CORSO DI FISICA APPLICATA • FIS1

Grandezze Fisiche, Misura e Analisi Dimensionale

I fondamenti quantitativi della sperimentazione biotecnologica

Prof.ssa Valentina Notarstefano | Università degli Studi di Teramo

MODULO FIS1 — GRANDEZZE, MISURE

La Fisica nel Laboratorio Biomedico

Concetto Chiave: Ogni risultato analitico richiede tre elementi: valore numerico, incertezza ed unità di misura.

- **Definizione di Fisica:** Studio dei fenomeni naturali e delle loro proprietà misurabili mediante relazioni matematiche (leggi).
- **Misurare il Mondo Vivente:** Ogni esperimento è una misura — di massa, volume, concentrazione, tempo, temperatura, assorbanza.
- **Linguaggio Quantitativo:** Fornisce le grandezze fondamentali e derivate, le unità SI e le regole di combinazione.
- **Validazione Sperimentale:** L'analisi dimensionale previene errori operativi prima che compromettano una coltura o una diluizione.

MODULO FIS1 — GRANDEZZE, MISURE

Misurare il mondo vivente

Ogni esperimento condotto da un biotecnologo è una misura — di massa, volume, concentrazione, tempo, temperatura, assorbanza.

La fisica fornisce il linguaggio: grandezze fondamentali e derivate, unità del SI, e come combinarle.

L'analisi dimensionale individua gli errori — in una diluizione, in una dose, o nell'impostazione di una centrifuga — prima che compromettano un esperimento.

Ogni risultato necessita di un valore, un'unità e un'incertezza: 4,8 ± 0,1, non semplicemente '4,8'.

Dai nanometri (una proteina) ai millilitri (una coltura), si opera su molti ordini di grandezza.

Il Metodo Scientifico

1. Osservazione del Fenomeno: Rilevazione quantitativa dei parametri biologici o fisici.

2. Formulazione di Domande: Identificazione delle variabili critiche coinvolte.

3. Formulazione di Ipotesi: Costruzione di un modello concettuale provvisorio.

4. Fase Sperimentale: Esecuzione di esperimenti controllati per verificare le previsioni.

5. Registrazione e Analisi Dati: Elaborazione statistica e riduzione degli errori.

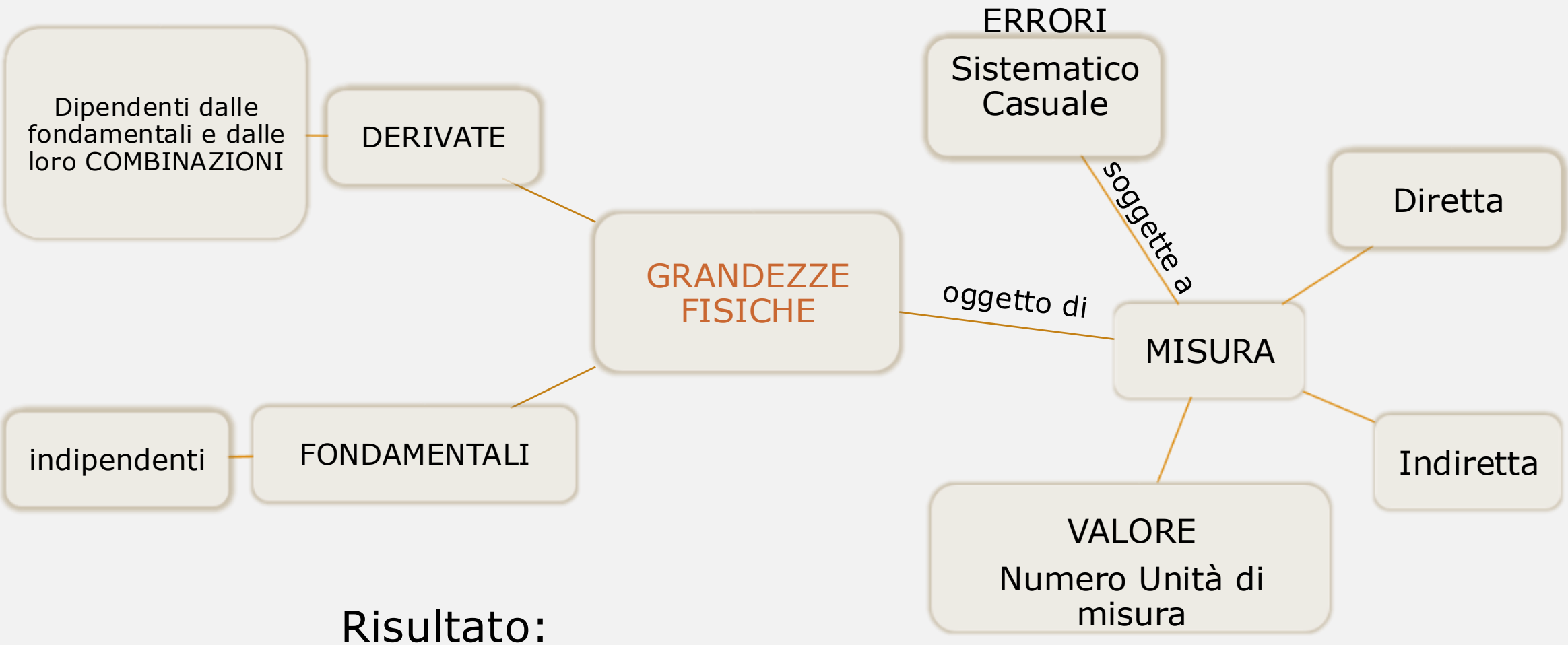
6. Trarre Conclusioni: Conferma, modifica o rigetto dell'ipotesi di partenza.



