



Università degli Studi di Cassino
Facoltà di Ingegneria

Lezioni del Corso di Fondamenti di Metrologia Meccanica

A.A. 2005-2006 Prof. Paolo Vigo



Università degli Studi di Cassino

Corso di Fondamenti di Metrologia Meccanica

Indice

- Introduzione alle misure di massa
- La variazione dell'accelerazione di gravità
- I campioni di massa
- Tipi di Bilance
- Pese a ponte e celle di carico





- Introduzione alle misure di massa



La massa *inerziale*

Prende la sua definizione dalla legge di Newton

$$\mathbf{F} = \mathbf{ma}$$

L'unità di misura nel SI è il kg

Nel campo gravitazionale terrestre si può sostituire il valore dell'accelerazione di gravità standard:

$$\mathbf{P} = \mathbf{mg}$$

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





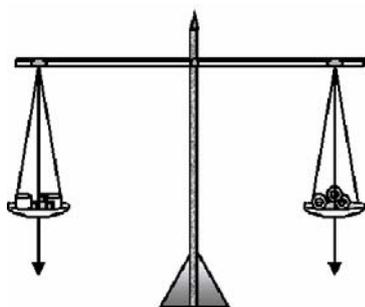
La massa *gravitazionale*

Per la legge di gravitazione universale, la forza di attrazione gravitazionale che agisce fra due corpi è proporzionale alle masse dei due corpi: ad esempio, l'attrazione fra Terra e Sole è proporzionale alla massa della Terra e a quella del Sole, l'attrazione fra la Terra e un corpo è proporzionale alla massa della Terra e a quella del corpo, ecc.

Si è dimostrato che la massa *gravitazionale* è uguale alla massa *inerziale*, attraverso misure estremamente accurate in cui si è misurata la debolissima forza di attrazione gravitazionale fra due corpi di massa nota (bilancia di Cavendish).



Bilancia a bracci uguali



la massa incognita dell'oggetto viene confrontata con la massa nota di unità di misura facendo in modo, che la forza di gravità che l'oggetto applica a un braccio della bilancia sia uguale alla forza che applicano i campioni di massa dall'altro braccio.

Il confronto fra le masse è quindi basato su un equilibrio di forze, supponendo che le accelerazioni siano eguali (in questo caso l'accelerazione di gravità è la stessa per i due bracci della bilancia).



Massa e peso

La bilancia quindi è sostanzialmente un dinamometro

In questo senso, possiamo distinguere due tipi di bilance:

1. le bilance, come la bilancia a bracci uguali o la stadera, che permettono di confrontare direttamente la massa dell'oggetto da misurare con quella nota di certi pesi-campione, equilibrando le forze-peso corrispondenti;
2. le bilance come il pesa-persone e la maggior parte delle bilance di uso domestico o commerciale, in cui la forza-peso dell'oggetto viene equilibrata con altri tipi di forze, generalmente elastiche.



Massa, volume e massa volumica

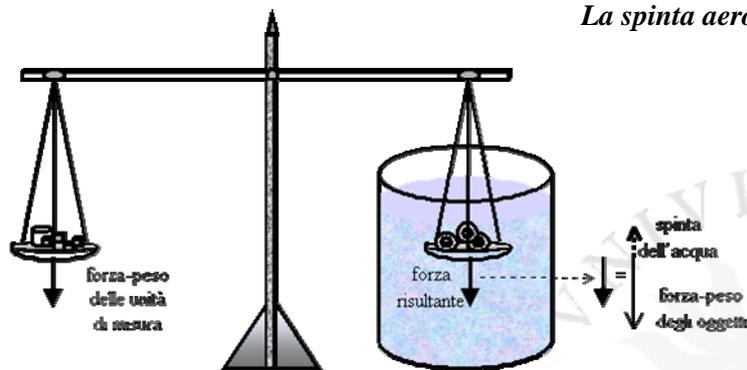
La densità è la massa corrispondente all'unità di volume ed è una grandezza fisica caratteristica della *sostanza* di cui è fatto l'oggetto.

Il termine metrologicamente corretto è quello di massa volumica

I liquidi hanno una loro densità caratteristica: l'acqua ad esempio ha una densità molto prossima a 1g/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 1,3 g.

