



Misure meteorologiche in ambito urbano

3 - L'incertezza delle misure in ambito urbano

G. Frustaci

Osservatorio Cavanis Venezia

Workshop di Meteorologia Avanzata

L'incertezza delle misure in ambito urbano

- **Definizione dell'incertezza di misura**
- **La stima dell'incertezza totale**
- **Fonti di incertezza nelle misure urbane**
 - **Siting**
 - **Exposure**
- **Prescrizioni per le misure in ambito urbano**
- **Interpretazione e uso delle misure**

Definizioni preliminari

- **Errore:** scarto tipo (differenza tra misura e valore vero (inconoscibile!))
 - **Casuale** (o accidentale): correggibile ripetendo la misurazione (ampiezza e segno variabili)
 - **Sistematico**: derivante dallo strumento o dalle condizioni, non correggibile ripetendo le operazioni di misurazione
- **Taratura:** confronto con strumento campione per ottenere la relazione tra letture e valori corrispondenti (curva di taratura) e l'incertezza da associare alle misure
- **Accuratezza:** si ottiene con la riduzione degli errori (**casuali**) ottenibile tramite ripetizione delle letture
- **Precisione:** si ottiene con la riduzione degli errori (**sistematici**), tramite accertamento della loro causa
- **Rappresentatività:** la misura deve essere **eseguita in condizioni adeguate alla scala** del fenomeno
- **Validazione:** verifica indipendente che ne attesti la validità (per esempio per confronto con dati contigui)

Altre (importanti) definizioni

Il prodotto misura



- Misurare significa acquisire informazioni.
- Misurare è conoscere.

- **Misurazione:** operazione attraverso la quale si ottiene la misura di una grandezza
- **Misura:** risultato quantitativo dell'operazione campione (unità di misura):

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

- **Misurando:** grandezza oggetto della misurazione

- **Incertezza:** parametro associato alla misura che descrive la dispersione dei valori che possono essere ragionevolmente associati al misurando, per cui la misura diventa (δ : incertezza)

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_N) + \delta$$

- **Risoluzione:** capacità di risolvere stati diversi del misurando



Definizione dell'incertezza

- **L'incertezza di misura** è la stima legata ad un risultato di prova che caratterizza l'escursione dei valori entro cui si suppone che cada il valore vero (del misurando); ha le dimensioni di uno scarto tipo (differenza tra misura e valore vero inconoscibile) e si indica con la lettera " u ".
- **Incetezza del misurando**: a causa della incompletezza dei dettagli nella definizione di una qualsiasi grandezza, nel caso dell'incetezza (che ha la forma di un intervallo) non esiste un unico valore vero, ma un insieme coerente di valori veri, sebbene anch'essi non conoscibili. In genere (ma non sempre) questa è minima e comunque inferiore all'incetezza di misura e si può assumere che il misurando abbia un valore vero (anche se inconoscibile).
- L'incetezza di misura comprende numerose fonti di incetezza, ciascuna delle quali è detta "**componente dell'incetezza**".

Stima dell'incertezza (Cat. A)

La stima del valore sperato è la **media aritmetica** delle osservazioni.

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{h=1}^k q_{jh}$$

Analisi statistica di una serie ($h = 1, \dots, k$) di misure della variabile x_j :

- La **varianza sperimentale** s^2 , stima della varianza σ^2 della distribuzione di probabilità di X_j :

$$s^2(x_j) = \frac{1}{k-1} \sum_{h=1}^k \left(x_{jh} - \bar{x}_j \right)^2$$

La miglior stima della varianza della media sperimentale:

$$s^2(\bar{x}_j) = \frac{s^2(x_{jh})}{k}$$

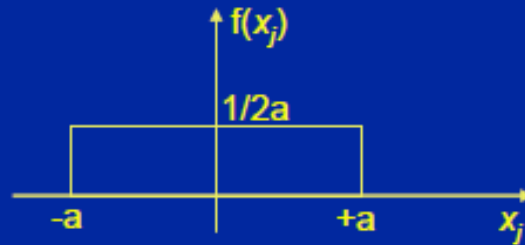
$$s(\bar{x}_j) = \sqrt{s^2(\bar{x}_j)} = \sqrt{\frac{s^2(x_{jh})}{k}}$$

- $s(\bar{x}_j)$ è chiamato **scarto tipo sperimentale della media** e rappresenta l'**incertezza tipo di categoria A**.

Stima dell'incertezza (Cat. B)

- **Valutazione a priori (senza misure ripetute) sulla base di:**
 - misurazioni precedenti
 - esperienza
 - dati costruttivi
 - certificati di taratura, ecc.

