CORSO DI FISICA PER CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA - UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA"

Libri di testo di riferimento

1) P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci - Fisica (volume I e volume II), II edizione. EdiSES

2) C. Mencuccini, V. Silvestrini

   Fisica - Meccanica e Termodinamica

   Fisica - Elettromagnetismo e Ottica

   Casa Editrice Ambrosiana

3) Halliday - Resnick - Walker

   Fondamenti di Fisica (settima edizione, volume unico)

   Casa Editrice Ambrosiana

4) A. Serway, J. W. Jewett

   Principi di Fisica (tranne i capitoli sulla Termodinamica)

   Edises

5) R. C. Davidson - Metodi matematici per un corso introduttivo di Fisica

   Edises (richiami della matematica di base delle scuole superiori, tranne la geometria euclidea)

Requisiti preliminari di matematica

1. Algebra elementare: monomi, polinomi, operazioni algebriche elementari, equazioni numeriche e letterali di 1°, 2° grado e particolari equazioni di grado superiore al 2°, radicali, disequazioni numeriche e letterali, equazioni e disequazioni fratte.

2. Geometria euclidea del piano: assiomi e principali teoremi.

3. Geometria analitica del piano: coordinate cartesiane, rette e coniche.

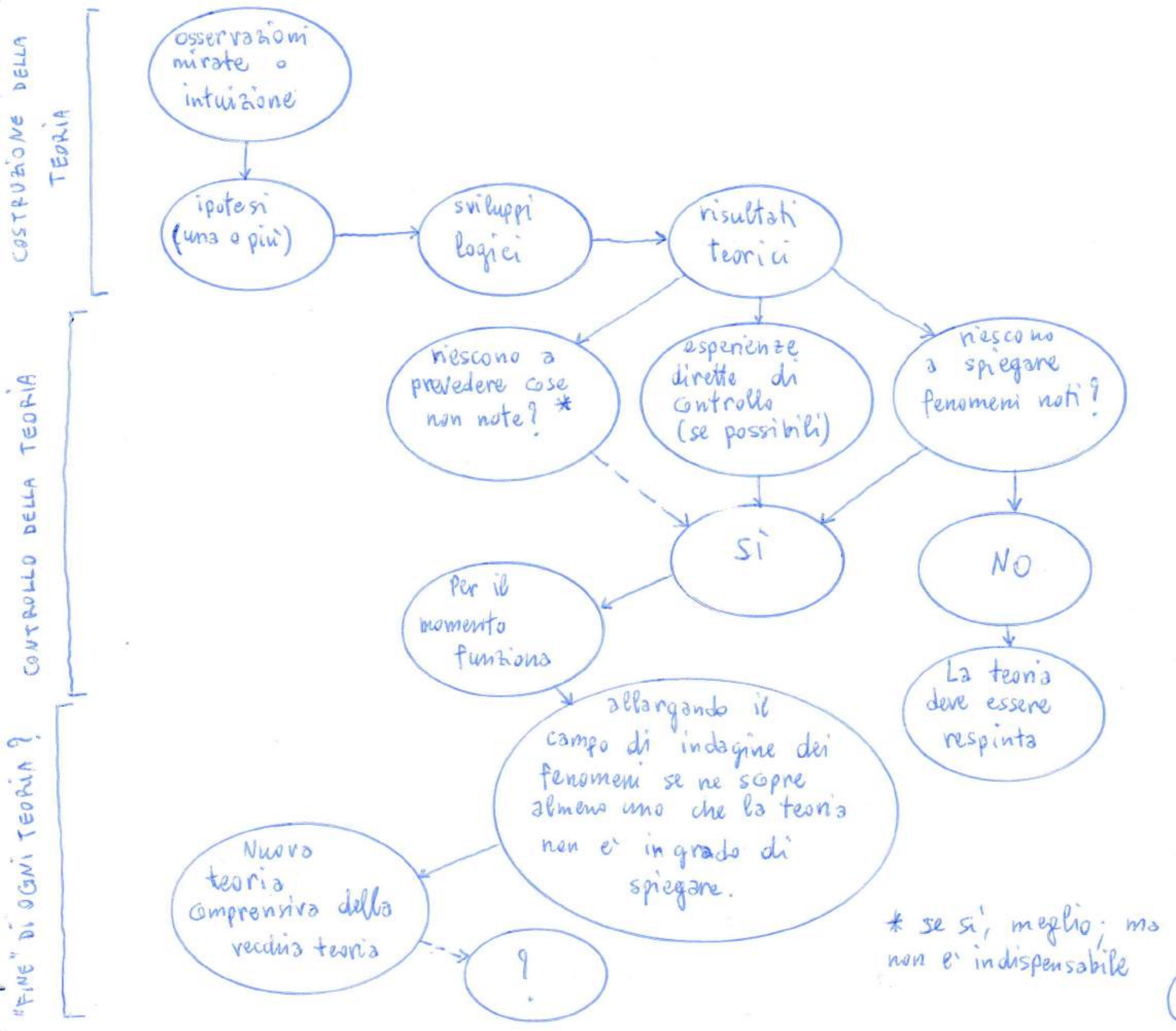
4. Trigonometria piana: misura degli angoli in radianti, funzioni goniometriche elementari, proprietà trigonometriche dei triangoli rettangoli e dei triangoli generici, formule di prostaferesi e di addizione/sottrazione.

