

# DT-06-DT rev.00



## **Guida per la taratura di strumenti per pesare a funzionamento non automatico** *ing. Agostino Viola*

*Copia n. 62 del kilogrammo prototipo  
internazionale INRIM - Torino*

# Argomenti dell'intervento

- Considerazioni preliminari
- Campo di applicazione della guida
- Tipologie di bilance
- Operazioni preliminari da effettuare prima della taratura
- Prove da eseguire (!)
- Elaborazione dei dati (!)
- **Stima dell'incertezza di taratura e d'uso (!!)**

# Considerazioni preliminari

Gruppo di lavoro costituito da RT-LAT ed ispettori DT masse

## **Mission:**

Aggiornamento ed adeguamento del SIT/TEC 003/03 alla nuova guida Euramet CG-18 rev.03 (2011)



*Il kilogrammo prototipo internazionale*

*BIPM Sevres -Francia*

# Considerazioni preliminari

Per una migliore comprensione...

➤ Variazioni (+ o -) rispetto alla precedente guida SIT TEC 003/03

➤ Argomenti di nuova introduzione o molto importanti rispetto alla precedente guida

*Comparatori di massa da 1 kg e 10 kg  
INRIM - Torino*





# Definizioni e finalità

- **Non è una procedura ma una guida!**
- I laboratori potranno utilizzarla per elaborare la propria procedura ed utilizzare gli esempi per la relativa validazione
- Le metodologie indicate non devono essere confuse con le prove di valutazione della conformità o di verifica metrico-legale (*OIML R76- EN 45501 2009/23/EC*) il cui scopo è verificare se gli errori determinati rientrano all'interno di un determinato errore (MPE)

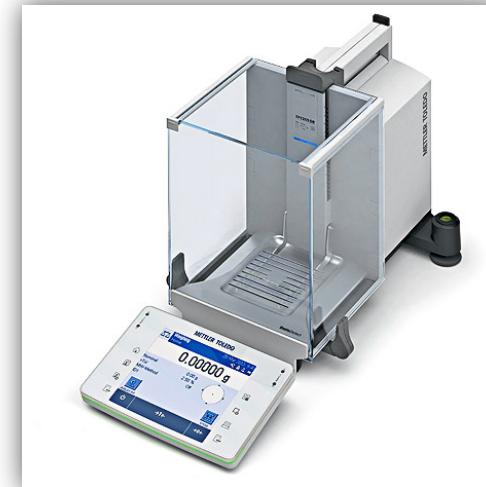


*Il chilogrammo prototipo internazionale nella cassaforte con i suoi sei testimoni -BIPM*

# Definizioni e finalità

## Cosa significa NAWI?

- La normativa europea 2009/23/EC (art.2 ) introduce la definizione di «Sistema per pesare a funzionamento non automatico» (*NAWI- Non Automatic Weighing Instrument*)
- Il termine **bilancia** è diventato non adeguato a causa dell'introduzione di sistemi per pesare che non utilizzano la compensazione della forza peso mediante campioni di massa posti su piatti sorretti da bracci (non necessariamente uguali..) o da pendoli.

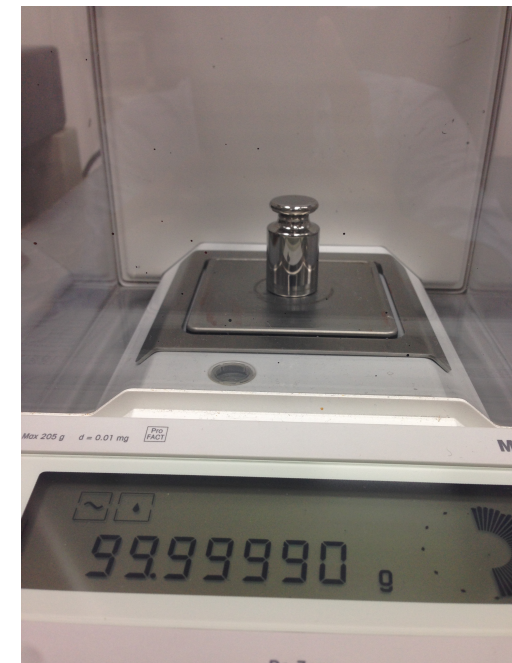


# Definizioni e finalità

I moderni sistemi per pesare sono essenzialmente costituiti da una sistema di contrappeso estensimetrico + smorzatori elettromagnetici che consentono di avere sensibilità molto elevate (superiori ad 1 000 000 di divisioni) mantenendo una buona rangeability

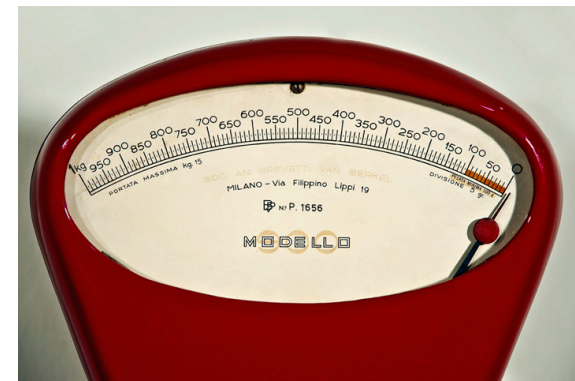
Una classificazione delle bilance analitiche (usate nei laboratori di prova) può essere la seguente:

Classificazione	Portata massima tipica	Unità di formato
	/g	/μg
Macro Analitica	100-1000	100
Semi-micro Analitica	25-100	10
Micro Analitica	5-25	1
Ultra-micro Analitica	<5	0,1



# Campo di applicazione

- La guida è destinata per sistemi fino a 60 kg (movimentazione manuale dei carichi). Oltre è applicabile con alcune riduzioni
- Per le bilance meccaniche a bracci o a pendolo è necessario tarare anche le masse (se accessibili)



Destinatari:

- Laboratori di taratura (LAT)
- Laboratori di prova (LAB) che utilizzano bilance per effettuare misure
- Ispettori tecnici ed esperti (DT-DL)



# Tipologie di strumenti

- **Strumento ad un campo di pesatura:** strumento con un solo campo di pesatura tra la portata minima (Min) e la portata massima (Max) ed avente una sola divisione di scala (UF)
  
- **Strumento con divisioni o campi plurimi:** strumento con un solo campo di pesatura suddiviso in campi di pesatura parziali aventi UF differenti per ogni campo di pesatura parziale. *Ogni campo di pesatura deve essere tarato come se fosse uno strumento a se stante*

# Campo di taratura

## Campo di taratura

- La taratura, salvo diverse indicazioni deve essere effettuata considerando l'intero campo di misura
- Se necessario (o strategico) tale campo può ridursi
- All'interno del campo di misura è possibile specificare punti (sotto opportune condizioni...)

