



# **Misure Meccaniche e Collaudi**

**(A. A. 2020/21)**

**M. De Lucia / D. Vangi**

## Testi

- **Doebelin, *Strumenti e metodi di misura*, McGraw-Hill, 2008**
- **Dally, *Experimental stress analysis*, College House Enterprises, 2005.**
- **Bray, Vicentini, *Meccanica Sperimentale*, Levrotto e Bella, 1975.**
- **Azzoni, *Strumenti e misure per l'ingegneria meccanica*, Hoepli, 2006.**
- **Cigada, Comolli, Manzoni, *Estensimetria elettrica*, Città Studi Edizioni, 2006**
- **Ajovalasit, *Analisi sperimentale delle tensioni con gli estensimetri elettrici a resistenza*, Aracne, 2008.**
- **AA.VV., *Le prove non distruttive*, Associazione Italiana di Metallurgia**

## Misura di una grandezza fisica

Quando si può definire **qualitativamente** e **quantitativamente un fenomeno o aspetti di un fenomeno**, si parla di **grandezza fisica** (es. la temperatura di un ambiente, la velocità di un corpo, la massa di un solido).

Ogni grandezza fisica è definita mediante tre caratteristiche:

- la **specie** (definisce la qualità della grandezza)
  - la **misura**
  - l'**unità di misura**
- } (definiscono la grandezza quantitativamente)

## Misura di una grandezza fisica

- Eseguire una misura comporta avere a disposizione un **dispositivo** ed una **procedura** atti a produrre il valore attribuibile in istanti noti alle **grandezze** osservabili in un assegnato processo

### Definizione di misura

- Tradizionale: confronto fra la grandezza fisica in esame ed un'altra della stessa specie scelta come unità.

- confronto diretto (misure per confronto)
- confronto differito (strumenti a deviazione)

- Esaustiva: ogni processo che porta ad assegnare dei numeri ad aspetti di oggetto o eventi in accordo a certe regole (qualsiasi purché non casuali).

- contatori
- strumenti a soglia
- analizzatori di segnali
- etc.

## Sperimentazione / Misura

- **Fenomeno** (oggetto della osservazione) & **modello** (del fenomeno) & **scopo** (della osservazione)

### Differenza fra **sperimentazione** e **misura**

- **Sperimentazione**: interazione fra il sistema oggetto (mondo fisico) e l'osservatore per prelevare informazioni (**misure**)
- **Misura**  $\Rightarrow$  processo del prelievo delle informazioni e di attribuzione di “numeri” a caratteristiche del reale (grandezze fisiche) in modo da descriverle



## Fenomeno

- Identificare gli elementi (grandezze) che lo determinano
- Conoscere le loro caratteristiche e mutue relazioni

permette di

disporre di un “modello”, qualitativo o quantitativo, del fenomeno.

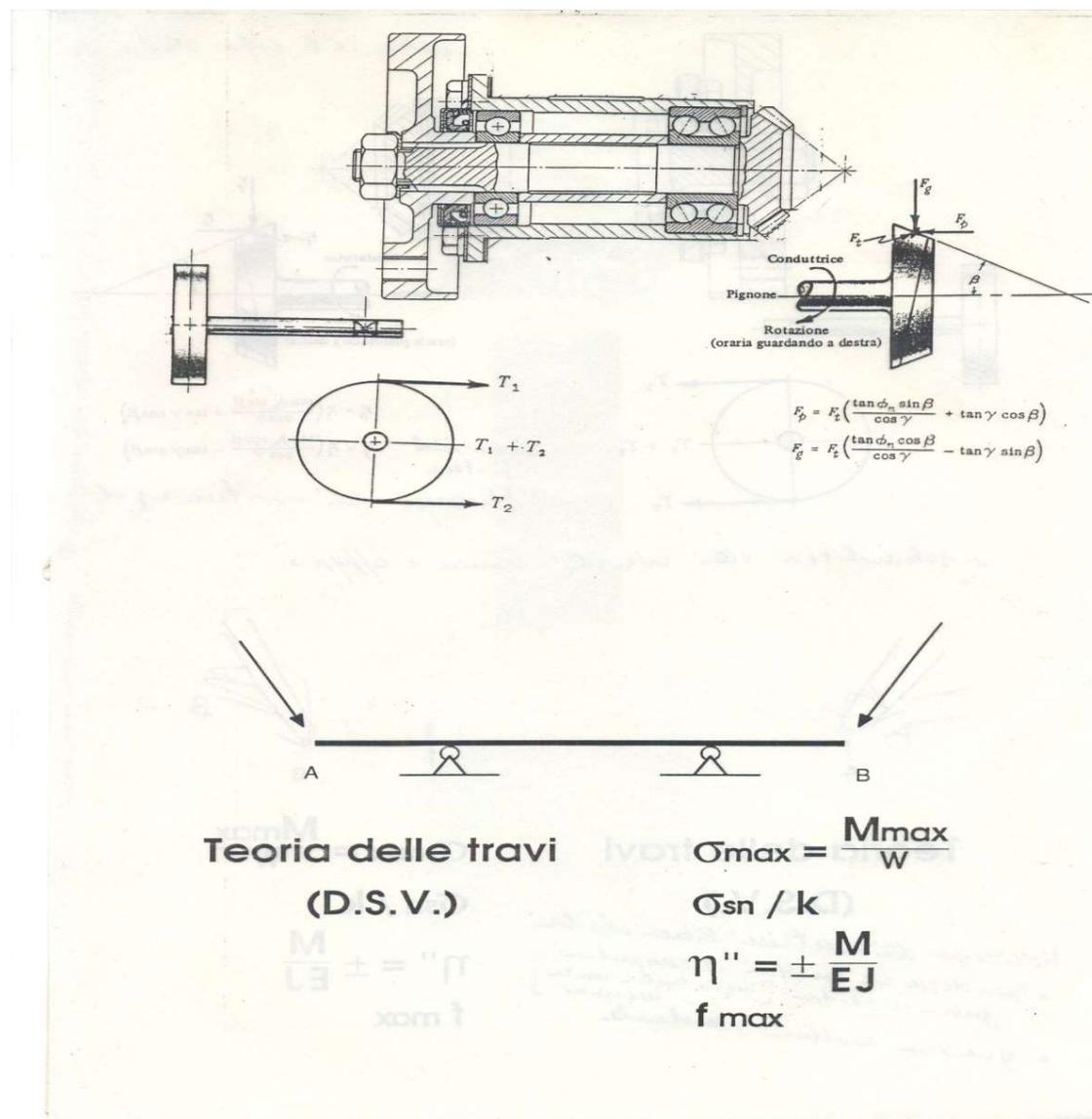
**Disporre di tale modello è essenziale, sia per la  
sperimentazione che per la misura**