QUEST'OPERA È STATA RILASCIATA SOTTO LA LICENZA CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION-NONCOMMERCIAL-NODERIVS 2.5 ITALY. PER LEGGERE UNA COPIA DELLA LICENZA VISITA IL SITO WEB HTTP://CREATIVECOMMONS.ORG/LICENSES/BY-NC-ND/2.5/IT

Grandezze Fisiche

Qualsiasi entità coinvolta nella descrizione di un fenomeno e che può essere misurata



Risultato:

VALORE ± ERRORE (unità di misura)

Grandezze Fondamentali del Sistema Internazionale (SI)

PHYSICAL QUANTITY	QUANTITY SYMBOL	UNIT NAME	UNIT SYMBOL
Length	*L*	Meter	m
Mass	*M*	Kilogram	kg
Time	*T*	Second	s
Amount of substance	*N*	Mole	mol
Temperature	Θ	Kelvin	K
Electric current	*I*	Ampere	A
Luminous intensity	*J*	Candela	cd

MODULO FIS1 — GRANDEZZE, MISURE

Unità di Misura nel Laboratorio Biotecnologico

- **Massa e Dose:** grammi (g), milligrammi (mg), microgrammi (µg); ddosaggio spesso espresso in mg/kg corporeo.
- **Volume di Lavoro:** litro (L), millilitro (mL), microlitro (µL) — volume operativo standard per micropipette.
- **Concentrazione:** molarità (M = mol/L), millimolare (mM), micromolare (µM); percentuale peso/volume % (p/v).
- **Centrifugazione:** distinzione tra velocità angolare (rpm) e forza centrifuga relativa (RCF in multipli di g).
- **Attività Enzimatica:** unità internazionali (U) e katal (kat = mol/s); densità ottica / assorbanza (adimensionale).

Operazioni fra Grandezze Fisiche



Somma e sottrazione sono permesse solo tra grandezze fisiche identiche



Moltiplicazione e divisione sono permesse anche tra grandezze fisiche diverse → **grandezze fisiche DERIVATE**

Grandezze fisiche derivate (e relative unità di misura)

Le unità di misura delle grandezze fisiche derivate possono essere espresse come combinazioni di quelle fondamentali.

