GRANDEZZE FISICHE DIMENSIONI CIFRE SIGNIFICATIVE

CdS Fisica

Laboratorio Meccanica e Termodinamica

Grandezze Fisiche (I)

- Scopo dell' attività scientifica è la **comprensione** dei fenomeni naturali.
- Alla base del processo di comprensione, ci sono le **osservazioni**, consistenti nel riconoscere gli aspetti caratteristici del fenomeno in esame quelli cioè che si presentano ogni volta che il fenomeno si verifica.
- Analisi preliminare, di tipo **qualitativo**, che deve essere seguita da una analisi più obiettiva, di tipo **quantitativo**: gli **esperimenti**.
  - controllare più facilmente le condizioni di misura, riducendo il rischio di trarre conclusioni sbagliate da informazioni corrette, ma incomplete.
  - **metodo scientifico.**

Metodo Scientifico

4 passi di indagine (Galileo 1600):

1. Osservazione acritica;
2. Riduzione delle osservazioni;
3. Formulazione delle leggi;
4. Verifica sperimentale delle leggi.

no

sí

Legge convalidata!

Grandezze Fisiche (II)

- Step 1 e 2: osservazioni ed esperimenti indirizzano il ricercatore nella scelta (a volte, “invenzione”) delle grandezze rilevanti per la descrizione del fenomeno sotto studio;

- Step 3: formulazione di un modello interpretativo, ossia di un insieme di relazioni funzionali tra le grandezze coinvolte.

- Step 4: il modello può essere messo alla prova (rafforzato oppure falsificato) con ulteriori osservazioni ed esperimenti riguardanti le grandezze che caratterizzano il fenomeno.

Grandezze Fisiche (III)

- **Grandezza fisica** è una proprietà quantificabile (misurabile) di un sistema, utile alla descrizione di un fenomeno riguardante il sistema stesso, quando messa in relazione con altre grandezze fisiche.

- Per quanto riguarda la Meccanica lo studio del movimento e l'analisi delle interazioni tra gli oggetti di un sistema, ha portato ad identificare alcune grandezze **fondamentali** (gli intervalli spaziali e temporali, le masse) ed altre grandezze **derivate**, espresse in funzione delle prime (la velocità di un oggetto o l'energia di un sistema).

- Tramite queste grandezze è stato possibile esprimere le relazioni funzionali che costituiscono la Meccanica.

Dimensioni

- proprietà essenziale di ogni grandezza fisica è la sua dimensione.
- ogni grandezza appartiene ad una classe, chiamata dimensione, che contiene tutte le grandezze omogenee (che si possono confrontare).
- Il diametro del Sole, l'altezza della torre Garisenda, la profondità della fossa delle Marianne sono grandezze tra loro omogenee ed appartengono alla classe **[L]** delle **lunghezze**.
- La vita media del neutrone, l'età dell'Universo, il periodo di oscillazione di un pendolo sono, dimensionalmente, dei **tempi** e appartengono alla classe **[T]**.
- La massa del protone, la massa della Terra sono dimensionalmente, delle **masse** e appartengono alla classe **[M]**.

Dimensioni (II)

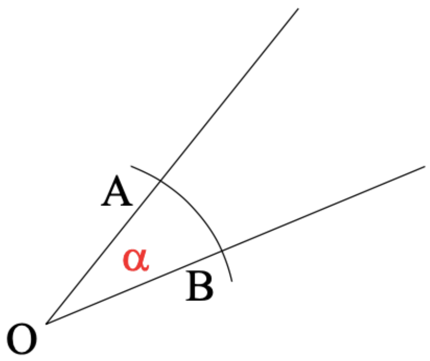
- Esistono naturalmente anche grandezze adimensionali (costanti numeriche come π oppure $\sqrt{2}$, rapporti di grandezze omogenee, angoli piani e angoli solidi);

- Si può usare il simbolo [1] per rappresentare la classe delle grandezze adimensionali.

