

**Note su**  
**dimensioni fisiche**  
**e**  
**sistemi di unità di misura**

## Punto di vista operativo:

La **definizione di una Grandezza Fisica (GF)** è data soltanto quando vengono stabiliti i procedimenti necessari per misurare la grandezza stessa.

Questi procedimenti sono l'insieme di operazioni di laboratorio e di calcoli matematici che conducono alla determinazione di un numero riferito a una unità di misura.

Si parla di **GF Fondamentali** e **GF Derivate**.

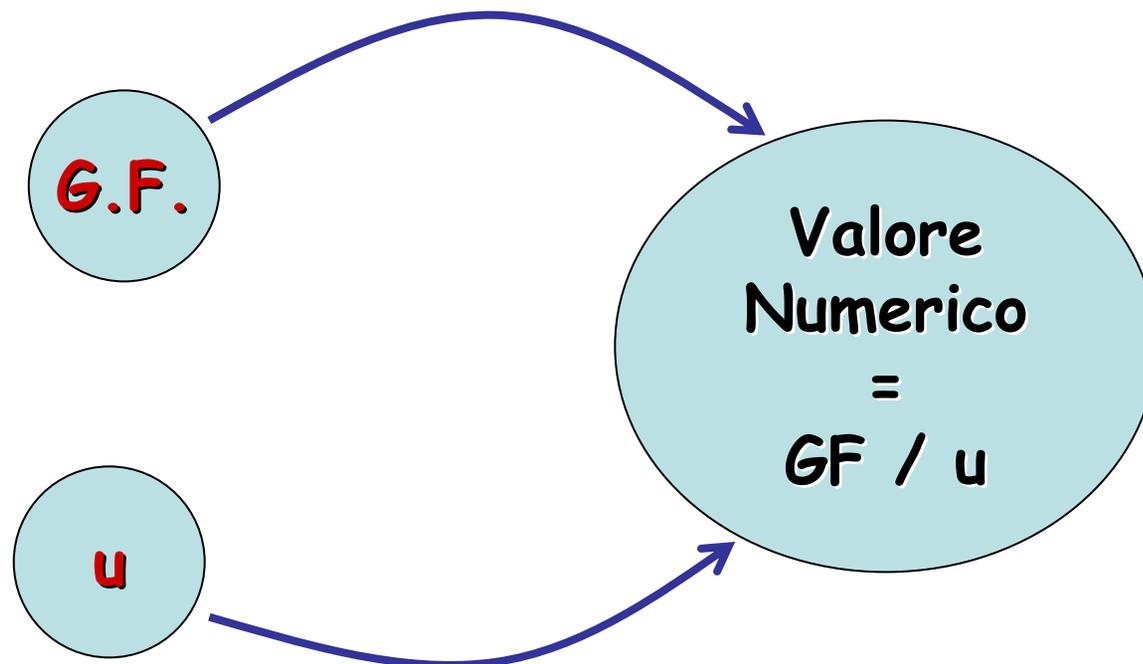
**Per assegnare una misura ad una GF serve definire l'unità di misura (u) della GF.**

Una **unità fondamentale ideale** deve possedere almeno le seguenti **caratteristiche**:

- a) **Precisione;**
- b) **Accessibilità;**
- c) **Riproducibilità;**
- d) **Invariabilità.**

Ad ogni **GF** si deve, almeno in linea di principio, poter associare un **valore numerico** in modo **univoco** ed **oggettivo, riproducibile** nelle stesse condizioni da parte di **qualsiasi osservatore**.

Il valore numerico e' ottenuto tramite il rapporto tra la **GF** e l'unita' di misura (**u**) utilizzata per essa.



Nel caso delle **misure indirette di GF** non si misura specificatamente la grandezza che interessa, ma si misurano direttamente altre GF che sono però legate a quella che ci interessa tramite una specifica relazione funzionale (equazione, formula,...).

... la misura indiretta viene anche denominata **misura assoluta** in quanto **non richiede di fissare un campione di misura** della grandezza da misurare poiché l'unità di misura dipende dalle unità scelte per le grandezze misurate direttamente.

... La **velocità di una automobile** si può valutare sia direttamente tramite un "tachimetro", sia indirettamente misurando gli spazi percorsi ed i relativi tempi impiegati, dai quali si risale alla velocità media con una operazione matematica.

Per tutte le **grandezze geometriche o meccaniche** sarebbe possibile scegliere arbitrariamente una corrispondente unità di misura, **senza tenere conto delle relazioni che legano le varie grandezze tra di loro**. Le formule sarebbero meno chiare dovendovi comparire anche dei fattori numerici.

→ La condizione essenziale alla quale una qualunque **unità di misura** scelta deve soddisfare è quella di **rimanere costante in ogni luogo e in ogni tempo**.

→ L'insieme delle unità di misura scelte forma un **sistema di unità**. Tra tutti i possibili sistemi di unità di misura conviene preferire quello che fa dipendere le unità delle varie grandezze dal minor numero di unità arbitrarie indipendenti possibili. Infatti, il **sistema metrico decimale** fa dipendere dalla unità lineare "metro" le altre per la misura delle superfici e dei volumi. Al contrario, il **sistema di unità usato dai Romani** era basato sulle unità "piede", "jugero" e "anfora" per lunghezza, superficie e volume.

Lunghezza

1 piede = 0.2957 m

**sistema di unità usato dai Romani**

Superficie

1 jugero = 220 piedi x 120 piedi = 26400 piedi<sup>2</sup> = 2308.38 m<sup>2</sup>

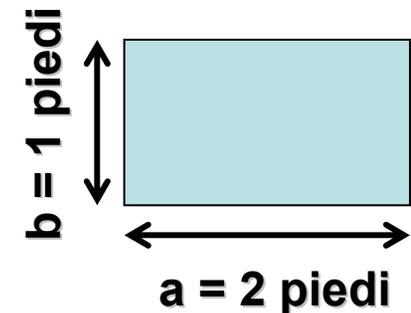
Volume

1 anfora = 1 piede<sup>3</sup> = 0.02586 m<sup>3</sup> = 25.86 litri

[1 m<sup>3</sup> = 10<sup>3</sup> litri]

$$\begin{aligned} \rightarrow S_{\text{jugero}} &= k \times a_{\text{piede}} \times b_{\text{piede}} = \\ &= (1/26400) \times 2 \times 1 \text{ jugeri} = \\ &= 75.758 \times 10^{-6} \text{ jugeri} = \\ &= 0.174877 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow S_{\text{m}^2} &= a_m \times b_m = \\ &= 2 \times 0.2957 \times 1 \times 0.2957 \text{ m}^2 = \\ &= 0.174877 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



Le **equazioni dimensionali** discendono da una **notazione** dovuta a **Maxwell**. Esse mostrano la dipendenza di una qualunque unità derivata dalle unità fondamentali.

Per esempio, la grandezza velocità è legata alle grandezze lunghezza e tempo dalla relazione  $v = ds/dt$  e quindi l'espressione della grandezza velocità  $[v]$  è funzione omogenea di grado +1 rispetto alla grandezza lunghezza  $[L]$  ed è funzione omogenea di grado -1 rispetto alla grandezza tempo  $[T]$ .

$$[v] = [L]/[T] = [L] [T]^{-1}$$

→ Definendo come fondamentali le grandezze "lunghezza" e "tempo" è possibile dedurre da esse l'unità velocità, come quella di un mobile che percorra l'unità di lunghezza nell'unità di tempo.

Dal **principio di omogeneità** discende che le equazioni dimensionali permettono di verificare se una Qualunque equazione sia fisicamente corretta.

