















# Conversioni fra Sistemi di unità

**Attenzione alle conversioni e ai corretti fattori di ragguglio...  
Una trascuratezza può costare cara!**

ANNO XXVII - NUMERO 230 **SABATO 2 OTTOBRE 1999** UNA COPIA L. 1.500 EURO 0,  
IL GIORNALE + STORIA E DOSSIER L. 7.000 - INOLTRE PER LE PROVINCE DI CATANZARO-CROTONE-TIMO VALLENTA IL GIORNALE + GAZZETTA DEL SUD L. 1.500 - PER LA ZONA DI RIESSE IL GIORNALE  
L'UNIONE SARDEGA L. 1.2000 - PER IL MONDO ISRAELI - GREC - AZI - 2 COPPIE 200 - USA 4000 FL. IL MEXICO - PERU IN EURO 500 PER TERRA - ABBONAMENTI ITALIA: 7 ANNI L. 65.000 - 4 R. L. 25.000 - SPETTACOLI 7 R. L. 25.000 - 4 R. L. 19

## La Nasa scambia i metri per piedi e la sonda si schianta

Centocinquante milioni di dollari sono svaniti nel nulla lungo la rotta della sonda Orbiter diretta verso Marte. La colpa è degli scienziati Nasa, caduti di fronte a un calcolo che non avrebbe ingannato nemmeno uno scolaro delle elementari: secondo la ricostruzione dei fatti fornita dalla Nasa, gli specialisti erano convinti d'aver mandato in orbita una sonda con tutti i parametri misurati in unità decimali e non in unità inglesi, come in realtà era indicato sul manuale di istruzioni per l'uso della Lockheed Martin Corporation, l'industria che ha fabbricato il velivolo spaziale. Insomma libbre al posto di chili e piedi invece di metri. L'errore, mai scoperto nei dieci mesi in cui l'Orbiter volava

verso il pianeta Marte, ha provocato uno «sbardamento» di rotta di 100 chilometri: alla fine l'Orbiter si è avvicinato troppo all'obiettivo da scrutare ed è stato letteralmente polverizzato dall'atmosfera incandescente. Negli Stati Uniti, naturalmente, ora infuriano le polemiche e le accuse sull'azienda spaziale sono pesanti. Su tutte quella di continuare a privilegiare le esigenze di bilancio ai programmi di sicurezza. Non a caso, il costo dell'Orbiter, per gli standard della Nasa, era stracciaticissimo. Le prime teste, hanno assicurato all'azienda, salteranno presto. Ma il danno per la ricerca scientifica è incalcolabile.

MARIUCCIA CHIANTARETTO A PAGINA 11

Il Mars Climate Orbiter venne distrutto quando, invece di posizionarsi ad una altezza di 140–150 km dalla superficie di Marte, si inserì nell'atmosfera marziana ad una altezza di soli 57 km. La sonda venne distrutta dagli stress causati dall'attrito presente a quella altezza con l'atmosfera. Si scoprì che alcuni dati erano stati calcolati a Terra in base all'unità di misura del sistema imperiale (**libbra-forza/secondi**), e riferiti al team di navigazione che invece si aspettava i dati espressi in unità di misura del Sistema metrico decimale (**newton/secondi**) (\*). La sonda non era in grado di effettuare conversioni tra le due unità di misura.

Il costo totale della missione, tra satellite e sonda sul terreno, fu di **328 milioni di dollari**.

[wikipedia]

(\* ) 1 libbra forza = 4.45 N

22

# Sistema Internazionale di grandezze

Sistema di grandezze, basato su  
**sette grandezze fondamentali:**

lunghezza

massa

tempo

corrente elettrica

temperatura termodinamica

quantità di sostanza

intensità luminosa

[UNI CEI 70009:2008 (VIM3), punto 1.6]

23

# Sistema Internazionale di unità (S.I.)

Sistema di unità,  
basato sul Sistema internazionale di grandezze,  
con i nomi e i simboli corrispondenti,  
inclusa una serie di prefissi con i rispettivi nomi  
e simboli e le regole per il loro impiego,  
adottato dalla Conferenza Generale dei Pesi e  
delle Misure (CGPM)  
[UNI CEI 70009:2008 (VIM3), punto 1.16]

Bureau International des Poids et Mesures  
<http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>

24

## S.I.: unità fondamentali

Nome dell'unità	simbolo	Grandezza	Simbolo della grandezza	Simbolo dimensionale
ampere	A	Corrente elettrica	$I$	$I$
candela	cd	Intensità luminosa	$I_v$	$J$
kelvin	K	Temperatura termodinamica	$T$	$\Theta$
kilogrammo	kg	Massa	$m$	$M$
metro	m	Lunghezza	$l, x, r$	$L$
mole	mol	Quantità di sostanza	$n$	$N$
secondo	s	Tempo	$t$	$T$

In Italia i campioni degli standard sono mantenuti dall'  
INRiM – Istituto nazionale di Ricerca Metrologica

tabella adattata da W. Northrop, "Introduction to Instrumentation and Measurements", 3rd ed., CRC Press

## S.I.: unità fondamentali

**Metro (m):** lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a  $1/299792458$  di secondo. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 2.5 \cdot 10^{-11}$  (IMGC-INRiM)

**secondo (s):** durata di  $9.192.631.770$  periodi della radiazione corrispondente alla transizione fra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di Cesio 133. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 1 \cdot 10^{-13}$  (IEN-INRiM)

**kilogrammo (kg):** è il prototipo internazionale realizzato in platino iridio nel 1889 e conservato a Sevres. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 2.3 \cdot 10^{-9}$  (IMGC-INRiM).

**ampere (A):** intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli, rettilinei, 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 la forza di  $2 \cdot 10^{-7}$  newton su ogni metro di lunghezza. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 5 \cdot 10^{-7}$  (IEN-INRiM)

**kelvin (K):** frazione  $1/273.16$  della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 0.1 \text{ mK} / 2.5 \text{ mK}$  (IMGC-INRiM).

**mole (mol):** quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in  $0.012$  kg di Carbonio 12. Le entità elementari devono essere specificate e possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, ecc., ovvero gruppi specificati di tali particelle. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 7.9 \cdot 10^{-8}$  (IEN-INRiM)

**candela (cd):** intensità luminosa in una data direzione di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza  $540 \cdot 10^{12}$  Hertz e la cui intensità in quella direzione è  $1/683$  W/sr. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 5 \cdot 10^{-3}$  (IEN-INRiM)

## S.I.: unità fondamentali

**ampere (A):** intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli, rettilinei, 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 la forza di  $2 \cdot 10^{-7}$  newton su ogni metro di lunghezza. Incertezza (scarto tipo)  $\pm 5 \cdot 10^{-7}$  (IEN-INRiM)

Stante la difficoltà di realizzazione pratica dell'ampere, si ottiene lo standard attraverso gli standard di **tensione** e **resistenza**, realizzati attraverso:

l'**Effetto Josephson** proprio di giunzioni superconduttive per lo standard di tensione

l'**Effetto Hall Quantizzato** proprio di materiali bidimensionali per lo standard di resistenza