# Luogo di taratura

## La taratura deve avvenire nel luogo di utilizzo.

La taratura in un luogo diverso è possibile (recepimento della guida europea...) alle seguenti condizioni:

- Il numero di divisioni (FS/UF) non deve essere superiore a 50000 (*esclude quindi tutte le bilance analitiche*)
- Lo strumento deve essere «nuovo di fabbrica»
- Inoltre una serie di requisiti molto dettagliati riportati in DT-06-DT

Qualora lo strumento venga spostato dopo la taratura è necessario valutare:

- variazione dell'accelerazione di gravità locale (5-6 cifra);
- variazione delle condizioni ambientali;
- condizioni meccaniche e termiche durante il trasporto

# Luogo di taratura

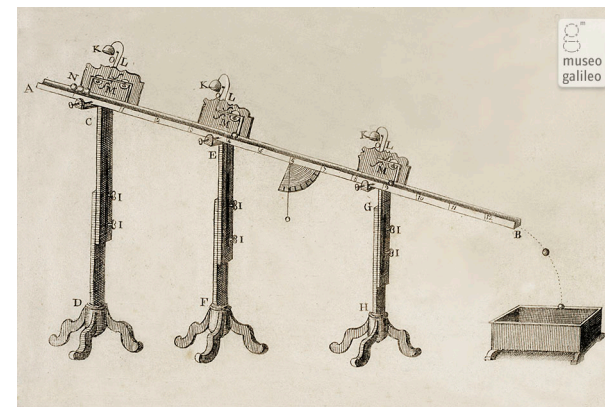
## Variazioni di g

Le bilance a pendolo (contrappeso in massa) e quelle con un numero di divisioni inferiore a 1000 (esempio FS 1000g UF 1g) sono insensibili a variazioni di g. Tutte le altre sono impostate in fabbrica con una correzione di g in base al paese di destinazione

$$g = a_1 \left( 1 + a_2 \sin^2(\varphi) - a_3 \sin^2(2\varphi) \right) - a_4 h$$

$\varphi$  latitudine in gradi

$h$  altezza in metri



$$\begin{aligned} a_1 &= 9,780327 \text{ ms}^{-2} \\ a_2 &= 5,3024 \cdot 10^{-3} \\ a_3 &= -5,8 \cdot 10^{-6} \\ a_4 &= -3,085 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-2} \end{aligned}$$

WELMEC (metrologia legale) fornisce indicazioni sulla mappa delle zone di suddivisione di gravità

<http://www.welmec.org/welmec/gravity-information.html>



# Luogo di taratura

## Variazioni di g

Esempio 1:  
Bilancia spostata  
da Roma a Torino

$$g_{\text{ROMA}} = 9,8035 \text{ ms}^{-2}$$
$$g_{\text{TORINO}} = 9,8053 \text{ ms}^{-2}$$
$$\Delta g = -0,02 \%$$

$$m_{\text{ROMA}} = 121,345 \text{ g}$$
$$m_{\text{TORINO}} = 120,367 \text{ g}$$
$$\Delta m = 22 \text{ mg}$$

Esempio 2:  
Bilancia portata 2 piani  
sopra  
( $\Delta h = 10 \text{ m}$ )

$$g_0 = 9,80186 \text{ ms}^{-2}$$
$$g_{+10} = 9,80231 \text{ ms}^{-2}$$
$$\Delta g = -0,0046 \%$$

$$m_0 = 121,345 \text{ g}$$
$$m_{+10} = 121,339 \text{ g}$$
$$\Delta m = 6 \text{ mg}$$

# Campioni di massa

## Premessa

Il laboratorio LAT che intende effettuare le tarature in conformità alla guida deve essere in possesso di campioni di **prima linea** (residenti) e di **seconda linea** (viaggianti)

- I campioni devono essere sotto il controllo esclusivo del laboratorio
- la prima linea garantisce la riferibilità metrologica e consente di verificare lo stato di conferma metrologica della seconda linea e non può essere utilizzata per la taratura di bilance
- la seconda linea deve essere impiegata nelle attività di taratura delle bilance

# Verifiche intermedie

## Per i laboratori LAT

I campioni di massa **viaggianti** fino a 20 kg devono essere sottoposti a verifiche intermedie nel più breve periodo a scelta tra:

- 6 uscite
- 6 mesi

L'incertezza d'uso del campione viaggiante deve essere quella della verifica intermedia

# Campioni di massa

**La scelta dei campioni** deve essere effettuata secondo il seguente criterio:

Se si utilizza il valore convenzionale di massa l'incertezza di taratura (desumibile dal CDT) dei campioni **dovrebbe** essere non superiore a  $0,29UF$  (rendere poco influente il contributo all'incertezza dei campioni di massa)

TARATURA DELLA BILANCIA

Portata bilancia	Unità di formato ( <i>uf</i> ) della bilancia									
	0,1 µg	1 µg	10 µg	100 µg	1 mg	10 mg	100 mg	1 g	10 g	100 g
≤ 50 kg							E2	F2	M2	M3
≤ 20 kg							E2	F2	M2	M3
≤ 10 kg					E1	E1	F1	M1	M3	M3
≤ 5 kg					E1	E2	F2	M2	M3	M3
≤ 2 kg					E1	F2	F2	M2	M3	M3
≤ 1 kg				E1	F1	F1	M1	M3	M3	
≤ 500 g				E1	E2	F2	M2	M3	M3	
≤ 200 g			E1	E1	E2	F2	M2	M3	M3	
≤ 100 g			E1	E1	F1	M1	M3	M3		
≤ 50 g			E1	E1	F1	M1	M3	M3		
≤ 20 g		E1	E1	E2	F2	M2	M3	M3		
≤ 10 g		E1	E1	E2	F2	M2	M3			
≤ 5 g	E1	E1	E1	E2	F2	M2	M3			
≤ 2 g	E1	E1	E1	E2	F2	M2	M3			
≤ 1 g	E1	E1	E1	E2	F2	M2				





# Operazioni preliminari

La taratura deve avvenire nelle effettive condizioni di utilizzo, che dovranno essere indicate nel CDT (autozero, calibrazione interna, pesata instabile,...)

Controlli sulla bilancia (matricola, messa in bolla, stabilità,...)

**Problematiche termiche (influenza su incertezza):**

- Stabilizzazione termica dei campioni di massa
- Stabilità termica durante le fasi della taratura
- Equilibrio termico tra:
  - Bilancia (accenderla prima della taratura)
  - Campioni di massa
  - Operatore

# Operazioni preliminari

## Stabilizzazione termica dei campioni di massa (OIML R111:2004)

$\Delta T$	Valore della massa	Classe E1	Classe E2	Classe F1	Classe F2
$\pm 20\text{ }^\circ\text{C}$	1000, 2000, 5000 kg <sup>1</sup>	-	-	79 h	5 h
	100, 200, 500 kg <sup>1</sup>	-	70 h	33 h	4 h
	10, 20, 50 kg	45 h	27 h	12 h	3 h
	1, 2, 5 kg	18 h	12 h	6 h	2 h
	100, 200, 500 g	8 h	5 h	3 h	1 h
	10, 20, 50 g	2 h	2 h	1 h	0,5 h
	< 10 g	1 h			
$\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$	1000, 2000, 5000 kg <sup>1</sup>	-	-	1 h	1 h
	100, 200, 500 kg <sup>1</sup>	-	40 h	2 h	1 h
	10, 20, 50 kg	36 h	18 h	4 h	1 h
	1, 2, 5 kg	15 h	8 h	3 h	1 h
	100, 200, 500 g	6 h	4 h	2 h	0,5 h
	10, 20, 50 g	2 h	1 h	1 h	0,5 h
	< 10 g	1 h			
$\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$	1000, 2000, 5000 kg <sup>1</sup>	-	-	1 h	0,5 h
	100, 200, 500 kg <sup>1</sup>	-	16 h	1 h	0,5 h
	10, 20, 50 kg	27 h	10 h	1 h	0,5 h
	1, 2, 5 kg	12 h	5 h	1 h	0,5 h
	100, 200, 500 g	5 h	3 h	1 h	0,5 h
	< 100 g	0,5 h			

