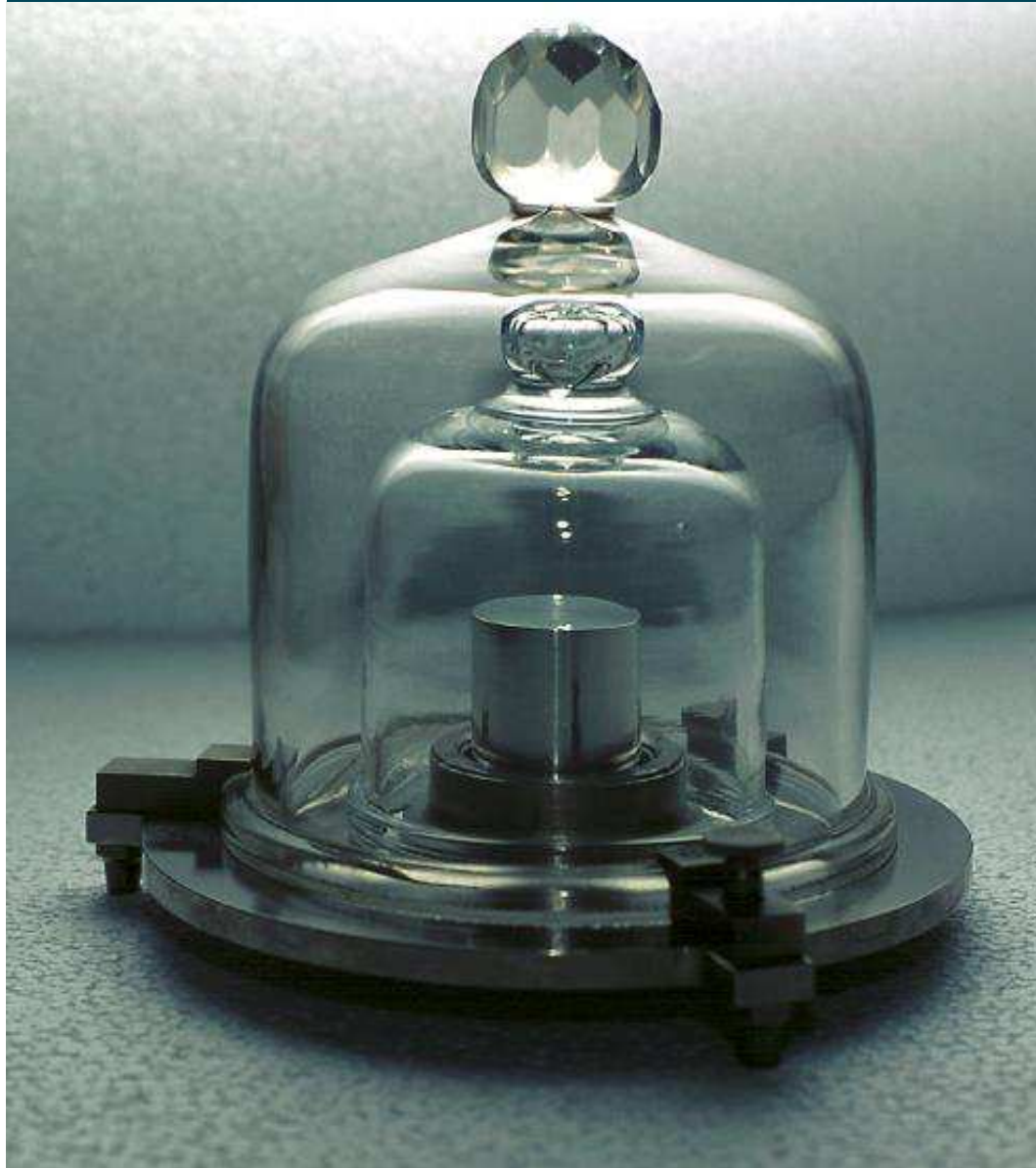


Corso di formazione specialistica



CORSO DI AGGIORNAMENTO PER LA TARATURA DEGLI STRUMENTI PER PESARE A FUNZIONAMENTO NON AUTOMATICO SECONDO LA LINEA GUIDA EURAMET CG 18 DEL 2015

ing. Agostino Viola

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

Programma ed Argomenti

4 MAGGIO

- Registrazione dei partecipanti e presentazione del corso
- Introduzione alla misura della massa.
 - Concetti fondamentali e definizioni.
 - La classificazione dei campioni di massa secondo OIML R111.
 - Taratura dei campioni di massa
 - Metodo del confronto e taratura mediante pesata diretta.
- Sistemi per pesare a funzionamento non automatico (bilancia).
 - Introduzione al concetto di determinazione di massa
 - Taratura di una bilancia secondo Euramet CG18.
 - Verifiche intermedie e gestione dei campioni di massa utilizzati per la taratura.
 - Stima dell'incertezza di taratura.

Programma ed Argomenti

8 MAGGIO

- Esercitazione: taratura di una bilancia
- Elaborazione dei dati di taratura
- Regole per l'emissione di un rapporto di taratura per una bilancia
- Question time
- Test finale di autovalutazione

Introduzione

Le misure di massa

Definizione di massa (inerziale)

La massa prende la sua definizione dalla legge di Newton:

$$\mathbf{F = ma}$$

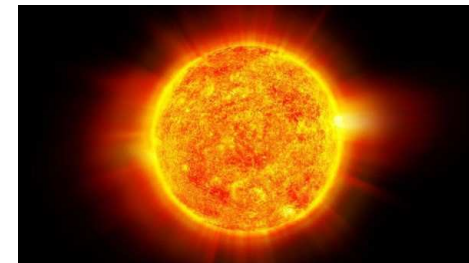
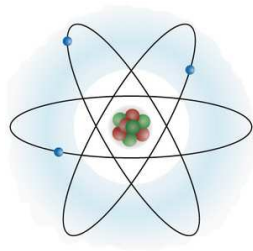
L'unità di misura nel Sistema Internazionale è il kg e rappresenta la quantità di materia di un corpo.

Il range di variabilità della grandezza massa va da 10^{-30} kg (massa di un elettrone) a 10^{30} kg (massa del sole).

Nel campo gravitazionale terrestre si può sostituire il valore dell'accelerazione di gravità, supposta costante:

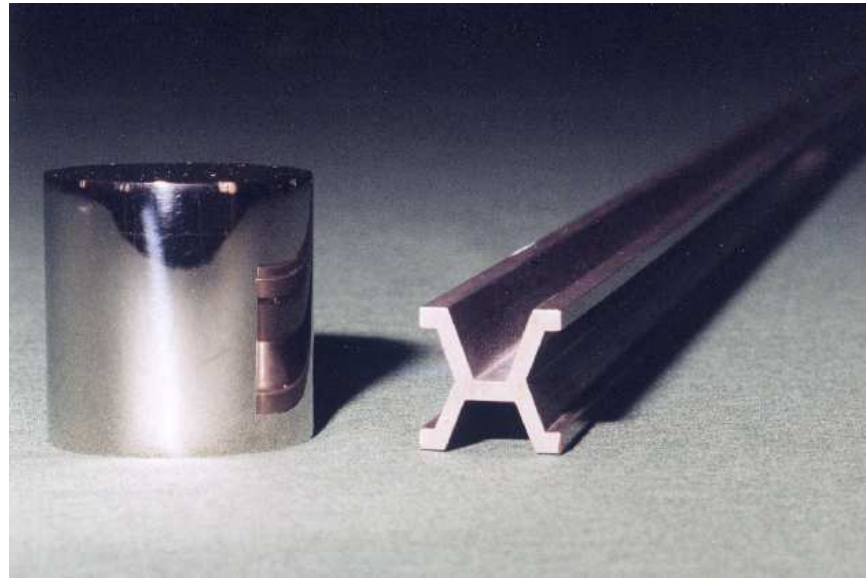
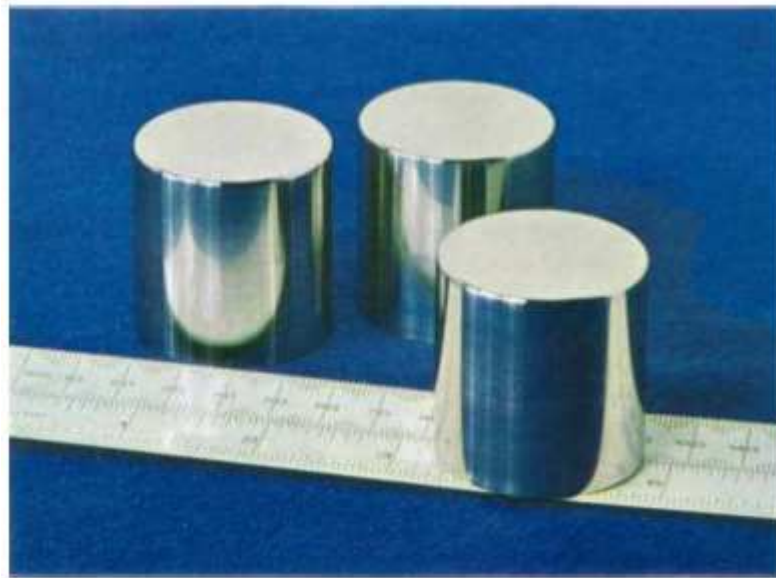
$$\mathbf{P = mg}$$

$$(g_s = 9,80665 \text{ m/s}^2)$$

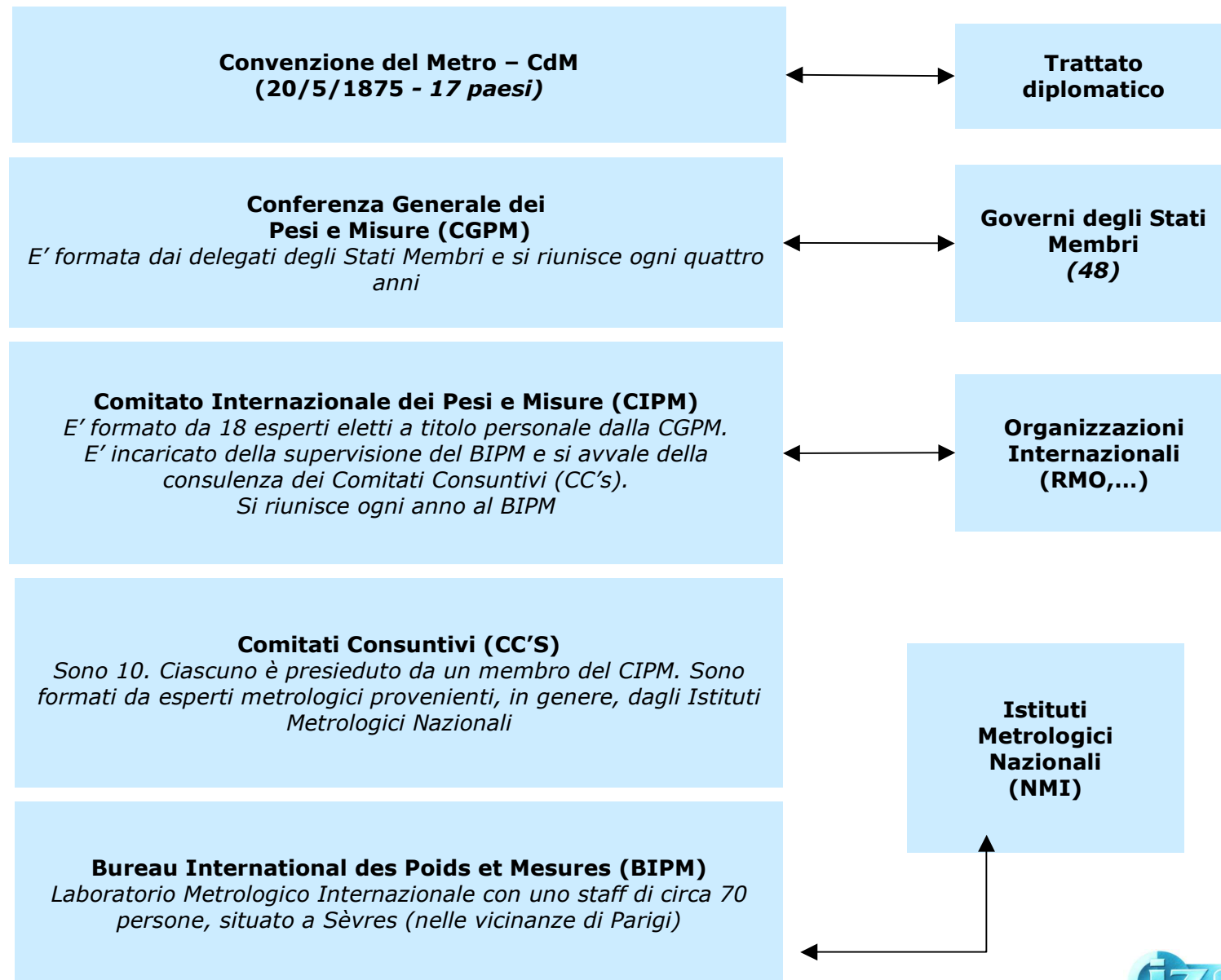


Il prototipo internazionale

- 1799 La prima definizione scaturisce dalla massa di 1 litro di acqua distillata alla temperatura di 4 gradi Celsius. Troppo legata ad altre grandezze (T,p,d)
- Nel 1883 vengono realizzati 3 prototipi (KI,KII,KIII). Tra questi ne viene scelto uno (KIII) e denominato K. Viene conservato insieme agli altri 2 campioni, che diventano «testimoni» e dati in custodia al BIPM
- Nel 1889 K viene definito «campione» dalla prima CGPM svoltasi a Parigi e 30 copie vengono distribuite ai paesi che hanno aderito al CIPM



