



ASA 2021

Statistics and information systems for policy evaluation  
Florence 6, 7 and 8 September 2021

# Sfruttare al meglio le informazioni contenute nei dati raccolti

Trend (rappresentazione grafica dei dati)

Coefficiente di correlazione

Incertezza di misura

Emilia G. Catto

# UNCERTANTY

Tutte le attività degli esseri viventi e le decisioni relative hanno un elemento in comune: l'incertezza sul raggiungimento degli obiettivi pianificati.

L'incertezza è la mancanza di informazioni esaustive su:

- Numero delle variabili che influiscono sul risultato atteso
- Stato attuale delle variabili
- Dinamiche future delle variabili

Qualsiasi attività intrapresa per raggiungere un certo obiettivo non ha mai quindi il 100% di probabilità di raggiungerlo.

Diventa fondamentale stimare con quale probabilità lo raggiungeremo, cioè il livello di incertezza.

In questo contesto parleremo di incertezza di misura

# INCERTEZZA

Fatta questa doverosa premessa, occupiamoci della gestione dei dati che le Organizzazioni raccolgono, con rilevante investimento di risorse, per tenere sotto controllo i loro processi, allo scopo di governarne il corretto andamento: spesso i dati sono molti, ma le Organizzazioni non li sanno analizzare a fondo, perdendo molta della informazione preziosa che tali dati contengono.

Scopo della raccolta dei dati:

- Conformità del prodotto alle specifiche
- Conformità ai limiti di legge
- Consumi di risorse, etc.

# TREND

## Rappresentazione grafica dei dati

I dati espressi graficamente sono molto più efficaci nel trasmettere informazioni correlate.

Per esempio:

Una serie di dati relativi alla misurazione di una grandezza

# TREND

## Rappresentazione grafica dei dati

Una Organizzazione produce degli effluenti di processo che scarica in fognatura dopo averli trattati nel suo depuratore fisico chimico/biologico. La fognatura conferisce al depuratore consortile di zona.

Per il contenuto di elementi inquinanti ammessi negli scarichi, ci sono dei limiti di legge che vanno rispettati.

Quindi l'Organizzazione effettua delle analisi periodiche su quelli che sono i parametri tipici del suo processo.

Prendiamo in considerazione il contenuto di BOD5\*: la tab. 3 dell'allegato 5 del D.Lgs.152/2006 riporta per lo scarico in fognatura il limite 250 mg/l.

*\*BOD5: BOD Biochemical oxygen demand - domanda biochimica d'ossigeno. Quantità d'ossigeno richiesta dai microrganismi aerobi, per poter procedere all'assimilazione e alla degradazione delle sostanze organiche presenti nei liquami.*

*Tale valore è tanto più elevato quanto maggiore è la sostanza organica presente nei liquami. La misura dell'ossigeno presente nelle celle di misura effettuata dopo cinque giorni d'incubazione fornisce il BOD<sub>5</sub>.*

# TREND

## Rappresentazione grafica dei dati

### Media

$$\mu = \frac{\sum X}{N}$$

Diagram illustrating the formula for the mean ( $\mu$ ). The numerator is  $\sum X$ , where  $\sum$  is labeled "summation" and  $X$  is labeled "number". The denominator is  $N$ , labeled "population".

### Deviazione standard

Lo scarto quadratico medio (o deviazione standard, o scarto tipo, o scostamento quadratico medio) è un indice di dispersione statistico, vale a dire una stima della variabilità di una popolazione di dati o di una variabile casuale.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \mu)^2}{N}}$$

### Errore standard

L'errore standard viene utilizzato per misurare l'accuratezza statistica di una stima. Viene utilizzato principalmente nel processo di verifica dell'ipotesi e stima dell'intervallo.

$$\text{standard error } SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Diagram illustrating the formula for the standard error (SE). The numerator is  $\sigma$  and the denominator is  $\sqrt{n}$ , where  $n$  is labeled "sample size".

# TREND

## Rappresentazione grafica dei dati

Settimanalmente il contenuto di BOD5 viene misurato ed i risultati sono i seguenti:

### **BOD5 mg/l**

Limite Tab. 3 = 250 mg/l

Deroga impianto depurazione = 500 mg/l

N = 22

media  $\mu$  = 204,86 mg/l

Errore standard SE = 17,97 mg/l

2021	
week	BOD5 mg/l
1	150
2	125
3	137
4	140
5	150
6	170
7	180
8	190
9	250
10	315
11	390
12	380
15	290
16	270
17	250
18	240
19	180
20	170
21	155
22	150

