

Pillola 1 («scatola degli attrezzi»)

Le misure



Si ringrazia il collega Prof. Lorenzo Magnea (dispense A.A. 2019-20) per gli spunti

Proprietà e grandezze misurabili



Ogni corpo ha delle proprietà:

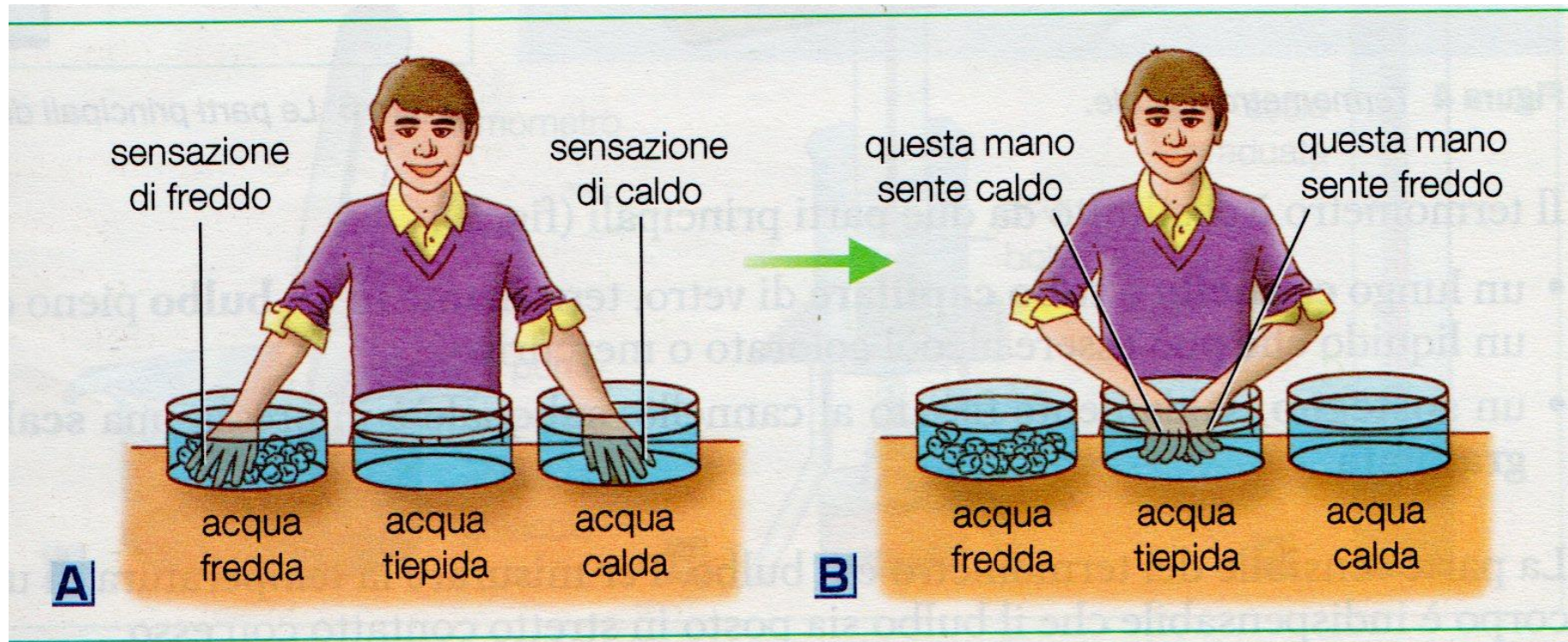
➤ **SOGGETTIVE**

- gusto, bellezza, freschezza, forma, ...
- Queste si basano su sensazioni

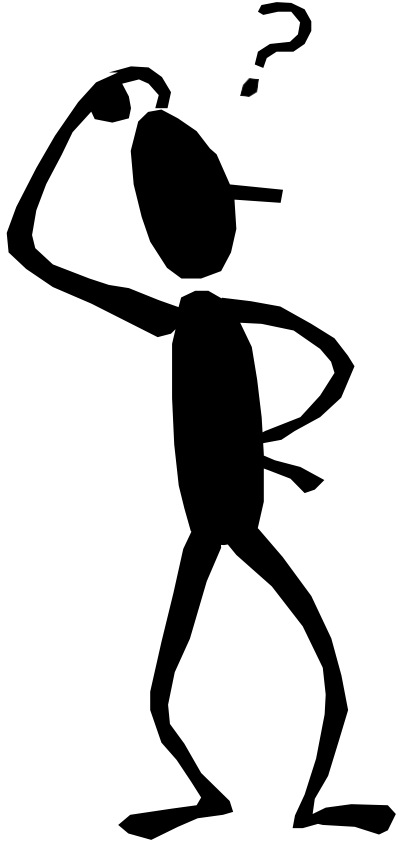
➤ **OGGETTIVE**

- massa, temperatura, diametro, ...
- Queste sono misurabili

Esempio di proprietà soggettive



Perché misurare?



