

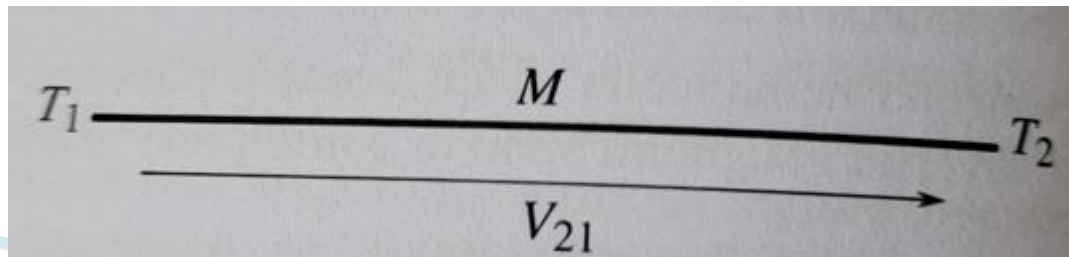
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

Le termocoppie sono i più diffusi trasduttori di temperatura in campo industriale. Esse sono costituite da due fili di due metalli, o loro leghe, diversi, uniti a un'estremità. Inseriti in un'opportuna guaina protettiva, i due fili costituiscono una sonda adatta a essere immersa in un fluido o annegata in un metallo per misurarne la temperatura. Le termocoppie sono basate sul fenomeno termoelettrico in virtù del quale su un tratto di filo metallico sottoposto a un gradiente termico nasce una differenza di potenziale, o forza elettromotrice di Seebeck (si veda la figura). Risulta:

$$V_{21} = \int_{T_1}^{T_2} \sigma(T) dT$$

dove  $\sigma(T)$  è una proprietà del metallo detta coefficiente di Seebeck. Unendo due estremità di due fili di metalli diversi, tra le altre estremità si manifesta una differenza di potenziale funzione delle temperature  $T_C$ , a cui si trova la giunzione, e  $T_F$  a cui si



*Effetto termoelettrico.*

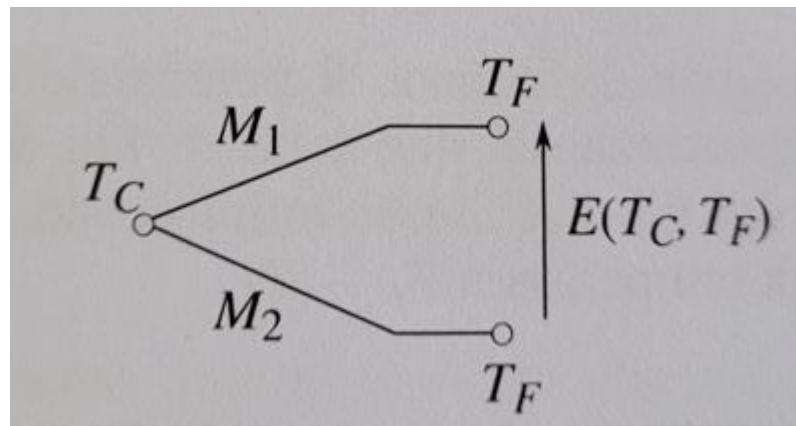
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

trovano le altre due estremità. Con riferimento alla figura, la giunzione costituisce il *giunto caldo*, o di misura, della termocoppia, le altre estremità il *giunto freddo*. La forza elettromotrice rilevabile tra le estremità del giunto freddo è data da:

$$E(T_C, T_F) = \int_{T_F}^{T_C} (\sigma_2(T) - \sigma_1(T)) dT$$

essendo  $\sigma_1(T)$  e  $\sigma_2(T)$  i coefficienti di Seebeck dei due metalli  $M_1$  e  $M_2$ . Misurando la forza elettromotrice tra le estremità del giunto freddo, conoscendo la funzione  $E(T_C, T_F)$  e la temperatura  $T_F$  del giunto freddo, si può risalire alla temperatura  $T_C$  del giunto caldo.



