

## IL SISTEMA INTERNAZIONALE DELLE UNITA' DI MISURA

Il Sistema Internazionale di unità di misura (S.I.) è stato introdotto nel 1960 dalla XI Conferenza Generale dei Pesi e Misure e perfezionato dalle Conferenze successive. Il S.I. è oggetto di direttive della Comunità Europea fin dal 1971, ed è stato legalmente adottato in Italia nel 1982.

Il S.I. distingue per convenzione due tipi di grandezze:

- 1) **grandezze fondamentali** (in inglese base quantities), per le quali le unità di misura sono assunte dimensionalmente indipendenti;
- 2) **grandezze derivate** (in inglese derived quantities), per le quali le unità di misura sono definite tramite relazioni analitiche che le collegano alle unità fondamentali.

Il S.I. è:

- completo: tutte le grandezze fisiche considerate si possono ricavare dalle grandezze fondamentali tramite relazioni analitiche;
- coerente: le relazioni analitiche che definiscono le unità delle grandezze derivate non contengono fattori di proporzionalità diversi da 1;
- decimale (tranne che per la misura degli intervalli di tempo): multipli e sottomultipli delle unità di misura sono potenze di 10.

Il S.I. codifica anche

- le norme di scrittura dei nomi e dei simboli delle grandezze fisiche
- l'uso dei prefissi moltiplicativi secondo multipli di 1000.

### SI - UNITA' FONDAMENTALI

Il S.I. prevede 7 grandezze fondamentali e ne definisce le unità di misura:

Grandezza	Unità di misura	Simbolo
Intervallo di tempo	secondo	s
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	kg
Temperatura	kelvin	K
Quantità di sostanza	mole	mol
Intensità di corrente elettrica	ampere	A
Intensità luminosa	candela	cd

Tutte le unità di misura che non fanno parte di questo elenco si definiscono 'derivate'.

## Intervallo di tempo

Il **secondo** è la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione emessa dall'atomo di Cesio-133 nella transizione tra i due livelli iperfini ( $F=4, M=0$ ) e ( $F=3, M=0$ ) dello stato fondamentale  $2S(1/2)$ .

*[ Il Cs-133 ha un nucleo formato da 55 protoni e 78 neutroni. Lo stato fondamentale è lo stato in cui un atomo ha la configurazione elettronica di minima energia. La suddivisione dello stato fondamentale in livelli iperfini è dovuta all'interazione degli elettroni con il momento magnetico del nucleo; la differenza in energia  $\Delta E$  tra i livelli iperfini è molto piccola rispetto alla differenza in energia tra i livelli principali dell'atomo.*

*Durante la transizione tra due livelli di energia l'atomo emette onde elettromagnetiche di frequenza  $\nu = \Delta E/h$ , corrispondente ad una lunghezza d'onda  $\lambda = c/\nu$  e un periodo  $T = 1/\nu$ ;  $h$  è la costante di Planck e  $c$  è la velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto.*

*La radiazione emessa dal Cs-133 durante la transizione in questione ha frequenza  $\nu = 1010$  Hz e lunghezza d'onda  $\lambda = 3$  cm (cade quindi nella regione delle microonde). Il secondo è pertanto definito come un multiplo intero del periodo  $T = 1/\nu$  della radiazione emessa dal cesio. ]*



Il campione primario del secondo è costituito da un orologio al cesio (orologio atomico). Un orologio al cesio può commettere un errore massimo relativo di  $1 \times 10^{-12}$ , equivalente a 1 ms ogni 12 giorni.

## Lunghezza

Il **metro** è la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di  $1/299\,792\,458$  di secondo.

*La velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto (velocità della luce) è una costante fondamentale della Fisica. Con la definizione del metro introdotta nel 1983, il suo valore è assunto come esatto (cioè privo di incertezza) e imm modificabile:  $c = 299\,792\,458$  m/s.*

*Per la realizzazione pratica del campione di metro, è raccomandato l'uso della radiazione monocromatica emessa da un laser ad elio-neon nella regione del rosso visibile (lunghezza d'onda  $\lambda = 633$  nm).*



*[la definizione originale del metro basata sulle dimensioni della Terra viene fatta risalire al 1791, stabilita dall'Accademia delle scienze francese come  $1/10\,000\,000$  della distanza tra polo nord ed equatore, lungo la superficie terrestre, calcolata sul meridiano di Parigi.*

*L'incertezza nella misurazione della distanza portò il Bureau international des poids et mesures (BIPM) a ridefinire nel 1889 il metro come la distanza tra due linee incise su una barra campione di platino-iridio conservata a Sèvres presso Parigi]*

## Massa

Il **chilogrammo** è la massa del prototipo internazionale conservato al Pavillon de Breteuil (Sevres, Francia).

