Franco Sardo

# L'INCERTEZZA DI MISURA

## UNCERTAINTY IN MEASUREMENT

REV. 1 – 03/09/2013

| | **INDICE** | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |

# Introduzione

Come evidenziato da almeno un ventennio dalle maggiori organizzazioni internazionali di normazione e metrologia (BIPM, ISO, IUPAC, IUPAP, IEC, IFCC, ILAC, OIML, riunite nel Joint Committee for Guides in Metrology, JCCM), da organizzazioni nazionali (Istituto Superiore di Sanità, Accredia, SIT, IRSA, ISPRA), nonché dalla Commissione Europea e della EA (European Accreditation), è di fondamentale importanza stabilire **la qualità del dato,** ed è necessario definirla ed esplicitarla ogni volta che viene fornito un valore numerico.

In mancanza, ove si fornisse un dato senza alcuna indicazione della sua qualità, non sarebbe possibile valutare l'affidabilità dei risultati, né confrontare misure provenienti da fonti diverse né tantomeno confrontare un dato con i valori di riferimento riportati da specifiche o da norme di legge.

In ambiti essenziali quali la ricerca, le analisi di laboratorio, la taratura degli strumenti, le comunicazioni ambientali (ad esempio quelle associate alle emissioni di gas serra, quelle derivanti dagli obblighi dell'Autorizzazione Integrata Ambientale, quelle relative alle caratteristiche dei materiali, quelle relative agli ambienti di lavoro), ogni dato va fornito in associazione con la dichiarazione della sua qualità, espressa in termini di **incertezza**.

In altri termini, si riconosce che non ha senso fornire dati numerici di misure senza che contemporaneamente si espliciti l'incertezza ad essi associata.

E' quindi necessario che chi con queste misure operi, o per ragioni di ricerca o perché in ambito aziendale ha la responsabilità di fornire dati alle autorità di controllo, o per altre ragioni ancora, pur lasciando agli specialisti metrologi gli aspetti tecnici di dettaglio, sia ben consapevole del significato di tale parametro e sia in grado di valutarne l'entità.

Purtroppo l'argomento, che pur utilizzando molti elementi di statistica costituisce una branca a sé stante, non è inserito nei principali corsi di laurea, e si riscontrano difficoltà nella sua applicazione pratica.

In questa breve nota si intendono richiamare, in un linguaggio forse non sempre strettamente rigoroso ma accessibile a chi non sia uno specialista del settore, i principali concetti relativi all'incertezza di misura, e chiarire aspetti spesso oscuri fornendo indicazioni pratiche per la sua valutazione negli ambiti più comuni.

A tal fine ci si è basati sulle numerose guide e sulle corpose indicazioni fornite dai principali enti di normazione, come riportato in bibliografia.

# 1. Il concetto di incertezza

L' incertezza di misura viene definita ufficialmente come *il parametro, associato col risultato di una misura, che definisce la dispersione dei valori ragionevolmente attribuibili al misurando*.

Questo concetto diventa chiaro se si tiene presente che i risultati di più misure ripetute della stessa grandezza sono di solito diversi, o, appunto, *dispersi*, e ciò per le più varie ragioni, ad es. per fattori imponderabili che influenzano la misura, quali le condizioni di temperatura, umidità e pressione atmosferica, la lettura dell'operatore, l'imprecisione dello strumento di misura e altro ancora. E' chiaro che una misura ripetuta che produca valori molto simili (*ripetibili*) risulta migliore rispetto ad una che produce risultati dispersi.

La misura ripetuta va vista come un campionamento da una popolazione infinita: sarebbe infatti possibile, in linea di principio, ripetere infinite volte la misura della stessa grandezza, e quindi i possibili valori (la popolazione) sono infiniti. Come in un sondaggio preelettorale, occorre sapere quanto il campione (il numero, necessariamente limitato, di misure che eseguiamo effettivamente) sia rappresentativo della popolazione.