[di più nel corso di Solid State Measuring Devices, LM]

## S.I.: unità derivate

Derived quantity		SI coherent derived unit	
Name	Symbol	Name	Symbol
area	$A$	square metre	$m^2$
volume	$V$	cubic metre	$m^3$
speed, velocity	$v$	metre per second	$m/s$
acceleration	$a$	metre per second squared	$m/s^2$
wavenumber	$\sigma, \tilde{\nu}$	reciprocal metre	$m^{-1}$
density, mass density	$\rho$	kilogram per cubic metre	$kg/m^3$
surface density	$\rho_A$	kilogram per square metre	$kg/m^2$
specific volume	$v$	cubic metre per kilogram	$m^3/kg$
current density	$j$	ampere per square metre	$A/m^2$
magnetic field strength	$H$	ampere per metre	$A/m$
amount concentration <sup>(a)</sup> , concentration	$c$	mole per cubic metre	$mol/m^3$
mass concentration	$\rho, \gamma$	kilogram per cubic metre	$kg/m^3$
luminance	$L_v$	candela per square metre	$cd/m^2$
refractive index <sup>(b)</sup>	$n$	one	1
relative permeability <sup>(b)</sup>	$\mu_r$	one	1

- (a) In the field of clinical chemistry this quantity is also called substance concentration.  
 (b) These are dimensionless quantities, or quantities of dimension one, and the symbol "1" for the unit (the number "one") is generally omitted in specifying the values of dimensionless quantities.

Tabella da Bureau International des Poids et Mesures, "The International System of Units (SI)", 8th ed.

alcuni esempi

## S.I.: angolo e angolo solido

**Angolo piano** (rad): angolo al centro di una circonferenza che sottende un arco di lunghezza pari al raggio.  $1 \text{ rad} = 180^\circ/\pi$ . Incertezza (scarto tipo)  $\pm 0.24 \mu\text{rad}$  (IMGC-INRiM)

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Relazione
Angolo piano	angolo giro ( $^\circ$ )		1 angolo giro = $2 \pi$ rad
	grado centesimale ( $^\circ$ ) oppure gon ( $^\circ$ )	gon ( $^\circ$ )	1 gon = $\frac{\pi}{200}$ rad
	grado sessagesimale	$^\circ$	1 $^\circ$ = $\frac{\pi}{180}$ rad
	minuto d'angolo	'	1' = $\frac{\pi}{10.800}$ rad
	secondo d'angolo	"	1" = $\frac{\pi}{648.000}$ rad

**Angolo solido** (sr): angolo col vertice nel centro di una sfera e che sottende una calotta sferica di area uguale a quella di un quadrato con lato uguale al raggio.

## S.I.: unità derivate

Derived quantity	SI coherent derived unit <sup>(a)</sup>			
	Name	Symbol	Expressed in terms of other SI units	Expressed in terms of SI base units
plane angle	radian <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	$m/m$
solid angle	steradian <sup>(b)</sup>	sr <sup>(a)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	$m^2/m^2$
frequency	hertz <sup>(b)</sup>	Hz		$s^{-1}$
force	newton	N		$m \text{ kg s}^{-2}$
pressure, stress	pascal	Pa	$N/m^2$	$m^{-1} \text{ kg s}^{-2}$
energy, work, amount of heat	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \text{ kg s}^{-2}$
power, radiant flux	watt	W	$J/s$	$m^2 \text{ kg s}^{-3}$
electric charge, amount of electricity	coulomb	C		$s \cdot A$
electric potential difference, electromotive force	volt	V	$W/A$	$m^2 \text{ kg s}^{-2} A^{-1}$
capacitance	farad	F	$C/V$	$m^{-2} \text{ kg}^{-1} s^4 A^2$
electric resistance	ohm	$\Omega$	$V/A$	$m^2 \text{ kg s}^{-3} A^{-2}$
electric conductance	siemens	S	$A/V$	$m^{-2} \text{ kg}^{-1} s^3 A^2$
magnetic flux	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \text{ kg s}^{-2} A^{-1}$
magnetic flux density	tesla	T	$Wb/m^2$	$kg s^{-2} A^{-1}$
inductance	henry	H	$Wb/A$	$m^2 \text{ kg s}^{-2} A^{-2}$
Celsius temperature	degree Celsius <sup>(c)</sup>	$^\circ\text{C}$		K
luminous flux	lumen	lm	$cd \text{ sr}^{(a)}$	cd
illuminance	lux	lx	$lm/m^2$	$m^{-2} \text{ cd}$
activity referred to a radionuclide <sup>(d)</sup>	becquerel <sup>(d)</sup>	Bq		$s^{-1}$
absorbed dose, specific energy (imparted), kerma	gray	Gy	$J/kg$	$m^2 s^{-2}$
dose equivalent, ambient dose equivalent, directional dose equivalent, personal dose equivalent	sievert <sup>(d)</sup>	Sv	$J/kg$	$m^2 s^{-2}$
catalytic activity	katal	kat		$s^{-1} \text{ mol}$

Esempi di grandezze dotate di nomi e simboli speciali

(d) The hertz is used only for periodic phenomena,

Tabella da Bureau International des Poids et Mesures, "The International System of Units (SI)", 8th ed.

