



**Guida per la taratura
di strumenti per
pesare a
funzionamento
non automatico**
ing. Agostino Viola
Responsabile Tecnico LAT 085



*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 (!!)**

Nascita del DT-06-DT

- 2007 Emissione della nuova guida Euramet CG18
- 2009 Revisione del SIT TEC 003/03 (ed.2003) tramite un GDL volontario costituito da RT laboratori LAT ed Ispettori tecnici Accredia DT
- 2013 Emissione del documento

Per il futuro...

- Ad oggi la guida europea è arrivata alla terza revisione (2011)
- E' in corso la quarta revisione. (Euramet project 1205) Necessaria per sistemare alcuni aspetti del capitolo 6 (risultati delle misure) e gli esempi che contengono indicazioni poco chiare sull'incertezza!!
- Il progetto si dovrebbe chiudere entro la fine del 2015 in attesa della revisione della EA 04/02 (stima dell'incertezza di misura)



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 kilogrammo prototipo internazionale nella cassaforte con i suoi sei testimoni -BIPM

Bilancia o NAWI?

The screenshot shows a web browser window with the URL www.accredia.it/ppadt/search.jsp?ID_LINK=750&area=7. The page title is "Banche Dati" and the breadcrumb navigation is "home » Banche Dati » Laboratori di taratura".

Ricerche dei laboratori di taratura

Le tabelle di accreditamento pubblicate specificano:

- Le grandezze per cui il Centro e' accreditato;
- i tipi di strumenti che il Centro puo' tarare o i tipi di misurazione che esso puo' eseguire;
- i campi di misura e le corrispondenti condizioni di misura (per esempio, nel caso delle grandezze elettriche, la gamma di frequenza);
- le corrispondenti incertezze di misura certificate ACCREDIA; tali livelli sono

Modulo di Ricerca

Codice di accreditamento

Ragione sociale

Regione

Nazione

Provincia

Tipo laboratorio

Grandezza

Strumento

Reset Cerca

Database con aggiornamento dati al 08-06-2015

The search results dropdown menu is open, showing a list of measurement types. The following items are highlighted with a red box:

- BANCHE CONFRONTI BLOCCHETTI
- BANCHI DI TARATURA PER CONTATORI DI ENERGIA ATTIVA
- BANCHI TORSIOMETRICI
- BILANCE DI PRESSIONE, MEZZO GASSOSO, CONDIZIONE RELATIVA
- BILANCE DI PRESSIONE, MEZZO LIQUIDO, CONDIZIONE RELATIVA
- BILANCE TORSIOMETRICHE

The following items are listed below the red box:

- BINDELLE METRICHE
- BLOCCHETTI ANGOLARI
- BLOCCHETTI PER MICROMETRI
- BLOCCHETTI PIANO PARALLELI
- BLOCCHI DI RIFERIMENTO DUREZZA
- CALIBRATORE ACCELEROMETRICO
- CALIBRATORE VIBROMETRICO ACCELERAZIONE
- CALIBRATORE VIBROMETRICO FREQUENZA
- CALIBRATORE VIBROMETRICO VELOCITÀ SPOSTAMENTO
- CALIBRATORI ACUSTICI
- CALIBRATORI DA PROCESSO
- CALIBRATORI DI RESISTENZA
- CALIBRATORI DI TENSIONE ALTERNATA
- CALIBRATORI DI TENSIONE CONTINUA
- BLOCCHI DI RIFERIMENTO DUREZZA

Bilancia o NAWI?

dia - Ricerche dei lab: x

www.accredia.it/ppadt/search.jsp?ID_LINK=750&area=7

Facebook Twitter Gazzetta Fantagazzetta Corriere Repubblica Tgcom FINECO BPC Online METEO Google Maps Sky Go YouTube ViaggiaTreno Trenitalia