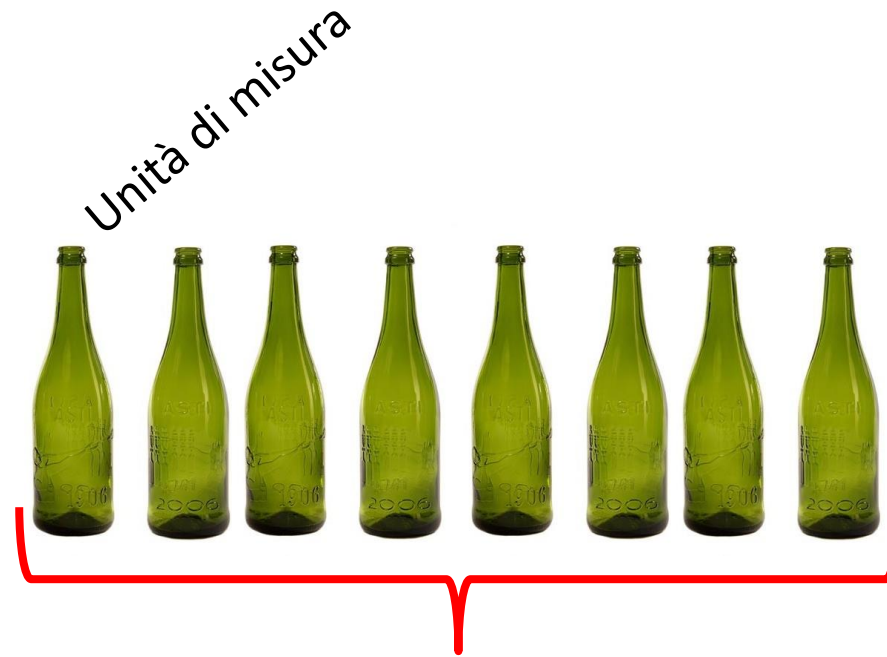
- Studiare un fenomeno significa osservare con attenzione quali grandezze lo determinano e stabilire una relazione fra esse.
- Per fare ciò è necessario misurare queste grandezze.
- Una grandezza è una quantità che può essere misurata con un opportuno strumento di misura.

Cosa vuole dire “misurare”?

- Misurare una grandezza significa dire quante volte l'*unità di misura* è contenuta nella grandezza stessa.



grandezza

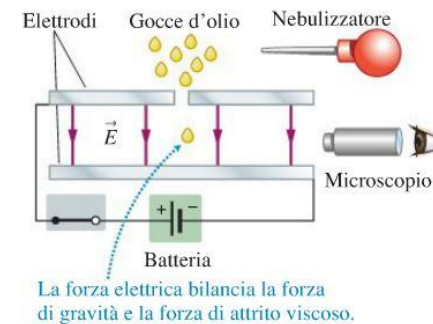


Quante volte

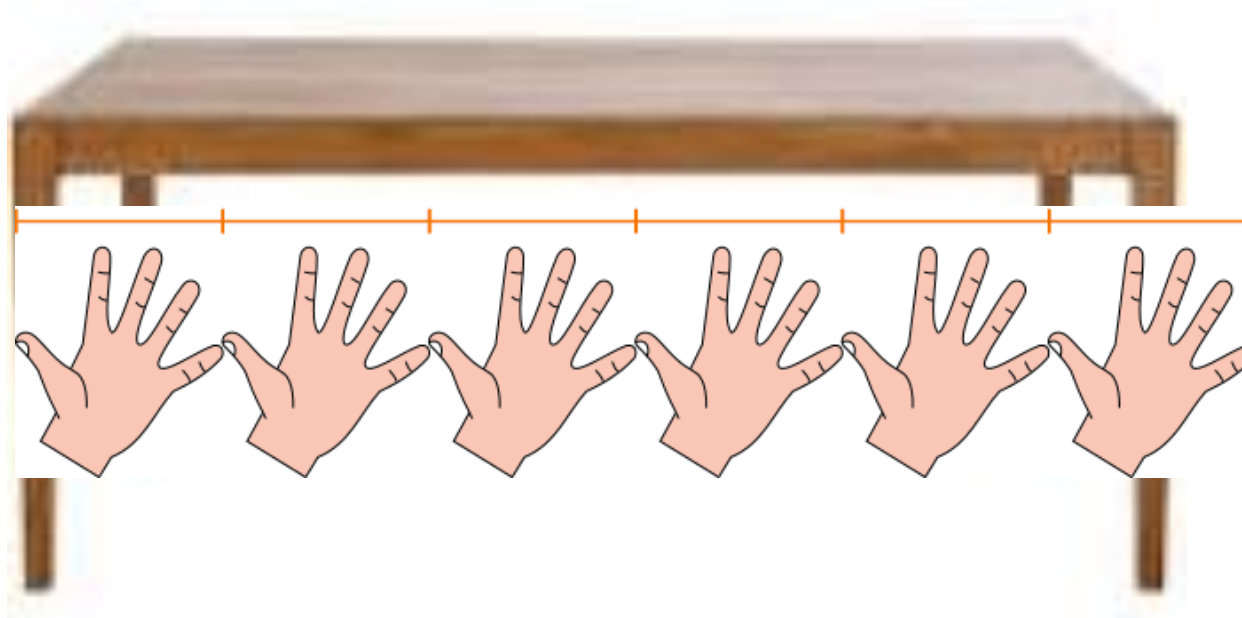
Quale unità di misura?