→ Non ha alcun significato confrontare due grandezze che non possiedono le stesse dimensioni fisiche, ovvero che non siano omogenee.

$$T = f(l, g) = ??$$

$$\rightarrow [T] = [L]^a \times [g]^b = [L]^a \times [L \times T^{-2}]^b = [L]^{(a+b)} \times [T]^{(-2b)}$$

$$\begin{array}{lcl} [T] & : & 1 = -2b \quad \rightarrow b = -1/2 \\ [L] & : & 0 = a + b \quad \rightarrow a = -b = +1/2 \end{array}$$

$$\rightarrow T = K (l/g)^{1/2} \text{ con } k \text{ numero puro} \quad (\dots k = 2\pi)$$

- **Verificare la correttezza dimensionale** della seguente equazione:

$$sv = s_0 at + v_0^2 t + \frac{1}{2} at^3$$

- Ove  $s, s_0$  sono lunghezze;  $v, v_0$  velocità;  $t$  tempo,  $a$  accelerazione.

$$\rightarrow [sv] = [L] [LT^{-1}] = [L]^2 [T]^{-1}$$

$$\rightarrow [s_0 at] = [L] [LT^{-2}] [T] = [L]^2 [T]^{-1}$$

$$\rightarrow [v^2 t] = [L^2 T^{-2}] [T] = [L]^2 [T]^{-1}$$

$$\rightarrow [(1/2) a t^3] = [L] [T]^{-2} [T]^3 = [L] [T]$$

... NO!

# Riflessioni sui cambiamenti delle unità per le misure di grandezze derivate

(caso di misure indirette o misure assolute)

... note le leggi e le procedure di misura

**CUBO:** misura relativa per il volume  $V$  e per lo spigolo  $L$

cubo n.1       $\rightarrow$        $V1$       ;       $L1$

cubo n.2       $\rightarrow$        $V2$       ;       $L2$

... sperimentalmente  $\rightarrow (V1 / V2) = (L1 / L2)^3$

... paragonando tra loro grandezze omogenee,  
i rapporti saranno indipendenti dalla scelta fatta  
delle unità di misura per volumi e per spigoli

$\rightarrow (V1 / (L1)^3) = (V2 / (L2)^3) \rightarrow V_{\text{cubo}} = K_c \times L^3$

...  $K_c$  dipenderà dalla scelta delle unità di misura

**CUBO:** ...

$$\rightarrow ( V1 / (L1)^3 ) = ( V2 / (L2)^3 ) \rightarrow V_{cubo} = K_c \times L^3$$

... **K<sub>c</sub>** costante sperimentale per tutti i cubi

... **K<sub>c</sub>** dipenderà dalla scelta arbitraria fatta per le unità di misura di volume e di spigolo

**TRADIZIONALMENTE** la lunghezza viene considerata come una delle Grandezze Fondamentali e conseguentemente la Unità di Volume dei CUBI potrebbe essere scelta liberamente, per consuetudine ...

$$K_c = 1 \rightarrow V_{cubo} = L^3$$

**SFERA:** misura relativa per il volume  $V$  e per il diametro  $D$

sfera n.1  $\rightarrow$   $V1$  ;  $D1$

sfera n.2  $\rightarrow$   $V2$  ;  $D2$

... sperimentalmente  $\rightarrow (V1 / V2) = (D1 / D2)^3$

... paragonando tra loro grandezze omogenee,  
i rapporti saranno indipendenti dalla scelta fatta  
delle unità di misura per volumi e per diametri

$\rightarrow (V1 / (D1)^3) = (V2 / (D2)^3) \rightarrow V = Ks \times D^3$

...  $Ks$  dipenderà dalla scelta delle unità di misura

## Alcuni dei possibili criteri di scelta per la costante $K_s$ :

1) Stessa unità per le misure relative dei volumi  
(cubo, sfera) e mantenimento della scelta  $K_c = 1$   
in modo che  $V_c = L^3$ .

... dall'esperienza  $K_s = \pi / 6$  in modo che:

$$\rightarrow V_s = K_s \times D^3 = (\pi / 6) \times (2 \times R)^3 = (4 \pi / 3) \times R^3$$

2) Diverse unità per le misure relative dei volumi  
(cubo, sfera) con  $K_c = 1$  in modo che  $V_c = L^3$   
 $K_s = 1$  in modo che  $V_s = D^3$

3) .....

## Sistema di unità di misura:

n	Grandezze Fondamentali	$x_1, x_2, \dots, x_n$
n	Unità di misura per le n GF	$u_1, u_2, \dots, u_n$

$G$  = Grandezza derivata dalle n GF (legge fisica)

$$[G] = [u_1^{\alpha_1}][u_2^{\alpha_2}] \dots [u_n^{\alpha_n}]$$

... n = 3       $x_1 = \text{lunghezza}, x_2 = \text{massa}, x_3 = \text{tempo}$

$$u_1 = \text{m} \quad u_2 = \text{kg} \quad u_3 = \text{s}$$

a = accelerazione       $u_a = 1 \text{ m/s}^2$

$$[a] = [l^1][m^0][t^{-2}]$$

$$u_1 = \text{km} \quad u_2 = \text{kg} \quad u_3 = \text{h}$$

a = accelerazione       $u_a = 1 \text{ km/h}^2 = 7.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$

# Cambiamento delle Grandezze Fondamentali tra 2 sistemi di unità di misura

## 1° Sistema di Unità di misura

$n$  GF FONDAMENTALI  $x_1, x_2, \dots, x_n$

1 GF DERIVATA  $, [G] = [x_1^{\alpha_1}] [x_2^{\alpha_2}] \dots [x_n^{\alpha_n}]$

## 2° Sistema di Unità di misura

$m$  GF FONDAMENTALI  $y_1, y_2, \dots, y_m$

1 GF DERIVATA  $, [G] = [y_1^{\beta_1}] [y_2^{\beta_2}] \dots [y_m^{\beta_m}]$

... le GF  $x_k$ , fondamentali nel 1° sistema di Unità di misura, in generale saranno GF derivate nel 2° sistema di Unità di misura.

$$\begin{cases} [x_1] = [y_1^{\beta_1}] [y_2^{\beta_2}] \dots [y_m^{\beta_m}] \\ [x_2] = [y_1^{\beta_1^2}] [y_2^{\beta_2^2}] \dots [y_m^{\beta_m^2}] \\ \dots \\ [x_n] = [y_1^{\beta_1^n}] [y_2^{\beta_2^n}] \dots [y_m^{\beta_m^n}] \end{cases}$$

$$\begin{aligned} [G] &= [x_1^{\alpha_1}] [x_2^{\alpha_2}] \dots [x_n^{\alpha_n}] = \\ &= \left( [y_1^{\beta_1}] [y_2^{\beta_2}] \dots [y_m^{\beta_m}] \right)^{\alpha_1} \left( [y_1^{\beta_1^2}] [y_2^{\beta_2^2}] \dots [y_m^{\beta_m^2}] \right)^{\alpha_2} \dots \left( [y_1^{\beta_1^n}] [y_2^{\beta_2^n}] \dots [y_m^{\beta_m^n}] \right)^{\alpha_n} = \\ &= [y_1^{\beta_1^1 \alpha_1 + \beta_1^2 \alpha_2 + \dots + \beta_1^n \alpha_n}] [y_2^{\beta_2^1 \alpha_1 + \beta_2^2 \alpha_2 + \dots + \beta_2^n \alpha_n}] \dots [y_m^{\beta_m^1 \alpha_1 + \beta_m^2 \alpha_2 + \dots + \beta_m^n \alpha_n}] \end{aligned}$$

## Esempio: $p = \text{pressione}$

1° Sistema di Unitò di misura

GFF:  $l ; m ; t$

$$\rightarrow [p] = [F] / [S] = [m \ l \ t^{-2}] / [l^2] = [l^{-1}] [m] [t^{-2}]$$

2° Sistema di Unitò di misura

GFF:  $l ; f ; t$

$$\rightarrow [p] = [F] / [S] = [f] / [l^2] = [l^{-2}] [f] [t^0]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [l] = [l] [f^0] [t^0] \\ [m] = [f] / [l \ t^{-2}] = [l^{-1}] [f] [t^2] \\ [t] = [l^0] [f^0] [t] \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} \rightarrow [p] &= [l^{-1}] [m] [t^{-2}] = \\ &= [([l] [f^0] [t^0])^{-1}] [([l^{-1}] [f] [t^2])] [([l^0] [f^0] [t])^{-2}] = [l^{-2}] [f] [t^0] \end{aligned}$$

**SI**

[http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_internazionale\\_di\\_unit%C3%A0\\_di\\_misura](http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_internazionale_di_unit%C3%A0_di_misura)

File:Non-Metric User.svg

File Cronologia del file Pagine che usano questo file Uso globale del file Metadati



Dimensioni di questa anteprima: 800 × 353 pixel. Altra risoluzione: 320 × 141 pixel.