» home » Banche Dati » Laboratori di taratura

Banche Dati

↓

- Organismi accreditati e riconosciuti
- Laboratori di prova
- Laboratori Medici
- Organizzazioni che gestiscono circuiti interlaboratorio
- **Laboratori di taratura**
- Organizzazioni/aziende con sistema di gestione certificato
- Organizzazioni/aziende certificate FSM
- Operatori biologici controllati
- Servizi di erogazione corsi ENEL e TERNA
- Registro delle persone e delle imprese certificate per i Gas Fluorurati
- Figure professionali certificate
- Call Center Certificati
- Statistiche delle certificazioni
- Settori di accreditamento
- Settori di certificazione

Ricerche dei laboratori di taratura

Le tabelle di accreditamento pubblicate specificano:

- ☐ le grandezze per cui il Centro e' accreditato;
- ☐ i tipi di strumenti che il Centro puo' tarare o i tipi di misurazione che esso puo' eseguire;
- ☐ i campi di misura e le corrispondenti condizioni di misura (per esempio, nel caso della corrente elettrica, la gamma di frequenza);
- ☐ le corrispondenti incertezze di misura certificate ACCREDIA; tali livelli sono

Modulo di Ricerca

Codice di accreditamento

Ragione sociale

Regione

Nazione

Provincia

Tipo laboratorio

Grandezza

Strumento

SPESSIMETRI
SPETTROFOTOMETRI
SPINE CALIBRATE - FILI CALIBRATI - DIAMETRO SFERE DI AZZERAMENTO
STECHE METRICHE
STRUMENTI DI VERIFICA PER CRONOTACHIGRAFI
STRUMENTI PER PESARE A FUNZIONAMENTO NON AUTOMATICO
TACHIMETRI
TAMPONI CILINDRICI FILETTATI
TAMPONI CILINDRICI LISCI
TAMPONI CONICI FILETTATI
TAVOLE ROTANTI
TEMPERATURA ARIA
TEMPORIZZATORI
TERMOCOPPIE
TERMOMETRI A LIQUIDO IN VETRO
TERMOMETRI A QUADRANTE
TERMOMETRI A RESISTENZA
TERMOMETRI A RESISTENZA DI PLATINO
TERMOMETRI PER LA TEMPERATURA - ARIA
TERMORESISTENZE

Reset Cerca

Database con aggiornamento dati al 08-06-2015

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*

Portata minima: come determinarla

- La portata minima R_{\min} non va confusa con l'unità di formato della bilancia
- Non può essere ZERO
- Deve invece essere determinata in funzione del livello di incertezza $U(R_{\min})$ che la bilancia è in grado di garantire rispetto al requisito (di norma o interno al laboratorio)

Req

$$R_{\min} = \frac{U(R_{\min})}{\text{Req}}$$

- La nuova revisione della Euramet CG18 conterrà un'appendice dedicata a questo aspetto

Pesata minima: come si fa oggi!

La United States Pharmacopeia (USP 41:2013) propone la seguente semplificazione della formula precedente:

$$R_{\min} = \frac{2 \times s_L}{0,10\%}$$

Dove s_L rappresenta lo scarto tipo di ripetibilità della bilancia (normalmente eseguito al 5% del FS mediante 10 ripetizioni)

Esempio Bilancia FS 200 g $s_L = 0,00014$ g

$$R_{\min} = \frac{2 \times 0.00014 \times 100}{0,10} = 0.280 \text{ g}$$

Se s_L è molto piccolo (ad esempio anche zero...) va sostituito con 0.41UF

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

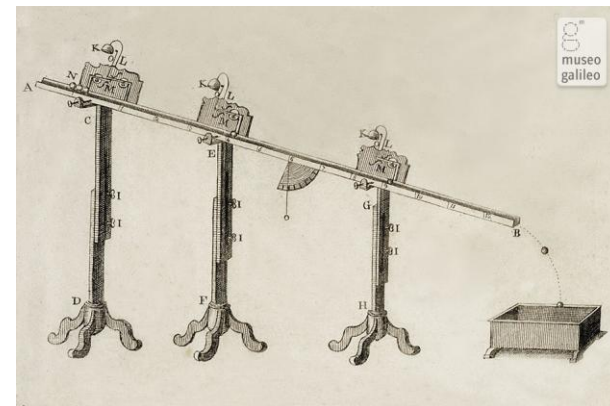
Variazioni di g

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

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

φ latitudine in gradi

h altezza in metri



$$a_1 = 9,780327 \text{ ms}^{-2}$$

$$a_2 = 5,3024 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = -5,8 \cdot 10^{-6}$$

$$a_4 = -3,085 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-2}$$

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 (uf) 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)

