

La misura

DEFINIZIONE OPERATIVA

STRUMENTO DI MISURA

PROCEDURA DI MISURA

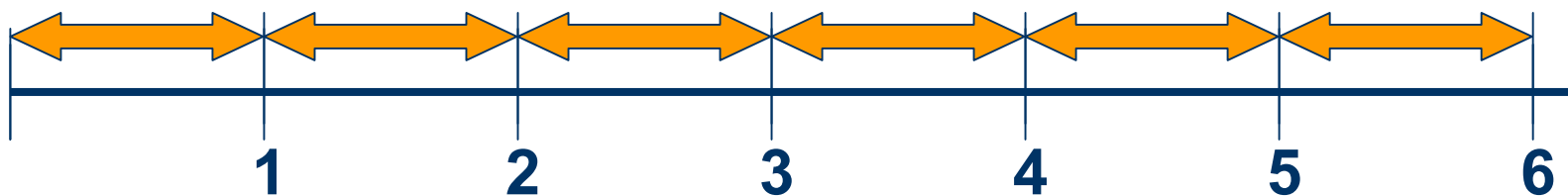
Esempio: **lunghezza**

strumento 

righello 

procedura 

confronto



la linea ha una lunghezza pari a 6 righelli +

Misura diretta/indiretta

● Grandezze la cui **misura è diretta**

- - definizione di un **procedimento** (ripetibile) di misura
- definizione di “**campione**” di riferimento e di **unità di misura**

Esempi:

grandezza fisica	↔	unità di misura
Lunghezza		metro, pollice (“inch”),...
Tempo		secondo
Massa		chilogrammo, oncia,
Temperatura		grado Celsius, grado Fahrenheit,

● Grandezze la cui **misura è indiretta** (“grandezze derivate”)

espresse come funzioni delle “grandezze dirette”

Esempi: Velocità, accelerazione, corrente elettrica,...

Fasi di una misura

- Quale grandezza misurare
Scopo/decisione/modello
- Quale unità di misura adottare
Convenienza/universalità/aspetti legali e
scientifici/stabilità e ripetibilità
- Relazione fra la grandezza e l'udm
Risoluzione/precisione/accuratezza
- Il mondo esterno è isolato?
Influssi sullo strumento/ sul comparatore/sulla
grandezza generano incertezza

Sistemi di unità di misura

- = la scelta di un insieme di grandezze fisiche fondamentali e delle relative unità di misura
- Vi è un certo grado di **arbitrarietà nella scelta**
- **Criteri**: accessibilità e riproducibilità del campione di misura
- Storicamente, vi è una **evoluzione nel tempo** delle unità adottate (a seguito dell'evoluzione scientifica e tecnologica)
- **Convenzione universalmente adottata (dal 1971)** :
il "Sistema Internazionale di Unità di Misura"
Periodicamente, la **Conferenza Internazionale di Pesi e Misure** aggiorna le definizioni e/o propone di adottarne di più accurate

Unità SI MKS

Quantità base	Unità base SI	
	Nome	Simbolo
lunghezza	metro	m
massa	kilogrammo	kg
tempo	secondo	s
corrente elettrica	ampere	A
temperatura termodinamica	kelvin	K
quantità di sostanza	mole	mol
intensità luminosa	candela	cd

Il valore di una grandezza fisica è talvolta un **numero molto grande** o **molto piccolo**

Introduco **multipli** o **sottomultipli** delle unità di misura secondo **potenze di dieci**

Prefissi del Sistema Internazionale

- ▶ 10^{18} Exa- E
- ▶ 10^{15} Peta- P
- ▶ 10^{12} Tera- T
- ▶ 10^9 Giga- G - Gigabyte 10^9 bytes
- ▶ 10^6 Mega- M - Megabyte 10^6 bytes
- ▶ 10^3 Kilo- k
- ▶ 10^2 Etto- h
- ▶ 10^1 Deca- D
- ▶ 10^{-1} Deci- d - decimetro - 10^{-1} m
- ▶ 10^{-2} Centi- c
- ▶ 10^{-3} Milli- m - millimetro 10^{-3} m
- ▶ 10^{-6} Micro- μ
- ▶ 10^{-9} Nano- n - nanosecondo 10^{-9} s
- ▶ 10^{-12} Pico- p - picosecondo 10^{-12} s
- ▶ 10^{-15} Femto- f
- ▶ 10^{-18} Atto- a

