

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria meccanica

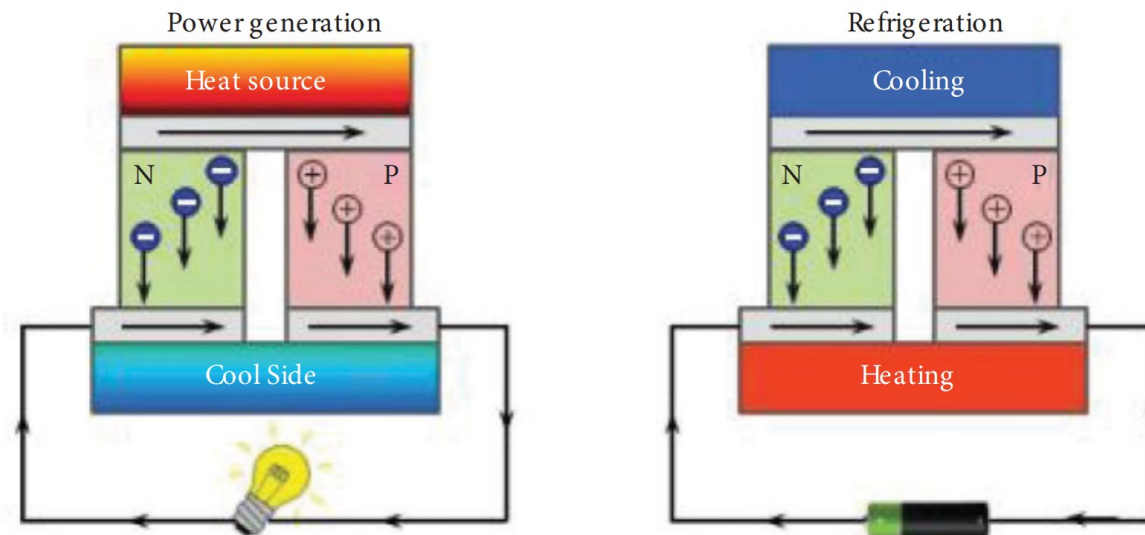
Relazione per la prova finale
«FENOMENI TERMOELETTRICI E
LORO APPLICAZIONI»

Tutor universitario: Prof. Stefano Bortolin

Laureando: *Giovanni Zago*

Padova, 17/07/2023

La termoelettricità in fisica è l'insieme dei fenomeni di conversione di calore in elettricità e viceversa descritta dall'effetto Seebeck , Peltier , Thomson .
Un po' tutti i materiali mostrano qualche proprietà termoelettrica, tuttavia nella maggior parte dei casi si tratta di fenomeni talmente insignificanti da risultare del tutto inutili e assolutamente trascurabili. Sono invece pochi e ben determinati i cosiddetti "materiali termoelettrici", quelli cioè che presentano effetti termoelettrici rilevanti e che per questo (oltre ad altre caratteristiche, come ad esempio il basso costo) possono essere utilizzati concretamente per sfruttare i principi della termoelettricità.



1) Fenomeni termoelettrici :

- Effetto Seebeck
- Effetto Peltier
- Effetto Thomson

2) Materiali :

- Materiali termoelettrici compositi
- Concetti di modulazione di doping

3) Applicazioni :

- Modulo termoelettrico
- Moduli termoelettrici commerciali ed unità frigorifere
- Cella di Peltier
- Termocoppia

Quando c'è un gradiente di temperatura tra due estremità di materiale termoelettrico può essere generato un voltaggio :