## Es. : deformata di un albero

- Disegno
- Analisi dei carichi
- Meccanica dei continui  
(Materiale lineare elastico)
- Teoria di De Saint-Venant per le travi



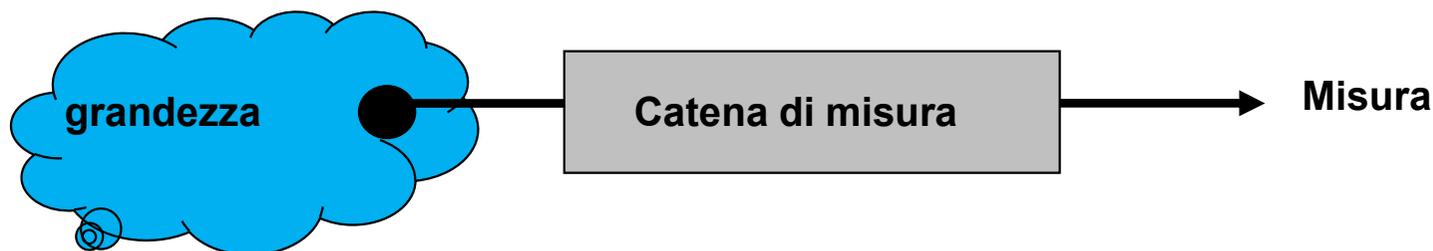
Deformata della trave (geometria, carichi, materiale)



## Grandezza fisica

- Una grandezza fisica è una classe di equivalenza di proprietà fisiche che possono essere misurate mediante un **rappporto reciproco**.
- Condizione necessaria perché una (classe di equivalenza di) proprietà sia misurabile è quella di poter stabilire una **relazione d'ordine** fra quelle proprietà in sistemi diversi: poter giudicare quale sistema esibisce "più" proprietà dell'altro.
- Se tale confronto può essere basato sul **rappporto** fra le proprietà dei due sistemi, allora la classe di equivalenza di quelle proprietà costituisce una **grandezza fisica**.
- In questo caso, è possibile scegliere la proprietà di un particolare sistema ed eleggerla a **unità di misura** per quella grandezza fisica.
- Fissata l'unità di misura, la quantità di tale grandezza potrà essere specificata da un **valore numerico ottenuto dal rapporto con la proprietà scelta come campione di riferimento e un'unità di misura**.

## Misura



**Misura = prelievo di informazioni → valutazione (quantitativa) dell'ente di interesse**

- Dispositivo per la misura
- Procedura di misura
- Personale / laboratorio

## Normative

**Molti aspetti della pratica ingegneristica sono regolati da normative. La norma tecnica non ha caratteristiche di obbligatorietà, anche se può essere presa a riferimento da ordinamenti legislativi e amministrativi, diventando dunque vincolante.**

**Es.: uso del Sistema Internazionale di Unità (SI)**

NORMA EUROPEA	Grandezze ed unità di misura Parte 8: Acustica	UNI EN ISO 80000-8
		DICEMBRE 2007
	Quantities and units Part 8: Acoustics	
	La norma fornisce nomi, simboli e definizioni per le grandezze ed unità di misura relative all'acustica. Sono inoltre riportati i fattori di conversione, ove appropriato.	

(sostituita da varie versioni, fino alla UNI CEI EN ISO 80000-1:2013)

## GRANDEZZE

Sono **estensive** le proprietà fisiche di un materiale o di una sostanza che dipendono dalla dimensione del campione: la massa, il peso, la lunghezza, il volume, l'energia. Sono **intensive** le proprietà fisiche di un materiale che non dipendono dalla dimensione del campione.

	Proprietà intensive	Proprietà estensive
Definizione	non dipendono dalla dimensione del campione	dipendono dalla dimensione del campione
Esempi	peso specifico	massa
	densità	volume
	temperatura, pressione, entalpia, ecc.	lunghezza, energia, forza, ecc.

## Es.: IL METRO

Unità fondamentale di misura di lunghezza (simbolo  $m$ ), definita in origine come la quarantamilionesima parte del meridiano terrestre e quindi, convenzionalmente, come la distanza tra due tratti paralleli segnati su una faccia di una sbarra di platino-iridio, conservata in opportune condizioni di temperatura e pressione, presso l'Archivio internazionale dei pesi e misure di Sèvres, presso Parigi; da essa derivano l'unità di misura di superficie (*metro quadrato*) e di volume (*metro cubo*); nel 1983, la XVII Conferenza dei pesi e misure tenuta a Parigi lo ha ridefinito come la distanza che la luce percorre nel vuoto in un tempo pari a  $1/299.792.458$  di secondo, legando le unità fondamentali di lunghezza e tempo al campione universale di velocità, cioè la velocità della luce nel vuoto.

## LA STORIA

Il termine "metro" deriva dal greco "metron" che significa misura. Fu ripreso nel 1675 da Tito Livio Burattini, che propose una delle prime definizioni basate sulla lunghezza di un pendolo che batte il secondo, dato che il semiperiodo di un pendolo di tale lunghezza è  $1,003$  s.<sup>[6]</sup>

La definizione originale del metro basata sulle dimensioni della Terra viene fatta risalire al 1791, stabilita dall'Accademia delle scienze francese come  $1/10\ 000\ 000$  della distanza tra polo nord ed equatore, lungo la superficie terrestre, calcolata sul meridiano di Parigi. Il 7 aprile 1795 la Francia adottò il metro come unità di misura ufficiale, seguita da altri paesi europei. In Italia il metro venne per la prima volta introdotto da parte di Napoleone durante la campagna d'Italia del 1796. Da allora, nonostante svariate resistenze politiche, esacerbatesi durante il Congresso di Vienna, il metro non abbandonò più la penisola italiana, anche se venne adottato dagli stati italiani in tempi e secondo percorsi diversi.<sup>[7]</sup>

L'incertezza nella definizione del metro portò il Bureau international des poids et mesures (BIPM) a ridefinire nel 1889 il metro come la distanza tra due linee incise su una barra campione di platino-iridio conservata a Sèvres presso Parigi.<sup>[8]</sup>