In rosso gli unici tre stati in cui il Sistema Internazionale non è stato adottato come principale o unico sistema di misurazione: gli Stati Uniti d'America, la Liberia e la Birmania

**BIPM**

**B**ureau **I**nternational des **P**oids et **M**esures

<http://www.bipm.org/>

<http://www.bipm.org/en/home/>

**NBS**

**N**ational **B**ureau of **S**tandards ... sostituito da

**NIST**

**N**ational **I**nstitute of **S**tandards and **T**echnology

<http://www.nist.gov/index.html>

**ISO**

**I**nternational **O**rganization of **S**tandardization

<http://www.iso.org/iso/home.html>

**I**stituto **E**lettrotecnico **N**azionale **G.** **F**erraris

**I**stituto di **M**etrologia **G.** **C**olonnetti

}

(Torino)

**U**fficio **M**etrico **M**inistero **I**ndustria

**C**ommercio e **A**rtigianato

}

(Roma)

BIPM: Bureau International des Poids et Mesures (www.bipm.org) - Windows Internet Explorer

http://www.bipm.org/

File Edit View Favorites Tools Help

ARRANGEMENT DU CIPM

- KCDB
- BASE DE DONNÉES DU JCTLM
  - La Convention du Mètre
  - Les comités de la Convention du Mètre
  - Le siège du BIPM
  - Le Système international d'unités (SI) - et le « nouvel SI »...
  - Travaux scientifiques du BIPM
  - Publications du BIPM
  - Informations pratiques
  - Réunions | Liens utiles

CIPM MRA

- BIPM KEY COMPARISON DATABASE
- JCTLM DATABASE
  - The Metre Convention
  - Committee structure of the Metre Convention
  - The BIPM headquarters
  - The International System of Units (SI) - and the "New SI"...
  - Scientific work of the BIPM
  - Publications of the BIPM
  - Practical information
  - Meetings | Useful links

Bureau International des Poids et Mesures

- Version française
- English version
- metrologia

Bienvenue sur le serveur internet du BIPM  
Welcome to the BIPM internet server

UTC Date: Tuesday 29 May  
UTC 08:24:08  
Your estimated transmission delay: 0.09 second(s)

New metrology search engine:

**Sunday 20 May is World Metrology Day!**: This year, the theme is "Metrology for Safety" - a wide-ranging topic but one which concerns everyone in a multitude of situations. We invite you to download the promotional poster and other material from the World Metrology Day website, and to register your own event. - See [www.worldmetrologyday.org](http://www.worldmetrologyday.org)

**New Associate of the CGPM: Oman**: As of 8 May 2012, [Oman](#) is an Associate of the CGPM. - See also: [How to become an Associate](#)

The International System of Units (SI) - and the "New SI"...

In 1960, the 11th General Conference on Weights and Measures adopted the name *Système International d'Unités* (International System of Units) for the recommended practical system of units of measurement.

[http://www.bipm.org/utils/common/pdf/si\\_brochure\\_8.pdf](http://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_brochure_8.pdf)

<http://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>

<http://www.inrim.it/>

[http://www.inrim.it/ldm/cd\\_ldm/allegati/SI\\_internazionale/tutto\\_Si\\_in\\_breve.pdf](http://www.inrim.it/ldm/cd_ldm/allegati/SI_internazionale/tutto_Si_in_breve.pdf)

INRIM - Windows Internet Explorer

http://www.inrim.it/

File Edit View Favorites Tools Help

webmail - INFN Sezione di Ro... INRIM

ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Mobile Mappa sito

L'Istituto Ricerca Eventi Press Area Webmail Servizi interni

Il saluto del Presidente al Personale



L'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM) è un ente pubblico di ricerca, afferente al Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. Si occupa di scienza delle misure e dei materiali, sviluppa tecnologie e dispositivi innovativi. Adempiendo ai suoi compiti di istituto metrologico primario, l'INRIM realizza i campioni primari delle unità di misura fondamentali e derivate del Sistema Internazionale delle unità di misura (SI), ne assicura il mantenimento, partecipa ai confronti internazionali e permette in Italia la riferibilità di ogni misura al SI; rappresenta l'Italia negli organismi metrologici internazionali.

[leggi >](#)

Tempo campione

Ora esatta

Ora legale

Server NTP



Contatti

Indirizzi - Rubrica

INRIM  
Strada delle Cacoe 91  
10135 Torino, ITALY

C.F. / P.IVA : 09261710017

inrim@pec.it

Cerca nel sito

Eventi

In evidenza

Il Tempo della Scienza

La Fisica derivata da principi di Informatica, Giacomo Mauro D'Ariano, 7 giugno 2012

N. 12 concorsi per td, borse e assegni di ricerca



Dati meteo

PowerField Software

nanofacility

Error on page.

Internet 100%

start INRIM - Windows Int... E:\ Microsoft PowerPoint ... Search Desktop 10:40 AM

<http://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>

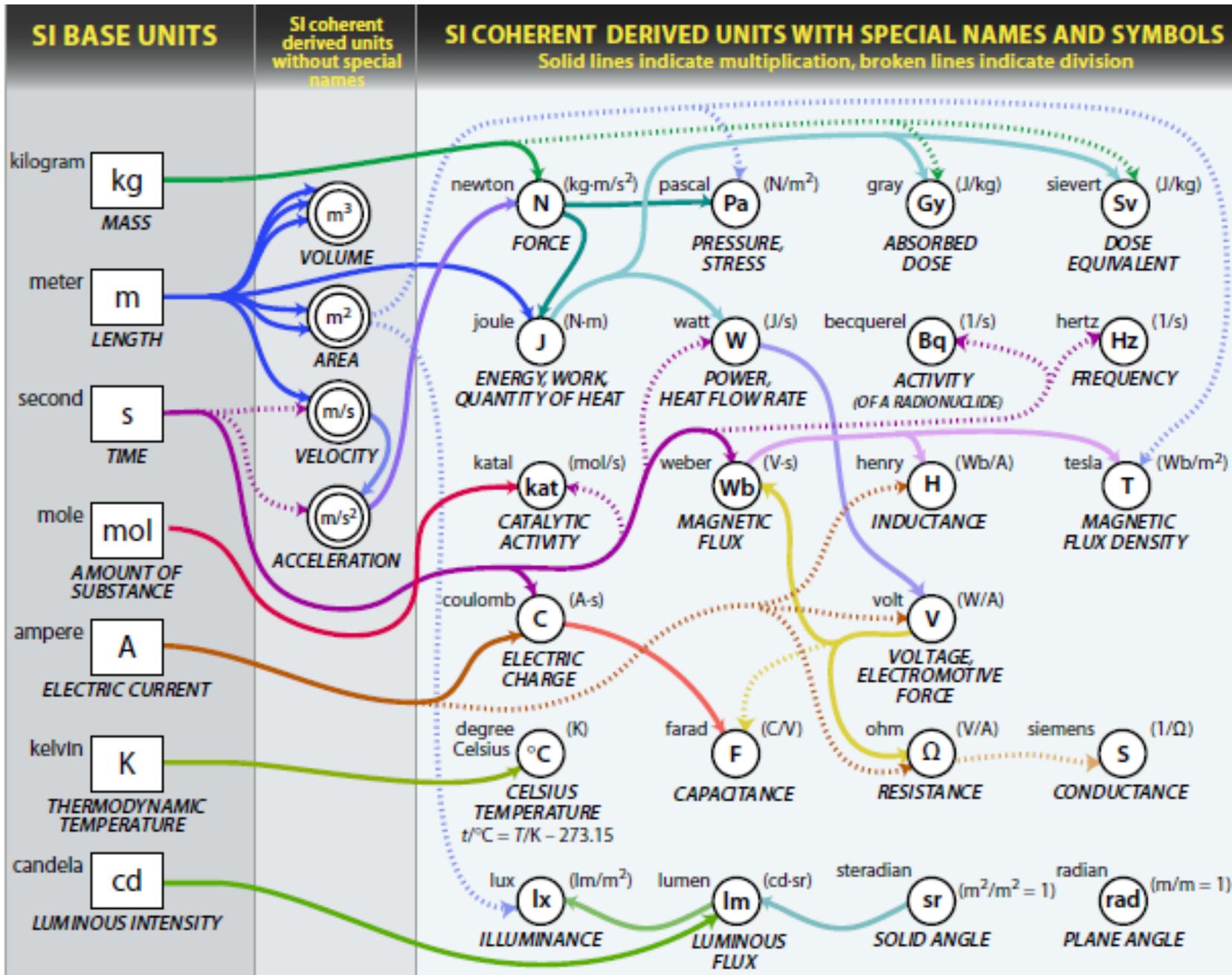
**NIST**  
National Institute of  
Standards and Technology  
U.S. Department of Commerce