**E' l'unica unità fondamentale del SI basata su un campione artificiale.** Si tratta di un cilindro di platino-iridio di 38 mm di diametro e di altezza, custodito in una tripla teca sotto vuoto insieme ad altre 6 copie di riscontro, nelle condizioni stabilite dalla 1<sup>a</sup> CGPM del 1889. La precisione relativa del campione è dell'ordine di  $10^{-9}$ . E' allo studio la possibilità di introdurre un campione naturale di massa basato su proprietà atomiche.



## Temperatura

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

*[Per punto triplo di una sostanza si intende lo stato termodinamico in cui sono in equilibrio le tre fasi liquida, solida e gassosa. Il punto triplo dell'acqua si verifica ad una pressione di 610 Pa e (per definizione) ad una temperatura di 273.16 K, pari a 0.01 °C. La precisione della determinazione della temperatura del punto triplo dell'acqua è di circa  $1 \times 10^{-6}$ .*

*La temperatura termodinamica assoluta è definita in relazione al rendimento di un ciclo termodinamico ideale, il ciclo di Carnot; la sua misurazione è ricondotta alla misurazione di un rapporto tra quantità di calore, o più in generale di un rapporto tra due valori di un'altra grandezza direttamente misurabile. ]*

## Quantità di sostanza

La **mole** è la quantità di sostanza che contiene tante particelle elementari quanti sono gli atomi in 0.012 kg di Carbonio 12. Quando si usa la mole, deve essere specificata la natura delle particelle elementari, che possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle o gruppi specificati di tali particelle.

Il C-12 è l'isotopo più abbondante del carbonio: il nucleo atomico è composto da 6 protoni e 6 neutroni.

Il numero di particelle elementari che costituiscono 1 mole è detto Numero di Avogadro; il suo valore approssimato è  $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ .

## Intensità di corrente elettrica

L' **ampere** è la corrente che, se mantenuta in due conduttori paralleli indefinitamente lunghi e di sezione trascurabile posti a distanza di un metro nel vuoto, determina tra questi due conduttori una forza uguale a  $2 \times 10^{-7}$  newton per metro di lunghezza.

*[ Secondo la definizione S.I., l'ampere può essere realizzato mediante un elettrodinamometro, cioè uno strumento che misura la forza tra due conduttori percorsi da corrente. Nella pratica si preferisce far ricorso alla legge di Ohm  $I=V/R$  e realizzare l'unità di corrente (ampere) come rapporto tra le unità di differenza di potenziale (volt) e di resistenza (ohm).*

*I campioni del volt e dell'ohm sono oggi realizzati ricorrendo a due fenomeni quantistici, rispettivamente l'effetto Josephson e l'effetto Hall quantistico. ]*

## Intensità luminosa

La **candela** è l'intensità luminosa, in un'assegnata direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza  $540 \times 10^{12}$  Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è  $1/683$  W/sr.

*[ La fotometria misura le proprietà della radiazione elettromagnetica nell'intervallo di sensibilità dell'occhio umano (la cosiddetta luce visibile). L'occhio umano medio è sensibile alla radiazione elettromagnetica con lunghezze d'onda comprese tra circa 400 nm e circa 750 nm (rispettivamente colori violetto e rosso). Il massimo di sensibilità si ha per una lunghezza d'onda di circa 556 nm, corrispondente ad una frequenza di  $540 \times 10^{12}$  Hz.*

*L'intensità luminosa è la grandezza fondamentale della fotometria. L'intensità luminosa corrisponde all'energia emessa da una sorgente nell'unità di tempo e nell'unità di angolo solido, pesata dalla curva media di sensibilità dell'occhio umano. ]*

## **MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI**

Superiori all'unità		
Fattore	Prefisso	Simbolo
$10^{24}$	yotta-	Y-
$10^{21}$	zetta-	Z-
$10^{18}$	exa-	E-
$10^{15}$	peta-	P-
$10^{12}$	tera-	T-
$10^9$	giga-	G-
$10^6$	mega-	M-
$10^3$	chilo-	k-
$10^2$	etto-	h-
10	deca-	da-

Inferiori all'unità		
Fattore	Prefisso	Simbolo
$10^{-24}$	yocto-	y-
$10^{-21}$	zepto-	z-
$10^{-18}$	atto-	a-
$10^{-15}$	femto-	f-
$10^{-12}$	pico-	p-
$10^{-9}$	nano-	n-
$10^{-6}$	micro-	$\mu$ -
$10^{-3}$	milli-	m-
$10^{-2}$	centi-	c-
$10^{-1}$	deci-	d-

## **UNITA' NON-SI AMMESSE ALL'USO**

Alcune unità di misura estranee al S.I. sono largamente utilizzate in campo scientifico, tecnico, commerciale e nella vita comune.

