



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Biomeccanica

Docente: Prof. Paolo CAPPA

Autore: Juri Taborri

Taratura di una cella di carico

Esercitazione

Sommario

1. Introduzione.....	2
2. Catena di misura	2
2.1 Campioni di massa.....	4
2.2 Cella di carico da tarare	4
2.3 Cella di carico di riferimento.....	5
2.4 Centralina estensimetrica.....	6
2.5 Strumento terminale	7
3. Taratura.....	7
3.1 Taratura per confronto.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
3.2 Taratura mediante masse campione	7
4. Esercizi.....	8

1. Introduzione

Obiettivo dell'esercitazione è la taratura statica di una cella di carico a flessione con entrambi i seguenti metodi:

- per confronto:** si confronta l'output del trasduttore che deve essere tarato con l'output del trasduttore preso come riferimento quando i due trasduttori sono sottoposti al medesimo input;
- con ingressi noti:** si confronta l'output del trasduttore che deve essere tarato con l'input che viene fornito mediante masse campione.

2. Catena di misura

Nella figura seguente (Figura 1) è riportato il *set-up* sperimentale impiegato per le due procedure di taratura.

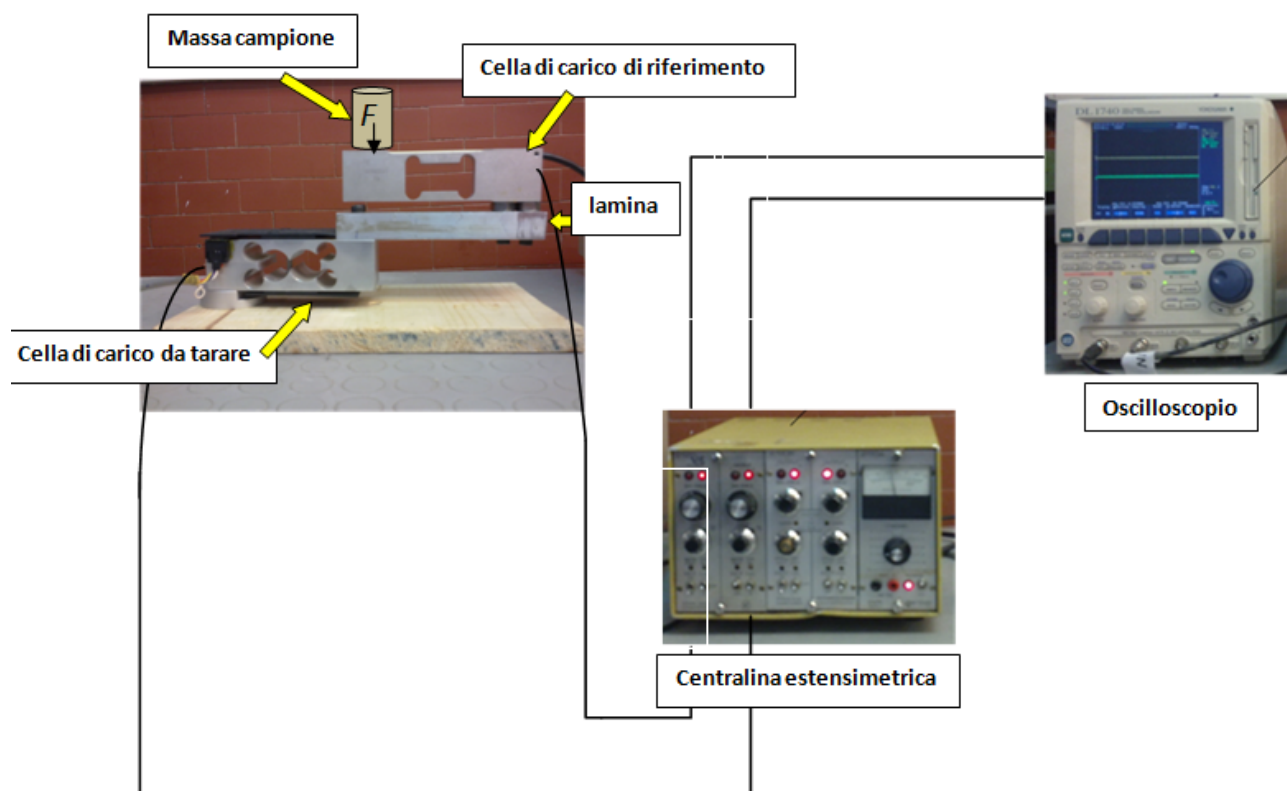


Figura 1 - Set-up sperimentale per la taratura.

