

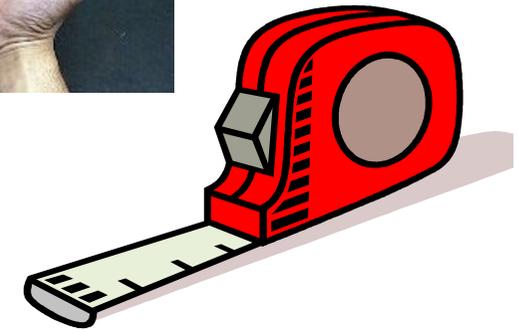
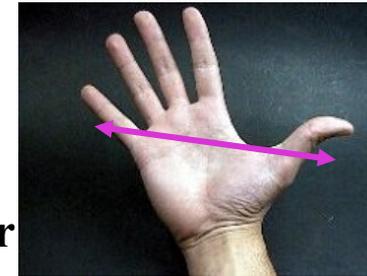
Grandezze Fisiche e Misura

Grandezza fisica: tutto ciò che, essendo suscettibile di variare quantitativamente, può essere sottoposto ad un processo di misura **definito e ripetibile**

Esempi: - lunghezze, aree, tempo, velocità, etc

L'unità di misura può essere:

- **arbitraria:** ad esempio la spanna, il piede o il passo per la misura di lunghezze
- **convenzionale:** se è scelta di comune accordo dalla comunità, ad esempio il “metro”, che è l'unità di misura del **Sistema Internazionale di misura (SI)**.



Una buona *unità di misura* deve

- essere **omogenea con la grandezza da misurare**
- essere **costante**, cioè non cambiare nel tempo o con condizioni esterne
- essere **riproducibile**, cioè tale che anche altri possono costruirla
- avere **multipli e sottomultipli**, per poter misurare oggetti più grossi o più piccoli

Grandezze fisiche e loro misura: Sistema Internazionale

Per poter rendere comprensibile l'esperimento e poterlo eseguire in modo **ripetibile** anche in altri luoghi, per poter discutere il risultato con **scienziati, anche di altre lingue**, è necessario **definire** con quali **unità di misura** l'esperimento viene eseguito.

Tali unità di misura devono poter essere **disponibili o ricavabili da chiunque** si cimenti in questi **esperimenti**. Da qui la necessità di definire in modo univoco alcune unità di misura di base da usare come **campioni primari** e da cui ricavare anche tutte le altre.

A tale scopo, è stato creato il **Sistema Internazionale** di unità di misura, più ufficialmente – in lingua francese - *Système International d'Unités* e abbreviato in **SI** che è il più diffuso tra i sistemi di unità di misura.

Le unità e gli altri elementi del SI vengono stabilite dalla **Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM**.

Oggi, il SI è basato su **sette unità fondamentali di misura (lunghezza, tempo, massa, intensità di corrente elettrica, temperatura termodinamica, intensità luminosa, quantità di sostanza)** dalle quali vengono ricavate tutte le altre unità di misura che sono dette unità derivate.

Il SI, inoltre, definisce una sequenza di prefissi da premettere alle unità di misura per identificare i loro multipli e sottomultipli.

Sistema Internazionale: convenzioni di scrittura

I **simboli** sono scritti in **minuscolo**, ad **eccezione** di quelli in cui l'unità di misura derivi dal **nome di una persona**. Ad esempio il simbolo SI della pressione, dedicato a Blaise Pascal, è **Pa**, mentre l'unità di misura viene scritta **pascal**. L'unica eccezione è permessa per il litro dove è accettabile sia la l che la L.

È preferibile non usare il corsivo o il grassetto per i simboli, in modo da differenziarli dalle variabili matematiche e fisiche (ad esempio, m per la massa, l per la lunghezza).

Inserire uno spazio tra i numeri ed i simboli: **2,21 kg**

Il SI usa gli spazi per separare le cifre intere in gruppi di tre. Ad esempio **1 000 000** o 342 142 (contrariamente alle virgole ed ai punti usati in altri sistemi: 1,000,000 o 1.000.000).

Il SI usa la virgola come separatore tra i numeri interi e quelli decimali come in "**24,51**". Nel 1997 ha concesso la possibilità di usare il punto, ma solo per i testi il cui linguaggio principale è l'inglese.

Il SI viene usato in ogni nazione ed, in alcune di esse, il suo uso è obbligatorio.



