

# Corso di Misure Elettroniche

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica  
Facoltà di Ingegneria - Università del Sannio

*Docente Prof. P. Daponte*

## Il Sistema Internazionale delle Unità di Misura

# SI

# Un po' di definizioni...

- **Grandezza** (misurabile):  
Attributo di un fenomeno od una sostanza distinguibile qualitativamente e determinabile quantitativamente.
- Si dicono **omologhe** grandezze della stessa natura, cioè grandezze che possono essere ordinate secondo valori crescenti o decrescenti e quindi confrontate direttamente fra loro.
- Il **valore** di una grandezza viene espresso mediante un'unità di misura ed un numero che rappresenta il rapporto tra la grandezza stessa e l'unità.
- Il **risultato di una misura** consiste nell'assegnare al misurando il suo valore (e la relativa incertezza).

# Cos'è un sistema di unità di misura?

- Un **Sistema** è un insieme di grandezze tra le quali esistono delle relazioni definite.
- Le **grandezze fondamentali** di un sistema sono in un insieme di grandezze convenzionalmente accettate come indipendenti.
- Le altre, esprimibili attraverso le precedenti, si dicono **grandezze derivate**.
- Particolari grandezze possono essere adottate convenzionalmente come **Unità di Misura** per grandezze omologhe.

# Perché un sistema di unità?

- Perché sia possibile ottenere misure **compatibili** operando ovunque nel mondo.
- I risultati di misura devono poter essere **riferibili** a campioni di unità di misura riconosciuti nel contesto più ampio possibile.

# Perché un sistema di unità?

- Accordo tra Paesi (piano diplomatico).
- Possibilità di impiegare oggetti o apparecchi (campioni) che si possano confrontare facilmente (piano tecnico/scientifico).

# Il Sistema Internazionale

- Una sola unità di misura per ciascuna grandezza fisica.
- Sistema **assoluto, completo, coerente, razionalizzato, decimale.**
- Una sola scala di multipli e sottomultipli per ciascuna unità di misura.

# Il Sistema Internazionale

## Cenni storici

- 1875 ratifica della Convenzione del Metro da parte di 17 Stati  
(nasce la Conference Generale des Poids et Mesures - CGPM)
- 1960 il SI viene adottato ufficialmente dalla 11<sup>a</sup> CGPM
- 1977 aderisce la Cina, portando gli stati a 47

.....

- 1984 Norma CNR-UNI 10003
- 1993 D.M. 591 (definisce i campioni e le unità fondamentali e derivate)

# Il Sistema Internazionale

## Unità fondamentali

metro	m	lunghezza
kilogrammo	kg	massa
secondo	s	tempo
ampere	A	corrente elettrica
kelvin	K	temperatura
mole	mol	quantità di sostanza
candela	cd	intensità luminosa

# Il Sistema Internazionale

## Unità supplementari

Radiante	rad	Angolo piano
Steradiante	sr	Angolo solido

Le unità supplementari sono  
adimensionate

# Il Sistema Internazionale

## Unità derivate

Esempi:

newton	N	$\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$	forza
watt	W	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$	potenza
metro quadro		$\text{m}^2$	area
metro al secondo		$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	velocità

In generale:

$$\text{Unità SI} = \text{m}^{\alpha_1} \cdot \text{kg}^{\alpha_2} \cdot \text{s}^{\alpha_3} \cdot \text{A}^{\alpha_4} \cdot \text{K}^{\alpha_5} \cdot \text{cd}^{\alpha_6} \cdot \\ \cdot \text{mol}^{\alpha_7} \cdot \text{rad}^{\alpha_8} \cdot \text{sr}^{\alpha_9}$$

$\alpha_i$  può solo assumere valori interi

# Il Sistema Internazionale

La **compatibilità** delle misure è assicurata soltanto se il sistema di misura presso ogni laboratorio presenta una continua **riferibilità** ad un unico sistema di riferimento

- Comité International des Poids et Mesures (CIPM)
- Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)
- Istituti Metrologici Nazionali

# Il Sistema Internazionale

- Comité International des Poids et Mesures (CIPM)

Organo tecnico/scientifico che prepara le riunioni della CGPM.

Ha compiti di supervisione del BIPM.

Ha insediato comitati consultivi su materie specifiche. (il CCE, ad esempio, si occupa delle unità elettriche)

# Il Sistema Internazionale

- Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)

E' responsabile della unificazione delle misure di grandezze fisiche.

Deve realizzare campioni e scale di misura.

Deve conservare i campioni.

Deve organizzare confronti internazionali.