# Guide for the Use of the International System of Units (SI)

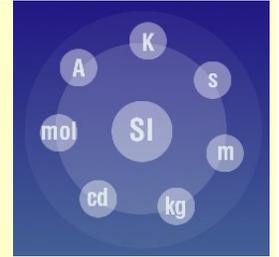


NIST Special Publication 811 • 2008 Edition

Ambler Thompson and Barry N. Taylor



# Sistema di unita' di misura internazionale (SI)



## - grandezze fondamentali

## - unita' di misura

## - dimensioni fisiche

- lunghezza	metro (m)	[L]
- massa	kilogrammo (kg)	[M]
- tempo	secondo (s)	[T]
- intensita' di corrente elettrica	Ampere (A)	[I]
- temperatura	Kelvin (K)	[ $\Theta$ ]
- intensita' luminosa	candela (cd)	[J]
- quantita' di materia	mole (mol)	[N]

... Le unita' per la misura delle **grandezze derivate** sono univocamente determinate dalle relazioni algebriche che le legano alle grandezze fondamentali.

## Grandezze fondamentali per il S.I. [1/2]

grandezza	Simbolo nelle formule	Simbolo dimensionale	Unità	Simbolo unità	definizione	Campione primario	Campione conservato in Italia
<b>lunghezza</b>	l	[ L ]	metro	m	è la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a <b>1 / 299 792 458</b> secondi, pari a <b>1 650 763.73</b> lunghezze d'onda ( $\lambda$ ), nel vuoto della radiazione corrispondente alla transizione fra i livelli $2p_{10}$ e $5d_s$ dello <b>atomo di cripto 86</b>	Lampada campione al cripto 86 e interferometro con incertezza $4 \times 10^{-9}$	Istituto Metrologico Gustavo Colonnetti del CNR Torino
<b>massa</b>	m	[ M ]	kilogrammo	kg	è la massa del prototipo n. 1 conservato al <b>BIPM</b>	Cilindro a sezione quadrata di lato 39 mm di platino iridio e bilancia di taratura con i incertezza di $2 \times 10^{-9}$	Ufficio Metrico Ministero Industria Commercio e Artigianato Roma Istituto Metrologico Gustavo Colonnetti del CNR Torino
<b>intervallo di tempo</b>	$\Delta t$	[ T ]	secondo	s	è l'intervallo di tempo pari a <b>9 192 631 770</b> periodi (T) della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell' <b>atomo di cesio 133</b>	Orologio atomico al cesio con incertezza di $10^{-12} / 100$ s	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris Torino

## Grandezze fondamentali per il S.I. [2/2]

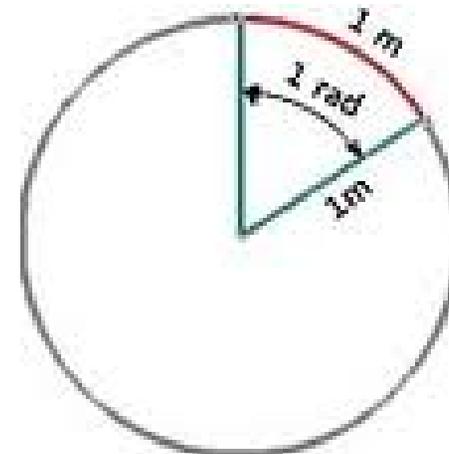
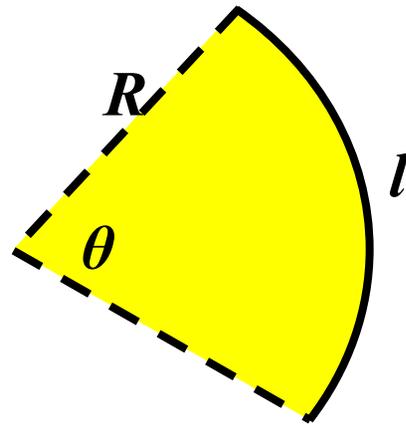
grandezza	Simbolo nelle formule	Simbolo dimensionale	Unità	Simbolo unità	definizione	Campione primario	Campione conservato in Italia
<b>intensità di corrente elettrica</b>	I, i	[ I ]	Ampere	A	è l'intensità di corrente elettrica che scorre in due conduttori rettilinei paralleli di lunghezza infinita posti alla distanza di <b>1 m</b> nel vuoto, che produce tra di essi una <b>forza di <math>2 \times 10^{-7} \text{ N/m}</math></b>	Bilancia elettromagnetica con incertezza $4 \times 10^{-6}$	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris Torino
<b>intervallo di temperatura</b>	$\Delta T$	[ $\Theta$ ]	Kelvin	K	è pari a <b><math>1 / 273.16</math></b> dell'intervallo di temperatura tra lo zero assoluto e il punto triplo dell'acqua	Vaso di Dewar contenente l'acqua alla pressione di 600 Pa presente negli stati liquido, vapore e solido con incertezza $4 \times 10^{-7}$	Istituto Metrologico Gustavo Colonnetti del CNR Torino
<b>intensità luminosa</b>	$I_v$	[ J ]	candela	cd	è l'intensità luminosa di una superficie pari a <b><math>(1 / 600\,000) \text{ m}^2</math></b> del corpo nero alla temperatura di solidificazione del <b>platino</b> emessa in direzione perpendicolare alla <b>pressione di 101 325 Pa</b>	Cilindro con foro immerso nel platino a temperatura di solidificazione con incertezza $10^{-2}$	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris Torino
<b>quantità di sostanza</b>	n	[ N ]	mole	mol	è la quantità di sostanza pari al numero di atomi contenuti in <b>0,012 kg di carbonio 12</b>	Mole di carbonio 12 pari a $6,022\,141\,99 \times 10^{23}$ atomi di carbonio	

Il **Sistema Internazionale**, oltre a utilizzare le sette unità di misura fondamentali, fa uso anche di **due unità di misura supplementari**.