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 spinta aerostatica

L'equazione di equilibrio corretta di una pesata effettuata in aria è data da:

$$m_x = m_c - \rho_a (V_c - V_x) = m_c \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_c}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_x}}; \quad \rho = \frac{m}{V}$$

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 .

L'entità della correzione dipende dalla densità dell'aria ρ_a e da $V_c - V_x$.

Il valore di pesata non corretto con la spinta aerostatica è detto "*massa apparente*" o "*massa apparente in aria*", mentre il valore corretto è detto "*massa effettiva*" o "*massa ridotta al vuoto*".

**La massa “convenzionale”**

estratto dalla Raccomandazione OIML 33

1. *il valore convenzionale del risultato della pesata in aria di un corpo è uguale alla massa di un campione avente massa volumica 8000 kg/m³ che equilibri il corpo alla temperatura ambiente di 20°C in aria di massa volumica 1,2 kg/m³*
2. *la massa volumica dei pesi, nonché dei contrappesi, cursori e masse interne di bilance o pese, sia tale che le variazioni del risultato del confronto di questi pesi con un campione avente massa volumica 8000 kg/m³, prodotte da una variazione della massa volumica dell'aria di ± 10% rispetto a 1,2 kg/m³ non superino un quarto dell'errore massimo tollerato sul peso o sull'indicazione dello strumento*

**La massa “convenzionale”**

Si confrontino in aria avente densità ρ_a due campioni aventi massa m_1 , m_2 e volume v_1 , v_2 rispettivamente; l'equazione che governa il confronto è

$$m_1 - m_2 - \rho_a \cdot (v_1 - v_2) = \delta_m \quad (4.1)$$

dove δ_m è l'indicazione della bilancia espressa in unità di massa².

L'equazione (4.1), introducendo le densità $\rho_i = m_i/v_i$, può essere riscritta come segue:

$$m_1 \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_1}\right) - m_2 \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_2}\right) = \delta_m \quad (4.1a)$$

Casi interessanti dell'equazione 4.1a è quando si ha condizione di equivalenza ($\delta_m=0$). Una prima soluzione dell'equazione si avrebbe con $m_1=m_2$ e $\rho_1=\rho_2$ (quindi $V_1=V_2$). Una seconda soluzione invece $m_1=m_2$ e $\rho_a=0$ (ossia nel vuoto)



La massa “convenzionale”

Per svincolare in parte la sensibilità delle bilance al volume del carico si è provveduto a definire il cosiddetto *valore convenzionale del risultato delle pesate in aria* di una massa di valore m , tramite l'equazione

$$m \left(1 - \frac{1,2}{\rho} \right) = m_c \left(1 - \frac{1,2}{8000} \right)$$

Esso è quindi il valore che avrebbe una massa ideale di densità 8000 kg m^{-3} tale da equilibrare l'oggetto di massa m e densità ρ in una bilancia ideale, in una atmosfera ideale di densità $1,2 \text{ kg m}^{-3}$ e alla temperatura di $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



La definizione privilegia la condizione in cui la densità dell'aria ρ_a vale $1,2 \text{ kg/m}^3$ (praticamente questo è vero solo al livello del mare, già ad un'altezza di 200-250 m s.l.m. mediamente si può supporre $\rho_a = 1,17 \text{ kg/m}^3$) e la densità dell'oggetto è 8000 kg/m^3 .

La definizione di massa convenzionale evidenzia che quando $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$ allora di conseguenza è $m_c = m$; quando questo non si verifica la differenza tra m_c e m cresce con la differenza tra ρ e 8000 ;

Il valore convenzionale di un corpo di massa m e densità ρ è quindi dato dall'equazione seguente

$$m_c = m \frac{\left(1 - \frac{1,2}{\rho} \right)}{\left(1 - \frac{1,2}{8000} \right)}$$

ad esempio 1 kg di acqua potabile ($\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$) ha massa convenzionale pari a $998,949 \text{ 842 g}$ la differenza relativa tra m_c e m è superiore ad una parte per mille.



I costruttori di bilance predispongono le scale degli strumenti in modo che presentino sull'indicatore un dato il più vicino possibile al valore convenzionale di massa del corpo posto sul ricettore di carico.

