

## Fondamenti della **Misurazione**

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)**

# L'importanza di misurare

*“I often say that when you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it, but when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely, in your thoughts, advanced to the stage of Science, whatever the matter may be.”*

– Sir William Thompson, Lord Kelvin (1827–1907)

# Perché misurare?

## ■ Motivazioni di tipo

- Commerciale**
- Tecnico/Conoscitivo** (es. prevedere andamento del tempo)
- Legale** (devo fare multa o no?)
- Scientifico** (devo costruire la teoria della gravità universale)

# Perché misurare?

## ■ Motivazioni di tipo commerciale

– Determinare la quantità di beni

Esempi:

- dimensione di terreni, stoffe, ...
- distanze da percorrere, ...
- quantità di grano, sementi, acqua, ...

– Determinare il valore (costo) di oggetti

– Storicamente: “Pesi e misure”

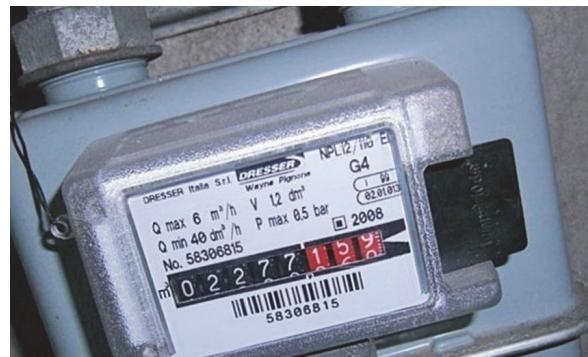
# Perché misurare?

## ■ Motivazioni di tipo commerciale



# Perché misurare?

- Motivazioni di tipo commerciale

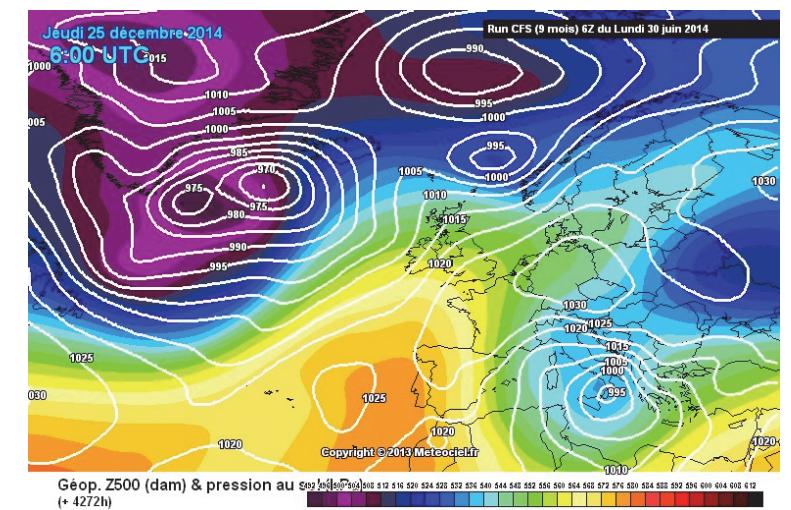
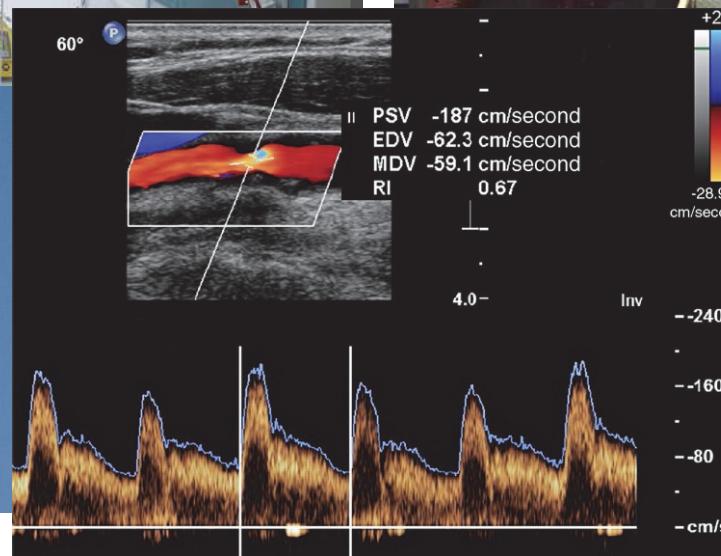
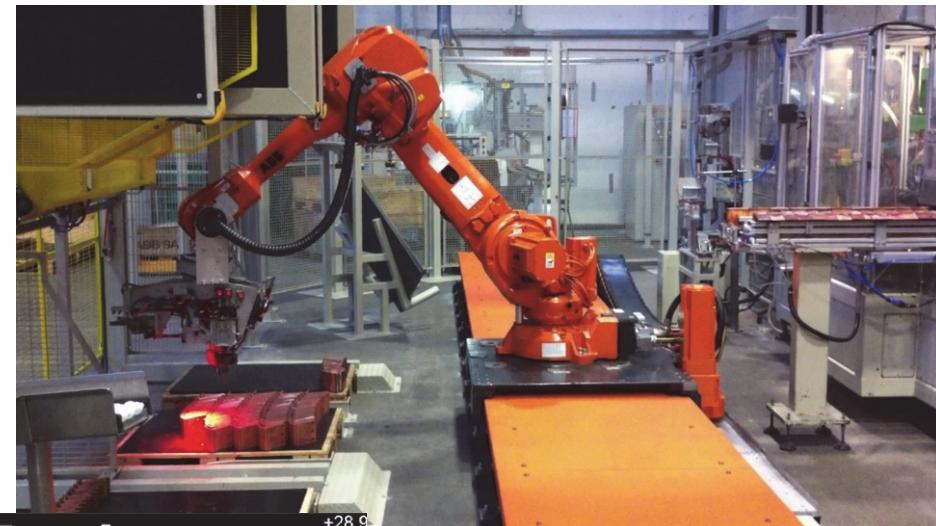


