



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



Dipartimento di  
Ingegneria  
e Architettura

## Corso di misure meccaniche, termiche e collaudi

*Prof. Rodolfo Taccani*

*Prof. Lucia Parussini*

*Prof. Marco Bogar*

**a.a.2022-2023**

# Outline

- **Definizioni e concetti fondamentali**
- **Metodi di misurazione, strumenti di misura, sistemi di misura**
- **Metrologia**
- **Organismi di normazione e quadro normativo**

# Definizioni e concetti fondamentali

## COSA E' UNA MISURA

Per **misura** di una grandezza fisica si intende il prodotto di due fattori, di cui uno è una grandezza della stessa specie, scelta come *unità di misura*, e l'altra è un numero puro, che esprime quante volte questa unità è contenuta nella *grandezza* da misurare.

**Misurazione** processo volto a ottenere sperimentalmente uno o più *valori* che possono essere ragionevolmente attribuiti a una *grandezza*.

**Metrologia** scienza della *misurazione* e delle sue applicazioni.

# Definizioni e concetti fondamentali

## *Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM) - Concetti fondamentali e generali e termini correlati*

è una raccolta coerente di concetti, ognuno descritto da un unico termine assegnato a quel concetto in maniera rigorosa

- messo a punto da JCGM – *Joint Committee for Guides in Metrology*
- pubblicato sia come ISO/IEC Guide 99 che come JCGM 200:2008
- disponibile gratuitamente dal sito web dell'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure (BIPM - *Bureau International des Poids et Mesures*)

Esempio: in metrologia



la grandezza del campione è 5 g



la massa del campione è 5 g

# Definizioni e concetti fondamentali

**Grandezza** proprietà di un fenomeno, corpo, o sostanza, che può essere espressa quantitativamente mediante un numero e un riferimento.

ESEMPI: Peso di un corpo, Portata volumetrica d'acqua, Pressione atmosferica

**Proprietà classificatoria** proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza, alla quale non è possibile associare un'espressione quantitativa. Una proprietà classificatoria possiede un valore che può essere espresso con parole, codici alfanumerici o altri mezzi.

ESEMPI: Sesso di un essere umano, Colore di un campione prelevato di vernice, Codice ISO a due lettere indicativo di una nazione, Successione degli aminoacidi in un polipeptide

# Definizioni e concetti fondamentali

## Grandezze della stessa specie o omogenee

La classificazione di grandezze della stessa specie è alquanto arbitraria, ma il concetto che solamente oggetti simili siano confrontabili è chiaro. Grandezze della stessa specie avranno la stessa unità, ma due valori aventi la stessa unità non sono necessariamente della stessa specie. L'unità della massa volumica (densità) e della concentrazione in massa è  $kg\ m^{-3}$ , ma esse **non sono grandezze della stessa specie** (sono grandezze **dimensionalmente omogenee**).

**Valore di una grandezza** numero e riferimento che congiuntamente costituiscono l'espressione quantitativa di una grandezza.

- **Valore nominale**
- **Valore effettivo**
- **Valore misurato**

# Definizioni e concetti fondamentali

**Misurazione** processo volto a ottenere sperimentalmente uno o più valori che possono essere ragionevolmente attribuiti a una grandezza, attraverso il confronto tra due grandezze omogenee di cui solitamente una è presa come riferimento o campione di misura.

## *Che cos'è una "misurazione" e cosa non lo è?*

Tutte le fasi di trattamenti chimici e/o fisici subiti dal campione di prova sottoposto ad analisi, al fine di convertirlo in una forma idonea per essere presentata ad uno strumento di misura, sono considerate parte integrante del processo di misurazione.

L'ispezione visiva di un campione per annotarne ad esempio il colore non è una misurazione, ma un esame poiché il concetto di misurazione non è applicabile alle proprietà classificatorie.

L'uso di uno spettrofotometro per registrare proprietà legate al colore di un campione (ad esempio l'assorbanza ad una particolare lunghezza d'onda) è una misurazione.

# Definizioni e concetti fondamentali

Prima di eseguire una **misurazione**, la **grandezza** deve essere definita in modo chiaro, tenendo conto dello scopo per il quale è richiesto il risultato sperimentale. Questa **grandezza** specifica è il **misurando**.

Inoltre, affinché i **risultati di misura** siano idonei allo scopo, è necessario che sia disponibile una **procedura di misura** validata e che questa sia applicata utilizzando un **sistema di misura** tarato. In questo contesto, “idoneo allo scopo” significa che la **procedura di misura** effettivamente misura ciò che si intende misurare e che l'**incertezza dei risultati di misura** è accettabile.

**Misurando** grandezza che si intende misurare

**Procedura di misura** descrizione dettagliata di una misurazione eseguita in conformità a uno o più principi di misura e a un determinato metodo di misura, fondata su un modello di misura e comprendente tutti i calcoli necessari per ottenere un risultato di misura

# Definizioni e concetti fondamentali

**Risultato di misura** insieme di valori attribuiti a un misurando congiuntamente a ogni altra informazione pertinente disponibile

**Valore misurato di una grandezza** valore di una grandezza che rappresenta un risultato di misura

**Valore di riferimento di una grandezza** valore di una grandezza usato come base per il confronto con i valori di grandezze della stessa specie (il valore di riferimento più comune è quello che si ottiene con una taratura )

Valore che serve da riferimento, convenuto per un confronto, e che risulta:

- a) da un valore teorico o stabilito, fondato su principi scientifici;
- b) da un valore assegnato o certificato, fondato sui lavori sperimentali di un'organizzazione nazionale o internazionale;
- c) da un valore di consenso o certificato, fondato su un lavoro sperimentale in collaborazione e posto sotto gli auspici di un gruppo scientifico o tecnico.

# Definizioni e concetti fondamentali

**Errore di misura** valore misurato di una grandezza meno un valore di riferimento di una grandezza (valore convenzionalmente accettato come vero).

Il concetto di errore di misura può essere impiegato:

- quando esiste un singolo **valore di riferimento** a cui riferirsi, il che avviene quando si effettua una taratura impiegando un campione di misura con un valore misurato avente un'incertezza di misura trascurabile, oppure quando è dato un **valore convenzionale**: in questo caso l'errore di misura è noto;
- qualora si supponga che il misurando possa essere rappresentato mediante un singolo **valore vero** o un intervallo di valori veri aventi un'ampiezza trascurabile; in questo caso l'errore di misura non è noto.

# Definizioni e concetti fondamentali

L'errore di misura consiste in due componenti: sistematico e casuale, che rappresentano rispettivamente, la variazione costante o prevedibile e la variazione non prevedibile in una serie di misure ripetute.

## *TIPIDI ERRORI*

**Errori sistematici** : Sono dovuti a strumenti di misura difettosi o a metodi non razionali.

**Errori accidentali o casuali**: Sono determinati da una somma di tante cause che provocano ciascuna un errore elementare.