Le pesate avvengono raramente in aria di densità $1,2 \text{ kg/m}^3$, per cui il confronto tra masse di diversa densità, noto il valore convenzionale del campione, comporta la determinazione del valore convenzionale di massa dell'incognita con:

- un **errore** che dovrà essere stimato assieme alla sua incertezza,
- se si trascura la correzione si dovrà comunque stimarne l'effetto **sull'incertezza**.



- La variazione dell'accelerazione di gravità



La variazione di g

- ✓ Trasduttori di forza, dinamometri e celle di carico sono dispositivi che forniscono la misura della massa di un corpo utilizzando la forza di gravità che agisce su di esso e diretta verso il centro della terra
- ✓ In verso opposto agisce la spinta dell'aria (di Archimede)
- ✓ Entrambe queste forze (gravità e spinta dell'aria) dipendono dal valore dell'accelerazione di gravità g



La variazione di g

- ✓ “ g ” è una grandezza geofisica variabile da luogo a luogo
- ✓ la sua variazione complessiva (dovuta alla forma del globo, piatta ai poli e più gonfia all'equatore, ed allo spostamento dell'asse terrestre) su tutta la superficie terrestre è contenuta in un valore di 0,52% (in termini assoluti $5.172 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (in Italia circa 0,12%).
- ✓ La formula di variazione di g in funzione della latitudine ϕ è la seguente:

$$g_{\phi} = 9.780327 \cdot [1 + 5302,4 \cdot 10^{-6} \sin^2(\phi) - 58 \cdot 10^{-6} \sin^2(2\phi)]$$



- ✓ Quindi lontano dai poli ($\phi=0$) e dall'equatore ($\phi=90^\circ$) si può calcolare la funzione gradiente di g (espressa in gradi^{-1}):

$$\frac{\Delta g / g}{\Delta \phi} = 8.9 \cdot 10^{-5}$$

- ✓ Il gradiente è positivo spostandoci dall'equatore verso i poli
- ✓ Il gradiente diminuisce verso gli estremi della latitudine



- ✓ l'equazione precedente fornisce i valori di g per una superficie regolare e con densità costante della terra (anomalia gravimetrica di *Bouguer*).
- ✓ ciò in realtà non avviene e si può scrivere una funzione gradiente di g variabile con l'altezza (espressa in m^{-1}):

$$\frac{\Delta g / g}{\Delta h} = -(0.25 // 0.30) \cdot 10^{-6}$$

- ✓ il gradiente è negativo al crescere dell'altezza
- ✓ per ogni m di altezza c'è un gradiente di 0,25//0,30 ppm



In definitiva g è uguale a :
$$g = g_{\phi} + g_h + g_B$$

- g_{ϕ} è la g alla latitudine ϕ e all'altezza del mare
- g_h è l'effetto su g dovuto all'altitudine
- g_B è l'effetto dovuto alle anomalie gravimetriche (sono tabellate)

g quindi varia da luogo a luogo e deve, a tutti gli effetti, essere considerata come una grandezza di influenza, da considerare tutte le volte che la variazione di g è dell'ordine di grandezza della precisione del sistema di pesatura

Esistono anche delle mappe di variazione di g in funzione della conformazione orografica del territorio (la presenza di massicci montuosi). L'effetto è comunque limitato.



DPR 157 del 29.12.92 attuazione della direttiva 90/384/CEE sull'armonizzazione delle legislazioni degli stati membri in materia di strumenti per pesare a funzionamento non automatico – **all.II p.to 5:**

“...la dichiarazione CE di conformità al tipo, la verifica CE e la verifica CE all'unità possono essere effettuate nello stabilimento del fabbricante o in qualsiasi altro luogo se il trasporto nel luogo di utilizzazione non richiede lo smontaggio dello strumento, se la messa in funzionamento nel luogo di utilizzazione non richiede l'assemblaggio dello strumento o altre operazioni tecniche di installazione che potrebbero influire sulle prestazioni dello strumento e se il valore dell'accelerazione di gravità nel luogo della messa in funzionamento è preso in considerazione e se le prestazioni dello strumento non sono sensibili alle accelerazioni di gravità. In tutti gli altri casi esse devono essere effettuate nel luogo di utilizzazione dello strumento...”



- 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**).