# Perché misurare?

- Motivazioni di tipo **tecnico/conoscitivo**
  - Controllo di un processo industriale o apparecchiatura
  - Prove di **accettazione per i semilavorati**
    - Intercambiabilità fra i prodotti di più fornitori
  - Prove per la verifica della qualità del **processo produttivo**
    - Compatibilità fra pezzi provenienti da più processi
  - Prove per la verifica della qualità dei prodotti finiti
  - **Misure medicali**

# Perché misurare?

## ■ Motivazioni di tipo tecnico/conoscitivo



# Perché misurare?

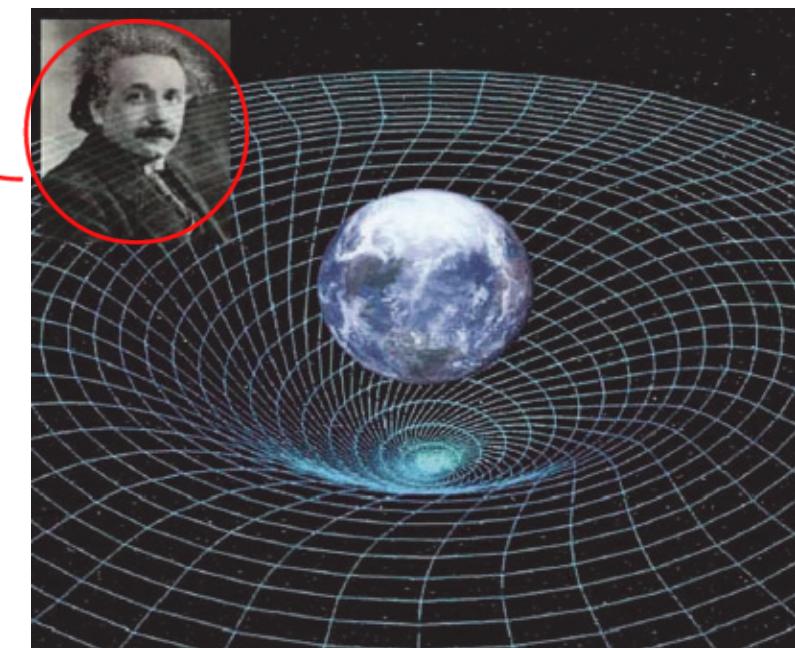
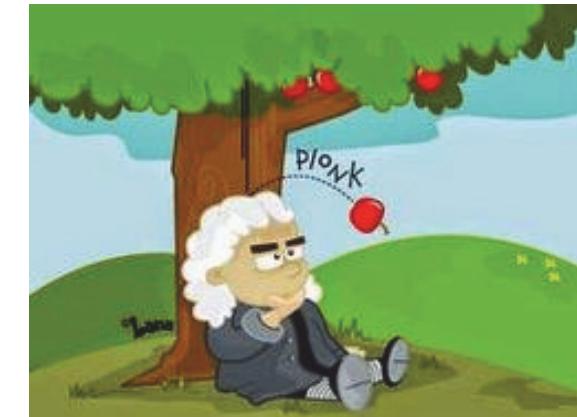
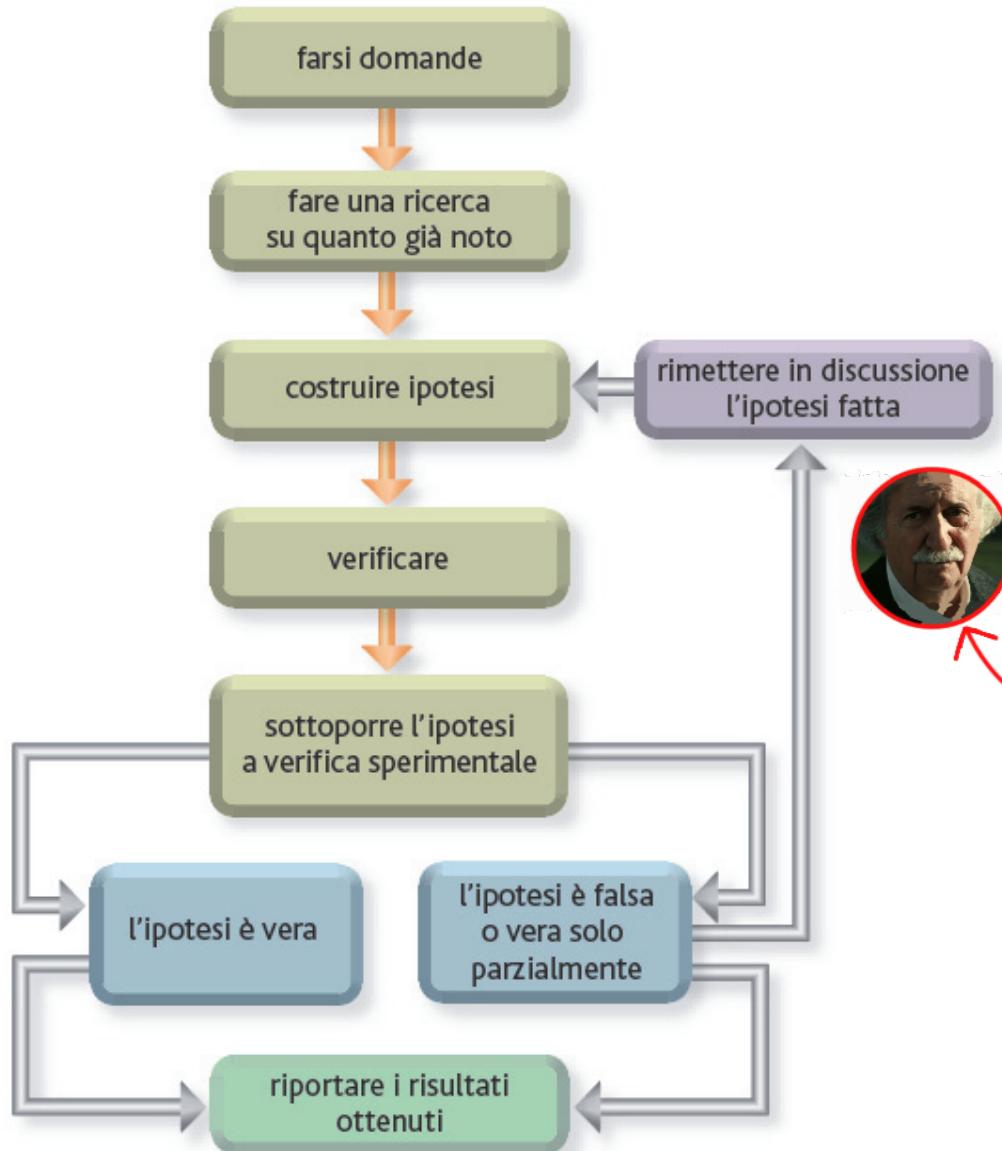
## ■ Motivazioni di tipo **legale**