Un'unità di misura deve essere:

- facilmente disponibile
- facilmente usabile
- non deteriorabile a seconda del tempo, delle condizioni di misura ecc.
- universale
- esprimibile con multipli e sottomultipli



Un esempio di misura



Risultato della misura: tra 5 e 6 mani

Potrei renderla più precisa contando quante dita ci stanno dopo la quinta mano

Problema:



Le mani sono tutte diverse tra loro
Lo «strumento» non è universale

Cosa misurare?

- Il fine di un esperimento scientifico consiste nella misurazione di grandezze fisiche e nella ricerca di relazioni fra esse.
- Esempi di grandezze fisiche sono:
 - La lunghezza
 - Il tempo
 - La massa
 - Il volume
 - La velocità
 - ...

Quali grandezze?

Le grandezze fisiche possono essere:

- continue (lunghezza, velocità, accelerazione, massa, temperatura...)
- discrete (quante volte viene “testa” lanciando una moneta?)



Come misurare?

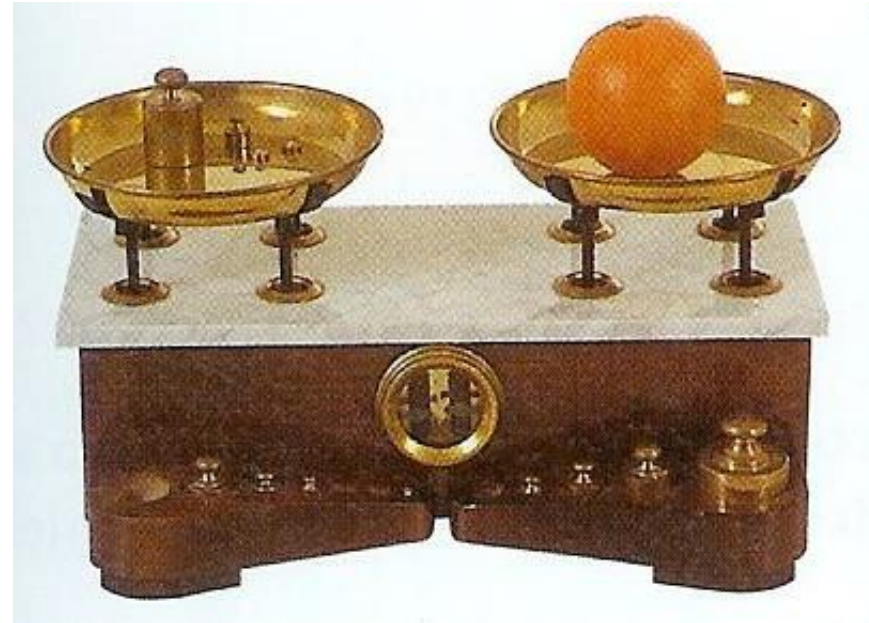
- Due grandezze si dicono omogenee se sono della stessa specie



- Per misurare una grandezza è necessario associare ad essa un numero seguendo regole ben stabilite (protocollo)
- Questo numero esprime il rapporto fra la grandezza in questione ed una ad essa omogenea presa come campione

Risultato della misura

Il risultato della misura è di associare ad una grandezza un numero ed un'unità di misura.



Sistemi di unità di misura

- Le relazioni indipendenti esistenti fra le grandezze fisiche sono in numero inferiore rispetto alle grandezze fisiche stesse.
- Esistono delle grandezze fisiche (dette grandezze fondamentali) per cui è necessario fissare i campioni e le unità di misura in maniera arbitraria.
- Le altre grandezze, le cui unità di misura sono dedotte da quelle delle grandezze fondamentali, si chiamano grandezze derivate.

Il Sistema Internazionale

- Un sistema di unità di misura è definito scegliendo le grandezze fondamentali e le loro unità di misura.
- Le unità di misura delle grandezze derivate si esprimono in termini di quelle delle grandezze fondamentali.
- Esiste un sistema accettato da tutti in campo scientifico (e, ormai, in quasi tutti i Paesi) detto **Sistema Internazionale** in cui sono individuate alcune grandezze fondamentali ed altre da esse derivate.

Le grandezze fondamentali

Grandezza fondamentale	Unità di misura	Simbolo
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	kg (non Kg)
Tempo	secondo	s
Corrente elettrica	Ampère	A
Temperatura	grado kelvin	K (non °K)
Intensità luminosa	candela	cd
Quantità di sostanza	mole	mol

Mole: quantità di sostanza che contiene esattamente $6,02214076 \times 10^{23}$ entità fondamentali (atomi o molecole)

Il mondo in scala 1:1.000.000.000

In realtà:

- Diametro della Terra: 1,2 centimetri (cm) ● 12.742 km
- Distanza media Terra-Luna: 38 cm ● 384.400 km
- Diametro della Luna: 3,4 millimetri (mm) ● 3.474,2 km
- Distanza Terra-Sole: 150 metri (m) ● 149,6 milioni km
- Diametro del Sole: 1,4 m ● 1.392.700 km
- Raggio medio dell'orbita di Giove: 780 m ● 778.412.020 km
- Diametro di Giove: 14 cm ● 139.820 km
- Raggio medio dell'orbita di Plutone: 5,9 km ● 5.906.380.000 km
- Diametro di Plutone: 2,3 mm ● 2.376,6 km
- Distanza di Alpha Centauri: 41.300 km ● 4,364 anni luce

Il mondo in scala 1:1.000.000.000

La velocità della luce

(se non modifichiamo la scala dei tempi!)

