

Misurare per conoscere il modo fisico

“You Only Know What You Measure”

Quando puoi misurare ciò di cui stai parlando, ed esprimerlo in numeri, tu conosci qualcosa su di esso; ma quando non puoi misurarlo, quando non puoi esprimerlo in numeri, la tua conoscenza è scarsa e insoddisfacente: può essere l'inizio della conoscenza, ma nei tuoi pensieri, sei avanzato poco sulla via della scienza.”

William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907)

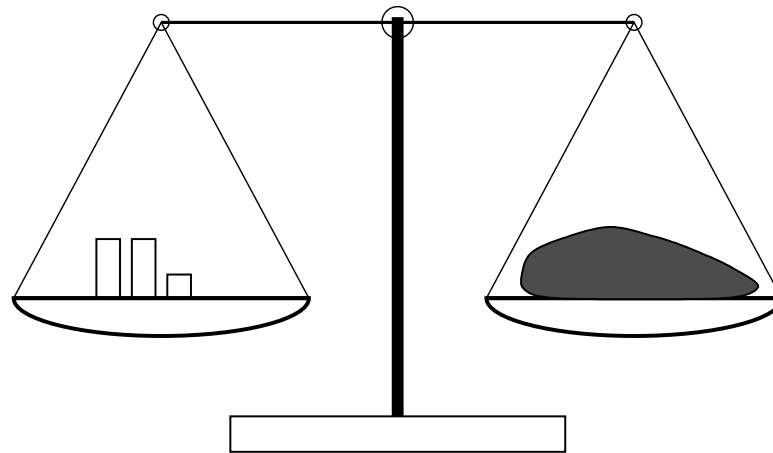
Misurare per controllare

Nei sistemi di controllo si misura una grandezza per controllarla

Misurare

Il processo di Misura:

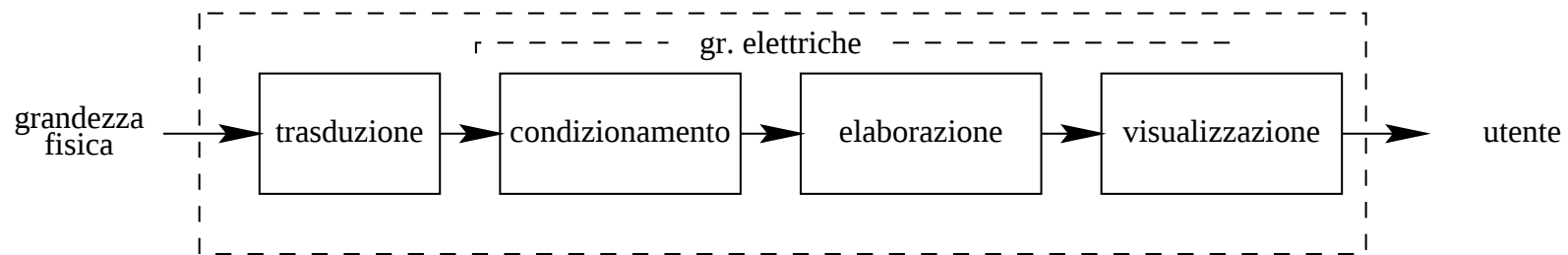
Confrontare una quantità incognita con una (assunta) nota.



- l'**Unità di Misura**: permette di esprimere numericamente il risultato della misura.
- il confronto avviene con uno **Standard**, noto con “precisione”

Misure Elettriche ed Elettroniche

- Misura di grandezze elettriche
- Misura di grandezze fisiche diverse (temperatura, pressione, forza, frequenza di vibrazione di un'asta ...), mediante conversione in **grandezze elettriche**.

