Corso di Fisica per CTF

AA 2007/08

F.-L. Navarria
navarria@bo.infn.it
http://www.bo.infn.it/ctf/eser

Corso di Fisica per CTF

- struttura del corso
  - lezioni ~64h (F.-L. Navarria)
  - introduzione alla misura di grandezze fisiche [probabilità, misura, errori, statistica, viscosimetro] ~6-8h (Gabriele Sirri sirri@bo.infn.it [da definire])
- orario delle lezioni
  - lun 16-18; mar 9-11; gio 9-11 (16-18) [Aula V. Nosadella]
- ricevimento & tutorato (V.le C. Berti Pichat 6/2 2p.)
  - lun 13-14 (R); mar 13-14 (R); mer 12-13 (T)
- lacune/preparazione agli esercizi/all'esame
  - Stefano Caiazza (facfarm.tutor@unibo.it)

Testi consigliati - Fisica

- D.C. Giancoli, Fisica, Casa Ed. Ambrosiana (ad es.)
- E. Ragozzino, Principi di Fisica, EdiSES (ad es.)
- Jewett & Serway, Principi di Fisica, EdiSES (ad es.)
- F.R. Cavallo e F.-L. Navarria, *Appunti di Probabilità e Statistica per un corso di Fisica*, Ed. CLUEB
- (J.W. Kane e M.M. Sternheim, Fisica biomedica, Ed. E.M.S.I.)
- (D.M. Burns e S.G.G. MacDonald, *Fisica per gli studenti di biologia e medicina*, Ed. Zanichelli)

URL consigliati - Fisica

- pagina principale per gli studenti di CTF
  http://www.bo.infn.it/ctf/eser
- programma del corso (link)
- eserciziario elettronico (link)
- meccanica dei fluidi
  http://ishtar.df.unibo.it/mflu/html/cover.html
- diffusione nelle soluzioni
  http://ishtar.df.unibo.it/dif/html/diffu/index.html
- corrente elettrica e circuiti
  http://ishtar.df.unibo.it/em/elet/cover.html

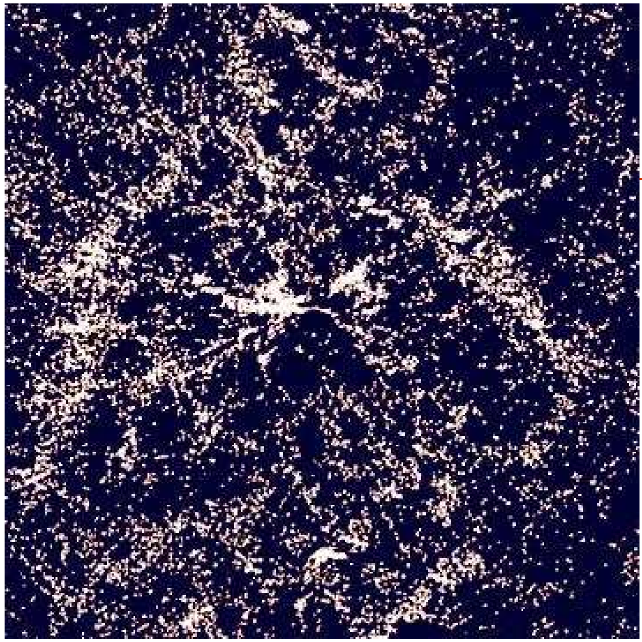
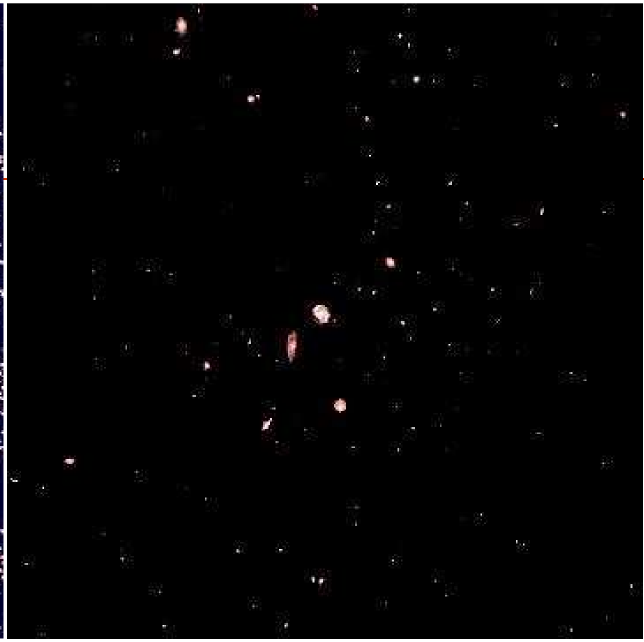
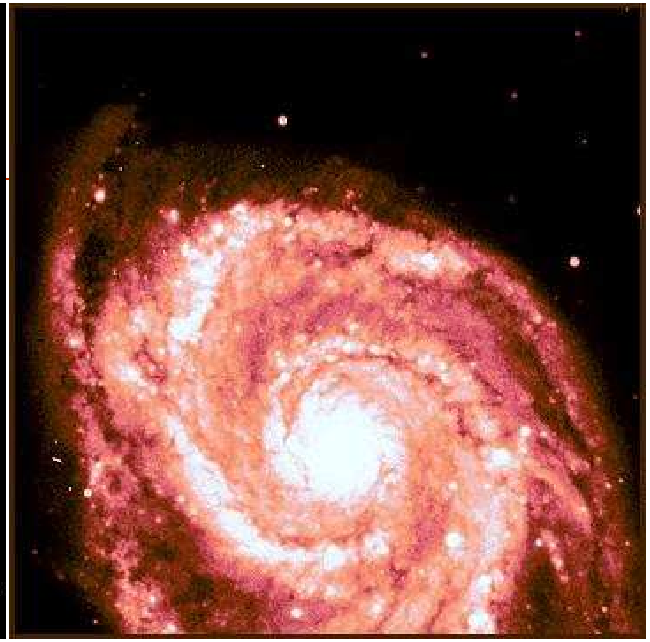
Programma a blocchi - Fisica

- grandezze fisiche e loro misura (6 h)
- meccanica (punto, corpi, fluidi) (16 h)
- termodinamica (8 h)
- elettromagnetismo (8 h)
- oscillazioni, onde, ottica (12 h)
- microfisica (fisica atomica) (6 h)
- esercizi (8 h)

[margine di errore ± 2 h]

com’è fatto l’universo?
quanto è grande?
com’è fatta la materia che ci circonda?
che cosa la tiene insieme?
che cosa c’è dentro?

