

A. GERMAK, S. PALUMBO, F. MAZZOLENI, F. VITIELLO

**PROCEDURA DI CONFRONTO TRA AEP E PTB PER LA TARATURA DELLA
MACCHINA DI TARATURA DI FORZA PER CONFRONTO DA 5 MN**

R.T. 17b/2015

Ottobre 2015

Abstract

During the months of April, May and June of the 2015, a comparison between the primary force standard machines of the Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) in Turin and the calibration force machines of three accredited Laboratories for the calibration of dynamometric chains, has been carried out. The comparison carried out according the calibration guide *EURAMET cg-4, Version 2.0*, following the *Traceability Path A*, has been used to perform the calibration of the calibration force machines of the Laboratories.

Sommario

Nei mesi di aprile, maggio e giugno del 2015 è stato eseguito un confronto tra le macchine campione primario di forza di forza del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) di Braunschweig (Germania) e la macchina di taratura di forza per confronto da 5 MN del Laboratorio accreditato AEP Transducers di Cognento (MO). Il confronto, effettuato in conformità alla guida di taratura *EURAMET cg-4, Version 2.0*, in accordo al *Traceability Path A*, è servito a tarare la macchina.

Indice

1	Campioni utilizzati	Errore. Il segnalibro non è definito.	
2	Catene dinamometriche di trasferimento		4
3	Vincoli di posizionamento	Errore. Il segnalibro non è definito.	
4	Piano sperimentale di verifica adottato per il confronto		5
5	Procedura di misura		5
6	Elaborazioni e risultati		5
6.1	Laboratorio di Taratura A		6
6.2	Laboratorio di taratura B	Errore. Il segnalibro non è definito.	
6.3	Laboratorio di taratura C	Errore. Il segnalibro non è definito.	
	Bibliografia		8

Indice delle figure

Figura 1: copertura dell'intervallo di valori di forza da parte dei trasduttori di forza	Errore. Il segnalibro non è definito.	
Figura 2: Intervallo di forze coperto da ogni Laboratorio di Taratura con le rispettive tipologie di Macchine Campioni di Forza	Errore. Il segnalibro non è definito.	
Figura 3: Laboratorio di taratura A		6
Figura 4: Laboratorio di taratura B	Errore. Il segnalibro non è definito.	
Figura 5: Laboratorio di taratura C	Errore. Il segnalibro non è definito.	

Indice delle tabelle

Tabella 1: Punti di misura e dinamometri impiegati	Errore. Il segnalibro non è definito.	
Tabella 2: Macchine campioni di forza in dotazione ai Laboratori	Errore. Il segnalibro non è definito.	
Tabella 3: Parametri DMP40		4
Tabella 4: laboratorio di taratura A		6
Tabella 5: Laboratorio di taratura B	Errore. Il segnalibro non è definito.	
Tabella 6: Laboratorio di taratura C	Errore. Il segnalibro non è definito.	

Introduzione

I Laboratori accreditati per la taratura delle catene dinamometriche (trasduttori di forza e centraline estensimetriche associate) [1] hanno necessità periodica di confrontare le proprie macchine di taratura di forza (Force Calibration Machines) con le macchine campione primario di forza (National Primary Force Machines) di un Istituto Metrologico, secondo quanto prescritto dalla Guida EURAMET cg-04 [2].

Nei mesi di aprile, maggio e giugno del 2015, si è svolto un confronto, solo in compressione, tra la macchina di taratura di forza per confronto (Force Calibration Machine) da 5 MN del Laboratorio accreditato AEP Transducers di Cognento (MO), utilizzata per la taratura delle catene dinamometriche, e la macchina a moltiplicazione idraulica, campione primario di forza di forza, del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) di Braunschweig (Germania).

I dati relativi a questo confronto sono stati quindi elaborati per la taratura delle macchina stessa, in conformità al *Path A* della guida EURAMET [2].

L'intervallo di verifica coperto dal confronto parte dal 10% della portata (500 kN) al fondo scala (5 MN). La catena dinamometrica utilizzata come campione di trasferimento è stata messa a disposizione dal Laboratorio AEP.

1 Catene dinamometriche di trasferimento

Il trasduttore di forza impiegato come campione di trasferimento è di costruzione AEP transducers, modello CLS, portata, 5000 kN, s/n 611603. Il cavo utilizzato è di tipo a 6 conduttori e di lunghezza di 6 m.

Il segnale è stato acquisito mediante una centralina estensimetrica DMP40, matricola n. 063620009. Le funzioni da esso svolte sono molteplici tra cui l'alimentazione dei ponti estensimetrici dei trasduttori di forza, l'acquisizione ed il condizionamento del segnale di misura in uscita dal ponte. Le sue caratteristiche salienti ed i parametri impostati durante il confronto sono in Tabella 1.

Il DMP40 impiegato ha una funzione automatica, comunemente denominata *autocalibrazione*, che migliora l'accuratezza dello strumento mediante dei parametri di correzione interna, solitamente impostati dal costruttore. Tale funzione automatica è stata tenuta normalmente inattiva ed indotta manualmente trenta secondi prima di ogni lettura, lasciandola poi disinserita. In questo modo si è cercato di assicurare sempre le medesime condizioni di lettura e di evitare che la correzione interna potesse intervenire proprio durante la fase di acquisizione, alterandone il valore.

