



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 1 di 26

Annotazioni:

COPIA CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

COPIA NON CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

1	Revisione	2005-09-14	C. Cassiago	
0	Emissione	2005-03-02	C. Cassiago G. La Paglia	M. Mosca
Revisione	Descrizione	Data	Redazione	Approvazione



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 2 di 26

Indice

1 – Scopo	3
2 – Campo di applicazione	3
3 – Riferimenti	3
4 – Impostazione del problema e terminologia	3
5 – Caso 1: lo strumento in taratura è un generatore, il campione è un misuratore	4
5.1 – Taratura di un calibratore in tensione continua e alternata, in corrente continua e alternata e in resistenza mediante un multimetro	4
5.2 – Taratura di un calibratore in corrente continua e alternata oltre a 1 A mediante un multimetro limitato a 1 A	8
5.3 – Taratura di un calibratore in corrente alternata mediante un trasferitore AC/DC	11
6 – Caso 2: lo strumento in taratura è un misuratore, il campione è un generatore	
Taratura di un multimetro in tensione continua e alternata, in corrente continua e alternata e in resistenza mediante un calibratore	14
7 – Caso 3: lo strumento in taratura è un misuratore, il campione è un misuratore	18
7.1 – Taratura di un multimetro in tensione continua e alternata, in corrente continua e alternata e in resistenza mediante un multimetro	18
7.2 – Taratura di un multimetro in corrente continua e alternata oltre a 1 A mediante un multimetro limitato a 1 A	21
8 – Glossario dei simboli e degli acronimi	25
9 – Note	26



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 3 di 26

1 – Scopo

La presente linea guida presenta un metodo per la valutazione dell'incertezza di taratura di strumenti elettronici multifunzione con specifico riferimento a multimetri numerali e calibratori multifunzione.

2 – Campo di applicazione

Il metodo presentato, conforme a quanto contenuto nei riferimenti, è utile per la compilazione delle procedure di taratura di laboratori che intendano essere accreditati nel campo delle tarature delle grandezze elettriche. Può essere utilizzato, più genericamente, per comprendere appieno il contenuto dei certificati di taratura emessi dai Laboratori accreditati dal SIT e per il loro utilizzo nella stima dell'incertezza nelle misure elettriche.

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.

EA-10/15 “EA Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters” (2001).

UKAS M3003 “The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement (Dec 1997)”.

4 – Impostazione del problema e terminologia

Dall'esempio proposto dalla EA-4/02 e da quello della guida UKAS M3003, relativi all'uso di strumenti multifunzione in processi di misura estesi a campi di valori, si può pensare di adottare come grandezza oggetto della misurazione lo scarto relativo della grandezza elettrica in esame espresso come il rapporto tra la differenza del valore della grandezza generata/letta dal dispositivo in taratura ($UUC^{(1)}$) dal valore letto/generato dal campione di riferimento ($STD^{(2)}$), e il valore nominale della grandezza d'interesse. In questo modello le grandezze d'influenza si sommano alle parti cui si riferiscono in modo separato, ovvero si può in prima approssimazione definire lo scarto relativo come:

$$E_{UUT} = \frac{[L_{UUT} + \Delta_{UUT}] - [L_{STD} + \Delta_{STD}]}{m_{nom}} \quad (1)$$

ove: E_{UUC} = scarto relativo dello UUC;

L_{UUC} = valore della grandezza generata/letta dall'UUC;

⁽¹⁾ UUC = Unit Under Calibration.

⁽²⁾ STD = Standard.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 4 di 26

Δ_{UUC} = correzioni relative alle grandezze d'influenza del valore generato/letto dall'UUC;

L_{STD} = valore della grandezza letta/generata dallo STD;

Δ_{STD} = correzioni relative alle grandezze d'influenza del valore letto/generato dallo STD;

m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.

Tale modello può essere applicato alle tre situazioni di taratura principali che si attuano con le due classiche categorie di strumenti elettrici multifunzione, quali generatori, cui appartengono i calibratori multifunzione (MFC⁽³⁾), e misuratori, quali ad esempio i multimetri numerali (DMM⁽⁴⁾), ovvero:

- 1 - un MFC viene tarato da un DMM campione di riferimento;
- 2 - un DMM viene tarato da un MFC campione di riferimento;
- 3 - un DMM viene tarato da un DMM campione di riferimento (misura per sostituzione).

Vi è da osservare che in funzione della portata della grandezza elettrica in misura, lo STD e/o l'UUC possono essere costituiti da uno o più strumenti; ad esempio, per le misure di corrente superiori a 1 A, il misuratore può essere corredato da un derivatore di corrente (*shunt*), ed il generatore da un amplificatore.

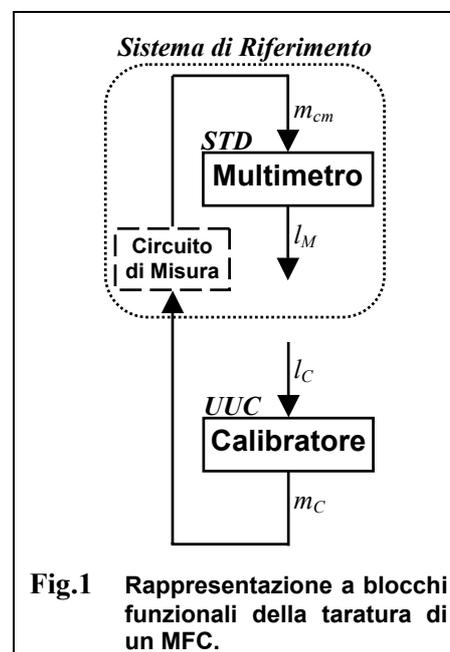
5 – Caso 1: lo strumento in taratura è un generatore, il campione è un misuratore

5.1 – Taratura di un calibratore in tensione continua e alternata, in corrente continua e alternata e in resistenza continua mediante un multimetro

La prima situazione è illustrata dalla fig.1, ove si fa l'ipotesi che all'impostazione I_C sul MFC corrisponda un valore generato m_C , che attraverso il circuito di misura si modifica nel valore m_{cm} in ingresso al DMM, cui corrisponde la lettura I_M . Se inoltre si suppone che la variazione subita da I_C in m_C sia imputabile alla stabilità a breve del termine del MFC e all'effetto di carico esercitato dal sistema di riferimento (DMM + circuito di misura), l'equazione 1 può essere trasformata nel modo seguente:

$$E_C = \frac{[I_C + \Delta_{stb} + \Delta_{crc}] - [I_M + \Delta_M + \Delta_{cm}]}{m_{nom}} \quad (2)$$

ove: E_C = scarto relativo del MFC;



⁽³⁾ MFC = Multifunction Calibrator.

⁽⁴⁾ DMM = Digital Multimeter.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 5 di 26

l_C = valore impostato sul MFC;

Δ_{stb} = correzione dovuta alla stabilità a breve termine del MFC;

Δ_{crc} = correzione dovuta al carico esercitato sul MFC dal sistema di riferimento (DMM + circuito di misura);

l_M = lettura del DMM;

Δ_M = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM;

Δ_{cm} = correzione dovuta al metodo e al circuito di misura;

m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.

Considerando però che ciascuna correzione Δ può avere un'influenza di tipo relativo e/o assoluto sui valori l_C e l_M , è possibile riformulare l'eq. 2 nel modo seguente⁽⁵⁾:

$$E_C = \frac{[l_C + (l_C \cdot \delta_{stb} + \gamma_{stb}) + l_C \cdot \delta_{crc}] - [l_M + (l_M \cdot \delta_M + \gamma_M) + (l_M \cdot \delta_{cm} + \gamma_{cm})]}{m_{nom}} = \frac{[l_C \cdot (1 + \delta_{stb} + \delta_{crc}) + \gamma_{stb}] - [l_M \cdot (1 + \delta_M + \delta_{cm}) + \gamma_M + \gamma_{cm}]}{m_{nom}} \quad (3)$$

ove: E_C = scarto relativo del MFC;

l_C = valore impostato sul MFC, pari al valore nominale e privo d'incertezza;

$\delta_{stb}, \gamma_{stb}$ = correzioni dovute alla stabilità a breve termine⁽⁶⁾ del MFC, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{stb})$ e $u(\gamma_{stb})$;

δ_{crc} = correzione dovuta al carico⁽⁷⁾ esercitato sul MFC dal sistema di riferimento (DMM + circuito di misura), con incertezza $u(\delta_{crc})$;

l_M = lettura del DMM, considerata esatta;

δ_M, γ_M = correzioni dovute alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM, con valori nulli e incertezze $u(\delta_M)$ e $u(\gamma_M)$, rispettivamente pari alle componenti di tipo relativo e assoluto dell'incertezza d'uso del DMM;

δ_{cm}, γ_{cm} = correzioni dovute al metodo e al circuito di misura⁽⁸⁾, con valore trascurabile e

⁽⁵⁾ Tutti i modelli di E_C presentati si basano sulla considerazione di completa scorrelazione di tutte le componenti δ e γ .