- Esempi di grandezze adimensionali: coefficienti di attrito; numero di Reynolds, costanti di accoppiamento delle interazioni fondamentali…

- Gli argomenti delle funzioni trigonometriche, delle funzioni logaritmo ed esponenziale. Le funzioni stesse sono adimensionali.

Angolo Piano



- **angolo piano** è il rapporto fra la lunghezza dell’arco sotteso fra due raggi e il raggio della circonferenza:

$$\alpha = \frac{\widehat{AB}}{\overline{OB}} = \frac{\widehat{AB}}{r}$$

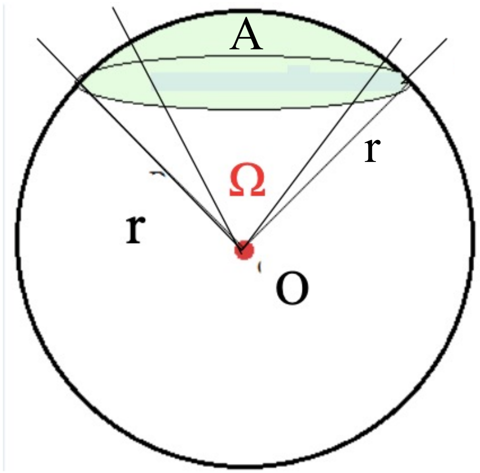
- Misurato in radianti (rad);

$$0 \leq \alpha \leq 2\pi$$

NB: le funzioni trigonometriche vogliono l’argomento in radianti!
Fattore di conversione:

$$\pi : 180° = x(rad) : y° \Rightarrow x(rad) = \frac{\pi}{180} y°$$

Angolo Solido



- **angolo solido** è una regione conica di spazio;
- Definito dal rapporto fra l'area della superficie A racchiusa sulla sfera e il quadrato del raggio della sfera

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

- Misurato in steradianti (sr);

$$0 \leq \Omega \leq 4\pi$$

Dimensioni (III)

- **E’ possibile confrontare tra loro (> = <) e sommare e/o sottrarre solo grandezze omogenee**

  controesempi, da articoli di quotidiani:

  “La distanza di sicurezza tra gli autoveicoli deve essere pari al doppio della velocità”

  “I neutrini sono più veloci della luce di circa 60 nanosecondi”

- La dimensione di una grandezza derivata può essere ricavata a partire dalle dimensioni delle grandezze fondamentali.

Analisi Dimensionale

- se la grandezza derivata G è data dal prodotto di una costante numerica c per le grandezze fondamentali A elevata alla α, B elevata alla β etc, cioè se

$$G = cA^{\alpha}B^{\beta}C^{\gamma} \quad \text{allora} \quad [G] = [A]^{\alpha}[B]^{\beta}[C]^{\gamma}$$

- Ad esempio, se "f" rappresenta una forza, allora
  $[f] = [M][L][T]^{-2}$

- Ad esempio: $x(t) = x_0\cos(t)$ è sbagliata dimensionalmente
  $x(t) = x_0\cos(\omega t)$ è corretta

Esempio 1

La grandezza S dipende dalle grandezze $m = 1.40$ kg, $v = 20.0$ km/h, $h = 40$ cm, $\rho = 10^3$ kg/m^3 e $g = 9.81$ m/s^2 secondo la relazione:

$$S = \frac{mg}{\rho v \sqrt{v^2 - 2gh}}$$

Qual è la dimensione di S ?

Esempio 2

Un pendolo semplice è costituito da un punto materiale vincolato tramite un filo a un punto fisso e soggetto alla sola forza di gravità. In particolari condizioni il moto del punto è oscillatorio periodico. Si verifica che il periodo T (la cui dimensione fisica è un tempo [T]) dipende solo dalla lunghezza del filo l (dimensione fisica [L]) e dall'accelerazione di gravità g (dimensione fisica [LT^{-2}]). Quale tra le seguenti formule rappresenta il periodo del pendolo?