LAT

LAB

# Operazioni preliminari

## Stabilità termica durante la taratura

All'inizio e alla fine delle 3 prove (soprattutto LINEARITA') è necessario verificare che la temperatura ambiente non abbia variazioni superiori a:

- $\pm 2$  °C se si utilizzano pesiere in classe  $E_1 - E_2$
- $\pm 5$  °C negli altri casi

*Ndr : requisiti poco severi se commisurati alla durata delle singole prove*

## Equilibrio termico

Effettuare una decina di pesate a circa il 50% del MAX per instaurare equilibrio termico tra:

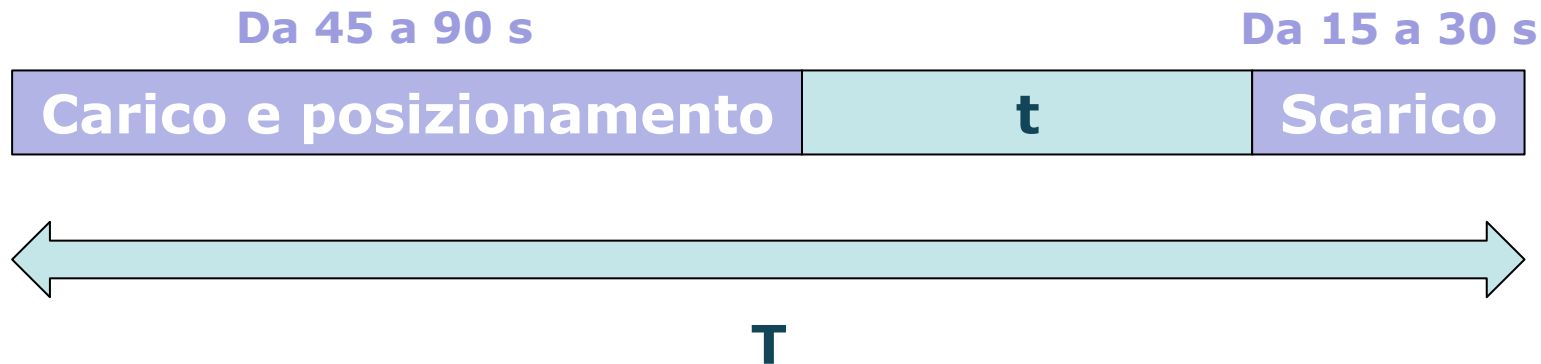
- Operatore
- Bilancia
- Campioni di massa

*Misure potrebbero essere affette da deriva quindi non dovrebbero essere utilizzate per la determinazione della ripetibilità di lettura.*

# Indicazioni dello strumento

## Tempo di intervallo della lettura $T$

Somma di  $t$  (stabilizzazione della bilancia) e del tempo necessario per le operazioni di carico, posizionamento e scarico dei campioni di massa



*Note:*

*La maggior parte delle bilance in commercio (soprattutto quelle digitali) forniscono un'indicazione dello stato di stabilità...*

*Mantenere il più possibile costante questo tempo (soprattutto nella prova di LINEARITA')*



# Tipologie di prova

La taratura di una bilancia prevede 3 prove (da eseguirsi preferibilmente nel seguente ordine:

## **ECCENTRICITA'**

*Determinazione della sensibilità a carichi decentrati*

## **RIPETIBILITA'**

*Determinazione della ripetibilità di indicazione*

## **LINEARITA'**

*Determinazione dell'errore di indicazione*



# Eccentricità

## Eccentricità del carico

Obiettivo: determinare la sensibilità della bilancia in caso di decentramento del carico sul ricettore.

➤ L'effetto sulla lettura è proporzionale al decentramento ed all'entità del carico applicato

➤ Il carico deve essere pari a circa il 30% del FS oppure a  $MIN + (MAX - MIN) / 3$  in caso di range di taratura ridotto

➤ Optare sempre verso carichi a minor numero di elementi

➤ Esempio:

Max = 200 g

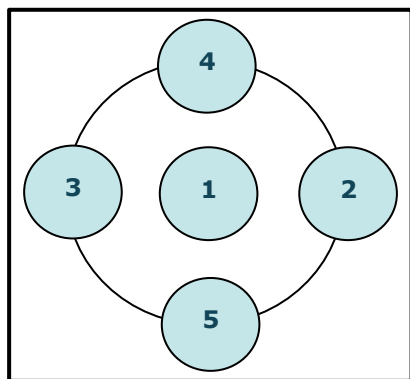
1/3 di Max = 66,667 g

Carico teorico: (50+10+5+1+.....) almeno 4 campioni

Carico utilizzabile: 70 g

# Eccentricità

Per bilance con meno di 4 punti di appoggio (da non confondere con i piedini della bilancia...)



Le posizioni decentrate sono ad una distanza dal centro compresa tra la metà ed  $1/3$  del raggio (o semidiagonale)

*Ndr: tipologia più frequente..*

# Eccentricità

Elaborazione dei dati di misura (esempio)

L'operatore azzerava la bilancia a carico nullo

Carico pari a 70 g (50+20)

Posizione	Min /g	Indicazione /g	$\Delta i_{ecc,i}$ /g	$Ass(\Delta i_{ecc,i})$ /g
1	--	70,000 1	--	--
2	--	70,000 3	0,000 2	0,000 2
3	--	69,999 9	-0,000 2	0,000 2
4	--	70,000 0	-0,000 1	0,000 1
5	--	70,000 0	-0,000 1	0,000 1

$$\Delta i_{ecc} = \max(ass(\Delta i_{ecc,i})) = 0,0002 \text{ g}$$

*SIT TEC era  $I_{max} - I_{min}$  quindi 0,0004 g*

Se > 15 UF la taratura dovrebbe essere interrotta

# Ripetibilità

- La prova viene effettuata ad 1 livello di carico (SIT TEC 2 livelli):
  - compreso tra il 0,5 Max e Max (1 campo di pesatura)
  - Vicino a Max per ogni campo di pesatura (campi plurimi)
- Il carico può essere concordato con l'utilizzatore in caso di specifiche condizioni di lavoro
- Il numero di ripetizioni non deve essere inferiore a 5 (SIT TEC era min 10)
- **Se  $n < 10$  si dovrà effettuare il computo dei gradi di libertà e del fattore di copertura  $k$**

**Se microbilancia (5 cifre) si suggerisce  $n=10$   
e verifica a 0,5Max e Max**

# Ripetibilità

Elaborazione dei dati di misura (esempio di 5 ripetizioni)

L'operatore azzerava la bilancia a carico nullo

FS bilancia 200 g

Carico pari a 200 g

n.	Indicazione
	I g
1	200,000 1
2	200,000 1
3	200,000 0
4	200,000 1
5	200,000 1
<b>S<sub>L</sub></b>	<b>0,000 04</b>

$$s_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{c_i} - L_{cm})^2}{n-1}}$$



# Linearità

- Utilizzo di campioni di massa con certificato di taratura in corso di validità ed incertezza adeguata (possibilmente 0,29 UF)
- Corretto centraggio dei campioni di massa sul piatto (complicato in caso di più di 2 campioni di massa)
- I punti di verifica devono essere almeno 5 equispaziati sul campo di taratura.
- Se scelgo 5 il primo punto è pari al 20% del Max. Siamo sicuri che è sufficiente per l'utilizzatore?



