



Università degli Studi di Cassino
Facoltà di Ingegneria

Lezioni del Corso di Fondamenti di Metrologia Meccanica

A.A. 2005-2006 Prof. Paolo Vigo



Università degli Studi di Cassino

Corso di Fondamenti di Metrologia Meccanica

Indice

1. Il Significato Fisico della Misura
2. La Catena di Misura
3. Il Sistema Internazionale
4. Il Sistema Nazionale di Taratura





“...io spesso affermo che quando voi potete misurare ed esprimere in numeri ciò di cui state parlando, solo allora sapete esprimere qualcosa di esso; ma quando non vi è possibile esprimere numericamente l'oggetto della vostra indagine, allora la vostra conoscenza è scarsa ed insoddisfacente. Questo può rappresentare solo l'inizio della conoscenza, ma nelle vostre menti voi avete a malapena fatto qualche progresso verso la Scienza, qualunque sia l'argomento...”

Lord Kelvin



Definizioni di Metrologia

"scienza che studia i problemi inerenti alla misurazione e quindi alla scelta delle unità di misura e dei sistemi di misurazione"

il Grande Dizionario Garzanti della lingua italiana (1987)

“Campo della conoscenza che riguarda le misurazioni. La metrologia comprende tutti gli aspetti teorici e pratici che riguardano le misurazioni, qualunque sia il livello di accuratezza, in ogni campo della scienza e della tecnologia”

Vocabolario internazionale dei termini fondamentali e generali di metrologia
UNI CEI U37.00.001.0 (1990)



Perché si Misura?

Esigenza	Ambito Metrologico
Commercio	Legale
Conoscenza leggi della fisica	Scientifico
Regolazione e controllo	Industriale



Diversi sono i motivi o le finalità per cui si effettua una misura:

- ✚ finalità **commerciali** (regolazione degli scambi commerciali)
- ✚ finalità **scientifiche** (conoscenza delle leggi fisiche definendo mediante misurazioni le proprietà dei materiali e verificando le leggi descrittive della fisica)
- ✚ finalità **industriali** (regolazione e controllo, monitoraggio e verifica dei parametri dei processi di produzione)

La conoscenza quantitativa delle grandezze fisiche consente di aumentare le interazioni tra l'uomo e l'universo e, di conseguenza, di aumentare la sua capacità di governo del sistema tramite sensori asserviti a sistemi di controllo, monitoraggio, allarme.



La Misura delle Grandezze Fisiche

La Misurazione non presenta sostanziali differenze se la sua finalità è di tipo scientifico e/o commerciale, in quanto entrambe mirate alla definizione del *quantum*

Nel caso invece di misure per i sistemi di controllo, la veridicità del valore diventa caratteristica secondaria rispetto alla ripetibilità del valore a parità del misurando.

A seconda delle diverse finalità di una misura, le norme di riferimento ed i relativi organismi sono differenti:



La Misura delle Grandezze Fisiche

La **misura** è il procedimento che permette di ottenere la descrizione quantitativa di una grandezza fisica.

Questo processo presuppone sempre:

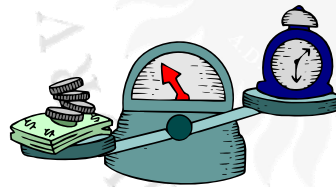
- ✚ l'elaborazione di un **modello descrittivo del misurando**, mediante la sua definizione e la formalizzazione di relazioni fisiche tra la grandezza misurata e altre grandezze;
- ✚ la formalizzazione di una **scala di misura**, che consenta di riconoscere una relazione d'ordine tra i diversi valori che il misurando può assumere.



La Misura delle Grandezze Fisiche

Il processo di *misurazione* produce un'informazione quantitativa, ovvero un valore numerico definito come "*misura*". Il risultato di una misura non può essere rappresentato con un semplice numero ma è necessario associare ad esso:

- ✚ l'identificazione univoca del **misurando** (mediante l'elaborazione del modello descrittivo del misurando)
- ✚ la **scala** di misura utilizzata (mediante l'indicazione dell'unità di misura)
- ✚ la **qualità** della misura (mediante l'indicazione dell'incertezza di misura).



La Misura delle Grandezze Fisiche

La misura **deve** essere espressa sulla base di una relazione del tipo:

$$X = (x \pm u) g_x$$

avendo indicato con:

- X la generica grandezza di misura
- x il risultato della misura
- u l'incertezza di misura
- g_x l'unità di misura



Es: la misura del diametro di un albero di trasmissione presuppone l'elaborazione di un modello geometrico (in un albero cilindrico a sezione retta circolare ad asse rettilineo la distanza tra due generatrici opposte è uguale al diametro del cilindro), la definizione di una scala di lunghezza, la stima della qualità della misura.