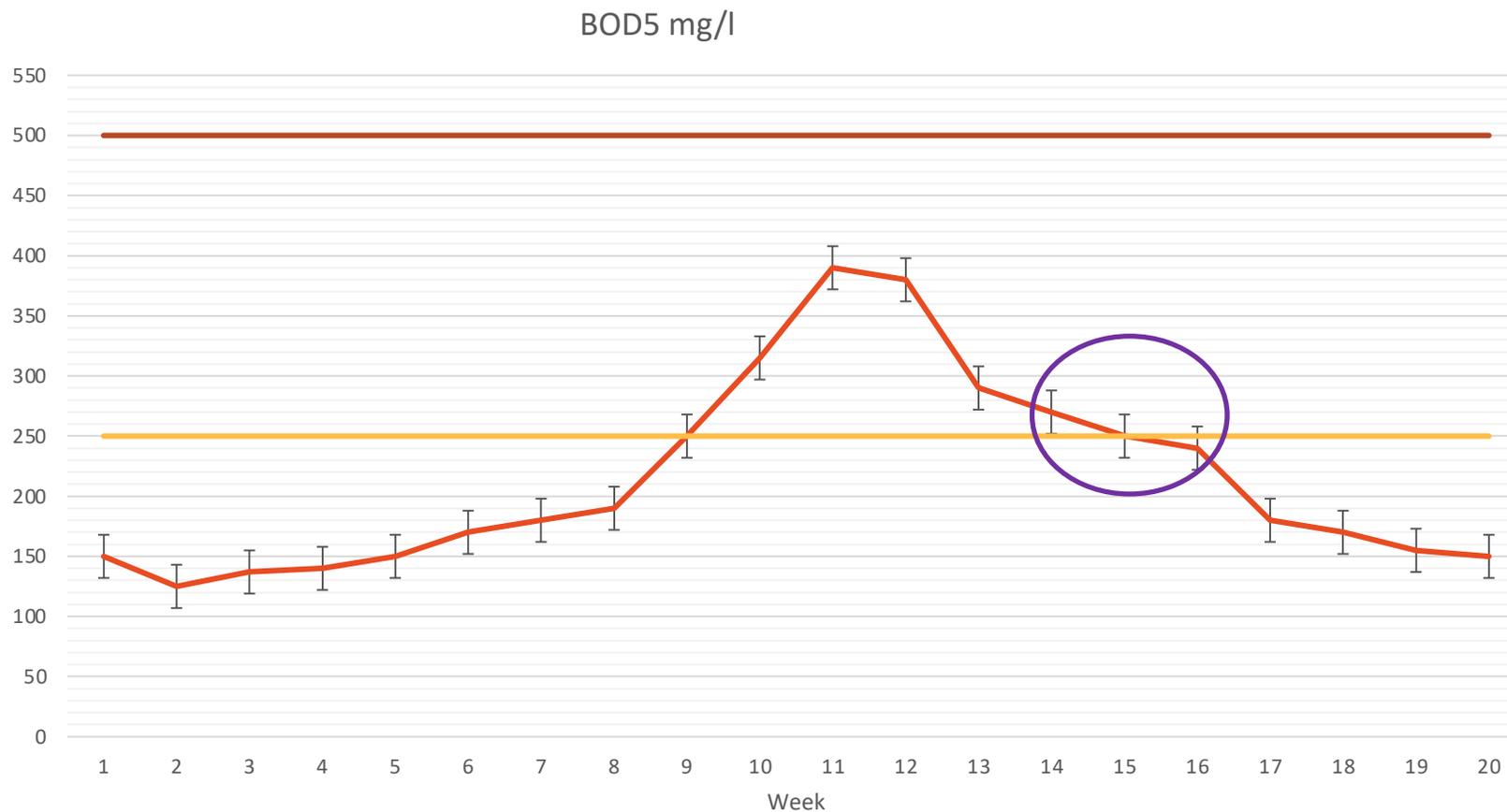
# TREND

## Rappresentazione grafica dei dati

Le stesse  
informazioni...  
(Excel)

— BOD5 mg/l  
— Limi Tab 3  
— Limi Derogation

**Attenzione ai valori  
border line rispetto  
ai limiti**



# COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE

## **R = coefficiente di correlazione:**

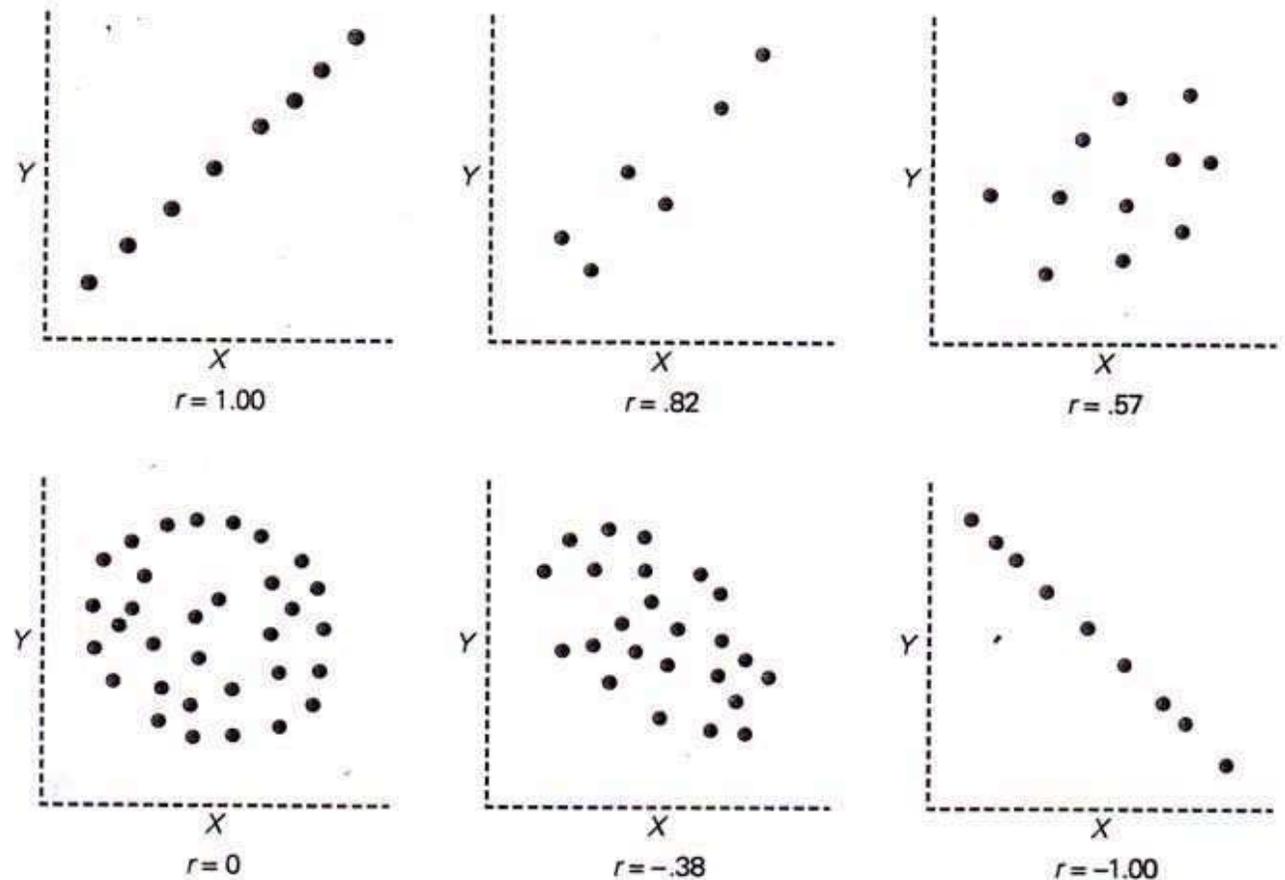
è una misura numerica di qualche tipo di correlazione, ovvero una relazione statistica tra due variabili.