La strumentazione impiegata è la seguente:

- Massa campione: fornisce l'ingresso costante F . Nella taratura con ingressi noti l'ingresso F si considera noto; nella taratura per confronto invece, l'ingresso è incognito.
- Cella di carico da tarare; è equipaggiata con un ponte estensimetrico intero.

- Cella di carico di riferimento: è impiegata per la misura dell'ingresso F incognito nella taratura per confronto; è equipaggiata con un ponte estensimetrico intero.
- Elemento di connessione: nella taratura per confronto è importante che entrambi i trasduttori siano sottoposti allo stesso ingresso, ovvero alla stessa forza F . A tale scopo, le due celle di carico sono state montate in serie per mezzo di un elemento meccanico di rigidità adeguatamente maggiore rispetto a quelle degli elementi elastici delle celle di carico.
- centralina estensimetrica a 4 canali: ciascuna cella di carico è collegata ad un canale della centralina estensimetrica mediante due fili per l'alimentazione del ponte e due fili per l'amplificazione della tensione di squilibrio del ponte.
- Oscilloscopio a 4 canali: lo strumento terminale è collegato alla centralina estensimetrica per misurare le tensioni amplificate.

Lo schema elettrico per la misura della forza in ingresso ad una cella di carico, ad esempio quella di riferimento, è rappresentato in Figura 2.

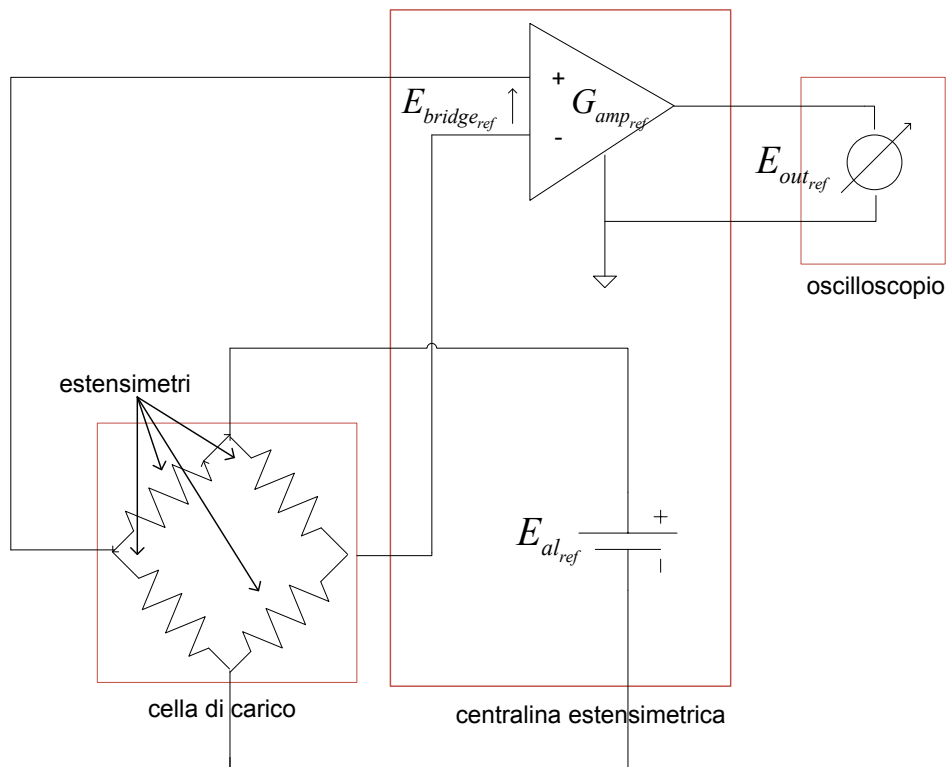


Figura 2 – Schema elettrico della catena di misura

Un identico schema si ha per la cella di carico da tarare.

2.1 Campioni di massa

I campioni di massa vengono tarati da un centro SIT che rilascia il rispettivo certificato di taratura. Anche i campioni massa, infatti, come accade per gli strumenti, devono essere tracciabili rispetto al Campione Internazionale/Nazionale. La riferibilità al kilogrammo prototipo internazionale dei campioni di riferimento del Centro di Taratura è garantita dalla periodica taratura dei campioni medesimi presso Istituti che garantiscano la riferibilità ai campioni primari nazionali.

I campioni di massa sono catalogati in classi di precisione; per ogni classe di precisione sono definiti i limiti di tolleranza secondo lo standard R111-1 dell'OIML (*International Organization for Legal Metrology*), come illustrato in Tabella 1. La tolleranza è definita come il massimo errore ammissibile rispetto alla massa nominale.

