



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 1 di 35

Annotazioni:

Il presente documento, redatto dagli autori indicati, è il frutto dell'attività del Gruppo di Lavoro "Misure di pressione" attivo entro il Sottocomitato STC 2 del SIT.

COPIA CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

COPIA NON CONTROLLATA N°

CONSEGNATA A:

0	Emissione	2005-04-18	M. Bergoglio M. Stillavato M. Caravaggio	M. Mosca
Revisione	Descrizione	Data	Redazione	Approvazione



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 2 di 35

1	SCOPO	5
2	CAMPO D'APPLICAZIONE	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	ABBREVIAZIONI	5
5	CONDIZIONI DI PROVA	6
5.1	Condizioni ambientali	6
5.2	Posizione di montaggio	6
5.3	Alimentazione elettrica	6
5.4	Fluido di misura	6
5.5	Livello di riferimento della pressione effettiva	6
6	SCELTA DEI CAMPIONI	6
6.1	Campione di pressione, corrente, tensione e frequenza	6
6.2	Alimentazione	6
7	CIRCUITO DI PROVA	7
7.1	Schema d'impianto di taratura per manometri elettronici ad indicazione numerale	7
7.2	Schema d'impianto di taratura per trasmettitori di pressione (collegamento a 2 fili)	7
7.3	Schema d'impianto di taratura per trasduttori di pressione elettronici (collegamento a 4 fili)	8
8	SCELTA DEI PUNTI DI TARATURA	8
8.1	Procedura di taratura base	8
8.2	Procedura standard	8
9	PROCEDURA DI TARATURA	9
9.1	Premessa	9
9.2	Attività preliminari	9
9.3	Controlli iniziali	9
9.4	Aggiustamento dello strumento	9



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 3 di 35

9.5 Taratura	9
10 RACCOLTA DEI DATI SPERIMENTALI	10
10.1 Registrazione dei dati sperimentali di una taratura base.....	10
10.2 Registrazione dei dati sperimentali di una taratura standard.....	10
10.3 Registrazione dei dati sperimentali di una taratura completa	11
11 ELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI.....	11
11.1 Premessa.....	11
11.2 Presentazione dei risultati separatamente per pressione crescente e decrescente	11
11.2.1 Trasduttore di pressione digitale con uscita in unità di pressione (comunemente chiamato a livello industriale manometro digitale).....	11
11.2.2 Trasduttore di pressione con segnale d'uscita in mV/V (comunemente chiamato a livello industriale trasduttore di pressione)	12
11.2.3 Trasduttore di pressione con uscita in milliampere (comunemente chiamato a livello industriale trasmettitore di pressione)	13
11.3 Presentazione dei risultati come media dei valori ottenuti a pressione crescente e decrescente	13
11.3.1 Trasduttore di pressione digitale con uscita in unità di pressione	13
11.3.2 Trasduttore di pressione con uscita in millivolt	14
11.3.3. Trasduttore di pressione con uscita in milliampere.....	14
11.4 Parametri caratteristici del trasduttore	15
11.4.1 Risoluzione r e sensibilità s	15
11.4.2 Deriva di zero f_0	15
11.4.3 Ripetibilità b	15
11.4.4 Isteresi h	16
12 CALCOLO DELL'INCERTEZZA.....	16
12.1 Componenti dell'incertezza	16
12.2 Incertezza di misura per la taratura di un manometro digitale	17
12.2.1 Semiciclo a pressione crescente e a pressione decrescente.....	17
12.2.2 Media dei valori dei semicicli a pressione crescente e decrescente	19
12.3 Incertezza di misura per la taratura di un trasduttore di pressione con uscita in mV/V.....	19
12.3.1 Pressione crescente e decrescente.....	19
12.3.2 Media pressione crescente e decrescente	22
12.4 Incertezza di misura per la taratura di un trasduttore di pressione con uscita in corrente (trasmettitore di pressione)	25
12.4.1 Pressione crescente e decrescente.....	25
12.4.2 Media pressione crescente e decrescente	27
13 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DI TARATURA.....	29
13.1 Presentazione dei risultati per un trasduttore con uscita in unità di pressione (taratura base) ..	29
13.2 Presentazione dei risultati per un trasduttore con uscita in tensione o corrente (taratura base) 30	30



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 4 di 35

13.3 Presentazione dei risultati per un trasduttore con uscita in unità di pressione (taratura standard)	30
13.4 Presentazione dei risultati per un trasduttore con uscita in tensione o corrente (taratura standard)	31
13.5 Presentazione dei risultati per un trasduttore con uscita in unità di pressione (taratura completa)	31
13.6 Presentazione dei risultati per un trasduttore con uscita in tensione o corrente (taratura completa)	31
13.7 Utilizzo dell'errore e della sua incertezza da parte degli utilizzatori	32
14 ESEMPIO DI TATARURA	32
14.1 Esempio di taratura base per un trasduttore con uscita in unità di pressione	32
14.2 Esempio di taratura base per un trasmettitore di pressione	34



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 5 di 35

1 SCOPO

La presente guida recepisce il metodo per la taratura di manometri elettromeccanici specificato nella guida EA-10/17 e non è la traduzione integrale del documento EA – 10/17.

2 CAMPO D'APPLICAZIONE

La presente guida si applica per la taratura di manometri elettromeccanici per misure di pressione assoluta, relativa o differenziale, in condizioni di misura statiche. Essa non è applicabile ai manometri elettromeccanici piezoelettrici utilizzati per misurare pressioni in condizioni dinamiche e ai misuratori di basse pressioni assolute (utilizzati per misurare pressioni assolute, generalmente inferiori a 1 kPa). Per manometri elettromeccanici si intendono:

- manometri elettronici ad indicazione numerale (manometri digitali);
- trasduttori di pressione con uscita proporzionale all'alimentazione (uscita in tensione, corrente, frequenza);
- trasmettitori di pressione con segnale d'uscita elettrico (tensione, corrente o frequenza).

La presente guida con opportune semplificazioni può essere applicata per la taratura di manometri meccanici.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

UNI CEI EN ISO/IEC 17025: 2000 Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura

UNI CEI ENV 13005: 2000 Guida all'espressione dell'incertezza di misura (ISO-GUM)

EA-4/02: 1999 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration

CEI EN 60770-1: 2000 Metodi di valutazione delle caratteristiche di funzionamento dei trasmettitori impiegati nei sistemi di controllo dei processi industriali (IEC 60770-1)

EA-10/17 Guidelines on the calibration of Electromechanical manometers

UNI 837-1: Manometri – Manometri a molla tubolare - Dimensioni, metrologia, requisiti e prove.

VIM: Vocabulaire International de Métrologie, Edizione 1993.

4 ABBREVIAZIONI

Il significato delle eventuali abbreviazioni utilizzate in questo documento è descritto nel capitolo in cui l'abbreviazione viene utilizzata.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 6 di 35

5 CONDIZIONI DI PROVA

5.1 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali di riferimento sono quelle tipiche delle procedure accreditate, ad esempio:

Temperatura	(20 ± 1) °C
Umidità relativa	(50 ± 10) %
Pressione atmosferica	(96 ± 10) kPa

5.2 Posizione di montaggio

Lo strumento in taratura deve essere installato nella sua normale posizione di lavoro con 3° di tolleranza. Durante l'installazione è necessario evitare qualsiasi tipo di sollecitazione meccanica; in particolare gli strumenti sensibili alla coppia di serraggio del raccordo di pressione devono essere montati seguendo le indicazioni del costruttore e/o del committente.

Lo strumento deve essere montato in un luogo non esposto all'irraggiamento solare diretto.

5.3 Alimentazione elettrica

Lo strumento in taratura deve essere alimentato ai valori specificati dal costruttore. Nel caso di alimentazione differente dalla tensione di rete (230 V ± 10 %, 50 ÷ 60 Hz) gli strumenti utilizzati come alimentatore devono garantire una stabilità della tensione d'alimentazione in accordo con la specifica del costruttore. Nel caso lo strumento in taratura sia sensibile alle variazioni della tensione d'alimentazione la scelta dell'alimentatore va effettuata in accordo a quanto riportato al punto 6.2. Le connessioni elettriche, la schermatura dell'alimentazione e del segnale in uscita, la messa a terra devono essere realizzate seguendo le indicazioni del costruttore.

Lo strumento deve essere acceso in laboratorio prima della taratura, tenendo in considerazione il tempo necessario all'intero sistema per raggiungere l'equilibrio termico.

5.4 Fluido di misura

La taratura può essere eseguita utilizzando un fluido gassoso o liquido. Assicurarsi che il fluido utilizzato sia compatibile con i materiali con i quali viene a contatto e che non esista dipendenza dal segnale di uscita dello strumento rispetto al tipo di fluido utilizzato (come per esempio i trasduttori a cilindro risonante). In ogni caso seguire sempre le indicazioni del costruttore o del committente.

5.5 Livello di riferimento della pressione effettiva

Se non specificato dal costruttore, definire il livello di riferimento dello strumento in taratura.

6 SCELTA DEI CAMPIONI

6.1 Campione di pressione, corrente, tensione e frequenza

Lo strumento campione utilizzato per eseguire la taratura deve essere tarato e munito di certificato di taratura valido rilasciato da un Centro accreditato, da un ente firmatario dell'accordo multilaterale secondo EA o da un Istituto Metrologico Primario. La sua incertezza di misura, ove possibile, dovrebbe essere pari o inferiore a ½ di quella di misura nominale dello strumento in taratura.