Ad esempio, è possibile esaminare la relazione tra:

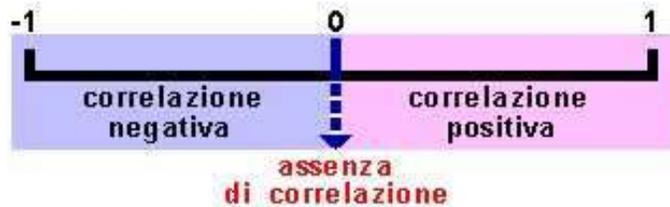
- la temperatura ambiente media e il consumo energetico per il riscaldamento (o il raffrescamento)
- il tipo di processo e i livelli di emissione di un determinato inquinante
- il consumo di ossigeno in un depuratore e il tipo di acqua trattata

# COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE

Correlazione tra una serie di dati e la retta di regressione corrispondente ad una variabile di riferimento



Interpretazione del coefficiente "r"



# COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE

## **Attenzione alle false correlazioni**

La falsa causalità si riferisce all'assunto fatto che un evento ne causi un altro a causa di una relazione tra i due.

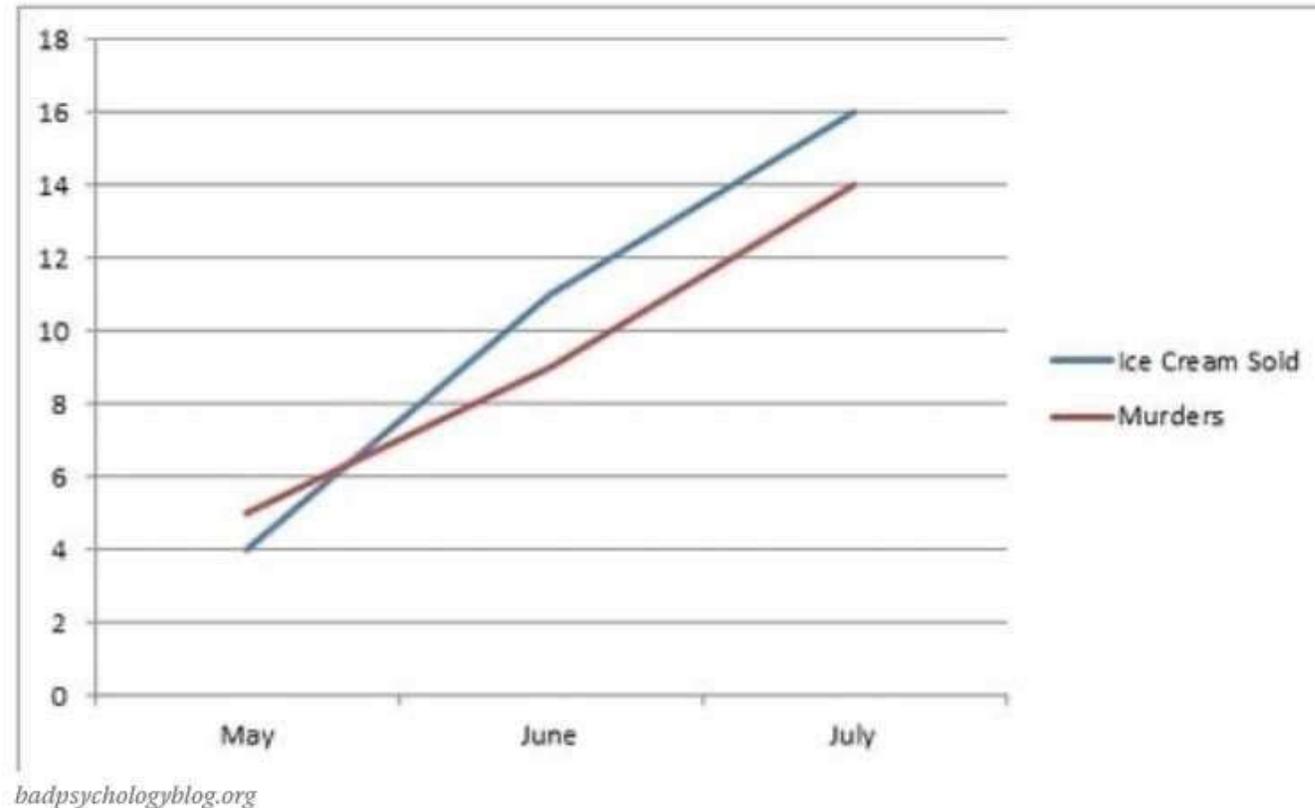
Per stabilire un corretto rapporto causa-effetto tra due variabili, è efficace consultare un gruppo composto da più persone con competenze diverse

Le false correlazioni generano fake news!

