

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

*Relazione per la prova finale*  
**«Analisi e applicazioni delle  
proprietà termoelettriche dei  
materiali»**

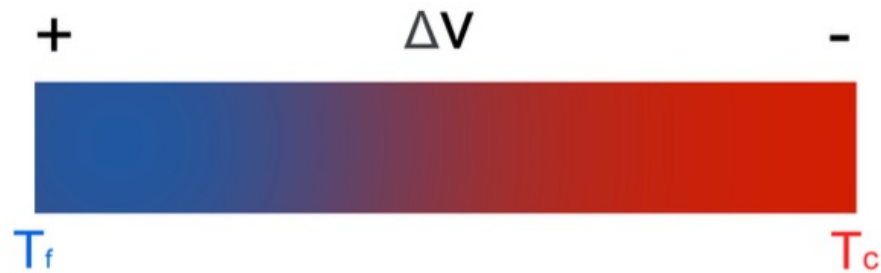
Tutor universitario: Prof. Enrico Bernardo

Laureando: *Tommaso Pisanò*

Le proprietà termoelettriche sono delle caratteristiche fisiche proprie dei materiali solidi e consistono in **un'interconnessione fra conduzione termica e conduzione elettrica**.

I tre effetti termoelettrici furono storicamente chiamati **Seebeck, Peltier e Thomson**.

Ci sono particolari **classi di materiali** in grado di manifestare in modo più evidente le proprietà termoelettriche, cosa che garantisce il loro impiego in applicazioni ingegneristiche.



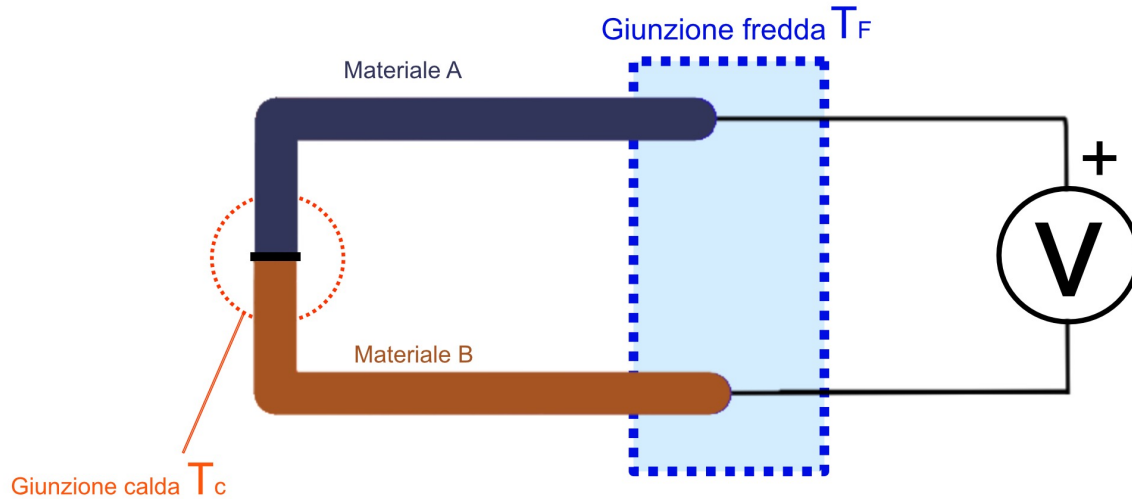
$$S(T) = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( -\frac{\Delta V}{\Delta T} \right) \quad [\text{V} / \text{K}]$$

L'effetto Seebeck è stato scoperto da da Thomas Johann Seebeck nel 1821.

Il fisico estone osservò la presenza di una **differenza di potenziale ai capi di una barra metallica sottoposta a un gradiente termico.**

I **coefficienti di Seebeck assoluti** rappresentano il coefficiente di proporzionalità fra la differenza di temperatura applicata e la differenza di potenziale che si genera.

Sono **funzione non lineare** della temperatura e possono avere segno **positivo o negativo** a seconda della natura del materiale.