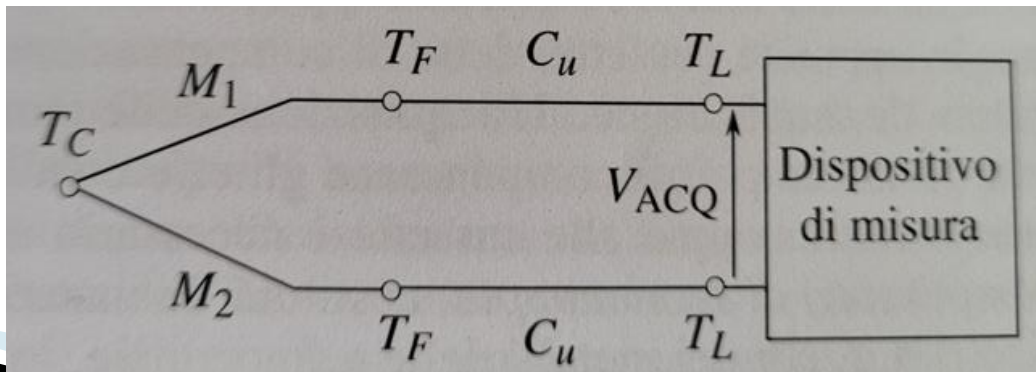
*Schema di principio di una termocoppia.*

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

Le termocoppie in commercio rispettano degli standard internazionali che, per ogni tipo, ne definiscono la forza elettromotrice  $E(T_C, 0)$ , funzione di  $T_C$  misurata per  $T_F = 0$  °C. Grazie a opportune scelte delle leghe metalliche, la funzione  $E(T_C, 0)$ , caratteristica statica di una termocoppia, è approssimativamente lineare, anche se tale da richiedere compensazione (linearizzazione) se l'intervallo di misura è ampio e l'accuratezza richiesta è elevata. A questo scopo,  $E(T_C, 0)$  è fornita, per ogni termocoppia standard, in forma tabellare con risoluzione di un grado centigrado.

La funzione  $E(T_C, 0)$  è facilmente misurabile in laboratorio utilizzando lo schema descritto nella figura dove si imponga a 0 °C la temperatura delle due giunzioni del giunto freddo, ad esempio immergendole in un bagno di acqua-ghiaccio.

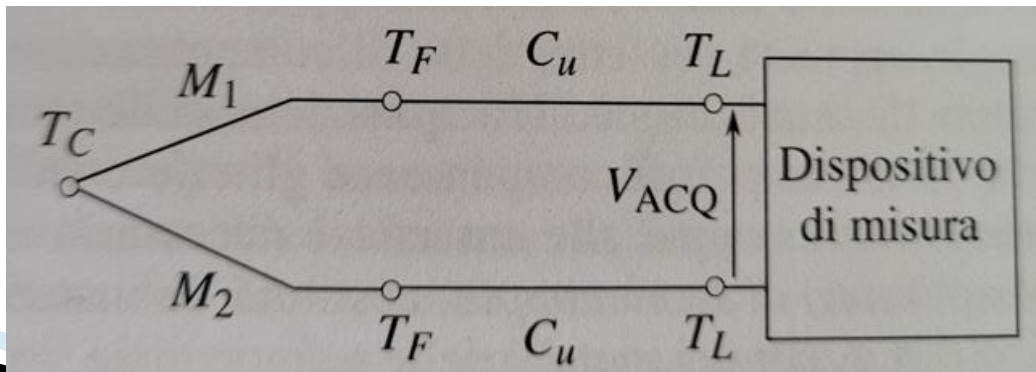


# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

In questo caso, detta  $V_{ACQ}$  la differenza di potenziale acquisita, risulta infatti  $E(T_C, 0) = V_{ACQ}$ . La presenza dei due tratti di filo di rame, spesso presenti per limitare la lunghezza dei fili della termocoppia, non influisce sul valore di  $V_{ACQ}$  essendo soggetti allo stesso salto di temperatura  $T_F - T_L$ .

