



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 1 di 24

Annotazioni:

Il presente documento è stato redatto in collaborazione con il gruppo di lavoro “Pinze amperometriche” operante all’interno del Sottocomitato STC 1 del SIT.

COPIA CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

COPIA NON CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

| | | | | |
|-----------|-------------|------------|-----------------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| 0 | Emissione | 2006-04-03 | G. La Paglia | M. Mosca |
| Revisione | Descrizione | Data | Redazione | Approvazione |



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 2 di 24

Indice

| | |
|---|----|
| 1 – Scopo | 3 |
| 2 – Campo di applicazione | 3 |
| 3 – Riferimenti | 3 |
| 4 – Considerazioni a carattere generale | 3 |
| 5 – Circuiti di misura | 4 |
| 5.1 Circuito con una sola spira | 4 |
| 5.2 Circuito con avvolgimento dotato di più spire | 7 |
| 6 – Componenti di incertezza | 9 |
| 7 – Modello per la valutazione dell'incertezza | 14 |
| 8 – Stesura delle procedure di taratura | 19 |
| 9 – Redazione dei certificati | 20 |



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 3 di 24

1 – Scopo

Lo scopo della linea guida è di fornire ai laboratori accreditati le informazioni necessarie per una corretta taratura di pinze amperometriche e trasduttori a pinza (nel seguito per semplicità saranno definiti complessivamente con il termine pinza).

La guida fornisce inoltre indicazioni sulla stesura e sui contenuti dei documenti che devono essere prodotti dal laboratorio, con specifico riferimento alla procedura di taratura e al certificato di taratura.

2 – Campo di applicazione

La guida si applica in particolare agli apparati utilizzati per la misura di forti correnti, da pochi ampere a 1000 ampere e nel campo di frequenza che va dalla continua ad un massimo di 400 Hz con particolare attenzione alle frequenze industriali.

La guida si applica sia per gli apparati di tipo a trasformatore che per quelli ad effetto Hall.

Le indicazioni riportate non sono da ritenersi esaustive per la taratura di pinze utilizzate per le misure di potenza elettrica, in quanto viene valutato solo l'errore del modulo e non vi è alcuna verifica dell'eventuale errore d'angolo.

Questa guida non affronta problemi di sicurezza e di compatibilità elettromagnetica derivanti dall'impiego di circuiti con elevate correnti.

3 – Riferimenti

- UNI CEI EN ISO/IEC 17025 “Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura” (2000).
- UNI CEI ENV 13005 “Guida all’espressione dell’incertezza di misura” (luglio 2000).
- EA-4/02 “Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration” (1999), la parte generale è tradotta in SIT Doc-519.

4 - Considerazioni a carattere generale

La taratura di pinze e trasduttori amperometrici può presentare specifiche problematiche che possono rivelarsi di non semplice e scontata soluzione.

Di fronte alla semplicità di utilizzo e al basso costo di questo tipo di apparati, il laboratorio di taratura deve valutare attentamente la ripetibilità dei risultati e fornire al cliente non solo un significativo valore dell'**errore** di misura, ma anche una attenta valutazione dell'**incertezza** da associare ad esso. Questa operazione può rivelarsi complessa e, particolarmente per gli apparati di più basso livello, di difficile compatibilità con il basso costo di questo genere di tarature.

Data l'importanza che riveste spesso l'interazione tra il circuito della corrente da misurare e il circuito magnetico della pinza è bene precisare che la **condizione ideale** a cui riferire i risultati di



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 4 di 24

taratura è: applicazione della corrente da misurare mediante un conduttore rettilineo di lunghezza infinita, posto esattamente al centro delle ganasce e in posizione perpendicolare al piano descritto dalle ganasce stesse, con conduttore di ritorno posto a distanza infinita.

I principi di funzionamento utilizzati per le pinze amperometriche sono principalmente due:

- Trasformatore di corrente
- Effetto Hall

Gli apparati che funzionano secondo il primo principio operano solo in corrente alternata e i trasduttori sono spesso privi di elettronica.

Le pinze ad effetto Hall operano sia in corrente continua che alternata, ma sono spesso di più difficile caratterizzazione essendo in esse presenti effetti quali l'isteresi e la deriva dello zero.

La riferibilità dei risultati della taratura è assicurata dalla conoscenza della corrente applicata e, per trasduttori, dalla determinazione del segnale di uscita. È da rilevare che, spesso, l'incertezza associata a queste due misure è meno rilevante dell'incertezza derivante dal processo di misura e dalla ripetibilità della pinza.

5 - Circuiti di misura

Nel suo normale utilizzo la pinza determina il valore della corrente che attraversa il conduttore posto tra le ganasce. In fase di taratura può essere riprodotta la stessa condizione circuitale applicando a un conduttore posto al centro delle ganasce (ovvero baricentro della sezione dei conduttori primari posto nel baricentro della sezione dell'apertura) una corrente di valore conosciuto e rilevando l'errore di misura dell'apparato.

In effetti l'indicazione o il segnale di uscita è proporzionale alla corrente totale che attraversa l'apertura del circuito magnetico. Essa può essere prodotta sia da un unico conduttore che da più conduttori in cui viene applicata una corrente campione di più basso valore. Sulla base di questa considerazione diversi costruttori hanno realizzato avvolgimenti (coil) appositamente utilizzabili per semplificare questo genere di tarature.

Ognuna delle due soluzioni presenta vantaggi e svantaggi, la scelta deve essere fatta basandosi sulla dotazione strumentale del laboratorio e sul campo di misura in cui si intende operare.

5.1 Circuito con una sola spira

Il circuito con una sola spira deve essere realizzato con una certa accortezza contemperando la necessità di simulare, per quanto possibile la condizione di riferimento (conduttore di corrente di dimensione infinite e ritorno della corrente anch'esso a distanza infinita) con le esigenze pratiche.

Attenzione deve essere posta alla distanza in cui viene posto il conduttore di ritorno della corrente che non deve alterare in modo rilevante il campo prodotto dal conduttore passante per il centro della pinza.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 5 di 24

Al fine di valutare e correggere l'effetto del conduttore di ritorno, risulta particolarmente utile prevedere la possibilità di poter ruotare a 360° la posizione della pinza intorno all'asse costituito dal conduttore di corrente centrale. Ciò comporta la necessità di realizzare spire abbastanza ampie che possono caricare, in modo non trascurabile gli alimentatori di corrente utilizzati.

È possibile che, in alternata, l'alimentatore della corrente di misura, caricato da questo genere di circuito, distorca la forma d'onda della corrente generata. Risulta quindi necessario verificare che questo non avvenga nel corso delle operazioni di taratura.

La condizione ideale può essere approssimata sperimentalmente realizzando circuiti con conduttori di ritorno via via più lontani dal punto in cui si trova il misuratore fino a che ruotando il misuratore stesso attorno al conduttore e allontanando i conduttori di ritorno non si ottengono variazioni della risposta della pinza significative rispetto alla ripetibilità delle misure con il riposizionamento in una determinata posizione fissa.

Tipicamente questo si ottiene quando i conduttori di ritorno sono ad una distanza minima dal misuratore di almeno 3-4 volte la massima dimensione del misuratore stesso.

Bisogna porre attenzione perché circuiti di queste dimensioni creano campi magnetici intensi anche a distanze notevoli dai conduttori.