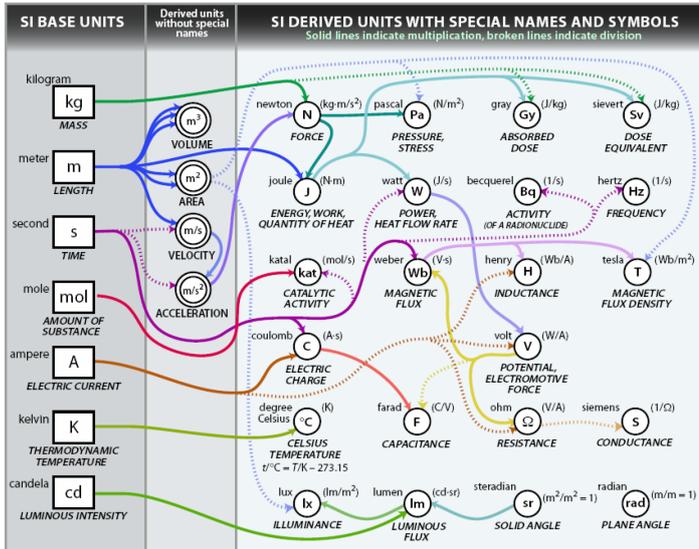
## S.I.: unità derivate

SI coherent derived unit			
Derived quantity	Name	Symbol	Expressed in terms of SI base units
dynamic viscosity	pascal second	Pa s	$m^{-1} kg s^{-1}$
moment of force	newton metre	N m	$m^2 kg s^{-2}$
surface tension	newton per metre	N/m	$kg s^{-2}$
angular velocity	radian per second	rad/s	$m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
angular acceleration	radian per second squared	rad/s <sup>2</sup>	$m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
heat flux density, irradiance	watt per square metre	W/m <sup>2</sup>	$kg s^{-3}$
heat capacity, entropy	joule per kelvin	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
specific heat capacity, specific entropy	joule per kilogram kelvin	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
specific energy	joule per kilogram	J/kg	$m^2 s^{-2}$
thermal conductivity	watt per metre kelvin	W/(m K)	$m kg s^{-3} K^{-1}$
energy density	joule per cubic metre	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} kg s^{-2}$
electric field strength	volt per metre	V/m	$m kg s^{-3} A^{-1}$
electric charge density	coulomb per cubic metre	C/m <sup>3</sup>	$m^{-3} s A$
surface charge density	coulomb per square metre	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} s A$
electric flux density, electric displacement	coulomb per square metre	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} s A$
permittivity	farad per metre	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
permeability	henry per metre	H/m	$m kg s^{-2} A^{-2}$
molar energy	joule per mole	J/mol	$m^2 kg s^{-2} mol^{-1}$
molar entropy, molar heat capacity	joule per mole kelvin	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
exposure (x- and γ-rays)	coulomb per kilogram	C/kg	$kg^{-1} s A$
absorbed dose rate	gray per second	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
radiant intensity	watt per steradian	W/sr	$m^2 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
radiance	watt per square metre steradian	W/(m <sup>2</sup> sr)	$m^{-2} m^{-2} kg s^{-3} = kg s^{-3}$
catalytic activity concentration	katal per cubic metre	kat/m <sup>3</sup>	$m^{-3} s^{-1} mol$

Esempi di grandezze che includono nelle unità, simboli di unità derivate

Tabella da Bureau International des Poids et Mesures, "The International System of Units (SI)", 8th ed.

## S.I.: relazioni fra unità di misura



## S.I.: multipli e sottomultipli

Ad ogni unità di misura corrispondono dei multipli e sottomultipli, in genere questi vengono indicati con degli appositi prefissi:

multipli			sottomultipli		
Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
10 <sup>24</sup>	yotta-	Y-	10 <sup>-24</sup>	yocto-	y-
10 <sup>21</sup>	zetta-	Z-	10 <sup>-21</sup>	zepto-	z-
10 <sup>18</sup>	exa-	E-	10 <sup>-18</sup>	atto-	a-
10 <sup>15</sup>	peta-	P-	10 <sup>-15</sup>	femto-	f-
10 <sup>12</sup>	tera-	T-	10 <sup>-12</sup>	pico-	p-
10 <sup>9</sup>	giga-	G-	10 <sup>-9</sup>	nano-	n-
10 <sup>6</sup>	mega-	M-	10 <sup>-6</sup>	micro-	μ-
10 <sup>3</sup>	chilo-	k-	10 <sup>-3</sup>	milli-	m-
10 <sup>2</sup>	etto-	h-	10 <sup>-2</sup>	centi-	c-
10	deca-	da-	10 <sup>-1</sup>	deci-	d-

NON sono ammessi prefissi composti (es.: "kilopico" invece di "nano")

## S.I.: regole di scrittura

Le unità vanno scritte in *minuscolo e senza accenti* (es.: ampere, non Ampère).

Le unità non hanno plurale (es. 5 volt, non 5 volts).

I simboli delle unità vanno scritti in minuscolo, salvo che non vengano da un nome proprio di persona (kg per kilogrammo, ma K per kelvin).

I simboli delle unità non devono essere seguiti da un punto (tranne che per la normale punteggiatura).

I simboli seguono il valore numerico (1 kg, non kg 1).

Il prodotto di unità si esprime con il punto centrato o con uno spazio (es.: V·s oppure V s).

Il rapporto di due unità si esprime con la barra di divisione o con un esponente negativo (es.: J/s oppure J s<sup>-1</sup>).

## Unità di uso comune

Unità accettate per l'uso dal CIPM (Comité International des Poids et Mesures)

Quantity	Unit	Symbol	Conversion
Volume	liter	l, L	1 L = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Mass	metric ton	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
Time	minute	min	1 min = 60 s
Time	hour	h	1 h = 3600 s
Time	day	d	1 d = 86400 s
Plane angle	degree	°	1° = (π/180) rad
Plane angle	minute	'	1' = (π/10800) rad
Plane angle	second	"	1" = (π/648000) rad

tabella da P. Formisano, The Uncertainty in Physical Measurements, Springer, 2008

## Unità logaritmiche

**neper (Np) e bel (B):**

- unità logaritmiche
- esprimono il *rapporto* fra due valori di una medesima grandezza.

**neper** – date due grandezze omogenee  $g_1$  e  $g_2$  il valore del rapporto in neper è

$$L_{Np} = \ln \frac{g_1}{g_2}$$

(logaritmo naturale)

**bel** – date due grandezze omogenee  $g_1$  e  $g_2$  il valore del rapporto in bel è

$$L_B = \log \frac{g_1}{g_2}$$

(logaritmo decimale)

Brochure "The International System of Units", Table 8, scaricabile da:  
<http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>

**decibel** – 1dB = (1/10)B

## Il decibel (dB)

- un **decibel** = 1/10 di bel
- unità logaritmica
- esprime un rapporto (*attenuazione/guadagno*)

$$L_X = 10 \log \frac{X}{X_0}$$

ovvero  
 $L_X = 1\text{dB} \rightarrow X/X_0 = 10^{1/10}$

- approssimazione utile
- 1 dB  $\rightarrow X/X_0 = 10^{1/10} \approx 1.259 \rightarrow 1.25$
  - 3 dB  $\rightarrow X/X_0 = 10^{3/10} \approx 1.995 \rightarrow 2$
  - 10 dB  $\rightarrow X/X_0 = 10^1 = 10 \rightarrow 10$

I guadagni si *sommano*.  
 Utile per calcoli veloci:  
 24 dB = (10 + 10 + 3 + 1)dB  
 e in uscita ho approssimativamente  
 $10 \times 10 \times 2 \times 1.25 = 250$  volte  
 l'ingresso

- uno dei due valori può essere l'unità di riferimento (standard).  
 in questo caso si aggiunge un suffisso, ad es. dBm se il riferimento è 1mW

Esprimere una potenza di 45 dBm indica  $10^{45/10}$  mW = 31.623 W  
 ovvero approssimativamente  $(10 \times 10 \times 10 \times 2 \times 1.25 \times 1.25) \times 1\text{mW} = 31.25$  W

## Il decibel (dB) $L_X = 10 \log \frac{X}{X_0}$

L'uso dei dB è spesso legato a potenze o energia, e questo aspetto viene spesso sottinteso. Esprimendo il medesimo rapporto (in potenza/energia) utilizzando invece campi/tensioni/correnti (indicate con  $F$ ), poiché le potenze/energie dipendono dai quadrati di queste, si ha:

$$L_F = 10 \log \frac{F^2}{F_0^2} = 20 \log \frac{F}{F_0}$$

da cui il "famigerato" fattore 20 invece di 10.  
 → È **essenziale** sapere con quale grandezza si sta esprimendo l'attenuazione/guadagno!

