Laboratorio di fisica sperimentale

Ingegneria meccanica

Marco Toppi - canale L-Z

marco.toppi@uniroma1.it

https://corsidilaurea.uniroma1.it/it/users/marcotoppiuniroma1it

OBBLIGO DI FREQUENZA

QUEST'ANNO PUÒ FREQUENTARE SOLO CHI OGGI HA IL PIANO DI STUDI GIÀ APPROVATO CON QUESTO CORSO

Registrarsi al corso (per il controllo del piano di studi) ORA:

1. inviare un messaggio a marco.toppi@uniroma1.it dall'e-mail istituzionale con nome e anno accademico di immatricolazione (p.es. 2023-24) OGGETTO: LabDidFis
2. Segnarsi su Classrooom. Codice corso: **nifwm4m**

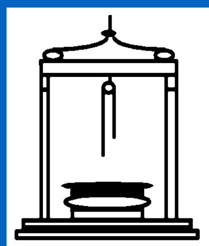
Costituiamo due classi che frequenteranno a giovedì alterni:

Gruppo1 : oggi
Gruppo2 : appuntamento giovedì 14 marzo ore 9:00

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica

A.A. 2023-2024



Scopo del corso:
osservare semplici fenomeni fisici e studiare le relazioni fra le grandezze fisiche coinvolte

lasciate il tavolo di laboratorio in ordine e pulito;
ne siete responsabili (anche della strumentazione)

stampatello

firma

memorizzare:
sarà lo stesso
per tutto il corso

ATTENZIONE: questa firma è la certificazione della presenza !!!

CENNI DI METROLOGIA

- Scopo di una misura è determinare il valore vero di una grandezza fisica mediante un’operazione di misurazione (misura)
- La misura si discosta dal valore vero per una quantità detta errore di misura.
- Ripetendo una misurazione con uno strumento sufficientemente sensibile si ottengono valori diversi a causa di errori di misura che variano casualmente (errori casuali <-> precisione).
- Gli errori hanno anche una componente sistematica che si presenta sempre uguale a sé stessa finché non si cambia lo strumento o il metodo di misura (errori sistematici <-> accuratezza).

CENNI DI METROLOGIA

- La misura si discosta dal valore vero per una quantità detta errore di misura.
  - es. Se misuro il tempo di caduta di una palla come 56 s, mentre il tempo vero è 54 s allora il mio errore è 2 s.
- Ma non conosco il valore vero e quindi non conosco l’errore…
- L’ incertezza di una misura è l’ipotesi che lo scienziato fa nella sua stima dell’errore di misura.
  - es. Avendo misurato un tempo di 56 s, potrei ipotizzare, considerando la sensibilità del mio strumento e i miei tempi di reazione, che il tempo vero potrebbe essere compreso tra 53 e 59 s, ovvero che tale tempo si trova entro una distanza di $\pm$ 3 s dal valore misurato esprimendo il risultato della mia misura come 56 $\pm$ 3 s, con 3 s incertezza della mia misura