La Misura delle Grandezze Fisiche

Le unità di misura delle grandezze fisiche g_x sono definite tramite un sistema internamente coerente in cui, scelto in modo univoco un numero limitato di *unità fondamentali* e/o di *costanti universali*, le rimanenti *unità derivate* si ottengono mediante la definizione della specifica grandezza fisica a partire da quelle fondamentali.



Il **Sistema Internazionale SI**, è il sistema di misura universalmente riconosciuto dalla collettività scientifica internazionale ed è stato ufficialmente adottato dalla Comunità Europea per tutte le transazioni di interesse economico e sociale.



La Misura delle Grandezze Fisiche

Una misura può essere ottenuta:

- ✚ in maniera **diretta**, per confronto diretto con l'unità di misura ed i suoi multipli o sottomultipli
(es. le misure di massa tramite bilance a piatti)
- ✚ in maniera **indiretta** (più diffusamente), mediante l'applicazione di leggi fisiche che legano la grandezza incognita ad altre misurabili direttamente
(es. misura della velocità dalla misura di spazio e tempo, $v = s/t$).

**Definizione di misura indiretta**

Metodo di misurazione nel quale il valore del misurando è ottenuto mediante misurazione di altre grandezze legate funzionalmente al misurando (VIM)

Metodo che consente di assegnare per calcolo la misura ad un misurando effettuando la misurazione con metodi diretti su altri parametri ad esso collegati (UNI 4546)

Definizione di misura diretta

Metodo che consente di collegare il segnale di lettura alla misura del misurando senza dover conoscere esplicitamente misure di altri parametri, eccetto quello delle grandezze di influenza (UNI 4546)



Trasduttori (elementi di misura che trasducono il segnale di ingresso in un segnale, in genere, di tipo elettrico), ha prodotto un'estensione del concetto di misura diretta anche a misure in cui la grandezza (misurata mediante una o più trasduzioni), viene direttamente ottenuta secondo una legge di trasduzione nota e costante nel tempo (denominata funzione caratteristica).

Per i trasduttori è possibile definire:

- **misura diretta**, la misura nella quale non è necessario conoscere esplicitamente nessun'altra grandezza al di fuori di quella letta dallo strumento di misura
- **misura indiretta**, invece, la misura nella quale si perviene al risultato mediante relazioni di calcolo che presuppongono una misura diretta di due o più parametri (UNI 4546).



Esempi di misure dirette:

- ✚ la misura di lunghezza mediante un'asta graduata;
- ✚ la misura della massa mediante una bilancia a molla (misura ottenuta tramite la correlazione lineare esistente tra carico e deformazione, in un elemento elastico);
- ✚ la misura della temperatura mediante un termometro a resistenza (misura ottenuta tramite la legge fisica che lega la resistenza elettrica di un metallo alla temperatura, $R=R(T)$).



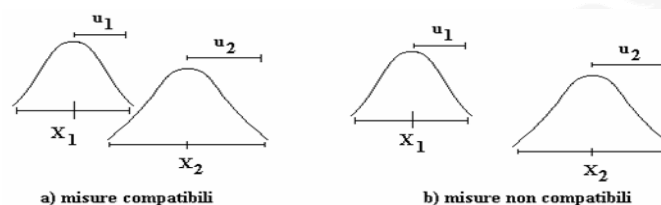
Esempi di misure indirette:

- ✚ la misura della potenza termica, fornita mediante un fluido termovettore ed ottenuta mediante un bilancio di prima legge (i.e. applicando il principio di conservazione dell'energia), tra l'ingresso e l'uscita del fluido nelle tubazioni del circuito idraulico;
- ✚ la misura del rendimento di un impianto termico, mediante il rapporto tra la potenza meccanica (o elettrica) ottenuta e quella termica (o chimica) fornita;
- ✚ la misura della potenza elettrica in un impianto elettrico, mediante la misura della corrente e della tensione.



Si definiscono **compatibili** tra loro solo le misure di un medesimo misurando effettuate in “stati” diversi (diversi operatori con diversi strumenti e metodologie, e in diversi tempi e luoghi) che presentino almeno un elemento della propria fascia di valore in comune.

In sostanza, due misure si definiscono **compatibili** se accade che almeno un elemento della fascia di valori $x \pm u$ in comune



La compatibilità tra due misure diverse consente l'intercambiabilità della strumentazione, degli operatori, delle metodologie di misura; in definitiva consente di :

- ✚ stabilire la correttezza di differenti metodologie di misura (con assegnate incertezze)
- ✚ confrontare in modo quantitativo prodotti di diversi fornitori

Il presupposto per garantire la compatibilità delle misure è:

- ✚ definire univocamente una scala di misura (Sistema Internazionale);
- ✚ realizzare campioni affidabili (mediante gli IMP e confronti naz/internaz.
- ✚ disseminare i campioni sul territorio (sistema SIT in Italia);
- ✚ tarare o verificare periodicamente la strumentazione di misura (mediante i laboratori di misura e di prova che possiedono, o meglio, realizzino *misure riferibili* e cioè riconducibili ai valori dei campioni SI mediante una catena ininterrotta di confronti).