# Linearità

I carichi possono essere applicati secondo le seguenti modalità:

1. In salita con scarico del piatto

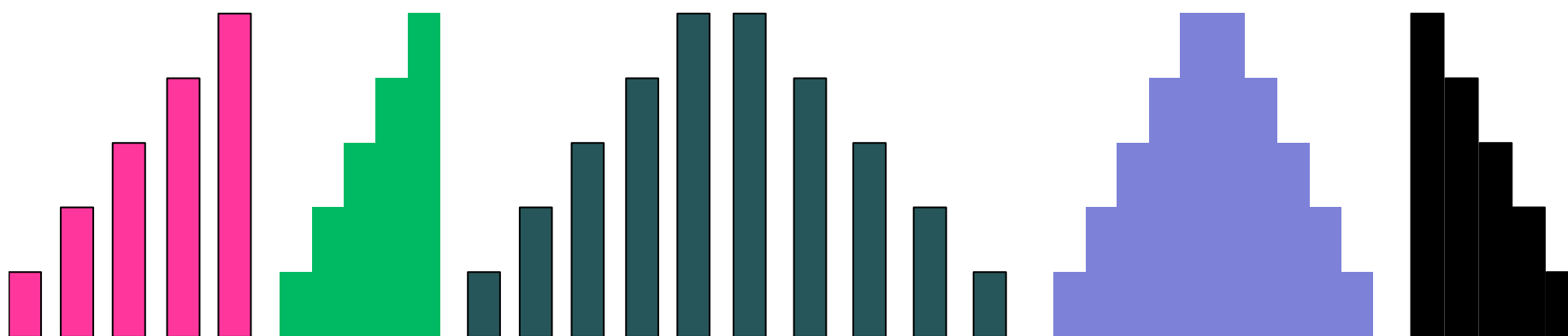
2. In salita senza scarico del piatto

3. In salita e discesa con scarico del piatto

4. In salita e discesa senza scarico del piatto

5. In discesa senza scarico del piatto (pesata per sottrazione)

Per le modalità 2, 4 e 5 è necessario avere un adeguato numero di campioni di massa!



# Linearità

Elaborazione dei dati di misura (esempio 5 punti)

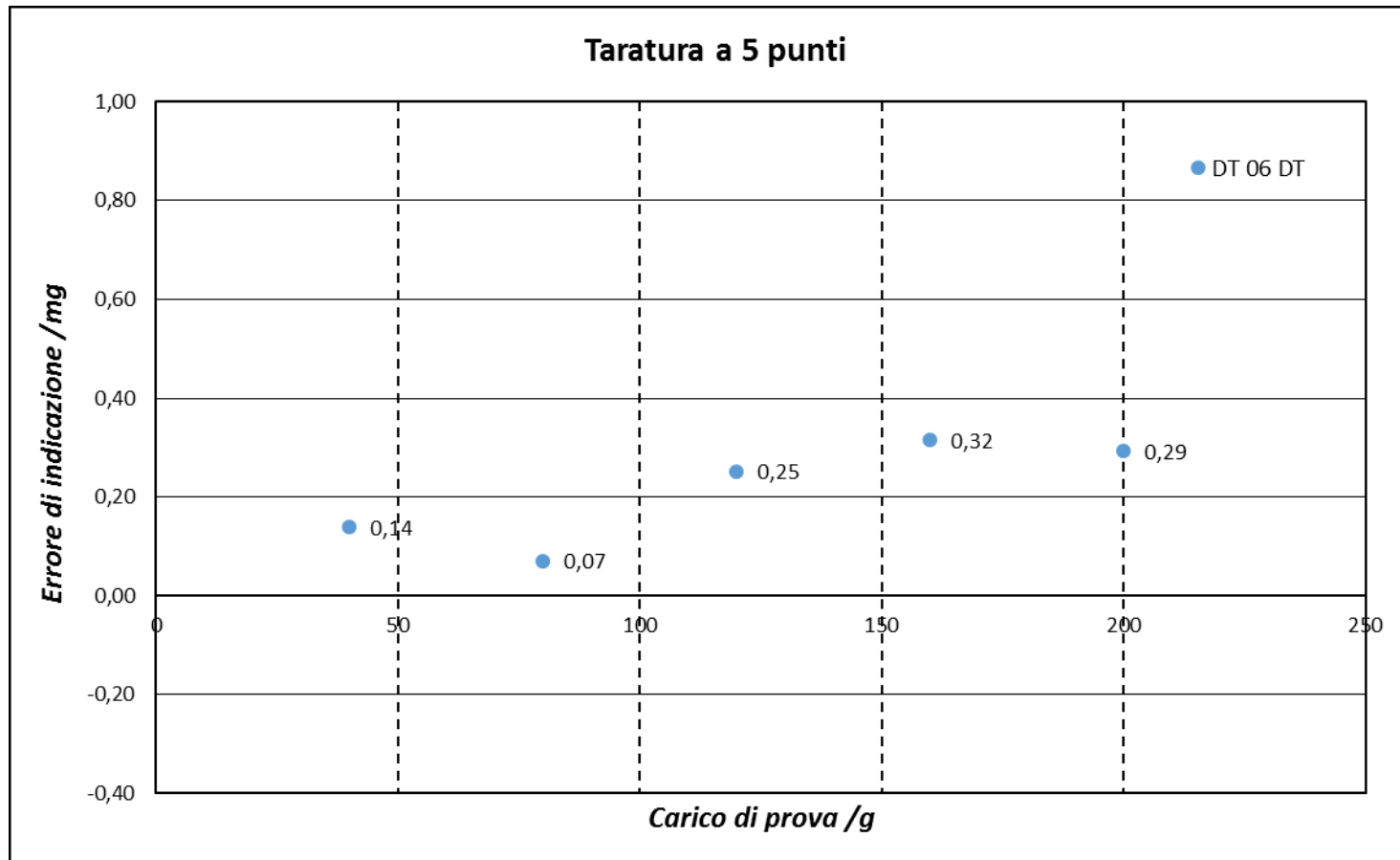
L'operatore azzerava la bilancia a carico nullo