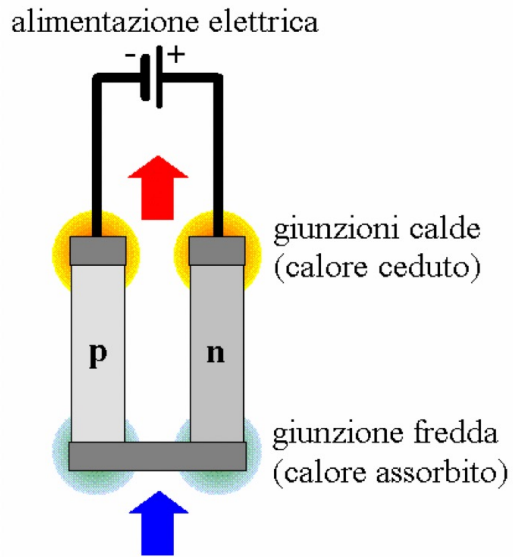
$$V = \int_{T_F}^{T_C} [S_A(T) - S_B(T)] dT = \int_{T_F}^{T_C} S_{AB}(T) dT$$

Due differenti materiali congiunti ad un'estremità costituiscono una **termocoppia**.

Le applicazioni ingegneristiche dell'effetto Seebeck si basano sull'impiego delle termocoppie. Se persiste una differenza di temperatura fra giunzione calda e fredda, ai capi della giunzione fredda si crea una differenza di potenziale misurabile.

Il valore della differenza di potenziale che si genera è definito dall'equazione sottostante, la differenza fra i coefficienti di Seebeck assoluti dei due materiali prende il nome di **coefficiente di Seebeck relativo**.

## Effetto Peltier



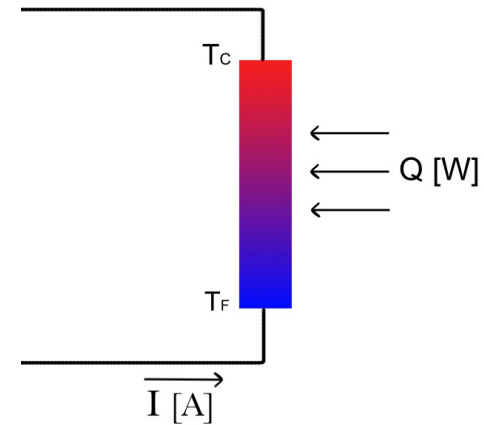
$$\frac{dQ}{dt} = \pi_{ab} I$$

$dQ / dT$  [w] potenza termica

$\pi_{ab}$  [V] coefficiente di Peltier relativo (o della termocoppia)