**Nel 1960, con la disponibilità dei laser, l'undicesima Conferenza generale di pesi e misure cambiò la definizione del metro in: la lunghezza pari a  $1\ 650\ 763,73$  lunghezze d'onda nel vuoto della radiazione corrispondente alla transizione fra i livelli  $2p^{10}$  e  $5d^5$  dell'atomo di kripton-86**

Nel 1983 la XVII Conferenza generale di pesi e misure definì il metro come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in  $1/299\ 792\ 458$  di secondo (ovvero la velocità della luce nel vuoto venne definita essere  $299\ 792\ 458$  metri al secondo). Poiché si ritiene che la velocità della luce nel vuoto sia la stessa ovunque, questa definizione è più universale della definizione basata sulla misurazione della circonferenza della Terra o della lunghezza di una specifica barra di lega metallica e il metro campione può essere riprodotto fedelmente in ogni laboratorio appositamente attrezzato. L'altro vantaggio è che può (in teoria) essere misurato con precisione superiore rispetto alla circonferenza terrestre o alla distanza tra due punti.

Sempre grazie agli esperimenti in laboratorio, dalla fine del 1997 è possibile raggiungere un ordine di accuratezza dell'ordine di  $10^{-10}$  m. Questo risultato è ottenibile sfruttando la relazione  $\lambda = c/v$  ( $\lambda$  lunghezza d'onda,  $c$  velocità della luce,  $v$  frequenza della radiazione) utilizzando oscillatori laser stabilizzati a frequenza conosciuta (imprecisione  $\Delta v/v$  migliore di  $10^{-10}$ ) la cui radiazione viene utilizzata in sistemi di misura interferometrici.

GRANDEZZE del Sistema Internazionale

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza fisica	Nome dell'unità SI	Simbolo dell'unità SI	Equivalenza in termini di unità fondamentali SI	
<i>Nomi e simboli speciali</i>					
frequenza	$f, \nu$	hertz	Hz	$s^{-1}$	
forza	$F$	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$	
pressione	$p$	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
energia, lavoro, calore, entalpia	$E, W/L, Q, H$	joule	J	$N \cdot m$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
potenza	$P$	watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
viscosità dinamica	$\mu, \eta$	poiseuille	Pl	$Pa \cdot s$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
carica elettrica	$q$	coulomb	C	$A \cdot s$	
potenziale elettrico, forza elettromotrice, tensione elettrica	$V, fem$	volt	V	$J \cdot C^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
resistenza elettrica	$R$	ohm	$\Omega$	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
conduttanza elettrica	$G$	siemens	S	$A \cdot V^{-1}$	$s^2 \cdot A^2 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1}$
capacità elettrica	$C$	farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$s^4 \cdot A^2 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1}$
densità flusso magnetico	$B$	tesla	T	$V \cdot s \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
flusso magnetico	$\Phi(B)$	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
induttanza	$L$	henry	H	$V \cdot s \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
temperatura	$T$	grado Celsius	$^{\circ}C$	$K^{[12]}$	
angolo piano <sup>[13]</sup>	$\alpha, \varphi, \theta$	radiante	rad	1	$m \cdot m^{-1}$
angolo solido <sup>[13]</sup>	$\Omega$	steradiane	sr	1	$m^2 \cdot m^{-2}$
flusso luminoso	$\Phi(l)$	lumen	lm	$cd \cdot sr$	
illuminamento	$E_l$	lux	lx	$cd \cdot sr \cdot m^{-2}$	
potere diottrico	$D_o$	diottria	D	$m^{-1}$	
attività di un radionuclide <sup>[14]</sup>	$A_R$	becquerel	Bq	$s^{-1}$	
dose assorbita	$D$	gray	Gy	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
dose equivalente, dose efficace	$H, E_H$	sievert	Sv	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
attività catalitica		katal	kat	$mol \cdot s^{-1}$	
<i>Altre grandezze fisiche</i>					
area	$A$	metro quadro	$m^2$	$m^2$	
volume	$V$	metro cubo	$m^3$	$m^3$	
velocità	$v$	metro al secondo	m/s	$m \cdot s^{-1}$	
accelerazione	$a$		$m/s^2$	$m \cdot s^{-2}$	
velocità angolare	$\omega$			$rad \cdot s^{-1}$	$s^{-1}$
accelerazione angolare	$\alpha, \varpi$			$rad \cdot s^{-2}$	$s^{-2}$
densità	$\rho, d$	chilogrammo al metro cubo	$kg/m^3$	$kg \cdot m^{-3}$	
molarità $SI^{[15]}$	$M$			$mol \cdot dm^{-3}$	
volume molare	$V_m$			$m^3 \cdot mol^{-1}$	

## PREFISSI del Sistema Internazionale

$10^n$	Prefisso	Simbolo	Nome	Equivalente decimale
$10^{24}$	yotta	Y	Quadrilione	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{21}$	zetta	Z	Triliardo	1 000 000 000 000 000 000 000
$10^{18}$	exa	E	Trilione	1 000 000 000 000 000 000
$10^{15}$	peta	P	Biliardo	1 000 000 000 000 000
$10^{12}$	tera	T	Bilione	1 000 000 000 000
$10^9$	giga	G	Miliardo	1 000 000 000
$10^6$	mega	M	Milione	1 000 000
$10^3$	chilo	k	Mille	1 000
$10^2$	hecto	h	Cento	100
$10^1$	deca	da	Dieci	10
$10^0$			Uno	1
$10^{-1}$	deci	d	Decimo	0,1
$10^{-2}$	centi	c	Centesimo	0,01
$10^{-3}$	milli	m	Millesimo	0,001
$10^{-6}$	micro	$\mu$	Milionesimo	0,000 001
$10^{-9}$	nano	n	Miliardesimo	0,000 000 001
$10^{-12}$	pico	p	Bilionesimo	0,000 000 000 001
$10^{-15}$	femto	f	Biliardesimo	0,000 000 000 000 001
$10^{-18}$	atto	a	Trilionesimo	0,000 000 000 000 000 001
$10^{-21}$	zepto	z	Triliardesimo	0,000 000 000 000 000 000 001
$10^{-24}$	yocto	y	Quadrilionesimo	0,000 000 000 000 000 000 000 001

