

Corso di FISICA 1



Capitolo 1 – Grandezze fisiche e unità di misura

Monica Malvezzi, Università degli
Studi di Siena



SCIENZA E INGEGNERIA

Scienza

OSSERVAZIONE IL FENOMENO

MISURA DELLE GRANDEZZE
FISICHE

ANALISI DELLE MISURE

GENERALIZZAZIONE:
DEFINIZIONE DI UN MODELLO

ESPERIMENTI DI VERIFICA

REVISIONE DEL MODELLO

Ingegneria

REQUISITI DEL PROGETTO

IPOTESI PRELIMINARE

SVILUPPO DELL'IDEA
PROGETTUALE

ANALISI DEL PROGETTO
TRAMITE MODELLI DEL
SISTEMA

REVISIONE DEL PROGETTO

REALIZZAZIONE PROTOTIPO

Scienza

OSSERVAZIONE IL FENOMENO

MISURA DELLE GRANDEZZE
FISICHE

ANALISI DELLE MISURE

GENERALIZZAZIONE:
DEFINIZIONE DI UN MODELLO

ESPERIMENTI DI VERIFICA

REVISIONE DEL MODELLO



Grandezze fisiche

Cosa sono le grandezze fisiche?

Definizione “pragmatica”.

Una grandezza ha significato in fisica se per essa è stato definito un metodo di misura ed è stata assegnata una unità di misura o campione.

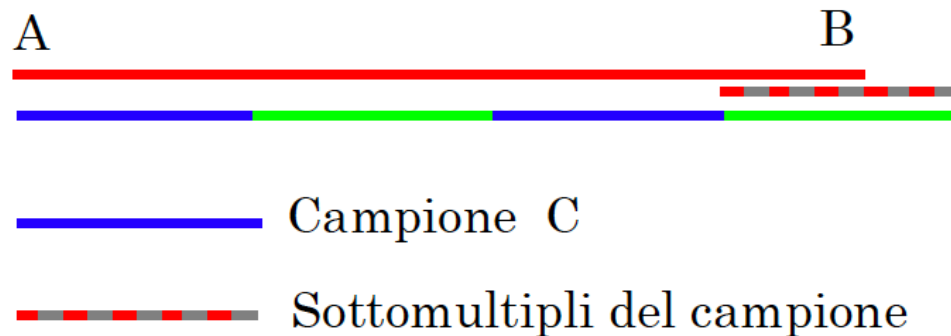
Questa definizione è quella che va sotto il nome di definizione operativa delle grandezze fisiche



Grandezze fisiche

Data una grandezza fisica, si può scegliere un campione e si possono stabilire dei criteri per confrontare il campione con la grandezza che si vuole misurare.

Per eseguire misure di lunghezza, per esempio quella di un segmento $\overline{AB}$, bisogna scegliere il campione: possiamo prendere il segmento C . Poi bisogna specificare il metodo di misura: si riporta il campione C a partire dal punto iniziale A e si determina quante volte il campione, ed i suoi sottomultipli, sono contenuti nel segmento $\overline{AB}$.



Il risultato delle misura sarà un numero (3.6 nel nostro caso) volte il campione.
Si scriverà: $d = 3.6$ Campioni

Grandezze fisiche

Non è necessario definire un campione per ogni grandezza fisica.

Le grandezze fisiche, infatti, sono legate da relazioni: **definizioni o leggi fisiche**.

Tali relazioni possono essere usate per definire i campioni delle grandezze derivate.

Per esempio la velocità è legata allo spazio percorso Δs e in un determinato intervallo di tempo Δt dalla relazione

$$v = \Delta s / \Delta t$$

per cui, se abbiamo definito un campione per la misura delle lunghezze ed uno per la misura del tempo, abbiamo immediatamente anche definito il campione di velocità: proprio la velocità di quell'oggetto che percorre il campione di lunghezza in un campione di tempo.

Sistemi di misura

- Un sistema di unità di misura è un insieme di definizioni e di regole: definizioni delle unità assunte come "fondamentali", regole per ottenere da queste le unità di tutte le altre grandezze.
- Nel seguito si farà riferimento prevalentemente al Sistema Internazionale (S.I.), ma esistono diversi sistemi di unità di misura.
- Il Sistema Internazionale è un sistema omogeneo, coerente, assoluto e decimale adottato fin dagli anni '70 dalla maggior parte dei Paesi ed è stato adottato ufficialmente in Italia dal 1982.