Eseguire e coordinare la determinazione delle costanti fisiche di interesse in metrologia (ad es.  $\mu_0$ , c)

# Il Sistema Internazionale

- Istituti Metrologici Nazionali

Realizzano e conservano i campioni nazionali.

Svolgono attività di ricerca nell'ambito della metrologia e di sostegno all'industria nazionale.

Mantengono i collegamenti con gli organismi internazionali.

# Il Sistema Internazionale

## **Istituti Metrologici Nazionali**

- Istituto Nazionale di Metrologia del CNR Gustavo Colonnetti – **IMGC**: unità di massa, temperatura, lunghezza, forza
- Istituto Elettrotecnico Nazionale (**IEN**) Galileo Ferraris: unità elettriche, fotometriche, di tempo e frequenza
- Ente per le Nuove tecnologie l'Energia e l'Ambiente – **ENEA**: radiazioni ionizzanti

# Il Sistema Internazionale

Come è possibile garantire la riferibilità ad un unico sistema di riferimento?

- Definizione
- Realizzazione
- Riproduzione
- Mantenimento (o conservazione)
- Disseminazione

# Le unità di misura del SI

Le definizioni delle u.m.

fondamentali sono raggruppate in tre categorie, a seconda che siano riferite:

- Ad un prototipo (kg, mol)
- Alla caratteristica di un fenomeno o uno stato fisico (s, K, cd)
- A costanti fisiche fondamentali (m, A)

# Le unità di misura del SI

Unità di massa: **kilogrammo**

## **Definizione**

Il kilogrammo è la massa del prototipo internazionale conservato presso il BIPM

## **Realizzazione**

Campione materiale

## **Conservazione**

IMGC

## **Instabilità temporale relativa**

Nell'ordine di  $10^{-9}$

# Le unità di misura del SI

Unità di quantità di sostanza: **mole**

## **Definizione**

La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0.012 kg di carbonio 12

## **Realizzazione**

Non esiste un campione di mole ma si fa riferimento a materiali di concentrazione nota e certificata (materiali di riferimento)

## **Osservazioni**

- 1) La definizione di mole è riferita al kg
- 2) Il numero di entità elementari contenuto in una mole è circa  $6.022 \cdot 10^{23}$

# Le unità di misura del SI

Unità di tempo: **secondo**

## **Definizione**

Il secondo è l'intervallo di tempo che contiene 9 192 631 770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di Cesio 133

## **Realizzazione**

Orologio atomico a fascio di cesio

## **Conservazione**

IEN

## **Incertezza**

$\pm 3 \cdot 10^{-13}$

# Le unità di misura del SI

Unità di temperatura: **kelvin**

## **Definizione**

Il kelvin è la frazione  $1/273.16$  della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua

## **Realizzazione**

Termometri campione, punti fissi di temperatura ed equazioni di interpolazione

## **Conservazione**

IMGC

## **Incertezza**

$\pm 1 \cdot 10^{-4}$

# Le unità di misura del SI

Unità di intensità luminosa:  
**candela**

## **Definizione**

La candela è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente monocromatica di frequenza  $540 \cdot 10^{12}$  Hz e la cui intensità energetica in quella direzione è  $1/683$  watt/sr

## **Osservazione**

La definizione di candela dipende da quelle di m, kg, s, sr

# Le unità di misura del SI

Unità di lunghezza: **metro**

## **Definizione**

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

## **Realizzazione**

Laser elio-neon stabilizzati i frequenza

## **Conservazione**

IMGC

## **Incertezza**

$\pm 3.4 \cdot 10^{-10}$

# Le unità di misura del SI

Unità di corrente elettrica: **ampere**

## **Definizione**

L'ampere è l'intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile, e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro, nel vuoto, produrrebbe tra i due conduttori una forza di  $2 \cdot 10^{-7}$  newton su ogni metro di lunghezza

## **Osservazioni**

1. Non è possibile applicare alla lettera la definizione
2. La definizione di ampere dipende da quelle di m, s, kg

# Le unità di misura del SI

Unità di corrente elettrica: **ampere**

## **Realizzazione**

Bilancia di corrente

## **Conservazione**

Non è possibile conservare campioni  
dell'ampere

## **Incertezza**

Nell'ordine di  $10^{-7}$

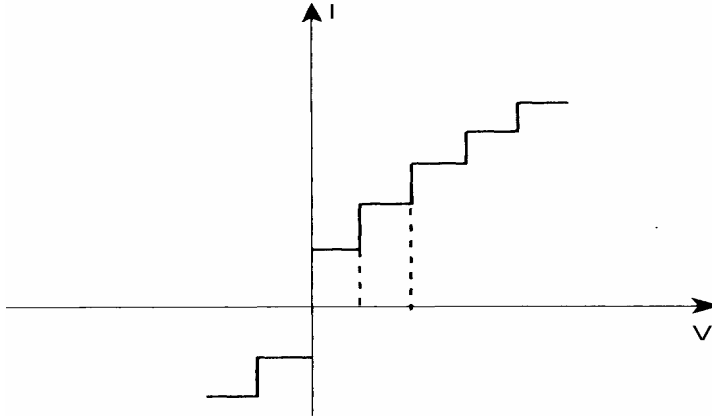
La relazione  $F = \mu_0 (I^2 \cdot l) / (2\pi \cdot a)$  fissa il  
valore della costante  $\mu_0$  a  $4\pi \cdot 10^{-7}$