Nel 1996 il CIPM (Comitato Internazionale dei Pesi e Misure) ha classificato le unità non-SI ammesse all'uso. L'uso di queste unità, sebbene ammesso, non è incoraggiato. E' comunque sempre sconsigliato associare unità SI e unità non-SI.

## Unità di uso frequente

Grandezza	Unità	Simbolo	Conversione
Volume	litro	L	$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$
Massa	tonnellata	t	1000 Kg
Tempo	minuto	min	60 s
	ora	h	60 min = 3600 s
	giorno	d	24 h
Angolo piano	grado	°	
	minuto	'	
	secondo	"	

## Unità ammesse all'uso in settori specifici

Grandezza	Unità	Simbolo	Conversione
Lunghezza	ångström	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$
	miglio marino		1 852 m
Velocità	nodo		0,514 m/s
Superficie	ara	a	$1 \text{ a} = 100 \text{ m}^2$
	ettaro	ha	$1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$
Pressione	bar	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
	atmosfera	atm	$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$

## UNITA' ANGLOSASSONI

I sistemi anglosassoni sono generalmente a base non decimale, e riguardano solo grandezze meccaniche e termiche. Non esistono specifiche unità anglosassoni per l'elettromagnetismo. I sistemi anglosassoni sono collettivamente indicati come Imperial System, e le loro unità come imperial units.

Talora esistono differenze di valore tra omonime unità inglesi (UK) e americane (USA).

L'effettiva adozione del SI ("metric system") nei paesi del Commonwealth Britannico non è ancora completa. I campioni nazionali delle unità di misura SI in Gran Bretagna sono mantenuti dal National Physical Laboratory. Esiste tuttavia anche un'associazione per la salvaguardia dei sistemi anglosassoni, la British Weights and Measures Association

Negli USA il SI non è stato ancora ufficialmente adottato. Esiste tuttavia un'associazione che si dedica alla propaganda del SI, la USMA, che gestisce un interessante sito internet.

### Unità di lunghezza

Gran parte delle unità di misura di lunghezza anglosassoni sono costruite come multipli e sottomultipli (in genere non decimali) del pollice (inch):

$$1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$$

Unità	Simbolo	Conversione interna	Conversione SI
inch ( <i>pollice</i> )	in		25,4 mm
foot ( <i>piede</i> )	ft	12 in	304,8 mm
yard ( <i>iarda</i> )	yd	36 in = 3 ft	914,4 mm
nautical mile ( <i>miglio marino</i> )	naut mi	6 080 ft	1 853,184 m
international nautical mile	int naut mi	1,150 779 mi	1 852 m
nautical league ( <i>lega marina</i> )		3 int n mi	5 556 m

### Unità di superficie

Le unità di misura delle superfici sono costruite come multipli e sottomultipli non decimali del pollice quadrato (square inch):

$$1 \text{ in}^2 = 645,16 \text{ mm}^2$$

Unità	Simbolo	Conversione interna	Conversione SI
square inch ( <i>pollice quadrato</i> )	in <sup>2</sup>		645,16 mm <sup>2</sup>
square foot ( <i>piede quadrato</i> )	ft <sup>2</sup>	144 in <sup>2</sup>	92 903.04 mm <sup>2</sup>
square yard ( <i>iarda quadrata</i> )	yd <sup>2</sup>	9 ft <sup>2</sup>	0,836 127 m <sup>2</sup>
acre ( <i>acro</i> )	ac	4 ro	4 046,856 m <sup>2</sup>
square mile ( <i>miglio quadrato</i> )	mi <sup>2</sup>	640 ac	2,589 988 km <sup>2</sup>

### Unità di volume

Alcune unità di misura di volume sono costruite come multipli e sottomultipli non decimali del pollice cubo (cubic inch):

$$1 \text{ in}^3 = 16 387,1 \text{ mm}^3$$

In Gran Bretagna alcune unità di misura di capacità sono costruite come multipli e sottomultipli del gallone britannico (UK Gallon):

$$1 \text{ gal(UK)} = 277.42 \text{ in}^3 = 4,5461 \text{ dm}^3$$

Unità	Simbolo	Conversione interna	Conversione SI
pint ( <i>pint</i> )	pt	1/8 gal	568,261 cm <sup>3</sup>
gallon ( <i>gallone</i> )	gal <sub>UK</sub>	-	4,546 09 dm <sup>3</sup>

### Unità di massa

Le principali unità di massa sono dette "unità avoirdupois" (avdp) [dal francese antico "avoir du pois" = avere del peso].