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



- La massa volumetrica 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 campioni di massa**

classi di accuratezza dei 9 campioni di massa tra 100 g e 50 kg

Classe di accuratezza del campione	Massimo errore relativo permesso $\delta m/m$	Variazioni di densità del materiale consentite kg m^{-3}
E ₁	0,5 10 ⁻⁶	7934 ≤ ρ ≤ 8067
E ₂	1,5 10 ⁻⁶	7810 ≤ ρ ≤ 8210
F ₁	5 10 ⁻⁶	7390 ≤ ρ ≤ 8730
F ₂	15 10 ⁻⁶	6400 ≤ ρ ≤ 10700
M ₁	50 10 ⁻⁶	ρ ≥ 4400
M ₂	150 10 ⁻⁶	ρ ≥ 2300
M ₃	500 10 ⁻⁶	

**• 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 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.

**Tabella classi di precisione OIML R111**

Nominal value	Maximun permissible errors for weights ($\pm 8m$ in mg)								
	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂	Class M ₁	Class M ₂	Class M ₂	Class M 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	1	30	100	300	1 000		3 000	10 000	
10 kg	5	16	50	160	500		1 600	5 000	
5 kg	2.5	8	25	80	250		800	2 500	
2 kg	1	3	10	30	100		300	1 000	
1 kg	0.5	1.6	5	16	50		160	500	
500 g	0.25	0.8	2.5	8	25		80	250	
200 g	0.1	0.3	1	3	10		30	100	
100 g	0.05	0.16	0.5	1.6	5		16	50	
50 g	0.03	0.1	0.3	1	3		10	30	
20 g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5		8	25	
10 g	0.02	0.06	0.2	0.6	2		6	20	
5 g	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6		5	16	
2 g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2		4	12	
1 g	0.01	0.03	0.1	0.3	1		3	10	
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8		2.5		
200 mg	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6		2		
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	0.01	0.03	0.1	0.3				
10 mg	0.003	0.008	0.025	0.08	0.25				
5 mg	0.003	0.006	0.02	0.06	0.2				
2 mg	0.003	0.006	0.02	0.06	0.2				
1 mg	0.003	0.006	0.02	0.06	0.2				



- **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. **Lamelle**
 - triangolo 1,10,100,1000 mg
 - quadrilatero 2, 20, 200 mg
 - pentagono 5, 50, 500 mg
2. **Fili**
 - 1 segmento 1,10,100,1000 mg
 - 2 segmenti 2, 20, 200 mg
 - 3 segmenti 5, 50, 500 mg

**OIML R47 - Masse Campioni Speciali**

Valore nominale della massa	Massimo errore ammissibile per le masse standard			
	3.3 / 10000	1.7 / 10000	1 / 10000	0.5 / 10000
	Densità min. 1,231 kg/m ³	Densità min. 2,087 kg/m ³	Densità min. 3,000 kg/m ³	Densità min. 4,364 kg/m ³
50 kg	17 g	8.5 g	5 g	2.5 g
100 kg	33 g	17 g	10 g	5 g
200 kg	66 g	33 g	20 g	10 g
500 kg	170 g	85 g	50 g	25 g
1000 kg	330 g	170 g	100 g	50 g
2000 kg	660 g	330 g	200 g	100 g
5000 kg	1700 g	850 g	500 g	250 g
	Massimo numero di divisioni dello strumento da tarare in Classe III			
	1000	3000	5000	10000

**Masse Campioni Speciali**

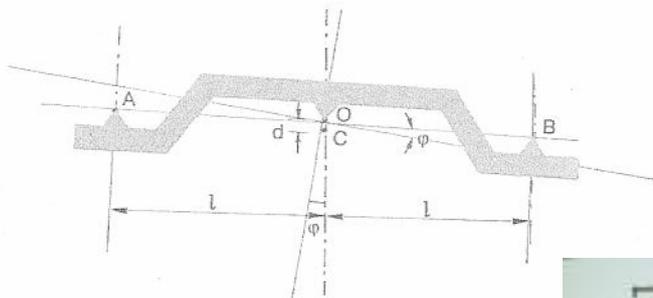
Massa nominale	Massimo numero di divisioni dello strumento da tarare in Classe III	
	<4000 Densità della massa 3500 kg / m ³	<10000 Densità della massa 5150 kg / m ³
	Errore massimo tollerato	Errore massimo tollerato
50 kg	4 g	1,5 g
100 kg	8 g	3 g
200 kg	16 g	6 g
500 kg	40 g	15 g
1000 kg	80 g	30 g
2000 kg	160 g	60 g
5000 kg	400 g	150 g



