



INDICAZIONI TECNICHE

TERMOMETRI A RESISTENZA

1. Principio di funzionamento
2. Termometri a resistenza di platino
3. Termometri a resistenza di nichel
4. Metodi di misura con i termometri a resistenza
5. Costruzione dei termometri a resistenza
6. Termoresistenze ad isolamento tradizionale
7. Termoresistenze ad isolamento minerale
8. Cause di errore nelle misure con termoresistenze
9. Tabelle di riferimento
10. Tolleranze

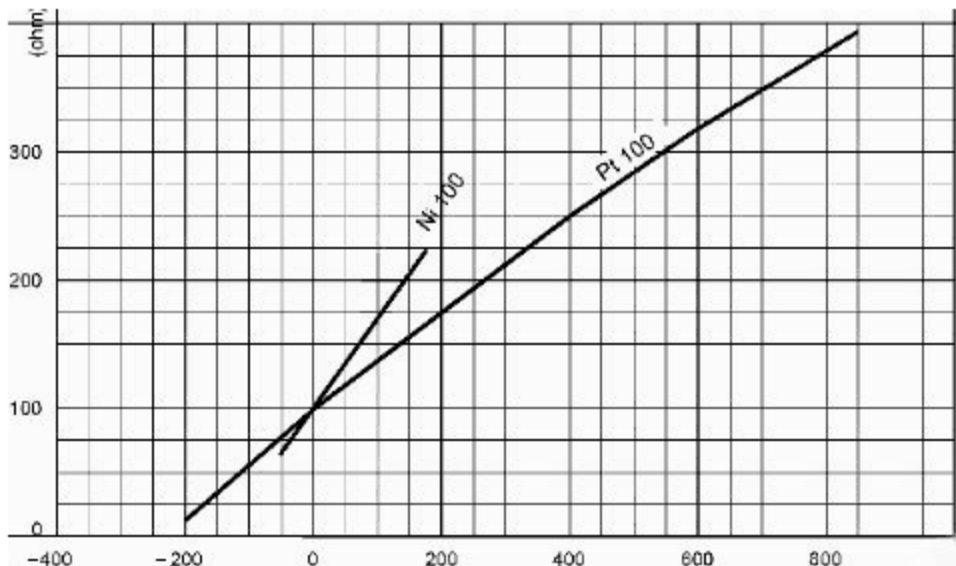
1. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il principio di funzionamento dei termometri a resistenza metallici, più comunemente chiamati termoresistenze, si basa sulla variazione della resistenza elettrica di un metallo al variare della temperatura a cui è sottoposto. Nel campo industriale i materiali maggiormente utilizzati sono il platino ed il nichel che, grazie alla loro elevata resistività e stabilità, permettono di realizzare termoelementi molto riproducibili, di piccole dimensioni e con ottime caratteristiche dinamiche.

Le misure di temperatura effettuate con le termoresistenze sono di gran lunga più precise e affidabili rispetto a quelle effettuate con altri tipi di sensori quali termocoppie o termistori.

Normalmente i termometri a resistenza vengono identificati con la sigla del materiale utilizzato per la loro costruzione (platino = Pt, Nichel = Ni ecc.) seguito dalla loro resistenza nominale alla temperatura di 0°C.

Il campo di utilizzo dei termometri a resistenza industriali è compreso tra -200 e +850°C come riportato nella tabella.



2. TERMOMETRI A RESISTENZA DI PLATINO (Pt)

Lo standard utilizzato da CENTIGRADO per la costruzione dei termometri a resistenza di platino è riferito alla norma internazionale EN60751; a richiesta è possibile fornire elementi sensibili conformi ad altri standard quali ad esempio JIS C 1604 ecc.

Secondo lo standard EN 60751 per la costruzione dei termometri a resistenza è previsto l'utilizzo di platino con coefficiente di temperatura

$$\text{alfa} = 3,851 \times 10^{-3}$$

La normativa EN 60751 prevede termoresistenze con valore nominale a 0 °C (Ro) compreso tra 5 e 1000 ohm; tuttavia i valori più comunemente utilizzati sono 100 ohm, 500 ohm e 1000 ohm.