⁽⁶⁾ L'incertezza associata alla stabilità a breve termine dell'UUC può venire dedotta dalle specifiche strumentali a 24 ore ove possibile, altrimenti può essere valutata sperimentalmente con un numero significativo di misure acquisite in un intervallo di tempo simile a quello impiegato nel normale processo di taratura, quindi può essere espressa in due componenti in sintonia con le specifiche strumentali dichiarate dal costruttore, osservando che tali componenti possono essere presenti entrambe, o può comparirne solo una (solitamente quella associata a una correzione di tipo relativo) a seconda del modello dell'UUC, della funzione elettrica trattata e del range/valore di misura d'interesse.

L'incertezza associata a tale grandezza d'influenza, se ricavata dalle specifiche strumentali, è ovviamente di tipo B, con gradi di libertà $\nu = \infty$, mentre è di tipo A se ricavata sperimentalmente, con gradi di libertà $\nu \neq \infty$. È però possibile ricavare informazione sulla stabilità dell'UUC anche come dato storico, ovvero basandosi sul comportamento di tutti gli UUC dello stesso tipo (marca e modello, classe, etc.) che l'operatore ha tarato nel passato, di conseguenza l'incertezza associata è nuovamente di tipo B.

⁽⁷⁾ L'effetto di carico viene sempre considerato essere relativo alla grandezza generata dal MFC, e per la tipologia (A o B) dell'incertezza associata vale quanto detto alla nota precedente.

⁽⁸⁾ Per il metodo e circuito di misura si considerano genericamente due componenti correttive considerando che per:
- *tensione e corrente continua*, la grandezza d'influenza esistente è dovuta principalmente alle f.t.e.m., quindi è di tipo assoluto; l'incertezza ad essa associata è significativa per bassi valori di tensione e corrente e praticamente nulla per gli alti valori, ove potrebbero invece avere rilievo degli effetti di riscaldamento, tenuti in conto da una componente correttiva di tipo relativo con conseguente incertezza;
- *resistenza*, anche in questo caso per bassi valori di resistenza la grandezza d'influenza è dovuta principalmente alle f.t.e.m., e quindi di tipo assoluto, mentre per gli alti valori predominano effetti di tipo relativo dovuti alle resistenze d'isolamento, la cui incertezza associata risulta essere direttamente proporzionale al valore generato dal



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 6 di 26

incertezze $u(\delta_{cm})$ e $u(\gamma_{cm})$;

m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.

Applicando ora la legge di propagazione delle incertezze si ottiene:

$$u(E_C) = \left[\left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{stb}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{stb}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{crc}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{crc}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_M} \right)^2 \cdot u^2(\delta_M) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_M} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_M) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{cm}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{cm}) \right]^{1/2} \quad (4)$$

ed essendo:

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{stb}} = + \frac{l_C}{m_{nom}} \Big|_{l_C=m_{nom}} = 1 \quad (5)$$

essendo $l_C \equiv m_{nom}$, cioè pari al valore nominale,

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{stb}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{crc}} = + \frac{l_C}{m_{nom}} \Big|_{l_C=m_{nom}} = 1 \quad (7)$$

idem come sopra...

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_M} = - \frac{l_M}{m_{nom}} \Big|_{l_M \approx m_{nom}} \cong -1 \quad (8)$$

cioè supponendo che la lettura del DMM non si discosti troppo dal valore nominale,

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_M} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (9)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{cm}} = - \frac{l_M}{m_{nom}} \Big|_{l_M \approx m_{nom}} \cong -1 \quad (10)$$

idem come sopra...

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{cm}} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (11)$$

si ha quindi:

$$u(E_C) = \sqrt{u^2(\delta_{stb}) + \frac{u^2(\gamma_{stb})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{crc}) + u^2(\delta_M) + \frac{u^2(\gamma_M)}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{cm}) + \frac{u^2(\gamma_{cm})}{m_{nom}^2}} \quad (12)$$

MFC;

- *tensione e corrente alternata*, la grandezza d'influenza presente è principalmente di tipo relativo, la cui incertezza risulta avere valori trascurabili alle basse frequenze, mentre diventa rilevante alle alte frequenze; tali componenti correttive tengono conto anche dei possibili effetti di modo comune, dei disturbi provocati da interferenze di rete, dell'azione di guardie, etc..

L'incertezza associata a tale grandezza d'influenza è di tipo B, con $\nu = \infty$, in quanto parte integrante delle informazioni relative all'utilizzo dei campioni del laboratorio di misura.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 7 di 26

La tabella per il bilancio delle incertezze suggerita dalla EA-4/02 in questo caso si sdoppia a causa della complessità della situazione e della necessità di esprimere l'incertezza non su singoli valori ma su campi di misura.

In particolare la prima tabella (tab.1) serve a descrivere simbolicamente le componenti d'incertezza che concorrono alla determinazione dell'incertezza tipo dell'UUC, e dalla quale è possibile anche dedurre il fattore di copertura per esprimere l'incertezza estesa⁽⁹⁾.

La seconda tabella (tab.2) permette invece di esprimere numericamente le singole componenti d'incertezza, l'incertezza tipo e l'incertezza estesa dell'UUC per tutti i campi di misura, sulla base di quanto espresso nella tab.1. Da questa tabella è possibile inoltre dedurre i valori che concorrono alla definizione delle capacità metrologiche del centro di taratura.

Grandezza	Valore Stimato	Incertezza Tipo	Distribuzione di Probabilità	Coefficiente di Sensibilità	Contributo all'Incertezza Tipo
l_C	l_C	-	-	-	-
δ_{stb}	0	$u(\delta_{stb})$	normale	1	$u(\delta_{stb})$
γ_{stb}	0	$u(\gamma_{stb})$	normale	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{stb})}{m_{nom}}$
δ_{erc}	δ_{erc}	$u(\delta_{erc})$	normale	1	$u(\delta_{erc})$
l_M	l_M	-	-	-	-
δ_M	0	$u(\delta_M)$	normale	-1	$u(\delta_M)$
γ_M	0	$u(\gamma_M)$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_M)}{m_{nom}}$
δ_{cm}	0	$u(\delta_{cm})$	normale	-1	$u(\delta_{cm})$
γ_{cm}	0	$u(\gamma_{cm})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{cm})}{m_{nom}}$
m_{nom}	m_{nom}	-	-	-	-
E_C					$u(E_C)$

$$U(E_C) = k \cdot u(E_C)$$

Tab.1 Tabella descrittiva in modo simbolico le componenti d'incertezza dell'incertezza tipo dell'UUC e la sua incertezza estesa.

⁽⁹⁾ Il fattore di copertura k è inteso corrispondente ad un intervallo di confidenza del 95%, e dipende dalla distribuzione di probabilità attribuibile a E_C .



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 8 di 26

Campo di misura	Componenti d'incertezza										
	$u(\delta_{stb})$ (10^{-6})	$u(\gamma_{stb})$ (μX)	$u(\delta_{crc})$ (10^{-6})	$u(\delta_M)$ (10^{-6})	$u(\gamma_M)$ (μX)	$u(\delta_{cm})$ (10^{-6})	$u(\gamma_{cm})$ (μX)	$u(E_C)$ (10^{-6})	$u(E_C)$ (μX)	$U(E_C)$ (10^{-6})	$U(E_C)$ (μX)
0 ÷ 100 mX											
0,1 ÷ 1 X											
1 ÷ 10 X											
10 ÷ 100 X											
100 ÷ 1000 X											
etc.											

Tab.2 Tabella descrivente in modo numerico le componenti d'incertezza, l'incertezza tipo e l'incertezza estesa dell'UUC.

5.2 – Taratura di un calibratore in corrente continua e alternata oltre a 1 A mediante un multimetro limitato a 1 A

Il modello precedente si modifica nel caso in cui si debba fare la taratura del MFC in corrente (continua e alternata) per valori superiori a 1 A. Infatti, per tali valori può essere necessario ricorrere all'uso di uno *shunt* campione, e ciò causa la trasformazione di una misura di corrente in una misura di tensione, come illustrato dalla fig.2, ove all'impostazione I_C sul MFC corrisponde un valore di corrente generato m_C , che attraverso lo *shunt* e il circuito di misura si modifica nel valore di tensione m_{cm} (proporzionale al prodotto $m_C \cdot I_S$, ove I_S è il valore di resistenza dello *shunt*) in ingresso al DMM, cui corrisponde la lettura I_M .