ΔT	Valore della massa	Classe E1	Classe E2	Classe F1	Classe F2
$\pm 20\text{ }^\circ\text{C}$	1000, 2000, 5000 kg ¹	-	-	79 h	5 h
	100, 200, 500 kg ¹	-	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 ¹	-	-	1 h	1 h
	100, 200, 500 kg ¹	-	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 ¹	-	-	1 h	0,5 h
	100, 200, 500 kg ¹	-	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:

- $\pm 2^\circ \text{C}$ se si utilizzano pesiere in classe $E_1 - E_2$
- $\pm 5^\circ \text{C}$ 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:

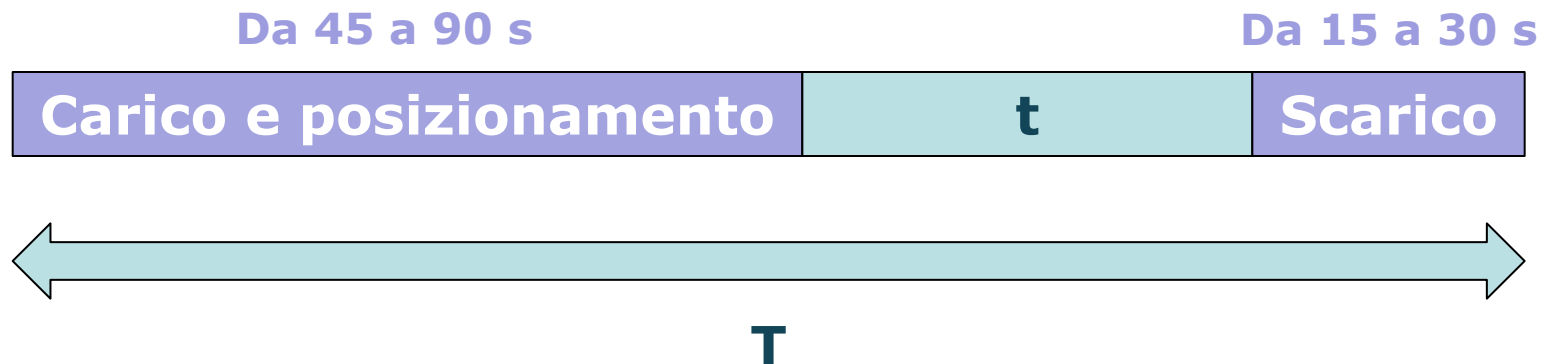
- Operatore
- Bilancia
- Campioni di massa

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

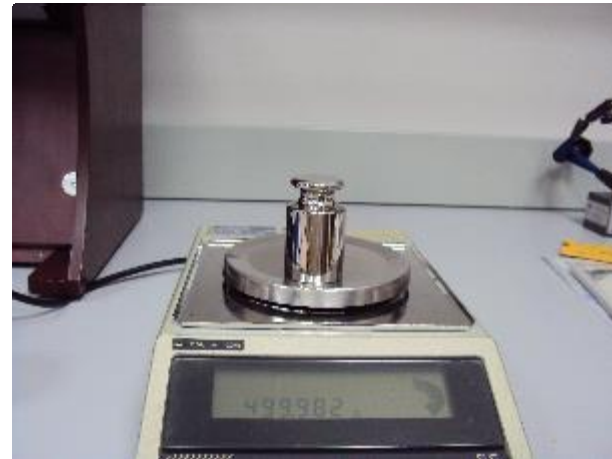
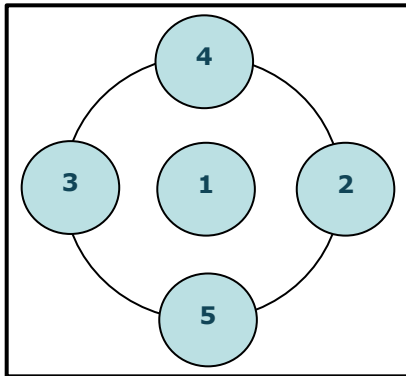
Eccentricità del carico