# COEFFICIENTE DI CORRRELAZIONE

## 1. Ice cream consumption leads to murder.

Il consumo di gelato induce all'omicidio

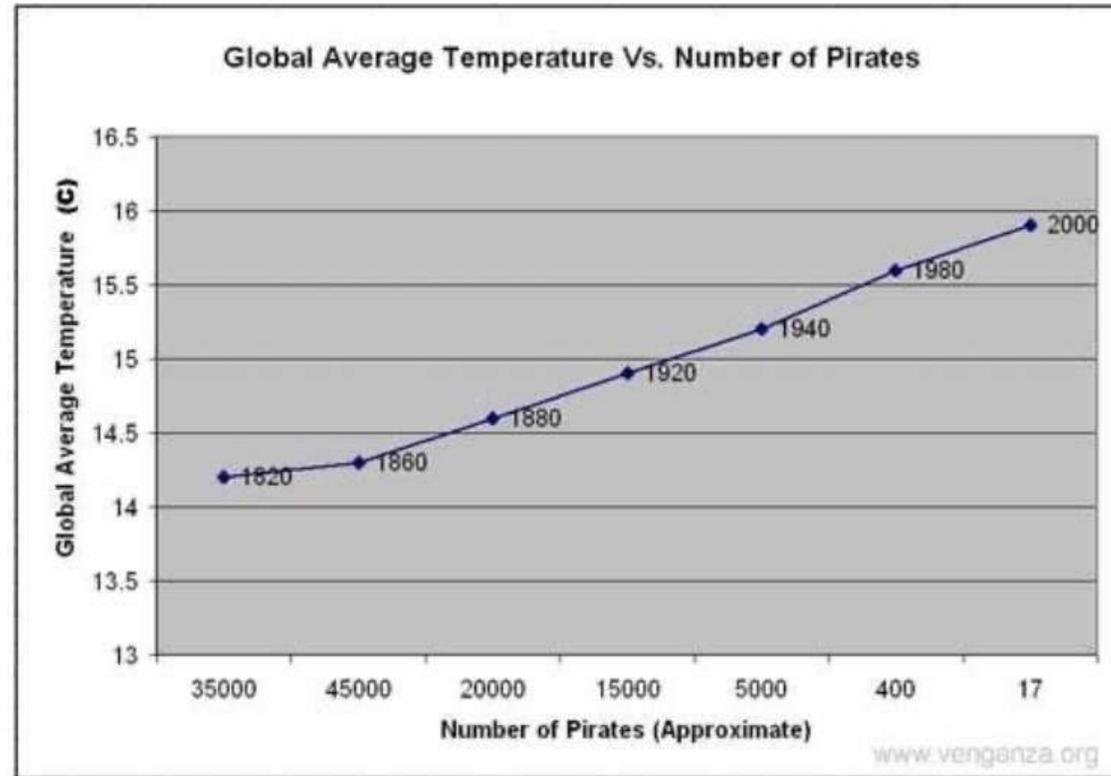


<https://www.buzzfeednews.com/article/kjh2110/the-10-most-bizarre-correlations>

# COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE

## 2. A pirate shortage caused global warming.

La riduzione del numero di pirati causa il riscaldamento globale



<https://www.buzzfeednews.com/article/kjh2110/the-10-most-bizarre-correlations>

# INCERTEZZA DI MISURA

Rapporto di prova - Esempio

Rapporto di prova n° **21LA13186** del **05/05/2021**

*Risultati analitici*

Parametro <i>Metodo</i>	U.M.	Risultato	Incertezza	Limite	Rif.Limite
Richiesta biochimica di ossigeno BOD5 (O <sub>2</sub> ) <i>APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, ed 23rd 2017 5210 B</i>	mg/l	92	±19	500	Determinazione Dirigenziale della provincia di Bergamo n. 1343 del 30/07/2020

Incertezza: in metrologia, l'errore in una misura.

Chiedere sempre al Laboratorio che effettua l'analisi di segnalare l'incertezza relativa ai risultati ottenuti dall'analisi effettuata.

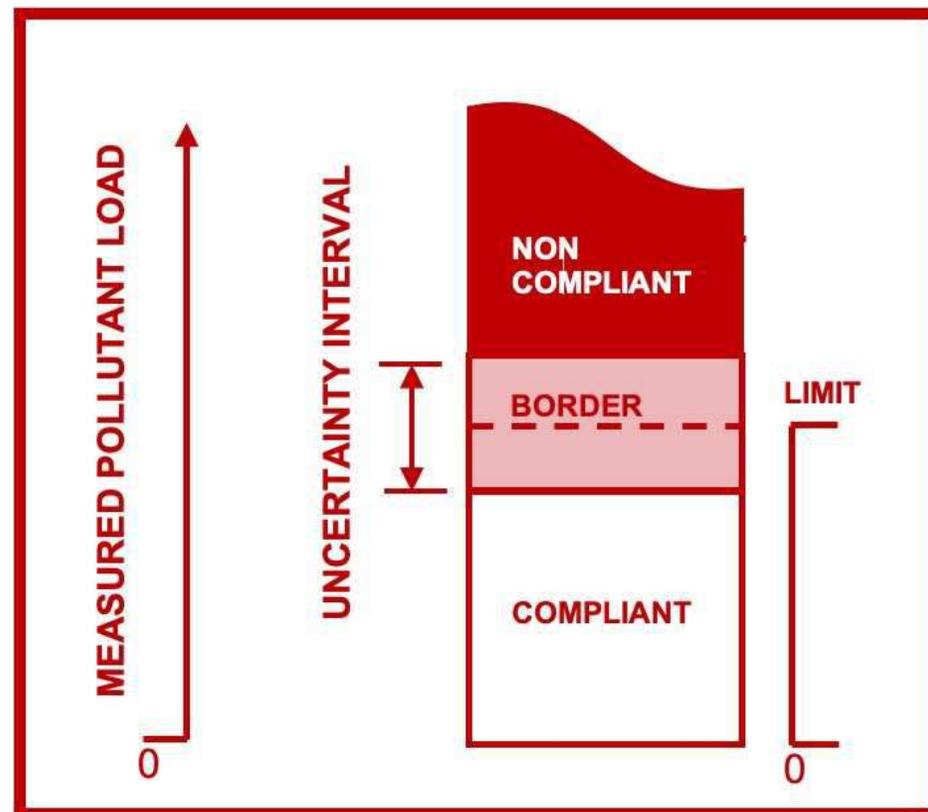
# MEASUREMENT UNCERTAINTY

## Valutare la conformità

Dal confronto tra il valore misurato di un dato parametro, con il relativo intervallo di incertezza, e il corrispondente valore limite, possono risultare tre situazioni tipiche (come mostrato in figura):

