

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI

FEDERICO II



Facoltà di Ingegneria

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

**DIPARTIMENTO DI ENERGETICA, TERMOFLUIDODINAMICA
APPLICATA E CONDIZIONAMENTI AMBIENTALI**

Tesi di laurea in Fisica Tecnica

MACCHINE TERMOACUSTICHE A CICLO INVERSO

Relatore

DOTT. ING. RAFFAELE DRAGONETTI

Candidato

MARIALUISA NAPOLITANO

MATR. 518/430

Anno accademico 2010/2011

In una ipotetica classifica delle invenzioni più rivoluzionarie del XX secolo le macchine termiche occuperebbero i primi posti. In particolare il ciclo frigorifero ha determinato una delle più grandi conquiste dell'umanità: il controllo del microclima per il benessere e il confort delle persone e per la conservazione dei beni deperibili. È quasi impossibile immaginare la vita senza refrigerazione e aria condizionata.

Purtroppo, il tempo ha evidenziato anche il fortissimo impatto ambientale negativo causato dai gas alogenati usati in tali dispositivi: il buco dell'ozono e il surriscaldamento atmosferico. Quindi, il campo della refrigerazione si è allontanato dai refrigeranti tradizionali ed è alla ricerca di alternative migliori. La refrigerazione termoacustica (TAR) può essere una di queste alternative, in quanto può fornire il raffreddamento a qualsiasi livello di temperatura senza l'uso di sostanze nocive per l'ambiente. Infatti, i TAR facilmente si adattano all'uso di fluidi inerti come l'elio che non causano danni all'ambiente o alle persone in caso di fuoriuscita. Inoltre, le normali pressioni di funzionamento sono circa le stesse di quelle dei sistemi di compressione del vapore, così la refrigerazione termoacustica è altrettanto sicura in questo senso. Inoltre i TAR possono essere guidati dai motori termoacustici ed in questo caso la potenza in ingresso può essere fornita da qualsiasi fonte di calore compreso il calore di scarto derivante da altri processi. Quindi i dispositivi combinati TAR/TAE non hanno alcun impatto negativo sull'ambiente in quanto utilizzano fonti di energia che altrimenti andrebbero sprecate. Nel complesso, la refrigerazione termoacustica è molto più rispettosa, in termini di sicurezza personale e ambientale, rispetto ai metodi di refrigerazione convenzionali.

Oltre a ridurre l'impatto ambientale, si possono ridurre anche i costi economici e costruttivi. I refrigeratori termoacustici non presentano parti in movimento e sono meccanicamente più semplici e quindi più economici da produrre rispetto alla tecnologia convenzionale. Le componenti non sono intrinsecamente costose per cui anche i costi di produzione iniziali dovrebbero essere bassi. Inoltre, la semplicità costruttiva comporta maggiore affidabilità, richiedendo poca o nessuna manutenzione. Conseguentemente hanno una vita molto più lunga rispetto ai refrigeratori classici.

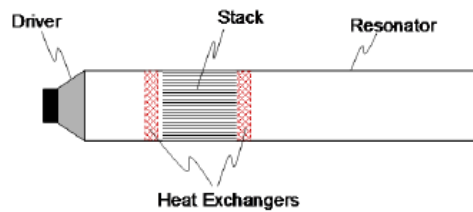
Uno svantaggio, invece, è la mancanza di efficienza negli attuali TAR rispetto alla compressione del vapore. Le tecniche di refrigerazione tradizionali hanno avuto il beneficio di generazioni di ricerca ed applicazioni mentre la refrigerazione termoacustica è una tecnologia nuova che però sta diventando sempre più importante nel mondo della ricerca e quindi potrebbe, un domani, sostituire la compressione di vapore come tecnologia primaria usata nelle applicazioni di refrigerazione.

Lo scopo di tale studio è di fornire i concetti fondamentali per la comprensione e la progettazione delle macchine termoacustiche a ciclo inverso ed in modo particolare delle macchine funzionanti come refrigeratori: *il refrigeratore termoacustico ad onde stazionarie e ad onde progressive.*

I principi di funzionamento e di realizzazione di un refrigeratore termoacustico sono teoricamente elementari. Essi fruttano l'energia acustica fornita al sistema per il trasferimento di calore da una sorgente a temperatura più bassa ad una a temperatura più alta.

Dopo una descrizione qualitativa delle fasi termodinamiche di tali macchine sono state individuate le componenti del sistema su cui focalizzare interventi atti al miglioramento delle performance.