– **Verifica del rispetto delle regole o leggi.** (es. multe eccesso di velocità)



# Perché misurare?

## ■ Motivazioni di tipo scientifico



# Concetti di base

\* La misuraz. cambia da Stato a Stato: es. acqua che ha volume diverso.

## ■ **Misurando:**

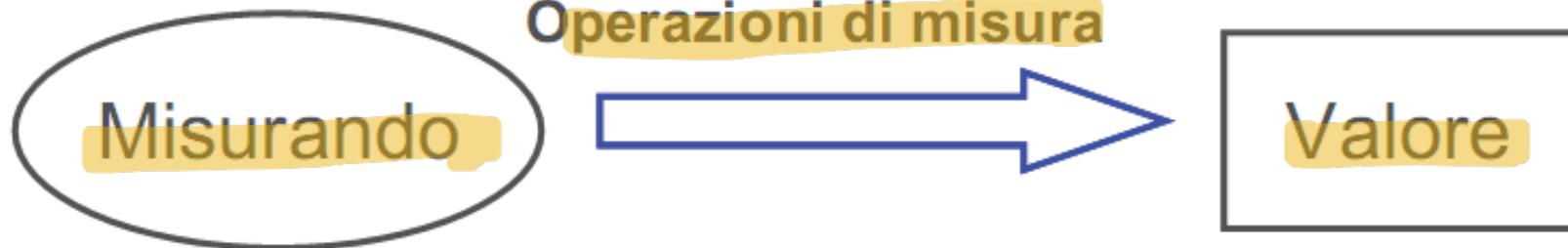
Oggetto della misura: Proprietà di un fenomeno, oggetto o sostanza che, in un determinato stato\*, può essere caratterizzata dal punto di vista quantitativo.

es. Temp. dell'aria

## ■ **Misurazione:**

Il procedimento sperimentale attraverso cui si definisce il misurando dal punto di vista quantitativo.

Fatte sempre da un punto di vista sperimentale



# Concetti di base

- Per la definizione quantitativa (numerica) del misurando si fa ricorso ad una seconda grandezza, omogenea al misurando, assunta come riferimento, detta unità di misura.
- Nella misurazione si valuta in maniera numerica il rapporto tra il misurando e l'unità di misura.
- L'unità di misura individua la specie di grandezza considerata
- L'indicazione dell'unità di misura utilizzata è parte integrante del risultato di una misurazione

# L'unità di Misura



Misurare una grandezza significa dire «quante volte l'unità di misura è contenuta nella grandezza».

# Concetti di base

- L'unità di misura è un'entità puramente **convenzionale** ma unità di misura **universalmente riconosciute ed accettate sono necessarie per facilitare gli scambi** tecnici e commerciali (costituiscono uno standard)

## Sistema Internazionale

■ metro	<b>m</b>	<i>lunghezza</i>	<i>Tutte coerenti con le nostre precisioni</i>
■ kilogrammo	<b>kg</b>	<i>massa</i>	
■ secondo	<b>s</b>	<i>tempo</i>	
■ ampere	<b>A</b>	<i>intensità corrente elettrica</i>	
■ kelvin	<b>K</b>	<i>temperat. termodinamica</i>	
■ candela	<b>cd</b>	<i>intensità luminosa</i>	
■ mole	<b>mol</b>	<i>quantità di sostanza</i>	