5. Elementi di analisi matematica: insiemi, numeri reali e complessi, successioni, funzioni, limiti, continuità, derivata, integrale.

INTRODUZIONE

La fisica è la scienza che si propone di interpretare i fenomeni osservabili utilizzando la matematica come strumento formale. Il punto di partenza è l'OSSERVAZIONE SPERIMENTALE.

Il METODO SCIENTIFICO che ha permesso, negli ultimi 400 anni circa, di far progredire in maniera decisiva le conoscenze umane nel campo della ricerca scientifica si può schematizzare, in sintesi, tramite un diagramma a blocchi:



Grandezze fisiche e sistemi di unità di misura

L'osservazione sperimentale si basa sulla misura di quantità (o grandezze) caratteristiche del sistema o del processo fisico in esame. La MISURA di una grandezza fisica viene espressa da un valore numerico con una opportuna UNITA' DI MISURA, valore che si ottiene confrontando la quantità osservata con un CAMPIONE fissato della stessa unità di misura.
Tale confronto, spesso, può solo essere indiretto.

a) GRANDEZZE FONDAMENTALI. Si scelgono delle specifiche grandezze, in numero limitato, ciascuna delle quali è misurabile tramite confronto (diretto o indiretto) con un campione specifico. Può capitare di definire una grandezza fisica in modo OPERATIVO, cioè fornendo un procedimento per eseguirne la misurazione. Tutte le altre grandezze fisiche si devono poter ricavare a partire dalle grandezze fondamentali scelte. Le grandezze non fondamentali sono chiamate GRANDEZZE DERIVATE. I campioni delle unità di misura delle grandezze fondamentali devono necessariamente essere accessibili e invariabili.

b) Il Sistema Internazionale di unità di misura.

Il cosiddetto SISTEMA INTERNAZIONALE di unità di misura è stato completamente definito nel 1971 (14ª Conferenza Generale sui Pesi e sulle Misure).

Il Sistema Internazionale (SI) introduce e definisce sette grandezze fondamentali. Le tre grandezze fondamentali che verranno utilizzate nella prima parte di questo corso sono le seguenti:

GRANDEZZA	UNITA' DI MISURA
Lunghezza	metro (m)
Tempo	secondo (s)
Massa	Kilogrammo (Kg)

c) Lunghezza. E' una delle grandezze fondamentali. In generale indica la distanza tra i due estremi di un segmento. E' possibile definire la lunghezza di un tratto curvilineo suddividendolo in segmenti approssimativamente rettilinei contigui, e sommando le lunghezze di tutti questi segmenti.

L'unita' di misura della lunghezza, il METRO, fu inizialmente definita come la decimilionesima parte della distanza fra il polo e l'equatore lungo la superficie terrestre (1792).

Successivamente fu definita come la distanza tra due linee molto sottili incise vicino agli estremi di una barra di platino-iridio (METRO CAMPIONE) conservata presso l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure a Sèvres presso Parigi (1889).

Nel 1960 fu ridefinita pari a 1650763,73 lunghezze d'onda nel vuoto di una particolare radiazione luminosa emessa dalla scarica elettrica in un gas rarefatto di Kripton-86.

Nel 1983 fu ridefinita come la distanza che la luce percorre nel vuoto in un intervallo di tempo uguale a 1/(299 792458) secondi.