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

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

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
S_L	0,000 04

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

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?

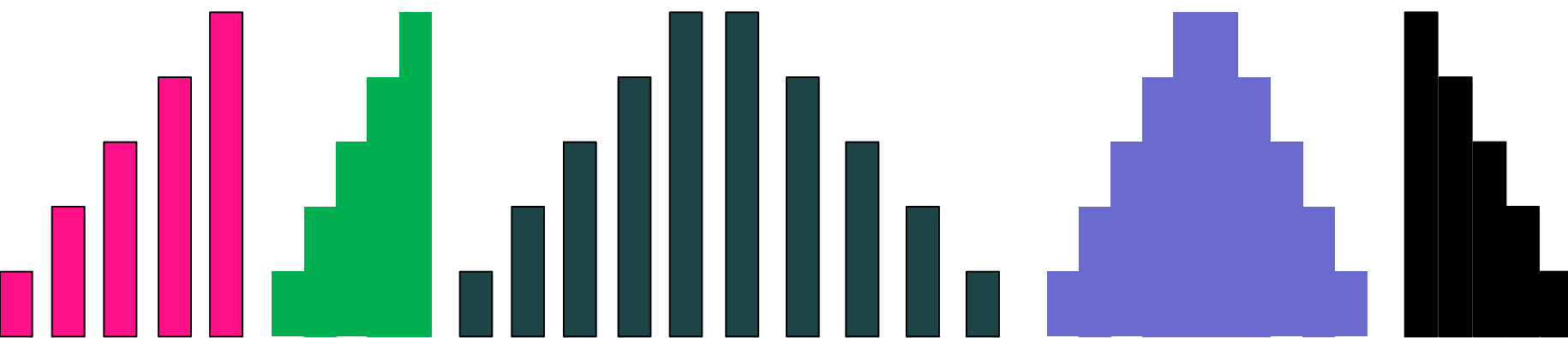


Linearità

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)