## Procedure di prova

NORMA ITALIANA	Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura	UNI CEI EN ISO/IEC 17025
		NOVEMBRE 2000
	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	
DESCRIPTORI	Laboratorio, requisito del laboratorio, laboratorio di prova, laboratorio di taratura	
CLASSIFICAZIONE ICS	03.120.20	
SOMMARIO	La norma specifica i requisiti generali per la competenza dei laboratori ad eseguire prove e/o tarature delle apparecchiature, incluso il campionamento. Essa contiene tutti i requisiti che devono essere soddisfatti dai laboratori di prova e di taratura se intendono dimostrare che attuano un sistema qualità, che sono tecnicamente competenti e che possono produrre risultati validi tecnicamente.	
RELAZIONI NAZIONALI	La presente norma sostituisce la UNI CEI EN 45001.	
RELAZIONI INTERNAZIONALI	= EN ISO/IEC 17025:2000 (= ISO/IEC 17025:1999) La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN ISO/IEC 17025 (edizione maggio 2000).	
ORGANO COMPETENTE	Commissione "UNI-CEI Normative quadro per le attività di certificazione"	
RATIFICA	Presidente dell'UNI, delibera del 20 ottobre 2000 Presidente del CEI, delibera del 24 ottobre 2000	
RICONFERMA		



NORMA EUROPEA

Normative (es.  
UNI 17025)

## Procedure di prova

Esistono procedure normalizzate (norme UNI, CEN, ISO, ecc.) e procedure non normalizzate:

**Per i metodi non normalizzati la UNI 17025 prescrive che il laboratorio debba “sviluppare procedure per i nuovi metodi e le modalità operative di prova e/o taratura prima che siano eseguite le prove”. Queste procedure devono contenere :**

- a) identificazione appropriata;**
- b) scopo;**
- c) descrizione del tipo di oggetto da provare o tarare;**
- d) parametri o grandezze e campi di misura da determinare;**
- e) attrezzature e apparecchiature, compresi i requisiti tecnici di prestazione;**
- f) campioni di riferimento e materiali di riferimento richiesti;**

## Procedure di prova

### Procedure non normalizzate/2

- g) condizioni ambientali e periodo di stabilizzazione richiesto;**
- h) descrizione della procedura, comprendente:**
  - apposizione di marchi di identificazione, manipolazione, trasporto, immagazzinamento e preparazione degli oggetti da provare,**
  - verifiche da effettuare prima di iniziare le attività,**
  - verifiche del buon funzionamento dell'apparecchiatura, e, se richiesto, taratura e messa a punto prima dell'utilizzo,**
  - metodi di registrazione delle osservazioni e dei risultati,**
  - tutte le misure di sicurezza da osservare;**
- i) criteri e/o requisiti per l'approvazione/rifiuto;**
- j) dati da registrare e i metodi di analisi e di presentazione;**
- k) incertezza o le procedure di stima dell'incertezza.**

## Laboratorio/1

Accreditamento ISO/IEC 17025 e certificazione ISO 9001  
(sistema di gestione per la qualità) per i laboratori di prova e  
di taratura

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

- **Competenza tecnica del personale (certificazione 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.**



## Laboratorio/2

- **Campionamento, gestione e 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. La sola certificazione ai sensi della ISO 9001 non costituisce evidenza che il laboratorio sia in grado di fornire prove o tarature accurate e affidabili**

## Personale

La certificazione del personale (o certificazione delle competenze) è una certificazione di parte terza indipendente rilasciata per attestare il possesso ed il rispetto di determinati requisiti da parte di un individuo.

Esempi di certificazione:

• personale addetto alle prove non distruttive secondo **UNI EN 473** e per i LIVELLI 1 e 2 nei metodi:

- |                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| -Liquidi penetranti              | -Correnti Indotte     |
| -Esame con particelle magnetiche | -Estensimetria        |
| -Esame con Ultrasuoni            | -Emissione acustica   |
| -Esame Radiografico              | -Termografia          |
| -Esame visivo                    | -Rilevazione di fughe |

**UNI EN 287/1: CERTIFICAZIONE DEGLI OPERATORI DI SALDATURA**

**UNI EN 1418: CERTIFICAZIONE DEI BRASATORI**



## Personale

### UNI EN ISO 9712:

NORMA EUROPEA	Prove non distruttive Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive	UNI EN ISO 9712
		LUGLIO 2012
	Non-destructive testing Qualification and certification of NDT personnel	
	La norma stabilisce i principi per la qualificazione e la certificazione del personale incaricato di effettuare prove non distruttive (PND) in campo industriale. Il termine "industriale" implica l'esclusione delle applicazioni nel campo della medicina.	



## Personale

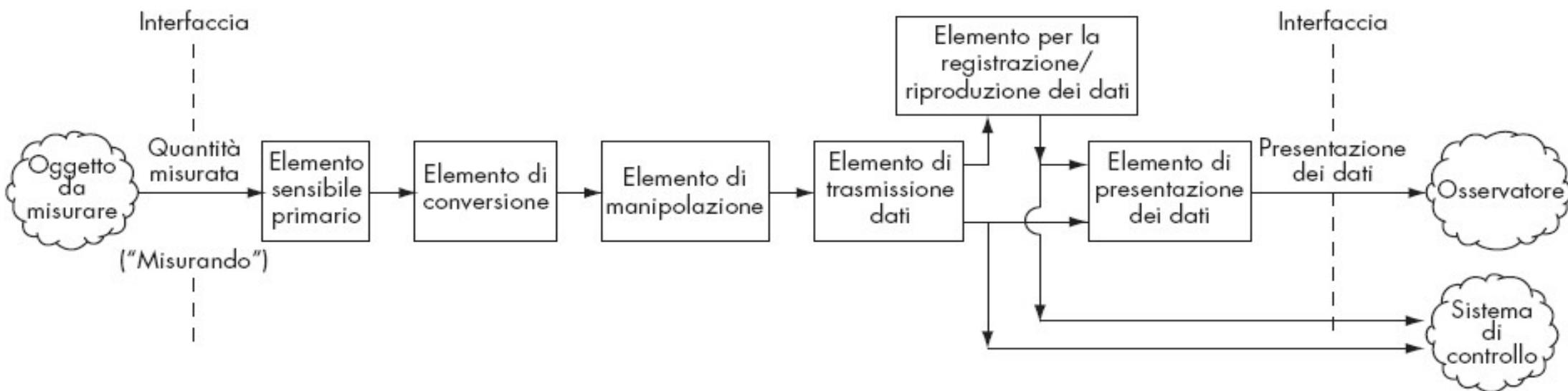
**Tipicamente nel sistema di certificazione (ad esempio per le Prove non Distruttive) è prevista una suddivisione in **livelli**:**