fino a ~1610
osservazione
a occhio nudo,
~1 mm – 1 km,
poi telescopio
e microscopio:
il mondo appare
molto diverso

10^{26} m

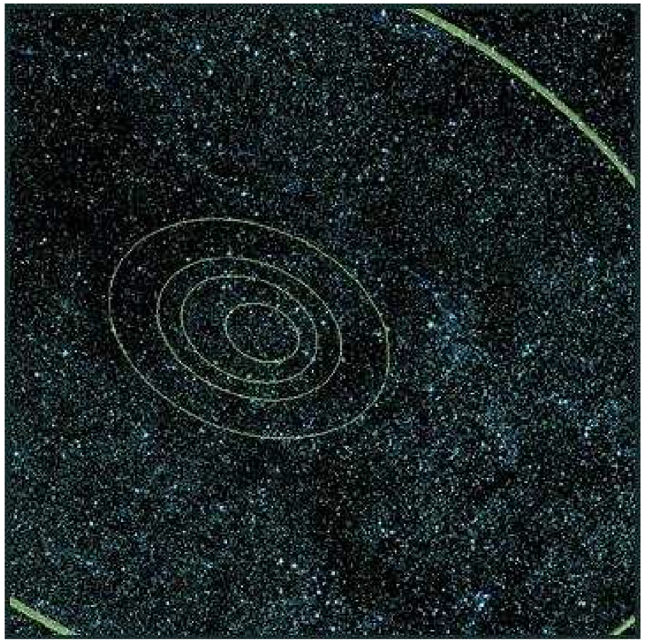
10^{23} m

10^{21} m

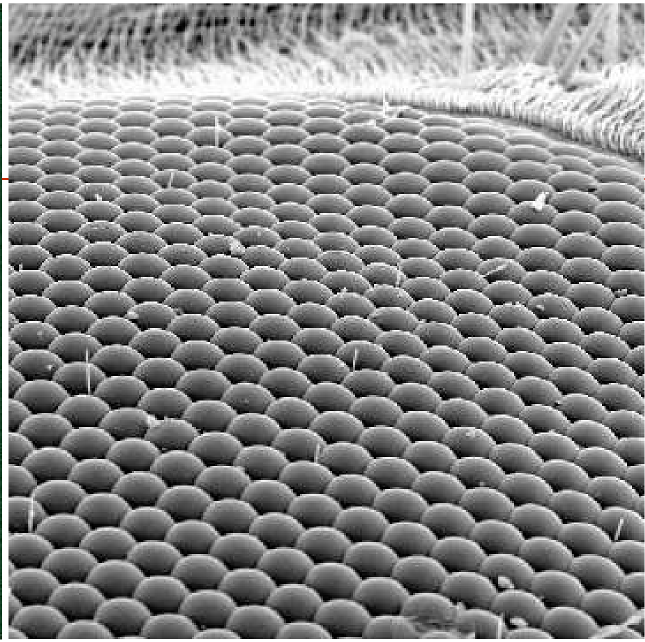
10^{12} m

10^{6} m

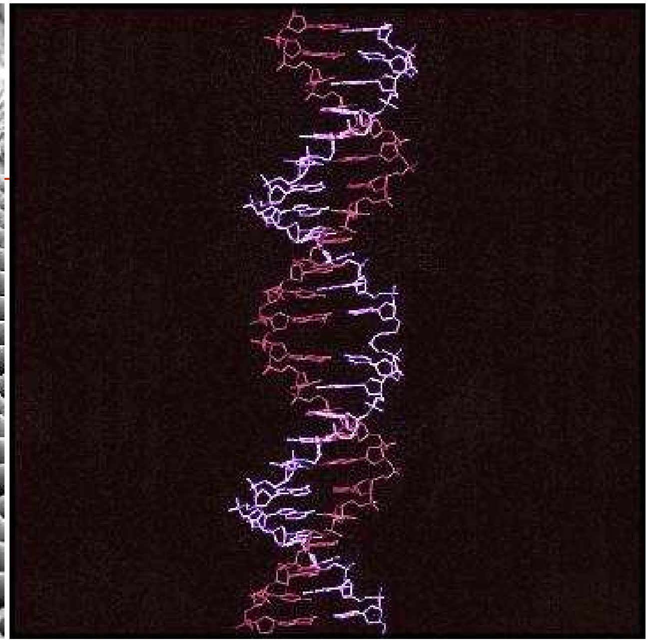
10^{0} m



10^{-2} m

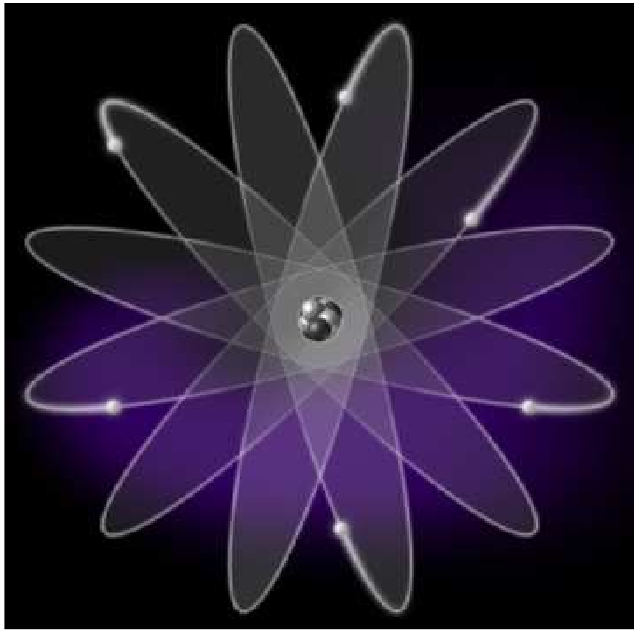


10^{-4} m

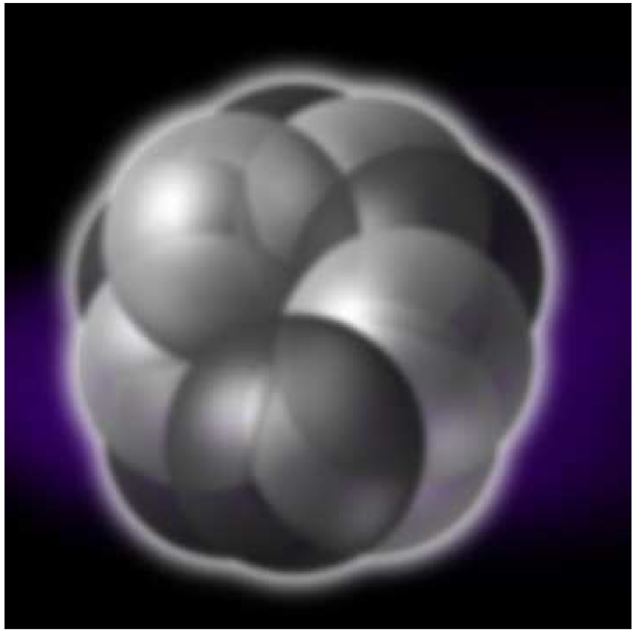


10^{-9} m