La relazione che lega la resistenza alla temperatura t° (Rt) e la resistenza a 0° (Ro) è la seguente:

nel campo -200°C / 0 °C

$$R_t = R_o [1 + At + Bt^2 + C (t - 100) t^3]$$

nel campo 0 °C / 850 °C

$$R_t = R_o (1 + At + Bt^2)$$

Dove i coefficienti A, B e C valgono:

$$A = 3,9083E-3$$

$$B = -5,775E-7$$

$$C = -4,183E-12$$

Le classi di precisione dei termometri a resistenza di platino sono riferite alla temperatura e sono così normalizzati:

$$\text{Classe AA} = 0,1 + 0,0017 * | t | (\text{°C})$$

$$\text{Classe A} = 0,15 + 0,002 * | t | (\text{°C})$$

$$\text{Classe B} = 0,3 + 0,005 | t | (\text{°C})$$

$$\text{Classe C} = 0,6 + 0,01 | t | (\text{°C})$$

Gli intervalli di temperatura di validità delle classi di tolleranza sopra esposte sono riportati nella tabella più avanti.

Tutti i termometri a resistenza con classe di tolleranza superiore alla B devono avere una configurazione a tre o quattro fili.

3. TERMOMETRI A RESISTENZA DI NICHEL (Ni)

I termometri a resistenza di nichel sono normalizzati dalla norma tedesca DIN 43760.

A differenza del platino, il nichel ha un coefficiente di temperatura superiore ($\alpha = 6,17 \times 10^{-3}$) che, sopperendo alla sua minore resistività elettrica, ne rende la sensibilità paragonabile a quella delle termoresistenze in platino.

La scarsa resistenza all'ossidazione limita il campo di impiego dei termometri a resistenza di nichel nel campo di temperatura compreso tra -100°C e $+200^{\circ}\text{C}$.

La relazione che lega la resistenza alla temperatura t° (R_t) e la resistenza a 0° (R_0) è la seguente:

nel campo $-60^{\circ}\text{C} / +180^{\circ}\text{C}$

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^4)$$

Dove i coefficienti A, B e C valgono:

$$A = 5,485E-03$$

$$B = 6,650E-06$$

$$C = 2,805E-11$$

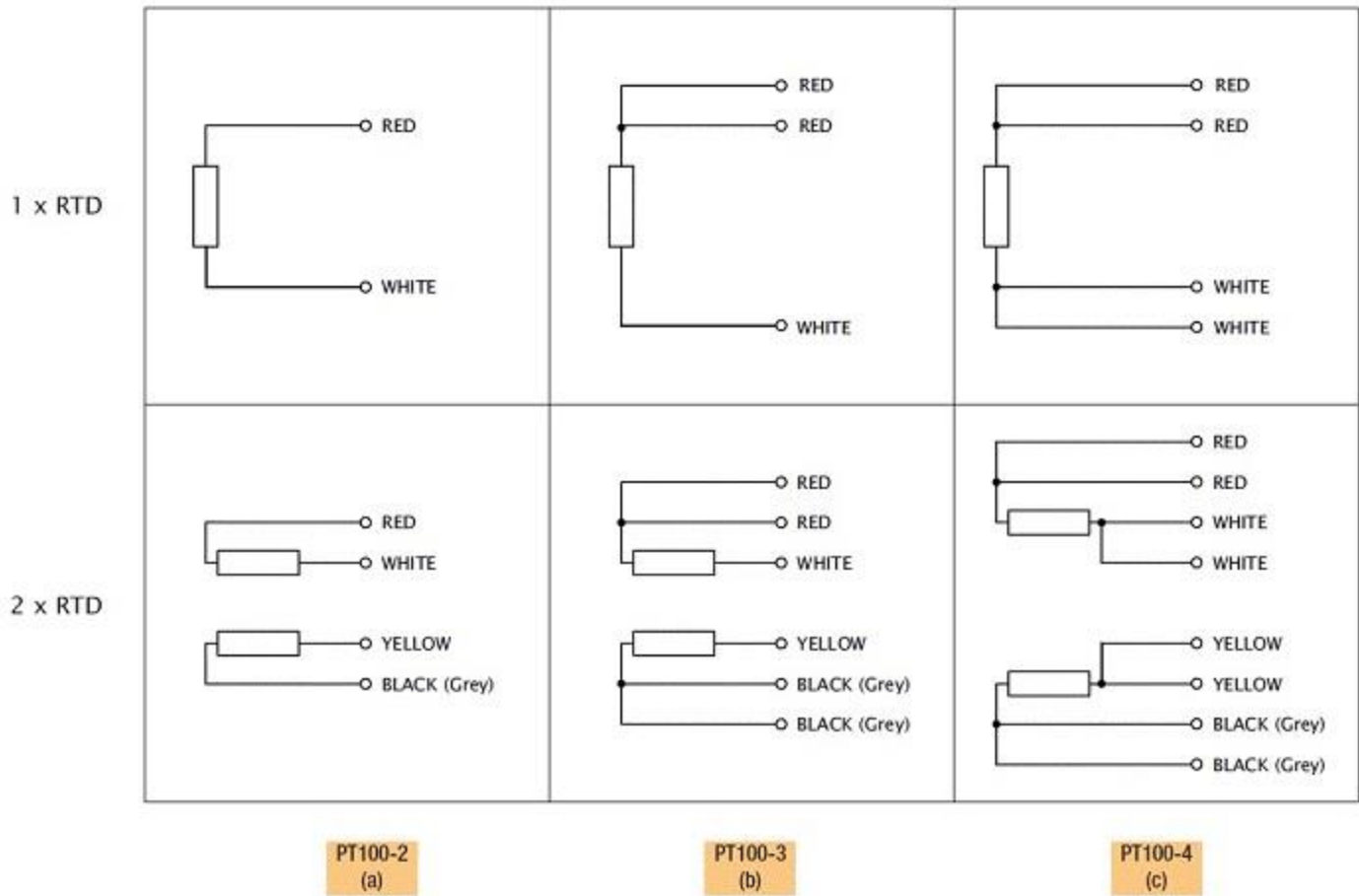
E' normalizzata una sola classe di precisione per i termometri a resistenza di nichel che è riferita alla temperatura:

Nel campo $-60^{\circ}\text{C} / 0^{\circ}\text{C}$: $0,4 + 0,028 | t | (^{\circ}\text{C})$

Nel campo $0^{\circ}\text{C} / 180^{\circ}\text{C}$: $0,4 + 0,007 | t | (^{\circ}\text{C})$

4. METODI DI MISURA CON I TERMOMETRI A RESISTENZA

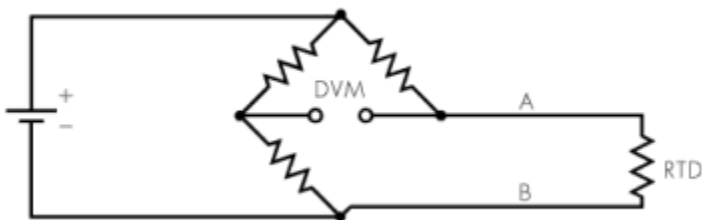
Esistono diversi metodi di collegamento dei termometri a resistenza con gli apparecchi di misura, la scelta di utilizzo di un metodo rispetto ad un altro dipende essenzialmente dalla precisione nella misura che si vuole ottenere.