6.2 Alimentazione

Nel caso lo strumento sia sensibile alla tensione d'alimentazione, questa deve essere misurata con un adeguato campione tarato e munito di certificato di taratura valido rilasciato da un Centro accreditato (secondo le procedure EA) o da un Istituto Metrologico Primario. La sua incertezza di misura deve essere commisurata all'influenza della tensione d'alimentazione sull'uscita dello strumento in taratura.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

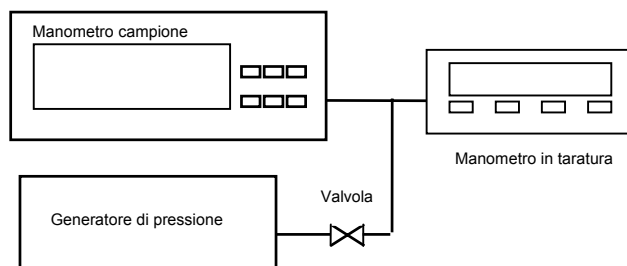
Revisione: 0

Data 2005-04-18

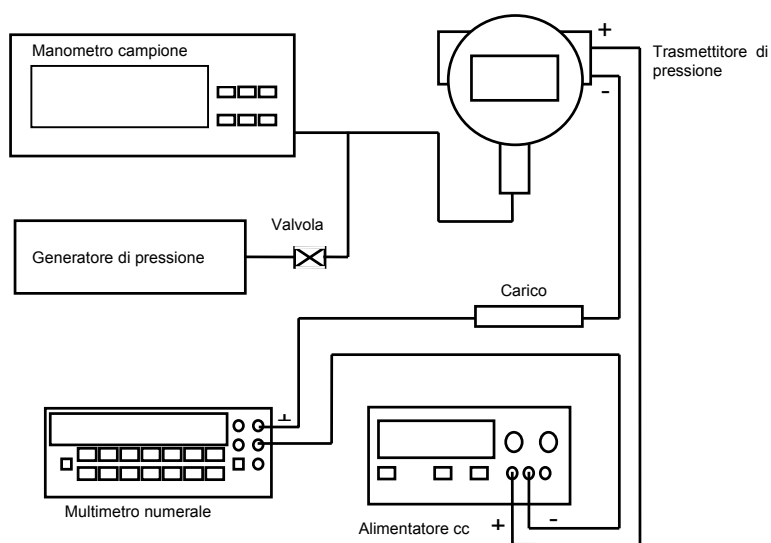
Pagina 7 di 35

7 CIRCUITO DI PROVA

7.1 Schema d'impianto di taratura per manometri elettronici ad indicazione numerale



7.2 Schema d'impianto di taratura per trasmettitori di pressione (collegamento a 2 fili)





SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

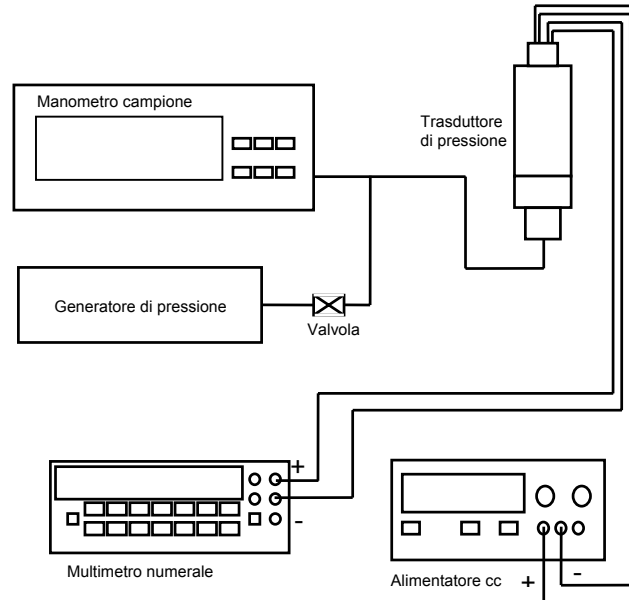
Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 8 di 35

7.3 Schema d'impianto di taratura per trasduttori di pressione elettronici (collegamento a 4 fili)



8 SCelta DEI PUNTI DI TARATURA

Sono previste tre distinte procedure di taratura:

- Procedura base (1 ciclo di misura composto da 6 punti sperimentali, 1 solo punto di ripetibilità);
- Procedura standard (1 ciclo di misura composto da 11 punti sperimentali, 4 punti di ripetibilità);
- Procedura completa (3 cicli di misura composti da 11 punti sperimentali, 11 punti di ripetibilità).

La scelta della procedura di taratura dipende dalle caratteristiche del trasduttore e dai requisiti specificati dal committente.

Le tre diverse tipologie di taratura comportano informazioni diverse infatti una taratura completa permette di acquisire una ricca quantità di informazioni sul comportamento del trasduttore e quindi di valutare in modo corretto l'incertezza. La taratura di base, comporta costi minori, ma le informazioni che si ottengono sono poche e nella valutazione dell'incertezza alcuni contributi (ad esempio l'incertezza associata alla ripetibilità) non vengono valutati adeguatamente e di conseguenza potrebbe addirittura riscontrarsi l'anomalia di una incertezza più piccola di quella ottenuta nella taratura completa.

8.1 Procedura di taratura base

Questa tipologia di taratura consiste di almeno sei punti sperimentali con pressione crescente e con pressione decrescente, misurati preferibilmente al 0 %, 10 %, 30 %, 50 %, 80 %, 100 % dell'ampiezza del campo di misura. La ripetibilità è stimata rilevando il segnale in uscita per tre volte a circa il 50 % dell'ampiezza del campo di misura sempre con pressione crescente.

8.2 Procedura standard

Questa tipologia di taratura consiste di almeno undici punti sperimentali con pressione crescente e con pressione decrescente, misurati preferibilmente al 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 100 % dell'ampiezza del campo di misura. La ripetibilità è stimata rilevando il segnale in uscita per tre volte, preferibilmente nei seguenti punti 10 %, 30 %, 50 %, 80 % dell'ampiezza del campo di misura, sempre con pressione crescente.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 9 di 35

8.3 Procedura completa

Questa tipologia di taratura consiste di almeno undici punti sperimentali con pressione crescente e con pressione decrescente, misurati preferibilmente al 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 100 % dell'ampiezza del campo di misura ripetuti tutti per tre volte. La ripetibilità è stimata su tutti i punti sperimentali sia con pressione crescente sia con pressione decrescente.

9 PROCEDURA DI TARATURA

9.1 Premessa

Le attività di taratura possono essere distinte in:

- attività preliminari;
- determinazione delle condizioni metrologiche iniziali dello strumento;
- aggiustamento dello strumento;
- taratura.

9.2 Attività preliminari

Tenendo in considerazione quanto indicato ai paragrafi 5 e 6 , le attività da svolgere sono:

- pulizia della presa di pressione da eventuali tracce di fluido di processo;
- montaggio degli eventuali raccordi per la connessione all'impianto di taratura pneumatico o idraulico;
- connessione elettrica;
- rilevamento del dislivello fra i livelli di riferimento (campione e strumento in prova);
- stabilizzazione termica alle condizioni ambientali (si consiglia un tempo non inferiore alle 6 ore).

9.3 Controlli iniziali

Per determinare le condizioni metrologiche iniziali dello strumento è necessario:

- Alimentare elettricamente lo strumento in prova per un tempo pari al tempo di accensione indicato dal costruttore (o per almeno un'ora se il valore non è dichiarato);
- eseguire due cicli di pressione tra il limite inferiore e il limite superiore del campo di misura mantenendo la pressione a questi valori per un minuto;
- rilevare, durante il primo ciclo di pressione, il valore di 0 %, 50 % e 100 % del campo di misura dello strumento in taratura per poter determinare la conformità alle specifiche fornite dal costruttore, e quindi stabilire se è necessaria l'esecuzione dell'operazione d'aggiustamento.

9.4 Aggiustamento dello strumento

L'aggiustamento dello strumento in taratura deve essere eseguita solo con il consenso del committente. Se, tramite i controlli iniziali, si evidenzia la necessità dell'esecuzione dell'operazione d'aggiustamento, dopo averla concordata con il committente, procedere in accordo alle indicazioni fornite dal costruttore. L'aggiustamento può essere eseguito solo su strumenti la cui uscita è un segnale conformato o un indicazione numerica (trasmettitore con uscita $4 \div 20$ mA o un manometro elettronico con indicazione numerale). Nei casi più comuni si tratta di una regolazione dei limiti inferiore e superiore del campo di misura agendo su potenziometri opportunamente predisposti. Il certificato di taratura dovrà chiaramente riportare che lo strumento è stato aggiustato prima della taratura.

9.5 Taratura

In accordo alla procedura di taratura scelta dal committente, registrare i seguenti dati:

- dati d'identificazione dello strumento in taratura;
- parametri ambientali del laboratorio (temperatura, pressione, umidità)
- identificazione degli strumenti ausiliari utilizzati per la taratura (alimentatori, multimetri, ecc.).

Per ogni punto di pressione previsto, dopo almeno un minuto dal suo raggiungimento, registrare:



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 10 di 35

- la pressione di riferimento misurata con lo strumento campione (o i parametri che ne permettono il calcolo; ad esempio se il campione è una bilancia di pressione caratterizzata in termini di area effettiva si anoteranno le masse utilizzate, la temperatura di lavoro dell'insieme pistone cilindro, la pressione atmosferica, l'umidità relativa e la temperatura ambiente) corretta per l'eventuale dislivello;
- l'indicazione dello strumento in taratura;
- il valore della tensione d'alimentazione dello strumento in taratura (se influente).

Dopo ogni ciclo di taratura attendere circa due minuti alla pressione corrispondente al limite inferiore del campo di misura per permettere la stabilizzazione del segnale. Durante la generazione della pressione evitare sovra elongazioni del segnale di pressione rispetto al punto di misura. I dati che devono essere registrati dipendono dal tipo di procedura utilizzata e dal tipo di strumento in taratura.