COME ESPRIMERE UN RISULTATO. CIFRE SIGNIFICATIVE

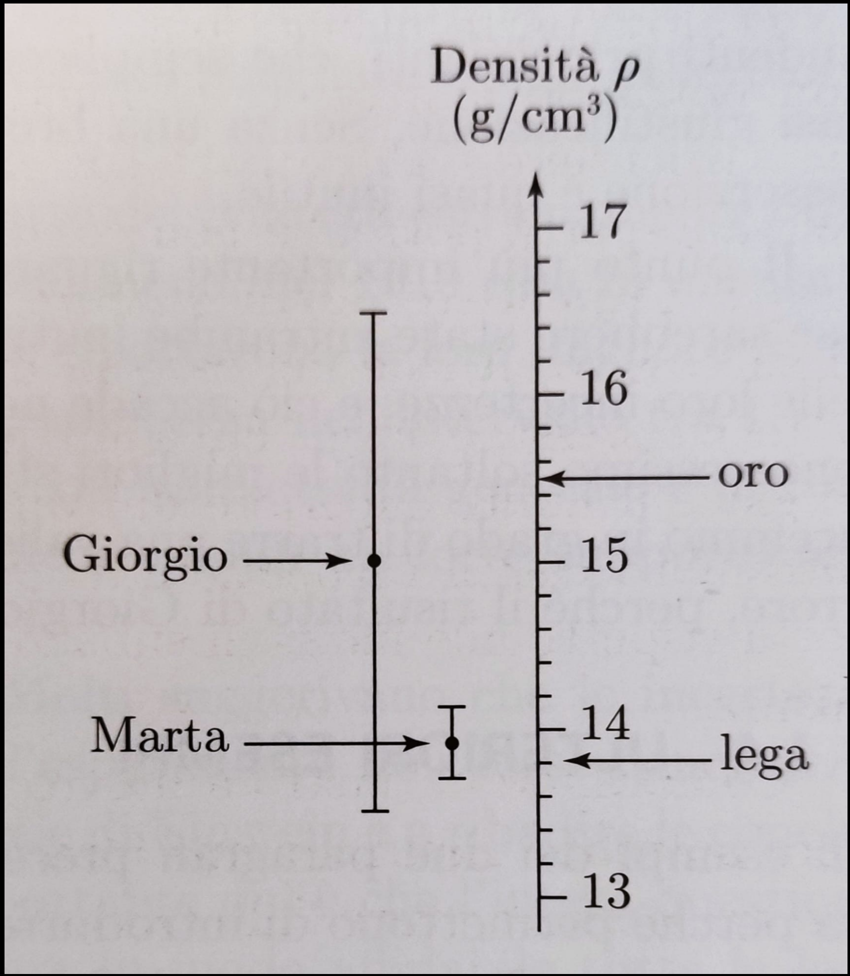
- Il risultato della misura di una certa grandezza x:

  Migliore stima $\pm$ incertezza = $X_{best} \pm \Delta x$

- Le incertezze sperimentali dovrebbero di regola essere arrotondate ad una cifra significativa
  - Misura di g = 9,82 $\pm$ 0,02385 m/s^2 → 9,82 $\pm$ 0,02 m/s^2
- L'ultima cifra significativa in qualunque risultato dovrebbe essere dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza.
  - Misura di lunghezza 92,8 cm
  - Se Δx = 0,3 cm → 92,8 $\pm$ 0,3 cm
  - Se Δx = 3 cm → 93 $\pm$ 3 cm
  - Se Δx = 30 cm → 90 $\pm$ 30 cm

IMPORTANZA DI CONOSCERE LE INCERTEZZE

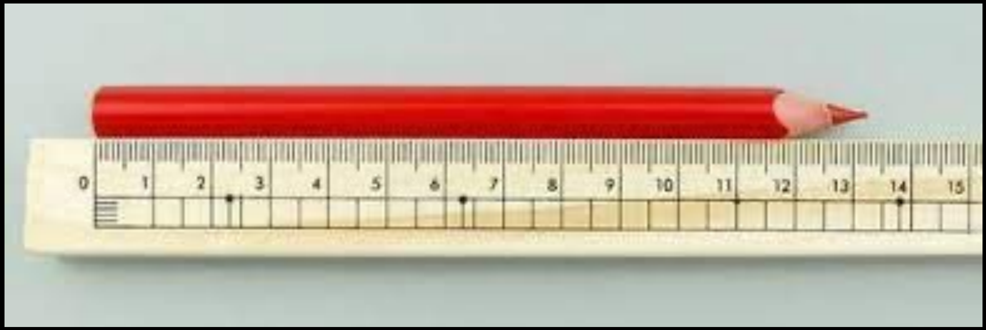
- es. Misura ''di Archimede'': dobbiamo stabilire se una corona è di oro a 18 carati, come viene dichiarato, o di una lega meno costosa.
- Giorgio e Marta fanno una misura di densità nota la densità dell'oro e quella di una lega sospetta
- Senza incertezza associata, le misure di Giorgio e Marta non sarebbero risolutive e avrebbero risultati contrastanti