Tecniche di collegamento delle termoresistenze

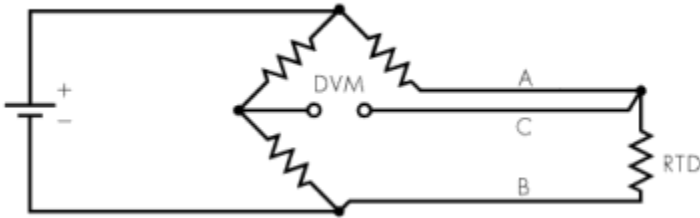
- (a) A 2 fili
- (b) A 3 fili
- (c) A 4 fili voltamperometrica

– La tecnica a due fili è la meno precisa e viene utilizzata solo nei casi in cui il collegamento della termoresistenza viene effettuato con fili di lunghezza ridotta e con bassa resistività; infatti esaminando il circuito elettrico equivalente, si nota come la resistenza elettrica misurata sia la somma di quella dell'elemento sensibile (e quindi dipendente dalla temperatura che si sta misurando) e della resistenza dei conduttori utilizzati per il collegamento. L'errore introdotto con questo tipo di misura non è costante ma dipende dalla temperatura.



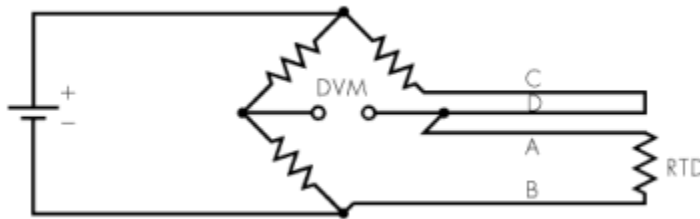
Collegamento a 2 fili

– Grazie alla buona precisione ottenibile nella misura, la tecnica a tre fili è la più utilizzata in campo industriale. Con questa tecnica di misura infatti vengono eliminati gli errori provocati dalla resistenza dei conduttori impiegati per il collegamento della termoresistenza; infatti all'uscita del ponte di misura è presente una tensione dipendente unicamente dalla variazione della resistenza del termometro a resistenza e quindi dalla sola temperatura.



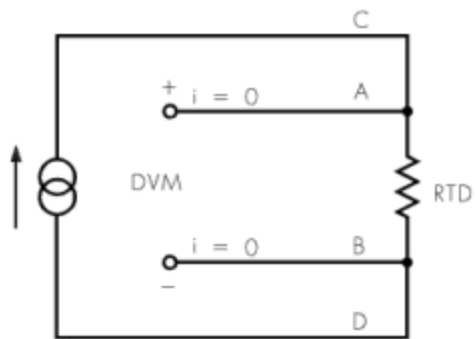
Collegamento a 3 fili

– La tecnica a quattro fili con compensazione è ormai poco utilizzata in quanto veniva utilizzata solo nei circuiti di misura potenziometrici allo scopo di eliminare l'errore introdotto dalla resistenza dei conduttori utilizzati per il collegamento.



Collegamento a 4 fili

– La tecnica a quattro fili volt-amperometrica fornisce la migliore precisione possibile in senso assoluto; poco utilizzata nel campo industriale, viene utilizzata quasi esclusivamente nelle applicazioni di laboratorio. Dal circuito elettrico equivalente si nota come la tensione rilevata sia unicamente dipendente dalla resistenza del termoelemento; la precisione nella misura dipende esclusivamente dalla stabilità della corrente di misura e dalla precisione della lettura della tensione ai capi del termoelemento.