$I$  [A] corrente circolante

## Effetto Thomson



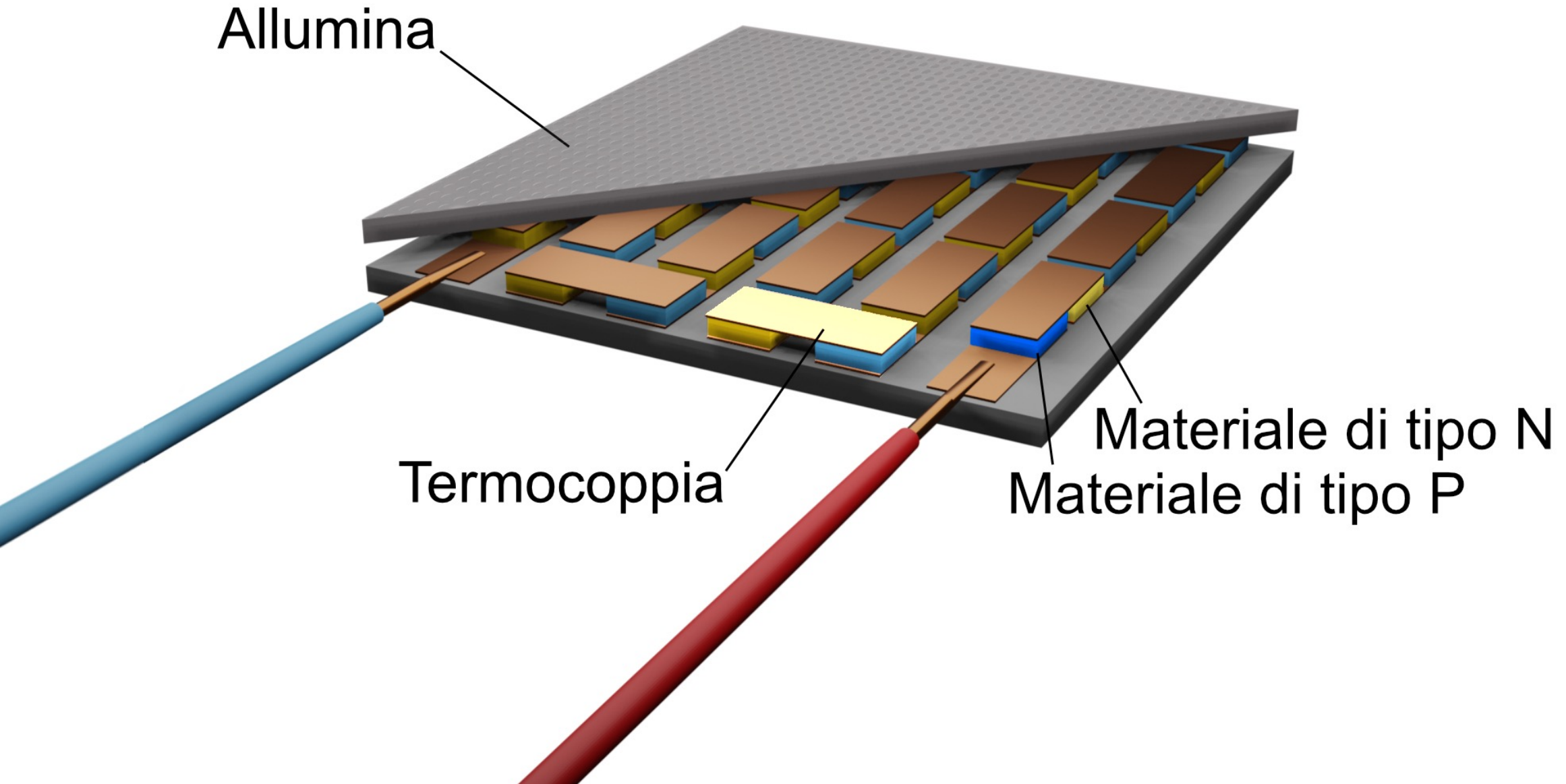
$$\frac{dQ}{dt} = \beta \Delta T I$$

$dQ / dT$  [w] potenza termica

$\beta$  [V/k] coefficiente di Thomson

$I$  [A] corrente circolante

$\Delta T$  [K] differenza di temperatura tra i capi della barra metallica



$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{K}$$

S [V/K] coefficiente di Seebeck

$\sigma$  [S/m] conduttività elettrica

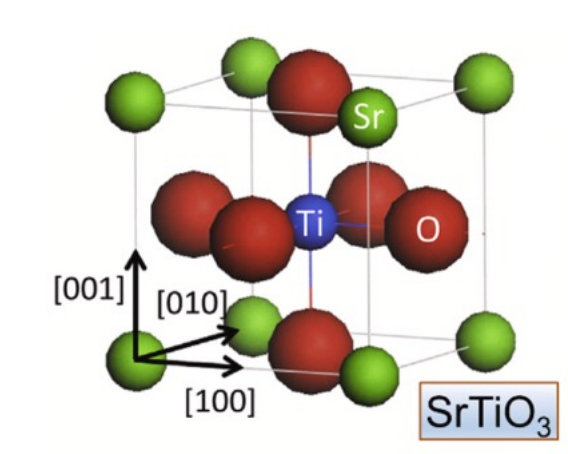
T [K] temperatura

K [W/mK] conducibilità termica

Un buon materiale deve presentare:

- **alto coefficiente di Seebeck**
- **alta conduttività elettrica**
- **bassa conducibilità termica**
- **alta temperatura di fusione**