Esempi e figure qui e nel seguito prese dal testo consigliato: **J.R.Taylor ''Introduzione all'analisi degli errori'', Zanichelli**

MISURA UTILIZZANDO UNA SCALA GRADUATA

Misura della lunghezza di una matita con un righello con scala graduata (sensibilità strumento 1mm/divisione)

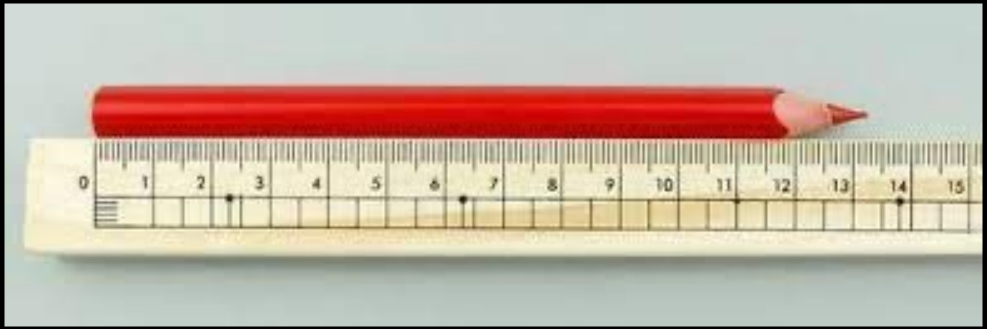


(133 ± 1) mm

In questo caso posso usare la sensibilità dello strumento per assegnare l'incertezza

MISURA UTILIZZANDO UNA SCALA GRADUATA

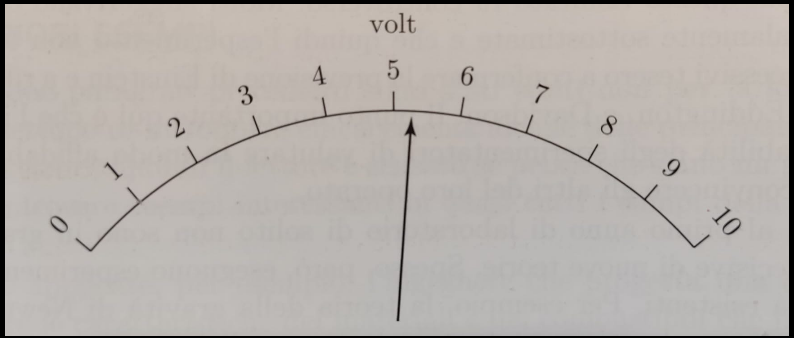
Misura della lunghezza di una matita con un righello con scala graduata (sensibilità strumento 1mm/divisione)



(133 ± 1) mm

In questo caso posso usare la sensibilità dello strumento per assegnare l'incertezza

Misura di tensione letta con un voltmetro (sensibilità dello strumento 1V/divisione)



