



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 1 di 37

Annotazioni:

COPIA CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

COPIA NON CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

0	Emissione	2007-03-06	G. La Paglia	M. Mosca
Revisione	Descrizione	Data	Redazione	Approvazione



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 2 di 37

Indice

1. Scopo e campo di applicazione	3
2. Riferimenti	3
3. Introduzione	3
4. Strutture di riferibilità	4
4.1 <i>Riferibilità mediante insieme di apparati campione</i>	5
4.2 <i>Riferibilità con Multimetro numerale e Calibratore Multiprodotto di media accuratezza</i>	7
4.3 <i>Riferibilità con Multimetro numerale e Calibratore Multifunzione di elevata accuratezza</i>	9
4.4 <i>Riferibilità con Multimetro numerale e Calibratore Multifunzione dotati di “artifact calibration”</i>	11
5. La documentazione tecnica	13
6. Procedure di taratura e conferma dei campioni del Centro	16
6.1 <i>Controllo dell'effetto del trasporto degli strumenti di riferimento</i>	16
6.2 <i>Esame dei risultati della taratura</i>	17
6.3 <i>Taratura e messa a punto degli strumenti di lavoro</i>	19
6.4 <i>Verifiche intermedie tra gli strumenti campione</i>	20
7. L'incertezza d'uso degli strumenti campione	21
7.1 <i>L'incertezza d'uso negli strumenti multifunzione</i>	23
7.2 <i>L'incertezza d'uso dei multimetri utilizzati come trasferitori di riferibilità</i>	24
8. Valutazione dei Limiti di accettazione	24
8.1 <i>La norma ISO 14253-1</i>	25
8.2 <i>Guardbanding</i>	26
8.3 <i>Limite come valutazione della compatibilità delle misure</i>	27
8.4 <i>Scelta del limite di accettazione da utilizzare</i>	28
9. Le procedure di taratura per esterno	31
9.1 <i>Scopo della procedura di taratura</i>	32
9.2 <i>Oggetto della procedura di taratura</i>	32
9.3 <i>Apparecchiature impiegate</i>	33
9.4 <i>Procedimento di taratura</i>	33
9.5 <i>Descrizione delle operazioni di misura</i>	33
9.6 <i>Elaborazione dei dati sperimentali</i>	35
9.7 <i>La valutazione dell'incertezza</i>	36

ALLEGATO 1 *Esempio di documentazione relativo a una struttura di riferibilità basata su multimetro e calibratore di elevata precisione*



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 3 di 37

1. Scopo e campo di applicazione

Lo scopo di questo documento è quello di fornire al personale dei laboratori di taratura le informazioni necessarie per individuare la struttura di riferibilità più adeguata ai propri scopi ed una guida alla stesura della documentazione tecnica necessaria per richiedere l'accreditamento del Laboratorio secondo quanto richiesto dalla norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2005, dall'European co-operation for Accreditation (EA) e dal Servizio di taratura in Italia (SIT).

Il campo di applicazione a cui si riferisce questa guida è quello specifico delle misure di tensione e corrente in continua ed alternata (regime sinusoidali) e della resistenza in c.c. . I concetti e gli approcci presentati possono risultare, inoltre, utili per affrontare le problematiche relative al più vasto campo delle misure elettriche in bassa frequenza.

2. Riferimenti

- UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2005 “Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura”.
- UNI CEI ENV 13005 “Guida all'espressione dell'incertezza di misura”.
- ISO 14253-1 “Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) – Verifica mediante misurazione dei pezzi e delle apparecchiature per misurazione – Regole decisionali per provare la conformità o non conformità rispetto alle specifiche”.
- ILAC-G8:1996 “Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification”
- EA-4/02 “Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration”.
- EA-10/15 “EA Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters”.
- Documento SIT Doc-523 “Guida per la stesura delle procedure di taratura”
- SIT/Tec-008/05 “Linea guida per la valutazione dell'incertezza di taratura di strumenti elettrici multifunzione”

3. Introduzione

La necessità di considerare le grandezze tensione continua, tensione alternata, corrente continua, corrente alternata e resistenza in c.c. insieme nasce da forte presenza di strumenti di misura multifunzione, quali in particolare multimetri numerali e calibratori multifunzione, in grado di operare in modo organico in tutte e cinque le grandezze.

Questa evoluzione nel panorama misuristico si è avuta alla fine degli anni ottanta con il massiccio utilizzo, nella costruzione degli strumenti di misura, di componenti elettronici sia di tipo analogico che digitale. Questa evoluzione ha avuto profondi effetti, non solo nell'accuratezza degli strumenti e nelle loro modalità d'uso, ma anche nella struttura e nella logica dei processi utilizzati per assicurare la riferibilità delle misure.

Per i laboratori di taratura questa evoluzione è stata rilevante a due livelli. Il primo è quello relativo alla tipologia degli strumenti che pervengono in taratura in quanto la maggior parte di essi tende ad essere costituita da strumenti che sono in grado di effettuare misure su più grandezze. Caso tipico di oggetto da tarare è il multimetro di tipo palmare in grado di operare in tutte e cinque le grandezze citate. Per poter operare sul mercato o anche come efficace strumento di disseminazione della riferibilità all'interno della propria azienda, il laboratorio deve essere quindi in grado di operare efficacemente almeno nelle cinque grandezze base.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 4 di 37

Il secondo livello su cui ha inciso l'evoluzione è quello degli strumenti campione in quanto i nuovi strumenti elettronici di precisione (multimetri numerali a 8½ cifre e calibratori multifunzione di precisione) sono in grado di operare con elevata accuratezza in vasti campi di tutte e cinque le grandezze elettriche con costi che risultano spesso abbordabili. Ciò ha provocato la scomparsa di elevato numero di tipologie di strumenti campione di tipo tradizionale incidendo profondamente sia sul panorama strumentale a disposizione dei laboratori che sulla stessa cultura della misurazione.

Il risultato di questa evoluzione è che è ormai necessario affrontare le problematiche di riferibilità nelle cinque grandezze in una organica visione complessiva evidenziando le strette connessioni che tra di esse esistono.

Questo documento vuole fornire una guida ai laboratori di taratura che intendono operare in questo campo individuando le strutture di riferibilità che possono essere realizzate per operare efficacemente e la struttura, l'articolazione e i contenuti della documentazione che deve essere redatta ai fini di poter conoscere e dimostrare le proprie capacità di misura.

4. Strutture di riferibilità

Le strutture di riferibilità realizzabili per le grandezze prese in esame possono risultare molto diverse nella loro articolazione e complessità: utilizzando gli strumenti campione disponibili sul mercato è possibile realizzare catene metrologiche molto diversificate, in grado di coprire esigenze specifiche o a largo spettro.

Dovendo definire la catena più adatta alle proprie esigenze è in primo luogo necessario individuare i campi di misura in cui si intende operare e le relative incertezze. Per i laboratori di taratura che intendono operare anche (se non prevalentemente) verso clienti esterni è opportuno essere in grado di assicurare la riferibilità nei campi in cui normalmente operano i multimetri numerali che, essendo presenti in un gran numero di realtà produttive, rappresentano uno dei principali tipi di strumento soggetti a taratura. I campi interessati sono:

- tensione continua da ~ 0,1 mV a 1000 V
- corrente continua da ~ 1 µA a 20 A
- tensione alternata da ~ 1 mV a 1000 V (frequenze sino a 1 MHz)
- corrente alternata da ~ 10 µA a 20 A (frequenze sino a 10 kHz)
- resistenza da ~ 1 Ω a 100 MΩ.

Le strutture di riferibilità che possono essere realizzate nei laboratori di taratura possono essere suddivise in due grosse categorie:

1. quelle che utilizzano come campioni di riferimento un insieme di apparati campioni di elevata precisione specializzati per le diverse grandezze.
2. quelle che utilizzano come campioni di riferimento multimetri numerali e calibratori multifunzione.

Le prime consentono, al laboratorio, di assicurare il migliore livello di accuratezza delle tarature effettuate, permettendo la taratura di qualsiasi tipo di calibratore multifunzione e di multimetro numerale compresi quelli da laboratorio caratterizzati da una elevata accuratezza. L'impostazione di queste strutture è riportata nel successivo paragrafo 4.1.

Le seconde sono molto diffuse e consentono ad un laboratorio di effettuare tarature su un'ampia gamma di apparecchiature (con la sola eccezione degli strumenti di più elevate caratteristiche) con costi più contenuti sia di acquisto che di gestione e con un più limitato impegno (e qualificazione) del personale utilizzato.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 5 di 37

Le strutture di riferibilità realizzabili utilizzando calibratore e multimetro numerale sono diverse in funzione delle tipologie di strumenti prescelti. Nei paragrafi 4.2, 4.3 e 4.4 sono descritte tre diverse strutture che utilizzano rispettivamente un calibratore di media accuratezza, un calibratore di elevata accuratezza e un calibratore dotato di un processo di auto-taratura del tipo “artifact calibration”. In ogni caso si associa al calibratore, come strumento campione, un multimetro numerale da laboratorio di elevata accuratezza e risoluzione (8½ cifre). Le strutture descritte non sono le uniche realizzabili, ma sono quelle più largamente diffuse nei Centri di taratura accreditati.

La disponibilità di almeno due strumenti campione (uno generatore e l'altro misuratore) è indispensabile per assicurare, mediante l'esecuzione di verifiche intermedie, la necessaria affidabilità dei risultati. Le strutture descritte ipotizzano di utilizzare, per il trasferimento di riferibilità il multimetro numerale piuttosto che il calibratore multifunzione in quanto il multimetro è di più semplice trasporto e taratura. Il calibratore è, inoltre, di norma, lo strumento più intensamente utilizzato nell'attività di taratura e la sua non disponibilità (per taratura presso laboratorio esterno o guasto dovuto al trasporto) può comportare lunghi periodi di interruzione dell'attività di taratura del laboratorio.

4.1 Riferibilità mediante insieme di apparati campione

Questa struttura di riferibilità è descritta in Fig.1. Il laboratorio dispone di un insieme di apparati campione di 1^a linea, in grado di assicurare un elevato grado di riferibilità in tutte le grandezze esaminate.

L'insieme comprende, normalmente, divisori resistivi e riferimenti allo stato solido da 10 V per la tensione continua, resistori e derivatori campione per le misure di resistenza in c.c. e di corrente continua, trasferitori c.a./c.c. o misuratori dotati di elementi di trasferimento alternata /continua di tipo termico per la tensione alternata e derivatori di trasferimento c.a./c.c. per la misura della corrente alternata.

La struttura di riferibilità è completata dalla disponibilità di un multimetro numerale e da un calibratore multifunzione entrambi di elevata precisione, utilizzati come campioni di 2^a linea, che sono tarati periodicamente presso il laboratorio utilizzando gli apparati campione di 1^a linea.

Questa impostazione della catene può assicurare la massima capacità di misura al laboratorio; è possibile effettuare tarature con un doppio livello di accuratezza: quello più elevato utilizzando gli apparati campione, quello meno spinto mediante gli strumenti multifunzione. E' quindi possibile effettuare anche la taratura degli strumenti multifunzione più precisi disponibili sul mercato.

Per ottenere questo risultato è però necessario un'attenta selezione e gestione degli apparati campione. Essi devono, in primo luogo, essere in grado di poter garantire un livello di incertezza significativamente migliore di quello degli strumenti elettronici multifunzione di precisione; è quindi necessario effettuare, prima della loro acquisizione, un attento esame delle loro caratteristiche metrologiche. Significative differenze tra le tabelle di accreditamento di laboratori che utilizzano questa struttura di riferibilità possono essere dovute ad una diversa selezione degli strumenti ed apparati impiegati.

La loro taratura deve essere effettuata inoltre con il minimo livello di incertezza possibile e quindi presso un Istituto Metrologico Nazionale o un Centro di taratura accreditato in ambito EA specializzato nella taratura di apparati campione e caratterizzato da un elevato livello di accuratezza.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 6 di 37

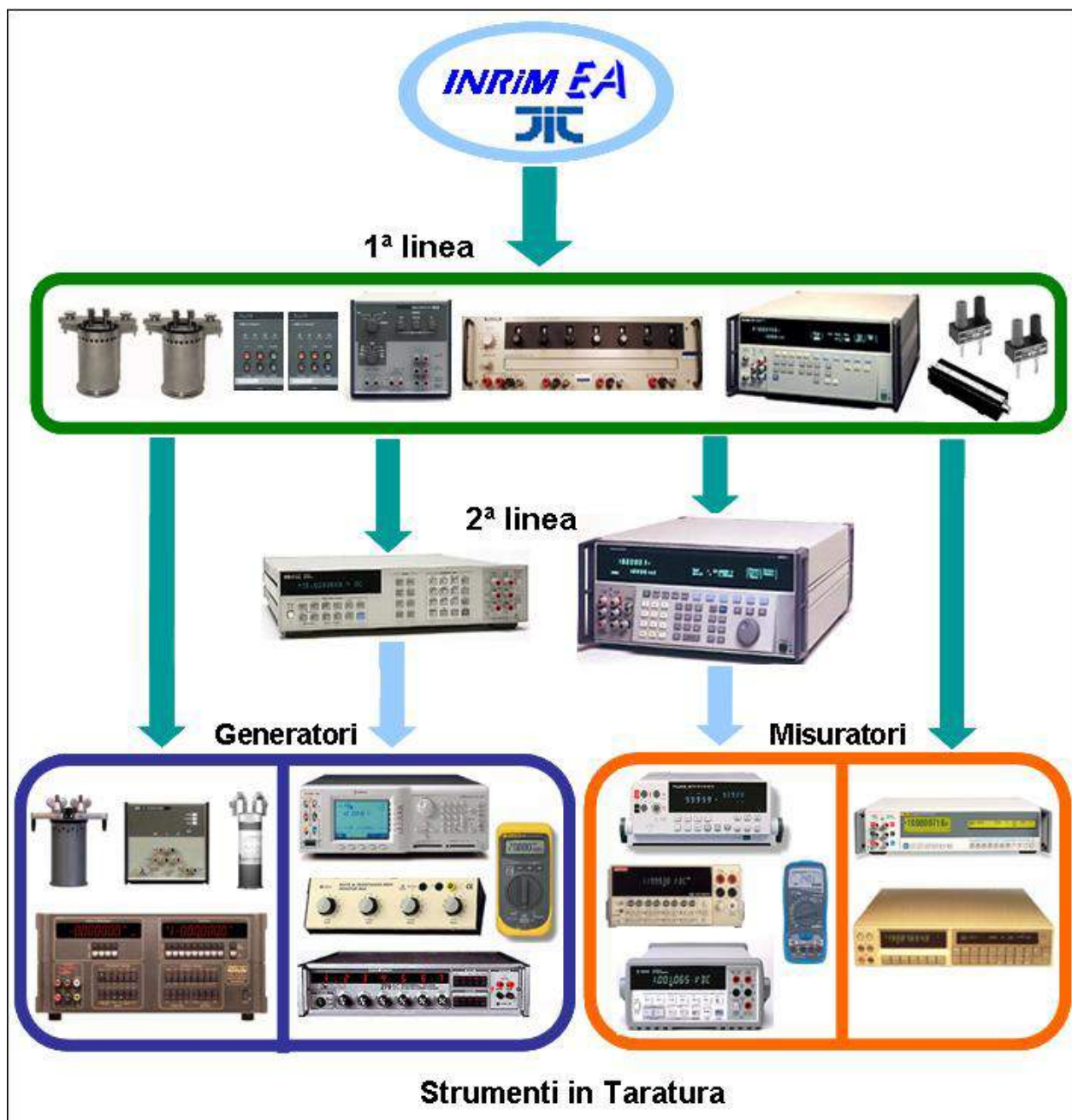


Fig. 1 Struttura di riferibilità basata su un insieme di apparati campione

I vantaggi e gli svantaggi di questa struttura possono essere così sintetizzati.