Tenendo buone le considerazioni fatte in precedenza, l'eq. 2 può essere trasformata nel modo seguente:

$$E_C = \frac{[I_C + \Delta_{stb} + \Delta_{crc}] - \left[\frac{I_M + \Delta_M + \Delta_{cm}}{I_S + \Delta_S} \right]}{m_{nom}} \quad (13)$$

- ove:
- E_C = scarto relativo del MFC;
 - I_C = valore di corrente impostato sul MFC;
 - Δ_{stb} = correzione dovuta alla stabilità a breve termine del MFC;
 - Δ_{crc} = correzione dovuta al carico esercitato sul MFC dal sistema di riferimento (STD + *shunt* + circuito di misura);
 - I_M = lettura di tensione del DMM;
 - Δ_M = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM;
 - Δ_{cm} = correzione dovuta al metodo e al circuito di misura.
 - I_S = valore di resistenza dello *shunt*;
 - Δ_S = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche dello *shunt*;
 - m_{nom} = valore nominale della corrente d'interesse.

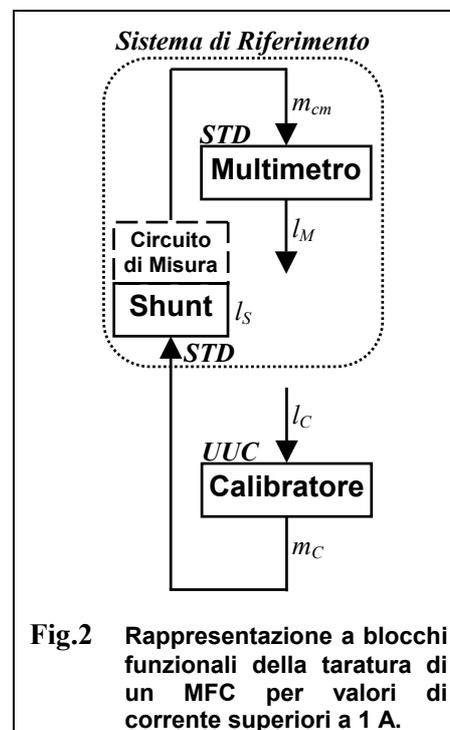


Fig.2 Rappresentazione a blocchi funzionali della taratura di un MFC per valori di corrente superiori a 1 A.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 9 di 26

Considerando sempre che ciascuna correzione Δ può essere costituita da una componente di tipo relativo e/o da una di tipo assoluto, l'eq. 13 può essere riformulata come⁽¹⁰⁾:

$$E_C = \frac{[l_C + (l_C \cdot \delta_{stb} + \gamma_{stb}) + l_C \cdot \delta_{crc}] - \left[\frac{l_M + (l_M \cdot \delta_M + \gamma_M) + (l_M \cdot \delta_{cm} + \gamma_{cm})}{l_S + l_S \cdot \delta_S} \right]}{m_{nom}} = \frac{[l_C \cdot (1 + \delta_{stb} + \delta_{crc}) + \gamma_{stb}] - \left[\frac{l_M \cdot (1 + \delta_M + \delta_{cm}) + \gamma_M + \gamma_{cm}}{l_S \cdot (1 + \delta_S)} \right]}{m_{nom}} \quad (14)$$

ove: E_C = scarto relativo del MFC;

l_C = valore di corrente impostato sul MFC, pari al valore nominale e privo d'incertezza;

$\delta_{stb}, \gamma_{stb}$ = correzioni dovute alla stabilità a breve termine⁽¹¹⁾ del MFC, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{stb})$ e $u(\gamma_{stb})$;

δ_{crc} = correzione dovuta al carico⁽¹²⁾ esercitato sul MFC dal sistema di riferimento (DMM + *shunt* + circuito di misura), con incertezza $u(\delta_{crc})$;

l_M = lettura di tensione del DMM, considerata esatta;

δ_M, γ_M = correzioni dovute alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM, con valori nulli e incertezze $u(\delta_M)$ e $u(\gamma_M)$, rispettivamente pari alle componenti di tipo relativo e assoluto dell'incertezza d'uso del DMM;

δ_{cm}, γ_{cm} = correzioni dovute al metodo e al circuito di misura⁽¹³⁾, con valore trascurabile e incertezze $u(\delta_{cm})$ e $u(\gamma_{cm})$;

l_S = valore di resistenza dello *shunt*, considerata esatta;

δ_S = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche dello *shunt*, con valore nullo e incertezza $u(\delta_S)$ pari all'incertezza d'uso dello *shunt*;

m_{nom} = valore nominale della corrente di interesse.

Con le stesse considerazioni fatte al punto precedente, si applica la legge di propagazione delle incertezze:

$$u(E_C) = \left[\left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{stb}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{stb}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{crc}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{crc}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_M} \right)^2 \cdot u^2(\delta_M) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_M} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_M) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{cm}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{cm}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_S} \right)^2 \cdot u^2(\delta_S) \right]^{1/2} \quad (15)$$

ed essendo:

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{stb}} = + \frac{l_C}{m_{nom}} \quad l_C = m_{nom} = 1 \quad (16)$$

essendo $l_C \equiv m_{nom}$, cioè pari al valore nominale,

⁽¹⁰⁾ Cfr. nota 5.

⁽¹¹⁾ Cfr. nota 6.

⁽¹²⁾ Cfr. nota 7.

⁽¹³⁾ Cfr. nota 8. In questo, inoltre, caso l'effetto dei collegamenti elettrici tra il MFC e lo *shunt* e tra lo *shunt* e il DMM, si considera esercitato interamente sul DMM.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 10 di 26

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{stb}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{crc}} = + \frac{l_C}{m_{nom}} \Big|_{l_C=m_{nom}} = 1 \quad (18)$$

idem come sopra...

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_M} = - \frac{l_M}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \Big|_{\substack{l_M \approx m_{nom} \\ l_S \\ \delta_S=0}} \cong -1 \quad (19)$$

cioè supponendo che la lettura del DMM divisa per il valore dello *shunt* non si discosti troppo dal valore nominale di corrente,

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_M} = - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \Big|_{\delta_S=0} \cong - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S} \quad (20)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{cm}} = - \frac{l_M}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \Big|_{\substack{l_M \approx m_{nom} \\ l_S \\ \delta_S=0}} \cong -1 \quad (21)$$

idem come sopra...

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{cm}} = - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \Big|_{\delta_S=0} \cong - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S} \quad (22)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_S} = \frac{l_M \cdot (1 + \delta_M + \delta_{cm}) + \gamma_M + \gamma_{cm}}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)^2} \Big|_{\substack{l_M \approx m_{nom} \\ l_S \\ \delta_M, \delta_{cm}, \delta_S=0 \\ \gamma_M, \gamma_{cm}=0}} \cong 1 \quad (23)$$

si ha quindi:

$$u(E_C) = \sqrt{u^2(\delta_{stb}) + \frac{u^2(\gamma_{stb})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{crc}) + u^2(\delta_M) + \frac{u^2(\gamma_M)}{m_{nom}^2 \cdot l_S^2} + u^2(\delta_{cm}) + \frac{u^2(\gamma_{cm})}{m_{nom}^2 \cdot l_S^2} + u^2(\delta_S)} \quad (24)$$

Il bilancio delle incertezze viene rappresentato sempre attraverso due tabelle, una di tipo qualitativo (tab.3⁽¹⁴⁾) e una di tipo quantitativo (tab.4):

⁽¹⁴⁾ Cfr. nota 9.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 11 di 26

Grandezza	Valore Stimato	Incertezza Tipo	Distribuzione di Probabilità	Coefficiente di Sensibilità	Contributo all'Incertezza Tipo
l_C	l_C	-	-	-	-
δ_{stb}	0	$u(\delta_{stb})$	normale	1	$u(\delta_{stb})$
γ_{stb}	0	$u(\gamma_{stb})$	normale	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{stb})}{m_{nom}}$
δ_{erc}	δ_{erc}	$u(\delta_{erc})$	normale	1	$u(\delta_{erc})$
l_M	l_M	-	-	-	-
δ_M	0	$u(\delta_M)$	normale	-1	$u(\delta_M)$
γ_M	0	$u(\gamma_M)$	normale	$-\frac{1}{m_{nom} \cdot l_S}$	$\frac{u(\gamma_M)}{m_{nom} \cdot l_S}$
δ_{cm}	0	$u(\delta_{cm})$	normale	-1	$u(\delta_{cm})$
γ_{cm}	0	$u(\gamma_{cm})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom} \cdot l_S}$	$\frac{u(\gamma_{cm})}{m_{nom} \cdot l_S}$
l_S	l_S	-	-	-	-
δ_S	0	$u(\delta_S)$	normale	1	$u(\delta_S)$
m_{nom}	m_{nom}	-	-	-	-
E_C					$u(E_C)$

$$U(E_C) = k \cdot u(E_C)$$

Tab.3 Tabella descrittiva in modo simbolico le componenti d'incertezza dell'incertezza tipo dell'UUC e la sua incerteza estesa.