Questa scelta è giustificata dalla precisione estrema con cui oggi si riesce a misurare la velocità della luce nel vuoto.

d) Tempo. E' una delle grandezze fondamentali.

Conviene dare una definizione operativa di INTERVALLO DI TEMPO.

Uno strumento che misura gli intervalli di tempo è detto CRONOMETRO o OROLOGIO; un tale strumento si basa su un fenomeno che si ripete regolarmente (ad esempio: pendolo, bilanciere a molla, cristallo di quarzo che vibra). Occorre assumere per ipotesi che esistano dei fenomeni rigorosamente ripetitivi, e per lungo tempo si è fatto riferimento, in tal senso, a fenomeni astronomici: ad esempio la rotazione della Terra attorno al proprio asse e la rivoluzione dei pianeti attorno al Sole. Oggi è ben noto che nessun fenomeno astronomico è esattamente ripetitivo; un orologio concettualmente soddisfacente si basa sulla propagazione di un raggio di luce che si riflette avanti e indietro su specchi posti in due posizioni fissate lungo un segmento; gli orologi più precisi si basano su fenomeni atomici. L'unità di misura standard per la misura degli intervalli di tempo è il SECONDO:

un secondo è l'intervallo di tempo durante il quale una particolare radiazione luminosa emessa da un atomo di cesio-133 compie 9 192 631 770 oscillazioni (1967, 13ª Conferenza Generale sui Pesi e sulle Misure).

e) Massa. E' una delle grandezze fondamentali. Verrà introdotta propriamente più avanti durante il corso. Per il momento limitiamoci a dire che è un parametro caratteristico di ciascun corpo fisico, che influisce sul cambiamento dello stato di moto del corpo quando questo è sottoposto a sollecitazioni esterne.
Nella pratica quotidiana, la massa di un corpo di dimensioni medio-piccole si può misurare utilizzando una bilancia, se la misura è effettuata al livello del mare (capiremo più avanti il motivo); nel linguaggio comune si usa spesso la parola "peso" per indicare la massa: vedremo poi che il termine "peso" in realtà indica una diversa grandezza fisica derivata. L'unità di misura della massa è il KILOGRAMMO. Storicamente, una prima definizione del kilogrammo è stata la seguente: la massa di un campione di acqua distillata di volume pari a 1 dm^3 (1 litro) alla temperatura di 3,98 °C. Successivamente, per ragioni pratiche, è stato definito come la massa di un cilindro di platino-iridio conservato presso l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure a Sèvres, in Francia.
Nel 2019 il kilogrammo è stato ridefinito in maniera operativa utilizzando una "bilancia di Watt", che implica la conoscenza dell'elettromagnetismo, per cui non entreremo nei dettagli di questo.

f) Altri sistemi di unità di misura

Fino alla metà del XX secolo è stato di uso comune un altro sistema di unità di misura, denominato SISTEMA c.g.s.
Nel sistema c.g.s. la lunghezza, il tempo e la massa sono ancora grandezze fondamentali. L'unità di misura della lunghezza è il CENTIMETRO, pari a $\frac{1}{100}$ di metro, quella del tempo è il SECONDO (come nel S.I.), e quella della massa è il GRAMMO, pari a $\frac{1}{1000}$ di Kilogrammo.
E' ancora in uso nella fisica teorica, soprattutto in elettromagnetismo, per ragioni storiche.

g) Altre grandezze fondamentali.

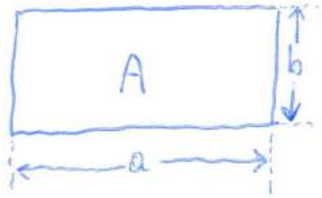
Nel Sistema Internazionale, oltre alle tre grandezze sopra menzionate, sono introdotte queste ulteriori grandezze fondamentali:

GRANDEZZA	UNITÀ DI MISURA
Temperatura	Kelvin (K)
Quantità di sostanza	mole (mol)
Corrente elettrica	ampère (A)
Intensità luminosa	candela (cd)

La temperatura sarà introdotta e discussa quando studieremo la termodinamica, come pure la quantità di sostanza.
La corrente elettrica sarà introdotta e discussa quando studieremo l'elettromagnetismo.

h) Esempi di grandezze derivate.