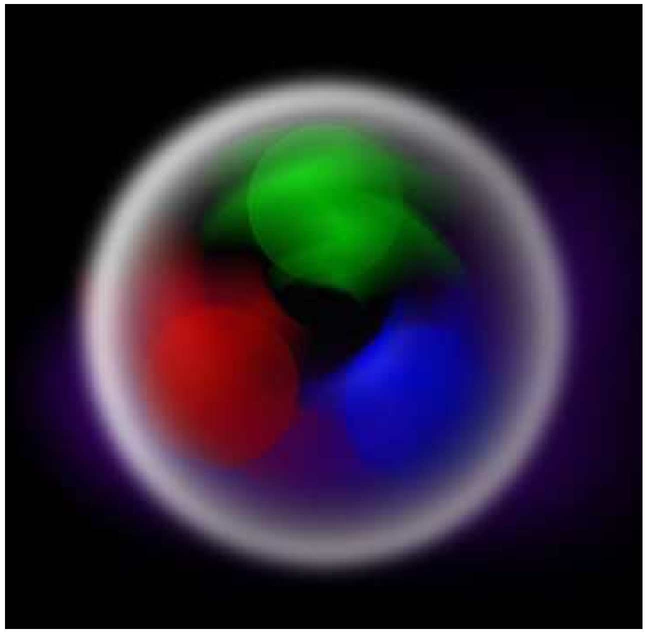
10^{-10} m



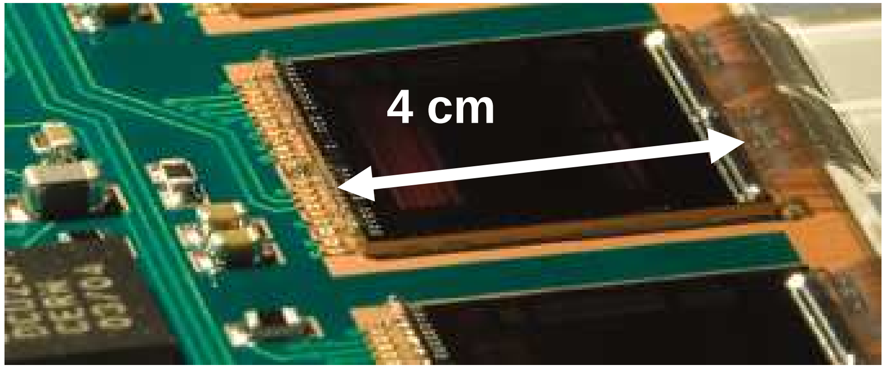
10^{-14} m



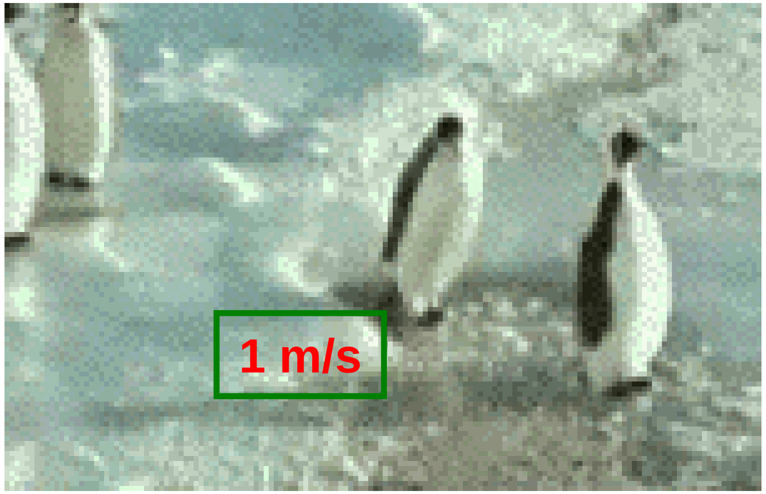
10^{-15} m



Il mondo che ci circonda (I)



Microelettronica

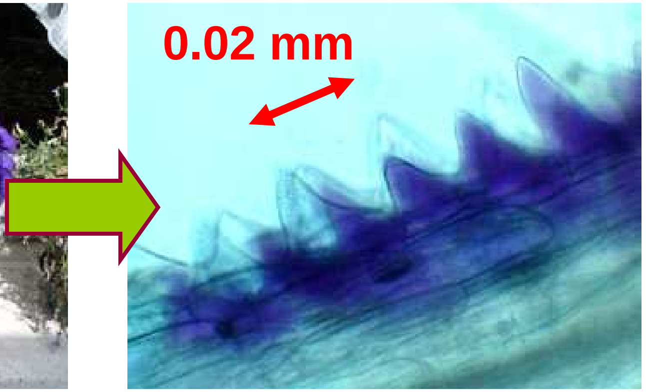


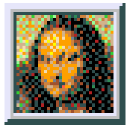
Pinguini

Il mondo che ci circonda (II)

Morpho: un es. di *interferenza* (le ali non contengono un pigmento blu!)