La configurazione di un semplice refrigeratore ad onda stazionaria è quella mostrata in figura:



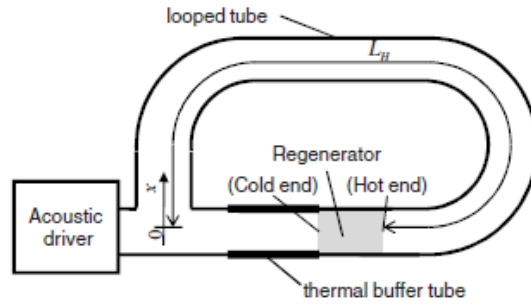
Configurazione di un refrigeratore termoacustico ad onde stazionarie.

Le componenti essenziali di un refrigeratore termoacustico sono: un cilindro chiuso, che diventa un risonatore se su di esso viene installato un driver acustico (ad esempio, un altoparlante), uno stack e due scambiatori di calore situati alle due estremità dello stack.

Per questo dispositivo elementare è stato approfondito un algoritmo di ottimizzazione il cui scopo è quello di massimizzare il COP dell'impianto funzione di un notevole numero di variabili. In particolare, per un TAR ad onde stazionarie, il sistema termoacustico viene diviso in quattro moduli principali (stack, risonatore, scambiatori di calore e driver acustico) in modo da progettarli e ottimizzarli separatamente e quindi, sfruttando i risultati così ottenuti, progettare e ottimizzare l'intero sistema. Tale studio se da un lato ha mostrato la possibilità di aumentare il rendimento dall'altra ha evidenziato che i TAR ad onda stazionaria hanno prestazioni alquanto limitate.

I recenti dispositivi ad onda progressiva si basano invece sul funzionamento di un ciclo Stirling inverso con la differenza che i pistoni, e quindi le parti in movimento, sono stati sostituiti da un tubo di risonanza con configurazione toroidale noto come "looped tube". Con tali modifiche si sono raggiunti COP del 60% dell'ideale inverso di Carnot.

Un refrigeratore termoacustico ad onda progressiva essenzialmente consta di un tubo a forma di toro, un driver acustico e un rigeneratore. Una parte del tubo dall'estremità fredda è isolata termicamente ed è chiamata "thermal buffer tube", il quale provvede a determinare un cuscinetto termico tra la temperatura dell'estremità fredda del rigeneratore e quella a temperatura ambiente.

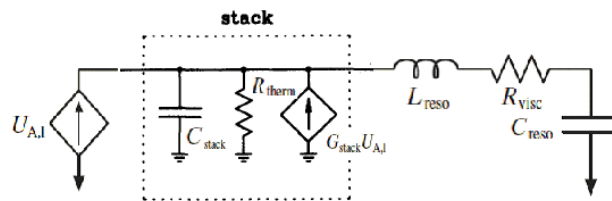


Schema di un refrigeratore ad onde progressive.

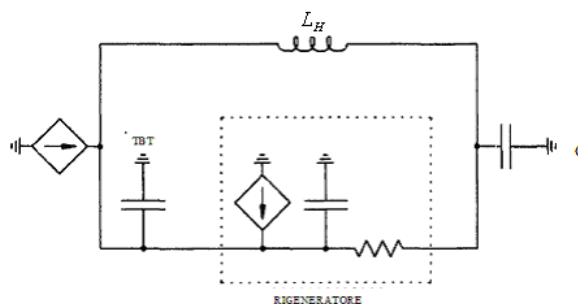
Quando un'oscillazione è indotta dal driver acustico si genera un'onda che viaggia all'interno del tubo. Il gas nel rigeneratore interagisce termicamente con le pareti solide e quindi è sottoposto ad un ciclo termodinamico simile al ciclo intrinsecamente reversibile di Stirling.

Anche per il refrigeratore ad onde progressive è stato analizzato un algoritmo di ottimizzazione. Sono state riscontrate notevoli difficoltà relative alla progettazione degli scambiatori di calore a causa della mancanza di relazioni che esprimessero l'efficienza per flusso alternato. È stato invece analizzata in dettaglio l'ottimizzazione del rigeneratore in funzione della sua posizione, della sua lunghezza e della dimensione dei pori.

Lo studio delle macchine termoacustiche inverse, in tale trattazione è stato completato utilizzando l'analogia elettro-acustica che ha permesso di rappresentare tali dispositivi attraverso modelli a "parametri concentrati" così come riportato ad titolo di esempio nelle figure sottostanti per refrigeratore ad onde stazionarie e progressive rispettivamente.



Modello ad elementi aggregati del dispositivo ad onde stazionarie.



Modello a parametri concentrati di un TAR ad onde progressive.

Ad oggi esistono applicazioni commerciali prodotte da due multinazionali: un interessante apparecchio per la produzione di azoto liquido costruito dalla Praxair e, nel settore della distribuzione alimentare, la catena di gelateria Ben & Jerry di proprietà del gruppo Unilever ha provveduto a dotare i propri punti vendita di frigoriferi-espositori orizzontali dotati di un gruppo termoacustico molto compatto.