Lunghezza

Per misurare una lunghezza è necessario un **metro campione**:

1799: **metro** è la 10^{-7} parte della distanza tra il Polo Nord e l'Equatore

→ 1960: **metro campione** è una sbarra di Platino Iridio a Parigi

- Ma .. Parigi è lontana dai laboratori del mondo
- Ma .. la sbarra di Parigi non è proprio $1/10^7$ la distanza Polo Nord Equatore (è sbagliata dello 0.023%)



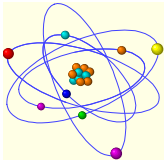
Nuova definizione:

→1983: 1 m = 1 650 763.73 volte la lunghezza d'onda della luce rosso-arancione emessa dal ^{86}Kr

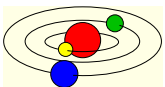
1983: 1 m = distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a $1/299792458$ di secondo

Limiti sperimentali:

- ▶ Direttamente è possibile misurare lunghezze fino a 10 nm
- ▶ In fisica entrano in gioco circa **40** ordini di grandezza



10^{-15} m Dimensione di un nucleo (Idrogeno/Protone)



$1.4 \cdot 10^{26}$ m Distanza tra la Terra e la Quasar più lontana

Scala delle lunghezze

Grandezza	Lunghezza(m)
Limite dell'Universo	$\sim 10^{26}$
Distanza dalla galassia di Andromeda	$2.1 \cdot 10^{22}$
Raggio della nostra galassia	$6 \cdot 10^{19}$
Distanza dalla stella piu' vicina	$4 \cdot 10^{16}$
Anno luce	$9.5 \cdot 10^{15}$
Distanza Terra-Sole	$1.5 \cdot 10^{11}$
Distanza Terra-Luna	$3.8 \cdot 10^8$
Diametro orbite satelliti artificiali	$\sim 10^6$
Altezza di una torre	10^2
Altezza di un bambino	1
Dimensione di pulviscolo	10^{-4}
Dimensione di un virus	$\sim 10^{-7}$
Raggio atomico	$5 \cdot 10^{-11}$
Diametro del protone	$2 \cdot 10^{-15}$
Diametro dell'elettrone	$< 10^{-18}$

Massa

Per misurare una massa è necessario una **massa campione**:

Il Campione di massa è un **cilindro di platino iridio** depositato a Parigi

- Ma .. Parigi è lontana dai laboratori del mondo
- Bisogna fare delle copie
la precisione è $\sim 10^{-8}$ kg... troppo poco



Nuova definizione:.... Non c'è ancora !

In **fisica atomica/nucleare/particelle** si usa **unità di massa atomica u**

$$1 \text{ u} = 1/12 \text{ del peso di un atomo di } ^{12}\text{C}$$

La Relazione u - Kg non è però nota con estrema precisione

$$1 \text{ u} = 1.6605402 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \text{ (troppo imprecisa)}$$

- ▶ in fisica entrano in gioco circa **83** ordini di grandezza:

$$m_{\text{elettrone}} \sim 9 \cdot 10^{-31} \text{ Kg} \rightarrow m_{\text{universo}} \sim 10^{53} \text{ Kg}$$

- ▶ la massa ha una definizione **dinamica** (massa inerziale)
ed una definizione **gravitazionale** (massa gravitazionale)

$$\vec{F} = m_{\text{in}} \vec{a} \quad m_{\text{in}} \Rightarrow \text{massa inerziale}$$

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad m_1, m_2 \Rightarrow \text{massa gravitazionale}$$

La teoria della relatività generale ha come **ipotesi** di partenza che la massa inerziale e quella gravitazionali siano esattamente la stessa cosa