Vantaggi :

- consente di effettuare misure con il più elevato livello di accuratezza e di rispondere quindi adeguatamente a ogni richiesta di riferibilità;
- è possibile effettuare delle verifiche intermedie periodiche molto significative sugli strumenti multifunzione;



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 7 di 37

- nel caso in cui il calibratore o il multimetro campione dovessero evidenziare un guasto l'operatività del centro non sarebbe necessariamente bloccata; dopo la riparazione lo strumento sarebbe ritarato dallo stesso laboratorio e riutilizzato al migliore livello.

Svantaggi :

- l'effettuazione di misure di precisione con apparati campione e la complessità delle operazioni di mantenimento comportano la disponibilità di personale altamente specializzato e di locali controllati con molta attenzione.
- dato il notevole numero di apparati campione da acquisire, è necessario effettuare un elevato investimento economico iniziale;
- il mantenimento della riferibilità ad alto livello rende necessaria l'esecuzione di tarature periodiche degli apparati campione da parte di un Istituto Metrologico Nazionale; ciò comporta, a regime, un consistente aggravio nel costo di funzionamento del laboratorio;
- l'utilizzo di apparati campione di tipo tradizionale, complica spesso l'automatizzazione dei processi di misura; questo fatto, unitamente alla complessità delle operazioni da eseguire, implica un notevole impegno, in termini di tempo impiegato, da parte del personale del laboratorio.

Come considerazione a carattere complessivo si può rilevare che la messa in opera e la gestione di una struttura di questo genere è sostenibile solo in realtà di un certo rilievo che possono garantire in modo continuo le risorse e le strutture necessarie.

4.2 Riferibilità con Multimetro numerale e Calibratore Multiprodotto di media accuratezza

In questa struttura un multimetro di elevata precisione è utilizzato come riferimento primario per tutte le grandezze; la sua funzione è duplice, dato che, oltre a consentire la messa in punto del calibratore multifunzione del laboratorio, esso può essere usato direttamente per la verifica di altri calibratori o generatori calibrati che dovessero pervenire in taratura al laboratorio.

L'utilizzo di uno schema di riferibilità di questo genere è particolarmente indicato per quelle realtà che utilizzano calibratori di non elevate prestazioni ovvero con specifiche di accuratezza inferiori a quelle dei multimetri di riferimento. In effetti le principali componenti di incertezza da tener conto per valutare l'incertezza complessiva di utilizzo del calibratore, ipotizzando una periodicità di taratura di un anno, sono:

- 1) incertezza di taratura del calibratore;
 - a) incertezza di taratura del multimetro numerale;
 - b) specifica di accuratezza ad un anno del multimetro numerale;
 - c) incertezza relativa al metodo e al circuito.
- 2) specifica di accuratezza ad un anno del calibratore multifunzione.

È quindi opportuno che la specifica del multimetro sia significativamente migliore di quella del calibratore al fine di non penalizzare le capacità di taratura del calibratore.

Se il multimetro numerale utilizzato come riferimento è limitato come campo di misura in corrente continua e alternata (1 o 2 A) è conveniente che il laboratorio si doti anche di un derivatore di



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 8 di 37

corrente in grado di estendere le capacità di misura sino a correnti dell'ordine di 20 A. Ciò consentirà di tarare e mettere a punto il calibratore in tutti i suoi campi e amplierà le capacità di misura del Centro.

La taratura del multimetro e del derivatore possono essere effettuati o presso un Istituto Metrologico Primario o presso un Laboratorio di taratura accreditato in ambito EA di elevato livello. Attenzione dovrà essere posta, in particolare, ai punti di misura, alle incertezze e alle operazioni effettuate sul multimetro in quanto esse devono consentire di assicurare sia una corretta riferibilità delle misure effettuate con il multimetro, sia di eseguire un adeguato processo di taratura del calibratore.

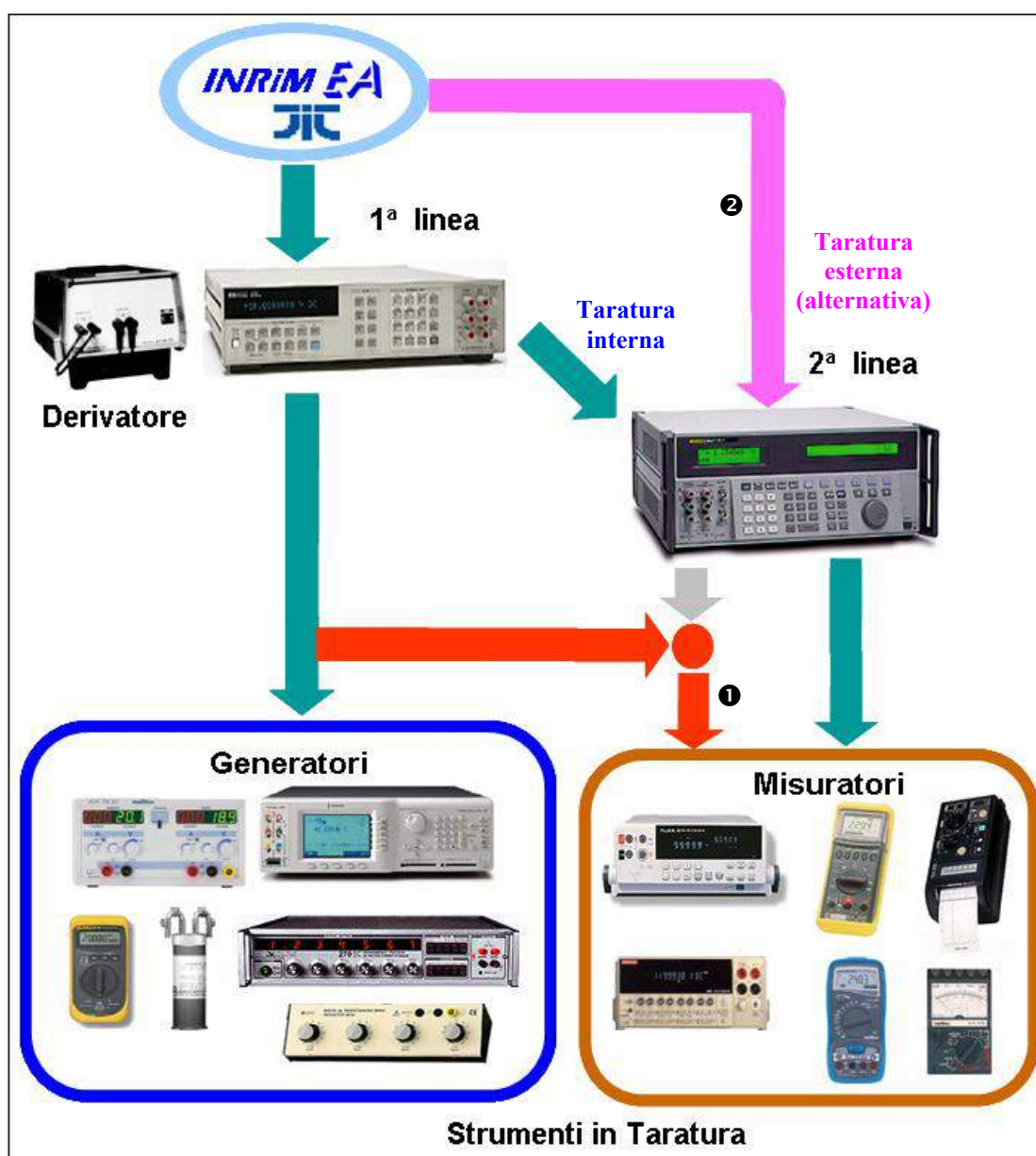


Fig. 2 Struttura di riferibilità basata su multimetro di precisione e calibratore multiprodotto

Con questo schema di riferibilità il multimetro, eventualmente affiancato dal derivatore, tarerà i generatori calibrati in modo diretto e il calibratore tarerà gli strumenti misuratori. Per consentire al Centro di effettuare la taratura di misuratori caratterizzati da una accuratezza paragonabile a quella



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 9 di 37

del calibratore, è possibile sviluppare una procedura che preveda il confronto tra il misuratore di taratura e il multimetro di riferimento, utilizzando il calibratore solo come generatore stabilizzato (freccia arancio ❶ in Fig.2).

Per semplificare le operazioni di taratura e conferma metrologica da svolgere nel laboratorio, è possibile prevedere di fare tarare anche il calibratore multifunzione presso un Istituto Metrologico Primario o un Laboratorio di taratura accreditato in ambito EA di elevato livello (freccia viola ❷ in Fig.2). Anche in questo caso è necessario controllare che la taratura fornita consenta di trasferire correttamente la riferibilità. Se si percorre questa strada si ottiene una semplificazione della documentazione da sviluppare e delle operazioni da effettuare periodicamente in quanto non è più necessario eseguire la taratura del calibratore presso lo stesso laboratorio. Per contro aumentano i costi di mantenimento della riferibilità e il calibratore deve essere inviato all'esterno del laboratorio con i rischi e le limitazioni nella sua disponibilità che ne conseguono.

I vantaggi e gli svantaggi di questo tipo di struttura possono essere così sintetizzati:

Vantaggi:

- moderato costo di acquisto degli strumenti campione;
- possibilità di tarare adeguatamente buona parte dei misuratori e dei generatori calibrati di cui può essere richiesta la certificazione;
- contenuto costo della taratura del campione di riferimento;
- possibilità di automatizzare i processi di trasferimento della riferibilità.

Svantaggi:

- non è possibile tarare gli strumenti più precisi;
- per tarare gli strumenti misuratori di medio-alta precisione è necessario utilizzare una complessa procedura di confronto;
- Le verifiche periodiche che possono essere eseguite tra calibratore e multimetro non consentono un controllo pienamente soddisfacente di questo ultimo;

nel caso si riscontrassero nelle verifiche periodiche valori anomali non è possibile individuare quale dei due strumenti ne è la causa

4.3 Riferibilità con Multimetro numerale e Calibratore Multifunzione di elevata accuratezza

Se, utilizzando la struttura precedente, si sostituisce il calibratore multiprodotto di medio-alta accuratezza con uno di elevata accuratezza (con specifiche paragonabili o migliori del multimetro numerale) si ha la controindicazione che l'incertezza relativa al suo utilizzo sarà gonfiata a causa dell'incertezza dovuta alle specifiche del multimetro (vedi paragrafo precedente).

Per evitare di dovere inviare anche il calibratore presso un laboratorio esterno per la taratura, è possibile ridurre l'incertezza dovuta al multimetro numerale utilizzandolo come trasferitore di riferibilità. Con questo approccio il calibratore viene tarato e messo a punto per confronto con il multimetro subito dopo la taratura esterna del multimetro (non oltre un mese) e si correggono le letture del multimetro tenendo conto degli errori riportati sul suo certificato di taratura. In questo modo è possibile ridurre di circa un mezzo ordine di grandezza l'incertezza dovuta all'uso del multimetro come campione di riferimento.

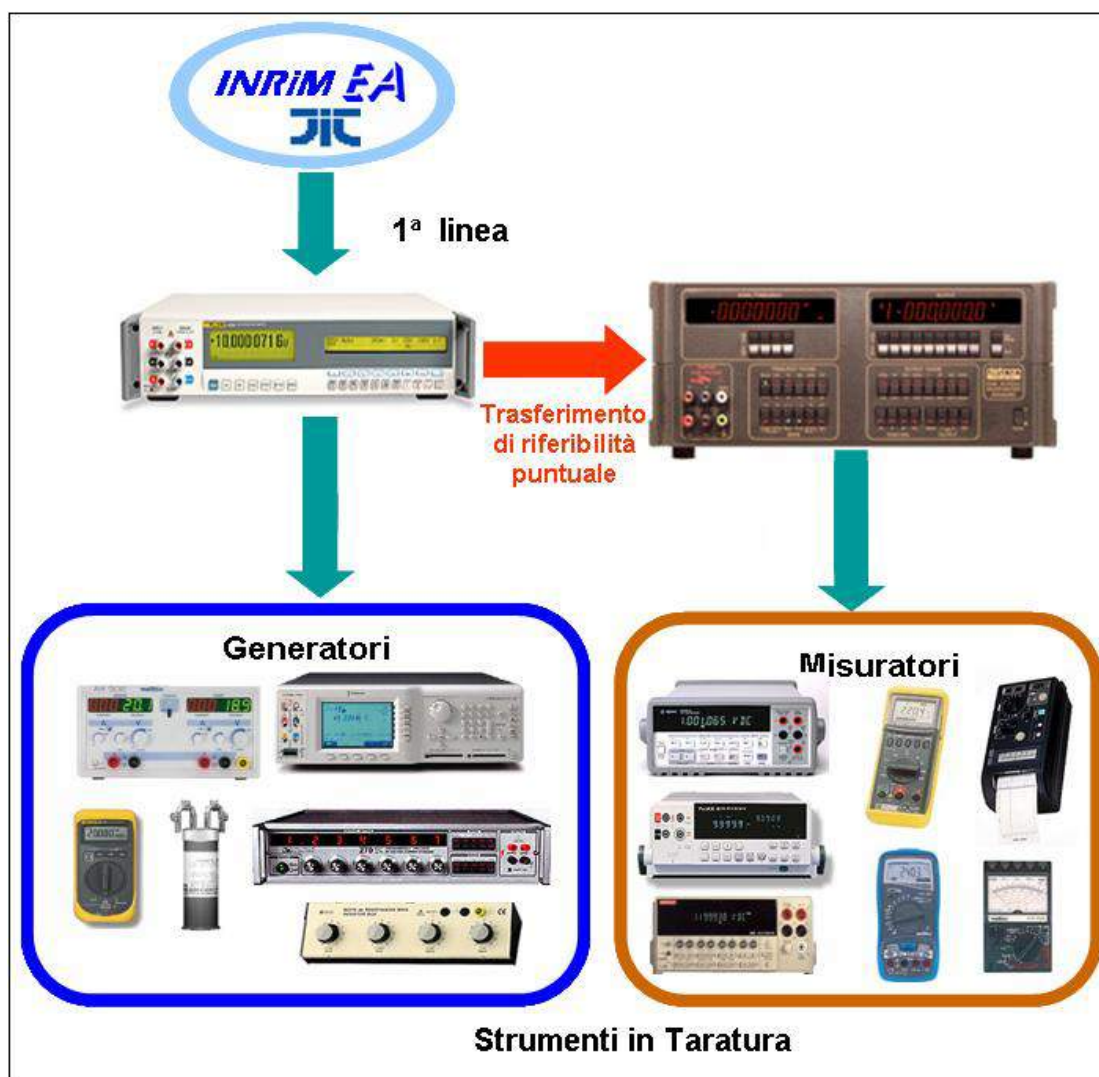


Fig. 3 Struttura di riferibilità basata su multimetro e calibratore di elevata precisione

Per poter effettuare questo tipo di operazione, il multimetro deve essere tarato il meglio possibile non solo nei punti che servono per la sua taratura ma anche nei punti di misura utilizzati per la taratura e messa a punto del calibratore. Particolare attenzione deve essere, quindi, posta nella scelta del laboratorio di riferimento che esegue la taratura del multimetro.