La condizione di insensibilità al conduttore di ritorno viene più facilmente raggiunta impiegando più conduttori di ritorno posti in modo da produrre campi che fra loro tendono a cancellarsi nella zona in cui viene posto il misuratore. I migliori risultati si ottengono quando i conduttori di ritorno sono molti e posti con simmetria cilindrica rispetto al conduttore di misura (struttura semi-coassiale). Questo tipo di configurazione è favorevole anche dal punto di vista del campo magnetico generato a distanza dai conduttori e della potenza di pilotaggio richiesta dalla sorgente.

Il sistema campione utilizzato per la misura della corrente applicata può essere basato sia sull'uso di un derivatore campione che su quello di un trasformatore di corrente.

Gli strumenti di misura coinvolti nella taratura possono risentire, in regime alternato, del campo prodotto dal passaggio della corrente nella spira. È quindi opportuno allontanarli, per quanto possibile, dalla spira stessa e, specialmente per le misure con frequenza maggiore di 60 Hz, verificare che non vi siano presenti su di essi significative tensioni indotte dal passaggio della corrente (per esempio modificandone la posizione e esaminando l'effetto prodotto sul risultato della taratura).

Derivatore campione

Il sistema è costituito da un derivatore campione e da un misuratore di basse tensioni (normalmente un multimetro da banco). Esso può operare sia in continua che in alternata tenendo presente alcune accortezze:



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 6 di 24

- Il derivatore deve tarato sino alla massima corrente di utilizzo. È bene che siano effettuati più punti di misura a diverse correnti, rilevando al contempo la temperatura dell'elemento resistivo (se fattibile). L'effetto di temperatura così determinato potrà essere impiegato per la correzione del valore del derivatore e/o per la determinazione di una componente di incertezza da associare al suo uso. È da tenere presente che il valore del derivatore dipende dalla temperatura del suo elemento resistivo e non dal valore della corrente applicata e che la temperatura del derivatore può cambiare notevolmente in relazione del tempo di applicazione della corrente di misura.
- Se si vogliono effettuare misure in alternata il derivatore dovrebbe essere di tipo anti-induttivo e nel suo processo di taratura deve essere compresa anche la determinazione del modulo del valore dell'impedenza in relazione alla frequenza della corrente applicata.
- In alternata è opportuno ridurre al minimo la mutua induttanza tra il circuito voltmetrico che porta la tensione al misuratore e il circuito in cui transita la corrente di misura. Non essendo possibile ridurre oltre certi limiti il circuito di corrente, è necessario ridurre, per quanto possibile, la spira prodotta dal circuito di tensione, usando cavi coassiali e/o intrecciando i conduttori.
- Attenzione particolare deve essere posta al fatto che la tensione letta dal misuratore non deve essere eccessivamente bassa. Questo è particolarmente rilevante in alternata dove, inoltre, possono diventare rilevanti i disturbi provenienti dalla rete di alimentazione del misuratore. Per verificare che a 50 Hz tali disturbi non alterino la tensione misurata può risultare utile invertire la fase della tensione di alimentazione del circuito di corrente, scambiando i morsetti primari o secondari del trasformatore. Al fine di mantenere la tensione misurata al disopra dei valori critici può rivelarsi necessario, per il laboratorio, dotarsi di derivatori di diverso valore al fine di coprire adeguatamente il campo di misura di corrente che si intende coprire.

Trasformatore di corrente

Il trasformatore di corrente può risultare una alternativa interessante per le misure a 50 Hz. Sono, infatti facilmente reperibili, a costo contenuto, trasformatori campione di buona precisione. Per la taratura di pinze amperometriche è consigliabile utilizzare almeno un trasformatore di classe 0,2.

I vantaggi dell'uso del trasformatore rispetto a quello del derivatore sono principalmente due:

1. gli effetti dovuti al riscaldamento sono significativamente più contenuti;
2. i problemi di mutua induzione fra primario e secondario sono drasticamente ridotti.

L'uso del trasformatore di corrente consente inoltre di migliorare l'isolamento della massa del misuratore dai rumori di modo comune.

Anche in questo caso è opportuno tenere presente alcune considerazioni:

- È bene utilizzare il trasformatore vicino alla sua corrente nominale, dove l'apparato garantisce la migliore accuratezza. Può essere utilizzato comunque in modo proficuo sino al 20% del valore. Sotto al 5% è da evitare il suo uso. Può risultare conveniente dotarsi di trasformatori multirapporto in grado di coprire adeguatamente il campo di interesse.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 7 di 24

- È opportuno misurare la corrente di uscita del trasformatore applicando un derivatore di valore opportuno (se la corrente secondaria nominale è 5 A, utilizzare derivatori di valore intorno a 0,1 ohm) e quindi rilevare la tensione generata con un voltmetro. Questa soluzione è preferibile al diretto uso di un amperometro in quanto viene meglio definito il valore del carico applicato al secondario del trasformatore, i cui errori possono essere sostanzialmente condizionati da questo valore. Vi sono inoltre ragioni di sicurezza che consigliano l'uso di un derivatore, in quanto è assolutamente da evitare l'apertura anche istantanea del circuito di corrente secondario (dovuto per esempio al cambio portata dell'amperometro o all'intervento di un fusibile interno), quando vi è passaggio di corrente nel circuito primario in quanto (specialmente per i trasformatori per più alte correnti) possono generarsi, ai morsetti secondari tensioni pericolose.
- Se in fase di taratura, gli errori del trasformatore vengono determinati con lo stesso carico di utilizzo, la curva di taratura potrebbe essere utilizzata per migliorare l'accuratezza del trasformatore.

5.2 Circuito con avvolgimento dotato di più spire

Questa soluzione è particolarmente adatta ai laboratori che dispongono di calibratori in grado di generare correnti campione sino ad almeno 10 A. In effetti questi avvolgimenti sono prodotti dagli stessi costruttori che realizzano calibratori multifunzione e sono presentati come opzioni per espandere le loro capacità di misura.

Il numero di spire realizzato dagli avvolgimenti può variare da 10 a 50 spire. Con essi è quindi possibile simulare il flusso prodotto da 500 A applicando una corrente campione di 10 A.

Gli avvolgimenti di tipo commerciale sono di dimensioni alquanto ridotte e consentono una limitata stima dell'effetto del posizionamento della pinza rispetto al circuito di corrente.

La riferibilità della misura può essere ottenuta utilizzando direttamente la corrente generata da un calibratore multifunzione tarato o misurando la corrente applicata mediante un derivatore ed un voltmetro.

Alimentazione diretta mediante calibratore

È la soluzione più semplice, ma vi possono essere però dei limiti.

Il carico rappresentato da alcune pinze amperometriche può essere così rilevante da non potere essere sopportato da alcuni calibratori. Possono prodursi situazioni di "overload" che provocano l'interruzione della misura. In alcuni casi è possibile che non intervenga la protezione del calibratore, ma che la corrente alternata fornita, a causa di carico eccessivo, sia fortemente distorta.

Al fine di verificare il valore e la forma d'onda fornita dal calibratore almeno nelle situazioni più critiche in corrente alternata, il laboratorio deve disporre di un resistore da porre in serie con la corrente prodotta dal calibratore e applicata all'avvolgimento. Questa verifica può essere eseguita una sola volta per ogni modello di pinza, se non cambiano i punti di misura e se non si rilevano comportamenti anomali. Le situazioni più critiche possono presentarsi per le misure a frequenza maggiore di 60 Hz e nella taratura con correnti maggiori di 500 A di pinze che dispongono anche di basse portate di corrente.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 8 di 24

L'incertezza da assegnare alla corrente di misura è quella propria del calibratore, ma bisogna verificare che essa contenga il possibile effetto dovuto al particolare carico costituito dall'avvolgimento e dalla pinza in taratura.