Come valore "vero" della grandezza (intrinsecamente inconoscibile) si assume infatti la media della popolazione, cioè di tutti gli infiniti valori che la grandezza può assumere ($\mu$). Poiché il valore "vero" è, per l'appunto, inconoscibile, **noi assumiamo come valore più probabile della grandezza Y la media delle misure effettuate**.

E' quindi necessario sapere con che probabilità il valore "vero" ricade fra i valori delle misure ripetute che abbiamo eseguito.

La dispersione di misure ripetute della stessa grandezza viene quantificata dalla deviazione standard (o scarto quadratico medio, o scarto tipo)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}}$$

dove, come è noto, $x_i$ rappresenta il valore di ogni misura, $x_m$ la media dei valori riscontrati, ed n il numero delle misure ripetute.

Questa è la deviazione standard dei campioni; la deviazione standard della **media** delle misure effettuate (nel caso che si eseguissero più campionamenti) è invece data da

$$U = s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Essa rappresenta l'**incertezza** che la media delle misure Y rappresenti il valore "vero", cioè la media della popolazione; se a questo valore associamo un coefficiente k (*fattore di copertura*, v. par. 5),

$$Ue = k\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

potremo stabilire un intervallo Y $\pm$ *Ue* entro il quale si troverà una percentuale n delle misure. Dal valore di k, e dunque dall'ampiezza di questo intervallo, dipenderà la probabilità con la quale potremo confidare che il range Y $\pm$ *Ue* includa il valore "vero" della grandezza:

$$Y - k\frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq Y + k\frac{s}{\sqrt{n}}$$

Il parametro, dunque, che "*definisce la dispersione dei valori ragionevolmente attribuibili al misurando*" (dove *ragionevolmente* significa che vanno scartati valori evidentemente errati) **è dunque sempre una deviazione standard**, e in particolare, nel caso di misure ripetute, la deviazione standard della media, detta anche, nei paesi anglosassoni, SEM (standard error of the mean), associata, ove richiesto, ad un parametro che fissa l'ampiezza del range che abbraccia i valori misurati.

L'incertezza dei risultati di una misura espressa come deviazione standard viene chiamata incertezza standard.

Per chiarezza, da qui in avanti identificheremo con $Ux_i$ l'incertezza assoluta sulla quantità $x_i$, espressa nelle unità di misura di $x_i$, e con $u_{xi}$ l'incertezza relativa, espressa in percentuale.
Con gli n valori $x_i$ si rappresentano i parametri o quantità in ingresso da cui deriva il valore del misurando Y.

# 2. Identificazione delle fonti di incertezza

Quando si prende in considerazione il risultato di una misura, ove questo risultato derivi da misure di altri parametri, è necessario sapere da quali quantità in ingresso e secondo quale funzione deriva il valore del misurando.

$$Y=f(x_1,x_2,x_3...x_n)$$

Ad esempio, per la determinazione di una quantità di gas naturale consumata, il valore in Smc (standard metri cubi) deriva dalla misura del volume alle condizioni di esercizio, corretto dalle misure di pressione e temperatura necessarie per riportarlo alle condizioni standard. Dunque

$$V_{Smc}=f(V_{mc}, P, T)$$

Per valutare l'incertezza da cui è affetta la misura della quantità di gas, dovremo tenere in considerazione l'incertezza nella misura del volume e quelle nelle misure di pressione e temperatura.

**Tutte** le fonti di incertezza collegate con una misura vanno identificate: sarà poi possibile, in un secondo tempo, scartarne alcune perché trascurabili rispetto alle altre (ad es., nell'esempio di cui sopra, gli errori di troncatura nella elaborazione dei dati da parte del compensatore elettronico di P e T, ovvero l'incertezza dei campioni standard utilizzati per tararlo).

Ove possibile, sarebbe opportuno identificare esplicitamente la funzione che collega il misurando Y alle varie grandezze $x_i$; ciò perché, come vedremo, nella valutazione dell'incertezza composta sarebbe necessario conoscere tale funzione.

