

Applicazione delle termocoppie

Scheda tecnica WIKA IN 00.23

Nella misura di temperatura elettrica industriale vengono impiegati comunemente due gruppi di sensori:

- Termoresistenze (RTD)
- Termocoppie (TC)

Entrambi i tipi di sensore hanno i loro vantaggi e svantaggi. Le termoresistenze Pt100 comunemente usate sono adatte soprattutto per le misure nel campo di temperatura medio-basso (-200 ... +600 °C). Le termocoppie, tuttavia, (a parte alcune eccezioni) hanno i loro vantaggi alle alte temperature (fino a 1700 °C).

Alcune termocoppie possono misurare anche temperature più elevate (tungsteno-renio, oro-platino o platino-palladio). Queste termocoppie estremamente specifiche non sono descritte in questo documento.

Mentre in Europa le sonde Pt100 sono usate soprattutto per la misura di temperatura basse e medie, nel Nord America si usano prevalentemente le termocoppie. Tuttavia, ciò non vale in linea generale, ad es. una raffineria in Europa è attrezzata con tecnologia di misura della temperatura basata su standard nordamericani se l'impianto è stato progettato negli USA. Ciò è applicabile anche in senso inverso.

Un altro criterio di selezione della termocoppia è il minor diametro possibile di una termocoppia rivestita (vedere capitolo "Termocoppie rivestite"). I diametri di 0,25 mm, 0,5 mm o 1 mm consentono tempi di risposta incredibilmente rapidi.

In generale, le termocoppie reagiscono più velocemente rispetto alle termoresistenze.

Se la sonda di temperatura è integrata in un pozzetto termometrico, i tempi di risposta dei due gruppi di sensori si avvicinano. Se si considera la massa di una termocoppia assemblata, la sua conduzione termica e l'isolamento tra il fluido e il sensore si ottiene in questo caso un vantaggio in termini di velocità della termocoppia. Sebbene ciò sia ancora misurabile, e spesso irrilevante, in quanto il tempo di risposta può essere, in questo caso, di un numero di minuti a due cifre.



Assemblaggio diretto della termocoppia con pozzetto in metallo



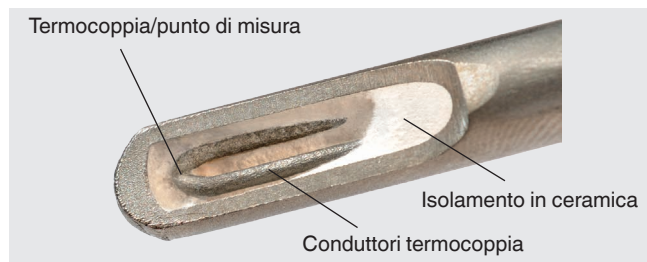
Cavo termocoppia, modello TC40 (Esecuzione: cavo di misura rivestito (cavo MGO))



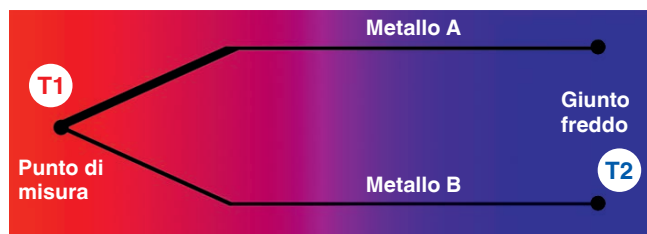
Esempi di pozzetti termometrici

Nozioni di base

Una termocoppia è composta da due conduttori di metalli dissimili saldati insieme ad un'estremità, laddove il giunto caldo è il punto di misura.



Quando il punto di misura viene riscaldato, si misura la tensione sulle estremità del cavo (giunto freddo); essa rappresenta la temperatura del punto di misura. (Effetto termoelettrico = effetto Seebeck)



Tale tensione (FEM = forza elettromotrice) viene prodotta grazie alla diversa densità di elettroni dei due conduttori in metallo (diversi) del cavo impiegato, in combinazione con la differenza di temperatura tra il punto di misura e il giunto freddo.

In breve, una termocoppia non misura la temperatura assoluta, quanto la temperatura differenziale tra

- **T1:** punto di misura (giunto caldo)
- e
- **T2:** punto freddo (giunto freddo)

Visto che la tensione viene spesso misurata a temperatura ambiente, il valore di tensione visualizzato sarebbe troppo basso con il valore della tensione a temperatura ambiente. Per ottenere il valore di temperatura assoluta del punto di misura, viene usata la cosiddetta "compensazione del giunto freddo".

In passato (e ancora oggi nei laboratori di calibrazione), veniva ottenuto immergendo il giunto dell'estremità fredda della termocoppia e i cavi del voltmetro in un bagno di ghiaccio.