FLACCVS NARCAEVSI NEARELLIAN CALA
MENSVRAS EXAEQVANDASEX DEC DEC



Grandezze fisiche e loro misura: Sistema Internazionale

Un esempio di cosa possa capitare se non vengono utilizzate unità di misura ben definite è dato dal caso del Mars Polar Lander.

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://mars.jpl.nasa.gov/msp98/news/mco990930.html>. The page features a header for the Mars Polar Lander mission, including navigation links like 'Mission Overview', 'Science Goals', and 'Status & News'. Below the header, there are contact details for Douglas Isbell, Mary Hardin, and Joan Underwood. The main headline reads 'MARS CLIMATE ORBITER TEAM FINDS LIKELY CAUSE OF LOSS'. A paragraph below explains that a failure to recognize and correct an error in a transfer of information between the Mars Climate Orbiter spacecraft team in Colorado and the mission navigation team in California led to the loss of the spacecraft. A red box highlights a specific sentence: 'The peer review preliminary findings indicate that one team used English units (e.g., inches, feet and pounds) while the other used metric units for a key spacecraft operation. This information was critical to the maneuvers required to place the spacecraft in the proper Mars orbit.'

Dossier: Alla conquista del Pianeta Rosso

[scarica il PDF](#)

Fallimenti a Stelle e Striscie

Dopo il grande successo del MGS e il fiasco russo, anche alla Nasa avrebbero fatto i conti con un serie di imbarazzanti fallimenti.



Nel dicembre del 1998, la Nasa lanciò il Mars Climate Observer, il primo satellite prettamente meteorologico progettato per orbitare stabilmente attorno a un pianeta. La sonda avrebbe dovuto lavorare in coppia con un'altra che sarebbe stata lanciata nel gennaio dell'anno successivo, la Mars Polar Lander.

Scopo di quest'ultima missione era quello di far sbarcare un lander in prossimità del polo settentrionale di Marte per studiare la composizione del ghiaccio marziano.

Al contrario del Pathfinder la sonda avrebbe utilizzato un sistema di frenamento del tipo utilizzato sui Viking in modo da poter atterrare sui suoi supporti. Per il resto utilizzava tecnologie molto simili alla navetta Pathfinder.

Il lander del 1999 aveva però anche un altro compito. A sostegno della missione sui ghiacci, al Jpl progettarono un secondo programma di studio, il Deep Space 2. Prima dell'atterraggio il lander, infatti, avrebbe rilasciato in caduta libera due palloni di piccole dimensioni, all'interno dei quali si trovavano due microsonde perforatrici che avrebbe dovuto eseguire una trivellazione del suolo marziano fino a una profondità di circa due metri.

Nessuno dei tre programmi ha avuto esito positivo. Anzi, il fallimento rasentò il ridicolo.

Il Climate Observer andò bruciato nell'atmosfera marziana a causa di un incredibile errore: mentre la società costruttrice della sonda aveva utilizzato il sistema metrico anglosassone, alla Nasa continuarono a utilizzare il Sistema Internazionale; al momento di leggere la spinta dei razzi per l'immissione in orbita invece di "libbre", come avevano fatto alla Lockheed Martin, furono letti "newton", con il risultato che al momento di dare la spinta alla sonda per l'inserimento nella giusta orbita, fu inserito un valore completamente sballato dirottando il Climate Orbiter su una orbita suicida.

Sito della Nasa

Sistema Internazionale: le unità di base

Grandezza	Nome	Simbolo	Definizione
Lunghezza	metro	m	"Il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di 1/299 792 458 di secondo"; è così fissata, per definizione, la velocità della luce in 299 792 458 m/s
Massa	kilogrammo	kg	"Il kilogrammo è l'unità di massa ed è eguale alla massa del prototipo internazionale"; il prototipo internazionale, cilindro di platino iridio , è conservato presso il BIPM (Bureau International des Poids et mesures)"
Tempo	secondo	s	"il secondo è l'intervallo di tempo che contiene 9 192 631 770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133 "
Intensità di corrente elettrica	ampere	A	"l'ampere è l'intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro, nel vuoto, produrrebbe tra i due conduttori la forza di 2×10^{-7} newton per ogni metro di lunghezza"
Temperatura termodinamica	kelvin	K	"il kelvin è la frazione $1/273,16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua"; la temperatura termodinamica si indica con il simbolo T; il valore numerico della temperatura Celsius (indicata con t) in gradi celsius è data da: $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$.
I n t e n s i t à luminosa	candela	cd	"la candela è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza 540×10^{12} hertz e la cui intensità energetica in quella direzione è $1/683$ watt allo steradiante"
Quantità di sostanza	mole	mol	"la mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 kg di carbonio 12 (^{12}C). Le entità elementari devono essere specificate e possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, ecc., ovvero gruppi specificati di tali particelle", in questa definizione va inteso che gli atomi di ^{12}C sono non legati e nello stato fondamentale.