# Alcune unità derivate di tipo elettrico

volt	V	$W \cdot A^{-1}$	differenza di potenziale
ohm	$\Omega$	$V \cdot A^{-1}$	resistenza
farad	F	$s \cdot A \cdot V^{-1}$	capacità

Il campione di ampere non si può conservare ma i campioni di volt, ohm e farad si!

# Effetto Josephson



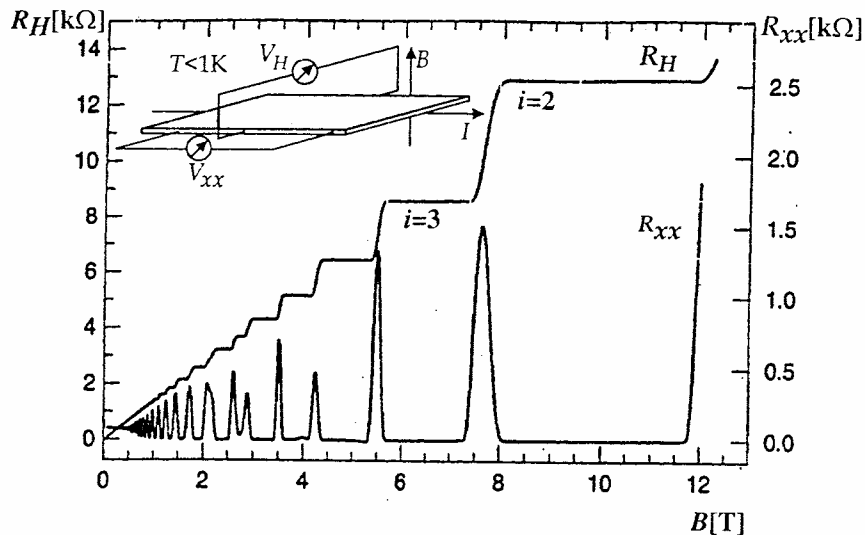
Ai capi di una giunzione di due superconduttori debolmente accoppiati, polarizzata con una corrente continua ed irradiata da un'onda elettromagnetica a frequenza  $f$ , si generano valori quantizzati di tensione secondo la relazione  $V = (h/2e) \cdot n \cdot f$  con  $n$  intero.

$2e/h = 483.5979$  THz/V con un'incertezza relativa di  $4 \cdot 10^{-7}$ .

Mettendo in serie migliaia di giunzioni si arriva a valori che vanno da 1 a 10V.

L'effetto Josephson garantisce una riproducibilità nell'ordine di  $10^{-8}$

# Effetto Hall quantizzato

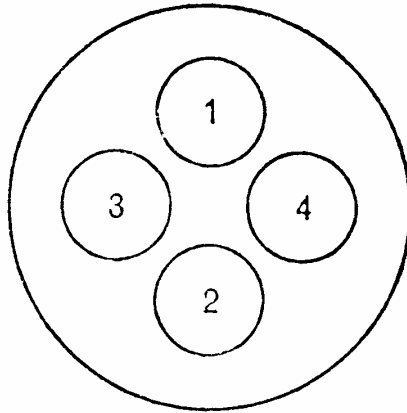


La resistenza dovuta all'effetto Hall in un gas elettronico bidimensionale in presenza di elevati livelli di induzione magnetica ( $B \cong 10$  T) e basse temperature ( $T \cong 1$  K) assume valori discreti secondo la relazione  $R_H = h/(n \cdot e^2)$  con  $n$  intero.

$h/e^2 = 25812.807 \Omega$  con un'incertezza relativa di  $2 \cdot 10^{-7}$ .

L'effetto Hall quantizzato garantisce una riproducibilità nell'ordine di  $10^{-9}$ .

# Condensatore calcolabile



Se la capacità  $C_a$  fra gli elettrodi 1 e 2 e la capacità  $C_b$  fra gli elettrodi 3 e 4 sono uguali, per il teorema di Lampard la capacità fra due elettrodi opposti vale:

$$C_0 = \varepsilon_0 \cdot \ln 2 / \pi = 1.95354849 \text{ pF/m}$$

se gli altri due sono collegati fra di loro.

