



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

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

R.T. 18/2015

Ottobre 2015

RAPPORTO TECNICO I.N.RI.M.

Abstract

During the period from March to June 2015, a comparison between the primary force standard machine of the Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) in Turin and Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig (Germany) and the 5 MN calibration force machine for comparison of the accredited calibration Laboratory of AEP Transducers di Cognento (MO), 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.

Sommario

Nel periodo da marzo a giugno 2015 è stato eseguito un confronto tra le macchine campione primario di forza di forza dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) di Torino e del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) di Braunschweig (Germania) e la macchina di taratura di forza per confronto da 5 MN del Laboratorio di taratura accreditato della 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	Introduzione	4
2	Catene dinamometriche di trasferimento	4
3	Campioni utilizzati	5
4	Piano sperimentale di verifica adottato per il confronto	5
5	Procedura di misura	6
6	Elaborazioni e risultati	6
	Bibliografia	7

Indice delle figure

	<i>Figura 1: Differenze misurate durante il confronto tra AEP e INRIM o PTB</i>	4
--	---	---

Indice delle tabelle

	<i>Tabella 1: Punti di misura e trasduttori di forza impiegati</i>	4
--	--	---

1 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 periodo tra marzo e giugno 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 le macchine campione primario di forza dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) di Torino e 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). Le catene dinamometriche utilizzate come campione di trasferimento sono state messe a disposizione dall'INRiM e dal Laboratorio AEP.

2 Catene dinamometriche di trasferimento

In Tab. 1 sono elencati i trasduttori di forza impiegati durante il confronto (con le relative portate) e i punti di misura effettuati. I cavi utilizzati sono di tipo a 6 conduttori e di lunghezza di 6 m.

Tabella 1: Punti di misura e trasduttori di forza impiegati

Forza / kN	REVERE	AEP
	CSPM 1 MN	CLS 5 MN
	INRiM	AEP
500	◆	
1000	◆	
2000		◆
3000		◆
5000		◆

Il segnale è stato acquisito mediante una centralina estensimetrica DMP40, matricola n. 063620009 di proprietà del Laboratorio AEP per il trasduttore da 5MN, e matricola n. 060420110 di proprietà dell'INRiM per il trasduttore da 1 MN. Le funzioni da essi 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 Tab. 2.

I DMP40 impiegati hanno 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 2: 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
Frequenza di taglio del filtro	0,1 Hz

3 Campioni utilizzati

Le macchine campione di forza utilizzate per il confronto sono di diversa natura e per semplicità d'ora in avanti ci riferiremo a loro secondo la seguente legenda:

- (PD-INRIM) macchina a pesi diretti (o peso morto) MCF1000 da 1 MN dell'INRIM;
- (MI-PTB) macchina ad amplificazione idraulica da 5 MN del PTB;

Per la taratura della macchina di forza per confronto del Laboratorio AEP si sono utilizzati come campioni di riferimento per il confronto la macchina campione di forza a pesi diretti dell'INRIM, da 500 kN a 1 MN, e la macchina campione di forza ad amplificazione idraulica del PTB da 3 MN a 5 MN.

4 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, per il confronto con INRIM, una prima sessione di misura eseguita presso l'INRIM utilizzando il campione primario di forza a pesi diretti (fase A₁), successivamente una fase di misura effettuata presso il Laboratorio AEP sulla macchina in esame (fase B) ed infine un'ultima sessione di misura eseguita nuovamente presso l'INRIM, agli stessi livelli di forza, per verificare la stabilità a medio termine dei campioni di trasferimento (fase A₂). In realtà questo schema è stato utilizzato solo per la il confronto con INRIM, quindi fino a 1 MN, mentre, per ottimizzare i tempi e le risorse, per il confronto con il PTB si è proceduto ad una prima sessione di misura eseguita presso il Laboratorio accreditato dell'AEP utilizzando la macchina in taratura (fase A₁), successivamente una fase di misura effettuata presso il PTB sulla macchina campione di forza primario (fase B) ed infine un'ultima sessione di misura eseguita nuovamente presso il Laboratorio della AEP sulla macchina in taratura, agli stessi livelli di forza, per verificare la stabilità a medio termine dei campioni di trasferimento (fase A₂).