Scala delle masse

Grandezza	Massa(Kg)
Universo osservabile	$\sim 10^{55}$
Una galassia	10^{41}
Sole	$2 \cdot 10^{30}$
Giove	$1.9 \cdot 10^{27}$
Terra	$6 \cdot 10^{24}$
Luna	$7.4 \cdot 10^{22}$
Transatlantico	$7 \cdot 10^7$
Automobile	$1.5 \cdot 10^3$
Uomo	$7 \cdot 10$
Matita	$2 \cdot 10^{-2}$
Goccia di pioggia	$2 \cdot 10^{-6}$
Granello di polvere	10^{-10}
Virus	$\sim 10^{-14}$
Molecola di penicillina	$5 \cdot 10^{-17}$
Atomo di idrogeno	$1.7 \cdot 10^{-27}$
Elettrone	$9.1 \cdot 10^{-31}$

Tempo

- Ciò che si misura non è il tempo ma piuttosto un **intervallo di tempo**
- Per misurare un tempo è necessario un orologio, cioè un oggetto che conta qualcosa, p.e. le oscillazioni di un fenomeno periodico
 - ▶ pendolo (l'errore è circa di un secondo per anno)
 - ▶ rotazione della terra (l'errore è circa di 1 ms ogni giorno)
 - ▶ un quarzo (l'errore è circa di 1 s ogni 10 anni)

Nuova definizione:

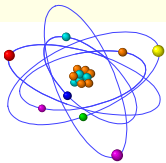
orologio atomico Cs (errore circa 1 s ogni 300000 anni)

1 secondo = 9 192 631 770 oscillazioni
della radiazione emessa dal cesio

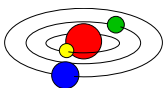
Maser a idrogeno (errore 1 s ogni $30 \cdot 10^6$ anni)

Limiti sperimentali:

- Direttamente è possibile misurare intervalli di tempo fino a 10 ps
- In fisica entrano in gioco circa **60** ordini di grandezza

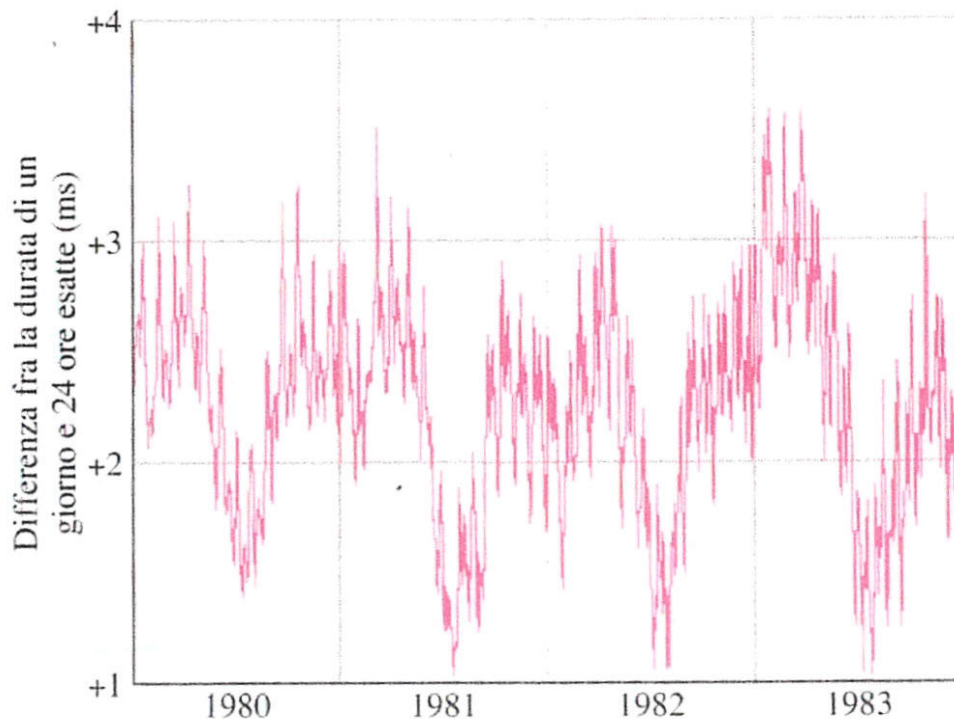


10^{-23} - 10^{27} s Fenomeni nucleari



$5 \cdot 10^{17}$ s Vita dell'universo

variazioni della lunghezza del giorno [sulla base della rotazione terrestre]



scarto giornaliero $\approx 3 \text{ ms}$
[rispetto alla media]

$$\frac{0.003s}{60 \cdot 60 \cdot 24} = \frac{0.003s}{86400} = 3.47 \cdot 10^{-8} = 0.00000347\%$$