Campo di misura	Componenti d'incerteza								$u(E_C)$		$U(E_C)$	
	$u(\delta_{stb})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{stb})$ (μX)	$u(\delta_{erc})$ (10 ⁻⁶)	$u(\delta_M)$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_M)$ (μX)	$u(\delta_{cm})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{cm})$ (μX)	$u(\delta_S)$ (10 ⁻⁶)	(10 ⁻⁶)	(μX)	(10 ⁻⁶)	(μX)
1 ÷ 10 A												
10 ÷ 100 A												
...												
1 ÷ 10 A, 40 ÷ 300 Hz												
etc.												

Tab.4 Tabella descrittiva in modo numerico le componenti d'incerteza, l'incerteza tipo e l'incerteza estesa dell'UUC.

5.3 – Taratura di un calibratore in corrente alternata mediante un trasferitore ca/cc

Il modello dell'eq. 2 cambia ulteriormente quando, per misurare la corrente alternata, si utilizza un trasferitore ca/cc (ACMS⁽¹⁵⁾) dotato dei derivatori opportuni, in unione con un generatore campione di corrente continua, come illustrato dalla fig.3.

⁽¹⁵⁾ ACMS = AC Measurement Standard



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 12 di 26

Analogamente al caso precedente non si ha più una misura diretta di corrente, ma all'impostazione riferimento, cui corrisponde la lettura l_M , che consiste solitamente nello scarto relativo del valore misurato rispetto alla corrente continua di riferimento, corrispondente all'impostazione l_G , applicata all'ACMS-*shunt*. Per tale ragione è preferibile quindi prendere come valore di misura del sistema di riferimento il valore nominale della corrente alternata m_{nom} cui sommare le grandezze d'influenza, anziché considerarne l'effettiva lettura l_M , e di conseguenza il modello matematico che si può assumere è:

$$E_C = \frac{[l_C + \Delta_{stb} + \Delta_{crc}] - [m_{nom} + \Delta_{Mlca} + \Delta_{Icc} + \Delta_{cm}]}{m_{nom}} \quad (25)$$

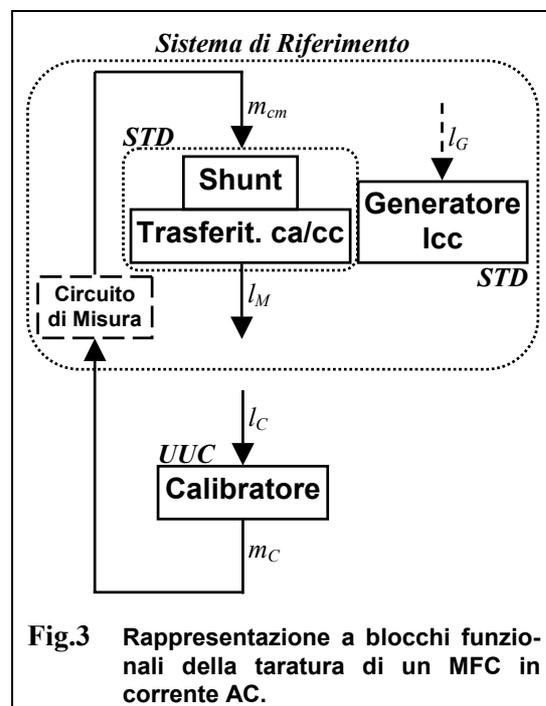
- ove:
- E_C = scarto relativo del MFC;
 - l_C = valore impostato sul MFC;
 - Δ_{stb} = correzione dovuta alla stabilità a breve termine del MFC;
 - Δ_{crc} = correzione dovuta al carico esercitato sul MFC dal sistema di riferimento (ACMS-*shunt* + circuito di misura);
 - m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.
 - Δ_{Mlca} = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche dell'ACMS-*shunt*;
 - Δ_{Icc} = correzione dovuta all'errore della I_{cc} di riferimento;
 - Δ_{cm} = correzione dovute al metodo e al circuito di misura;

Considerando sempre che ciascuna correzione Δ può essere costituita da una componente di tipo relativo e/o da una di tipo assoluto, e in base alle osservazioni fatte su tali componenti, l'eq. 25 può essere riformulata come⁽¹⁶⁾:

$$E_C = \frac{[l_C + (l_C \cdot \delta_{stb} + \gamma_{stb}) + l_C \cdot \delta_{crc}] - [m_{nom} + m_{nom} \cdot \delta_{Mlca} + (m_{nom} \cdot \delta_{Icc} + \gamma_{Icc}) + m_{nom} \cdot \delta_{cm}]}{m_{nom}} =$$

$$= \frac{[l_C \cdot (1 + \delta_{stb} + \delta_{crc}) + \gamma_{stb}] - [m_{nom} \cdot (1 + \delta_{Mlca} + \delta_{Icc} + \delta_{cm}) + \gamma_{Icc}]}{m_{nom}} \quad (26)$$

- ove:
- E_C = scarto relativo del MFC;
 - l_C = valore impostato sul MFC, pari al valore nominale e privo d'incertezza;
 - $\delta_{stb}, \gamma_{stb}$ = correzioni dovute alla stabilità a breve termine⁽¹⁷⁾ del MFC, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{stb})$ e $u(\gamma_{stb})$;
 - δ_{crc} = correzione dovuta al carico⁽¹⁸⁾ esercitato sul MFC dal sistema di riferimento (ACMS-*shunt* + circuito di misura), con incertezza $u(\delta_{crc})$;
 - m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.
 - δ_{Mlca} = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del ACMS-*shunt*, con valore nullo e incertezza $u(\delta_{Mlca})$ pari all'incertezza d'uso per la I_{ca} dell'ACMS-



⁽¹⁶⁾ Cfr. nota 5.

⁽¹⁷⁾ Cfr. nota 6.

⁽¹⁸⁾ Cfr. nota 7.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 13 di 26

shunt;

$\delta_{Icc}, \gamma_{Icc}$ = correzioni dovute all'errore della I_{cc} di riferimento, con valori trascurabili e incertezze $u(\delta_{Icc})$ e $u(\gamma_{Icc})$, rispettivamente pari alle componenti di tipo relativo e assoluto dell'incertezza d'uso del campione di riferimento in I_{cc} ;

δ_{cm} = correzioni dovute al metodo e al circuito di misura⁽¹⁹⁾, con valore trascurabile e incertezze $u(\delta_{cm})$;

Applicando anche in questo caso la legge di propagazione delle incertezze si ottiene:

$$u(E_C) = \left[\left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{stb}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{stb}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{crc}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{crc}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{Mlca}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{Mlca}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{Icc}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{Icc}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{Icc}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{Icc}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{cm}) \right]^{1/2} \quad (27)$$

ed essendo:

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{stb}} = + \frac{l_C}{m_{nom}} \Big|_{l_C=m_{nom}} = 1 \quad (28)$$

essendo $l_C \equiv m_{nom}$, cioè pari al valore nominale,

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{stb}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (29)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{crc}} = + \frac{l_C}{m_{nom}} \Big|_{l_C=m_{nom}} = 1 \quad (30)$$

idem come sopra...

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{Mlca}} = -1 \quad (31)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{Icc}} = -1 \quad (32)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \gamma_{Icc}} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (33)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \delta_{cm}} = -1 \quad (34)$$

per l'ipotesi iniziale. Di conseguenza

$$u(E_C) = \sqrt{u^2(\delta_{stb}) + \frac{u^2(\gamma_{stb})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{crc}) + u^2(\delta_{Mlca}) + u^2(\delta_{Icc}) + \frac{u^2(\gamma_{Icc})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{cm})} \quad (35)$$

Le due tabelle per il bilancio delle incertezze diventano quindi le tab. 5⁽²⁰⁾ e 6:

⁽¹⁹⁾ Cfr. nota 8.

⁽²⁰⁾ Cfr. nota 9.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 14 di 26

Grandezza	Valore Stimato	Incertezza Tipo	Distribuzione di Probabilità	Coefficiente di Sensibilità	Contributo all'Incertezza Tipo
l_C	l_C	-	-	-	-
δ_{stb}	0	$u(\delta_{stb})$	normale	1	$u(\delta_{stb})$
γ_{stb}	0	$u(\gamma_{stb})$	normale	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{stb})}{m_{nom}}$
δ_{erc}	δ_{erc}	$u(\delta_{erc})$	normale	1	$u(\delta_{erc})$
δ_{Mlca}	0	$u(\delta_{Mlca})$	normale	-1	$u(\delta_{Mlca})$
δ_{lcc}	0	$u(\delta_{lcc})$	normale	-1	$u_{\delta lcc}$
γ_{lcc}	0	$u(\gamma_{lcc})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{lcc})}{m_{nom}}$
δ_{cm}	0	$u(\delta_{cm})$	normale	-1	$u(\delta_{cm})$
m_{nom}	m_{nom}	-	-	-	-
E_C					$u(E_C)$

$$U(E_C) = k \cdot u(E_C)$$

Tab.5 Tabella descrittiva in modo simbolico le componenti d'incertezza dell'incertezza tipo dell'UUC e la sua incerteza estesa.