Tale valore è indipendente dalla sezione degli elettrodi purchè siano a simmetria cilindrica.

# Le unità di misura del SI

Unità di angolo piano: **radiante**

## **Definizione**

Il radiante è l'angolo piano al centro che su una circonferenza intercetta un arco di lunghezza uguale a quella del raggio

Unità di angolo solido: **steradiano**

## **Definizione**

Lo steradiano è l'angolo solido al centro che su una sfera intercetta una calotta di area uguale a quella del quadrato il cui lato ha la lunghezza del raggio

# Le unità di misura del SI

La tendenza è quella di definire le u.m. rispetto a fenomeni e costanti fisici

Le u.m. effettivamente indipendenti sono tre: kg, s, K

Vengono fissate tre costanti fondamentali:

$$c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$$

$$N_A = 6.02214199 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

# Disseminazione

- Campioni primari (es. riferimenti di tensione ad effetto Josephson)
- Campioni secondari (es. pile Weston, diodi Zener)
- Campioni di lavoro di prima linea (calibratori)
- Campioni di lavoro di seconda linea

Ogni strumento di misura contiene un campione di riferimento, quindi va periodicamente tarato con uno di precisione migliore.

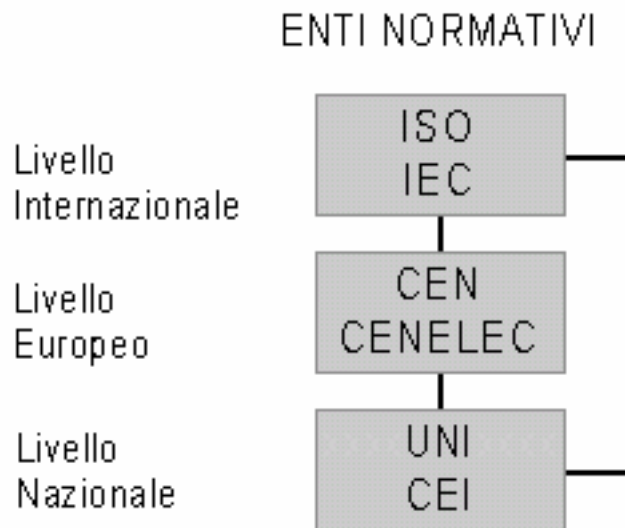
L'organismo nazionale che si occupa di questo è il Servizio di Taratura in Italia, attraverso i centri SIT

# Prefissi SI

$10^{24}$	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	$\mu$
$10^{12}$	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

(per evitare di scrivere numeri con troppe cifre prive di significato)

# L'organizzazione della metrologia



ISO: International Standard Organisation

IEC: International Electrotechnical  
Commission

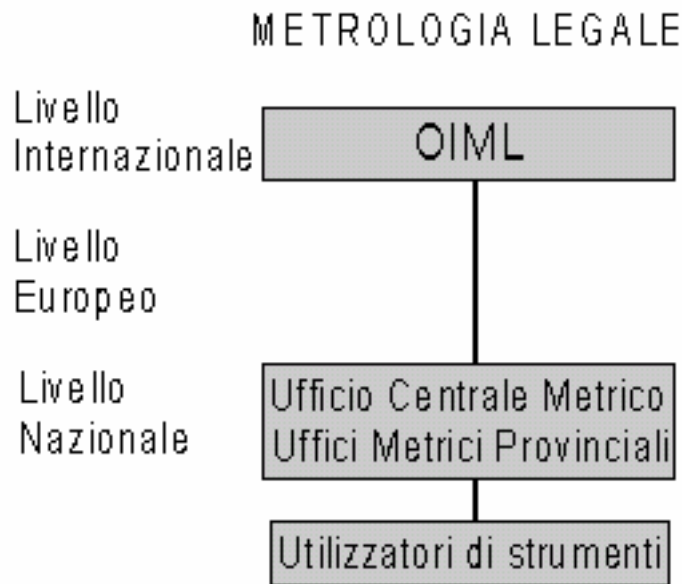
CEN: Commissione Europea di Normazione

CENELEC: Comitato Europeo di  
Normazione Elettrotecnica

UNI: Ente Nazionale di Unificazione

CEI: Comitato Elettrotecnico Italiano

# L'organizzazione della metrologia



OIML: Organizzazione Internazionale di Metrologia Legale

Serve a garantire le transazioni commerciali.

Controlla gli strumenti di misura utilizzati a tal fine (come la bilancia del supermarket ad es.)