Un altro es. di *interferenza*: lamina di acqua saponata





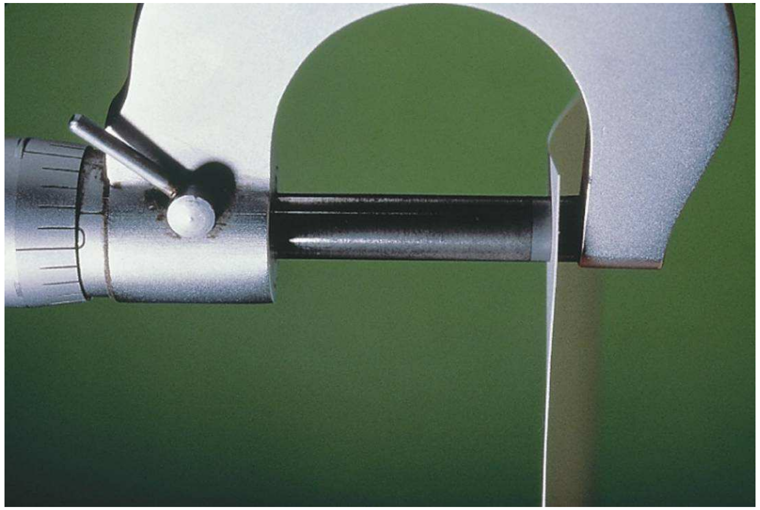
Introduzione

- 1) Quanto è alta la torre Eiffel? 2) Qual'è l'età dell'universo? 3) E' più bello un quadro astratto o uno figurativo? 4) E' più veloce la luce nel diamante o il suono nel ferro? 5) Profuma più una violetta o una rosa? 6) E' più caldo in cima al Cervino o accanto alle piramidi di Gizah? 7) E' più musicale un *la* (440.0 Hz) o un *do* (261.6 Hz)? - Sono tutte domande che ci possiamo porre riguardo a quello che ci circonda.
- La fisica può dare risposta ad alcune domande: quelle suscettibili di una risposta quantitativa (1, 2, 4, 6) attraverso un procedimento di misura/confronto dopo aver stabilito una opportuna unità di misura
  – E' difficile stabilire l'unità di misura di bellezza, di profumo o di musicalità (anche se è possibile stabilire relative scale).
- Parafrasando WS: c'è più fisica nell'ala di una farfalla dalle ali blu di quanto qualcuno possa immaginare (riflessione, cambiamento di fase, interferenza).

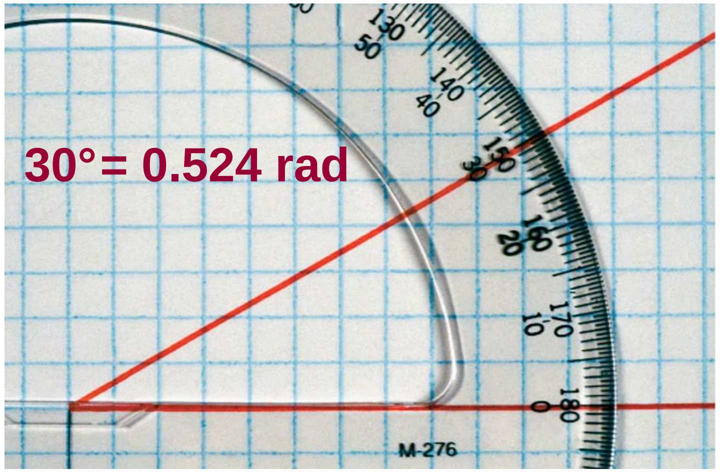
Quello che la fisica è

- Fisica (dal greco φυσικός (*phusikos*) = *naturale*, φύσις = *natura*), si basa su due assiomi:
  - le leggi della natura sono valide ovunque (in qualsiasi tempo e luogo)
  - l'osservazione porta ad una decisione sulla validità di modelli per una descrizione di eventi naturali
- Sperimentazione sulla natura a tutti i livelli, dai complessi ai più elementari, effettuata partendo dalla nozione di misura (quantitativa, riproducibile) e dalla definizione operativa di grandezza fisica attraverso il processo di misura
  - $\Rightarrow$ misura quantitativa, quindi suscettibile di correlazione numerica con altre misure (entro gli errori statistici di misura)
  - $\Rightarrow$ misura riproducibile, cioè indipendente dal soggetto che sperimenta e dall'apparato utilizzato (tenuto conto degli errori sistematici e della sensibilità dell'apparato)

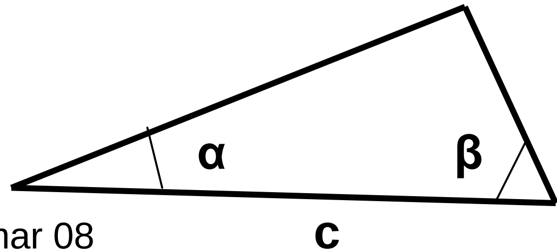
Definizione operativa di una grandezza fisica, processi di misura diretta (confronto) e indiretta



0.07 mm



Misura indiretta: altezza delle montagne mediante triangolazione, misura di temperatura attraverso una misura di resistenza etc.



$$a = \frac{c \sin\alpha}{\sin(180° - \alpha - \beta)}$$

Misura/definizione operativa di grandezza (2)

- Il processo di misura è centrale, fondamentale; per parlare di grandezza fisica occorre dire come si misura:

⇒ scelta dell'unità di misura (arbitraria, comoda)

⇒ procedimento di confronto con l'unità di misura

$\boxed{G = g\ U_g}$; $G' = g'\ U_g$ etc. ossia $G/U_g = g$ etc.

$l = 8.8$ cm ; $s = 0.07$ mm ; $\gamma = 30°$

G - grandezza, g - numero puro che esprime il rapporto con l'unità di misura U_g

⇒ misurando G con unità di misura diverse si ha

$\boxed{G = g\ U_g = g'\ U_g'}$ → $g' = g\ U_g / U_g'$

quindi se l'unità di misura è più piccola G è espresso da un numero più grande $l = 8.8$ cm $= 88$ mm

Dimensioni delle grandezze fisiche

- una lunghezza, uno spessore, una distanza, uno spazio percorso Δx sono tutte grandezze fisiche omogenee con una lunghezza, cioè hanno tutti la stessa dimensione che si indica con [L] – si prescinde dal valore numerico
- allo stesso modo una qualsiasi superficie (cerchio, quadrato etc.) è omogenea con il quadrato di una lunghezza e si indica con $[L^2]$ – sia 15 km^2 che 0.7 μm^2 etc
- il tempo misurato a partire da un istante iniziale ed un intervallo di tempo Δt sono omogenei con un tempo: [T]
- in generale in meccanica: $\boxed{[G] = [L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma}]}$ con α,β,γ +vi,-vi,0
- tutte le relazioni in fisica devono essere dimensionalmente corrette; qualsiasi sia la combinazione di grandezze che compare nella relazione, le dimensioni a dx dell'= devono essere le stesse di quelle a sx dell'= : $[v] = [s/t] = [LT^{-1}]$