Misura della corrente applicata all'avvolgimento

L'utilizzo di un sistema di misura costituito da un derivatore e da un voltmetro può consentire, rispetto al caso precedente un migliore controllo della corrente di misura applicata. Il circuito di corrente può essere alimentato non solo da un calibratore ma anche da alimentatori di corrente di maggiore potenza che possono permettere la taratura anche di pinze che inducono un elevato carico sul circuito di misura.

Anche in questo caso è consigliabile verificare la forma d'onda fornita, in alternata, dal generatore nelle situazioni di carico più critiche.

L'incertezza della corrente applicata è composta dall'incertezza del misuratore più l'incertezza del derivatore che, se usato in alternata, deve essere di tipo anti-induttivo e caratterizzato conseguentemente.

Verifica dell'avvolgimento

Pur essendo un elemento rilevante del circuito di misura, l'avvolgimento non deve essere tarato nel senso stretto in quanto può essere dato per scontato il numero di spire da cui esso è composto.

D'altro canto l'avvolgimento genera un campo magnetico (sia in condizioni imperturbate che in presenza del misuratore) la cui distribuzione spaziale può differire in maniera rilevante da quello prodotto nella condizione di riferimento ideale (vedi par. 4). Il laboratorio deve verificare di essere in grado di valutare correttamente l'incertezza introdotta da questo fatto nella taratura di pinze di vario genere.

A tale scopo è opportuno che il laboratorio partecipi, prima dell'accreditamento, a un confronto di misura con altri laboratori dotati di avvolgimenti di tipo e forma differente.

La disponibilità, presso il laboratorio di più avvolgimenti con forma e dimensioni diversi può consentire un migliore affidabilità dei risultati ottenuti.

Correzioni per gli errori sistematici

La differenza di accoppiamento fra un circuito di pratico impiego di piccole dimensioni, quale una cella compatta, ed un circuito di riferimento con dimensioni tali da renderlo assimilabile al circuito ideale, introduce un errore sistematico nella risposta dei dispositivi in taratura che dipende dallo specifico misuratore. In linea di principio, disponendo di dati nei due circuiti per un determinato misuratore, questo errore sistematico può essere corretto e quindi, dopo una taratura iniziale nei due circuiti la taratura può essere effettuata nel circuito compatto applicando la correzione.

La natura del fenomeno da cui ha origine l'errore sistematico (non idealità del circuito magnetico del misuratore) è tale che, però, la componente di incertezza derivante dall'incertezza dovuta al posizionamento rispetto ad uno specifico circuito è dello stesso ordine di grandezza dell'errore sistematico, per cui l'adozione di uno schema di correzione non produce miglioramenti significativi in termini di incertezza complessiva, in quanto l'incertezza sulla correzione è sempre dello stesso



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 9 di 24

ordine della correzione stessa, pur migliorando la qualità del risultato che in questo modo risulta più aderente ai requisiti della UNI CEI ENV 13005 (la norma prevede la correzione degli errori sistematici, dal che consegue che le distribuzioni degli errori approssimano meglio una distribuzione normale, mentre l'approssimazione è peggiore quando certi errori rilevanti rispetto all'incertezza complessiva non vengono corretti).

Questo tipo di trattamento può essere opportuno per chi intende ottimizzare la gestione di un particolare tipo di dispositivo (ad esempio costruttori di strumentazione, gestori di parchi interni di strumenti, ecc.), mentre non è consigliabile per chi esegue tarature su numerosi modelli di strumenti.

6. Componenti di incertezza

Nel corso della taratura il rilevamento dell'errore di misura della pinza può risultare alterato a causa di molteplici fattori.

Le componenti di incertezza rilevanti per questo genere di taratura possono essere così sintetizzate:

| | | |
|--|--|---|
| Strumenti campione | a) Incertezza della corrente di misura applicata | |
| | b) Incertezza nella misura del segnale di uscita | ① |
| Pinza amperometrica | c) Ripetibilità e stabilità dello zero | |
| | d) Effetto dell'isteresi | ③ |
| | e) Risoluzione del visualizzatore | ② |
| Interazione pinza - circuito | f) Effetto composto dovuto alla forma del circuito primario e al posizionamento della pinza. | |
| | g) Effetto del riscaldamento indotto dallo avvolgimento sulla pinza. | |
| Effetti particolari per le sorgenti campione, per i trasduttori e per misuratori non a valore efficace. | h) Effetto del carico applicato al segnale di uscita della pinza. | ① |
| | i) Effetto della distorsione della corrente di misura su pinze a non vero valore efficace | |
| | j) Effetto del carico sul generatore campione | ④ |

① Solo per trasduttori

② Solo per misuratori

③ Solo per pinze ad effetto Hall

④ Solo nel caso in cui la corrente campione è generata direttamente da un calibratore campione.

Mentre le componenti relative agli **strumenti campione** possono essere definite a priori, sulla base degli apparati di misura previsti nella procedura di taratura, le altre componenti devono essere valutate di volta in volta in relazione al tipo di pinza sottoposta a taratura.

La valutazione delle componenti di incertezza può essere fatta sperimentalmente, oppure basandosi su specifiche del costruttore. Le valutazioni di incertezza sperimentale effettuate su una pinza di un



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 10 di 24

determinato modello possono essere estese, in genere, su tutte le pinze di quel determinato modello tarate in tempi successivi, ovviamente se queste ultime non dimostrano comportamenti anomali o presentino alterazioni nell'aspetto fisico o di funzionamento.

È consigliabile ripetere la taratura sulla prima pinza di un determinato modello, con un diverso operatore, a distanza di ore, e verificare la compatibilità dei risultati delle due diverse tarature per controllare la validità delle componenti di incertezza valutate in particolare se l'incertezza complessiva risulta inferiore allo 0,3% della corrente nominale.

Qualora da una prima valutazione si ottengano livelli di incertezza complessiva più bassi dei seguenti è meglio ripetere le misure a distanza di tempo (gli effetti sottostimati potrebbero essere: temperatura, meccanico, stato di riferimento, instabilità proprie dell'elettronica, interazione con il campo magnetico ambientale, sia in c.a. che in c.c. - si ricorda che per le pinze c.c. il campo di fondo terrestre è circa 50 microT e genera una risposta non nulla per circuiti magnetici non ideali, dipendente dall'orientamento):

- *Dispositivi ad effetto HALL: per incertezze inferiori a 0,7% del valore nominale di portata.*
- *Con circuito in retroazione: per incertezze inferiori a 0,3% del valore nominale di portata.*
- *Dispositivi passivi a trasformatore.*
- *Circuito magnetico con simmetria di rotazione: per incertezze inferiori a 0,2% della corrente applicata.*
- *Circuito magnetico senza simmetria di rotazione:*
 - *con uscita in tensione: per incertezze inferiori a 0,2% della corrente applicata.*
 - *con uscita in corrente: per incertezze inferiori a 0,5% della corrente applicata.*

a) Incertezza associata alla misura della corrente applicata

Deriva dalle caratteristiche metrologiche del sistema campione, di generazione o di misura, previsto (vedi par.5) nella procedura di taratura.

b) Incertezza associata alla misura del segnale di uscita

Componente presente solo nella taratura dei trasduttori, può essere anch'essa determinata a priori sulla base delle caratteristiche dello strumento di misura utilizzato allo scopo.

c) Incertezza associata all'effetto della ripetibilità delle misure ed alla stabilità dello zero (definibilità dello strumento in taratura)

Questa componente è dovuta in primo luogo alla stabilità di guadagno a breve dello strumento (alcune ore) e del punto di zero da valutare in funzione del tipo di pinza. Modifiche significative nelle caratteristiche metrologiche della pinza possono essere indotte dal suo riscaldamento a causa del passaggio della corrente applicata. Valutazioni sull'incertezza introdotta dalla presenza di questo effetto possono essere effettuate ripetendo più volte le misure e verificando la differenze tra gli errori rilevati a freddo e dopo aver applicato la corrente massima per diversi minuti. I valori ricavati nella taratura di una pinza possono essere utilizzati nelle tarature successive e nella taratura di pinze dello stesso modello.