# Concetti di base

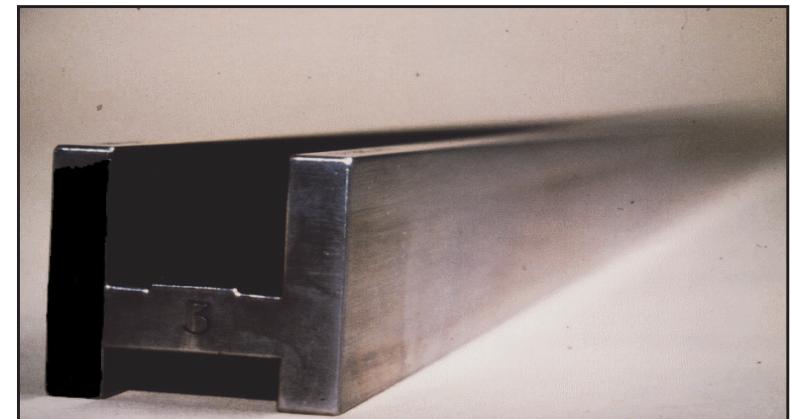
- Per la realizzazione della quantificazione del misurando può non essere pratico riferirsi alla definizione dell'unità di misura. Spesso, risulta più semplice riferirsi ad una realizzazione materiale dell'unità di misura o di un suo multiplo o sottomultiplo (il **Campione**)

## Definizione metro

Il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di  $1/299\ 792\ 458$  di secondo

Usa un'altra grandezza fisica: il secondo. È l'unità di misura più precisa che abbiamo. I fenomeni che permettono le misure del s si manifestano con una forte ripetibilità (cioè sono facili di ripetere) sempre allo stesso modo)

## Campione metro



↑ Meno sensibile agli agenti atmosferici

# Concetti di base

La misurazione è, quindi, un processo che mette in corrispondenza due insiemi: quello "reale" degli eventi fisici e quello "astratto" dei numeri quantificando il rapporto con l'unità di misura.

- La temperatura della stanza è di 22 °C
- La mia altezza è di 1.80 m
- La velocità attuale dell'automobile è 100 km/h
- Il mio peso è pari a 80 kg
- Il record dei 100 m piani è 9.58 s
- Ho acquistato 5 l di vino
- La frequenza di questa sinusoide 150 kHz
- La distanza è di 358 km
- La RAM del mio PC è pari a 64 kbyte

# Concetti di base

## **Alcune domande da porsi sulla misurazione:**

→ Maggior parte dei casi si misura

- L'ambiente di misura può influire sul valore ottenuto (**grandezze d'influenza**)? *dell'atm. temperatura*
- La strumentazione usata può alterare il vero valore?
- La scelta di una metodologia di misura piuttosto che un'altra può influire sul valore ottenuto? 
- La misura che si effettua caratterizza esaurientemente il misurando oppure altri parametri vengono tralasciati?
- Tutti i risultati di misura sono ugualmente attendibili?
- E' sufficiente indicare un "valore" come misura?

↳ Non posso esprimere valore con un solo numero, ma con un intervallo

↳ Grado di indeterminaz. con un quantitativo misurando.

«Tutto che misura non è perfettamente preciso»

# Concetti di base

- La definizione quantitativa (numerica) del misurando avviene sempre con un certo grado d'indeterminazione (incertezza di misura)
- Accanto al risultato di misura si deve sempre esprimere il grado di indeterminazione con cui la misurazione è stata capace di attribuire un valore al misurando.
- Il risultato della misurazione è un'informazione costituita da un numero, una unità di misura ed una valutazione del grado di indeterminazione della valutazione
- L'incertezza non può mai essere nulla

UN RISULTATO DI MISURA SENZA UNA VALUTAZIONE DEL  
GRADO DI INDETERMINAZIONE AD ESSO ASSOCIATO  
RISULTA INUTILIZZABILE

# Concetti di base

Più precisamente, quindi, la misurazione è un procedimento sperimentale ed oggettivo, che permette il confronto fra misurando e la relativa unità di misura (o un multiplo, sottomultiplo) per ottenere un intervallo di numeri, la misura o risultato di misura, che possono essere ragionevolmente attribuiti al misurando.