Carico pari a 200 g

n.	V. Nom. M	V. Conv. Mc	carico crescente			carico decrescente		Errore medio
			Indicazione I	Errore E		Indicazione I	Errore E	
	g	g	g	g		g	g	g
<b>1</b>	40	40,000 061	40,000 2	0,000 14	<b>10</b>	40,000 2	0,000 14	<b>0,000 14</b>
<b>2</b>	80	80,000 029	80,000 1	0,000 07	<b>9</b>	80,000 1	0,000 07	<b>0,000 07</b>
<b>3</b>	120	119,999 948	120,000 2	0,000 25	<b>8</b>	120,000 2	0,000 25	<b>0,000 25</b>
<b>4</b>	160	159,999 935	160,000 2	0,000 27	<b>7</b>	160,000 3	0,000 37	<b>0,000 32</b>
<b>5</b>	200	200,000 107	200,000 4	0,000 29	<b>6</b>	200,000 4	0,000 29	<b>0,000 29</b>

$$E_i = I_i - m_{ref,i} \quad E_i = \frac{1}{2} \left( E_{i,salita} + \Delta M_{i,discesa} \right)$$

# Linearità



# Incertezza di taratura

- Le prove di eccentricità e ripetibilità hanno il duplice scopo di determinare l'affidabilità della bilancia e fornire i 2 contributi all'incertezza dell'indicazione della bilancia
- Nel caso di una bilancia va fatta distinzione tra **l'incertezza di taratura e l'incertezza d'uso**
- La prima scaturisce dalle prove e viene dichiarata dal centro LAT (o dal RDT interno del laboratorio)
- La seconda, sempre maggiore (o uguale) della prima deve essere determinata dall'utilizzatore della bilancia

# Incertezza dell'errore

Partendo dal modello matematico

$$E = I - m_{ref}$$

*Applicando la propagazione dell'incertezza secondo EA 04/02*

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$$

Il primo termine è l'incertezza di indicazione della bilancia  
il secondo è l'incertezza dei campioni di massa utilizzati



# Incertezza dell'indicazione

Il modello matematico dell'indicazione è:

$$I = I_L - I_0 + \delta I_{digL} + \delta I_{rip} + \delta I_{ecc} - \delta I_{dig0}$$

- $I_L$  è la lettura della bilancia
- $I_0$  è l'indicazione della bilancia a piatto scarico
- $\delta I_{digL}$  è la correzione dovuta all'unità di formato
- $\delta I_{rip}$  è la correzione dovuta all'errore di ripetibilità dello strumento
- $\delta I_{ecc}$  tiene conto dell'errore dovuto alla posizione decentrata del un carico di prova
- $\delta I_{dig0}$  tiene conto dell'errore di arrotondamento digitale sull'indicazione a carico nullo
- **Trascurabili ma non in termini di incertezza**

Applicando EA 04/02

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

# Incertezza dell'indicazione

## Unità di formato dell'indicazione

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

I limiti sono  $\pm d_I/2$  oppure  $\pm d_T/2$  (se è possibile aumentare la risoluzione); si assume una distribuzione rettangolare di probabilità e pertanto il contributo all'incertezza vale

$$u(\delta I_{digL}) = \frac{d_I}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

# Incertezza dell'indicazione

## Ripetibilità di lettura

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

Tale contributo è pari al risultato della prova di ripetibilità

$$s_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{c_i} - L_{cm})^2}{n-1}}$$

Laddove la prova di ripetibilità sia stata effettuata a diversi livelli di carico, i diversi valori verranno utilizzati nei corrispondenti intervalli o, in alternativa, a vantaggio di sicurezza, può essere utilizzato il valore più grande tra i valori stimati ai diversi livelli di carico a cui la prova di ripetibilità è stata condotta.

# Incertezza dell'indicazione

## Eccentricità

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

- Tale contributo (prima inserito nell'incertezza d'uso) è pari al risultato della prova di eccentricità.
- La stima tiene in conto delle seguenti ipotesi:
  1. le differenze determinate durante la prova di eccentricità sono proporzionali alla distanza del carico dal centro del recettore di carico ed al valore del carico;
  2. il decentramento del centro di gravità effettivo del carico di prova non è più grande di metà dello scostamento massimo rilevato durante la prova di decentramento del carico

Pertanto:

$$u(\delta I_{ecc}) = I \cdot \frac{(\Delta I_{ecc,i})_{\max}}{2 \cdot L \cdot \sqrt{3}}$$

L = carico di prova utilizzato in eccentricità

# Incertezza dell'indicazione

## Unità di formato dell'indicazione a Zero/Min

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

I limiti sono  $\pm d_o/2$  oppure  $\pm d_T/2$  (se è possibile aumentare la risoluzione); si assume una distribuzione rettangolare di probabilità e pertanto il contributo all'incertezza vale

$$u(\delta I_{digL}) = \frac{d_o}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

Generalmente  $d_o = d_i$  (con  $d_t$  n.a.) quindi è come se il contributo dovuto alla risoluzione sia doppio!

# Incertezza dei campioni di massa

Il modello matematico relativo all'espressione del valore di massa è pari a:

$$m_{rif} = m_N + \delta m_c + \delta m_B + \delta m_D + \delta m_{conv} + \delta m_{\Delta t}$$

- $\delta m_c$  è la correzione da applicare al valore  $m_N$  per ottenere l'effettivo valore di massa convenzionale  $m_c$  che è riportato nel certificato di taratura
- $\delta m_B$  è la correzione per la spinta aerostatica
- $\delta m_D$  è la correzione per una possibile deriva di  $m_c$
- $\delta m_{conv}$  è la correzione per gli effetti dei motivi convettivi dell'aria
- $\delta m_{\Delta t}$  è la correzione per gli effetti della temperatura ambiente
- **Trascurabili ma non in termini di incertezza**



# Incertezza dei campioni di massa

## Campioni di massa (taratura)

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

Desumibile dal CDT in corso di validità

*(per carichi composti da più masse il valore si somma algebricamente e non quadraticamente)*

**Se si utilizza il valore nominale della massa tale contributo diventa pari a:**

$$u(\delta m_c) = \frac{MPE}{\sqrt{3}}$$

Utilizzando MPE l'incertezza è sicuramente maggiore (*OIML R111:2004 Tabella 1 pagina 13*)

# Incertezza dei campioni di massa

## Effetto di galleggiamento

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

Stima abbastanza complessa.

Ipotesi semplificative:

1. bilancia regolata prima della taratura
2. Impiego di campioni di massa conformi alla OIML R111

$$u(\delta m_B) = \frac{MPE}{4 \cdot \sqrt{3}}$$

# Incertezza dei campioni di massa

## Deriva del campione

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

- Determinabile dalla differenza del valore convenzionale a seguito di 2 o più tarature
- In assenza di dati si può stimare come multiplo Y dell'incertezza del campione utilizzato (con X da 1 a 3 volte...)

$$u(\delta m_B) = \frac{Y \cdot u(m_c)}{\sqrt{3}}$$

# Incertezza dei campioni di massa

## Effetti convettivi

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

- Trascurabile se vengono rispettati i tempi di stabilizzazione termica indicati in precedenza
- In ogni caso è possibile fare riferimento a quanto indicato in Appendice F della guida Euramet cg-18