1) $T = \frac{gl}{2\pi}$ 2) $T = \pi\sqrt{\frac{g}{l}}$ 3) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 4) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{gl}}$

Esempio 3

Stimare la quota massima raggiunta da un punto sapendo che la dipendenza è del tipo $h = h(m, v_o, g \ldots.)$

Misura di una Grandezza Fisica

- Il processo di misura consiste **nell'assegnare un valore numerico**, ed eventualmente una direzione ed un verso, **ad una determinata grandezza fisica**.

- Sono coinvolti tre "elementi":
  (i) un **materiale** o un **oggetto** (o **sistema di oggetti**);
  (ii) una **grandezza** che caratterizza il materiale (o sistema);
  (iii) una **procedura** per determinare il valore di tale grandezza.

- Requisiti necessari sono quindi:
  - una descrizione precisa del sistema, della grandezza che deve essere misurata e della procedura.
  - il fatto che la procedura sia applicabile nell'intervallo di valori che la grandezza in esame può assumere.

Misura di una Grandezza Fisica (II)

- Cosa significa, ad esempio, “misurare la distanza Terra – Luna” ? Il significato di “misurare la distanza di frenata di una automobile” è lo stesso?

- Misurare una distanza significa decidere un **campione** di distanza (**unità di misura**) e determinare un numero che rappresenti quante volte tale campione è contenuto nella distanza da misurare.

Misura di una Grandezza Fisica (III)

- In questo, il significato è lo stesso; tuttavia, possiamo notare una differenza importante:

- **misura diretta** (distanza di frenata),
  con un doppio decametro;

- **misura indiretta** (distanza Terra – Luna),
  possibile con procedure diverse

  i) Aristarco: durante una eclissi di Luna, si può misurare il rapporto tra il diametro della Terra e quello della Luna.

  ii) Oggi: dal tempo di andata e ritorno di impulsi laser, si ottiene la distanza con una incertezza dell'ordine del millimetro.

Il Sistema Internazionale (SI)

- Un **sistema di unità di misura** è un insieme di definizioni e di regole:
  - **definizioni** delle unità assunte come "**fondamentali**" (o "di base")
  - **regole** per ottenere da queste le unità di tutte le altre grandezze in uso nelle scienze e nelle varie attività tecnologiche e della vita quotidiana (unità "**derivate**").
- La definizione delle unità fondamentali deve essere, per quanto possibile:
  - **indipendente** (stabile) dal tempo e dal luogo (questo non era vero, fino a un anno fa, nel caso dell'unità di massa);
  - **precisa;**
  - **riproducibile.**

Il Sistema Internazionale (SI) (II)

- La scelta delle unità di base deve garantire:
  - l'**indipendenza** tra di esse (nessuna unità di base si deve poter esprimere mediante le altre);
  - la **completezza** (devono essere sufficienti per potere ottenere, mediante relazioni opportune, le unità derivate).

- Per semplicità di impiego, ad un sistema di unità di misura si richiede la **coerenza**:

  le relazioni formali che esprimono le unità derivate per mezzo di quelle di base devono avere coefficiente numerico 1.

- I multipli e i sottomultipli delle unità di misura devono essere decimali.

Il SI: Unità di Base

Il SI è definito nella SI Brochure pubblicata del BIPM.

Bureau International des Poids et Mesures
http://www.bipm.org/en/about-us/

«The SI has always been a practical and dynamic system that has **evolved to exploit the latest scientific and technological developments**. In particular, the tremendous advances in atomic physics and quantum metrology made over the last 50 years have enabled the definitions of the second, the metre, and the practical representation of the electrical units to take advantage of atomic and quantum phenomena to achieve levels of accuracy for realizing the respective units limited only by our technical capability and not by the definitions themselves….»