dB	Power ratio	Amplitude ratio
100	10 000 000 000	100 000
90	1 000 000 000	31 623
80	100 000 000	10 000
70	10 000 000	3 162
60	1 000 000	1 000
50	100 000	316.2
40	10 000	100
30	1 000	31.62
20	100	10
10	10	3.162
6	3.981	1.995 ≈ 2
3	1.995 ≈ 2	1.413
1	1.259	1.122
0	1	1
-1	0.794	0.891
-3	0.501 ≈ 1/2	0.708
-6	0.251	0.501 ≈ 1/2
-10	0.1	0.3162
-20	0.01	0.1
-30	0.001	0.03162
-40	0.0001	0.01
-50	0.00001	0.003162
-60	0.000001	0.001
-70	0.0000001	0.0003162
-80	0.00000001	0.0001
-90	0.000000001	0.00003162
-100	0.0000000001	0.00001

tabelle da Wikipedia

Conversion between units of level and a list of corresponding ratios

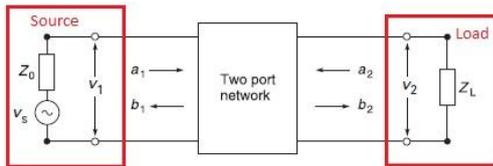
Unit	In decibels	In bels	In nepers	Corresponding power ratio	Corresponding field ratio
1 dB	1 dB	0.1 B	0.11513 Np	$10^{1/10} \approx 1.25893$	$10^{1/20} \approx 1.12202$
1 B	10 dB	1 B	1.1513 Np	10	$10^{1/2} \approx 3.16228$
1 Np	8.68589 dB	0.868589 B	1 Np	$e^2 \approx 7.38906$	$e \approx 2.71828$

An example scale showing power ratios  $x$  and amplitude ratios  $\sqrt{x}$  and dB equivalents  $10 \log_{10} x$ .

## dB: l'esempio dei dispositivi rf/microonde

Rete descritta da parametri  $S$ :

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$



$$\Rightarrow \begin{aligned} b_1 &= s_{11}a_1 + s_{12}a_2 \\ b_2 &= s_{21}a_1 + s_{22}a_2 \end{aligned}$$

I parametri  $s$  moltiplicano le **ampiezze**  $a_i$ .

$$\Rightarrow \text{Il guadagno è scritto come } g = 20 \log |s_{21}| \text{ dB}$$

( $|s_{21}|$ : i parametri  $s$  sono complessi!)



# Costanti fondamentali

TABLE XXXII. An abbreviated list of the CODATA recommended values of the fundamental constants of physics and chemistry based on the 2014 adjustment.

Quantity	Symbol	Numerical value	Unit	Relative std. uncert. $u_r$
Speed of light in vacuum	$c, c_0$	299 792 458	$\text{m s}^{-1}$	Exact
Magnetic constant	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$ $= 12.566 370 614... \times 10^{-7}$	$\text{N A}^{-2}$ $\text{N A}^{-2}$	Exact
Electric constant $1/\mu_0 c^2$	$\epsilon_0$	$8.854 187 817... \times 10^{-12}$	$\text{F m}^{-1}$	Exact
Newtonian constant of gravitation	$G$	$6.674 08(31) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	$4.7 \times 10^{-5}$
Planck constant	$h$	$6.626 070 040(81) \times 10^{-34}$	J s	$1.2 \times 10^{-8}$
$h/2\pi$	$\hbar$	$1.054 571 800(13) \times 10^{-34}$	J s	$1.2 \times 10^{-8}$
Elementary charge	$e$	$1.602 176 6208(98) \times 10^{-19}$	C	$6.1 \times 10^{-9}$
Magnetic flux quantum $h/2e$	$\Phi_0$	$2.067 833 831(13) \times 10^{-15}$	Wb	$6.1 \times 10^{-9}$
Conductance quantum $2e^2/h$	$G_0$	$7.748 091 7310(18) \times 10^{-5}$	S	$2.3 \times 10^{-10}$
Electron mass	$m_e$	$9.109 383 56(11) \times 10^{-31}$	kg	$1.2 \times 10^{-8}$
Proton mass	$m_p$	$1.672 621 898(21) \times 10^{-27}$	kg	$1.2 \times 10^{-8}$
Proton-electron mass ratio	$m_p/m_e$	1836.152 673 89(17)		$9.5 \times 10^{-11}$
Fine-structure constant $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	$\alpha$	$7.297 352 5664(17) \times 10^{-3}$		$2.3 \times 10^{-10}$
inverse fine-structure constant	$\alpha^{-1}$	137.035 999 139(31)		$2.3 \times 10^{-10}$
Rydberg constant $\alpha^2 m_e c/2h$	$R_\infty$	$10 973 731.568 508(65)$	$\text{m}^{-1}$	$5.9 \times 10^{-12}$
Avogadro constant	$N_A, L$	$6.022 140 857(74) \times 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$	$1.2 \times 10^{-8}$
Faraday constant $N_A e$	$F$	96 485.332 89(59)	$\text{C mol}^{-1}$	$6.2 \times 10^{-9}$
Molar gas constant	$R$	8.314 4598(48)	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$5.7 \times 10^{-7}$
Boltzmann constant $R/N_A$	$k$	$1.380 648 52(79) \times 10^{-23}$	$\text{J K}^{-1}$	$5.7 \times 10^{-7}$
Stefan-Boltzmann constant $(\pi^2/60)k^4/h^3 c^2$	$\sigma$	$5.670 367(13) \times 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$	$2.3 \times 10^{-6}$
Non-SI units accepted for use with the SI				
Electron volt ( $e/C$ ) J	eV	$1.602 176 6208(98) \times 10^{-19}$	J	$6.1 \times 10^{-9}$
(Unified) atomic mass unit $\frac{1}{12}m(^{12}\text{C})$	u	$1.660 539 040(20) \times 10^{-27}$	kg	$1.2 \times 10^{-8}$

Lista completa: P. J. Mohr and B. N. Taylor, "CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014", Rev. Mod. Phys. **88**, 035009 (2016)

# Dimensioni e cenno all'analisi dimensionale

Scelta delle unità di misura fondamentali

→ valori numerici delle grandezze fondamentali e derivate.

Ogni grandezza fisica ha *dimensioni rispetto a una o più unità*,

Esempio. Supponiamo di sostituire l'unità di massa, il kg, con il g,  $M=1000$  volte più piccolo.

Allora i valori delle:

- masse vengono moltiplicati per  $M$
- lunghezze vengono moltiplicati per  $M^0 = 1$
- forze vengono moltiplicati per  $M$
- permittività vengono moltiplicati per  $M^{-1}$

L'esponente di  $M$  è la *dimensione* rispettivamente alla massa.

- rispetto alla massa, massa ha dimensione 1
- lunghezza ha dimensione 0
- forza ha dimensione 1
- permittività ha dimensione -1

[Esercizio: verificare]

La dipendenza dalle unità fondamentali,  $A, B, C, \dots$ , del valore  $X$  di una grandezza qualunque si esprime come *equazione dimensionale*:

$$[X] = [A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma \dots$$

dove  $\alpha, \beta, \gamma$  sono le dimensioni di  $X$  rispetto a  $A, B, C$ , rispettivamente.