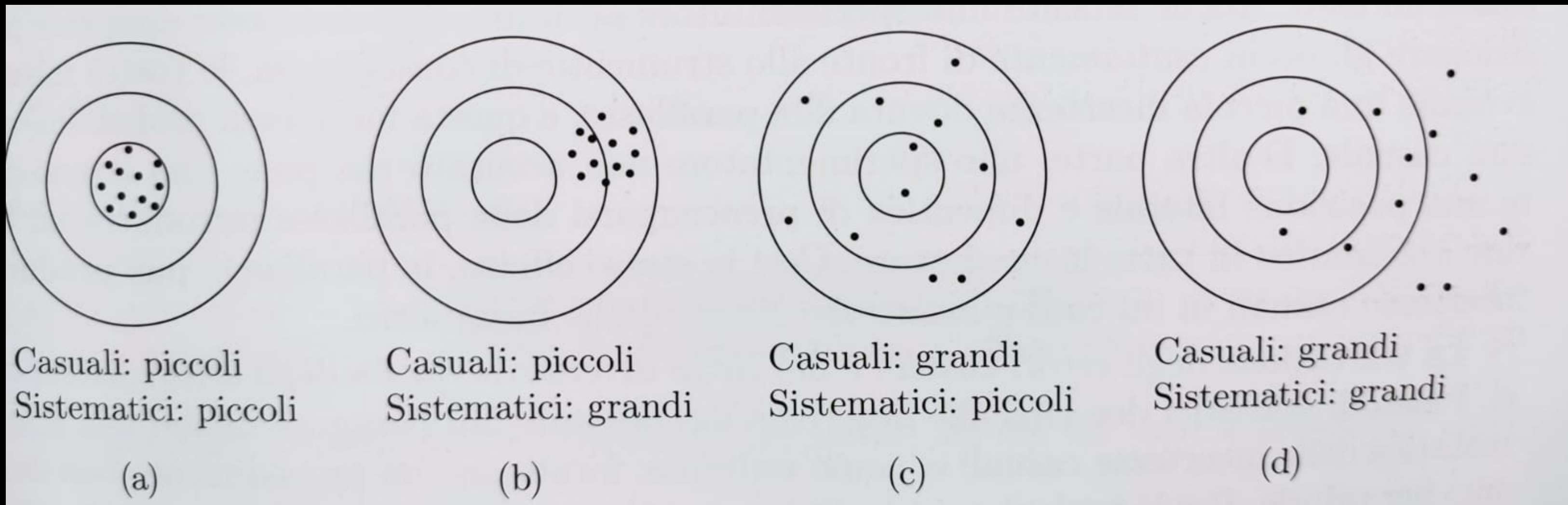
$(5{,}3 \pm 0{,}2)$ V

In un caso così si può fare di meglio che individuare la divisione più vicina

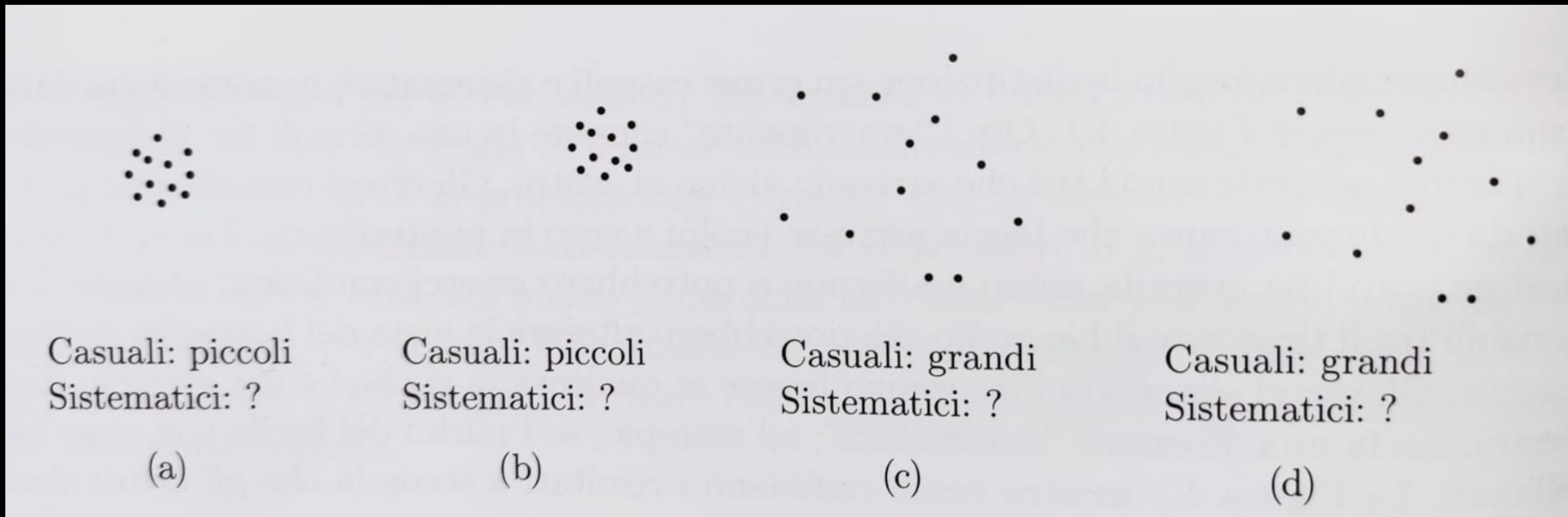
STIMA DELLE INCERTEZZE NELL MISURE RIPETIBILI

- es. Misura dei tempi di caduta di una palla con un cronometro
- In questo caso la sorgente principale di errore non è la sensibilità dello strumento ma il tempo di reazione dello sperimentatore nel premere start e stop
- Per valutare propriamente l'incertezza si può ripetere più volte la misura e pensare che il valore vero cada nell'intervallo di misure effettuate.