Unità di tempo: il secondo

- Scelta di un fenomeno periodico:

  Giorno solare medio. Diviso in
  - 24 ore, 60 minuti primi, 60 minuti secondi
  - 1 giorno = 86400 secondi (minuti secondi)
- 1967: un secondo corrisponde a 9.192.631.770 oscillazioni dell'isotopo di Cesio 133 tra lo stato fondamentale e il suo primo stato eccitato
- Gli orologi atomici si sono rivelati stabili

Unità di lunghezza: il metro

- Prodotto della rivoluzione francese (1795)
- Definizione originale

  1 metro = 1/10 000 000 della distanza tra polo nord e equatore
- Definizione successiva (1889): distanza tra due tacche di una sbarra di platino-iridio (campione di Sèvres)
- 1983: 1) lo standard di tempo è ben definito;

  2) la velocità della luce è una costante universale:

  1 metro = distanza percorsa dalla luce in 1/299 792 458 secondi

Il SI: Unità di Base (II)

La definizione e il valore delle unità del SI è stabilita in base ai valori fissati di **7 costanti fisiche**.

Defining constant	Symbol	Numerical value	Unit
hyperfine transition frequency of Cs	$\Delta \nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
speed of light in vacuum	c	299 792 458	$m\ s^{-1}$
Planck constant	h	$6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$	J s
elementary charge	e	$1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$	C
Boltzmann constant	k	$1.380\ 649 \times 10^{-23}$	$J\ K^{-1}$
Avogadro constant	N_A	$6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
luminous efficacy	K_{cd}	683	$lm\ W^{-1}$

Il SI: Unità di Base (III)

7 unità di base

grandezza	nome	simbolo
lunghezza	metro	m
massa	kilogrammo	kg
tempo	secondo	s
intensità di corrente elettrica	ampere	A
temperatura termodinamica	kelvin	K
quantità di sostanza	mole	mol
intensità luminosa	candela	cd

Il SI: Unità di Base (IV)

TIME

- **Defining constant:** hyperfine transition frequency of Cs
- **Symbol:** $\Delta \nu_{Cs}$
- **Numerical value:** 9 192 631 770
- **Unit:** Hz

THE SECOND

The second, symbol s, is the SI unit of time. It is defined by taking the fixed numerical value of the caesium frequency $\Delta \nu_{Cs}$, the unperturbed ground-state hyperfine transition frequency of the caesium-133 atom, to be 9 192 631 770 when expressed in the unit Hz, which is equal to s^{-1}.

LENGTH

- **Defining constant:** speed of light in vacuum
- **Symbol:** *c*
- **Numerical value:** 299 792 458
- **Unit:** m s^{-1}

THE METRE

The metre, symbol m, is the SI unit of length. It is defined by taking the fixed numerical value of the speed of light in vacuum *c* to be 299 792 458 when expressed in the unit m s^{-1}, where the second is defined in terms of the caesium frequency $\Delta \nu_{Cs}$.

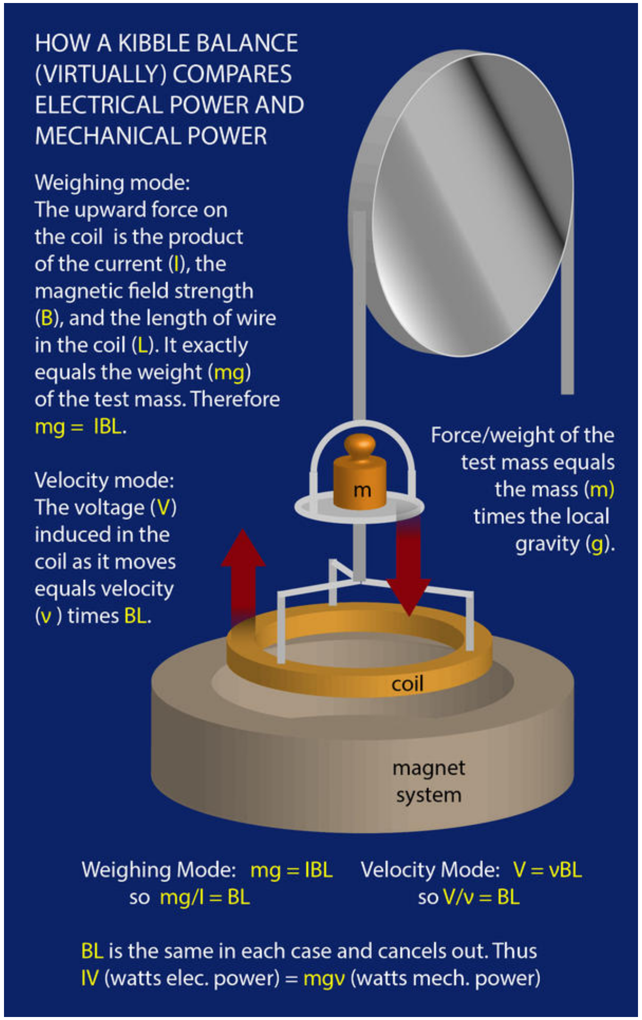
Il SI: Unità di Base (V)