**TEORIA DEGLI ERRORI**: La teoria degli errori è una vera e propria scienza che ha l'obbiettivo di ottenere delle misurazioni sempre più vicine a quelle effettive.

# Definizioni e concetti fondamentali

**ERRORI DOVUTI ALLO STRUMENTO** *Dipendono da difetti di costruzione o dal logoramento, si manifestano ogni volta che si impiega quel dato strumento*

- Errori di divisione: distanza fra le divisioni delle scale graduate;
- Errori dovuti alla scarsa fedeltà: discordanza dei valori ottenuti eseguendo più volte la stessa misura con lo stesso strumento;
- Errori dovuti all'usura: logorio delle superfici di misura o di parti fondamentali dello strumento;
- Errori dovuti a scarsa rigidità: deformazioni dovute alla pressione di contatto tra lo strumento e il pezzo che influenzano il valore della lettura

**ERRORI DOVUTI ALL'OPERATORE** *Dipendono dall'abilità che l'operatore impiega nell'eseguire l'operazione, tendono a diminuire con l'acquisto di esperienza e sensibilità*

- Errori dipendenti dalla mancata taratura o azzeramento dello strumento;
- Errori dovuti alla scelta dello strumento di misura;
- Errori di posizionamento e di manovra;
- Errori di parallasse

**ERRORI DOVUTI ALL'AMBIENTE** *Dipendono dalla variazione delle condizioni ambientali, si possono ridurre controllando e mantenendo costanti le condizioni dell'ambiente*

- Errori dovuti alla temperatura;
- Errori dovuti all'umidità;
- Errori dovuti all'illuminazione;
- Errori dovuti alla scarsa pulizia dello strumento e del pezzo;
- Errori dovuti alle vibrazioni

# Definizioni e concetti fondamentali

**Incertezza di misura** parametro non-negativo che caratterizza la dispersione dei valori che sono attribuiti a un misurando, sulla base delle informazioni utilizzate

**GUM** *Guide to the Expression of Uncertainty in measurement*

La **GUM** è stata pubblicata nel 1995. Le organizzazioni coinvolte nello sviluppo della guida sono:



**BIPM:** Bureau international des Poids et Mesures



**IEC:** International Electrotechnical Commission



**IFCC:** International Federation of Clinical Chemistry



**ISO:** International Organization for Standardization



**IUPAC:** International Union of Pure and Applied Chemistry



**IUPAP:** International Union of Pure and Applied Physics



**OIML:** International Organization of Legal Metrology



**ILAC:** International Laboratory Accreditation Cooperation

*GUM e VIM sono le principali guide in metrologia.*

# Definizioni e concetti fondamentali: grandezze estensive ed intensive

Una grandezza si dice **estensiva** se dipende dalle dimensioni del sistema. Se, ad esempio, il sistema in esame è costituito dall'acqua in un contenitore, rimuovere acqua varia il volume (estensivo) ma non la temperatura (intensiva).

Una grandezza si dice **intensiva** quando non dipende dalla quantità di materia o dalle dimensioni del campione ma soltanto dalla natura e dalle condizioni nelle quali si trova.

Estensive: vale la somma; confronto eseguito in termini di rapporti.

ESEMPIO: lunghezze, correnti elettriche, portate

Intensive: esprimono un ordine, non vale la somma ed i rapporti valgono solo in termini di differenze rispetto ad un valore di riferimento; definiscono un modo di essere della materia. Solitamente ci si appoggia ad una misura indiretta

ESEMPIO: pressioni, potenziale elettrico, temperatura

# Definizioni e concetti fondamentali: grandezze fondamentali e derivate

**grandezze fondamentali** (dimensionalmente indipendenti)

- lunghezza
- massa
- tempo
- intensità di corrente elettrica
- temperatura termodinamica
- quantità di materia
- intensità luminosa

**grandezze derivate**

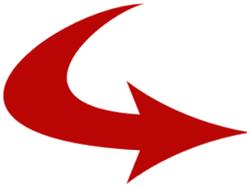
tutte le altre grandezze che dipendono da quelle fondamentali, da cui possono essere ricavate mediante l'uso di espressioni algebriche

$$D = k \prod_i F_i^{\alpha_i}$$

ESEMPIO:

$$p = m \cdot a \cdot l^{-2} = m \cdot l^{-1} \cdot t^{-2}$$

# Definizioni e concetti fondamentali: relazione dimensionale


$$D = k \prod_i F_i^{\alpha_i}$$
$$[D] = \prod_i [F_i]^{\alpha_i}$$

ESEMPIO:

$$F = ma$$

$$[F] = [M] \cdot [L] \cdot [T]^{-2}$$

# Definizioni e concetti fondamentali: relazione dimensionale


$$D = k \prod_i F_i^{\alpha_i}$$
$$[D] = \prod_i [F_i]^{\alpha_i}$$

ESEMPIO:

Consideriamo il periodo di oscillazione  $\tau$  di un pendolo semplice nel caso di piccole oscillazioni. Supponiamo che dipenda dalla lunghezza del pendolo  $l$ , dalla massa applicata  $m$  e dall'accelerazione di gravità  $g$ :

$$\tau = k \cdot l^\alpha \cdot m^\beta \cdot g^\gamma = k \cdot l^\alpha \cdot m^\beta \cdot l^\gamma \cdot t^{-2\gamma} = k \cdot l^{\alpha+\gamma} \cdot m^\beta \cdot t^{-2\gamma}$$

dove con  $k$  indichiamo, in questo caso particolare, una costante numerica adimensionale mentre denotiamo con  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  gli esponenti incogniti, da determinare.

Relazione dimensionale:  $[\tau] = [L]^{\alpha+\gamma} \cdot [M]^\beta \cdot [T]^{-2\gamma}$

$$\begin{cases} \alpha + \gamma = 0 \\ \beta = 0 \\ -2\gamma = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} \alpha = 1/2 \\ \beta = 0 \\ \gamma = -1/2 \end{cases}$$



$$\tau = k \sqrt{\frac{l}{g}}$$

# Definizioni e concetti fondamentali: unità di misura

**Sistema di grandezze** insieme di **grandezze** associato a un insieme di equazioni non contraddittorie tra le **grandezze** medesime

Le unità di misura servono a determinare il valore delle grandezze fisiche. Un sistema unitario è un insieme di regole che stabilisce in modo incontrovertibile le unità di misura impiegate nelle scienze naturali e nella tecnica.

Il sistema utilizzato attualmente a livello mondiale è il **Sistema Internazionale delle Unità**, in francese *Système International d'unités* (SI). È stato introdotto dall'undicesima Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM) nel 1960. Susseguentemente il SI ha sostituito diversi sistemi unitari che trovavano impiego soprattutto nelle scienze naturali, rendendo così superflue le complicate conversioni tra le varie unità.

# Definizioni e concetti fondamentali

Il Sistema Internazionale (SI): le unità fondamentali e supplementari.