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

Usando il modello di gas di Fermi il coefficiente di Seebeck sarà :

$$S \approx \frac{\pi^2 k_B}{3e} \frac{T}{T_F} \quad (\text{formula di Mott})$$

Nella produzione di semiconduttori, il doping è l'introduzione intenzionale di impurità , il coefficiente di Seebeck ha massimo valore dove il semiconduttore è leggermente drogato :

$$S = -\frac{\pi^2 k_B T}{3e} \left[\frac{d \ln \sigma(E)}{dE} \right]_{E=E_F},$$

$$\sigma(E) = en(E)\mu(E),$$

Un altro importante formula è la dipendenza del coefficiente di Seebeck tra la media dell'energia (E_J) di trasporto degli elettroni e E_F :

$$S = -\frac{E_J - E_F}{qT},$$

L'effetto Peltier è il inverso per asportare calore applicando corrente elettrica ad un materiale termoelettrico , Il coeff di Peltier (π) è legato al coeff di Seebeck da :

$$\pi = ST$$

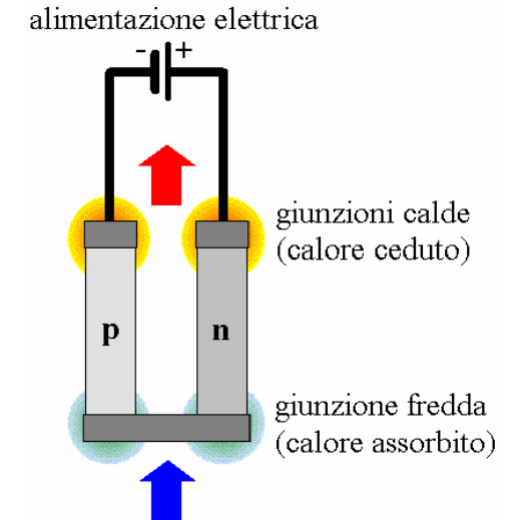
La potenza termica sottratta alla giunzione fredda per effetto Peltier è proporzionale alla corrente:

$$Q_a = T_2 I P = c$$

La potenza termica trasferita attraverso la coppia per effetto Fourier, ovvero per conduzione termica dalle giunzioni calde alle giunzioni fredde, è calcolabile mediante la relazione seguente:

$$Q_F = (k_p + k_n) \frac{A}{S} (T_h - T_c) = 2kG (T_h - T_c)$$

Nella valutazione delle prestazioni dei moduli termoelettrici, è consuetudine assumere che a , r e k siano costanti nel semiconduttore.



Una coppia termoelettrica elementare è costituita da due prismi (pellet) in materiale semiconduttore.

Quando una corrente elettrica attraversa una parete di un materiale con gradiente di temperatura, l'effetto Peltier continuo può verificarsi, questo è chiamato effetto Thomson :

$$\dot{q} = - K_{TH} J \frac{dT}{dx}$$

Il coeff di Thomson è legato al coeff di Seebeck dalla relazione :

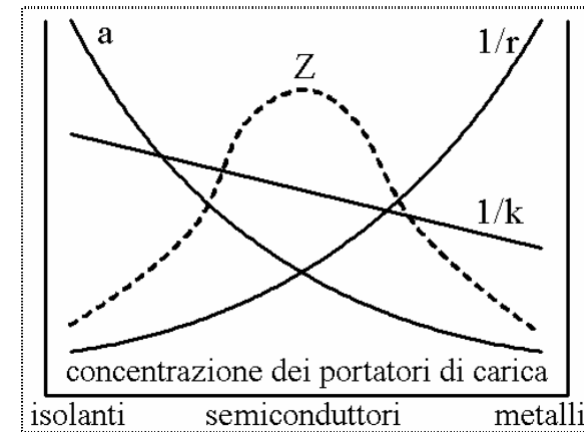
$$K_{TH} = T \frac{dS}{dT}$$

In generale, si può dimostrare che i principali parametri prestazionali di un modulo termoelettrico per refrigerazione dipendono principalmente dalla cosiddetta "figura di merito" Z della coppia di materiali impiegati, definita come segue:

$$Z = \frac{a^2}{rk}$$

La potenza termica che in condizioni stazionarie è sottratta alla giunzione fredda di una coppia termoelettrica è in definitiva data dalla somma algebrica dei diversi contributi, dovuti agli effetti Peltier, Joule e Fourier:

$$Q_c = Q_p - Q_j - Q_f = 2 \left[a T_c I - \frac{1}{2} \frac{r}{G} I^2 - kG(T_h - T_c) \right]$$



Le sfide nella ricerca di materiali termoelettrici con prestazioni più elevate partono dalla formula principale per valutare le prestazioni termoelettriche, la cifra di merito del materiale adimensionale risulta :

$$ZT = \left(\frac{S^2 \sigma}{k} \right) T$$

Pochi materiali hanno la combinazione richiesta di grande S, alta σ e bassa κ necessari per ottenere ZT elevati .