Sistema Internazionale: le unità di base

Dalla tabella precedente, si osserva che, per ragioni storiche, l'unica unità **di base ad avere un prefisso è la massa**.

In ogni nazione ci sono degli istituti metrologici che si occupano di conservare delle copie dei campioni primari. Tali istituti si occupano anche della taratura dei campioni secondari distribuiti a chiunque ne faccia richiesta. A Torino abbiamo

I.N.R.I.M. (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica)



La massa campione



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti"

<http://www.imgc.to.cnr.it/>



Istituto Elettrotecnico Nazionale
**GALILEO
FERRARIS**

http://www.ien.it/index_i.shtml

Sistema Internazionale: le unità derivate

Le unità **SI derivate** si ottengono combinando tra loro le unità di base in monomi del tipo seguente: $m^a \cdot kg^b \cdot s^g \cdot A^d \cdot K^e \cdot mol^x \cdot cd^h$ con coefficiente numerico 1; gli esponenti a, b, g, ecc sono numeri interi (compreso lo zero).

Ad esempio l'unità SI di volume è il metro cubo (simbolo m^3); l'unità della velocità è il metro al secondo (simbolo m/s o $m \cdot s^{-1}$), l'unità di quantità di moto è il metro per kilogrammo al secondo (simbolo $m \cdot kg/s$ o $m \cdot kg \cdot s^{-1}$).

Nel SI alcune di queste unità derivate, le più utilizzate, hanno un loro nome.

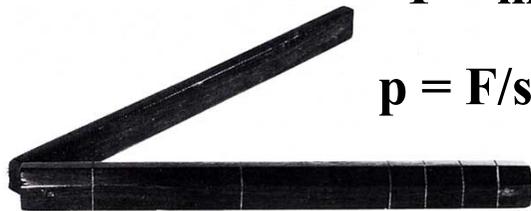
$$v \Rightarrow [m \cdot s^{-1}] \quad (\text{velocità})$$

$$q = m \cdot v \Rightarrow [kg \cdot m \cdot s^{-1}] \quad (\text{quantità di moto})$$

$$a \Rightarrow [m \cdot s^{-2}] \quad (\text{accelerazione})$$

$$F = m \cdot a \Rightarrow [kg \cdot m \cdot s^{-2}] \quad (\text{newton, forza})$$

$$p = F / \text{sup} \Rightarrow [kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}] \quad (\text{pressione})$$



Orologio atomico al cesio (NIST)

Cubiti egiziani (1 cubito egiziano = 0,447 m)
Museo egizio di Torino

Sistema Internazionale: le unità derivate

Grandezza fisica	Nome Unità SI	Simbolo SI	Espressione in funzione di altre unità SI	Espressione in funzione delle unità SI fondamentali
Frequenza	hertz	Hz		s^{-1}
Forza	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Pressione	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energia, lavoro, quantità di calore	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potenza, flusso Energetico	watt	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Carica elettrica	coulomb	C		$s \cdot A$
Potenziale elettrico, tensione elettrica	volt	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^3 \cdot A^{-1}$
Capacità elettrica	farad	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Resistenza elettrica	ohm	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Conduttanza elettrica	siemens	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Flusso d'induzione magnetica	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induzione magnetica	tesla	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induttanza	henry	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Flusso luminoso	lumen	Lm		$cd \cdot sr$
Illuminamento	lux	Lx	lm/m^2	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Attività (di un radionuclide)	Becquerel	Bq		s^{-1}
Dose assorbita	gray	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
Equivalenti di dose	sievert	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
Attività catalitica	katal	Kat	mol/s	mol/s