Grandezza fisica	Nome dell'unità di misura	Simbolo dell'unità di misura
1. angolo piano	radiante	rad
2. angolo solido	steradiano	sr

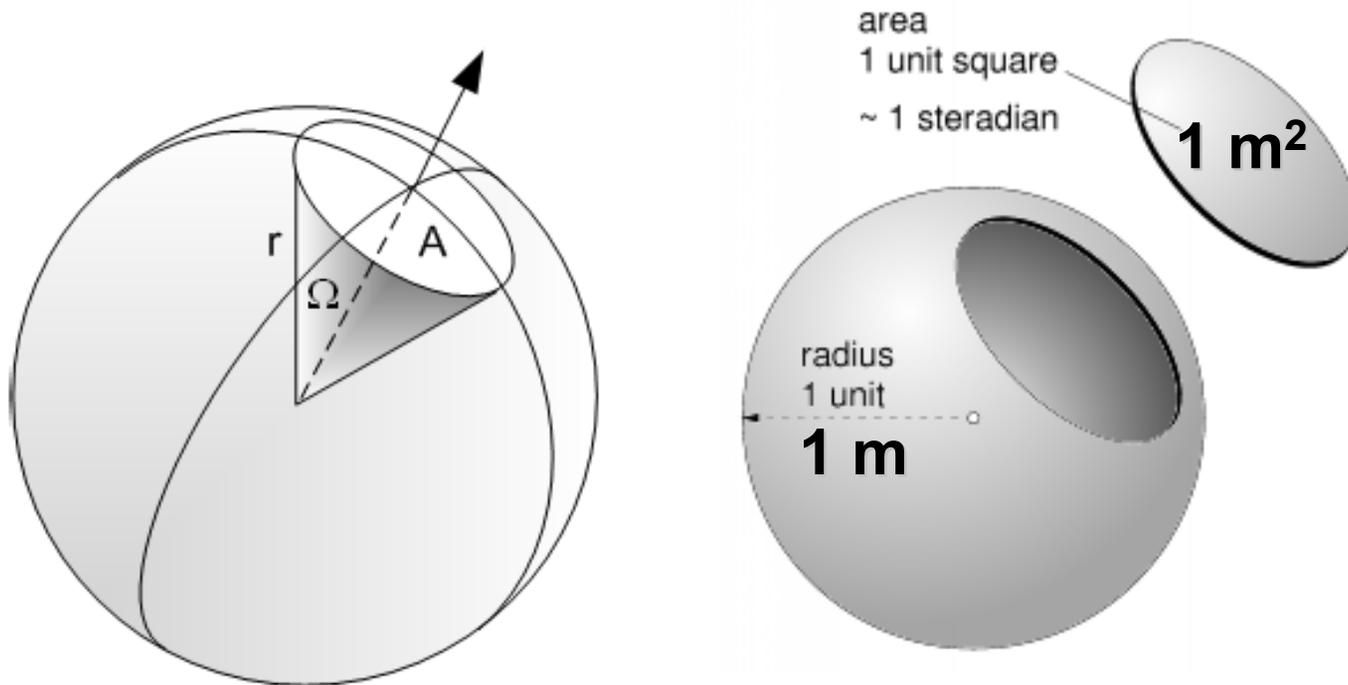
**1 radiante** : angolo piano definito come "rapporto fra la lunghezza dell'arco sotteso ed il raggio"

$$\theta = l / R$$



La misura in steradiani dell'**angolo solido**  $\Omega$  è definita come  $A / r^2$ , dove  $A$  è l'area della porzione di superficie sferica di raggio  $r$  vista sotto l'angolo  $\Omega$ .  $\rightarrow$  L'intera sfera sottende un angolo solido pari a  $4\pi \approx 12.56637$  sr.

$$\Omega = A / r^2$$



... Il nome steradiante deriva dal greco "**stereos**" per solido e dal latino "**radius**" per raggio.

**Velocita' media di un corpo in movimento:  $v = \Delta s / \Delta t$**

$$\left. \begin{array}{l} u_{SI}(\text{lunghezza}) = \text{metro} \\ u_{SI}(\text{tempo}) = \text{secondo} \end{array} \right\} \rightarrow u_{SI}(v) = \text{metro/secondo}$$

$$[v] = [L]/[T] = [L] [T]^{-1}$$

$$u(\text{lunghezza}) = \text{kilometro} = 1000 \times u_{SI}(\text{lunghezza})$$

$$u(\text{tempo}) = \text{ora} = 3600 \times u_{SI}(\text{tempo})$$

$$\begin{aligned} \rightarrow u(v) &= (\text{kilometro/ora}) = \\ &= ((1000 \times \text{metro}) / (3600 \times \text{secondo})) = (1/3.6) \times u_{SI}(v) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow u_{SI}(v) &= 3.6 \times u(v) && (100 \text{ km/h}) / (3.6) \sim 28 \text{ m/s} \\ & && (28 \text{ m/s}) \times 3.6 \sim 100 \text{ km/h} \end{aligned}$$

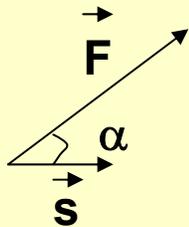
→ Definendo come fondamentali le grandezze  
"lunghezza", "tempo" e "massa"

$$F = m a$$

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

$$U(F)_{SI} = \text{Newton (N)}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg } 1 \text{ m } 1 \text{ s}^{-2}$$



$$L = F s \cos(\alpha)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow [L] &= [F] [s] [\cos(\alpha)] = \\ &= [M][L][T]^{-2} [L] [MLT]^0 = \\ &= [M] [L]^2 [T]^{-2} \end{aligned}$$

$$U(L)_{SI} = \text{Joule}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N } 1 \text{ m}$$

## GRANDEZZA FISICA

## Unità di misura nel S.I.

## DIMENSIONI

Superficie	$m^2$	$[L^2]$
Volume	$m^3$	$[L^3]$
Velocità	$m/s$	$[L \cdot T^{-1}]$
Accelerazione	$m/s^2$	$[L \cdot T^{-2}]$
Frequenza	$s^{-1}$ o <i>hertz</i> (Hz)	$[T^{-1}]$
Forza	$kg \cdot m/s^2$ o <i>newton</i> (N)	$[M \cdot L \cdot T^{-2}]$
Momento	<i>newton</i> · metro (N · m)	$[M \cdot L^2 \cdot T^{-2}]$
Pressione	<i>newton</i> /metro <sup>2</sup> o <i>pascal</i> (Pa)	$[M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}]$
Energia o lavoro	<i>newton</i> · metro o <i>joule</i> (J)	$[M \cdot L^2 \cdot T^{-2}]$
Potenza	<i>joule</i> /secondo o <i>watt</i> (W)	$[M \cdot L^2 \cdot T^{-3}]$
Carica elettrica	<i>ampere</i> · secondo o <i>coulomb</i> (C)	$[I \cdot T]$
Potenziale elettrico	<i>joule</i> /coulomb o <i>volt</i> (V)	$[M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot I^{-1}]$
Capacità elettrica	coulomb/volt o <i>farad</i> (F)	$[M^{-1} \cdot L^{-2} \cdot T^4 \cdot I^2]$
Resistenza elettrica	volt/ampere o <i>ohm</i> ( $\Omega$ )	$[M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot I^{-2}]$
Conduttanza elettrica	<i>ampere</i> /volt o <i>siemens</i> (S)	$[M^{-1} \cdot L^{-2} \cdot T^3 \cdot I^2]$
Flusso del campo magnetico (o dell'induzione magnetica)	volt · secondo o <i>weber</i> (Wb)	$[M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot I^{-1}]$
Campo magnetico (o induzione magnetica)	$weber/m^2$ o <i>tesla</i> (T)	$[M \cdot T^{-2} \cdot I^{-1}]$
Induttanza e mutua induttanza	<i>weber</i> /ampere o <i>henry</i> (H)	$[M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot I^{-2}]$
Flusso luminoso	<i>candela</i> · steradiante o <i>lumen</i> (lm)	[J]
Illuminamento	<i>lumen</i> /m <sup>2</sup> o <i>lux</i> (lx)	$[L^{-2} \cdot J]$
Attività (radioattività)	$s^{-1}$ o <i>becquerel</i> (Bq)	$[T^{-1}]$
Dose assorbita (radioattività)	<i>joule</i> /kg o <i>gray</i> (Gy)	$[L^2 \cdot T^{-2}]$