È necessario tenere conto in questa componente anche della non-ripetibilità dell'errore di misura dovuta alla non perfetta (o ripetibile) chiusura delle ganasce. Rientrano in questa componente anche



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 11 di 24

l'instabilità a breve termine della pinza (della corrente o tensione di uscita nel caso di trasduttori) e l'incertezza di lettura delle pinze con indicazione analogica (tipicamente da $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{5}$ della più piccola divisione del quadrante dello strumento).

d) Incertezza associata all'effetto dell'isteresi

Nelle pinze ad effetto Hall, nelle misure in corrente continua, è possibile spesso rilevare un andamento dell'errore, in funzione del valore della corrente di misura, che presenta un effetto di isteresi.

Il processo di taratura deve tenere conto di questo effetto e fornire all'utilizzatore, dati che consentano una corretta valutazione delle caratteristiche dello strumento. In ogni caso la sequenza dei punti effettuati deve consentire di valutare l'entità dell'effetto di isteresi. I risultati ottenuti potranno essere utilizzati in due diversi modi:

- 1) essere utilizzati nella valutazione dell'incertezza associata al punto di misura da riportare sul certificato.
- 2) essere riportati sul certificato, lasciando all'utilizzatore la responsabilità di stimarne l'effetto nell'utilizzo della pinza.

Come indicazione a carattere generale si può suggerire di adottare l'approccio 1) nei casi in cui l'effetto è contenuto e l'approccio 2) quando l'effetto è particolarmente rilevante. Le operazioni da effettuare nel corso della taratura potranno essere diverse a seconda dell'approccio prescelto.

APPROCCIO 1)

Esempio di modalità di valutazione del contributo di incertezza associato al ciclo di isteresi

La valutazione individua il massimo valore di questo contributo in quanto è effettuata al punto di zero dove l'effetto di isteresi incide maggiormente.

Mantenendo costante la posizione all'interno della cella, eseguire la seguente sequenza di operazioni:

- 1) *iniziale correzione degli zeri come previsto dal costruttore*
- 2) *ciclo con correnti continue positive (applicare un solo valore in prossimità del fondo scala positivo)*
- 3) *rilevare la lettura di zero L_{0pos}*
- 4) *ciclo con correnti continue negative (applicare un solo valore in prossimità del fondo scala negativo)*
- 5) *rilevare la lettura di zero L_{0neg}*
- 6) *ripetere altre 3 volte la sequenza indicata nei punti dall'1) al 5)*
- 7) *calcolare la media L_{0Mpos} delle 4 letture L_{0pos} e la media L_{0Mneg} delle 4 letture L_{0neg}*
- 8) *il contributo di incertezza a livello scarto tipo (considerando la semiampiezza dei valori e assumendo una distribuzione di probabilità di tipo rettangolare) espresso in forma assoluta sarà pari a :*

$$u_{ister} = \frac{(L_{0Mpos} - L_{0Mneg})}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

- 9) *la componente di incertezza u_{ister} sarà quindi sommata alle altre componenti di incertezza per calcolare l'incertezza estesa da riportare sul certificato per tutti i punti di misura.*



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 12 di 24

APPROCCIO 2)

Esempio di sequenza di operazioni

Dopo aver posto la pinza all'interno dell'avvolgimento nella posizione centrale si eseguono le seguenti operazioni:

- 1) Azzeramento della indicazione della pinza*
- 2) Applicazione delle correnti di misura positive in modo progressivamente crescente e rilevamento delle corrispondenti indicazioni della pinza.*
- 3) Riduzione della corrente di misura a zero in modo monotono e lettura dell'indicazione di zero L_{0pos} .*
- 4) Azzeramento dell'indicazione della pinza.*
- 5) Applicazione delle correnti di misura negative in modo progressivamente crescente e rilevamento delle corrispondenti indicazioni della pinza.*
- 6) Riduzione della corrente di misura a zero in modo monotono e lettura dell'indicazione di zero L_{0neg} .*
- 7) Ripetere altre 3 volte la sequenza indicata nei punti dall'1) al 6)*
- 8) Sul certificato si riporteranno i valori medi ottenuti dalle 4 curve effettuate tenendo conto nel calcolo dell'incertezza associata alla ripetibilità dei valori. Si riporteranno, inoltre, anche i valori medi L_{0Mpos} e L_{0Mneg} rilevati nel corso delle operazioni.*

Sul certificato dovrà essere inoltre precisato che l'incertezza riportata per i diversi punti di taratura non tiene conto delle eventuali alterazioni prodotte dall'effetto di isteresi.

Se ritenuto sufficiente per individuare le caratteristiche metrologiche della pinza, possono essere utilizzate sequenze di operazioni più semplificate rispetto a quella proposta. Ciò può avvenire se si conosce la tipologia di pinza in taratura (mediante risultati ottenuti sulla stessa pinza o su altre dello stesso modello) e se si eseguono tarature con numero di punti ridotto su pinze di basso livello (per esempio solo valori positivi con controllo del fondo scala negativo). In ogni caso, per ottenere risultati sufficientemente affidabili, è necessario ripetere almeno due volte il ciclo di misura.

e) Incertezza associata alla risoluzione del visualizzatore

È dovuta alla risoluzione del visualizzatore nelle pinze con indicazione numerale. La componente di incertezza è da trattare utilizzando una distribuzione di tipo rettangolare (vedere paragrafo S9 della guida EA-4/02).

f) Incertezza associata all'effetto composto dovuto alla forma del circuito primario e al posizionamento della pinza

Questa componente di incertezza è spesso la più critica in quanto è di non facile valutazione e il suo valore, in particolare per le pinze di bassa qualità, può essere il più rilevante rispetto a quelli delle altre componenti.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 13 di 24

Essa è dovuta al fatto che il circuito primario (non potendo avere dimensioni infinite) non genera un campo quale quello ipotizzato nelle condizioni di riferimento (vedi par. 4) e ciò può indurre alterazioni nell'indicazione delle pinze in quanto esse, spesso, risentono della posizione del conduttore (posto, comunque, all'interno delle proprie ganasce) percorso dalla corrente di misura e della posizione dei conduttori di ritorno della corrente.

La mancata univocità della risposta è dovuta alla non idealità del circuito magnetico del misuratore.

Con un circuito magnetico ideale la risposta del misuratore dipenderebbe soltanto dal valore della corrente che si concatena con il circuito magnetico del misuratore, mentre nel caso reale la risposta dipende in modo significativo dalla posizione reciproca fra circuito magnetico e tratto del conduttore che attraversa l'apertura e, ancora più difficile da controllare, dall'effetto della corrente che passa in altri conduttori, ed in particolare quelli di ritorno della corrente applicata che si trovano in prossimità del misuratore (l'effetto ovviamente decresce in modo sensibile con la distanza).