Sistema Internazionale: unità non SI ammesse

Alcune unità, pur essendo fuori dal Sistema Internazionale, sono entrate talmente **nella vita di ogni giorno** da non poter essere messe al bando. Si tratta di alcune unità di misura del **tempo** (giorno, ora, minuto), dell'**angolo** (grado, minuto, secondo di angolo) e di alcune altre indicate nella tabella. Tutte le altre unità non indicate nella tabella debbono essere abbandonate e sostituite con unità SI. Così si deve prendere l'abitudine di esprimere la **potenza dei motori delle automobili in kilowatt** e non in cavalli (si ricordi che 1 CV è eguale a 0,735499 kW) e la quantità di **calore** negli impianti termici in kilojoule anziché in grandi calorie (si ricordi che **1 Cal è eguale a 4186,8 kJ**).

Nome	Simbolo	Valore in unità SI
minuto	min	1 min = 60 s
ora	h	1 h = 3600 s
giorno	d	1 d = 86400 s
grado sessagesimale	°	1° = $(\pi/180)$ rad
minuto di angolo	'	1' = $(1/60)^\circ = (\pi/10\ 800)$ rad
secondo di angolo	"	1" = $(1/60)'$ = $(\pi /648\ 000)$ rad
litro	l, L	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
tonnellata	t	1 t = 1000 kg
bar	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa

Sistema Internazionale: multipli e sottomultipli

Quando l'unità SI è **troppo grande o troppo piccola** per certe misurazioni, si possono usare suoi multipli o sottomultipli decimali. Per soddisfare le esigenze di tutti gli utilizzatori del sistema SI. La Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM) ha stabilito un certo numero di prefissi con nomi speciali. **Il prefisso precede l'unità di misura** con la quale forma il multiplo e sottomultiplo; non può essere usato da solo, né si possono usare due prefissi consecutivi. Si scriverà **1 nm** e **non 1 mmm**. Il simbolo del prefisso è scritto con carattere dritto come il simbolo delle unità, non si lasciano spazi, né si interpone il punto tra i due simboli:

$$\text{Es. } 1000 \text{ V} = 10^3 \text{ V} = 1 \text{ kV}$$

$$\text{Es. } 0,001 \text{ s} = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

Tra le unità SI di base **l'unità di massa è la sola il cui nome contiene un prefisso**, per ragioni storiche. I multipli e sottomultipli dell'unità di massa si formano aggiungendo i nomi del prefisso all'unità "grammo" ed il simbolo del prefisso al simbolo dell'unità "g". Esempio: $10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$ (un milligrammo) e non $1 \mu\text{kg}$ (un microkilogrammo).

Sistema Internazionale: **multipli** e sottomultipli

Quantità	Elevamento a potenza	Nome	Simbolo
1 000 000 000 000 000 000 000 000	= 10^{24}	yotta	Y
1 000 000 000 000 000 000 000	= 10^{21}	zetta	Z
1 000 000 000 000 000 000	= 10^{18}	exa	E
1 000 000 000 000 000	= 10^{15}	peta	P
1 000 000 000 000	= 10^{12}	tera	T
1 000 000 000	= 10^9	giga	G
1 000 000	= 10^6	mega	M
1 000	= 10^3	kilo	k
100	= 10^2	etto	h
10	= 10^1	deca	da

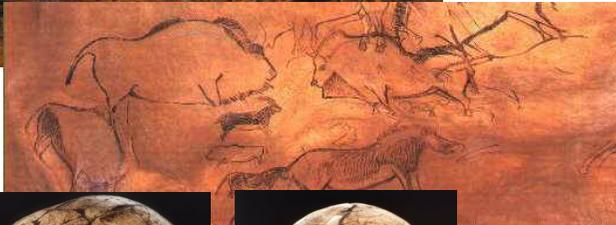
Sistema Internazionale: multipli e sottomultipli

Quantità	Elevamento a potenza	Nome	Simbolo
0,1	$=10^{-1}$	deci	d
0,01	$=10^{-2}$	centi	c
0,001	$=10^{-3}$	milli	mm
0,000 001	$=10^{-6}$	micro	μ
0,000 000 000	$=10^{-9}$	nano	n
0,000 000 000 001	$=10^{-12}$	pico	p
0,000 000 000 000 001	$=10^{-15}$	femto	f
0,000 000 000 000 000 001	$=10^{-18}$	atto	a
0,000 000 000 000 000 000 001	$=10^{-21}$	zepto	z
0,000 000 000 000 000 000 000 001	$=10^{-24}$	yocto	y

Si osservi che lavorando con le potenze di 10 sulle unità di misura ci si sposta subito da numeri molto piccoli a numeri molto grandi.

