



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Dipartimento di
**Ingegneria
e Architettura**

MISURE MECCANICHE TERMICHE E COLLAUDI

LABORATORIO MISURE DI TEMPERATURA

Prof. Marco Bogar

A.A. 2023-2024

LE TERMOCOPPIE

Le termocoppie sono dei trasduttori di temperatura il cui principio di funzionamento è basato sull'effetto Seebeck.

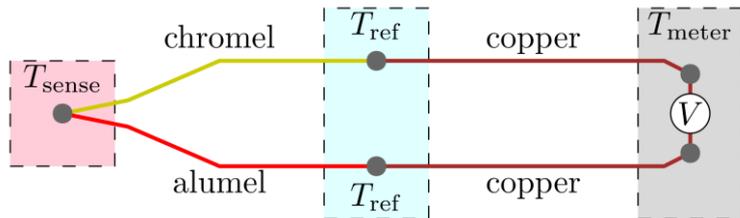
L'effetto Seebeck è l'effetto termoelettrico per il quale, in un circuito costituito da conduttori metallici o semiconduttori, a seguito di una differenza di temperatura si sviluppa una differenza di potenziale.

L'intensità della differenza di potenziale dipende dai materiali considerati e il coefficiente di Seebeck è il parametro che quantifica l'effetto termoelettrico:

$$\sigma(T) = \frac{dV}{dT}$$

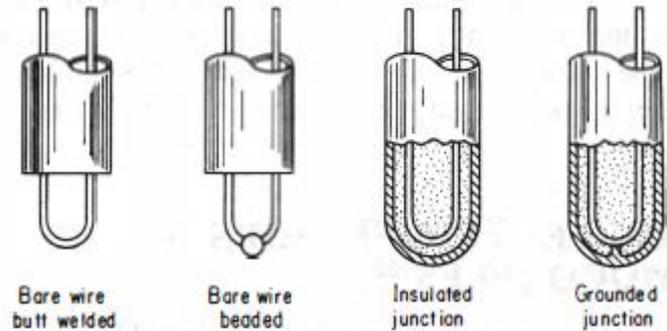
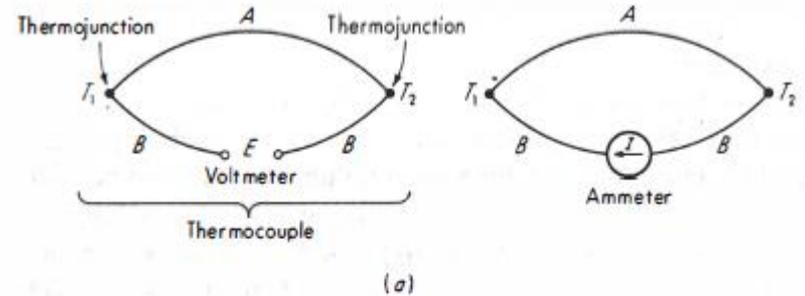
LE TERMOCOPPIE

L'effetto Seebeck può quindi essere impiegato per realizzare dei sensori composti da una coppia di materiali giuntati tra loro nel punto di misura (giunto caldo). La differenza di tensione di ognuno dei due rami del circuito viene quindi misurata in corrispondenza del cosiddetto giunto freddo, che costituisce quindi il punto di riferimento per la misura stessa.



https://it.wikipedia.org/wiki/Termocoppia#/media/File:Thermocouple_circuit_Ktype_including_voltmeter_temperature.svg

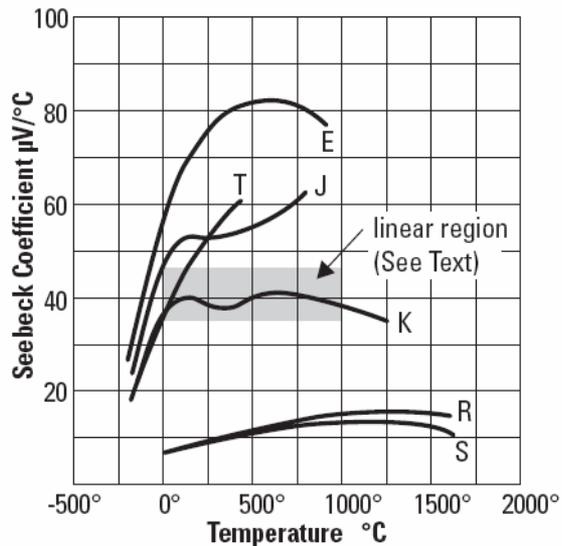
$$V = \sigma(T)\Delta T$$



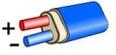
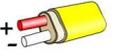
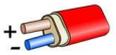
(b)