- **Dalla valutazione della distribuzione si deducono la varianza stimata e l'incertezza:**



Stima dell'Incertezza Cat. B

$$u^2(x_j) = \int_{-a}^{+a} f(x_j) dx_j = \frac{a^2}{3}$$

Rientrano in questo caso:

- la classe degli strumenti
- la fascia d'errore

$$u(x_j) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Composizione delle incertezze

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_N) + \delta$$

- Legge di propagazione dell'incertezza

$$u_c^2(y) = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)^2 u^2(x_j) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{p=j+1}^N \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right) \left(\frac{\partial F}{\partial x_p} \right) \cdot u(x_j, x_p) + \dots$$

dove $u(x_j, x_p)$ rappresenta la stima della covarianza tra x_j e x_p .

Le incertezze si compongono al quadrato, se le variabili sono **indipendenti**: $\text{cov} = u(x_j, x_p) = 0$.

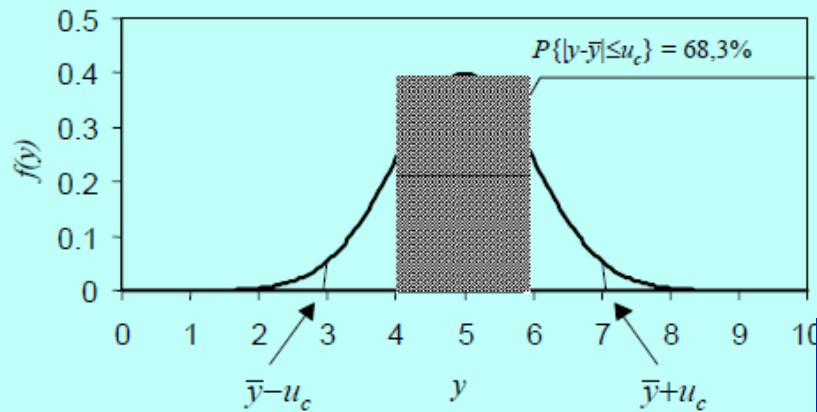
– se $u(x_j, x_p) = 0$

$$u_c^2(y) = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)^2 u^2(x_j)$$

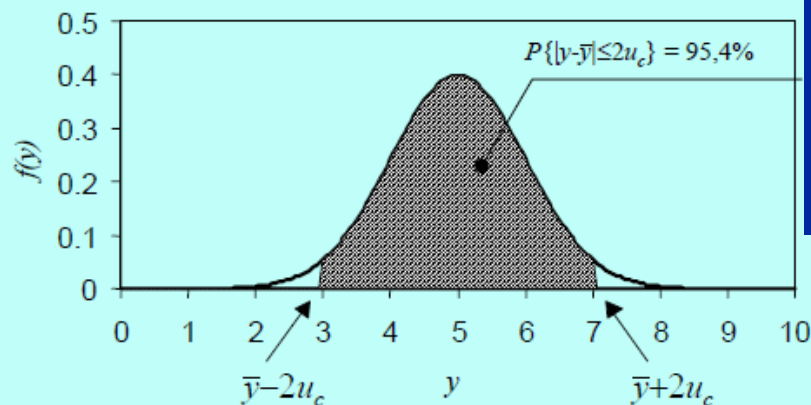
Incertezza composta e estesa

- **Incertezza tipo composta** (combined standard uncertainty), $u_c(y)$, è l'incertezza totale del risultato di misurazione y ; è uno scarto tipo stimato come la radice quadrata positiva della varianza totale ottenuta combinando tutte le componenti.
- **Incertezza estesa** (expanded uncertainty), $U(y)$, ottenuta **moltiplicando la precedente $u_c(y)$, per un fattore di copertura k** : fornisce un intervallo entro il quale si trova il valore del misurando con **un più elevato livello di fiducia**. Per un livello di **fiducia del 95%** il **fattore di copertura è $k = 2$** .
- Nel caso in cui il misurando è un valore scalare x , la variabilità delle misure viene espressa in termini $x = \underline{x} \pm s$ dove \underline{x} è il valore medio e s è *chiamato lo scarto tipo o l'incertezza assoluta* ed ha la dimensione del misurando. Viene anche utilizzata *l'incertezza relativa s/\underline{x}* .