Volume = $[L^3] = m^3$	Densità = $[M] / [L^3] = kg/m^3$
Velocità = $[L] / [t] = m/s$	Forza = $[M]\cdot[L] / [t^2] = kg\cdot m/s^2$ = Newton

Simbolo delle grandezze derivate:

PHYSICAL QUANTITY	QUANTITY SYMBOL	UNIT NAME	UNIT SYMBOL	BASE SYMBOL EQUIVALENCE	BASE UNIT SYMBOL EQUIVALENCE
Density	ρ	—	kg/m^3	$[M] \cdot [L]^{-3}$	kg/m^3
Energy	E	Joule	J	$[M] \cdot [L]^2 \cdot [T]^{-2}$	$N \cdot m$

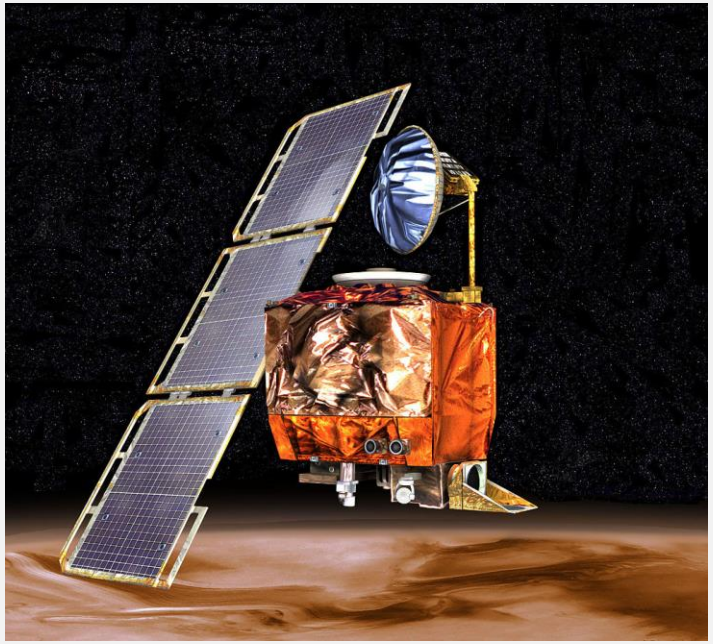
Analisi Dimensionale

- Analisi che permette di verificare la correttezza delle formule matematiche utilizzate
- Se il risultato di un calcolo è una velocità e le unità che otteniamo sono [L]*[T], i passaggi svolti sono SICURAMENTE errati

$$V = \frac{5\ (m)}{10\ (s)} = 0.5\,\frac{m}{s} \rightarrow Unità\ è\ \frac{[L]}{[T]}, OK$$

$$V = 5\ (m) \times 10\ (s) = 50\ m \cdot s \rightarrow [L][T], \text{errato!}$$

Esempio – Il Valore delle Corrette Unità di Misura



Mars Climate Orbiter

Costo della missione: 328 milioni di dollari

Esito della missione: FALLITA

Da wikipedia

La sonda Mars Climate Orbiter fu distrutta quando, invece di posizionarsi a un'altitudine di 140-150 km dalla superficie di Marte, entrò nell'atmosfera marziana a un'altitudine di soli 57 km. La sonda fu distrutta dalle sollecitazioni causate dall'attrito presente a quell'altitudine con l'atmosfera. Si scoprì che alcuni dati erano stati calcolati sulla Terra sulla base dell'unità di misura del sistema consuetudinario statunitense, e riportati al team di navigazione, che invece si aspettava i dati espressi nelle unità di misura del Sistema Internazionale. La sonda non fu in grado di effettuare conversioni tra le due unità di misura.

