

## Importanza delle incertezze nelle misure fisiche

La parola “errore” non significa equivoco o sbaglio

Essa assume il significato di **incertezza** da associare alla misura

**Nessuna grandezza fisica può essere  
misurata con completa certezza**

Poichè è inevitabile che in una misura tutte le fonti di incertezza siano eliminate, il **valore vero** di una grandezza, che sarebbe il risultato di un'operazione di misura ideale, priva di errore, perde significato.

Pertanto, perchè una misura abbia senso è necessario determinare oltre alla “**migliore stima**” del valore vero, l'indeterminazione da cui è presumibilmente affetta.

# Rappresentazione di una misura

Il risultato di una misura ha due componenti essenziali:

- ❑ un **valore numerico** (in un dato sistema di unità) che rappresenta la **migliore stima possibile** del valore vero della grandezza misurata,
- ❑ una **incertezza** associata al valore stimato (espressa con le stesse unità di misura della grandezza fisica a cui è associato).

Il risultato di una misura sarà espresso nella maniera seguente:

**Valore misurato = stima  $\pm$  incertezza**

$$G = M(G) \pm \Delta G$$

Quest'affermazione significa che:

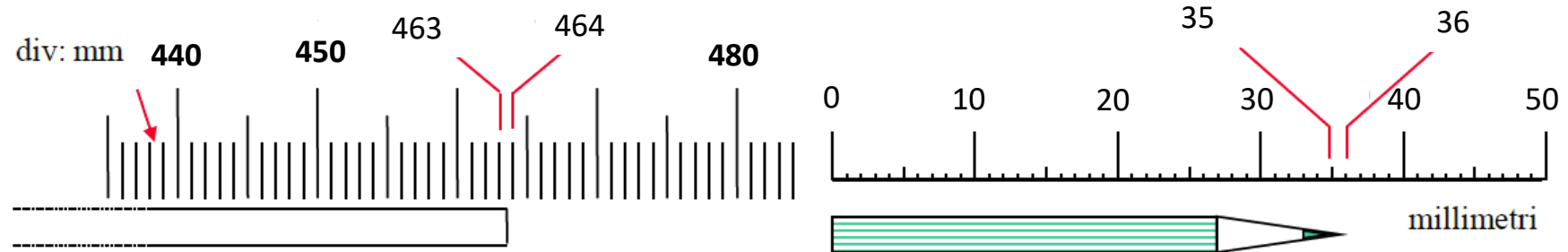
- la migliore stima della quantità misurata è  $M(G)$ ;
- lo sperimentatore è confidente che la grandezza abbia un valore compreso tra

$$M(G) - \Delta G \quad \text{e} \quad M(G) + \Delta G$$

## Misure e incertezze

Nessuna grandezza fisica può essere determinata con precisione assoluta ma è sempre affetta da una indeterminazione o errore.

La bontà della misura dipende dal modo in cui la grandezza è misurata (*tipo di strumento, procedura,...*)



$$463 \text{ mm} \leq l \leq 464 \text{ mm}$$

$$l = (463.5 \pm 0.5) \text{ mm}$$

$$35 \text{ mm} \leq l \leq 36 \text{ mm}$$

$$l = (35.5 \pm 0.5) \text{ mm}$$

Si dice in questo caso che la misura di lunghezza è stata eseguita con una incertezza di "sensibilità" di 0.5 mm.

# Ripetibilità dei risultati

Per ripetibilità dei risultati si intende l'accordo tra i risultati di misurazioni successive della stessa grandezza effettuate *nelle stesse condizioni*:

- stesso procedimento di misurazione
- stesso osservatore
- stesso strumento usato nelle stesse condizioni
- stesso luogo
- ripetizioni eseguite entro un "breve" intervallo di tempo

# Riproducibilità dei risultati

Per *riproducibilità* dei risultati si intende l'accordo tra i risultati di misurazioni della stessa quantità effettuate in *condizioni diverse*.

Il cambiamento delle condizioni può riguardare:

- il principio su cui è basata la misurazione
- il metodo di misurazione
- l'osservatore
- lo strumento
- il luogo in cui si svolge la misurazione
- le condizioni in cui si svolge la misurazione
- il tempo in cui la misurazione è effettuata

# Gli errori

- Svarioni
- Disturbi
- Errori sistematici
- Errori casuali

## **Gli svarioni**

Sono quegli errori madornali dovuti ad esempio ad una distrazione dello sperimentatore (lettura errata dello strumento, trascrizione sbagliata dei dati, ...)

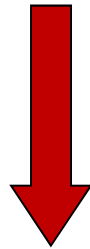
## **I disturbi**

I disturbi sono errori occasionali, temporanei, che scompaiono quando la misura viene ripetuta

*Entrambi sono eliminabili da parte di un attento sperimentatore.*

## Gli errori sistematici

Sono errori che alterano la misura sistematicamente in eccesso o in difetto



non sono rilevati mediante la ripetizione delle misure, ma confrontando risultati di misure eseguite con strumenti o procedure diverse



## Gli errori sistematici

**Difetti dello strumento** (in uno strumento starato non esiste accordo tra il “valore vero” della grandezza e la risposta dello strumento )

**Interazione strumento-sperimentatore** (nell'errore di parallasse l'errore è dovuto ad una sbagliata angolazione dello sperimentatore rispetto alla scala dello strumento)