LE TERMOCOPPIE

Il coefficiente di Seebeck non è però lineare e assume andamenti differenti in funzione del tipo di termocoppia utilizzato



Tipo	Composizione
J	Fe/CuNi
K	NiCr/NiAl
T	Cu/CuNi
E	NiCr/CuNi
N	NiCrSi/NiSi
B	Pt ₇₀ Rh ₃₀ /Pt ₉₄ Rh ₆
S	Pt ₉₀ Rh ₁₀ /Pt
R	Pt ₈₇ Rh ₁₃ /Pt

Modello Termocoppia	 ANSI MC96.1	 IEC 584-3	 BS 4937	 DIN 43714	 JIS C1610
J					
K					
T					
E					
N					
R					
S					
B					

<https://errep-sas.it/termocoppie-e-termoresistenze/termocoppie-e-termoresistenze/>

Fe-CuNi

LE TERMOCOPPIE

Tipo	Composizione	Intervallo operativo (°C)	Sensibilità ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
J	Fe/CuNi	-40 / 750	51.7
K	NiCr/NiAl	-200 / 1260	41
T	Cu/CuNi	-200 / 400	48.2
E	NiCr/CuNi	95 / 900	68
N	NiCrSi/NiSi	650 / 1250	10
B	Pt ₇₀ Rh ₃₀ /Pt ₉₄ Rh ₆	50 / 1800	10
S	Pt ₉₀ Rh ₁₀ /Pt	43 / 1600	5.4
R	Pt ₈₇ Rh ₁₃ /Pt	43 / 1600	6 – 12

LE TERMOCOPPIE

La misura di temperatura tramite termocoppie richiede un sistema di acquisizione dati accurato poiché le variazioni di tensione sono dell'ordine dei mV e il rumore elettromagnetico può costituire una fonte di disturbo non trascurabile.

La conversione da misura di tensione a temperatura viene calcolata per mezzo di espressioni polinomiali di grado elevato

$$T(V) = a_0 + a_1V + a_2V^2 + a_3V^3 + \dots$$

L'ordine dell'equazione di interpolazione varia con il tipo di termocoppia e i suoi coefficienti vengono in genere ricavati per via empirica. In intervalli di misura ristretti è a volte possibile lavorare in regime di linearità.

LE TERMOCOPPIE

L'utilizzo delle termocoppie è indicato per l'ampio intervallo di temperatura misurabile e per la loro notevole resistenza meccanica oltre che per le piccole dimensioni e robustezza del "giunto caldo".

La loro versatilità relativamente ai materiali impiegati ne permettono l'uso anche in ambienti ostili

Le basse tensioni d'uscita richiedono particolare attenzione nel condizionamento del segnale di misura

SENSORI A VARIAZIONE DI RESISTENZA (RTD, RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR)

In questa classe di sensori si sfrutta la dipendenza tra la conducibilità elettrica nei metalli e la temperatura. In particolare, usare il Pt come elemento sensibile permette di garantire la realizzazione di sensori stabili nel tempo. La dipendenza tra resistenza e temperatura è data dall'equazione di Callendar-van Dusen:

$$R = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3]$$

Dove R_0 è la resistenza del sensore in condizioni standard. Per temperature tra gli 0 e i 500°C è possibile linearizzare l'equazione:

$$R = R_0[1 + AT]$$

I sensori a variazione di resistenza presentano sensibilità dell'ordine degli 0.39Ω/°C. La loro modellizzazione diviene complessa al di fuori dell'intervallo indicato e i termini polinomiali di grado superiore devono essere impiegati.

TERMISTORI

I termistori sfruttano la dipendenza di variazione di resistenza dalla temperatura dei materiali semiconduttori e si distinguono tra PTC (*Positive Temperature Coefficient*) e NTC (*Negative Temperature Coefficient*): nei primi la resistenza aumenta con la temperatura, nei secondi diminuisce.