- Tipi di Bilance



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 cosicché $\cos \phi = 1$ 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

**Bilancia a Bracci Uguali****I principali aspetti da tenere sotto controllo:**

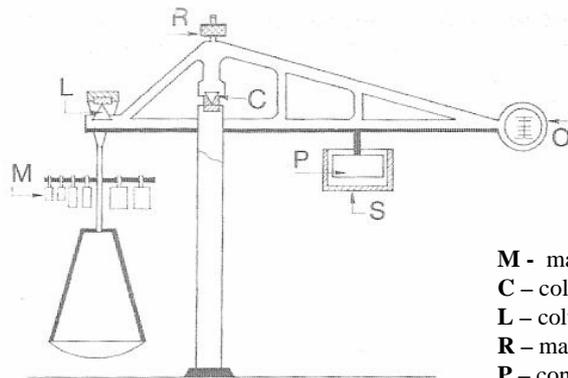
- se il giogo non è sufficientemente rigido si avrà una flessione in funzione del carico applicato con conseguente variazione della sensibilità
- i coltelli non hanno spigoli perfettamente "vivi" ma con raggio di curvatura finito e questo ha conseguenze sulla sensibilità e sulla ripetibilità di posizionamento
- il giogo non è perfettamente simmetrico ed i coltelli laterali non sono perfettamente equidistanti da quello centrale
- i coltelli laterali non sono perfettamente paralleli a quello centrale
- i piattelli sono collegati ai piani di appoggio attraverso snodi non ideali



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



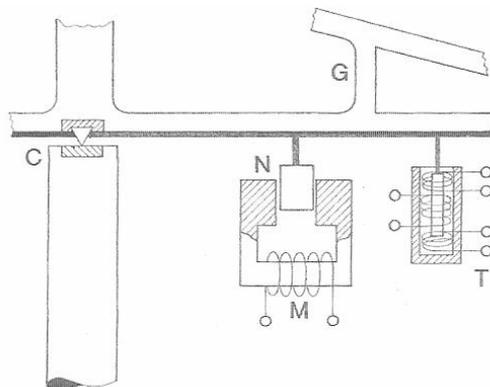
La Bilancia Analitica: principali caratteristiche

- è una bilancia a giogo, con bracci uguali o disuguali ed ha due soli 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



Bilance Analitiche: Sistema di Compensazione Elettromagnetico

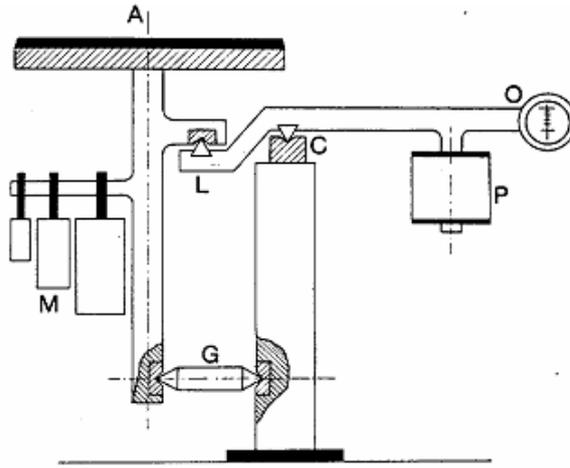
Lo spostamento del giogo determina un segnale ad un amplificatore che a sua volta fornisce corrente ad una bobina solidale con il giogo e che di conseguenza attrae un nucleo e viene riportato nella posizione di equilibrio (compensazione). La corrente della bobina è quindi una misura dell'inclinazione che avrebbe avuto il giogo se fosse stato libero di inclinarsi