Esempio

Tempo (anni) →



Oggi: prime lezioni di fisica

→ 0 anni

Crolla il muro di Berlino

→ $\approx 2 \cdot 10^1$ anni

Inizio della rivoluzione russa

→ $\approx 10^2$ anni

Medioevo: a Roma, Benedetto VII incorona
imperatore Enrico II.

→ $\approx 10^3$ anni

Inizia il neolitico

Lavorazione della ceramica, agricoltura e
addomesticazione degli animali.

→ $\approx 10^4$ anni

Paleolitico medio: uomo di Neandertal

→ $\approx 10^5$ anni

Paleolitico inferiore: Homo Erectus
Scoperta del fuoco

→ $\approx 10^6$ anni

Inizio del pliocene: scimmie antropomorfe

→ $\approx 10^7$ anni

Cretaceo: dominio dei dinosauri

→ $\approx 10^8$ anni

Proterozoico Algonkiano: cellule eucarioti

→ $\approx 10^9$ anni

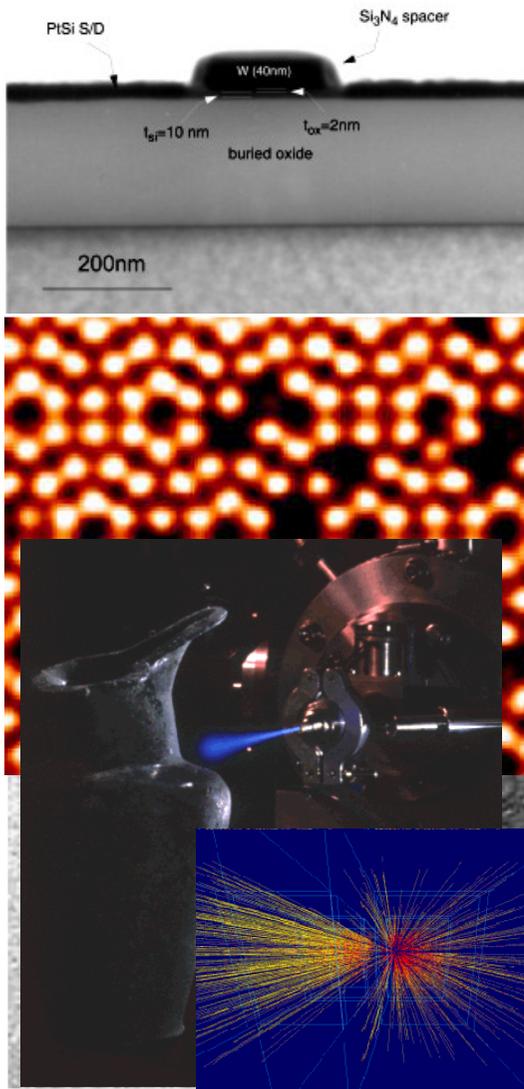
Nascita della Terra

→ $\approx 4.5 \times 10^9$ anni



Esempio

Lunghezza (m) →



A. Romero

- Distanza dalla galassia di Andromeda → $10^{22} m = 10 Zm$
- Distanza dal nucleo galattico → $2,5 \cdot 10^{20} m = 250 Em$
- Distanza da alfa centauri → $4 \cdot 10^{16} m = 40 Pm$
- Dimensione del sistema solare → $7,4 \cdot 10^{12} m = 7,4 Tm$
- Diametro del sole → $1,4 \cdot 10^9 m = 1,4 Gm$
- Diametro della Terra → $1,2 \cdot 10^7 m = 12 Mm$
- Altezza del più alto monte → $8,8 \cdot 10^3 m = 8,8 km$
- Dimensione umana → $1,7 m$
- Dimensione di una coccinella → $5 \cdot 10^{-3} m = 5 mm$
- Dimensione di un capello → $8 \cdot 10^{-5} m = 80 \mu m$
- Dimensione di un virus → $10^{-7} m = 100 nm$
- Dimensione dei più piccoli transistor → $5 \cdot 10^{-8} m = 50 nm$
- Dimensione di un atomo → $10^{-10} m = 100 pm$
- Dimensione di un protone → $10^{-15} m = 1 fm$
- Dimensione di un quark → $10^{-18} m = 1 am$

Analisi dimensionale

Dimensione di una grandezza fisica

Per ciascuna delle grandezze fondamentali si introduce un'etichetta di riconoscimento, detto simbolo dimensionale, che, racchiusa fra parentesi quadre, indica la cosiddetta dimensione della grandezza stessa.