<https://www.electricaltechnology.org/2021/11/thermistor.html>

Per gli NTC la funzione di trasferimento completa per questa classe di sensori è complessa (a quattro parametri), ma solitamente si può far uso della versione semplificata: $R = R_0 e^{-[\beta(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})]}$

Dove T_0 è la temperatura standard (298 K, 25 °C), mentre R_0 la resistenza a temperatura standard.

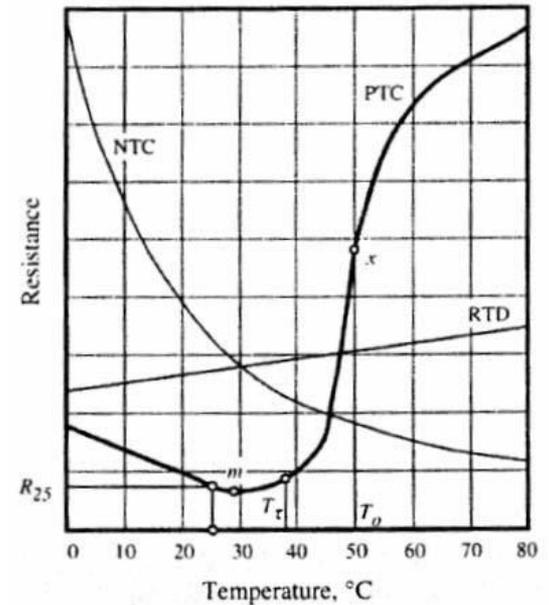
L'andamento resistenza-temperature per PTC non è invece semplificabile, ed è necessario impiegare le equazioni polinomiali fornite dal produttore.

TERMISTORI

I termistori PTC trovano maggiormente impiego in applicazioni di termoregolazione, mentre per la misura di temperatura si utilizzano con più frequenza i termistori NTC, considerata la loro caratteristica maggiormente regolare e più facilmente linearizzabile.

Rispetto agli RTD, i termistori NTC hanno una sensibilità maggiore (da 10^3 a 10^6 volte superiore per i PTC e di circa un fattore 10 per gli NTC); gli NTC offrono migliori prestazioni a basse temperature.

Presentano infine un'impedenza elevata e non richiedono particolari cure nella procedura di misura (è sufficiente un collegamento a due fili). Ma, in generale, sono meno lineari e meno stabili degli RTD.



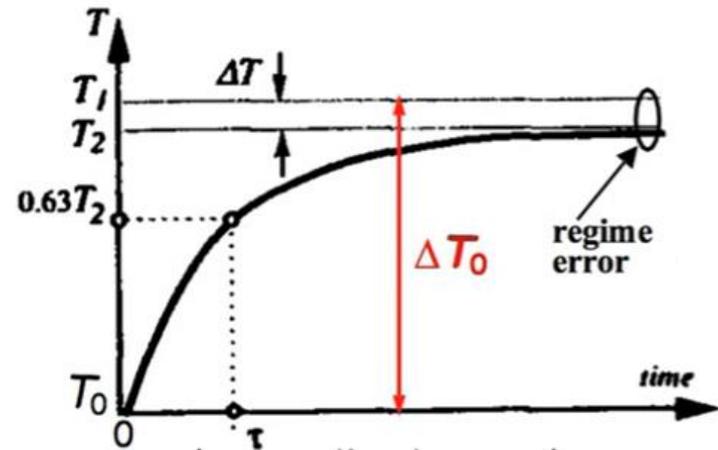
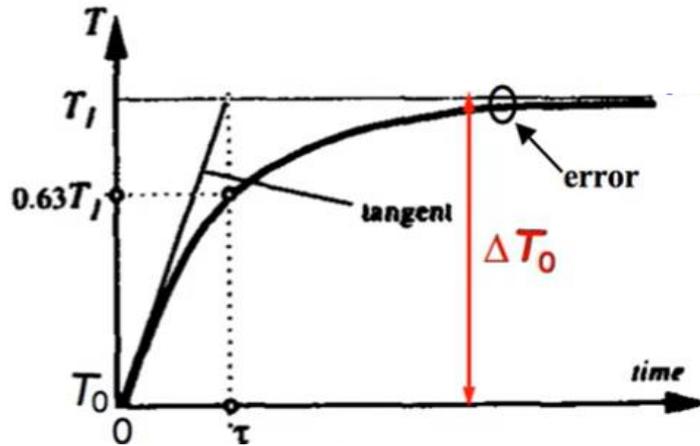