Utilizzando un meccanismo di trasferimento così concepito l'incertezza relativa all'uso del calibratore (supponendo sempre che gli strumenti vengano tarati una volta all'anno) viene ad essere composta dalle seguenti componenti:

- 1) incertezza di taratura del calibratore;
 - a) incertezza di taratura del multimetro numerale;
 - b) stabilità a 1 mese del multimetro numerale;
 - c) incertezza relativa al metodo e al circuito.
- 2) specifica di accuratezza ad un anno del calibratore multifunzione.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 11 di 37

Effettuata in modo corretto l'operazione di trasferimento della riferibilità, il calibratore diventa uno strumento campione allo stesso livello del multimetro numerale.

Rispetto alla soluzione precedente si hanno alcuni vantaggi e svantaggi:

Vantaggi:

- possibilità di tarare adeguatamente un maggior numero di strumenti misuratori;
- viene semplificato e reso più affidabile il processo di taratura degli strumenti misuratori di medio-alta precisione;
- Le verifiche periodiche tra calibratore e multimetro consentono un controllo soddisfacente di entrambi gli strumenti.

Svantaggi:

- maggiore costo di acquisto del calibratore multifunzione;
- maggiore complessità del processo di taratura del calibratore;
- la taratura del multimetro deve essere effettuata in modo particolare da laboratori di alto livello specializzati per questo genere di operazione.

4.4 Riferibilità con Multimetro numerale e Calibratore Multifunzione dotati di “artifact calibration”

Un ristretto numero di strumenti è caratterizzato dalla disponibilità di un particolare processo automatico di autotaratura chiamato “artifact calibration” che consente di eseguire la messa a punto dello strumento applicando un limitato numero di apparati campione di valore conosciuto ai morsetti dello strumento.

Tra gli strumenti che dispongono di questa caratteristica vi è uno dei più diffusi calibratori multifunzione di elevata accuratezza, che necessita, per la sua messa a punto, di tre apparati campione di riferimento chiamati dal costruttore “artifact standards”:

- un riferimento di tensione da 10V
- un resistore campione da 10 k Ω
- un resistore campione da 1 Ω .

Il processo di trasferimento della riferibilità è effettuato subito dopo che gli apparati campione sono tornati al laboratorio dopo la loro taratura; essi vengono connessi al calibratore che tramite un processo automatico che gestisce una serie di confronti interni, provvede alla propria messa a punto determinando una serie di costanti di taratura, registrate nelle proprie memorie interne, che saranno utilizzate durante il normale funzionamento dello strumento.

Data questa caratteristica, non è possibile utilizzare, per questo calibratore lo schema di riferibilità descritto nel paragrafo precedente. D'altro canto non risulta soddisfacente basarsi solo sull'uso degli “artifact standard” per assicurare la riferibilità delle misure effettuate dal calibratore in quanto non può essere dato per scontato a priori il corretto funzionamento del processo di “artifact calibration”.

In questi casi risulta conveniente mettere in opera la struttura di riferibilità descritto in Fig.4. Il multimetro numerale anche in questo caso ha una doppia funzione: serve direttamente come strumento campione per taratura di generatori ed è utilizzato per la verifica del calibratore prima e dopo l'esecuzione del processo di messa a punto automatico; anche in questo caso, per ridurre



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 12 di 37

l'incertezza del multimetro si utilizza lo stesso accorgimento descritto nel paragrafo precedente: il multimetro viene tarato anche nei punti utilizzati per la verifica del calibratore e i valori riportati sul certificato sono utilizzati per determinare i coefficienti di correzione da impiegare nella taratura del calibratore che viene eseguita entro 30 giorni dalla taratura del multimetro.

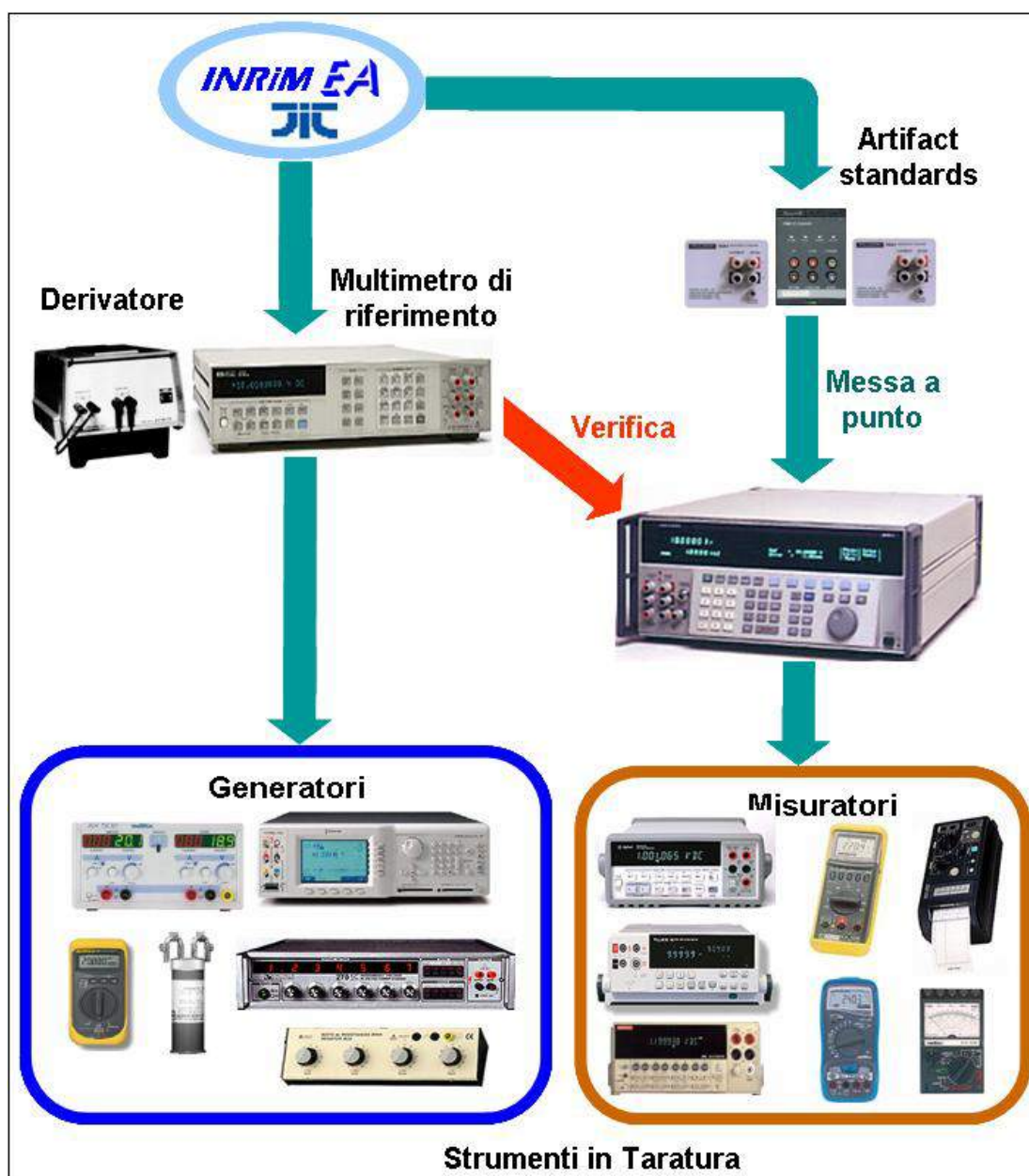


Fig. 4 Struttura di riferibilità basata su multimetro e calibratore dotato di artifact calibration

Disponendo dei tre apparati campione è inoltre possibile effettuare delle verifiche periodiche tra una taratura e la successiva più significative rispetto a quelle effettuate con la struttura di riferibilità del paragrafo precedente. Ciò è particolarmente vero se si utilizza come multimetro campione uno strumento dotato anch'esso di un processo di messa in punto basato sull'applicazione di apparati di riferimento esterni.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 13 di 37

Rispetto alla soluzione prospettata nel paragrafo precedente questo tipo di struttura di riferibilità presenta i seguenti vantaggi e svantaggi:

Vantaggi

- il processo di messa in punto è completamente automatizzato, semplificando in modo sostanziale una delle operazioni più critiche da effettuare nel laboratorio;
- è possibile effettuare verifiche periodiche più significative;
- il calibratore con “artifact calibration” può effettuare periodicamente dei “calibration check” confrontando tra di loro i riferimenti interni consentendo un migliore controllo nel tempo delle sue caratteristiche metrologiche.

Svantaggi:

- è necessario acquisire anche i tre apparati campione;
- aumentano i costi delle tarature presso il laboratorio di riferimento;

5. La documentazione tecnica

La struttura della documentazione tecnica è, per quanto riguarda questa specifica area di misura, alquanto complessa in quanto in essa risulta complesso definire e descrivere il processo di trasferimento di riferibilità tenendo conto delle interazioni tra le diverse grandezze e mantenendo sotto controllo tutti gli elementi che possono influire sul risultato finale.

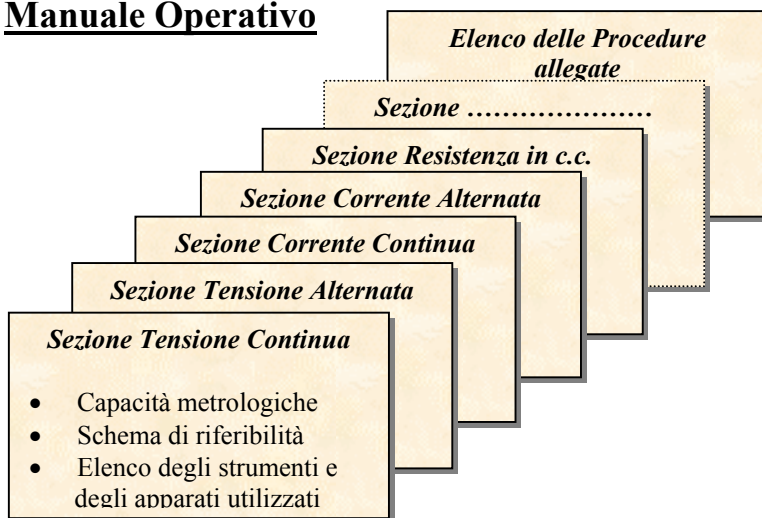
La struttura di documentazione che sarà descritta in questo paragrafo e in quelli successivi (descritta in Fig. 5) è il frutto dell'esperienza maturata presso il SIT nell'attività di accreditamento di laboratori di taratura elettrici e si articola in un documento di sintesi complessiva (manuale operativo) e in una serie di procedure tecniche ad esso allegate che definiscono in dettaglio tutte le operazioni da effettuare.

Questa struttura è consigliata a tutti i laboratori accreditati o in via di accreditamento sia per facilitare lo sviluppo della nuova documentazione che per omogeneizzare i diversi approcci al fine di mantenere un migliore controllo da parte della struttura di accreditamento. Impostazioni della documentazione diverse da quelle proposte possono ovviamente essere sviluppate tenendo conto che esse devono contenere, in modo chiaro e trasparente, tutti gli elementi necessari e che comunque sarà più lungo e complesso il lavoro degli ispettori tecnici che dovranno esaminare e valutare la documentazione stessa.

La prima esigenza di cui bisogna tenere conto nello sviluppo della documentazione è la necessità di avere una visione di insieme di tutto il processo di trasferimento di riferibilità in quanto è necessario individuare tutti gli elementi che la compongono e descrivere con precisione le diverse interazioni. Questa esigenza può essere assolta sviluppando un documento di sintesi complessiva definito "Manuale operativo". Al fine di mantenere sotto controllo il fluire della riferibilità nelle diverse grandezze, esso è strutturato in diverse sezioni ognuna delle quali riporta elementi di sintesi relativi ad una diversa grandezza.



Manuale Operativo



PROCEDURE ALLEGATE

Procedure di taratura e conferma dei campioni del Centro



*Taratura dei campioni di lavoro
Autotaratura dei campioni di riferimento*

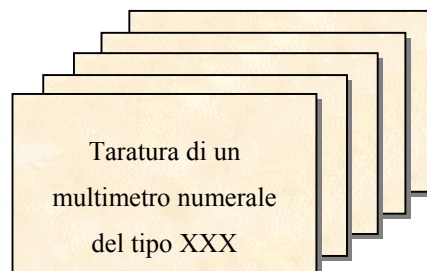


Procedure per il mantenimento sotto controllo degli strumenti campione

Procedure di taratura per strumenti di misura esterni



Procedure di taratura di tipo generico



Procedure di taratura di tipo specifico

Fig. 5 Struttura della documentazione tecnica per le grandezze elettriche



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 15 di 37

All'interno della sezione relativa ad una specifica grandezza sono riportate le seguenti informazioni:

- Tabella con le capacità metrologiche del Centro
- Schema di riferibilità
- Elenco degli strumenti e degli apparati utilizzati

La tabella riportata deve corrispondere a quella di accreditamento approvata dal SIT e presente nel sito dell'organismo di accreditamento. Essa è ricavata dal calcolo delle incertezze presenti nelle procedure di taratura di più alto livello (quelle che utilizzano i campioni più precisi) e rappresenta la "best measurement capability" ovvero la migliore capacità di taratura del Centro. In un qualsiasi certificato di taratura per un qualsiasi cliente, il Centro non dovrà mai dichiarare una incertezza inferiore a quella presente nelle tabelle.

Lo schema di riferibilità può risultare molto simile tra una grandezza e l'altra. Ciò è particolarmente vero per le strutture che utilizzano un multimetro e calibratore come strumenti di più alto livello. È comunque opportuno disporre degli schemi di riferibilità relativi alle diverse grandezze in quanto possono esserci delle piccole ma significative differenze che devono essere mantenute sotto controllo. Negli schemi di riferibilità è opportuno riportare, in corrispondenza ai diversi passaggi della riferibilità, le sigle identificative delle procedure utilizzate in modo da definirne, in modo più preciso, la loro funzione. È, inoltre, opportuno riportare a fianco dello schema una descrizione che sintetizzi il meccanismo di trasferimento della riferibilità.

In ogni sezione deve essere presente un elenco che individui:

- Gli strumenti campione di riferimento e di lavoro utilizzati.
- Gli strumenti ausiliari e apparecchiature specifiche coinvolte.