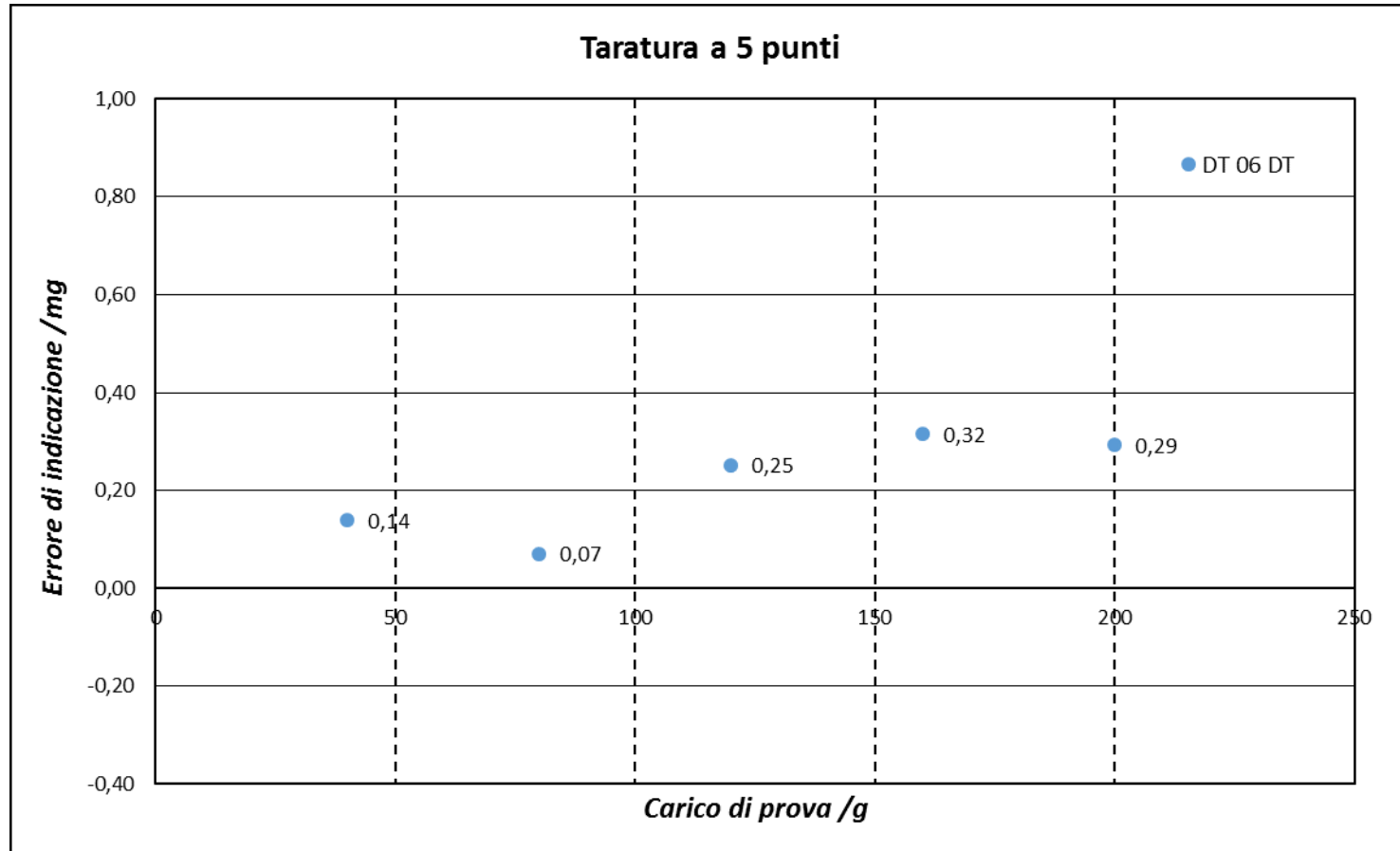
L'operatore azzerava la bilancia a carico nullo

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
1	40	40,000 061	40,000 2	0,000 14	10	40,000 2	0,000 14	0,000 14
2	80	80,000 029	80,000 1	0,000 07	9	80,000 1	0,000 07	0,000 07
3	120	119,999 948	120,000 2	0,000 25	8	120,000 2	0,000 25	0,000 25
4	160	159,999 935	160,000 2	0,000 27	7	160,000 3	0,000 37	0,000 32
5	200	200,000 107	200,000 4	0,000 29	6	200,000 4	0,000 29	0,000 29

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

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
- δI_{digL} è la correzione dovuta all'unità di formato
- δI_{rip} è la correzione dovuta all'errore di ripetibilità dello strumento
- δI_{ecc} tiene conto dell'errore dovuto alla posizione decentrata del un carico di prova
- δI_{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 $\pm d_0/2$ 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

$$u(\delta I_{digL}) = \frac{d_0}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

Generalmente $d_0 = d_i$ (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:

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

- δm_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
- δm_B è la correzione per la spinta aerostatica
- δm_D è la correzione per una possibile deriva di m_c
- δm_{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 ∞

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

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%:

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
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)