- conformità (quando il valore misurato aggiunto alla parte superiore dell'intervallo di incertezza è inferiore al limite)
- non conformità (dopo aver sottratto la parte inferiore dell'intervallo di incertezza si ottiene un valore superiore al limite)
- prossimità al limite (la differenza tra il valore misurato e il valore limite è in valore assoluto inferiore all'intervallo di incertezza)

Ovviamente è necessario che l'autorizzazione contenga chiaramente gli elementi per decidere sulla rispondenza del valore misurato nella situazione che è stata individuata come "prossimità".



DM Ambiente 31 gennaio 2005



# Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni

## **INCERTEZZA DI MISURA E PANORAMICA SUL RISCHIO DI DECISIONE\***

Quando si esegue una misurazione e successivamente si rilascia una dichiarazione di conformità, ad esempio entro o fuori tolleranza alle specifiche del produttore (o Pass/Fail a un particolare requisito), ci sono due possibili risultati:

- Viene presa una decisione corretta in merito alla conformità alle specifiche
- Viene presa una decisione errata in merito alla conformità alle specifiche

Ad ogni valore misurato è associata un'incertezza di misura.

\* Il commento contenuto delle slide da 16 a 23 è una libera traduzione effettuata da E.G. Catto dei documenti:

**ILAC\_G8\_09\_2019 Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity**

**EURACHEM\_CITAC Guide MUC2021\_P1\_EN Use of Uncertainty Information in Compliance Assessment**

## Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni

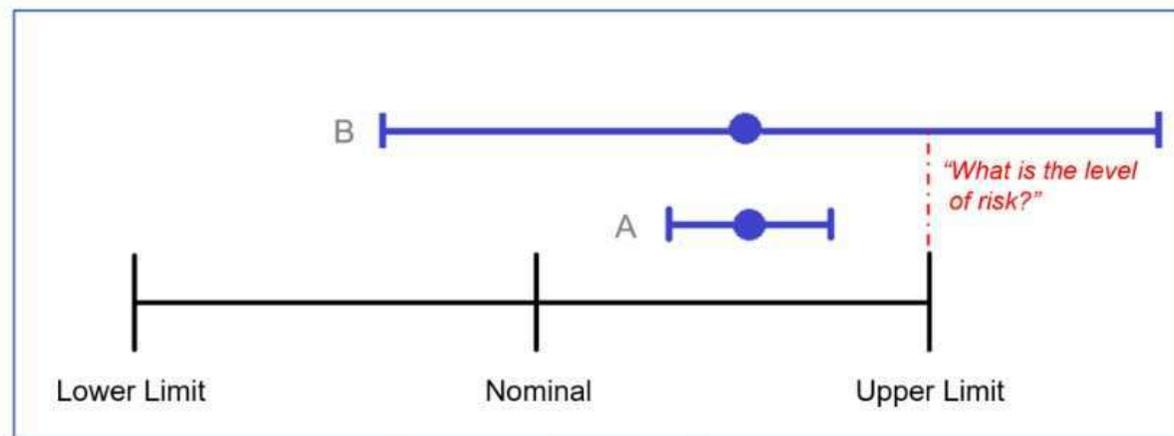


Figure 1. Illustration of Measurement Decision Risk

La Figura 1 mostra due misurazioni identiche ma con diverse incertezze di misura.

- L'incertezza di misura estesa nel risultato inferiore (caso A) rientra interamente nel limite di tolleranza.
- Il risultato superiore (caso B) ha un'incertezza di misura significativamente maggiore.

Il rischio di accettare erroneamente un risultato nel caso B è maggiore a causa della maggiore incertezza di misura. (ovvero vedere "Qual è il livello di rischio?" nella Figura 1)

# Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni

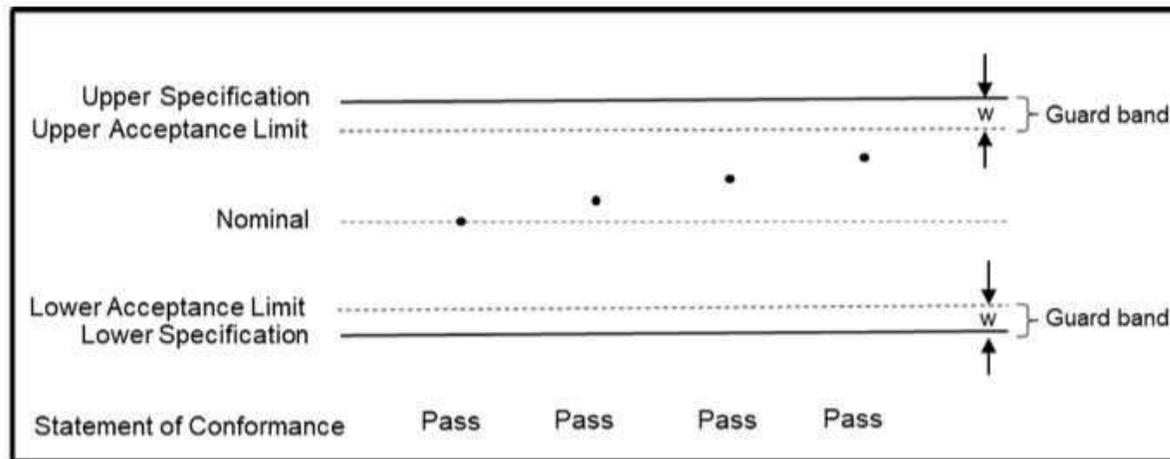


Figure 2 Graphical representation of a Guard Band

## 4. FASCE DI GUARDIA E REGOLE DI DECISIONE

### 4.1 Bande di guardia

L'uso di bande di protezione può ridurre la probabilità di prendere una decisione di conformità errata. È fondamentalmente un fattore di sicurezza integrato nel processo decisionale della misurazione riducendo il limite di accettazione al di sotto del limite di specifica/tolleranza.