Esempi:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow [v] = \frac{[L]}{[T]} = [LT^{-1}] \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow [a] = \frac{[L]/[T]}{[T]} = \frac{[L]}{[T^2]} = [LT^{-2}]$$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow [f] = \frac{1}{[T]} = [T]^{-1}$$

Analisi dimensionale

Se due **grandezze fisiche** hanno le **stesse dimensioni** si dicono **omogenee**.

Alcune **grandezze fisiche** sono **prive di dimensioni**: sono grandezze fisiche **adimensionali**.

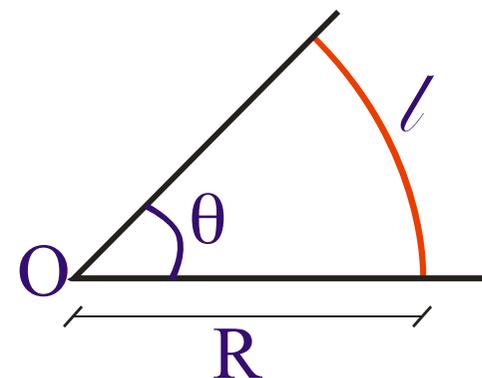
Esempi:

- Gli **angoli**, che nel SI si misurano in radianti, simbolo **rad**, sono grandezze **adimensionali**.
- Le **funzioni goniometriche**: sen, cos, tg, ecc., sono grandezze definite come rapporto tra due segmenti, sono adimensionali e il loro argomento è adimensionale (radiante). Un **esponenziale ha esponente adimensionale**

Angoli

Definizione di angolo in **radianti**

$$\theta = \frac{l}{R} \quad \text{con } l: \text{ lunghezza dell'arco di circonferenza di raggio } R, \text{ cui è sotteso } \theta$$

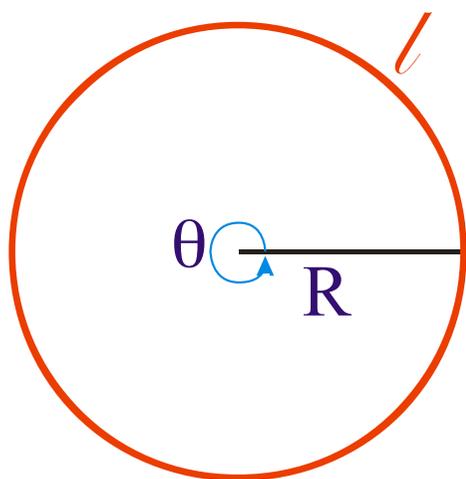


$$[\theta] = \frac{[L]}{[L]} \rightarrow$$

θ è **adimensionale**

Se l è l'intera circonferenza $l = 2\pi R$, θ è l'**angolo giro**

quindi:



$$\theta = \frac{l}{R} = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi$$

Da radianti a gradi:

$$\frac{\theta_{\text{rad}}}{2\pi} = \frac{\theta_{\text{gradi}}}{360}$$

θ_{gradi}	θ_{rad}
0°	0
30°	$\pi/6$
45°	$\pi/4$
90°	$\pi/2$
180°	π

Esercizio

La distanza tra Nairobi e Singapore, entrambe vicine all'equatore, è circa 8000 km; la differenza di fuso orario tra le due città è di 5 ore. Stimare la **circonferenza della Terra**

Sol.: Si deve ricavare l'angolo descritto dalla Terra nel suo moto di rotazione in 5 ore:

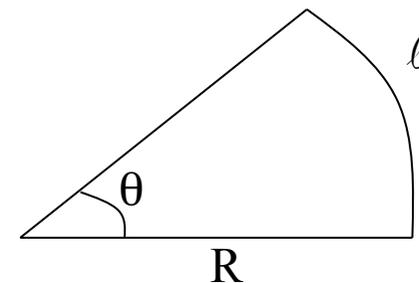
$$\theta = \omega \cdot t = \frac{2\pi \text{ rad}}{24 \text{ ore}} \cdot 5 \text{ ore} \approx 1,31 \text{ rad}$$