Gli strumenti campione devono essere individuati singolarmente in modo univoco riportando non solo il costruttore ed il modello ma anche il loro numero di serie. Se più strumenti campione possono svolgere la stessa funzione, ciò deve essere chiaramente definito.

Negli strumenti ausiliari impiegati ricadono tutti quegli strumenti e apparati che non trasmettono la riferibilità, ma concorrono in modo rilevante al suo trasferimento come generatori stabilizzati, misuratori di grandezze di influenza, ecc..

Le apparecchiature da riportare sono quelle che hanno caratteristiche specifiche rilevanti per la corretta esecuzione delle misure, come cavi di collegamento (individuati da sigle) e adattatori.

Nel manuale operativo deve essere, inoltre, riportato l'elenco delle procedure richiamate nei diversi schemi di riferibilità e allegate al manuale stesso.

Per opportunità del Centro, nel manuale operativo possono essere riportate anche altre informazioni a carattere generale relative all'attività tecnica. Non deve comunque venire meno la chiarezza complessiva del documento.

Le procedure tecniche che descrivono in dettaglio le operazioni effettuate dal Centro possono essere suddivise in due categorie principali:

- Procedure di taratura e conferma dei campioni del Centro.
- Procedure di taratura per strumenti di misura esterni.

Alla prima categoria appartengono tutte le procedure che hanno come obiettivo quello di assicurare una corretta riferibilità alle misure effettuate da tutti gli strumenti campione sia di riferimento (1^a linea) che di lavoro (2^a linea) del Centro. Esse devono essere eseguite dal personale tecnico con periodicità definita e se il loro esito è negativo ciò può influenzare l'incertezza d'uso



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 16 di 37

dei campioni e quindi la tabella di accreditamento del Centro. Questo tipo di procedure è descritto in dettaglio nel paragrafo successivo.

Le procedure di taratura per strumenti di misura esterni sono quelle utilizzate per tarare gli strumenti inviati dai clienti e che generano i certificati di taratura emessi dal Centro per l'esterno.

Esse sono essenziali in quanto dal loro capitolo sulla valutazione delle incertezze è estratta la tabella di accreditamento del Centro. Le caratteristiche di queste procedure sono approfondite nel paragrafo 9.

6. Procedure di taratura e conferma dei campioni del Centro

Le operazioni ed elaborazioni che devono essere descritte in queste procedure sono:

- 1) Controllo dell'effetto del trasporto (per gli strumenti di riferimento).
- 2) Esame dei risultati della taratura (per tutti gli strumenti campione).
- 3) Taratura e messa a punto degli strumenti di lavoro.
- 4) Verifiche intermedie (per tutti gli strumenti campione).
- 5) Incertezza d'uso del campione.
- 6) Limiti di accettazione.

Alcune di queste operazioni possono anche essere accorpate in specifiche procedure di gestione dello strumento al fine non eccedere nel numero complessivo delle procedure. Il contenuto dei primi 4 punti riportati nell'elenco è descritto nei sottoparagrafi di questo capitolo. L'**incertezza d'uso** individua l'incertezza che viene associata all'impiego dello strumento campione tra un taratura e la successiva. Le modalità utilizzabili per la sua determinazione sono riportate nel capitolo 7. Nel capitolo 8 sono invece descritte le modalità di valutazione dei **limiti di accettazione**.

6.1 Controllo dell'effetto del trasporto degli strumenti di riferimento

Nel corso del viaggio dal laboratorio che li utilizza al laboratorio che ne esegue la taratura, le caratteristiche metrologiche degli strumenti di riferimento possono essere alterate dalle sollecitazioni meccaniche e/o climatiche a cui gli strumenti possono essere soggetti.

Dal punto di vista della riferibilità si tratta di un elemento critico in quanto se questa alterazione non viene rilevata vi è un elevato rischio che tutte le misure che il laboratorio esegue nell'anno successivo risultino alterate con rilevanti effetti sia dal punto di vista economico che da quello di immagine. È quindi necessario attivare tutti i meccanismi che consentano di rilevare l'effetto di possibili alterazioni.

Questo tipo di verifica è particolarmente importante per gli strumenti di tipo elettronico quali i multimetri numerali e i calibratori multifunzione che possono alterarsi più facilmente e in modo più difficile da rilevare. Oltre l'esecuzione dei test auto diagnostici (quando presenti) bisogna mettere in atto verifiche strumentali che consentano, con la più elevata probabilità possibile, di rilevare tutte le alterazioni significative.

Il modo più naturale di effettuare il controllo dell'effetto del trasporto è quella di confrontare il campione viaggiatore con uno, avente un'adeguata stabilità, che rimane presso il laboratorio prima e dopo l'effettuazione del viaggio. Nel caso in cui il campione viaggiatore sia stato messo a punto, durante la taratura, è necessario tenere conto dell'alterazione introdotta.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 17 di 37

Per valutare i limiti di accettazione dei risultati ottenuti, il modo migliore è quello di ricavare sperimentalmente la stabilità reciproca tra i due strumenti coinvolti per un periodo dell'ordine di un mese paragonabile al tempo normalmente intercorrente tra i due confronti prima e dopo del viaggio. Il limite può essere collocato ad un valore il cui superamento non potrebbe essere giustificato con la normale instabilità presente tra i due strumenti. Per evitare il rischio di superamento (con i conseguenti problemi) dovuto a sollecitazioni meccaniche e termiche intervenute nel trasporto può risultare conveniente ampliare ulteriormente il limite di accettazione, ma, in questo caso, risulta necessario ampliare l'incertezza d'uso dello strumento viaggiatore con una componente ricavata dal limite di accettazione.

Se non si hanno dati sperimentali è possibile ricavare il limite di accettazione dalle specifiche di stabilità dichiarate dai costruttori dei due strumenti, ma la verifica dell'effetto del trasporto risulta, in questo modo, meno significativa.

È necessario mettere in atto meccanismi di verifica analoghi anche per controllare gli strumenti campione impiegati per tarature all'esterno del laboratorio.

6.2 *Esame dei risultati della taratura*

La taratura degli strumenti campione (sia di riferimento che di lavoro) è la fondamentale operazione di conferma metrologica che consente al Centro di effettuare misure riferibili. A tale fine è però anche necessario un corretto esame dei dati riportati nel certificato che deve tenere conto anche delle modalità di utilizzo dei dati stessi nell'impiego dello strumento campione.

I risultati riportati nel certificato di taratura possono essere utilizzati per:

- 1) **Trasferire la riferibilità.** A questo scopo viene assegnato il nuovo valore o sono ricavati dei coefficienti di correzione da impiegare nel normale utilizzo dello strumento campione. Questa operazione viene tipicamente effettuata se non si esegue la messa a punto dello strumento e se non si utilizza il suo valore nominale.
- 2) **Verificare il corretto funzionamento dello strumento** ovvero che esegua misurazioni con il livello di incertezza che è associato al suo impiego (vedi incertezza d'uso al paragrafo 7) e che, presumibilmente, continuerà a farlo sino alla prossima operazione di taratura e conferma metrologica. Per effettuare questa operazione è necessario individuare dei limiti di accettazione entro cui devono rientrare i risultati della taratura. Si rimanda al paragrafo 8 per l'approfondimento dell'argomento.

Le modalità con cui si può effettuare l'esame dei risultati può variare notevolmente in funzione della tipologia di strumento e del suo modo di impiego e può esser quindi opportuno analizzare alcuni casi tipici.

a) **Campione fisso**

⇒ **Esempio: Resistore campione**

L'approccio ampiamente più diffuso per un resistore campione è quello di associare al suo impiego il valore riportato nell'ultimo certificato di taratura e questa operazione contiene in se stessa il trasferimento di riferibilità.

La verifica che l'incertezza associata all'uso del resistore sia stata stimata correttamente viene principalmente effettuata calcolando la differenza tra due successive tarature e verificando che la differenza non sia superiore alla valutazione dell'incertezza d'uso. Una migliore affidabilità di



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 18 di 37

questa verifica può essere ottenuta se si dispone anche di un grafico che riporti il valore resistivo ricavato in tutte le tarature effettuate sul resistore da cui ricavare la deriva prevista.

Se la deriva del resistore nel tempo è rilevante ma ben prevedibile può risultare conveniente rideterminare il valore del resistore sulla base della presunta deriva individuata dal grafico. In questo caso il nuovo valore determinato nell'ultima taratura viene confrontato con il valore che sarebbe stato ipotizzato (alla stessa data) sulla base del grafico che riporta i valori precedenti; la differenza deve risultare inferiore alla componente di incertezza relativa alla compensazione della deriva riportata nell'incertezza d'uso del resistore.

Nel caso in cui il resistore è utilizzato per misurare correnti di valore rilevante, è necessario tenere conto dell'alterazione introdotta dal riscaldamento. A tale scopo viene normalmente introdotta una specifica componente di incertezza. In questi casi è opportuno far tarare il resistore sia a bassa corrente sia alla massima corrente di utilizzo e verificare che la variazione del valore resistivo sia più ridotto della componente di incertezza introdotta.

Discorso analogo al precedente può essere fatto, se il resistore è utilizzato anche in corrente alternata, per quanto riguarda effetto della frequenza.

b) Strumento campione che agisce su un campo

⇒ **Esempio: Sistema di misura per alta tensione composto da Sonda di A.T. + voltmetro.**

Come considerazione iniziale si ipotizza che le sonde per alta tensione non possano (come normalmente succede) essere messe a punto. In funzione delle caratteristiche dello strumento e del livello di accuratezza richiesto si può decidere di non apportare nessuna correzione all'indicazione prodotta dal sistema o di correggerla in funzione della deriva nel tempo e/o dell'effetto della tensione applicata.

Nessuna correzione

Questo è l'approccio di più semplice applicazione che però consente di effettuare misure con la minore precisione. In questo caso si stabilisce un limite massimo entro cui il sistema di misura deve eseguire le misura nel suo normale utilizzo e si verifica che, per tutti i punti di misura, il sistema non superi questo limite a cui deve essere però sottratto la possibile deriva che si potrà avere sino alla prossima taratura.

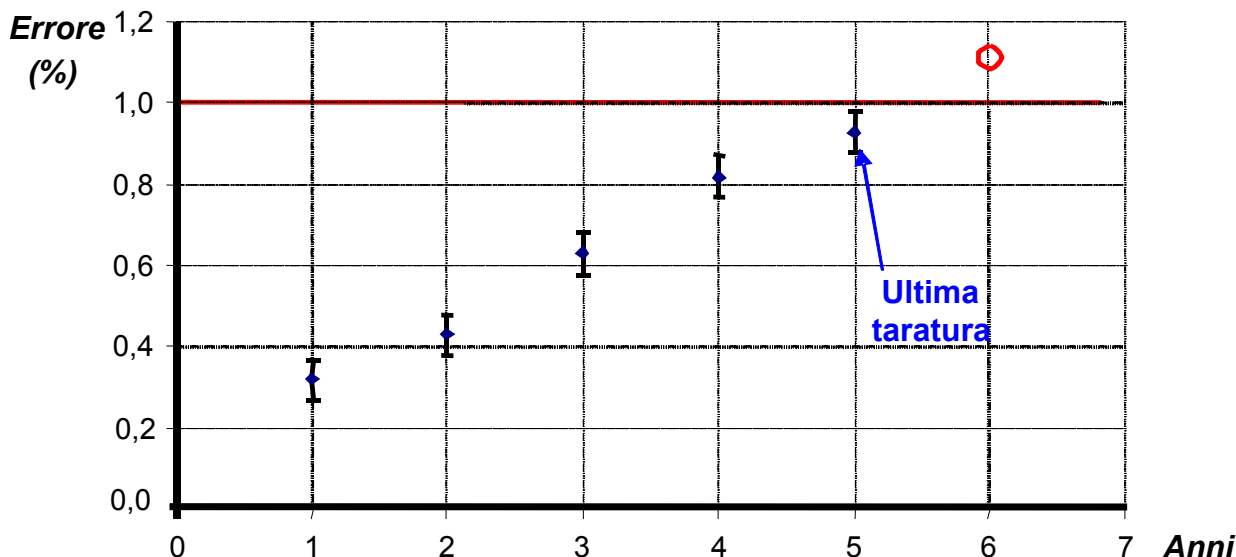


Fig. 6 Grafico con andamento dell'errore nel tempo dell'errore



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 19 di 37

Anche in questo caso può essere molto utile un grafico che riporti l'andamento dell'errore nel tempo ricavato dai certificati di taratura. Nella figura 6 è riportato l'esempio di un grafico da cui è possibile ricavare l'indicazione che lo strumento supererà presumibilmente il limite di utilizzo nel periodo intercorrente tra l'ultima taratura e la successiva.

Correzione per la deriva nel tempo

Può risultare conveniente correggere i risultati ottenuti dal sistema per la deriva nel tempo nel caso in cui la deriva sia rilevante e ben individuabile. La correzione può essere effettuata in modo più o meno complesso.

Il più semplice è quello di determinare sulla base dei risultati riportati sull'ultimo certificato di taratura un fattore di correzione da utilizzare per tutto l'anno successivo. Ogni volta che si esegue una taratura si verifica che l'errore dello strumento non sia variato più dell'incertezza associata alla deriva ad un anno ipotizzata nell'incertezza d'uso.

Una correzione più complessa può essere effettuata rideterminando l'errore del sistema (alla data di impiego) sulla base della deriva individuata dal grafico. Questo caso può essere trattato similmente a quanto ipotizzato in situazione analoga nel caso a).

Correzione per l'effetto della tensione applicata

In sistemi di misura come quello ipotizzato nell'esempio (sonda A.T. + voltmetro) si può spesso rilevare un significativo e ben individuabile effetto della tensione applicata sull'errore del sistema. Anche in questo caso è possibile compensare l'effetto con fattori di correzione a cui è associata una incertezza. Se si utilizza questa compensazione, nell'esame dell'ultimo certificato è necessario controllare che i nuovi fattori di correzione non si discostino da quelli individuati nell'ultima taratura di un valore superiore all'incertezza associata.

6.3 Taratura e messa a punto degli strumenti di lavoro

Ogni strumento di misura utilizzato dal laboratorio come campione di 2^a linea ovvero come strumento di lavoro deve essere periodicamente tarato ed eventualmente messo a punto per confronto con uno strumento campione di riferimento.

L'operazione deve essere descritta in una apposita procedura, nel cui scopo è indicato specificatamente anche il numero di serie che identifica lo strumento di lavoro. Anche nel caso in cui più strumenti di lavoro sono tarati con la stessa procedura è necessario identificarli specificatamente.