10 RACCOLTA DEI DATI SPERIMENTALI

10.1 Registrazione dei dati sperimentali di una taratura base

tabella di registrazione

Pressione di riferimento	1°Ciclo		2°Ciclo		3°Ciclo	
	Valori misurati a pressione crescente	Valori misurati a pressione decrescente	Valori misurati a pressione crescente	Valori misurati a pressione decrescente	Valori misurati a pressione crescente	Valori misurati a pressione decrescente
p_{r0}	$X_{1,0}$	$X_{2,0}$	$X_{3,0}$	$X_{4,0}$	$X_{5,0}$	$X_{6,0}$
p_{r1}	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{4,1}$	$X_{5,1}$	$X_{6,1}$
p_{r2}	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$	$X_{4,2}$	$X_{5,2}$	$X_{6,2}$
p_{r3}	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	$X_{3,3}$	$X_{4,3}$	$X_{5,3}$	$X_{6,3}$
p_{r4}	$X_{1,4}$	$X_{2,4}$	$X_{3,4}$	$X_{4,4}$	$X_{5,4}$	$X_{6,4}$
p_{r5}	$X_{1,5}$	$X_{2,5}$	$X_{3,5}$	$X_{4,5}$	$X_{5,5}$	$X_{6,5}$
p_{r6}	$X_{1,6}$	$X_{2,6}$	$X_{3,6}$	$X_{4,6}$	$X_{5,6}$	$X_{6,6}$
p_{r7}	$X_{1,7}$	$X_{2,7}$	$X_{3,7}$	$X_{4,7}$	$X_{5,7}$	$X_{6,7}$
p_{r8}	$X_{1,8}$	$X_{2,8}$	$X_{3,8}$	$X_{4,8}$	$X_{5,8}$	$X_{6,8}$
p_{r9}	$X_{1,9}$	$X_{2,9}$	$X_{3,9}$	$X_{4,9}$	$X_{5,9}$	$X_{6,9}$
p_{r10}	$X_{1,10}$	$X_{2,10}$	$X_{3,10}$	$X_{4,10}$	$X_{5,10}$	$X_{6,10}$

Osservazione: il punto sperimentale corrispondente al 50 % dell'ampiezza del campo di misura del 1° ciclo di misura a pressione crescente, è utilizzato insieme ad altre due misurazioni (allo stesso livello di pressione del 2° e 3° ciclo) per determinare la ripetibilità della misura.

Nella pratica è utile registrare la pressione di riferimento in due colonne (una per la salita di pressione e una per la discesa) per ogni ciclo di misura effettuato. Nella tabella per ragioni di spazio è stata indicata una sola colonna.

10.2 Registrazione dei dati sperimentali di una taratura standard

tabella di registrazione

Pressione di riferimento	1°Ciclo		2°Ciclo		3°Ciclo	
	Valori misurati a pressione crescente	Valori misurati a pressione decrescente	Valori misurati a pressione crescente	Valori misurati a pressione decrescente	Valori misurati a pressione crescente	Valori misurati a pressione decrescente
p_{r0}	$X_{1,0}$	$X_{2,0}$	$X_{3,0}$	$X_{4,0}$	$X_{5,0}$	$X_{6,0}$
p_{r1}	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{4,1}$	$X_{5,1}$	$X_{6,1}$
p_{r2}	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$	$X_{4,2}$	$X_{5,2}$	$X_{6,2}$
p_{r3}	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	$X_{3,3}$	$X_{4,3}$	$X_{5,3}$	$X_{6,3}$
p_{r4}	$X_{1,4}$	$X_{2,4}$	$X_{3,4}$	$X_{4,4}$	$X_{5,4}$	$X_{6,4}$
p_{r5}	$X_{1,5}$	$X_{2,5}$	$X_{3,5}$	$X_{4,5}$	$X_{5,5}$	$X_{6,5}$
p_{r6}	$X_{1,6}$	$X_{2,6}$	$X_{3,6}$	$X_{4,6}$	$X_{5,6}$	$X_{6,6}$
p_{r7}	$X_{1,7}$	$X_{2,7}$	$X_{3,7}$	$X_{4,7}$	$X_{5,7}$	$X_{6,7}$
p_{r8}	$X_{1,8}$	$X_{2,8}$	$X_{3,8}$	$X_{4,8}$	$X_{5,8}$	$X_{6,8}$
p_{r9}	$X_{1,9}$	$X_{2,9}$	$X_{3,9}$	$X_{4,9}$	$X_{5,9}$	$X_{6,9}$
p_{r10}	$X_{1,10}$	$X_{2,10}$	$X_{3,10}$	$X_{4,10}$	$X_{5,10}$	$X_{6,10}$

Osservazione: i punti sperimentali corrispondenti al 10 %, 30 %, 50 %, 80 % dell'ampiezza del campo di misura del 1° ciclo di misura a pressione crescente, sono utilizzati insieme ad altre misurazioni (agli stessi livelli di pressione del 2° e 3° ciclo) per determinare la ripetibilità della misura nei vari punti sperimentali.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 11 di 35

Nella pratica è utile registrare la pressione di riferimento in due colonne (una per la salita di pressione e una per la discesa) per ogni ciclo di misura effettuato per ragioni di spazio nella tabella è stata indicata una sola colonna).

10.3 Registrazione dei dati sperimentali di una taratura completa

tabella di registrazione

Pressione di riferimento	1°Ciclo		2°Ciclo		3°Ciclo	
	Valori misurati con pressione crescente	Valori misurati con pressione decrescente	Valori misurati con pressione crescente	Valori misurati con pressione decrescente	Valori misurati con pressione crescente	Valori misurati con pressione decrescente
p_{r0}	$X_{1,0}$	$X_{2,0}$	$X_{3,0}$	$X_{4,0}$	$X_{5,0}$	$X_{6,0}$
p_{r1}	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{4,1}$	$X_{5,1}$	$X_{6,1}$
p_{r2}	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$	$X_{4,2}$	$X_{5,2}$	$X_{6,2}$
p_{r3}	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	$X_{3,3}$	$X_{4,3}$	$X_{5,3}$	$X_{6,3}$
p_{r4}	$X_{1,4}$	$X_{2,4}$	$X_{3,4}$	$X_{4,4}$	$X_{5,4}$	$X_{6,4}$
p_{r5}	$X_{1,5}$	$X_{2,5}$	$X_{3,5}$	$X_{4,5}$	$X_{5,5}$	$X_{6,5}$
p_{r6}	$X_{1,6}$	$X_{2,6}$	$X_{3,6}$	$X_{4,6}$	$X_{5,6}$	$X_{6,6}$
p_{r7}	$X_{1,7}$	$X_{2,7}$	$X_{3,7}$	$X_{4,7}$	$X_{5,7}$	$X_{6,7}$
p_{r8}	$X_{1,8}$	$X_{2,8}$	$X_{3,8}$	$X_{4,8}$	$X_{5,8}$	$X_{6,8}$
p_{r9}	$X_{1,9}$	$X_{2,9}$	$X_{3,9}$	$X_{4,9}$	$X_{5,9}$	$X_{6,9}$
p_{r10}	$X_{1,10}$	$X_{2,10}$	$X_{3,10}$	$X_{4,10}$	$X_{5,10}$	$X_{6,10}$

nella pratica è utile registrare la pressione di riferimento in due colonne (una per la salita di pressione e una per la discesa) per ogni ciclo di misura effettuato (per ragioni di spazio nella tabella è stata indicata una sola colonna).

11 ELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI

11.1 Premessa

Per presentare i risultati della taratura e per valutare l'incertezza di misura è necessario definire il misurando e la relazione di taratura (legame tra il campione di riferimento e il misurando).

Nella taratura dei trasduttori di pressione il misurando è la pressione indicata dal trasduttore in taratura (in unità di pressione Pa o in mA o in mV/V). La pressione misurata con il campione di riferimento e la corrispondente pressione indicata dal trasduttore in taratura sono messe in relazione tra loro dall'espressione:

$$e = p_{indicata} - p_{riferimento}$$

dove e è l'errore, $p_{riferimento}$ è la pressione misurata con il campione di riferimento, $p_{indicata}$ è la corrispondente lettura del trasduttore in taratura.

11.2 Presentazione dei risultati separatamente per pressione crescente e decrescente

11.2.1 Trasduttore di pressione digitale con uscita in unità di pressione (comunemente chiamato a livello industriale manometro digitale)

$$e_{up} = p_{indicata_up} - p_{riferimento_up}$$

dove

$$p_{indicata_up} = \frac{p_{1,j} + p_{3,j} + p_{5,j}}{3} \text{ nel caso di taratura completa;}$$

$$p_{indicata_up} = p_{1,j} \text{ nel caso di taratura standard o base.}$$

$$e_{down} = p_{indicata_down} - p_{riferimento_down}$$

dove



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 12 di 35

$$p_{indicata_down} = \frac{p_{2,j} + p_{4,j} + p_{6,j}}{3} \text{ nel caso di taratura completo;}$$

$$p_{indicata_down} = p_{2,j} \text{ nel caso di taratura standard o base.}$$

Il pedice 1 indica il primo semiciclo crescente, il pedice 2 il primo semiciclo decrescente, il pedice 3 il secondo semiciclo crescente, il pedice 4 secondo semiciclo decrescente, il pedice 5 il terzo semiciclo crescente, il pedice 6 il terzo semiciclo decrescente.

Il pedice j indica il punto di pressione.

11.2.2 Trasduttore di pressione con segnale d'uscita in mV/V (comunemente chiamato a livello industriale trasduttore di pressione)

$$e_{up} = p_{indicata_up} - p_{riferimento_up}$$

dove

$$p_{indicata_up} = \left(\frac{\frac{V_{indicata_1,j}}{V_{alimentazione_1,j}} + \frac{V_{indicata_3,j}}{V_{alimentazione_3,j}} + \frac{V_{indicata_5,j}}{V_{alimentazione_5,j}}}{3} \right) \cdot m + q \text{ nel caso di taratura completa,}$$

$$p_{indicata_up} = \frac{V_{indicata_1,j}}{V_{alimentazione_1,j}} \cdot m + q \text{ nel caso di taratura standard o base.}$$

$$e_{down} = p_{indicata_down} - p_{riferimento_down} \text{ dove}$$

$$p_{indicata_down} = \left(\frac{\frac{V_{indicata_2,j}}{V_{alimentazione_2,j}} + \frac{V_{indicata_4,j}}{V_{alimentazione_4,j}} + \frac{V_{indicata_6,j}}{V_{alimentazione_6,j}}}{3} \right) \cdot m + q \text{ nel caso di taratura completa;}$$

$$p_{indicata_down} = \frac{V_{indicata_2,j}}{V_{alimentazione_2,j}} \cdot m + q \text{ nel caso di taratura standard o base.}$$

Per convertire il segnale in uscita dal trasduttore di pressione in taratura $\left(\frac{V_{indicata_up/down}}{V_{alimentazione_up/down}} \right)$ in unità di

pressione si utilizzano i coefficienti di un'equazione lineare ottenuta dall'interpolazione di due coppie di valori (*caso di taratura completa*):

la prima coppia corrisponde al valore medio dei rapporti $V_{indicata_up/down} / V_{alimentazione_up/down}$ ottenuti nei tre cicli di taratura e al valor medio delle corrispondenti pressioni di riferimento $p_{riferimento_up/down}$ nel primo punto di misura a pressione crescente o decrescente, generalmente lo zero,

la seconda coppia corrisponde al valore medio dei rapporti $V_{indicata_up/down} / V_{alimentazione_up/down}$ ottenuti nei tre cicli di taratura e al valor medio delle corrispondenti pressioni di riferimento $p_{riferimento_up/down}$ nell'ultimo punto di misura a pressione crescente o decrescente, generalmente corrispondente al fondo scala.