Campo di misura	Componenti d'incertezza							$u(E_C)$		$U(E_C)$	
	$u(\delta_{stb})$ (10^{-6})	$u(\gamma_{stb})$ (μX)	$u(\delta_{erc})$ (10^{-6})	$u(\delta_{Mlca})$ (10^{-6})	$u(\delta_{lcc})$ (10^{-6})	$u(\gamma_{lcc})$ (μX)	$u(\delta_{cm})$ (10^{-6})	(10^{-6})	(μX)	(10^{-6})	(μX)
0 ÷ 100 μA , 40 ÷ 300 Hz											
0 ÷ 100 μA , 300 Hz ÷ 1 kHz											
...											
0 ÷ 100 mA, 40 ÷ 300 Hz											
0 ÷ 100 mA, 300 Hz ÷ 1 kHz											
etc.											

Tab.6 Tabella descrittiva in modo numerico le componenti d'incertezza, l'incertezza tipo e l'incertezza estesa dell'UUC.

6 – Caso 2: lo strumento in taratura è un misuratore, il campione è un generatore

Taratura di un multimetro in tensione continua e alternata, in corrente continua e alternata e in resistenza mediante un calibratore

La seconda situazione di taratura è illustrata dalla fig.4, ove si fa sempre l'ipotesi che all'impostazione l_C sul MFC corrisponda un valore generato m_C , che attraverso il circuito di misura si modifica nel valore m_{cm} in ingresso al DMM, cui corrisponde la lettura l_M . In questo caso inoltre si suppone che la variazione subita da l_C in m_C sia imputabile alle caratteristiche metrologiche del MFC, alla sua taratura, all'effetto di carico esercitato dal DMM più il circuito di misura, mentre la discrepanza tra il valore m_{cm} in ingresso al DMM e la sua lettura l_M si suppone sia imputabile, oltre che al metodo e al circuito di misura, anche alla stabilità a breve del termine del DMM e alla sua



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 15 di 26

risoluzione. In base a tutto ciò l'equazione 1 può essere trasformata nel modo seguente:

$$E_M = \frac{[l_M + \Delta_{stb} + \Delta_{ris}] - [l_C + \Delta_C + \Delta_{crc} + \Delta_{cm}]}{m_{nom}} \quad (36)$$

ove: E_M = scarto relativo del DMM;

l_M = lettura del DMM;

Δ_{stb} = correzione dovuta alla stabilità a breve termine del DMM;

Δ_{ris} = correzione dovuta alla risoluzione del DMM;

l_C = valore impostato sul MFC;

Δ_C = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del MFC;

Δ_{crc} = correzione dovuta al carico esercitato sul MFC dal circuito di misura più il DMM;

Δ_{cm} = correzione dovute al metodo e al circuito di misura.

m_{nom} = valore nominale della corrente d'interesse.

Con le stesse considerazioni fatte nel caso 1 sulle correzioni Δ , è possibile riformulare l'eq. 36 nel modo seguente⁽²¹⁾:

$$E_M = \frac{[l_M + (l_M \cdot \delta_{stb} + \gamma_{stb}) + \gamma_{ris}] - [l_C + (l_C \cdot \delta_C + \gamma_C) + l_C \cdot \delta_{crc} + (l_C \cdot \delta_{cm} + \gamma_{cm})]}{m_{nom}} = \frac{[l_M \cdot (1 + \delta_{stb}) + \gamma_{stb} + \gamma_{ris}] - [l_C \cdot (1 + \delta_C + \delta_{crc} + \delta_{cm}) + \gamma_C + \gamma_{cm}]}{m_{nom}} \quad (37)$$

ove: E_M = scarto relativo del DMM;

l_M = lettura del DMM, considerata esatta;

$\delta_{stb}, \gamma_{stb}$ = correzioni dovute alla stabilità a breve termine⁽²²⁾ del DMM, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{stb})$ e $u(\gamma_{stb})$;

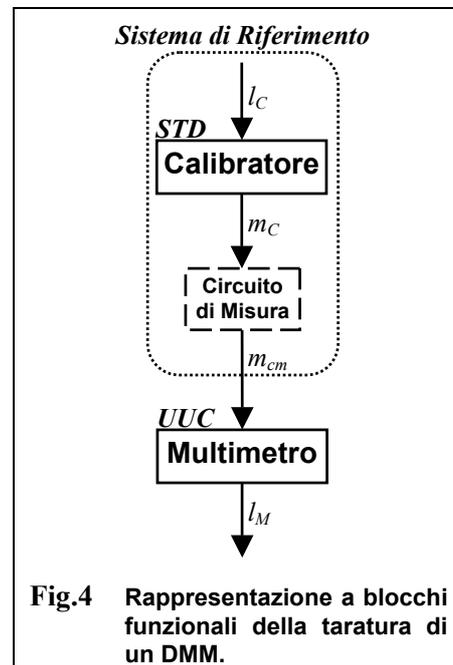
γ_{ris} = correzione dovuta alla risoluzione⁽²³⁾ del DMM, con valore nullo e incertezza $u(\gamma_{ris})$;

l_C = valore impostato sul MFC, pari al valore nominale e privo d'incertezza;

δ_C, γ_C = correzioni dovute alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del MFC, con valori nulli e incertezze $u(\delta_C)$ e $u(\gamma_C)$, rispettivamente pari alle componenti di tipo relativo e assoluto dell'incertezza d'uso del MFC;

δ_{crc} = correzione dovuta al carico esercitato⁽²⁴⁾ sul MFC dal DMM più circuito di misura, con incertezza $u(\delta_{crc})$;

δ_{cm}, γ_{cm} = correzioni dovute al metodo e al circuito di misura⁽²⁵⁾, con valore trascurabile e



⁽²¹⁾ Cfr. nota 5.

⁽²²⁾ Cfr. nota 6.

⁽²³⁾ La risoluzione viene sempre considerata con effetto di tipo assoluto e caratterizzata da una distribuzione di tipo rettangolare. Di conseguenza è bene fare attenzione al peso che la componente d'incertezza $u(\gamma_{ris})$ ha sull'incertezza tipo composta $u(E_M)$, perché potrebbe pregiudicare l'applicabilità del Teorema del limite centrale, portando ad un fattore di copertura $k \neq 2$.

⁽²⁴⁾ Cfr. nota 7.

⁽²⁵⁾ Cfr. nota 8.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 16 di 26

incertezze $u(\delta_{cm})$ e $u(\gamma_{cm})$;

m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.

Applicando ora la legge di propagazione delle incertezze si ottiene:

$$u(E_M) = \left[\left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{stb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{stb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{ris}) + \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_C} \right)^2 \cdot u^2(\delta_C) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_C} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_C) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{crc}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{crc}) + \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{cm}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{cm}) \right]^{1/2} \quad (38)$$

ed essendo:

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} = + \frac{l_M}{m_{nom}} \stackrel{l_M \approx m_{nom}}{\cong} 1 \quad (39)$$

cioè supponendo che la lettura del DMM non si discosti troppo dal valore nominale,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (40)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (41)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_C} = - \frac{l_C}{m_{nom}} \stackrel{l_C = m_{nom}}{=} -1 \quad (42)$$

essendo $l_C \equiv m_{nom}$, cioè pari al valore nominale,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_C} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (43)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{crc}} = - \frac{l_C}{m_{nom}} \stackrel{l_C = m_{nom}}{=} -1 \quad (44)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{cm}} = - \frac{l_C}{m_{nom}} \stackrel{l_C = m_{nom}}{=} -1 \quad (45)$$

idem come sopra...,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{cm}} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (46)$$

si ha quindi:

$$u(E_M) = \sqrt{u^2(\delta_{stb}) + \frac{u^2(\gamma_{stb})}{m_{nom}^2} + \frac{u^2(\gamma_{ris})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_C) + \frac{u^2(\gamma_C)}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{crc}) + u^2(\delta_{cm}) + \frac{u^2(\gamma_{cm})}{m_{nom}^2}} = \quad (47)$$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 17 di 26

Analogamente al caso 1 anche qui si hanno sempre due tabelle (tab.7⁽²⁶⁾ e 8) per esprimere il bilancio d'incertezza su campi di misura:

Grandezza	Valore Stimato	Incertezza Tipo	Distribuzione di Probabilità	Coefficiente di Sensibilità	Contributo all'Incertezza Tipo
l_M	L_M	-	-	-	-
δ_{stb}	0	$u(\delta_{stb})$	normale	1	$u(\delta_{stb})$
γ_{stb}	0	$u(\gamma_{stb})$	normale	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{stb})}{m_{nom}}$
γ_{ris}	0	$u(\gamma_{ris})$	rettangolare	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{ris})}{m_{nom}}$
l_C	l_C	-	-	-	-
δ_C	0	$u(\delta_C)$	normale	-1	$u(\delta_C)$
γ_C	0	$u(\gamma_C)$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_C)}{m_{nom}}$
δ_{crc}	δ_{crc}	$u(\delta_{crc})$	normale	-1	$u(\delta_{crc})$
δ_{cm}	0	$u(\delta_{cm})$	normale	-1	$u(\delta_{cm})$
γ_{cm}	0	$u(\gamma_{cm})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{cm})}{m_{nom}}$
m_{nom}	m_{nom}	-	-	-	-
E_M					$u(E_C)$

$$U(E_M) = k \cdot u(E_M)$$

Tab.7 Tabella descrittiva in modo simbolico le componenti d'incertezza dell'incertezza tipo dell'UUC e la sua incertezza estesa.