GRANDEZZA	Dimensioni fisiche	Unità SI	Simbolo
lunghezza	[L]	metro	<i>m</i>
massa	[M]	chilogrammo	<i>kg</i>
tempo	[T]	secondo	<i>s</i>
intensità di corrente elettrica	[I]	ampere	<i>A</i>
temperatura termodinamica	[TT]	grado kelvin	<i>K</i>
quantità di materia	[QM]	mole	<i>mol</i>
intensità luminosa	[IL]	candela	<i>cd</i>
angolo piano	[AP]	radiante	<i>rad</i>
angolo solido	[AS]	steradiano	<i>sr</i>

# Definizioni e concetti fondamentali

Definizioni delle unità fondamentali e di quelle supplementari:

- Il **metro** corrisponde a 1 650 763.73 lunghezze d'onda della radiazione relativa alla transizione di un atomo di kripton nel vuoto tra i livelli  $2p_{10}$ . e  $5d_5$ .
- Il **chilogrammo** è la massa del prototipo internazionale conservato a Sevres (Francia) presso il Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), un cilindro di altezza uguale al diametro realizzato in lega platino-iridio (90%-10%).
- Il **secondo** è l'intervallo di tempo corrispondente a 9 192 631 770 periodi della radiazione relativa alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.
- L'**ampere** è l'intensità di corrente elettrica che, rimanendo costante in due conduttori paralleli di lunghezza infinita e sezione circolare infinitesimale posti nel vuoto alla distanza di un metro l'uno dall'altro, produrrebbe una forza pari a  $2 \cdot 10^{-7}$  N per ogni metro di lunghezza.
- Il **grado Kelvin** è pari alla frazione  $1/273.16$  della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.
- La **candela** è l'intensità luminosa di una sorgente che emette, in una data direzione, una radiazione monocromatica di frequenza pari a  $540 \cdot 10^{12}$  hertz. (L'intensità energetica in quella stessa direzione è pari a  $1/683$  watt allo steradiante).
- La **mole** è la quantità di materia di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi di 0.012 kg di carbonio 12 (non legati, a riposo e nello stato fondamentale). E' necessario specificare la natura delle entità elementari, che possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, ecc., cioè gruppi specificati di tali particelle.
- Il **radiante** è l'angolo piano al centro che intercetta su una circonferenza un arco di lunghezza pari a quella del raggio.
- Lo **steradiante** è l'angolo solido al centro che intercetta su una sfera una calotta di area uguale a quella del quadrato il cui lato ha la lunghezza del raggio.

# Definizioni e concetti fondamentali

Il Sistema Internazionale (SI): le unità derivate.

GRANDEZZA	Dimensioni fisiche	Unità SI	Nome	Simbolo
forza	$[L][M][T]^{-2}$	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	newton	<i>N</i>
pressione	$[L]^{-1}[M][T]^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	pascal	<i>Pa</i>
frequenza	$[T]^{-1}$	$s^{-1}$	hertz	<i>Hz</i>
energia, lavoro	$[L]^2[M][T]^{-2}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	joule	<i>J</i>
potenza, flusso energetico	$[L]^2[M][T]^{-3}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	watt	<i>W</i>
carica elettrica	$[T][I]$	$s \cdot A$	coulomb	<i>C</i>
potenziale elettrico	$[L]^2[M][T]^{-3}[I]^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	volt	<i>V</i>
capacità elettrica	$[L]^{-2}[M]^{-1}[T]^4[I]^2$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	farad	<i>F</i>
resistenza elettrica	$[L]^2[M][T]^{-3}[I]^{-2}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	ohm	$\Omega$
conduttanza elettrica	$[L]^{-2}[M]^{-1}[T]^3[I]^2$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	siemens	<i>S</i>
induzione magnetica	$[M][T]^{-2}[I]^{-1}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	tesla	<i>T</i>
flusso d'induzione magnetica	$[L]^2[M][T]^{-2}[I]^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	weber	<i>Wb</i>
induttanza	$[L]^2[M][T]^{-2}[I]^{-2}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	henry	<i>H</i>
flusso luminoso	$[IL][AS]$	$cd \cdot sr$	lumen	<i>lm</i>
illuminamento	$[L]^{-2}[IL][AS]$	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$	lux	<i>lx</i>
attività di una sorgente radioattiva	$[T]^{-1}$	$s^{-1}$	becquerel	<i>Bq</i>
dose assorbita	$[L]^2[T]^{-2}$	$m^2 \cdot s^{-2}$	gray	<i>Gy</i>
equivalente di dose	$[L]^2[T]^{-2}$	$m^2 \cdot s^{-2}$	sievert	<i>Sv</i>

# Definizioni e concetti fondamentali

## Riportiamo qui le regole di scrittura più importanti:

- Le denominazioni delle unità di misura vanno sempre scritte in carattere minuscolo, prive di accenti o altri segni grafici. Esempio: ampere **non** Ampère
- Le denominazioni delle unità hanno solo singolare. Esempio: 3 ampere **non** 3 amperes
- I simboli delle unità di misura vanno scritti con l'iniziale minuscola, tranne quelli derivanti da nomi propri. Esempio: m , **non** mt. o M , per metro; K per il kelvin
- I simboli, in quanto simboli e non abbreviazioni, non devono essere seguiti dal punto (salvo che si trovino a fine periodo). Esempio: t , **non** ton. o T.
- Dovendo indicare un quantitativo è opportuno scrivere prima il valore numerico e poi il simbolo dell'unità di misura separati da uno spazio. Esempio: 1 kg , **non** kg 1 o 1kg
- Il prodotto di due o più unità va indicato con un punto a metà altezza o con un piccolo spazio tra i simboli. Esempio: N·m oppure N m
- Il quoziente tra due unità va indicato o con una barra obliqua tra i simboli o con il primo simbolo seguito dal secondo con esponente <sup>-1</sup>. Esempio: J/s oppure J s<sup>-1</sup>
- Il prodotto di una unità per se stessa n-volte va indicato con una potenza dell'unità e non con abbreviazioni. Esempio: m<sup>2</sup> , **non** mq o Mq per la superficie, m<sup>3</sup> , **non** mc o Mc per il volume

# Definizioni e concetti fondamentali

È un errore comune confondere le **grandezze** con le loro **unità di misura**.

Si deve ricordare che, mentre una **grandezza** è una proprietà misurabile di un fenomeno, corpo o sostanza (ad esempio la massa), un'**unità di misura** (ad esempio il kilogrammo) è scelto per convenzione come il riferimento al quale si riferiscono le **misurazioni** di quella proprietà.