Negli strumenti attuali dotati di ingresso per termocoppia (trasmettitori, strumenti di misura portatili o dispositivi con montaggio a pannello, ecc.), viene inclusa nel circuito dello strumento una compensazione elettronica del giunto freddo.

Ogni metallo ha un'elettronegatività specifica del materiale. (elettronegatività = tendenza degli atomi ad accettare o rilasciare elettroni)

Per ottenere le tensioni termoelettriche più alte possibili, per formare le termocoppie vengono impiegati abbinamenti di materiali speciali le cui singole elettronegatività sono tra le più distanti possibile. Questi accoppiamenti di materiali hanno determinate limitazioni, ad esempio per via della massima temperatura operativa della termocoppia.

I seguenti standard definiscono le termocoppie

IEC 60584-1: Termocoppie: valori base e di tolleranza delle tensioni termoelettriche

IEC 60584-3: Termocoppia: cavi termocoppie e cavi compensati

ASTM E230:

Tabelle con specifiche standard e forza di temperatura-elettromotrice (EMF) per termocoppie standardizzate.

Tensioni termoelettriche

Temperatura di riferimento: 0 °C

Temperatura in °C	Termocoppia							
	Tipo K	Tipo J	Tipo N	Tipo E	Tipo T	Tipo S	Tipo R	Tipo B
-200					-5,603			
-180					-5,261			
-160					-4,865			
-140					-4,419			
-120					-3,923			
-100					-3,379			
-80					-2,788			
-60					-2,153			
-40	-1,527	-1,961	-1,023	-2,255	-1,475			
-20	-0,777	-0,995	-0,518	-1,152	-0,757			
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20	0,798	1,019	0,525	1,192	0,790	0,113	0,111	
40	1,612	2,059	1,065	2,420	1,612	0,235	0,232	
60	2,436	3,116	1,619	3,685	2,467	0,365	0,363	
80	3,267	4,187	2,189	4,985	3,358	0,502	0,501	
100	4,096	5,269	2,774	6,319	4,279	0,646	0,647	
150	6,138	8,010	4,302	9,789	6,704	1,029	1,041	
200	8,138	10,779	5,913	13,421	9,288	1,441	1,469	
250	10,153	13,555	7,597	17,181	12,013	1,874	1,923	
300	12,209	16,327	9,341	21,036	14,862	2,323	2,401	
350	14,293	19,090	11,136	24,964	17,819	2,786	2,896	
370	15,133	20,194	11,867	26,552	19,030	2,974	3,099	
400	16,397	21,848	12,974	28,946		3,259	3,408	
450	18,516	24,610	14,846	32,965		3,742	3,933	
500	20,644	27,393	16,748	37,005		4,233	4,471	
550	22,776	30,216	18,672	41,053		4,732	5,021	
600	24,905	33,102	20,613	45,093		5,239	5,583	1,792
650	27,025	36,071	22,566	49,116		5,753	6,041	2,101
700	29,129	39,132	24,527	53,112		6,275	6,743	2,431
750	31,213	42,281	26,491	57,080		6,806	7,340	2,782
760	31,628	42,919	26,883	57,970		6,913	7,461	2,854
800	33,275		28,455	61,017		7,345	7,950	3,154
850	35,313		30,416	64,922		7,893	8,571	3,546
870	36,121		31,199	66,473		8,114	8,823	3,708
900	37,326		32,371	68,787		8,449	9,205	3,957
950	39,314		34,319			9,014	9,850	4,387
1000	41,276		36,256			9,587	10,506	4,834
1050	43,211		38,179			10,168	11,173	5,299
1100	45,119		40,087			10,757	11,850	5,780
1150	46,995		41,976			11,351	12,535	6,276
1200	48,838		43,846			11,951	13,228	6,786
1250	50,644		45,694			12,554	13,926	7,311
1260	51,000		46,060			12,675	14,066	7,417
1300						13,159	14,629	7,848
1350						13,766	15,334	8,397
1400						14,373	16,040	8,956
1450						14,978	16,746	9,524
1480						15,341	17,169	9,868
1500						15,582	17,451	10,099
1550						16,182	18,152	10,679

Continua nella pagina successiva

Temperatura in °C	Termocoppia							
	Tipo K	Tipo J	Tipo N	Tipo E	Tipo T	Tipo S	Tipo R	Tipo B
1600						16,777	18,849	11,263
1650								11,850
1700								12,430

Legenda:

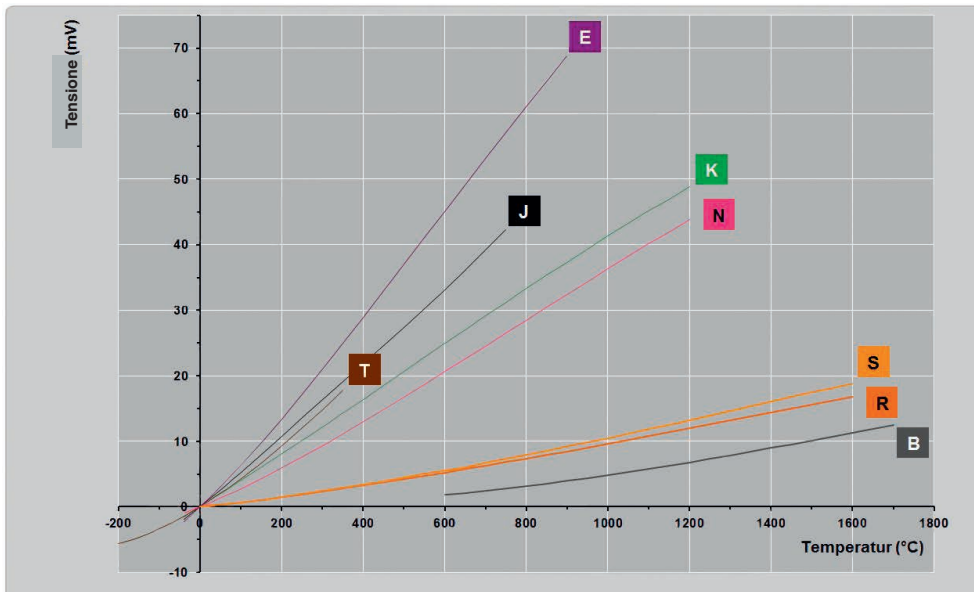
Nero: IEC 60584-1 e ASTM E230

Blu: solo IEC 60584-1

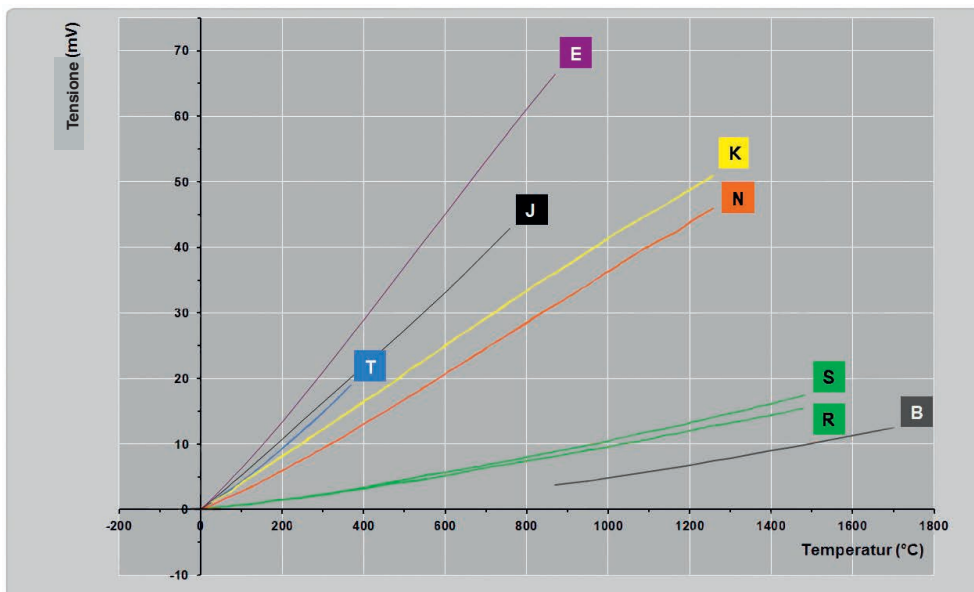
Rosso: solo ASTM E230

Curve tensione termoelettrica

■ IEC 60584-1



■ ASTM E230



I grafici mostrano le curve corrispondenti ai relativi campi di temperatura delle norme IEC 60584-1 / ASTM E230. Oltre tali campi di temperatura, il valore di tolleranza ammesso non è standardizzato.

Limiti operativi e precisioni delle termocoppie (IEC 60584, ASTM E230)

La tabella seguente contiene i valori di tolleranza ammissibili per la norma IEC 60584-1 compresi i valori di tolleranza della norma ASTM E230, uno standard comune in Nord America.