Grandezze caratterizzate da stesse dimensioni sono *dimensionalmente omogenee*

# Dimensioni e cenno all'analisi dimensionale (2)

Equazione dimensionale:  $[X] = [A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma \dots$

Grandezze caratterizzate da stesse dimensioni sono *dimensionalmente omogenee*.

Grandezze che abbiano dimensione 0 rispetto a tutte le unità fondamentali sono dette *adimensionali*.

Condizione *necessaria* per sommare o uguagliare grandezze è che siano dimensionalmente omogenee.

- funzioni trascendenti:
- sono adimensionali
  - *devono avere argomento adimensionale*
- (sin, cos, exp, ln, sinc...)

Non è condizione sufficiente! Grandezze dimensionalmente omogenee possono riferirsi a proprietà diverse.

Esempio: Lavoro = Forza × Lunghezza ⇒  $[W] = [M][L]^2[T]^{-2}$   
 Momento di una forza = Forza × Lunghezza ⇒  $[W] = [M][L]^2[T]^{-2}$

## Dimensioni e cenno all'analisi dimensionale (3)

Equazione dimensionale:  $[X] = [A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma \dots$

Condizione *necessaria* per sommare o uguagliare grandezze è che siano dimensionalmente omogenee.

**Analisi dimensionale** di un'equazione: i due membri devono avere stesse dimensioni → test veloce per controllare la correttezza di un calcolo

- NON è possibile controllare la correttezza dei valori numerici
- Il calcolo deve essere effettuato in termini letterali

(è anche possibile utilizzare l'analisi dimensionale per dedurre le dimensioni di grandezze e/o costanti)

## Il sistema cgs

Unità fondamentali:

**lunghezza:** centimetro (cm)  
**massa:** grammo (g)  
**tempo:** secondo (s)



differenze rispetto al S.I.

- (per le sole grandezze meccaniche):
- fattori moltiplicativi di potenze di 10
  - nomi delle unità

Quantity	Symbol	CGS unit	CGS unit abbreviation	Definition	Equivalent in SI units
length, position	<i>L, x</i>	centimetre	cm	1/100 of metre	= 10 <sup>-2</sup> m
mass	<i>m</i>	gram	g	1/1000 of kilogram	= 10 <sup>-3</sup> kg
time	<i>t</i>	second	s	1 second	= 1 s
velocity	<i>v</i>	centimetre per second	cm/s	cm/s	= 10 <sup>-2</sup> m/s
acceleration	<i>a</i>	gal	Gal	cm/s <sup>2</sup>	= 10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>
force	<i>F</i>	dyne	dyn	g·cm/s <sup>2</sup>	= 10 <sup>-5</sup> N
energy	<i>E</i>	erg	erg	g·cm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	= 10 <sup>-7</sup> J
power	<i>P</i>	erg per second	erg/s	g·cm <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>	= 10 <sup>-7</sup> W
pressure	<i>p</i>	barye	Ba	g/(cm·s <sup>2</sup> )	= 10 <sup>-1</sup> Pa
dynamic viscosity	<i>μ</i>	poise	P	g/(cm·s)	= 10 <sup>-1</sup> Pa·s
kinematic viscosity	<i>ν</i>	stokes	St	cm <sup>2</sup> /s	= 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
wavenumber	<i>k</i>	kayser (K)	cm <sup>-1</sup> [3]	cm <sup>-1</sup>	= 100 m <sup>-1</sup>

tabella da Wikipedia

## “i” sistemi cgs in elettromagnetismo

Il S.I. ha una grandezza elettrica fondamentale (corrente elettrica)

**Nei cgs le unità elettromagnetiche sono derivate dalle unità meccaniche**

### Sistema cgs elettrostatico

Legge di Coulomb

$$F_e = K_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Scelta:  $K_e = 1$  *adimensionale*  
 → unità di carica: **statcoulomb**  
 $[Q] = [F]^{1/2} [L] = \text{g}^{1/2} \cdot \text{cm}^{3/2} \cdot \text{s}^{-1}$

### Sistema cgs elettromagnetico

Legge dell'interazione fra correnti

$$F_m = 2K_m \frac{\ell I_1 I_2}{d}$$

Scelta:  $K_m = 1$  *adimensionale*  
 → unità di corrente: **abampere**  
 $[I] = [F]^{1/2} = \text{g}^{1/2} \cdot \text{cm}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$

### Sistema cgs simmetrizzato di Gauss

Unità cgs elettrostatico per le grandezze elettriche  
 Unità cgs elettromagnetico per le grandezze magnetiche

## cgs: le differenze chiave

Legge di Coulomb    Interazione fra correnti    Biot-Savart    Forza di Lorentz

$$F_e = K_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad F_m = 2K_m \frac{\ell I_1 I_2}{d} \quad d\vec{B} = k_B \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3} \quad \vec{F}_L = k_L q \vec{v} \times \vec{B}$$

Derivando la legge di interazione fra correnti da Lorentz + Biot-Savart

$$\rightarrow K_m = k_B \cdot k_L$$

inoltre:

$$\frac{K_e}{K_m} = c^2$$

c: velocità della luce

	$K_e$	$K_m$	$k_L$	$k_B$
<b>S.I.</b>	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	$\frac{\mu_0}{4\pi}$	1	$\frac{\mu_0}{4\pi}$
<b>cgs elettrostatico</b>	1	$\frac{1}{c^2}$	1	$\frac{1}{c^2}$
<b>cgs elettromagnetico</b>	$c^2$	1	1	1
<b>Sistema di Gauss</b>	1	$\frac{1}{c^2}$	$\frac{1}{c}$	$\frac{1}{c}$

49

## Dimensioni delle grandezze cgs

usual S.I. Symbol	Quantity Name	ESU dimensions			EMU dimensions		
		cm	g	s	cm	g	s
Q	Electric charge	+3/2	+1/2	-1	+1/2	+1/2	+0
V	Electric potential (voltage)	+1/2	+1/2	-1	+3/2	+1/2	-2
$\Phi$	Magnetic flux	+1/2	+1/2	+0	+3/2	+1/2	-1
I	Current	+3/2	+1/2	-2	+1/2	+1/2	-1
D	Electric flux density	-1/2	+1/2	-1	-3/2	+1/2	+0
E	Electric field strength	-1/2	+1/2	-1	+1/2	+1/2	-2
B	Magnetic flux density	-3/2	+1/2	+0	-1/2	+1/2	-1
H	Magnetic field strength	+1/2	+1/2	-2	-1/2	+1/2	-1
C	Capacitance	+1	+0	+0	-1	+0	+2
L	Inductance	-1	+0	+2	+1	+0	+0
$\epsilon$	Permittivity	+0	+0	+0	-2	+0	+2
$\mu$	Permeability	-2	+0	+2	+0	+0	+0
R	Resistance	-1	+0	+1	+1	+0	-1

Tabella adattata da [http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/unit\\_systems/#gus](http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/unit_systems/#gus)