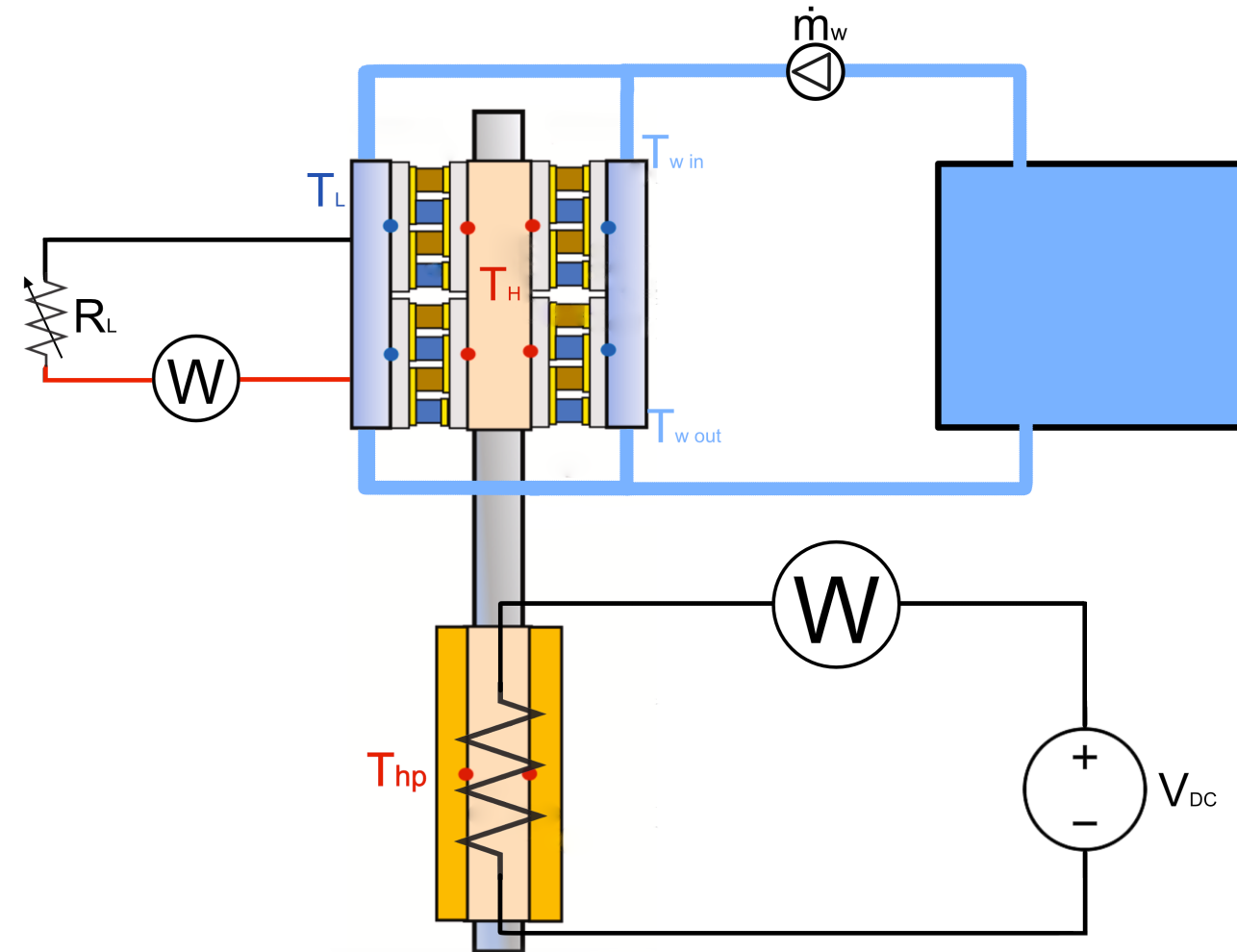
- Creato artificialmente nel 1964, nel 1982 è stato scoperto in natura, sottoforma di un minerale poi chiamato Tausonite.
- Appartiene alla **famiglia della Perovskite**, della quale eredita la disposizione atomica.



- La naturale **presenza di difetti** nella forma policristallina del materiale gioca a favore della diminuzione della conducibilità termica fononica.