Campo di misura	Componenti d'incertezza								$u(E_M)$		$U(E_M)$	
	$u(\delta_{stb})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{stb})$ (μX)	$u(\gamma_{ris})$ (μX)	$u(\delta_C)$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_C)$ (μX)	$u(\delta_{crc})$ (10 ⁻⁶)	$u(\delta_{cm})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{cm})$ (μX)	(10 ⁻⁶)	(μX)	(10 ⁻⁶)	(μX)
0 ÷ 100 mX												
0,1 ÷ 1 X												
1 ÷ 10 X												
10 ÷ 100 X												
100 ÷ 1000 X												
etc.												

Tab.8 Descrive in modo numerico le componenti d'incertezza, l'incertezza tipo e l'incertezza estesa dell'UUC.

⁽²⁶⁾ Cfr. nota 9.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 18 di 26

7 – Caso 3: lo strumento in taratura è un misuratore, il campione è un misuratore

7.1 – Taratura di un multimetro in tensione continua e alternata, in corrente continua e alternata e in resistenza mediante un multimetro

La terza situazione di taratura è illustrata dalla fig.5, in questo caso la taratura è costituita dall'alternanza di misure sul DMM STD e sull'UUC. In particolare il riferimento è costituito dalla lettura l_{MS} del valore di corrente generato dal MFC (che non ha la funzione di campione) e modificato in m_{cm} dal circuito di misura sullo STD, a cui segue la lettura l_M sull'UUC.

L'equazione 1 si trasforma quindi in:

$$E_M = \frac{[l_M + \Delta_{stb} + \Delta_{ris}] - [l_{MS} + \Delta_{MS} + \Delta_{Cstb} + \Delta_{cm}]}{m_{nom}} \quad (48)$$

ove: E_M = scarto relativo del DMM UUC;

l_M = lettura del DMM UUC;

Δ_{stb} = correzione dovuta alla stabilità a breve termine del DMM UUC;

Δ_{ris} = correzione dovuta alla risoluzione del DMM UUC;

l_{MS} = lettura del DMM STD;

Δ_{MS} = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM STD;

Δ_{Cstb} = correzione dovuta alla stabilità a brevissimo termine (5 minuti) del MFC;

Δ_{cm} = correzione dovute al metodo e al circuito di misura;

m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.

Con le stesse considerazioni sulle correzioni Δ fatte nei due casi precedenti, si può riscrivere l'eq. 48 come⁽²⁷⁾:

$$E_M = \frac{[l_M + (l_M \cdot \delta_{stb} + \gamma_{stb}) + \gamma_{ris}] - [l_{MS} + (l_{MS} \cdot \delta_{MS} + \gamma_{MS}) + (l_{MS} \cdot \delta_{Cstb} + \gamma_{Cstb}) + (l_{MS} \cdot \delta_{cm} + \gamma_{cm})]}{m_{nom}} = \frac{[l_M \cdot (1 + \delta_{stb}) + \gamma_{stb} + \gamma_{ris}] - [l_{MS} \cdot (1 + \delta_{MS} + \delta_{Cstb} + \delta_{cm}) + \gamma_{MS} + \gamma_{Cstb} + \gamma_{cm}]}{m_{nom}} \quad (49)$$

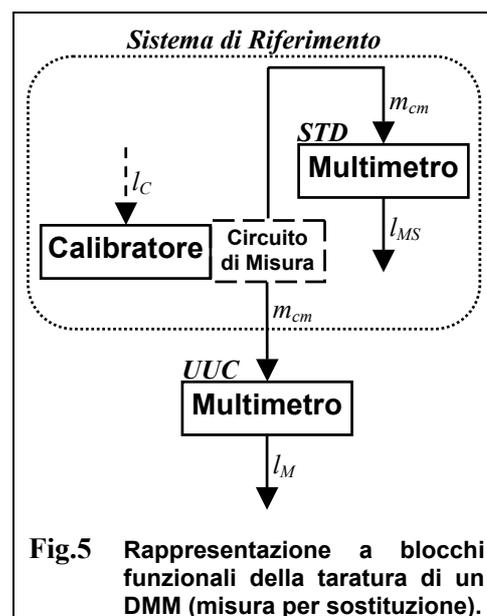
ove: E_M = scarto relativo del DMM UUC;

l_M = lettura del DMM UUC, considerata esatta;

$\delta_{stb}, \gamma_{stb}$ = correzioni dovute alla stabilità a breve termine⁽²⁸⁾ del DMM UUC, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{stb})$ e $u(\gamma_{stb})$;

γ_{ris} = correzione dovuta alla risoluzione⁽²⁹⁾ del DMM UUC, con valore nullo e incertezza $u(\gamma_{ris})$;

l_{MS} = lettura del DMM STD, considerata esatta;



⁽²⁷⁾ Cfr. nota 5.

⁽²⁸⁾ Cfr. nota 6.

⁽²⁹⁾ Cfr. nota 23.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 19 di 26

δ_{MS}, γ_{MS} = correzioni dovute alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM STD, con valori nulli e incertezze $u(\delta_{MS})$ e $u(\gamma_{MS})$, rispettivamente pari alle componenti di tipo relativo e assoluto dell'incertezza d'uso del DMM STD;

$\delta_{Cstb}, \gamma_{Cstb}$ = correzioni dovute alla stabilità a brevissimo termine⁽³⁰⁾ (5 minuti) del MFC, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{Cstb})$ e $u(\gamma_{Cstb})$;

δ_{cm}, γ_{cm} = correzioni dovute al metodo e al circuito di misura⁽³¹⁾, con valore trascurabile e incertezze $u(\delta_{cm})$ e $u(\gamma_{cm})$;

m_{nom} = valore nominale della grandezza di interesse.

Con le stesse considerazioni fatte nei due casi precedenti, si applica ora la legge di propagazione delle incertezze:

$$u(E_M) = \left[\left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{stb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{stb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{ris}) + \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{MS}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{MS}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{MS}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{MS}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{Cstb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{Cstb}) + \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{Cstb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{Cstb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{cm}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{cm}) \right]^{1/2} \quad (50)$$

ed essendo:

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} = + \frac{l_M}{m_{nom}} \underset{l_M \approx m_{nom}}{\cong} 1 \quad (51)$$

cioè supponendo che la lettura del DMM UUC non si discosti troppo dal valore nominale,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (52)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (53)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{MS}} = - \frac{l_{MS}}{m_{nom}} \underset{l_{MS} \approx m_{nom}}{=} -1 \quad (54)$$

essendo l_{MS} molto prossima a m_{nom} , cioè al valore nominale,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{MS}} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (55)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{Cstb}} = - \frac{l_{MS}}{m_{nom}} \underset{l_{MS} \approx m_{nom}}{=} -1 \quad (56)$$

⁽³⁰⁾ L'introduzione della stabilità a brevissimo termine del MFC è giustificata dal fatto che le misure sui due DMM non vengono eseguite simultaneamente bensì in successione, è quindi necessario tenere conto della possibile variazione nel tempo del valore generato dal MFC. L'effetto di tale grandezza d'influenza, pur essendo relativa al MFC, lo si considera riflesso direttamente sulla lettura del DMM STD.

⁽³¹⁾ Cfr. nota 8. Tale correzione, in questo caso, tiene anche conto della differenza di carico subito dal MFC causata dall'applicazione dei due diversi sistemi di misura.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 20 di 26

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{Cstb}} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (57)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{cm}} = - \frac{l_C}{m_{nom}^{l_M \approx m_{nom}}} = -1 \quad (58)$$

idem come sopra...