Nella procedura dovrebbero essere riportati:

- Le operazioni di taratura effettuate, riportate con un livello di dettaglio sufficiente ad assicurare la loro corretta effettuazione da parte di personale di adeguata formazione. Devono essere specificati dettagliatamente i punti di taratura da effettuare (può essere utile allegare la tabella per la raccolta dei risultati) e le eventuali elaborazioni matematiche da effettuare sui risultati ottenuti.
- Le modalità di effettuazione di eventuali operazioni di messa punto. Possono essere indicate condizioni per cui non è necessario eseguire l'operazione. Tipicamente ciò può accadere se lo strumento dimostra di possedere una deriva nel tempo notevolmente inferiore a quella prevista nella valutazione dell'incertezza d'uso. Per consentire di valutare il comportamento dello strumento devono essere individuati dei limiti (da non confondere con quelli di accettazione): se



tutti i punti di misura rientrano entro questi limiti (per esempio le specifiche a 90 giorni dello strumento) è possibile non procedere con la messa a punto dello strumento.

- I limiti di accettazione da utilizzare nell'esame dei risultati ottenuti nelle operazioni di taratura per verificare il corretto funzionamento dello strumento (vedi par. 8).
- Calcolo di eventuali coefficienti di correzione da applicare durante il normale utilizzo dello strumento di lavoro.

Può essere, inoltre, conveniente riportare la valutazione dell'incertezza d'uso dello strumento (vedi par.7) in quanto questo dato è essenziale per il calcolo dei limiti di accettazione e il valore di questa incertezza può dover essere modificato nel caso in cui siano superati i limiti di accettazione a valle dell'effettuazione delle operazioni di taratura. Nel caso in cui la procedura si riferisca a più strumenti, può verificarsi il caso in cui vi possano essere differenti incertezze d'uso e limiti di accettazione in relazione al singolo esemplare di strumento.

6.4 Verifiche intermedie tra gli strumenti campione

Come accennato nel par. 6.2 nel caso in cui le verifiche effettuate sui risultati della taratura dimostrassero che lo strumento non ha operato secondo l'accuratezza prevista (ovvero ha eseguito misure con un'incertezza maggiore di quella d'uso) è necessario analizzare tutte le tarature che sono state effettuate utilizzando lo strumento come campione e se si vi sono significativi dubbi sui risultati riportati bisognerebbe informare l'utente, annullare i certificati emessi, ed, eventualmente, ripetere le tarature effettuate con rilevante danno economico e di immagine.

Per limitare i rischi che ciò accada e gli eventuali effetti, è opportuno effettuare verifiche intermedie su tutti gli strumenti campione utilizzati. Queste verifiche consistono principalmente nel confronto periodico tra due o più strumenti campione al fine di rilevare anomalie esaminando gli scarti tra le indicazioni e i valori assegnati.

L'articolazione e le modalità operative delle attività di verifica possono variare notevolmente da caso a caso e dipendono dalla strumentazione che ha in dotazione il laboratorio e dalla criticità degli strumenti campione utilizzati. Nel seguito sono riportate alcune considerazioni a carattere generale da tenere conto nella definizione di questo tipo di attività:

- Per poter svolgere questo genere di operazione è necessario che il laboratorio disponga di almeno due strumenti campione con un livello di stabilità paragonabile. La disponibilità di un terzo strumento può risultare molto utile per individuare, in caso di risultati anomali, lo strumento che ne è causa.
- Nei casi in cui gli unici strumenti a disposizione sono solo il campione di 1^a linea e quello di 2^a linea le verifiche periodiche che derivano dal loro confronto potranno essere più significative per lo strumento di 2^a linea che per quello di 1^a linea. Ciononostante, nel caso in cui dal loro confronto emergessero dati anomali, non è possibile affermare a priori che la causa è dovuta a quello di 2^a linea ed è quindi necessario effettuare ulteriori controlli al fine di essere certi di individuare lo strumento che ne è la causa.
- Se il laboratorio dispone di altri apparati o strumenti di misura, non inseriti nelle catene metrologiche ma dotati intrinsecamente di buona stabilità nel tempo, anch'essi possono essere coinvolti nelle verifiche intermedie previa una valutazione della loro stabilità nel tempo.
- I limiti di accettazione dei risultati possono derivare tipicamente dall'esame storico della reciproca deriva nel tempo degli strumenti campione confrontati. I dati ottenuti possono essere compensati dell'effetto di questo deriva (se la deriva è ben individuabile) per ottenere risultati



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 21 di 37

più significativi. Se non si dispongono di dati storici si può supplire utilizzando le specifiche fornite dai costruttori degli strumenti.

- Nel definire la periodicità e i punti di misura da eseguire nelle operazioni di verifica è necessario trovare un equilibrio accettabile tra l'esigenza del mantenimento di un controllo significativo delle caratteristiche metrologiche degli strumenti e quella di non richiedere un impegno troppo gravoso, in termini di tempo impiegato, al laboratorio. È da considerare che gli strumenti elettronici multifunzione possono essere, data la loro complessità, più critici rispetto ai campioni materiali quali ad esempio i resistori. Nel primo caso è opportuno che vengano eseguite verifiche almeno ogni tre mesi (specie se vi è un uso intensivo degli strumenti) e che ogni confronto coinvolga tutte le portate utilizzate dello strumento.

Al fine di mantenere sotto controllo il corretto funzionamento degli strumenti di tipo elettronico è bene prevedere l'effettuazione dei processi di self-check dello strumento preliminarmente al suo impiego.

7. L'incertezza d'uso degli strumenti campione

Con incertezza d'uso di uno strumento campione si definisce l'incertezza che si può associare all'utilizzo di un determinato strumento campione durante il periodo di validità della sua conferma metrologica.

Essa è composta da due elementi principali:

1. l'incertezza dovuta alla taratura (o messa a punto) effettuata sul campione
2. le caratteristiche metrologiche del campione

L'**incertezza dovuta alla taratura** è recuperabile dal certificato di taratura dello strumento campione. È da notare che siccome la valutazione dell'incertezza d'uso è un elemento essenziale per la valutazione dell'incertezza (contenuta nelle procedure di taratura) che a sua volta condiziona in modo significativo le tabelle di accreditamento del Centro, l'incertezza di taratura riportata in questa valutazione è obbligatoria, nel senso che il campione non può essere tarato con una incertezza peggiore di quella ipotizzata nelle procedure tecniche approvate in fase di accreditamento.

Le informazioni utilizzate per valutare le **caratteristiche metrologiche** possono provenire da diverse sorgenti:

- dati (specifiche) forniti dal costruttore;
- esame dei certificati di taratura;
- risultati di indagini sperimentali.

I dati forniti dal costruttore sono la prima base su cui impostare la valutazione dell'incertezza. Essi sono fondamentali per gli strumenti di tipo complesso (in particolare multimetri e calibratori multifunzione) in quanto l'utilizzatore non è in grado, per ragioni pratiche, di ricavare da dati sperimentali un modello alternativo delle caratteristiche metrologiche dello strumento che copra tutto il suo campo di utilizzo.

I risultati riportati nei certificati di taratura (sia dei campioni di riferimento che di quelli di lavoro) possono essere utilizzati per determinare il valore di alcune caratteristiche metrologiche specifiche degli strumenti quali deriva nel tempo, non linearità, effetto della frequenza e effetto del riscaldamento dovuto all'applicazione del segnale di misura (elevate tensioni e correnti). Rispetto ai



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 22 di 37

dati forniti dal costruttore essi hanno il vantaggio di essere riferiti allo specifico strumento o apparato e non al tipo o modello. Per poter utilizzare questa strada in particolare per la individuazione della deriva nel tempo è comunque necessario avere a disposizione un certo numero di certificati al fine di poter effettuare una valutazione affidabile.

In fase preliminare possono essere, inoltre, effettuate indagini sperimentali al fine di determinare caratteristiche metrologiche che non è possibile ricavare dai dati forniti dal costruttore o dal certificato di taratura. Queste indagini possono essere fatte dallo stesso laboratorio che utilizza lo strumento o da un altro laboratorio (per esempio quello di riferimento). Per questa via vengono tipicamente individuate componenti di incertezza quali quelle relative alla stabilità a breve termine dello strumento e ai suoi coefficienti di temperatura.

Nel caso in cui il valore del campione (o di un coefficiente di correzione impiegato per correggere il suo errore) è determinato anche mediante l'elaborazione dei dati ottenuti dalle tarature (per esempio determinazione del valore di un riferimento basandosi sulla deriva nel tempo prevista) l'incertezza d'uso comprende l'incertezza dell'elaborazione e deve essere verificata tenendo presente il meccanismo di elaborazione utilizzato.

È da notare che siccome questa incertezza è relativa a tutto il periodo compreso tra un processo di taratura e il successivo è necessario ipotizzare, come componente di incertezza dovuta alla deriva, quella massima relativa a tutto il periodo anche se, presumibilmente, lo strumento, subito dopo il processo di taratura, esegue misure con maggiore accuratezza. Nei casi in cui la deriva nel tempo del campione viene valutata e compensata mediante calcoli è ugualmente necessario utilizzare il valore massimo dell'incertezza relativa alla compensazione (più rilevante al termine del periodo di validità).

Definire l'incertezza d'uso degli strumenti campione utilizzati è un elemento essenziale per mantenere sotto controllo il processo di trasferimento della riferibilità che passa attraverso il campione. In effetti essa è utilizzata in due differenti fasi:

1. determinazione dell'incertezza dello strumento di riferimento nelle tarature che utilizzano lo strumento come campione
2. valutazione che i risultati ottenuti durante il processo di taratura dello strumento campione siano coerenti con l'incertezza d'uso ipotizzata.

È, quindi, la stessa quantità che da un lato è utilizzata e dall'altra è verificata.

In particolare nella fase 2 si controlla che le ipotesi (perché comunque sempre di questo si tratta) che si sono fatte nel corso del calcolo della incertezza d'uso sono effettive. Se l'incertezza d'uso non fosse confermata (o perché le caratteristiche metrologiche non sono state correttamente valutate o perché lo strumento si è alterato nel tempo) è necessario rivalutarla modificando di conseguenza anche il bilancio delle incertezze che utilizzano lo strumento come campione ed eventualmente la tabella di accreditamento del laboratorio.

È, inoltre, necessario verificare se il fatto ha comportato una sottostima dei valori di incertezza riportati nei certificati di taratura emessi. Se così fosse è quindi necessario segnalare la cosa ai clienti coinvolti e ripetere la taratura e quantomeno rimettere il certificato. Risulta di conseguenza evidente che bisogna evitare di sottostimare l'incertezza d'uso e questa considerazione è particolarmente rilevante per quei casi in cui non si dispone dati storici significativi sul comportamento dello strumento.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 23 di 37

L'incertezza d'uso può essere espressa come scarto tipo o, nel caso in cui si può ipotizzare una distribuzione di tipo normale, come incertezza espressa al 95 % di livello di fiducia per fornire un dato di immediata comprensione.

7.1 L'incertezza d'uso negli strumenti multifunzione

Per gli **strumenti multifunzione** utilizzati, l'incertezza d'uso viene normalmente ottenuta sommando quadraticamente:

1. le **caratteristiche metrologiche dello strumento** (deriva nel tempo, non-linearità, effetto della frequenza, effetto delle variazioni della temperatura e dell'umidità, ecc..)
2. **l'incertezza di messa a punto.**

Per valutare le **caratteristiche metrologiche** dello strumento è necessario ricorrere, almeno in prima battuta, alle specifiche di accuratezza a 1 anno dichiarate dal costruttore. Non è, in effetti, pensabile che un laboratorio possa determinare sperimentalmente queste caratteristiche (a differenza di quello che può fare per esempio per i resistori fissi) dati i vasti campi di misura in cui operano questi strumenti. È da sottolineare però che la componente di incertezza da utilizzare sono le caratteristiche effettive dello strumento e non le specifiche dichiarate dal costruttore per tutti gli strumenti di quel modello e se sperimentalmente viene dimostrato che una componente di incertezza in un determinato campo è sottovalutata o sopravvalutata, l'incertezza d'uso dovrà essere modificata di conseguenza.

Un passaggio che può risultare critico è quello dalle specifiche dichiarate dal costruttore alle corrispondenti componenti di incertezza da utilizzare in quanto in esse non è dichiarato il tipo di distribuzione e, spesso, neanche il livello di fiducia a cui si fa riferimento. Se non si hanno altri elementi su cui basarsi può risultare conveniente ipotizzare che le specifiche riportino le incertezze con un livello di fiducia del 95% con una distribuzione di tipo normale.

Un'ultima cosa di cui tenere conto è che, al fine di semplificare la valutazione delle incertezze complessive, è opportuno dichiarare l'incertezza d'uso in un campo di misura come somma quadratica di una componente assoluta e di una relativa al valore di misura. Purtroppo nella maggior parte dei casi le specifiche sono dichiarate dai costruttori come somma aritmetica (ovvero combinazione lineare) delle due componenti. Il passaggio alla somma quadratica può essere effettuato o sulla base di risultati sperimentali (sullo specifico strumento o su un numero significativo di strumenti dello stesso modello) che dimostrano che anche sommando quadraticamente le due componenti dichiarate non si sottostima le effettive caratteristiche metrologiche o aumentando il valore dichiarato dal costruttore in modo appropriato.

L'utilizzo, nel calcolo dell'incertezza d'uso, dell'**incertezza di messa a punto** e non di quella di taratura può risultare anomalo se confrontato con l'approccio classico ma deriva dal fatto che questi strumenti sono impiegati utilizzando i valori nominali da essi generati senza correzione ricavata dai risultati di taratura e i valori generati o indicati dagli strumenti sono influenzati dai coefficienti di correzione interni che sono auto determinati dallo strumento nella sua fase di messa a punto.

Nel caso in cui invece lo strumento è utilizzato correggendo le misure effettuate sulla base dei risultati ottenuti nella sua taratura, l'incertezza d'uso dello strumento è ricavata sommando quadraticamente la stabilità nel tempo, con la temperatura e l'umidità con l'incertezza di taratura (ed eventualmente con l'incertezza dell'elaborazione se la correzione è eseguita in un punto in cui lo strumento non è stato tarato).



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 24 di 37

La verifica dell'incertezza d'uso viene eseguita, tipicamente, nella taratura periodica controllando, prima di ogni eventuale messa a punto o rideterminazione del valore, che lo strumento esegua ancora misure o generi una grandezza con un errore non superiore all'incertezza d'uso prevista.

7.2 L'incertezza d'uso dei multimetri utilizzati come trasferitori di riferibilità

In alcuni casi l'incertezza d'uso ricavata come indicato precedentemente può risultare non adeguata. Se si osserva, in particolare, le strutture di riferibilità descritte nei paragrafi 4.3 e 4.4 si rileva che il multimetro è utilizzato per tarare calibratori multifunzione di elevate caratteristiche le cui specifiche di accuratezza sono pari se non migliori di quelle dei multimetri utilizzati come campioni di riferimento. Ne conseguirebbe un rilevante aumento dell'incertezza d'uso del calibratore ed un suo non giustificato declassamento.

Per evitare ciò è possibile impiegare il multimetro come trasferitore di riferibilità effettuando la taratura del calibratore entro 30 giorni dalla sua taratura, eseguendo le misure sul calibratore in corrispondenza dei punti di taratura effettuati nella verifica finale del multimetro e correggendo i risultati ottenuti sulla base degli errori riportati sul certificato di taratura del multimetro.

L'incertezza d'uso come trasferitore di riferibilità viene ottenuta sommando quadraticamente:

1. la **stabilità a 30 giorni** del multimetro
2. l'**incertezza di taratura del multimetro**.