# Incertezza dei campioni di massa

## Influenza della variazione di temperatura durante la prova di linearità (deriva termica)

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

Divisioni (d)	$K_t$ [ $10^6$ ] / $^{\circ}\text{C}^{-1}$
> 300 000	3 ÷ 1,5
60 000 ÷ 300 000	6 ÷ 3
< 60 000	10 ÷ 6

$$u(\delta m_{\Delta t}) = \frac{K_t \cdot m_{\max} \cdot \Delta t}{\sqrt{3}}$$

# Incertezza estesa

## Calcolo gradi di libertà se Ripetibilità <10

Formula di Welch-Satterthwaite per calcolo GDL

$$v = \frac{u(E)^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_i)^4}{v_i}}$$

Ipotesi semplificativa (ma accettabile):

Tutti i contributi all'incertezza, ad esclusione dello scarto tipo di Ripetibilità hanno GDL che tendono a  $\infty$

$$v = \frac{u(E)^4}{\frac{s_L^4}{v_L}}$$

Nota: se GDL non è un numero intero approssimare per difetto



# Incertezza estesa

## Calcolo del fattore di copertura K se $n < 10$

Ipotesi di campione poco numeroso quindi distribuzione t di Student (Appendice E DT-05-DT Rev.00) con probabilità pari al 95,45%:

$v_{\text{eff}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	$\infty$
$k$	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

$$U(E) = k \cdot u(E)$$

*Il fattore di copertura (in realtà GDL) varia al variare del carico di prova e tende a diminuire proporzionalmente al carico*

# Incertezza estesa (DT-06-DT)

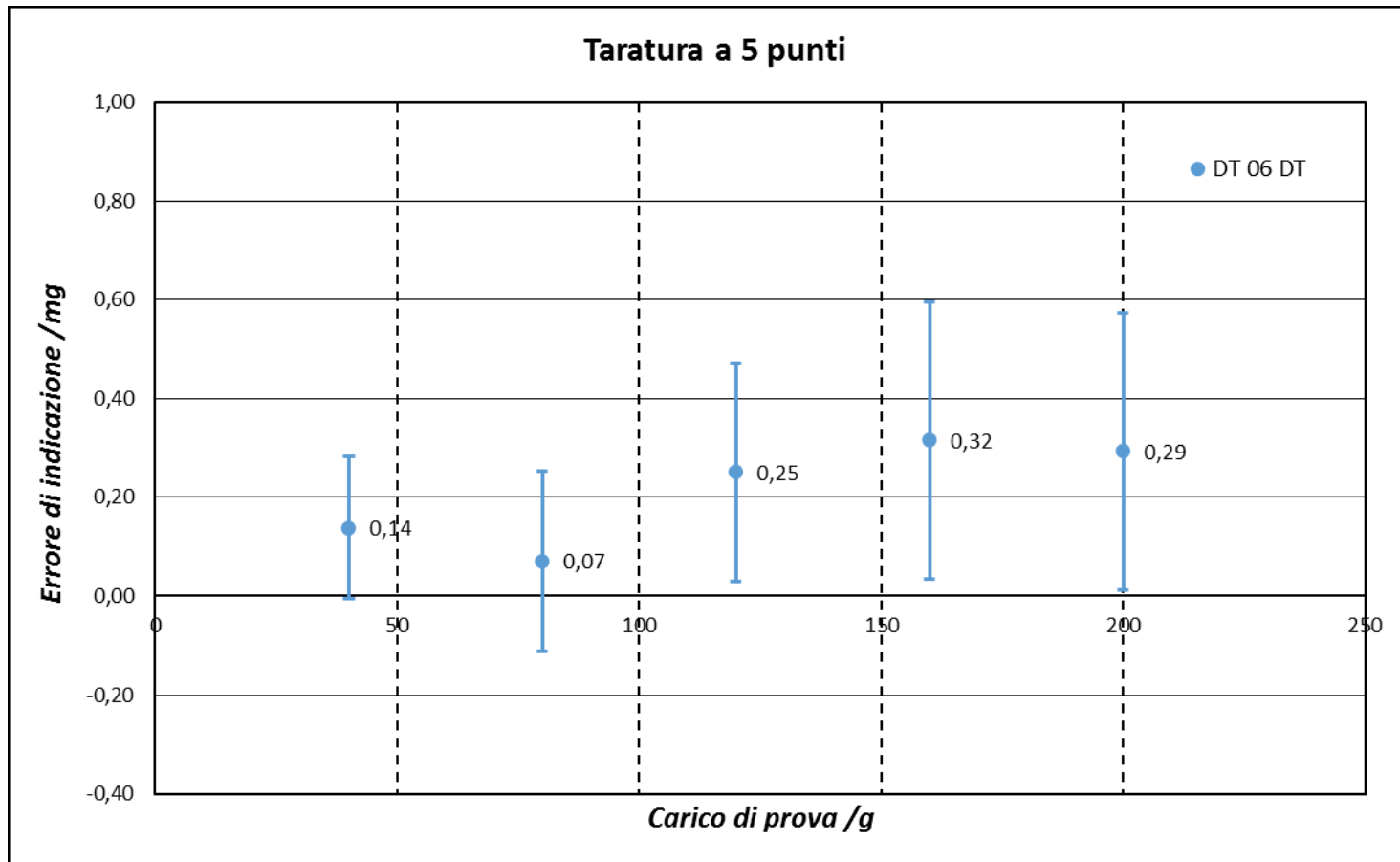
$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$$

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

Carico nominale /g	$m_n$	40	80	120	160	200
Composizione del carico /g	$m_{ref}$	20+20	50+20+10	100+20	100+50+10	200
Errore medio di indicazione /g	E	0,000 14	0,000 07	0,000 25	0,000 32	0,000 29
Errore medio di indicazione /mg		0,14	0,07	0,25	0,32	0,29
Arrotond. digitale al carico /g	$u(\delta I_{digL})$	0,000 03				
Incertezza tipo di ripetibilità /g	$u(\delta I_{rip})$	0,000 04				
Arrotond. digitale a carico nullo /g	$u(\delta I_{dig0})$	0,000 03				
Effetto eccentricità /g	$u(\delta I_{ecc})$	0,000 02	0,000 03	0,000 05	0,000 07	0,000 08
Incertezza tipo su valore massa /g	$u(\delta m_c)$	0,000 01	0,000 02	0,000 03	0,000 04	0,000 04
Incertezza spinta aerostatica /g	$u(\delta m_B)$	0,000 02	0,000 03	0,000 03	0,000 05	0,000 04
Incertezza tipo per deriva di $m_c$ /g	$u(\delta m_D)$	0,000 02	0,000 04	0,000 06	0,000 08	0,000 08
Incertezza tipo per effetti di convezione /g	$u(\delta m_{conv})$	trascurabile				
Incertezza tipo per effetti temp. amb. /g	$u(\delta m_{\Delta t})$	0,00002				
Incertezza tipo dell'errore /g	$u(E)$	0,000 07	0,000 09	0,000 11	0,000 14	0,000 14
Gradi di libertà effettivi	$n_{eff}$	38	103	229	600	600
Fattore di copertura	$k_{eff}$	2,07	2,02	2,01	2,00	2,00
Incertezza estesa /g	$U(E)$	0,000 14	0,000 18	0,000 22	0,000 28	0,000 28