**Compensazione del giunto freddo** – La schematizzazione della figura è rappresentativa anche di situazioni comuni di impiego delle termocoppie nei sistemi di acquisizione e controllo. Nel normale impiego tuttavia ben difficilmente si avrà la temperatura del giunto freddo a 0 °C. Si pone quindi il problema di come risalire dalla differenza di potenziale  $V_{ACQ}$  acquisita con  $T_F \neq 0$  alla  $E(T_C, 0)$ , necessaria per ottenere la temperatura  $T_C$  oggetto della misura. Questa operazione prende il nome di compensazione del giunto freddo. Può essere realizzata «a software» oppure con



# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

appositi circuiti integrati. La prima soluzione si usa comunemente nei sistemi di acquisizione dove le termocoppie sono numerose, la seconda è tipica dei piccoli sistemi dedicati. Il principio adottato è lo stesso in entrambe le soluzioni ma nel seguito si tratta la cosiddetta compensazione software del giunto freddo. Si può comprendere il procedimento osservando che:

$$E(T_C, T_F) = \int_0^{T_C} (\sigma_2(T) - \sigma_1(T)) dT - \int_0^{T_F} (\sigma_2(T) - \sigma_1(T)) dT = E(T_C, 0) - E(T_F, 0)$$

Per poter risalire a  $E(T_C, 0)$  è necessario disporre della misura di  $T_F$ . Da questa, utilizzando la tabella (caratteristica statica) della termocoppia, si può ricavare  $E(T_F, 0)$  e quindi, dalla lettura  $V_{ACQ} = E(T_C, T_F)$ , ricavare:

$$E(T_C, 0) = V_{ACQ} + E(T_F, 0)$$

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

**Caratteristiche di misura** – Le temperature che possono essere misurate con le termocoppie spaziano da  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $2750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; le tensioni in uscita sono comprese tra  $-10\text{ mV}$  e  $50\text{ mV}$  con una sensibilità che, a seconda del tipo, varia tra  $10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  e  $50\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ .

Sono normalmente usati diversi tipi di termocoppie che differiscono per le leghe metalliche che le costituiscono e cui conseguono specifiche prerogative di utilizzo. Le termocoppie sono poco costose e molto adatte all'uso in ambienti «difficili»; sono relativamente poco accurate ( $0.1 \div 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  al variare della misura) a causa delle disomogeneità che inevitabilmente esistono nei materiali e devono essere linearizzate se utilizzate su intervalli di misura molto ampi. Infine, a causa della necessità di installazione in sonde protettive (pozzetti), hanno tempi di risposta lunghi. A fronte di queste complicazioni, presentano diversi vantaggi che ne motivano la grande diffusione. Per esempio, hanno campi di misura molto estesi, sono estremamente adatte all'uso in ambienti critici, possono essere costruite in lunghezze adatte al collegamento necessario. Nel complesso le termocoppie sono i dispositivi meno costosi e più versatili per la misura della temperatura.



# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

Le termocoppie di uso comune nelle applicazioni industriali sono state standardizzate da enti internazionali (IEC, ANSI, DIN, ISA) e vengono identificate da lettere maiuscole dell'alfabeto, come indicato nella tabella. I tipi K, J e T sono i più usati. Le termocoppie K hanno basso costo, sensibilità moderata, bassa accuratezza, alta resistenza all'ossidazione; le J hanno basso costo, alta sensibilità, accuratezza moderata; le T hanno costo contenuto, sensibilità moderata, alta accuratezza, sono adatte all'uso a bassa temperatura, non richiedono compensazione quando usate in