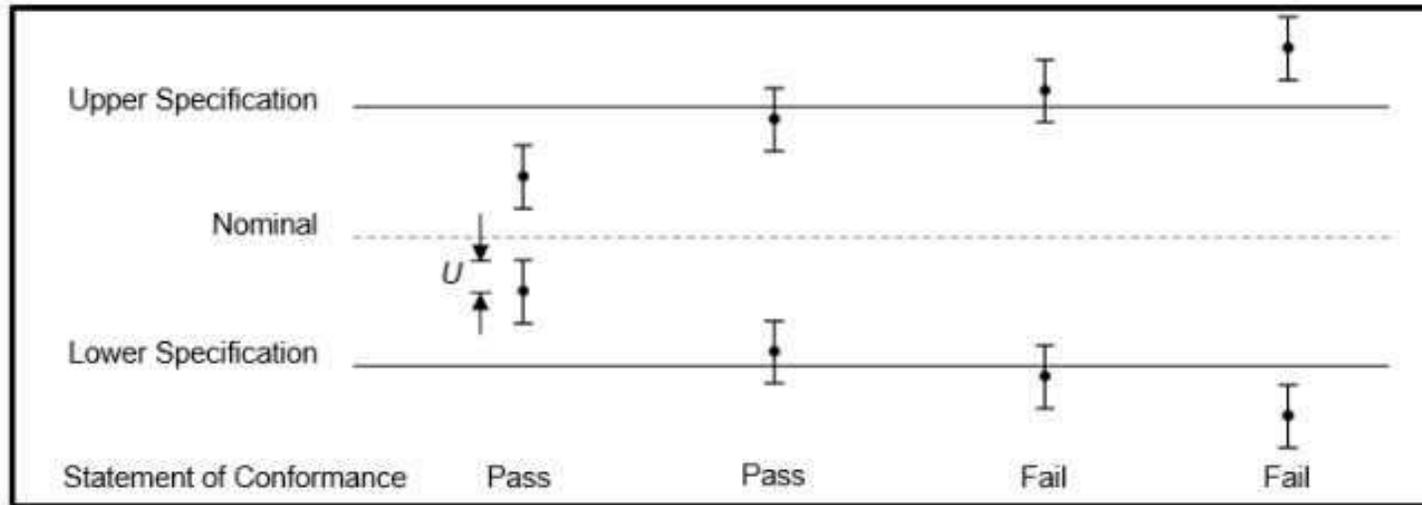
Questo viene spesso fatto per tenere conto dell'incertezza di misura, come descritto più avanti in questa sezione.

Questo documento di orientamento si riferisce alle bande di guardia dove la lunghezza della banda di guardia ( $w$ ) è il limite di tolleranza/specifica (TL) meno il limite di accettazione (AL) o  $w = TL - AL$ .

Ciò significa che se il risultato della misurazione è inferiore al limite di accettazione (AL), la misurazione viene accettata come conforme alle specifiche. Vedere la Figura 2.

Una banda di guardia che ha una lunghezza uguale a zero,  $w = 0$ , deduce che l'accettazione è quando un risultato di misurazione è inferiore a un limite di tolleranza. Questa si chiama accettazione semplice. L'accettazione semplice è detta anche "rischio condiviso" perché la probabilità di essere fuori dal limite di tolleranza può arrivare fino al 50% nel caso in cui un risultato di misurazione sia esattamente sul limite di tolleranza.

# Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni



$U = 95\%$  expanded measurement uncertainty

Figure 3 Graphical representation of a Binary statement - Simple Acceptance

## 4.2.1 Dichiarazione binaria per la regola di accettazione semplice ( $w = 0$ )

Le dichiarazioni di conformità sono riportate come:

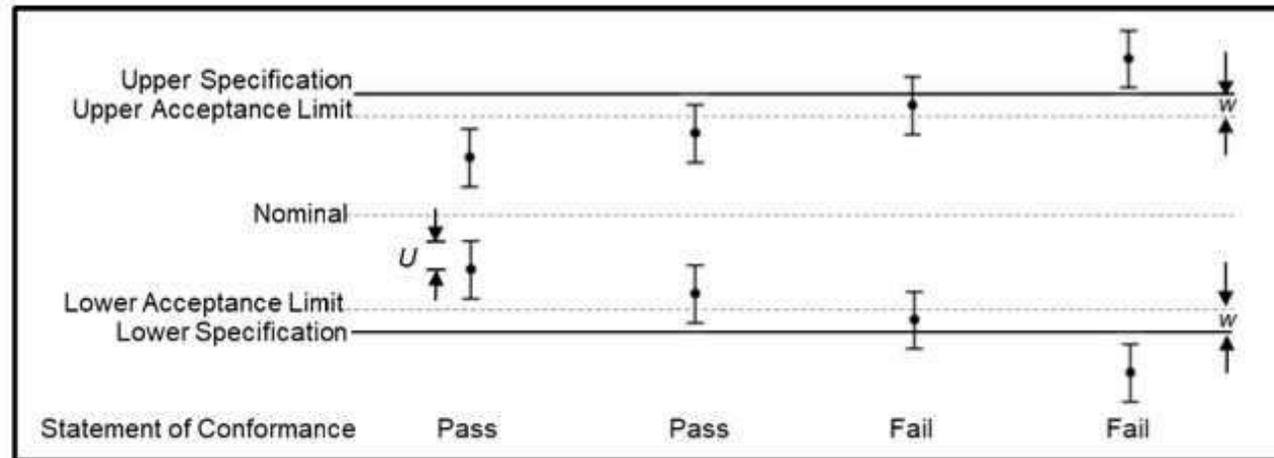
- Passa - il valore misurato è inferiore al limite di accettazione,  $AL = TL$ .
- Non passa - il valore misurato è al di sopra del limite di accettazione,  $AL = TL$ .