Dalla **definizione** di misura di un angolo in **radiani**, si ottiene:

$$\theta = \frac{\ell}{R} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{\ell}{\theta} \approx \frac{8000 \text{ km}}{1,31 \text{ rad}} = 6100 \text{ km}$$

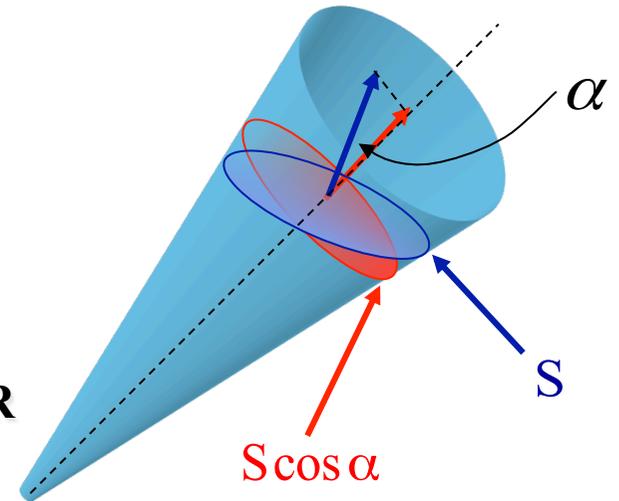
Circonferenza della Terra:

$$C = 2\pi R \approx 38308 \text{ km}$$



Angoli solidi

Definizione di angolo solido in **steradiani**



$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad S: \text{porzione della superficie della sfera di raggio } R$$

$[\Omega] = \left[\frac{L^2}{L^2} \right] = [L^{2-2}] = [L^0] \Rightarrow$ **adimensionale** Se la superficie S a cui è sotteso l'angolo solido non è normale al raggio:

$$\Omega = \frac{S \cos \alpha}{R^2}$$

NOTA: Se S è l'intera superficie sferica $S = 4\pi R^2$, Ω è pari a:

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi$$

Esercizi di analisi dimensionale

1) Determinare le dimensioni della seguente grandezza fisica: $\gamma = (v_0^2/g)$
Dove v_0 è una velocità, g un'accelerazione

Sol:

$$[\gamma] = \frac{[v_0^2]}{[g]} = \frac{\frac{[L]^2}{[T]^2}}{\frac{[L]}{[T]^2}} = \frac{[L]^2 T^{-2}}{[L] T^{-2}} = [L]$$

2) Verificare che l'espressione seguente ha le dimensioni di un lavoro: $E = \frac{1}{2}mv^2 - \gamma \frac{mm_T}{r}$

dove: gamma è la costante di gravitazione universale e ha le dimensioni $[L^3 M^{-1} T^{-2}]$

$$\left[\frac{1}{2}mv^2 \right] = [M] \frac{[L]^2}{[T]^2} = [L^2 M T^{-2}] \quad [\text{lavoro}] = [\text{energia}] = [M] \frac{[L]}{[T]^2} [L] = [L^2 M T^{-2}]$$

$$\left[\gamma \frac{mm_T}{r} \right] = \frac{[L]^3 [M]^{-1} [T]^{-2} [M]^2}{[M] [L] [T]^2} = [L^2 M T^{-2}]$$

NOTE

- ✓ Le dimensioni **non** definiscono una grandezza fisica
- ✓ le dimensioni di una grandezza fisica sono sempre **esprimibili** come prodotto dimensionale delle **grandezze fisiche fondamentali** del sistema di unità di misura usato, elevate a potenza con esponente reale ($>$, $<$, $= 0$)
- ✓ è **possibile sommare solo grandezze fisiche omogenee**
- ✓ **grandezze fisiche** diverse possono essere combinate solo con operazioni di **moltiplicazione ed elevamento a potenza**
- ✓ **esponente sempre adimensionale**
- ✓ **Controllare sempre le dimensioni** → **condizione necessaria**, ma non sufficiente perché **formula sia corretta** è che tutti i membri abbiano **stesse dimensioni**

Esempi - Ordini di grandezza

Spessore di un foglio d_f

spessore di una risma: 5 cm

n° fogli: 500 fogli

d_f : spessore/ n fogli $\rightarrow d_f = 0,05 / 500 = 10^{-4}$ m

Distanza terra sole d_s

La luce impiega circa 8 minuti per percorrere la distanza sole-terra

d_s : $c \cdot \Delta t \rightarrow d_s = (3 \cdot 10^8) \cdot (8 \cdot 60) = 150 \cdot 10^9$ m $\sim 10^{11}$ m