- **I livello: esecuzione dell'esame;**
- **II livello: interpretazione dei risultati e valutazione di rispondenza alle specifiche;**
- **III livello: organizzazione del sistema di PnD, stesura specifiche e procedure, addestramento del personale.**

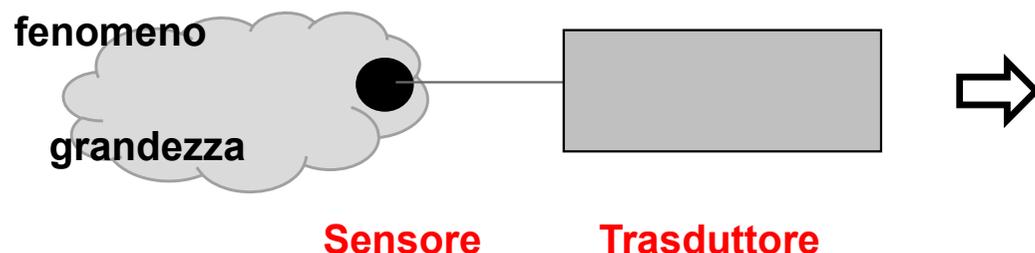
**La suddivisione nei 3 livelli si applica a ciascuna tecnica di PnD.**

## Catena di Misura

Nel caso più generale è composta da diversi **elementi funzionali**:



## Catena di Misura

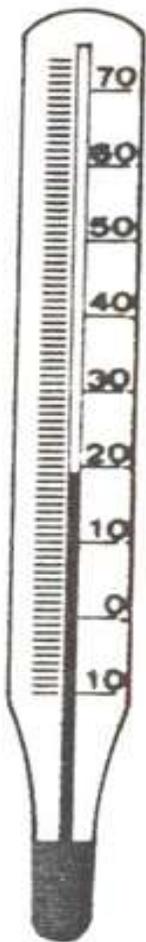


**Sensore** = (elemento sensibile) – un fenomeno induce nel sensore una variazione del suo stato – fornisce una uscita che dipende dalla variazione della grandezza di interesse. Generalmente il sensore è basato su un **principio fisico** ben preciso.

**Trasduttore** = trasferisce il segnale da un supporto fisico ad un altro (elemento modificatore: modifica la natura del segnale)

**Si possono avere elementi modificatori non voluti (parassiti)**

## Esempio: termometro a bulbo

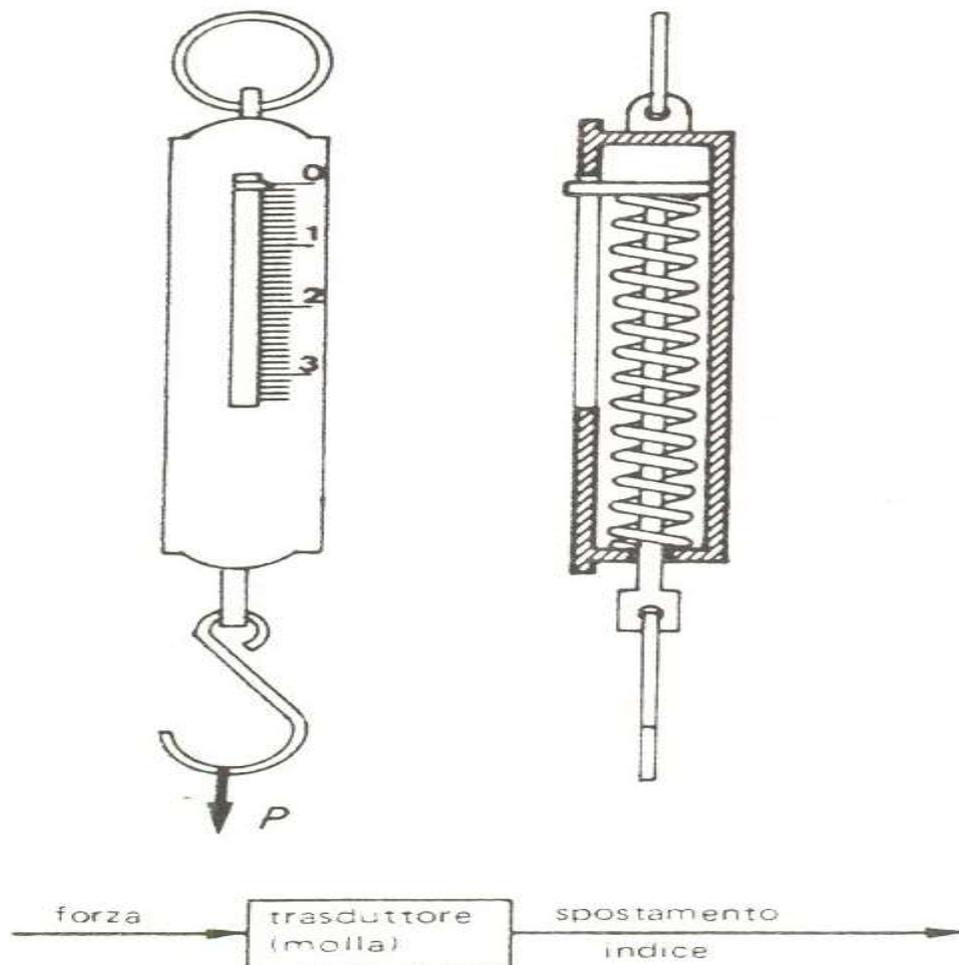


- Elemento sensibile?
- Elemento modificatore?
- Elemento rivelatore?



**Principio fisico:  $V = V_0(1+\beta\cdot\Delta T)$**

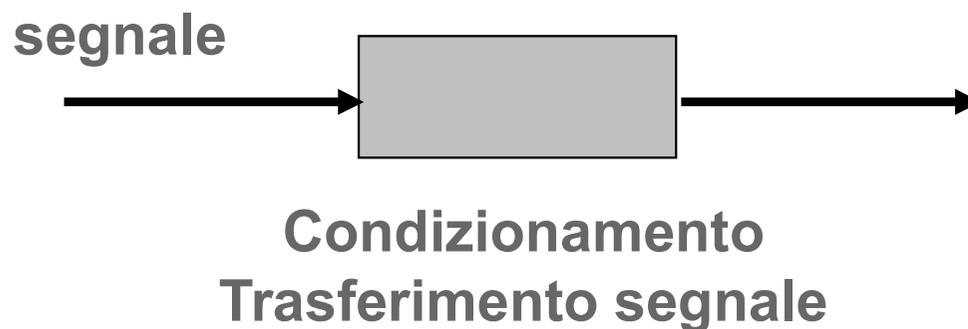
## Esempio: dinamometro a molla



- Elemento sensibile?
- Elemento modificatore?
- Elemento rivelatore?