Variazione percentuale giornaliera

Scala dei tempi

Grandezza	Tempo(s)
Eta' dell'Universo	$\sim 5 \cdot 10^{17}$
Comparsa dell'uomo sulla terra	10^{14}
Durata della vita umana	$2 \cdot 10^9$
Rivoluzione della terra (un anno)	$3.2 \cdot 10^7$
Durata del giorno	$8.6 \cdot 10^4$
Tempo impiegato dalla luce per il tragitto Sole-Terra	$5 \cdot 10^2$
Battito cardiaco normale	$8 \cdot 10^{-1}$
Periodo di un'onda sonora	$2 \cdot 10^{-3}$
Periodo di un'onda radio	$\sim 10^{-6}$
Periodo delle rotazioni molecolari	10^{-12}
Periodo di vibrazioni atomiche	10^{-15}
Periodo della radiazione X	$\sim 3 \cdot 10^{-19}$
Tempo di attraversamento di un protone da parte della luce	10^{-23}
Tempo di attraversamento di un elettrone da parte della luce	$< 10^{-26}$

Densità

massa per
unità di
volume

$$\rho \stackrel{\text{def}}{\equiv} \frac{m}{V}$$

In fisica entrano in gioco
circa **40** ordini di grandezza

Sostanza od oggetto	Massa volumica (kg/m ³)
Spazio interstellare	10 ⁻²⁰
Massimo «vuoto» raggiungibile in laboratorio	10 ⁻¹⁷
Aria: a 20 °C e 1 bar	1.21
a 20 °C e 50 bar	60.5
Polistirolo espanso	3 · 10 ¹
Acqua: a 20 °C e 1 bar	0.998 · 10 ³
a 20 °C e 50 bar	1.000 · 10 ³
Acqua del mare: a 20 °C e 1 bar	1.024 · 10 ³
Sangue	1.060 · 10 ³
Ghiaccio	0.917 · 10 ³
Ferro	7.9 · 10 ³
Mercurio	13.6 · 10 ³
Terra: valor medio	5.5 · 10 ³
nucleo	9.5 · 10 ³
crosta	2.8 · 10 ³
Sole: valor medio	1.4 · 10 ³
nucleo	1.6 · 10 ⁵
Stella nana bianca (nucleo centrale)	10 ¹⁰
Nucleo dell'uranio	3 · 10 ¹⁷
Stella di neutroni (nucleo centrale)	10 ¹⁸
Buco nero (1 massa solare)	10 ¹⁹

massa atomica = (N+Z) u = A u

$$(m \text{ atomica})_{\text{Al}} = 27 \text{ u}$$

$$(m \text{ atomica})_{\text{Pb}} = 207 \text{ u} \Rightarrow m_{\text{Pb}} / m_{\text{Al}} = 7.67$$

$$\rho_{\text{Al}} = 2.7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \rho_{\text{Pb}} / \rho_{\text{Al}} = 4.19$$

$$\rho_{\text{Pb}} = 11.3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

**discrepanza dovuta a
distanze fra atomi e
a struttura cristallina**

mole = quantità di sostanza che contiene
numero di atomi/molecole pari al
numero di Avogadro $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$

*il Numero di Avogadro è definito tale che
1 mole ¹²C abbia massa pari a 12 g*

mole = quantità di sostanza che contiene
 numero di atomi/molecole pari al
numero di Avogadro $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$

*il Numero di Avogadro è definito tale che
 1 mole ^{12}C abbia massa pari a 12 g*

Calcolo del **numero di moli** di una sostanza di massa M_{camp} :

$$n = \frac{M_{\text{camp}}}{M}$$

M_{camp} = massa sostanza
 M = peso di una mole
 [peso molare]

$$M = m N_A$$

m = massa di una molecola

Il **peso M** di una mole di una sostanza si ricava dalla
tabella periodica degli elementi

	IA		
1	1 G H IDROGENO		IIA
2	3 S Li LITIO	4 S Be BERILLIO	
3	11 S Na SODIO	12 S Mg MAGNESIO	

$M_{\text{H}} = 1.00794 \text{ g}$
 $M_{\text{H}^2} = 2 \cdot 1.00794 \text{ g}$
 $M_{\text{Be}} = 9.0122 \text{ g}$