$10^n$	Prefix	Symbol	Since <sup>[1]</sup>	Short scale	Long scale	Decimal
$10^{24}$	yotta	Y	1991	Septillion	Quadrillion	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{21}$	zetta	Z	1991	Sextillion	Trilliard	1 000 000 000 000 000 000 000
$10^{18}$	exa	E	1975	Quintillion	Trillion	1 000 000 000 000 000 000
$10^{15}$	peta	P	1975	Quadrillion	Billiard	1 000 000 000 000 000
$10^{12}$	tera	T	1960	Trillion	Billion	1 000 000 000 000
$10^9$	giga	G	1960	Billion	Milliard	1 000 000 000
$10^6$	mega	M	1960	Million		1 000 000
$10^3$	kilo	k	1795	Thousand		1 000
$10^2$	hecto	h	1795	Hundred		100
$10^1$	deca	da	1795	Ten		10
$10^0$	(none)	(none)	NA	One		1
$10^{-1}$	deci	d	1795	Tenth		0.1
$10^{-2}$	centi	c	1795	Hundredth		0.01
$10^{-3}$	milli	m	1795	Thousandth		0.001
$10^{-6}$	micro	$\mu$	1960 <sup>[2]</sup>	Millionth		0.000 001
$10^{-9}$	nano	n	1960	Billionth	Milliardth	0.000 000 001
$10^{-12}$	pico	p	1960	Trillionth	Billionth	0.000 000 000 001
$10^{-15}$	femto	f	1964	Quadrillionth	Billiardth	0.000 000 000 000 001
$10^{-18}$	atto	a	1964	Quintillionth	Trillionth	0.000 000 000 000 000 001
$10^{-21}$	zepto	z	1991	Sextillionth	Trilliardth	0.000 000 000 000 000 000 001
$10^{-24}$	yocto	y	1991	Septillionth	Quadrillionth	0.000 000 000 000 000 000 000 001



CGS

## Sistema di unita' di misura CGS:

... Proposto su suggerimento di Lord Kelvin dall'Associazione Britannica per il Progresso delle Scienze nel 1873 e adottato nel 1881.

- **grandezze fondamentali**

- **unita' di misura**

- **dimensioni fisiche**

- lunghezza

centimetro (cm)

[L]

- massa

grammo (g)

[M]

- tempo

secondo (s)

[T]

... Il CGS è incompleto, mancando sia le GF elettriche sia le GF magnetiche. L'estensione ai fenomeni elettromagnetici e' stata fatta con i sistemi  $cgs_{es}$  (elettrostatico) e  $cgs_{em}$  (elettromagnetico).

... I sistemi **CGS e SI** hanno in comune le **stesse grandezze fondamentali** per la meccanica: lunghezza, massa e tempo.

... Le **unita' cgs** per la misura delle **grandezze derivate** sono univocamente determinate dalle relazioni algebriche che le legano alle grandezze fondamentali (analogamente al SI).

$$v = \Delta s / \Delta t$$

$$u_{\text{cgs}}(v) = \text{cm/s}$$

$$[v] = [L] [T]^{-1}$$

$$\rightarrow 1 \text{ cm/s} = 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$a = \Delta v / \Delta t$$

$$u_{\text{cgs}}(a) = 1 \text{ Gal} = \text{cm/s}^2$$

$$[a] = [L] [T]^{-2}$$

$$\rightarrow 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$F = m \times a$$

$$u_{\text{cgs}}(F) = 1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \times 1 \text{ cm/s}^2$$

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

$$\rightarrow 1 \text{ dyn} = 10^{-3} \text{ kg} \times 10^{-2} \text{ m/s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$$

... ..

...

$$L = F s \cos(\alpha)$$

$$u(L)_{\text{cgs}} = 1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \times 1 \text{ cm} \quad [L] = [M] [L]^2 [T]^{-2}$$

$$\rightarrow 1 \text{ erg} = 10^{-5} \text{ N} \times 10^{-2} \text{ m} = 10^{-7} \text{ J}$$

$$P = F / S$$

$$u(P)_{\text{cgs}} = 1 \text{ baria} = 1 \text{ dyn} / 1 \text{ cm}^2 \quad [P] = [M] [L]^{-1} [T]^{-2}$$

$$\rightarrow 1 \text{ baria} = 10^{-5} \text{ N} / 10^{-4} \text{ m}^2 = 10^{-1} \text{ Pa}$$

$$\rho = m / V$$

$$u(\rho)_{\text{cgs}} = 1 \text{ g} / 1 \text{ cm}^3 \quad [\rho] = [M] [L]^{-3}$$

$$\rightarrow 1 \text{ g/cm}^3 = 10^{-3} \text{ kg} / 10^{-6} \text{ m}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

ST

## Sistema Tecnico (o degli ingegneri) di unita' di misura:

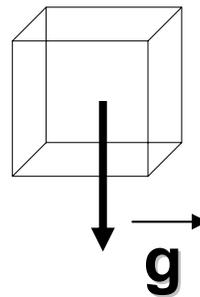
....

- grandezze fondamentali	- unita' di misura	- dimensioni fisiche
- lunghezza	metro (m)	[L]
- forza	chilogrammo-peso ( $\text{kg}_p$ )	[F]
- tempo	secondo (s)	[T]

... I sistemi **ST** e **SI** hanno **diverse grandezze fondamentali** per la meccanica.

Campione di massa al **BIPM**:

$$U(M)_{SI} = 1\text{kg}$$



$$U(F)_{ST} = 1\text{kg}_p$$

$$U(F)_{SI} / U(F)_{ST} = ?$$

$$SI: M = 1 \text{ kg} \quad g = 9.807 \text{ m/s}^2$$

$$\rightarrow F = 1 \text{ kg} \times 9.807 \text{ m/s}^2 = 9.807 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$$

$$ST: F = 1 \text{ kg}_f$$

$$U(F)_{SI} / U(F)_{ST} = \text{N} / \text{kg}_f = 1 / 9.807 \approx 1 / 10$$

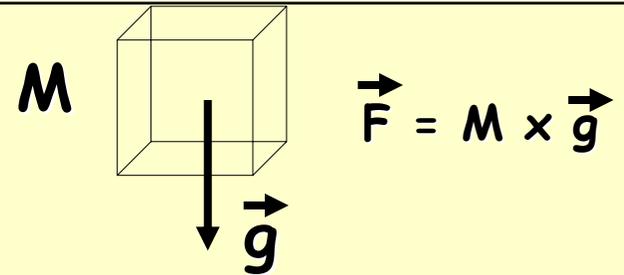
$$U(M)_{SI} / U(M)_{ST} = ?$$

$$ST: [M] = [F] / [a] = [F] [L]^{-1} [T]^2$$

$$U(M)_{ST} = \text{kg}_f \times \text{m}^{-1} \times \text{s}^2$$

$$U(M)_{SI} / U(M)_{ST} = \text{kg} / (\text{kg}_f \times \text{m}^{-1} \times \text{s}^2) =$$

$$= \text{N} / \text{kg}_f = 1 / 9.807 \approx 1 / 10$$



$$U(\text{Lavoro})_{SI} / U(\text{Lavoro})_{ST} = ?$$

$$ST: [\text{Lavoro}] = [F] [L]$$

$$U(\text{Lavoro})_{ST} = 1 \text{ kgm} = \text{kg}_f \times \text{m}$$

$$U(\text{Lavoro})_{SI} / U(\text{Lavoro})_{ST} = \text{J} / (\text{kg}_f \times \text{m}) =$$

$$= (\text{N} \times \text{m}) / (\text{kg}_f \times \text{m}) =$$

$$= \text{N} / \text{kg}_f = 1 / 9.807 \approx 1 / 10$$

## Esempio di conversione di unita' di misura non standard

Da

**rpm** = "rivoluzioni al minuto"

a

**f<sub>rot</sub>** = "frequenza di rotazione"

$$1 \text{ rpm} \Rightarrow f_{\text{rot}} = 1 \frac{1}{\text{min}} = \frac{1}{60\text{s}} = \frac{1}{60} \text{ Hz} \approx 0.01667 \text{ Hz}$$