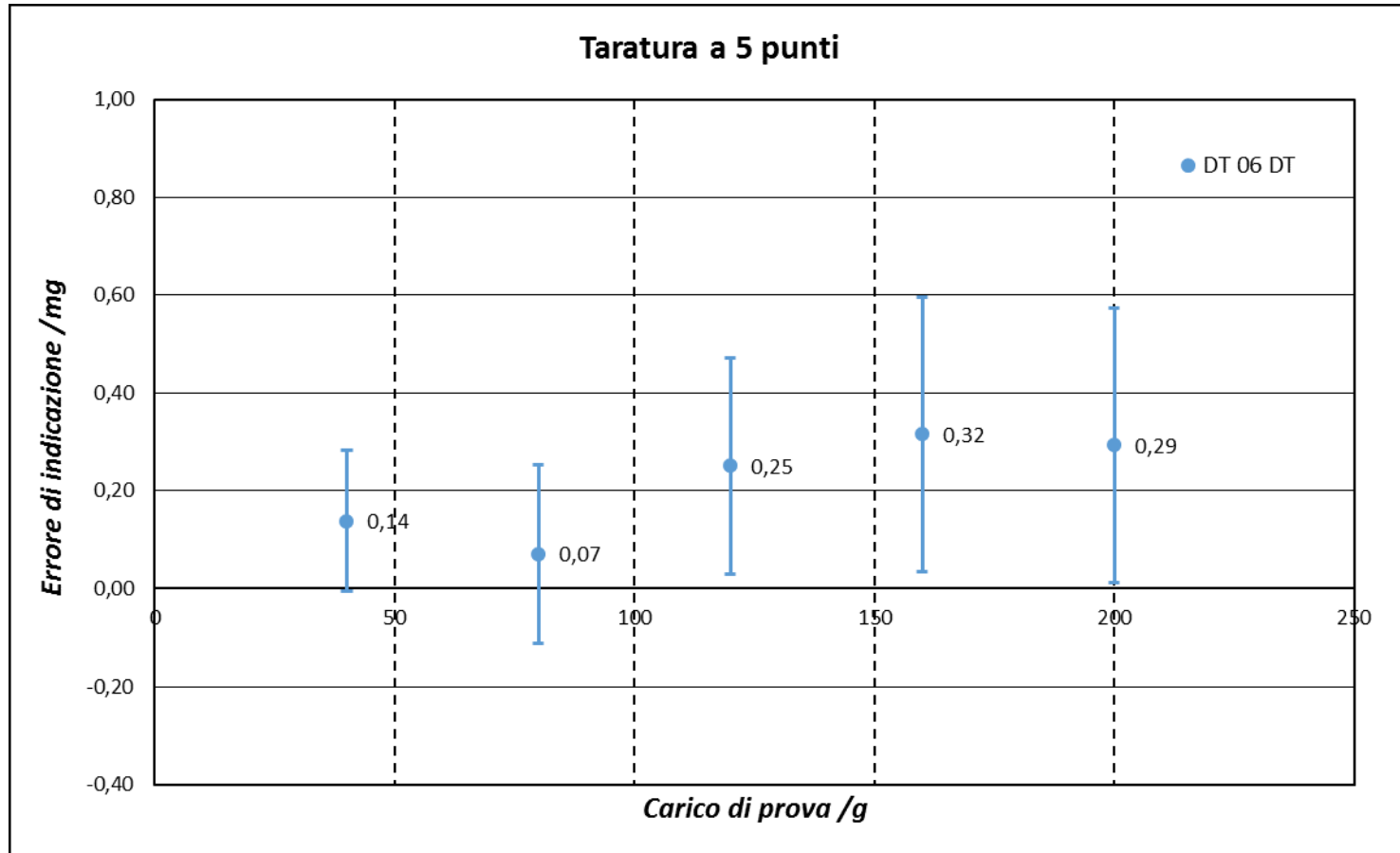
$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$$

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

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

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)