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{cm}} = - \frac{1}{m_{nom}} \quad (59)$$

si ha quindi:

$$u(E_M) = \sqrt{u^2(\delta_{stb}) + \frac{u^2(\gamma_{stb})}{m_{nom}^2} + \frac{u^2(\gamma_{ris})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{MS}) + \frac{u^2(\gamma_{MS})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{Cstb}) + \frac{u^2(\gamma_{Cstb})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{cm}) + \frac{u^2(\gamma_{cm})}{m_{nom}^2}} \quad (60)$$

Le due tabelle per il bilancio delle incertezze in questo caso sono le tab.9⁽³²⁾ e 10:

Grandezza	Valore Stimato	Incertezza Tipo	Distribuzione di Probabilità	Coefficiente di Sensibilità	Contributo all'Incertezza Tipo
l_M	l_M	-	-	-	-
δ_{stb}	0	$u(\delta_{stb})$	normale	1	$u(\delta_{stb})$
γ_{stb}	0	$u(\gamma_{stb})$	normale	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{stb})}{m_{nom}}$
γ_{ris}	0	$u(\gamma_{ris})$	rettangolare	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{ris})}{m_{nom}}$
l_{MS}	l_{MS}	-	-	-	-
δ_{MS}	0	$u(\delta_{MS})$	normale	-1	$u(\delta_{MS})$
γ_{MS}	0	$u(\gamma_{MS})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{MS})}{m_{nom}}$
δ_{Cstb}	0	$u(\delta_{Cstb})$	normale	-1	$u(\delta_{Cstb})$
γ_{Cstb}	0	$u(\gamma_{Cstb})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{Cstb})}{m_{nom}}$
δ_{cm}	0	$u(\delta_{cm})$	normale	-1	$u(\delta_{cm})$
γ_{cm}	0	$u(\gamma_{cm})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{cm})}{m_{nom}}$
m_{nom}	m_{nom}	-	-	-	-
E_M					$u(E_C)$

$$U(E_M) = k \cdot u(E_M)$$

Tab.9 Tabella descrittiva in modo simbolico le componenti d'incertezza dell'incertezza tipo dell'UUC e la sua incertezza estesa.

⁽³²⁾ Cfr. nota 9.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 21 di 26

Campo di misura	Componenti d'incertezza												
	$u(\delta_{stb})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{stb})$ (μX)	$u(\gamma_{ris})$ (μX)	$u(\delta_{MS})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{MS})$ (μX)	$u(\delta_{Cstb})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{Cstb})$ (μX)	$u(\delta_{cm})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{cm})$ (μX)	$u(E_M)$ (10 ⁻⁶)	$U(E_M)$ (10 ⁻⁶)	$U(E_M)$ (μX)	
0 ÷ 100 mX													
0,1 ÷ 1 X													
1 ÷ 10 X													
10 ÷ 100 X													
100 ÷ 1000 X													
etc.													

Tab.10 Tabella descrittiva in modo numerico le componenti d'incertezza, l'incertezza tipo e l'incertezza estesa dell'UUC.

7.2 – Taratura di un multimetro in corrente continua e alternata oltre a 1 A mediante un multimetro limitato a 1 A

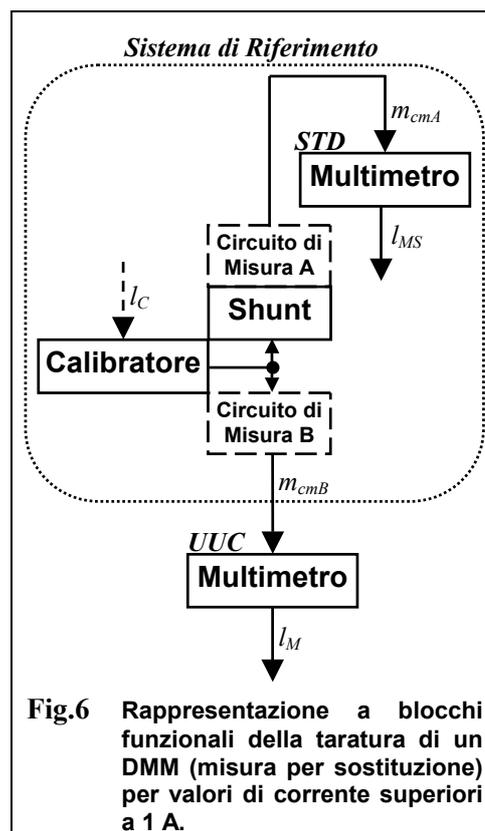
Analogamente alla situazione di taratura del paragrafo 5.2, nel caso si debba fare la taratura di un DMM UUC per valori di corrente superiori a 1 A con un DMM STD limitato a tale valore, è necessario ricorrere all'uso di uno *shunt* campione, come illustrato dalla fig.6. In questo caso il valore di corrente generato dal MFC viene modificato dallo *shunt* più il circuito di misura A sullo STD nel valore di tensione m_{cmA} (proporzionale al prodotto $I_C \cdot I_S$) cui corrisponde la lettura di riferimento I_{MS} , mentre dal lato dell'UUC la corrente generata si trasforma per effetto del circuito di misura B nel valore di corrente m_{cmB} a cui segue la lettura I_M .

Tenendo buone le considerazioni fatte in precedenza, l'equazione 48 può essere trasformata nel modo seguente:

$$E_M = \frac{[I_M + \Delta_{stb} + \Delta_{ris}] - \left[\frac{I_{MS} + \Delta_{MS} + \Delta_{Cstb} + \Delta_{cm}}{I_S + \Delta_S} \right]}{m_{nom}} \quad (61)$$

ove: E_M = scarto relativo del DMM UUC;
 I_M = lettura del DMM UUC;

- Δ_{stb} = correzione dovuta alla stabilità a breve termine (24 ore) del DMM UUC;
- Δ_{ris} = correzione dovuta alla risoluzione del DMM UUC;
- I_{MS} = lettura del DMM STD;
- Δ_{MS} = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM STD;
- Δ_{Cstb} = correzione dovuta alla stabilità a brevissimo termine (5 minuti) del MFC;
- Δ_{cm} = correzione dovuta al metodo e al circuito di misura;
- I_S = valore di resistenza dello *shunt*;





SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 22 di 26

Δ_S = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche dello *shunt*;

m_{nom} = valore nominale della corrente di interesse.

Con le stesse considerazioni sulle correzioni Δ fatte nei due casi precedenti, si può riscrivere l'eq. 61 come⁽³³⁾:

$$E_M = \frac{[l_M + (l_M \cdot \delta_{stb} + \gamma_{stb}) + \gamma_{ris}] - \left[\frac{l_{MS} + (l_{MS} \cdot \delta_{MS} + \gamma_{MS}) + (l_{MS} \cdot \delta_{Cstb} + \gamma_{Cstb}) + (l_{MS} \cdot \delta_{cm} + \gamma_{cm})}{l_S + l_S \cdot \delta_S} \right]}{m_{nom}} = \frac{[l_M \cdot (1 + \delta_{stb}) + \gamma_{stb} + \gamma_{ris}] - \left[\frac{l_{MS} \cdot (1 + \delta_{MS} + \delta_{Cstb} + \delta_{cm}) + \gamma_{MS} + \gamma_{Cstb} + \gamma_{cm}}{l_S + l_S \cdot \delta_S} \right]}{m_{nom}} \quad (62)$$

ove: E_M = scarto relativo del DMM UUC;

l_M = lettura del DMM UUC, considerata esatta;

$\delta_{stb}, \gamma_{stb}$ = correzioni dovute alla stabilità a breve termine⁽³⁴⁾ del DMM UUC, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{stb})$ e $u(\gamma_{stb})$;

γ_{ris} = correzione dovuta alla risoluzione⁽³⁵⁾ del DMM UUC, con valore nullo e incertezza $u(\gamma_{ris})$;

l_{MS} = lettura del DMM STD, considerata esatta;

δ_{MS}, γ_{MS} = correzioni dovute alla taratura e alle caratteristiche metrologiche del DMM STD, con valori nulli e incertezze $u(\delta_M)$ e $u(\gamma_M)$, rispettivamente pari alle componenti di tipo relativo e assoluto dell'incertezza d'uso del DMM STD;

$\delta_{Cstb}, \gamma_{Cstb}$ = correzioni dovute alla stabilità a brevissimo termine⁽³⁶⁾ (5 minuti) del MFC, con valori mediamente nulli e incertezze $u(\delta_{Cstb})$ e $u(\gamma_{Cstb})$;

δ_{cm}, γ_{cm} = correzioni dovute al metodo e al circuito di misura⁽³⁷⁾, con valore trascurabile e incertezze $u(\delta_{cm})$ e $u(\gamma_{cm})$;

l_S = valore di resistenza dello *shunt*, considerata esatta;

δ_S = correzione dovuta alla taratura e alle caratteristiche metrologiche dello *shunt*, con valore nullo e incertezza $u(\delta_S)$ pari all'incertezza d'uso dello *shunt*;

m_{nom} = valore nominale della corrente di interesse.