- Si incrementa la presenza di difetti **affinando il grano** del policristallo e introducendo **fasi secondarie**.
- **Il drogaggio** è un'altra tecnica molto usata per incrementare le proprietà termoelettriche del materiale: può avvenire nel sito di **Sr**, con atomi come Nd, Pr, Ce, **Y**, o nel sito di **Ti** con atomi come Nb, Ta, **W**.
- Differenti tipi di drogaggio permettono di ottenere materiali a coefficienti di Seebeck positivi o negativi, nel caso del Titanato di Stronzio, il drogaggio è usato per creare **materiali di tipo n**.
- Caso **dell'agente drogante Y** nel sito di Sr :
  - Aumenta la conduttività elettrica essendo Y donatore di elettroni
  - Diminuisce la conducibilità termica grazie alla differenza di raggio ionico tra  $Y^{3+}$  e  $Sr^{2+}$ .
  - Con un drogaggio di Y del 10% si diminuisce la conducibilità termica fino a un minimo di  $\sim 2.7$  W/mK e un conseguente incremento del fattore di merito fino a  $\sim 0.3$  (a  $T=760$ K);



$Q$  [w] potenza termica generata dalla resistenza

$T_H$  [°C] temperatura interfaccia calda TEM

$T_L$  [°C] temperatura interfaccia fredda TEM

$T_{w in}$  [°C] temperatura d'ingresso dell'acqua

$T_{w out}$  [°C] temperatura d'uscita dell'acqua

$T_{hp}$  [°C] temperatura del tubo di calore nella  
zona in cui viene scaldato

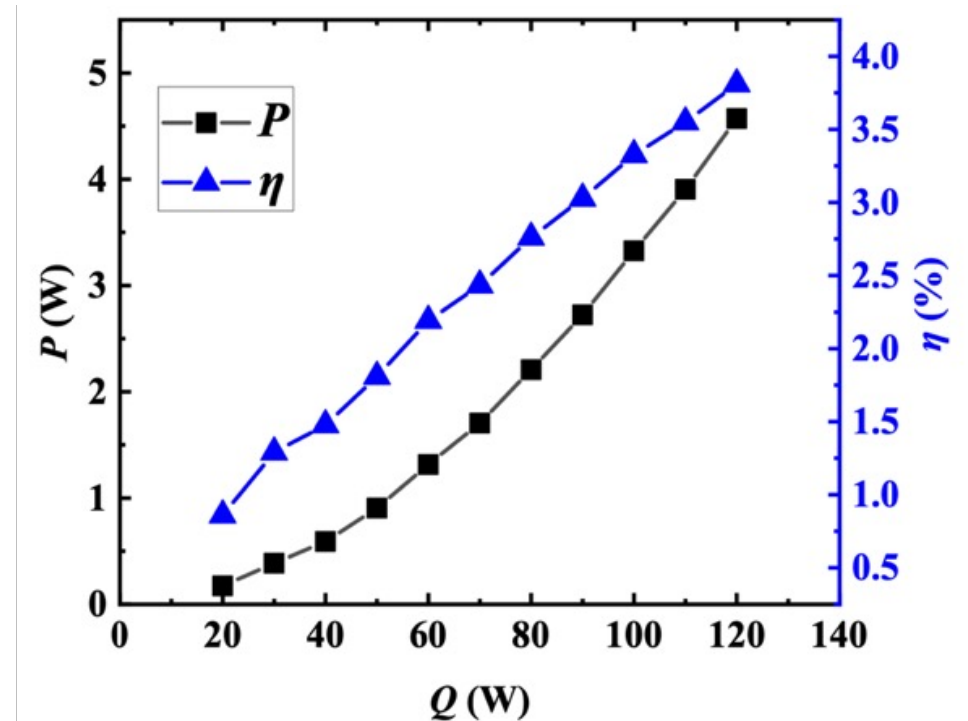
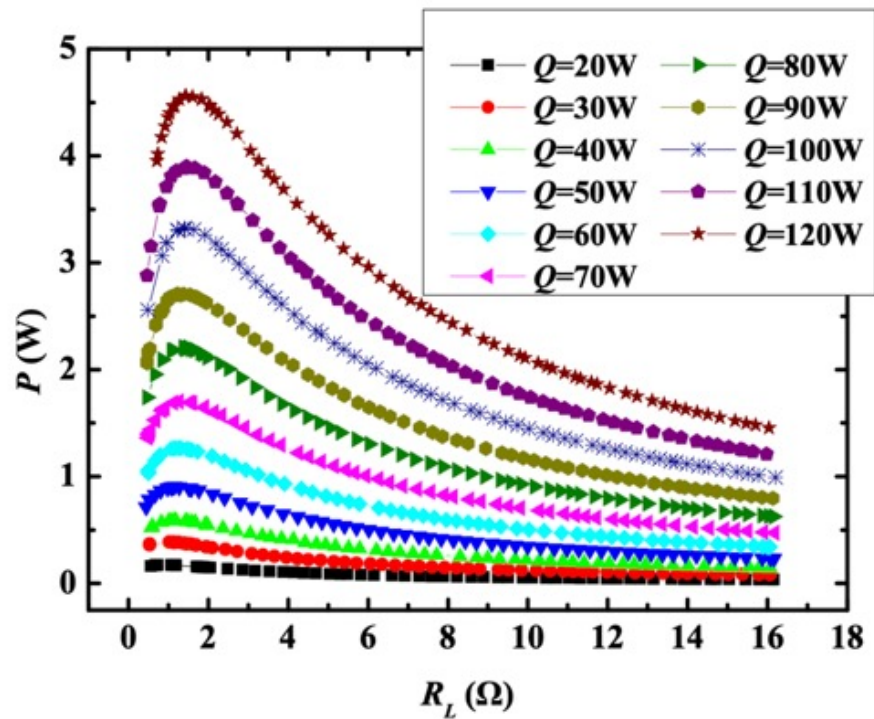
$Q_C$  [w] potenza termica prelevata dall'acqua