E' da notare che l' incertezza nella misura di ogni grandezza $x_i$ può essere determinata mediante analisi statistica di misure ripetute (determinazione della media, della deviazione standard delle misure e della deviazione standard della media) ovvero in altro modo, ad esempio mediante valutazioni a priori; le prime vengono chiamate incertezze random, o **di tipo A**, e diminuiscono aumentando il numero delle misure ripetute, le seconde **di tipo B** e non diminuiscono ripetendo le misure.

Spesso una fonte di incertezza è a sua volta connessa con altre incertezze; ad esempio, in una analisi chimica, una fonte di incertezza da considerare è quella connessa alla diluizione dei reagenti; questa, a sua volta, deriva dall'incertezza del volume del pallone tarato, della lettura del menisco, della temperatura, etc
In questi casi, per l'analisi e l'identificazione completa di tutte le fonti di incertezza si usa il **diagramma a spina di pesce** (fishbone), detto anche diagramma di Ishikawa.

Gli errori di tipo B vengono detti sistematici; essi, ove possibile, vanno corretti; ad esempio, se il recupero di un analita da una matrice in cui è stato adsorbito (es: carbone attivo) sarà sempre inferiore al 100%, ad es. 99%, l'errore dell'1% va identificato e corretto; una volta corretto, non dovrà essere considerato nella valutazione dell'incertezza.

E' importante che le incertezze non vengano computate due volte: se si ha ragione di ritenere che una fonte di incertezza faccia parte del contributo alla deviazione standard di misure ripetute, non va computata anche fra le incertezze di tipo B, perché viene già computata nell'incertezza di tipo A.

# 3. Valutazione delle incertezze

Nel caso di incertezze di tipo A, associate alla elaborazione statistica di misure ripetute, la loro valutazione quantitativa risulta immediata perché l'incertezza standard è semplicemente la deviazione standard della media, calcolata come sopra si è detto (v. par.1).

Nel caso di incertezze valutate a priori, di tipo B, la loro valutazione dipende dal tipo di misura e dalla quantità in ingresso. **Anche in questo caso, per quanto possibile, l'incertezza dovrebbe essere riportata ad una deviazione standard**. Vediamo i casi più comuni:

- nel caso della retta di taratura di uno strumento, l'incertezza di taratura corrisponde alla deviazione standard del calcolo di regressione ottenuto con il metodo dei minimi quadrati; ad esempio, per la taratura di uno spettrofotometro si usano materiali di riferimento certificati, a varie diluizioni, e per ogni diluizione si legge la corrispondente assorbanza; dai punti così ottenuti si ricava, col metodo dei minimi quadrati, la retta di taratura, necessaria per determinare la concentrazione di una soluzione incognita in base al valore di assorbanza letto. Il software che calcola la retta di regressione fornisce anche lo scarto tipo dei residui, detto anche errore standard dei residui
- nel caso di alcuni strumenti di misura (es: contatori) l'incertezza viene definita dal costruttore, di solito variabile in funzione del valore misurato rispetto al fondo scala dello strumento; ad esempio, per un misuratore di portata a turbina per gas naturale, si assume un'incertezza del 3% per valori medi di lettura fino al 20% del fondo scala, e del 1,5% per valori dal 20 al 100%
- nel caso di altri strumenti (ad es., fonometri) l'incertezza viene riportata all'interno del certificato di taratura
- In altri casi (ad es. vetreria, materiali di riferimento, pesi, sensori di temperatura e di pressione) viene semplicemente riportato il valore medio +/- un certo intervallo *a*; si assume che il valore "vero" cada all'interno di questo range, e che non ci sia alcuna probabilità che cada all'esterno; in questo caso si assume una distribuzione di probabilità rettangolare e l'incertezza sarà $a/\sqrt{3}$; nel caso in cui si abbia ragione di ritenere che i valori più vicini agli estremi siano meno probabili di quelli vicini al valore centrale, si assume una distribuzione di probabilità triangolare e l'incertezza sarà $a/\sqrt{6}$. Ad esempio, se una bilancia viene verificata con vari pesi campione, il certificato di taratura riporterà i valori letti e lo scostamento rispetto ai campioni. Risulterà che la bilancia legge i valori standard con uno scostamento massimo di $\pm 12$ g; non si ha ragione di ritenere che in una nuova misura il valore dello scostamento sia più probabilmente vicino alla media o alla media + 12 o alla media – 12; ogni punto dell'intervallo "media $\pm 12$" è ugualmente probabile; avremo quindi una distribuzione di probabilità rettangolare e l'incertezza assoluta U sarà pari a $12/\sqrt{3}$ = 6,93 g
- In altri casi ancora, l'incertezza nella stima di una quantità in ingresso sarà fornita da manuali, o da verifiche sperimentali, o dall'esperienza dei tecnici