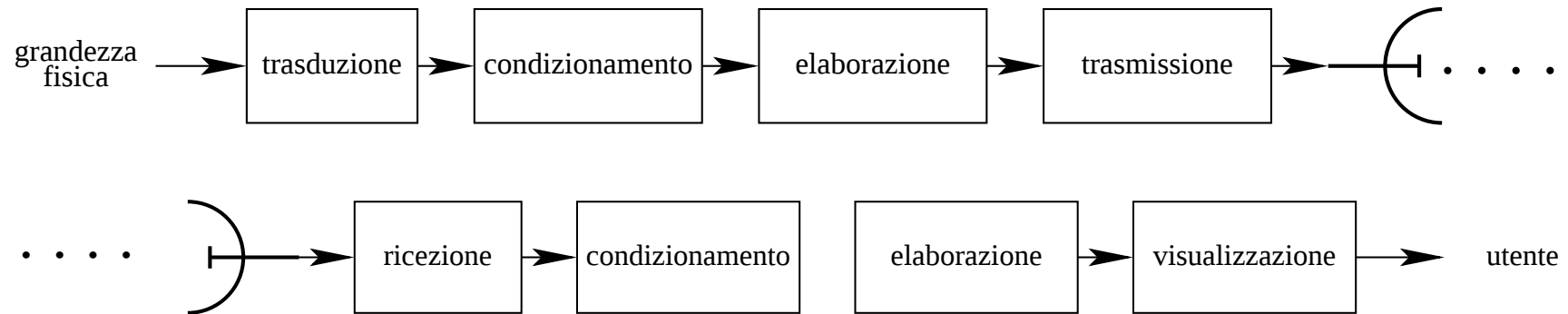


Perché grandezze elettriche? Perché l'elettronica?

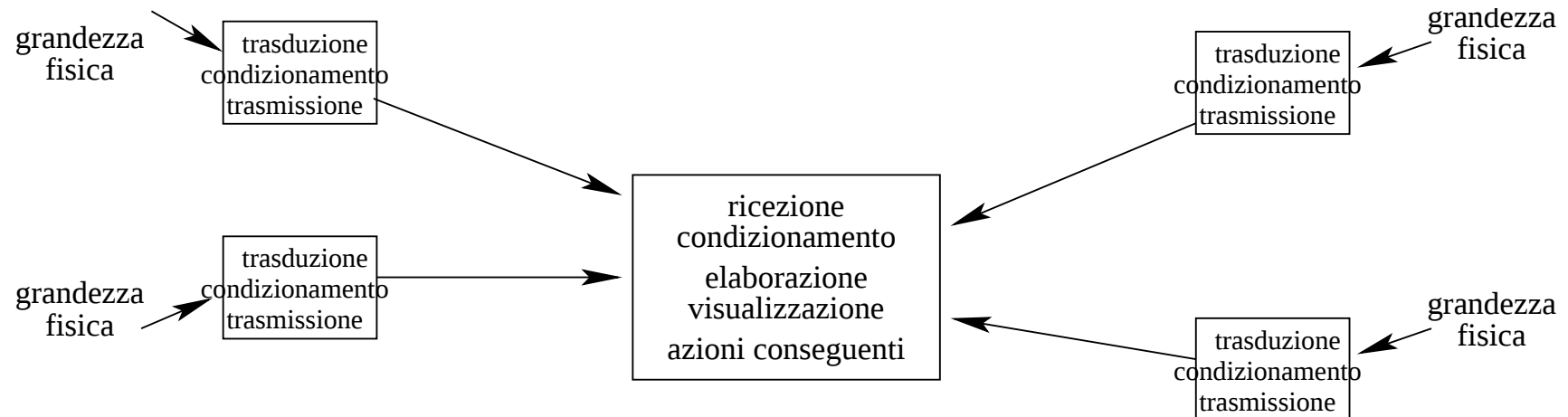
- Elevata velocità, elevata affidabilità;
- Possibilità di trasmettere, memorizzare, elaborare **per via elettronica** i risultati delle misure.
- Possibilità di **automatizzare** le misure.
- ...

Sistema di misura

Sistemi di misura “distribuiti”



reti di sensori ...



Strumenti di misura

Classificazione degli Strumenti di Misura:

- **S. Passivi:** sottraggono al sistema sotto misura l'energia necessaria per la misura;
 - ☹ Non richiedono alimentazione
 - ☹ Possono perturbare il sistema!
 - **S. Attivi:** forniscono essi stessi l'energia necessaria per la misura;
 - ☹ Non “caricano” il sistema
 - ☹ Richiedono alimentazione!
- ◆◆◆
- **S. stimolatori:** forniscono al sistema stimoli necessari per effettuare misure.
 - **S. composti:** forniscono stimoli e rilevano effetti.
 - **S. a bilanciamento:** verificano assenza di scambio di energia

Errori

Ogni misura è affetta da un certo errore!

- **Errori sistematici:**

- dipendono dal sistema (strumento, collegamenti, indicatore ...)
- generalmente costanti (o poco variabili)
- es.: scala, *offset*, carico, ecc.