Prefissi e notazioni

- I risultati delle misure possono essere espressi da numeri molto più grandi o più piccoli di 1 - dipende dall'unità di misura scelta - si usano quindi i prefissi, comunemente:

  atto (a) 10^{-18}; femto (f) 10^{-15}, pico (p) 10^{-12}; nano (n) 10^{-9}; micro(μ) 10^{-6}; milli (m) 10^{-3}; centi (c) 10^{-2}; deci (d) 10^{-1}; deca (da o D) 10^{1}; etto (h) 10^{2}; chilo (k) 10^{3}; mega (M) 10^{6}; giga (G) 10^{9}; tera (T) 10^{12}; peta (P) 10^{15}; exa (E) 10^{18}

- Le grandezze sono espresse mediante lettere (ad es. iniziale in italiano o in inglese) ma l'alfabeto latino esteso spesso non è sufficiente ad evitare confusione di notazioni, così si usano anche lettere greche, comunemente:

  minuscole: α,β,γ,δ,ε,η,θ,λ,μ,ν,π,ρ,σ,τ,φ,χ,ψ,ω

  maiuscole: Γ,Δ,Π,Σ,Φ,Ω

- Le unità di misura si indicano con la maiuscola se corrispondono ad un nome proprio - 1 A = 1 ampère

Leggi, modelli, teorie

- misure contemporanee di diverse grandezze permettono di ottenere, entro gli errori di misura, relazioni fra le grandezze misurate (ad es. temperatura esterna ed ora del giorno, tempo e distanza di caduta per un corpo in un fluido)

  $\Rightarrow$ leggi esprimibili in linguaggio matematico

  ad es. funzioni elementari, eq. fra grandezze finite, eq. differenziali etc.

  in generale informazione/correlazione sotto forma di tabella, grafico, n-tupla, database $\leftrightarrow$ calcolatrice, PC etc.

  $\Rightarrow$ (diverse) leggi $\rightarrow$ modello/teoria da confrontare con ulteriori misure (verifica o falsificazione sperimentale, metodo sperimentale galileiano)

Errori di misura (1)

- Supponiamo di fare una misura (serie di N misure), ad es. del tempo di caduta di sferette uguali in un liquido con cronometro al 100esimo di secondo: non si otterranno in genere valori identici.
- In genere, x, se le fluttuazioni (casuali) sono maggiori della sensibilità dello strumento ho

  $x_i = x_{vero} + \varepsilon_i \quad i = 1,2 \ldots N$

  e $\langle\varepsilon_i\rangle \rightarrow 0$ per $N \rightarrow$ grande

  (*valor medio* = < > o linea sopra o <u>sottolineatura</u> ; NB gli scarti, $\varepsilon_i = x_i - x_{vero}$, casuali, sono +vi e -vi)

t (s)	scarto (s) t - <t>	scarto^2 (s^2) $(t - \langle t\rangle)^2$
10.78	0.16	0.0256
10.58	-0.04	0.0016
10.62	0.00	0.0000
10.50	-0.12	0.0144

- Se le misure sono ugualmente attendibili, la migliore stima di x_{vero} sarà la media aritmetica

  $$\boxed{\underline{x} = (\Sigma_{i=1,N}\, x_i)/N}$$

  con un errore r.m.s. sulla misura

  $$\boxed{\sigma = \sqrt{[\Sigma_{i=1,N}(x_i-\underline{x})^2]/(N-1)}}$$

  e $\Delta x = \sigma/\sqrt{N}$ sulla media

Errori di misura (2)

- Nell'es.

  $\underline{t} = (\Sigma_{i=1,N}\ t_i)/N = (\Sigma_{i=1,4}\ t_i)/4 = (t_1+t_2+t_3+t_4)/4 = 10.62$ s

  $\sigma = \sqrt{}[\Sigma_{i=1,N}(t_i-\underline{t})^2]/(N-1) = \sqrt{}[\Sigma_{i=1,4}(t_i-\underline{t})^2]/3 = 0.12$ s

  $\Delta t = \sigma/\sqrt{N} = \sigma/\sqrt{4} = 0.06$ s
- Sintenticamente, valor medio ed errore q.m. sulla media

  $t_{caduta} = \underline{t} \pm \Delta t = (10.62 \pm 0.06)$ s

  (r.m.s. = root mean square ≈ q.m. = quadratico medio)
- N.B. l'errore è dato con una sola *cifra significativa;* l'*errore assoluto* Δt è una grandezza dimensionata con unità di misura s, che fissa il n. di cifre del risultato; l'*errore relativo*

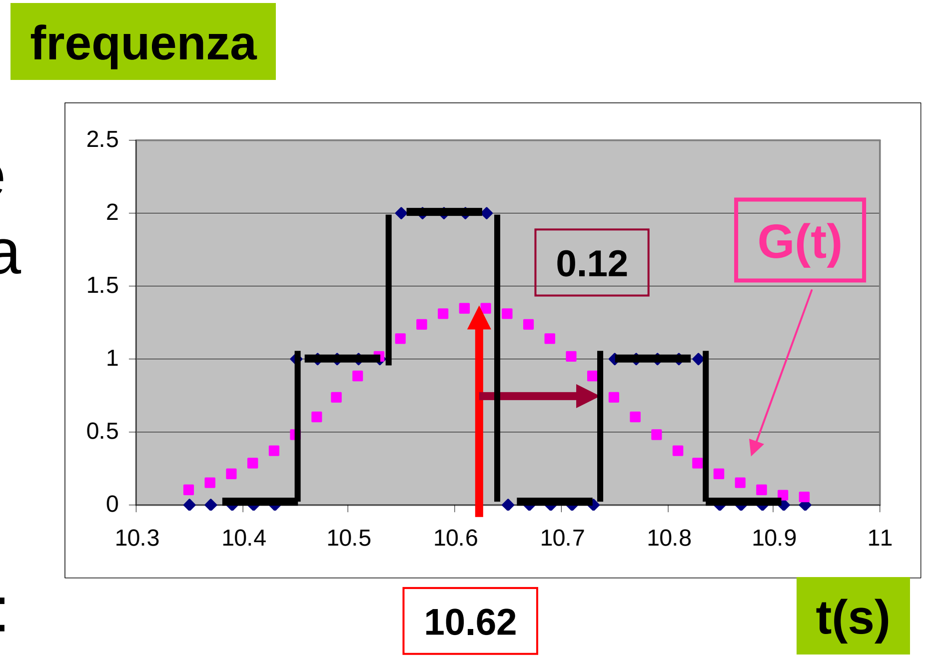
  $\delta = \Delta t/\underline{t} = 0.006 = 0.6/100 = 0.6\%$

  è invece un numero puro (ci indica la precisione della misura: più piccolo = misura più precisa)

Errori di misura (3)

- La distribuzione delle misure (per N → grande) può essere approssimata dalla gaussiana

$$G(t) = \frac{h}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}\right]$$



Interpretazione probabilistica: nell'intervallo t-(2)σ e t+(2)σ è compreso il 68.3% (95.5%) dell'area della gaussiana → la probabilità di trovare un valore di una successiva misura nell'intervallo è 68.3% (95.5%) etc.