Il Sistema internazionale

Omogeneo: una volta scelte alcune grandezze fisiche fondamentali e le loro unità di misura, da esse si possono derivare tutte le altre grandezze e le corrispondenti unità di misura. Per esempio lunghezza e tempo sono grandezze fisiche fondamentali cui corrispondono le unità di misura fondamentali metro (m) e secondo (s). Da tali grandezze e dalle loro unità di misura sono ottenibili le grandezze fisiche e le corrispondenti unità di misura derivate che implicano una qualsiasi relazione tra lunghezza e tempo: per esempio la velocità (che si misura in m/s), l'accelerazione (che si misura in m/s^2), la viscosità cinematica (che si misura in m^2/s) etc.

Coerente significa che il prodotto o il rapporto delle unità di misura di una o più grandezze costituisce l'unità di misura di una grandezza il cui significato fisico corrisponde al prodotto o al rapporto delle prime, senza l'intervento di coefficienti numerici. Ad esempio il prodotto di una massa unitaria (1 kg) per un'accelerazione unitaria (1 m/s^2) corrisponde ad una forza unitaria: così l'espressione (kg m/s^2) corrisponde all'unità di misura delle forze detta Newton (N).

Il Sistema internazionale

Assoluto significa che le unità di misura scelte sono invariabili in ogni luogo e in ogni tempo. Non è assoluta, per esempio, l'unità di misura «braccio» utilizzato in passato come unità di misura per la lunghezza.

una curiosità

<https://www.firenzetoday.it/social/dialetto-fiorentino-braccino-corto-firenze.html>

Decimale significa che multipli e sottomultipli delle varie unità di misura corrispondono alle potenze di dieci. Tali multipli e sottomultipli vengono spesso indicati mediante i *prefissi* riportati in tabella .

Potenza	Prefisso	Abbrev.
10^{-24}	yotto	y
10^{-21}	zepto	z
10^{-18}	atto	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	pico	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	milli	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^3	chilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E
10^{21}	zetta	Z
10^{24}	yotta	Y

Grandezze fondamentali e unità di misura nel sistema internazionale

- **Lunghezza – metro, m**
- **Massa – kilogrammo, kg**
- **Tempo – secondo, s**
- **Temperatura – grado Kelvin, K**
- Corrente elettrica – Ampere, A
- Intensità luminosa – candela, cd
- **Quantità di materia – mole, mol**

Unità supplementari:

- **Angolo - radiante, rad**
- Angolo solido – steradiano, sr

Campioni delle unità di misura nel sistema internazionale per alcune delle grandezze fondamentali

- Lunghezza – metro, m: il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di $1/299\,792\,458$ di secondo (è così fissata, per definizione, la velocità della luce in $299\,792\,458$ m/s)
- Massa – kilogrammo, kg: il kilogrammo è l'unità di massa ed è eguale alla massa del prototipo internazionale, un cilindro di platino iridio conservato presso il BIPM (Bureau International des Poids et mesures)"
- Tempo – secondo, s: il secondo è l'intervallo di tempo che contiene $9\,192\,631\,770$ periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133

Campioni delle unità di misura nel sistema internazionale per alcune delle grandezze fondamentali

- Temperatura – grado Kelvin, K: il kelvin, unità di temperatura termodinamica, è la frazione $1/273.16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.
- Quantità di materia – mole, mol: la mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0.012 kg di carbonio 12.
- Angolo - radiante, rad: un radiante è un angolo che in una circonferenza sottende un arco di lunghezza pari al raggio.