Si deve dunque tenere presente che il circuito primario, non potendo avere dimensioni sufficientemente grandi, genera un campo magnetico che ha una struttura diversa da quello ipotizzata nelle condizioni di riferimento (vedi par. 4). Il fenomeno comunque non è descrivibile in termini semplici viste le modalità di funzionamento del dispositivo. Questa differenza dalle condizioni assunte come di riferimento produce differenze di risposta delle pinze nei due circuiti, a pari corrente primaria (totale).

Questa componente di incertezza deve essere valutata in specifico caso per caso sulla base delle possibilità sperimentali del laboratorio (magari confrontando i risultati ottenuti con circuiti primari di forma diversa) o tenendo conto dei risultati ottenuti in confronti di misura con altri laboratori.

Per i circuiti primari sufficientemente ampi da consentire la rotazione a 360° della pinza intorno all'asse del conduttore percorso dalla corrente di misura, è possibile effettuare più misure con diversa angolazione (tipicamente 4, ogni 90°) ricavando l'errore di misura dalla media degli errori ottenuti e l'incertezza dalla dispersione dei valori e dall'effetto che piccoli spostamenti della pinza rispetto al conduttore centrale inducono sulla sua indicazione.

Se si utilizzano avvolgimenti che non consentono la rotazione a 360°, indicazioni significative sul valore di questa componente di incertezza possono essere ottenute variando, per quanto possibile, la posizione della pinza rispetto all'avvolgimento. Per essere significativo, questo genere di informazione deve essere integrato con altri tipi di informazioni:

- Risultati ottenuti, sulla stessa pinza dal laboratorio, con circuiti primari di forma diversa (quando possibile).
- Indicazioni fornite dal costruttore dell'avvolgimento (se di tipo commerciale)
- Risultati ottenuti in confronti di misura con altri laboratori che utilizzano tipi diversi di circuiti primari.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 14 di 24

- Risultati ottenuti da altri laboratori che utilizzano lo stesso tipo di avvolgimento.

Come esempio pratico di applicazione può essere riportato quello relativo all'avvolgimento Fluke mod.5500A COIL.

Il costruttore dell'avvolgimento riporta, nelle sue specifiche, che l'incertezza relativa al suo utilizzo (dovuta all'interazione tra pinza e avvolgimento) è di 0,25% se la pinza è di tipo toroidale e di 0,5% se la pinza è di tipo non toroidale.

Per la scelta tra uno dei due valori è possibile utilizzare il dato ricavato dal laboratorio variando la posizione della pinza all'interno dell'avvolgimento. Dal confronto con altri circuiti primari è possibile affermare, in questo caso, che se le misure ottenute nelle diverse posizioni producono una variazione inferiore ad 1/3 rispetto al valore relativo alla tipologia toroidale è possibile utilizzare questo valore, se invece la variazione è superiore ad 1/3 è opportuno utilizzare il valore relativo alla tipologia non toroidale.

L'operazione deve essere fatta con attenzione per evitare sottovalutazioni di questa componente di incertezza. Tra le posizioni di prova devono esserci quelle estreme e bisogna cambiare il lato di appoggio della pinza sul piano dell'avvolgimento. Se le differenze tra i risultati ottenuti sono simili ai valori di incertezza previsti per le pinze non toroidali, risulta necessario approfondire l'esame del comportamento della pinza e individuare l'effettivo valore della componente di incertezza che può essere significativamente maggiore del valore dichiarato dal costruttore.

g) Incertezza associata all'effetto del riscaldamento indotto dallo avvolgimento

È stato rilevato che il passaggio della corrente in un avvolgimento del tipo Fluke mod.5500A COIL può provocare un riscaldamento della pinza in taratura anche di 2-3 gradi Celsius rispetto al caso di un circuito di grandi dimensioni. Se dalle specifiche del costruttore della pinza risulta che il suo coefficiente di temperatura non è trascurabile è opportuno ricavare una componente di incertezza moltiplicando tra loro i due parametri. Ovviamente può essere conveniente fare questo genere di considerazioni anche se si utilizzano altri tipi di avvolgimento.

h) Incertezza associata all'effetto del carico applicato al segnale di uscita

Nei trasduttori con segnale di uscita in corrente, l'errore di misura può essere condizionato dalla resistenza di ingresso del misuratore utilizzato per determinare il valore del segnale generato. Ciò è particolarmente vero per le pinze a trasformatore di corrente, senza elettronica di uscita.

i) Incertezza associata all'effetto della distorsione della corrente di misura su pinze a non vero valore efficace

Se dalle specifiche del costruttore dovesse risultare che la pinza in taratura non è a vero valore efficace, bisognerà introdurre una componente di incertezza il cui valore sarà determinato basandosi sul principio di funzionamento della pinza e sulla distorsione della corrente di misura applicata.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 15 di 24

Le pinze che non misurano direttamente il valore efficace del segnale applicato, lo determinano dal valore medio rettificato del segnale stesso moltiplicato per un adeguato coefficiente di moltiplicazione ($\approx 1,11$).

La misura effettuata in questo modo è attendibile se la forma d'onda del segnale è sinusoidale ma può essere affetta da un significativo errore se essa è, invece, distorta. Non è possibile purtroppo correlare direttamente il valore della distorsione con l'errore prodotto in quanto esso è condizionato dal valore delle armoniche presenti e dalla loro fase rispetto alla fondamentale.

Al fine di fornire una indicazione a carattere generale del livello di incidenza del fenomeno, nella tabella seguente si riporta, in funzione del valore della armonica rispetto alla fondamentale, l'errore introdotto dalla presenza di una 2^a o di una 3^a armonica. La definizione dell'errore come un campo di valori è dovuta al fatto che esso può variare notevolmente al modificarsi della fase tra l'armonica e la fondamentale.

| Valore della armonica rispetto alla fondamentale | Errore indotto dalla distorsione | |
|--|----------------------------------|-------------------------|
| | 2 ^a armonica | 3 ^a armonica |
| 5 % | da 0 a -0,1 % | da +1,5 a -1,8 % |
| 10 % | da 0 a -0,5 % | da +2,8 a -3,8 % |
| 20 % | da -0,1 a -2,0 % | da +4,7 a -8,6 % |
| 30 % | da -0,3 a -4,4 % | da +5,6 a -14,4 % |

j) Incertezza associata all'effetto del carico sul generatore campione

Nel caso in cui si utilizza un calibratore campione per generare direttamente la corrente di misura, il carico costituito dalla pinza moltiplicato per il numero di spire dell'avvolgimento può alterare il valore della corrente generata. Normalmente questa alterazione è compresa nelle specifiche del calibratore, ma in casi particolari, questo può non avvenire ed è quindi necessario che sia verificata che il carico imposto non sia superiore a quello previsto. In caso contrario è opportuno valutare una componente di incertezza aggiuntiva.

Al fine della determinazione della specifica applicabile per il calibratore occorre tenere conto dell'impedenza di carico costituita dalla cella con il misuratore. Nel caso in cui il costruttore non preveda direttamente questa condizione di carico, il modo più sicuro di procedere è di verificarne l'effetto sperimentalmente utilizzando un derivatore di basso valore in serie alla cella. Le condizioni più critiche per l'impedenza di carico si manifestano in genere a frequenze superiori a 60 Hz.

