

**Esame e Interpretazione  
di  
Certificati di Taratura  
SIT e EA  
Propagazione delle Incertezze**

- 1. Introduzione**
- 2. Caratteristiche Campioni “1<sup>a</sup> linea “ Aziendali**
- 3. Taratura Campioni 1<sup>a</sup> linea Aziendali**
- 4. Utilizzo Campioni 1<sup>a</sup> linea Aziendali**
- 5. Mezzi di confronto**
- 6. Incertezza di Trasferimento**
- 7. Formula di Calcolo Incertezza Trasferimento**
- 8. Esempi di Calcolo Incertezza Trasferimento**
- 9. Esempio di Calcolo con Certificato DKD**
- 10. Esempio di Calcolo con Certificato SIT**
- 11. Considerazioni Finali**

# 1. Introduzione

**Lo scopo di questa relazione è quello di valutare e determinare l'incertezza delle misure di Temperatura nel trasferimento della riferibilità negli studi di convalida termica e nei laboratori aziendali:**

- dai campioni primari aziendali o di 1<sup>a</sup> linea (IRTD) certificati SIT-EA oppure certificabili in ambito europeo DKD-EA
- ai campioni secondari o di 2<sup>a</sup> linea, comunemente detti anche campioni di lavoro (PT 100 e Termocoppie)

**utilizzati nella taratura, verifica e conferma metrologica delle apparecchiature e dispositivi di misurazione dei processi termici produttivi, o impiegati nel controllo degli studi di convalida termica.**

I campioni di riferimento che prenderemo in considerazione e abitualmente utilizzati nelle misure nell'ambito degli studi di convalida termica sono i cosiddetti termometri con uscita digitale, denominati sonde intelligenti o "Smart Probe":

- **IRTD (Intelligent Resistance Temperature Detector)**

che hanno le seguenti caratteristiche metrologiche:

- **Resistenza nominale a 0°C** : 100 o 200 ohm
- **Campo di misura nominale** : -180 / + 420 °C
- **Campo di misura verificato** : - 80 / + 420 °C e punto a -196°C
- **Indicazione di uscita** : °C
- **Incertezza specificata** : 0,025 °C
- **Stabilità annuale specificata** : 0,025 °C

La certificazione dei campioni di 1<sup>^</sup> linea può essere eseguita presso:

Centri di taratura EA dotati di mezzi adeguati e procedure accreditate, quali:

■ **Centro di Taratura SIT (Servizio di Taratura in Italia):**

- con una incertezza di taratura accreditata da 0,01 a 0,05 °C.

■ **Centro di Taratura DKD (Deutscher Kalibrierdienst)**

- con una incertezza indicata da 0,01 a 0,02 °C.

????

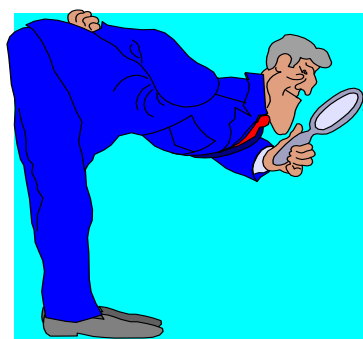


## ■ ESEMPIO DI TABELLA DI ACCREDITAMENTO DKD (...)

Messgröße bzw. Kalibriergegenstand	Messbereich	Messbedingungen	Messunsicherheit	Bemerkungen
Temperatur  Widerstandsthermometer auch mit Messumformer	-196 °C	Cu-Block in flüssigem Stickstoff	10 mK	Vergleich mit Normalwiderstandsthermometern
	-60 °C ±5 °C	Alkohol-Bad	8 mK	
	0,01 °C ±0,1 °C	Wasser-Bad	5 mK	
	100 °C ±5 °C	Öl-Bad	7 mK	
	260 °C ±5 °C	Salz-Bad	9 mK	
	420 °C ±5 °C		12 mK	
	-196 °C bis -90 °C	Kalibrieren in Bädern und Interpolation der Kennlinie	20 mK	
	-90 °C bis 260 °C		10 mK	
	>260 °C bis 420 °C		15 mK	
Temperaturdatenlogger	-60 °C bis 260 °C		25 mK	
	>260 °C bis 420 °C		50 mK	
relative Feuchte Feuchtedatenlogger	10 % bis 30 %	2-Druck-Generator Temperaturbereich: 5 °C bis 70 °C	0,3 %	Vergleich mit Taupunktspiegel; Messunsicherheit ausgedrückt in rel. Feuchte
	>30 % bis 70 %		0,6 %	
	>70 % bis 95 %		0,8 %	