Distanza sole - stella + vicina $\sim 10^{16}$ m

Campo calcio $\sim 10^2$ m,

Passi ~ 1 m,

M.Bianco $\sim 5 \cdot 10^3$ m,

Raggio della terra 6400 km $\sim 6 \cdot 10^6$ m

Esempi - Ordini di grandezza

Tempo

- vita media di alcune particelle elementari $\sim 10^{-23}$ s
- vita media muoni $\sim 10^{-6}$ s
- intervallo 2 battiti cuore ~ 1 s
- giorno 84600 s $\sim 10^5$ s
- Anno: $3 \cdot 10^7$ s
- era storica $\sim 10^{11}$ s

Masse :

- elettrone $\sim 10^{-30}$ kg
- protone/neutrone $\sim 10^{-27}$ kg
- molecola DNA $\sim 10^{-17}$ kg
- albicocca $\sim 10^{-1}$ kg
- persona $\sim 10^{+2}$ kg
- terra $\sim 6 \cdot 10^{24}$ kg
- sole $\sim 2 \cdot 10^{30}$ kg

ALCUNI dati NUMERICI

TEMPO:

Età dell' Universo	$4 \cdot 10^{17}\text{s}$
Età del nostro Sistema Solare	$1.4 \cdot 10^{17}\text{s}$
Età delle scritture più antiche	$1.6 \cdot 10^{11}\text{s}$
Durata media della vita dell' uomo	$2.2 \cdot 10^9\text{s}$
Tempo luce da Terra a prima stella	$1.4 \cdot 10^8\text{s}$
Rivoluzione della Terra	$3.15 \cdot 10^7\text{s}$
Rotazione terrestre	$8.6 \cdot 10^4\text{s}$
Vita media di un neutrone libero	$9.2 \cdot 10^2\text{s}$
Tempo luce dal Sole alla Terra	$5 \cdot 10^2\text{s}$
Tempo luce dalla Luna alla Terra	1.3 s
Periodo onda sonora (do₃, 261.6Hz)	$3.8 \cdot 10^{-3}\text{s}$
Vita media del π^+	$2.6 \cdot 10^{-8}\text{s}$
Periodo di un' onda luminosa	$\sim 2 \cdot 10^{-15}\text{s}$
Periodo raggi X	$\sim 3 \cdot 10^{-19}\text{s}$
Vita della particella più instabile	$\sim 10^{-24}\text{s}$

DISTANZE:

Distanza Universo osservabile	$\sim 10^{26}\text{m}$
Distanza galassia di Andromeda	$2.1 \cdot 10^{22}\text{m}$
Diametro della Galassia	$7.6 \cdot 10^{20}\text{m}$
Distanza Proxima Centauri	$4.0 \cdot 10^{16}\text{m}$
Distanza Terra-Sole	$1.5 \cdot 10^{11}\text{m}$
Diametro Terra	$6.4 \cdot 10^6\text{m}$
Lunghezza di una radio-onda (AM)	$\sim 3 \cdot 10^2\text{m}$
Lunghezza d'onda della luce	$\sim 5 \cdot 10^{-7}\text{m}$
Diametro di un virus piccolo	$\sim 2 \cdot 10^{-8}\text{m}$
Diametro di un atomo	$\sim 1 \cdot 10^{-10}\text{m}$
Diametro di un nucleo di ferro	$8 \cdot 10^{-15}\text{m}$
Diametro del protone	$2 \cdot 10^{-15}\text{m}$

MASSE:

Universo osservabile	10^{55}kg
Galassia	$4 \cdot 10^{41}\text{kg}$
Sole	$2 \cdot 10^{30}\text{kg}$
Terra	$6 \cdot 10^{24}\text{kg}$
Automobile	$\sim 1.5 \cdot 10^3\text{kg}$
Goccia di pioggia	$2 \cdot 10^{-6}\text{kg}$
Virus più piccolo	$4 \cdot 10^{-21}\text{kg}$
Atomo di ferro	$9.5 \cdot 10^{-26}\text{kg}$
Protone	$1.7 \cdot 10^{-27}\text{kg}$
Elettrone	$9.1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$