MASS

- **Defining constant:** Planck constant
- **Symbol:** h
- **Numerical value:** $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$
- **Unit:** J s

THE KILOGRAM

The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ when expressed in the unit J s, which is equal to kg $m^2 s^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{Cs}$.



Bilancia di Kibble: equilibra il peso di un oggetto con la forza generata dalla corrente elettrica che scorre in un filo immerso in un campo magnetico.

Il SI: Unità di Base (VI)

AMOUNT OF SUBSTANCE

- **Defining constant:** Avogadro constant
- **Symbol:** N_A
- **Numerical value:** $6.022\ 140\ 76 \times 10^{-23}$
- **Unit:** mol^{-1}

LUMINOUS INTENSITY

- **Defining constant:** luminous efficacy
- **Symbol:** K_{cd}
- **Numerical value:** 683
- **Unit:** lm W^{-1}

ELECTRIC CURRENT

- **Defining constant:** elementary charge
- **Symbol:** e
- **Numerical value:** $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$
- **Unit:** C

THE MOLE

The mole, symbol mol, is the SI unit of amount of substance. One mole contains exactly $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ elementary entities. This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant, N_A, when expressed in the unit mol^{-1} and is called the Avogadro number.
The amount of substance, symbol n, of a system is a measure of the number of specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles.

THE CANDELA

The candela, symbol cd, is the SI unit of luminous intensity in a given direction. It is defined by taking the fixed numerical value of the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz, K_{cd}, to be 683 when expressed in the unit lm W^{-1}, which is equal to cd sr W^{-1}, or cd sr $kg^{-1} m^{-2} s^3$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h, c and $\Delta\nu_{Cs}$.

THE AMPERE

The ampere, symbol A, is the SI unit of electric current. It is defined by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit C, which is equal to A s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{Cs}$.

Il SI: Unità di Base (VII)

Convenzioni nell'uso delle unità di misura:

- I nomi delle unità sono considerati nomi comuni e pertanto si scrivono con **l'iniziale minuscola**, anche se derivano da nomi di scienziati (ampere, kelvin);
- Sono **invarianti al plurale**;
- Quando l'unità **non è accompagnata dal valore numerico, deve essere scritta per esteso**.

    Esempi:

    "Il **kelvin** è l'unità di temperatura termodinamica"

    "La definizione della **mole** fa riferimento al numero di atomi contenuti in 0,012 kg di carbonio 12"

Il SI: Unità di Base (VIII)

- Hanno come **simbolo una lettera maiuscola** (A per l'ampere e K per il kelvin);

- Il **simbolo** delle unità si deve usare solo quando l'unità è **accompagnata dal valore numerico**;

- Il simbolo deve essere scritto
  - in carattere **non corsivo** (kg non *kg*);
  - **dopo** il valore numerico;
  - **non** deve essere **seguito da un punto** (a meno che si tratti del punto di fine periodo);

  Esempi: "Il Monviso è alto 3841 **m**"
  "La definizione della mole fa riferimento al numero di atomi contenuti in 0,012 **kg** di carbonio 12"

Il SI: Unità Derivate

- si ottengono combinando tra loro le unità di base in monomi del tipo $m^{\alpha}kg^{\beta}s^{\gamma}A^{\delta}K^{\varepsilon}mol^{\zeta}cd^{\eta}$ con **coefficiente numerico 1**;

- gli **esponenti** sono **numeri interi compreso lo zero**.