(*caso taratura standard e base*):

la prima coppia corrisponde al valore del rapporto $V_{indicata_up/down} / V_{alimentazione_up/down}$ e al valore della pressione di riferimento $p_{riferimento_up/down}$ nel primo punto di misura a pressione crescente o decrescente, generalmente lo zero,

la seconda coppia corrisponde al valore del rapporto $V_{indicata_up/down} / V_{alimentazione_up/down}$ e al valore delle pressioni di riferimento $p_{riferimento_up/down}$ nell'ultimo punto di misura a pressione crescente o decrescente, generalmente corrispondente al fondo scala.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 13 di 35

In alternativa, si possono utilizzare tutte le coppie di valori dei punti sperimentali, mantenendo separati i valori a pressione crescente e decrescente, per determinare i coefficienti delle rette dei minimi quadrati e le rispettive incertezze dei coefficienti.

I coefficienti dell'equazione del primo ordine così calcolati (con uno dei due modi di cui sopra) m e q saranno utilizzati per convertire il segnale letto sul trasduttore in mV/V, la sensibilità in mV/V, la ripetibilità in mV/V, lo zero in mV/V e l'isteresi in mV/V tutti in unità di pressione.

11.2.3 Trasduttore di pressione con uscita in milliampere (comunemente chiamato a livello industriale trasmettitore di pressione)

$$e_{up} = p_{indicata_up} - p_{riferimento_up}$$

dove

$$p_{indicata_up} = \left(\frac{I_{indicata_1,j} + I_{indicata_3,j} + I_{indicata_5,j}}{3} \right) \cdot m + q \quad \text{nel caso di metodo completo;}$$

$$p_{indicata_up} = I_{indicata_1,j} \cdot m + q \quad \text{nel caso di metodo standard o base.}$$

$$e_{down} = p_{indicata_down} - p_{riferimento_down}$$

dove

$$p_{indicata_down} = \left(\frac{I_{indicata_2,j} + I_{indicata_4,j} + I_{indicata_6,j}}{3} \right) \cdot m + q \quad \text{nel caso di metodo completo;}$$

$$p_{indicata_down} = I_{indicata_2,j} \cdot m + q \quad \text{nel caso di metodo standard o base.}$$

Per convertire il segnale in uscita dal trasduttore di pressione in taratura $I_{indicata}$ in unità di pressione si utilizzano i coefficienti di un'equazione lineare ottenuta dall'interpolazione di due coppie di valori, la prima corrisponde ai valori medi ($I_{indicata_up/down}$ e $p_{riferimento_up/down}$) del primo punto di misura, generalmente lo zero, e la seconda corrispondente ai valori medi ($p_{indicata_up/down}$ e $p_{riferimento_up/down}$) dell'ultimo punto di misura generalmente corrispondente al fondo scala. In alternativa, si possono utilizzare tutte le coppie di valori dei punti sperimentali, mantenendo separati i valori a pressione crescente e decrescente, per determinare i coefficienti delle rette dei minimi quadrati e le rispettive incertezze dei coefficienti.

I coefficienti dell'equazione del primo ordine così calcolati m e q saranno utilizzati per convertire il segnale letto sul trasduttore in mA, la sensibilità in mA, la ripetibilità in mA, lo zero in mA e l'isteresi in mA in unità di pressione.

Il pedice *up* indica le misurazioni eseguite a pressione crescente. Il pedice *down* indica le misurazioni eseguite a pressione decrescente. I coefficienti m e q sono rispettivamente il coefficiente angolare e i termine noto della retta di regressione passante per tutti i dati sperimentali, o in alternativa, della retta passante per il primo (zero) e per l'ultimo punto sperimentale (fondo scala).

11.3 Presentazione dei risultati come media dei valori ottenuti a pressione crescente e decrescente

11.3.1 Trasduttore di pressione digitale con uscita in unità di pressione

$$e_m = p_{indicata_m} - p_{riferimento_m} \quad \text{dove}$$

$$p_{indicata_m} = \frac{p_{1,j} + p_{2,j} + p_{3,j} + p_{4,j} + p_{5,j} + p_{6,j}}{6} \quad \text{nel caso di taratura completa;}$$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 14 di 35

$$p_{indicata_m} = \frac{p_{1,j} + p_{2,j}}{2}$$

nel caso di taratura standard o base.

Analoghe formule verranno utilizzate per definire la pressione di riferimento media
Il pedice m indica il valore medio.

11.3.2 Trasduttore di pressione con uscita in millivolt

$$e_m = p_{indicata_m} - p_{riferimento_m}$$

dove

$$p_{indicata_m} = \left(\frac{\frac{V_{indicata_1,j}}{V_{alimentazione_1,j}} + \frac{V_{indicata_2,j}}{V_{alimentazione_2,j}} + \frac{V_{indicata_3,j}}{V_{alimentazione_3,j}} + \frac{V_{indicata_4,j}}{V_{alimentazione_4,j}} + \frac{V_{indicata_5,j}}{V_{alimentazione_5,j}} + \frac{V_{indicata_6,j}}{V_{alimentazione_6,j}}}{6} \right) \cdot m + q$$

nel caso di taratura completa;

$$p_{indicata_m} = \left(\frac{\frac{V_{indicata_1,j}}{V_{alimentazione_1,j}} + \frac{V_{indicata_2,j}}{V_{alimentazione_2,j}}}{2} \right) \cdot m + q$$

nel caso di taratura standard o base.

Per convertire il segnale in uscita dal trasduttore di pressione in taratura $\left(\frac{V_{indicata}}{V_{alimentazione}} \right)$ in unità di pressione

si utilizzano i coefficienti di un'equazione lineare ottenuta dall'interpolazione di due coppie di valori, la prima corrisponde al valor medio del primo punto di misura, generalmente lo zero, e la seconda corrispondente al valor medio dell'ultimo punto di misura generalmente corrispondente al fondo scala (in alternativa, si possono utilizzare tutte le coppie di valori dei punti sperimentali, determinando i coefficienti della retta dei minimi quadrati per i dati sperimentali e le rispettive incertezze dei coefficienti).

I coefficienti dell'equazione del primo ordine così calcolati m e q saranno utilizzati per convertire il segnale letto sul trasduttore in mV/V, la sensibilità in mV/V, la ripetibilità in mV/V, lo zero in mV/V e l'isteresi in mV/V in unità di pressione.

11.3.3. Trasduttore di pressione con uscita in milliampere

$$e_m = p_{indicata_m} - p_{riferimento_m} \text{ dove}$$

$$p_{indicata_m} = \left(\frac{I_{indicata_1,j} + I_{indicata_2,j} + I_{indicata_3,j} + I_{indicata_4,j} + I_{indicata_5,j} + I_{indicata_6,j}}{6} \right) \cdot m + q$$

nel caso di taratura completa;

$$p_{indicata_m} = \left(\frac{I_{indicata_1,j} + I_{indicata_2,j}}{2} \right) \cdot m + q$$

nel caso di taratura standard o base.

Per convertire il segnale in uscita dal trasduttore di pressione in taratura $(I_{indicata})$ in unità di pressione si utilizzano i coefficienti di un'equazione lineare ottenuta dall'interpolazione di due coppie di valori, la prima corrisponde al valor medio del primo punto di misura ($I_{indicata_m}$, $p_{riferimento_m}$), generalmente lo zero, e la seconda corrispondente al valor medio dell'ultimo punto di misura generalmente il fondo scala (in alternativa,



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 15 di 35

si possono utilizzare tutte le coppie di valori dei punti sperimentali, determinando i coefficienti della retta dei minimi quadrati per i dati sperimentali e le rispettive incertezze dei coefficienti).

I coefficienti dell'equazione del primo ordine così calcolati saranno utilizzati per convertire il segnale letto sul trasmettitore in mA, la ripetibilità in mA, lo zero in mA e l'isteresi in mA in unità di pressione.

11.4 Parametri caratteristici del trasduttore

11.4.1 Risoluzione r e sensibilità s

Se il misuratore di pressione in taratura è fornito di un dispositivo d'indicazione, la risoluzione generalmente coincide con la cifra meno significativa visualizzata dal dispositivo d'indicazione. In pratica, la risoluzione rappresenta la sensibilità, cioè il più piccolo incremento di pressione che produce un'apprezzabile variazione sull'uscita del misuratore di pressione in taratura. In alcuni casi questo potrebbe non essere vero, cioè la sensibilità del misuratore in taratura potrebbe corrispondere ad un multiplo della risoluzione dell'indicatore (per esempio $s = 2r$ o $s = 7r$). Se il misuratore di pressione in taratura è un trasduttore o un trasmettitore di pressione allora la sensibilità del misuratore deve essere determinata sperimentalmente (per esempio $s=0,001$ mA o $s = 0,0005$ mV).

Qualora la sensibilità coincidesse con la risoluzione si considererà solo il contributo di una delle due grandezze. In ogni caso deve essere valutato un intervallo di variabilità di una distribuzione rettangolare pari a $2a = r$ o $2a = s$ come contributo all'incertezza di misura dovuto alla risoluzione (o alla sensibilità) del misuratore in taratura.

Nel caso in cui il trasduttore presentasse una instabilità del segnale (variazione di alcuni digit) si considera come risoluzione il digit più stabile.

11.4.2 Deriva di zero f_0

La deriva dello zero è valutata solo quando si considerano separatamente i risultati dei semicicli a pressione crescente e decrescente .