Esempio – Analisi dimensionale nella centrifuga

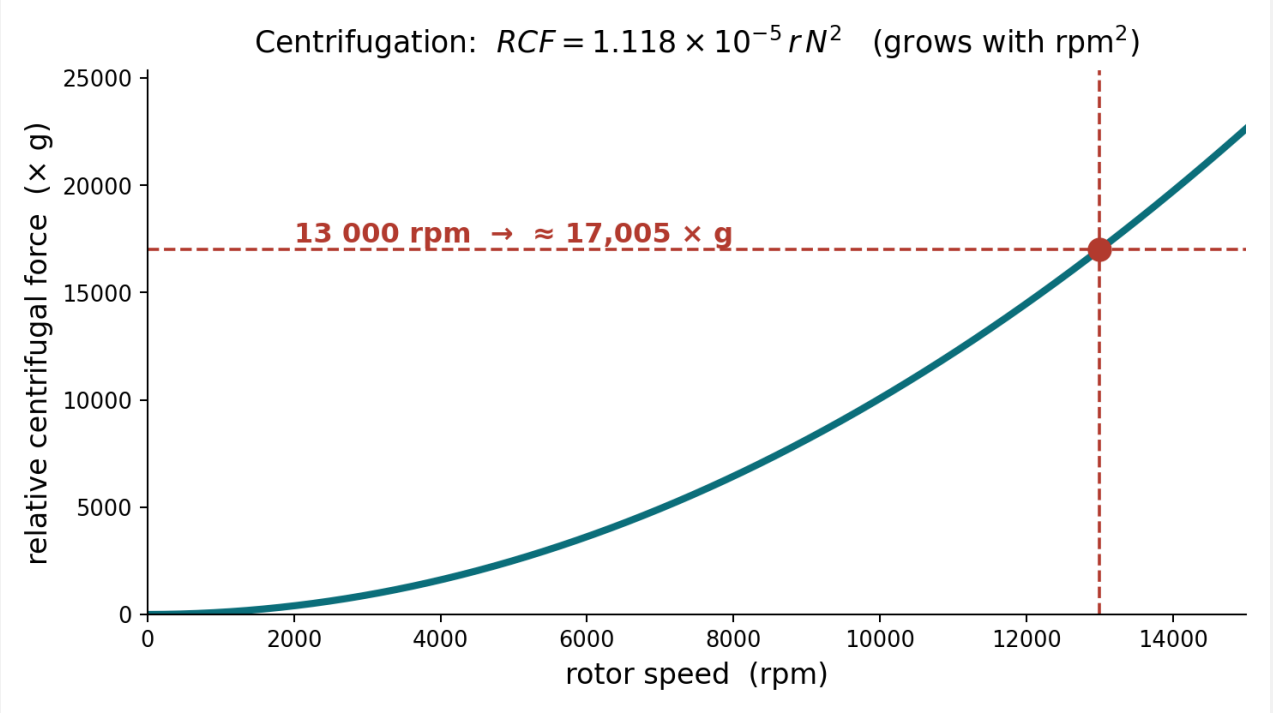
Il display di una centrifuga mostra gli rpm, ma ciò che separa il tuo campione è la forza g (RCF, relative centrifugal force).

$RCF = 1.118 \times 10^{-5} \cdot r \cdot N^2$ (r in cm, N in rpm)

Le unità si combinano in modo che l'RCF sia un puro multiplo di g — un numero adimensionale.

Poiché dipende da N^2, raddoppiare gli rpm quadruplica la forza.

Riportare una centrifugazione come '× g' (non in rpm) permette a qualsiasi laboratorio di riprodurla su un rotore diverso.



In pratica – dagli *rpm* alla forza *g*

I protocolli riportano la forza come '× g', perché gli rpm da soli sono ambigui tra rotori diversi.

Per r = 9 cm a 13 000 rpm: $RCF = 1{,}118\times10^{-5} \cdot 9 \cdot 13000^2 \approx 17\,000 \times g$

Dimezzando il raggio (r = 4,5 cm) agli stessi rpm lo si dimezza a ≈ 8 500 × g.

Perciò converti sempre gli rpm in × g per riprodurre una centrifugazione su qualsiasi centrifuga.



Centrifuga da laboratorio — Ivangiesen, CC0

Equivalenze: Multipli e Sottomultipli

Ogni grandezza, fondamentale o derivata, può avere associata una serie di multipli e sottomultipli (ad esempio, il metro):

Tm	Gm	Mm	km	hm	dam	m	dm	cm	mm	μm	nm	pm
10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10^{1}	10^{0}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

Multipli:	Sottomultipli
da = deca	d = deci
h = etto	c = centi
k = chilo	m = milli
M = mega	μ = micro
G = giga	n = nano
T = tera	p = pico

Equivalenze: Multipli e Sottomultipli

Espressione della velocità:

km/h → m/s

1 km/h = 1000 m / 3600 s

= 0.28 m/s

m/s → km/h

1 m/s = 0.001 km / (1/3600) h

= 3.6 km/h

FATTORI DI CONVERSIONE

n km/h → n · 0.28 m/s

n m/s → n · 3.6 km/h

10 m/s = 10 · 3.6 km/h = 36 km/h

120 km/h = 120 · 0.28 m/s = 33.6 m/s

Misure Dirette e Indirette

Misure dirette

- Ad esempio, la misura di una massa con una bilancia*, o di una lunghezza con un righello, o di un tempo con un orologio.