- Ad esempio:
  - l'unità di volume è il metro cubo (simbolo m^3);
  - l'unità di accelerazione è il metro al secondo al quadrato (simbolo $m \cdot s^{-2}$ o m/s^2),
  - l'unità di quantità di moto è il metro per kilogrammo al secondo (simbolo $m \cdot kg \cdot s^{-1}$ ovvero $m \cdot kg/s$).

Il SI: Unità Derivate (II)

grandezza	unità SI	simbolo	unità di base SI
frequenza	hertz	Hz	s^{-1}
forza	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
pressione	pascal	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energia	joule	J	$m^{2} \cdot kg \cdot s^{-2}$
potenza	watt	W	$m^{2} \cdot kg \cdot s^{-3}$
carica elettrica	coulomb	C	$s \cdot A$
potenziale elettrico	volt	V	$m^{2} \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
capacità elettrica	farad	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^{4} \cdot A^{-2}$
resistenza elettrica	ohm	Ω	$m^{2} \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$

Multipli e Sottomultipli

- Quando l'unità SI è troppo grande o troppo piccola per certe misurazioni, si possono usare suoi **multipli** o **sottomultipli** decimali.

- 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:

Esempio: 1 nm e non 1 mμm, 1pF e non 1mnF.

Esempio: 1000 V = 10^3 V = 1kV ;

0.000 001 s = 10^{-6} s = 1 μs

Multipli e Sottomultipli (II)

- L’unità di massa è la sola il cui nome contenga 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} kg = 1 mg (un milligrammo)
e non 1 μkg (un microkilogrammo).

Multipli e Sottomultipli (III)

			nome	simbolo
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
0,1	=	10^{-1}	deci	d
0,01	=	10^{-2}	centi	c
0,001	=	10^{-3}	milli	m
0,000 001	=	10^{-6}	micro	µ
0,000 000 001	=	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

Cifre Significative

- Dato un numero, si dicono **significative tutte le cifre del numero a partire dalla prima diversa da zero, leggendole da sinistra verso destra.**

  Ad esempio 17.044 ha 5 cifre significative
  0.039 ha 2 cifre significative
  0.120 ha 3 cifre significative
  27,100 ha 5 cifre significative

Gli zeri davanti al primo numero diverso da zero non si contano mentre quelli dopo sì

- Per evitare ambiguità, in relazione ad eventuali zeri "non significativi", è opportuno utilizzare la **notazione scientifica**.

  Esempio: si vuole rappresentare la distanza Terra-Sole
  \- 150000000 km: 9 cifre significative? Dubito…

Notazione Scientifica

- Permette di scrivere un numero in cui compaiono molti zeri in forma compatta;

- $\boldsymbol{A\times 10^{n}}$ dove A = numero compreso fra 1 incluso e 10 escluso con virgola che non termina con 0
  n = esponente intero (positivo o negativo)

- Esempio: si vuole rappresentare la distanza Terra-Sole
  - 150000000 km: 9 cifre significative? Dubito…
  - $1{,}5\times 10^{8}$ km: 2 cifre significative.

Notazione Scientifica (II)

- Regole per scrivere un **numero naturale** in notazione scientifica:

- Il numero di cifre esclusa la prima che compongono il numero naturale corrisponde al valore dell'esponenziale;

- Aggiungere la virgola dopo il primo numero e copiare le restanti cifre tranne gli zeri finali;

- Moltiplicare per 10 elevato all'esponente come calcolato al primo punto;

Esempio: $70600000 \rightarrow 7{,}06 \times 10^7$

Notazione Scientifica (III)

- Regole per scrivere un **numero decimale** in notazione scientifica:

- Individuare partendo da sinistra verso destra il primo numero diverso da zero;

- Posizionare la virgola dopo il numero trovato e riportare le restanti cifre tranne eventuali zeri finali;

- L'esponente è dato dal valore di cifre contando dalla posizione della virgola di partenza fino alla posizione della virgola in notazione scientifica; NB: nei numeri decimali minori di uno l'esponente sarà negativo.

