

## Strumenti di Misura

Prof. Mario Luiso

Dipartimento di Ingegneria  
Via Roma, 29 – 81031 Aversa (CE)

**[mario.luiso@unicampania.it](mailto:mario.luiso@unicampania.it)**

**[www.ingegneria.unicampania.it](http://www.ingegneria.unicampania.it)**

# Strumenti di Misura

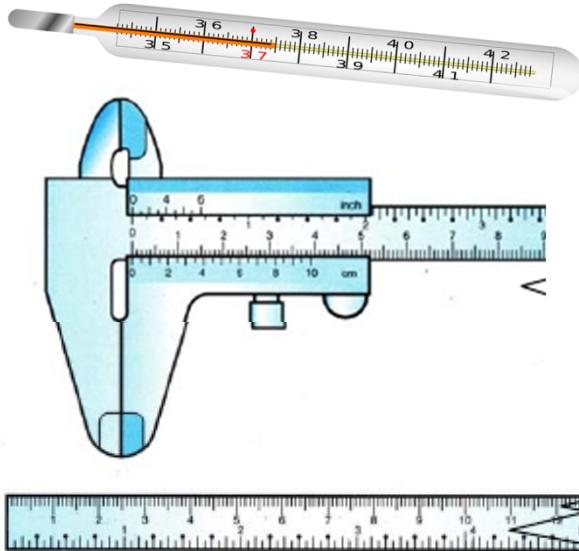
*Classificazione e Caratteristiche generali*

Gli strumenti di misura si classificano in: Analogici o Digitali

## Analogici

Lo strumento è costruito in modo che l'intensità della grandezza misurata produca un proporzionale **spostamento** lineare o circolare che può essere quantificato tramite una scala graduata.

Non c'è trasformat. fisica come nel caso digitale



# Strumenti di Misura

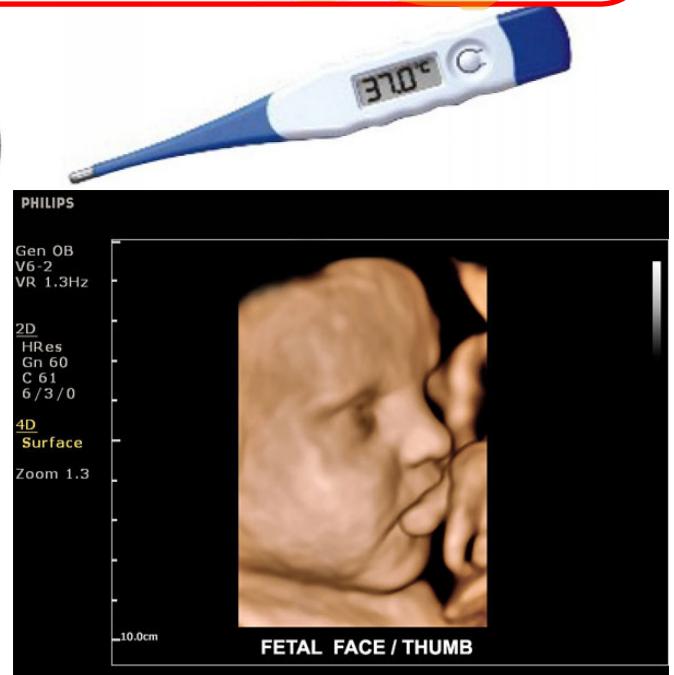
Classificazione e Caratteristiche generali

Gli strumenti di misura si classificano in: Analogici o Digitali

## Digitali

→ associato a una sorgente di bit

Lo strumento è costruito in modo che l'intensità della grandezza misurata sia convertita prima in un equivalente elettrico e poi in un numero che può essere visualizzato con un display numerico o elaborato da un computer.

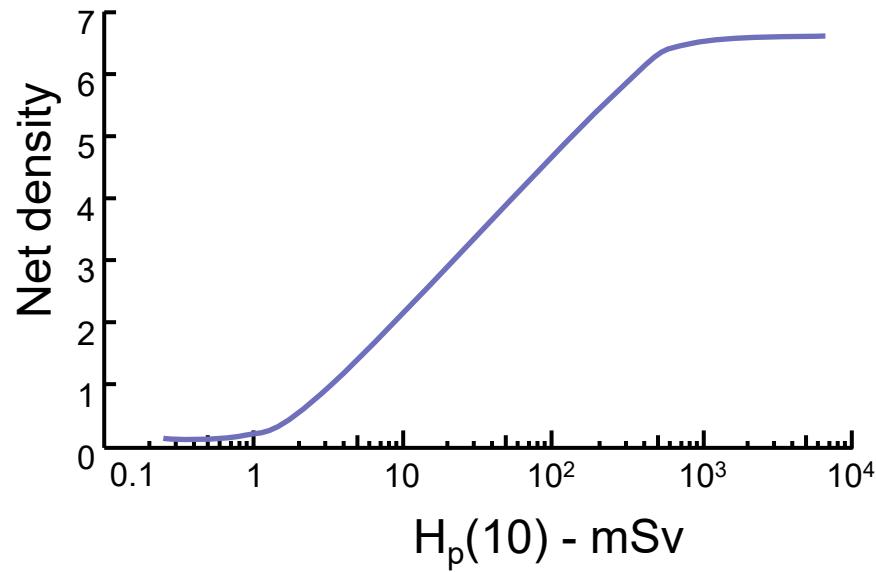


# Strumenti di Misura

## Classificazione e Caratteristiche generali

Le **principali caratteristiche statiche** di uno strumento di misura sono **deducibili e riassunte nella curva di taratura**

Stabilisce quantitativamente la relazione numerica fra l'entità della **grandezza in misura** e l'indicazione dello strumento di uscita



Sollecitiamo ora il dispositivo con **grandezze di entità** perché misurate con strumenti di **qualità superiore** a quella dello strumento che si sta per realizzare.

Otteniamo per punti un grafico

# Strumenti di Misura

## Classificazione e Caratteristiche generali

Le principali **caratteristiche statiche** di uno strumento di misura

### Campo di misura di uno strumento

l'intervallo che comprende tutti i valori di misura assegnabili.

Il massimo del campo di misura si chiama **portata o fondo scala**



Per gli **strumenti analogici** è l'insieme dei valori della scala graduata

Per gli **strumenti digitali** è un parametro che può essere anche variabile. *Es. multimetro*

È riportato nel manuale e normalmente è anche visualizzabile.