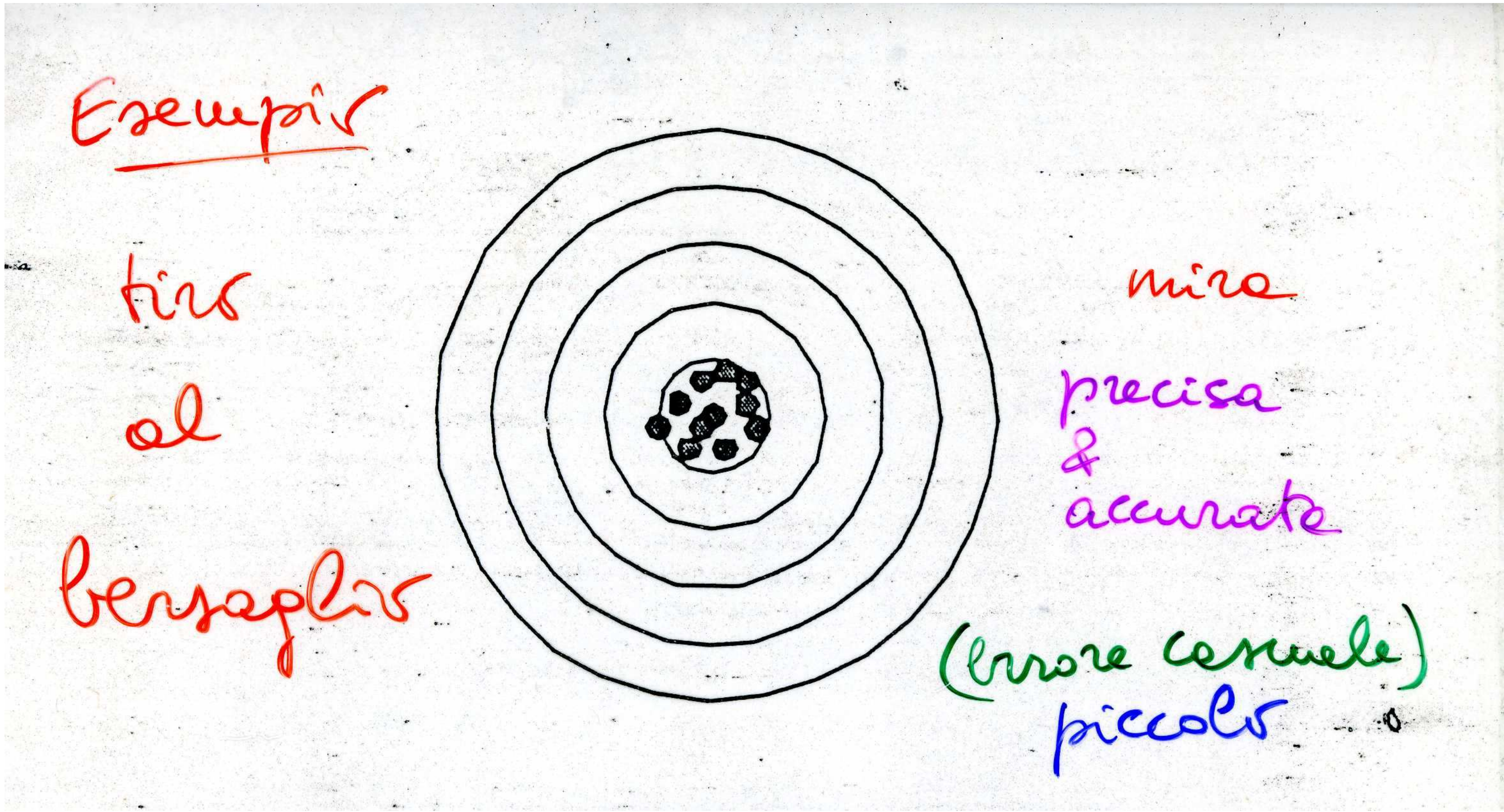
- Per la media l'intervallo è t-(2)Δt e t+(2)Δt con lo stesso significato

t±Δt	P = 68.3%
t±2Δt	P = 95.5%
t±3Δt	P = 99.7%

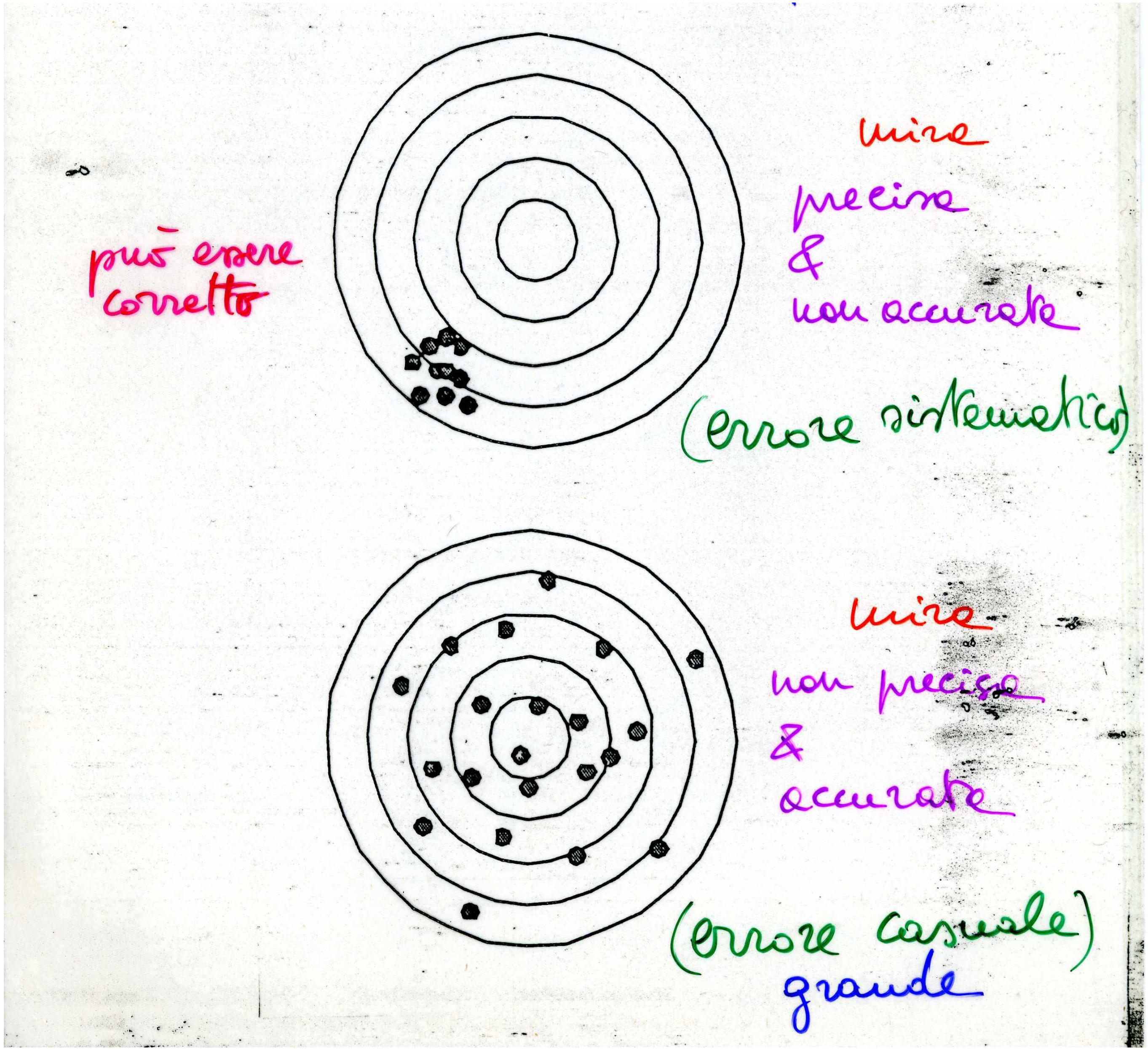
Errori di misura (4)