I campioni di trasferimento utilizzati, insieme alla strumentazione atta all'acquisizione del segnale di misura e al cavo di collegamento, costituiscono le catene dinamometriche di trasferimento impiegate.

Tabella 1: Parametri DMP40

Parametri	Valori
Tensione di alimentazione del ponte V_{al}	5 V
Frequenza portante f_{al}	225 Hz
Formato di lettura	mV/V
Sensibilità	10^{-6} mV/V
Fondo scala	2.5 mV
Filtro anti-aliasing	Bessel

2 Piano sperimentale di verifica adottato per il confronto

Il confronto è stato eseguito secondo la procedura indicata dalla guida EURAMET [2], ossia con schema A₁-B-A₂. Questo prevede una prima sessione di misura eseguita presso l'INRIM utilizzando i campioni primari di forza a pesi diretti (fase A₁), successivamente una fase di misura effettuata presso i Laboratori sulle macchine in esame (fase B) ed infine un'ultima sessione di misura eseguita nuovamente presso l'INRIM sui campioni primari, agli stessi livelli di forza, per verificare la stabilità a medio termine dei campioni di trasferimento (fase A₂).

Le macchine campione primario di forza dell'INRIM utilizzati sono:

- MCF2 con portata massima 2 kN ed incertezza estesa relativa 2×10^{-5}
- MCF30 con portata massima 30 kN ed incertezza estesa relativa 2×10^{-5} ,
- MCF1000 con portata massima 1 MN ed incertezza estesa relativa 2×10^{-5}

I valori di forza generati in ogni sessione sono stati misurati mediante le medesime catene dinamometriche di riferimento sopra elencate.

3 Procedura di misura

La procedura di misura adottata nel confronto è stata ricavata dalla guida di taratura EURAMET [2], in accordo al *Traceability Path A*.

Prima di ogni sessione, i trasduttori sono alloggiati nel laboratorio in cui si svolgono le misurazioni per almeno 8 ore, con l'alimentazione applicata, in modo da raggiungere le condizioni d'equilibrio termico.

Prima di eseguire ogni taratura, si applica per tre volte, a ciascun trasduttore di forza, un precarico pari alla corrispondente portata massima. Ogni precarico è applicato ai trasduttori di forza per tre minuti.

I livelli di forza sono misurati in diverse posizioni angolari, ruotando il trasduttore di forza sulla base d'appoggio e avendo cura di non modificarne la posizione rispetto alla direzione verticale d'applicazione della forza.

I vari livelli di forza sono applicati al trasduttore di forza secondo una sequenza crescente di valori.

Definita una posizione angolare di partenza, denominata posizione a 0°, per ogni trasduttore di forza sono eseguiti tre cicli di misura (per verificare la ripetibilità delle misure) ed un ciclo, rispettivamente, nelle posizioni a 90°, a 180°, a 270° e a 360° (al fine di verificare la riproducibilità delle misure). Ad ogni applicazione di carico, compresa l'assenza di carico, sono attesi tre minuti prima che la lettura del valore misurato venga registrata.

Per tutte le prove, si registra inoltre la temperatura ambiente sia all'inizio che alla fine di ogni taratura.

Al momento dell'elaborazione dei dati, dei tre cicli in posizione di partenza a 0°, si considerano gli ultimi due per il calcolo della ripetibilità. Al fine di minimizzare gli effetti indesiderati imputabili al trasduttore di forza, il primo ciclo infatti è effettuato esclusivamente con lo scopo di esercitare l'elemento elastico, e per questo i risultati ottenuti vengono scartati nella successiva fase di elaborazione.

4 Elaborazioni e risultati

I dati sono stati elaborati utilizzando il foglio di calcolo descritto nel Rapporto Tecnico INRIM RT 17/2010 [3].

Le incertezze delle macchine campione primario di forza dell'INRIM sono state calcolate secondo quanto riportato nel apporto Tecnico INRIM RT 28/2009 [4].

Durante tali elaborazioni si sono calcolate le differenze tra le medie dei fattori di taratura (F.d.T.) ottenuti dai valori di forza generati dalle macchine campione primario di forza dell'INRIM, nelle due fasi A₁ e A₂, ed i valori generati dalle macchine di taratura di forza dei rispettivi laboratori di taratura, nella fase B.

Avendo effettuato le misure in diverse posizioni angolari dei trasduttori di forza, l'effetto di eventuali componenti spurie rispetto alla forza verticale è stato minimizzato effettuando un'interpolazione lineare a componenti sinusoidali dei dati di misura.

E' stato così calcolato il valor medio delle differenze, d , per ogni singolo punto di misura e la rispettiva l'incertezza estesa relativa, W_d . E' stata inoltre calcolata la "Calibration Measurement Capability" (CMC) delle machine, W_{CMC} , sommando all'incertezza estesa della differenza, W_d , il valore assoluto della differenza, d , ottenuta nel confronto (secondo quanto riportato nella guida di taratura EURAMET [2], step 5).