# Definizioni e concetti fondamentali

## Notazione scientifica e ordine di grandezza

notazione esponenziale:

$$g = m \cdot 10^n = m \text{ en}$$

dove  $1 < m < 10$  e  $n$  è un intero

ordine di grandezza di  $g$  è

$$10^n \quad \text{se } m \leq 3.16227 = 10^{0.5}$$

$$10^{n+1} \quad \text{se } m > 3.16227 = 10^{0.5}$$

Scriviamo  $m$  come  $10^x$ . L'ordine di grandezza è 10 alla  $n$  o alla  $n + 1$ , a seconda che l'esponente  $x = \log m$  sia minore di 0.5 o maggiore di 0.5.

# Definizioni e concetti fondamentali

## Multipli e sottomultipli

Sottomultipli			Multipli		
<i>Prefisso</i>	<i>Valore</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Prefisso</i>	<i>Valore</i>	<i>Simbolo</i>
deci	$10^{-1}$	<i>d</i>	deca	$10^1$	<i>da</i>
centi	$10^{-2}$	<i>c</i>	etto	$10^2$	<i>h</i>
milli	$10^{-3}$	<i>m</i>	kilo	$10^3$	<i>k</i>
micro	$10^{-6}$	$\mu$	mega	$10^6$	<i>M</i>
nano	$10^{-9}$	<i>n</i>	giga	$10^9$	<i>G</i>
pico	$10^{-12}$	<i>p</i>	tera	$10^{12}$	<i>T</i>
femto	$10^{-15}$	<i>f</i>	peta	$10^{15}$	<i>P</i>
atto	$10^{-18}$	<i>a</i>	exa	$10^{18}$	<i>E</i>
zepto	$10^{-21}$	<i>z</i>	zeta	$10^{21}$	<i>Z</i>
yecto	$10^{-24}$	<i>y</i>	yotta	$10^{24}$	<i>Y</i>

# Definizioni e concetti fondamentali: modello di misura

Bisogna misurare ciò che serve: per questo motivo associato ad ogni misura deve esistere un **MODELLO** della realtà che si vuole misurare (sempre con misura indiretta).

- Per misurare è necessario elaborare un modello mentale del fenomeno o dell'oggetto.
- Il modello è frutto di schematizzazioni.
- La scelta del modello influenza il tipo di strumento da usare e la procedura di esecuzione delle misure.
- Il tipo di modello dipende dallo scopo per cui le misure sono fatte.

## Definizione di modello

Insieme organico di relazioni tra valori di parametri, descrivente le interazioni e/o la evoluzione dei sistemi.

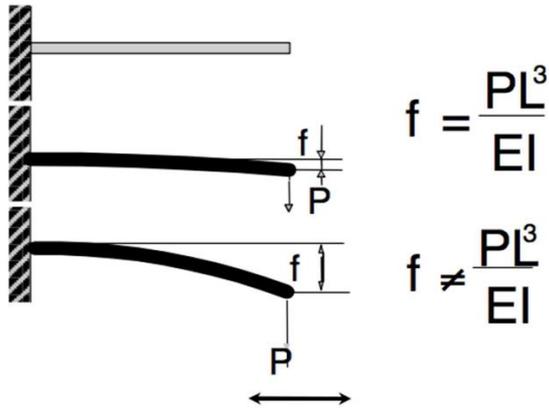
Non esistono modelli migliori o peggiori ma solo modelli più o meno efficaci nel rappresentare le caratteristiche dell'applicazione per cui le misure vengono fatte.

# Definizioni e concetti fondamentali: modello di misura

ESEMPIO: Per un blocco di acciaio

- Modello meccanico:  $F = ma$  se voglio conoscere  $m$  devo misurare  $F$  ed  $a$  (misura indiretta).
- Modello geometrico: parallelepipedo (ma lo è davvero)?
- Modello chimico: composizione, Fe, C, altri materiali
- Modello strutturale: deformazione sotto carico

ESEMPIO: Elasticità nel caso di piccoli spostamenti e grandi spostamenti



# Definizioni e concetti fondamentali: modello di misura

## Grandezze principali e secondarie o di disturbo

- Una grandezza è l'oggetto della misura, (ad esempio la lunghezza di una barra), ma altre grandezze influenzano la misura (grandezze di disturbo).
- Alcune sono identificabili: la temperatura, l'umidità, lo stato di sollecitazione, altre sono non identificabili, in quanto non tutti i fenomeni sono noti.
- La suddivisione tra grandezze principali e secondarie dipende dal tipo di modello scelto.
- In alcuni casi lo scopo delle misure è proprio l'identificazione dell'effetto di grandezze di disturbo.
- Rimane sempre e comunque una approssimazione legata al modello che si adotta e che resterà intrinseca della misura.

# Strumenti di misura

Possono essere classificati in:

- strumenti misuratori
- strumenti riportatori
- strumenti di controllo fissi, calibri
- strumenti comparatori-misuratori

# Strumenti di misura

**STRUMENTI MISURATORI:** tramite indicatori è possibile leggere il valore della grandezza misurata.

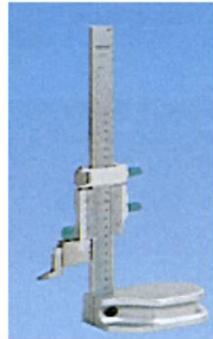
Ad esempio:

- riga metrica
- calibro a corsoio
- micrometro per esterni
- goniometro



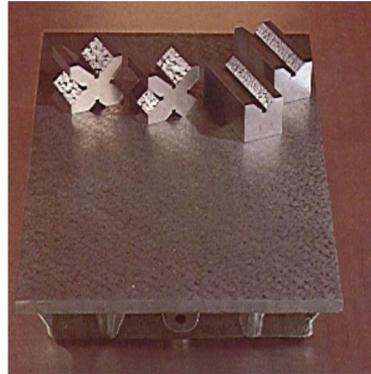
# Strumenti di misura

**STRUMENTI RIPORTATORI:** Servono a riportare il valore di una grandezza dal pezzo ad uno strumento di misura; sono usati quando non è possibile una misura diretta del pezzo.



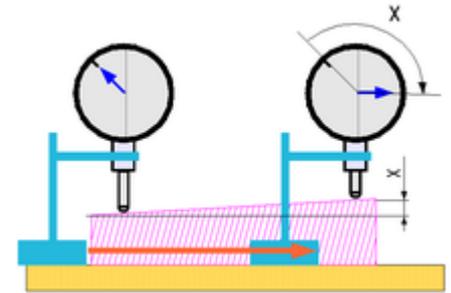
# Strumenti di misura

**STRUMENTI DI CONTROLLO FISSI, CALIBRI:** Sono strumenti campione coi quali vengono controllati per confronto i pezzi; verificano se forma e dimensioni del pezzo rientrano nelle tolleranze stabilite dal disegno.



# Strumenti di misura

**STRUMENTI COMPARATORI MISURATORI:**  
Servono ad eseguire controlli per confronto con pezzi campione e per verificare se forma e dimensioni di un pezzo rientrano nelle tolleranze stabilite dal disegno. Questi strumenti precisano il valore della differenza tra una quota campione e la quota in esame.