$m_w$  [kg/s] portata di massa dell'acqua

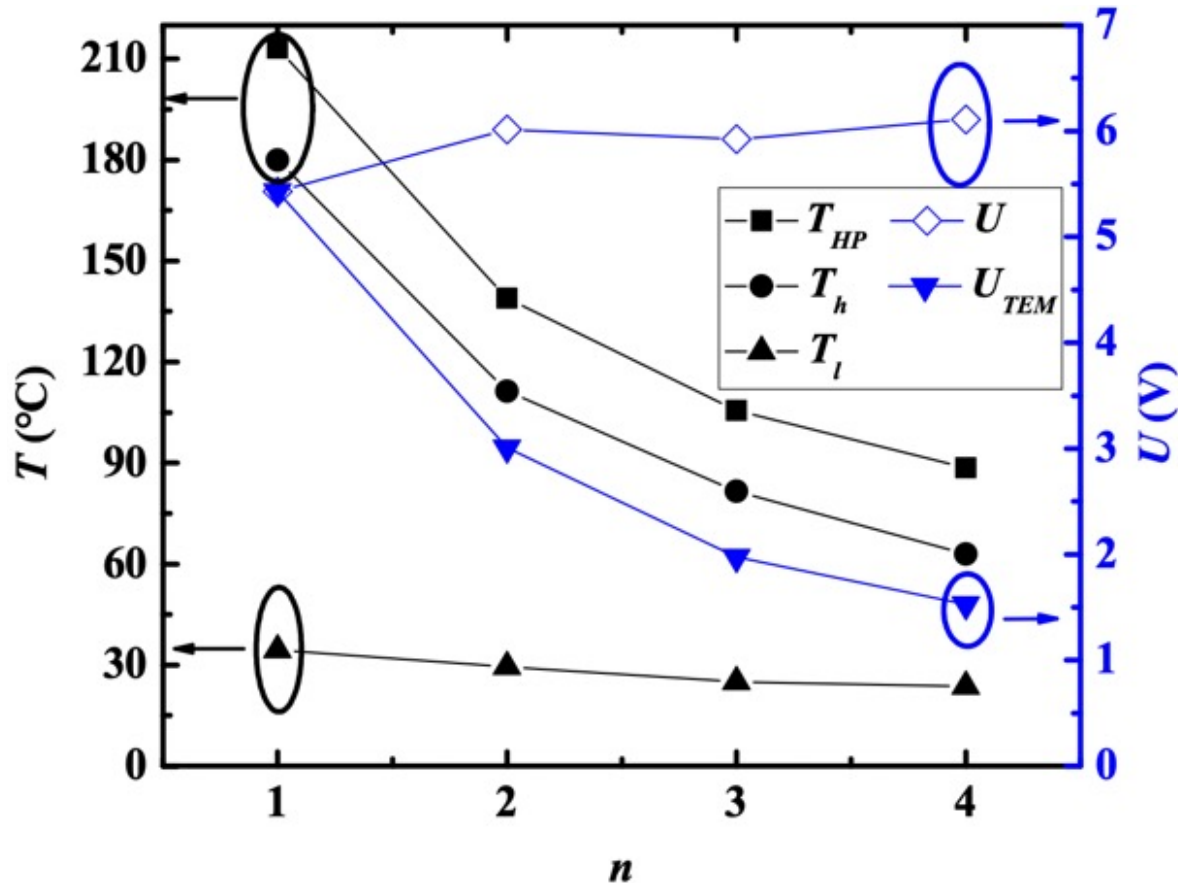
$R_L$  [ $\Omega$ ] resistenza variabile