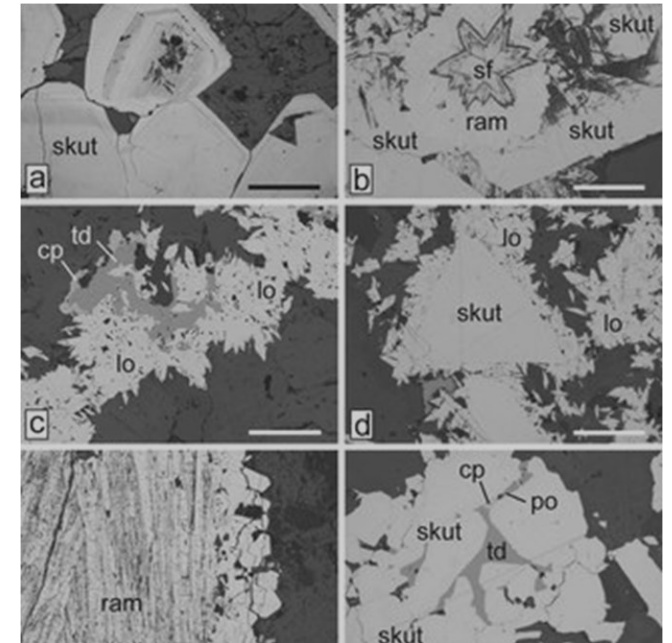
$$\sigma = ne\mu$$

La conduttività termica totale : $\kappa = \kappa_L + \kappa_e \approx \kappa_L$

Sostituendo σ e κ nell'espressione per ZT si ottiene :

$$ZT \approx (S^2 n) \left(\frac{\mu}{\kappa_L} \right) eT$$

La nanostrutturazione di materiali che utilizzando inclusioni su scala nanometrica all'interno di una matrice di massa di un già buon materiale termoelettrico, hanno ulteriormente determinato un aumento delle prestazioni termoelettriche .



cristallo di skutterudite

Poiché i valori di conducibilità termica si stanno avvicinando ai minimi teorici in molti materiali termoelettrici, gli sforzi per ottenere le migliori prestazioni termoelettriche sono ora sempre più focalizzate sul potenziare il fattore di potenza attraverso :

- la modifica delle strutture delle bande tramite drogaggio
- la modifica dei meccanismi della diffusione del vettore
- l'aumento della degenerazione della banda regolando la concentrazione
- la struttura del vettore per ottenere allineamenti di banda accidentali

Materiali termoelettrici compositi :

- alta conduttività elettrica
- alto coefficiente di Seebeck
- bassa conduttività termica