Particolari tipi di misuratori, come quelli dotati anche di portate inferiori a 10 A, possono rendere critico questo aspetto, per cui in caso di risultati dubbi è opportuno procedere ad un'indagine sperimentale.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

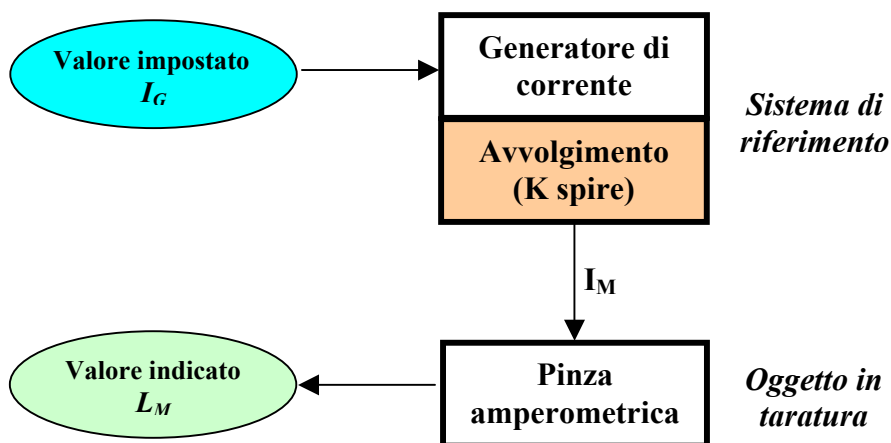
Pagina 16 di 24

7. Modello per la valutazione dell'incertezza

Il seguente esempio ipotizza la taratura di una pinza amperometrica (misuratore) a vero valore efficace del tipo ad effetto Hall, effettuata in corrente continua o alternata mediante un avvolgimento (moltiplicatore di corrente) alimentato con una corrente nota generata da un calibratore campione.

Nella elaborazione non si tiene conto dell'effetto del riscaldamento indotto dall'avvolgimento sulla pinza. Una componente di incertezza aggiuntiva dovrà essere tenuta in conto se l'influenza di questo effetto non è trascurabile.

Una schematizzazione dell'operazione di taratura viene illustrato nella figura successiva.



Taratura di pinze amperometriche

La relazione utilizzata per calcolare l'errore della pinza riportato sul certificato può essere così sintetizzata:

$$E_M = [L_m + \Delta_{ister} + \Delta_{coil} + \Delta_{stb} + \Delta_{ris}] - [N \cdot (I_G + \Delta_G)]$$

Dove:

- E_M è l'errore assoluto della pinza rilevato nella operazione di taratura;
- L_m è il valore della lettura indicato dal visualizzatore della pinza durante la taratura;
- Δ_{ister} è la correzione dovuta all'effetto dell'isteresi presente nelle pinze amperometriche in corrente continua (vedi punto **d** del par.6);
- Δ_{coil} è la correzione del valore misurato dovuta alla interazione tra l'avvolgimento e la pinza (vedi punto **f** del par.6).
- Δ_{stb} sono le correzioni dovute alla ripetibilità e alla stabilità a breve termine del misuratore (vedi punto **c** del par.6);
- Δ_{ris} è la correzione dovuta alla risoluzione del misuratore(vedi punto **e** del par.6);
- N è il fattore di moltiplicazione dell'avvolgimento (numero di spire);
- I_G è il valore di corrente impostata sul generatore campione;



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 17 di 24

Δ_G è la correzione dovuta all'errore del sistema di generazione della corrente che è influenzata da:

- la taratura e le caratteristiche metrologiche del generatore di corrente (vedi punto a del par.6);
- la correzione dovuta al carico esercitato dall'insieme pinza/avvolgimento sul generatore di corrente (vedi punto j del par.6);

Essendo le correzioni riportate sia di tipo relativo al valore di misura che di tipo assoluto l'espressione è riformulata nel modo seguente:

$$E_M = [L_m + \gamma_{ister} + (L_m \cdot \delta_{stb} + \gamma_{stb}) + (L_m \cdot \delta_{coil}) + \gamma_{ris}] - [N \cdot (I_G + I_G \cdot \delta_G + \gamma_G)]$$

$$E_M = [L_m \cdot (1 + \delta_{stb} + \delta_{coil}) + \gamma_{ister} + \gamma_{stb} + \gamma_{ris}] - [I_G \cdot (N + N \cdot \delta_G) + N \cdot \gamma_G]$$

Dove: γ_{ister} è la correzione dovuta all'effetto dell'isteresi tipico nelle pinze amperometriche in corrente continua con valore mediamente nullo e incertezza $u_{\gamma_{ister}}$ di tipo assoluto.

$\delta_{stb}, \gamma_{stb}$ sono le correzioni dovute alla stabilità a breve del misuratore (alcune ore) e del punto di zero con valori mediamente nulli e incertezze $u_{\delta_{stb}}$ e $u_{\gamma_{stb}}$ rispettivamente di tipo relativo e assoluto. Per poter quantificare questo valore si suppone di tarare un misuratore a pinza di elevate caratteristiche per calcolare la migliore incertezza del Centro. Nella fase di taratura di misuratori con caratteristiche inferiori si adeguerà il valore della componente tenendo conto dell'oggetto in taratura.

δ_{coil} è la correzione del valore misurato dovuta alla diversa indicazione rispetto alla posizione assunta dalla pinza nell'avvolgimento sia variando la stessa in senso orizzontale che inclinato, con valore nullo e incertezza di tipo relativo $u_{\delta_{coil}}$. Per poter quantificare questi valori si ipotizzerà la taratura di un misuratore a pinza di elevate caratteristiche. Nella fase di taratura di misuratori con caratteristiche inferiori si adeguerà il valore della componente tenendo conto dell'oggetto in taratura.

γ_{ris} è la correzione dovuta alla risoluzione del tarando, con valore medio nullo e incertezza di tipo assoluto $u_{\gamma_{ris}}$. Per poter quantificare questi valori si ipotizzerà la taratura di un misuratore a pinza di elevate caratteristiche. Nella fase di taratura di misuratori con caratteristiche inferiori si adeguerà il valore della componente tenendo conto dell'oggetto in taratura.

I_G è il valore impostato sul generatore di corrente di riferimento (valore pari al nominale considerato privo di incertezza);

N è il fattore di moltiplicazione dell'avvolgimento (numero di spire);

δ_G, γ_G sono le correzioni dovute sia alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del generatore di corrente di riferimento sia al carico esercitato dall'insieme pinza/avvolgimento sul generatore di corrente stesso.

Valori sono ricavati dall'incertezza d'uso del generatore stimati nella apposita procedura, con valori mediamente nulli e incertezze u_{δ_G} e u_{γ_G} rispettivamente di tipo relativo e assoluto;



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 18 di 24

Nella precedente relazione non si tiene conto della parte relativa della correzione per quanto riguarda Δ_{ris} e Δ_{ister} .