# Metodi di misurazione

La misura può essere di due tipi: diretta o indiretta.

La **misura è diretta** quando l'operatore riesce direttamente a leggere la misura sullo strumento nella corrispondente unità.



La **misura è indiretta** quando viene seguita con uno strumento che non consente la lettura immediata della misura se non attraverso operazioni successive di confronto.



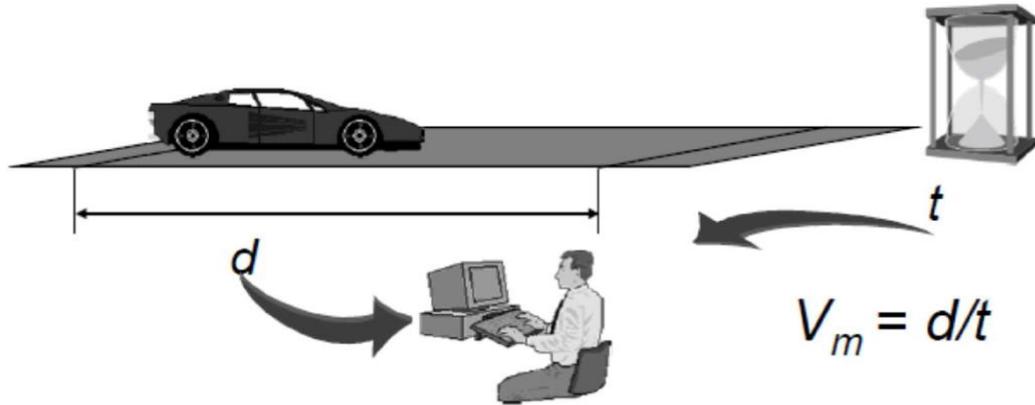
# Metodi di misurazione

MISURA INDIRETTA: Il misurando non viene messo a confronto con campione omogeneo, ma ottenuto elaborando risultati di una o più misurazioni dirette su grandezze collegate a quella di interesse.

Ingressi  $x_1, x_2, x_3, \dots$

Uscita  $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$

ESEMPIO: Trasduttori con uscita elettrica



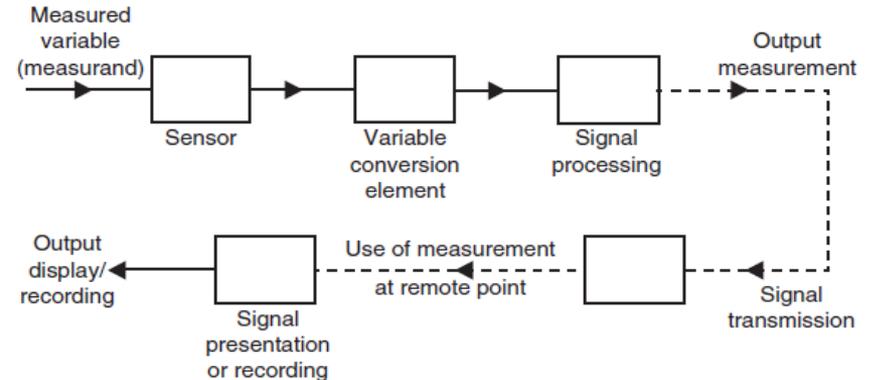
# Sistema di misura

Un sistema di misura esiste per fornire informazioni sul valore fisico di qualche variabile misurata. In casi semplici, il sistema può consistere in una sola unità che dà una lettura o un segnale in uscita secondo la grandezza della variabile sconosciuta applicata ad essa. Tuttavia, in situazioni di misurazione più complesse, un sistema di misurazione consiste di diversi elementi separati.

*sensore primario:* dà un'uscita che è una funzione del misurando (l'ingresso applicato ad esso).

Alcuni esempi di sensori primari: il termometro a liquido, una termocoppia e un estensimetro.

*sensori secondari:* necessari se le caratteristiche del sensore primario sono influenzate dalle condizioni ambientali in cui opera il sensore primario, misurano le condizioni ambientali e permettono di apportare la correzione appropriata alle le misure fornite dal sensore primario.



# Metodi di misurazione

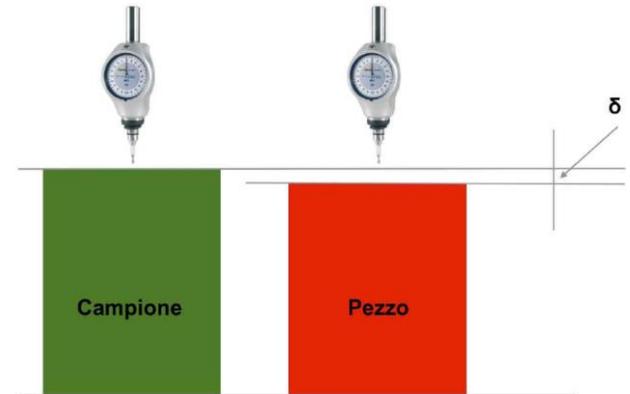
per DEVIAZIONE: spostamento di un indice

per AZZERAMENTO: confronto con un campione materiale

*Opposizione*



*Sostituzione*



# Strumenti di misura

La scelta degli strumenti è un compromesso tra le caratteristiche prestazionali, la robustezza e la durata, le esigenze di manutenzione e il costo di acquisto.

Il costo è fortemente correlato alle prestazioni di uno strumento. Aumentare la precisione o la risoluzione di uno strumento, per esempio, può essere fatto solo a scapito dell'aumento del suo costo di produzione. La scelta dello strumento quindi procede specificando le caratteristiche minime richieste dalle condizioni di misura e poi cercando nei cataloghi dei produttori uno strumento le cui caratteristiche corrispondano a quelle richieste. Selezionare uno strumento con caratteristiche superiori a quelle richieste significherebbe solo pagare più del necessario per un livello di prestazioni superiore a quello necessario.

# Metrologia

**La metrologia** è la scienza che ha per oggetto lo studio dei principi, dei metodi e dei mezzi necessari per effettuare la misurazione delle grandezze fisiche (lunghezza, massa, energia, potenza, ecc..). Essa pertanto si occupa solo di **grandezze fisiche**; tanto è vero che, per aver diritto a essere definite tali, le proprietà di un oggetto o fenomeno debbono essere misurabili, cioè deve essere possibile definirne unità di misura e **metodi di misurazione**.

## OBIETTIVI DELLA METROLOGIA

- Studio dei sistemi di misura.
- Valutazioni degli errori compiuti nelle misurazioni.
- Scelta e studio degli strumenti.