Caratteristiche non ottenibili con un singolo materiale cristallino

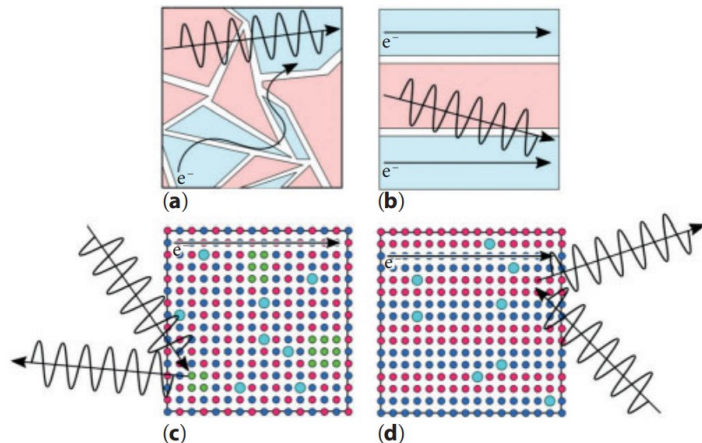
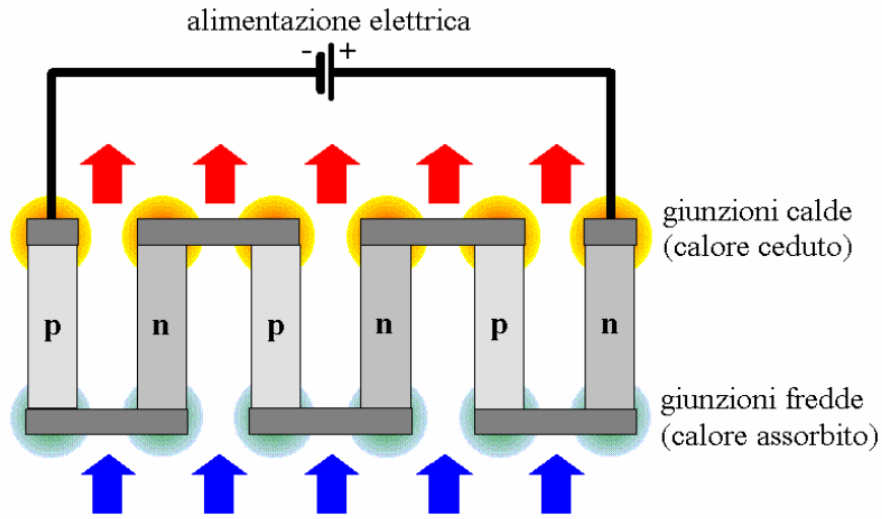


Diagramma schematico dei processi di trasporto elettrico e termico in isotropo e compositi anisotropi e nanocompositi.

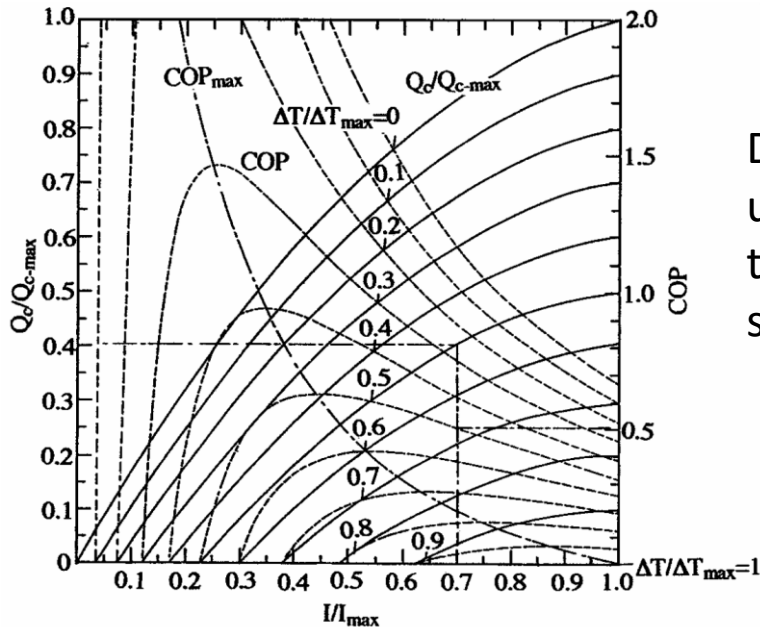


Le coppie sono connesse elettricamente in serie mediante piastrine in rame saldate alla estremità dei prismi in semiconduttore .