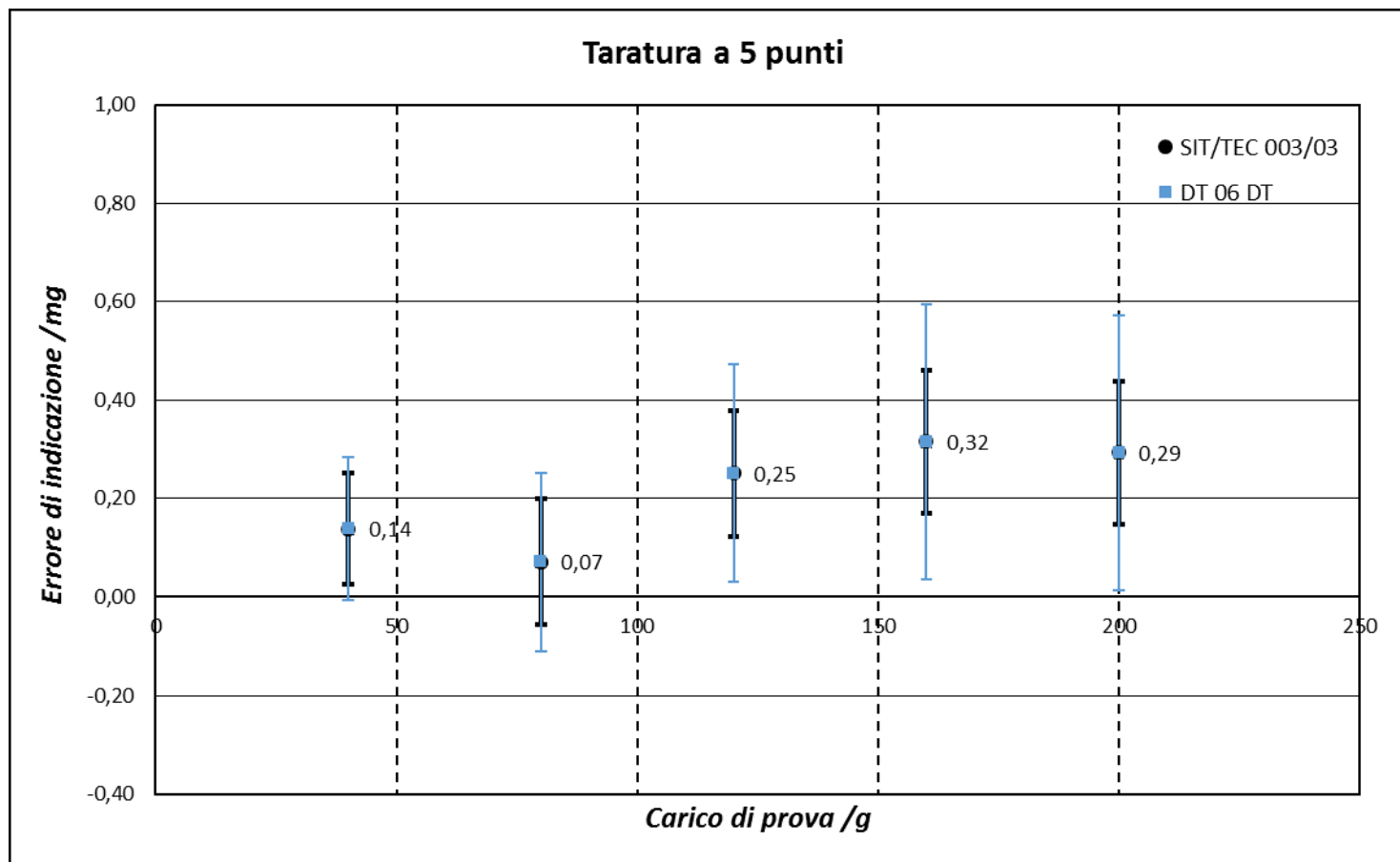
$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$$

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

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

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. (sempre da evitare...) Si stima quindi un contributo pari all'errore massimo ottenuto in prova di linearità e viene sommato algebricamente
- 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