→ # 4 cifre: da 0 a 1.5 posso discretizzazione meglio. Da 0 a 1000 debvo usare un passo più lungo.

# Strumenti di Misura

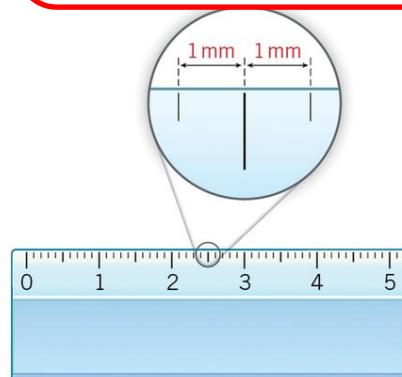
## Classificazione e Caratteristiche generali

Le principali **caratteristiche statiche** di uno strumento di misura sono:

### Risoluzione

*Nota: Grande risoluzione è sbagliato. Buona risoluzione è ok.*

il più piccolo cambiamento della grandezza sottoposta a misurazione che provoca un cambiamento rilevabile nell'indicazione



Per gli strumenti analogici è una **valore associato ad una frazione delle «tacca» di lettura**  
Dipende dall'abilità dell'operatore (es. mezza tacca o anche e meno)

Per gli strumenti digitali è un **parametro («digit»)** che deve essere letto nel manuale e normalmente incide solo sul valore della cifra meno significativa visualizzata ma non è detto sia unitario.

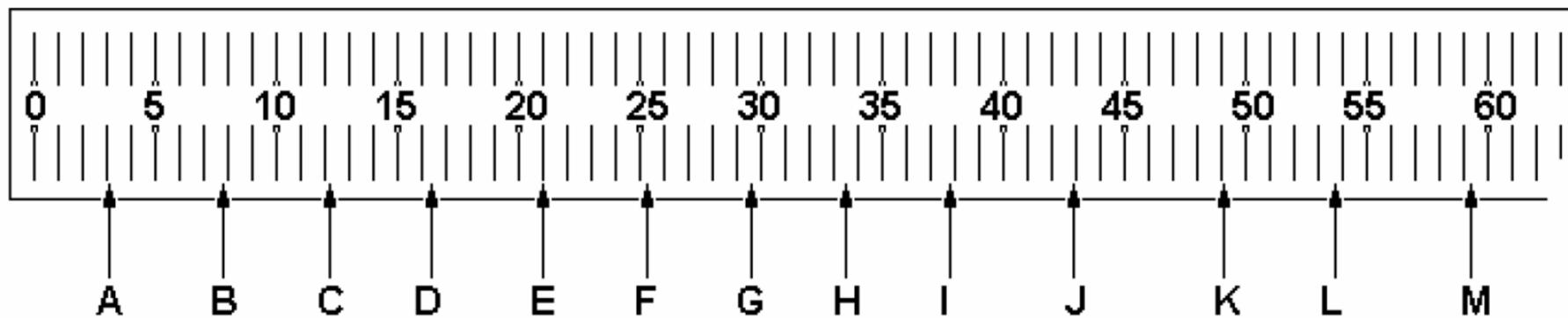
Può variare col valore letto e col fondo scala



*Una volta z. di 0.0005 fa comunque cambiere la misura. Se ho 0.0003 approssimo con 0.001. Mentre se avessi 0.0004, scenderà a 0. Quindi non realizzi per gli strumenti digitali la risoluz. È la metà dell'ultima cifra significativa.*

# Strumenti di Misura

## Esempi di Lettura Strumenti Analogici



- A=3.1
- E=21.0
- J=42.9
- B=7.8
- F=25.3
- K=49.1
- C=12.2
- G=29.6
- L=53.7
- D=16.4
- H=33.5
- M=59.3
- I=37.8

Convinz. la risoluzione è metà della teca.

# Strumenti di Misura

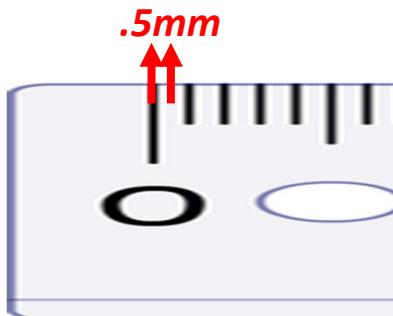
## Classificazione e Caratteristiche generali

Le principali **caratteristiche statiche** di uno strumento di misura sono:

### Limite di rivelabilità

*equivalente alla risoluz. intorno allo zero*

il massimo valore del misurando che non può essere distinta significativamente da zero («la minima quantità misurabile diversa da zero»)



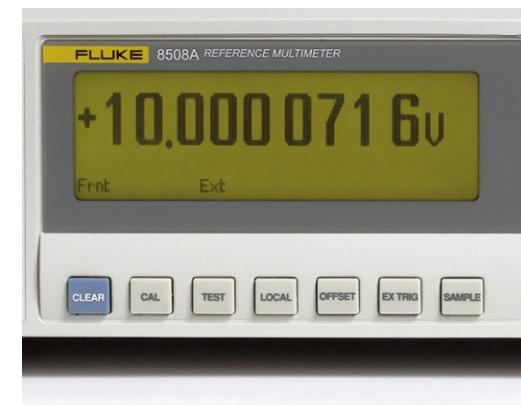
Non deve essere confuso con la sensibilità

Per gli strumenti analogici è la **risoluzione riferita allo zero**

Per gli strumenti **digitali** è un **parametro** che deve essere **letto nel manuale**.

Normalmente incide solo sul valore della cifra meno significativa visualizzata ma non è detto sia unitario.