# Curva di taratura



# Incertezza estesa (SIT/TEC)

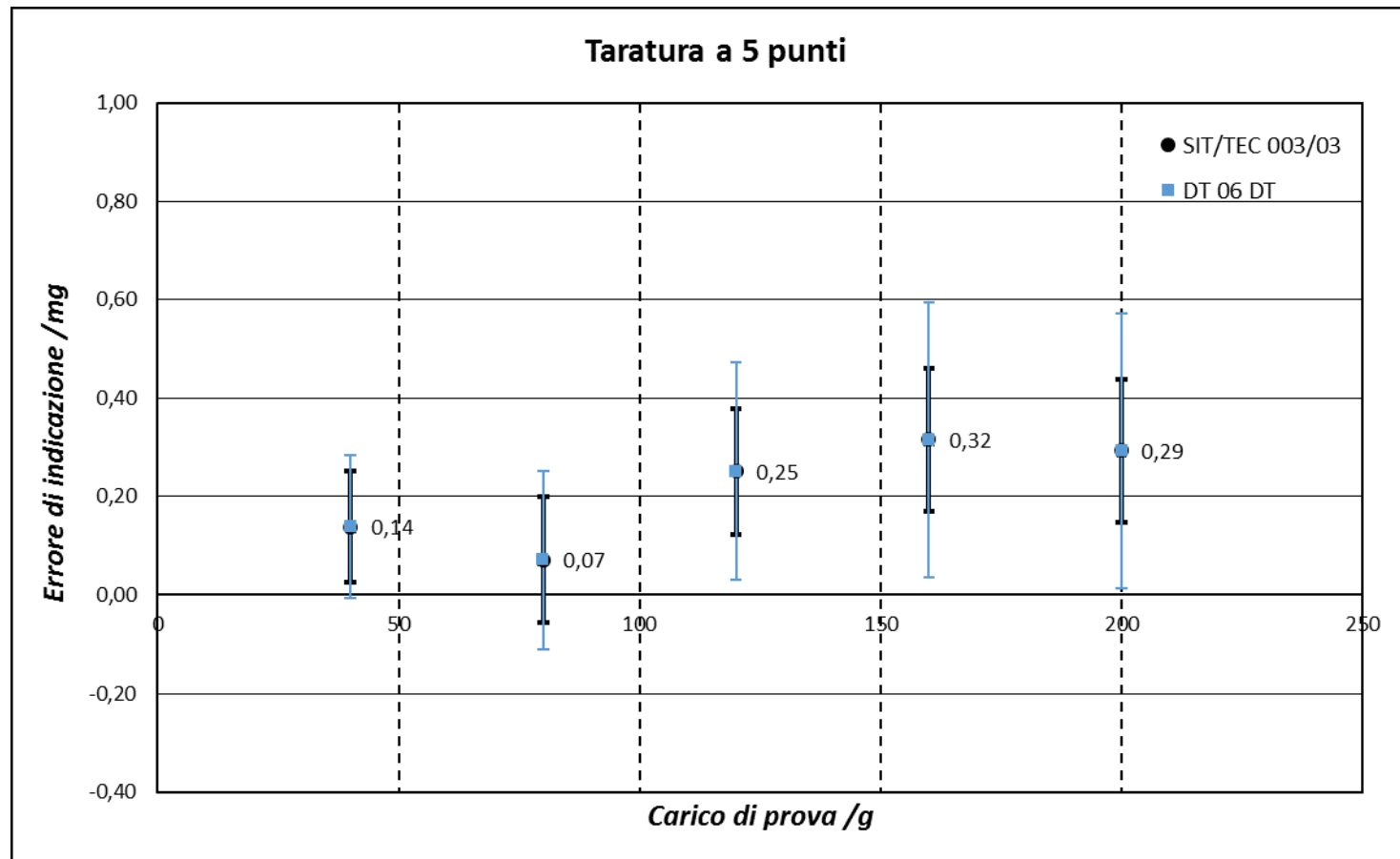
$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$$

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

Carico nominale /g	$m_n$	40	80	120	160	200
Composizione del carico /g	$m_{ref}$	20+20	50+20+10	100+20	100+50+10	200
Errore medio di indicazione /g	E	0,000 14	0,000 07	0,000 25	0,000 32	0,000 29
Errore medio di indicazione /mg		0,14	0,07	0,25	0,32	0,29
Arrotond. digitale al carico /g	$u(\delta I_{digL})$	0,000 03				
Incertezza tipo di ripetibilità /g	$u(\delta I_{rip})$	0,000 04				
Arrotond. digitale a carico nullo /g	$u(\delta I_{dig0})$					
Effetto eccentricità /g	$u(\delta I_{ecc})$					
Incertezza tipo su valore massa /g	$u(\delta m_c)$	0,000 01	0,000 02	0,000 03	0,000 04	0,000 04
Incertezza spinta aerostatica /g	$u(\delta m_B)$					
Incertezza tipo per deriva di $m_c$ /g	$u(\delta m_D)$					
Incertezza tipo per effetti di convezione /g	$u(\delta m_{conv})$					
Incertezza tipo per effetti temp. amb. /g	$u(\delta m_{\Delta t})$	0,00002				
Incertezza tipo dell'errore /g	$u(E)$	0,000 05	0,000 06	0,000 06	0,000 07	0,000 07
Gradi di libertà effettivi	$n_{eff}$	10	20	20	38	38
Fattore di copertura	$k_{eff}$	2,28	2,13	2,13	2,07	2,07
Incertezza estesa /g	$U(E)$	0,000 11	0,000 13	0,000 13	0,000 14	0,000 14

# Curva di taratura confronto



# Incertezza d'uso

Il calcolo delle correzioni e dell'incertezza d'uso della bilancia è:

**responsabilità dell'utilizzatore**

e non di chi effettua la taratura.

Il laboratorio LAT (o interno) deve fornire all'utente indicazioni su come utilizzare i dati riportati nel Certificato o nel Rapporto di taratura per un corretto uso dello strumento.

# Incertezza d'uso

## Alcuni casi che rendono Inc uso > Inc taratura

- L'utilizzatore potrebbe non tenere conto delle correzioni del CDT ed inserirle nel budget di incertezza
- Le condizioni ambientali sono radicalmente diverse da quelle determinate in taratura
- Bilance che non consentono o alle quali non viene effettuata periodicamente la regolazione (interna o esterna)
- La bilancia è stata tarata in salita e discesa con scarico del piatto ma viene utilizzata per pesate incrementali (isteresi)



# Incertezza estesa d'uso

## Esempio di stima di incertezza d'uso

- Le correzioni da CDT non vengono applicate (si stima quindi un contributo pari all'errore massimo con distribuzione di probabilità rettangolare come indicato da Euramet CG-18 par 7.5.2 e appendice C)
- Diversi operatori che utilizzano la bilancia (il laboratorio stima una riproducibilità di pesata di 4 operatori pari a 0,001 g con distribuzione rettangolare)
- La bilancia non viene mai calibrata (deriva desumibile dallo storico delle tarature precedenti o in assenza di dati pari a quella dichiarata dal costruttore pari a 0,000 3 g/anno)
- Le condizioni ambientali e di setup della bilancia sono le medesime della taratura