Il Sistema Internazionale



Il prototipo internazionale

- Costituito da una lega di Platino-Iridio (90% Pt -10% Ir), di forma cilindrica con $H=D = 39 \text{ mm}$ e densità pari a $21,5 \text{ kg/dm}^3$
- Ad oggi è l'unica grandezza ancora legata ad un manufatto. La sua definizione coincide con la sua realizzazione **ed è quindi privo di incertezza**
- Finora utilizzato 3 volte negli ultimi 100 anni (1939-1946-1992) per la taratura degli altri prototipi ed è conservato all'interno di un bunker sotterraneo con rigorose procedure di segregazione



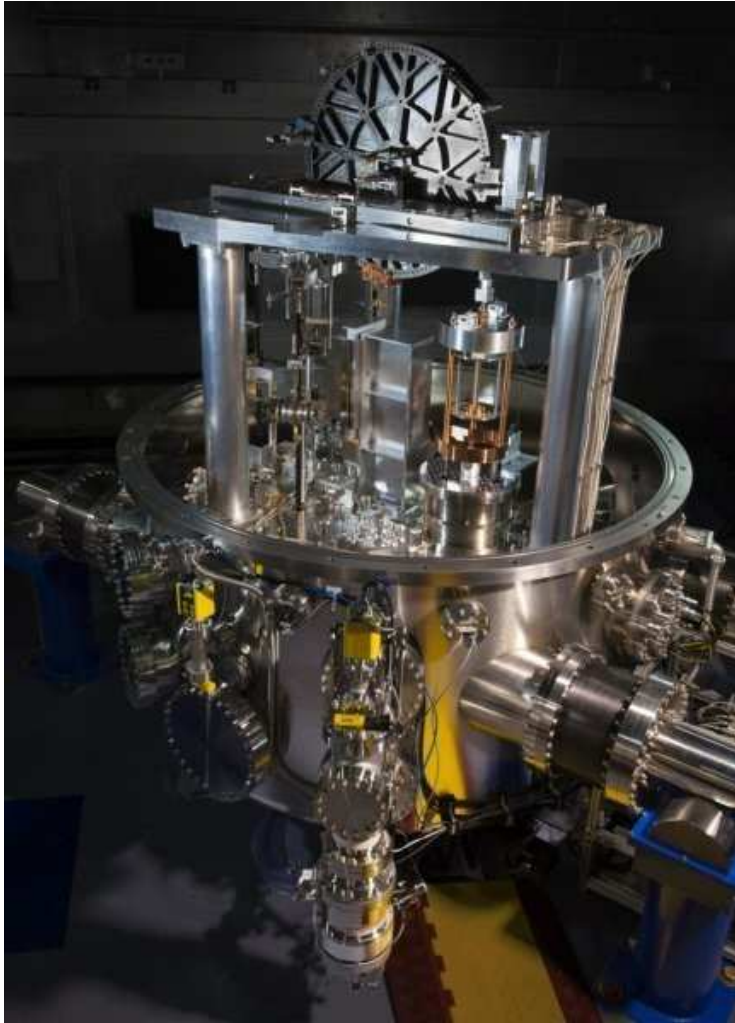
La taratura degli strumenti per pesare a funzionamento non automatico secondo la linea guida Euramet CG18 – A. Viola

La definizione di massa

- Poiché la definizione non è basata su una costante universale ma da un manufatto il campione (e quindi la definizione) è soggetta a rischio di variazione (danneggiamento, alterazione chimica, perdita di massa,..)
- Durante la serie di tarature effettuate tra il 1988 ed il 1992 ha mostrato che i campioni di «seconda linea» hanno subito un incremento di circa 50 μg nei precedenti 100 anni. Ovviamente non è dimostrabile che sia il prototipo ad essere «dimagrito» in quanto esso è la «definizione» ma ciò ha dimostrato la necessità di sostituire il manufatto con un legame funzionale ad una costante universale. Attualmente gli Istituti metrologici primari stanno lavorando su diverse linee di ricerca
- Numero di Avogrado mediante sfera di silicio



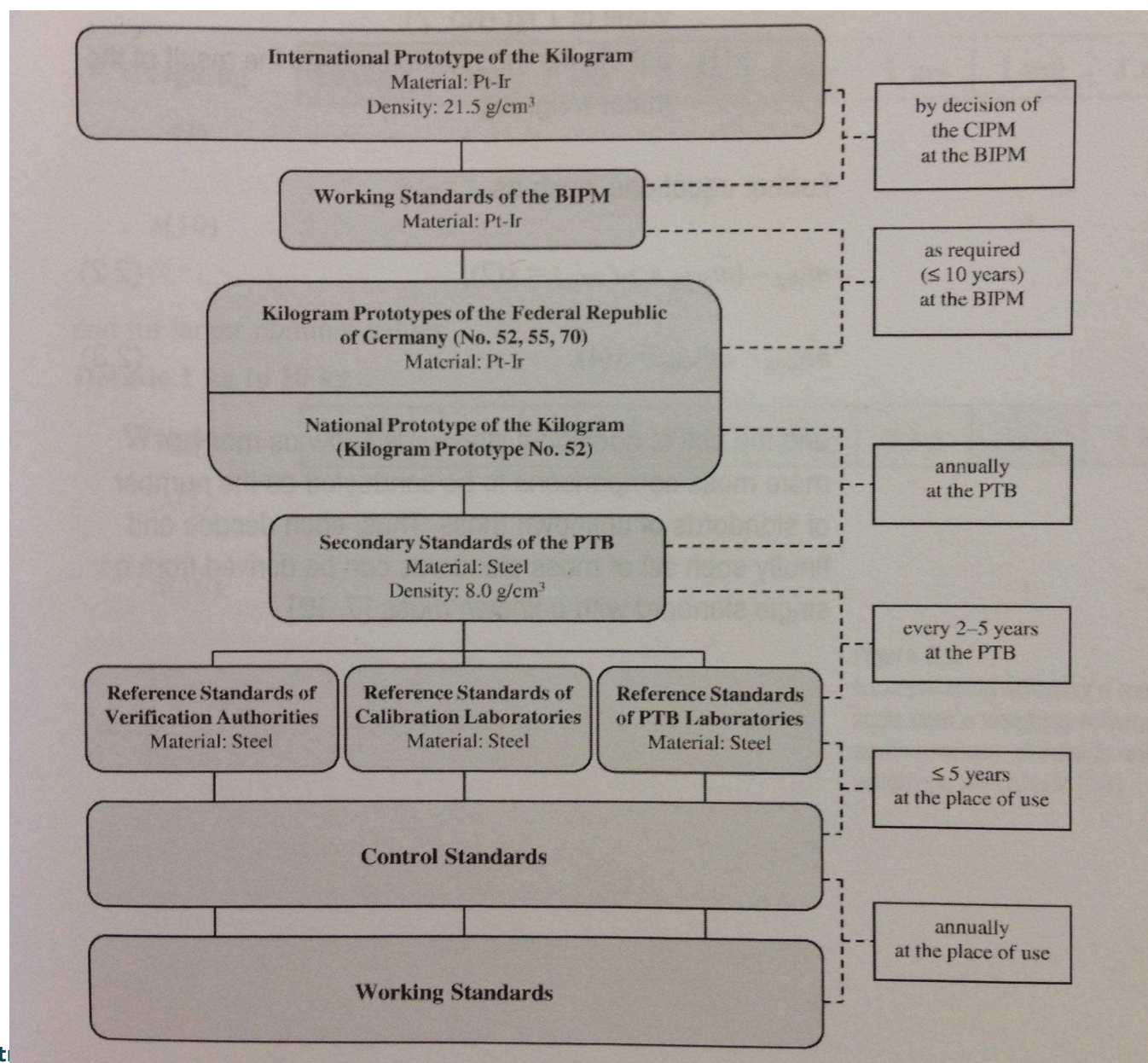
La definizione di massa



Uno dei più promettenti candidati per rimpiazzare il prototipo internazionale del chilogrammo è la misura della **costante di Planck**, indicata dai fisici con h , che mette in relazione la frequenza di un fotone – la particella di cui è costituita la luce – con la sua energia e che svolge un ruolo fondamentale in tutta la teoria della meccanica quantistica

Il NIST-4, la speciale bilancia statunitense che ha misurato la costante di Planck con una precisione di 34 parti per miliardo. L'anno prossimo potrebbe fare ancora meglio arrivando a 20 parti per miliardo

Riferibilità della massa



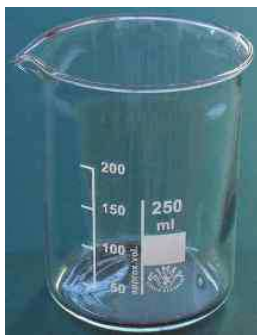
Volume e massa volumica

Il **volume** è la misura dello spazio occupato da un corpo. L'unità (derivata) adottata dal Sistema Internazionale è il metro cubo [m^3]. Il litro [L], pari a 1 dm^3 non è un'unità del SI ma è accettata in quanto perfettamente definita rispetto al m^3

La **densità** è la massa corrispondente all'unità di volume ed è una grandezza fisica caratteristica della *sostanza* di cui è fatto l'oggetto. Il termine metrologicamente corretto è quello di **massa volumica** e si misura in kg/m^3

L'acqua ad esempio ha una densità molto prossima a $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, il che significa che in 1 cm^3 di acqua c'è una massa di 1 g, oppure in 1 dm^3 (cioè 1 litro) c'è una massa di 1 kg. L'olio invece è meno denso dell'acqua, mentre l'acqua salata è più densa.

Anche i gas hanno una loro densità caratteristica, che in generale è molto piccola: per l'aria è circa un millesimo di quella dell'acqua: ad esempio, occorre 1 dm^3 (cioè un litro) di aria per avere una massa di circa 1,2 g.



Massa

I campioni di massa

Campioni di massa

Le forze, non trascurabili, che agiscono sui corpi sono:
la forza peso

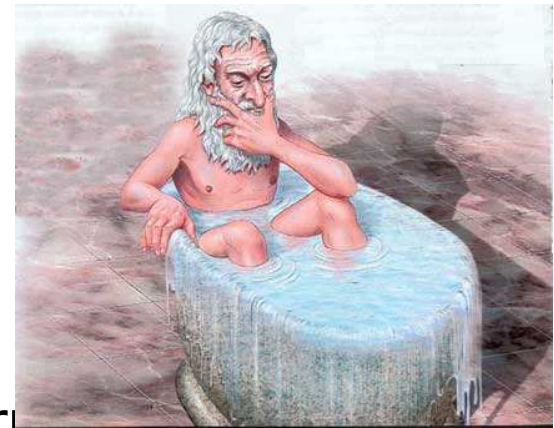
$$m_x \cdot g$$

la spinta aerostatica, o di Archimede,

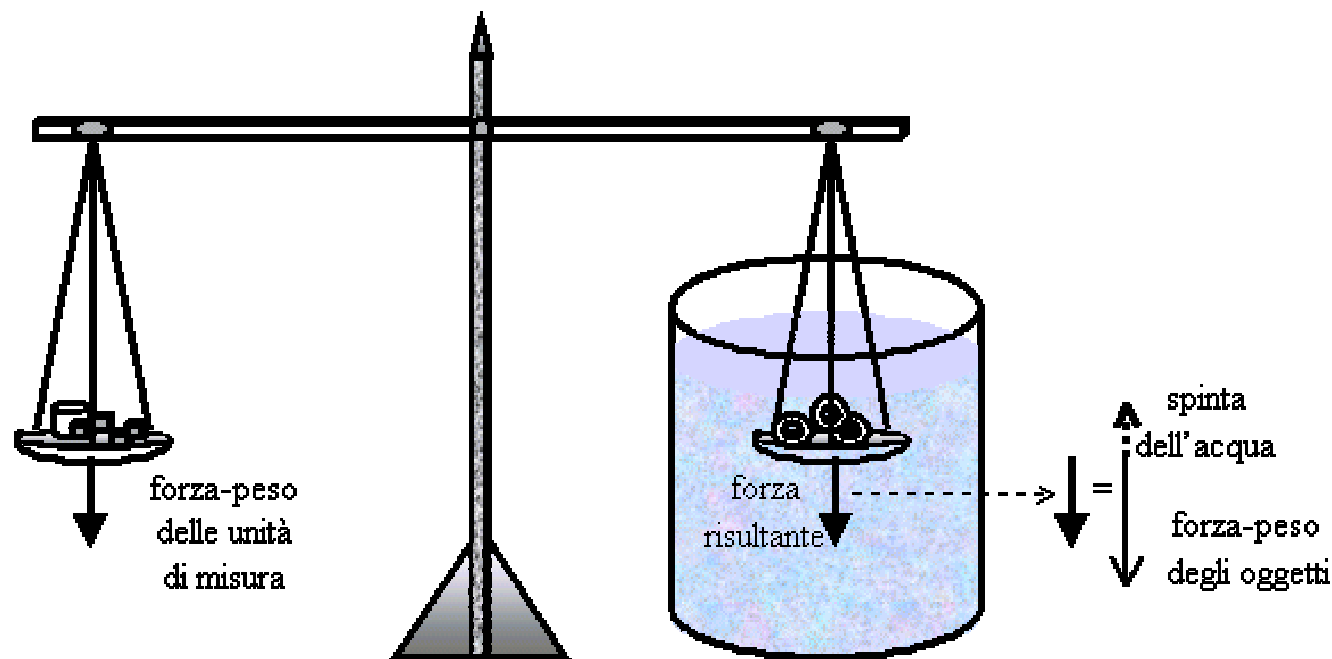
$$-\rho_a \cdot V_x \cdot g$$

La prima è proporzionale alla massa dei corpi, la seconda al loro volume ed alla densità dell'aria.