Alcuni esempi di grandezze derivate

grandezza fisica	unità di misura	simbolo	equivalenza
superficie	metro quadrato	m^2	
volume	metro cubo	m^3	
frequenza	Hertz	Hz	1/s
numero d'onde	1 per metro	m^{-1}	
velocità	metro per secondo	m/s	
accelerazione	metro per secondo quadrato	m/s^2	
velocità angolare	radiante per secondo	r/s	
accelerazione angolare	radiante per secondo quadrato	r/s^2	
massa volumica	chilogrammo per metro cubo	kg/m^3	
forza	newton	N	kg m/s^2
pressione	pascal	Pa	$\text{kg/(m s}^2\text{)}$
viscosità dinamica	Newton secondo per metro quadrato	N s/m^2	kg/(m s)
viscosità cinematica	metro quadrato per secondo	m^2/s	
energia, lavoro	Joule	J	$\text{kg m}^2/\text{s}^2$
potenza	Watt	W	$\text{kg m}^2/\text{s}^3$
entropia	Joule per Kelvin	J/K	$\text{kg m}^2/(\text{s}^2 \text{ K})$
calore specifico	Joule per chilogrammo Kelvin	J/(kg K)	$\text{m}^2/(\text{s}^2 \text{ K})$
conduttività termica	Watt per metro Kelvin	W/(m K)	$\text{kg m}/(\text{s}^3 \text{ K})$

TABELLA 1.1 | Valori approssimati di alcune lunghezze misurate

	Lunghezza (m)
Distanza dalla Terra alla più lontana quasar nota	1.4×10^{26}
Distanza dalla Terra alla più lontana galassia normale nota	9×10^{25}
Distanza dalla Terra alla più vicina grande galassia (M 31, Andromeda)	2×10^{22}
Distanza dal Sole alla stella più vicina (Proxima Centauri)	4×10^{16}
Un anno-luce	9.46×10^{15}
Raggio orbitale medio della Terra	1.50×10^{11}
Distanza media Terra-Luna	3.84×10^8
Distanza dall'equatore al polo nord	1.00×10^7
Raggio medio della Terra	6.37×10^6
Tipica altezza di un satellite terrestre orbitante	2×10^5
Lunghezza di un campo di calcio	9.1×10^1
Lunghezza di questo manuale	2.8×10^{-1}
Lunghezza di una mosca domestica	$\sim 10^{-3}$
Dimensione della più piccola particella di polvere	$\sim 10^{-4}$
Dimensione delle cellule della maggior parte degli organismi viventi	$\sim 10^{-5}$
Diametro di un atomo di idrogeno	$\sim 10^{-10}$
Diametro di un nucleo di uranio	$\sim 10^{-14}$
Diametro di un protone	$\sim 10^{-15}$



**TABELLA 1.2 | Masse
di alcuni corpi
(valori approssimati)**

	Massa (kg)
Universo visibile	$\sim 10^{52}$
Via Lattea (galassia)	$\sim 10^{42}$
Sole	1.99×10^{30}
Terra	5.98×10^{24}
Luna	7.36×10^{22}
Squalo	$\sim 10^3$
Uomo	$\sim 10^2$
Rana	$\sim 10^{-1}$
Zanzara	$\sim 10^{-5}$
Batterio	$\sim 10^{-15}$
Atomo di idrogeno	1.67×10^{-27}
Elettrone	9.11×10^{-31}



 **TABELLA 1.3** | Valori approssimati di alcuni intervalli di tempo

	Intervallo di tempo (s)
Età dell'Universo	4×10^{17}
Età della Terra	1.3×10^{17}
Tempo dalla caduta dell'Impero Romano	5×10^{12}
Età media di uno studente universitario	6.3×10^8
Un anno	3.2×10^7
Un giorno (tempo per una rivoluzione della Terra attorno al suo asse)	8.6×10^4
Tempo di una lezione in classe	3.0×10^3
Tempo fra normali battiti cardiaci consecutivi	8×10^{-1}
Periodo di un'onda sonora nell'udibile	$\sim 10^{-3}$
Periodo di una tipica onda radio	$\sim 10^{-6}$
Periodo di vibrazione di un atomo in un solido	$\sim 10^{-13}$
Periodo di un'onda luminosa nel visibile	$\sim 10^{-15}$
Durata di una collisione nucleare	$\sim 10^{-22}$
Tempo richiesto dalla luce per attraversare un protone	$\sim 10^{-24}$



R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Altri sistemi di unità di misura

grandezza fondamentale	unità di misura		
	Sistema Internazionale	Sistema tecnico	Sistema anglosassone
Lunghezza	metro [m]	metro [m]	piede [ft]
Massa	chilogrammo [kg]		
Intervallo di tempo	secondo [s]	Ora [h]	ora [h]
Intensità di corrente elettrica	Ampere [A]	Ampere [A]	Ampere [A]
Intervallo di temperatura	Kelvin [K]	grado Celsius [°C]	grado Farenheit [°F]
Intensità luminosa	candela [cd]	candela [cd]	candela [cd]
Quantità di materia	mole [mol]	mole [mol]	mole [mol]
Forza		chilogrammo [kg]	libbra [lb]