Misure indirette

- La grandezza incognita si ottiene eseguendo la misura diretta di un'altra grandezza, legata a quella incognita da una legge matematica nota.
- In questo caso, la grandezza da determinare può essere sia fondamentale (ad esempio, la distanza tra la Terra e il Sole, che ovviamente non può essere misurata direttamente con un righello) sia derivata (ad esempio, la pressione atmosferica, per la quale si misura l'altezza di una colonna di mercurio in un tubo verticale: tale altezza è direttamente proporzionale alla pressione, secondo una legge nota).

*valida solo per una bilancia a due piatti!

Rappresentazione di un risultato numerico

Un risultato numerico non è completo a meno che non sia costituito da

- VALORE, ACCURATEZZA e UNITÀ DI MISURA

Notazione Scientifica e Cifre Significative

Prefisso (abbreviazione)	Potenza di 10
peta (P)	10^{15}
tera (T)	10^{12}
giga (G)	10^{9}
mega (M)	10^{6}
chilo (k)	10^{3}
etto (h)	10^{2}
deci (d)	10^{-1}
centi (c)	10^{-2}
milli (m)	10^{-3}
micro (μ)	10^{-6}
nano (n)	10^{-9}
pico (p)	10^{-12}
femto (f)	10^{-15}

Le cifre significative di una misura sono le cifre certe più la prima cifra incerta.

Identifica il numero di cifre significative

(a)409.8 s

(b)0.058700 cm

(c)9500 g

(d)950.0 x 10^{1} ml

Utilizzando la notazione scientifica

(a)4,098 x 10^{2} s (4 cifre)

(b)5,8700 x 10^{-2} cm (5 cifre)

(c)9,500 x 10^{3} g oppure 9,5 x 10^{3} g (4 o 2 cifre)

(d)9,500 x 10^{3} ml (4 cifre)

Esempio – Ordini di grandezza in biologia

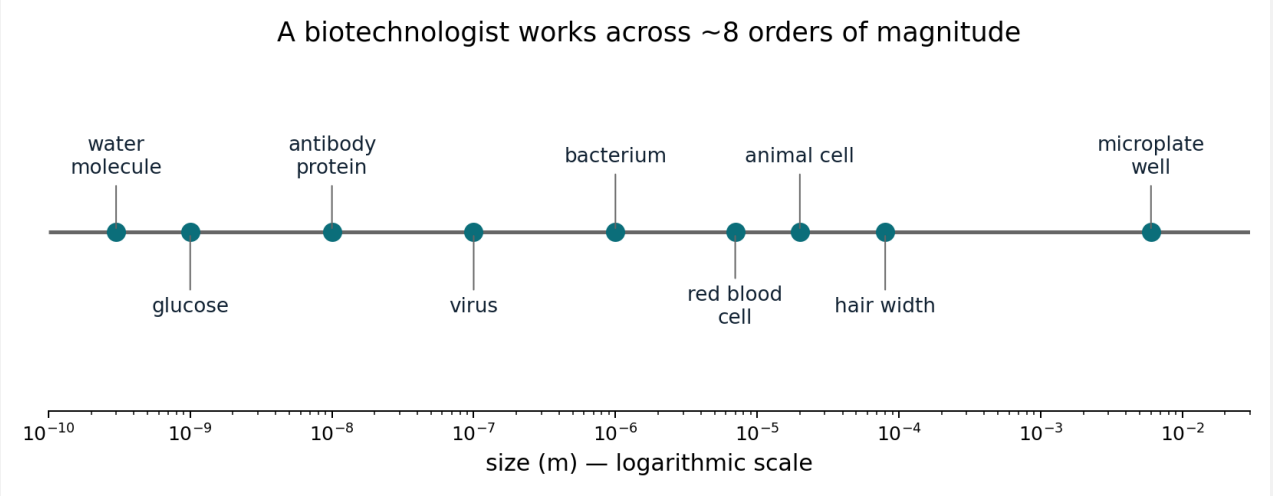
Gli oggetti biologici spaziano da molecole su scala sub-nanometrica a pozzetti di piastre su scala millimetrica.