**Interazione strumento-fenomeno** (nella misura della temperatura di un fluido con un termometro ciò che si misura effettivamente è la temperatura del sistema termometro-fluido dopo il raggiungimento dell'equilibrio termodinamico)

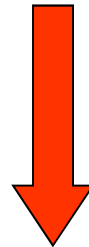
## **Gli errori sistematici**

**Errate condizioni di lavoro** (alcuni strumenti sono tarati per lavorare a determinate temperature e forniscono risposte non veritiere se usati ad altre temperature)

**Errori dovuti all'imperfetta schematizzazione, riproduzione ed interpretazione del fenomeno** (nello studio del moto uniformemente accelerato di un carrello su una rotaia-guida non si tiene conto degli attriti e si dà un'interpretazione ingenua, semplificata e non precisa del fenomeno)

# Gli errori casuali

Possono avvenire con uguale probabilità sia in difetto che in eccesso rispetto al valore vero: tipicamente si distribuiscono in modo simmetrico intorno alla **media aritmetica**



sono rilevati mediante la ripetizione delle misure e sono spiegati con l'impossibilità di riprodurre esattamente le stesse condizioni sperimentali

**Osservazione:** se si adopera per la misura uno strumento di scarsa sensibilità, i valori delle misure ripetute coincidono

## **Gli errori casuali**

A differenza degli errori sistematici, gli errori casuali sono inevitabili e non eliminabili, ma trattabili in quanto il loro contributo può essere quantificato mediante l'analisi statistica dei risultati.

Normalmente in una misura ci sono sia incertezze casuali che sistematiche

In una buona misura deve essere  
***errore sistematico*  $\ll$  *errore casuale***

Una misura richiede due tipi di operazioni:

- migliore stima del valore vero della grandezza
- valutazione dell'incertezza su tale stima (errore) incertezza

Risultato ed incertezza sperimentale devono essere scritti in modo **coerente**, nel senso che, **nell'esprimere il risultato di una misura vanno indicate *tutte e sole* le cifre significative.**

# Ma che cosa sono le cifre significative?

## Definizione:

**Per numero di cifre significative si intende il numero di tutte le cifre scritte a partire da destra, compresi gli zeri, fino all'ultima diversa da zero a sinistra.**

In fisica è importante conoscere il numero di cifre significative del risultato di una misura in quanto è correlato alla bontà della misura e pertanto non può essere scelto arbitrariamente

## Regole pratiche per il conteggio del numero di cifre significative:

- Tutte le cifre diverse da zero sono significative
- Tutti gli zeri compresi fra due non-zeri sono cifre significative
- Gli zeri a destra sono cifre significative
- Gli zeri a sinistra non sono cifre significative

Numero	cifre significative
123,4	4
123,42	5
123,420	6
0,04	1
0,042	2
0,0420	3
600 (600.)	3
$600 = 6 \cdot 10^2$	1



## Perché è importante scrivere il risultato di una misura con il numero corretto le cifre significative?

Le cifre significative sono tutte quelle cifre **fino alla prima di dubbio significato** →

L'ultima cifra a destra, con cui si scrive il risultato, indica il grado di precisione con cui si conosce il valore della grandezza misurata.

Esempio:

$$x = 5.32 \text{ m} \rightarrow 5.31 \text{ m} < x < 5.33 \text{ m}$$

In questo caso il procedimento di misura o lo strumento è in grado di apprezzare differenze dell'ordine di *1 cm*.

Se invece si effettua la misura con una riga millimetrata che permette di apprezzare il mm allora il risultato è espresso fino alla terza cifra decimale:

$$x = 5.322 \text{ m} \rightarrow 5.321 \text{ m} < x < 5.323 \text{ m}$$

In questo caso la misura è più precisa ed il risultato è espresso con un numero maggiore di cifre significative.

Primo esempio  $x = 5.32 \text{ m} \rightarrow 3 \text{ cifre significative}$

Secondo esempio  $x = 5.322 \text{ m} \rightarrow 4 \text{ cifre significative}$

Pertanto:

$$x = 2.8 \text{ cm} \neq x = 2.80 \text{ cm}$$

Infatti

$$x = 2.8 \text{ cm} \rightarrow 2.7 \text{ cm} < x < 2.9 \text{ cm}$$

$$x = 2.80 \text{ cm} \rightarrow 2.79 \text{ cm} < x < 2.81 \text{ cm}$$

Primo esempio  $x = 2.8 \text{ cm} \rightarrow 2 \text{ cifre significative}$

Secondo esempio  $x = 2.80 \text{ cm} \rightarrow 3 \text{ cifre significative}$

# Arrotondamenti

Se la prima cifra che deve essere eliminata è minore di 5, la cifra precedente resta inalterata.

*Esempio:*

*arrotondamento a 3 cifre*

➤ *3.472 viene arrotondato con 3.47*

Se la prima cifra che si deve eliminare è maggiore o uguale a 5, la cifra precedente viene aumentata di una unità. (*quasi sempre!!!*)

*Esempio:*

*arrotondamento a 3 cifre*

➤ *5.738 viene arrotondato con 5.74*

➤ *5.798 viene arrotondato con 5.80*

➤ *5.7953 viene arrotondato con 5.80*

➤ *5.685 viene arrotondato con 5.68*

➤ *5.675 viene arrotondato con 5.68*