La forza è una grandezza vettoriale, derivandole questo carattere dall'accelerazione di gravità. Si ipotizza comunemente che, nel ristretto arco di tempo e spazio in cui viene effettuata la pesata, il campo gravitazionale sia costante ed omogeneo, esso non compare nell'equazione di equilibrio, che dunque riguarda solo grandezze scalari.



La spinta aerostatica



La spinta è pari alla forza-peso del fluido spostato (volume) dal corpo immerso ed è diretta verso l'alto, quindi va a sottrarsi alla forza-peso del corpo, per cui il corpo appare *più leggero*

Se invece che in aria il corpo fosse immerso in acqua la massa del corpo (come proprietà intrinseca) non varia, ma, per equilibrare la sua forza-peso, basta ora una forza minore, perché c'è il contributo della spinta del liquido verso l'alto (di molto superiore per la diversa densità).

La misura della densità dell'aria

Esistono molte formule per il calcolo della densità dell'aria (in funzione del campo di applicazione termodinamico)

Il modello[1] adeguato per un laboratorio che opera nel range 18-30 °C, 940-1080 hPa e <80% UR è

$$\rho_a = \frac{k_1 p_a + k_2 h_r \cdot \exp(k_3 t_a)}{t_a + 273.15}$$

- p_a pressione atmosferica [hPa] generalmente non misurata e posta pari a 101325 Pa
- t_a temperatura dell'aria [°C]
- h_r umidità relativa dell'aria
- $k_1 = 0,34848$
- $k_2 = -0,009$
- $k_3 = 0,061$

[1] OIML R 111-1:2004 Appendice E

Entità della correzione: esempio

Temperatura pari 20°C,

Umidità relativa pari al 50%

Applicando la formula

$$\rho_a = 1,2 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\rho_a = \frac{k_1 p_a + h_r (k_2 t_a + k_3)}{t_a + 273.15}$$

La spinta aerostatica subita da un tipico pieno di carburante, 50 l, è di circa 60 g, pari all'1,6‰ della massa di carburante.

Minore è la densità del corpo maggiore sarà l'effetto di galleggiamento

Entità della correzione: esempio

Un campione di massa da **1 kg in acciaio inossidabile**, avendo un volume tipico di 126 cm^3 , subisce una spinta di ben 151 mg, un'enormità rispetto all'accuratezza delle migliori bilance di questa portata, che è dell'ordine di $0,5 \text{ }\mu\text{g}$

Nel caso critico in cui il campione sia un **kilogrammo di platino-iridio**, avente volume tipico di 46 cm^3 , la differenza di spinta ammonta ancora a 96 mg, e costituisce tuttora il più cospicuo ostacolo al miglioramento dell'accuratezza nella disseminazione dell'unità di massa. Infatti, se l'incertezza relativa delle misure di volume (poche ppm) è in questo caso sufficiente allo scopo, la misura della densità dell'aria ha, allo stato dell'arte, un'incertezza relativa dell'ordine di 1×10^{-4} . Ciò introduce un'incertezza di $10 \text{ }\mu\text{g}$ sulla massa del misurando.

Valore convenzionale di massa

Per ovviare (in parte) a questo indesiderato effetto si definisce il valore convenzionale di massa come il valore che avrebbe una massa ideale di densità pari a 8000 kg/m³ in grado di equilibrare la massa incognita pesato con una bilancia installata in un ambiente dove l'aria ha densità pari a 1,2 kg/m³

$$m \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_1} \right) = m_c \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_c} \right) \qquad m \left(1 - \frac{1.2}{\rho} \right) = m_c \left(1 - \frac{1.2}{8000} \right)$$

I simboli m , V , ρ indicano rispettivamente la massa, il volume e la massa volumica (massa/volume) i pedici x , c , a si riferiscono invece a massa incognita, massa campione ed aria.

Per conoscere la massa incognita m_x occorre conoscere ρ_a , ρ_x ed ρ_c .

In sintesi la bilancia misura una forza quindi non conosce la densità dell'oggetto. In taratura si utilizzano campioni tarati in valore convenzionale di massa (quindi come se fossero di acciaio).

Bisogna prestare attenzione per oggetti poco densi.

1 kg di acqua ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) ha una valore convenzionale di 998,949 g con un errore relativo dello 0,11 %!

Correzione effetto di galleggiamento

La correzione per effetto della spinta aerostatica in una pesata effettuata in aria a densità **diversa da 1,2 kg/m³** è data dalla seguente formula (OIML D28:2004):

$$\delta m = m \left((\rho_a - \rho_0) \cdot \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right) - \frac{\rho_a - \rho_{a,cal}}{\rho_c} \right)$$

Con

ρ_a = densità dell'aria al momento della pesata

ρ_0 = densità di riferimento pari a 1,2 kg·m⁻³

ρ = densità del misurando

ρ_c = densità dell'acciaio pari a 8000 kg·m⁻³

$\rho_{a,cal}$ = densità dell'aria al momento della taratura

Correzione effetto di galleggiamento

Generalmente le condizioni ambientali del laboratorio non variano in maniera significativa quindi $\rho_{a,cal} = \rho_a$

$$\delta m = m(\rho_a - \rho_0) \cdot \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right)$$

Questa correzione è sempre trascurabile a meno di pesate di corpi a bassa densità con bilance alla 4 o 5 cifra

Tabella 3 – Valori della correzione relativa del valore di massa convenzionale e della sua incertezza composta per alcuni dei materiali di cui possono essere composti gli oggetti di cui si tara la massa (metodo della lettura diretta)

Lega o materiale	Densità ρ / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$u(\rho)$ / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\delta m_B / m_x$ se $\rho_a = 1,14 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\delta m_B / m_x$ se $\rho_a = 1,16 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\delta m_B / m_x$ se $\rho_a = 1,18 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$u(\delta m_B) / m_x$
Platino	21400	75	$4,696 \cdot 10^{-6}$	$3,131 \cdot 10^{-6}$	$1,565 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-6}$
Ottone	8400	85	$3,571 \cdot 10^{-7}$	$2,381 \cdot 10^{-7}$	$1,190 \cdot 10^{-7}$	$1,41 \cdot 10^{-7}$
Acciaio inossidabile	7950	70	$-4,717 \cdot 10^{-8}$	$-3,145 \cdot 10^{-8}$	$-1,572 \cdot 10^{-8}$	$7,18 \cdot 10^{-8}$
Acciaio al carbonio	7700	100	$-2,922 \cdot 10^{-7}$	$-1,948 \cdot 10^{-7}$	$-9,740 \cdot 10^{-8}$	$1,44 \cdot 10^{-7}$
Ghisa bianca	7700	200	$-2,922 \cdot 10^{-7}$	$-1,948 \cdot 10^{-7}$	$-9,740 \cdot 10^{-8}$	$2,35 \cdot 10^{-7}$
Ghisa grigia	7100	300	$-9,507 \cdot 10^{-7}$	$-6,338 \cdot 10^{-7}$	$-3,169 \cdot 10^{-7}$	$4,92 \cdot 10^{-7}$
Alluminio	2700	65	$-1,472 \cdot 10^{-5}$	$-9,815 \cdot 10^{-6}$	$-4,907 \cdot 10^{-6}$	$4,94 \cdot 10^{-6}$
Acqua potabile	1000	5	$-5,250 \cdot 10^{-5}$	$-3,500 \cdot 10^{-5}$	$-1,750 \cdot 10^{-5}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$

I campioni di massa



I campioni di massa

I campioni di massa sono suddivisi nelle 7 classi di accuratezza E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_2 , M_3 , per ognuna delle quali sono diversi il massimo errore permesso δm (uguale alla differenza tra il valore nominale e il valore certificato della massa), l'incertezza, la forma e le caratteristiche fisiche consentite (**OIML R111:2004**).

Con l'esclusione della classe E_1 , per la dichiarazione di conformità è necessario che l'incertezza estesa U delle masse (con fattore di copertura $k = 2$) deve essere non superiore ad un terzo di δm .

Classi OIML

- Class E₁:** Weights intended to ensure traceability between national mass standards (with values derived from the International Prototype of the kilogram) and weights of class E₂ and lower. Class E₁ weights or weight sets shall be accompanied by a calibration certificate (see 15.2.2.1).
- Class E₂:** Weights intended for use in the verification or calibration of class F₁ weights and for use with weighing instruments of special accuracy class I. Class E₂ weights or weight sets shall be accompanied by a calibration certificate (see 15.2.2.2). They may be used as class E₁ weights if they comply with the requirements for surface roughness, magnetic susceptibility and magnetization for class E₁ weights, and if their calibration certificate gives the appropriate data as specified in 15.2.2.1.
- Class F₁:** Weights intended for use in the verification or calibration of class F₂ weights and for use with weighing instruments of special accuracy class I and high accuracy class II.
- Class F₂:** Weights intended for use in the verification or calibration of class M₁ and possibly class M₂ weights. Also intended for use in important commercial transactions (e.g. precious metals and stones) on weighing instruments of high accuracy class II.
- Class M₁:** Weights intended for use in the verification or calibration of class M₂ weights, and for use with weighing instruments of medium accuracy class III.
- Class M₂:** Weights intended for use in the verification or calibration of class M₃ weights and for use in general commercial transactions and with weighing instruments of medium accuracy class III.
- Class M₃:** Weights intended for use with weighing instruments of medium accuracy class III and ordinary accuracy class III.
- Classes M₁₋₂ and M₂₋₃:** Weights from 50 kg to 5 000 kg of lower accuracy intended for use with weighing instruments of medium accuracy class III.

Note: The error in a weight used for the verification of a weighing instrument shall not exceed 1/3 of the maximum permissible error for an instrument. These values are listed in section 3.7.1 of OIML R 76 *Nonautomatic Weighing Instruments* (1992).

Classi OIML

➤ **Classe E1, E2**

I Pesi e le masse delle classi E1, E2 devono essere massicci e di un solo pezzo; Il bottone da presa non è obbligatorio e possono essere formati soltanto da un corpo cilindrico.

Il metallo o la lega di cui sono costruiti le masse E1, E2 e F1 devono essere praticamente amagnetici.

Non riportano stampigliature e/o matricole

➤ **Classe F1, F2, M1, M2, M3**

I Pesi e le masse della classe F1, F2, M1, M2, M3 possono avere una cavità di taratura chiusa dal bottone di presa o da altro dispositivo adeguato. Il volume della cavità di taratura non deve essere superiore a $\frac{1}{5}$ del volume totale del peso.

Se provvisti di una cavità di taratura, i pesi delle classi di precisione F1 e F2 devono essere tarati con lo stesso materiale di cui sono costruiti; i pesi della classe M1 possono essere tarati mediante piombo.

Caratteristiche

- La massa volumica del peso deve essere tale che uno scarto del 10% della massa volumica dell'aria rispetto alla massa volumica specificata ($1,2 \text{ kg/m}^3$) provochi al massimo un errore pari ad $\frac{1}{4}$ dell'errore massimo tollerato.
- Il corpo deve avere un'altezza pari all'incirca al diametro medio; lo scarto ammesso fra il diametro medio e l'altezza potrà essere compreso fra $\frac{3}{4}$ e $\frac{5}{4}$ di detto diametro (corpo tozzo e volume minimo, si minimizzano gli effetti dovuti alla spinta aerostatica).
- I pesi presenti in due o tre esemplari nelle sequenze vengono contraddistinti da uno o due asterischi, punti per le lamelle e da uno a due ganci per i fili

Caratteristiche

➤ **Pesi da un grammo e sottomultipli del grammo**

I pesi da 1 grammo e i pesi sottomultipli del grammo sono costruiti da lamelle poligonali o fili di forma appropriata, tali da consentire una facile presa.