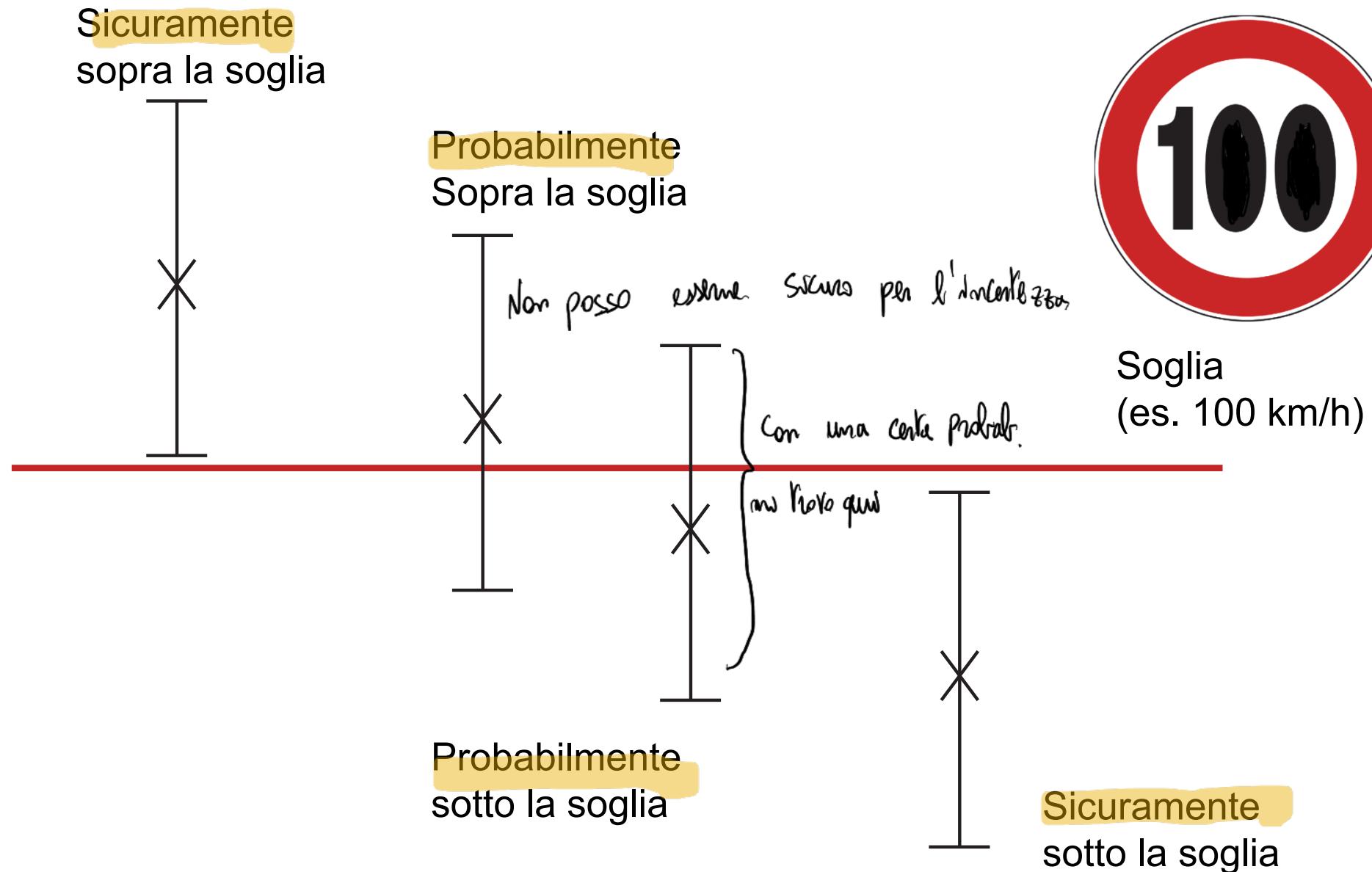
- La temperatura della stanza è di  $(22.0 \pm 1.0)$  °C
- La mia altezza è di  $(1.800 \pm 0.015)$  m
- La velocità attuale dell'automobile è  $(100.0 \pm 5.0)$  km/h
- Il mio peso è pari a  $(80.00 \pm 0.25)$  kg
- ...

# Utilizzo di un risultato di misura

È un intervallo ...

↳ Ho una certa prob. di trovare la misura corretta nell'intervallo specificato

# Confronto con soglia



# Quanto bene misurare?



# Quanto bene misurare?

- In generale, diverse procedure di misurazione hanno gradi di affidabilità differente (indeterminazione più o meno grande)
- Di solito con la qualità del risultato di misura cresce in maniera diretta anche costo della misurazione (es. costo dello strumento)
- La minima qualità di misura necessaria deve essere scelta in maniera coerente col valore del risultato della misurazione (es. pesare spazzatura, uomo, pane, prosciutto San Daniele, Oro, etc..)