Valori di tolleranza delle termocoppie secondo IEC 60584-1 / ASTM E230 (Temperatura di riferimento 0 °C)

Modello	Termocoppia	Valore di tolleranza	Classe	Campo di temperatura	Valore di tolleranza
K N	NiCr-NiAl (NiCr-Ni) NiCrSi-NiSi	IEC 60584-1	1	-40 ... +1000 °C	$\pm 1,5 \text{ °C} \text{ o } 0,0040 \cdot t $ 1) 2)
			2	-40 ... +1200 °C	$\pm 2,5 \text{ °C} \text{ o } 0,0075 \cdot t $
		ASTM E230	Speciale	0 ... +1260 °C	$\pm 1,1 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,4 \%$
			Standard	0 ... +1260 °C	$\pm 2,2 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,75 \%$
J	Fe-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +750 °C	$\pm 1,5 \text{ °C} \text{ o } 0,0040 \cdot t $
			2	-40 ... +750 °C	$\pm 2,5 \text{ °C} \text{ o } 0,0075 \cdot t $
		ASTM E230	Speciale	0 ... +760 °C	$\pm 1,1 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,4 \%$
			Standard	0 ... +760 °C	$\pm 2,2 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,75 \%$
E	NiCr-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +800 °C	$\pm 1,5 \text{ °C} \text{ o } 0,0040 \cdot t $
			2	-40 ... +900 °C	$\pm 2,5 \text{ °C} \text{ o } 0,0075 \cdot t $
		ASTM E230	Speciale	0 ... +870 °C	$\pm 1,0 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,4 \%$
			Standard	0 ... +870 °C	$\pm 1,7 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,5 \%$
T	Cu-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +350 °C	$\pm 0,5 \text{ °C} \text{ o } 0,0040 \cdot t $
			2	-40 ... +350 °C	$\pm 1,0 \text{ °C} \text{ o } 0,0075 \cdot t $
			3	-200 ... +40 °C	$\pm 1,0 \text{ °C} \text{ o } 0,015 \cdot t $
		ASTM E230	Speciale	0 ... +370 °C	$\pm 0,5 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,4 \%$
			Standard	-200 ... 0 °C	$\pm 1,0 \text{ °C} \text{ o } \pm 1,5 \%$
			Standard	0 ... +370 °C	$\pm 1,0 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,75 \%$
R S	Pt13%Rh-Pt Pt10%Rh-Pt	IEC 60584-1	1	0 ... +1600 °C	$\pm 1,0 \text{ °C} \text{ o } \pm [1 + 0,003 (t - 1100)] \text{ °C}$
			2	0 ... +1600 °C	$\pm 1,5 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,0025 \cdot t $
		ASTM E230	Speciale	0 ... +1480 °C	$\pm 0,6 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,1 \%$
			Standard	0 ... +1480 °C	$\pm 1,5 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,25 \%$
B	Pt30%Rh-Pt6%Rh	IEC 60584-1	2	+600 ... +1700 °C	$\pm 0,0025 \cdot t $
			3	+600 ... +1700 °C	$\pm 4,0 \text{ °C} \text{ o } \pm 0,005 \cdot t $
		ASTM E230	Speciale	-	-
			Standard	+870 ... +1700 °C	$\pm 0,5 \%$

1) |t| è il valore della temperatura in °C senza considerare il segno

2) Si applica il valore maggiore

Ci sono due notazioni delle termocoppie tipo K in Europa e Nord America:

Europa: NiCr-NiAl o NiCr-Ni

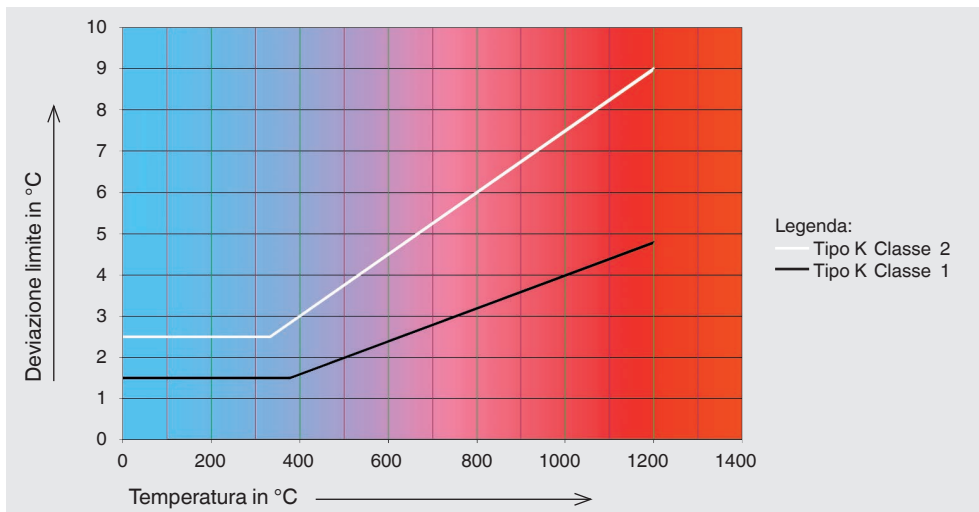
North America: Ni-Cr / Ni-Al

Non c'è differenza fisica, la nomenclatura ha semplicemente ragioni storiche.

Tipi R, S e B

Non disponibile come versione cavo MI in classe 1 conforme a IEC 60584 o "Speciale" conforme a ASTM E230.