Tabella 1 - Classi di precisione secondo lo standard R111-1 dell'OIML.

VALORE NOMINALE		TOLLERANZA CLASSE E1 (mg)	TOLLERANZA CLASSE E2 (mg)	TOLLERANZA CLASSE F1 (mg)	TOLLERANZA CLASSE F2 (mg)	TOLLERANZA CLASSE M1 (mg)
1	mg	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20
2	mg	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20
5	mg	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20
10	mg	0.002	0.008	0.025	0.08	0.25
20	mg	0.003	0.010	0.03	0.10	0.3
50	mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4
100	mg	0.005	0.015	0.05	0.15	0.5
200	mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6
500	mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8
1	g	0.010	0.030	0.10	0.3	1.0
2	g	0.012	0.040	0.12	0.4	1.2
5	g	0.015	0.050	0.15	0.5	1.5
10	g	0.020	0.060	0.20	0.6	2.0
20	g	0.025	0.080	0.25	0.8	2.5
50	g	0.030	0.10	0.30	1.0	3.0
100	g	0.05	0.15	0.5	1.5	5
200	g	0.10	0.30	1.0	3.0	10
500	g	0.25	0.75	2.5	7.5	25
1	Kg	0.50	1.5	5	15	50
2	Kg	1.0	3.0	10	30	100
5	Kg	2.5	7.5	25	75	250
10	Kg	5	15	50	150	500
20	Kg	10	30	100	300	1000
50	Kg	25	75	250	750	2500

2.2 Cella di carico da tarare

Il trasduttore da tarare è una cella di carico a flessione, modello QB 700 della DS Europe (Figura 3); il sensore è strumentato con quattro estensimetri incollati sull'elemento elastico come illustrato in figura. Si osservi il particolare disegno dell'elemento elastico capace di indurre i campi di deformazione nelle zone in cui sono applicati gli estensimetri.

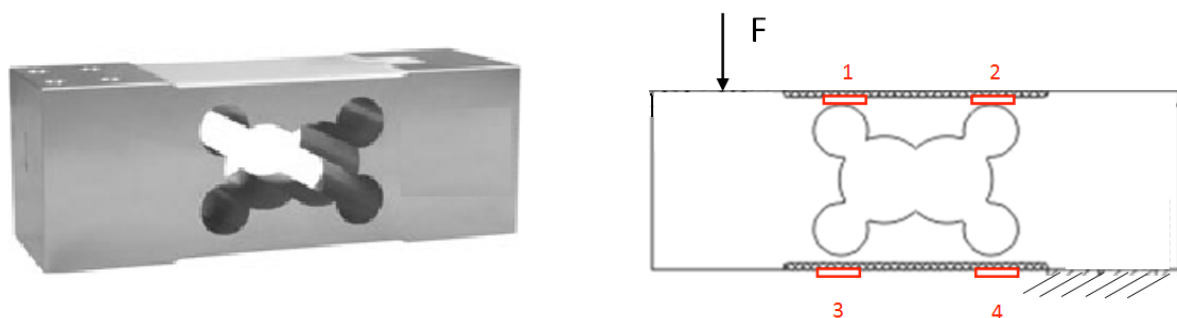


Figura3 - Modello QB 700, DS Europe.

2.3 Cella di carico di riferimento

Il trasduttore di riferimento è una cella di carico a flessione, modello 1042 della Vishay TedeA-Huntleigh (Figura 4). Il sensore è strumentato con quattro estensimetri incollati sul trasduttore come illustrato in figura.

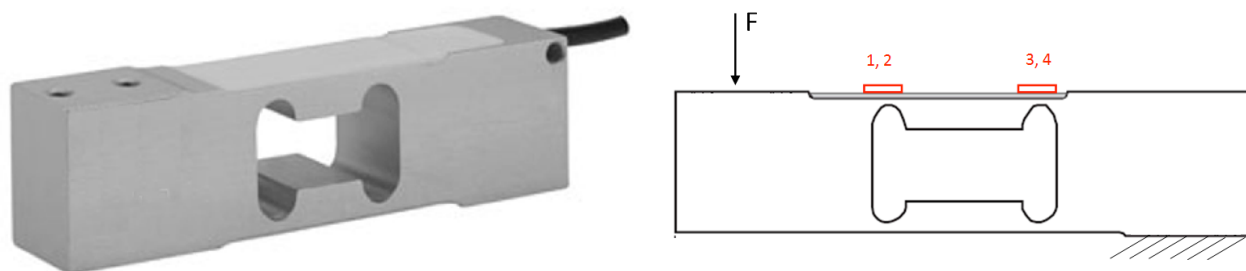


Figura 4 - Modello 1042, Vishay TedeA-Huntleigh.