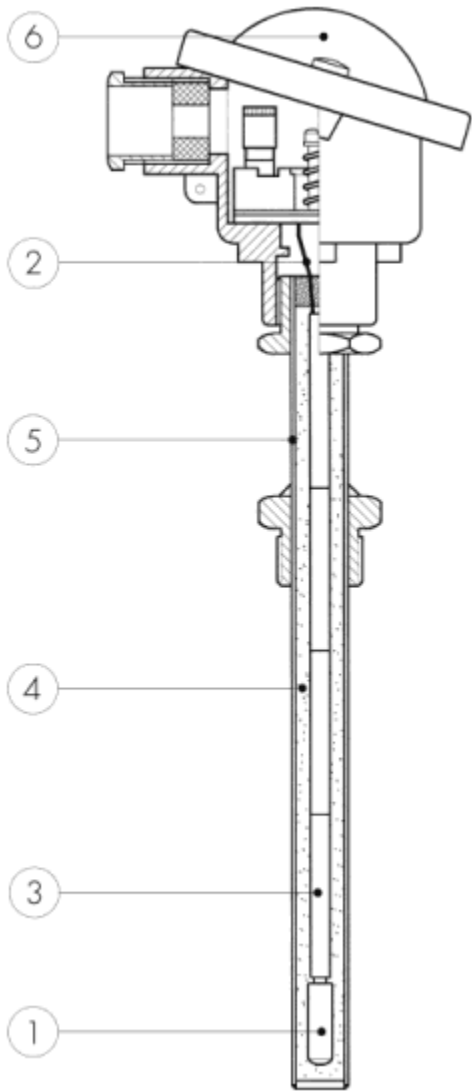
Collegamento a 4 fili voltamperometrica

5. COSTRUZIONE DEI TERMOMETRI A RESISTENZA

Esistono due tipologie costruttive per la termoresistenze: ad isolamento tradizionale o ad isolamento minerale MgO. La tabella seguente mostra le principali caratteristiche delle due tipologie:

	Velocita' di risposta	Isolamento elettrico	Resistenza alle vibrazioni	Resistenza alle pressioni
Isolamento tradizionale	Buono	Ottimo	Buono	Buono
Isolamento minerale (MgO)	Ottimo	Buono	Ottimo	Ottimo

6. TERMORESISTENZE AD ISOLAMENTO TRADIZIONALE



Le termoresistenze con isolamento tradizionale sono costituite da:

1- elemento sensibile

L'elemento sensibile è la parte più importante di tutto l'insieme, un elemento sensibile di scarsa qualità pregiudica il corretto funzionamento dell'intero sensore. Questo, una volta connesso con i fili di collegamento, viene posto all'interno della guaina di protezione. Sono disponibili elementi sensibili di diversa precisione e con doppio avvolgimento.

2- fili di collegamento

Il collegamento dell'elemento sensibile può essere effettuato a 2,3 o 4-fili, il materiale degli stessi dipende dalle condizioni di impiego della sonda.

3- Isolatori ceramici

Gli isolatori ceramici servono a prevenire corti circuiti e isolano i fili di collegamento dalla guaina di protezione.

4- Riempitivo

Il riempitivo è composto da polvere di allumina finissima, essiccata e vibrata, la quale va a riempire qualunque interstizio proteggendo quindi il sensore dalle vibrazioni.

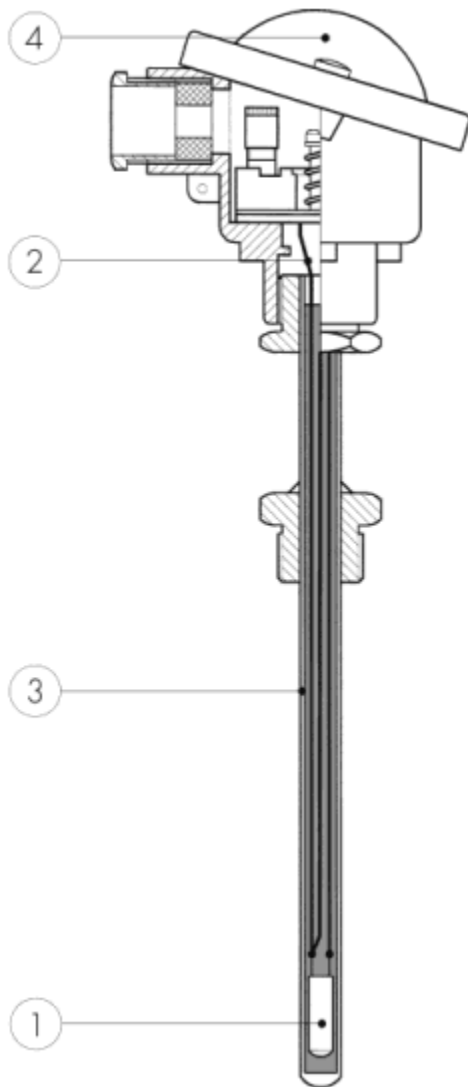
5- Guaina di protezione

La guaina di protezione serve per proteggere l'elemento sensibile e fili di collegamento. Essendo a diretto contatto con il processo è importante che questa sia costituita dal giusto materiale e abbia le giuste dimensioni. In condizioni particolari è bene ricoprire la stessa con una ulteriore protezione (pozzetto termometrico).