Il punto di zero (o il limite inferiore del campo di misura) deve essere registrato prima e dopo l'esecuzione di ogni ciclo di misura. La lettura deve essere registrata dopo la completa rimozione del carico. La deriva di zero è calcolata nel modo seguente:

$$f_0 = MAX \left\{ \left| x_{2,0} - x_{1,0} \right|, \left| x_{4,0} - x_{3,0} \right|, \left| x_{6,0} - x_{5,0} \right| \right\} \text{ nel caso di taratura completa;}$$

$$f_0 = \left| x_{2,0} - x_{1,0} \right| \text{ nel caso di taratura standard o base.}$$

Per gli strumenti dotati del tasto di azzeramento è possibile azzerare lo strumento prima di ogni ciclo. In questo caso $x_{1,0}$, $x_{3,0}$ e $x_{5,0}$ saranno pari a zero.

11.4.3 Ripetibilità b

La ripetibilità rappresenta la variabilità del segnale d'uscita dello strumento in taratura. Essa è determinata, a parità di pressione di riferimento e separatamente per pressione crescente e decrescente, dalla massima differenza fra i valori misurati come indicato qui di seguito:

$$b_{up,j} = MAX \left\{ \left| x_{3,j} - x_{1,j} \right|, \left| x_{5,j} - x_{1,j} \right|, \left| x_{5,j} - x_{3,j} \right| \right\}$$

$$b_{down,j} = MAX \left\{ \left| x_{4,j} - x_{2,j} \right|, \left| x_{6,j} - x_{2,j} \right|, \left| x_{6,j} - x_{4,j} \right| \right\}$$

$$b_{m,j} = MAX \left\{ b_{up,j}, b_{down,j} \right\}$$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 16 di 35

11.4.4 Isteresi h

L'isteresi (o reversibilità) è determinata, a parità di pressione di riferimento, dalla differenza fra i valori misurati con pressione crescente e i valori misurati con pressione decrescente come indicato qui di seguito:

$$h_j = \frac{1}{3} \cdot (|x_{2,j} - x_{1,j}| + |x_{4,j} - x_{3,j}| + |x_{6,j} - x_{5,j}|) \quad \text{nel caso di taratura completa;}$$

$$h_j = |x_{2,j} - x_{1,j}| \quad \text{nel caso di taratura standard o base.}$$

12 CALCOLO DELL'INCERTEZZA

L'incertezza da associare al risultato della taratura deve essere determinata seguendo il metodo pubblicato nel documento EA-4/02. Nell'analisi del bilancio d'incertezza del misurando si assume che non esista correlazione tra le grandezze d'ingresso prese in considerazione.

In tabella 1 è schematizzato il processo per la valutazione dell'incertezza estesa associata al misurando.

Tabella 1

Misurando			$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$
Incertezza tipo della misura	$u(x_i)$	Incertezza tipo associata alla grandezza d'ingresso x_i	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ $u_j(y) = c_j u(x_j)$ $u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$ $u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$
	c_i	Coefficiente di sensibilità	
	$u_i(y)$	Contributo all'incertezza tipo (composta) associata al risultato, dovuta all'incertezza tipo $u(x_i)$ della grandezza d'ingresso x_i	
	$u(y)$	Incertezza tipo (composta) associata al risultato della misura	
Incertezza estesa della misura	$U(y)$	Incertezza estesa associata al risultato della misura	$U(y) = k \cdot u(y)$
	k	Fattore di copertura	k

L'incertezza estesa della misura $U(y) = k u(y)$ deve comprendere una probabilità di copertura del 95 %. Se, come di consueto accade nella pratica, la distribuzione di probabilità associata al misurando è normale (Gaussiana), allora il fattore di copertura k vale 2 e l'incertezza estesa è $U(y) = 2 u(y)$. Negli altri casi il fattore di copertura deve essere determinato in accordo a quanto riportato nel documento EA 4/02.

12.1 Componenti dell'incertezza

Le incertezze di misura associate alle grandezze d'ingresso sono raggruppate in due categorie secondo il modo in cui sono state determinate:

Tipo A: Quando la grandezza d'ingresso X_i è misurata ripetutamente si hanno a disposizione diverse osservazioni indipendenti nelle stesse condizioni di misura, la sua stima e l'incertezza tipo associata sono determinati con metodi statistici. La stima x_i della grandezza X_i è data dalla media aritmetica e la sua incertezza dallo scarto sperimentale.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 17 di 35

Tipo B: La stima x_i della grandezza d'ingresso X_i è ottenuta da una valutazione non di tipo statistico ma ad altre informazioni, per esempio:

- dati di misura precedenti;
- esperienza e conoscenza generale delle proprietà e del comportamento degli strumenti di misura e dei materiali;
- specifiche del costruttore;
- certificati di taratura precedenti e altri certificati;
- dati di riferimento presi da manuali.

Alle grandezze d'ingresso X_i devono essere associate delle distribuzioni di probabilità, la stima x_i e l'incertezza $u(x_i)$ saranno il valore atteso della distribuzione e la radice quadrata della varianza. In molti casi, per la stima di una grandezza, possono essere definiti soltanto i limiti superiori ed inferiori, a_+ ed a_- . In tal caso si assume una densità di probabilità costante fra questi limiti.

Questa situazione è descritta tramite una distribuzione di probabilità rettangolare. E' questo ad esempio il caso di strumenti di misura influenzati dall'isteresi, il ciclo di taratura comprende un semiciclo a pressione crescente ed un semiciclo a pressione decrescente e quindi sono disponibili soltanto due valori per ogni punto di taratura e l'ipotesi che questi valori siano normalmente distribuiti non è completamente giustificabile. Nel seguito verranno presentati per le tre tipologie di misuratori di pressione (manometro digitale, trasduttore e trasmettitore) il modello utilizzato per descrivere il risultato della taratura e la valutazione dell'incertezza ad esso associata.

12.2 Incertezza di misura per la taratura di un manometro digitale

12.2.1 Semiciclo a pressione crescente e a pressione decrescente

$$u(e_{up/down}) = \sqrt{u^2(p_{indicata_up/down}) + u^2(p_{riferimento_up/down})}$$

I simboli hanno i seguenti significati.

$u(e_{up/down})$	Incertezza associata all'errore di indicazione, generalmente espresso in Pa.
$u^2(p_{riferimento_up/down})$	Incertezza associata alla pressione misurata dallo strumento campione, generalmente espressa in unità di pressione.
$u^2(p_{indicata_up/down})$	Incertezza associata alla pressione indicata dal trasduttore in taratura, generalmente espressa in unità di pressione. L'incertezza della pressione indicata è data dalla composizione dei seguenti contributi: <ul style="list-style-type: none">- incertezza dovuta alla risoluzione calcolata in ogni punto a pressione crescente o decrescente;- incertezza dovuta alla ripetibilità del trasduttore in taratura calcolata in ogni punto (per la taratura completa) o in uno o quattro punti per le altre tipologie di taratura;- incertezza dovuta alla deriva dello zero.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 18 di 35

I parametri che caratterizzano le grandezze d'ingresso possono essere ricapitolate come nella tabella seguente:

Grandezza X_i	Stima x_i	Unità	Intervallo variabilità	Distribuz. probab.	Divisore	Incertezza tipo $u(x_i)$	Coefficiente di sensibilità c_i	Contributo incertezza $u_i(y)$	
$p_{\text{riferimento}}$	p_r	Pa		normale	2	$u(p_r) = \frac{U(p_r)}{2}$	-1	$-u_{p_r}(e_{\text{up/down}})$	
risoluzione	r	Pa	r	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(r) = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$	1	$u_r(e_{\text{up/down}})$	
ripetibilità $u_{\text{up/down}}$	b	Pa	$b_{\text{up/down}}$	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(b_{\text{up/down}}) = \frac{b_{\text{up/down}}}{2 \cdot \sqrt{3}}$	1	$u_{b_{\text{up/down}}}(e_{\text{up/down}})$	
zero	f_0	Pa	f_0	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(f_{0\text{up/down}}) = \frac{f_0}{2 \cdot \sqrt{3}}$	1	$u_{f_{0\text{up/down}}}(e_{\text{up/down}})$	
$e_{\text{up/down}}$	e	Pa							$u(e_{\text{up/down}})$

L'incertezza di misura risulta:

$$U(e_{\text{up/down}}) = k \cdot u(e_{\text{up/down}}) =$$

$$k \cdot \sqrt{u_{p_r}^2(e_{\text{up/down}}) + u_r^2(e_{\text{up/down}}) + u_{b_{\text{up/down}}}^2(e_{\text{up/down}}) + u_{f_0}^2(e_{\text{up/down}})}$$

Nella pratica può essere utile sommare l'incertezza di misura $U(e_{\text{up/down}})$ con l'errore $e_{\text{up/down}}$ quando per qualsiasi motivo non s'intende eseguire la correzione dell'errore. A tale scopo può essere definita $U'(e_{\text{up/down}})$ vale a dire, **l'incertezza di misura quando non si applicano le correzioni determinate con la taratura**. Questa rappresenta la massima deviazione che può assumere un valore di pressione indicata dal manometro digitale rispetto al corrispondente valore della pressione di riferimento e può essere utilizzata per determinare la conformità del manometro digitale rispetto alle specifiche tecniche fornite dal costruttore o i requisiti specificati dal Cliente:

$$U'(e_{\text{up}}) = U(e_{\text{up}}) + |e_{\text{up}}|$$

$$U'(e_{\text{down}}) = U(e_{\text{down}}) + |e_{\text{down}}|$$

Osservazione: nel caso in cui esista un dislivello tra lo strumento di riferimento e quello in taratura la pressione di riferimento deve essere corretta utilizzando la seguente relazione:

$$p_{\text{riferimento}} = p_{\text{riferimento_non_corretta}} + \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad \text{dove}$$

$p_{\text{riferimento}}$ è la pressione di riferimento corretta
 $p_{\text{riferimento_non_corretta}}$ è la pressione di riferimento non corretta
 ρ è la densità del fluido di misura in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
 g è l'accelerazione di gravità locale in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
 Δh è il dislivello in m

L'incertezza di questa correzione è un contributo dell'incertezza associata alla pressione di riferimento.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 19 di 35

12.2.2 Media dei valori dei semicicli a pressione crescente e decrescente

L'incertezza dell'errore di indicazione è data dalla seguente espressione: .

$$u(e_m) = \sqrt{u^2(p_{indicata_m}) + u^2(p_{riferimento_m})}$$

I simboli hanno i seguenti significati.