50

## Scelta delle unità nel sistema di Gauss

usual S.I. Symbol	Quantity Name	ESU dimensions			EMU dimensions		
		cm	g	s	cm	g	s
Q	Electric charge	+3/2	+1/2	-1			
V	Electric potential (voltage)	+1/2	+1/2	-1			
$\Phi$	Magnetic flux				+3/2	+1/2	-1
I	Current	+3/2	+1/2	-2			
D	Electric flux density	-1/2	+1/2	-1			
E	Electric field strength	-1/2	+1/2	-1			
B	Magnetic flux density				-1/2	+1/2	-1
H	Magnetic field strength				-1/2	+1/2	-1
C	Capacitance	+1	+0	+0			
L	Inductance	-1	+0	+2			
$\epsilon$	Permittivity	+0	+0	+0			
$\mu$	Permeability				+0	+0	+0
R	Resistance	-1	+0	+1			

stesse unità per D e E

stesse unità per B e H

se una è adim., l'altra ha dim [L]<sup>2</sup>[s]<sup>2</sup>

Tabella adattata da [http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/unit\\_systems/#gus](http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/unit_systems/#gus)

51

## Conversioni dalle grandezze elettriche cgs

Grandezze elettriche  
cgs elettrostatico

Quantity	Unit	Symbol	Conversion
Force	dyne	dyn	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
Work, energy	erg	erg	1 erg = 10 <sup>-7</sup> J
Electric charge	statcoulomb	statC	1 statC ↔ 3.336 × 10 <sup>-10</sup> C
Electric current	statampere	statA	1 statA ↔ 3.336 × 10 <sup>-10</sup> A
Electric potential	statvolt	statV	1 statV ↔ 299.8 V

Grandezze elettriche  
cgs elettromagnetico

Quantity	Unit	Symbol	Conversion
Force	dyne	dyn	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
Work, energy	erg	erg	1 erg = 10 <sup>-7</sup> J
Electric charge	abcoulomb	-	1 abcoulomb ↔ 10 C
Electric current	abampere	-	1 abampere ↔ 10 A
Electric potential	abvolt	-	1 abvolt ↔ 1.0 × 10 <sup>-8</sup> V

tabella adattata e compilata da P. Formisano, The Uncertainty in Physical Measurements, Springer, 2008

Per i simboli spesso si usano le sole dizioni  
“e.s.u.” (electrostatic unit) e  
“e.m.u.” (electromagnetic unit)

## Conversioni dalle grandezze magnetiche cgs

Grandezze magnetiche

moltiplicare per  $k$  per  
ottenere il valore S.I.,  
nelle unità S.I.

Quantity name	CGS Unit	k	SI Unit
<a href="#">magnetomotive force</a>	gilbert	2.5/π	ampere
<a href="#">magnetic field strength</a>	oersted	250/π	amp per metre
<a href="#">magnetic flux density</a>	gauss	10 <sup>-4</sup>	tesla
<a href="#">magnetic flux</a>	maxwell	10 <sup>-8</sup>	weber
<a href="#">magnetization</a>	abamps per cm	10 <sup>3</sup>	amps per metre
Energy product	gauss-oersted	7.962 × 10 <sup>-3</sup>	J m <sup>-3</sup>

Suscettività

moltiplicare per il fattore  
all'incrocio delle righe e  
colonne per ottenere il  
valore S.I., nelle unità S.I.

SI type	SI symbol	SI units	CGS type		
			bulk	mass	molar
			CGS symbol	$\chi$ , $\chi_q$	$\chi_q$
CGS units	1	cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	cm <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>		
bulk	$\chi$	1	4 π	4 π × 10 <sup>-3</sup> q	4 π × 10 <sup>-6</sup> q / M
mass	$\chi_q$	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>	4 π / q	4 π × 10 <sup>-3</sup>	4 π × 10 <sup>-6</sup> / M
molar	$\chi_M$	m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>	4 π M / q	4 π × 10 <sup>-3</sup> M	4 π × 10 <sup>-6</sup>

where q is the density of the substance in kg m<sup>-3</sup> and M is the molar mass in kg mol<sup>-1</sup>

Tabelle da [http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/unit\\_systems/#gus](http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/unit_systems/#gus)

## Conversioni cgs → S.I.

Per convertire unità e.m.u. o e.s.u. in S.I.: risalire alle leggi di forza!

Legge di Coulomb    Interazione fra correnti    Biot-Savart    Forza di Lorentz

$$F_e = K_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad F_m = 2K_m \frac{\ell I_1 I_2}{d} \quad d\vec{B} = k_B \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3} \quad \vec{F}_L = k_L q \vec{v} \times \vec{B}$$

Inoltre carica e corrente sono legate dimensionalmente da  $[Q] = [I][T]$

*Esempio.* Calcolare il fattore di ragguaglio fra l'abampere e l'ampere,  $I_{SI} = k I_{EM}$ .

cgs e.m., definizione di abampere: la corrente che, scorrendo uguale in due fili rettilinei indefiniti paralleli a distanza  $d$ , produce una forza di 2 dyne fra due tratti di  $\ell = 1$  cm, con la scelta  $K_m = 1$ .

1. riscrivere l'espressione con i valori delle grandezze meccaniche convertiti in S.I.

2. ricordare che  $K_m = \mu_0/4\pi$  nel S.I.

$$\Rightarrow I_{SI} = [F_{SI} d_{SI} / 2K_{mSI} \ell_{SI}]^{1/2} = [2 \times 10^{-5} \text{ N } 10^{-2} \text{ m} / 2 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{C}^{-2} \cdot \text{s}^2 \cdot 10^{-2} \text{ m}]^{1/2} = 10 \text{ C} \cdot \text{s}^{-1} = 10 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_{SI} = k I_{EM}, \quad \text{con} \quad k = 10 \text{ A/abampere}$$

Oss.: in tutti i sistemi di unità di misura,  $K_m = k_B \cdot k_L$  e  $\frac{K_e}{K_m} = c^2$

dove  $c$  è la velocità della luce in quel particolare sistema di unità

## Sistema cgs di Gauss (1881)

Unità cgs elettrostatico per le grandezze elettriche  
Unità cgs elettromagnetico per le grandezze magnetiche

Legge della forza esperita da un tratto di filo di lunghezza  $\ell$  percorso da corrente  $I$  in un campo di induzione magnetica (densità di flusso)  $B$ :  $F = IB\ell$   
Definisce l'unità di  $B$ , il *gauss*, t.c. un tratto di filo di  $\ell = 1\text{cm}$ , dove scorre  $I = 1$  abampere, subisce una forza di 1 dyne.  
 $1\text{ gauss} \leftrightarrow 10^{-4}\text{ tesla}$

Gaussian units	SI units
$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi\mathbf{P}$	$\mathbf{D} = \epsilon_0\mathbf{E} + \mathbf{P}$
$\mathbf{P} = \chi_e\mathbf{E}$	$\mathbf{P} = \chi_e\epsilon_0\mathbf{E}$
$\mathbf{D} = \epsilon\mathbf{E}$	$\mathbf{D} = \epsilon\mathbf{E}$
$\epsilon = 1 + 4\pi\chi_e$	$\epsilon/\epsilon_0 = 1 + \chi_e$