LA PROVA DI LABORATORIO

SCOPO DELLA PROVA

Comparazione delle caratteristiche dinamiche di tre diverse termocoppie.

$$T(t) = T_1 - (T_1 - T_0)e^{-\frac{t}{\tau}}$$



IL SETUP DI MISURA

T_c : termocoppia a contatto, tipo K



T_K : termocoppia, tipo K



T_I : termocoppia isolata, tipo K



T_N : NTC, 1k Ω



T_R : temperatura di riferimento (PTC)



IL SETUP DI MISURA

T_c : termocoppia a contatto, tipo K

T_i : termocoppia coibentata, tipo K

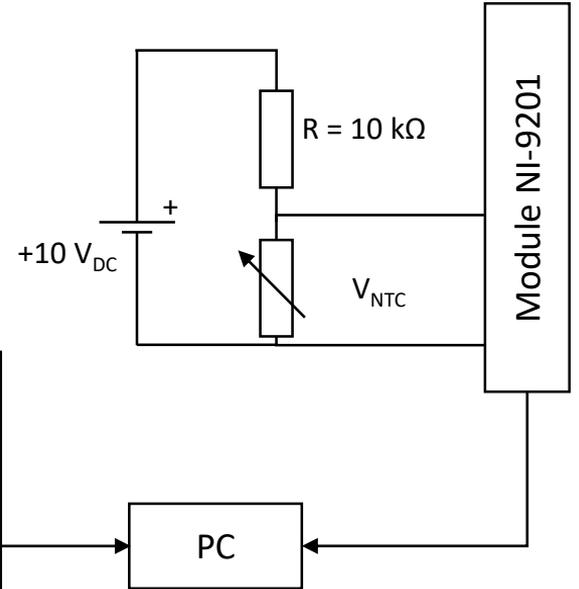
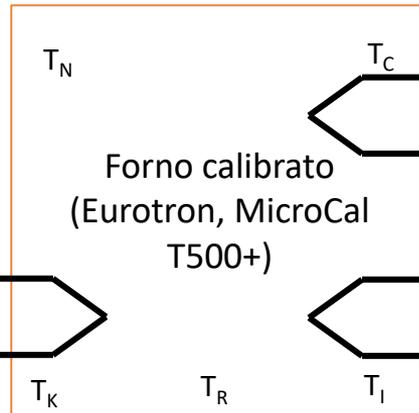
T_K : termocoppia, tipo K

T_N : NTC, 1k Ω

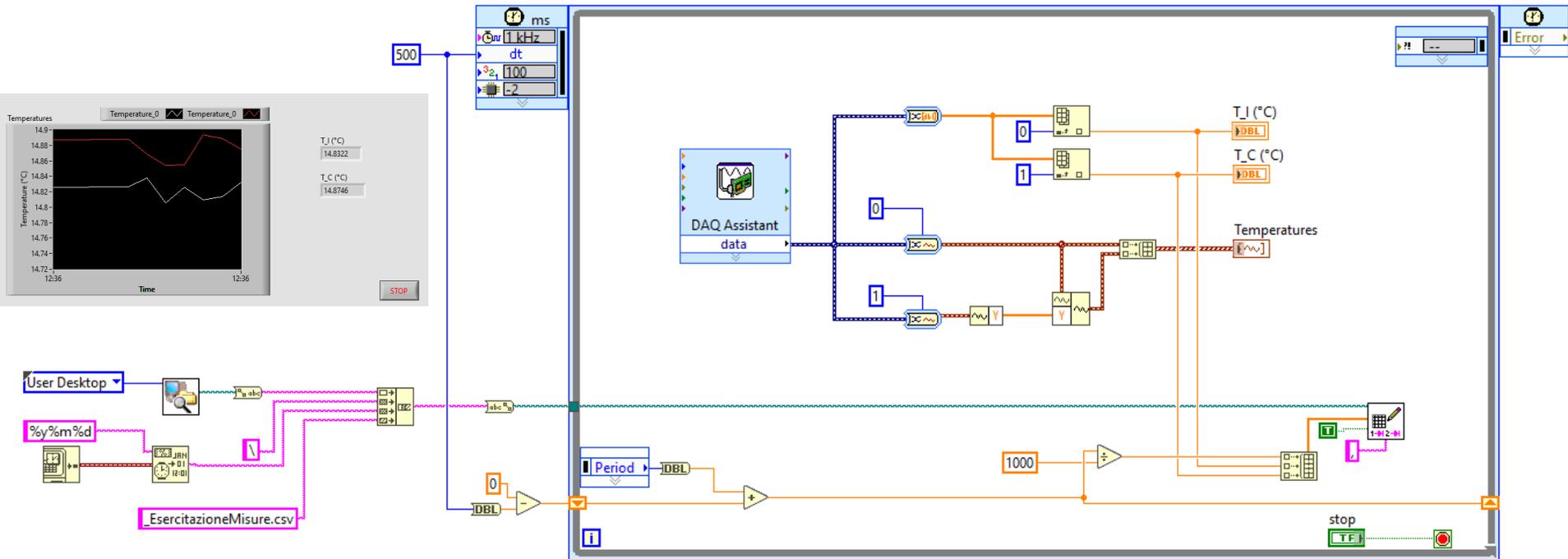
T_R : temperatura di riferimento (PTC)