# 4. Calcolo dell'incertezza composta

Per non complicare eccessivamente la trattazione, prendiamo in esame soltanto il caso in cui le incertezze connesse alle quantità in ingresso possano essere considerate indipendenti e non correlate. Tale caso peraltro è il più comune.

In linea di principio l'incertezza composta, espressa come varianza $u^2$ , nel caso in cui Y sia $f(x_i)$, è la sommatoria delle singole incertezze espresse come varianza, ognuna moltiplicata per un suo "fattore di sensibilità" (sensitivity factor) che esprime in che misura la singola incertezza contribuisce al totale:

$$u^2(y) = \sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)$$

e quindi l'incertezza u(y) sarà la radice quadrata della sommatoria di cui sopra. In realtà raramente è possibile calcolare la derivata parziale della funzione rispetto ad ogni quantità in ingresso, anche nel caso favorevole (e raro) in cui la funzione sia nota ed esplicita.

Nella pratica, **nel caso di misure analitiche**, si usa un metodo che potremmo definire *sperimentale*: con esso si determina la variazione della incertezza composta attraverso i seguenti step:

a. si aggiunge l'incertezza assoluta $Ux_i$ al valore di una singola quantità $x_i$ in ingresso, ponendo incertezza zero per tutte le altre quantità, e si calcola il valore di Y dalla funzione $Y=f(x_1,x_2,x_3...x_n)$
b. si sottrae il valore così ottenuto dal valore di Y calcolato con incertezza zero in tutte le quantità in ingresso
c. si ripetono i passi a e b per tutte le quantità in ingresso
d. si elevano al quadrato le differenze così ottenute
e. si sommano i quadrati ottenendo la varianza composta $u^2$
f. si calcola la radice quadrata di $u^2$ e si ottiene così l'incertezza composta $u_{(y)}$

Ciò significa verificare numericamente la variazione di Y per effetto dell'incertezza di ogni singola quantità in ingresso, considerando fisse le altre quantità, ed esprimere l'incertezza su un parametro $u_i$ direttamente in termini del suo effetto su Y.

Il procedimento di cui sopra si giustifica in quanto, quando il contributo all'incertezza è espresso come un effetto sul risultato finale, e cioè quando l'incertezza su un parametro è espressa direttamente in termini del suo effetto su Y, il coefficiente di sensibilità viene assunto uguale ad 1 (v. bibliografia, n.3, par. 8.2.4).

A tal fine si utilizza un foglio elettronico, e il metodo risulta semplice ed efficace sempre che sia nota la funzione che lega il misurando Y alle varie grandezze in ingresso.