I prefissi e la notazione scientifica mantengono questi numeri gestibili:

$1\ \text{nm} = 10^{-9}\ \text{m}, \quad 1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}, \quad 1\ \text{mm} = 10^{-3}\ \text{m}$

Una proteina (~10 nm), un batterio (~1 µm) e un pozzetto di piastra (~6 mm) differiscono di circa 10^6.

Scegliere il prefisso giusto è il primo passo di qualsiasi stima quantitativa.



In pratica – Contare e Misurare le Cellule

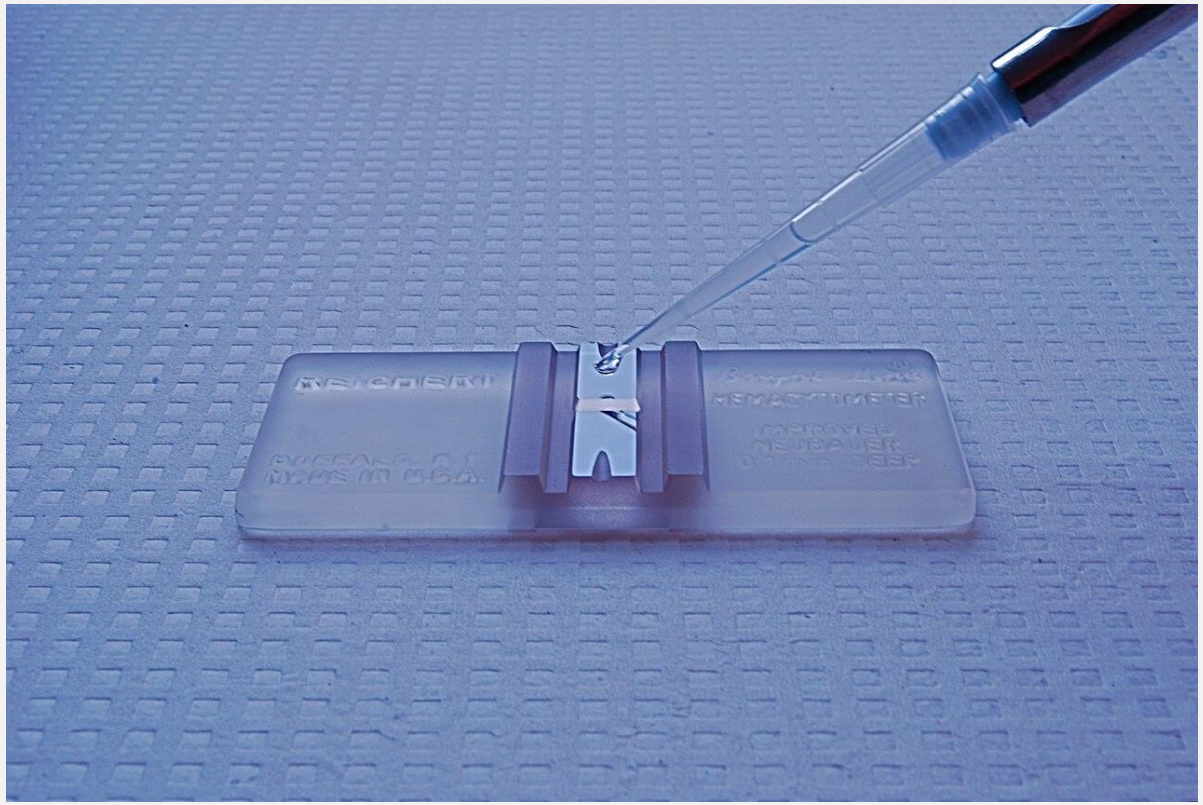
Una camera di conta (emocitometro) è un vetrino con una griglia di volume noto con precisione.