In scala è 30 centimetri al secondo [0.3 m/s]
(nella realtà è 300 milioni di m/s [$3 \cdot 10^8$ m/s])

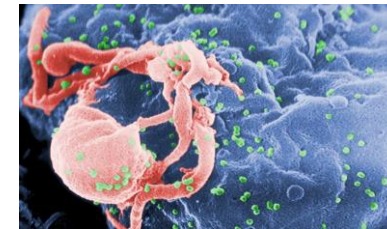
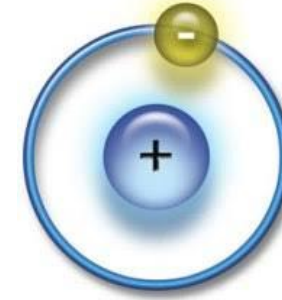
(circa otto minuti [esattamente 500 s] per percorrere 150 metri ...)

150 metri è la distanza Terra-Sole in scala

Il mondo in scala 10.000.000.000.000:1

- Raggio del protone: $8 \text{ mm} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Raggio dell'atomo di idrogeno: 500 metri
- Dimensioni tipiche di un virus: 10 km
- Diametro di un globulo rosso umano: 700 km
- 10 miliardi di km [10^{13} m]: 1 m
- 1 anno-luce [$\sim 10^{15} \text{ m}^{(*)}$]: 1 km

(*) $1 \text{ anno luce} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot (60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \text{ s}) = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ s} \sim 10^{16} \text{ m}$



- In realtà:
- $8 \cdot 10^{-16} \text{ m}$
 - $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
 - 10^{-9} m
 - $7 \cdot 10^{-8} \text{ m}$
 - 1 m
 - $10^3 \text{ m} = 1 \text{ km}$

Estremi di lunghezze nell'universo conosciuto

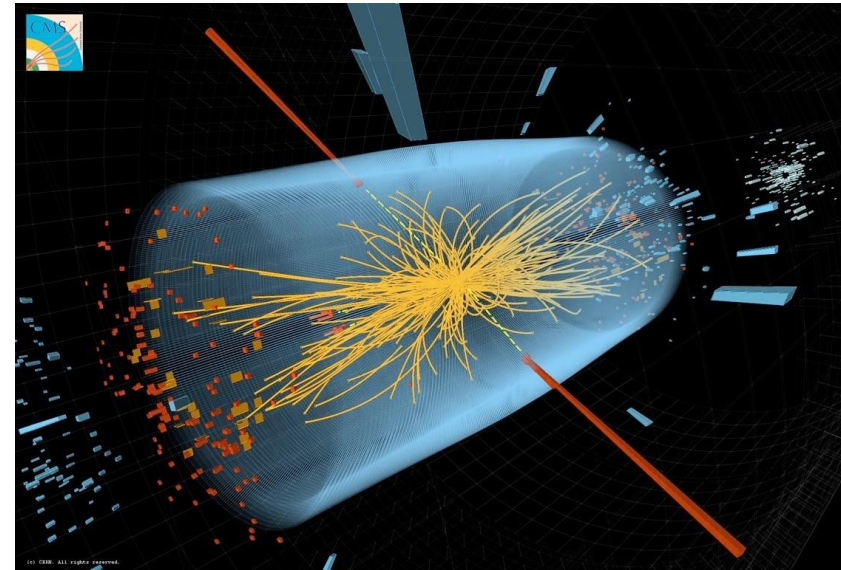
26+19 = 45 ordini di grandezza



Hubble Deep Field

10^{26} metri

10^{-19} metri



Un evento a LHC

Le grandezze fisiche

- Una **grandezza fisica** è una quantità **misurabile**: possiamo **rapportarne** il valore ad una **quantità omogenea di riferimento**, ottenendo un **numero reale**.
- Deve esistere una **procedura operativa** per effettuare la misura, che deve essere **riproducibile** e dare **risultati consistenti**.



- La quantità di **riferimento** viene detta **unità di misura**
- L'espressione di una **grandezza fisica** è data da

(numero reale) x (unità di misura)

Non tutto è misurabile...

Assegnare **un numero**

ad una quantità o ad un fenomeno

NON li trasforma necessariamente in grandezze fisiche

- Quoziente di intelligenza?
- Classifiche di calciatori, città, nazioni, atenei?
- Prodotto Interno Lordo (PIL)?

Fondamenti

Mai

dimenticare l'unità di misura

° Fahrenheit	° celsius
77°	25°
76°	24°
75°	23°
74°	23°
73°	22°
72°	22°

Yards to Meters?

1 yard = 0.9144 meters

Formula:
 $m = yd \times 0.9144$

Il Sistema Internazionale SI

Unità Fondamentali

Le unità fondamentali del SI sono gli elementi costitutivi del sistema e tutte le altre unità sono derivate da esse.