$u(e_{medio})$	Incertezza associata all'errore medio di indicazione, generalmente espresso in Pa.
$u(p_{riferimento_m})$	Incertezza della media della pressione del semiciclo a pressione crescente e decrescente misurata dal campione di riferimento, generalmente espressa in Pa
$u(p_{indicata_m})$	Incertezza della media della pressione (semiciclo a pressione crescente e decrescente) indicata dal manometro digitale, espressa in unità di pressione L'incertezza della pressione media indicata è data dalla composizione dei seguenti contributi: - incertezza dovuta alla risoluzione, - incertezza dovuta alla ripetibilità del trasduttore in taratura, valore massimo tra il semiciclo in salita e in discesa, - incertezza dovuta all'isteresi .

I parametri che caratterizzano le grandezze d'ingresso possono essere ricapitolate in una tabella come la seguente:

Grandezza X_i	Stima x_i	Unità	Intervallo variabilità	Distribuzione probabilità $P(x_i)$	Divisor e	Incertezza tipo $u(x_i)$	Coefficiente sensibilità c_i	Contributo incertezza $u_i(y)$
$p_{riferimento_medio}$	p_r	Pa		normale	2	$u(p_r) = \frac{U(p_r)}{2}$	-1	$-u_{p_r}(e_m)$
risoluzione	r	Pa	r	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(r) = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$	1	$u_r(e_m)$
ripetibilità	b	Pa	b	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(b) = \frac{b}{2 \cdot \sqrt{3}}$	1	$u_b(e_m)$
isteresi	h	Pa	h	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(h) = \frac{h}{2 \cdot \sqrt{3}}$	1	$u_h(e_m)$
$e_{up/down}$	e	Pa						$u(e_m)$

L'incertezza estesa associata all'errore di misura è data dalla seguente espressione:

$$U(e_m) = k \cdot u(e_m) = k \cdot \sqrt{u_{p_r}^2(e_m) + u_r^2(e_m) + u_b^2(e_m) + u_h^2(e_m)}$$

l'incertezza estesa qualora non si apportino correzioni è data da:

$$U'(e_m) = U(e_m) + |e_m|$$

12.3 Incertezza di misura per la taratura di un trasduttore di pressione con uscita in mV/V

12.3.1 Pressione crescente e decrescente

$$u(e_{up/down}) = \sqrt{u^2(p_{indicata_up/down}) + u^2(p_{riferimento_up/down})}$$

I simboli hanno i seguenti significati.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 20 di 35

$u(e_{up/down})$	incertezza associata all'errore del semiciclo a pressione crescente o decrescente in unità di pressione.
$u(p_{riferimento_up/down})$	incertezza associata alla pressione di riferimento del semiciclo a pressione crescente o decrescente in unità di pressione (dal certificato di taratura).
$u(p_{indicata_up/down})$	incertezza della lettura del trasduttore di pressione (convertita in unità di pressione) del semiciclo a pressione crescente o decrescente. Questa incertezza comprende i contributi dovuti alla: <ul style="list-style-type: none">- ripetibilità,- zero,- misura del segnale d'uscita del trasduttore effettuata con il voltmetro (dal certificato di taratura del voltmetro),- risoluzione della tensione indicata,- misura della tensione di alimentazione effettuata con il voltmetro (dal certificato di taratura del voltmetro),- stabilità a breve termine del segnale di alimentazione.

Le caratteristiche delle grandezze d'ingresso possono essere riassunte nella seguente tabella:



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 21 di 35

Grandezza X_i	Stima x_i	Unità	Intervallo variabilità	Distribuzione probabilità $P(x_i)$	Divisore	Incertezza tipo $u(x_i)$	Coefficiente sensibilità c_i	Contributo incertezza $u_i(y)$
$p_{\text{riferimento_up/down}}$	p_r	Pa		normale	2	$u(p_{\text{rifup/down}}) = \frac{U(p_{\text{rifup/down}})}{2}$	-1	$-U_{p_r_up/down}(e_{\text{up/down}})$
$m_{\text{up/down}}$	$m_{\text{up/down}}$	Pa/(mV/V)		normale	2	$u(m_{\text{up/down}}) = \frac{U(m_{\text{up/down}})}{2}$	$\frac{V_{i_up/down}}{V_{a_up/down}}$	$u_m(e_{\text{up/down}})$
$q_{\text{up/down}}$	$q_{\text{up/down}}$	Pa		normale	2	$u(q_{\text{up/down}}) = \frac{U(q_{\text{up/down}})}{2}$	1	$u_q(e_{\text{up/down}})$
ripetibilità	b	mV/V	b	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(b_{\text{up/down}}) = \frac{b_{\text{up/down}}}{2 \cdot \sqrt{3}}$	$m_{\text{up/down}}$	$u_b(e_{\text{up/down}})$
zero	f_0	mV/V	f_0	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(f_{0\text{up/down}}) = \frac{f_{0\text{up/down}}}{2 \cdot \sqrt{3}}$	$m_{\text{up/down}}$	$u_b(e_{\text{up/down}})$
tensione indicata	V_i	mV	V_i	normale	2	$u(V_{i_up/down}) = \frac{U(V_{i_up/down})}{2}$	$m_{\text{up/down}}/V_a$	$u_{f_0}(e_{\text{up/down}})$
risoluzione tensione indicata	r	mV	r	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(r_{\text{up/down}}) = \frac{r_{\text{up/down}}}{2 \cdot \sqrt{3}}$	$m_{\text{up/down}}/V_a$	$u_r(e_{\text{up/down}})$
tensione di alimentazione	V_a	V	V_a	normale	2	$u(V_{a_up/down}) = \frac{U(V_{a_up/down})}{2}$	$\frac{V_{i_up/down} m_{\text{up/down}}}{V_{a_up/down}^2}$	$u_{V_a}(e_{\text{up/down}})$
stabilità tensione di alimentazione	st	V	st	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(st_{\text{up/down}}) = \frac{st_{\text{up/down}}}{2 \cdot \sqrt{3}}$	$\frac{V_{i_up/down} m_{\text{up/down}}}{V_{a_up/down}^2}$	$u_{st}(e_{\text{up/down}})$
$e_{\text{up/down}}$	$e_{\text{up/down}}$	Pa						$u(e_{\text{up/down}})$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 22 di 35

Quindi, l'incertezza dell'errore di misura risulta espresso dalla:

$$U(e_{up/down}) = k \cdot u(e_{up/down}) =$$

$$k \cdot \sqrt{u_{m_{up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{q_{up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{pr}^2(e_{up/down}) + u_{b_{up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{f_0}^2(e_{up/down}) + u_{V_{i_up/down}}^2(e_{up/down}) + u_r^2(e_{up/down}) + u_{V_{a_up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{st}^2(e_{up/down})}$$

Qualora non si applichi la correzione alla lettura del trasduttore l'incertezza estesa risulta:

$$U'(e_{up}) = U(e_{up}) + |e_{up}|$$

Nel caso in cui, si adotti una retta di interpolazione passante per il primo e per l'ultimo punto sperimentale, allora $u(m_{up/down}) = 0$ e $u(q_{up/down}) = 0$ e di conseguenza $u_{m_{up/down}}(e_{up/down}) = 0$ e $u_{q_{up/down}}(e_{up/down}) = 0$. Qualora il segnale in uscita dal trasduttore sia letto direttamente in termini di rapporto tra la tensione indicata e la tensione di alimentazione i contributi d'incertezza dovuti alla misura del segnale d'uscita del trasduttore effettuata con il voltmetro, alla risoluzione della tensione indicata, alla misura della tensione di alimentazione effettuata con il voltmetro e alla stabilità a breve termine del segnale di alimentazione saranno sostituiti dal contributo dovuto alla misura del rapporto tensione indicata e tensione di alimentazione e alla sua risoluzione.

12.3.2 Media pressione crescente e decrescente

$$u(e_m) = \sqrt{u^2(p_{indicata_m}) + u^2(p_{riferimento_m})}$$

I simboli hanno i seguenti significati.

$u(p_{riferimento_m})$	Incertezza del trasduttore di riferimento (media dell'incertezza del semiciclo di pressione crescente e decrescente)
$u(p_{indicata_m})$	Incertezza composta della pressione indicata dal trasduttore. I contributi all'incertezza sono: <ul style="list-style-type: none"> ▪ la ripetibilità, valore massimo tra i due semicicli di pressione (mV/V) ▪ la sensibilità, valore max tra i due semicicli di pressione (mV/V) ▪ l'isteresi (mV/V) ▪ il segnale d'uscita del trasduttore letto sul voltmetro (certificato di taratura) (mV) ▪ la stabilità a breve termine del segnale ▪ la tensione di alimentazione letta sul trasduttore (certificato di taratura) (V) ▪ la stabilità a breve termine della tensione di alimentazione Ognuno di questi contributi dovrà essere convertito in pascal

Le caratteristiche delle grandezze d'ingresso possono essere ricapitolate in una tabella come la seguente:



SIT

Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 23 di 35

Grandezza X_i	Stima x_i	Unità	Intervallo variabilità	Distribuzione probabilità)	Divisore	Incertezza tipo $u(x_i)$	Coefficiente Sensibilità c_i	Contributo Incertezza $u_i(y)$
m_m	m_m	Pa/ mV/V		normale	2	$u(m_m) = \frac{U(m_m)}{2}$	V_{i_m}/V_{a_m}	$u_{m_m}(e_m)$
q_m	q_m	Pa		normale	2	$u(q_m) = \frac{U(q_m)}{2}$	1	$u_{q_m}(e_m)$
$p_{\text{riferimento}}$	p_r	Pa		normale	2	$u(p_{\text{riferimento}}) = \frac{U(p_{\text{riferimento}})}{2}$	-1	$-u_{p_r}(e_m)$
ripetibilità	b	mV/V	b	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(b) = \frac{b}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_m	$u_b(e_m)$
isteresi	h	mV/V	h	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(h) = \frac{h}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_m	$u_h(e_m)$
tensione indicata	V_i	mV		normale	2	$u(V_{i_m}) = \frac{U(V_{i_m})}{2}$	$\frac{m_m}{V_{a_m}}$	$u_{V_{i_m}}(e_m)$
risoluzione tensione indicata	r	mV	r	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(r) = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_m/V_{a_m}	$u_{st}(e_m)$
tensione di alimentazione	V_a	V		normale	2	$u(V_{a_m}) = \frac{U(V_{a_m})}{2}$	$-\frac{m_m \cdot V_{i_m}}{V_{a_m}^2}$	$-u_{V_{a_m}}(e_m)$
stabilità tensione di alimentazione	st	V	st	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(st) = \frac{st}{2 \cdot \sqrt{3}}$	$-\frac{m_m \cdot V_{i_m}}{V_{a_m}^2}$	$u_{st}(e_m)$
e_m	e_m	Pa						$u(e_m)$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 25 di 35