A differenza dello strumento da tarare, per lo strumento di riferimento sono note le caratteristiche metrologiche, che vengono riportate nel *data-sheet* in Tabella 2. In particolare è nota la sensibilità

nominale¹ $R.O_{ref} = 2 \frac{mV}{V}$ (*Rated Output*) e il fondoscala $R.C_{ref} = 5kg_f$ (*Rated Capacity*)

¹ Per sensibilità nominale di una cella di carico si intende l'uscita del trasduttore normalizzata rispetto alla tensione di alimentazione quando in ingresso è applicato un valore della forza pari a quella del fondoscala.

Tabella 2 - *Data-sheet* del modello 1042, Vishay TedeA-Huntleigh.

SPECIFICATIONS					
PARAMETER	VALUE				UNITS
Rated capacity-R.C. (E_{max})	1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 250***				kg
NTEP/OIML Accuracy class	NTEP	Non-Approved	C3*	C6**	
Maximum no. of intervals (n)	5000 single	1000	3000	6000*****	
$Y = E_{max}/V_{min}$	10000	1400	6000	10000	Maximum available 20000
Rated output-R.O.	2.0				mV/V
Rated output tolerance	0.2				±mV/V
Zero balance	0.2				±mV/V
Zero Return, 30 min.	0.0330	0.0300	0.0170	0.0083	±% of applied load
Total Error (per OIML R60)	0.0200	0.0500	0.0200	0.0100	±% of rated output
Temperature effect on zero	0.0023	0.0100	0.0023	0.0014	±% of rated output/°C
Temperature effect on output	0.001	0.0030	0.0010	0.00058	±% of applied load/°C
Eccentric loading error	0.0049	0.0074	0.0049	0.0024	±% of rated load/cm
Temperature range, compensated	-10 to +40				°C
Temperature range, safe	-20 to +70				°C
Maximum safe central overload	150				% of R.C.
Ultimate central overload	300				% of R.C.
Excitation, recommended	10				Vdc or Vac rms
Excitation, maximum	15				Vdc or Vac rms
Input impedance	415±20				Ohms
Output impedance	350±3				Ohms
Insulation resistance	>2000				Mega-Ohms
Cable length	1****				m
Cable type	6wire, PVC, single floating screen				Standard
Construction	Plated (anodize) aluminum				
Environmental protection	IP66				
Platform size (max)	400 x 400				mm
Recommended torque	Up to 30kg: 7.0 35kg & above: 10.0				N*m

* 50% utilization

2.4 Centralina estensimetrica

La centralina estensimetrica (Instrument Division 2120A), illustrata in Figura 5, fornisce la tensione di alimentazione E_i al ponte di Wheatstone ed amplifica la tensione di sbilanciamento del ponte E_{bridge} .

Per un corretto utilizzo della centralina, è necessario eseguire le seguenti operazioni, per ciascun canale:

- Bilanciamento² dell'amplificatore;
- Regolazione della tensione di alimentazione del ponte E_i (detto valore dipende dalle capacità di dissipazione termica dell'installazione estensimetrica);
- Bilanciamento³ del ponte di Wheatstone (il bilanciamento è necessario per la non linearità della curva di graduazione del ponte stesso);
- Regolazione del guadagno G dell'amplificatore.

² Il bilanciamento dell'amplificatore è indicato dallo spegnimento contemporaneo dei due led.

³ Anche il bilanciamento del ponte causa lo spegnimento dei due led.