Varia col valore di fondo scala



# Strumenti di Misura

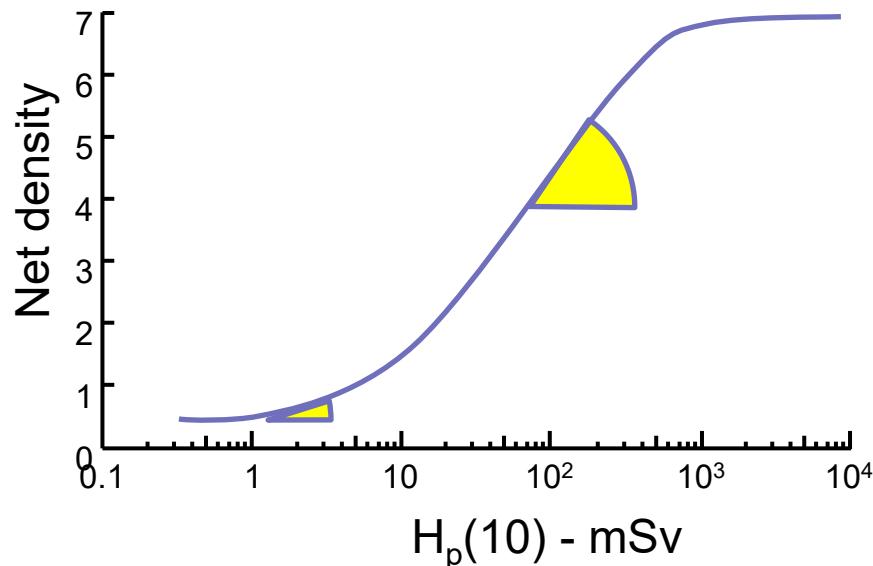
## Classificazione e Caratteristiche generali

Le principali **caratteristiche statiche** di uno strumento di misura sono:

### Sensibilità

rapporto tra il cambiamento dell'**indicazione** e il corrispondente cambiamento del **valore** di una **grandezza** sottoposta a **misurazione**

Non necessariamente la curva di taratura è una retta!



La sensibilità è la pendenza delle curve di taratura

La sensibilità può dipendere dal valore del misurando.

La sensibilità a zero determina il limite di rilevabilità

Per gli strumenti digitali coincide con la risoluzione ed è un parametro che deve essere letto nel manuale

# Strumenti di Misura

## Classificazione e Caratteristiche generali

Le principali **caratteristiche statiche** di uno strumento di misura sono:

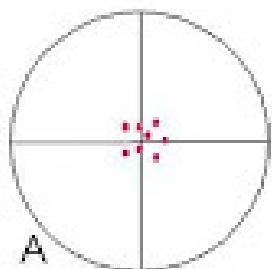
### Precisione

*Se effettuo tante misure nelle stesse condiz. sperimentali, mi dà lo stesso valore*

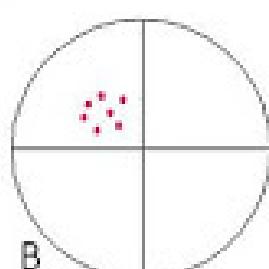
grado di concordanza tra **indicazioni o valori misurati** ottenuti da un certo numero di **misurazioni** ripetute dello stesso oggetto o di oggetti similari, eseguite in condizioni specificate

### Accuratezza

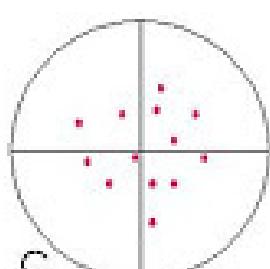
grado di concordanza tra un **valore misurato** e un **valor vero** di un **misurando**



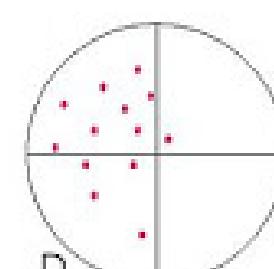
Accurato, preciso



Preciso, non accurato



Accurato, non preciso



Non accurato, non preciso

# Caratteristiche dinamiche

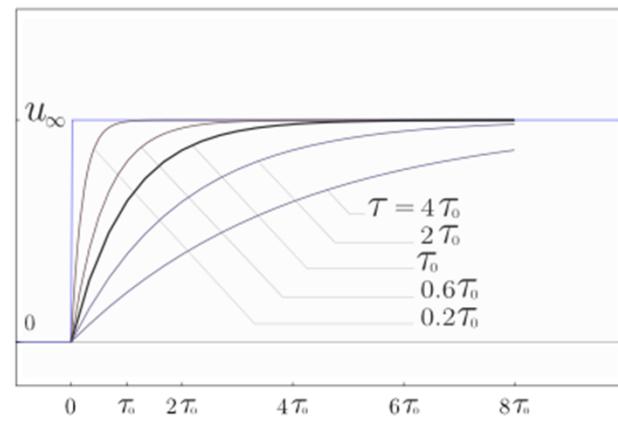
Pensiamo spesso che i valori misurati come se fossero entità costanti, ma di solito cambiano valore nel passare del tempo.

Queste variazioni "dinamiche" si verificano sia a causa di cambiamenti del misurando o delle condizioni ambientali.

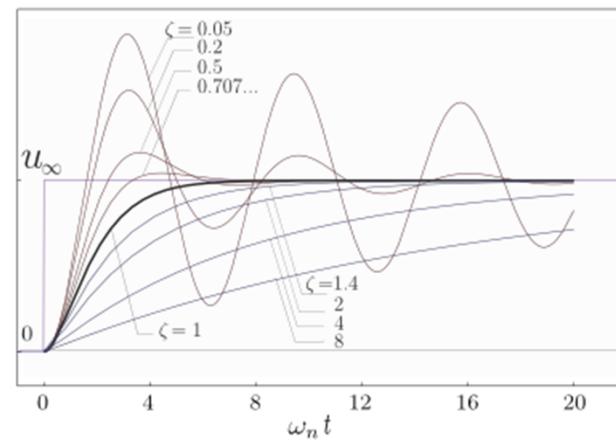
La strumentazione richiede tempo per seguire queste variazioni del misurando e prima di raggiungere un valore stazionario può dare valori molto differenti da quello finale

*La temperatura nel forno  
che sta venendo a me  
se ne strumento che riesce  
a seguire la variaz.  
dinamica della temperatura.  
Quando ci sono sì  
le caratteristiche dinamiche.*

Sistema di Primo Ordine



Sistema di Secondo Ordine



Risposta nel dominio del tempo

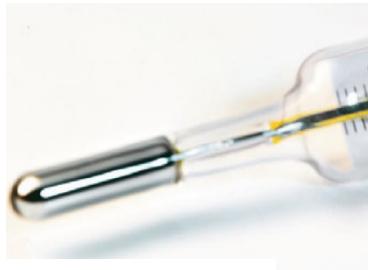
# Strumenti di Misura

## *Classificazione e Caratteristiche generali*

La principale **caratteristica** dinamica di uno strumento di misura sono:

### Tempo di risposta o Prontezza

indica il tempo dopo il quale, a seguito di una variazione repentina del misurando, si raggiunge una lettura stabile.



è il tempo in cui strumenti analogici la lancetta assesta la negli sua posizione e negli strumenti digitali il valore numerico si assesta, nell'intorno del valore finale di regime.



Può essere anche variabile con le condizioni ambientali.  
È riportato nel manuale.