# Incertezza estesa d'uso

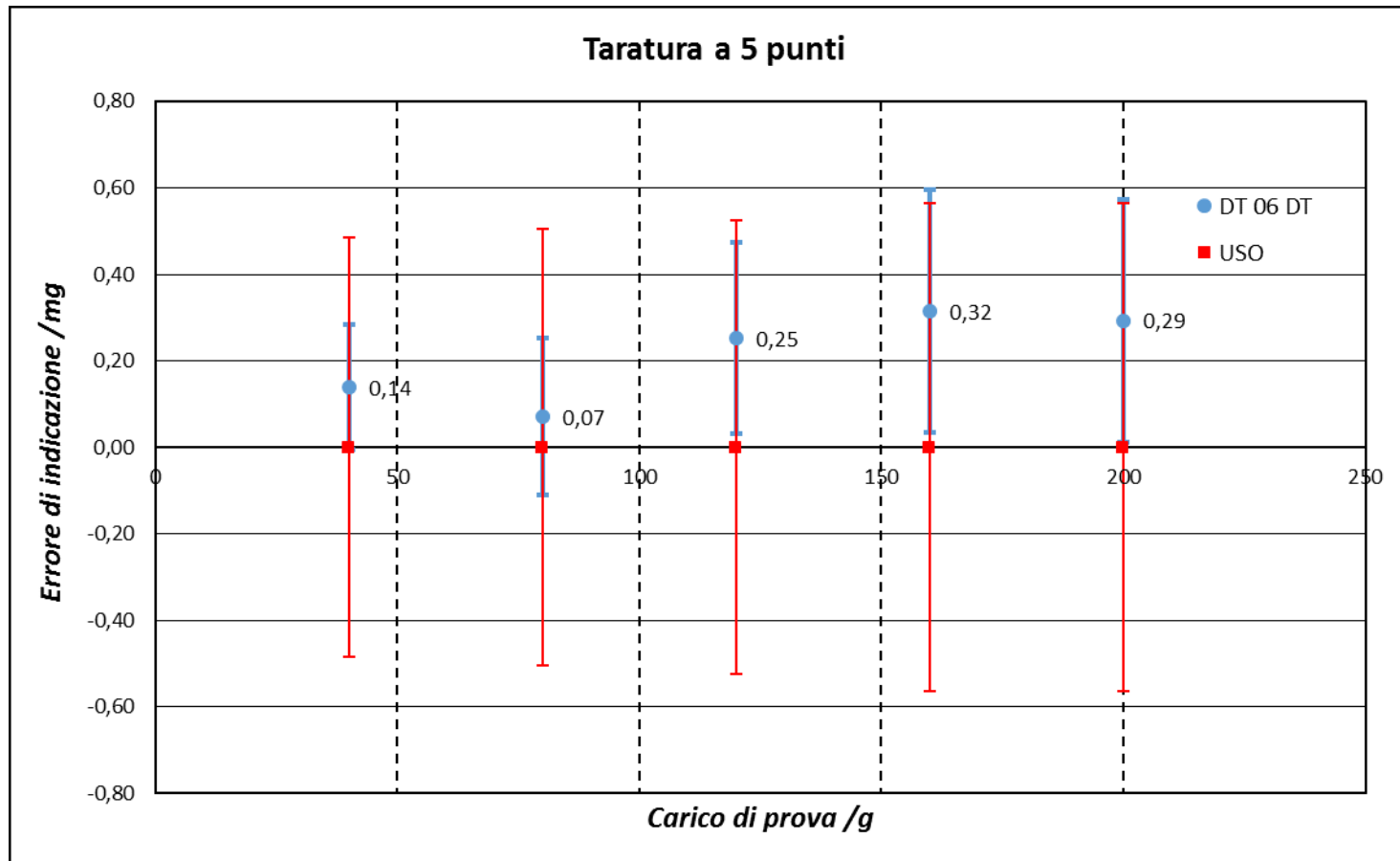
$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref}) + u^2(I_{op}) + u^2(I_{D,bil})$$

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0}) \quad U(E) = k \cdot u(E) + E$$

$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

Carico nominale /g	$m_n$	40	80	120	160	200
Composizione del carico /g	$m_{ref}$	0,14	0,07	0,25	0,32	0,29
Errore medio di indicazione /g	E	20+20	50+20+10	100+20	100+50+10	200
Errore medio di indicazione /mg		0,000 14	0,000 07	0,000 25	0,000 32	0,000 29
Arrotond. digitale al carico /g	$u(\delta I_{digL})$	0,000 03				
Incertezza tipo di ripetibilità /g	$u(\delta I_{rip})$	0,000 04				
Arrotond. digitale a carico nullo /g	$u(\delta I_{dig0})$	0,000 03				
Effetto eccentricità /g	$u(\delta I_{ecc})$	0,000 02	0,000 03	0,000 05	0,000 07	0,000 08
Incertezza tipo su valore massa /g	$u(\delta m_c)$	0,000 01	0,000 02	0,000 03	0,000 04	0,000 04
Incertezza spinta aerostatica /g	$u(\delta m_B)$	0,000 02	0,000 03	0,000 03	0,000 05	0,000 04
Incertezza tipo per deriva di $m_c$ /g	$u(\delta m_D)$	0,000 02	0,000 04	0,000 06	0,000 08	0,000 08
Incertezza tipo per effetti di convezione	$u(\delta m_{conv})$	trascurabile				
Incertezza tipo per effetti temp. amb. /g	$u(\delta m_{\Delta t})$	0,00002				
Incertezza tipo per operatore /g	$u(\delta m_{D,bil})$	0,000 20				
Incertezza tipo per deriva della bilancia /g	$u(\delta m_{D,bil})$	0,000 10				
Incertezza tipo dell'errore /g	$u(E)$	0,000 15	0,000 16	0,000 17	0,000 19	0,000 19
gradi di libertà effettivi	$n_{eff}$	791	1024	1305	2036	2036
fattore di copertura	$k_{eff}$	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Incertezza estesa d'uso /g</b>	<b>U(E)</b>	<b>0,000 44</b>	<b>0,000 39</b>	<b>0,000 59</b>	<b>0,000 70</b>	<b>0,000 67</b>
<b>Incertezza estesa taratura /g</b>	<b>U(E)</b>	<b>0,000 14</b>	<b>0,000 18</b>	<b>0,000 22</b>	<b>0,000 28</b>	<b>0,000 28</b>

# Curva di taratura (uso)



# Considerazioni finali

- Possibilità di variazione/riduzione del campo di taratura
- La taratura può essere eseguita anche in un luogo diverso dall'installazione sotto opportune condizioni (sconsigliato!)
- Introduzione del concetto di conferma metrologica (ISO 10012) dei campioni di massa
- Elaborazione dei dati della prova di eccentricità
- Semplificazione della prova di ripetibilità e della linearità (da evitare per bilance analitiche)
- Modifica sostanziale della stima dell'incertezza di taratura e dell'incertezza d'uso

# Grazie per l'attenzione!

ing. Agostino Viola  
ferentino@parcopalmer.it

*... Non commettere ingiustizie nelle misure di lunghezza, nei pesi o nelle misure di capacità. Abbiate bilance giuste, pesi giusti, efa giusto, hin giusto.*

*Io sono il Signore, vostro Dio, che vi ho fatto uscire dal paese di Egitto ....*

*Levitico 19, 35-36*