Catena di Misura: I Stadio

*elementi sensibili o **sensori**, che costituiscono il primo elemento in una generica catena di misura, ed il cui ruolo è quello fondamentale di “sentire” la grandezza oggetto della misurazione (**misurando**), trasformandola in un’altra grandezza fisica (**segnale di misura**), più idonea alle successive elaborazioni; il segnale di misura può essere della stessa specie o, più frequentemente, di specie diversa rispetto a quella del misurando: solo in tal caso, il sensore può anche definirsi **trasduttore***

I segnali possono essere di tipo ANALOGICO oppure DIGITALE

N.B. La quasi totalità dei sensori genera un segnale di tipo analogico che solo dopo, nel secondo stadio, tramite opportuni convertitori analogico/digitali (A/D), viene digitalizzato dagli elementi trasformatori.



Il Ruolo del Sensore nella Catena di Misura

- ✚ estrae dal misurando l’informazione sulla grandezza di misura, generando un segnale che verrà, poi, opportunamente elaborato dai successivi stadi
- ✚ riceve in ingresso un segnale che è:
 - legato alla natura ed alla variazione della grandezza fisica di misura,
 - condizionato da altre grandezze caratteristiche del sistema.
- ✚ il sensore dovrebbe essere “sensibile” al solo misurando, ed “indifferente” alle altre grandezze fisiche;
- ✚ nella pratica il sensore genera un segnale che oltre a contenere informazioni quantitative sul misurando, contiene anche gli effetti che alcune grandezze fisiche, più o meno determinabili, hanno sul sensore stesso (*grandezze di influenza*)



La Catena di Misura

Catena di Misura: II Stadio

gli elementi **trasformatori/trasmittitori** il cui ruolo è quello di elaborare il segnale di misura, trasmetterlo all'elemento successivo eventualmente amplificandolo; tali elementi possono essere di tipo meccanico, elettrico ed ottico e talvolta richiedono somministrazione di energia per il funzionamento

Catena di Misura: III Stadio

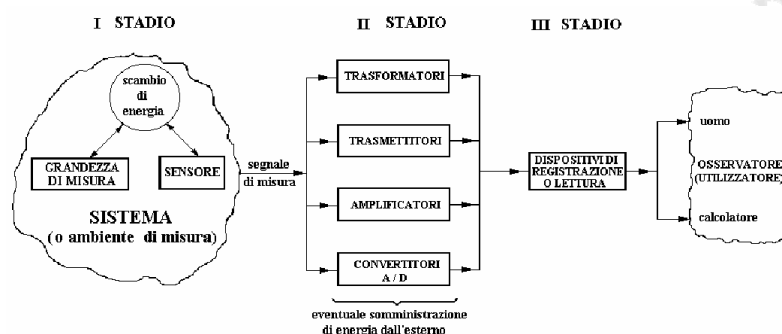
gli elementi **rivelatori/indicatori**, il cui compito è quello di fornire all'utilizzatore (uomo o calcolatore), il valore numerico della misura espresso in opportune unità di misura (è possibile distinguere tra *dispositivi di lettura analogica* - indice mobile su scala graduata - e *dispositivi di lettura digitale*)