Name	Gaussian units	SI units
Lorentz force	$\mathbf{F} = q\left(\mathbf{E} + \frac{1}{c}\mathbf{v} \times \mathbf{B}\right)$	$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$
Coulomb's law	$\mathbf{F} = \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$	$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$
Electric field of stationary point charge	$\mathbf{E} = \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$	$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$
Biot-Savart law	$\mathbf{B} = \frac{1}{c} \oint \frac{Id\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$ [6]	$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{Id\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$

Gaussian units	SI units
$\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}$	$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$
$\mathbf{M} = \chi_m\mathbf{H}$	$\mathbf{M} = \chi_m\mathbf{H}$
$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$	$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$
$\mu = 1 + 4\pi\chi_m$	$\mu/\mu_0 = 1 + \chi_m$

## Sistema cgs di Gauss (1881)

Name	Gaussian units	SI units
Gauss's law (macroscopic)	$\nabla \cdot \mathbf{D} = 4\pi\rho_f$	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_f$
Gauss's law (microscopic)	$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho$	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0$
Gauss's law for magnetism:	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
Maxwell-Faraday equation (Faraday's law of induction):	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Ampère-Maxwell equation (macroscopic):	$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{J}_f + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}_f + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
Ampère-Maxwell equation (microscopic):	$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

## Scelta delle unità nel sistema di Gauss

usual S.I. Symbol	Quantity Name	ESU dimensions			EMU dimensions		
		cm	g	s	cm	g	s
Q	Electric charge	+3/2	+1/2	-1			
V	Electric potential (voltage)	+1/2	+1/2	-1			
$\Phi$	Magnetic flux				+3/2	+1/2	-1
I	Current	+3/2	+1/2	-2			
D	Electric flux density	-1/2	+1/2	-1			
E	Electric field strength	-1/2	+1/2	-1			
B	Magnetic flux density				-1/2	+1/2	-1
H	Magnetic field strength				-1/2	+1/2	-1
C	Capacitance	+1	+0	+0			
L	Inductance	-1	+0	+2			
$\epsilon$	Permittivity	+0	+0	+0			
$\mu$	Permeability				+0	+0	+0
R	Resistance	-1	+0	+1			

stesse unità per D e E  
stesse unità per B e H

se una è adim., l'altra ha dim [L]<sup>2</sup>[s]<sup>2</sup>

## Note sul sistema di Gauss

- $[R] = s \text{ cm}^{-1}$ . Pertanto la resistività  $\rho$  si misura in s!
- La permeabilità e la permittività sono *adimensionali* e corrispondono nel SI alle permittività e permeabilità *relative*.
- tutti i campi (E, D, B, H) hanno stesse dimensioni  $[L]^{-1/2}[M]^{1/2}[T]$ .
- l'unità di campo magnetico H, l'*oersted*, è definito come (vecchia definizione) il campo prodotto al centro di una spira circolare di raggio 1 cm, dove circola una corrente di  $1/(2\pi)$  abampere. Poiché in questo caso
  - nel SI  $H_{SI} = I_{SI}/2r_{SI}$ , e
  - 1 abampere  $\leftrightarrow 10 \text{ A}$ ,
  - $\rightarrow 1 \text{ oersted} \leftrightarrow (10/2\pi) \text{ A} / 2 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 250/\pi \text{ A/m}$

## Sistema di Gauss $\rightarrow$ S.I.

TABLE I. M.K.S. / Gaussian Conversion Factors.  $^{\circ}3 \equiv 2.99792456$

Quantity	Symbol	M.K.S. $\equiv$ S.I. Unit	Factor	Gaussian Unit
Length	$l$	m	$10^2$	cm
Mass	$m$	kg	$10^3$	gm
Time	$t$	sec	1	sec
Frequency	$\nu$	hertz(Hz)	1	1/s
Force	$F$	(N)ewton	$10^5$	dyne
Energy(work)	$W$	(J)oule	$10^7$	erg
Power	$P$	(W)att	$10^7$	erg-sec $^{-1}$
Charge	$q$	(C)oulomb	$^{\circ}3 \times 10^9$	statcoul
Charge density	$\rho$	C-m $^{-3}$	$^{\circ}3^3 \times 10^3$	statcoul-cm $^{-3}$
Current	$I$	(A)mp	$^{\circ}3 \times 10^9$	statamp
Current density	$J$	A-m $^{-2}$	$^{\circ}3 \times 10^5$	statamp-cm $^{-2}$
Electric field	$E$	V-m $^{-1}$	$10^{-4}/^{\circ}3$	statvolt-cm $^{-1}$
Electric potential	$V$	(V)olt	$10^{-2}/^{\circ}3$	statvolt
Polarization	$P$	C-m $^{-2}$	$^{\circ}3 \times 10^5$	dip.mom.-cm $^{-3}$
Electric Displacement	$D$	c-m $^{-2}$	$4\pi \times ^{\circ}3 \times 10^5$	statvolt-cm $^{-1}$
Conductivity	$\sigma$	mho-m $^{-1}$	$^{\circ}3^2 \times ^{\circ}3^2 \times 10^9$	sec-cm $^{-1}$
Resistance	$R$	ohm( $\Omega$ )	$10^{-11}/(^{\circ}3 \times ^{\circ}3)$	sec-cm $^{-1}$
Capacitance	$C$	(F)arad	$^{\circ}3 \times ^{\circ}3 \times 10^{11}$	cm
Magnetic flux	$\phi$	weber(Wb)	$10^8$	gauss-cm $^2$
Magnetic induction	$B$	(T)esla	$10^4$	gauss
Magnetic field	$H$	A-turn-m $^{-1}$	$4\pi \times 10^{-3}$	oersted
Magnetization	$M$	A-m $^{-1}$	$10^{-3}$	magmom.-cm $^{-3}$
Inductance	$L$	(H)enry	$10^{-11}/(^{\circ}3 \times ^{\circ}3)$	Gaussian es.u.

### UNITS FOR MAGNETIC PROPERTIES

Quantity	Symbol	Gaussian & cgs emu <sup>a</sup>	Conversion factor, C <sup>b</sup>	SI & rationalized mks <sup>c</sup>
Magnetic flux density, magnetic induction	$B$	gauss (G) <sup>d</sup>	$10^{-4}$	tesla (T), Wb/m $^2$
Magnetic flux	$\phi$	maxwell (Mx), G-cm $^2$	$10^{-8}$	weber (Wb), volt second (V-s)
Magnetic potential difference, magnetomotive force	$U, F$	gilbert (Gb)	$10/4\pi$	ampere (A)
Magnetic field strength, magnetizing force	$H$	oersted (Oe), <sup>e</sup> Gb/cm	$10^3/4\pi$	A/m <sup>f</sup>
(Volume) magnetization <sup>g</sup>	$M$	emu/cm $^{3h}$	$10^3$	A/m
(Volume) magnetization	$4\pi M$	G	$10^3/4\pi$	A/m
Magnetic polarization intensity of magnetization	$J, I$	emu/cm $^3$	$4\pi \times 10^{-4}$	T, Wb/m $^{2i}$
(Mass) magnetization	$\sigma, M$	emu/g	1 $4\pi \times 10^{-7}$	A-m $^2$ /kg Wb-m/kg
Magnetic moment	$m$	emu, erg/G	$10^{-3}$	A-m $^2$ , joule per tesla (J/T)
Magnetic dipole moment	$j$	emu, erg/G	$4\pi \times 10^{10}$	Wb-m <sup>i</sup>
(Volume) susceptibility	$\chi, \kappa$	dimensionless, emu/cm $^3$	$4\pi$ $(4\pi)^2 \times 10^{-7}$	dimensionless henry per meter (H/m), Wb/(A-m)