SI base units^{[40]:6[41][42]}

Unit name	Unit symbol	Dimension symbol	Quantity name	Definition
second <small>[n 1]</small>	s	T	time	The duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium-133 atom.
metre	m	L	length	The distance travelled by light in vacuum in $\frac{1}{299\,792\,458}$ second.
kilogram <small>[n 2]</small>	kg	M	mass	The kilogram is defined by setting the Planck constant h exactly to $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J·s ($J = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$), given the definitions of the metre and the second. ^[27]
ampere	A	I	electric current	The flow of exactly $\frac{1}{1.602\,176\,634 \times 10^{-19}}$ times the elementary charge e per second. Equalling approximately $6.241\,509\,0744 \times 10^{18}$ elementary charges per second.
kelvin	K	Θ	thermodynamic temperature	The kelvin is defined by setting the fixed numerical value of the Boltzmann constant k to $1.380\,649 \times 10^{-23}$ J·K ⁻¹ , ($J = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$), given the definition of the kilogram, the metre, and the second.
mole	mol	N	amount of substance	The amount of substance of exactly $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementary entities. ^[n 3] This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant , N_A , when expressed in the unit mol ⁻¹ .
candela	cd	J	luminous intensity	The luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency 5.4×10^{14} hertz and that has a radiant intensity in that direction of $\frac{1}{683}$ watt per steradian.

Notes

- ¹ Within the context of the SI, the second is the coherent base unit of time, and is used in the definitions of derived units. The name "second" historically arose as being the 2nd-level **sexagesimal** division ($\frac{1}{60^2}$) of some quantity, the **hour** in this case, which the **SI classifies as an "accepted" unit** along with its first-level sexagesimal division the **minute**.
- ² Despite the prefix "kilo-", the kilogram is the coherent base unit of mass, and is used in the definitions of derived units. Nonetheless, prefixes for the unit of mass are determined as if the gram were the base unit.
- ³ When the mole is used, the elementary entities must be specified and may be **atoms**, **molecules**, **ions**, **electrons**, other particles, or specified groups of such particles.

Unità Derivate

Named units derived from SI base units^[41]

Name	Symbol	Quantity	Expressed in terms of other SI units	Expressed in terms of SI base units
radian	rad	angle	1	m/m
steradian	sr	solid angle	1	m ² /m ²
hertz	Hz	frequency		s ⁻¹
newton	N	force, weight		kg · m · s ⁻²
pascal	Pa	pressure, stress	N/m ²	kg · m ⁻¹ · s ⁻²
joule	J	energy, work, heat	N · m	kg · m ² · s ⁻²
watt	W	power, radiant flux	J/s	kg · m ² · s ⁻³
coulomb	C	electric charge or quantity of electricity		s · A
volt	V	voltage (electrical potential difference), electromotive force	W/A	kg · m ² · s ⁻³ · A ⁻¹
farad	F	electric capacitance	C/V	kg ⁻¹ · m ⁻² · s ⁴ · A ²
ohm	Ω	electric resistance, impedance, reactance	V/A	kg · m ² · s ⁻³ · A ⁻²
siemens	S	electrical conductance	A/V	kg ⁻¹ · m ⁻² · s ³ · A ²
weber	Wb	magnetic flux	V · s	kg · m ² · s ⁻² · A ⁻¹
tesla	T	magnetic field strength	Wb/m ²	kg · s ⁻² · A ⁻¹
henry	H	inductance	Wb/A	kg · m ² · s ⁻² · A ⁻²
degree Celsius	°C	temperature relative to 273.15 K		K
lumen	lm	luminous flux	cd · sr	cd
lux	lx	illuminance	lm/m ²	m ⁻² · cd
becquerel	Bq	radioactivity (decays per unit time)		s ⁻¹
gray	Gy	absorbed dose (of ionizing radiation)	J/kg	m ² · s ⁻²
sievert	Sv	equivalent dose (of ionizing radiation)	J/kg	m ² · s ⁻²
katal	kat	catalytic activity		s ⁻¹ · mol

Il Sistema Internazionale SI

Prefissi moltiplicativi per multipli e sottomultipli

Standard prefixes for the SI units of measure

Multiples	Name		deca-	hecto-	kilo-	mega-	giga-	tera-	peta-	exa-	zetta-	yotta-
	Prefix		da	h	k	M	G	T	P	E	Z	Y
	Factor	10^0	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
Fractions	Name		deci-	centi-	milli-	micro-	nano-	pico-	femto-	atto-	zepto-	yocto-
	Prefix		d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y
	Factor	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}

Es.: cm, dam, dm, kg (**non Kg**), km (**non Km**), MJ, GB (GigaByte), μm , nC, ...

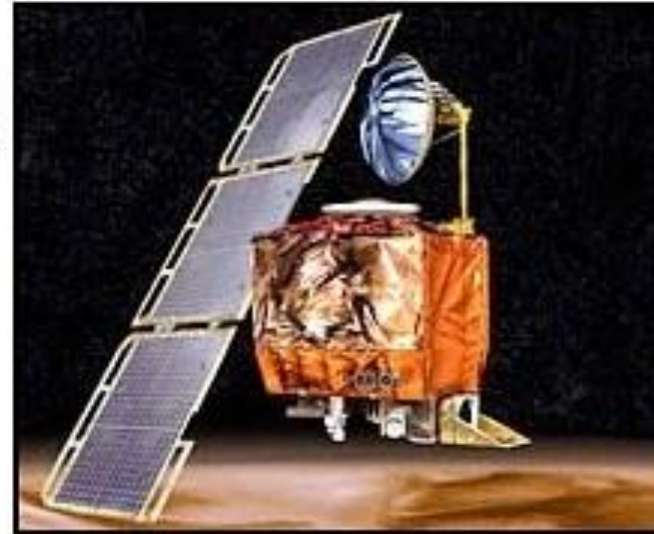
MAI dimenticare l'unità di misura!