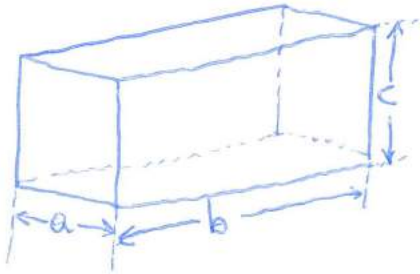
- Area di un rettangolo



$$A = a \cdot b$$

E' il prodotto di due lunghezze. L'unita' di misura di A si ottiene semplicemente moltiplicando le unita' di misura dei fattori: $m \cdot m = m^2$

- Volume di un parallelepipedo rettangolo



$$V = a \cdot b \cdot c$$

E' il prodotto di tre lunghezze.

L'unita' di misura di V si ottiene semplicemente moltiplicando tra loro le unita' di misura dei fattori:

$$m \cdot m \cdot m = m^3$$

- Velocita' media di un corpo in un dato intervallo di tempo T:

$$V_m = \frac{D}{T}$$

, dove D e' la distanza percorsa dal corpo nell'intervallo di tempo T. L'unita' di misura di V_m e' data dal rapporto tra l'unita' di misura di D e l'unita' di misura di T: $\frac{m}{s} = m \cdot s^{-1}$

• Massa volumica o densità di un corpo

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \begin{array}{l} m: \text{massa del corpo} \\ V: \text{volume del corpo} \end{array}$$

L'unità di misura di ρ è data dal rapporto tra l'unità di misura di m e l'unità di misura di V:

$$\frac{Kg}{m^3} = Kg \cdot m^{-3}$$

Ordini di grandezza

Per ragioni di comodità e di compattezza di scrittura, molto spesso conviene utilizzare la NOTAZIONE SCIENTIFICA per rappresentare il valore numerico della misurazione di una grandezza fisica. In notazione scientifica il valore numerico della misura si scrive nel modo seguente:

$a \cdot 10^b$ seguito dalla corretta unità di misura,

in modo che risulti $0{,}5 \leq a < 5$, e b è un numero intero relativo opportuno. Dopo avere scritto il valore della grandezza in questo modo, si dice che l'ORDINE DI GRANDEZZA della quantità fisica considerata è 10^b (seguito dalla corretta unità di misura).

Esempi:

- $0{,}04\ m = 4 \cdot 10^{-2}\ m \Rightarrow$ ordine di grandezza $10^{-2}\ m$
- $1070\ kg = 1{,}070 \times 10^{3}\ kg \Rightarrow$ ordine di grandezza $10^{3}\ kg$
- $0{,}0000000002\ s = 2 \cdot 10^{-10}\ s \Rightarrow$ ordine di grandezza $10^{-10}\ s$

- Stima dell'ordine di grandezza del numero di atomi in un piccolo corpo solido

Volume $V = 1\ cm^3 = (10^{-2}\ m)^3 = 10^{-6}\ m^3$ (conversione dell'unita' di misura)

Diametro atomico $d \simeq 10^{-10}\ m$

Modello: atomi schematizzati come sfere piene di diametro d

Volume di un atomo: $V_a = \frac{4\pi}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3 \simeq 0{,}5236\ d^3 \sim d^3 = 10^{-30}\ m^3$

Numero di atomi contenuto nel campione:

$$N_a = \frac{V}{V_a} \sim \frac{10^{-6}\ m^3}{10^{-30}\ m^3} = 10^{24}$$

N.B.: il simbolo $\sim$ si legge "dell'ordine di" e sta a indicare il calcolo dell'ordine di grandezza delle quantita' in esame.

Valori di alcune grandezze fisiche

a) Lunghezze

Descrizione	Valore (m)
Distanza dalla Terra delle galassie più lontane	$2 \cdot 10^{26}$
Distanza dalla Terra della galassia di Andromeda	$2 \cdot 10^{22}$
Distanza dalla Terra della stella più vicina (Proxima Centauri)	$4 \cdot 10^{16}$
Distanza dalla Terra di Plutone	$0{,}6 \cdot 10^{13}$
Raggio della Terra	$0{,}6 \cdot 10^{7}$
Altezza del monte Everest	$0{,}9 \cdot 10^{4}$
Spessore di un foglio di carta tipico	$1 \cdot 10^{-4}$
Lunghezza di un virus tipico	$1 \cdot 10^{-8}$
Raggio dell'atomo di idrogeno	$0{,}5 \times 10^{-10}$
Raggio di un protone	$1 \cdot 10^{-15}$