(Mass) susceptibility	$\chi_p, \kappa_p$	cm <sup>3</sup> /g, emu/g	$4\pi \times 10^{-3}$ $(4\pi)^2 \times 10^{-10}$	m <sup>3</sup> /kg H·m <sup>2</sup> /kg
(Molar) susceptibility	$\chi_{mol}, \kappa_{mol}$	cm <sup>3</sup> /mol, emu/mol	$4\pi \times 10^{-6}$ $(4\pi)^2 \times 10^{-13}$	m <sup>3</sup> /mol H·m <sup>2</sup> /mol
Permeability	$\mu$	dimensionless	$4\pi \times 10^{-7}$	H/m, Wb/(A·m)
Relative permeability <sup>j</sup>	$\mu_r$	not defined		dimensionless
(Volume) energy density, energy product <sup>k</sup>	$W$	erg/cm <sup>3</sup>	10 <sup>-1</sup>	J/m <sup>3</sup>
Demagnetization factor	$D, N$	dimensionless	1/4π	dimensionless

- a. Gaussian units and cgs emu are the same for magnetic properties. The defining relation is  $B = H + 4\pi M$ .
- b. Multiply a number in Gaussian units by C to convert it to SI (e.g., 1 G  $\times 10^{-4}$  T/G = 10<sup>-4</sup> T).
- c. SI (*Système International d'Unités*) has been adopted by the National Bureau of Standards. Where two conversion factors are given, the upper one is recognized under, or consistent with, SI and is based on the definition  $B = \mu_0(H + M)$ , where  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m. The lower one is not recognized under SI and is based on the definition  $B = \mu_0 H + J$ , where the symbol  $J$  is often used in place of  $M$ .
- d. 1 gauss = 10<sup>5</sup> gamma (γ).
- e. Both oersted and gauss are expressed as cm<sup>-1/2</sup>·g<sup>-1/2</sup>·s<sup>-1</sup> in terms of base units.
- f. A/m was often expressed as "ampere-turn per meter" when used for magnetic field strength.
- g. Magnetic moment per unit volume.
- h. The designation "emu" is not a unit.
- i. Recognized under SI, even though based on the definition  $B = \mu_0 H + J$ . See footnote c.
- j.  $\mu_r = \mu / \mu_0 = 1 + \chi$ , all in SI.  $\mu_r$  is equal to Gaussian  $\mu$ .
- k.  $B \cdot H$  and  $\mu_0 M \cdot H$  have SI units J/m<sup>3</sup>;  $M \cdot H$  and  $B \cdot H / 4\pi$  have Gaussian units erg/cm<sup>3</sup>.

R. B. Goldfarb and F. R. Fickett,  
U.S. Department of Commerce,  
National Bureau of Standards,  
Boulder, Colorado 80303, March  
1985 NBS Special Publication 696  
For sale by the Superintendent of  
Documents, U.S. Government  
Printing Office, Washington, DC  
20402

## Unità (elettromagnetiche) pratiche

- sistema ibrido, spesso ancora usato (comunque da evitare!)
- Unità meccaniche: cgs
- Unità elettromagnetiche: derivate dal volt e ampere, quindi:

$$\begin{aligned} [Q] &= \text{coulomb} \\ [R] &= \text{ohm} \\ [C] &= \text{farad} \\ [L] &= \text{henry} \end{aligned}$$

tuttavia per le unità intensive si usano le unità cgs:

$$\begin{aligned} [q] &= \Omega \cdot \text{cm} & [\text{resistività}] \\ [E] &= \text{V} / \text{cm} & [\text{campo elettrico}] \\ [H] &= \text{A} / \text{cm} & [\text{campo magnetico}] \\ & \text{etc} \end{aligned}$$

## Esercizi (controllare su <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/en/>)

Es. Un resistore ha resistenza (nel cgs e.m.)  $R_{emu} = 6700$  abohm. Che ddp esiste ai suoi capi quando scorre una corrente di 1 A?

Soluzione. Conoscendo già il fattore di ragguglio delle correnti,  $I_{SI} = 10$  A/abampere  $I_{emu}$ , si determina dapprima la ddp in emu:  $I_{emu} = 10^{-1}$  abampere/A, e quindi:

$$V_{emu} = I_{emu} R_{emu} = [1 \text{ A} \times 10^{-1} \text{ abampere/A} \times 6700 \text{ abohm}] = 670 \text{ abvolt}$$

Si cerca poi il fattore di ragguglio V/abvolt.

Per esempio attraverso l'energia: il prodotto di 1 abcoulomb per 1 abvolt fornisce 1 erg (QV = E).

Poiché i fattori di ragguglio abcoulomb/C e abampere/A sono i medesimi (l'unità di tempo è la stessa in cgs e in SI - il s), allora 1 abcoulomb = 10 C. Esprimendo  $Q_{emu} V_{emu} = E_{emu}$  in SI:

$$10 \text{ C} \times 1 \text{ abvolt} = 10^{-7} \text{ J} \Rightarrow \mathbf{1 \text{ abvolt} = 10^{-8} \text{ J/C} = 10^{-8} \text{ V}} \Rightarrow \quad [\text{soluzione: } 6.7 \mu\text{V}]$$

Es. Su un condensatore è depositata una carica di  $6.3 \times 10^6$  statcoulomb, originando una ddp di 90 V. Quanto vale la capacità del condensatore?

Soluzione. Parte dei dati è in SI. Poiché  $C = Q/V$ , è sufficiente trovare il fattore di ragguglio fra coulomb e statcoulomb. Si deve ricorrere alla legge di forza:

$$F_e = K_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

dove due cariche di 1 statcoulomb ciascuna, poste a  $r = 1$  cm di

distanza, originano una forza di 1 dyn. In SI, ricordando che  $K_e = 1/4\pi\epsilon_0$ , si ha:

$$Q_{SI} (1 \text{ statcoulomb}) = [F_{SI} r_{SI}^2 4\pi\epsilon_0]^{1/2} = [10^{-5} \text{ N} (10^{-2} \text{ m})^2 4\pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}]^{1/2} = 3.335 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

$$\mathbf{1 \text{ statcoulomb} = 3.335 \cdot 10^{-10} \text{ C}}$$

$$\Rightarrow C = Q/V = 6.3 \times 10^6 \text{ statcoulomb} \times 3.335 \cdot 10^{-10} \text{ C/statcoulomb} / 90 \text{ V} = 23.4 \mu\text{F}$$