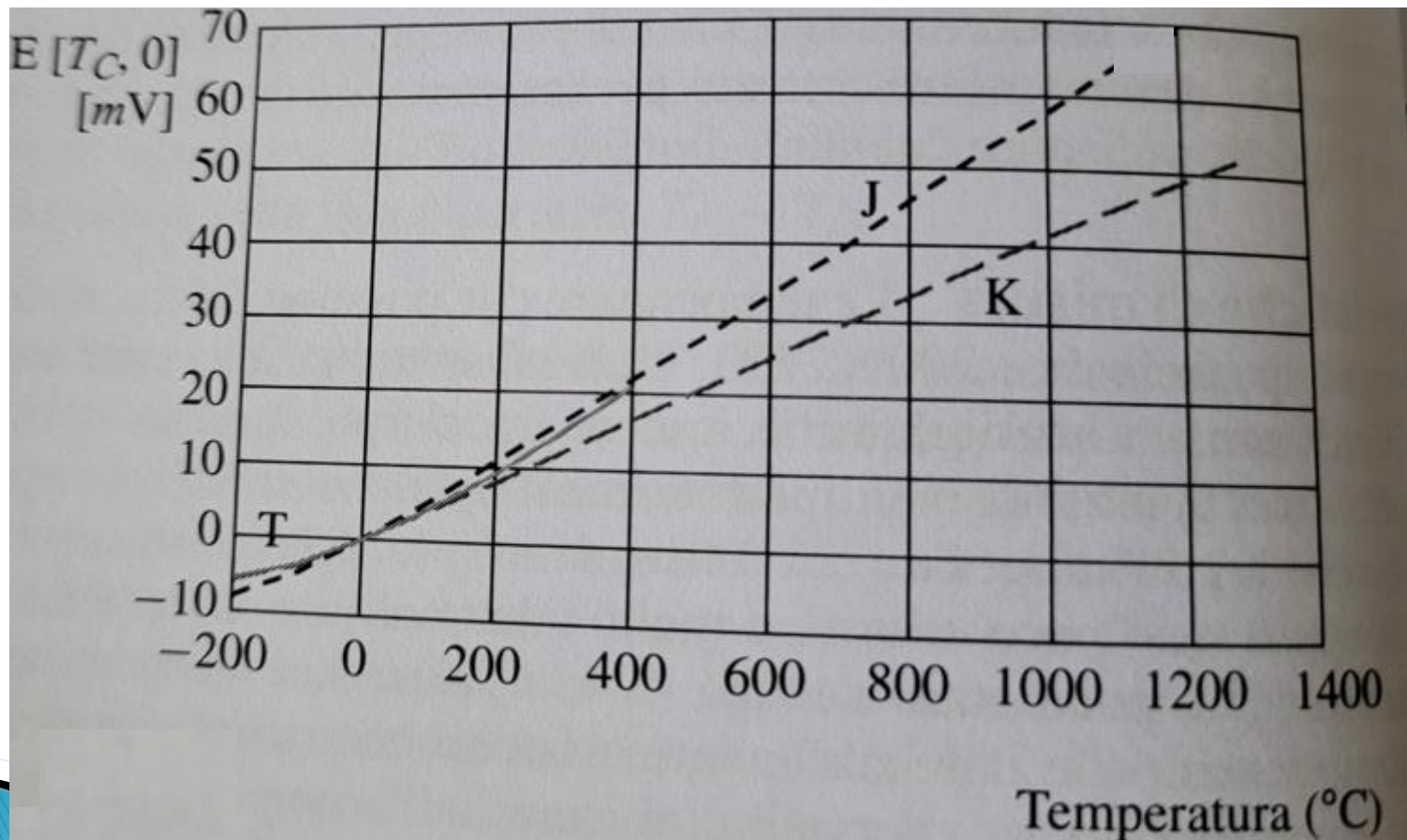
Tipo	Coppie metalli/leghe	Range normale [°C]	Range esteso [°C]
J	ferro/costantana*	-100 ÷ 750	-200 ÷ 1100
K	chromel**/alumel***	0 ÷ 1100	-100 ÷ 1370
E	chromel/costantana	-150 ÷ 500	-200 ÷ 1000
T	rame/costantana	-200 ÷ 300	-230 ÷ 400
B	Pt80/Rh20/Pt94-Rh6	600 ÷ 1650	100 ÷ 820
S	Pt90-Rh10/Pt	550 ÷ 1500	0 ÷ 1700
R	Pt90-Rh13/Pt	550 ÷ 1500	0 ÷ 1700
N	Nicrasil-nichel	0 ÷ 1300	

\*lega rame-nichel  
\*\*lega nichel-cromo  
\*\*\*lega nichel-alluminio-silicio

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

coppia per misure differenziali. In figura sono riportate le rispettive caratteristiche statiche in forma grafica.