# Strumenti di Misura

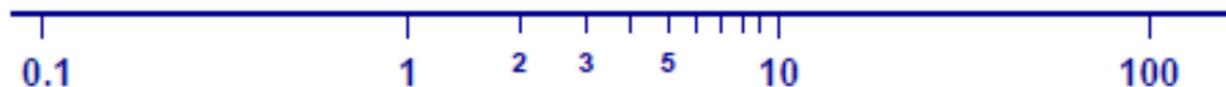
## *Scale lineari o logaritmiche*

In alcuni strumenti, tipicamente quando nel campo di misura ci sono molti ordini di grandezza (ad esempio con le frequenze), anziché del valore sull'asse delle ascisse si riportano le «decadi»:  $10^1$ ,  $10^2$ ,  $10^3$

Sull'asse prescelto si rappresenta il punto di ascissa  $1 = 10^0$

nella direzione positiva si rappresentano, a distanze uguali fra di loro, i punti di ascissa  $10^1$ ,  $10^2$ ,  $10^3$ , ...

nella direzione negativa si rappresentano, a distanze uguali fra di loro, i punti di ascissa  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ , ...



# Strumenti di Misura

Scale lineari o logaritmiche

## ENERGIA ▶

Frequenze in Hz

$10^0$     $10^2$     $10^4$     $10^6$     $10^8$     $10^{10}$     $10^{12}$     $10^{14}$

Basse frequenze

Alte frequenze

Onde lunghe, medie, corte, ultracorte, microonde

Luce|infrarossa - visibile - ultravioletta



Elettrodotti



Radio



Telefono  
cellulare



Calore



Luce



Radiografia



Radioattività

NON IONIZZANTE

IONIZZANTE

Frequenze in Hz

$10^{16}$     $10^{18}$     $10^{20}$     $10^{22}$     $10^{24}$     $10^{26}$

Raggi X

Raggi  
gamma

Radiazione  
secondaria  
di quota

# Strumenti di Misura

## *Scale lineari o logaritmiche*

Analogamente si utilizza il decibel per le ampiezze (ordinate): anziché del valore viene riportato il suo logaritmo moltiplicato per 20 (**decibel - dB**)

$$A_{dB} = 20 \log_{10}(A)$$

Si tenga conto che, essendo il decibel una grandezza logaritmica, una variazione di 6 dB comporta un raddoppio (o un dimezzamento, se la variazione è negativa) dell'intensità

$$20 \log_{10}(100.000)=20 \log_{10}(10^5)= 100 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(10.000)=20 \log_{10}(10^4)= 80 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(1.000)=20 \log_{10}(10^3)= 60 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(100)=20 \log_{10}(10^2)= 40 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(10)=20 \log_{10}(10^1)= 20 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(1)=20 \log_{10}(10^0)= 0 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(2) = 6 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(4) = 12 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(8) = 18 \text{ dB}$$

+ 20 dB → × 10  
- 20 dB → ÷ 10

# Strumenti di Misura

*Scale lineari o logaritmiche*

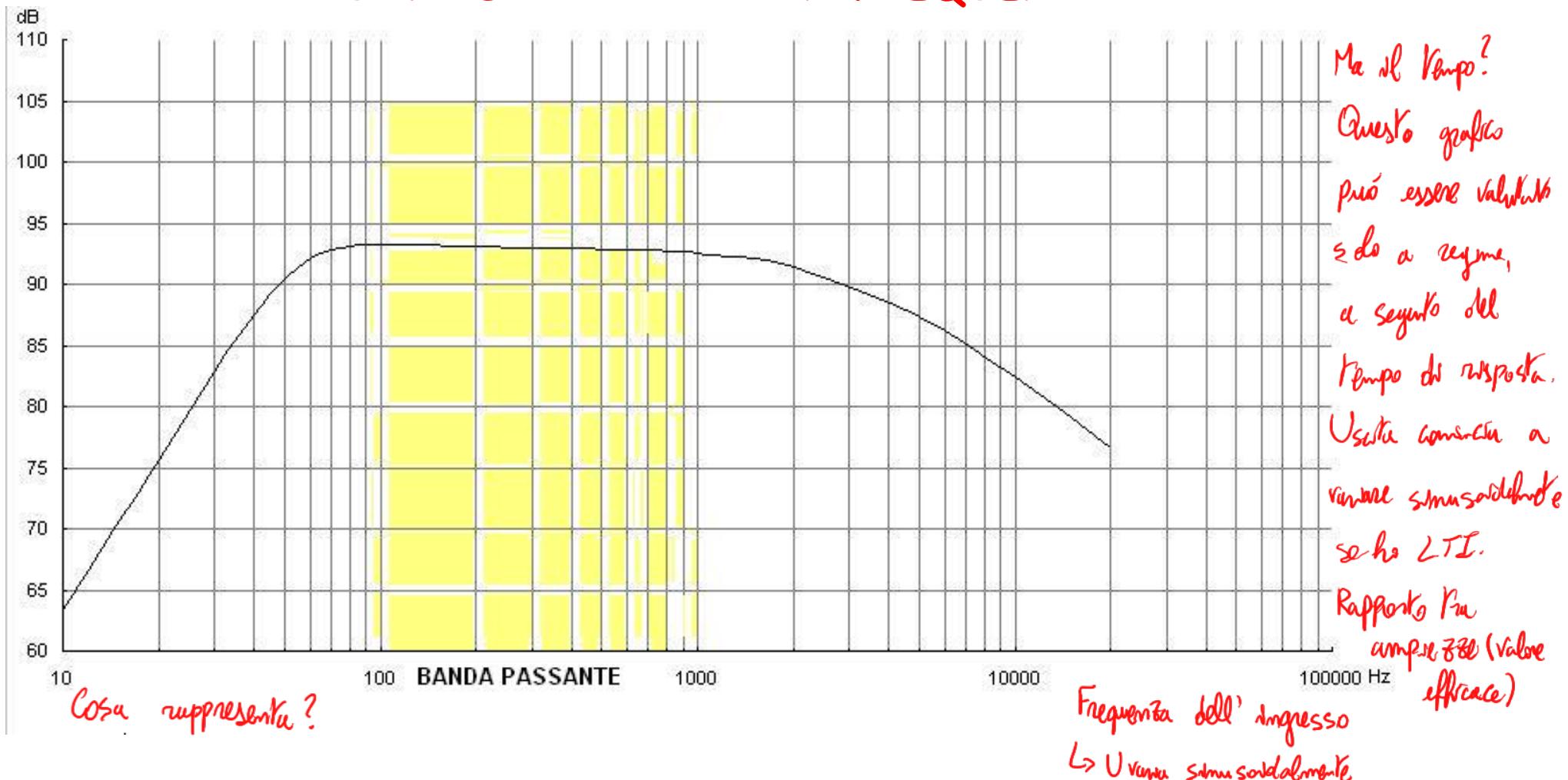


# Strumenti di Misura

Diagramma di Bode dei moduli: rapporto  
tra uscita e ingresso in dB. Ma su esse x leggo  
Scale lineari o logaritmiche frequenti.