b) Intervalli di tempo

Descrizione	Valore (s)
Limite inferiore alla vita media di un protone	$3 \cdot 10^{40}$
Età dell'Universo	$0,5 \times 10^{18}$
Età della piramide di Cheope	$1 \cdot 10^{11}$
Durata media della vita umana	$2 \cdot 10^{9}$
Durata di un giorno	$0,9 \cdot 10^{5}$
Intervallo di tempo tra due battiti cardiaci umani	0,8
Vita media di un muone	$2 \cdot 10^{-6}$
Vita media della particella più instabile	$1 \cdot 10^{-23}$
"Tempo di Planck"	$1 \cdot 10^{-43}$

c) Masse

Descrizione	Valore (kg)
Universo conosciuto	$1 \cdot 10^{53}$
Via Lattea	$2 \cdot 10^{41}$
Sole	$2 \cdot 10^{30}$
Luna	$0,7 \cdot 10^{23}$
Asteroide Eros	$0,5 \cdot 10^{16}$
Piccola montagna	$1 \cdot 10^{12}$
Transatlantico	$0,7 \cdot 10^{8}$
Elefante	$0,5 \cdot 10^{4}$
Acino d'uva	$3 \cdot 10^{-3}$
Granello di polvere	$0,7 \cdot 10^{-9}$
Molecola di penicillina	$0,5 \cdot 10^{-16}$
Atomo di uranio	$4 \cdot 10^{-25}$
Protone	$2 \cdot 10^{-27}$
Elettrone	$0,9 \cdot 10^{-30}$

Per la misura delle masse atomiche si utilizza tipicamente uno specifico campione di massa: la convenzione e' che l'atomo del carbonio-12 abbia una massa pari a 12 unita' di massa atomica (u). Risulta $1\ u = 1,66053886 \cdot 10^{-27}$ kg

Prefissi per le unità di misura SI

Quando i valori numerici di una misura sono espressi da una potenza di 10 molto grande o molto piccola, si può sostituire la potenza di 10 con un prefisso da anteporre all' unità di misura. Ecco l' elenco dei prefissi e delle corrispondenti potenze di 10:

Fattore	Prefisso	Simbolo
10^{18}	exa -	E
10^{15}	peta -	P
10^{12}	tera -	T
10^{9}	giga -	G
10^{6}	mega -	M
10^{3}	Kilo -	K
10^{2}	etto -	h
10^{1}	deca -	da
10^{-1}	deci -	d
10^{-2}	centi -	c
10^{-3}	milli -	m
10^{-6}	micro -	μ
10^{-9}	nano -	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto -	f
10^{-18}	atto -	a

Esempi: $1 \cdot 10^{-9}\,s = 1\,ns$ (nanosecondo)

$1 \cdot 10^{-15}\,m = 1\,fm$ (femtometro, anche detto "fermi")

Analisi dimensionale

Per verificare la coerenza di una formula fisica ricavata dopo un calcolo più o meno complesso conviene effettuare una ANALISI DIMENSIONALE dell' espressione ottenuta.

Allo scopo, si fissano le seguenti regole:

- ogni distanza tra due punti, o comunque ogni quantità esprimibile in metri, ha le dimensioni di una lunghezza, $[L]$.

  Ad esempio, sia $d = 2\ m$; dimensionalmente risulta

  $[d] = [L]$, che si legge "d ha le dimensioni di una lunghezza"

- ogni intervallo di tempo ha le dimensioni di un tempo $[T]$

  Ad esempio, sia $\tau = 10\ s$; dimensionalmente risulta

  $[\tau] = [T]$, che si legge "τ ha le dimensioni di un tempo"

- ogni valore di massa di un corpo ha le dimensioni di una massa, $[M]$

  Ad esempio, sia $m = 25\ kg$; dimensionalmente risulta

  $[m] = [M]$, che si legge "m ha le dimensioni di una massa"

Su questa base, non è complicato determinare le dimensioni fisiche di altre grandezze derivate.

Esempi

- velocità media $\quad V_m = \dfrac{D}{T}$

  Risulta immediatamente:

$$[V_m] = \left[\frac{D}{T}\right] = \frac{[D]}{[T]} = \frac{[L]}{[T]} = [L][T^{-1}],$$

che si legge "la velocità media ha le dimensioni di una lunghezza per un tempo alla -1".