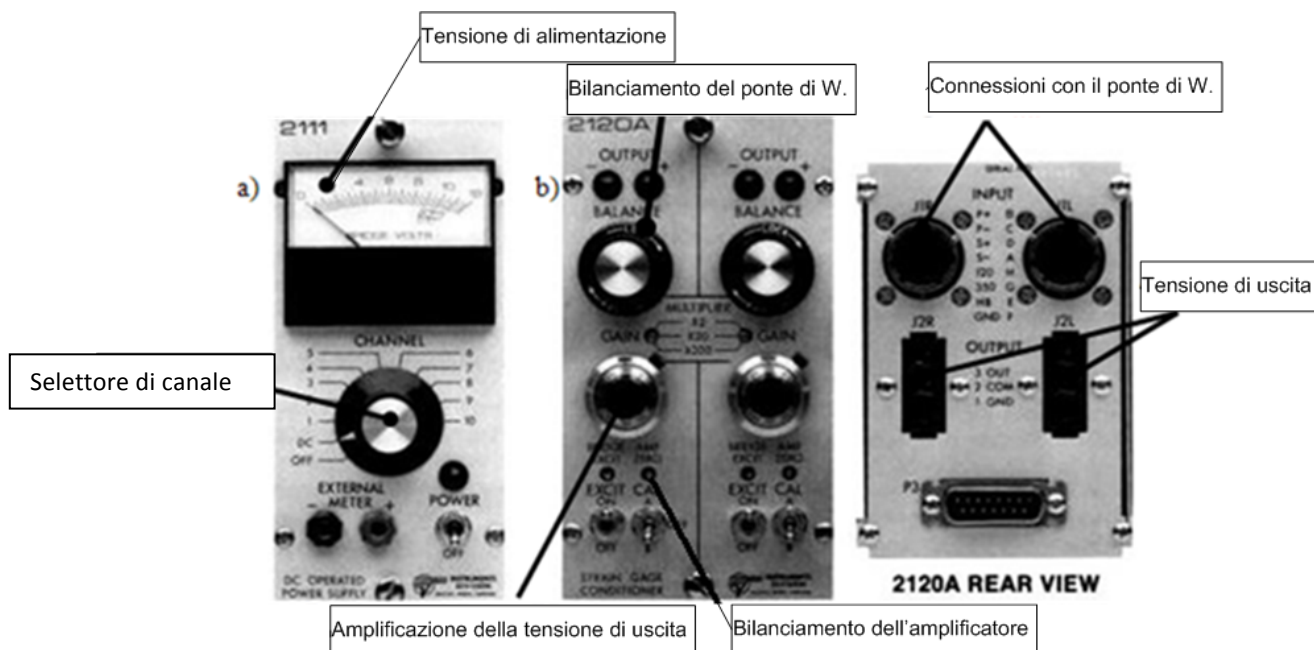


Figura 5 - Centralina estensimetrica.

2.5 Strumento terminale

Lo strumento terminale, tipicamente un oscilloscopio o un voltmetro, misura la tensione in uscita dall'amplificatore E_{out} .

3. Taratura

3.1 Taratura mediante masse campione

Nella taratura con masse campione, l'ingresso F è evidentemente noto.

Nella Tabella 4 sono riportati i punti di calibrazione ottenuti imponendo 5 ingressi noti crescenti e 5 decrescenti ed impostando il guadagno $G = 100$ e la tensione di alimentazione $E_i = 5V$

Tabella 1 - Punti di calibrazione per taratura con masse note

Forza in ingresso nota	trasduttore da tarare
input	output
F (kg _f)	E_i (mV)
0,0	4,00
1,0	73,12
1,5	106,54
2,0	146,49
3,0	219,10
4,0	292,72
5,0	365,84

4. Esercizi

1. Calcolare la curva di taratura della cella di carico

cod_{xy}	13000 mV*N
dev_x	1770 N ²
a	2.63 mV
b	7.33 mv/N

2. Verificare la linearità con $c=95\%$

S_e	2.79
S_b	0.066
t_m	111.06
t_t	2.57

3. Si calcolino le incertezze assolute relative a ogni elemento della catena di misura, noto che le masse campioni sono di classe M1, l'incertezza sulla tensione di alimentazione è pari allo 0,1 % del valore della tensione e l'incertezza estesa sul guadagno è di 0,2 calcolata con fattore di copertura $k=2$. Si consideri trascurabile l'incertezza dell'oscilloscopio.

$u(500g)$	0.00014 N
$u(1000g)$	0.00028 N
$u(2000g)$	0.00059 N
$u(5000g)$	0.0014 N
$u(1500g)$	0.00031 N
$u(3000g)$	0.00065 N
$u(4000g)$	0.00083 N
$u(E_i)$	5 mV
$u(G)$	0.1

4. Calcolare l'incertezza combinata standard associata al valore di V e l'incertezza estesa con $k=2$

F	$u(V)$	$U(V)$
1	0.1 mV	0.2 mV

<i>1.5</i>	<i>0.15 mV</i>	<i>0.3 mV</i>
<i>2</i>	<i>0.26 mV</i>	<i>0.52 mV</i>
<i>3</i>	<i>0.38 mV</i>	<i>0.76 mV</i>
<i>4</i>	<i>0.42 mV</i>	<i>0.84 mV</i>
<i>5</i>	<i>0.54 mV</i>	<i>1.08 mV</i>