## 4.2 Regole decisionali

Una **regola di decisione binaria** esiste quando il risultato è limitato a due scelte (pass o non passa).

Una **regola decisionale non binaria** esiste quando più termini possono esprimere il risultato (passa, passa condizionale, non passa condizionale, non passa).

# Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni



$U$  = 95% expanded measurement uncertainty

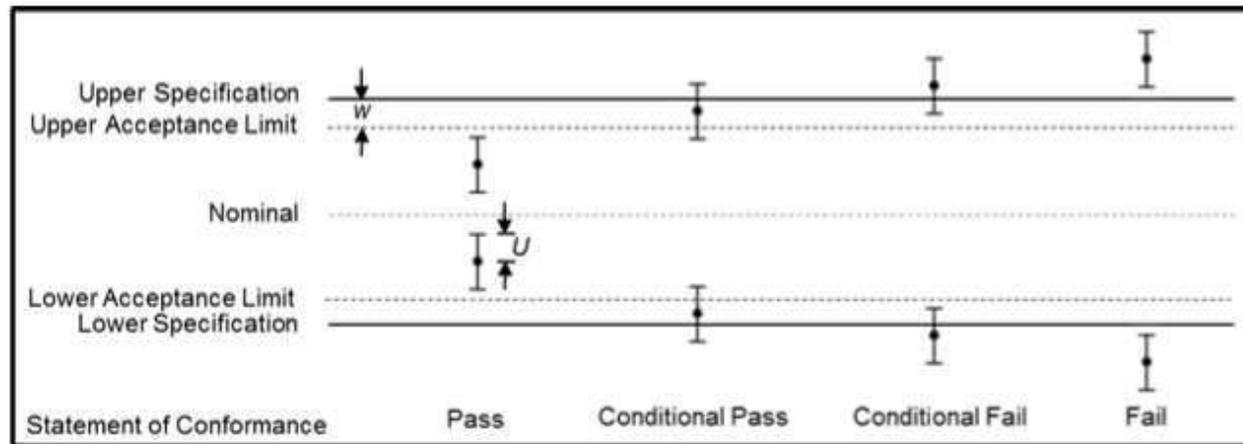
Figure 4 Graphical representation of a Binary statement with a guard band

## 4.2.2 Dichiarazione binaria con banda di guardia

Le dichiarazioni di conformità sono riportate come:

- Passa - accettazione in base alla banda di guardia; il risultato della misurazione è inferiore al limite di accettazione,  $AL = TL - w$ .
- Non passa - rifiuto basato sulla banda di guardia; se il risultato della misurazione è superiore al limite di accettazione,  $AL = TL - w$

# Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni



$U = 95\%$  expanded measurement uncertainty

Figure 5 Graphical representation of a non-Binary statement with a guard band (shown for  $w = U$ )

## 4.2.3 Dichiarazione non binaria con banda di guardia

Le dichiarazioni di conformità sono riportate come:

- Passa - il risultato misurato è inferiore al limite di accettazione,  $AL = TL - w$ .  
**Superamento condizionale** - il risultato misurato è all'interno della banda di guardia e al di sotto del limite di tolleranza, nell'intervallo  $[TL - w, TL]$ .  
**Errore condizionale:** il risultato misurato è superiore al limite di tolleranza ma inferiore al limite di tolleranza aggiunto alla banda di guardia, nell'intervallo  $[TL, TL + w]$ .
- Non passa - il risultato misurato è al di sopra del limite di tolleranza aggiunto alla banda di protezione,  $TL + w$ .

# Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni

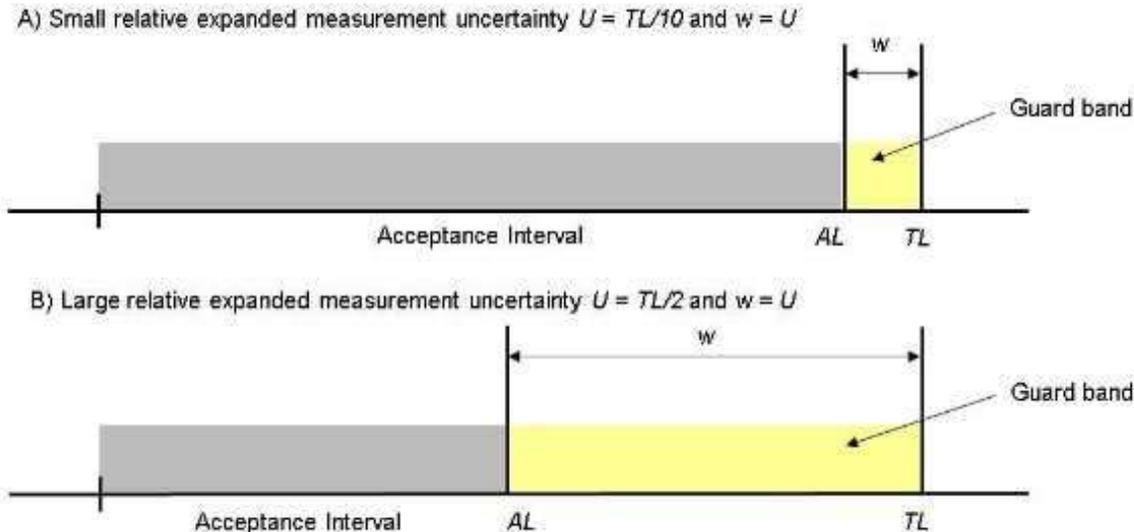


Figure 6 Acceptance interval for a case where expanded measurement uncertainty is small compared to tolerance A) and large B) for the same tolerance limit  $TL$ . A large guard band narrows the distribution function of accepted items.