- Area di un rettangolo

$$A = a\,b$$

Risulta immediatamente:

$$[A] = [a\,b] = [a]\cdot[b] = [L]\cdot[L] = [L^2],$$

che si legge "l'area di un rettangolo ha le dimensioni di una lunghezza al quadrato".

Da questi semplici esempi comprendiamo che le dimensioni di una grandezza fisica si trattano come parametri algebrici (espressione letterale).

Osservazioni importanti:

a) si possono sommare algebricamente due quantità fisiche solo se hanno uguali dimensioni (GRANDEZZE OMOGENEE); dunque si possono sommare algebricamente tra loro due intervalli di tempo, ma non è possibile sommare, ad esempio, una lunghezza e una massa

b) l'analisi dimensionale, pur essendo molto utile per verificare la coerenza di un'espressione ottenuta da un calcolo, non può dare informazioni su eventuali costanti numeriche adimensionali omesse per errore nei fattori moltiplicativi.

c) il rapporto di due quantità omogenee (cioè aventi le stesse dimensioni fisiche) è una GRANDEZZA ADIMENSIONALE, anche detta NUMERO PURO, in quanto nel rapporto le due unità di misura si semplificano (essendo uguali).
Un esempio di grandezza adimensionale l'abbiamo incontrato nell'esercizio svolto a pag. 9 (il numero di atomi contenuto nel corpo solido considerato, numero ottenuto come rapporto di due volumi, cioè di due grandezze omogenee).

d) gli argomenti di funzioni trascendenti, in fisica, devono essere quantità adimensionali.

Esempi

- e^x; dall'analisi matematica sappiamo che possiamo scrivere uno sviluppo in serie di Mclaurin di questa funzione:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots$$

Si osserva subito che se x avesse una dimensione fisica (ad es. una lunghezza) questa espressione non avrebbe senso in quanto sarebbe una somma di termini aventi tutti dimensioni fisiche diverse tra loro. Dunque x deve essere una quantita' adimensionale.

- $$\operatorname{sen}(x) = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

Valgono le stesse considerazioni fatte nel caso precedente, per cui anche in questo caso x deve essere una quantita' adimensionale.

Cifre significative e arrotondamento

Il numero di cifre con cui può essere rappresentato il risultato di una misura sperimentale è legato all'incertezza associata all'operazione di misura.

Se l'incertezza è associata alla lettura diretta dello strumento di misura, tipicamente si conviene di scrivere il valore della misura fino alla prima cifra affetta da incertezza.

Se la misura è indiretta, cioè se la grandezza in esame deriva da una legge matematica che lega tra loro grandezze misurate direttamente (ciascuna con la propria incertezza), spesso si conviene di scrivere il valore fino alla seconda cifra affetta da incertezza.

Per questa ragione è importante in molti casi operare un ARROTONDAMENTO del valore numerico fino alla cifra più a destra che è possibile scrivere.

Il NUMERO DI CIFRE SIGNIFICATIVE di un dato valore numerico è dato dal numero di cifre di tale valore, contato dalla prima cifra non nulla da sinistra, fino alla prima (o alla seconda) cifra affetta da incertezza (vedi sopra).

Esempi.

- Consideriamo la lunghezza misurata di un segmento:

$$l = 2,501\ m$$

Se l'incertezza sulla misura è pari a 0,001 m, si può dire che l ha 4 cifre significative.

- Consideriamo una misura di massa:

$$m = 0,0484\ Kg$$

Se l'incertezza sulla misura è pari a 0,0003 kg, si può dire che m ha 3 cifre significative

---

Regole generali per l'arrotondamento: dato un valore numerico con n cifre significative, se vogliamo scriverlo con n-1 cifre significative occorre vedere il valore della cifra significativa n-esima; se tale valore è compreso tra 0 e 4, si può eliminare la cifra n-esima lasciando invariata la cifra (n-1)-esima; se tale valore è compreso tra 5 e 9, si può eliminare la cifra n-esima incrementando di una unità la cifra (n-1)-esima. Se occorre eliminare più di una cifra significativa occorre procedere con più cautela.

Esempi

- 1,21342 : 6 cifre significative

  1,2134 : arrotondamento a 5 cifre significative

- 0,0484 : 3 cifre significative

  0,048 : arrotondamento a 2 cifre significative.

- 3,049 : 4 cifre significative

  3,05 : arrotondamento a 3 cifre significative