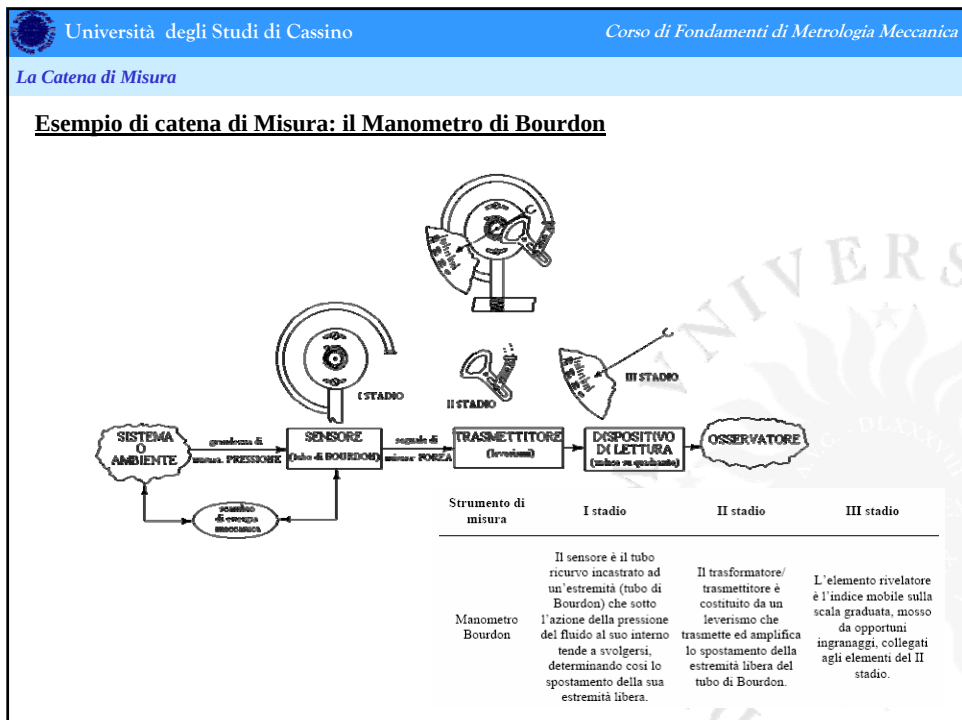
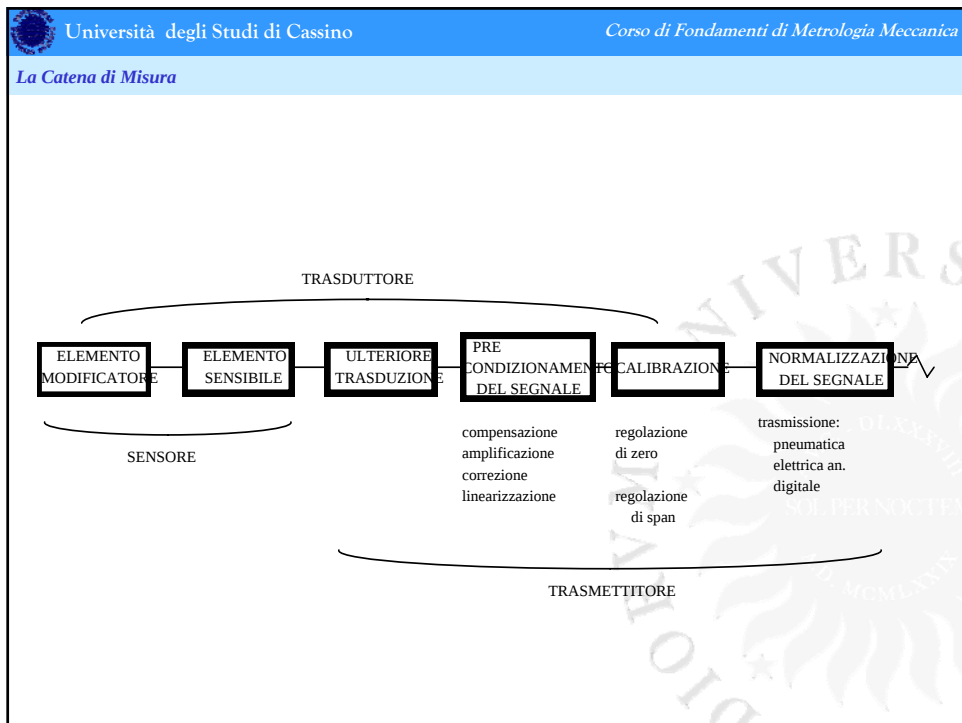
La Catena di misura

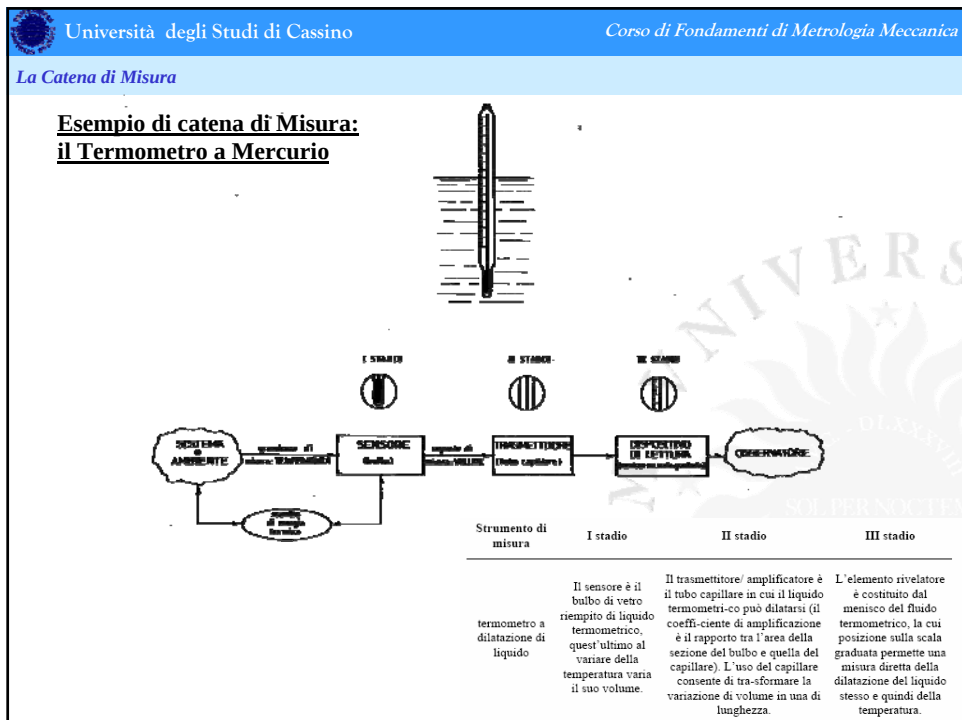
Uno strumento di misura è costituito generalmente da un insieme di elementi che interagiscono tra loro per:

estrarre → **elaborare / trasmettere** → **rilevare / registrare**



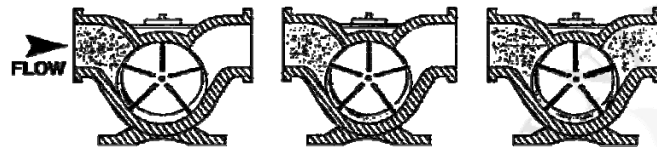
questo è la traduzione operativa di un semplice processo logico sintetizzabile nella rilevazione della grandezza di misura, trattamento e trasformazione dell'informazione, indicazione del risultato della misura.







Esempio di strumento di misura:
il contatore di volumi



Misurando:	Volume di liquido erogato
Uscita:	Numero di giri
Principio di misura:	Volumetrico



Esempio Strumento di misura:
trasmettitore di pressione

Misurando:	Pressione
Uscita:	4..20 mA (corrente)
Principio di misura:	estensimetrico, capacitivo, piezoelettrico, ecc.



Sensori di
pressione



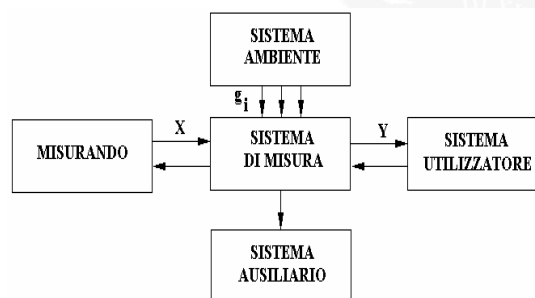
La Catena di Misura

Interazioni di un sistema di misura

- l'interazione tra misurando e catena di misura è bidirezionale (scambio energetico - positivo o negativo - e quindi un'alterazione del valore stesso del misurando nel momento della misura);
- l'interazione tra misurando e sistema utilizzatore è bidirezionale;
- la catena di misura non è avulsa dal contesto in cui misura e quindi sente, oltre che il misurando, altre grandezze che vengono definite come *grandezze di influenza* (g_x);
- la necessità di un sistema ausiliario di alimentazione, controllo o regolazione, introduce un'ulteriore variabilità del risultato della misura, i cui effetti sono assimilabili a quelli di altre grandezze di influenza

La funzione di trasferimento della generica catena di misura, dal punto di vista più generale, dovrebbe essere scritta come segue:

$$y = f(x + g_1 + g_2 + \dots + g_n)$$



Il Sistema Internazionale

➤ **Sistema metrico francese (1789)**

Il 7 aprile 1795 per volere dell'Assemblea Nazionale fu pubblicata la tabella ufficiale del sistema metrico decimale (universalità dell'unità di misura, riproducibilità). Il suo punto di forza è l'introduzione della decimalizzazione dell'unità.

➤ **Trattato della convenzione del metro (1875)**

17 Nazioni aderiscono alla convenzione del sistema metrico (vengono ufficialmente stabiliti come unità di misura metro e grammo) e istituiscono la CGPM

➤ **Sistema Giorgi (1938)**

sistema mks (metro, kilogrammo, secondo)
sistema mksA

➤ **Sistema Internazionale**

Il sistema internazionale nasce dall'esigenza di semplificare gli scambi commerciali e le collaborazioni scientifiche.

In Italia il SI è stato ufficialmente recepito con il decreto legge dell' 11 agosto 1991 n.273



Il Sistema Internazionale



N. 26

MINISTERO DELL'INDUSTRIA
DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

DECRETO MINISTERIALE 30 novembre 1993, n. 591.

Regolamento concernente la determinazione dei campioni nazionali di talune unità di misura del Sistema internazionale (SI) in attuazione dell'art. 3 della legge 11 agosto 1991, n. 273.