# Metrologia

## TIPOLOGIE DI METROLOGIA

1. **Metrologia della massa** : Si preoccupa solo della massa di una sostanza osservandone le possibilità di misura.
2. **Metrologia della densità e della viscosità**: Si occupa dei cambiamenti di densità di un corpo, in base anche al calore che influisce molto su di essa, un settore specifico studia la viscosità, cioè la densità dei magmi conducendo ricerche vicino ai vulcani 3.
3. **Metrologia del flusso e del volume**: Si occupa delle misure dei vari volumi, specialmente quelli dei gas, il quale volume è facilmente modificabile
4. **Metrologia chimico-fisica delle superfici**: Si occupa delle superfici  $m^2$ ,  $m^3$
5. **Metrologia della lunghezza**: si occupa della lunghezza e come si modifica.
6. **Metrologia di precisione e nanometrologia** : Si occupa di qualsiasi misurazione che debba essere effettuata su superfici molto piccole.
7. **Metrologia della temperatura**: Si occupa della temperatura e della sua dispersione.
8. **Metrologia della forza** : Calcola le forze che sono in gioco durante qualsiasi operazione fisica e cerca di tenerne conto per ridurre l' errore delle altre categorie.
9. **Metrologia nel vuoto**: Studia il comportamento dei corpi nel vuoto, infatti tutti i corpi nel vuoto hanno un comportamento diverso.

Le altre categorie sono poco sviluppate e meno importanti e svolgono funzioni complementative.

# Metrologia

- **metrologia legale**
- **metrologia industriale, o tecnica o applicata**
- **metrologia scientifica, o fisica o primaria**

La *metrologia legale* tratta i problemi metrologici riguardanti gli strumenti di misura usati nelle transazioni commerciali, in maniera da garantire il consumatore sulla qualità degli strumenti e quindi sui valori delle misure.

La *metrologia tecnica, o applicata*, tratta i problemi metrologici finalizzati alla disseminazione dei campioni delle unità di misura; questi vanno dai campioni secondari a quelli di riferimento, fino ai campioni di lavoro usati per il controllo della qualità della produzione. Provvede inoltre allo studio e alla messa a punto dei metodi di misura.

La *metrologia fisica, o scientifica o primaria*, contribuisce allo sviluppo delle definizioni delle unità di misura, alla realizzazione e al mantenimento dei campioni delle unità e alla determinazione delle costanti fondamentali della fisica e delle discipline applicate da essa dipendenti per le nozioni di base.

# Metrologia

Nel settore dell'industria il processo di razionalizzazione della produzione interessa

- il controllo di qualità,
- l'assicurazione della qualità
- la responsabilità legale del prodotto.

Le necessità dell'industria riguardano pertanto la

*taratura degli strumenti e il controllo di qualità.*

**laboratori di taratura** rilasciano certificati che attestano le caratteristiche tecniche degli strumenti

**laboratori di prova** rilasciano certificati che attestano le caratteristiche tecniche del prodotto

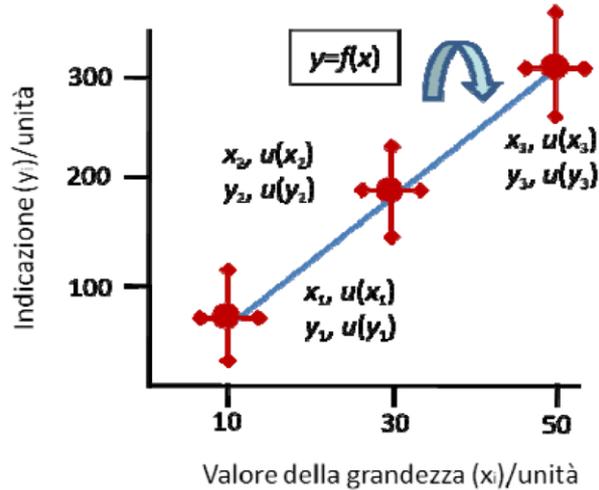
A una produzione qualificata si può giungere impiegando sistemi basati sulla certificazione del prodotto e la certificazione dei metodi di produzione attraverso i sistemi di assicurazione della qualità.

## Taratura

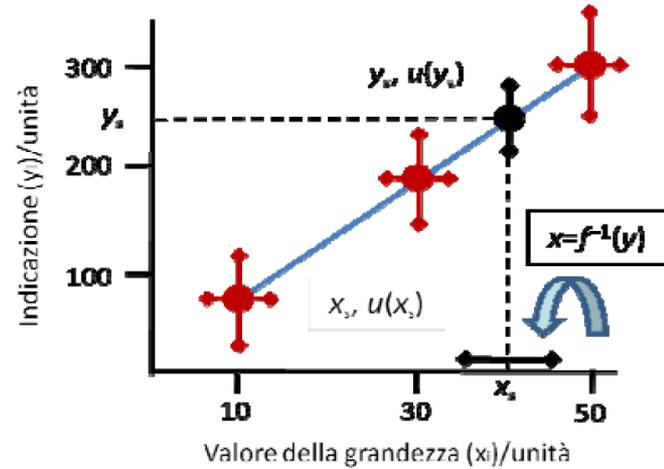
operazione eseguita in condizioni specificate, che in una prima fase stabilisce una relazione tra i valori di una grandezza, con le rispettive incertezze di misura, forniti da campioni di misura e le corrispondenti indicazioni, comprensive delle incertezze di misura associate, e in una seconda fase usa queste informazioni per stabilire una relazione che consente di ottenere un risultato di misura a partire da un'indicazione

# Metrologia

## Taratura



Schema della prima parte della definizione di taratura. Le indicazioni  $y_i$  derivanti dai campioni di misura (calibratori) con valori della grandezza  $x_i$  danno la relazione (la funzione)  $y = f(x)$ . Le frecce orizzontali e verticali indicano rispettivamente le incertezze tipo delle indicazioni e dei valori della grandezza (queste non sono in scala).



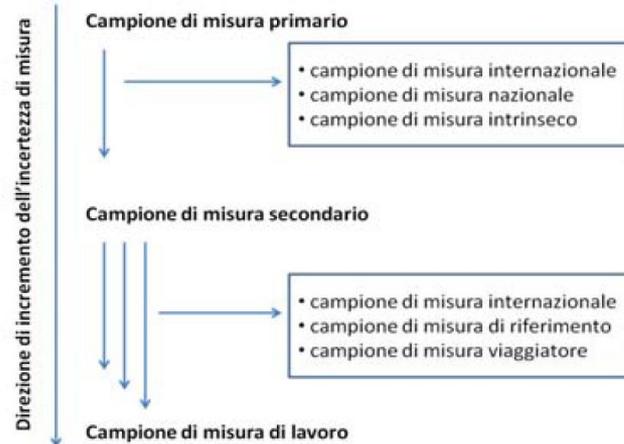
Schema del diagramma di taratura che illustra la seconda parte della definizione di taratura. Le indicazioni  $y_s$  derivanti da un campione di prova corrispondono ad un valore della grandezza  $x$ . Le frecce orizzontali e verticali indicano rispettivamente l'incertezza tipo delle indicazioni e dei valori della grandezza.