Questa particolare incertezza d'uso del multimetro può essere utilizzata solo nelle procedure di taratura dei campioni di lavoro (2^a linea) del Centro.

8. Valutazione dei Limiti di accettazione

Come si è già accennato nel paragrafo 6.2 "Esame dei risultati della taratura" per valutare se i propri strumenti campione (di riferimento o di lavoro) funzionano correttamente (ovvero entro la loro incertezza d'uso per tutto il periodo di utilizzo) è necessario che il laboratorio controlli che i risultati ottenuti nella taratura rientrino nei limiti di accettazione.

Tipicamente questa operazione consiste nel controllo che gli strumenti campione operino all'interno delle loro incertezze d'uso al termine del periodo di validità della conferma metrologica e che, con tutta probabilità, (a valle delle eventuali operazioni di messa a punto o di rassegnazione del valore) continuerà a farlo sino alla prossima taratura/conferma metrologica.

Purtroppo la valutazione dei limiti di accettazione può rivelarsi una operazione di non così scontata effettuazione nel caso in cui (e succede spesso in questo ambito di misure) l'incertezza di taratura non è trascurabile rispetto all'incertezza associata all'impiego dello strumento. In questo caso non è chiaramente definito a livello internazionale come affrontare il problema.

La letteratura e la normativa disponibile trattano, inoltre, non della conferma metrologica di strumenti campione ma della dichiarazione di conformità a specifiche di accuratezza di uno strumento (o apparato di misura) a valle di una taratura effettuata con una data incertezza. Le due cose sono per molti versi simili ma esistono delle differenze in quanto su un proprio strumento campione il laboratorio può disporre anche di altre informazioni ricavate dalla storia dello strumento e sui risultati ottenuti, dal laboratorio stesso o da altri laboratori, su altri strumenti analoghi.



Nei prossimi tre paragrafi sarà esaminata la norma ISO 14253-1 (utilizzata in campo meccanico) e la cosiddetta tecnica del “Guardbanding” (utilizzata in campo elettrico) impiegate per la valutazione della conformità a specifiche di accuratezza e la valutazione del limite di accettazione come della compatibilità delle misure.

8.1 La norma ISO 14253-1

L'esecuzione della taratura di uno strumento consente di ottenere uno o più risultati di misura da cui si può ricavare la differenza Δ_T rispetto al valore atteso: per un misuratore si tratterà della differenza tra la sua indicazione e il valore applicato mediante il sistema di misura campione e per un generatore la differenza tra il suo valore nominale o quello assegnato (si tratta del valore utilizzato nel suo impiego) e il valore della grandezza effettivamente prodotto determinato con il sistema di misura campione.

Il valore di questa differenza deve essere quindi esaminato per decidere se lo strumento opera correttamente ovvero se esegue misurazioni o genera grandezze con l'incertezza non superiore a quella U_S (incertezza estesa) che è associata al suo utilizzo.

Eseguendo questo tipo di valutazione ci si potrà ritrovare in uno dei 4 casi tipici riportati in Fig.7. In essa Δ_{T1} , Δ_{T2} , Δ_{T3} e Δ_{T4} sono i 4 risultati di taratura, mentre U_T è l'incertezza estesa ad essi associata.

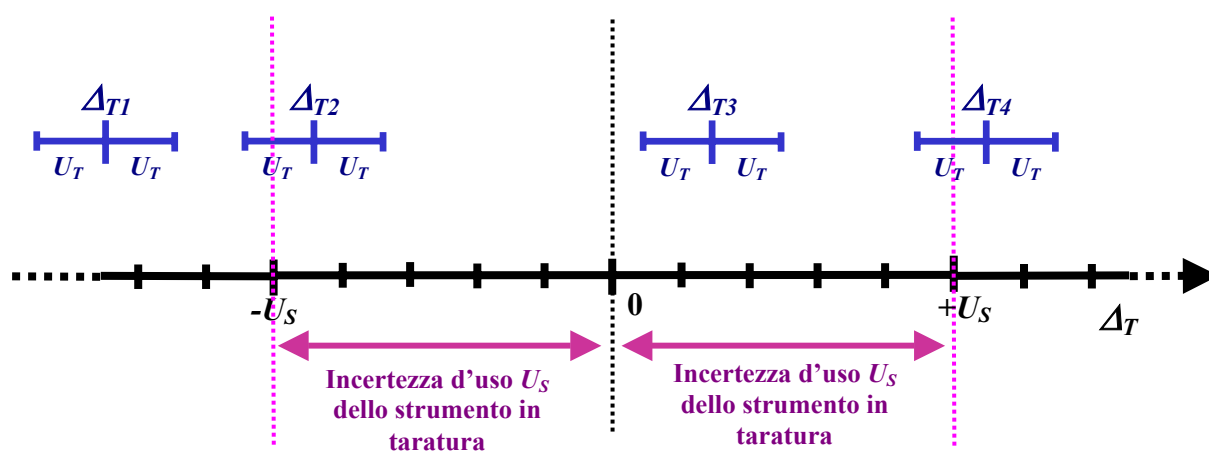


Fig. 7 Confronto del risultato della taratura con l'incertezza d'uso dello strumento

Nel caso Δ_{T1} è evidente che lo strumento in taratura non è in grado di eseguire misurazioni con l'incertezza d'uso U_S assegnata in quanto ne il valore Δ_{T1} ne i valori compresi nella sua fascia di incertezza U_T rientrano nell'intervallo tra $-U_S$ e $+U_S$.

Nel caso Δ_{T3} risulta invece assicurato il corretto funzionamento dello strumento in quanto sia il valore ottenuto, sia quelli compresi nella sua fascia di incertezza rientrano tra $-U_S$ e $+U_S$.

Nei casi Δ_{T2} e Δ_{T4} , a causa dell'incertezza di taratura U_T , non è invece possibile affermare ne che lo strumento operi secondo quanto previsto, ne il contrario,

L'approccio suggerito dalla norma ISO 14253-1 per poter valutare questo genere di risultati è sintetizzato in Fig.8. Vengono ricavati due limiti di accettazione per il valore della differenza Δ_T : $(U_S + U_T)$ che individua il limite al di sopra del quale (in valore assoluto) si è sicuri che strumento



non funzioni correttamente e $(U_S - U_T)$ che definisce il limite al disotto del quale si è, al contrario, sicuri che lo strumento funzioni correttamente.

La norma suggerisce che il limite $(U_S - U_T)$ deve essere utilizzato dal fornitore (dello strumento) per affermare che il suo strumento rientra nelle sue specifiche (U_S) mentre il limite $(U_S + U_T)$ deve essere impiegato dall'utilizzatore se vuole affermare che lo strumento non rientra nelle specifiche.

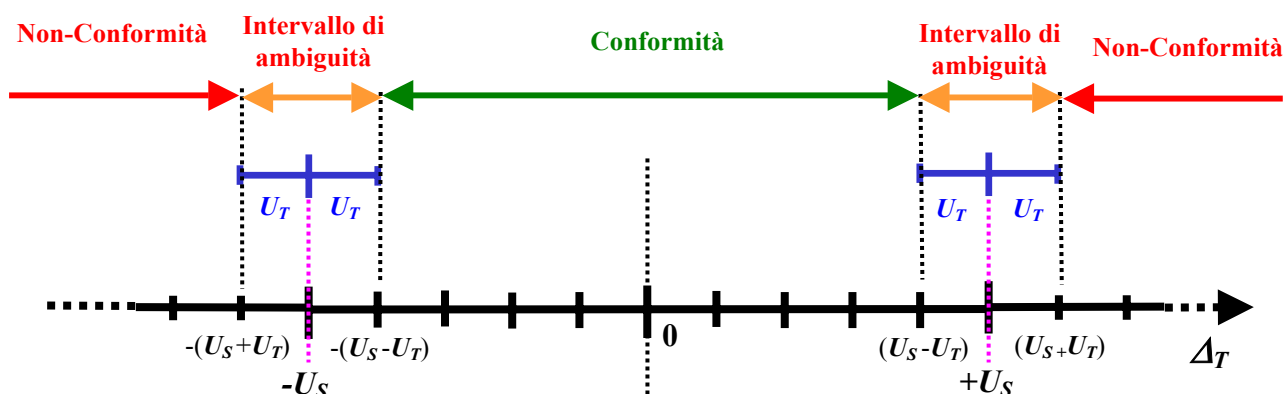


Fig. 8 Valutazione dei limiti di accettazione dei risultati di taratura secondo la norma ISO 14253-1

Questa interpretazione risulta non completamente adatta a gestire le situazioni che possono presentarsi nelle tarature effettuate su strumenti di elevata precisione in cui può succedere di ritrovarsi con una incertezza di taratura U_T pari anche solo ad $\frac{1}{2} U_S$: in questo caso l'utilizzazione del limite più ampio pari a $1,5 U_S$ può provocare l'accettazione di risultati che indicano con molta probabilità un non corretto funzionamento dello strumento, mentre l'impiego del limite più stretto pari a $0,5 U_S$ può ragionevolmente comportare numerose indicazioni di risultato non conforme quando invece lo strumento in effetti funziona correttamente ovvero entro la sua incertezza U_S .

Per utilizzare il limite di accettazione ristretto sarebbe quindi necessario ampliare U_S ovvero l'incertezza d'uso dello strumento sulla base delle incertezze del sistema campione di riferimento utilizzato nella verifica; una operazione del genere, oltre che essere penalizzante per lo strumento, si presenta macchinosa, dai principi difficilmente definibili e comunque logicamente discutibile, dato che i risultati della verifica non incidono su quella che sarà l'indicazione dello strumento al termine del processo di taratura.

8.2 Guardbanding

Nell'ambito delle misure elettriche l'effetto dell'incertezza di taratura sulle affermazioni di conformità a specifiche di accuratezza viene spesso tenuto in conto applicando la cosiddetta tecnica del Guardbanding suggerita, in particolare, dai grandi costruttori di strumentazione degli Stati Uniti. Questo approccio è simile a quello presentato nel paragrafo precedente, prevedendo il calcolo di limiti di "guardia" più ristretti, rispetto a quelli costituiti dalle specifiche da verificare, calcolati tenendo conto dell'incertezza di taratura.

Questo modo di operare è stato proposto dall'inizio degli anni novanta ma, purtroppo, sono state proposte nella letteratura numerose e diverse modalità di calcolo del limite di guardia.



- a. Calcolo del limite basandosi sul TSR (Test Specification Ratio) o TAR (Test Accuracy Ratio) ovvero il rapporto tra la specifica da verificare e la specifica di incertezza dello strumento utilizzato come campione. Sono state proposte diverse alternative per determinare il valore del limite. La più semplice prevede che se il TSR è maggiore di 4 il limite di guardia corrisponde al valore della specifica da verificare, se compreso tra 1,5 e 4 è invece pari a 0,8 della specifica.
- b. Calcolo del limite basandosi sul TUR (Test Uncertainty Ratio) ovvero il rapporto tra la specifica da verificare e l'incertezza della misura che comprende anche non solo l'incertezza del campione ma anche le componenti di incertezza derivanti dal circuito e metodo di misura e dalla definibilità dell'oggetto in taratura. L'applicazione pratica è analoga a quella del punto precedente tenendo conto che l'incertezza utilizzata per la valutazione è quella estesa.
- c. Calcolo del limite sulla base del valore dell'incertezza di misura. Il valore del limite di guardia viene ricavato sottraendo dalle specifiche da verificare il valore dell'incertezza estesa della misura. Questo approccio è analogo a quello proposto dalla norma ISO 14253-1 ma in questa interpretazione è previsto che il laboratorio possa moltiplicare, se lo ritiene opportuno sulla base delle sue conoscenze, l'incertezza estesa per un fattore che può essere inferiore a 1 riducendo i rischi di false segnalazioni di non conformità.

8.3 Limite come valutazione della compatibilità delle misure

Un altro approccio utilizzabile per controllare il corretto funzionamento di uno strumento di misura sottoposto a taratura è quello verificare se i suoi valori di misura sono compatibili con quelli forniti da sistema campione.

In questo caso la differenza Δ_T deve essere inferiore alla sua incertezza che è pari alla somma quadratica delle incertezze associate all'uso del campione e a quella dello strumento in taratura. Il valore del limite di accettazione L_C viene quindi ricavato dalla relazione:

$$L_C = \sqrt{U_S^2 + U_T^2}$$

Un limite di questo genere ci consente di affermare che non vi sono motivi i quali si possa affermare che strumento esegua misurazioni (o generi grandezze) con incertezza maggiore di quella assegnata ma non ci permette di essere sicuri che la sua incertezza sia contenuta all'interno di quella prevista. Ciò è evidente considerando che nel caso critico in cui U_T è pari a $0,5 U_S$, il limite di accettazione sarà pari in questo caso a circa $1,12 \cdot U_S$.

Pur tuttavia l'applicazione di limiti calcolati in questo modo può risultare significativo per il controllo di strumenti campione di un laboratorio di taratura tenendo conto di alcune considerazioni:

- questa modalità di valutare il limite di accettazione è sostanzialmente analoga a quella suggerita nel documento EA-2/03 *EA Interlaboratory Comparison* per il calcolo dei limiti nei confronti di misura tra laboratori; l'applicazione di una verifica di questo genere alla taratura di uno strumento campione di riferimento del laboratorio equivale all'esecuzione di un confronto di misure tra il laboratorio che utilizza lo strumento e quello di riferimento che ne esegue la taratura.
- le verifiche più significative che sono effettuate sullo strumento sono quelle che, basandosi sui risultati della taratura, consentono di concludere che lo strumento allo spirare della validità della



sua conferma metrologica è ancora in grado di assicurare l'incertezza prevista. Questo controllo è penalizzante per lo strumento in quanto esso si trova nelle sue condizioni più critiche in quanto l'errore dovuto alla deriva nel tempo è al suo massimo valore.

- per quanto riguarda gli strumenti multifunzione di precisione, la verifica sui risultati della taratura viene effettuata tipicamente su 100-150 punti di misura; se tutti i punti risultano compatibili, si può avere la fondata convinzione che il modello dello strumento proposto dal costruttore mediante le specifiche (che stanno alla base della valutazione dell'incertezza d'uso dello strumento) sia sostanzialmente valido.

8.4 Scelta del limite di accettazione da utilizzare

Come è possibile rilevare dalle considerazioni svolte precedentemente, la scelta delle modalità di valutazione dei limiti di accettazione dei risultati è un argomento delicato che deve essere affrontato con attenzione e flessibilità per non penalizzare da un lato le capacità di misura del laboratorio e per mantenere, dall'altro, una adeguata affidabilità dei risultati di misura ottenuti.

Da considerare che, in ultima analisi ciò che a noi interessa è raggiungere la fondata convinzione che il Laboratorio, utilizzando lo strumento campione, sia in grado di eseguire misure con l'incertezza prevista assegnata; come è mostrato in Fig. 8 a questo processo logico concorrono vari elementi di diverso tipo.