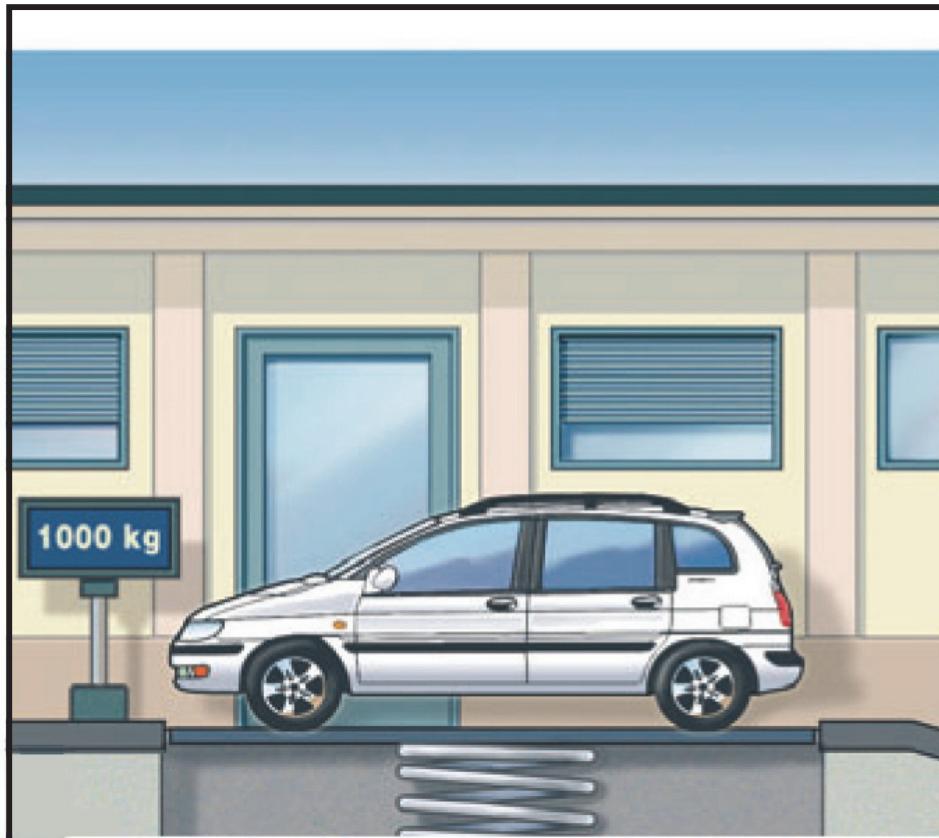
Es. Hanno costi completamente diversi le misure di peso  
 $(1.00 \pm 0.25)$  kg e  $(1.0000 \pm 0.0025)$  kg