## ■ ESEMPIO DI TABELLA DI ACCREDITAMENTO SIT (FASINT)

Grandezza	Strumenti in taratura	Campi di misura	Incertezza (*)	Note
Temperatura (5)	<b>Termometri a resistenza</b>	punto a $-196^{\circ}\text{C}$ $0^{\circ}\text{C}$ $(-80 \div 420)^{\circ}\text{C}$ $(420 \div 600)^{\circ}\text{C}$	$0,05^{\circ}\text{C}$ $0,01^{\circ}\text{C}$ $0,05^{\circ}\text{C}$ $0,10^{\circ}\text{C}$	
Temperatura	Catene termometriche - indicatori per termocoppie e termometri a resistenza	Campo di misura della sonda abbinata	$U + RS$	③④
	- trasmettitori per termocoppie e termometri a resistenza	Campo di misura della sonda abbinata	$U + AS$	③⑤
	Termometri a liquido in vetro	$(-80 \div 0)^{\circ}\text{C}$ $(0 \div 250)^{\circ}\text{C}$	$0,10^{\circ}\text{C} + D \cdot 0,5$ $0,05^{\circ}\text{C} + D \cdot 0,5$	⑥
	Misuratori di temperatura ambientale	$(5 \div 40)^{\circ}\text{C}$	$U^1 + RS$	⑦④
	<b>Misuratori di temperatura con uscita digitale per termocoppie e termometri a resistenza</b>	<b>campo di misura della sonda abbinata</b>	$2\sqrt{U^2 / 4 + u_{ris}^2}$	⑦⑧



Come influisce l'incertezza di taratura sulle misurazioni

I campioni di 1<sup>a</sup> linea possono essere essenzialmente impiegati nelle due seguenti condizioni:

■ **Come mezzo diretto di misura (inusuale):**

- in questo caso l'incertezza di taratura è determinante!

■ **Come mezzo di trasferimento ai campioni secondari:**

- in questo caso l'incertezza non è la sola determinante!



**Il trasferimento della  
incertezza avviene in  
fornetti di paragone**



**I mezzi di confronto hanno generalmente le seguenti caratteristiche metrologiche:**

- Uniformità assiale : 0,05 °C (tipica)
- Uniformità radiale : 0,10 °C (tipica)
- Stabilità temperatura : 0,05 °C (migliore od uguale)

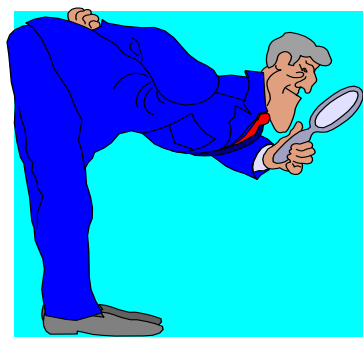
**che tengono in considerazione almeno le seguenti caratteristiche tecniche del mezzo di confronto (riferimento alla linea guida sui calibratori a secco EA 10/13):**

- Uniformità assiale tra il fondo e una estrazione pari a 20 mm e 40 mm
- Uniformità radiale tra il foro di riferimento ed i fori periferici radiali
- Stabilità della regolazione della temperatura nel periodo di almeno 30 minuti

# 5.1 Esempio Fornetti di Taratura



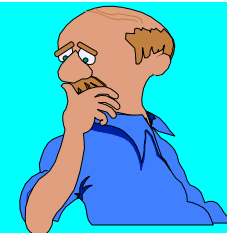
Specifiche	LTR140 (X0356)	9171 LTR 155	9172 HTR 425	HTR 400 (X0361)
Campo (a 23 °C Ambiente)	da -25 °C a 140 °C	da -30 °C a 155 °C	da 35 °C a 425 °C	da 48°C a 400°C
Precisione Display	± 0,2°C	±0.1 °C su tutto il campo	±0.1 °C a 100 °C ±0.15 °C a 225 °C ±0.2 °C a 425 °C	± 0,2°C a 300°C ± 0,3°C a 400°C
Stabilità	± 0,02 °C	±0.005 °C su tutto il campo	±0.005 °C fino a 100 °C ±0.008 °C fino a 225 °C ±0.01 °C fino a 425 °C	± 0,02 °C a 300°C ± 0,05 °C a 400°C
Uniformità assiale (60 mm)	????	±0.025 °C a -30 °C ±0.02 °C a 0 °C ±0.07 °C a 155 °C	±0.05 °C a 100 °C ±0.1 °C a 225 °C ±0.2 °C a 425 °C	????
Uniformità Radiale	± 0,10° C	±0.01 °C su tutto il campo	±0.01 °C a 100 °C ±0.02 °C a 225 °C ±0.025 °C a 425 °C	± 0,10° C
Effetto di carico (con sensore di riferimento Ø 6.35 mm e tre sensori Ø 6.35 mm)	±0.1 °C a -25 °C ±0.15 °C a 80 °C ±0.18 °C a 140 °C	±0.005 °C a -30 °C ±0.005 °C a 0 °C ±0.01 °C a 155 °C	±0.01 °C su tutto il campo	±0.1 °C da 50 a 150 °C ±0.2 °C da 150 a 200 °C ±0.3 °C da 250 a 350 °C ±0.5 °C da 350 a 400 °C