- **Errori occasionali (o casuali):** dovuti a cause accidentali

- rumore: fluttuazioni delle grandezze (elettriche) in gioco;
- interferenze: campi elettrici e magnetici, vibrazioni meccaniche, fluttuazioni termiche, umidità ...

- **(Errori grossolani:) ... da evitare**

⚠ Determinati errori possono essere previsti
e i relativi effetti possono essere conosciuti (o almeno stimati)

⇒ contromisure e possibilità di correggere gli errori (almeno parzialmente)

Misure ed Errori

Errore: differenza tra il valore rilevato dall'operatore e il valore vero.

$$\epsilon = v_{mis} - v_{vero}$$

Errore relativo: $\epsilon_r = \frac{v_{mis} - v_{vero}}{v_{vero}}$ (anche $|\cdot|$)

Errore percentuale: $\epsilon_{\%} = 100 \frac{v_{mis} - v_{vero}}{v_{vero}}$ (anche $|\cdot|$)

Accuratezza: errore (max) che è lecito aspettarsi
(con un certo strumento, un certo metodo, ecc.)

$$|\epsilon| \leq Acc$$

Definizioni (1)

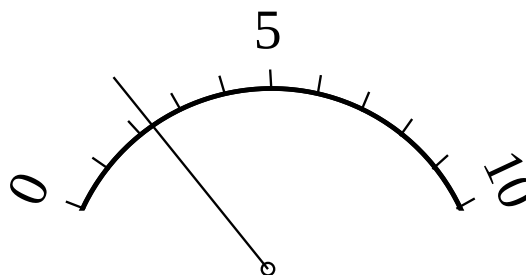
Accuratezza di uno strumento (o sistema):

è una misura dell'errore che si commette usando lo strumento

– generalmente espressa in percentuale del fondo scala.

acc. = 5 % (classe 5)

errore di 0.5 V



$$v_{mis} = 2.3 \text{ V}$$

$$v_{vero} \in (1.8, 2.8 \text{ V})$$

– o in funzione della lettura: $(\% \text{ lettura}) + \text{offset}$

88.8

$$876 \text{ mV} + 40 \text{ mV} = 916 \text{ mV}$$

$$acc. = 1\% \text{ lett.} + 40 \text{ mV}$$

$$V_v = 87.6 \text{ V} \pm 916 \text{ mV}$$

– o in funzione del fondo scala: $(\% \text{ f.s.}) + \text{offset}$

– o come: $(\% \text{ f.s.}) + n \times \text{cifra meno significativa (LSD)}$

– o in parti per milione (ppm) $(1 \text{ ppm} = 10^{-6}x)$.

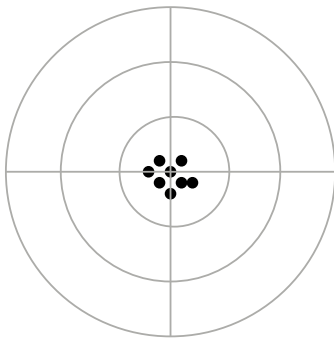
Definizioni (2)

Precisione:

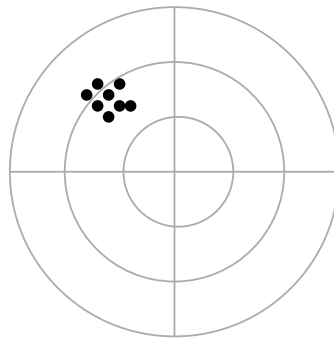
È un indicatore della ripetibilità della misura.

Un sistema di misura *preciso* fornirebbe sempre lo stesso valore per la stessa grandezza.

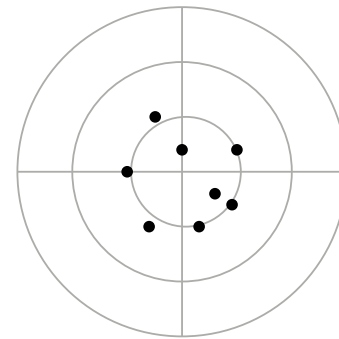
Misure ripetute della stessa grandezza forniscono invece valori più o meno dispersi.