- Oltre agli errori casuali o statistici vi sono gli errori sistematici, ad es. errori di calibrazione, errori di parallasse etc. – in questo caso si può parlare di accuratezza, si può fare un tiro al bersaglio ben raggruppato ma non al centro del bersaglio: serie precisa ma non accurata etc. le cose non migliorano aumentando il numero di tentativi
- Se gli errori casuali sono piccoli rispetto alla sensibilità dello strumento di misura, la lettura sarà sempre la stessa, anche in questo caso non serve aumentare il numero di misure, l'errore è dato dalla sensibilità dello strumento (per es. metà della cifra meno significativa leggibile)

Precisione e accuratezza



Precisione e accuratezza (2)



Notazione scientifica e cifre significative

- In seguito alla scelta dell'unità di misura potremo avere grandezze con valori molto più grandi (piccoli) di 1 ad es. sono scomode da scrivere

  λ_D = 0.000000589 m (riga del Na, giallo)

  d_{TS} = 149600000000 m (<d> terra-sole)

- Si usa la notazione scientifica separando le cifre significative dalla potenza di 10 (ordine di grandezza), si scrive la cifra più significativa ≠ 0 (quella che corrisponde alla potenza di 10 più elevata) prima del **.** (punto) e le altre cifre significative dopo

  $\lambda_D = 5.89 \times 10^{-7}$ m (3 cifre significative)

  $d_{TS} = 1.4960 \times 10^{11}$ m (5 cifre significative)

NB lo 0 indicato a dx è significativo

Cifre significative (2)

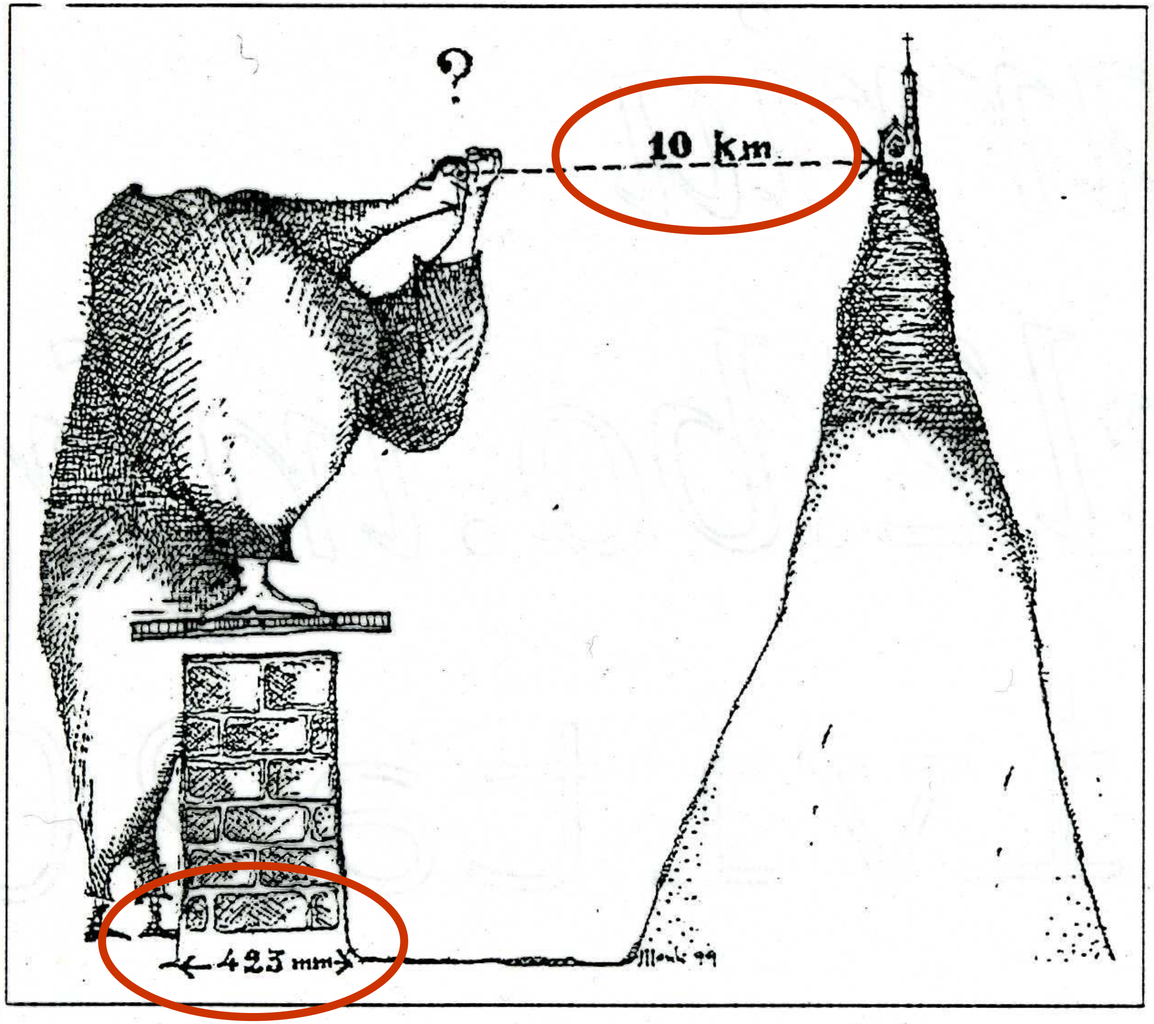
- Ad es. il valore del numero di Avogadro è misurato con grande precisione
  $N_A = (6.0221415 \pm 0.00000010) \times 10^{23}$ moli^{-1}
  cioè è noto/misurato con 7 cifre significative (con un errore relativo di 0.17 parti per milione o ppm) quindi scriverlo con 10 o più cifre non ha senso fisico – posso sempre però arrotondarlo per es. a sole 4 cifre, scelgo le prime 4 a sx: 6**.**022 x 10^{23} etc. – una scrittura equivalente è 0.6022 x 10^{24}