| | | m | R | T | P | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | valore | 0,13700 | 62,36370 | 298,00000 | 735,00000 | 0,21000 |
| | incertezza | 0,00200 | 0,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 0,00200 |
| | | | | | | |
| **m** | 0,13700 | 0,13900 | 0,13700 | 0,13700 | 0,13700 | 0,13700 |
| **R** | 62,36370 | 62,36370 | 62,36370 | 62,36370 | 62,36370 | 62,36370 |
| **T** | 298,00000 | 298,00000 | 298,00000 | 299,00000 | 298,00000 | 298,00000 |
| **P** | 735,00000 | 735,00000 | 735,00000 | 735,00000 | 736,00000 | 735,00000 |
| **V** | 0,21000 | 0,21000 | 0,21000 | 0,21000 | 0,21000 | 0,21200 |
| | | | | | | |
| y | 16,495370 | 16,736179 | 16,495370 | 16,550724 | 16,472958 | 16,339754 |
| u(y,xi) | | 0,240808 | 0,000000 | 0,055354 | -0,022412 | -0,155617 |
| $u(y)^2$, $u(y,xi)^2$ | 8,58E-02 | 5,80E-02 | 0,00E+00 | 3,06E-03 | 5,02E-04 | 2,42E-02 |
| | | | | | | |
| u(y) | 0,292868 | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | **PM=mRT/PV** (peso molecolare di un gas ideale) (da PV=nRT, tenendo conto che n=m/PM) | | | | | |
| | | | | | | |
| | NON SI SOMMA QUADRATICAMENTE L'INCERTEZZA DI OGNI PARAMETRO Uxi, MA IL CONTRIBUTO DELL'INCERTEZZA DI OGNI PARAMETRO ALL'INCERTEZZA DEL MISURANDO Y; CIOE' U(y,xi) = VALORE DEL MISURANDO CON INCERTEZZA IN TUTTE LE xi=0 MENO VALORE DEL MISURANDO CON INCERTEZZA IN xi = MAX | | | | | |
| | | | | | | |
| | POICHE' L'INCERTEZZA DI OGNI PARAMETRO E' ESPRESSA DIRETTAMENTE IN TERMINI DEL SUO EFFETTO SU Y, IL COEFFICIENTE DI SENSIBILITA' δy/δx VIENE ASSUNTO = 1 (par. 8.2.4 EURACHEM/CITAG) | | | | | |
| | | | | | | |

Sulla base della giustificazione di cui sopra, la Guida n. 4 del sistema EU ETS fornisce una semplificazione dei calcoli che si applica ai casi più comuni (ad es. determinazione di una portata di gas, bilancio di massa per la determinazione di un solido o di un liquido).

**Nel caso di quantità in ingresso indipendenti**:

Nel caso in cui Y derivi da somma o differenza di parametri xi, cioè

$$Y=x_1+x_2+x_3...+x_n$$

sarà

$$u_y = \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + ... + U_n^2}}{|x_1 + x_2 + x_3 ... x_n|}$$

dove $U_n$ (*incertezza assoluta*) = $u_n$ (*incertezza relativa percentuale*) . $x_n$ (*quantità misurata*)

Ad esempio, nel caso in cui la quantità di gasolio consumata da un'azienda sia misurata mediante lettura dei livelli del serbatoio ad inizio e a fine anno, e computo delle quantità consegnate per 30 volte mediante autocisterna, l'incertezza totale sarà:

$U_1$=incertezza di lettura del livello, 2,5%
$U_2$=incertezza della quantità di gasolio ad ogni consegna di 25000 kg, 0,5%
assumendo per semplicità di esempio che la quantità di gasolio media nel serbatoio ad inizio e a fine anno sia di 40000 kg, che l'incertezza di lettura del livello sia la medesima sia nella prima che nella seconda lettura, e che le 30 consegne siano tutte di 25000 kg, si avrà

$$u_y = \frac{\sqrt{2(40000.2{,}5\%)^2 + 30(25000.0{,}5\%)^2}}{|750000|} = 0{,}21\%$$

(V. bibliografia n. 4, par. 8.2)

mentre, nel caso in cui Y derivi da prodotto o quoziente di parametri $x_i$, cioè

$$Y = x_1 . x_2 . x_3 .... x_n$$

sarà semplicemente

$$u_y^2 = u_1^2 + u_2^2 + .... + u_n^2$$

e dunque $u_y$ sarà la radice quadrata della somma di cui sopra.