$P$  [w] potenza prodotta dal termogeneratore

In questa prima fase, nel termogeneratore è stato installato un solo TEM.



Il punto più favorevole di funzionamento vede una potenza termica generata  $Q = 120\text{W}$ , una potenza elettrica prodotta  $P = 4.5\text{W}$  con un rendimento di conversione  $\eta = 3.81\%$ .



Il grafico è riferito alla condizione di potenza termica prodotta  $Q = 100w$

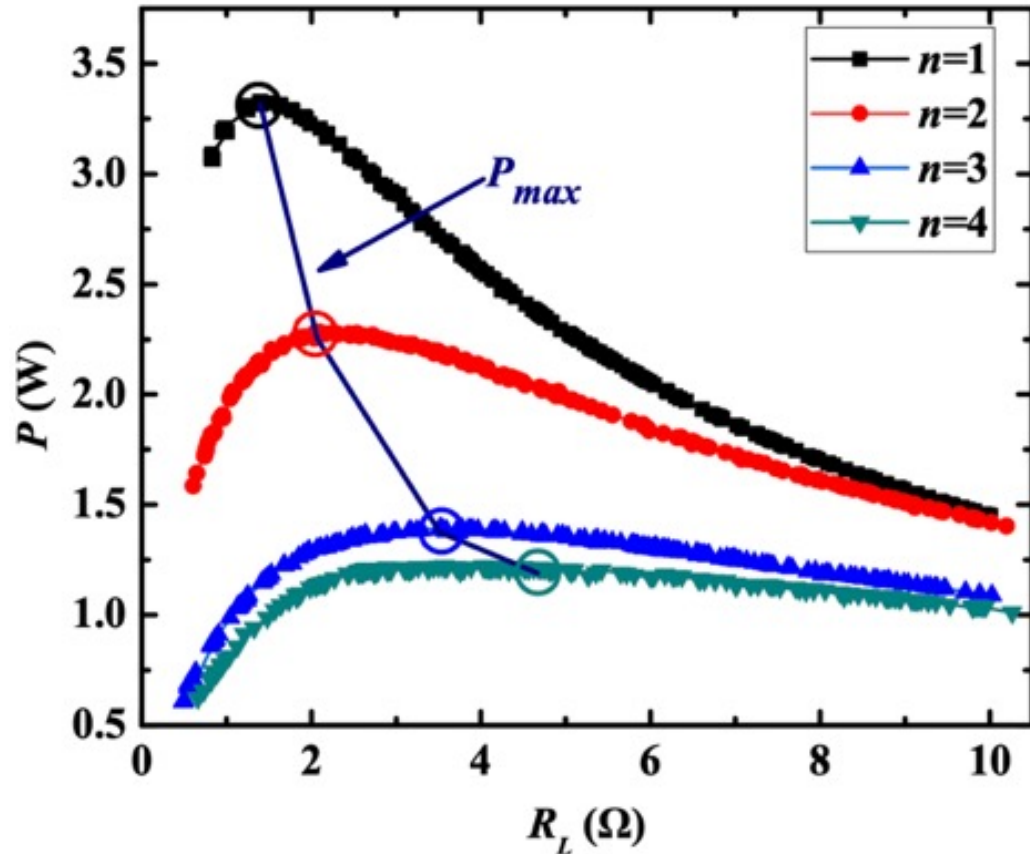
$U$  [v]: tensione dei TEM in serie

$U_{TEM}$  [v]: tensione di ogni singolo TEM

$T_H$  [°C] temperatura interfaccia calda TEM

$T_L$  [°C] temperatura interfaccia fredda TEM

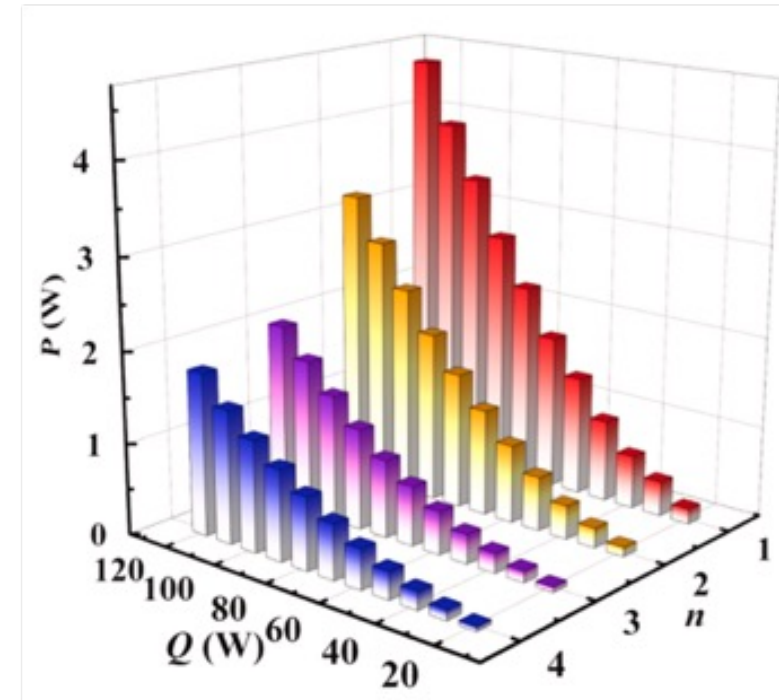