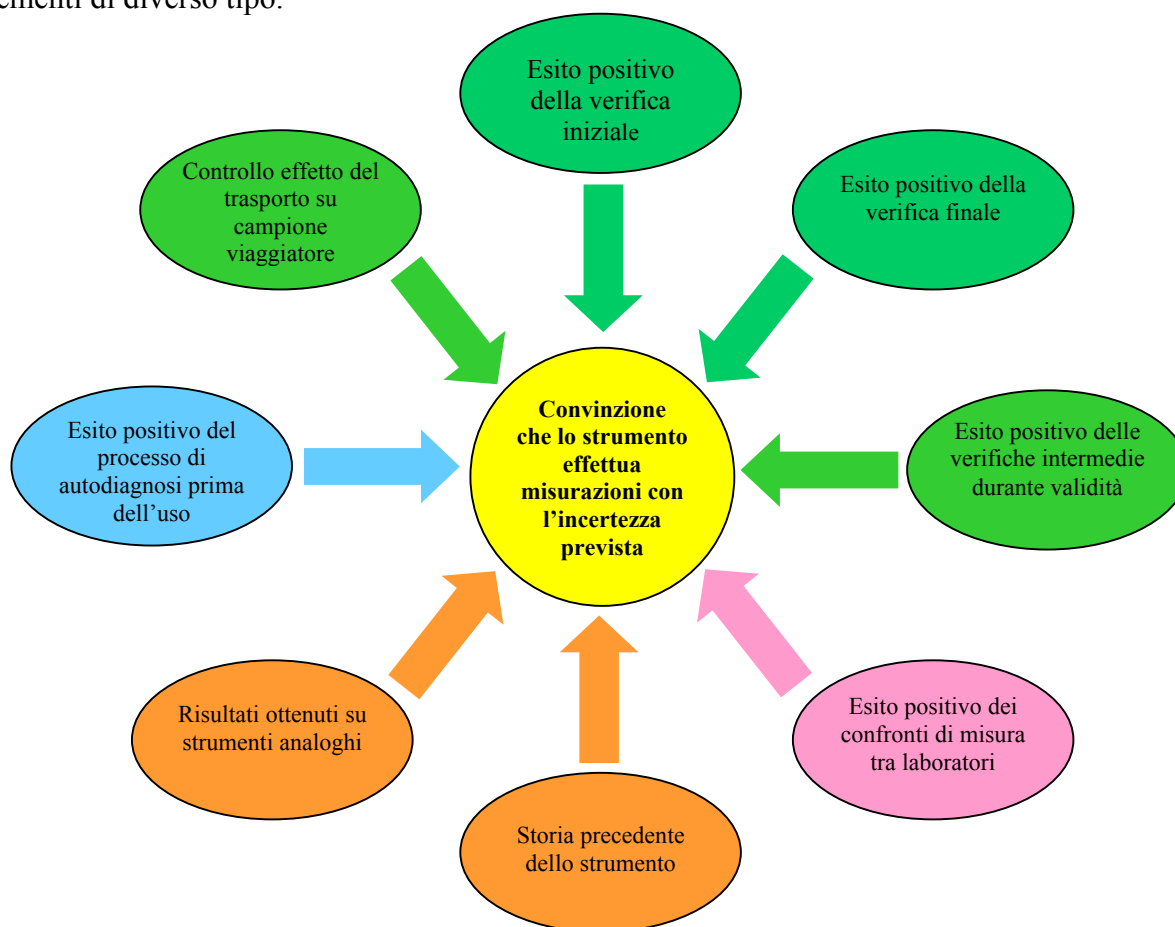


Fig. 8 Elementi di conoscenza sul comportamento dello strumento



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 29 di 37

Tenendo conto di questa considerazione, si può ritenere che un limite L_C valutato come compatibilità delle misure può essere utilmente impiegato per esaminare il risultati di taratura al fine di verificare il corretto funzionamento dello strumento campione. Se L_C viene superato esistono fondati dubbi che lo strumento non esegua misurazioni con il livello di accuratezza previsto ed è quindi necessario ridiscutere la sua incertezza d'uso

Se l'uso di L_C consente di evitare ragionevolmente false segnalazioni di non corretto funzionamento, esso non è in grado di darci la assoluta sicurezza che strumento opera all'interno dell'incertezza prevista e ciò è particolarmente vero per i campioni di valore fisso quali riferimenti di tensione continua e resistori campione su cui è eseguito un solo punto di misura.

Per questo motivo, quando il rapporto tra U_T non è trascurabile rispetto a U_S conveniente affiancare a L_C un limite più ristretto L_R che fornisca una segnalazione di criticità del risultato ovvero del permanere del dubbio che lo strumento non funzioni all'interno dell'incertezza prevista.

Valutazione del limite ristretto

Il valore del limite di accettazione ristretto L_R è ricavato moltiplicando per un fattore K_L l'incertezza estesa associata all'uso dello strumento in taratura:

$$L_R = K_L \cdot U_S$$

Il valore di questo fattore moltiplicativo dipende sia dal rapporto tra l'incertezza d'uso dello strumento e l'incertezza di taratura, sia da quale delle modalità di valutazione del limite che si decide di seguire.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di K_L ottenuti in relazione al rapporto U_S / U_T con alcuni dei possibili approcci:

Rapporto U_S / U_T	Valore di K_L			
	Approccio ①	Approccio ②	Approccio ③	Approccio ④
10 : 1	0,995	1,0	0,918	0,90
5 : 1	0,980	1,0	0,836	0,80
4 : 1	0,968	1,0	0,764	0,75
3 : 1	0,943	0,8	0,726	0,67
2,5 : 1	0,917	0,8	0,671	0,60
2 : 1	0,866	0,8	0,589	0,50
1,5 : 1	0,745	0,8	0,452	0,33

Approccio ① : Il limite viene calcolato sottraendo, in modo quadratico, U_T da U_S . Si ottiene in questo modo un limite L_R che, rispetto a U_S , è speculare al valore del limite L_C . Un approccio di questo genere consente di ottenere una buona affidabilità del meccanismo di controllo specialmente nel caso di strumenti multifunzione dove il controllo viene eseguito su diversi punti di misura.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 30 di 37

- Approccio ② : Il valore dei limiti riportati corrispondono a quelli di “guardband” suggeriti dai costruttori di strumenti multifunzione di tipo elettrico. Per rendere comparabile questo metodo con gli altri presenti in tabella si fa riferimento al calcolo del limite basato sul TUR (vedi par.8.2 b.) e si identifica la specifica di accuratezza dello strumento con la sua incertezza d’uso.
- Approccio ③ : Il limite viene calcolato sottraendo a U_S una quantità pari a $1,645 \cdot u_T$ essendo 1,645 il fattore di copertura corrispondente ad una probabilità del 90% (ipotizzando una distribuzione di tipo normale). In questo modo si può dire che se il valore assoluto dello scarto Δ_T determinato nella taratura è inferiore a L_R si ha il 95% di probabilità che Δ_T sia effettivamente inferiore U_S .
- Approccio ④ : Il limite viene calcolato sottraendo , in modo aritmetico, U_T da U_S . Si ottiene in questo modo un limite L_R calcolato in accordo alla norma ISO 14253-1.

Il documento UKAS M3003 “The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement” descrive nell’appendice M le modalità che possono essere seguite per affermare la conformità con le specifiche. Nell’appendice sono descritti metodi analoghi agli approcci ① e ③.

Nel documento l’approccio ① è suggerito per quei casi in cui il limite di specifica (può essere l’incertezza d’uso dello strumento) e l’incertezza di taratura hanno distribuzione normale e lo stesso fattore di copertura (come nel nostro caso); in relazione a questo approccio fa esplicito riferimento alla verifica della specifica di un multimetro.

L’approccio ③ è suggerito, invece, per quei casi in cui il limite di specifica è definito con distribuzione di tipo rettangolare.

La scelta del limite ristretto da utilizzare dipende anche dalla criticità della specifica situazione. Più è fuori controllo e più può essere opportuno scegliere un approccio più restrittivo. Per gli strumenti elettrici multifunzione appartenenti a tipologie conosciute, di cui si dispone di un significativo numero di certificati di taratura, può essere considerato sufficiente utilizzare dei limiti ristretti valutati con gli approcci ① o ②.

Per la verifica di strumenti meno conosciuti può essere, invece, conveniente utilizzare approcci dei tipi ③ o ④.

Valutazione del risultato

Il confronto tra le differenze Δ_T rilevate nel corso della taratura e i limiti di accettazione deve, in primo luogo, consentire di giudicare se lo strumento si è comportato come previsto nell’intervallo di tempo trascorso dalla precedente taratura. Nel caso in cui siano presenti sia il limite di compatibilità sia il limite ristretto si potrebbero quindi verificare tre diverse possibilità:

:

- 1) $\Delta_T > L_C$: l’incertezza associata all’uso dello strumento in taratura è molto probabilmente sottovalutata.
- 2) $\Delta_T < L_R$: l’incertezza associata all’uso dello strumento molto probabilmente è stata valutata correttamente.
- 3) $L_R < \Delta_T < L_C$: in questo caso non si può valutare se lo strumento esegue misurazioni (o genera grandezze) con l’incertezza prevista.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 31 di 37

Se ci si ritrovasse nel caso 3) il laboratorio dovrebbe esaminare con attenzione il risultato e giudicare se modificare l'incertezza di impiego dello strumento. Per supportare la decisione ci si può basare su:

- i risultati ottenuti a valle delle tarature precedenti (ovvero se la situazione risulta sempre critica per lo specifico punto di misura).
- i risultati ottenuti per altri punti misura che possono essere influenzati dagli stessi fattori (per esempio i punti sulla stessa portata, sulla stessa grandezza, nella stessa gamma di frequenza, ecc...).
- il fatto che Δ_T sia più vicina al limite ridotto L_R o a quello di compatibilità L_C .

Considerazioni finali sui limiti di accettazione

L'obiettivo finale che bisogna sempre tenere presente nella definizione dei limiti di accettazione è che attraverso la loro applicazione si deve raggiungere la ragionevole convinzione che lo strumento funzioni correttamente in tutto il suo campo di utilizzo per tutto il tempo che intercorre tra una taratura e la successiva.

Per migliorare l'affidabilità della verifica e delle misure effettuate è opportuno utilizzare i seguenti accorgimenti:

- Calcolare il rapporto U_S / U_T e controllare che il suo valore è non inferiore a 2 in tutti i punti di misura interessati dalla verifica.
- Nel caso in cui il rapporto U_S / U_T è pari a 2 o poco maggiore può essere conveniente allargare moderatamente il valore U_S specie se non si hanno informazioni storiche su come si comporta lo strumento.
- Per i campioni fissi è opportuno inserire i risultati di taratura ottenuti negli anni su un grafico che consenta di individuare la linea di tendenza.

Analogamente a quanto riportato per le incertezze è opportuno approssimare il valore del limite a non più di due cifre significative. A differenza dell'incertezza, il valore del limite deve essere approssimato per difetto e non per eccesso.

9. Le procedure di taratura per esterno

In questa categoria rientrano tutte le procedure che sono utilizzate dal laboratorio per effettuare la taratura di strumenti che non rappresentano un suo strumento campione e che quindi sono tipicamente utilizzate per svolgere l'attività di taratura per entità esterne al laboratorio. Esse possono essere a carattere generico riferendosi a ampie categorie di strumenti (per esempio ai misuratori di tensione continua) o specifiche in relazione o ad uno dato modello di strumento (se particolarmente significativo per il Centro) o ad una particolare tipologia di strumento complesso che richiede una più specifica e dedicata descrizione del processo di taratura.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 32 di 37

La struttura delle procedure di taratura può essere ricavata dal documento SIT Doc-523 e si articola nei seguenti punti:

1. Scopo della procedura di taratura
2. Oggetto della procedura di taratura
3. Documenti di riferimento
4. Elenco delle apparecchiature impiegate
5. Definizione del processo
6. Descrizione delle operazioni di taratura
 - a) *Condizioni di misura*
 - b) *Operazioni preliminari*
 - c) *Schema di misura*
 - d) *Esecuzione della taratura*
7. Elaborazione dei dati sperimentali
8. Valutazione delle incertezze di misura

Oltre ai punti elencati possono essere aggiunte tutte le informazioni supplementari che si ritiene opportuno inserire o per consentire una maggiore chiarezza di esposizione o per coerenza con quanto previsto dal manuale qualità (riportare per esempio i documenti di riferimento).

Nei successivi paragrafi per ogni punto elencato precedentemente si riportano alcune considerazioni in parte riprese dal Doc-523 e in parte specifiche di questa area di misura.

9.1 Scopo della procedura di taratura

In esso si riportano informazioni quali l'ambito di applicazione della procedura, la funzione assolta dalla procedura nell'ambito dello schema di riferibilità e il principio di funzionamento del metodo usato. Dovranno esser in particolare definiti i campi di misura (campo di valori e, se ci si riferisce a grandezze in corrente alternata, di frequenza) in cui può essere applicata la procedura.

9.2 Oggetto della procedura di taratura

In questo punto viene definita la tipologia di apparati di misura che possono essere tarati con la procedura. Come accennato all'inizio del paragrafo esse possono essere a carattere specifico, riferendosi ad un particolare tipo o modello di strumento, o possono essere a carattere generico riferendosi ad una ampia categoria di strumenti di misura.

La presenza di procedure di tipo generico è necessaria in quanto le tipologie di strumento la cui taratura può essere richiesta al Centro, possono essere, in questa area di misura, molto diversificate. Le principali categorie a carattere generale a cui fare riferimento sono due ovvero i misuratori e i generatori di grandezze di valore conosciuto. A questa ultima categoria appartengono sia i calibratori che i campioni materiali quali i resistori o le pile campione.

Nel contenuto del punto sono da riportare anche le eventuali limitazioni di applicazione quali ad esempio la non tarabilità di strumenti analogici o di strumenti caratterizzati da un eccessivo carico sul generatore campione.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 33 di 37

9.3 Apparecchiature impiegate

Vengono riportati tutti gli strumenti e apparati di misura utilizzati come campione, gli apparati ausiliari utilizzati e tutte le attrezzature impiegate.

Ogni elemento deve essere chiaramente identificato. Anche i cavi di misura, se dotati di specifiche caratteristiche, devono essere marchiati al fine di consentirne l'individuazione.

Se diversi elementi (campioni, apparati, attrezzature) possono essere utilizzati in alternativa tra di loro, per svolgere la stessa funzione, questa possibilità deve essere definita in modo chiaro e tutti gli elementi coinvolgibili nella taratura univocamente individuati.

9.4 Procedimento di taratura

In questo punto si descrive l'insieme del processo utilizzato individuando le operazioni da eseguire in funzione dell'oggetto in taratura e delle sue condizioni.

Per gli strumenti in taratura che contemplano la possibilità di essere messi a punto (tipicamente multimetri e calibratori) si possono utilizzare tre diverse sequenze di operazioni:

- 1) - Verifica iniziale
- Messa a punto
- Verifica finale
- 2) - Messa a punto
- Verifica di taratura
- 3) - Verifica di taratura

La sequenza 1) è quella più completa e diventa in pratica obbligatoria se si esegue la messa a punto dello strumento in taratura, in quanto, in caso non si eseguisse la verifica finale non si avrebbero informazioni su come lo strumento si comportato prima della messa a punto (nessuna informazione su quanto lo strumento deriva nel tempo) e se non si eseguisse la verifica finale il cliente non conoscerebbe lo stato di taratura del proprio strumento.