Ad esempio, nel caso di una misura di gas naturale con misuratore a turbina e compensatore di pressione e temperatura, l'incertezza totale sarà data da:

$u_1$=incertezza del misuratore di portata, 1,5%
$u_2$=incertezza del sensore di temperatura, 0,2%
$u_3$=incertezza del sensore di pressione, 0,3%

$$u_y = \sqrt{1{,}5^2 + 0{,}2^2 + 0{,}3^2} = 1{,}54\%$$

(v. bibliografia n. 4, par. 8.2)

Si noti come nel primo caso (incertezza di una somma) l'incertezza di ogni quantità in ingresso contribuisca in maniera diversa al calcolo dell'incertezza composta, in base alla grandezza della quantità stessa $x_i$, mentre nel secondo caso (incertezza di un prodotto) si esegue semplicemente una cosiddetta **somma in quadratura**, cioè la radice quadrata della somma dei quadrati delle incertezze relative.

**Nel caso di quantità in ingresso correlate:**

Nel caso in cui Y derivi da somma o differenza di parametri $x_i$, cioè

$$Y = x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_n$$

sarà

$$u_y = \frac{(U_1 + U_2 + .... + U_n)}{|x_1 + x_2 + ...x_n|}$$

mentre, nel caso in cui Y derivi da prodotto o quoziente di parametri $x_i$, cioè

$$Y = x_1 . x_2 . x_3 .... x_n$$

sarà

$$u_y = u_1 + u_2 + u_3 + .... + u_n$$

caso analogo a quello precedente, ma in cui l'incertezza composta viene calcolata per somma semplice e non per somma in quadratura. Si ricordi che la somma in quadratura risulta sempre minore della somma semplice.

# 5. Incertezza estesa

Si è già anticipato al par. 1 che al valore dell'incertezza associamo un fattore di copertura k, ottenendo così l'incertezza estesa

$$Ue = k\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

potremo così stabilire un intervallo Y $\pm$ *Ue* entro il quale si troverà una percentuale **n** (di solito il 95%) delle misure. Dal valore di k, e dunque dall'ampiezza di questo intervallo, dipenderà la probabilità con la quale potremo confidare che il range Y $\pm$ *Ue* includa il valore "vero" della grandezza:

$$Y - k\frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq Y + k\frac{s}{\sqrt{n}}$$

e che una nuova misura ricada entro l'intervallo. Ad esempio, se si ha un valore per la concentrazione di un parametro inquinante in un'acqua di scarico, è importante sapere che un'ulteriore analisi eseguita, poniamo, dall'autorità di controllo ricadrà, con probabilità 95%, all'interno dell'intervallo.

Si noti tuttavia che ampliando questo intervallo (cioè con valori di k più alti), se da un lato avremo maggiori probabilità di includere il valore "vero", e di abbracciare una maggior percentuale di misure, dall'altro forniremo una misura meno significativa.

Nel caso di incertezze di tipo A, valutate mediante analisi statistica di misure ripetute, il problema è di semplice soluzione, perché l'incertezza è la deviazione standard di una distribuzione statistica che, con tutta probabilità, essendo influenzata da numerosi fattori casuali agenti con uguale probabilità in addizione o in sottrazione, sarà di tipo gaussiano. Se il numero di misure ripetute è sufficiente, potremo dire che moltiplicando U per un *fattore di copertura* k di 1,96 otterremo un range

$$\mu = Y \pm kUy$$

che abbraccia il 95% delle probabilità.
Si noti che si preferisce parlare di fattore di copertura piuttosto che di livello di confidenza o fiduciario almeno per due ragioni:
la prima è che il livello fiduciario mi assicura che con probabilità 95% il valore "vero" della misura, cioè la media della popolazione, rientra nel range che abbiamo ottenuto, e non, come nel nostro caso, che vi rientri una eventuale nuova misura.
la seconda è che applicheremo questo fattore di copertura anche alle incertezze di tipo B, che, pur considerandosi deviazioni standard, non derivano da analisi statistica di misure ripetute. Ha tuttavia senso applicare il fattore di copertura all'incertezza tipo composta perché la somma di più variabili casuali è anch'essa, per il teorema del limite centrale, una variabile casuale, che sarà, se le variabili sono sufficientemente numerose, distribuita secondo una gaussiana.

