parametri in gioco. L'arrangiamento del motore, la scelta dell'aria come fluido di lavoro e quella di lavorare a pressione atmosferica sono dettate dal fatto di voler restringere l'analisi al solo impatto delle caratteristiche geometriche dello stack sulle prestazioni energetiche minimizzando così il numero di variabili da considerare e i meccanismi di perdita della potenza acustica generata.

Si riporta di seguito la conformazione finale del motore implementata in DeltaEC:



Figura 3_Motore termoacustico ad onda stazionaria_Delta EC

La logica di funzionamento, nell'elaborazione numerica dei dati, ha seguito criteri dettati dai parametri che si vogliono determinare attraverso il programma e da ciò che invece deve essere imposto come vincolo. Molte di queste scelte potrebbero essere facilitate se parallelamente ad una analisi numerica si avesse la possibilità di misurare alcune proprietà in punti strategici del motore. Ovviamente in una fase iniziale di messa a punto del prototipo è praticamente impossibile avere tali dati in quanto è teoricamente incerto qualsiasi valore.

Si riportano, ad esempio, i risultati ottenuti per uno stack realizzato in Celcor per diverse forme dei pori quali piastre parallele, pori rettangolari ed esagonali, mantenendo costante la porosità e la lunghezza.

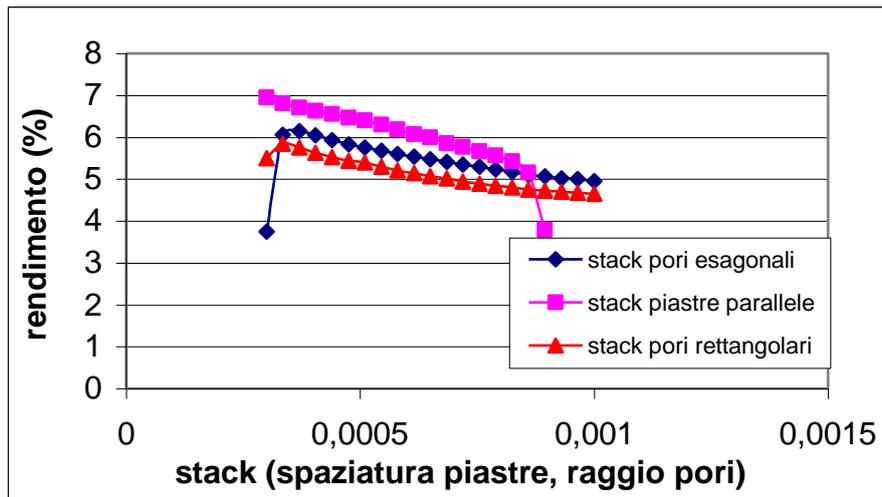


Figura 4-Rendimento del motore al variare della forma dei pori

I risultati mostrano chiaramente che lo stack dotato di piastre parallele fornisce una efficienza maggiore rispetto alle altre forme dei pori, consentendo di ottenere un rendimento del 6,94% per una spaziatura $y_0 = 0,3mm$.

Tali rendimenti appaiono ovviamente molto contenuti se confrontati con altri dispositivi di conversione dell'energia. Si tenga però presente che in questo caso il dispositivo è realizzato unicamente con un tubo ed aria a pressione ambientale, le uniche difficoltà costruttive sono da associarsi alla realizzazione degli scambiatori di calore.

Con riferimento ad uno stack a piastre parallele, per diverse spaziature e lunghezze, sono state ottenute delle curve caratteristiche riportate nella figura sottostante:

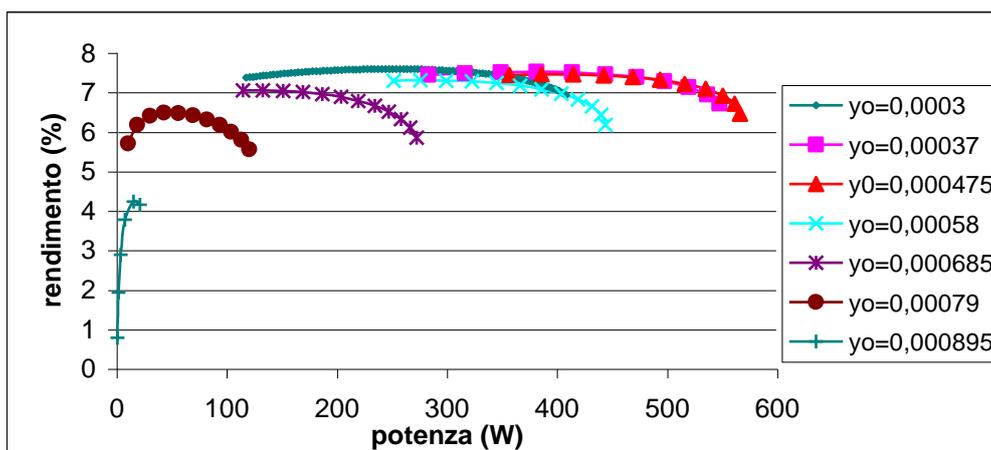


Figura 5-Andamento della potenza in funzione del rendimento al variare della lunghezza dello stack per varie spaziature del poro

dove è immediato verificare che per ogni spaziatura delle piastre è necessaria una lunghezza ottimale per massimizzare il rendimento in un determinato intervallo di potenza.

Da qui l'idea di simulare uno stack con spaziatura delle piastre variabile pensando di racchiudere all'interno del poro un numero finito di oscillazioni libere delle particelle ottenendo un aumento del rendimento di circa il 15% rispetto al caso di stack con spaziatura costante.

Sulla scorta dei risultati preliminari ottenuti in questo lavoro sono tutt'ora in corso, presso il laboratorio di acustica del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, ulteriori studi per ricercare una conformazioni ideale del poro.