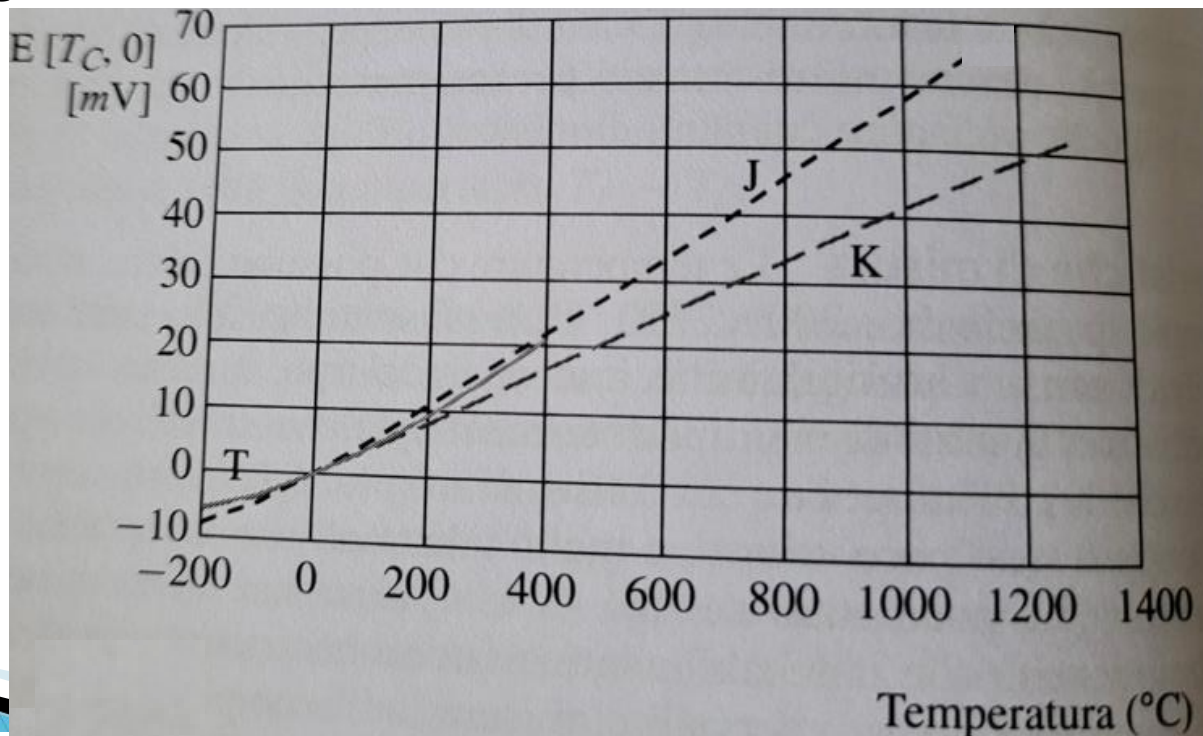
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termocoppie*

Esempio: si consideri, per esempio, una termocoppia J e una temperatura di giunto freddo di 30 °C. Dalla tabella della termocoppia J si rileva  $E(30,0) = 1.536$  mV. Se la differenza di potenziale misurata ( $V_{ACQ}$ ) è 17.994 mV, si può calcolare

$$E(T_C, 0) = 17.994 + 1.536 = 19.530 \text{ mV}$$

Dalla tabella si risale poi alla temperatura corrispondente a questa differenza di potenziale:  $T_C = 358$  °C.



*Caratteristiche statiche delle termocoppie K, J, T (range esteso).* IALE

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori di temperatura – Termoresistenze*

Le termoresistenze (RTD, Resistance Temperature Detector) sono trasduttori resistivi. Le RTD sfruttano la dipendenza della resistenza elettrica dei metalli dalla temperatura (in modo particolare del platino). Si tratta di dispositivi con sensibilità relativamente piccola ma piuttosto lineari. Una buona approssimazione della caratteristica statica richiede tuttavia, per garantire accuratezze elevate se l'intervallo di misura è molto esteso, l'uso di approssimazioni polinomiali del terzo ordine:

$$R(T) = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3) \text{ con } R_0 = R(0)$$

In tabella sono elencate le RTD più note con i relativi campi di misura. Il tipo più usato (PT100) è un dispositivo a filo di platino con valore nominale di 100  $\Omega$  a 0 °C, caratterizzato da una sensibilità di circa 0.4  $\Omega/^\circ\text{C}$ .

RTD	Range normale
Pt: 100 $\Omega$ DIN (4376)	-180 ÷ 800 °C
Pt: 100 $\Omega$ JIS (C-1604)	-180 ÷ 650 °C
Ni: 120 $\Omega$ Ed $\frac{1}{7}$	-45 ÷ 315 °C
Cu: $\Omega$	-20 ÷ 250 °C

## *Riferimenti Bibliografici*

- [1] Magnani, G., Ferretti, G., Rocco, P. (2007). Tecnologie dei sistemi di controllo. McGraw-Hill Education. ISBN-10: 8838663211
- [2] Fraden, J. (2016). Handbook of Modern Sensors. Springer Cham. ISBN: 978-3-319-19302-1