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

Bilancia Tecnica Meccanica

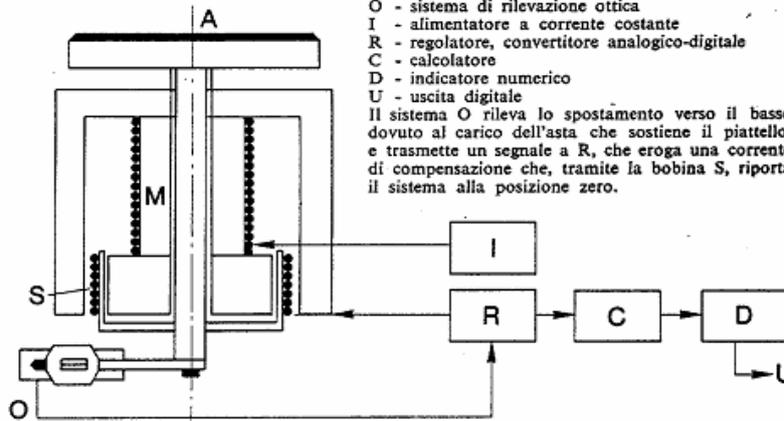
- C - coltello centrale
- L - coltello laterale
- G - guida a doppio coltello
- P - contrappeso
- M - masse interne
- A - piattello
- O - dispositivo per il rilevamento ottico.



Bilancia Tecnica Elettronica

- A - piattello
- M - magnete
- S - bobina
- O - sistema di rilevazione ottica
- I - alimentatore a corrente costante
- R - regolatore, convertitore analogico-digitale
- C - calcolatore
- D - indicatore numerico
- U - uscita digitale

Il sistema O rileva lo spostamento verso il basso dovuto al carico dell'asta che sostiene il piattello, e trasmette un segnale a R, che eroga una corrente di compensazione che, tramite la bobina S, riporta il sistema alla posizione zero.



Università degli Studi di Cassino Corso di Fondamenti di Metrologia Meccanica

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

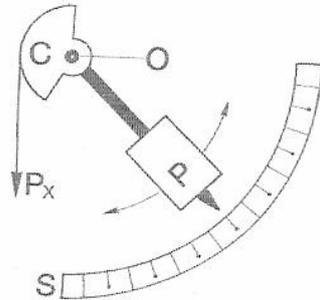
Università degli Studi di Cassino Corso di Fondamenti di Metrologia Meccanica

La Bascula

Il rapporto tra il peso P_x e quello P_R che lo equilibra dipende dai rapporti delle distanze tra i coltelli (si può arrivare anche ad un rapporto 1:5000)



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



- Pese a Ponte e Celle di Carico



Caratteristiche metrologico-costruttive

Le celle di carico sono trasduttori utilizzati per la misurazione di massa attraverso la determinazione di forza e deformazione. In funzione del tipo di sollecitazione a cui esse sono soggette esistono celle di carico del tipo:

- a compressione
- a trazione
- a trazione/compressione
- a flessione.

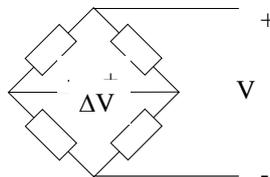
Le celle di carico sono concepite principalmente per essere utilizzate nelle bilance e nella pesatura di tramogge e serbatoi.

Possono essere utilizzate anche per misure di coppia e forza.



Principio di Funzionamento

La forza applicata alla superficie di carico provoca una deformazione del corpo che misurata da un **ponte di Wheatstone** composto da quattro estensimetri genera alla sua uscita un segnale analogico in tensione che dovrà essere amplificato e convertito in segnale standard di misura, ad esempio 4/20 mA.



$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

L'estensimetro elettrico a resistenza non è altro che un filo conduttore.

La deformazione del filo determinerà una conseguente variazione di resistenza, quindi si potrà scrivere:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$



Principio di Funzionamento

Una maggiore precisione può essere ottenuta con le celle a 6 conduttori schermati. Il segnale d'uscita della cella è indipendente dal punto sul quale agisce il carico ed alcuni modelli hanno incorporato una protezione contro il sottocarico e il sovraccarico.

I sei fili di ogni cella devono essere collegati insieme in parallelo, questo significa che la **portata massima** del sistema sarà data dalla somma delle portate di ogni singola cella (tre celle da una tonnellata ciascuna fanno un sistema di pesatura di tre tonnellate).