- Nell'esempio precedente provando a fare diverse misure potrei ottenere:
- 52, 54, 55, 56 s ...Qual è la miglior stima di t_{caduta} in questo caso?

INCERTEZZE CASUALI E SISTEMATICHE



INCERTEZZE CASUALI E SISTEMATICHE

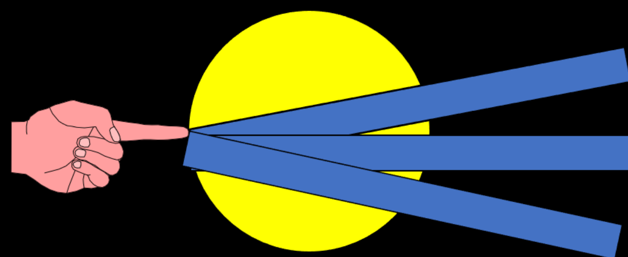


Esercitazione 1: MISURA DI π

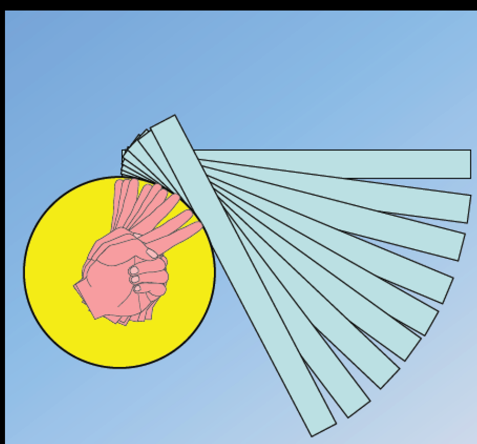
Scopo: concetti di misura, errori di misura, errori sistematici, errori casuali, scarto assoluto, scarto relativo

Metodo: eseguire una misura derivata dal rapporto fra la lunghezza di una circonferenza e il suo diametro