## Math Mistakes in History: The Mars Climate Orbiter

By 



On **December 11, 1998** the Mars Climate Orbiter was launched from Cape Canaveral, Florida. Ten months later, on September 23, 1999, NASA lost touch with the Climate Orbiter just as it was approaching the red planet. They never regained communication, and the **\$125 million** spacecraft was considered a complete loss. The problem? Unit

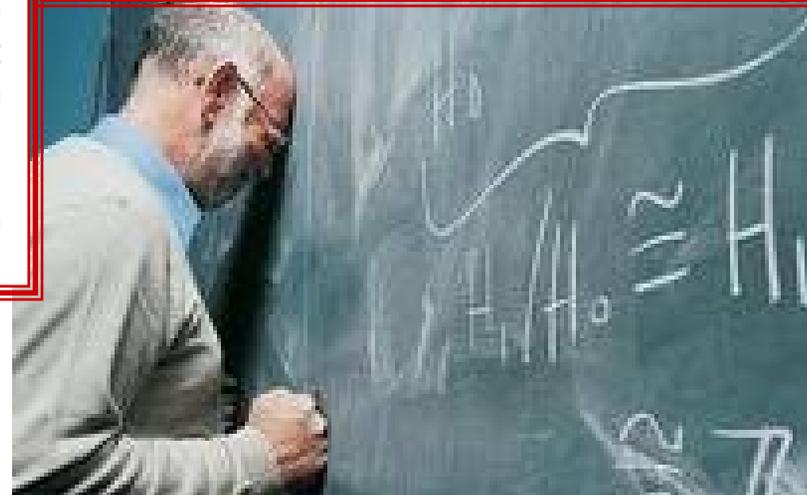
conversion.

Several teams had been working on the project. According to CNN, NASA had been working in metric units for several years. One of the teams working for a contractor, however, used English units (pounds, miles, inches, etc.), and the lack of conversion meant that the Climate Orbiter approached Mars from an altitude of 60 kilometers (37 miles) instead of 150 kilometers (93 miles).

The moral of the story: check your work, and pay attention to units.

**..se si fanno pasticci con le unità di misura...**

**125 milioni di dollari  
Possono finire nella...  
polvere marziana!**



**compagnia Lockheed-Martin**

### UNITS OF THE US CUSTOMARY SYSTEM

Unit	Relation to Other US Customary Units	Unit	Relation to Other US Customary Units	Unit	Relation to Other US Customary Units
<b>LENGTH</b>		<b>VOLUME OR CAPACITY (LIQUID MEASURE)</b>		<b>WEIGHT</b>	
inch	$\frac{1}{12}$ foot	fluid ounce	$\frac{1}{16}$ pint	grain	$\frac{1}{7000}$ pound
foot	12 inches or $\frac{1}{3}$ yard	pint	16 ounces	dram	$\frac{1}{16}$ ounce
yard	36 inches or 3 feet	quart	2 pints or $\frac{1}{4}$ gallon	ounce	16 drams
rod	$16\frac{1}{2}$ feet or $5\frac{1}{2}$ yards	gallon	128 ounces or 8 pints	pound	16 ounces
furlong	220 yards or $\frac{1}{8}$ mile	<b>VOLUME OR CAPACITY (DRY MEASURE)</b>		ton	2,000 pounds
mile	5,280 feet or (statute) 1,760 yards			pint	$\frac{1}{2}$ quart
mile	6,076 feet or (nautical) 2,025 yards	quart	2 pints	(long)	
		peck	8 quarts		
		bushel	4 pecks		

### CONVERSION BETWEEN METRIC AND US CUSTOMARY SYSTEMS

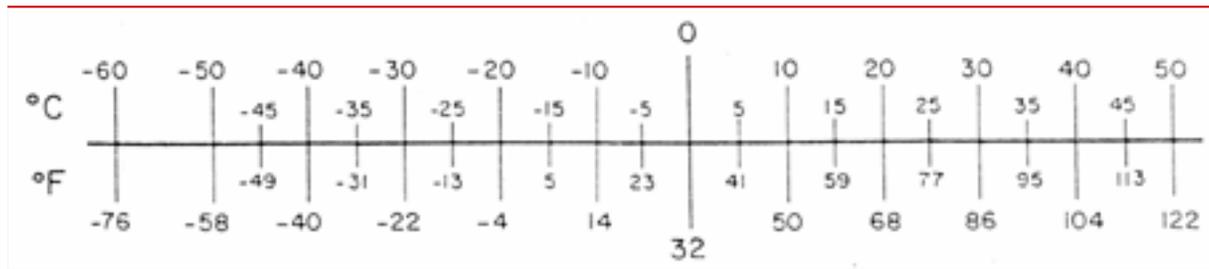
FROM US CUSTOMARY TO METRIC			FROM METRIC TO US CUSTOMARY		
When you know	multiply by	to find	When you know	multiply by	to find
inches	25.4	millimeters	millimeters	0.04	inches
	2.54	centimeters	centimeters	0.39	inches
feet	30.48	centimeters	meters	3.28	feet
yards	0.91	meters		1.09	yards
miles	1.61	kilometers	kilometers	0.62	miles
fluid ounces	29.57	milliliters	milliliters (liquid)	0.03	fluid ounces
pints (liquid)	0.47	liters (liquid)	liters (liquid)	1.06	quarts (liquid)
quarts (liquid)	0.95	liters (liquid)		0.26	gallons
gallons	3.79	liters (liquid)		2.12	pints (liquid)
pints (dry)	0.55	liters (dry)	liters (dry)	1.82	pints (dry)
quarts (dry)	1.10	liters (dry)		0.90	quarts (dry)
ounces	28.35	grams	grams	0.035	ounces
pounds	0.45	kilograms	kilograms	2.20	pounds
short tons (2,000 lbs)	0.91	metric tons	metric tons (1,000 kg)	1.10	short tons
square inches	6.45	square centimeters	square centimeters	0.155	square inches
square feet	0.09	square meters	square meters	1.20	square yards
square yards	0.84	square meters	square kilometers	0.39	square miles
square miles	2.59	square kilometers	hectares	2.47	acres
acres	0.40	hectares			

## BRITISH IMPERIAL SYSTEM

VOLUME OR CAPACITY (LIQUID MEASURE)				VOLUME OR CAPACITY (DRY MEASURE)			
Unit	Relation to Other British Imperial Units	Conversion to US Customary Units	Conversion to Metric Units	Unit	Relation to Other British Imperial Units	Conversion to US Customary Units	Conversion to Metric Units
pint	$\frac{1}{2}$ quart	1.201 pints	0.5683 liter	peck	$\frac{1}{4}$ bushel	1.0314 pecks	9.087 liters
quart	2 pints $\frac{1}{4}$ gallon	1.201 quarts	1.137 liters	bushel	4 pecks	1.0320 bushels	36.369 liters
gallon	8 pints 4 quarts	1.201 gallons	4.546 liters				

## TEMPERATURE CONVERSION BETWEEN CELSIUS AND FAHRENHEIT

$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \div 1.8$			$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 32$		
Condition	Fahrenheit	Celsius	Condition	Fahrenheit	Celsius
Boiling point of water	212°	100°	Freezing point of water	32°	0°
Normal body temperature	98.6°	37°	Lowest temperature that Gabriel Fahrenheit could obtain mixing salt and ice	0°	-17.8°
A warm day	86°	30°			
A cool day	45°	7°			