Le caratteristiche dinamiche di uno strumento si leggono dalla

## CURVA DI RISPOSTA IN FREQUENZA



No tempo perché ho valutaz. a regime.

# Parametri ambientali

→ quelle varie

- Tutte le caratteristiche metrologiche di uno strumento sono garantite se ogni **grandezza d'influenza** (es. temperatura, umidità, vibrazioni, campi elettrici e magnetici etc.) è contenuta entro determinati intervalli detti **campi di impiego per le grandezze di influenza**.
- Spesso è utile conoscere il comportamento dello strumento al di fuori delle sue condizioni di riferimento; occorre quindi una funzione d'influenza che dia informazioni su come agisce la grandezza di influenza sulle caratteristiche dello strumento. Ovviamente anche queste funzioni avranno un loro campo di validità.
- **Grandezza d'influenza principali** sono
  - **stabilità o deriva temporale** (*Short and long-term stabilities (drift)*)
  - **la temperatura** (*Temperature factors*)

quelle che incardonano e che  
non trascuriamo

Temperatura e  
Stabilità di uno  
strumento

# Caratteristiche Fisiche

- Sono parametri non fondamentali ai fini della misura, ma servono a contraddistinguerne tipologia e modalità d'installazione:
  - massa (peso),
  - configurazione geometrica (*dimensioni esterne*, posizione ed orientamento delle *connessioni meccaniche* ed elettriche esterne, posizione di *montaggio*),
  - tipologia del *materiale* che è in contatto con il misurando; alternativamente si indicano le categorie di materiali che possono venire in contatto con il sensore, (ad es. liquidi e gas non corrosivi).
- I parametri d'identificazione (dati di targa) sono generalmente riportati sul contenitore del sensore (costruttore, modello, campo di misura, tipo di segnale d'eccitazione, uscita,.. ).

# Caratteristiche economiche

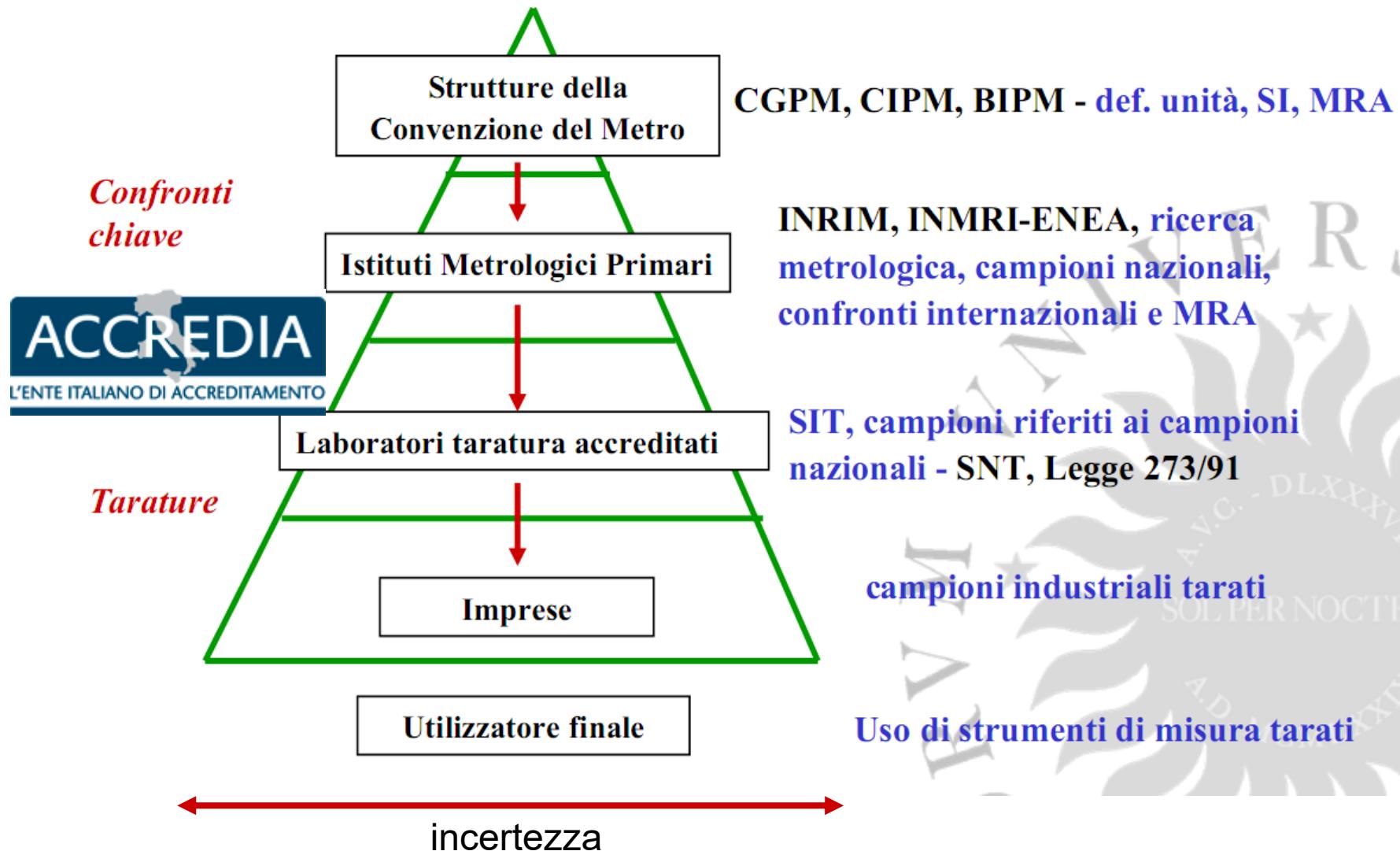
- Prezzo
- Costo e frequenza manutenzione
- Costo e durata materiale di consumo
- Costo taratura
- ...

