

Appunti di teoria per l'esame di Laboratorio di Meccanica e Termodinamica

Alberto Zaghini

a.a. 2022-2023

Indice

1	Grandezze fisiche, dimensioni, cifre significative	2
1.0.1	Analisi dimensionale	3
1.1	Misura	3
1.1.1	Sistema internazionale	3

Capitolo 1

Grandezze fisiche, dimensioni, cifre significative

Scopo dell'attività scientifica = **comprensione dei fenomeni naturali**. Alla base di ciò si hanno **osservazioni** (serie di) → riconoscimento aspetti ricorrenti (caratteristici).

Caratteristiche Osservabili (analisi preliminare *qualitativa*) → **misurabili** (analisi *quantitativa*) = **ESPERIMENTI**.

Metodo scientifico galileiano

1. Osservazione acritica
2. Riduzione delle osservazioni → selezione delle informazioni (*)
3. Formulazione delle leggi
4. verifica sperimentale :
$$\begin{cases} NO & \rightarrow 1. \\ SI' & \rightarrow \text{Legge convalidata} \end{cases}$$

La verifica sperimentale avviene in condizioni *privilegiate* (*).

1,2 introduzione di nuove quantità caratterizzanti → migliore descrizione dei fenomeni

3 modello interpretativo

4 rafforzamento / falsificazione

Leggi = relazioni funzionali tra quantità **misurabili** → **Grandezze fisiche** = proprietà quantificabili
Ogni grandezza ∈ **classe** = **dimensione** ([1] = adimensionali, **come gli argomenti di tutte le funzioni trascendenti**) -> ogni classe contiene tutte le grandezze **omogenee** che sole sono confrontabili e sommabili/sottraibili.

Per tutte le grandezze fisiche possibile stabilire tramite un parametro d'ordine ($> = <$) relazione d'ordine transitiva. Grandezze per cui è definita anche regola di composizione (somma, differenza) sono **additive**, non additive in caso contrario.

Stessa classe = stesso significato ma differente procedura:

- Misura diretta
- Misura **indiretta** (derivazione attraverso procedura matematica)

Angolo piano

$$\alpha = \frac{\widehat{AB}}{r} \quad 0 \leq \alpha \leq 2\pi \text{ in radianti (rad)}$$

Angolo solido

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad 0 \leq \Omega \leq 4\pi \text{ in steradiani (sr)}$$

1.0.1 Analisi dimensionale

$$G = cA^\alpha B^\beta C^\gamma \implies [G] = [A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma$$

1.1 Misura

Grandezza fisica \rightarrow processo di **misurazione (o misura)** \rightarrow assegnazione di un **valore numerico** (misura).
3 elementi:

1. Materiale / oggetto (o sistema di oggetti)
2. Grandezza caratterizzante materiale/sistema
3. Procedura utilizzata per misura

1,2,3 \rightarrow **precisa descrizione**.

Valore numerico permette confronto con **campione di riferimento (= unità di misura)** = grandezza omogenea \rightarrow rapporto numerico quantitativo.

1.1.1 Sistema internazionale

Sistema di unità di misura = insieme di

- **Definizioni** delle unità fondamentali / di base misurate (solitamente) in modo **diretto**
- **Regole** per la definizione di grandezze **derivate** : il coefficiente moltiplicativo nell'espressione come funzione di grandezze fondamentali è **sempre 1** (**coerenza** sistema di udm)

Definizioni devono essere quanto più

1. Indipendenti da tempo e luogo (stabili)
2. Precise
3. Riproducibili (legato a 1.)

\Rightarrow **Aggiornamento**.

7 grandezze fondamentali definite sulla base di 7 **costanti fisiche** fondamentali. La loro scelta garantisce

- Indipendenza reciproca
- Completezza (sufficienti per ottenere tutte le derivate)

I multipli ed i sottomultipli devono essere **decimali**.

Bureau International des Poids et Mesures stabilisce unità e costanti e presiede all'aggiornamento delle definizioni e dei campioni di riferimento

Unità e costanti**Convenzioni d'uso**

- nomi comuni: **iniziale minuscola**
- invarianti al plurale
- se
 - **non** accompagnate da numero: scritte per esteso (*Il metro*)
 - accompagnate da numero: simbolo (maiuscola) **non in corsivo, no seguito da punto, dopo il valore**

Esponenti derivate $\in \mathbb{Z}$

Grandezza	udm	Costante
tempo	secondo s	frequenza di transizione iperfine Cesio
lunghezza	metro m	velocità della luce nel vuoto
massa	chilogrammo kg	costante di Planck
temperatura termodinamica	kelvin K	carica elementare
q.tà di sostanza	mole mol	numero di Avogadro
intensità luminosa	candela cd	efficacia luminosa
intensità di corrente	ampère A	carica elementare

Multipli e sottomultipli solo un prefisso! (per kg si fa riferimento a g)

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

1.1.2 Cifre significative

= tutte le cifre di un numero a partire dalla prima **diversa da 0**, lette da sx a dx.

Per evitare ambiguità con **zeri non significativi**, si utilizza **notazione scientifica** (gli zeri in mezzo od in fondo **sono significativi**, in quanto le c.s. descrivono la precisione di una misura)

$$A \times 10^n \quad 1 \leq A < 10 \quad n \in \mathbb{Z}$$

ove A non termina con 0.