Per la definizione del valore di tolleranza delle termocoppie, si è partiti da una temperatura del giunto freddo di 0 °C. Quando si utilizza un cavo di compensazione o un cavo per termocoppie, si deve tener conto di un'ulteriore deviazione della misura.



Esempio:

Valore di tolleranza delle classi di precisione 1 e 2 della termocoppia tipo K

Informazioni sulle applicazioni delle termocoppie

■ Termocoppie con metallo base

Tipo K

lato +	lato -
NiCr	- NiAl
Nichel-Cromo	- Nichel-Alluminio (ferromagnetico)

Le termocoppie NiCr-NiAl sono idonee per l'utilizzo in atmosfere ossidanti e con gas inerti fino a 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C) con la dimensione più grande dei conduttori.

Le termocoppie vanno protette dalle atmosfere solforose. Poichè sono meno soggette all'ossidazione delle termocoppie costruite in altri materiali, esse sono frequentemente utilizzate per applicazioni con temperature oltre i 550 °C fino alla massima pressione di lavoro della termocoppia.

Tipo J

lato +	lato -
Fe	- CuNi
Ferro (ferromagnetico)	- Rame-Nichel

Le termocoppie Fe-CuNi sono idonee per l'utilizzo in vuoto e per atmosfere ossidanti, riducenti o con gas inerti. Vengono impiegate per le misure di temperatura fino a 750 °C (ASTM E230: 760 °C) con la dimensione dei conduttori più grande.

Tipo N

lato +	lato -
NiCrSi	- NiSi
Nichel-Cromo-Silicone	- Nichel-Silicone

Le termocoppie NiCrSi-NiSi sono idonee per l'uso in atmosfere ossidanti, con gas inerti e atmosfere riducenti fino a 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C).

Esse devono essere protette dalle atmosfere solforose. Sono molto precise alle alte temperature. La sorgente di tensione (EMF) e il campo di temperatura sono quasi gli stessi impiegati per il tipo K. Sono usate in applicazioni in cui sono richieste una più lunga durata ed una maggiore stabilità.

Tipo E

lato +	lato -
NiCr	- CuNi
Nichel-Cromo	- Rame-Nichel

Le termocoppie NiCr-CuNi sono idonee per l'utilizzo in atmosfere ossidanti e con gas inerti fino a 900 °C (ASTM E230: 870 °C) con la dimensione dei conduttori più grande. Le termocoppie tipo E, tra tutte le termocoppie generalmente impiegate, sviluppano la più grande sorgente di tensione (EMF) per °C.

Tipo T

lato +	lato -
Cu	- CuNi
Rame	- Rame-Nichel

Le termocoppie Cu-CuNi sono idonee per temperature sotto lo zero con limite superiore a 350 °C (ASTM E230: 370 °C) e possono essere impiegate in atmosfere ossidanti, riducenti e con gas inerti. Non vengono corrose in atmosfere umide.

■ Termocoppie con metalli pregiati

Tipo S

lato +	lato -
Pt10%Rh	- Pt
Platino-10%Rodio	- Platino

Le termocoppie type S sono idonee per l'uso continuo in atmosfere ossidanti e con gas inerti con temperature fino a 1600°C. Attenzione all'infragilimento causato da contaminazione.

Tipo R

lato +	lato -
Pt13%Rh	- Pt
Platino-13%Rodio	- Platino

Le termocoppie R sono idonee per l'uso continuo in atmosfere ossidanti e con gas inerti con temperature fino a 1600°C. Attenzione all'infragilimento causato da contaminazione.

Tipo B

lato +	lato -
Pt30%Rh	- Pt6%Rh
Platino-30%Rodio	- Platino-6%Rodio

Le termocoppie B sono idonee per l'uso continuo in atmosfere ossidanti e con gas inerti e, per breve periodo, in ambienti con vuoto con temperature fino a 1700 °C. Attenzione all'infragilimento causato da contaminazione.

Le termocoppie tipo R, S e B sono installate di norma in un pozzetto in ceramica pura di tipo chiuso. Se viene impiegato un pozzetto da tubo o un pozzetto metallico, è necessario un pozzetto del tipo chiuso internamente. Le termocoppie in metallo pregiato sono sensibili alla contaminazione. Si raccomanda tassativamente di proteggere tali termocoppie con materiale ceramico.

Limite di temperatura superiore consigliato

(funzionamento continuo)

- Termocoppie rivestite (vedere anche la tabella "Tensioni termoelettriche secondo IEC 60584-1")

Tipo termocoppia	Limite di temperatura superiore consigliato in °C							
	Con diametro mantello in mm							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,5	6,0	8,0
K	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
J	260	260	440	440	520	620	720	720
N	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
E	300	300	510	510	650	730	820	820
T	260	260	260	260	315	350	350	350

Guaina della sonda: Inconel 2.4816 (Inconel 600)

Specifiche con condizioni di laboratorio ottimali (in relazione all'aria senza gas nocivi).
Sono disponibili altri materiali con diversi limiti di temperatura.