accurato e preciso



preciso, ma non accurato

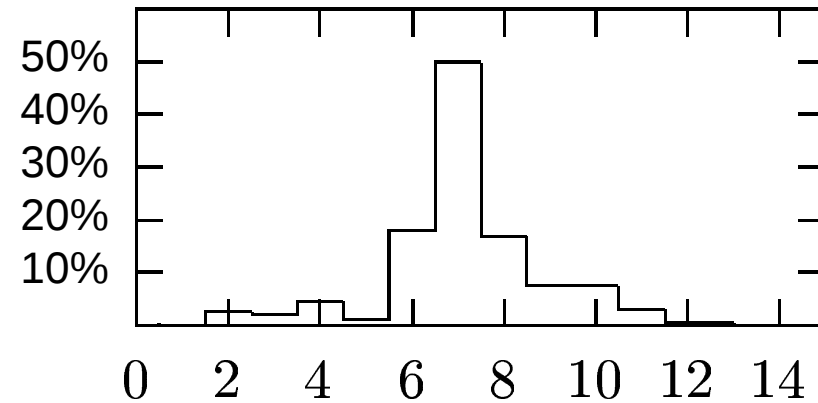
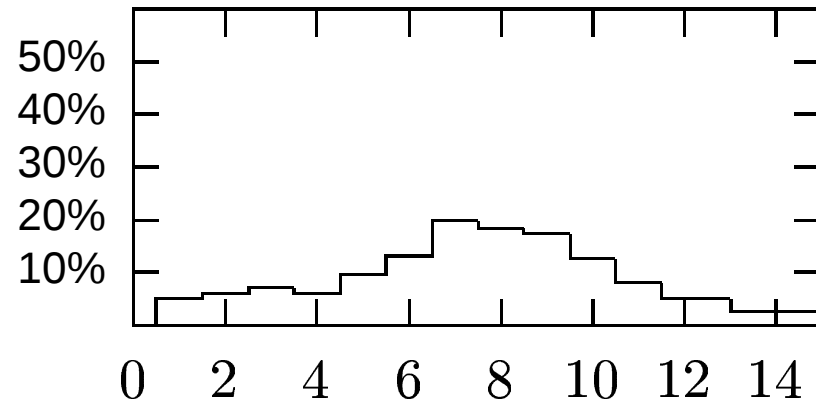


accurato, ma non preciso



Definizioni (3)

Misure ripetute, diagramma della frequenza di presentazione dei risultati:



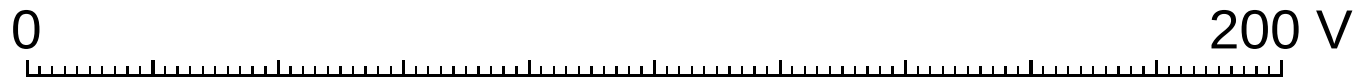
$$P(x_i) = 1 - \frac{|x_i - \bar{X}|}{|\bar{X}|}, \quad (i - \text{esima di } n \text{ prove})$$

$P(x) \leq 1$ se i risultati non sono troppo dispersi.

Definizioni (4)

Risoluzione

minima variazione della quantità da misurare che produce una variazione *percettibile* della lettura



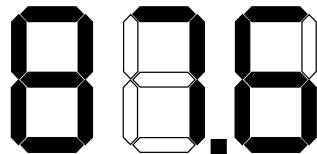
$$100 \text{ div} \Leftrightarrow 200 \text{ V}$$

$$10 \text{ div} \Leftrightarrow 20 \text{ V}$$

$$1 \text{ div} \Leftrightarrow 2 \text{ V}$$

$$0.1 \text{ div} \Leftrightarrow 0.2 \text{ V} \quad ???$$

⚠ Dipende dalle caratteristiche dello strumento (prima che dal *display*).



max. lettura: 99.9 (100) V

risoluzione: 100 mV

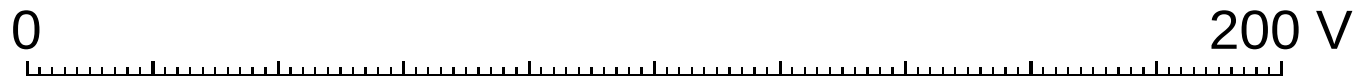
(o 1 parte su 100)

Definizioni (5)

Sensitività (sensibilità):

Esprime il più piccolo segnale che lo strumento è in grado di rilevare.
È normalmente riferita alla portata più bassa.