Possono essere di secondaria importanza in relazione allo scopo cui è destinato lo strumento

# Conferma metrologica

- Tutte le caratteristiche di uno strumento non sono eterne
- Ogni strumento deve essere **confermato metrologicamente** ad intervalli specificati o prima della loro utilizzazione, presso specifici laboratori accreditati (**Accredia - ex SIT**) che offrono la garanzia di riferibilità.  
*↗ Garanzia per cui l'incertezza che scatta durante due campioni intercorrispondenti*
- **Garanzia della riferibilità** "Il sistema di misura del Laboratorio deve essere strutturato e gestito in modo tale da garantire che le attività di prova e le misurazioni ad esse di supporto siano riferibili (a campioni nazionali di misura, in accordo alle raccomandazioni del Comitato Internazionale Pesi e Misure.)"
- La norma UNI EN ISO 10012 chiarisce che cosa si debba intendere per conferma metrologica: "*insieme di operazioni richieste per garantire che un'apparecchiatura per misurazione sia conforme ai requisiti per l'utilizzazione prevista*".
- Il processo di conferma metrologica ha due elementi di ingresso, i requisiti metrologici del cliente e le caratteristiche metrologiche delle apparecchiature per misurazione, e un elemento di uscita, lo stato di conferma metrologica delle apparecchiature per misurazione.

# Piramide di riferibilità



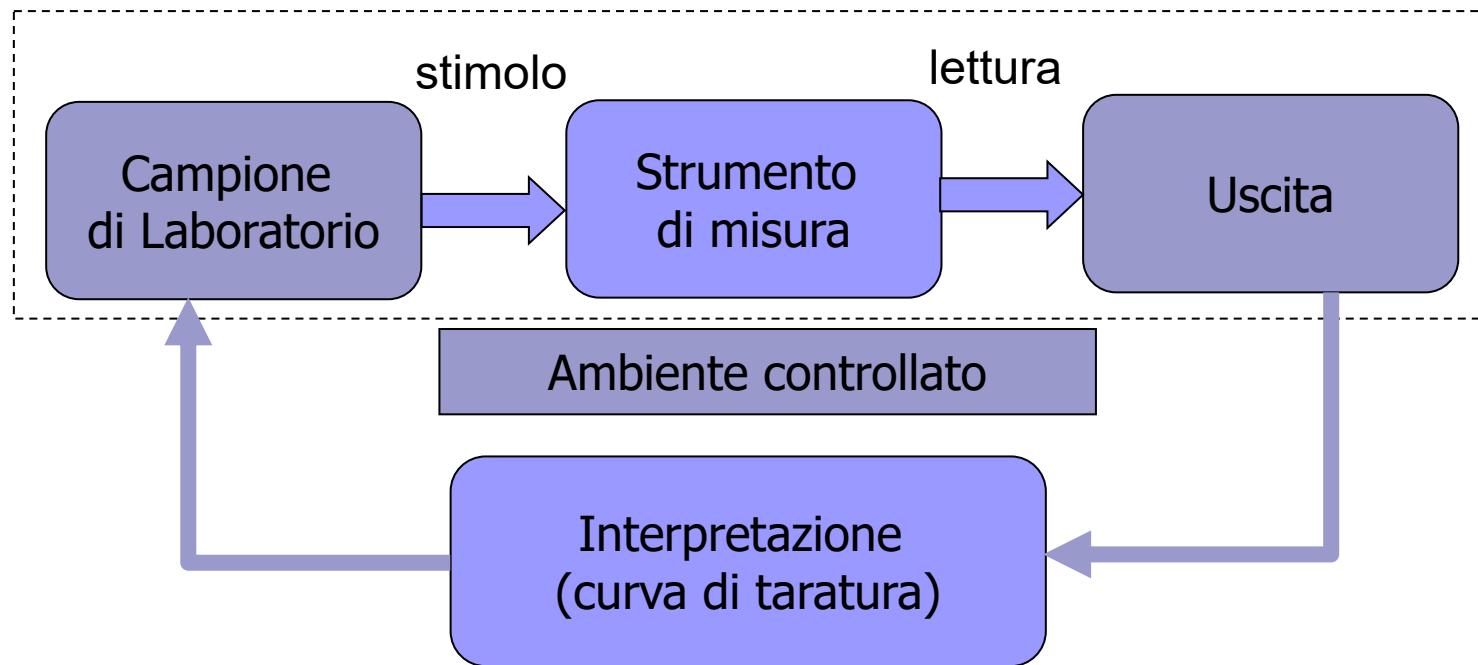
# Processo di conferma metrologica

- I **Requisiti Metrologici del Cliente** (RMC) sono quei **requisiti** di misurazione specificati dal cliente come pertinenti per i propri processi di produzione. Essi quindi dipendono dalle **specifiche delle variabili da misurare**.
- Questi spesso richiedono una profonda conoscenza sia dei processi produttivi, sia degli aspetti metrologici.
- Gli RMC dovrebbero anche prendere in considerazione il rischio di risultati di misurazione errati e i conseguenti effetti di tipo organizzativo ed economico.
- Gli RMC possono essere espressi in termini di errore massimo ammesso, di limiti funzionali, ecc. Nella formulazione degli RMC dovrebbero esserci dettagli sufficienti per consentire agli operatori dei processi di conferma metrologica di decidere in modo inequivocabile se una particolare apparecchiatura per misurazione ha, oppure non ha, la capacità di controllare, misurare o monitorare la variabile o la grandezza specificata secondo l'utilizzazione prevista.