$M_{\text{C}^{12}} = 12 \text{ g}$
def

Tavola periodica degli elementi

[Tavola di Mendeleev]

PERIODO	GRUPPO																VIA						VIIA																															
	IA		IIA		IIIB		IVB		VB		VIB		VIIB		VIII B		IB		IIB		IIIA		IVA		VA		VIA		VIIA		VIIIA																							
1	1	H	G																													2		He	G																			
2	3	Li	S	4	Be	S																													10		Ne	G																
3	11	Na	S	12	Mg	S																													18		Ar	G																
4	19	K	S	20	Ca	S	21	Sc	S	22	Ti	S	23	V	S	24	Cr	S	25	Mn	S	26	Fe	S	27	Co	S	28	Ni	S	29	Cu	S	30	Zn	S	31	Ga	S	32	Ge	S	33	As	S	34	Se	S	35	Br	S	36	Kr	S
5	37	Rb	S	38	Sr	S	39	Y	S	40	Zr	S	41	Nb	S	42	Mo	S	43	Tc	S	44	Ru	S	45	Rh	S	46	Pd	S	47	Ag	S	48	Cd	S	49	In	S	50	Sn	S	51	Sb	S	52	Te	S	53	I	S	54	Xe	S
6	55	Cs	S	56	Ba	S	57	La	*	58	Ce	S	59	Pr	S	60	Nd	S	61	Pm	A	62	Sm	S	63	Eu	S	64	Gd	S	65	Tb	S	66	Dy	S	67	Ho	S	68	Er	S	69	Tm	S	70	Yb	S	71	Lu	S			
7	87	Fr	S	88	Ra	S	89	Ac	▲	90	Th	S	91	Pa	S	92	U	S	93	Np	A	94	Pu	A	95	Am	A	96	Cm	A	97	Bk	A	98	Cf	A	99	Es	A	100	Fm	A	101	Md	A	102	No	A	103	Lr	A			

SERIE DEI LANTANIDI

58	Ce	S	59	Pr	S	60	Nd	S	61	Pm	A	62	Sm	S	63	Eu	S	64	Gd	S	65	Tb	S	66	Dy	S	67	Ho	S	68	Er	S	69	Tm	S	70	Yb	S	71	Lu	S
CERIO		PRASEODIMIO	NEODIMIO		PROTERZIO	SAMARIO	EUROPIO	GADOLINIO	TERBIO	DISPROSIO	OLMIO	ERBIO	TULLIO	ITTERBIO	LUTETIO																										
90	Th	S	91	Pa	S	92	U	S	93	Np	A	94	Pu	A	95	Am	A	96	Cm	A	97	Bk	A	98	Cf	A	99	Es	A	100	Fm	A	101	Md	A	102	No	A	103	Lr	A
TORIO		PROTATTINIO	URANIO	NETUNIO	PLUTONIO	AMERICIO	CURIO	BERKELIO	CALIFORNIO	EINSTEINIO	FERTIO	MEDECIUO	HAUGELIO	LAURENZIO																											

SERIE DEGLI ATTINIDI

S = SOLIDO
 L = LIQUIDO
 G = GAS
 A = ARTIFICIALE

NUMERO ATOMICO	↑
SIMBOLO	
NOME	

elementi con simili **proprietà chimico-fisiche**
appaiono nella **stessa colonna**

Unità di misura fondamentali (CGS)

- Lunghezza	centimetro	[cm]	= 10^{-2} m
- Massa	grammo	[gr]	= 10^{-3} kg
- Tempo	secondo	[s]	
- Forza	dyne	[dyn]	= 10^{-5} N
- Energia	erg	[erg]	= 10^{-7} J
- Potenza	erg*sec	[erg*sec]	= 10^{-7} W
- Pressione	barye	[Ba]	= 10^{-1} Pa
- Viscosità	poise	[P]	= 10^{-1} Pa*s

Analisi Dimensionale

dimensione \mapsto denota la **natura** fisica di una grandezza;
ad ogni grandezza associo una **unità di misura**

- ▶ le **dimensioni** possono essere trattate come **grandezze algebriche**:

posso sommare e sottrarre solo grandezze con le stesse dimensioni

esempio: i **metri** si possono sommare solo ai **metri**
non posso sommare m con Km o con s !