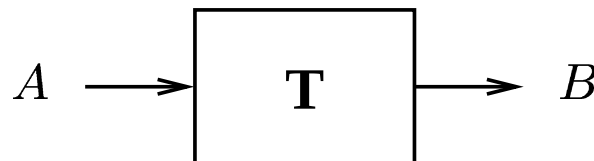
- Esprime anche il rapporto tra l'indicazione e la sollecitazione



$$\frac{100 \text{ div}}{200 \text{ V}} = \frac{1 \text{ div}}{2 \text{ V}}$$

Nell'oscilloscopio: sensibilità verticale = 20 V/div.

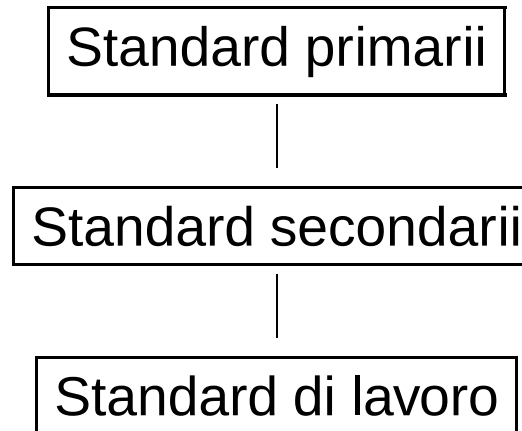
- Nei trasduttori:



$$S = \frac{dB}{dA}$$

Standard

Campioni di grandezze fisiche, assunti come riferimento



- primari: incertezza tipica bassa (es. tempo: 10^{-12})
- secondari (es. tempo: 10^{-9})
- di lavoro
- campioni materiali (es. Kg_m)
- campioni basati su esperimenti

Standard

Organismi per la definizione degli standard:

- **BIPM**: Bureau International des Poids et Mesures (Sèvres, Parigi)
- **NIST**(1901): National Institute of Standards and Technology (USA)
- **I.N.RI.M.**(2006): Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (I)
- **National Physical Laboratory** (UK)

Unità di misura - Sistema Internazionale

Unità principali		
lunghezza	metro	m
massa	kilogrammo	kg
tempo	secondo	s
corrente elettrica	ampère	A
temperatura	kelvin	K
intensità luminosa	candela	cd
quantità di sostanza	mole	mol
Unità supplementari		
angolo piano	radiante	rad
angolo solido	steradiano	sr

Unità di misura (2)

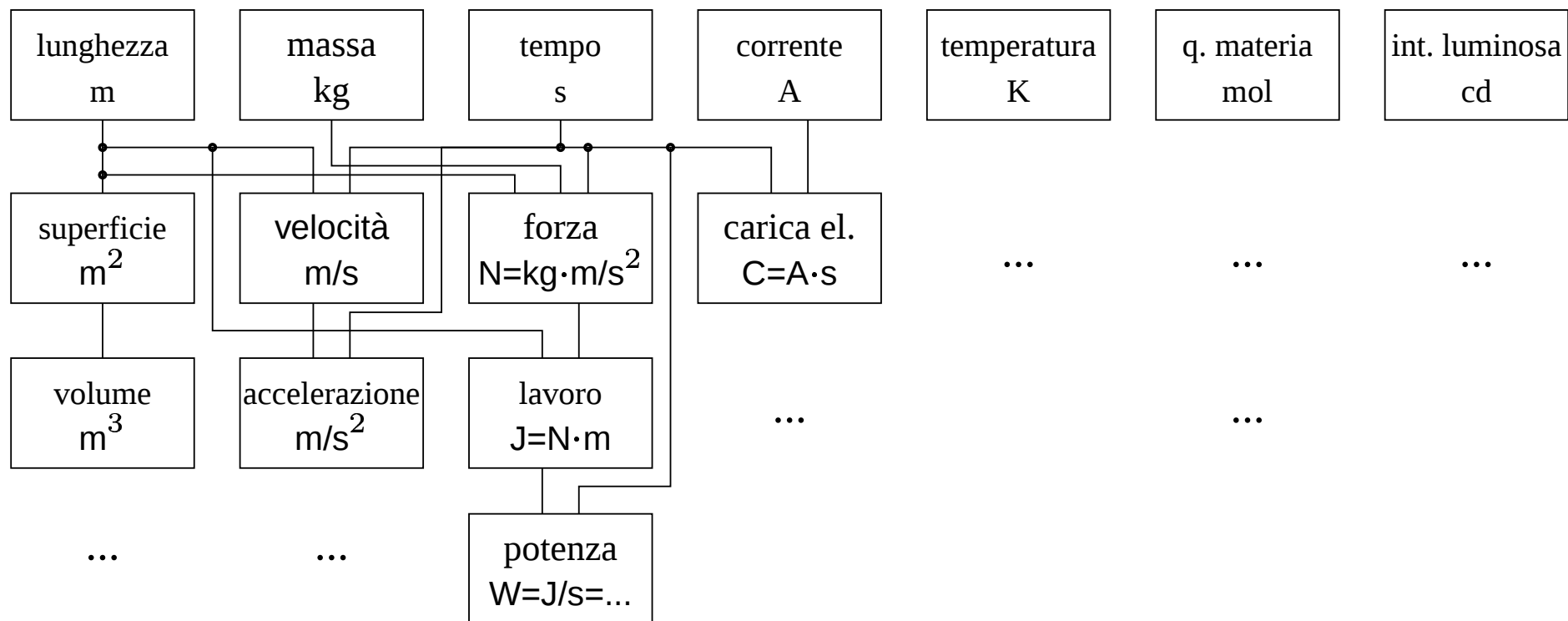
Unità derivate			
superficie	metro quadrato	m^2	$\text{m} \times \text{m}$
forza	newton	N	$\text{kg} \times \text{m} \times \text{s}^{-2}$
energia (lavoro)	joule	J	$\text{N} \times \text{m}$
potenza	watt	W	J / s
carica elettrica	coulomb	C	$\text{A} \times \text{s}$
tensione	volt	V	W / A
capacità	farad	F	$\text{A} \times \text{s} / \text{V}$
...	...	...	...