Le forme sono inoltre indicative del valore nominale dei pesi:

1. <u>Lamelle</u>	triangolo	1,10,100,1000 mg
	quadrilatero	2, 20, 200 mg
	pentagono	5, 50, 500 mg
2. <u>Fili</u>	1 segmento	1,10,100,1000 mg
	2 segmenti	2, 20, 200 mg
	3 segmenti	5, 50, 500 mg

Campioni di Massa: Densità del materiale

Table 5 Minimum and maximum limits for density (ρ_{\min} , ρ_{\max})

Nominal value	$\rho_{\min}, \rho_{\max} (10^3 \text{ kg m}^{-3})$							
	Class of weight (for class M ₃ , no value is specified)							
	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂	M ₁	M ₁₋₂	M ₂	M ₂₋₃
≥ 100 g	7.934 – 8.067	7.81 – 8.21	7.39 – 8.73	6.4 – 10.7	≥ 4.4	> 3.0	≥ 2.3	≥ 1.5
50 g	7.92 – 8.08	7.74 – 8.28	7.27 – 8.89	6.0 – 12.0	≥ 4.0			
20 g	7.84 – 8.17	7.50 – 8.57	6.6 – 10.1	4.8 – 24.0	≥ 2.6			
10 g	7.74 – 8.28	7.27 – 8.89	6.0 – 12.0	≥ 4.0	≥ 2.0			
5 g	7.62 – 8.42	6.9 – 9.6	5.3 – 16.0	≥ 3.0				
2 g	7.27 – 8.89	6.0 – 12.0	≥ 4.0	≥ 2.0				
1 g	6.9 – 9.6	5.3 – 16.0	≥ 3.0					
500 mg	6.3 – 10.9	≥ 4.4	≥ 2.2					
200 mg	5.3 – 16.0	≥ 3.0						
100 mg	≥ 4.4							
50 mg	≥ 3.4							
20 mg	≥ 2.3							

Requisiti metrologici

5 MAXIMUM PERMISSIBLE ERRORS ON VERIFICATION

5.1 Maximum permissible errors on initial and subsequent verification or in-service inspection

5.1.1 Maximum permissible errors for initial verification of individual weights are given in Table 1 and relate to conventional mass.

5.1.2 Maximum permissible errors for subsequent verification or in-service verification are left to the discretion of each state. If, however, the maximum permissible errors allowed are greater than those in Table 1, the weight cannot be declared as belonging to the corresponding OIML class.

5.2 Expanded uncertainty

For each weight, the expanded uncertainty, U , for $k = 2$, of the conventional mass, shall be less than or equal to one-third of the maximum permissible error in Table 1.

$$U \leq 1/3 \delta m \quad (5.2-1)$$

5.3 Conventional mass

5.3.1 For each weight, the conventional mass, m_c (determined with an expanded uncertainty, U , according to 5.2) shall not differ from the nominal value of the weight, m_0 , by more than the maximum permissible error, δm , minus the expanded uncertainty:

$$m_0 - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta m - U) \quad (5.3-1)$$

5.3.2 For class E_1 and E_2 weights, which are always accompanied by certificates giving the appropriate data (specified in 15.2.1), the deviation from the nominal value, $m_c - m_0$, shall be taken into account by the user.

Tabella classi di precisione OIML R111 - $\pm \delta m$ in mg

Nominal value*	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂	Class M ₁	Class M ₁₋₂	Class M ₂	Class M ₂₋₃	Class M ₃
5 000 kg			25 000	80 000	250 000	500 000	800 000	1 600 000	2 500 000
2 000 kg			10 000	30 000	100 000	200 000	300 000	600 000	1 000 000
1 000 kg		1 600	5 000	16 000	50 000	100 000	160 000	300 000	500 000
500 kg		800	2 500	8 000	25 000	50 000	80 000	160 000	250 000
200 kg		300	1 000	3 000	10 000	20 000	30 000	60 000	100 000
100 kg		160	500	1 600	5 000	10 000	16 000	30 000	50 000
50 kg	25	80	250	800	2 500	5 000	8 000	16 000	25 000
20 kg	10	30	100	300	1 000		3 000		10 000
10 kg	5.0	16	50	160	500		1 600		5 000
5 kg	2.5	8.0	25	80	250		800		2 500
2 kg	1.0	3.0	10	30	100		300		1 000
1 kg	0.5	1.6	5.0	16	50		160		500
500 g	0.25	0.8	2.5	8.0	25		80		250
200 g	0.10	0.3	1.0	3.0	10		30		100

Tabella classi di precisione OIML R111 - $\pm \delta m$ in mg

Nominal value*	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂	Class M ₁	Class M ₁₋₂	Class M ₂	Class M ₂₋₃	Class M ₃
100 g	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0		16		50
50 g	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0		10		30
20 g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5		8.0		25
10 g	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0		6.0		20
5 g	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6		5.0		16
2 g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2		4.0		12
1 g	0.010	0.03	0.10	0.3	1.0		3.0		10
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8		2.5		
200 mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6		2.0		
100 mg	0.005	0.016	0.05	0.16	0.5		1.6		
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4				
20 mg	0.003	0.010	0.03	0.10	0.3				
10 mg	0.003	0.008	0.025	0.08	0.25				
5 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				
2 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				
1 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				

OIML R111-1:2004 – Stabilizzazione termica

Table B.2 [11] Thermal stabilization in hours

ΔT^*	Nominal value	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂
± 20 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	79	5
	100, 200, 500 kg	-	70	33	4
	10, 20, 50 kg	45	27	12	3
	1, 2, 5 kg	18	12	6	2
	100, 200, 500 g	8	5	3	1
	10, 20, 50 g	2	2	1	1
	< 10 g	1			0.5
± 5 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	1
	100, 200, 500 kg	-	40	2	1
	10, 20, 50 kg	36	18	4	1
	1, 2, 5 kg	15	8	3	1
	100, 200, 500 g	6	4	2	0.5
	10, 20, 50 g	2	1	1	0.5
	< 10 g	0.5			

OIML R111-1:2004 – Stabilizzazione termica

ΔT^*	Nominal value	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂
$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	0.5
	100, 200, 500 kg	-	16	1	0.5
	10, 20, 50 kg	27	10	1	0.5
	1, 2, 5 kg	12	5	1	0.5
	100, 200, 500 g	5	3	1	0.5
	< 100 g	2	1		0.5
$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	-	-
	100, 200, 500 kg	-	1	0.5	0.5
	10, 20, 50 kg	11	1	0.5	0.5
	1, 2, 5 kg	7	1	0.5	0.5
	100, 200, 500 g	3	1	0.5	0.5
	< 100 g	1	0.5		

Metodo di taratura

Taratura mediante pesata DIRETTA

(vedi anche pesata diretta)

Taratura per CONFRONTO

Metodo A,B,B,A da ripetersi n volte, per dare ridondanza ai dati ottenuti (Il numero minimo n è fissato dalla tabella che segue, esso può essere aumentato per ridurre l'incertezza di taratura delle masse. Nel caso di pesiere di classe E o F_1 si consigliano almeno 3 ripetizioni del ciclo).

E_1	E_2	F_{1-2}	M_{1-2-3}
3	2	1	1

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



Massa

Le bilance

Bilancia o NAWI?

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 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 pubblicano specificano:

- le grandezze per cui il Centro e' accreditato;
- le tipi di strumenti che il Centro puo' tarare o i tipi di misurazione che esso puo' eseguire;
- le campi di misura e le corrispondenti condizioni di misura (per esempio, nel caso della taratura statica, la gamma di forze);
- 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

BILANCE DI PRESSIONE, MEZZO GASSOSO, CONDIZIONE RELATIVA
BILANCE DI PRESSIONE, MEZZO LIQUIDO, CONDIZIONE RELATIVA
BILANCE TORSIOMETRICHE
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

Reset Cerca

Database con aggiornamento dati al 08-06-2015

Bilancia o NAWI?

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 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, valore della tensione 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

SPESIMETRI
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

STRUMENTI PER PESARE A FUNZIONAMENTO NON AUTOMATICO

Reset Cerca

Database con aggiornamento dati al 08-06-2015

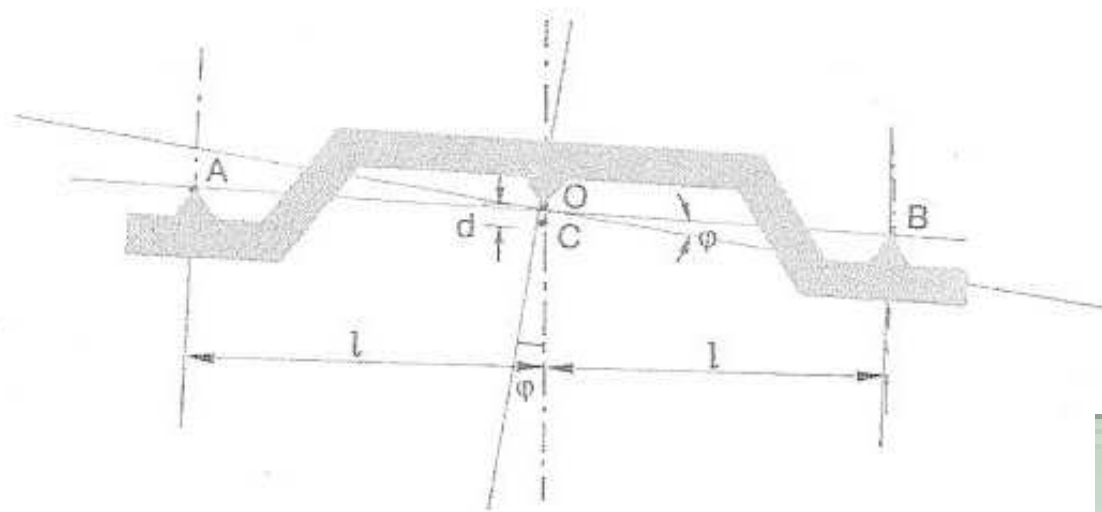
Definizioni e finalità

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.



Bilancia a Bracci Uguali



A e B - assi di applicazione dei carichi (m_A e m_B)
O - asse di oscillazione
C - baricentro del giogo e delle masse A e B
d - distanza tra O e C
 φ - angolo di inclinazione dei bracci



Bilancia a Bracci Uguali

- il giogo è costituito da un'asta rigida sulla quale sono montati tre coltelli
- lo spigolo del coltello centrale è l'asse di rotazione del sistema
- la posizione di equilibrio viene determinata senza attendere l'arresto del giogo ma rilevando l'ampiezza di oscillazioni successive
- all'equilibrio il giogo assume la posizione dell'angolo ϕ che soddisfa l'equazione seguente (m_O è la massa del giogo supposta concentrata in C):

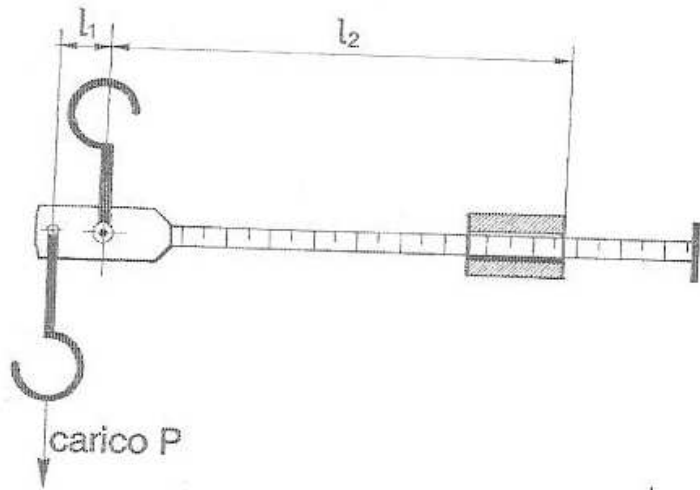
$$m_A g l \cos \phi - m_O g d \sin \phi - m_B g l \cos \phi = 0$$

- con m_A circa uguale a m_B , l'angolo ϕ è molto piccolo cosicchè $\cos \phi = 1$ e $\sin \phi$ circa uguale a ϕ , ne deriva

$$m_O d \phi = \Delta m \cdot l$$

- si può quindi definire la sensibilità come $\frac{\phi}{\Delta m} = \frac{l}{m_O \cdot d}$
- quindi una buona sensibilità si ottiene con l grande e d ed m_O piccoli

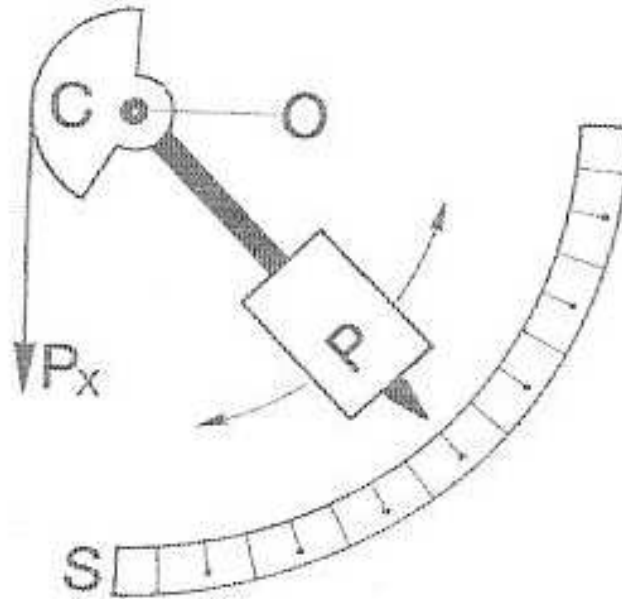
La Stadera



Al gancio per l'applicazione del carico può essere sostituito un piatto. La lunghezza l_2 è variabile, il contrappeso è detto "romano".