Alcuni fattori di conversione tra unità di misura

Grandezza	per convertire		moltiplicare per
	da	a	
lunghezza	ft	m	0,3048
massa	lb	kg	0,45359
tempo	h	s	3600
accelerazione	m/ h ²	m/ s ²	7,7160 10 ⁻⁸
portata di massa	lb/h	kg/ s	1,260 10 ⁻⁴
densità	lb/ft ³	kg/ m ³	16,018
forza	lbf	N	4,4482
	kgf	N	9,8066
pressione	kgf/ cm ²	N/ m ²	98066
quantità di calore	Btu	J	1055,07
	kcal	J	4186,8
potenza termica	Btu/ h	W	0,29307
	kcal/ h	W	1,1630
calore specifico	Btu/ (lb °F)	J/ (kg K)	4186,8
	kcal/ (kg °C)	J/ (kg K)	4186,8
conduttività termica	Btu/ (ft h °F)	W/ (m K)	1,73078
	kcal/ (m h °C)	W/ (m K)	1,163
viscosità dinamica	lb/ (ft h)	kg/ (m s)	4,1342 10 ⁻⁴

Analisi dimensionale

Regole fondamentali:

- Nelle somme e sottrazioni tra grandezze fisiche i termini devono avere le stesse dimensioni
- Nelle somme e sottrazioni tra misure i termini devono avere le stesse dimensioni e le stesse unità di misura
- Nelle relazioni (equazioni, disequazioni) i termini a primo e secondo membro devono avere le stesse dimensioni

Analisi dimensionale

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

$x \rightarrow$ lunghezza

$t \rightarrow$ tempo

Quali sono le dimensioni di v_o e a ?

$[L] \rightarrow$ lunghezza

$[T] \rightarrow$ tempo

$[M] \rightarrow$ massa

$$[v_o][T] = [L] \rightarrow [v_o] = [L]/[T]$$

$$[a][T]^2 = [L] \rightarrow [a] = [L]/[T]^2$$

Esempio

Sto viaggiando in autostrada ad una velocità $v = 38 \text{ m/s}$, il limite di velocità è di $v_{lim} = 130 \text{ km/h}$, sto rispettando il limite?

Le due velocità sono espresse con unità di misura diverse, per poterle confrontare devo riportarle nella stessa unità di misura

Soluzione 1: riporto entrambe le misure in km/h

$$\begin{aligned} v &= 38 \text{ m/s} (1 \text{ km}/1000 \text{ m}) = 0.038 \text{ km/s} = \\ &= 0.038 \text{ km/s} (1 \text{ s}/(1/3600) \text{ h}) = 137 \text{ km/h} \\ v_{lim} &= 130 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Risulta quindi

$$v > v_{lim}$$

Esempio

Sto viaggiando in autostrada ad una velocità $v = 38 \text{ m/s}$, il limite di velocità è di $v_{\text{lim}} = 130 \text{ km/h}$, sto rispettando il limite?

Le due velocità sono espresse con unità di misura diverse, per poterle confrontare devo riportarle nella stessa unità di misura

Soluzione 2: riporto entrambe le misure in m/s

$$\begin{aligned} v &= 38 \text{ m/s} \\ v_{\text{lim}} &= 130 \text{ km/h} = 130 \text{ km/h} (1000\text{m}/1\text{km}) = \\ &= 130000\text{m/h} = 130000\text{m/h} (1\text{h}/3600\text{s}) = 36.1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Risulta anche in questo caso

$$v > v_{\text{lim}}$$

Notazione scientifica o esponenziale

In campo scientifico e ingegneristico capita spesso di dover scrivere numeri molto piccoli, o molto grandi, che possono creare difficoltà di lettura.

In entrambi i casi si può rendere più “leggibile” un numero molto grande o molto piccolo e comunque composto da molte cifre, scrivendolo nella forma:

$$a \cdot 10^n$$

che è detta **notazione scientifica o esponenziale**.