6- Testa di connessione

La testa di connessione contiene una morsettiera di materiale isolante (normalmente ceramica) che permette il collegamento elettrico della termoresistenza; in funzione delle condizioni di impiego possono essere usate custodie antideflagranti. Al posto della morsettiera è possibile installare un convertitore con uscita 4-20 mA.

7. TERMORESISTENZE AD ISOLAMENTO MINERALE MgO



Questa particolare tipologia costruttiva permette di realizzare termoresistenze di elevate prestazioni e con caratteristiche meccaniche eccellenti. Caratteristiche principali che differenziano questo tipo di costruzione, oltre a quelle già descritte, da quello tradizionale sono: la possibilità di piegare la guaina con raggi di curvatura molto ridotti, la possibilità di saldare la guaina al momento dell'installazione e la possibilità di realizzare sonde molto lunghe.

1- Elemento sensibile

Con l'utilizzo di particolari tecniche, l'elemento sensibile viene collegato ai conduttori del cavo isolato in ossido minerale. In funzione delle diverse esigenze è possibile l'utilizzo di elementi sensibili doppi e/o con diverse precisioni.

2- Fili di collegamento

Il collegamento dell'elemento sensibile può essere effettuato a 2,3 o 4-fili.

3- Guaina con isolamento minerale

Questa è composta da una guaina metallica esterna con all'interno i conduttori isolati tra loro e dalla guaina per mezzo di ossidi metallici purissimi e altamente compressi; l'isolamento standard è l'ossido di magnesio (MgO).

4- Testa di connessione

La testa di connessione contiene una morsettiera in materiale isolante (normalmente ceramica) che permette il collegamento elettrico della termoresistenza; in funzione delle condizioni di impiego possono essere utilizzate custodie antideflagranti. Al posto della morsettiera è possibile installare un convertitore con uscita 4-20 mA.

8. PRINCIPALI CAUSE DI ERRORE NELLE MISURE CON TERMORESISTENZE

La misura della temperatura con le termoresistenze è abbastanza semplice da eseguire rispetto a quella fatta con altri tipi di sensori. Tuttavia è opportuno fare attenzione ad alcuni accorgimenti in modo da ovviare ad eventuali errori nella misura. Le principali cause di errore che si introducono nella misura della temperatura con le termoresistenze sono tre: – Errore dovuto all'autoriscaldamento dell'elemento sensibile – Errore dovuto allo scarso isolamento elettrico dell'elemento sensibile – Errore dovuto alla non sufficiente profondità di immersione dell'elemento sensibile.

L'autoriscaldamento dell'elemento sensibile si ha, in fase di misura, quando questo viene attraversato da una corrente troppo elevata che, per l'effetto Joule, ne fa aumentare la temperatura. Questo innalzamento della temperatura è dipendente sia dal tipo di elemento sensibile utilizzato che dalle condizioni di misura; infatti la stessa termoresistenza, a parità di temperatura, si auto riscalderà meno se viene posta in acqua piuttosto che in aria; questo è dovuto al fatto che l'acqua ha un coefficiente di dissipazione più elevato rispetto all'aria. Normalmente tutti gli apparecchi di misura che utilizzano come sensore delle termoresistenze hanno una corrente di misura molto bassa tuttavia è buona norma non superare mai la corrente di misura di 1 mA (IEC 751).

Per una buona misura con le termoresistenze è molto importante che l'isolamento elettrico tra i conduttori e la guaina esterna sia adeguatamente elevato soprattutto alle alte temperature. La resistenza di isolamento può essere vista come una resistenza elettrica posta in parallelo a quelle dell'elemento sensibile, risulta quindi evidente come, a temperatura costante, nel caso in cui l'isolamento elettrico diminuisca, anche la tensione rilevata ai capi dell'elemento sensibile diminuirà introducendo quindi un errore nella misura. L'abbassamento della resistenza di isolamento può verificarsi per l'utilizzo della sonda con temperature troppo elevate, in presenza di forti vibrazioni o per l'influenza di agenti fisici o chimici.