- Negli esercizi di fisica normalmente i dati sono forniti con 3 o 4 cifre significative, quindi non è sensato dedurne risultati con un numero di cifre maggiore – NB inoltre, in generale, combinando vari numeri noti con una certa precisione il risultato ha una precisione peggiore
- => nella soluzione degli esercizi si chiedono i risultati (se numeri reali) con 3 cifre significative

Cifre significative (3)

NB se si sommano grandezze di precisione diversa, la meno precisa domina l'errore (e tutte le cifre della grandezza più precisa risultano illusorie/inutili)

(10±1)km+(423±1) mm = (10±1) km



.. (10 ± 1) km + (423 ± 1) mm = (10.000423 ± 1) km:

... le cifre successive a quella su cui cade l'errore non hanno alcun significato!

Appendice sull'uso della calcolatrice

Supponiamo di fare una divisione con la calcolatrice tascabile:

$$\frac{1.03}{1.01} = 1.019801980....?$$

(con la calcolatrice del PC ottenete ancora più cifre, ad es. 29). Sarebbe sensato partendo da numeri conosciuti con 3 cifre fabbricarne uno di 10 (o più) cifre? In realtà dei due numeri non conosciamo la 4a cifra, possiamo solo dare un intervallo

$$\frac{1.025 \div 1.035}{1.005 \div 1.015} = 1.0098.... \div 1.0298.... = 1.01 \div 1.03$$

quindi il risultato deve essere arrotondato al massimo a 3 cifre, 1.02 corentemente con la precisione iniziale, 1/1.03 ~ 10^{-2} – la calcolatrice non può essere una fabbrica di cifre: una operazione aritmetica non aumenta in genere la precisione

Grandezze fondamentali e derivate

- Una volta definite operativamente alcune grandezze relative ai fenomeni di interesse, le altre grandezze possono essere definite in funzione delle prime – ad es. $v = s/t$
- Si distingue quindi fra grandezze fondamentali (nel minor numero possibile/conveniente) e grandezze derivate
- Le definizioni fanno sì che la scelta di quali siano le grandezze fondamentali è arbitraria
- In meccanica bastano 3 grandezze fondamentali (ad es. lunghezza, tempo, massa)

Sistemi di unità di misura

- Scelte le grandezze fondamentali si devono scegliere le loro unità di misura: quelle delle grandezze derivate sono determinate in conseguenza → sistemi di unità di misura
- In meccanica si usa MKS (m, kg, s), ma si usa anche CGS (cm, g, s) e sistema degli ingegneri
- Nella CE dal 1978 è in vigore il Sistema Internazionale (SI) ossia 7 grandezze e relative unità (m, kg, s, A, K, cd, mole)
- a queste unità vanno aggiunti i radianti (rad) per gli angoli piani e gli steradianti (srad) per quelli solidi
- esistono poi numerose grandezze usate comunemente che non fanno parte di alcun sistema precedente (senza poi andare negli US)

Sistemi di unità di misura (2)

- Riassumendo:

Grandezze fondamentali => Scelta delle unità di misura fondamentali => Sistemi di unità di misura

- Ad es. per la meccanica

MKS	spazio:	m	$= 10^2$ cm
	tempo:	s	
	massa:	kg	$= 10^3$ g
CGS	spazio	cm	$= 10^{-2}$ m
	tempo	s	
	massa	g	$= 10^{-3}$ kg

l = 5.1 m = 510 cm

$s^{-1} = 2\ m^{-1} = 0.02\ cm^{-1}$
etc.

conversione di unità :
si moltiplica per
1 = 100 cm/1 m
(numeratore)
per convertire m → cm
1 = 1 m/100 cm
per $m^{-1} \rightarrow cm^{-1}$
(denominatore, 1/m)

Unità di misura delle grandezze fondamentali

- metro, unità di misura delle distanze – a partire dal 1983, 1 m = distanza percorsa dalle luce nel vuoto in 1/299792458 s
- secondo, unità di misura dei tempi – 1 s = tempo necessario per 9.192631770 x 10^9 vibrazioni di una particolare riga dell'atomo del ^{133}Cs [1 giorno solare medio = 86400 s]
- chilogrammo, unità di misura della massa – 1 kg = 5.0188 x 10^{25} atomi di ^{12}C [1 mole = 12 g ^{12}C, contiene N_{Av} atomi]

Quello che la fisica non è

- non tenta di dare risposte a domande di tipo ontologico:
  - cos'è il tempo, lo spazio, la massa, la carica elettrica ...?

  => le questioni di tipo filosofico esulano dal campo della fisica
- non è un catalogo di casi:
  - tutte le mele che cascano, tutte le stelle di una certa magnitudo, tutte le molecole in un volume di gas ...

  => (poche) leggi generali che inglobano moltissimi/tutti i casi conosciuti
- non è una descrizione storica delle scoperte in fisica

  => le scoperte sono stimolate dalla tecnologia/scoperte precedenti
- non è affatto un puro esercizio matematico

  => usa il linguaggio matematico per esprimere sinteticamente misure, relazioni, leggi

Fine dell'introduzione

ἀγεωμὲρητος
μηδεὶς
εἰσίτω

Non entri chi è
digiuno di geometria