La sequenza 2) può essere utilizzata solo nei casi in cui non è significativo conoscere lo stato dello strumento prima della messa a punto come può accadere dopo la riparazione dello strumento o se lo strumento non è tarato da diversi anni.

La sequenza 3) può essere utilizzata o su esplicita richiesta del cliente o nei casi in cui si rileva che lo strumento è molto stabile e rientra ampiamente nelle specifiche dichiarate dal costruttore (per esempio ad un anno dalla precedente messa a punto gli errori misurati nella verifica iniziale rientrano nelle specifiche a 90 giorni).

9.5 Descrizione delle operazioni di misura

Nel caso in cui sullo strumento in taratura si prevede di effettuare diverse operazioni di misura (per esempio relative a diverse grandezze) è opportuno strutturare la procedura in diversi capitoli, ognuno dei quali relativo ad una specifica e ben definita operazione di misura. Ognuno di questi capitoli dovrebbe contenere le informazioni richieste ai successivi punti *b)* (se le operazioni preliminari sono diverse a seconda della taratura da eseguire), *c)* e *d)*.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 34 di 37

a) Condizioni di misura

Si indicano le condizioni fisiche dell'ambiente in cui la misurazione viene effettuata. Per esempio: la temperatura e l'umidità dell'ambiente, la temperatura del bagno termostatico in cui viene mantenuto un resistore durante la taratura.

La definizione del valore dei parametri ambientali nominali a cui viene eseguita la taratura e la relativa incertezza è rilevante anche perché incide sulle caratteristiche metrologiche dello strumento campione utilizzato. I dati riportati devono essere quindi essere coerenti con quanto ipotizzato nella valutazione dell'incertezza d'uso del (o dei) campione e con quanto definito nella descrizione dei laboratori fatta nel manuale qualità o nelle procedure allegate.

b) Operazioni preliminari

In questo punto si riportano le operazioni che permettono di controllare il corretto funzionamento degli strumenti ed eventualmente di prepararli al loro successivo utilizzo.

La descrizione dovrà dettagliatamente descrivere le operazioni preliminari eseguite sugli strumenti campione e apparati ausiliari utilizzati dal Centro per la taratura prevedendo la sospensione della taratura nel caso in cui si avesse un qualsiasi esito negativo nei test di autoverifica (self-test). Per quanto riguarda le apparecchiature in taratura, la descrizione dovrà essere dettagliata se nell'oggetto della procedura è indicato uno specifico modello di strumento e potrà invece essere meno definita nel caso in cui la procedura si riferisca alla taratura di una categoria di strumenti.

Può essere opportuno riportare in questo ambito anche le indicazioni sulle modalità di individuazione dei punti di misura da effettuare e sulla conseguente preparazione della tabella di raccolta dei risultati (un esempio della quale sarà allegata alla procedura) dovrà prevedere sia gli spazi per riportare i dati grezzi (con le eventuali ripetizioni) sia i risultati delle elaborazioni.

c) Schema di misura

Il circuito di misura utilizzato deve essere descritto in uno specifico schema che descriva tutte le connessioni elettriche da effettuare. Gli strumenti e gli apparati coinvolti nella taratura devono essere chiaramente individuati. Le connessioni devono essere descritte in modo da non lasciare adito a dubbi: i cavi devono essere descritti nella loro struttura (monofilare, coassiale, bifilare con schermo, ecc..) e con l'eventuale sigla di identificazione. Nelle connessioni agli strumenti devono essere chiaramente individuabili i morsetti interessati.

Devono essere, inoltre, individuabili le modifiche temporanee del circuito dovute ad operazioni particolari come ad esempio l'effettuazione dello zero.

Nella redazione della procedura, lo schema con il circuito di misura può essere inserito nel testo del punto successivo (operazioni di misura).

d) Operazioni di misura

Le operazioni effettuate per eseguire i punti di misura devono essere chiaramente individuate seguendo una sequenza temporale che sia eseguibile senza particolari difficoltà o dubbi da personale adeguatamente addestrato.

In questo capitolo devono essere riportati:

- Le impostazioni da realizzare preliminarmente sugli strumenti campione, sugli apparati ausiliari e sullo strumento in taratura (in funzione del punto di misura).
- Eventuali operazioni di azzeramento degli strumenti.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 35 di 37

- Le modalità di esecuzione del punto di misura specificando l'eventuale tempo di stabilizzazione e il numero delle ripetizioni.
- Le modalità di raccolta dei dati.

Dovranno essere inoltre riportate indicazioni sulle modalità utilizzate per individuazione della definibilità dello strumento in taratura. Tale informazione potrà essere anche recuperata da precedenti tarature effettuate sullo stesso tipo di strumento.

Le impostazioni e i risultati ottenuti saranno individuati con gli stessi simboli che li individuano nelle tabelle di raccolta dei risultati

9.6 *Elaborazione dei dati sperimentali*

Vengono descritte le operazioni che consentono di ricavare, partendo dai dati grezzi, i valori da riportare sul certificato di taratura.

Nel caso di un campione materiale sarà calcolato il suo valore, oppure lo scarto dal valore nominale, cioè la differenza tra il valore di misura della grandezza riprodotta dal campione e il valore nominale di questo ultimo.

Nel caso di uno strumento indicatore (misuratore), si riporteranno, in corrispondenza dei valori della grandezza applicata all'ingresso, i valori indicati dallo strumento (lettura). Nel caso in cui il valore della grandezza applicata non è un valore nominale può essere previsto, al fine di consentire una più immediata interpretazione dei risultati da parte dell'utilizzatore, di riportare come valore applicato quello nominale e di estrapolare di conseguenza l'indicazione dello strumento in taratura. Si può eseguire questa operazione se il valore effettivamente applicato non è molto differente da quello nominale e se le eventuali non linearità dello strumento in taratura non sono significative rispetto all'incertezza della misura (il valore effettivo e quello nominale devono essere compresi sulla stessa portata dello strumento in taratura).

Per ogni punto di misura effettuato sarà, quindi, opportuno ricavare l'errore dello strumento di misura al fine di consentire un immediato esame del suo stato di taratura. Esso potrà essere espresso in forma relativa (% , 10^{-6}) o assoluta.

Le letture, le grandezze misurate, le eventuali grandezze intermedie, gli errori o le correzioni saranno individuati con simboli (coerenti con quelli riportati nella tabella di raccolta dei risultati) che saranno utilizzati nelle equazioni impiegate per determinare i valori di misura del misurando.

In questo capitolo dovranno, inoltre, essere riportate le modalità per valutare l'incertezza dovuta alla definibilità dello strumento in taratura. Questa componente dovrà essere sommata, utilizzando le modalità indicate nel successivo paragrafo sul calcolo dell'incertezza, con le altre componenti di incertezza al fine di determinare l'incertezza complessiva da associare alle misure effettuate.

La definibilità del misurando potrà essere ricavata sperimentalmente o sulla base dei risultati ottenuti su analoghi strumenti o tenendo conto delle caratteristiche dello strumento (risoluzione dell'indicazione per i misuratori numerali, specifiche di stabilità a breve termine dichiarate dal costruttore, ecc...).

Le elaborazioni potranno essere eseguite mediante computer utilizzando fogli di calcolo (EXCEL). Essi potranno sostituire la tabella di raccolta dei risultati, ma, in questo caso, i fogli di calcolo dovranno oltre che essere validati, consentire la ripetizione dei punti di misura e permettere di riportare considerazioni e appunti relativi a specifiche modalità di esecuzione, anomalie riscontrate, ecc.. . Le modalità di creazione, trattamento, archiviazione e protezione dei file dovranno essere specificate o direttamente sulla procedura o su un documento di riferimento.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 36 di 37

9.7 La valutazione dell'incertezza

Un elemento essenziale di una procedura di taratura è la valutazione dell'incertezza che deve essere effettuata coerentemente con quanto riportato nel documento *Guide to the Expression of*

Uncertainty in Measurement (pubblicato per la prima volta nel 1993 a nome delle seguenti organizzazioni: BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP e OIML – Traduzione recepita in Italia come norma UNI CEI ENV 13005) e, più specificatamente, nella guida EA-4/02 emessa nel 1999 dalla EA European Accreditation (documento che è possibile ottenere in formato elettronico accedendo direttamente al sito della EA).

Come considerazione a carattere generale è possibile affermare che la valutazione dell'incertezza deve corrispondere ad un livello di fiducia di circa il 95% e può essere fatta solo a valle della definizione del modello matematico relativo alla misura effettuata. Dal modello vengono, di conseguenza, individuate le componenti di incertezza che intervengono nel processo di taratura. Per calcolare l'incertezza complessiva si deve, quindi, stimare il valore di ognuna di queste componenti. La valutazione di questi valori può essere fatta o basandosi su risultati sperimentali o su informazioni fornite da costruttori o da pubblicazioni.

Nel caso di laboratori accreditati queste valutazioni saranno in primo luogo oggetto di controllo da parte degli ispettori che devono valutare la correttezza della procedura di taratura in cui la valutazione è inserita e saranno quindi confermate mediante l'effettuazione di confronti di misure.

Per quanto riguarda l'area di misura oggetto di questo documento, si può affermare che, in genere, le componenti di incertezza da esaminare possono essere suddivise in tre categorie:

- Incertezza relativa all'utilizzo sistema di misura campione
- Incertezza dovuta al metodo e al circuito di misura
- Definibilità dell'oggetto in taratura

L'**incertezza relativa all'utilizzo sistema di misura campione** può essere relativa sia ad un unico strumento campione che a più strumenti utilizzati insieme per determinare il valore di riferimento (per esempio voltmetro e resistore per misurare una corrente).

È necessario valutare l'incertezza dovuta ad ogni campione tenendo conto che essa contiene al suo interno sia l'incertezza dovuta alla taratura (o messa a punto) effettuata sul campione sia le caratteristiche metrologiche del campione (deriva nel tempo, effetto della temperatura, non-linearità, effetto della frequenza del segnale di misura, ecc.).

Ne consegue che per poter effettuare la valutazione è necessario definire, nella procedura di taratura o in altri documenti del laboratorio, sia la periodicità di taratura sia il campo di impiego (condizioni ambientali, campi di misura) dello strumento campione, sia le modalità di trattamento dei dati ottenuti nella taratura (definizione di fattori di correzione o di una curva di taratura da impiegare nel normale utilizzo del campione).

Per consentire una maggiore chiarezza espositiva ed un maggiore controllo del processo di taratura e conferma metrologica è richiesto ai laboratori accreditati in questa area la definizione, per ogni strumento-apparato campione utilizzato, della cosiddetta "Incertezza d'uso" da definire nelle procedure di conferma metrologica del campione (vedi par.7) che definisce l'incertezza da associare all'uso di ogni singolo campione in funzione del campo di impiego e delle modalità di trattamento dei dati.

Questa componente di incertezza viene verificata periodicamente mediante le operazioni di conferma metrologica effettuate sullo strumento campione.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

STRUTTURE DI RIFERIBILITÀ E DOCUMENTAZIONE TECNICA NEI LABORATORI DI TARATURA ELETTRICI

Identificazione: SIT/Tec-015/07

Revisione: 0

Data 2007-03-06

Pagina 37 di 37

Le componenti di incertezza dovute al **metodo e al circuito di misura** sono determinate ovviamente dalle modalità, descritte nella procedura, con cui viene eseguita l'operazione di taratura. Nella maggior parte dei casi queste componenti sono di valore trascurabile rispetto alle altre componenti, ma in alcune aree di misura quali ad esempio le basse tensioni continue, le alte frequenze e gli alti valori di resistenza il loro valore può risultare niente affatto trascurabile.

Dopo aver individuato le componenti che possono influire, la determinazione del loro valore può essere effettuata mediante prove sperimentali o basandosi sulla letteratura scientifica a disposizione. La determinazione dei valori delle componenti viene eseguita una sola volta, preliminarmente alla stesura della procedura e viene verificata sperimentalmente mediante i confronti di misura. L'impegno che deve essere posto per una corretta valutazione di ogni singola componente è condizionata dal presumibile valore della componente stessa: se si ritiene che, anche nel peggiore dei casi, il valore della componente è comunque trascurabile rispetto a quello delle altre componenti può essere conveniente non approfondire la valutazione ma ipotizzare un valore sovrastimato che comunque incide in modo non rilevante sulla valore stimato dell'incertezza complessiva (al proposito vedi anche il documento ISO TR 14253-2).

La **definibilità dell'oggetto in taratura** corrisponde, a seconda dell'oggetto, alla sua stabilità a breve termine, alla ripetibilità del valore generato in funzione dell'impostazione, alla risoluzione dell'indicazione generata. Essa è una caratteristica che deve essere tenuta in conto nella valutazione dell'incertezza della taratura: il certificato di taratura deve essere innanzitutto un documento che serve all'utilizzatore dello strumento-apparato in taratura per conoscere le sue caratteristiche metrologiche e una dichiarazione di incertezza che non comprenda questa componente (basata ad esempio solo sull'incertezza dello strumento campione impiegato) può risultar fuorviante per l'utilizzatore.

Dato che con le stesse procedure tecniche il laboratorio può tarare strumenti di definibilità molto diversi (per esempio multimetri numerali a $8\frac{1}{2}$ cifre o a $3\frac{1}{2}$ cifre) la valutazione dell'incertezza da riportare sul certificato di taratura emesso deve essere effettuata di volta in volta sommando la stima di questa componente (relativa allo specifico oggetto in taratura) con le altre componenti precedentemente individuate.

Nella procedura deve essere riportata una valutazione dell'incertezza relativa al migliore strumento che può essere tarato utilizzando la procedura in modo da individuare la migliore incertezza che può essere ottenuta utilizzando la procedura. Se la procedura è quella di più alto livello del laboratorio per uno specifico campo di misura, queste incertezze concorrono ad individuare le cosiddette "Best Measurement Capabilities" (BMC) del laboratorio e di conseguenza la sua tabella di accreditamento.

Per quanto riguarda lo strumento da ipotizzare come oggetto in taratura è opportuno tenere in conto quanto riportato nel paragrafo 1.3 della guida EA-4/02 e nella successiva **APPENDIX A** in particolare al punto A4 in cui si chiarisce che lo strumento deve essere "nearly ideal" ma al contempo effettivamente esistente.

Per quanto riguarda le modalità di dichiarazione delle componenti di incertezza e specialmente della valutazione dell'**incertezza complessiva**, bisogna tenere conto che esse devono essere dichiarate con un numero di cifre significativo non eccessivo. Due cifre significative possono essere un corretto modo di dichiararle dato il livello di incertezza con cui possono essere individuate le componenti e l'incertezza complessiva. A questo proposito si consiglia di esaminare quanto riportato al paragrafo 7.2.6 della norma UNI CEI ENV 13005.