**Principio fisico:**  
 **$F = K \cdot \Delta x$**   
**(legge di Hooke)**

## Catena di Misura



**Condizionatore** = converte il segnale per renderlo più adatto a successive elaborazioni  
es.: amplificatore

**Trasferimento** del segnale

## Catena di Misura



**Processore** = tratta il segnale per renderlo più adatto a successive elaborazioni

es.: filtro passa alto, filtro passa basso, convertitore A/D (ADC), FFT, media, ecc.

## Catena di Misura

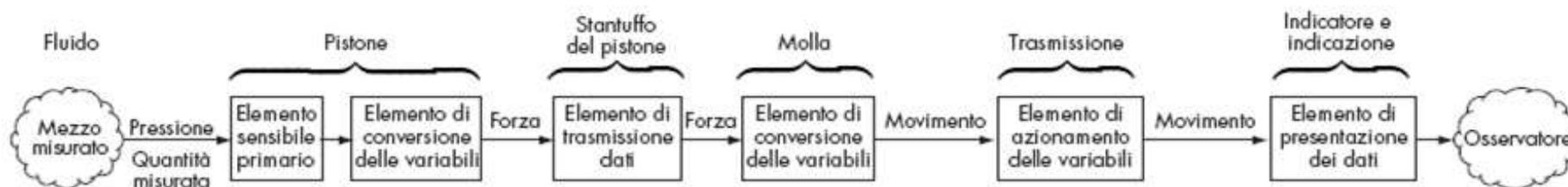
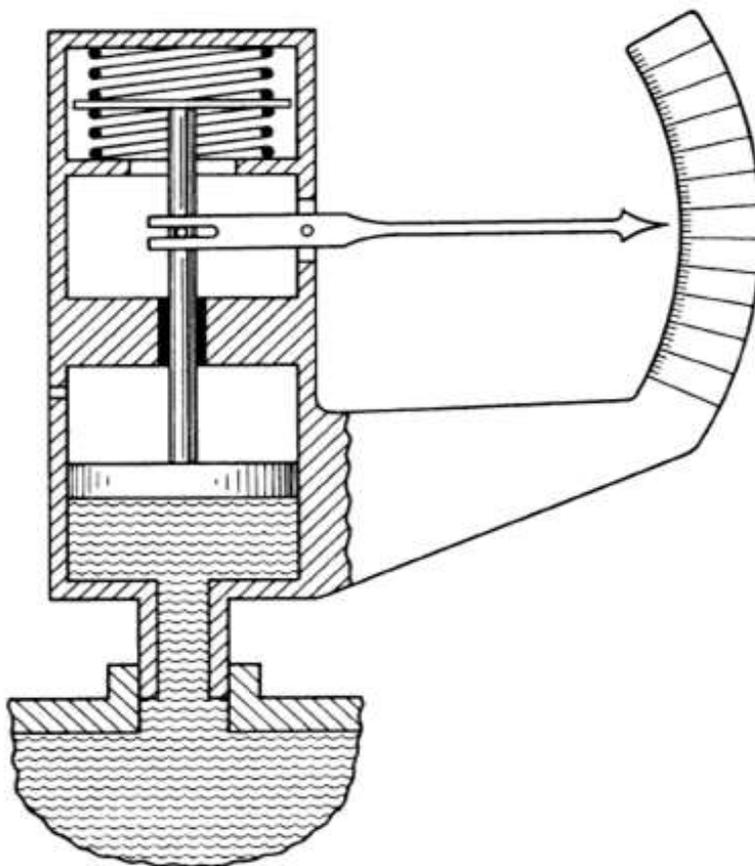
segnale



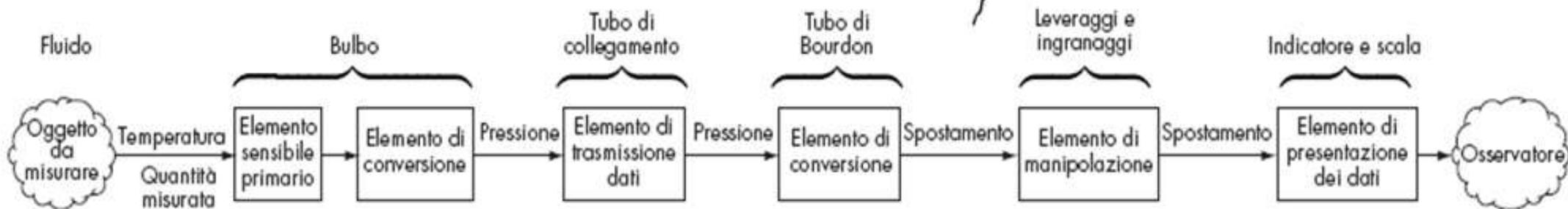
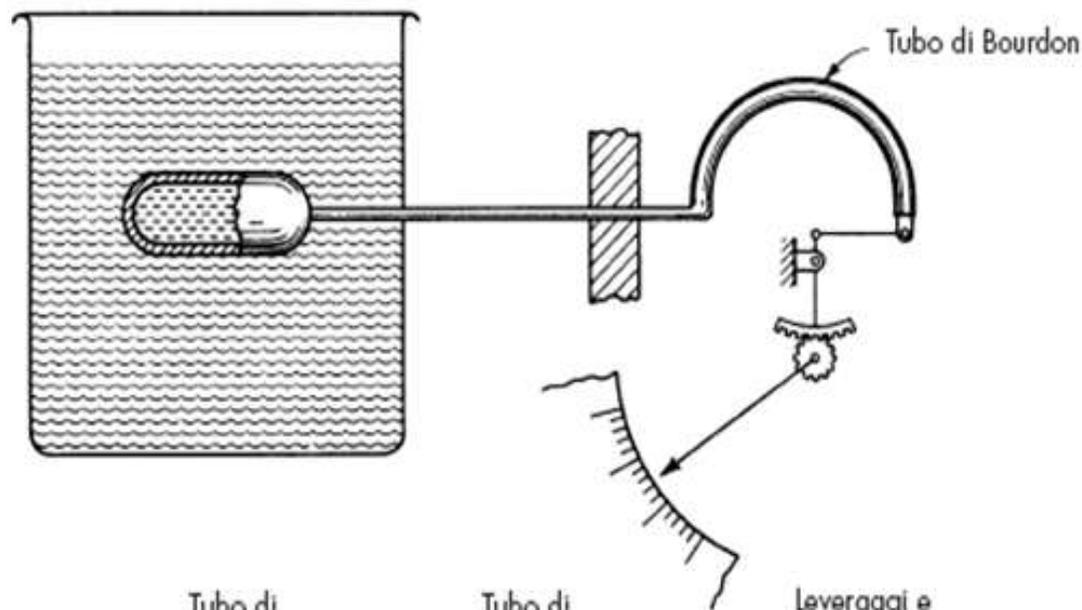
Visualizzazione / registrazione  
segnale