Le macchine campione primario di forza utilizzate sono:

- MCF1000 dell'INRIM con portata massima 1 MN ed incertezza estesa relativa 2×10^{-5} ,
- MI del PTB con portata massima 5 MN ed incertezza estesa relativa 1×10^{-4} .

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

5 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, la catena dinamometrica di trasferimento è stata alloggiata 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, è stato applicato per tre volte un precarico pari alla corrispondente portata massima di ogni catena dinamometrica. Ogni precarico è stato applicato per un tempo di 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° , 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, si sono attesi tre minuti prima di registrare il valore di lettura.

Per tutte le prove è stata registrata la temperatura ambiente, sia all'inizio e sia alla fine della taratura.

Al momento dell'elaborazione dei dati, dei tre cicli in posizione di partenza a 0° , si sono considerati solo 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.

6 Elaborazioni e risultati

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

Durante tali elaborazioni si sono calcolate le differenze tra le medie dei fattori di taratura (F.d.T.) ottenuti dai valori di forza generati dalla macchina in taratura, nelle due fasi A_1 e A_2 , ed i valori generati dalla macchina campione 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 macchine, 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).

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 [4, 5, 6]. I valori così calcolati sono stati quindi riportati nella tab. 3 e in fig. 1.

Tabella 3: Differenze relative tra AEP e INRIM o PTB

Valore di forza / N	d ($\times 10^{-6}$)	W_d ($\times 10^{-6}$)	W_{CMC} ($\times 10^{-6}$)
500000	-61	130	191
1000000	-121	91	213
2000000	56	116	171
3000000	70	118	189
5000000	-26	115	140

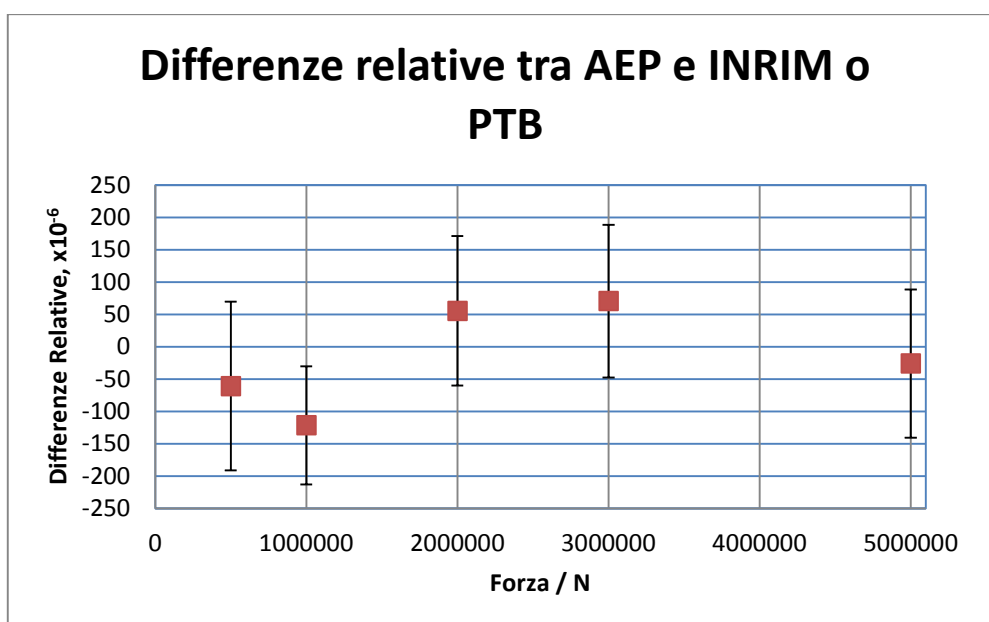


Figura 1: Differenze misurate durante il confronto tra AEP e INRIM o PTB

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] ISO-GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1999.
- [5] UNI CEI ENV 13005:2000, "Guida all'espressione dell'incertezza di misura".
- [6] EA-4/02, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", December 1999.