**Come valutare l'incertezza di  
di misura nel trasferimento**

- **L'incertezza della temperatura di riferimento, con cui si trasferisce, nella catena metrologica composta da:**
  - campione di 1<sup>a</sup> linea (IRTD)
  - mezzo di confronto (fornetto o bagno)
  
- **terrà conto sia delle componenti di incertezza di taratura del campione di 1<sup>a</sup> linea che ovviamente del mezzo di confronto, mediante la appropriata formula:**  
**(in accordo alla Guida Internazionale ISO – GUM)**

$$U = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{U(\text{tar})}{2}\right)^2 + \left(\frac{E_m}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{E_r}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{E_a}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{E_b}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{E_s}{\sqrt{3}}\right)^2}$$



## ■ Componenti di incertezza dovute al campione:

- $U(\text{tar})$  = **Incertezza di taratura del campione di 1<sup>a</sup> linea:**  
normalmente fornita nel certificato di taratura a 2 scarti tipo
- $E_m$  = **Errore di misura del campione di 1<sup>a</sup> linea:**  
normalmente è scelto il valore massimo, positivo o negativo
- $E_r$  = **Errore di risoluzione del campione di 1<sup>a</sup> linea:**  
praticamente è la risoluzione di misura del campione

## ■ Componenti di incertezza dovute al mezzo di confronto:

- $E_a$  = **Errore di uniformità assiale del mezzo impiegato:**  
ovvero la massima deviazione rispetto al punto centrale/finele
- $E_b$  = **Errore di uniformità radiale del mezzo impiegato:**  
ovvero la massima deviazione rispetto la posizione di riferimento
- $E_s$  = **Errore di stabilità della temperatura del mezzo impiegato:**  
ovvero la massima deviazione in condizioni di stabilità termica

- **Queste ultime 5 componenti essendo espresse come deviazioni massime, contribuiscono come incertezze tipo ai loro rispettivi valori divisi per  $\sqrt{3}$ .**

## 5.2.2 Messergebnisse nach der Justierung (Measurements after Reprogramming)

TEMPERATURE SOURCE DEVICE	REFERENCE TEMPERATURE DEG. C	IRTD TEMPERATURE DEG. C	DIFFERENCE TEMPERATURE DEG. C	MEASUREMENT UNCERTAINTY DEG. C
Nitrogen	-196,008	-196,006	0,002	0,010
Glycol	-59,994	-59,967	0,027	0,008
Ice (1)	0,012	0,010	-0,002	0,005
Oil Bath	99,994	99,993	-0,001	0,007
Lo Salt	259,996	259,985	-0,011	0,009
Hi Salt	419,596	419,599	0,003	0,012
ICE (2)	0,012	0,012	0,000	0,005

Interpretiamo i dati:

- I dati evidenziati nell'area 1 sono le differenze fra i valori di temperatura letti dalla IRTD e i valori di temperatura misurati dal termometro campione di riferimento (Reference temperature).
- I dati evidenziati nell'area 2 sono le incertezze di misura del sistema di riferimento.