# Conferma metrologica

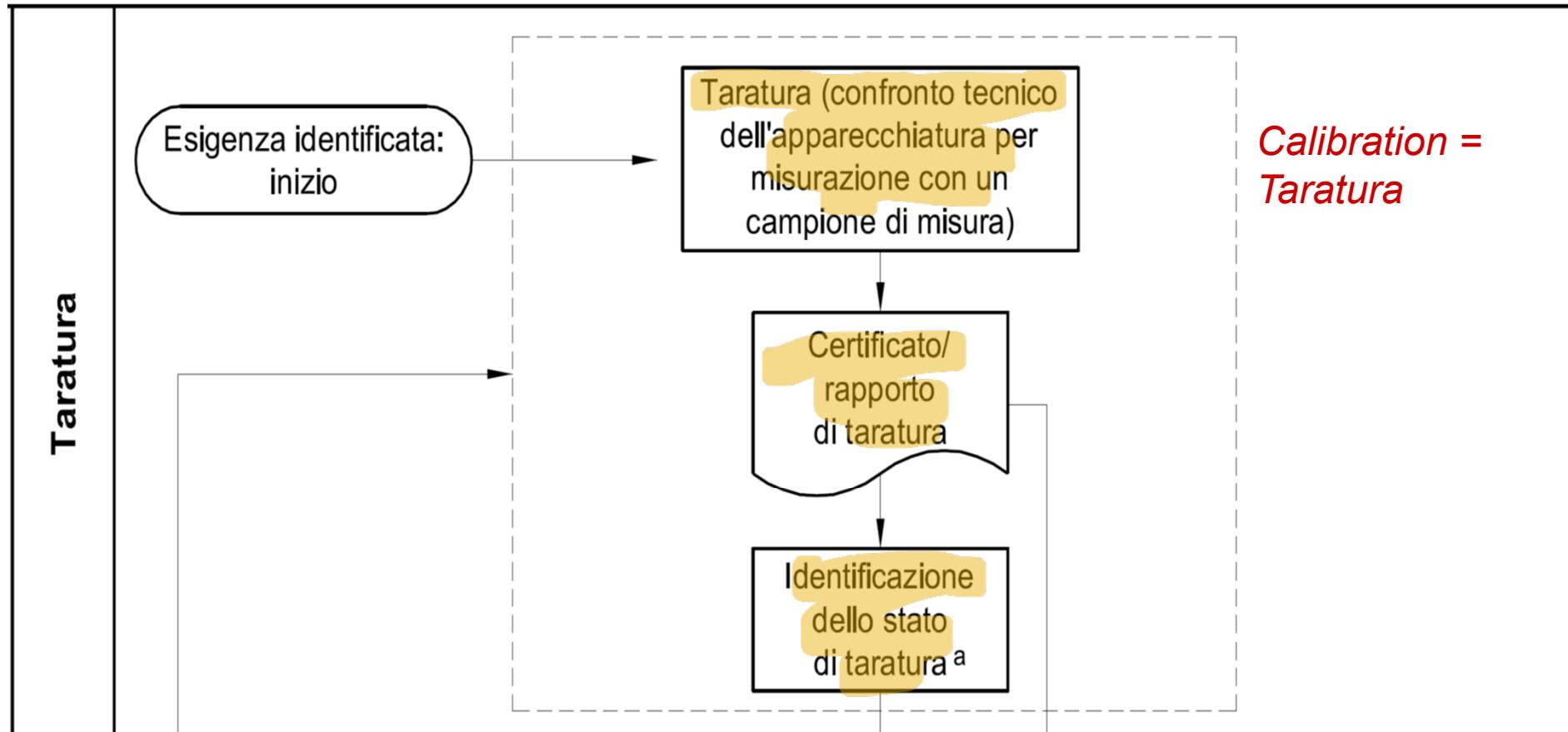
- Le **Caratteristiche Metrologiche delle Apparecchiature** per misurazione (CMA) sono determinate mediante la taratura (o più tarature) e/o l'esecuzione di prove ed attestati mediante certificati o rapporti di taratura.
- Gli elementi d'ingresso per il processo di taratura sono l'apparecchiatura per misurazione, un campione di misura e una procedura che stabilisce le condizioni ambientali.
- I risultati di taratura dovrebbero includere una dichiarazione dell'incertezza di misura. Questa è una caratteristica importante come elemento d'ingresso quando viene valutata l'incertezza di misura per il processo di misurazione nel quale l'apparecchiatura è utilizzata.
- Caratteristiche importanti per le misurazioni, per esempio l'incertezza di misura, non dipendono soltanto dall'apparecchiatura, ma anche dall'ambiente, dalla specifica procedura di misurazione e qualche volta dalle capacità e dall'esperienza dell'operatore.

# Sistema di Misura per taratura

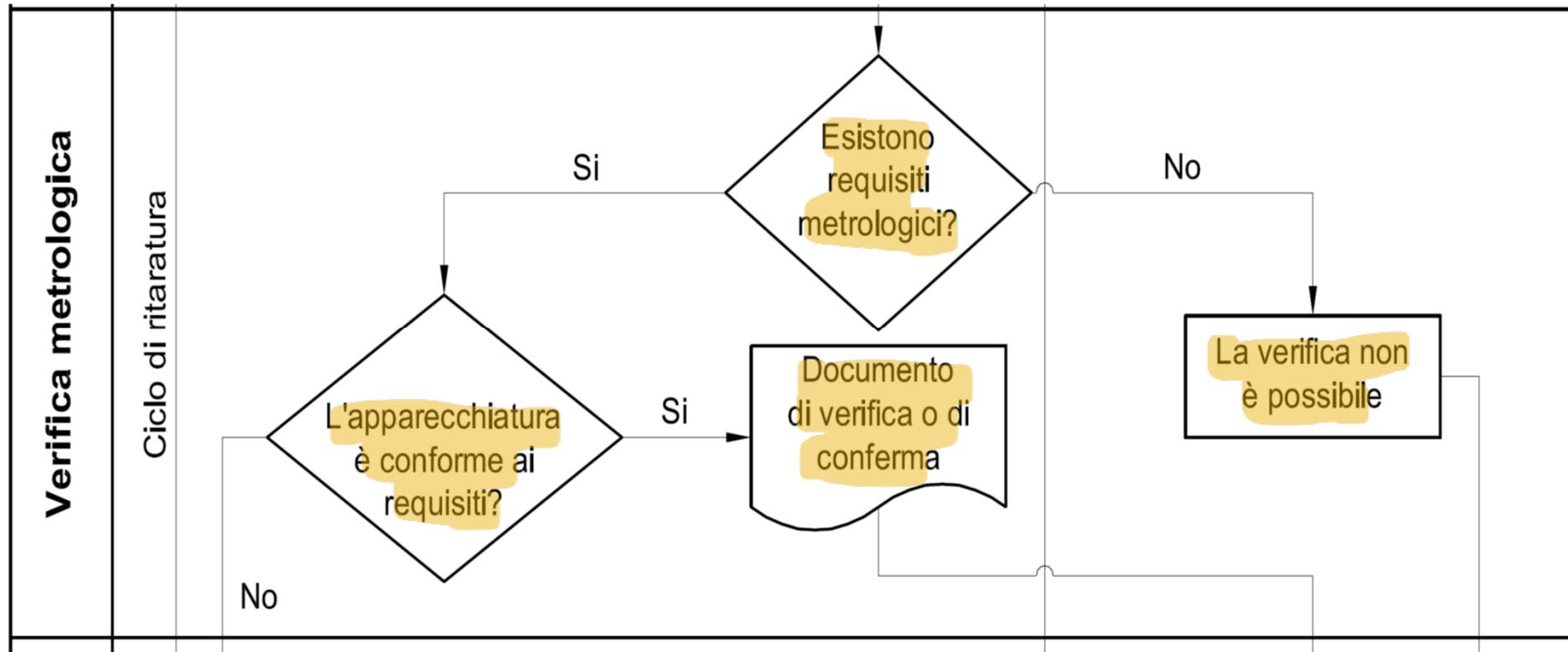


- Lo stimolo deve essere noto con almeno un terzo inferiore all'incertezza dello strumento sottoposto a taratura ad esempio utilizzando uno strumento «campione»
- Si ottiene la funzione di trasferimento in particolari condizioni ambientali