- ha la possibilità di equilibrare grandi carichi con una forza piccola (sfrutta la diff. lunghezza dei bracci)
- il contrappeso scorrevole svincola dall'uso di più campioni
- Ancora molto diffusa in ambito medico

La Bilancia a giogo pendolare



Il peso incognito P_x agisce sul giogo O.

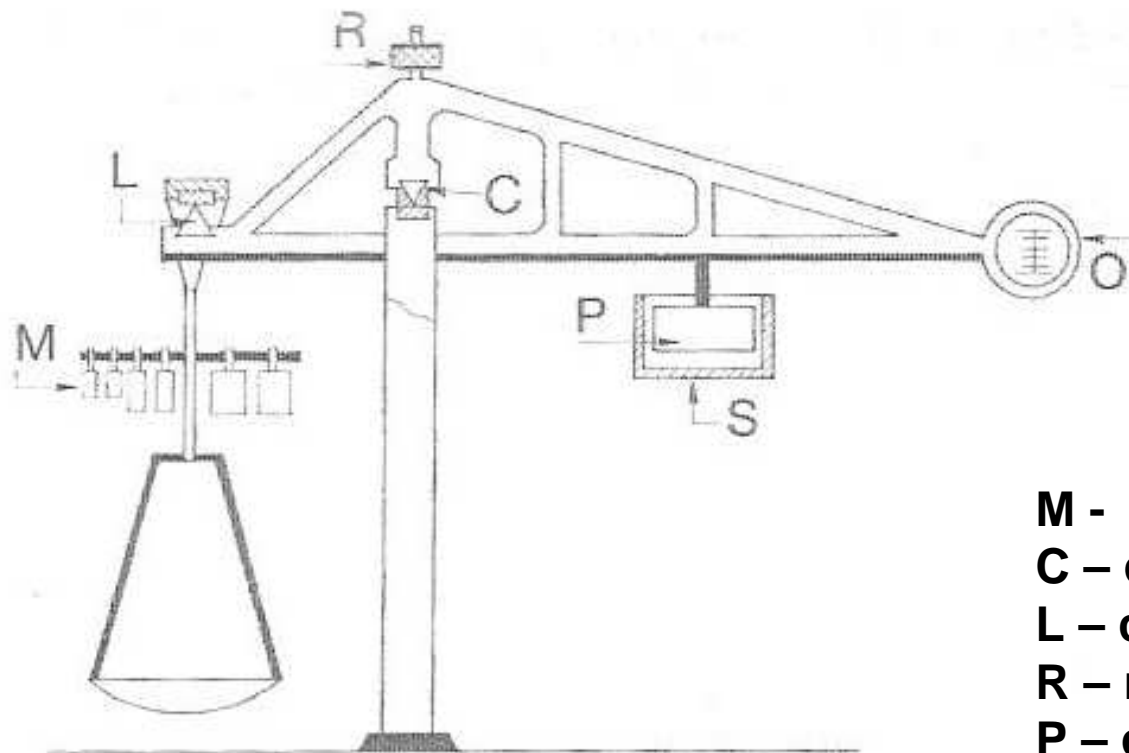
P è il contrappeso, la cui posizione è funzione di P_x

Questo tipo di bilancia è meno preciso ma ha il vantaggio di essere autoequilibrante

Bilance Analitiche



La Bilancia Analitica



- M - masse interne**
- C – coltello centrale**
- L – coltello laterale**
- R – massa di sensibilità**
- P – contrappeso**
- S – smorzatore pneumatico**
- O – scala ottica**

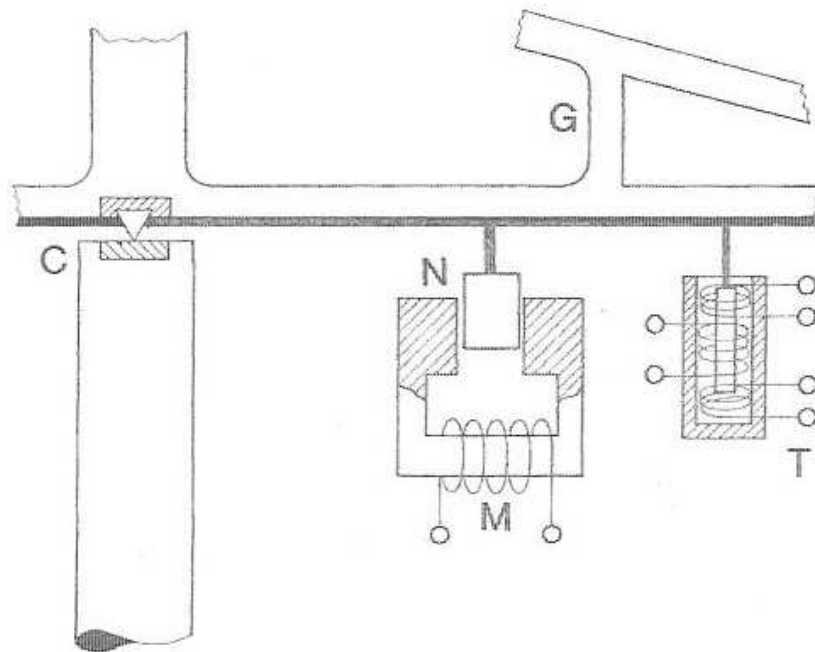
La Bilancia Analitica

Le principali caratteristiche:

- è una bilancia a giogo, con bracci uguali o disuguali ed ha due coltelli
- le masse interne possono essere caricate mediante comandi esterni; il loro valore complessivo raggiunge la portata della bilancia, con il concetto della pesiera
- la bilancia analitica lavora sempre al carico massimo (se non è caricato nulla sul piattello tutte le masse interne sono caricate sul giogo, e la bilancia è in equilibrio)
- la pesata avviene quindi per sostituzione, confrontando la massa incognita con i campioni interni
- differenze inferiori alla massa più piccola provocano inclinazioni del giogo, rilevate da un dispositivo di lettura ottico (scala ottica, che può essere sostituito da un dispositivo a compensazione elettromagnetica)
- l'arresto nella posizione di equilibrio avviene rapidamente tramite un sistema pneumatico, che legge direttamente la posizione di equilibrio

Compensazione Elettromagnetica

Lo spostamento del giogo determina un segnale ad un amplificatore che a sua volta fornisce corrente ad una bobina solidale con il giogo e che di conseguenza attrae un nucleo e viene riportato nella posizione di equilibrio (compensazione).



G – giogo
C – coltello centrale
M – elettromagnete
N – nucleo di ferro dolce
T – trasduttore di posizione

La corrente della bobina è quindi una misura rapportabile all'inclinazione che avrebbe avuto il giogo se fosse stato libero di inclinarsi

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



Balance

La taratura delle bilance Secondo Euramet CG18

Massa

Guida giunta alla revisione 4 (2015)

Precedenti revisioni:

Version 3.0 (03/2011)

Version 2.0 (09/2010)

Version 1.0 (01/2009)

Sistemati alcuni esempi di taratura ed introdotta la determinazione della pesata minima

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

Campo di applicazione

- La guida è destinata per tutti i sistemi di pesatura.
- 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 plurime:** 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 può essere tarato come se fosse uno strumento a se stante*
- **Strumento a campi plurimi:** strumento con diversi campi di pesatura ed UF. Ogni campo di pesatura comincia da zero fino alla portata massima. In fase di carico decrescente non avviene il cambio di UF. *Ogni campo di pesatura può essere tarato come se fosse uno strumento a se stante partendo da zero (la prova a carico decrescente non è applicabile)*

Campo di taratura

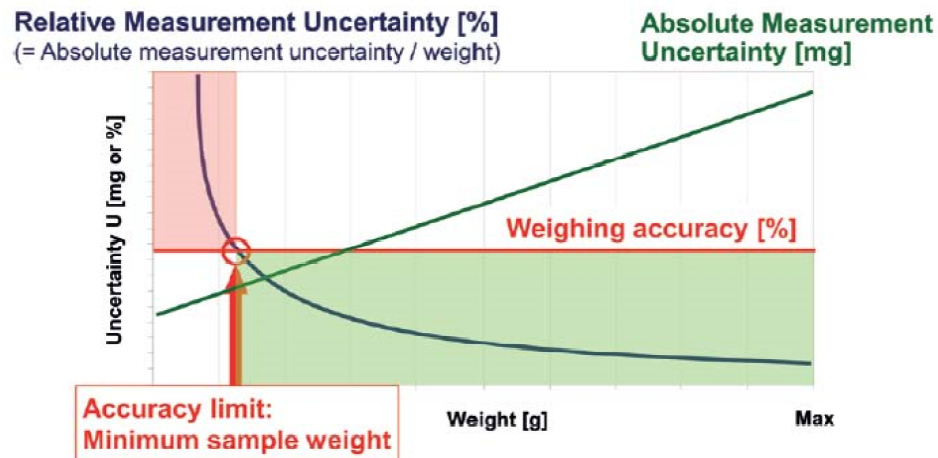
Campo di taratura

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

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



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

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

Luogo di taratura

➤ Luogo di taratura

La taratura deve (preferibilmente) avvenire nel luogo di utilizzo.

Qualora sia tarata in un luogo diverso è preferibile (ma non obbligatorio...) verificare le 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»
- chi effettua la taratura dovrà fornire al Cliente, in un documento separato dal certificato e non coperto dagli scopi dell'accreditamento, tutti gli elementi puntuali per una corretta valutazione in termini di correzione ed incertezza dei contributi di: **(segue....)**

Luogo di taratura

- i) variazione dell'accelerazione di gravità locale;
 - ii) variazione delle condizioni ambientali rispetto alle condizioni di taratura;
 - iii) effetti delle condizioni meccaniche e termiche durante il trasporto;
- Chi tara dovrà fornire al cliente istruzioni specifiche per il controllo successivo sull'effettivo luogo di utilizzo dello strumento, senza il quale il certificato di taratura non potrà dare garanzia della riferibilità metrologica;
 - Chi tara dovrà documentare specifiche procedure di trasporto, inclusi i sistemi per la valutazione delle condizioni meccaniche e termiche subite dallo strumento durante il trasporto e dovrà tenerne informato il Cliente.

Luogo di taratura

Qualora lo strumento venga successivamente **spostato** dall'utente in altro luogo dopo la taratura dovranno essere valutati gli effetti in termini di correzione ed incertezza relativi a:

- variazione dell'accelerazione di gravità locale;
- variazione delle condizioni ambientali;
- condizioni meccaniche e termiche durante il trasporto.

I suddetti effetti, se non adeguatamente considerati, possono alterare le prestazioni dello strumento ed invalidarne i risultati della taratura. La movimentazione dello strumento successiva alla taratura deve pertanto essere evitata, a meno che l'insensibilità ai suddetti effetti sia dimostrata, per esempio mediante controllo successivo con campioni di massa di portata e classe adeguata.

Luogo di taratura

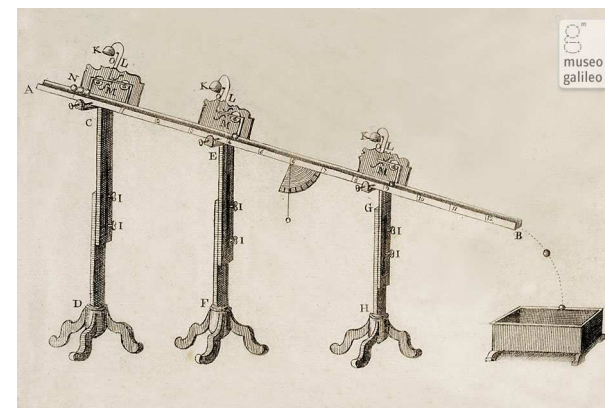
Variazioni di g

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

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

$$\begin{aligned}m_{\text{ROMA}} &= 121,345 \text{ g} \\m_{\text{TORINO}} &= 121,367 \text{ g} \\ \Delta m &= 22 \text{ mg}\end{aligned}$$

Esempio 2:

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

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

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

Campioni di massa

Premessa sostanziale...