# 7.2 Esempio di Certificato SIT

<b>RISULTATI DELLA TARATURA</b> <b>CALIBRATION REPORT</b> <i>(Measurement after reprogramming)</i>				
Bagno di taratura	Temperatura di riferimento [ °C ]	IRTD Valore letto [ °C ]	Differenza (Val. letto)– (val. rif.) [ °C ]	Incertezza di misura [ °C ]
Azoto liquido	-195.842	-195.815	0.027	0.050
Alcool	-79.033	-79.033	0.000	0.050
Alcool	-40.098	-40.102	-0.004	0.050
Ghiaccio / Ice	0.000	0.006	0.006	0.010
Olio / Oil	99.952	99.970	0.018	0.050
Olio / Oil	260.199	260.207	0.008	0.050
Sali fusi / Salt	419.992	419.959	-0.033	0.050
Ghiaccio / Ice	0.000	0.008	0.008	0.050
<i>Temperature source device</i>	<i>Reference temperature</i> [ °C ]	<i>IRTD temperature</i> [ °C ]	<i>Difference (IRTD temp) – (Ref. temp.)</i> [ °C ]	<i>Measurement uncertainty</i> [ °C ]

I dati contenuti nell'area 5 sono le incertezze estese del procedimento di taratura, espresse con coefficiente di copertura  $k = 2$ .

(Riconosciute ed assegnate al Centro dal SIT \* ) ed esposte nel prospetto "C" in accordo alle Normative regolate del SIT ed alla Linea Guida EA

L'incertezza di trasferimento dipende dal campione e dal mezzo di confronto!!!



■ Si supponga di aver riscontrato su un Certificato di Taratura SIT o DKD-EA le seguenti informazioni sul campione di 1<sup>a</sup> linea:

- Campo di taratura tipico : - 80 / + 420 °C
- Errore massimo di misura : 0,025 °C
- Risoluzione di misura : 0,001 °C

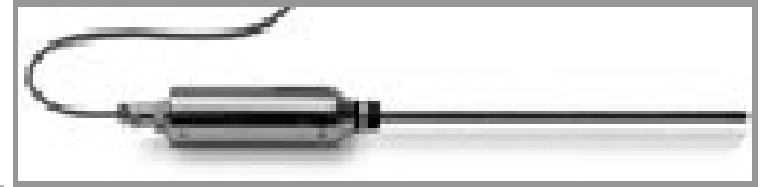
■ e di adoperare una catena metrologica di trasferimento con un mezzo di confronto avente le seguenti caratteristiche:

- Uniformità assiale : 0,05 °C
- Uniformità radiale : 0,10 °C
- Stabilità temperatura : 0,02 °C

# 8.1 Catena Metrologica

## TERMOMETRO CAMPIONE CERTIFICATO

- Campo: -80 / +420°C
- Precisione:  $\pm 0.025^\circ\text{C}$
- Risoluzione : 0,001°C
- Uscita digitale per collegamento diretto a Data Logger, PC o indicatore digitale



## FORNETTO DI TARATURA PORTATILE

- Campo: da - 25 a +400°C
- Uniformità assiale : 0,05°C
- Uniformità radiale: 0,10°C
- Stabilità Temperatura : 0.02°C





■ **Esempio con Certificato Taratura DKD con incertezza di misura riportata su tabella certificato  $< 0,012^{\circ}\text{C}$**

➤ **Ove per il Centro di Taratura DKD compaiono anche le seguenti incertezze:**

- $-196 \div -90^{\circ}\text{C}$  :  $0,020^{\circ}\text{C}$
- $-90 \div 260^{\circ}\text{C}$  :  $0,010^{\circ}\text{C}$
- $260 \div 420^{\circ}\text{C}$  :  $0,015^{\circ}\text{C}$

VARIABILE	NOME	STIMA	DISTRIBUZIONE	INCERTEZZA	VARIANZA
INGRESSO	VARIABILE	VARIABILE	VARIABILE	TIPO	TIPO
$U(\text{tar})$	Inc. taratura max	0,012	normale	0,006	0,0000
$E_m$	Err. misura max	0,025	rettangolare	0,014	0,0002
$E_r$	Err. risoluzione	0,001	rettangolare	0,001	0,0000
$E_a$	Err. unif. assiale	0,050	rettangolare	0,029	0,0008
$E_b$	Err. unif. radiale	0,100	rettangolare	0,058	0,0033
$E_s$	Err. stab.temperat.	0,020	rettangolare	0,012	0,0001
<b>INCERTEZZA TIPO COMPOSTA</b>				<b>k=1 (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>0,067</b>
<b>INCERTEZZA ESTESA MISURA DELLA TEMPERATURA</b>				<b>k=2 (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>0,135</b>

■ **Esempio con Certificato Taratura SIT con incertezza estesa di taratura accreditata di 0,05°C**

➤ **Il Centro di Taratura SIT è difatti accreditato con le seguenti incertezze:**