STRUMENTI: righello

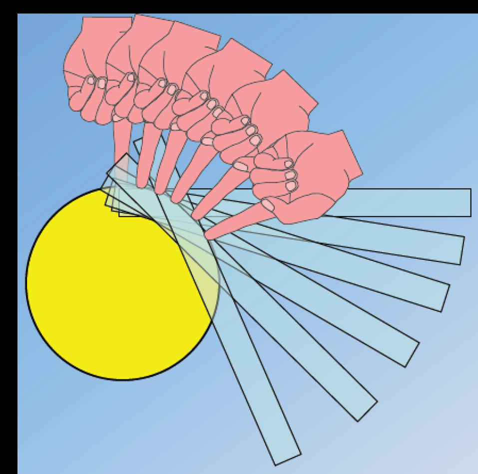


← diametro: corda massima



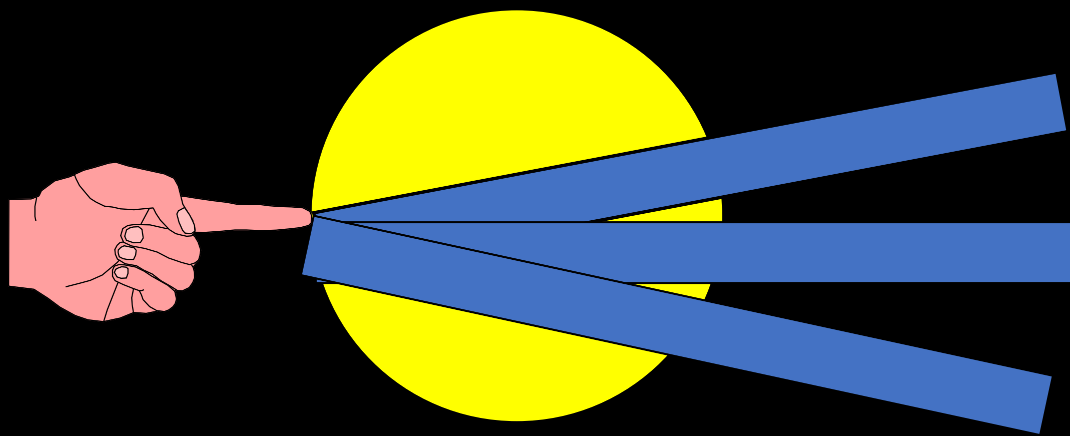
← righello esterno alla circonferenza

righello interno alla circonferenza →



misurazione della lunghezza del <u>diametro</u> utilizzando un righello (ruotare il righello mantenendo il contatto col punto iniziale).

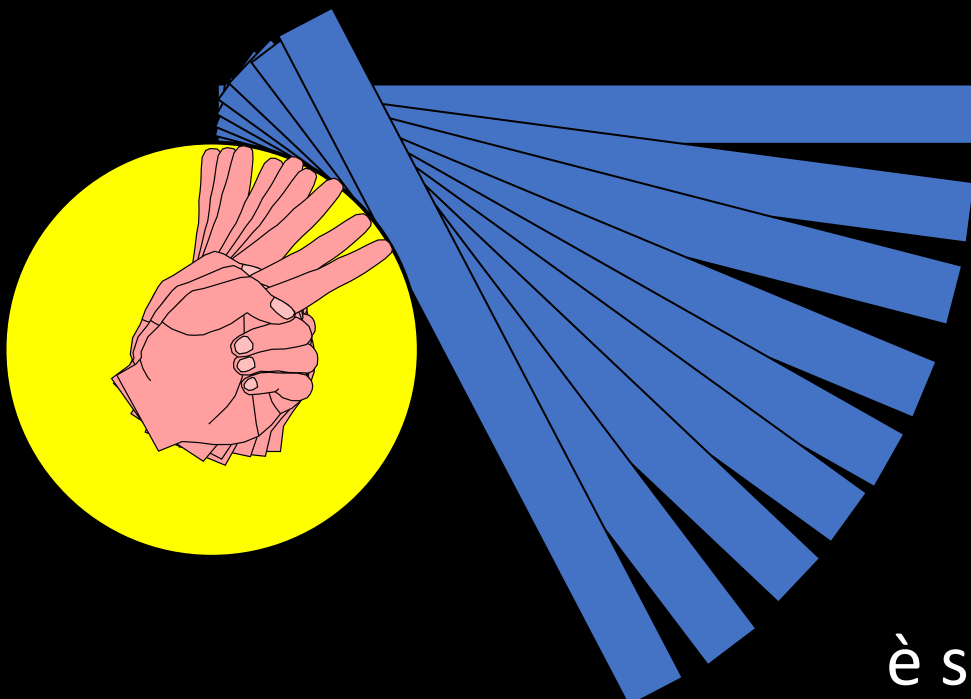
diametro: corda massima



OK?