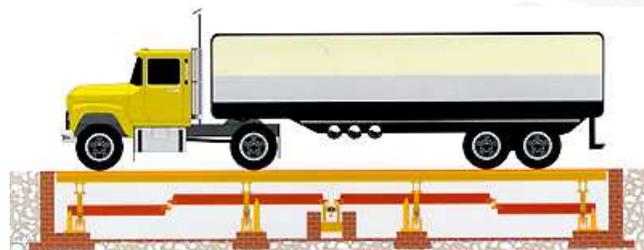
Un altro parametro importante di una cella di carico oltre alla portata massima è la **sensibilità in mV/V**, ad esempio avendo una cella da una 1 t con una sensibilità di 2mV/V e alimentandola con una tensione di 10 volt, sottoponendola al peso di una tonnellata essa genererà una tensione massima di 20 mV



Le Pese a Ponte

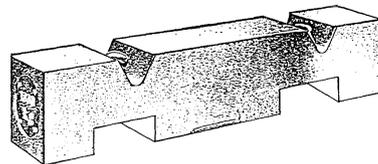
Non è consigliabile utilizzare per la verifica delle moderne pese a ponte procedure che prevedano l'uso di campioni di massa fino ad una concorrenza massima del 10-20% della capacità della pesa. D'altro canto si arriva frequentemente a capacità dell'ordine di 50-60 t.

Quale regola generale la verifica dovrebbe essere condotta fino ad un carico di poco superiore di quello di normale utilizzo, tenendo anche in considerazione le leggi del codice della strada (in molte nazioni non possono essere trasportate su strada più di 40 t di carico).





In sede di prova di strumenti con $Max > 1$ t, al posto dei pesi o delle masse campione può essere utilizzato un qualsiasi altro carico non variabile a condizione che vengano utilizzati pesi o masse campione corrispondenti almeno al maggiore tra 1 t oppure 50% di Max.



In luogo del 50% di Max, la porzione dei pesi o delle masse campione può essere ridotta a:

- 35% di Max se l'errore di fedeltà non supera 0,3 e;
- 20% di Max se l'errore di fedeltà non supera 0,2 e.

L'errore di fedeltà (Ripetibilità)

deve essere determinato con un carico di circa il 50% di Max, ponendolo a tre pesate sul ricevitore del carico.



Pese a Ponte esempio di caratteristiche costruttive

Intelaiatura del ponte	Tipo a travi multiple fortemente imbullonate; le longarine e le traversine sono calcolate in modo che possano sopportare eventuali sovraccarichi del 25% superiori a quello della portata massima dello strumento.
Supporti	In carpenteria, dimensionati con grandi sezioni per evitare deformazioni e per sopportare eventuali sovraccarichi sulla piattaforma.
Leve portanti	Del tipo a tubo di torsione che permettono di ottenere il minimo ingombro in altezza della struttura.
Coltelli e cuscinetti	In acciaio speciale, temprati in forno a bagno di sale e rettificati. I coltelli sono del tipo intercambiabili e registrabili, pertanto la correzione dei rapporti avviene con viti di registro.
Oscillazione universale del ponte	Ottenuta mediante speciali supporti, ognuno dei quali è costituito da due blocchi di carpenteria dentro i quali sono alloggiati, su tasselli semi-sferici temprati e rettificati, due sfere di grande diametro. Con tale sistema l'oscillazione ha carattere universale di 360°.
Cella di carico	Del tipo a trazione con protezione IP-65, collegata alla leva di trasmissione, la cella è collegata attraverso un cavo schermato al terminale; la lunghezza può arrivare fino a mt. 50; la cella di carico è protetta contro sovraccarichi fino al 150% del carico massimo.



Le Pese a Ponte - esempio di procedura per la verifica

Nel seguito si riporta una tipica procedura per una pesa standard con capacità di 40 t e piattaforma relativamente lunga (16 m), mediante utilizzo anche di zavorre (allo scopo si utilizzano anche camion e rimorchio).

1. Ispezione visiva della pesa a ponte e della funzionalità, verifica e agg. dello zero, sensibilità e ripetibilità senza carico;
2. Prova di carico a 10 t per ciascuno degli angoli della piattaforma
3. Verifica dello zero.
4. Prova con carico crescente da 0 a 20 t;
5. Stessa prova per carico decrescente.
6. La zavorra a disposizione viene caricata sulla piattaforma ed aggiustata fino ad un'indicazione esatta di 20 t.
7. Prova con carico crescente da 20 a 40 t
8. Stesso test con carico in discesa;
9. Scarico della piattaforma
10. Verifica dello zero