Il Sistema Internazionale

Proprietà del Sistema Internazionale di Unità di Misura

assolutezza	campione scelto sulla base di leggi universali della fisica, ovvero non dipendente dai particolari materiali utilizzati;
universalità	campione accettato da tutti
riproducibilità	campione realizzabile in luoghi e tempi diversi senza differenze significative;
stabilità	campioni stabili, cioè connessi a fenomeni o grandezze fisiche inalterabili nel tempo;
praticità	grandezze fondamentali con senso fisico immediato
coerenza	una qualsiasi unità dovrebbe poter essere espressa come:

$$g_{SI} = m^a kg^b s^c A^d K^e cd^f mol^g$$

indipendenza	con $a, b, \dots$ coeff. intero, (nullo, positivo o negativo) delle grandezze fondamentali; altre grandezze derivate dalle relazioni fisiche o geometriche (es. lunghezza/superficie);
uniformità	scale di misura uniformi, possibilità di ricavare il valore di un qualunque intervallo mediante due letture lungo la scala.



Il Sistema Internazionale

Le sette grandezze fondamentali del Sistema Internazionale

Grandezza	Nome	Simbolo
Lunghezza	metro	m
Massa	kilogrammo	kg
Tempo	secondo	s
Intensità di corrente elettrica	ampere	A
Temperatura termodinamica	kelvin	K
Intensità luminosa	candela	cd
Quantità di sostanza	mole	mol



Il Sistema Internazionale

Definizione dei Campioni del Sistema Internazionale

unità fondamentali		Descrizione campione
Nome	simbolo	
metro	m	pari a $1\,650\,763.73$ lunghezze d'onda nel vuoto della radiazione corrispondente alla traslazione tra i livelli $2p_{10}$ e $5d_5$ dell'atomo di cripto 86
kilogrammo	kg	pari alla massa del prototipo internazionale del kilogrammo
secondo	s	pari alla durata di $9\,192\,631\,770$ periodi della radiazione corrispondente alla transizione fra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133
ampere	A	pari ad una intensità di corrente costante che, mantenuta in due conduttori paralleli rettilinei di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile, posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro nel vuoto, produrrebbe fra questi conduttori una forza uguale a $2 \cdot 10^{-7}$ N su ogni metro di lunghezza
kelvin	K	pari alla frazione $1/273.16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua
candela	cd	pari alla radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz emessa in una assegnata direzione e di intensità energetica pari a $1/683$ W/sr
mole	mol	pari alla quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0.012 kg di carbonio 12

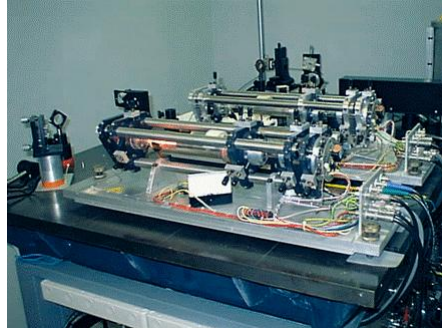
*Il Sistema Internazionale***Lunghezza: metro (m)**

Il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di $1/299792458$ di secondo.

La velocità della luce nel vuoto è per definizione:

$$c_0 = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Il campione nazionale è realizzato presso l'IMGC-CNR mediante laser elio-neon stabilizzati per riferimento a transizioni della molecola dello iodio. Il valore della lunghezza d'onda ($\lambda = 632,99139822 \text{ nm}$) è ricavato da una misura di frequenza rispetto al campione di tempo in base alla relazione $\lambda = c_0/f$, con un'incertezza tipo relativa di $2,5 \cdot 10^{-11}$.

*Il Sistema Internazionale***Massa: kilogrammo (kg)**

Il kilogrammo è l'unità di massa; esso è uguale alla massa del prototipo Internazionale.

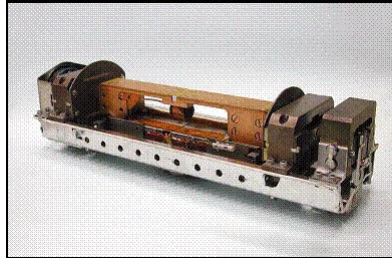
Nota: Il prototipo è costituito da un cilindro di platino-iridio di altezza uguale al diametro conservato presso il BIPM. Per motivi di stabilità a lungo termine è auspicabile un prossimo collegamento dell'unità di massa con le costanti fondamentali e atomiche.

Il campione nazionale è la copia n. 62 del prototipo internazionale conservato presso l'IMGC, con il suo testimone n. 76. Presso il Ministero Attività Produttive esistono anche le copie n. 5 e n. 19 denominate rispettivamente Prototipo nazionale del primo e del secondo ordine, impiegati in metrologia legale.