Applicando la legge di propagazione delle incertezze supponendo la completa scorrelazione di tutte le componenti sia di tipo relativo che assoluto si ottiene:

$$u_{E_M} = \left[\left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ister}} \right)^2 \cdot u_{\gamma_{ister}}^2 + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} \right)^2 \cdot u_{\delta_{stb}}^2 + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} \right)^2 \cdot u_{\gamma_{stb}}^2 + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{coil}} \right)^2 \cdot u_{\delta_{coil}}^2 + \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} \right)^2 \cdot u_{\gamma_{ris}}^2 + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_G} \right)^2 \cdot u_{\delta_G}^2 + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_G} \right)^2 \cdot u_{\gamma_G}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

essendo:

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} = L_m$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{coil}} = L_m$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ister}} = 1$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} = 1$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} = 1$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_G} = -N \cdot I_G$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_G} = -N$$

In considerazione che $N \cdot I_G \equiv I_{nom}$ (dove I_{nom} è il valore nominale della corrente applicata alla pinza) e supponendo che la lettura del misuratore non si discosti troppo dal valore nominale ovvero $L_m \approx I_{nom}$ si ottiene che l'incertezza tipo dello scarto relativo determinato nella taratura è espressa dalla seguente relazione:

$$u_{E_M} = \sqrt{u_{\delta_G}^2 \cdot I_{nom}^2 + u_{\delta_{stb}}^2 \cdot I_{nom}^2 + u_{\delta_{coil}}^2 \cdot I_{nom}^2 + u_{\gamma_{ister}}^2 + u_{\gamma_{ris}}^2 + u_{\gamma_{stb}}^2 + N^2 \cdot u_{\gamma_G}^2}$$

Raggruppando tra di loro le componenti di incertezza di tipo relativo e quelle di tipo assoluto è possibile ottenere:



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 19 di 24

$$u_{\delta E_M} = \sqrt{u_{\delta G}^2 + u_{\delta stb}^2 + u_{\delta coil}^2}$$

$$u_{\gamma E_M} = \sqrt{u_{\gamma ster}^2 + u_{\gamma ris}^2 + u_{\gamma stb}^2 + u_{\gamma NG}^2}$$

dove: $u_{\gamma NG} = N \cdot u_{\gamma G}$

L'incertezza estesa U_A espressa in forma assoluta di un determinato punto di misura potrà, quindi, essere determinata mediante la relazione:

$$U_A = k \cdot \sqrt{I_{nom}^2 \cdot u_{\delta E_M}^2 + u_{\gamma E_M}^2}$$

Dall'analisi degli effettivi gradi di libertà, ν_{eff} è possibile ricavare il fattore di copertura k che permette di ricavare l'incertezza estesa della misura con un livello di fiducia del 95%.

Nella Tabella 1 sono elencate le grandezze che intervengono nella misura e sono descritte le caratteristiche delle relative componenti di incertezza.

La Tabella 2 riporta l'impostazione che è possibile utilizzare per riportare in forma numerica le componenti di incertezza coinvolte e calcolare l'incertezza da assegnare alla taratura nello specifico punto di misura. Ipotizzando la taratura della migliore pinza amperometrica reperibile sul mercato, tale tabella, posta al termine della procedura, può essere impiegata per individuare l'incertezza di taratura da associare alla procedura stessa e (se la procedura è la migliore a disposizione per questo genere di tarature) per valutare l'incertezza da riportare sulle tabelle di accreditamento.

Per consentire una più immediata interpretazione dei valori di incertezza, sono presenti nella tabella anche le colonne $U_{\delta E_M}$ e $U_{\gamma E_M}$ ottenute moltiplicando per 2 rispettivamente $u_{\delta E_M}$ e $u_{\gamma E_M}$.

Questi valori consentono di calcolare in modo immediato l'incertezza estesa U_A nel caso della migliore pinza amperometrica reperibile (fattore di copertura $k=2$):

$$U_A = \sqrt{I_{nom}^2 \cdot U_{\delta E_M}^2 + U_{\gamma E_M}^2}$$

Se si ritiene opportuno, ai fini di una migliore comprensione, esprimere l'incertezza estesa non in modo assoluto ma in modo relativo al valore di misura, il valore U_R da riportare sul certificato può essere ricavato dalla relazione:

$$U_R = \sqrt{U_{\delta E_M}^2 + \frac{U_{\gamma E_M}^2}{I_{nom}^2}}$$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 20 di 24

Tabella 1 Descrizione delle componenti d'incertezza che intervengono nella taratura

| Grandezza | Stima | Incetezza tipo | Distribuzione | Coefficiente di sensibilità | Contributo all'inc. tipo | Gradi di libertà |
|------------------|-------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| L_m | L_m | - | - | - | - | - |
| γ_{ister} | 0 | $u_{\gamma_{ister}}$ | normale | 1 | $u_{\gamma_{ister}}$ | ∞ ② |
| δ_{stb} | 0 | $u_{\delta_{stb}}$ | normale | I_{nom} | $I_{nom} \cdot u_{\delta_{stb}}$ | ∞ ② |
| γ_{stab} | 0 | $u_{\gamma_{stab}}$ | normale | 1 | $u_{\gamma_{stab}}$ | ∞ ② |
| δ_{coil} | 0 | $u_{\delta_{coil}}$ | normale ① (rettangolare) | I_{nom} | $I_{nom} \cdot u_{\delta_{coil}}$ | ∞ |
| γ_{ris} | 0 | $u_{\gamma_{ris}}$ | rettangolare | 1 | $u_{\gamma_{ris}}$ | ∞ |
| I_G | I_G | - | - | - | - | - |
| N | N | - | - | - | - | - |
| δ_G | 0 | u_{δ_G} | normale | $-I_{nom}$ | $-I_{nom} \cdot u_{\delta_G}$ | ∞ |
| γ_G | 0 | u_{γ_G} | normale | $-N$ | $-N \cdot u_{\gamma_G}$ | ∞ |

- ① Può risultare opportuno utilizzare una distribuzione di tipo normale nel caso in cui la componente viene ricavata dal manuale dell'avvolgimento e rettangolare nel caso in cui viene determinata sperimentalmente.
- ② Si riporta un numero infinito di gradi di libertà in quanto si ipotizza che la componente di incertezza venga determinata sperimentalmente una sola volta per ogni modello di pinza in taratura.

Se, come riportato nella tabella precedentemente, i gradi di libertà di tutte le componenti di incertezza coinvolte sono pari a infinito e se non esiste una componente predominante con distribuzione rettangolare il fattore di copertura k può essere ritenuto pari a due.

Se è presente una componente predominante con distribuzione rettangolare (per esempio quella dovuta alla risoluzione della pinza) può essere utilizzato un fattore di copertura k pari a 1,65 come indicato nel paragrafo S9.14 della guida EA-4/02.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 21 di 24

Tabella 2 Valori numerici delle componenti di incertezza

| Campo di misura | Componenti d'incertezza | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|---------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Ripet. isteresi | Stabilità e ripetibilità | | Interazione pinza-avv. | Risoluz. misurat | Generatore di corrente camp. | | Incertezza composta | | Incertezza estesa | |
| | $u_{\gamma_{ster}}$ | $u_{\delta_{stb}}$ | $u_{\gamma_{stb}}$ | $u_{\delta_{coil}}$ | $u_{\gamma_{ris}}$ | $u_{\delta G}$ | $u_{\gamma KG}$ | $u_{\delta E_M}$ | $u_{\gamma E_M}$ | $U_{\delta E_M}$ | $U_{\gamma E_M}$ |
| (A) | (μA) | (10^{-3}) | (μA) | (10^{-3}) | (μA) | (10^{-3}) | (μA) | (10^{-3}) | (μA) | (10^{-3}) | (μA) |
| | | | | | | | | | | | |

8. Stesura delle procedure di taratura

Per poter effettuare la taratura di pinze amperometriche è necessario che il laboratorio accreditato predisponga e faccia approvare dal SIT procedure riguardanti specificatamente per questo genere di tarature.