Nel caso della macchina ad amplificazione a leva del Laboratorio B è stata determinata una curva di correzione sulla base delle differenze, d , riscontrate durante il confronto. Sono quindi state calcolate le differenze residue (dopo la correzione) e l'incertezza relativa al fit dei dati (regressione lineare con una curva di secondo grado_[AG1]) che è stata combinata all'incertezza per il calcolo dell'incertezza estesa relativa delle differenze, W_d .

Le incertezze estese, W , qui indicate sono espresse come l'incertezza tipo moltiplicata per il fattore di copertura $k=2$, che per una distribuzione normale corrisponde ad una probabilità di copertura di circa il 95 %, avendo valutato che i gradi di libertà totali sono >30 [5, 6, 7]. I valori così calcolati sono stati quindi riportati nelle rispettive tabelle e rappresentati graficamente nelle figure susseguenti.

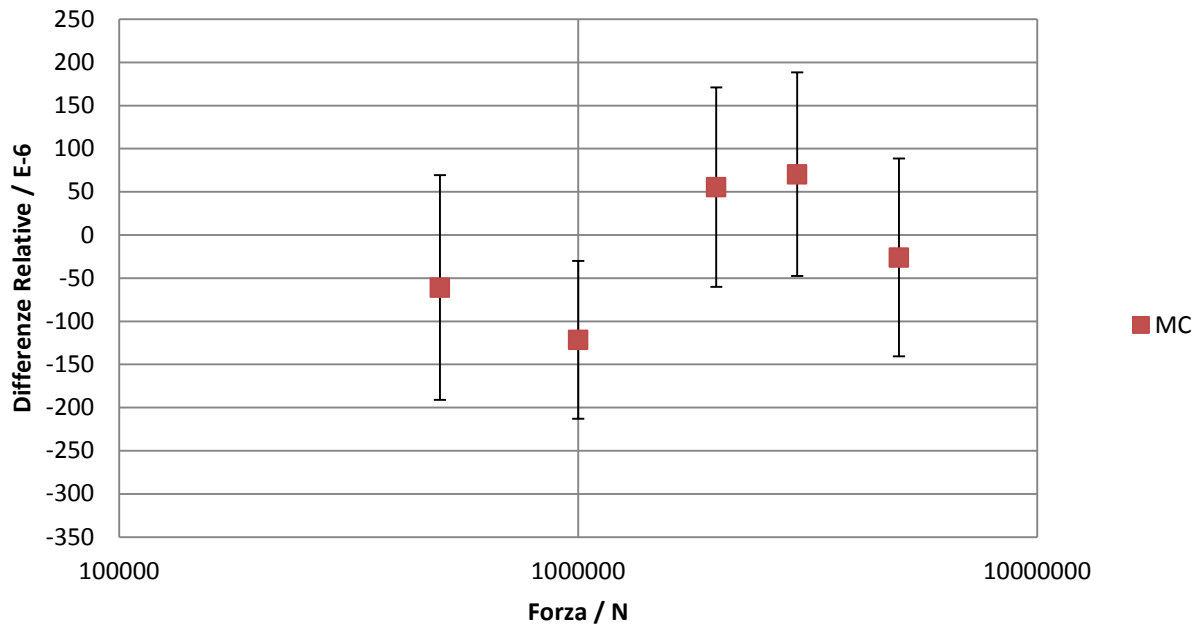
4.1 Laboratorio di Taratura A

Tabella 1: Laboratorio di taratura A

Tipologia macchina	Valore di forza / N	d (x E-6)	W_d (x E-6)	W_{CMC} (x E-6)
PD	50	-70	36	106
	100	-60	30	90
	100	-27	39	66
	400	-58	23	81
	1000	-1	21	22
	2000	-6	20	26
	5000	66	24	90
	10000	62	25	87
	20000	29	26	56
	30000	-1	34	35
	100000	-104	27	131
	200000	-14	33	47
	500000	73	30	104
	1000000	35	36	71
MC	500000	-61	130	191
	1000000	-121	91	213
	2000000	56	116	171
	3000000	70	118	189
	5000000	-26	115	140

Figura 1: Laboratorio di taratura A

CMC Centro di taratura A



Bibliografia

- [1] UNI EN ISO 376, "Metallic materials – Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines", 2011.
- [2] EURAMET, Uncertainty of Force Measurements, Version 2.0, 03/2011.
- [3] Quagliotti D Germak A., Mazzoleni F., Vitiello F., "Procedure di confronto e di analisi dei risultati applicate nei confronti di macchine campioni di forza". Rapporto Tecnico 17, Aprile 2010.
- [4] Germak A., Mazzoleni F, Quagliotti D, Vitiello F., "Incertezze dei campioni di forza INRIM", INRIM, Rapporto Tecnico 28, Ottobre 2009.
- [5] ISO-GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1999.
- [6] UNI CEI ENV 13005, "Guida all'espressione dell'incertezza di misura", 31/07/2000.
- [7] EA-4/02, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", December 1999.