

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

- 1. Introduzione**
- 2. Caratteristiche Campioni “1^a linea “ Aziendali**
- 3. Taratura Campioni 1^a linea Aziendali**
- 4. Utilizzo Campioni 1^a 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^a linea (IRTD) certificati SIT-EA oppure certificabili in ambito europeo DKD-EA
- ai campioni secondari o di 2^a 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[^] 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)	Termometri a resistenza	punto a -196°C 0°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
	Misuratori di temperatura con uscita digitale per termocoppie e termometri a resistenza	campo di misura della sonda abbinata	$2\sqrt{U^2 / 4 + u_{ris}^2}$	⑦⑧



Come influisce l'incertezza di taratura sulle misurazioni

I campioni di 1[^] 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

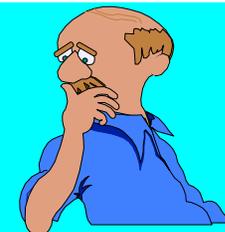


**Come valutare l'incertezza di
di misura nel trasferimento**

- **L'incertezza della temperatura di riferimento, con cui si trasferisce, nella catena metrologica composta da:**
 - campione di 1^a linea (IRTD)
 - mezzo di confronto (fornetto o bagno)

- **terrà conto sia delle componenti di incertezza di taratura del campione di 1^a 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^a linea:**
normalmente fornita nel certificato di taratura a 2 scarti tipo
- E_m = **Errore di misura del campione di 1^a linea:**
normalmente è scelto il valore massimo, positivo o negativo
- E_r = **Errore di risoluzione del campione di 1^a 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

RISULTATI DELLA TARATURA CALIBRATION REPORT <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^a linea:

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

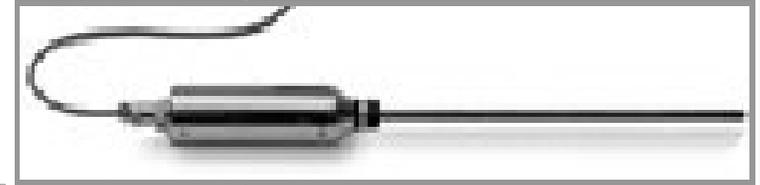
■ e di adoperare una catena metrologica di trasferimento con un mezzo di confronto avente le seguenti caratteristiche:

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

8.1 Catena Metrologica

TERMOMETRO CAMPIONE CERTIFICATO

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



FORNETTO DI TARATURA PORTATILE

- Campo: da -25 a $+400^{\circ}\text{C}$
- Uniformità assiale : $0,05^{\circ}\text{C}$
- Uniformità radiale: $0,10^{\circ}\text{C}$
- 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
INCERTEZZA TIPO COMPOSTA				k=1 ($^{\circ}\text{C}$)	0,067
INCERTEZZA ESTESA MISURA DELLA TEMPERATURA				k=2 ($^{\circ}\text{C}$)	0,135

■ **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
INCERTEZZA TIPO COMPOSTA				k=1 (°C)	0,072
INCERTEZZA ESTESA DI MISURA DELLA TEMPERATURA				k=2 (°C)	0,143



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!!!