Requisito Accredia DT

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

Tali requisiti sono applicabili anche per i LAB?

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 OMBRELLA

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	M2	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				



Campioni di massa

- Per bilance di grande portata (> 1000 kg) può essere utilizzato un carico di sostituzione.
- Una volta verificata la bilancia con le masse L_{T1} disponibili viene realizzato il carico di sostituzione con valore prossimo a L_{T1} attraverso aggiustaggi successivi.
- L'operazione si ripete fino a FS della bilancia
- Porre massima attenzione all'incertezza che si riesce ad ottenere
- Lo zavorraggio non deve essere inferiore al 20% della portata massima (se la bilancia ha una buona ripetibilità)

Operazioni preliminari

1. Verifica dell'univoca identificazione della bilancia (matricola indelebile)
2. Ispezione generale (messa in bolla, stabilità del piano di appoggio,...)
3. Se viene effettuata una messa a punto e/o riparazione dello strumento il CDT deve riportare i risultati prima e dopo tali operazioni
4. Determinazione del setup di misura della bilancia (autozero, adattatore vibrazioni, velocità di risposta,....)
5. La taratura deve avvenire nelle effettive condizioni di utilizzo (che dovranno essere indicate nel CDT)

Operazioni preliminari

6. Condizioni necessarie affinché la taratura possa avere luogo:

- Identificazione dello strumento
- Funzioni della bilancia operative
- Presentazione della misura priva di ambiguità (display)
- Orizzontalità dello strumento
- Bilancia accesa almeno 12 ore prima della taratura (o almeno per un tempo pari a quello indicato dal costruttore)
- Stabilizzazione termica (prossime slide..)
- **Influenza sull'incertezza di taratura**

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:

- ± 2 °C se si utilizzano pesiere in classe $E_1 - E_2$
- ± 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.

Sensibilità agli effetti magnetici

Alcuni trasduttori utilizzati nelle bilance elettroniche possono presentare una rilevabile sensibilità al momento magnetico residuo e alla permeabilità magnetica del carico.

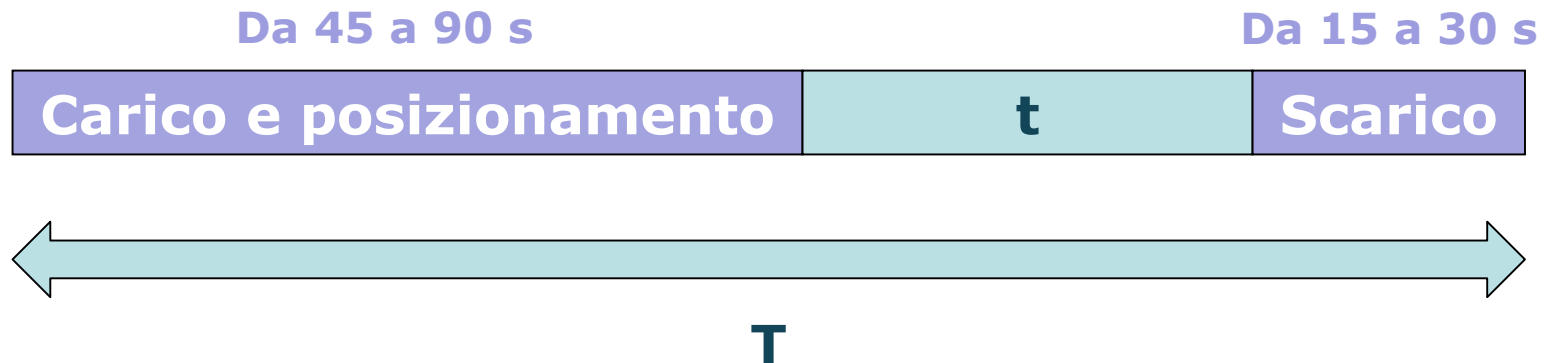


La variazione misurata non deve essere superiore a 2 volte la ripetibilità della bilancia (altrimenti ulteriore contributo di incertezza)

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 quindi non è necessario effettuare tale determinazione

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:

RIPETIBILITA'

Determinazione della ripetibilità di indicazione

ECCENTRICITA'

Determinazione della sensibilità a carichi decentrati

LINEARITA'

Determinazione dell'errore di indicazione



Ripetibilità

Dato l'uso che generalmente viene fatto delle bilance, la ripetibilità viene espressa da un risultato di misure che si riferisce a pesate per **lettura diretta**, cioè a come si ripeta la lettura di una bilancia se uno stesso **oggetto** viene ripetutamente posto sul suo piatto.

- La massa utilizzata per la misurazione non è necessariamente tarata
- Anche in questo caso è conveniente utilizzare una sagoma (di carta ad esempio) per il corretto centraggio del carico
- La prova viene effettuata ad almeno 1 livello di carico:
 - 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 il cliente in caso di specifiche condizioni di lavoro
- Il numero di ripetizioni non deve essere inferiore a 5 (3 se Max > 100 kg) (SIT TEC era min 10)
- Se $n < 10$ si dovrà effettuare il computo dei gradi di libertà e del fattore di copertura

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

Ripetibilità

- Verificare se l'autozero è attivo (indicarlo anche nel CDT)
- Azzerare l'indicazione dello strumento
- Effettuare le letture dopo aver posizionato il carico (attendendo sempre T)
- Effettuare le letture a piatto scarico (attendendo sempre T) oppure azzerare (meglio...)

Ndr

per bilance con max <60kg prova molto rapida quindi la variazione delle condizioni ambientali è trascurabile

Ripetibilità

Elaborazione dei dati di misura (esempio di 5 ripetizioni)

L'operatore azzerla 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

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

Ripetibilità

Elaborazione dei dati di misura (esempio di 5 ripetizioni)

L'operatore **non** azzerla la bilancia a carico nullo

Carico pari a 200 g (200)

n.	Indicazione a Min /g	Indicazione al Carico di prova /g	Indicazione corretta /g
1	0,000 0		
2		200,000 1	200,000 05
3	0,000 1		
4		200,000 1	200,000 05
5	0,000 0		
6		200,000 0	200,000 00
7	0,000 0		
8		200,000 1	200,000 10
9	0,000 0		
10		200,000 1	200,000 10
11	0,000 0		
		S_L	0,000 04 g

Ripetibilità

Elaborazione dei dati di misura (esempio di 10 ripetizioni)

L'operatore **non** azzerla la bilancia a carico nullo

Carico pari a 200 g (200)

n.	Indicazione a Min /g	Indicazione al Carico di prova /g	Indicazione corretta /g
1	0,000 0		
2		200,000 1	200,000 05
3	0,000 1		
4		200,000 1	200,000 05
5	0,000 0		
6		200,000 0	200,000 00
7	0,000 0		
8		200,000 1	200,000 10
9	0,000 0		
10		200,000 1	200,000 10
11	0,000 0		
12		200,000 1	200,000 10
13	0,000 0		
14		200,000 1	200,000 10
15	0,000 0		
16		200,000 0	200,000 00
17	0,000 0		
18		200,000 0	200,000 00
19	0,000 0		
20		200,000 0	200,000 00
21	0,000 0		
		sL	0,000 04 g

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 $\text{MIN} + (\text{MAX} - \text{MIN})/3$ in caso di range di taratura ridotto

➤ Optare sempre verso carichi a minor numero di elementi

➤ Esempio:

Max = 200 g

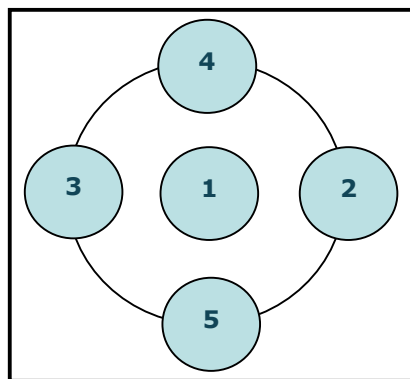
1/3 di Max = 66,667 g

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 $\frac{1}{3}$ del raggio (o semidiagonale)

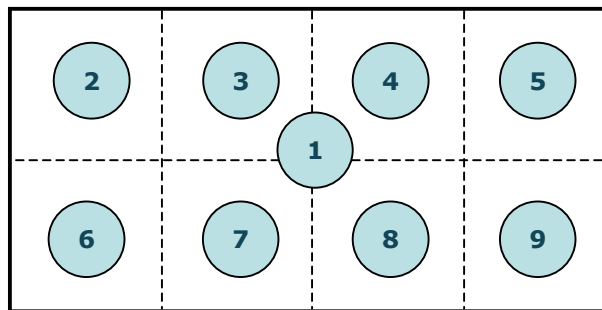
Ndr: tipologia più frequente..

Eccentricità

Determinazione dei punti di appoggio

Bilance con carico appoggiato

il carico viene disposto su ciascun appoggio su una superficie pari ad $1/n$ della superficie totale del ricettore.



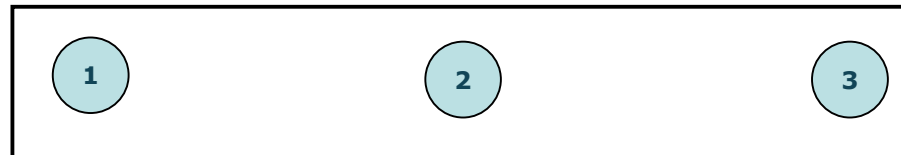
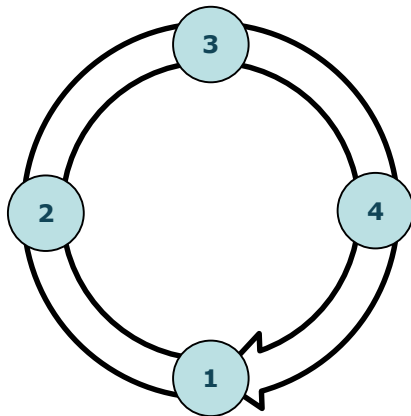
Se due punti di appoggio sono troppo vicini per ospitare tutto il carico (es. pese ferroviarie), si raddoppia la superficie e si dispone un carico doppio ai lati dell'asse congiungente i due punti di appoggio.

Eccentricità

Determinazione dei punti di appoggio

Bilance con carico sospeso (solitamente ganci)

Se il gancio è fisso ma consente la rotazione la verifica viene effettuata nelle 4 diverse posizioni angolari sfasate di 90°.



Se il gancio scorre lungo una rotaia la verifica viene effettuata all'inizio, metà e fine rotaia.

Se il gancio è fisso e non ruota la prova non è applicabile

Eccentricità

1. Per effettuare un corretto posizionamento del carico è utile sagomare un foglio di carta contrassegnando i punti
2. Azzerare l'indicazione (ed eventualmente registrare il valore se $\neq 0$ o se non è possibile azzerare)
3. Posizionare il carico nei punti prestabiliti (rispettando il tempo T) secondo lo schema di seguito indicato, verificando a piatto scarico che l'indicazione sia nulla oppure registrare il valore

Ndr

per bilance con max <60kg prova molto rapida quindi la variazione delle condizioni ambientali è trascurabile

Esempio in progress

Bilancia analitica Gibertini

- Max 310 g
- Da tarare fino a 200 g
- UF 0,1 mg
- Coefficiente termico K pari a $2 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Calibrazione interna
- Autozero attivo
- Modalità di pesata: slow (alta precisione)

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

Eccentricità

L'operatore **non** azzerla la bilancia a carico nullo (solo all'inizio)

Carico pari a 70 g (50+20)

Posizione	Min /g	Indicazione /g	Indicazione corr. per deriva /g	$\Delta i_{ecc,i}$ /g	$Ass(\Delta i_{ecc,i})$ /g
Min	0,000 0				
1		70,000 1	70,000 05		
Min	0,000 1				
2		70,000 1	70,000 05	0,000 00	0,000 00
Min	0,0000				
3		69,999 9	69,999 95	-0,000 10	0,000 10
Min	-0,0001				
4		70,000 0	70,000 10	0,000 05	0,000 05
Min	-0,0001				
5		70,000 0	70,000 05	0,000 00	0,000 00
Min	0,0000				

$$I_{corr,i} = I_i - 0,5(\text{Min}_{i-1} + \text{Min}_{i+1})$$

$$\Delta i_{ecc} = \max(ass(\Delta i_{ecc,i})) = 0,0001 \text{ g}$$

Linearità

Con questa prova ci si prefigge di verificare, su tutto il campo di misura, la corrispondenza tra l'indicazione della bilancia e il carico applicato, misurando la **correzione** che deve essere **aggiunta** all'indicazione e la sua incertezza estesa.