Quindi, l'incertezza estesa associata all'errore medio dei due semicicli di pressione è data da:

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

$$= k \cdot \sqrt{u_{m_m}^2(e_m) + u_{q_m}^2(e_m) + u_{pr}^2(e_m) + u_{b_m}^2(e_m) + u_h^2(e_m) + u_{Vi_m}^2(e_m) + u_r^2(e_m) + u_{Va_m}^2(e_m) + u_{st}^2(e_m)}$$

Qualora non si apportino correzioni al trasduttore l'incertezza estesa risulta:

$$U'(e_m) = U(e_m) + |e_m|$$

Qualora il segnale in uscita dal trasduttore sia letto direttamente in termini di rapporto tra la tensione indicata e la tensione di alimentazione i contributi d'incertezza dovuti alla misura del segnale d'uscita del trasduttore effettuata con il voltmetro, alla risoluzione della tensione indicata, alla misura della tensione di alimentazione effettuata con il voltmetro e alla stabilità a breve termine del segnale di alimentazione saranno sostituiti dal contributo dovuto alla misura del rapporto tensione indicata e tensione di alimentazione e alla sua risoluzione.

12.4 Incertezza di misura per la taratura di un trasduttore di pressione con uscita in corrente (trasmettitore di pressione)

12.4.1 Pressione crescente e decrescente

$$u(e_{up/down}) = \sqrt{u^2(p_{indicata_up/down}) + u^2(p_{riferimento_up/down})}$$

I simboli hanno i seguenti significati.

$u(e_{up/down})$	Incetenza associata all'errore del semiciclo a pressione crescente e decrescente in Pa
$u(p_{riferimento_up/down})$	incetenza associata alla pressione di riferimento del semiciclo a pressione crescente o decrescente in Pa
$u(p_{indicata_up/down})$	incetenza associata alla pressione letta con il trasduttore del semiciclo a pressione crescente o decrescente. Questa incetenza comprende i contributi dovuti: <ul style="list-style-type: none"> - alla ripetibilità del trasduttore, - allo zero, - all'incetenza associata alla misure del segnale d'uscita del trasduttore effettuata con l'amperometro (dal certificato di taratura), - alla risoluzione della lettura effettuata con l'amperometro Ognuno di questi contributi è trasformato in unità di pressione con i coefficienti m e q .



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 26 di 35

La conoscenza in merito alle grandezze d'ingresso può essere ricapitolata in una tabella come la seguente:

Grandezza X_i	Stima x_i	Unità	Intervallo variabilità	Distribuzione probabilità $P(x_i)$	Divisore	Incertezza tipo $u(x_i)$	Coefficiente sensibilità c_i	Contributo incertezza $u_i(y)$
$m_{up/down}$	m_{up}	Pa/mA		normale	2	$u(m_{up}) = \frac{U(m_{up})}{2}$	I_{i_up}	$u_{m_{up}}(e_{up/down})$
$q_{up/down}$	q_{up}	Pa		normale	2	$u(q_{up}) = \frac{U(q_{up})}{2}$	1	$u_{q_{up/down}}(e_{up/down})$
$p_{riferimento}$	p_r	Pa		normale	2	$u(p_r) = \frac{U(p_r)}{2}$	-1	$-u_{p_r}(e_{up})$
ripetibilità	b	mA	$b_{up/down}$	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(b_{up/down}) = \frac{b_{up/down}}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_{up}	$u_{b_{up/down}}(e_{up/down})$
zero	f_0	mA	f_0	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(f_0) = \frac{f_0}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_{up}	$u_{f_0}(e_{up/down})$
corrente	I	mA	I	normale	2	$u(I_{i_up}) = \frac{U(I_{i_up})}{2}$	m_{up}	$u_{I_{up/down}}(e_{up/down})$
risoluzione segnale	r	mA	r	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(r) = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_{up}	$u_{r_{up/down}}(e_{up/down})$
$e_{up/down}$	e_{up}	Pa						$u(e_{up/down})$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 27 di 35

Quindi, l'incertezza estesa associata all'errore di misura risulta pari a:

$$U(e_{up/down}) = k \cdot u(e_{up/down}) =$$

$$= k \cdot \sqrt{u_{m_{up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{q_{up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{pr}^2(e_{up/down}) + u_{b_{up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{f_0}^2(e_{up/down}) + u_{li_{up/down}}^2(e_{up/down}) + u_{r_{up/down}}^2(e_{up/down})}$$

Qualora non si applichi la correzione alla lettura del trasduttore l'incertezza estesa risulta:

$$U'(e_{up/down}) = U(e_{up/down}) + |e_{up/down}|$$

Nel caso in cui, si adotti una retta di interpolazione passante per il primo e per l'ultimo punto sperimentale, allora $u(m_{up}) = 0$ e $u(q_{up}) = 0$. Conseguentemente anche $u_{m_{up}}(e_{up}) = 0$ e $u_{q_{up}}(e_{up}) = 0$.

12.4.2 Media pressione crescente e decrescente

L'errore di indicazione è definito dal seguente modello matematico.

$$u(e_m) = \sqrt{u^2(p_{indicata_m}) + u(p_{riferimento_m})}$$

I simboli hanno i seguenti significati.

$u(e_m)$	Incertezza associata all'errore medio del semiciclo a pressione crescente e decrescente
$u(p_{riferimento_m})$	Incertezza del trasduttore di riferimento (dal certificato di taratura)
$u(p_{indicata_m})$	Incertezza composta della pressione indicata dal trasduttore. I contributi da considerare per la valutazione dell'incertezza sono: <ul style="list-style-type: none"> - la risoluzione (mA) - la ripetibilità, valore massimo dell'incertezza dovuta alla ripetibilità ottenuta nel semiciclo a pressione crescente e decrescente (mA) - l'isteresi (mA) - il segnale d'uscita del trasduttore letto sull'amperometro (certificato di taratura) - la stabilità a breve termine del segnale



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05 Revisione: 0 Data 2005-04-18 Pagina 28 di 35

La conoscenza in merito alle grandezze d'ingresso può essere ricapitolata in una tabella come la seguente:

Grandezza X_i	Stima x_i	Unità	Intervallo variabilità	Distribuzione probabilità $P(x_i)$	Divisore	Incertezza tipo $u(x_i)$	Coefficiente sensibilità c_i	Contributo incertezza $u_i(y)$
m_m		Pa/mA		normale	2	$u(m_m) = \frac{U(m_m)}{2}$	l_{i_m}	$u_{m_m}(e_m)$
q_m		Pa		normale	2	$u(q_m) = \frac{U(q_m)}{2}$	1	$u_{q_m}(e_m)$
$p_{\text{riferimento}}$	p_r	Pa		normale	2	$u(p_r) = \frac{U(p_r)}{2}$	-1	$-u_{p_r}(e_m)$
ripetibilità	b	mA	b	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(b_m) = \frac{b_m}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_m	$u_b(e_m)$
isteresi	h	mA	h	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(h) = \frac{h}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_m	$u_h(e_m)$
corrente	l	mA		normale	2	$u(I_{i_up}) = \frac{U(I_{i_up})}{2}$	m_m	$u_l(e_m)$
risoluzione del segnale in corrente	r	mA	r	rettangolare	$\sqrt{3}$	$u(r) = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$	m_m	$u_r(e_m)$
e_m	e_m	Pa						$u(e_m)$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 29 di 35

Quindi, l'incertezza estesa associata all'errore di misura è dato dall'espressione:

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

$$= k \cdot \sqrt{u_{m_m}^2(e_m) + u_{q_m}^2(e_m) + u_{pr}^2(e_m) + u_h^2(e_m) + u_{b_m}^2(e_m) + u_{li_m}^2(e_m) + u_{r_m}^2(e_m)}$$

Qualora non si applichi la correzione alle lettura del trasduttore l'incertezza estesa risulta:

$$U'(e_{up/down}) = U(e_{up/down}) + |e_{up/down}|$$

13 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DI TARATURA

I risultati della taratura devono essere presentati in forma tale da essere facilmente valutati dall'utilizzatore. Qui di seguito vengono elencate le informazioni, di tipo generale valide per qualsiasi tipologia di strumenti in taratura, che devono essere presenti sul certificato oltre a quelle previste dal modello SIT:

- 1- Condizioni ambientali di riferimento (di prova)
- 2- Posizione di montaggio
- 3- Fluido di misura
- 4- Alimentazione
- 5- Livello di riferimento
- 6- Procedura di taratura
- 7- Se sullo strumento è stata eseguita un'operazione di aggiustamento prima della taratura
- 8- Tabella indicante i valori rilevati dipendente dal tipo di strumento tarato e dalla procedura adottata
- 9- Incertezza
- 10- Incertezza estesa nel caso in cui non si effettuano correzioni

Nel seguito sono riportati degli esempi di tabelle per la presentazione dei risultati delle differenti tipologie di taratura.

13.1 Presentazione dei risultati per un trasduttore con uscita in unità di pressione (taratura base)

Presentare i risultati della taratura base in una tabella analoga alla seguente, nel caso di presentazione dei risultati come media per pressione crescente e decrescente.

Valore medio della pressione di riferimento (Pa, bar)	Media dei valori di pressione misurati a pressione crescente e decrescente (Pa, bar)	Ripetibilità (Pa, bar)	Errore (Pa, bar)	Incertezza estesa di misura (Pa, bar)	Incertezza estesa nel caso in cui non si effettuano correzioni (Pa, bar)

Oppure, presentare i risultati della taratura base in una tabella analoga alla seguente, nel caso di presentazione dei risultati separatamente per pressione crescente e decrescente.