# Processo di conferma metrologica

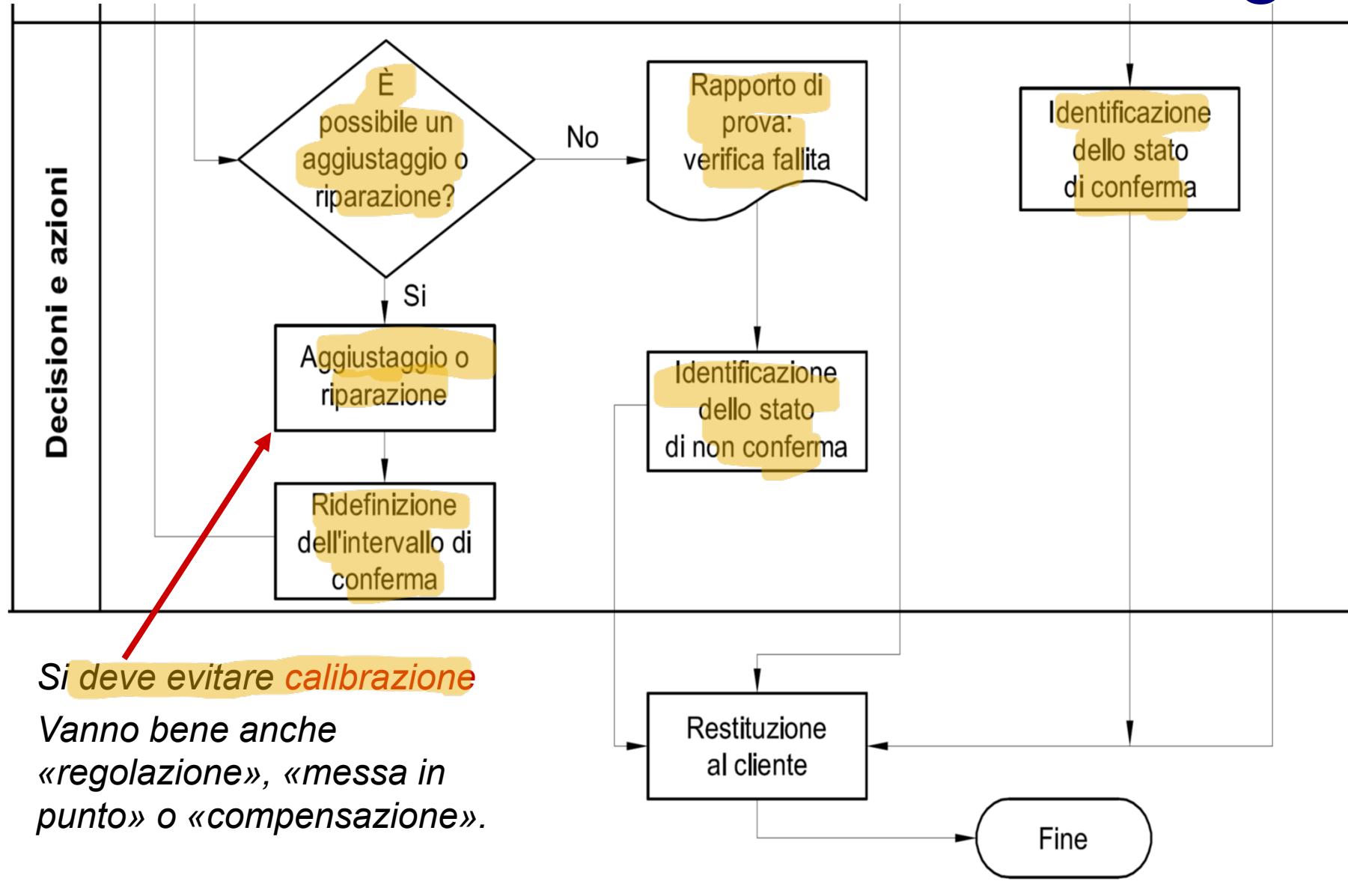


# Processo di conferma metrologica



Dopo la taratura, le CMA sono confrontate con gli RMC prima di confermare l'apparecchiatura per l'utilizzazione prevista.

# Processo di conferma metrologica



# Processo di conferma metrologica

- Seguendo l'esempio, si assume che l'errore determinato dalla taratura sia 3 kPa con una pressione di 200 kPa, con una incertezza di misura di taratura di 0,3 kPa. Quindi lo strumento non soddisfa il requisito di errore massimo ammesso.
- Dopo l'aggiustaggio l'errore determinato dalla taratura è 0,6 kPa e l'incertezza nel processo di taratura è 0,3 kPa. Lo strumento ora soddisfa il requisito di errore massimo ammesso e l'apparecchiatura può essere confermata per l'utilizzazione, supponendo che sia stata ottenuta un'evidenza che dimostri la conformità al requisito di deriva temporale.
- L'utilizzatore deve essere informato dei risultati della prima taratura, poiché potrebbero essere necessarie azioni correttive concernenti la fabbricazione dei prodotti nel periodo di tempo che ha preceduto il prelievo dello strumento dal suo usuale servizio per avviarlo alle operazioni di riconferma.

# Processo di conferma metrologica

- I risultati possono essere presentati in un documento di verifica, al quale si aggiungono tutti i certificati o rapporti di taratura, come parte di un protocollo nell'ambito del sistema di conferma metrologica.
- La fase finale del sistema di conferma metrologica è la corretta identificazione dello stato dell'apparecchiatura per misurazione, per esempio mediante una etichettatura, marcatura, ecc.
- Dopo di ciò, le apparecchiature per misurazione possono essere utilizzate per la funzione per la quale sono state confermate.