## 4.2.3 Dichiarazione non binaria con banda di guardia

- Si dovrebbe considerare che una misurazione può portare a una decisione sulla conformità (accettazione) utilizzando una banda di guardia e il rifiuto se viene utilizzata una banda di guardia più grande.
- Pertanto, la conformità a un requisito è intrinsecamente connessa alla regola di decisione utilizzata (Limite di legge o specifica cliente).
- Si prevede quindi che la regola di decisione sia concordata tra le parti interessate prima che vengano effettuate le misurazioni.

# Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni

Use of Uncertainty Information in Compliance Assessment

Second edition (2021)

## Regole decisionali con risultati condizionati

### Fallimento condizionale e passaggio condizionale

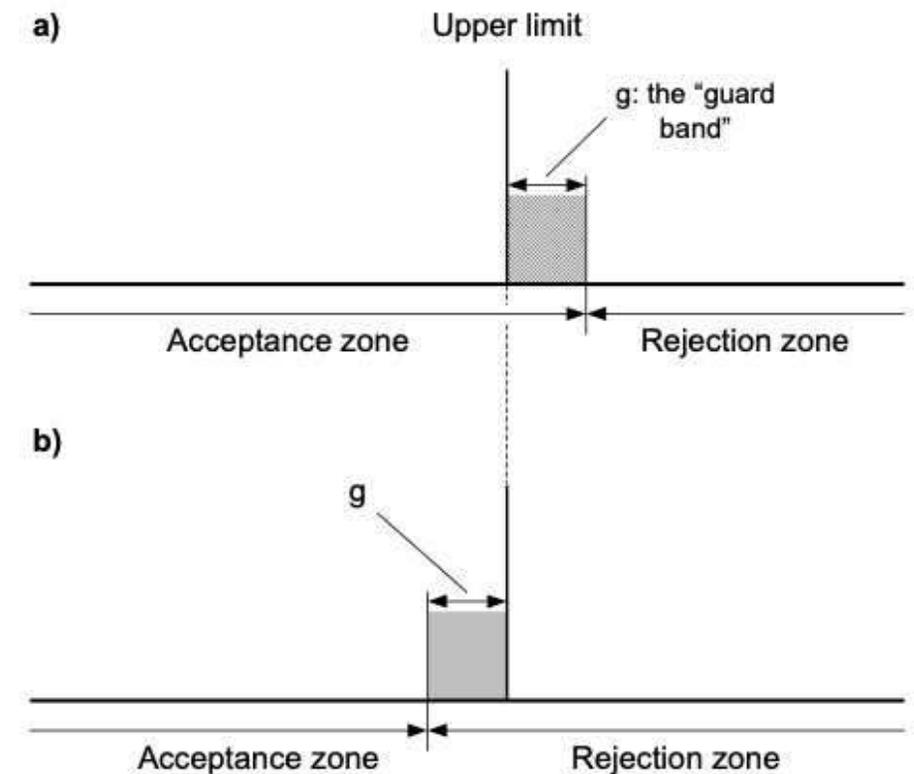
### Zone di accettazione e di rifiuto per un limite superiore.

La figura mostra le posizioni relative delle zone di accettazione e di rifiuto per

- a) alta confidenza del **corretto rifiuto**;
- b) elevata confidenza di **corretta accettazione**.

L'intervallo  $g$  è chiamato **banda di guardia**.

L'estremità superiore della zona di accettazione è il limite di accettazione AL



## Analisi di conformità ai valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata ai risultati delle misurazioni

U =  
Expanded  
Measurement  
Uncertainty

Decision rule	Guard band w	Specific Risk
6 sigma	3 U	< 1 ppm PFA
3 sigma	1,5 U	< 0.16% PFA
ILAC G8:2009 rule	1 U	< 2.5% PFA
ISO 14253-1:2017 [5]	0,83 U	< 5% PFA
Simple acceptance	0	< 50% PFA
Uncritical	-U	Item rejected for measured value greater than $AL = TL + U$ < 2.5% PFR
Customer defined	r U	Customers may define arbitrary multiple of r to have applied as guard band.

Table 1. PFA – Probability of False Accept and PFR – Probability of False Reject  
(Assumes a single sided specification and normal distribution of measurement results)

# Referenze

1. **ILAC\_G8\_09\_2019 Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity**  
<https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-guidance-series/>
2. **ILAC\_G17\_01\_2021 Guidelines for Measurement Uncertainty in Testing**  
<https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-guidance-series/>
3. **MUC2021\_P1\_EN Use of Uncertainty Information in Compliance Assessment**
4. **EURACHEM\_CITAC Guide MUC2021\_P1\_EN Use of Uncertainty Information in Compliance Assessment**
5. **DM Ambiente 31 gennaio 2005**  
Emanazione di linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili, per le attività elencate nell'allegato I del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 372 (IPPC)
6. **ISPRA Linee Guida 52/2009 - L'analisi di conformità con i valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata a risultati di misura**

D.ssa Emilia G. Catto – [egcatto@studioqsa.eu](mailto:egcatto@studioqsa.eu)