Le unità avoirdupois sono costruite come multipli e sottomultipli della libbra (pound), definita come la massa del campione conservato presso il Board of Trade di Londra:

$$1 \text{ lb} = 453,592 338 \text{ g}$$

Unità	Simbolo	Conversione interna	Conversione SI
ounce ( <i>oncia</i> )	oz	1/16 lb	28.,49 g
pound (libbra)	lb	-	0,453 592 338 kg

### Unità di pressione

Unità	Simbolo	Conversione SI
pound-force per square inch	psi	6 894,76 Pa

### Unità di energia, lavoro, calore

Unità	Simbolo	Conversione SI
British thermal unit	Btu	1054,5 J
International British thermal unit	Btu <sub>IT</sub>	1055,06 J

### Unità di potenza

Unità	Simbolo	Conversione SI
horse power ( <i>cavallo vapore brit.</i> )	hp	745,7 W

*Non confondere l'horse power (cavallo vapore britannico) con il cavallo vapore, simbolo CV  
1 CV = 735.499 W. !! Entrambe le unità di misura sono comunque ormai obsolete.*

### Scale di temperatura

La scala Fahrenheit, tuttora utilizzata nei paesi anglosassoni, fu introdotta nel 1724 dal fisico Gabriel Fahrenheit (Danzica 1686 - L'Aia 1736). Nato in Polonia, Fahrenheit lavorò in Inghilterra e in Olanda; nel 1714 costruì il primo termometro a mercurio.

La scala Fahrenheit (simbolo °F) è costruita attribuendo i valori:

32 °F	al punto di fusione dell'acqua a pressione atmosferica	(0°C, cioè 273.15 K)
212 °F	al punto di ebollizione dell'acqua a pressione atmosferica	(100°C, cioè 373.15 K)

L'intervallo tra i due valori è di 180 °F, corrispondenti a 100 °C = 100 K.  
Pertanto 1°F = 5/9 °C = 5/9 K.

Conversioni:

Fahrenheit > Celsius	$T [^{\circ}\text{C}] = 5 T [^{\circ}\text{F}] / 9 - 17.78$
Fahrenheit > Kelvin	$T [\text{K}] = 5 T [^{\circ}\text{F}] / 9 + 255.37$
Celsius > Fahrenheit	$T [^{\circ}\text{F}] = 9 T [^{\circ}\text{C}] / 5 + 32$
Kelvin > Fahrenheit	$T [^{\circ}\text{F}] = 9 T [\text{K}] / 5 - 459.67$

## SISTEMI c.g.s.

Nei sistemi c.g.s. le unità fondamentali della meccanica sono il centimetro, il grammo e il secondo. Per quanto riguarda la meccanica, quindi, la differenza tra S.I. e c.g.s. si limita a fattori potenze di 10 nei valori delle grandezze fondamentali e derivate.

La differenza sostanziale tra i sistemi c.g.s. e il Sistema Internazionale riguarda le grandezze elettromagnetiche. Mentre il S.I. introduce una grandezza fondamentale per l'elettromagnetismo (l'intensità di corrente), nei sistemi c.g.s. le grandezze elettromagnetiche sono tutte derivate da quelle meccaniche.

Storicamente si sono sviluppati vari sistemi c.g.s., a seconda della legge utilizzata per definire le grandezze elettromagnetiche in funzione delle grandezze meccaniche.

- Il **Sistema c.g.s. elettrostatico** ricava l'unità di carica elettrica (lo *statcoulomb*) dalla legge di Coulomb che esprime la forza tra due cariche elettriche, imponendo che la costante di proporzionalità sia adimensionale ed abbia il valore 1.
- Il **Sistema c.g.s. elettromagnetico** ricava l'unità di corrente (l' *abampere* ) dalla legge dell'interazione elettrodinamica tra due conduttori paralleli percorsi da corrente imponendo che la costante di proporzionalità sia adimensionale ed abbia il valore 1. (L'unità di carica del sistema cgs elettromagnetico (l'abcoulomb) è diversa da quella del sistema cgs elettrostatico per un fattore  $c$ .)
- Il **Sistema c.g.s. simmetrizzato di Gauss** adotta le unità del sistema c.g.s. elettrostatico per le grandezze elettriche, le unità del sistema c.g.s. elettromagnetico per le grandezze magnetiche. In alcune equazioni che collegano grandezze elettriche e magnetiche compare come coefficiente la velocità della luce nel vuoto,  $c$ .

### Bibliografia:

<http://www.science.unitn.it/~labdid/sisint/si.html>

<http://it.wikipedia.org/>

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

Vlitutti, Tifi, Gentile – Esploriamo la chimica – Zanichelli