In aggiunta ai normali requisiti richiesti, queste procedure devono contenere alcuni elementi specifici:

- Fare riferimento a questa linea guida anche allo scopo di semplificare e omogeneizzare il procedimento di taratura e il trattamento delle incertezze.
- Specificare nello scopo i generi di apparato che si può tarare con la procedura (Misuratori a pinza e/o trasduttori, in corrente continua e/o alternata, con principio di funzionamento a trasformatore e/o a effetto Hall). La procedura deve quindi contenere tutti gli elementi necessari per poter effettuare correttamente tutte le tarature previste. Se la procedura è relativa a diverse tipologie di pinze, distinguere le operazioni e il trattamento delle incertezze in relazione alle diverse tipologie.
- Descrizione dettagliata dei circuiti di misura utilizzati (utilizzare sequenza monotona in salita e in discesa).
- I criteri utilizzati per individuare i punti di misura da effettuare in relazione al tipo di pinza. Come indicazione generale a tale riguardo si può affermare che non è semplice individuare un modello di andamento dell'errore di misura per questo tipo di apparati in quanto in genere non c'è correlazione fra le diverse portate né in ampiezza né in frequenza. Risulta quindi consigliabile effettuare almeno 4 punti di misura per ogni portata. È, inoltre, da sottolineare la



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 22 di 24

necessità che il laboratorio verifichi, avendone la possibilità, il massimo valore misurabile dalla pinza.

- Nelle operazioni preliminari prevedere:
 1. Verifica visiva iniziale per controllare l'integrità fisica dell'apparato ed eventuale migliorare il contatto tra le ganasce della pinza (con l'eventuale rimozione della ruggine e dello sporco).
 2. Smagnetizzazione delle pinze aprendo e chiudendo più volte le ganasce.
 3. Azzeramento dell'indicazione della pinza (dove effettuabile).
 4. Verifica che il carico imposto dalla pinza non alteri la forma d'onda della corrente prodotta dal generatore.
 5. Controllo dalle specifiche del costruttore che la pinza è a vero valore efficace. Se non lo è, valutare la relativa componente di incertezza aggiuntiva.
 6. Per i trasduttori a pinza con uscita in corrente, controllo che il carico imposto dal misuratore sul segnale di uscita non alteri il risultato.
- Nelle operazioni di taratura prevedere:
 1. Modalità per la valutazione della componente di incertezza relativa all'accoppiamento tra il campo generato dalla corrente di misura e il circuito magnetico della pinza.
 2. Modalità di valutazione della ripetibilità della misura.
 3. Per le pinze ad effetto Hall prevedere, in corrente continua l'effettuazione di almeno 4 cicli di punti di misura per la valutazione dell'isteresi. Dare indicazione su come si ricavano i dati (per esempio media dei valori ottenuti) da riportare sul certificato e su come valutare la relativa componente di incertezza (per esempio semi ampiezza della massima differenza tra i valori).
 4. Indicazioni sui tempi di applicazione della corrente di misura prima del rilievo dei dati sperimentali (valore indicato dallo strumento in taratura ed, eventualmente, dallo strumento campione per la misura della corrente applicata).

Analogamente a quanto previsto nelle altre procedure, effettuare la valutazione dell'incertezza riportando le componenti di incertezza relative alla migliore pinza amperometrica che può essere tarata (vedi par.7).

9. Redazione dei certificati

In aggiunta ai normali requisiti richiesti, i certificati di taratura devono contenere alcuni elementi specifici:

- Indicazione che la taratura si riferisce alla condizione ideale consistente nella applicazione della corrente di misura mediante un conduttore rettilineo di lunghezza infinita, posto esattamente al centro delle ganasce e in posizione perpendicolare al piano descritto dalle ganasce stesse.
- Elenco delle operazioni preliminari effettuate (smagnetizzazione, azzeramento dell'indicazione, ecc..).
- Impostazioni effettuate sulla pinza (filtri, velocità di misura, ecc...).



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 23 di 24

- Modalità di valutazione dell'errore di misura e dell'incertezza, in presenza di isteresi dell'errore.
- Nel caso di trasduttori, riportare l'impedenza di ingresso del misuratore utilizzato per misurare il segnale di uscita.
- Nel caso in cui la taratura sia eseguita in corrente continua, riportare in una nota le modalità di trattamento dell'effetto dell'isteresi (vedi par.9.1). In particolare è necessario dichiarare se il valore di incertezza riportato tiene conto o meno delle alterazioni dell'indicazione che possono essere introdotte dall'effetto di isteresi. Se l'incertezza non ne tiene conto è necessario riportare, inoltre, indicazioni che consentano all'utilizzatore di stimare l'effetto di isteresi e di valutare correttamente l'incertezza associata all'impiego della pinza.

Sul certificato dovranno essere, inoltre, riportate le modalità di esecuzione della taratura. Per esempio: "Le misure sono state effettuate, sia in polarità positiva che negativa, applicando correnti di valore progressivamente crescente dopo aver azzerato l'indicazione dello strumento in condizione di corrente applicata nulla", "I valori riportati nella tabella sono la media dei risultati ottenuti in quattro successive serie di misure".

Tra le grandezze di influenza da riportare sul certificato dovranno essere presenti la temperatura ambientale e, per l'alternata, la frequenza di misura e indicazioni sulla distorsione della forma d'onda. Per le pinze che presentano un rilevante coefficiente di temperatura, sarebbe, inoltre, rilevante riportare, utilizzando un termometro a contatto, la temperatura delle ganasce.

Allo scopo di rilevare la temperatura può essere utilizzata una termocoppia con diametro dei conduttori non superiore a 0,2 mm, fissata con almeno 30 mm di nastro di carta, tarata assieme all'indicatore nella gamma 20°C - 100°C con 4 o 5 punti di misura, effettuando una correzione dell'errore del complesso, al fine di ottenere incertezze complessive di misura da 1°C a 2°C fino a 40°C (sono rilevanti i problemi di contatto termico).

Nella tabella di raccolta dei risultati della taratura è opportuno che sia riportato, in una apposita colonna, l'errore di misura dello strumento in taratura. L'errore può essere espresso sia in termini relativi che assoluti. Nel caso di misure in corrente continua risulta conveniente riportare l'errore in modo assoluto. Nel caso di trasduttori appare invece spesso preferibile (specie in corrente alternata) esprimere l'errore in modo relativo.

Esempio di tabella per la raccolta dei risultati della taratura di un misuratore a pinza in c.c.

| Corrente applicata (A) | Strumento in taratura | | Risultati di misura | |
|---------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|-------------------|
| | Portata (A) | Letture (A) | Errore (A) | Incertezza (A) |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE

Identificazione: SIT/Tec-014/06

Revisione: 0

Data 2006-04-03

Pagina 24 di 24

Esempio di tabella per la raccolta dei risultati della taratura di un trasduttore a pinza in c.a.

| Corrente applicata | | Strumento in taratura | | Risultati di misura | |
|--------------------|----------------|-----------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| Valore (A) | Frequenza (Hz) | Portata (A) | Corrente di uscita (A) | Errore ① (%) | Incertezza (%) |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

① L'errore relativo di misura dello strumento viene ricavato dalla relazione:

$$E_M = \frac{K_C \cdot I_{OUT} - I_{appl}}{I_{appl}}$$

dove: I_{OUT} è la corrente di uscita del trasduttore

I_{appl} è la corrente di misura applicata al trasduttore

K_C è il fattore di conversione nominale del trasduttore (corrente nominale di ingresso / corrente nominale di uscita)

La presenza di un'unica colonna di incertezza comporta il fatto che il Centro disponga di una specifica procedura di taratura che contempra la taratura del tipo di trasduttore in oggetto e che valuti tutte le componenti di incertezza che intervengono nella determinazione dell'errore.