Nella pratica si usano multipli e sottomultipli

Gli organismi di standardizzazione prescrivono l'uso di multipli secondo potenze del 10 di ordine $3n$ (es.: $10^3, 10^6, 10^9, 10^{-3}, 10^{-6}, 10^{-9} \dots$)

Unità di misura - 3

- unità principali
- unità derivate



Unità di misura - 4

Prefissi:

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

(*) sconsigliato dagli organismi di unificazione.

Standard - 1

- standard prototipo (kg massa)
- standard assoluti o intrinseci: ricavabili dalla loro definizione

metro: 1.650.763,73 lunghezze d'onda della radiazione nel vuoto corrispondente alla transizione tra i livelli 2_{p10} e 5_{d5} di Kr_{86} , eccitato a 63.15 K.

kilogrammo^[*]: prototipo.

secondo: 9.192.631.770 periodi della radiazione emessa dal Cs_{133} nella transizione ...

ampère^[*]: corrente costante che, mantenuta in due conduttori rettilinei di lunghezza infinita e sezione trascurabile, posti alla distanza di un metro nel vuoto, produce una forza, tra i due, pari a 2×10^{-7} N per metro di lunghezza.

Standard - 2

kelvin^[*]: frazione $1/273.16$ della temperatura del punto triplo dell'acqua.

candela: intensità luminosa, in direzione perpendicolare, di una superficie di $1/600.000 \text{ m}^2$ del corpo nero ...

radiante: angolo piano sotteso da un arco di circonferenza di lunghezza pari al raggio.

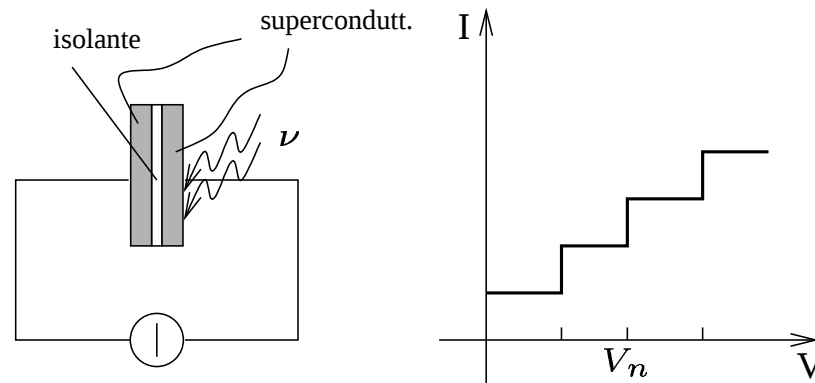
steradiano: angolo solido sotteso dalla superficie sferica di area pari al quadrato del raggio.

* una nuova definizione è prevista per l'anno 2011.