Il Sistema Internazionale

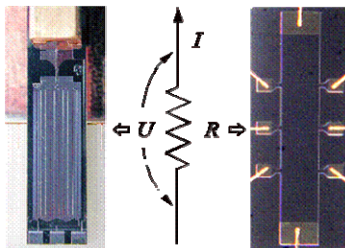
**Tempo: secondo (s)**

Il secondo è la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.

La scala di tempo nazionale è derivata presso l'IEN da un insieme di orologi atomici al cesio indipendenti ed è controllata via satellite con le scale tempo degli altri Paesi. Essa è mantenuta entro ± 100 ns rispetto al riferimento internazionale UTC (Unified Time Coordinated). L'unità di tempo è realizzata presso l'IEN con una incertezza tipo relativa di 1×10^{-13} .



Il Sistema Internazionale

**Corrente elettrica: ampere (A)**

L'ampere è quella corrente costante che, mantenuta in due conduttori paralleli, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti nel vuoto alla distanza di un metro l'uno dall'altro, eserciterebbe tra i due conduttori la forza di 2×10^{-7} newton per ogni metro di lunghezza.

Questa definizione fissa la permeabilità magnetica nel vuoto al valore

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}.$$

L'unità di corrente è derivata presso lo IEN dal campione nazionale di corrente elettrica (schiera di giunzioni Josephson) e di resistenza elettrica (dispositivo per l'effetto Hall quantistico). La derivazione avviene secondo la relazione $I = U/R$ tra la corrente elettrica I , la tensione U che essa produce attraversando una resistenza R e la stessa resistenza. L'incertezza tipo relativa è di 5×10^{-7} .



Il Sistema Internazionale

Temperatura termodinamica: kelvin (K)

Il kelvin è la frazione $1/273,16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.

Nota: la temperatura termodinamica oltre che in kelvin (K), può essere espressa nell'unità grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$). La relazione tra la temperatura espressa in $^{\circ}\text{C}$ (simbolo t) e la temperatura in kelvin (simbolo T) è:

$$t / ^{\circ}\text{C} = T / \text{K} - 273,15$$

Il punto triplo dell'acqua è realizzato all'IMGC con una incertezza tipo relativa di 3×10^{-7} . La Scala di Temperatura Internazionale del 1990 (STI 90) che definisce sia le Temperature Internazionali kelvin, simbolo T_{90} , che le Temperature Internazionali Celsius, simbolo t_{90} , è realizzata nell'intervallo da 25 K a 3000 K utilizzando 12 punti fissi e due tipi di termometri campione, a resistenza elettrica di platino tra 25 K e 1235 K ed a radiazione tra 1235 K e 3000 K.



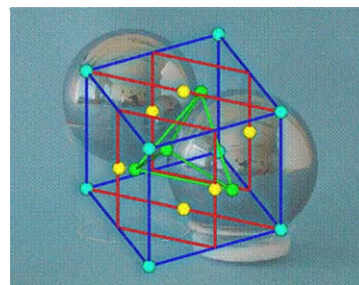
Il Sistema Internazionale

Quantità di sostanza: mole (mol)

La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi contenuti in 0,012 kg di carbonio 12.

Quando si usa la mole, le entità elementari devono essere specificate, e possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle o gruppi di particelle. Nota: è inteso che in questa definizione si fa riferimento ad atomi di carbonio 12 non legati, a riposo e nello stato fondamentale.

Il numero di entità fondamentali contenuti in una mole corrisponde alla “costante di Avogadro” che è stata determinata anche presso l'IMGC da misure di massa volumica e di costante reticolare (interferometria a raggi X) su monocristalli di silicio molto puro. La costante di Avogadro, $N_A = 6,022\,141\,99 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ è nota con incertezza tipo relativa di $7,9 \times 10^{-8}$ (CODATA 1998).

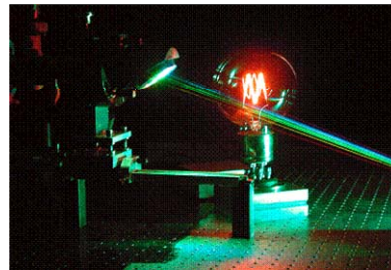




Il Sistema Internazionale

Intensità luminosa: candela (cd)

La candela è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza 540×10^{12} hertz e la cui intensità energetica in quella direzione è pari a $1/683$ watt allo steradiano. L'unità di intensità luminosa è realizzata presso l'IEN per derivazione dal campione nazionale di tensione elettrica e di resistenza elettrica mediante un radiometro assoluto; essa è conservata mediante un gruppo di lampade di corrente costante. L'incertezza tipo relativa è di 5×10^{-3} per intensità luminosa da 100 a 500 cd.