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 32 di 35

13.7 Utilizzo dell'errore e della sua incertezza da parte degli utilizzatori

Il certificato di taratura riporta, per i vari livelli di pressione, l'errore e l'incertezza ad esso associata. Al momento dell'utilizzo del trasduttore per convertire la pressione indicata in pressione corretta si dovrà applicare la seguente espressione:

$$p_{\text{corretta}} = p_{\text{indicata}} - e$$

dove p_{indicata} è il valore letto con il trasduttore ed e è il corrispondente valore dell'errore riportato nel certificato di taratura.

Applicare l'espressione precedente significa trasformare la lettura in pressione direttamente riferito ai campioni nazionali infatti:

$$p_{\text{corretta}} = p_{\text{indicata}} - e = p_{\text{indicata}} - p_{\text{indicata}} + p_{\text{riferimento}} = p_{\text{riferimento}}$$

L'incertezza da associare al valore di pressione corretto sarà data dall'espressione:

$$u(p_{\text{corretta}}) = \sqrt{u^2(p_{\text{indicata}}) + u^2(e)}$$

dove $u(p_{\text{indicata}})$ indica l'incertezza della pressione indicata dal trasduttore al momento dell'utilizzo e che comprende la risoluzione, eventuali instabilità del trasduttore, e tutte le altre componenti che si possono presentare al momento dell'utilizzo (ad esempio l'influenza della temperatura nel caso in cui si utilizzi il trasduttore ad una temperatura diversa da quella di taratura); $u(e)$ è l'incertezza tipo associata all'errore che si ricava dal certificato di taratura.

Qualora si sia optato per una taratura di tipo base è consigliabile utilizzare l'incertezza estesa $U'(e_m)$.

14 ESEMPIO DI TARATURA

Vengono nel seguito riportati due esempi dell'elaborazione dei risultati sperimentali per valutare l'errore di misura e l'incertezza ad esso associata. Il primo esempio si riferisce alla taratura, con procedura base, di un trasduttore con uscita in unità di pressione e il secondo alla taratura, con la procedura base, di un trasmettitore 4-20 mA.

14.1 Esempio di taratura base per un trasduttore con uscita in unità di pressione

Nel caso si tratti di un manometro digitale i risultati della taratura verranno riportati in una tabella come la seguente:

Pressione di riferimento (crescente) p_r [bar]	Pressione di riferimento (decrescente) p_r [bar]	Pressione indicata (crescente) [bar]	Pressione indicata (decrescente) [bar]	Pressione indicata (crescente) [bar]	Pressione indicata (decrescente) [bar]	Pressione indicata (crescente) [bar]	Pressione indicata (decrescente) [bar]
0,000	0,000	0,000	0,001	0,000		0,000	
1,0000	1,0000	1,000	1,001				
3,0000	3,0000	3,001	3,002				
5,0000	5,0000	5,002	5,004	5,003		5,003	
8,0000	8,0000	8,000	8,001				
10,0000	10,0000	9,998	9,999				

Da questi risultati si ricavano i valori medi della pressione di riferimento, i valori medi della corrispondente lettura del trasduttore, l'errore medio e l'isteresi (avendo effettuato due semicicli di misura si è considerato il modulo delle differenze)



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 33 di 35

Pressione di riferimento p_r [bar]	Media della pressione indicata $p_{r,m}$ [bar]	Ripetibilità della pressione indicata b [bar]	Errore medio e_m [bar]	Isteresi [bar]
0,0000	0,0005		0,0005	0,001
1,0000	1,0005		0,0005	0,001
3,0000	3,0015		0,0015	0,001
5,0000	5,0030	0,001	0,0030	0,002
8,0000	8,0005		0,0005	0,001
10,0000	9,9985		-0,0015	0,001

Nella tabella seguente sono riportate le varie componenti all'incertezza in particolare si è considerato:

- l'incertezza estesa del campione di riferimento pari a 0,01 % del valore misurato
- l'incertezza dovuta alla ripetibilità, misurata al 50 % dell'ampiezza del campo di misura, è stata utilizzata per la valutazione dell'incertezza composta degli altri punti di misura

Pressione di riferimento p_r [bar]	Media della pressione indicata $p_{r,m}$ [bar]	Incetzza pressione di riferimento [bar]	Incetzza dovuta all'isteresi [bar]	Incetzza dovuta alla risoluzione [bar]	Incetzza ripetibilità [bar]	$U(e_m)$ [bar]
0,000	0,001	0,0000	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010
1,000	1,001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010
3,000	3,002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010
5,000	5,003	0,0005	0,0006	0,0003	0,0003	0,0015
8,000	8,001	0,0008	0,0003	0,0003	0,0003	0,0013
10,000	9,999	0,0010	0,0003	0,0003	0,0003	0,0014

Nella tabella seguente sono riportati l'errore medio, l'incertezza estesa ad esso associata e l'incertezza qualora non vi vogliono effettuare correzioni. L'errore dovrà avere un numero di cifre significative appropriato in funzione dell'incertezza estesa calcolata.

Pressione di riferimento p_r [bar]	Media della pressione indicata $p_{r,m}$ [bar]	e_m [bar]	$U(e_m)$ [bar]	$U'(e_m)$ [bar]
0,000	0,001	0,001	0,0010	0,0020
1,000	1,001	0,001	0,0010	0,0020
3,000	3,002	0,002	0,0010	0,0030
5,000	5,003	0,003	0,0015	0,0045
8,000	8,001	0,001	0,0013	0,0023
10,000	9,999	-0,002	0,0014	0,0024



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 34 di 35

14.2 Esempio di taratura base per un trasmettitore di pressione

Nel caso della taratura di un trasmettitore 4-20 mA i risultati potranno essere raccolti in una tabella di registrazione come la seguente:

Pressione di riferimento p_r [bar]	Pressione di riferimento p_r [bar]	Segnale in uscita a pressione crescente [mA]	Segnale in uscita a pressione decrescente [mA]	Segnale in uscita a pressione crescente [mA]	Segnale in uscita a pressione decrescente [mA]	Segnale in uscita a pressione crescente [mA]	Segnale in uscita a pressione decrescente [mA]
0,0000	0,0000	4,001	4,002	3,998		4,005	
2,5000	2,5000	5,601	5,602				
7,5000	7,5000	8,802	8,804				
12,5000	12,5000	12,002	12,004	12,000		12,009	
20,0000	20,0000	16,803	16,806				
25,0000	25,0000	20,002	20,004				

Pressione di riferimento p_r [bar]	Media del segnale in uscita i_m [mA]	Isteresi del segnale in uscita h [mA]	Ripetibilità del segnale in uscita b [mA]	Pressione calcolata media p_{i_m} [bar]	Errore medio e_m [bar]	Incertezza di misura $U(e_m)$ [bar]	Incertezza di misura quando non si applica la correzione $U'(e_m)$ [bar]
0,0000	4,002	0,001		0,0000	0,0000	0,0083	0,0083
2,5000	5,602	0,001		2,4998	-0,0002	0,0084	0,0086
7,5000	8,803	0,002		7,5011	0,0011	0,0088	0,0099
12,5000	12,003	0,002	0,009	12,5008	0,0008	0,0093	0,0101
20,0000	16,805	0,003		20,0034	0,0034	0,0103	0,0137
25,0000	20,003	0,002		25,0000	0,0000	0,0107	0,0107

Il calcolo dell'incertezza è stato effettuato considerando i contributi riportati nella seguente tabella

Incertezza della pressione di riferimento $u_{p_r}(e_m)$ [bar]	Incertezza dello amperometro $u_{i_m}(e_m)$ [bar]	Incertezza sensibilità del segnale in uscita $u_s(e_m)$ [bar]	Incertezza ripetibilità del segnale in uscita $u_b(e_m)$ [bar]	Incertezza isteresi del segnale in uscita $u_r(e_m)$ [bar]	Errore medio e_m [bar]	Incertezza di misura $U(e_m)$ [bar]	Incertezza di misura quando non si applica la correzione $U'(e_m)$ [bar]
0,0000	0,0006	0,0005	0,0041	0,0005	0,0000	0,0083	0,0083
0,0001	0,0009	0,0005	0,0041	0,0005	-0,0002	0,0084	0,0086
0,0004	0,0014	0,0005	0,0041	0,0009	0,0011	0,0088	0,0099
0,0006	0,0019	0,0005	0,0041	0,0009	0,0008	0,0093	0,0101
0,0010	0,0026	0,0005	0,0041	0,0014	0,0034	0,0103	0,0137
0,0013	0,0031	0,0005	0,0041	0,0009	0,0000	0,0107	0,0107

Osservazioni:

- La ripetibilità, calcolata al 50 % dell'ampiezza del campo di misura, è stata utilizzata anche per gli altri punti di misura,
- Per calcolare il valore della pressione, noto il segnale della corrente d'uscita dal trasmettitore, si utilizza una regressione lineare del primo ordine passante per il primo e l'ultimo punto del campo di misura, In questo caso la retta ha la seguente espressione:

$$p_{i_m}(\text{bar}) = m_m \left(\frac{\text{bar}}{\text{mA}} \right) \cdot i_{i_m}(\text{mA}) + q_m(\text{bar}) = 1,56240235 \left(\frac{\text{bar}}{\text{mA}} \right) \cdot i_{i_m}(\text{mA}) - 6,25273420(\text{bar})$$



SIT
Servizio di Taratura in Italia

GUIDA PER LA TARATURA DI MISURATORI DI PRESSIONE

Identificazione: SIT/Tec-009/05

Revisione: 0

Data 2005-04-18

Pagina 35 di 35

- L'isteresi è stata valutata in accordo a quanto riportato nel paragrafo 11,5; in questo caso, avendo effettuato due sole serie di misura (una salita e una discesa), è stato considerato solo il modulo delle differenze delle pressioni delle due serie, per ogni punto,
- L'incertezza estesa del campione di riferimento è stata supposta pari a 0,01 % del valore misurato,
- L'incertezza estesa dell'amperometro è stata considerata pari a 0,02 % del valore misurato,
- La sensibilità s del trasmettitore di pressione è stata considerata pari a 0,001 mA,