Occorre rilevare una vera e propria **curva di taratura**, che potrà poi essere data sotto forma di tabella o di grafico o, meglio ancora, di polinomio interpolatore.

Durante questa misurazione l'eventuale autoregolazione con massa interna non deve essere attivata se non una volta, prima dell'inizio. Analogamente, per quegli strumenti con sistema di regolazione manuale esterno, detta operazione deve, eventualmente, essere fatta prima dell'inizio della taratura **e registrata su CDT riportando il riferimento del campione utilizzato**

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.
- Ad esempio Zero (o Min) – 0,25max – 0,5 max – 0,75 max – max
- Mai andare oltre 0,2max..



Linearità

I carichi possono essere applicati secondo le seguenti modalità:

1. In salita con scarico del piatto

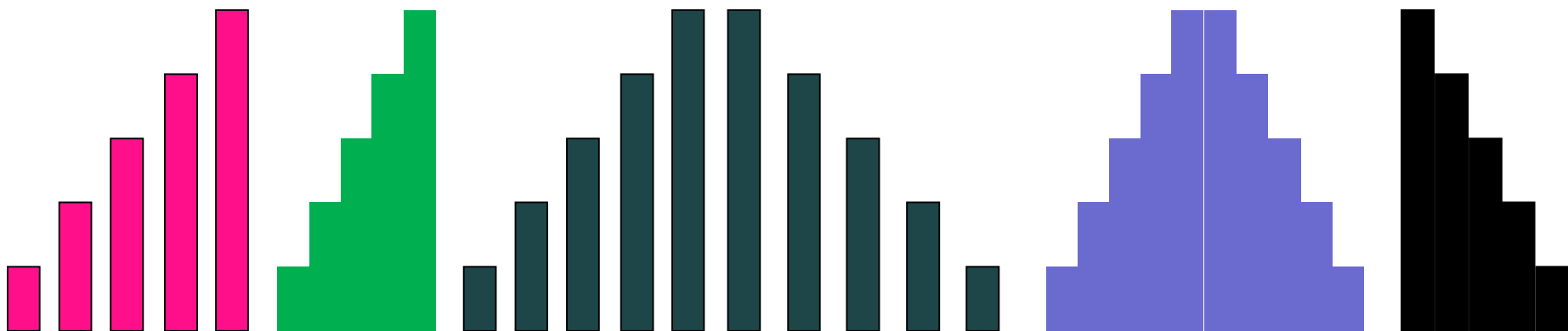
2. In salita senza scarico del piatto

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

- Centraggio dei campioni di massa sul piatto
- Utilizzo di campioni di massa con certificato di taratura in corso di validità ed incertezza adeguata (0,29UF)
- **I punti di verifica devono essere almeno 5 equispaziati** sul campo di taratura (che come detto in precedenza potrebbe essere minore del campo di misura della bilancia)

Livelli di carico	Consigliata	Minima	Minima se campo ridotto
1	Min/zero	Min/zero	Min
2	0.1 Max	0.25 Max	0.5 Max
3	0.2 Max	0.5 Max	Max
4	0.3 Max	0.75 Max	
5	0.4 Max	Max	
6	0.5 Max		
7	0.6 Max		
8	0.7 Max		
9	0.8 Max		
10	0.9 Max		
11	Max		

Linearità

- Registrare l'eventuale attivazione dell'autozero
- E' opportuno inserire in taratura eventuali punti tipici di funzionamento della bilancia
 - Esempio: peso tipico di un filtro in bianco per la misura della concentrazione di polveri
- Per bilance a campi plurimi la prova viene effettuata solo in carico crescente
- Selezionare i campioni di massa da utilizzare e predisporli vicino alla bilancia
- Determinare per la durata della prova T_{min} e T_{max} stabilendo in funzione delle condizioni ambientali del laboratorio l'opportuna frequenza
- Effettuare le pesate secondo le modalità ed i tempi fino ad ora descritti

Ndr: tale prova può essere anche molto lunga (60 minuti) quindi è importante misurare la T all'inizio e alla fine della prova

Linearità

Elaborazione dei dati di misura (esempio 5 punti)

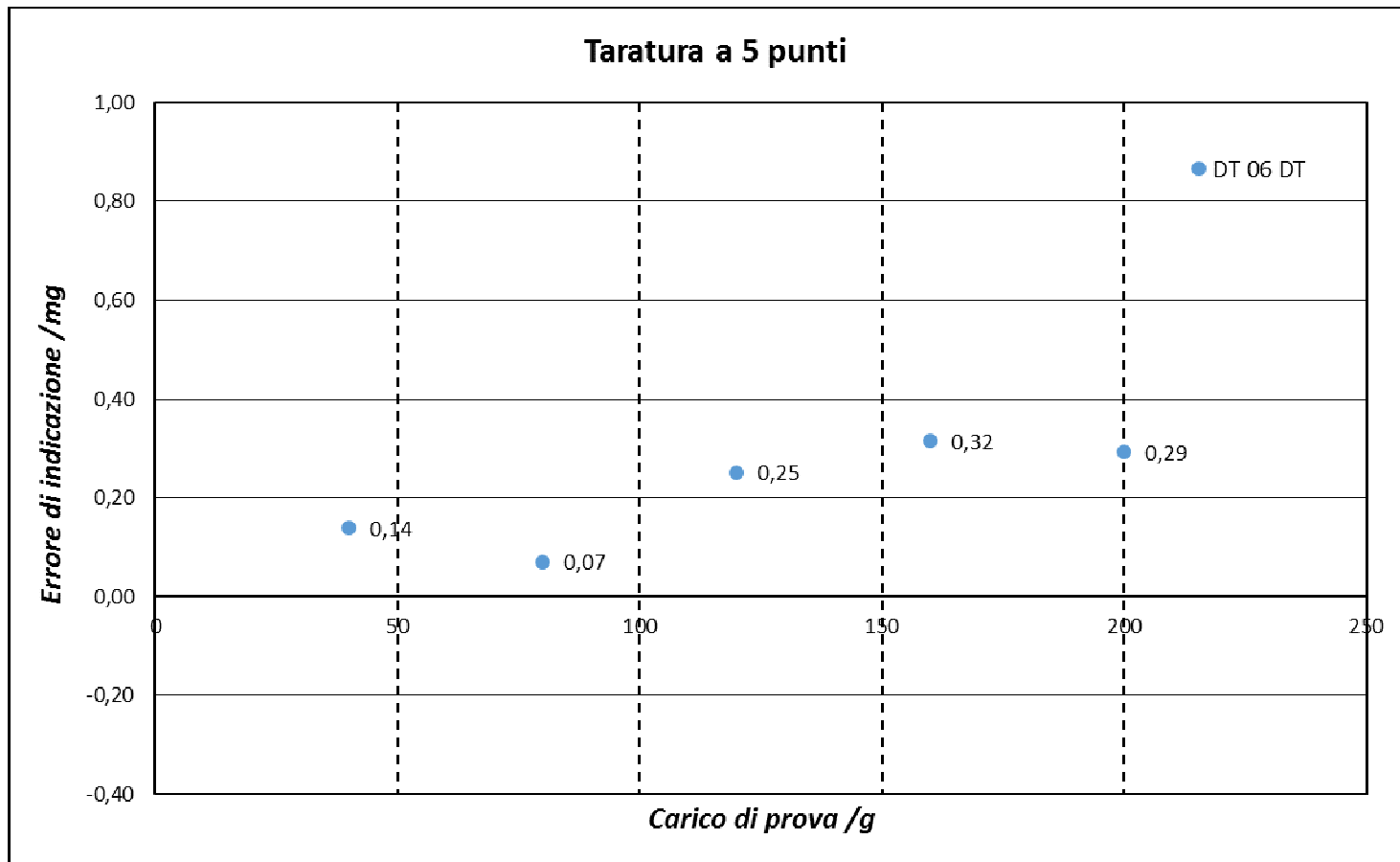
L'operatore azzerla la bilancia a carico nullo

Carico pari a 200 g

			carico crescente			carico decrescente		
n.	V. Nom. M	V. Conv. Mc	Indicazione I	Errore E		Indicazione I	Errore E	Errore medio
	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

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

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

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

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)

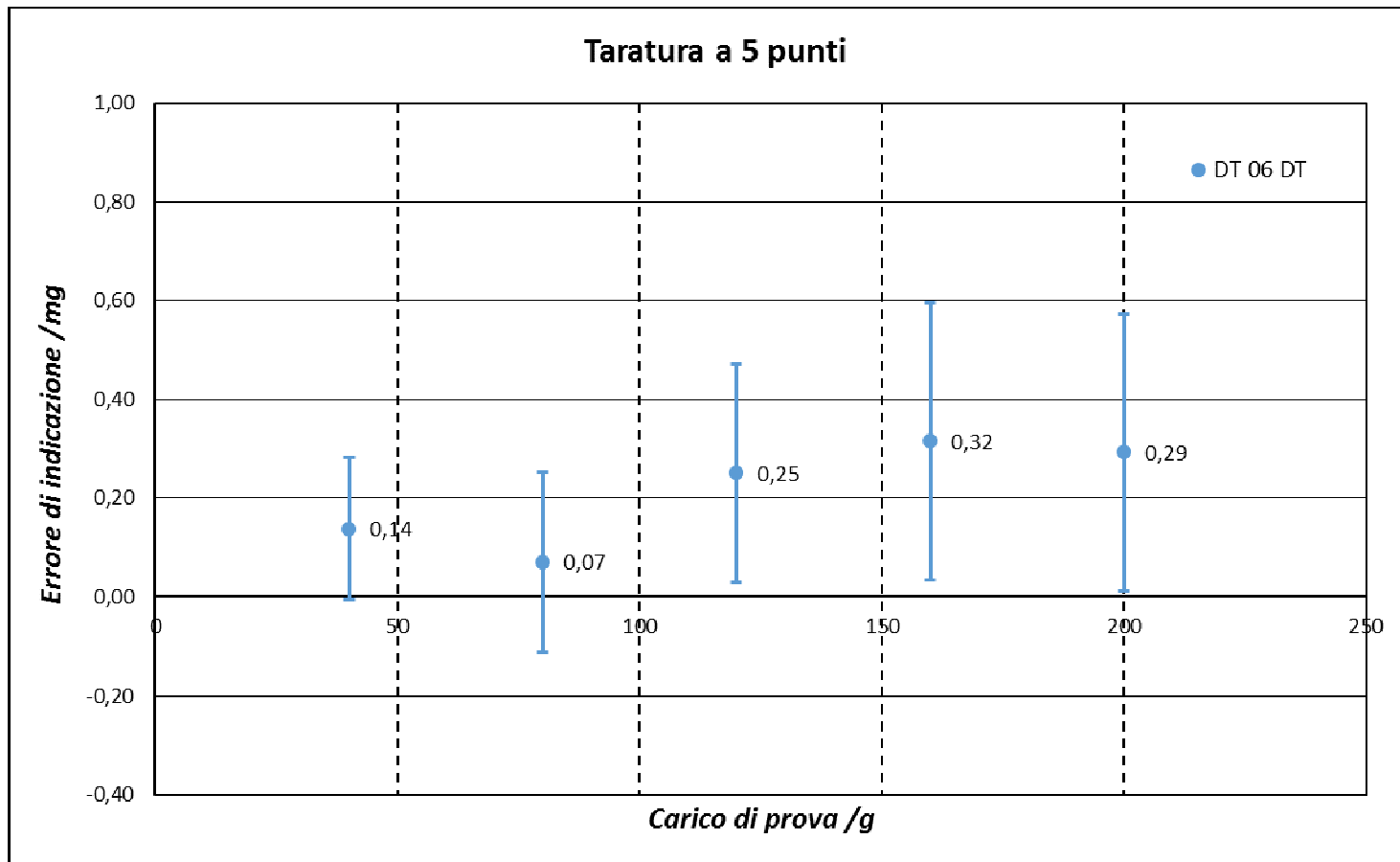
$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$$

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

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

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 01	0,000 02	0,000 03	0,000 05	0,000 05
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 08	0,000 10	0,000 12	0,000 12
Gradi di libertà effettivi	n_{eff}	38	64	156	324	324
Fattore di copertura	k_{eff}	2,07	2,04	2,02	2,01	2,01
Incertezza estesa /g	$U(E)$	0,000 14	0,000 16	0,000 20	0,000 24	0,000 24

Curva di taratura



Incertezza estesa (SIT/TEC)