- -196 ÷ - 90 °C : 0,05 °C
- - 90 ÷ 260 °C : 0,05 °C
- 260 ÷ 420 °C : 0,05 °C

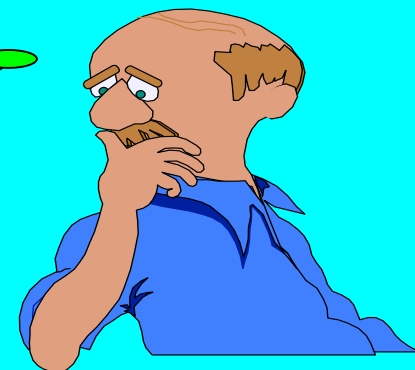
VARIABILE	NOME	STIMA	DISTRIBUZIONE	INCERTEZZA	VARIANZA
INGRESSO	VARIABILE	VARIABILE	VARIABILE	TIPO	TIPO
$U(tar)$	Inc. taratura max	0,050	normale	0,025	0,0006
$E_m$	Err. misura max	0,025	rettangolare	0,014	0,0002
$E_r$	Err. risoluzione	0,001	rettangolare	0,001	0,0000
$E_a$	Err. unif. assiale	0,050	rettangolare	0,029	0,0008
$E_b$	Err. unif. radiale	0,100	rettangolare	0,058	0,0033
$E_s$	Err. stab.temperat.	0,020	rettangolare	0,012	0,0001
<b>INCERTEZZA TIPO COMPOSTA</b>				<b>k=1 (°C)</b>	<b>0,072</b>
<b>INCERTEZZA ESTESA DI MISURA DELLA TEMPERATURA</b>				<b>k=2 (°C)</b>	<b>0,143</b>



Dalle valutazioni  
condotte che dire:

- Sebbene la propagazione dell'incertezza di misura con certificazione DKD comporti incertezze migliori rispetto quella SIT:
  - rilevabili nelle ultime righe delle precedenti tabelle  
 $(0,135^{\circ}\text{C} < 0,143^{\circ}\text{C})$
- a lato pratico tali differenze risultano trascurabili:  
 $0,008^{\circ}\text{C} < 0,01^{\circ}\text{C}!!!$

Inoltre in merito alla valutazione si può asserire che:



- è da notare, che sull'intero campo di temperatura normalmente considerato:
  - (-80/+420°C), ovvero nella taratura dei campioni secondari,
- la differenza di incertezza tra i due trasferimenti di riferibilità di misura decresce ulteriormente proprio per la presenza del mezzo di confronto, che ne degrada l'incertezza di trasferimento della temperatura
- il che rende il trasferimento dell'incertezza con certificati SIT o DKD del tutto equipollente!!!

La reportistica e le modalità di espressione dell'incertezza sono equivalenti nel SIT e DKD?



- Sembra essere di fronte a due metodologie d'esposizione dati e accreditamento di tipo diverso!
- Tralasciando i problemi tecnici e politici che questo comporta, rimane comunque il fatto che i Centri SIT-EA non possono dettagliare informazioni od "incertezze di misura diverse" da quelle accreditate,
- mentre sembra che in ambito DKD-EA si possano fornire incertezze in forma e tipologia diverse da quelle accreditate:
- Eppure esiste l'accordo di mutuo riconoscimento MLA!!!

Concludendo sulla reportistica e sulle modalità di espressione dell'incertezza si può notare:



- Che in alcuni contesti è opportuno individuare e confrontare tutti i dati riportati in certificati emessi per la stessa tipologia di strumento segnatamente alla impostazione ed esposizione, infatti sul certificato DKD **in posizione diversa** compare poi l'incertezza estesa:

## 6. *McB*unsicherheit / Measurement uncertainty

*Because of the done calibration and former test to IRTDs you can expected a maximum uncertainty over the full range (-196°C to 420°C) of not more than 35 mK.*

*The uncertainty of measurement corresponding to the measurement results is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor  $k=2$ . The standard deviation was calculated in accordance with DKD-3 and considers the uncertainties of the used standard, the calibration method, the environmental conditions as well as short-time instabilities of the calibrated IRTD. The true value is located in the corresponding interval with a probability of 95%.*

- Che se trascurata, può indurre gli utenti non avveduti a possibili errori nella percezione e stima della incertezza di misura delle conferme metrologiche e degli studi di convalida, talvolta con oneri economici di certificazione non giustificabili!!!