Esempio: $0{,}00000015 \rightarrow 1{,}5\times10^{-7}$

$1354{,}17 \rightarrow 1{,}35417\times10^{3}$

Cifre Significative: Operazioni

Regola Generale:

Nell'esecuzione delle varie operazioni matematiche la precisione del risultato non può essere superiore alla precisione del dato sperimentale meno preciso che viene utilizzato.

Cifre Significative: Operazioni (II)

- nell'operazione di **addizione e sottrazione**, il risultato ha come ultima cifra significativa quella che si ottiene dalla **somma o differenza di cifre significative delle misure iniziali**

Esempio:

+	$6{,}87\ kg + 0{,}218\ kg + 3{,}54\ kg = 10{,}628\ kg = 10{,}63\ kg$ $1{,}027\ m + 0{,}55\ m = 1{,}577\ m = 1{,}58\ m$
−	$3{,}02m - 1{,}13\ m = 1{,}89\ m$ $207{,}2\ cm^3 - 3{,}16\ cm^3 = 204{,}04\ cm^3 = 204{,}0\ cm^3$

Quando addizioniamo o sottraiamo quantità misurate, il risultato va dato con lo stesso numero di decimali della quantità con il minor numero di decimali

- nell'operazione di **moltiplicazione e divisione**, il risultato ha il **minimo numero di cifre significative delle misure iniziali**

Esempio:

×	$75{,}2\ kg \times 9{,}81\ {}^{m}/_{s^2} = 737{,}712\ N = 738\ N$ $6{,}41\ m \times 4{,}531\ m = 29{,}04371\ m^2 = 29{,}0\ m^2$
:	$\frac{7{,}5\ m}{0{,}31\ s} = 24{,}1935 \ldots {}^{m}/_{s} = 24\ {}^{m}/_{s}$ $\frac{7520\ g}{20{,}5\ cm^3} = 366{,}8292 \ldots {}^{g}/_{cm^3} = 367\ {}^{g}/_{cm^3}$

Quando si moltiplicano o dividono quantità misurate il risultato va dato con tante cifre significative quante sono quelle della misura con minor cifre significative

Cifre Significative: Numero Esatto

- Un **numero esatto** vale come un numero con **infinite cifre significative** in prodotti o divisioni:

Esempio $2{,}31 \times 3 = 6{,}91$ (coefficienti stechiometrici);

Cifre Significative: Arrotondamento

- Quando il valore numerico di una grandezza fisica contiene un numero di cifre superiore a quello delle cifre significative, esso deve essere arrotondato.

- L'**arrotondamento** si effettua eliminando tutte le cifre che seguono l'ultima cifra significativa secondo le seguenti regole:

  - **se la prima delle cifre eliminate è maggiore o uguale di 5, si aumenta l'ultima cifra significativa di una unità**.

  Esempio: 4 cifre significative 15,376 → 15,38

  - **se la prima delle cifre eliminate è minore di 5, l'ultima cifra significativa resta invariata.**

  Esempio: 4 cifre significative 15,373 → 15,37

L' Ordine di Grandezza

- L'**ordine di grandezza** di un numero (ad esempio, la misura di una grandezza fisica) è la **prima cifra da sinistra diversa da zero** (arrotondata) del numero seguita dalla **opportuna potenza di 10**.

  Esempio:
  - statura di un uomo ha ordine di grandezza $2 \cdot 10^0$ m,
  - densità dell'alcool etilico (a temperatura ambiente) ha ordine di grandezza $8 \cdot 10^2$ kg/m.

- Si utilizzano frequentemente gli ordini di grandezza quando si **confrontano grandezze omogenee**.

  Esempio:
  - la massa della Terra è 2 ordini di grandezza superiore alla massa della Luna → ordine di grandezza del rapporto tra le due masse è 10^2.
  - la dimensione di un atomo è 5 ordini di grandezza maggiore della dimensione di un nucleo → ordine di grandezza del rapporto tra i due raggi è di 10^5.