Potere frigorifero di una pompa di calore termoelettrica costituita da N coppie :

$$Q_c = N(Q_p - Q_j - Q_f) = 2N \left[a T_c I - \frac{1}{2} \frac{r}{G} I^2 - kG(T_h - T_c) \right]$$

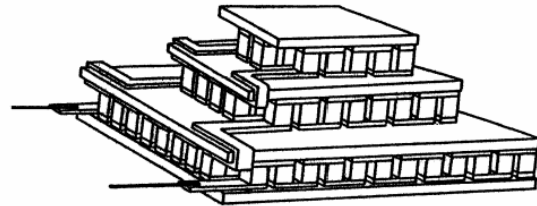
Diagramma universale per moduli termoelettrici a singolo stadio.



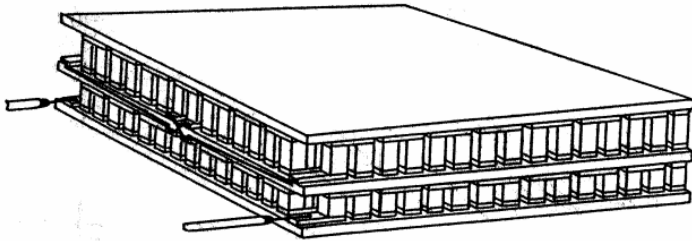
La potenza elettrica assorbita da un modulo termoelettrico :

$$P = \Delta V \cdot I = 2N \left[a T_h (T_h - T_c) I + \frac{r}{G} I^2 \right]$$

Coefficiente di prestazione : $COP = \frac{Q_c}{P}$

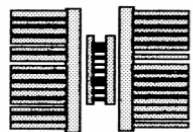


Moduli termoelettrici multistadio , a causa delle tensioni indotte dalle dilatazioni termiche differenziate tra lato caldo e lato freddo e della scarsa resistenza a flessione dei materiali impiegati, il numero di coppie integrabili è limitato a <256 .

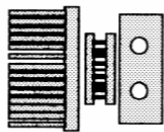


-l'efficienza di un modulo termoelettrico cala drasticamente con l'aumentare della differenza tra la temperatura del suo lato freddo e la temperatura del lato caldo

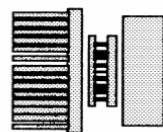
-intervallo utile per la temperatura operativa, fuori del quale può avere prestazioni insoddisfacenti o cessare di funzionare



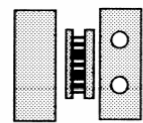
aria-aria



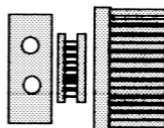
aria-liquido



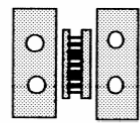
aria-solido



solido-liquido

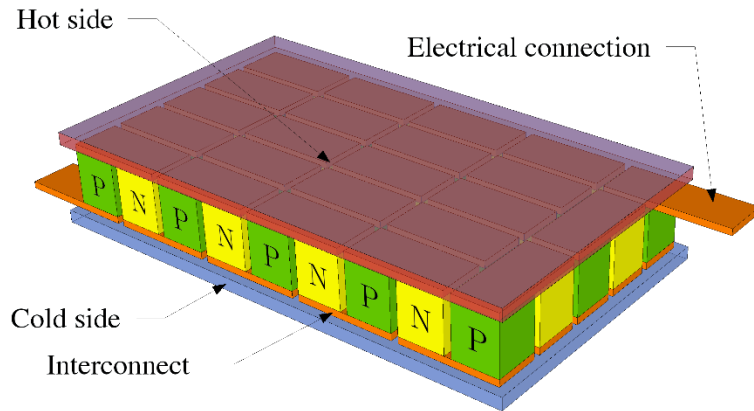


liquido-aria



liquido-liquido

è necessario corredare un modulo termoelettrico di adeguati dispositivi per la dissipazione del calore.



- alto assorbimento di corrente elettrica
- caduta di tensione ai capi
- alimentazione a corrente costante
- no ciclaggio
- rischio condensa



Il rendimento di una cella di Peltier è massimo quando la differenza fra lato caldo e lato freddo è molto bassa e quanto più è bassa la corrente assorbita.