- Assemblaggio termocoppia diritta (vedere anche la tabella "Tensioni termoelettriche secondo IEC 60584-1")

Tipo termocoppia	Limite di temperatura superiore consigliato in °C			
	Con diametro del cavo in mm			
	0,35	0,5	1,0	3,0
K	700	700	800	1000
J	400	400	600	700
N	700	700	800	1000
E	400	400	600	700
T	200	200	300	350
S	1300	1300	-	-
R	1300	1300	-	-
B	1500	1500	-	-

Specifiche con condizioni di laboratorio ottimali (in relazione all'aria senza gas nocivi).

- Termocoppie protette (vedere anche la tabella "Limiti temperatura superiore consigliati per le termocoppie protette" secondo ASTM E230)

Tipo termocoppia	Limite di temperatura superiore per diverse dimensioni del cavo (Awg) in °C					
	Manometro nr. 8 3,25 mm [0,128 inch]	Manometro nr. 14 1,63 mm [0,064 inch]	Manometro nr. 20 0,81 mm [0,032 inch]	Manometro nr. 24 0,51 mm [0,020 inch]	Manometro nr. 28 0,33 mm [0,013 inch]	Manometro nr. 30 0,25 mm [0,010 inch]
T		370	260	200	200	150
J	760	590	480	370	370	320
E	870	650	540	430	430	370
K e N	1260	1090	980	870	870	760
R e S				1480		
B				1700		

Nota:

Le massime temperature operative specificate si applicano alla termocoppia in condizioni ambientali ottimali. La massima temperatura di lavoro dei pozzetti termometrici è spesso ben al di sotto della temperatura della termocoppia!

- Termocoppie rivestite (vedere anche la tabella “Limite di temperatura superiori consigliato per termocoppie rivestite” secondo ASTM E608/E608M)

Diametro nominale della guaina		Limite di temperatura superiore per vari diametri della guaina in °C (°F)			
		Tipo termocoppia			
mm	inch	T	J	E	K e N
0,5	0,020	260	260	300	700
-	0,032	260	260	300	700
1,0	0,040	260	260	300	700
1,5	0,062	260	440	510	920
2,0	-	260	440	510	920
-	0,093	260	480	580	1000
3,0	0,125	315	520	650	1070
4,5	0,188	370	620	730	1150
6,0	0,250	370	720	820	1150
8,0	0,375	370	720	820	1150

Nota:

Le massime temperature operative specificate si applicano alla termocoppia in condizioni ambientali ottimali. La massima temperatura di lavoro dei pozzetti termometrici è spesso ben al di sotto della temperatura della termocoppia!

Incertezze di misura potenziali

Importanti fattori che contrastano la stabilità a lungo termine delle termocoppie

Effetti invecchiamento/contaminazione

- I processi ossidativi in termocoppie non protette correttamente (cavi "nudi" della termocoppia) alterano le linee caratteristiche.
- Gli atomi estranei (intossicazione) che si diffondono nelle leghe originali comportano la modifica di tali leghe, falsificando la curva caratteristica del materiale.
- L'influenza dell'idrogeno porta a infragilire le termocoppie.

Le termocoppie in "metallo base" sono soggette all'invecchiamento, cambiando pertanto la loro curva caratteristica di temperatura/tensione termica.

Le termocoppie "pregiate" PtRh-Pt dei tipi R e S non mostrano segni di invecchiamento fino a 1400 °C.

Tuttavia, sono molto sensibili alla contaminazione. Il silicio e il fosforo distruggono rapidamente il platino. In presenza di platino, il silicio può essere rilasciato dalle parti d'isolamento in ceramica, anche in atmosfere leggermente riducenti. La riduzione dell'SiO₂ a Si contamina il lato in Platino della termocoppia. Ciò comporta errori di 10 °C e oltre.

Per via del migliore rapporto di volume del materiale totale sulla superficie sensibile all'intossicazione, la stabilità a lungo termine delle termocoppie in metallo pregiato aumenta con l'aumentare del diametro del cavo della termocoppia. Per tale ragione sono disponibili i sensori dei tipi S, R e B con diametri del cavo della termocoppia di 0,35 mm o 0,5 mm (0,015" or 0,020"). I cavi della termocoppia con diametro 0,5 mm (0,020") hanno il doppio di sezione trasversale rispetto ai cavi con diametro 0,35 mm (0,015"), ma costano quindi il doppio. Ciononostante, può valerne la pena grazie alla vita media considerevolmente più lunga, che permette di pareggiare i possibili costi elevati di manutenzione (tempi d'inattività dell'impianto).