- **Visualizzazione** = rende leggibile il segnale
- **Registrazione** = memorizza il segnale  
(aspetti “legali” della documentazione)

## Esempio: trasduttore di pressione



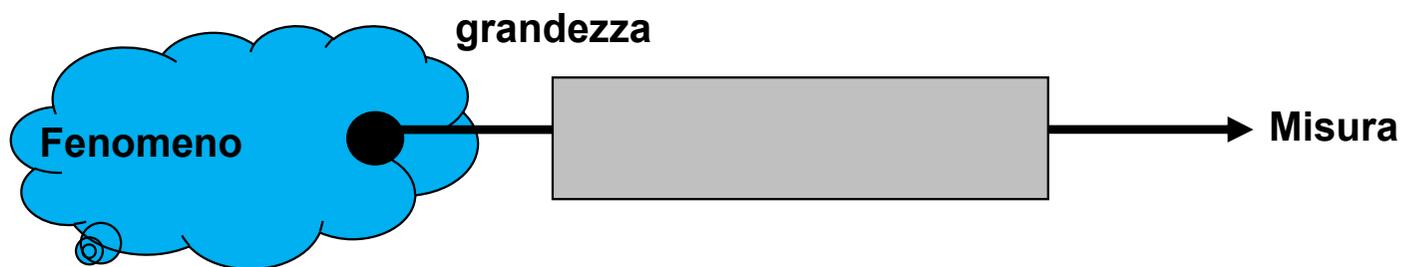
## Esempio: termometro a pressione



## Campi di applicazione dello strumento di misura

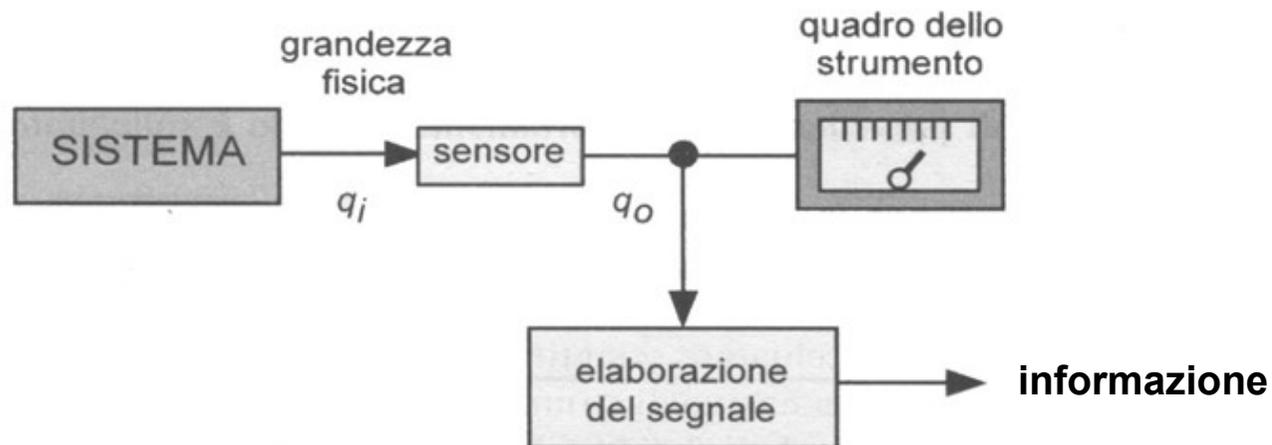
- **Misura** di laboratorio per progettazione, ricerca o sviluppo
- **Controllo** di operazioni e processi - Sistema di controllo in retroazione (feedback)
- **Monitoraggio**. Il sistema di misura viene utilizzato per tenere sotto controllo operazioni e processi tramite qualche grandezza
- **Diagnostica**, di un impianto o macchinario, per individuare eventuali anomalie e identificarne le cause
- **Identificazione di modelli fisico-matematici**

# Misura

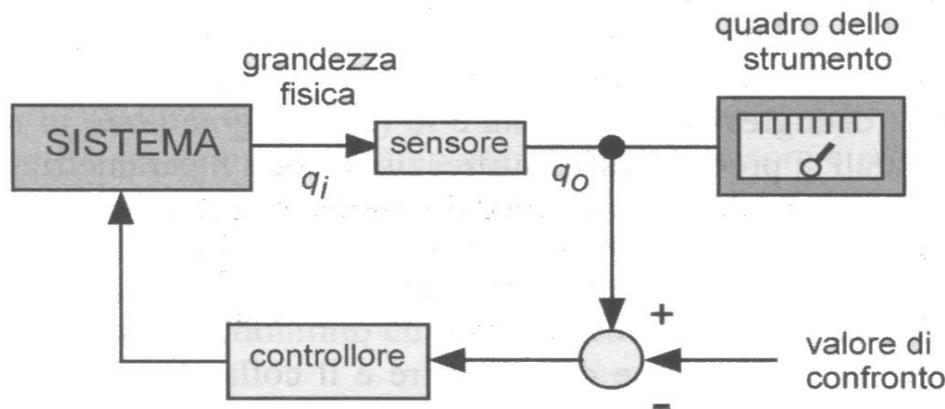
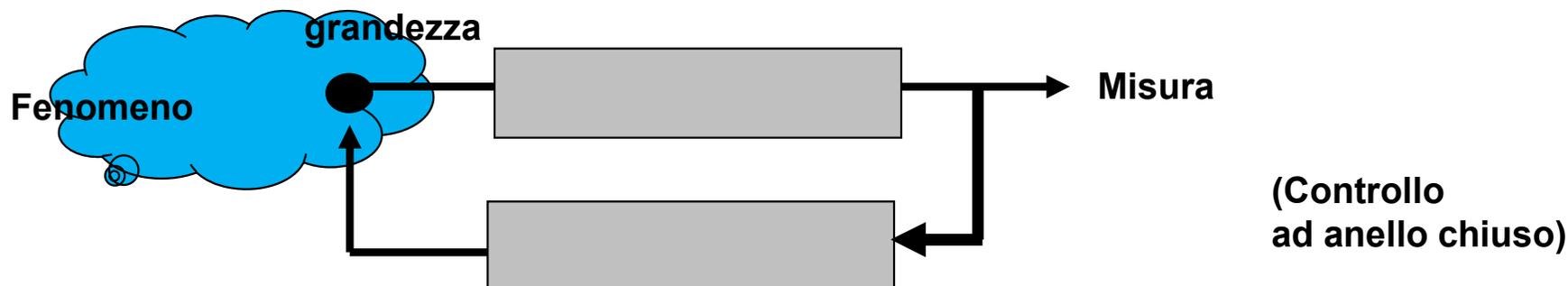