Standard per grandezze elettriche

tensione (Volt):

- cella di Weston (C: pasta di Hg_2SO_4 su Hg, A: amalgama Cd/Hg, sol. CdSO_4)
 - fornisce 1.01830 V a 20 °C *a vuoto*
 - difficoltà di trasporto
 - controllo della temperatura
 - attualmente è uno standard secondario
- riferimenti a stato solido
 - Effetto Josephson: (1962)

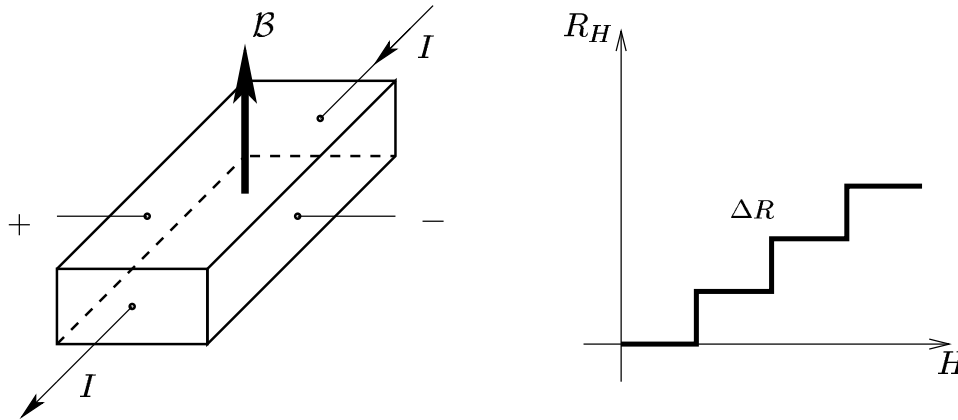


$$V_n = n\nu \frac{h}{2e} \quad \text{es. : } \nu = 96 \text{ GHz}, n = 250, V_n = 49.6 \text{ mV} \quad (\rightarrow \text{giunzioni in serie})$$

Standard per grandezze elettriche - 2

resistenza (Ohm):

- Effetto Hall quantistico (1879, 1980):



$$R_H = \frac{V_H}{I} = \frac{h}{e^2} n$$

- Standard di lavoro:
 - resistori a filo avvolto, con basso coefficiente termico, mantenuti al riparo dall'umidità;
 - resistori a decadi.

Standard per grandezze elettriche - 3

capacità (farad):

- condensatori campione
condensatori a facce piane e parallele:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

- Condensatori campione fissi (10 pF $\rightarrow$ 1 μ F)
- Condensatori a decadi

induttanza (henry):

- non esiste standard vero e proprio
- è consigliata misura mediante ponte e confronto con capacità e resistenza standard.
- esistono standard di lavoro (100 μ H $\rightarrow$ 10 H)