Lecture manuali

Lettore calibrato
(Eurotron,
MicroCal 200)



IL SETUP DI MISURA



ANALISI DATI

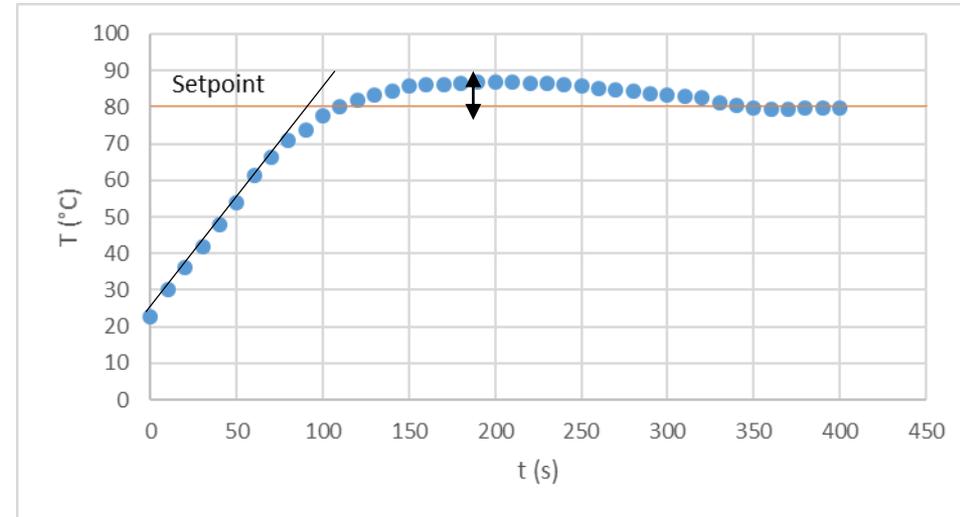
Al forno di calibrazione verrà fissato un punto di lavoro di 80 °C. La temperatura misurata dai diversi sensori sarà monitorata in funzione del tempo. I diversi sensori saranno caratterizzati in funzione di:

Velocità della risposta
(Pendenza della curva nel tratto ascendente)

Overshoot e posizione del punto di lavoro

Comparazione del tempo necessario alla termocoppia affinché l'errore < 2%.

Quantificazione dello scostamento della misura della Termocoppia rispetto alla temperatura di riferimento (T_R)



La prova sarà poi ripetuta portando la temperatura da 80 °C a 30 °C.

REPORT

Struttura base di un report delle prove di laboratorio:

1. Introduzione e scopo della prova (descrizione dello scopo della prova e degli elementi teorici atti a comprenderne scopo e natura)
2. Materiali e metodi (descrizione della strumentazione di misura, dei protocolli di misura impiegati e dell'iter computazionale, al fine di garantire la riproducibilità della prova ad un osservatore terzo)
3. Risultati (descrizione dei risultati di misura, commento dei risultati, eventuale confronto con la teoria, analisi e discussione di eventuali errori e/o discrepanze).
4. Conclusioni (riassunto di scopo e risultati principali; eventuali suggerimenti su prospettive future).



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



Dipartimento di
**Ingegneria
e Architettura**