Il Sistema Internazionale

Unità derivate del Sistema Internazionale

Grandezza derivata	Nome	Simbolo	In unità fondamentali SI	In unità derivate SI
angolo piano	radiante	rad	$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$	
angolo solido	steradiano	sr	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$	
temperatura Celsius	grado Celsius	°C	K	
frequenza	hertz	Hz	s^{-1}	
forza	newton	N	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	
pressione	pascal	Pa	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
energia	joule	J	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{N} \cdot \text{m}$
potenza	watt	W	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$
carica elettrica	coulomb	C	$\text{A} \cdot \text{s}$	
potenziale elettrico	volt	V	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{W} \cdot \text{A}^{-1}$
capacità elettrica	farad	F	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$	$\text{C} \cdot \text{V}^{-1}$
resistenza elettrica	ohm	Ω	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$	$\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$
conduttanza elettrica	siemens	S	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$	$\text{A} \cdot \text{V}^{-1}$
flusso induzione magn.	weber	Wb	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{V} \cdot \text{s}$
induzione magnetica	tesla	T	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$
induttanza e mutua ind.	henry	H	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$	$\text{Wb} \cdot \text{A}^{-1}$
flusso luminoso	lumen	lm	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{cd} = \text{cd}$	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
illuminamento	lux	lx	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{cd} = \text{m}^{-2} \cdot \text{cd}$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$
attività (sorgente radioat.)	becquerel	Bq	s^{-1}	
dose assorbita	gray	Gy	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
equivalente di dose assor.	sievert	Sv	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

**Multipli e Sottomultipli**

Fattore moltiplicativo	Prefisso	Simbolo	Fattore moltiplicativo	Prefisso	Simbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	etto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	yocto	y

**Alcune Regole del SI**

- punto a mezz'altezza o di uno spazio per indicare unità derivate ottenute dal prodotto di altre unità (es. N . m o N m)
- barra obliqua, orizzontale o esponenti negativi per indicare unità derivate ottenute dal rapporto di altre unità (es. m/s o m . s⁻¹);
- forme esponenziali per indicare unità derivate ottenute dal rapporto o dal prodotto di altre unità ogni volta che possano generarsi ambiguità (es. m . s⁻¹ . A⁻¹ non m/s. A)
- spazio tra numero e unità;
- nessuno spazio tra prefisso e simbolo della unità;
- non utilizzare simboli composti di più prefissi (es. 1 nm, e non 1 mmm);
- scrittura per esteso dei prefissi e dei simboli, quando questi non sono accompagnati dal valore numerico, risultato di una misura;
- iniziale minuscola per le unità caratterizzate da un nome proprio (es. joule, watt, ecc.) iniziale maiuscola quando di tali unità si adotti il simbolo (es. J, W, ecc.);
- uso fattore moltiplicativo più opportuno, al fine di ridurre il numero delle cifre significative (es. 3.63 mm e non 0.00363 mm);
- uso del plurale per le sole unità fondamentali SI: metro, secondo, grammo, candela, radiante, steradiano e relativi multipli.



Il Sistema Nazionale di Taratura

Il Sistema Nazionale di Taratura (SNT) è stato istituito dalla legge n. 273 del 1991

Esso è costituito dagli Istituti Metrologici Primari (INRIM, INMRI/ENEA) e dai Centri di Taratura accreditati SIT

Gli Istituti Metrologici realizzano, conservano e disseminano i campioni delle unità di misura del Sistema SI

La disseminazione può essere effettuata direttamente dagli Istituti Metrologici o indirettamente, tramite i Centri di Taratura SIT



Il Sistema Nazionale di Taratura

LEGGE 11 agosto 1991 N. 273

IL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA

Promulga

la seguente legge:

Art. 1

Sistema nazionale di taratura

1 Il sistema nazionale di taratura è costituito dagli istituti metrologici primari e dai centri di taratura e ha il compito di assicurare la riferibilità ai campioni nazionali dei risultati delle misurazioni.



LEGGE 11 agosto 1991 N. 273

Art. 4

Centri di taratura

1 I centri di taratura sono costituiti da laboratori di idonea valenza tecnica e organizzativa convenzionati con gli istituti metrologici primari per l'effettuazione della taratura degli strumenti di misura sulla base di campioni secondari confrontati periodicamente con i campioni nazionali.

2 Il Ministro dell'industria del commercio e dell'artigianato d'intesa con il Ministro dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica, dispone annualmente la pubblicazione nella *Gazzetta Ufficiale* dell'elenco dei centri di taratura convenzionali



Riferibilità:

proprietà del risultato di una misurazione consistente nel poterlo riferire a campioni appropriati, generalmente nazionali od internazionali, attraverso una catena ininterrotta di confronti, **tutti con incertezza dichiarata.**

[VIM, 6.10]