Il lato di Nickel della termocoppia tipo K è spesso danneggiata dallo zolfo presente nei gas di scarico. Le termocoppie di tipo J e T invecchiano leggermente in quanto il lato in puro metallo si ossida per prima.

In generale, le temperature in aumento causano effetti di invecchiamento accelerati.

Green rot

Se le termocoppie tipo K vengono impiegate a temperature tra 800 °C e 1050 °C, possono verificarsi variazioni considerevoli nella tensione termoelettrica. La causa di ciò è un impoverimento di cromo o un'ossidazione del cromo nel lato NiCr (lato +). La precondizione di ciò è una bassa concentrazione di ossigeno o vapore nell'ambiente immediato della termocoppia. Il lato Nichel non ne viene influenzato. La conseguenza di tale effetto è una deriva del valore misurato causata dalla tensione termoelettrica in diminuzione. Questo effetto viene accelerato se c'è scarsità di ossigeno (atmosfera riducente) in quanto non riesce

a crearsi sulla superficie della termocoppia una pellicola completa di ossido che eviterebbe la formazione di ulteriore ossidazione del cromo.

La termocoppia è costantemente distrutta da tale processo. Il nome green rot deriva dal colore verdastro sul punto di rottura del cavo.

La termocoppia tipo N (NiCrSi-NiSi) ha quindi un vantaggio dovuto al contenuto di silicio. In questo caso, uno strato di ossido protettivo si forma sulla sua superficie con le stesse condizioni.

Effetto K

Il lato NiCr di una termocoppia tipo K possiede un allineamento ordinato rispetto all'allineamento nel reticolo cristallino al di sotto di circa 400 °C. Se la termocoppia viene scaldata ulteriormente, si verifica una transizione ad uno stato di disordine nel campo di temperatura tra circa 400 °C e 600 °C. Oltre i 600 °C, viene ristabilito un reticolo cristallino ordinato.

Se queste termocoppie si raffreddano troppo rapidamente (più in fretta di circa 100 °C l'ora), si forma nuovamente il reticolo cristallino disordinato non desiderato durante il raffreddamento nel campo da circa 600 °C a circa 400 °C. Nella curva caratteristica del tipo K, tuttavia, viene assunto uno stato di allineamento costantemente ordinato, e fornito di valori. Il risultato è un errore di tensione termoelettrica fino a circa 0,8 mV (circa 5 °C) in questo campo.

L'effetto K è reversibile e viene eliminato temprando oltre i 700 °C, con successivo e relativo raffreddamento lento.

Le termocoppie a rivestimento sottile sono particolarmente sensibili a tale riguardo. Il raffreddamento in aria statica può portare già a deviazioni di 1 °C.

Nella termocoppia tipo N (NiCrSi-NiSi) è stato possibile ridurre l'effetto "short range order" legando entrambi i lati con silicio.

Esecuzioni standard delle termocoppie

Termocoppie rivestite

Le termocoppie rivestite sono composte da un rivestimento metallico esterno che contiene fili interni incorporati e isolati da un composto ceramica altamente compresso. (cavo a isolamento minerale, chiamato anche cavo MGO).

Le termocoppie rivestite sono piegabili fino ad un raggio minimo di cinque volte rispetto al diametro del mantello.

Grazie a ciò, le termocoppie rivestite possono essere usate anche in luoghi di difficile accesso.

L'estrema resistenza alle vibrazioni è un'altra buona ragione per usare le termocoppie rivestite.

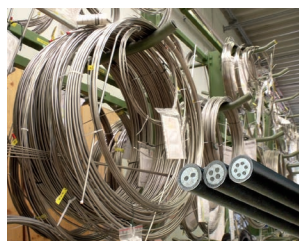
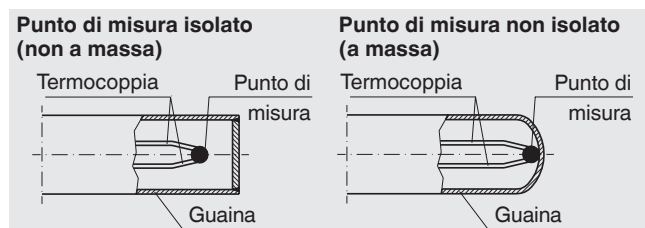
Diametri guaina disponibili

- 0,5 mm
- 1,0 mm
- 1,5 mm
- 3,0 mm
- 4,5 mm
- 6,0 mm
- 8,0 mm

Materiale guaina

- Lega al nickel 2.4816 (Inconel 600)
 - fino a 1200 °C (aria)
 - materiale standard per applicazioni che richiedono proprietà specifiche anticorrosione con esposizione ad alte temperature, resistenza alla corrosione sotto tensione indotta e resistenza superficiale ai fluidi contenenti cloruri
 - resistente alla corrosione causata da ammoniaca in soluzione acquosa a tutte le temperature e concentrazioni
 - altamente resistente agli alogeni, al cloro ed all'acido cloridrico
- Acciaio inox 316
 - fino a 850 °C (aria)
 - buona resistenza alla corrosione con fluidi aggressivi, vapore e fumi di combustione
- Altri materiali a richiesta