↑  
alla misurazione

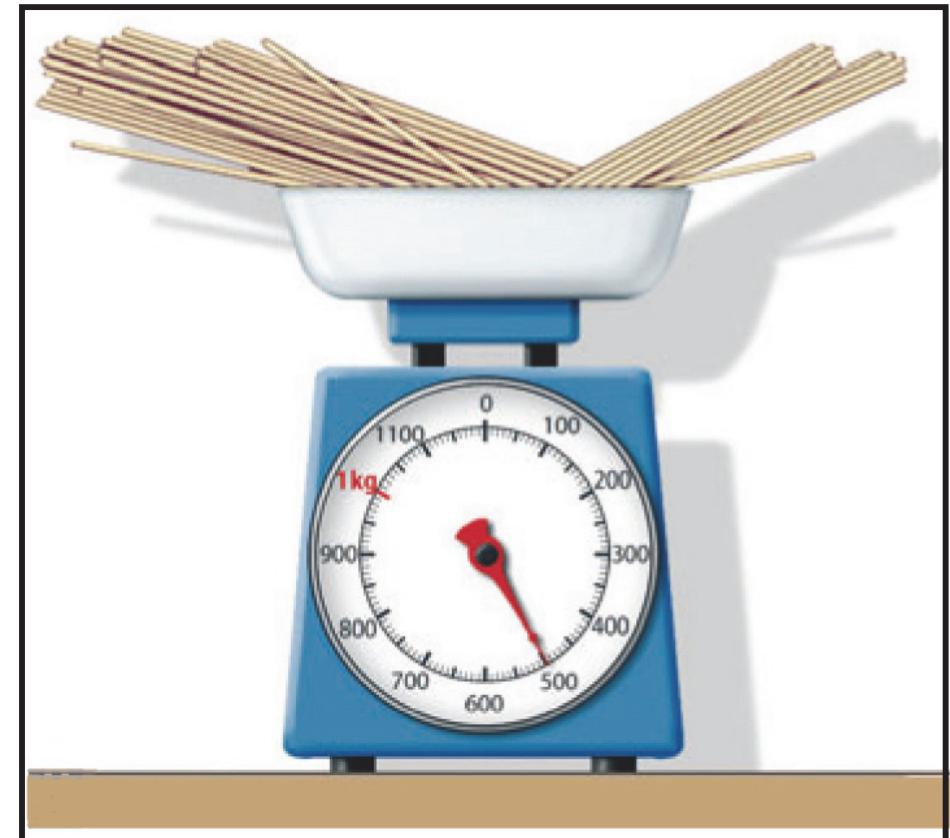
↑  
costa un carico

# Qual è la misura più precisa?

$(1000 \pm 1) \text{ kg}$



$(5,0 \pm 0,1) \text{ hg}$



$$\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}} = \frac{1}{1000} = 0.1\%$$

$$\frac{0.1 \text{ hg}}{5.0 \text{ hg}} = \frac{1}{50} = 2\%$$

# Tipi di grandezze da misurare

Descrivibili con modelli agganciati alle leggi  
della fisica

## ■ Tipo numerale

- Esempio: numero di abitanti in una certa regione

## ■ Tipo razionale

- Esempi: lunghezza, massa, tensione elettrica, corrente elettrica, resistenza elettrica

## ■ Tipo complesso

- Esempi: grandezze vettoriali, colore in colorimetria

# Misurazioni dirette

Procedimento di misura che consente il confronto diretto fra il **misurando** ed una **grandezza di riferimento** della stessa specie (campione)



Melio per il tavolo

# Misurazioni indirette

Il misurando non è messo a confronto con una grandezza di riferimento della stessa specie (campione), ma

il valore del misurando è ottenuto

elaborando i risultati di una o più misurazioni dirette

effettuate su grandezze ad esso collegate

# Misurazioni indirette

## ■ Esempi:

- Velocità di un oggetto: misurazioni dirette di lunghezza e tempo (Velocità:  $v = s / t$ )
- Densità di una sostanza: misurazioni dirette di massa e di volume (Densità:  $\rho = m / V$ )
- Volume di un solido sferico: misurazione diretta di lunghezza (diametro)  
(Volume:  $V = \pi \cdot d^3 / 6$ )
- Resistenza di un resistore: misurazioni dirette di tensione e corrente (Resistenza:  $R = V / I$ )

# Misurazioni indirette

- La maggior parte delle misure è ottenuta in questo modo
- Motivazione della scelta: quasi sempre per ragioni di comodità (costo,...)
  - Con riferimento agli esempi:
    - la densità potrebbe essere ottenuta anche con un densimetro
    - la resistenza potrebbe essere ottenuta per confronto con resistore campione

# Misurazioni indirette

La misurazione indiretta presuppone l'esistenza di un **modello analitico**

$$R \rightsquigarrow y = f(x_1, x_2, \dots x_i \dots x_m)$$

$$f = \frac{\cdot}{\cdot} \\ x_1 = V \quad x_2 = I$$

che lega le m misure  $x_i$  delle grandezze  $q_1, \dots q_m$  alla misura  $y$  della grandezza  $q_0$

La presenza del modello implica una incertezza aggiuntiva "di modello":  $f(\dots)$  non descrive esaurientemente le relazioni nel mondo empirico

$\hookrightarrow f$  è una semplificazione;  $V \neq RI$   
 $\hookrightarrow R$  ha ambiguità