Mystery of Orbiter Crash Solved

By Kathy Sawyer

Washington Post Staff Writer
Friday, October 1, 1999; Page
A1

NASA's Mars Climate Orbiter was lost in space last week because engineers failed to make a simple conversion from English units to metric, an embarrassing lapse that sent the \$125 million craft fatally close to the Martian surface, investigators said yesterday.



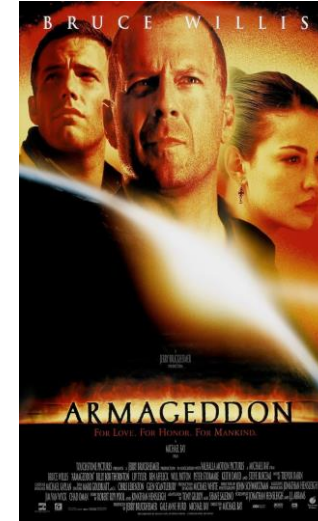
Scientists do not yet know what caused the Mars Orbiter to crash. (AP)

Il Sistema Internazionale di unità di misura

- Il grande vantaggio di svolgere tutti i conti con un unico sistema di unità di misura è che in tal modo si riduce la possibilità di commettere errori!
- Combinando matematicamente in una formula due grandezze espresse nelle unità di misura del SI, si ottiene una terza grandezza espressa SEMPRE nelle unità di misura del SI
- Ad esempio, moltiplicando una velocità in m/s per un tempo in s, si è sicuri di avere sempre un risultato del prodotto $v \times t$, ossia una lunghezza, espressa in m e NON cm o km!
- Oppure dividendo un volume (m^3 nel SI) per un'area (m^2 nel SI), si ottiene sempre una lunghezza espressa in m!

La stima degli ordini di grandezza

La capacità di **stimare** gli ordini di grandezza è **importante** al cinema e nella vita



Ordini di grandezza

Esempio: quanti secondi dura la nostra vita?

Valore “preciso”: $60 \times 60 \times 24 \times 365 \times 80 = 2.522.880.000$

Valore “ approssimato”: $2,5 \cdot 10^9 \text{ s}$

Ordine di grandezza: 10^9 s

Approssimazione 1: $100 \times 100 \times 10 \times 100 \times 100 = 10^9$

Approssimazione 2: $50 \times 50 \times 50 \times 500 \times 50 \sim 3 \times 10^9$

Approssimazione 3: $10 \times 10 \times 10 \times 100 \times 10 \times 3000 \sim 3 \times 10^9$

Per **approssimazioni ragionevoli**, l'**ordine di grandezza rimane lo stesso**

In notazione **esponenziale**:

Numero preciso = (Numero di ordine uno) $\times (10)^{(\text{Ordine di Grandezza})}$

In molti problemi l'**ordine di grandezza** è l'informazione **decisiva**.



Due numeri utili: $1 \text{ anno} \sim \pi \times 10^7 \text{ s}$ $10^9 \text{ s} \sim 32 \text{ anni}$

Ordini di grandezza

Esempio: quanto è estesa la superficie della Terra?

Valore “preciso”: $A = 4 \pi R^2 = 5.1007 \times 10^8 \text{ km}^2$

Valore “ approssimato”: $A \simeq 5 \times 10^8 \text{ km}^2$

Ordine di grandezza: $A \sim 10^8 / 10^9 \text{ km}^2$

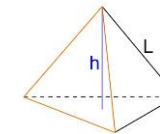


Bisogna sapere qualcosa! $R \simeq 6371 \text{ km} \sim 6 \times 10^3 \text{ km}$

Non è necessario “ricordare la formula”!

Per un cubo di lato $2R$: $A = 6 (4 R^2) = 24 R^2 \sim 9.7 \times 10^8 \text{ km}^2$