Il fattore di copertura consigliato è nel range fra 2 e 3, e il valore prescelto, come vedremo, va specificato nella dichiarazione di incertezza. Se il numero di misure ripetuto è piccolo va applicato un fattore di copertura superiore a 2, corrispondente alla **t** di Student per il corrispondente numero di gradi di libertà v; anche il numero di gradi di libertà (n. delle misure -1) va dichiarato.

## 6. Espressione dell'incertezza

Secondo la GUM (Guide for expression of Uncertainty in Measurement, prodotta dal gruppo JCGM) (v. bibliografia, n.1), la dichiarazione sulla incertezza associata ad una misura va così espressa:

"*massa di 100,021± 0,00079 g, dove 0,00079 rappresenta l'incertezza estesa, derivante da una incertezza composta di 0,00035 g e da un fattore di copertura k=2,26 scelto assumendo una distribuzione t di Student con 9 gradi di libertà, che definisce un intervallo stimato del 95 percento."*

Si esprime quindi il valore più probabile della misura, corrispondente alla media dei risultati ottenuti, più o meno un intervallo di incertezza estesa che deriva dall'incertezza composta moltiplicata per un fattore di copertura che dipende dal numero di misure ripetute. Si specifica altresì quale percentuale delle misure viene abbracciata dall'intervallo ± 0,00079.

Si noti che l'incertezza viene espressa con due cifre significative, perché ben difficilmente potremo definirla con una maggiore precisione.

In generale, ove possibile l'intero metodo usato per la misura e per calcolare l'incertezza andrebbe esplicitato nei suoi vari passaggi, specificando tutte le incertezze individuate e come sono state calcolate. Se si sono applicate correzioni agli errori "sistematici", queste correzioni vanno anch'esse esplicitate.

# 7. Riepilogo della procedura

Ogni ente (organizzazione, azienda, centro di ricerca) che esegua misure dovrebbe essere dotato di una procedura per la valutazione dell'incertezza e l'espressione della qualità dei dati. Tale procedura dovrebbe specificare i passi necessari al raggiungimento dello scopo, opportunamente dettagliati con istruzioni operative e illustrati con esempi numerici.

In sintesi, i passi necessari alla valutazione della incertezza estesa di una misura sono i seguenti:

a) individuazione della funzione che correla il misurando alle misure, ove presente (v. par. 2)
b) misura delle grandezze in ingresso e calcolo del valore del misurando
c) individuazione della incertezza standard di ogni quantità in ingresso (v. par. 3)
d) determinazione della incertezza composta standard (v. par. 4)
e) definizione del fattore di copertura e calcolo della incertezza estesa (v. par. 5)
f) dichiarazione del valore della misura e della incertezza estesa ad essa associata (v. par. 6)

# Bibliografia


1. JCGM - GUM 2008 – Evaluation of measurement data – *Guide to the expression of uncertainty in measurement*

2. EA-4/02 – Edizione 1 aprile 1997 – *Espressione dell'incertezza di misura nelle tarature* - Traduzione a cura del SIT – Servizio di Taratura in Italia

3. Guida EURACHEM / CITAG CG 4 – Seconda edizione (2000) – *Quantificazione dell'incertezza nelle misure analitiche* – Traduzione a cura dell' Istituto superiore di Sanità

4. European Commission –– The Monitoring and Reporting Regulation – Guidance document n.4 - *Guidance on Uncertainty Assessment* – Versione finale 5 ottobre 2012

5. APAT/IRSA - Manuali e Linee Guida 29/2003 - Metodi analitici per le acque – Sezione 1040 – *Qualità del dato analitico*

6. SINAL – Sistema Nazionale per l'Accreditamento dei Laboratori – Documento Tecnico DT-0002 – rev.1 – Febbraio 2000 – *Guida per la valutazione e la espressione dell'incertezza nelle misurazioni*

7. SINCERT – *Linee guida per la gestione delle incertezze nei processi di prova e misurazione* – Giugno 2002

8. Norma UNI CEI EN ISO-IEC 17025:2000 – *Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura*

9. M. Garetto – Quaderni Didattici del Dipartimento di Matematica dell'Università di Torino – Quaderno n. 13 – Novembre 2002 - *Statistica*