# Metrologia

## Taratura

**Campione di misura** realizzazione della definizione di una grandezza, con un valore stabilito e con un'incertezza di misura associata, impiegata come riferimento

### *gerarchia dei campioni di misura*



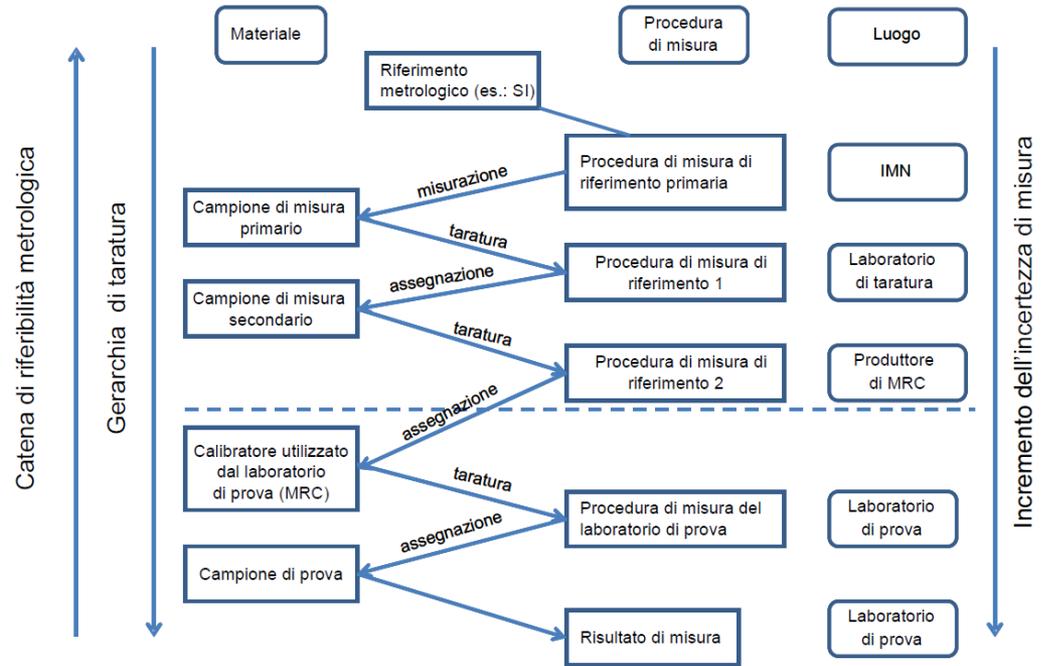
**Calibratore** campione di misura impiegato per la taratura

# Metrologia

## Taratura

### Riferibilità metrologica

Esempio di una generica catena di riferibilità. La catena di riferibilità mette in relazione il risultato di misura di un campione di prova di routine con un punto di riferimento (in questo caso il sistema SI) attraverso una sequenza di tarature (le frecce). Le incertezze, presenti in tutte le procedure e calibratori, vengono propagate fino al risultato finale. Le frecce a sinistra indicano la direzione della catena di riferibilità (direzione verso l'alto) e la direzione della gerarchia di taratura (direzione verso il basso). La freccia a destra indica che l'incertezza di misura aumenta partendo dal riferimento metrologico fino al risultato di misura.

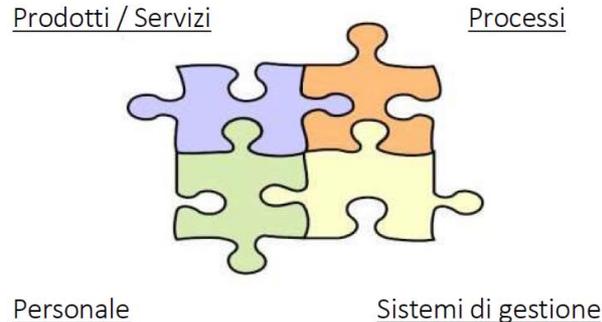


# Metrologia

Da dove nasce la metrologia? Dalla necessità di operare secondo le regole della qualità

## Concetto di qualità

Campo di applicazione:



Il concetto di qualità si applica anche all'impiego degli strumenti: è la base della metrologia

## Definizione di qualità

“Grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche soddisfa i requisiti” (ISO 9000:2005)  
requisito: esigenza o aspettativa che può essere espressa, generalmente implicita o cogente

“Insieme delle caratteristiche di un prodotto o servizio che si riferiscono alla sua capacità di soddisfare bisogni espliciti ed impliciti (Oxford Dictionary of Business)”.

La filosofia delle norme ISO 9001:

- Scrivi quello che fai
- Fai quello che hai scritto
- Dimostra quello che hai fatto
- Pensa a come migliorarlo

*Alla base della qualità c'è il concetto di **certificazione**.*

I **laboratori di prova e di taratura accreditati** sono in grado di offrire al mercato garanzie sull'affidabilità dei risultati dei servizi di valutazione della conformità forniti - prove, misure e tarature - proprio in virtù dell'accreditamento.

La norma internazionale **ISO/IEC 17025** definisce i requisiti che un laboratorio deve soddisfare per dimostrare la competenza tecnica del suo personale e la disponibilità di tutte le risorse tecniche, tali da garantire dati e risultati che siano accurati e affidabili per specifiche prove, misurazioni e tarature.

Differenza tra  
**accreditamento ISO/IEC 17025**  
e  
**certificazione ISO 9001**  
per i laboratori di prova e taratura

# Metrologia

ACCREDITAMENTO = Attestazione e riconoscimento della competenza tecnica

Procedura in base alla quale l'organismo autorevole riconosce formalmente che un altro organismo o una persona ha la competenza di eseguire determinati compiti.

CERTIFICAZIONE = Conferma della conformità a esigenze prestabilite

Procedura in base alla quale l'esterno conferma per scritto che un prodotto, un procedimento o una prestazione è conforme alle esigenze prestabilite.

Accreditamento e certificazione sono entrambe attività di valutazione della conformità, ma si distinguono per le diverse responsabilità degli operatori, le aree di competenza e le norme applicabili.

La certificazione attesta che il sistema qualità implementato nella organizzazione rispetta i requisiti della norma (attualmente ISO 9001: 2008) sia dal punto di vista organizzativo sia documentale. La ISO 9001 non entra nello specifico tecnico dell'attività svolta all'interno dell'organizzazione, anche se nelle verifiche ispettive di parte terza la valutazione della documentazione è fatta spesso da un professionista esperto in sistemi di gestione della qualità, mentre la verifica all'interno dei singoli settori entra comunque in parte nello specifico del lavoro effettuato.

L'accreditamento, invece, entra proprio nel merito del “come” vengono svolte le attività all'interno della organizzazione (per il lab, ad es. può entrare nel merito della scelta dei metodi di determinazione, dei traguardi analitici scelti, per un chirurgo sulla tipologia di intervento scelto per una data patologia), etc. L'accreditamento volontario è certamente più “difficile” rispetto alla certificazione.