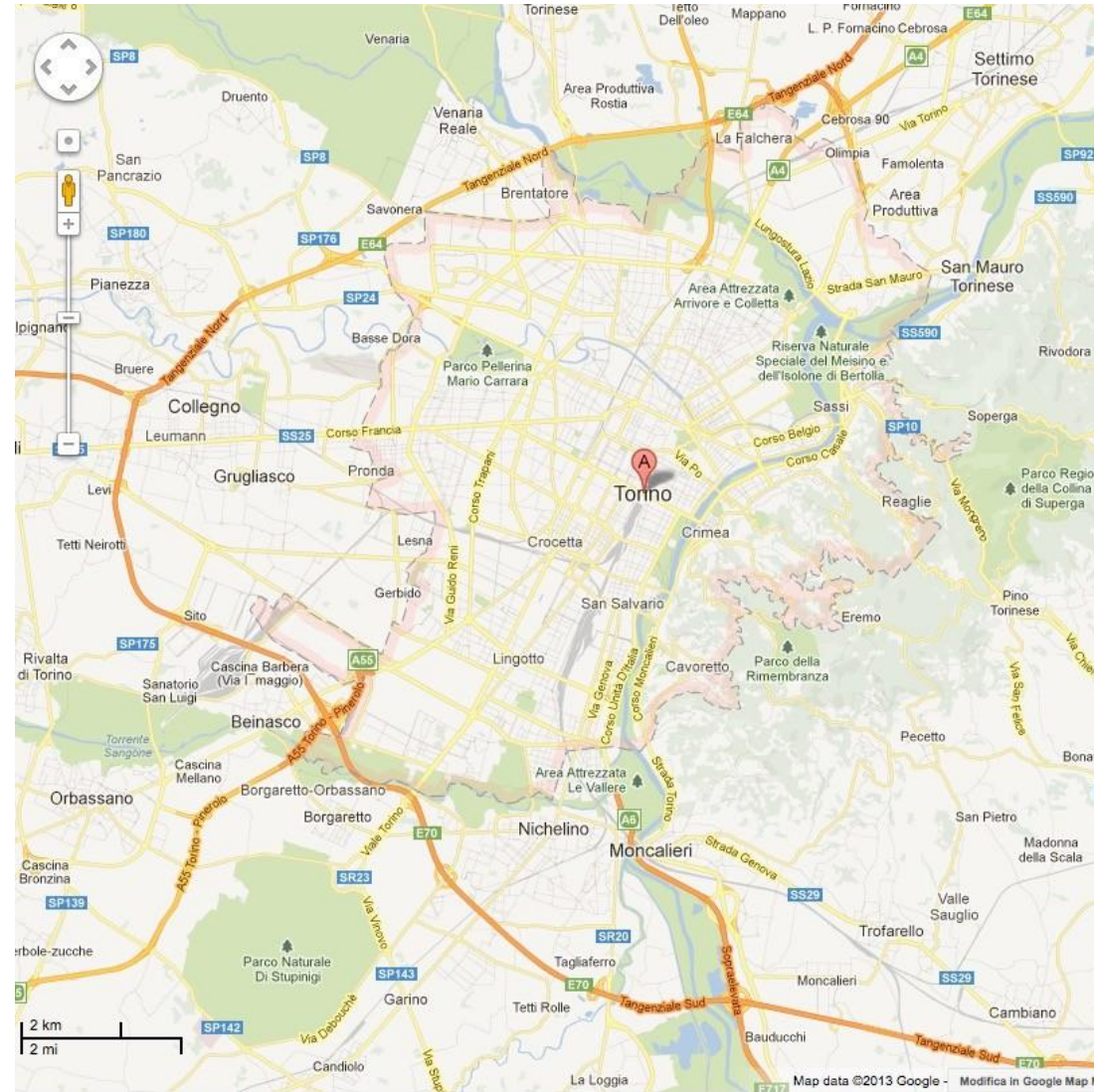
Per un tetraedro di lato $2R$: $A = (4 R^2) \sqrt{3} \sim 2.8 \times 10^8 \text{ km}^2$



Per un cilindro di altezza e diametro R : $A = 4 \pi R^2 \sim 5 \times 10^8 \text{ km}^2$

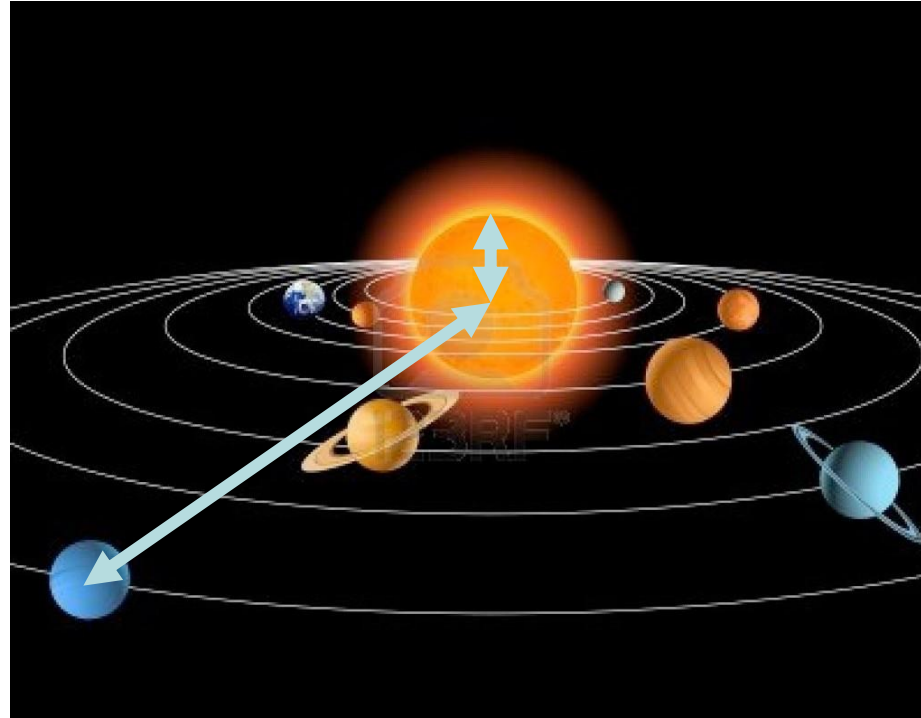
Per stimare un'area basta ricordare che è il
quadrato di una lunghezza

Le rappresentazioni: fedeli ...