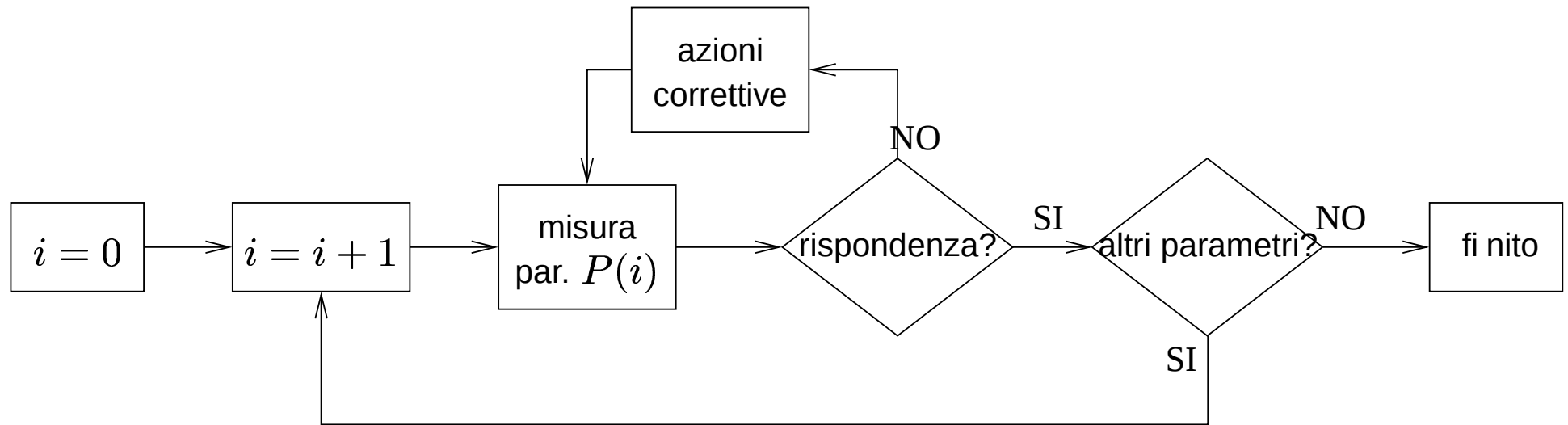
Calibrazione

- Procedura con cui periodicamente un sistema di misura viene confrontato con uno standard di accuratezza nota.
- Si effettua anche in sistemi diversi da s.m.;
es.: revisioni.
- È una verifica di rispondenza a specifiche con azioni correttive
- Garantisce il funzionamento corretto per un certo periodo dopo la calibrazione purché il sistema sia utilizzato correttamente.
- Periodicità legata al tipo di apparato o di impiego, talvolta prevista per legge.
- Comporta costi diretti e indiretti.

Scopo: far sì che lo strumento sia in accordo con un certo riferimento.

(cioè *funzioni “correttamente”*).

Calibrazione

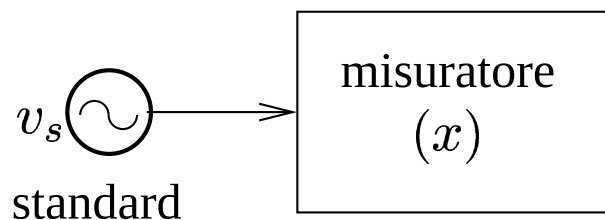


(Schema semplificato)

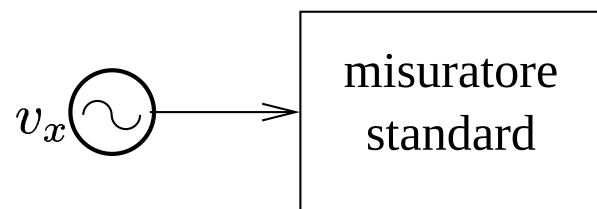
Calibrazione

Metodi di calibrazione:

- confronto diretto

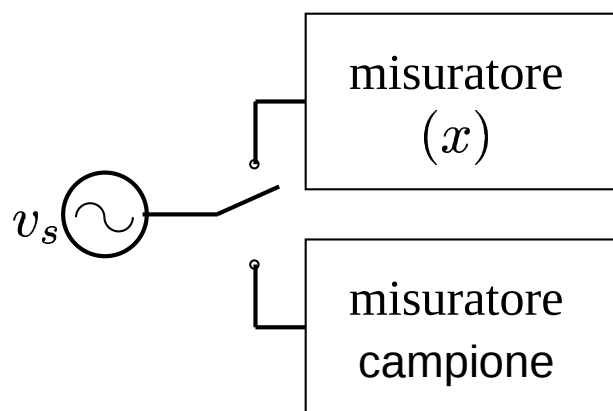


misuratore

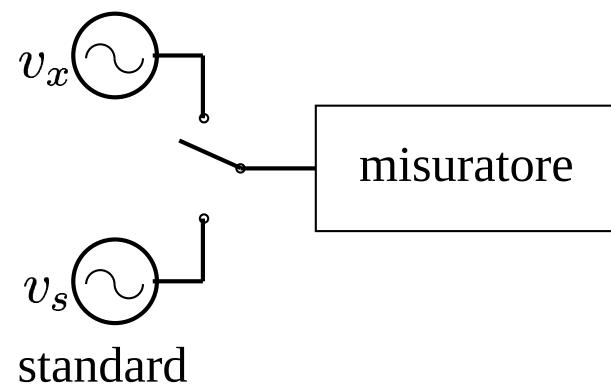


sorgente

- confronto indiretto



misuratore



sorgente

Calibrazione

Il rapporto dai calibrazione attesta l'avvenuta calibrazione, riportando:

- data e luogo
- operatore/i
- strumenti utilizzati
- risultati ottenuti
- tracciabilità

HEWLETT PACKARD				
DD MM YY				BY
CAL	30	05	96	E.L.
DUE				