Operazioni e CS

Regola generale:

numero di cifre significative nel risultato di operazioni condotte su due o più misure di grandezze fisiche = numero di cifre significative della misura meno accurata

Arrotondamento

- prima cifra eliminata ≥ 5 : si aumenta ultima c.s. di 1
- se < 5 (**escluso**) : ultima c.s. invariata

Addizione e sottrazione ultima c.s. = ultima ottenuta da somma o differenza c.s. delle due misure iniziali

Prodotto e quoziente numero di c.s. = minimo numero di c.s. tra le misure iniziali

Numeri esatti \rightarrow considerati come n. con *infinite* c.s.

Ordine di grandezza = prima cifra a sx $\neq 0$ (dopo arrotondamento) moltiplicata per opportuna potenza di 10

Utilizzate in confronto grandezze omogenee.

Capitolo 2

Incertezze

ad ogni misura è associata un'incertezza

Non è **mai** eliminabile del tutto (per quanto riducibile) x due ragioni:

1. Sensibilità strumentale limitata (soglia di risoluzione, sotto cui impossibile distinguere grandezze)
2. Inevitabilità errori nell'effettuazione dell'operazione di misura

Processo di misura = confronto grandezze con udm \rightarrow determina **Intervallo di valori**:

$$n_0 u + \frac{n_1}{10} u + \dots + \frac{n_k}{10^k} u < G < n_0 u + \frac{n_1}{10} u + \dots + \frac{(n_k + 1)}{10^k} u$$

- **Limite di riproducibilità** di scala
- **Soglia di riproducibilità** : condizioni del sistema o dell'ambiente che pregiudicano riproducibilità operazione di misura

Perché ridurre l'incertezza?

- Evidenziare fenomeni precedentemente ignorati / nascosti
- Permettere confronto tra misure omogenee: valutazione compatibilità reciproca e con grandezze di riferimento

2.1 Misure dirette

incertezza = risoluzione strumento = più piccola variazione di grandezza che str. riesce ad apprezzare

misura = localizzazione punto su scala graduata / display digitale

- Strumenti analogici: risoluzione = metà minima distanza tra tacche
- Str. digitali: ris = mezza unità digit meno significativo

Ogni strumento è dotato di **data sheet** che specifica

1. Range (portata)
2. Risoluzione
3. Condizioni ambientali adatte all'utilizzo

Per digitali: risoluzione diminuisce aumentando numero di bit in uscita.

2.1.1 Incertezza assoluta

Per una grandezza x è Δx (chiaramente le due sono grandezze omogenee)
L'esito di una misura è espresso secondo

$$x = (x_{best} \pm \Delta x) \text{ u.m.}$$

inc si rappresenta graficamente tramite **barra di errore**; si suppone il *valor vero* della grandezza da misurare ricada nell'intervallo di misura così definito.

Regole

1. L'incertezza va arrotondata a **una sola** c.s.
2. L'ultima c.s. della x_{best} deve essere **dello stesso ordine di grandezza** dell'ultima c.s. di Δx (ovvero stessa posizione decimale se espresse in notazione scientifica con stessa potenza di 10)

Incerezze **strumentali** o **di lettura** = sinonimi; entrambe si riferiscono a incerezze **massime**.

Precisione = **incertezza relativa** = rapporto inc assoluta / valore ottimale

$$\frac{\Delta x}{x_b}$$

1. Può essere espressa in percentuale
2. É adimensionale (rapporto omogenee) → permette confronto tra misure di grandezze non omogenee

2.1.2 Errore

Non è sinonimo di incertezza!

Corrisponde a **differenza tra valore reale grandezza (che si ipotizza esista) e valore best trovato**

$$E = |X - x_b|$$

Non si misura! L'incertezza ne è la **miglior stima**

2.2 Discrepanza

= differenza tra due valori misurati della stessa grandezza (omogenei → confrontabili). Se entrambi espressi come

$$x_i = (x_b^i \pm \Delta x_i)$$

allora

$$discr = |x_b^2 - x_b^1|$$

Può essere

- **Significativa** se **non** \exists valori compatibili con entrambi gli intervalli di misura (non si sovrappongono)

$$[x_1 \pm \Delta x_1] \cap [x_2 \pm \Delta x_2] = \emptyset$$

- **Non s.** se si ha almeno un punto di sovrapposizione

Data una grandezza con valore accettato X noto e misure x_i , se la discrepanza $|X - x_i|$ è

- Significativa: la misura x_i è **incompatibile** con X
- Non significativa: la misura x_i è **compatibile** con X

2.3 Incerezze sistematiche

= dovute a fattori non controllati (ma controllabili) **insiti nell'apparato di misura o dovuti ad operazioni errate di misura**. **Non** includono sbagli occasionali (e.g. letture errate)

Portano a **sottostima** / **sovrastima sistematica** (ovvero sempre nel medesimo verso e - circa - della stessa entità).

Possibili sorgenti

- Calibrazione errata (*offset*) di uno strumento o riproduzione errata di u.m. nella scala di uno strumento
- Condizioni ambientali differenti da quelle prescritte per la procedura di misura (che possono dare e.g. effetti termici non considerati)
- Presenza di fattori che influiscono sulla grandezza stessa che si va a misurare (e.g. mancato isolamento termico o presenza di fondo radioattivo)

Come rilevarli? si ripete misura in condizioni sperimentali differenti, cercando di ottenere sistematico trascurabile rispetto a risoluzione e quindi incertezza. Generalmente **non** si hanno **regole fisse** (non sono computabili e riducibili come incertezze massima)