Esecuzione dei punti di misura



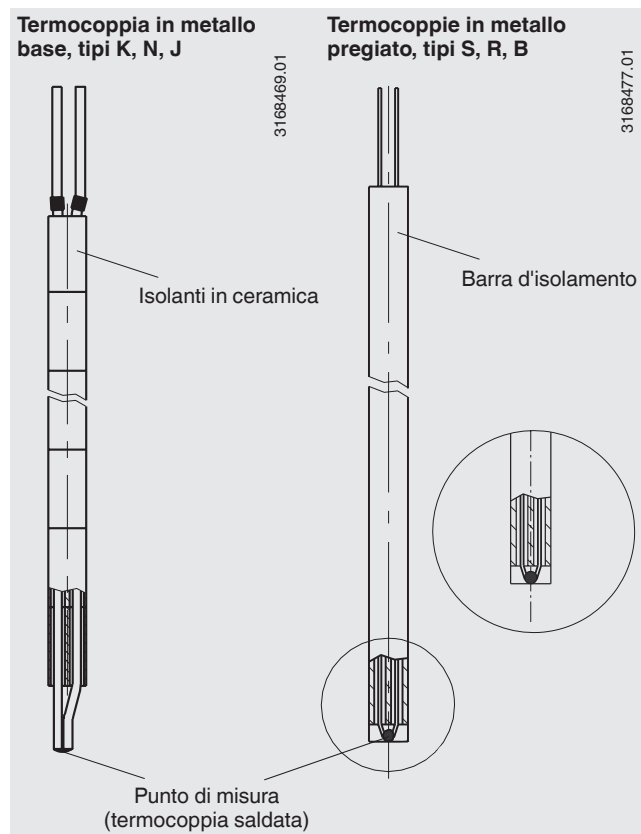
Materiale grezzo cavo MI

Assemblaggio termocoppia diritto con pozzetto in metallo o ceramico



Esecuzioni diverse, modello TC80

Esecuzione interna delle termocoppie, versione diritta



Termocoppie in metallo pregiato, tipi S, R, B

Cavo termocoppia: \varnothing 0,35 mm o \varnothing 0,5 mm

Isolamento: Barra d'isolamento, ceramica C 799 / alumina

Termocoppia in metallo base, tipi K, N, J

Cavo termocoppia: \varnothing 1 mm o \varnothing 3 mm

Isolamento: Isolanti in ceramica, ceramica C 610/ mullite

Cavi di collegamento per termocoppie

Per collegare le termocoppie e la strumentazione, con le termocoppie vanno usati cavi specifici.

Occorre fare una distinzione tra i **cavi termocoppia** (il materiale del cavo corrisponde al materiale originale della termocoppia) e i **cavi compensati**.

Con i cavi compensati, il materiale del cavo corrisponde in un campo di temperatura limitato alle proprietà termoelettriche della termocoppia originale. Tali limiti di temperatura sono elencati nella norma IEC 60584-3 o ASTM E230. Informazioni sulle classi di precisione dei cavi sono anch'esse presenti. L'uso di questi materiali speciali per il cavo è richiesto per evitare "termocoppie parassite".

■ Cavo termocoppia

I fili interni del cavo della termocoppia sono realizzati nei materiali originali della termocoppia (non disponibili per termocoppie pregiate per ragioni di costi).

I cavi sono disponibili nelle classi di precisione 1 e 2.

■ Cavo compensato

I fili interni del cavo compensato sono realizzati con materiali che corrispondono alle proprietà termoelettriche delle termocoppie originali. Ciò si applica ad un campo di temperatura definito nella norma IEC 60584 / ASTM E230 sul cavo di transizione ↔ termocoppia, e sull'intera lunghezza del cavo.

Disponibile solo con classe di precisione 2.

Per la termocoppia tipo B, è consentito l'uso di fili interni in rame.

Errore atteso (esempio): $40 \mu\text{V} / 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Ciò vale entro un campo di temperatura di $0 \dots 100 \text{ }^\circ\text{C}$ sul giunto tra termocoppia e cavo di compensazione. La temperatura del punto di misura in questo esempio è $1400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nota:

Gli errori potenziali della termocoppia e del cavo di collegamento devono essere sommati!



Cavo di collegamento

Codici colore delle termocoppie e cavi di estensione

	ASTM E230 Cavo termocoppia	ASTM E230 Cavo d'estensione	BS 1843	DIN 43714	ISC1610-198	NF C42-323	IEC 60584-3	IEC 60584-3 a sicurezza intrinseca
N								
J								
K								
E								
T								
R								
S								
B								