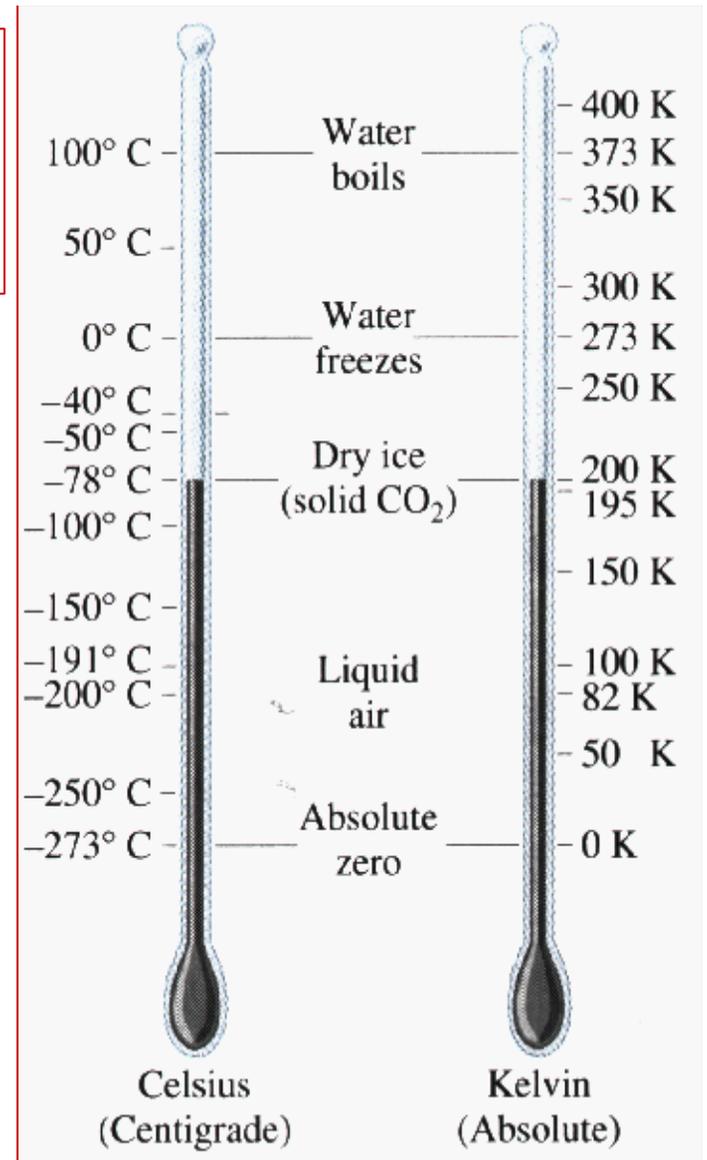
$$t(^{\circ}\text{C}) / 100 = (t(^{\circ}\text{F}) - 32) / 180$$

$$\rightarrow t(^{\circ}\text{C}) = (t(^{\circ}\text{F}) - 32) / 1.8$$

$$\rightarrow t(^{\circ}\text{F}) = t(^{\circ}\text{C}) \times 1.8 + 32$$

$$t(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

$$t(^{\circ}\text{C}) = t(\text{K}) - 273.15$$



# Strumenti di misura tarati

## In generale abbiamo visto vari tipi di misure:

- Misura di G.F. fondamentale "x"
  - confronto diretto con il campione della unita' di misura della G.F. stessa o una sua copia.
- Misura di G.F. Derivata "y"
  - misuro le G.F. fondamentali " $x_1$ ", " $x_2$ ", ... da cui dipende la G.F. derivata "y" tramite la legge fisica  $y = y(x_1, x_2, \dots)$  che la regola.
- Misura di G.F. tramite apparecchio tarato di misura sia per G.F. Fondamentale che per G.F. Derivata.
  - taratura di un "meccanismo" interno.

## Apparecchio tarato



- In generale, l'inserzione di uno strumento di misura qualunque in un "sistema" per fare una misura, **perturba** inevitabilmente il sistema stesso sotto studio.

$$g_0 \Rightarrow g \neq g_0$$

- **Sensibilità**  $\neq$  **Precisione**  $\approx 1 / \Delta u$

$\Delta g$  minimo  
misurabile

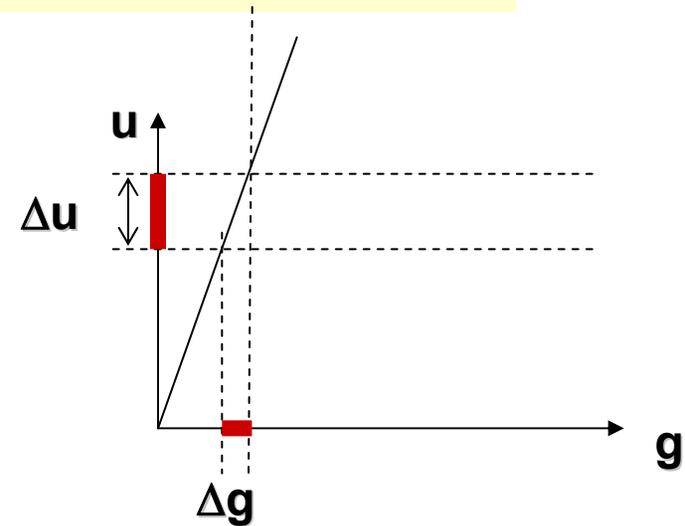
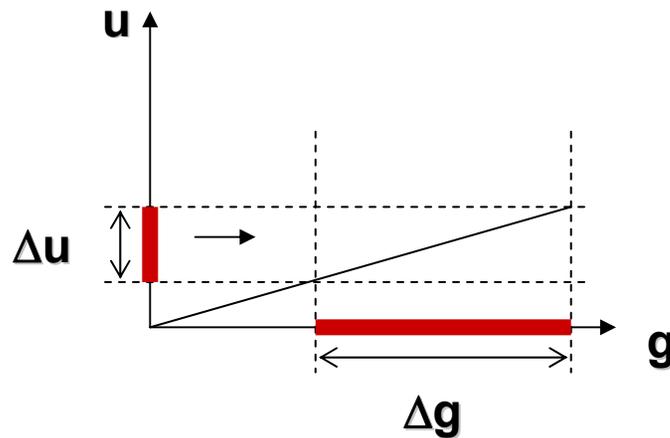
@  $g = \text{costante} \Rightarrow u \pm \Delta u$

# Sensibilità "S" della scala di uno strumento:

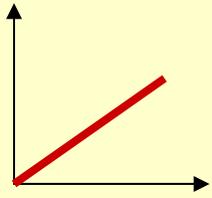


$$S = \frac{\Delta u}{\Delta g}$$

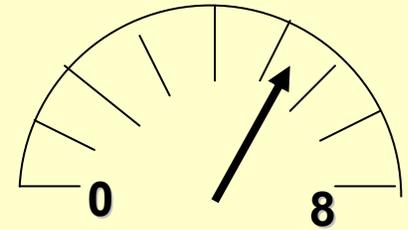
... per esempio: 1 DIV / V ... .. 1 DIV / mV



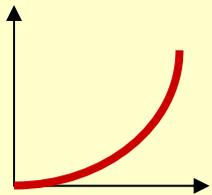
**Scala lineare:**  $u(g) = a g \rightarrow S = du/dg = a$



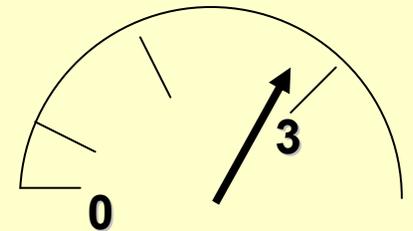
... sensibilità "S" **costante** vs. g



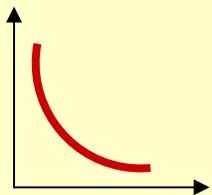
**Scala quadratica:**  $u(g) = a g^2 \rightarrow S = du/dg = 2 a g$



... sensibilità "S" **crescente** vs. g



**Scala iperbolica:**  $u(g) = a / g \rightarrow S = du/dg = -a / g^2$



... sensibilità "S" **decrescente** vs. g

## **Incertezza di misura o incertezza sperimentale:**

### **Possibili cause:**

- Qualità dello **strumento** di misura

(... sensibilità, precisione)

- Natura della **G.F. da misurare** che può essere (anche nella fisica classica) **non ben definita**

(... dimensioni di una stanza con pareti non perfettamente a squadra)