Con le stesse considerazioni fatte precedentemente, si applica ora la legge di propagazione delle incertezze:

$$u(E_M) = \left[\left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{stb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{stb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{ris}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{MS}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{MS}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{MS}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{MS}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{Cstb}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{Cstb}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{Cstb}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{Cstb}) \right]$$

⁽³³⁾ Cfr. nota 5.

⁽³⁴⁾ Cfr. nota 6.

⁽³⁵⁾ Cfr. nota 23.

⁽³⁶⁾ Cfr. nota 30.

⁽³⁷⁾ Cfr. note 8 e 31. Inoltre, in questo caso tale componente tiene conto oltre che del circuito di misura A anche del B, in quanto facente parte del sistema di riferimento.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 23 di 26

$$\left[\left(\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\delta_{cm}) + \left(\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{cm}} \right)^2 \cdot u^2(\gamma_{cm}) + \left(\frac{\partial E_C}{\partial \delta_S} \right)^2 \cdot u^2(\delta_S) \right]^{1/2} \quad (63)$$

ed essendo:

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{stb}} = + \frac{l_M}{m_{nom}} \stackrel{l_M \approx m_{nom}}{\cong} 1 \quad (64)$$

cioè supponendo che la lettura del DMM UUC non si discosti troppo dal valore nominale,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{stb}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (65)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{ris}} = + \frac{1}{m_{nom}} \quad (66)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{MS}} = - \frac{l_{MS}}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \stackrel{l_{MS} \approx m_{nom}}{\cong} -1 \quad (67)$$

$\frac{l_S}{\delta_S=0}$

cioè supponendo che la lettura del DMM divisa per il valore dello *shunt* non si discosti troppo dal valore nominale di corrente,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_M} = - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \stackrel{\delta_S=0}{\cong} - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S} \quad (68)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{Cstb}} = - \frac{l_{MS}}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \stackrel{l_{MS} \approx m_{nom}}{\cong} -1 \quad (69)$$

$\frac{l_S}{\delta_S=0}$

idem come sopra...,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{Cstb}} = - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \stackrel{\delta_S=0}{\cong} - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S} \quad (70)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_{cm}} = - \frac{l_{MS}}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \stackrel{l_{MS} \approx m_{nom}}{\cong} -1 \quad (71)$$

$\frac{l_S}{\delta_S=0}$

idem come sopra...,

$$\frac{\partial E_M}{\partial \gamma_{cm}} = - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)} \stackrel{\delta_S=0}{\cong} - \frac{1}{m_{nom} \cdot l_S} \quad (72)$$

$$\frac{\partial E_M}{\partial \delta_S} = \frac{l_{MS} \cdot (1 + \delta_{MS} + \delta_{Cstb} + \delta_{cm}) + \gamma_{MS} + \gamma_{Cstb} + \gamma_{cm}}{m_{nom} \cdot l_S \cdot (1 + \delta_S)^2} \stackrel{\substack{l_{MS} \approx m_{nom} \\ \delta_{MS}, \delta_{Cstb}, \delta_{cm}, \delta_S=0 \\ \gamma_{MS}, \gamma_{Cstb}, \gamma_{cm}=0}}{\cong} 1 \quad (73)$$

si ha quindi:



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 24 di 26

$$u(E_C) = \sqrt{u^2(\delta_{stb}) + \frac{u^2(\gamma_{stb})}{m_{nom}^2} + u^2(\delta_{MS}) + \frac{u^2(\gamma_{MS})}{m_{nom}^2 \cdot l_S^2} + u^2(\delta_{Cstb}) + \frac{u^2(\gamma_{Cstb})}{m_{nom}^2 \cdot l_S^2} + u^2(\delta_{cm}) + \frac{u^2(\gamma_{cm})}{m_{nom}^2 \cdot l_S^2} + u^2(\delta_S)} \quad (74)$$

Le due tabelle per il bilancio delle incertezze in questo caso sono le tab.11⁽³⁸⁾ e 12:

Grandezza	Valore Stimato	Incertezza Tipo	Distribuzione di Probabilità	Coefficiente di Sensibilità	Contributo all'Incertezza Tipo
l_M	l_M	-	-	-	-
δ_{stb}	0	$u(\delta_{stb})$	normale	1	$u(\delta_{stb})$
γ_{stb}	0	$u(\gamma_{stb})$	normale	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{stb})}{m_{nom}}$
γ_{ris}	0	$u(\gamma_{ris})$	rettangolare	$\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{ris})}{m_{nom}}$
l_{MS}	l_{MS}	-	-	-	-
δ_{MS}	0	$u(\delta_{MS})$	normale	-1	$u(\delta_{MS})$
γ_{MS}	0	$u(\gamma_{MS})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{MS})}{m_{nom}}$
δ_{Cstb}	0	$u(\delta_{Cstb})$	normale	-1	$u(\delta_{Cstb})$
γ_{Cstb}	0	$u(\gamma_{Cstb})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{Cstb})}{m_{nom}}$
δ_{cm}	0	$u(\delta_{cm})$	normale	-1	$u(\delta_{cm})$
γ_{cm}	0	$u(\gamma_{cm})$	normale	$-\frac{1}{m_{nom}}$	$\frac{u(\gamma_{cm})}{m_{nom}}$
l_S	l_S	-	-	-	-
δ_S	0	$u(\delta_S)$	normale	1	$u(\delta_S)$
m_{nom}	m_{nom}	-	-	-	-
E_M					$u(E_C)$

$$U(E_M) = k \cdot u(E_M)$$

Tab.9 Tabella descrittiva in modo simbolico le componenti d'incertezza dell'incertezza tipo dell'UUC e la sua incertezza estesa.

⁽³⁸⁾ Cfr. nota 9.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI ELETTRICI MULTIFUNZIONE

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 25 di 26

Campo di misura	Componenti d'incertezza													
	$u(\delta_{stb})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{stb})$ (μX)	$u(\gamma_{ris})$ (μX)	$u(\delta_{MS})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{MS})$ (μX)	$u(\delta_{Cstb})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{Cstb})$ (μX)	$u(\delta_{cm})$ (10 ⁻⁶)	$u(\gamma_{cm})$ (μX)	$u(\delta_S)$ (10 ⁻⁶)	$u(E_M)$ (10 ⁻⁶)	$U(E_M)$ (μX)	$U(E_M)$ (10 ⁻⁶)	$U(E_M)$ (μX)
1 ÷ 10 A														
10 ÷ 100 A														
...														
1 ÷ 10 A, 40 ÷ 300 Hz														
etc.														

Tab.10 Tabella descrittiva in modo numerico le componenti d'incertezza, l'incertezza tipo e l'incertezza estesa dell'UUC.

8 – Glossario dei simboli e degli acronimi

ACMS *AC Measurement Standard*, campione di trasferimento ca/cc

Δ correzione relativa alla grandezza d'influenza

δ correzione di tipo relativo della grandezza d'influenza

DMM *Digital Multimeter*, multimetro numerale

E scarto relativo dell'UUC

γ correzione di tipo assoluto della grandezza d'influenza

k fattore di copertura

l valore della grandezza impostata/letta dall'UUC o dal STD

m valore della grandezza generata/misurata dall'UUC o dal STD

MFC *Multifunction Calibrator*, calibratore multifunzione

m_{nom} valore nominale della grandezza d'interesse

shunt derivatore di corrente

STD *Standard*, campione di riferimento

$u(\delta)$ incertezza tipo della correzione di tipo relativo della grandezza d'influenza

$u(E)$ incertezza tipo composta dello scarto relativo dello UUC

$U(E)$ incertezza estesa dello scarto relativo dello UUC

$u(\gamma)$ incertezza tipo della correzione di tipo assoluto della grandezza d'influenza

UUC *Unit Under Calibration*, unità in taratura



SIT
Servizio di Taratura in Italia

**LINEA GUIDA PER LA VALUTAZIONE
DELL'INCERTEZZA DI TARATURA DI STRUMENTI
ELETTRICI MULTIFUNZIONE**

Identificazione: SIT/Tec-008/05

Revisione: 1

Data 2005-09-14

Pagina 26 di 26

9 – Note

In alcuni casi la consuetudine porta a preferire uno scarto relativo E positivo quando la grandezza generata è superiore al valore impostato, negativo nel caso opposto. Se si opta per questa scelta, è soltanto necessario cambiare i segni nel modello matematico d'interesse, definendo un nuovo scarto relativo $E^* = -E$ rispetto a quello del presente documento.