Incertezza Composta



Incertezza Estesa



Incertezza e confidenza

Incertezza Estesa

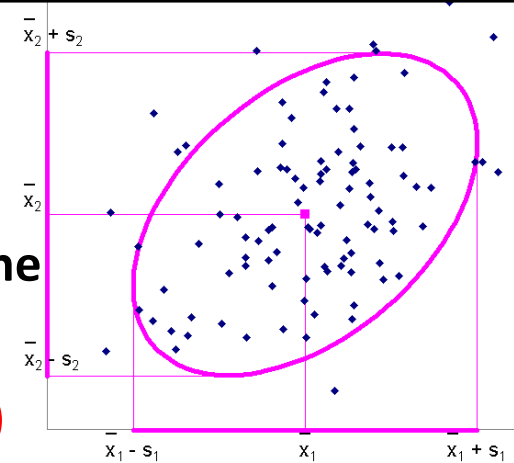
- Si fornisce anche una **incertezza estesa** (globale) U , ottenuta moltiplicando u_c per un **fattore di copertura k** (compreso fra 2 e 3).
- Nell'ipotesi di **distribuzione normale** il **fattore di copertura** determina il **grado di confidenza**

In genere si assume **$k=2$**
ovvero **2σ**
ovvero **confidenza del 95,4%**

Testi di riferimento

- **WMO** No. 8 -CIMO Guide Ed. 2014
- **WMO** No. 100 - Guide to Climatological Practices, Ed. 2011
- Guidance on the computation of calibration uncertainties - Jérôme Duvernoy–**WMO** Report No. 119 Instruments and Observing Methods, 2015
- **BIPM** - *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*
- **BIPM** - *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*.

Componenti dell'incertezza



Se vengono misurate contemporaneamente n proprietà fisiche (anche se di diversa grandezza)

$$\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)$$

il valore misurato è un vettore di n dimensioni $\underline{x} = (\underline{x}_1, \dots, \underline{x}_n)$

L'incertezza si esprime in termini di covarianza v_{ij} dei componenti x_i e x_j , chiamata anche *matrice degli errori*.

Sulla diagonale della matrice si trova il quadrato dello scarto tipo dei componenti x_i :

$$v_{ii} = s_i^2$$

L'analogo dell'intervallo di confidenza è l'interno dell'ellissoide

$$(\underline{x} - \underline{x}) v^{-1} (\underline{x} - \underline{x})' < k^2$$

dove viene applicata la *matrice di errori inversa*. La proiezione dell'ellissoide sugli assi cartesiani x_i produce gli intervalli di confidenza marginali

$$\underline{x}_i - k s_i < x < \underline{x}_i + k s_i$$

Se il risultato di misurazione è incerto, lo è anche la funzione del misurando. L'incertezza di misura della proprietà fisica funzione dei misurando viene calcolata applicando la propagazione degli errori.

La stima dell'incertezza per misure in campo e in ambito urbano

- **Definizione del misurando:**
 - Street Canyon; UCL; RL; verde cittadino (parchi); aree residenziali / industriali;
 - altro?
- **Incerezze strumentali:**
 - Risoluzione, stabilità
 - Dimensioni dello shelter
 - Posizionamento nello shelter
- **Incerezze di calibrazione**
 - Incertezza dello standard di riferimento
 - Incertezza di misura in camera climatica
- **Incerezze di “siting” e “exposure”**
- **Incerezze di manutenzione (“ageing” dello shelter, dei vetri protettivi, ecc.)**
- **Altro?**

Prescrizioni sintetiche per le misure in ambito urbano

- **Definire il misurando**
 - Omogeneità della rete
 - Siting delle stazioni
 - Riduzione dell'incertezza totale
- **Scelta del siting**
 - Rappresentatività delle misure in relazione al misurando
 - Risoluzione del misurando
- **Esposizione dei sensori**
 - Metadata: dettaglio e aggiornamento
 - Verifica delle specifiche WMO, ecc.
 - Classificazione delle stazioni
- **Procedure**
 - Calibrazione con riferimento agli standard
 - Tracciabilità del dato
 - Stabilità delle procedure (calibrazione, ecc.)
 - Affidabilità: ridondanza
 - Sostenibilità: economia della rete

Interpretazione e uso delle misure

- **Monitoraggio:**
variazioni più importanti dei valori assoluti e delle relative incertezze
- **Applicazioni:**
in ogni applicazione l'incertezza deve essere nota per consentire l'uso corretto del dato in relazione al suo impiego.

Esempi:

- **assimilazione in un modello**
- **calcoli energetici**
- **indici di benessere**
- **climatologia (lunghe serie omogenee)**
- **ecc.**

Impiego delle osservazioni nei modelli atmosferici

- Risoluzione spazio-temporale: GCM, LAM, ecc.
- Analisi meteorologica (First Guess)
- Assimilazione (dei dati osservativi)
- Osservazioni scartate
- Validazione dei modelli