- ▶ ogni **equazione deve** essere **dimensionalmente** corretta:

ciascun membro di un'equazione deve avere le **stesse** dimensioni

Lunghezza $\mapsto [L] \mapsto m$
Massa $\mapsto [M] \mapsto Kg$
Tempo $\mapsto [T] \mapsto s$

esempio:

legge oraria

$$x = \frac{1}{2} a t^2$$

Dimensioni

$$[L] = [L/T^2][T^2]$$

unità di misura

$$m = m/s^2 \cdot s^2 = m$$

Attenzione

Numero Puro = Numero senza dimensione

gli argomenti di esponenziali, seni, coseni, logaritmi ..
sono sempre numeri puri !

Conversione delle unità di misura

Le unità di misura si trattano come grandezze algebriche

esempio 1

Se un serbatoio di automobile contiene inizialmente 8.01 litri di benzina e viene introdotta benzina alla rapidità di 28.00 litri/minuto, quanta benzina contiene il serbatoio dopo 96 secondi ?

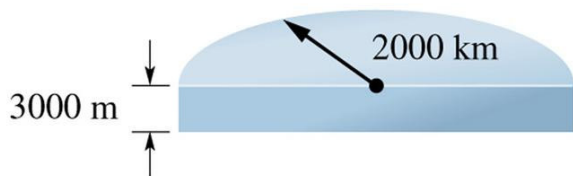
Benzina = Benzina iniziale + Benzina aggiunta

$$\begin{aligned} \text{Benzina} &= 8.01 \text{ litri} + \left(28.00 \frac{\text{litri}}{\text{minuto}} \right) (96 \text{ secondi}) = 8.01 \text{ litri} + \left(2688 \frac{\text{litri}}{\text{minuto}} \text{ secondi} \right) \\ \text{Benzina} &= 8.01 \text{ litri} + 2688 \frac{\text{litri}}{60 \text{ secondi}} \text{ secondi} = 8.01 \text{ litri} + 44.8 \frac{\text{litri}}{\text{secondi}} \text{ secondi} \end{aligned}$$

$$\text{Benzina} = 8.01 \text{ litri} + 44.8 \text{ litri} = 52.81 \text{ litri}$$

esempio 2

L'Antartide è di forma quasi circolare, con raggio di 2000 Km. Lo spessore medio dello strato di ghiaccio che la ricopre è di 3000 m. Quanti cm^3 di ghiaccio contiene l'Antartide?



$$r = 2000 \text{ km} = 2000 \cdot 10^3 \text{ m} = 2 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$h = 3000 \text{ m} = 3 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = \frac{1}{2} (\pi r^2 \cdot h)$$

$$= \frac{1}{2} (\pi (2 \cdot 10^6)^2 \cdot 3 \cdot 10^3) \text{ m}^3$$

$$\approx 1.9 \cdot 10^{16} \text{ m}^3 = 1.9 \cdot 10^{16} (10^2 \text{ cm})^3$$

$$= 1.9 \cdot 10^{22} \text{ cm}^3$$

esempio 3

Un'automobile viaggia ad una velocità di 90 km/h, quant'è la sua velocità in m/s?

$$1 \text{ Km} = 1000 \text{ m} = 10^3 \text{ m} \quad \rightarrow \quad 90 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = \frac{10^3 \text{m}}{3600 \text{ s}} = \frac{90 \text{ m}}{3.6 \text{ s}}$$

1h = 3600 s

Per passare da Km/h a m/s devo **dividere** per 3.6

Per passare da m/s a Km/h devo **moltiplicare** per 3.6

esempio 4

La densità dell'Alluminio è 2.7 g/cm³. Quant'è la sua densità se la esprimiamo in Kg/m³ ?

$$1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ Kg}$$
$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} \rightarrow 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 \quad \rightarrow \quad 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{10^{-3} \text{Kg}}{10^{-6} \text{ m}^3} = 2.7 \times 1000$$

Per passare da g/cm³ a Kg/m³ devo **moltiplicare** per 1000

Per passare da Kg/m³ a g/cm³ devo **dividere** per 1000