Le regole di accreditamento e certificazione rispettivamente

ACCREDITAMENTO LABORATORI DI PROVA ISO/IEC 17025

QUALITA' ISO 9000 e successive

La norma UNI EN ISO/IEC 17025 è uno standard comprensivo di requisiti gestionali e tecnici, impiegato in tutto il mondo per conseguire l'accREDITAMENTO di prove e taratura da parte dei laboratori che se ne occupano.

# Metrologia

Il processo di accreditamento prevede ispettori tecnici esperti, capaci di condurre un'accurata valutazione di tutti gli elementi che inficiano la produzione dei dati tecnici, fra i quali:

- Competenza tecnica del personale.
- Validità e idoneità dei metodi applicati.
- Riferibilità metrologica delle misure e delle tarature ai campioni nazionali e internazionali del sistema SI delle unità di misura.
- Applicazione appropriata dell'incertezza di misura.
- Idoneità, taratura e manutenzione delle attrezzature per le prove.
- Condizioni ambientali in cui si svolgono le prove.
- Campionamento, la gestione e il trasporto degli oggetti di prova.
- Garanzia della qualità dei dati delle prove e delle tarature.

La ISO/IEC 17025 prevede, inoltre, che il sistema di gestione sia conforme ai principi della norma ISO 9001.

# Organismi di normazione e quadro normative

**NORMA:** serve a dettare le “regole del gioco” riconosciute da tutte le parti interessate, dà le disposizioni per definire e unificare processi, prodotti, prestazioni, modalità di controllo, prova e collaudo.

- Norma tecnica: Specifica di un Organismo normatore (non obbligatoria)
- Regola tecnica: Regolamento di un’Autorità (obbligatoria); può incorporare il contenuto di norme tecniche

**ORGANISMI DI NORMAZIONE:** Organismo che svolge attività normativa, riconosciuto a livello nazionale o internazionale, la cui principale funzione, in applicazione del proprio statuto, è la preparazione, l’approvazione o il recepimento di norme pubblicamente disponibili.

# Organismi di normazione e quadro normative

## *Le strutture metrologiche internazionali*

**Bureau international des poids et mesures (BIPM)**

**Conférence générale des poids et mesures (CGPM)**

**Comité international des poids et mesures (CIPM)**

sono tre organismi costituiti su base internazionale al fine di mantenere il Sistema internazionale di unità di misura, nei termini stabiliti dalla Convenzione metrica.

# Organismi di normazione e quadro normative

## *Il coordinamento metrologico in Europa*

L'**European co-operation for Accreditation (EA)** è un ente europeo avente lo scopo di promuovere l'armonizzazione delle regole e delle procedure dei sistemi di accreditamento volontario e di gestire accordi di mutuo riconoscimento tra gli enti di accreditamento.

# Organismi di normazione e quadro normative

## *La metrologia in Italia*

ACCREDIA valuta la competenza tecnica e l'idoneità professionale degli operatori di valutazione della conformità (Laboratori e Organismi), accertandone la conformità a regole obbligatorie e norme volontarie, per assicurare il valore e la credibilità delle certificazioni.

Le attività dell'Ente si articolano in quattro Dipartimenti:

- Certificazione e ispezione;
- Laboratori di prova;
- Laboratori di prova per la sicurezza degli alimenti;
- Laboratori di taratura.

# Organismi di normazione e quadro normative

## INTERNAZIONALE:

- ISO : International Organization for Standardization
- IEC : International Electrotechnical Commission
- OIML : Organization International de Metrologie Legale

emettono Raccomandazioni alle quali il Paese aderente può attenersi o meno senza alcun limite di vincolo.

## EUROPEO:

- CEN : Comitato Europeo di Normazione
- CENELEC: Comitato Europeo di Normazione Elettrica
- CEE : Comunità Economica Europea

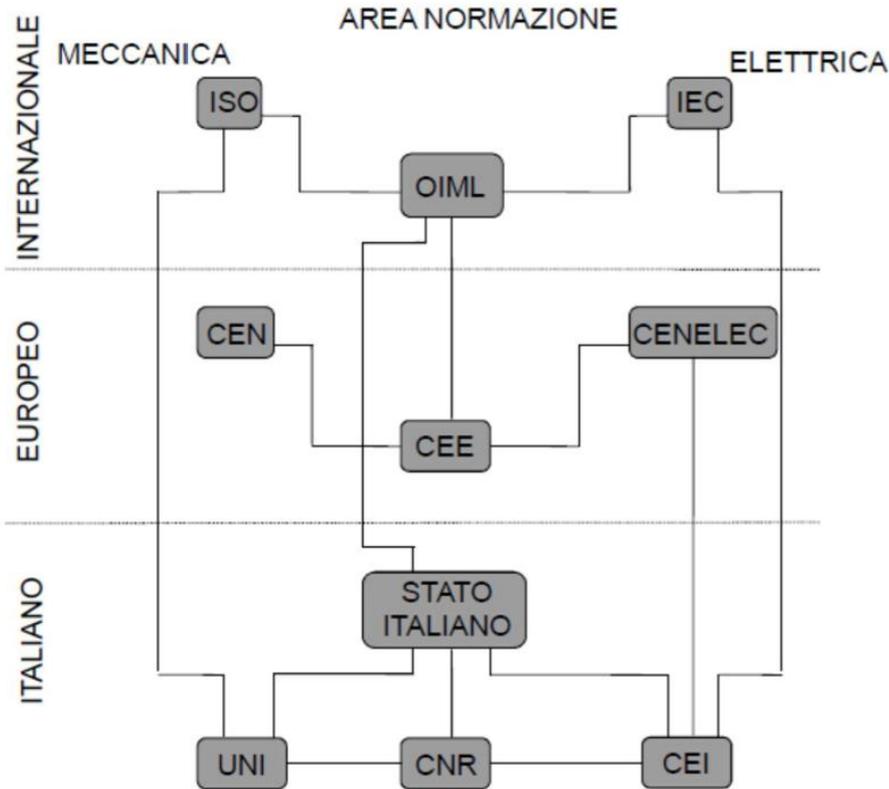
emettono solitamente delle Regole tecniche e pertanto hanno carattere vincolante per i Paesi che vi aderiscono.

## ITALIANO:

- UNI: Ente Nazionale di Unificazione
- CEI: Comitato Elettrotecnico Italiano
- CNR: Consiglio Nazionale delle Ricerche

emettono sostanzialmente delle Norme tecniche e con carattere del tipo consensuale, talvolta rese del tipo vincolante da specifiche leggi dello Stato, come per esempio nel campo della sicurezza, ecc.

# Organismi di normazione e quadro normative



Ad esempio, se ci imbattiamo nella norma [UNI EN ISO 9001](#), capiamo che questa è stata emanata a livello internazionale (ISO) ed è stata recepita, sia dal Comitato europeo (EN), che dall'Ente nazionale italiano di unificazione (UNI).



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



Dipartimento di  
**Ingegneria  
e Architettura**