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

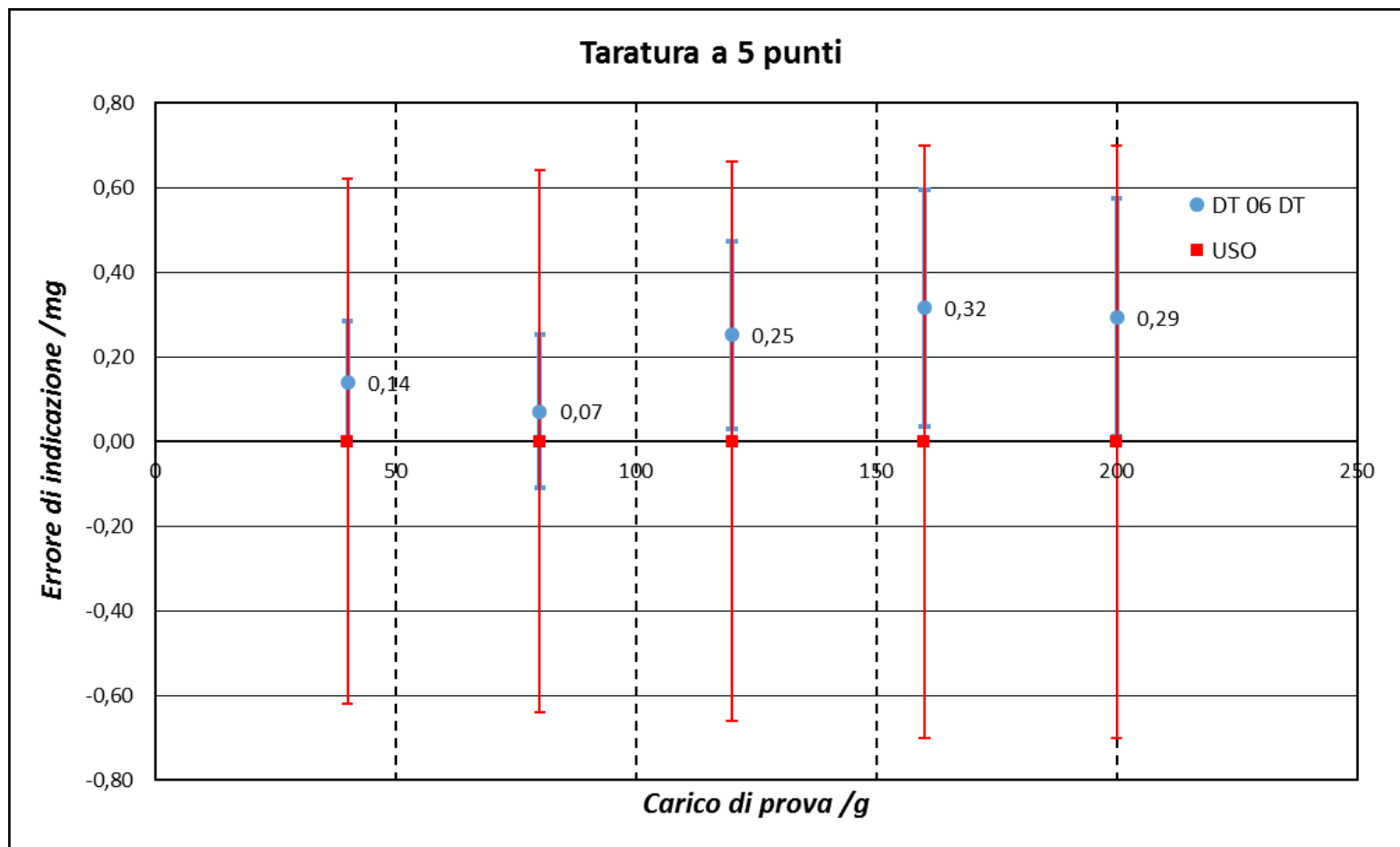
$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

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

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

Carico nominale /g	m_h	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
Incertezza estesa d'uso /g	U(E)	0,000 62	0,000 64	0,000 66	0,000 70	0,000 70
Incertezza estesa taratura /g	U(E)	0,000 14	0,000 18	0,000 22	0,000 28	0,000 28

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