Una buona cartina rispetta i rapporti tra le grandezze

... e meno fedeli: il sistema solare



Il Sistema Solare

Distanza Sole-Urano < 6 volte il raggio del Sole



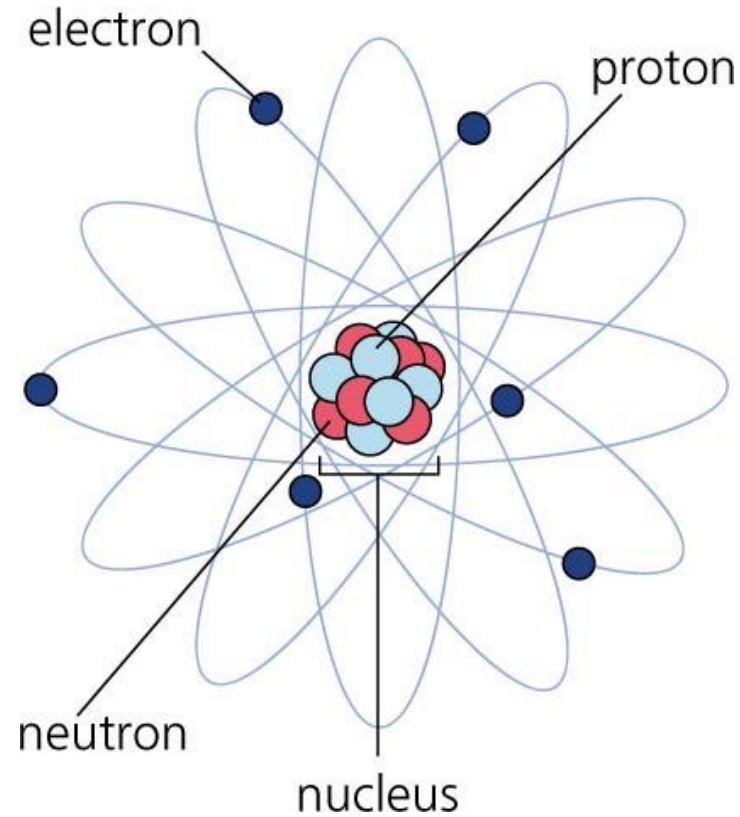
Nella realtà:

Distanza Sole-Urano = $2872,46 \cdot 10^6$ km = $2,87 \cdot 10^9$ km

Raggio del Sole: 696.340 km = $6,96 \cdot 10^5$ km

Rapporto: **4127** (>> 6)

... e meno fedeli: l'atomo ...



Un atomo ha un raggio $\sim 10^{-10}$ m

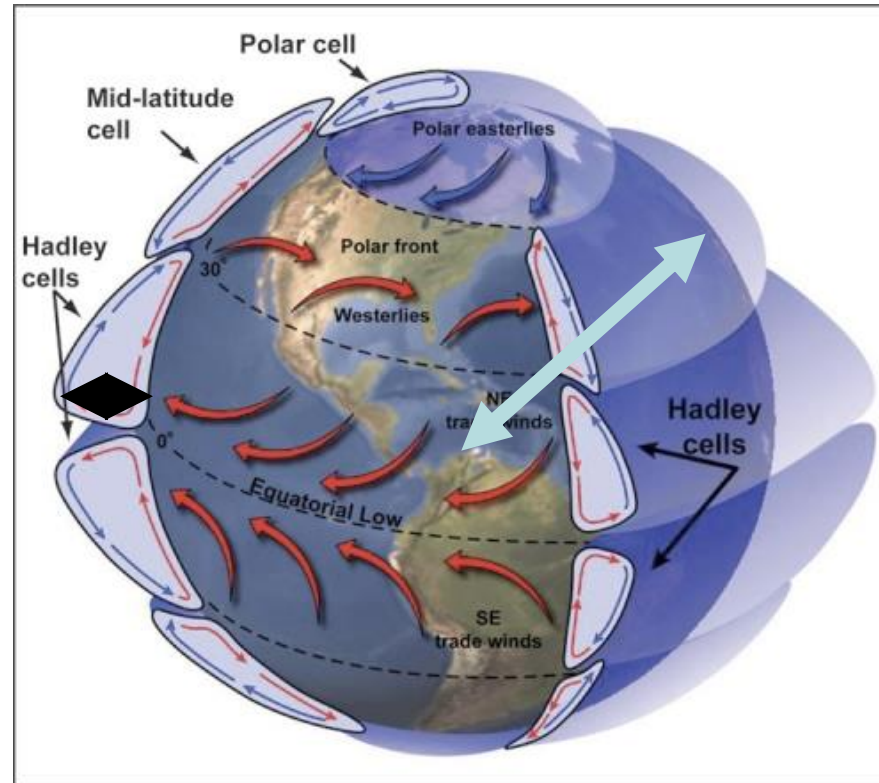
Un protone: $\sim 8,33 \cdot 10^{-16}$ m

(circa cinque ordini di grandezza in meno)

Un elettrone: stimato $< 10^{-22}$ m

(circa dodici ordini di grandezza in meno)

... e meno fedeli: l'atmosfera ...



- Le tre celle di circolazione raffigurate per emisfero si trovano nei 10-15 km di atmosfera a contatto con la superficie terrestre
- Il raggio terrestre è mediamente ~ 6300 km
- In figura il rapporto sembra pari a 4 ma in realtà è ~ 420