Particolarmente importante per una buona misura è anche la profondità di immersione dell'elemento sensibile; questa, a differenza che per le termocoppie la cui misura può considerarsi puntiforme, se non è adeguata, può arrecare errori nella misura anche nell'ordine parecchi gradi °C. Questo è dovuto al fatto che la guaina, solitamente metallica, con cui viene protetto l'elemento sensibile dissipa calore in maniera proporzionale alla differenza di temperatura presente tra la zona calda e quella fredda; si è quindi in presenza di un gradiente

termico su parte della lunghezza della guaina. La profondità di immersione dovrà quindi essere sufficiente per fare in modo che l'elemento sensibile posto all'interno della guaina, non sia sottoposto a questo gradiente termico. Tale profondità minima dipenderà sia dalle condizioni fisiche di misura che dalle dimensioni della termoresistenza (lunghezza dell'elemento ecc.)

9. TABELLE DI RIFERIMENTO

TERMORESISTENZA TIPO Ni100 ohm 0°C SECONDO DIN 43760 (IPTS 68)

°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	°C
	Ohm										
0	100	94,6	89,3	84,2	79,1	74,3	69,5				0
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	°C
	Ohm										
0	100	105,6	111,2	117,1	123	129,1	135,3	141,7	148,3	154,9	0
100	161,8	168,8	176	183,3	190,9	198,7	206,6	214,8	223,2		100

TERMORESISTENZA TIPO Pt100 ohm 0°C SECONDO IEC 751 (ITS 90)

°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	°C
	Ohm - Ohm										
-200	18,49	14,45	10,49	6,99	4,26	2,51					-200
-100	60,26	56,19	52,11	48	43,88	39,72	35,54	31,34	27,1	22,83	-100
0	100	96,09	92,16	88,22	84,27	80,31	76,33	72,33	68,33	64,3	0
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	°C
	Ohm - Ohm										
0	100	103,9	107,79	111,67	115,54	119,4	123,24	127,08	130,9	134,71	0
100	138,51	142,29	146,07	149,83	153,58	157,33	161,05	164,77	168,48	172,17	100
200	175,86	179,53	183,19	186,84	190,47	194,1	197,71	201,31	204,9	208,48	200
300	212,05	215,61	219,15	222,68	226,21	229,72	233,21	236,7	240,18	243,64	300
400	247,09	250,53	253,96	257,38	260,78	264,18	267,56	270,93	274,29	277,64	400
500	280,98	284,3	287,62	290,92	294,21	297,49	300,75	304,01	307,25	310,49	500
600	313,71	316,92	320,12	323,3	326,48	329,64	332,79	335,93	339,06	342,18	600
700	345,28	348,38	351,46	354,53	357,59	360,64	363,67	366,7	369,71	372,71	700
800	375,7	378,68	381,65	384,6	387,55	390,48					800

10. TOLLERANZE STANDARD PER I TERMOMETRI A RESISTENZA

Termoresistenza tipo Pt100 ohm 0°C (EN60751)

Classe di tolleranza	Intervallo di temperatura di validità °C		Valori di tolleranza °C
	Resistori a filo avvolto	Resistori a film	
AA	-50 ÷ +250	-0 ÷ +150	$\pm(0,1 + 0.0017 * t)$
A	-100 ÷ +450	-30 ÷ +300	$\pm(0,15 + 0.002 * t)$
B	-196 ÷ +600	-50 ÷ +500	$\pm(0,3 + 0.005 * t)$
C	-196 ÷ +600	-50 ÷ +600	$\pm(0,6 + 0.001 * t)$

| t | = valore assoluto della temperatura, espresso in °C, indipendente dal segno