(Misura ad anello aperto)

## Catena di misura

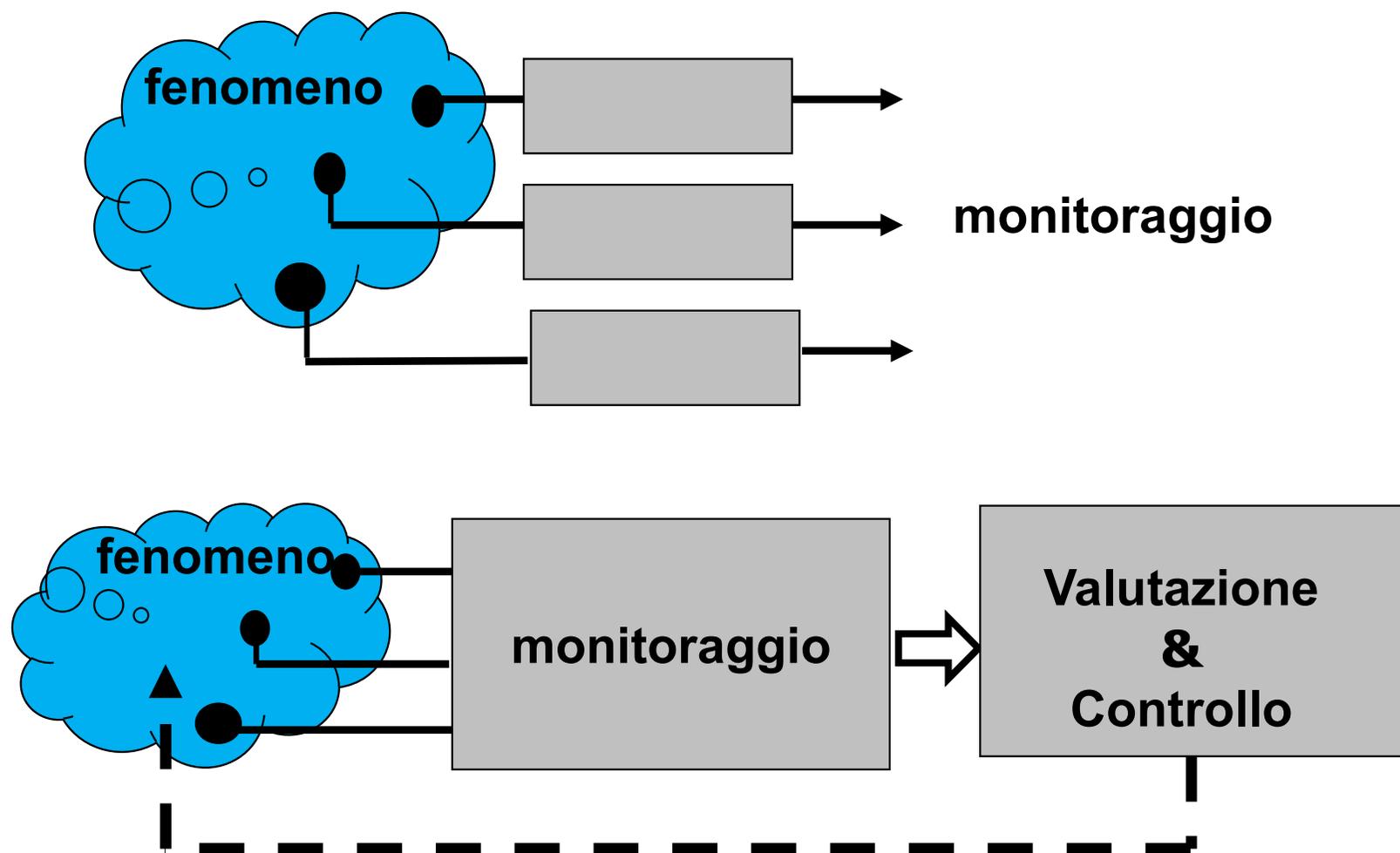


## Controllo



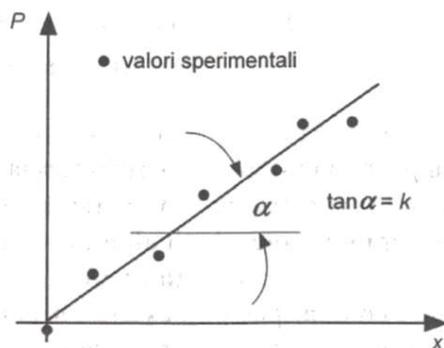
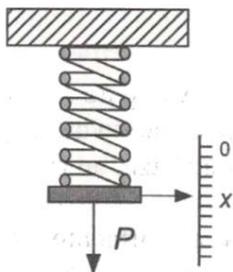
**Il controllo di un impianto o di un processo consiste nel misurare determinate grandezze fisiche e nel regolare il funzionamento in base al confronto delle misure con i parametri di riferimento**

## Monitoraggio / Diagnostica / Collaudo



**Il collaudo è la verifica sperimentale del rispetto delle specifiche di progetto**

## Identificazione di modelli fisico-matematici



**Es.: non conoscendo  
la legge di Hooke,  
come trovare la  
relazione fra carico e  
spostamento?**