Ogni quadrato grande contiene 0,1 µL (1 mm × 1 mm × 0,1 mm di profondità).

Conta 80 cellule in un quadrato → 80 / 0,1 µL = 8×10^5 cellule/mL (× fattore di diluizione).

Funziona perché le scale di lunghezza — griglia in mm, cellule in µm — sono note esattamente.

I contatori automatici e i citometri a flusso fanno lo stesso con una resa più elevata.

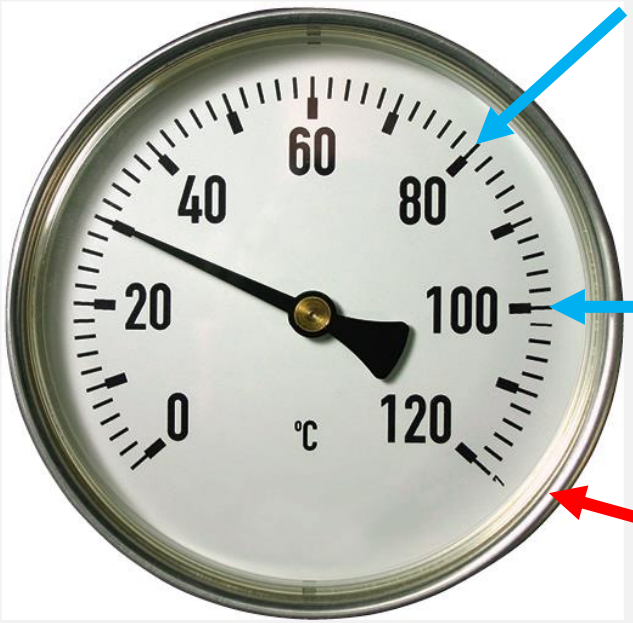


Caricamento di una camera di conta — CC BY-SA 2.0

Accuratezza e Errore

- L'errore in una misura ha diverse origini. Può essere casuale o sistematico.
- Definisce la precisione con cui possiamo determinare il valore di una grandezza fisica e spesso dipende dallo strumento di misura
- L'errore in una misura DETERMINA le cifre significative da riportare in un risultato
- Si propaga nei calcoli

Portata e sensibilità degli strumenti di misura



SENSIBILITÀ (o precisione): tra 80 °C e 100 °C ci sono 10 intervalli.

La precisione è quindi di 2 °C

PORTATA

Una misura di temperatura con questo termometro sarà ad esempio 64 °C ± 2 °C

Portata e sensibilità degli strumenti di misura







Bilancia commerciale sensibilità 1 g	Bilancia di laboratorio sensibilità 0,01 g	Bilancia per uso analitico sensibilità 0,0001 g
m = 48 ± 1 g	m = 47.74 ± 0.01 g	m = 47.7438 ± 0.0001 g
$m = 4.8(1) \times 10^1$ g	$m = 4.774(1) \times 10^1$ g	$m = 4.77438(1) \times 10^1$ g

Fonti di Errore

- **Sensibilità dello strumento**
  - Strumenti più accurati permettono di ridurre questo tipo di errore
- **Errore sistematico**
  - Errori che portano SEMPRE a una sovrastima o a una sottostima di una grandezza fisica (esempio: taratura imperfetta). Questi errori possono essere ELIMINATI una volta individuati (ad esempio tarando uno strumento più accuratamente).
- **Errore statistico**
  - Errori «casuali» che portano A VOLTE a una sovrastima o a una sottostima di una grandezza fisica. Ripetendo una misura più volte, in media questi errori si riducono.