Dove **a** è un numero compreso tra 1 e 10 ($1 \leq a < 10$) e **n** un numero relativo, positivo o negativo a seconda dei casi, che costituisce l'esponente di una potenza di 10, la quale definisce l'**ordine di grandezza** del numero, cioè la potenza in base 10 più prossima al numero che vogliamo esprimere.

Per esempio:

$$174927 = 1,74927 \cdot 10^5$$

$$0,0000000567 = 5,67 \cdot 10^{-8}$$

La notazione scientifica è molto utile anche per scrivere, in forma abbreviata, un numero con molte cifre, dopo aver operato un'opportuna approssimazione.

Scrivere i numeri con la notazione scientifica permette di mettere in evidenza le cifre significative.

Cifre significative



$D=23 \text{ mm} \rightarrow 2 \text{ cifre significative}$



$D=23.25 \text{ mm} \rightarrow 4 \text{ cifre significative}$



Cifre significative



Se utilizziamo la misura meno accurata per calcolare la superficie della moneta:
 $D=23 \text{ mm} \rightarrow 2$ cifre significative

Se calcoliamo la superficie della moneta, dobbiamo ricordarci di quante cifre significative abbiamo considerato.

La calcolatrice ci restituisce un valore con molte cifre:

$$A = \pi D^2 / 4 = 415,463375 \text{ mm}^2$$

Ma di queste, solo le prime due hanno significato, dato che la misura in ingresso aveva solo due cifre significative.

Scriveremo quindi

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 420 \text{ mm}^2 = 4.2 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

Se avessimo utilizzato la misura più accurata

$D=23.25 \text{ mm} \rightarrow 4$ cifre significative

Con la calcolatrice avremmo trovato

$$A = \pi D^2 / 4 = 424.5568 \text{ mm}^2$$

In questo caso abbiamo 4 cifre significative, possiamo scrivere quindi

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 424.6 \text{ mm}^2 = 4.246 \cdot 10^2$$

Cifre significative

Quando si effettuano operazioni di somma e differenza tra misure diverse, oltre al numero di cifre significative si deve tener conto del numero di cifre dopo la virgola.

Supponiamo di avere due grandezze, ad esempio due lunghezze di un componente meccanico, entrambe con 4 cifre significative

$$L_1 = 158.3 \text{ mm}$$

$$L_2 = 85.31 \text{ mm}$$

In questo caso però la prima misura specifica fino al decimo di mm, la seconda fino al centesimo

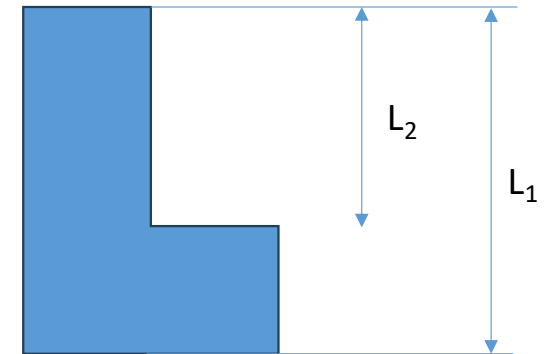
Se calcolo la differenza tra le due, con la calcolatrice ottengo

$$L_1 - L_2 = 72.99 \text{ mm}$$

Il risultato ha quattro cifre significative, ma dato che la prima misura non stimava i centesimi di mm, anche il risultato della differenza tra le due non può specificarla.

In questo caso per definire il numero di cifre significative devo tener conto del numero di cifre dopo la virgola delle due misure e prendere il minimo:

$$L_1 - L_2 = 73.0 \text{ mm}$$



Riepilogo

- Grandezze fisiche
- Dimensioni, unità di misura
- Conversione tra le unità di misura
- Rappresentazione numerica delle grandezze fisiche: notazione, cifre significative

Riepilogo – cose da ricordare

Analisi dimensionale

Nelle somme e sottrazioni i termini devono avere le stesse dimensioni.

Nelle relazioni (equazioni, disequazioni) i termini a primo e secondo membro devono avere le stesse dimensioni.

Nelle operazioni matematiche che coinvolgono grandezze fisiche, utilizzare unità di misura coerenti tra loro (preferibilmente del SI).

Come si effettuano le trasformazioni tra diverse unità di misura.

Notazione esponenziale, cifre significative.