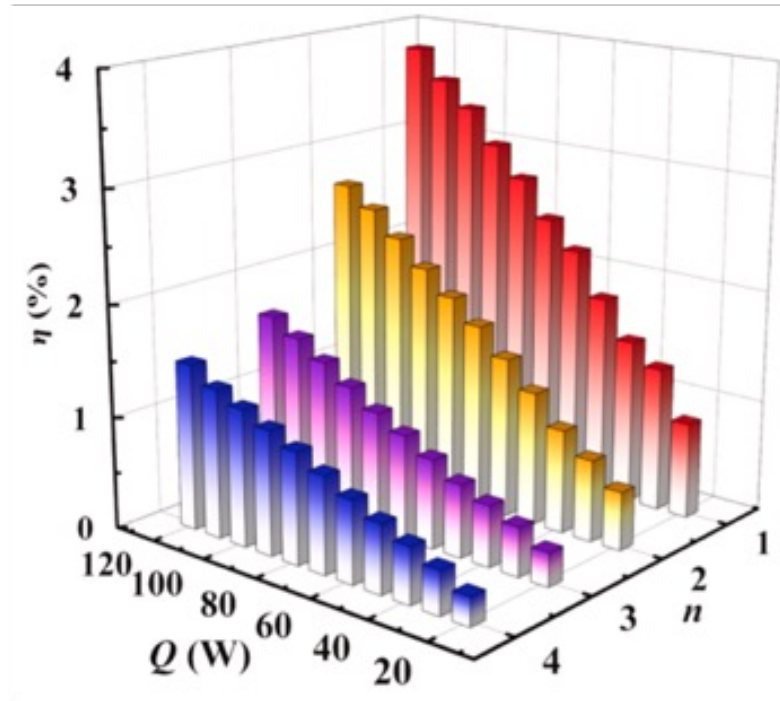
$T_{hp}$  [°C] temperatura del tubo di calore nella zona in cui viene scaldato



Il grafico è riferito alla condizione di potenza termica prodotta  $Q = 100\text{w}$

A parità di  $R_L$  la potenza prodotta diminuisce all'aumentare del numero di TEM.

All'aumentare del numero di TEM, la potenza massima si ottenga per valori di  $R_L$  [ $\Omega$ ] sempre più grandi: questo avviene perché collegando in serie i TEM, si collegano in serie anche le loro resistenze interne.



Potenza prodotta  $P$  [w] e rendimento  $\eta$  [%] assumono valori più elevati se si aumenta la potenza termica generata  $Q$  [w] e si diminuisce il numero di TEM installati.