Utilizzate dove occorre spostare piccole quantità di calore (generalmente parti passive)

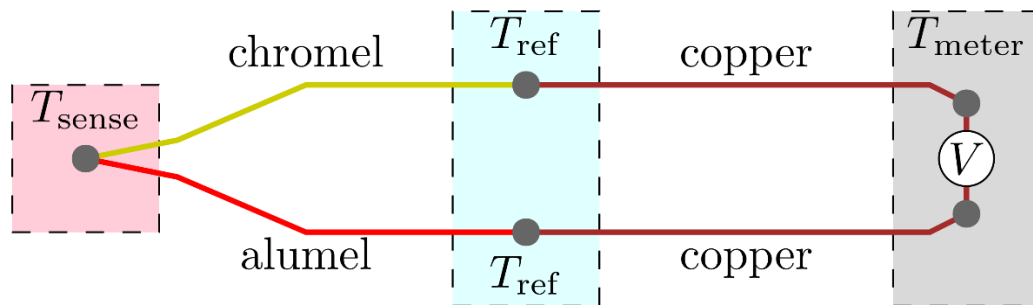
AMBITO	APPLICAZIONI
medicale e farmaceutico	<ul style="list-style-type: none"> • controllo termico di sistemi di laboratorio e per analisi • frigocontenitori per conservazione e trasporto farmaci ed organi • piastre per terapia del freddo
elettronica e telecomunicazioni	<ul style="list-style-type: none"> • controllo termico di processori • controllo termico di cabinet per apparecchiature elettroniche • stabilizzazione termica di diodi laser per fibre ottiche, sensori CCD, lampade a led, ecc.
automotive	<ul style="list-style-type: none"> • frigoriferi compatti • controllo termico di sensori nell'infrarosso per sistemi di guida notturna • caschi motociclistici refrigerati • sedili refrigerati • volanti refrigerati
scientifico	<ul style="list-style-type: none"> • stabilizzazione termica di sensori e sistemi di calibrazione e misura • piastre fredde e calde per laboratorio • camere climatiche
militare e aerospaziale	<ul style="list-style-type: none"> • stabilizzazione termica di sensori per missili ed apparati di ricerca notturna
domestico e civile	<ul style="list-style-type: none"> • vani per conservazione di medicinali • minibar per uffici e alberghi • frigoriferi e scaldavivande portatili • controllo termico di acquari • distributori di bevande e gelati • espositori refrigerati per grande e piccola distribuzione • cantine per vini • frigoriferi domestici

La termocoppia è un trasduttore di temperatura il cui funzionamento è basato sull'effetto Seebeck.



è costituita da una coppia di conduttori elettrici di diverso materiale uniti tra loro in un punto, ed è composta da :

- giunto caldo o giunzione calda
- armatura giunto caldo
- giunto freddo (esposto)



Rappresentazione circuitale di una termocoppia.

Caratteristiche :

- economica
- standardizzata
- precisa
- facilmente sostituibile
- misurano un ampio intervallo di temperature

Un gruppo di termocoppie poste in serie viene detto termopila.

VANTAGGI	SVANTAGGI
Economici	Basso rendimento
Precisi nel controllo della temperatura	Rischio guasti (configurazione errata)
Modulabili (collegamento in serie)	Rischio condensazione
Dupliche utilizzo (cella frigorifera-pompa di calore)	Resistenza significativa per il controllo della tensione
Dimensioni contenute	No ciclato
Non richiedono manutenzione	

Aumentano le ricerche e gli studi che riguardano i fenomeni termoelettrici e i materiali necessari per lo sviluppo di applicazioni pratiche .

Vengono stanziati sempre più fondi da parte della Comunità Europea e da centri di studio come università e laboratori .

“Sicuramente possiamo fare qualcosa che i materiali termoelettrici attuali non possono fare, ma non ora, tuttavia, il futuro di questa ricerca è luminoso”.