Esempio – Accuratezza e Precisione di una misura

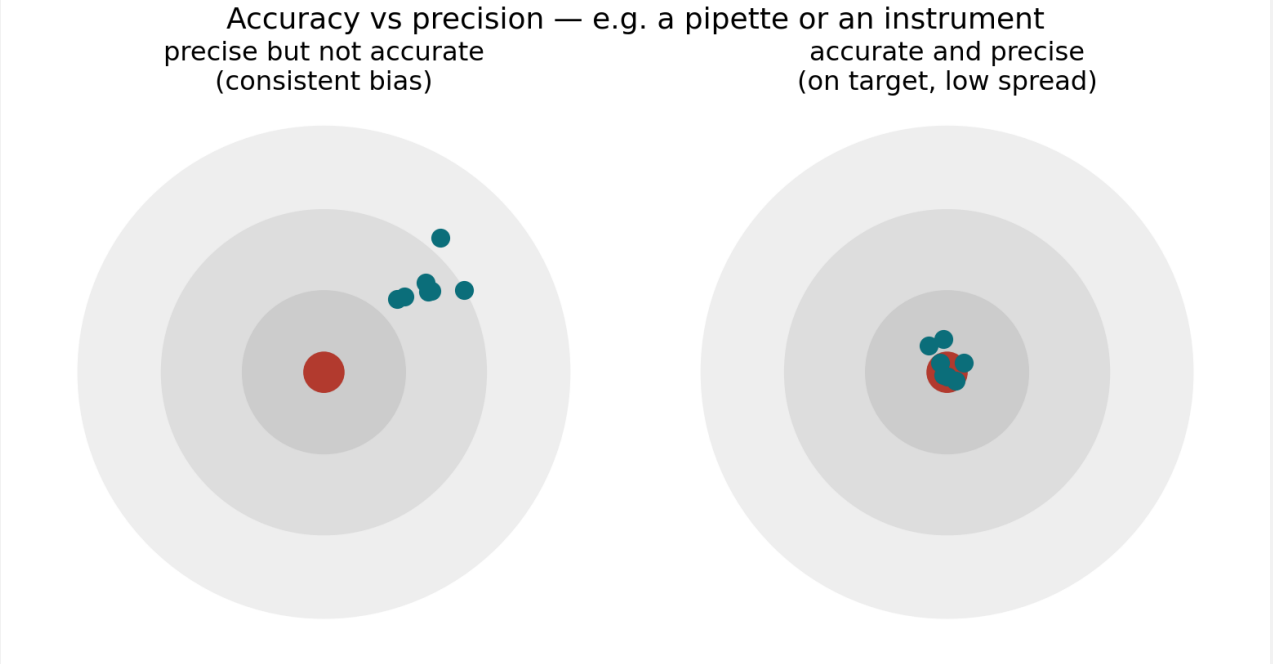
Ogni strumento — una pipetta, una bilancia, un lettore di piastre — ha un'accuratezza e una precisione limitate.

Precisione = quanto sono vicine tra loro misure ripetute (piccola dispersione).

Accuratezza = quanto sono vicine al valore vero (piccolo errore sistematico).

Una pipetta mal tarata può essere molto precisa ma costantemente errata — da qui la necessità di una taratura periodica.

Riporta sempre la media con la sua incertezza: valore ± errore.



In pratica – La taratura di una micropipetta

Ci si può fidare di una micropipetta solo dopo averla tarata rispetto a uno standard noto.

Test gravimetrico: eroga acqua e pesala — 1 µL di acqua ≈ 1 mg.

Ripeti 10 volte: la dispersione (DS o %CV) è la precisione; la media rispetto al valore atteso è l'accuratezza.

Una buona pipetta 100–1000 µL mantiene un'accuratezza di ≈ ±0,8% e un CV < 0,3%.

Le pipette non tarate o usurate sono una delle principali cause di risultati non riproducibili.



Micropipette — CC BY-SA 4.0

Grandezze Scalari e Vettoriali

- Tutti gli esempi visti finora sono stati di grandezze SCALARI, cioè caratterizzate da un segno, un numero e un'unità. Esempi: massa, temperatura, lunghezza, ecc. …

- Le grandezze VETTORIALI sono invece caratterizzate da numero e unità (che insieme sono chiamati MODULO o INTENSITÀ), direzione, verso e punto di applicazione (od origine). Sono vettoriali lo spostamento, la velocità, la forza, l'accelerazione, ecc. …