Classi di tolleranza PT100 (norma CEI EN 6751)

t [°C]	CLASSE				t [°C]	CLASSE			
	AA	A	B	C		AA	A	B	C
-196	-	-	1,28	2,56	-196	0,46	0,57	1,35	2,70
-180	-	-	1,20	2,40	-180	0,47	0,59	1,40	2,80
-170	-	-	1,15	2,30	-170	0,49	0,61	1,45	2,90
-160	-	-	1,10	2,20	-160	0,51	0,63	1,50	3,00
-150	-	-	1,05	2,10	-150	0,53	0,65	1,55	3,10
-140	-	-	1,00	2,00	-140	0,54	0,67	1,60	3,20
-130	-	-	0,95	1,90	-130	0,56	0,69	1,65	3,30
-120	-	-	0,90	1,80	-120	0,58	0,71	1,70	3,40
-110	-	-	0,85	1,70	-110	0,59	0,73	1,75	3,50
-100	-	0,35	0,80	1,60	-100	0,61	0,75	1,80	3,60
-90	-	0,33	0,75	1,50	-90	0,63	0,77	1,85	3,70
-80	-	0,31	0,70	1,40	-80	0,64	0,79	1,90	3,80
-70	-	0,29	0,65	1,30	-70	0,66	0,81	1,95	3,90
-60	-	0,27	0,60	1,20	-60	0,68	0,83	2,00	4,00
-50	0,19	0,25	0,55	1,10	-50	0,70	0,85	2,05	4,10
-40	0,17	0,23	0,50	1,00	-40	0,71	0,87	2,10	4,20
-30	0,15	0,21	0,45	0,90	-30	0,73	0,89	2,15	4,30
-20	0,13	0,19	0,40	0,80	-20	0,75	0,91	2,20	4,40
-10	0,12	0,17	0,35	0,70	-10	0,76	0,93	2,25	4,50
0	0,10	0,15	0,30	0,60	0	0,78	0,95	2,30	4,60
10	0,12	0,17	0,35	0,70	10	0,80	0,97	2,35	4,70
20	0,13	0,19	0,40	0,80	20	0,81	0,99	2,40	4,80
30	0,15	0,21	0,45	0,90	30	0,83	1,01	2,45	4,90
40	0,17	0,23	0,50	1,00	40	0,85	1,03	2,50	5,00
50	0,19	0,25	0,55	1,10	50	0,87	1,05	2,55	5,10
60	0,20	0,27	0,60	1,20	60	0,88	1,07	2,60	5,20
70	0,22	0,29	0,65	1,30	70	0,90	1,09	2,65	5,30
80	0,24	0,31	0,70	1,40	80	0,92	1,11	2,70	5,40
90	0,25	0,33	0,75	1,50	90	0,93	1,13	2,75	5,50
100	0,27	0,35	0,80	1,60	100	0,95	1,15	2,80	5,60
110	0,29	0,37	0,85	1,70	110	0,97	1,17	2,85	5,70
120	0,30	0,39	0,90	1,80	120	0,98	1,19	2,90	5,80
130	0,32	0,41	0,95	1,90	130	1,00	1,21	2,95	5,90
140	0,34	0,43	1,00	2,00	140	1,02	1,23	3,00	6,00
150	0,36	0,45	1,05	2,10	150	1,04	1,25	3,05	6,10
160	0,37	0,47	1,10	2,20	160	1,05	1,27	3,10	6,20
170	0,39	0,49	1,15	2,30	170	1,07	1,29	3,15	6,30
180	0,41	0,51	1,20	2,40	180	1,09	1,31	3,20	6,40
190	0,42	0,53	1,25	2,50	190	1,10	1,33	3,25	6,50
200	0,44	0,55	1,30	2,60	200	1,12	1,35	3,30	6,60

Possono essere definite anche classi di tolleranza speciali per intervalli di temperature estesi o limitati

Termoresistenza tipo Ni100 ohm 0°C (DIN 43760)

>Temp. °C	>0,4+0,07* t (°C) 0 °C	
	>Ohm	>°C
>-60	±1,00	±2,10
>0	±0,20	±0,40
>100	±0,80	±1,10
>180	±1,30	±1,70

t = Temperatura (°C)