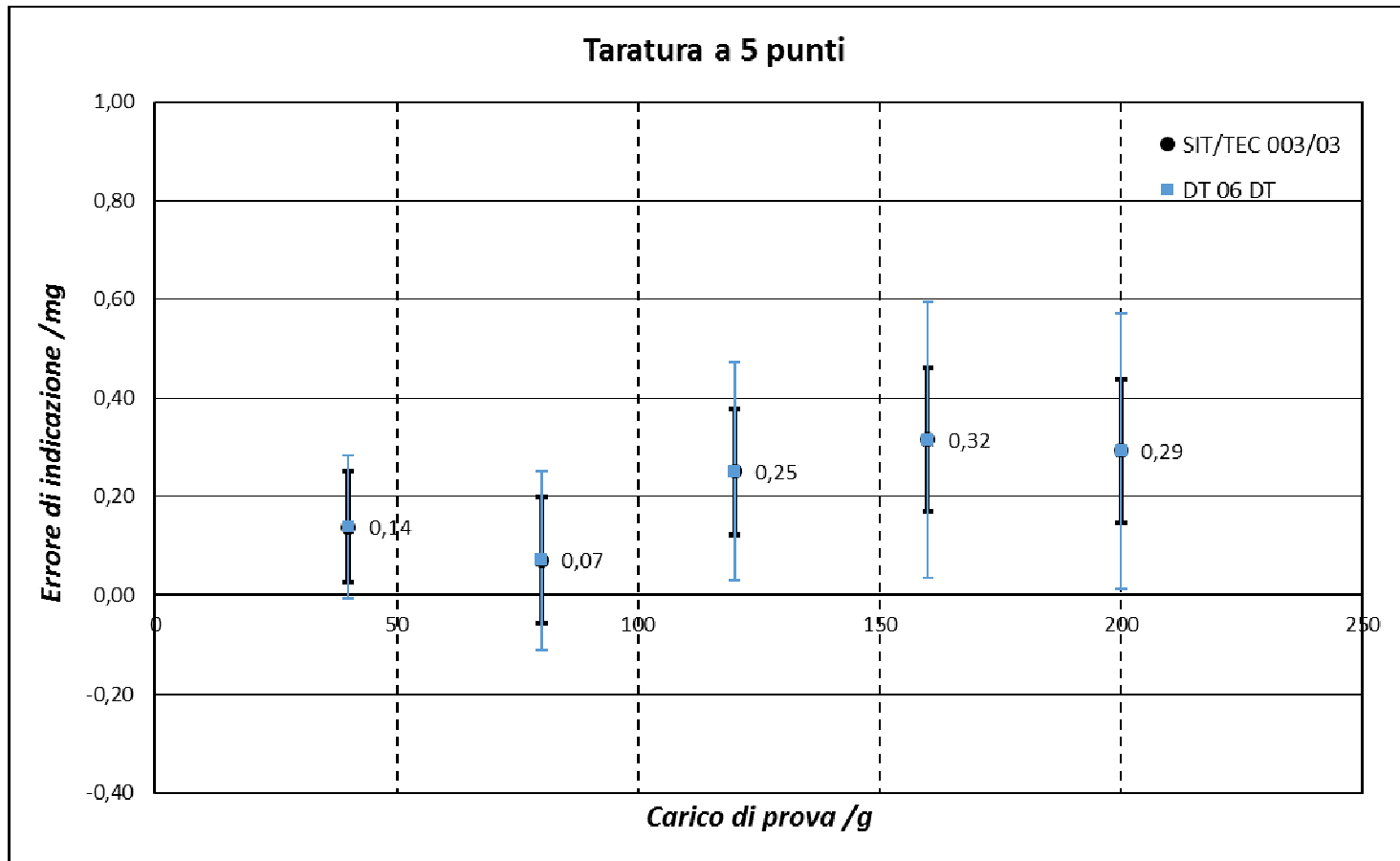
$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$$

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

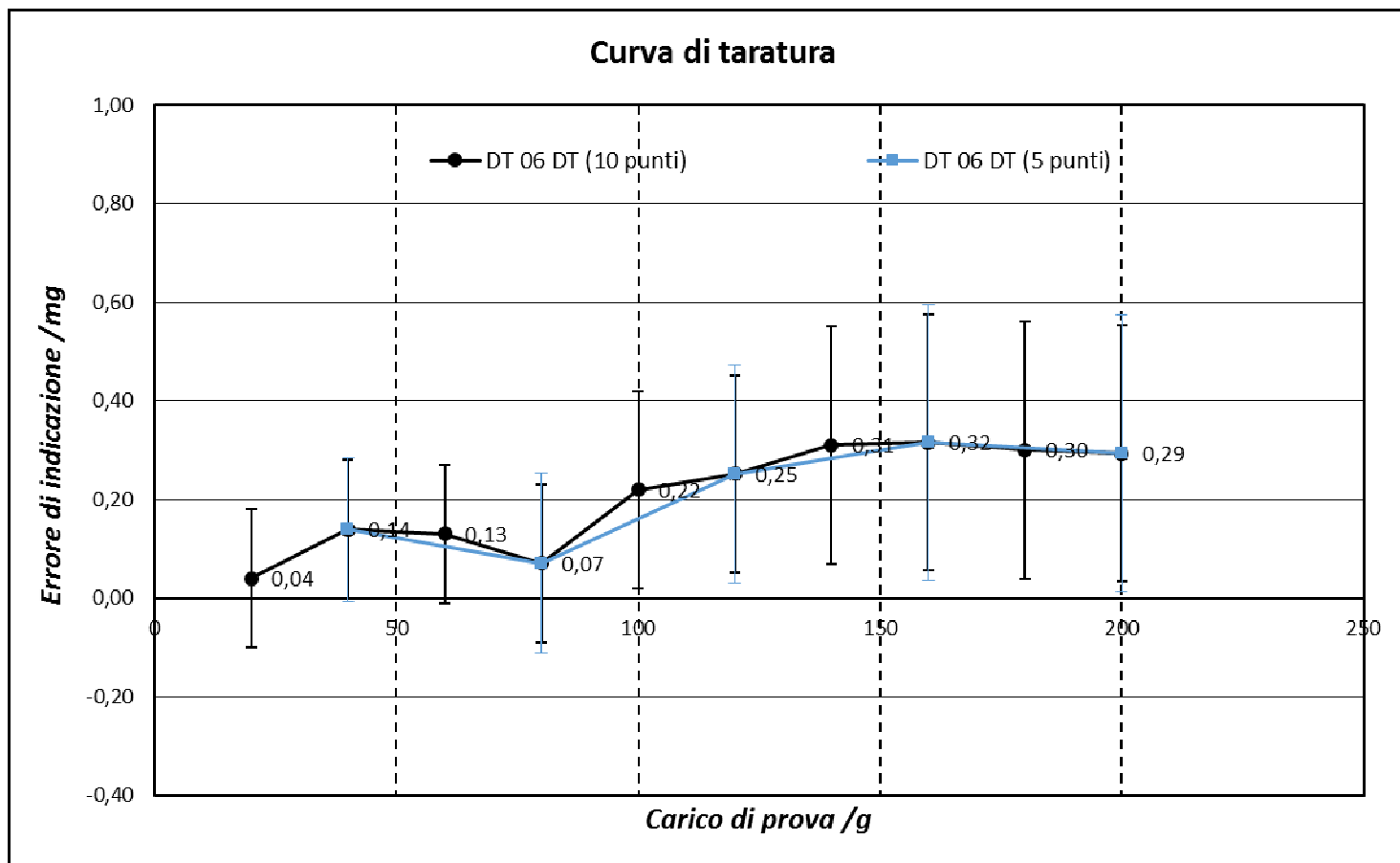
$$u^2(m_{rif}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\Delta t})$$

Carico nominale /g	m_h	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



Curva di taratura (interpolazione)



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 (quasi totalità dei casi per i laboratori di prova)
- Le condizioni ambientali sono radicalmente diverse da quelle determinate in taratura (raro)
- Bilance che non consentono o alle quali non viene effettuata periodicamente la regolazione (interna o esterna)
- La bilancia viene utilizzata da diversi operatori (variabilità sulla procedura di pesata)
- Bilance non sottoposte a verifiche intermedie

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 max sommato algebricamente all'incertezza estesa)
- 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

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

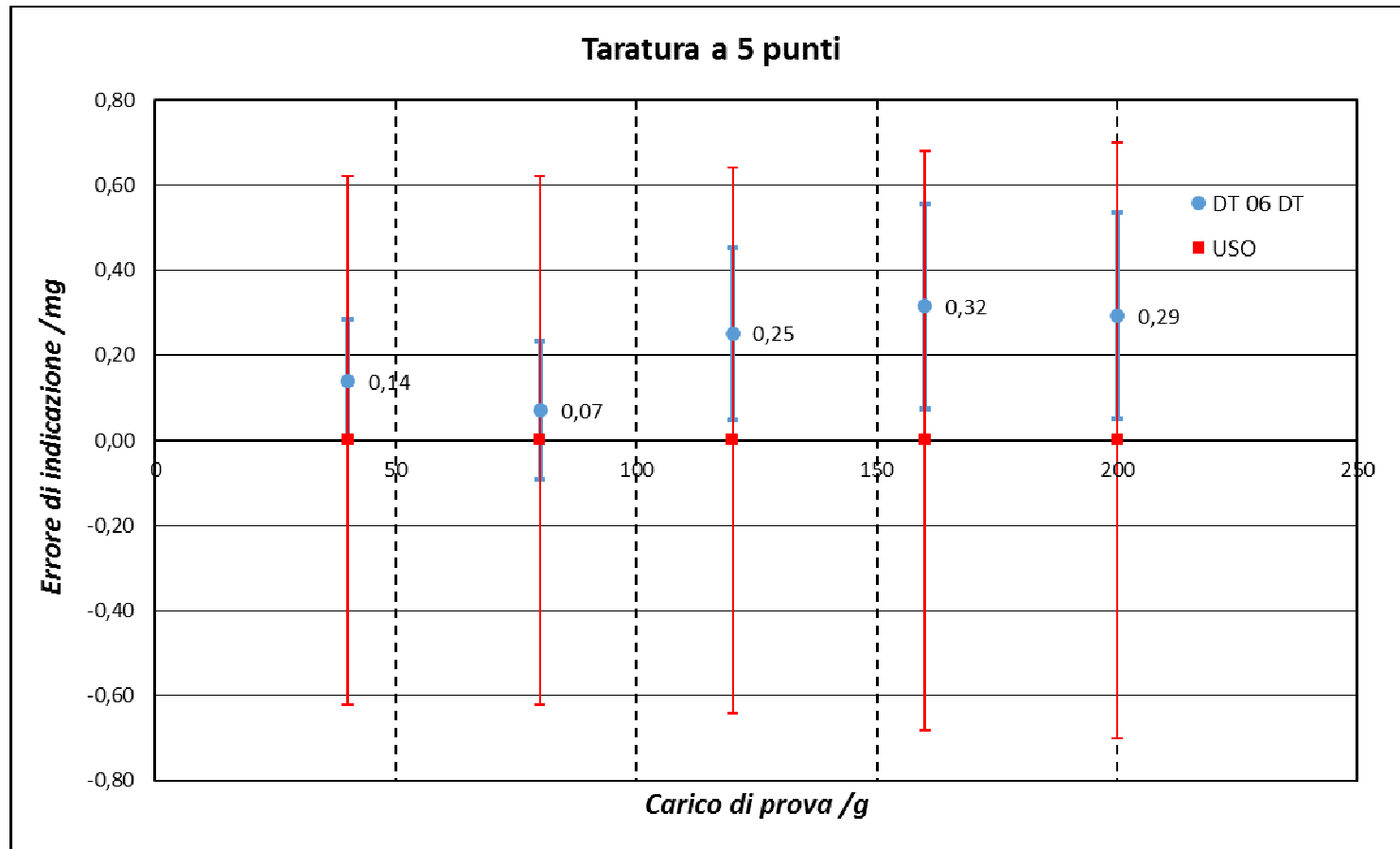
$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rip}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(I_{dig0})$$

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

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

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(δI _{digL})	0,000 03				
Incertezza tipo di ripetibilità /g	u(δI _{rip})	0,000 04				
Arrotond. digitale a carico nullo /g	u(δI _{dig0})	0,000 03				
Effetto eccentricità /g	u(δI _{ecc})	0,000 02	0,000 03	0,000 05	0,000 07	0,000 08
Incertezza tipo su valore massa /g	u(δm _c)	0,000 01	0,000 02	0,000 03	0,000 04	0,000 04
Incertezza spinta aerostatica /g	u(δm _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(δm _D)	0,000 01	0,000 02	0,000 03	0,000 05	0,000 08
Incertezza tipo per effetti di convezione	u(δm _{conv})	trascurabile				
Incertezza tipo per effetti temp. amb. /g	u(δm _{Δt})	0,00002				
Incertezza tipo per operatore /g	u(δm _{D,bil})	0,000 20				
Incertezza tipo per deriva della bilancia /g	u(δm _{D,bil})	0,000 10				
Incertezza tipo dell'errore /g	u(E)	0,000 15	0,000 15	0,000 16	0,000 18	0,000 19
gradi di libertà effettivi	n _{eff}	791	791	1024	1640	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 62	0,000 64	0,000 68	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