si può apprezzare anche un decimo di millimetro

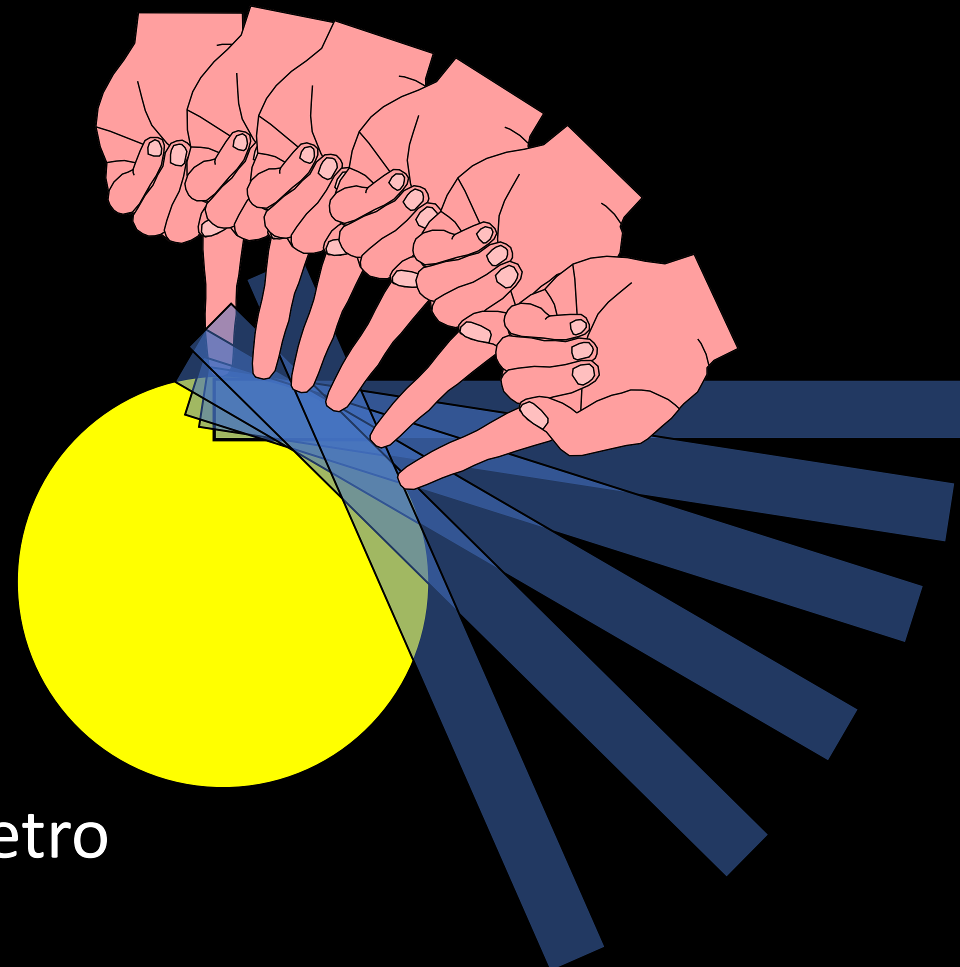
cambiare punto d'inizio: non è una "circonferenza ideale" misurazione della lunghezza della circonferenza C_e utilizzando un righello che ruota all'**esterno** della circonferenza mantenendo il contatto



OK?

è sufficiente apprezzare il millimetro

misurazione della lunghezza della circonferenza C_i utilizzando un righello che ruota all'**interno** della circonferenza mantenendo il contatto



è sufficiente apprezzare il millimetro

utilizzando un righello con **sensibilità 1 mm/divisione**

si eseguano:

$\boxed{6 = 2+2+2}$

6 misurazioni del **diametro D**,

6 misurazioni della **circonferenza C_e** apprezzare il millimetro
(ruotare il righello all'esterno della circonferenza)

6 misurazioni della **circonferenza C_i** apprezzare il millimetro
(ruotare il righello all'interno della circonferenza)

riportare le misure in una tabella

n	D [cm]	C_e [cm]	C_i [cm]
1	…,.	…,.	…,.
2	…,.	…,.	…,.
3	…,.	…,.	…,.
4	…,.	…,.	…,.
5	…,.	…,.	…,.
6	…,.	…,.	…,.
media			
σ_s	????		

La migliore stima, p.es. della lunghezza del diametro, è data dalla media aritmetica delle misure (compensazione degli errori casuali):

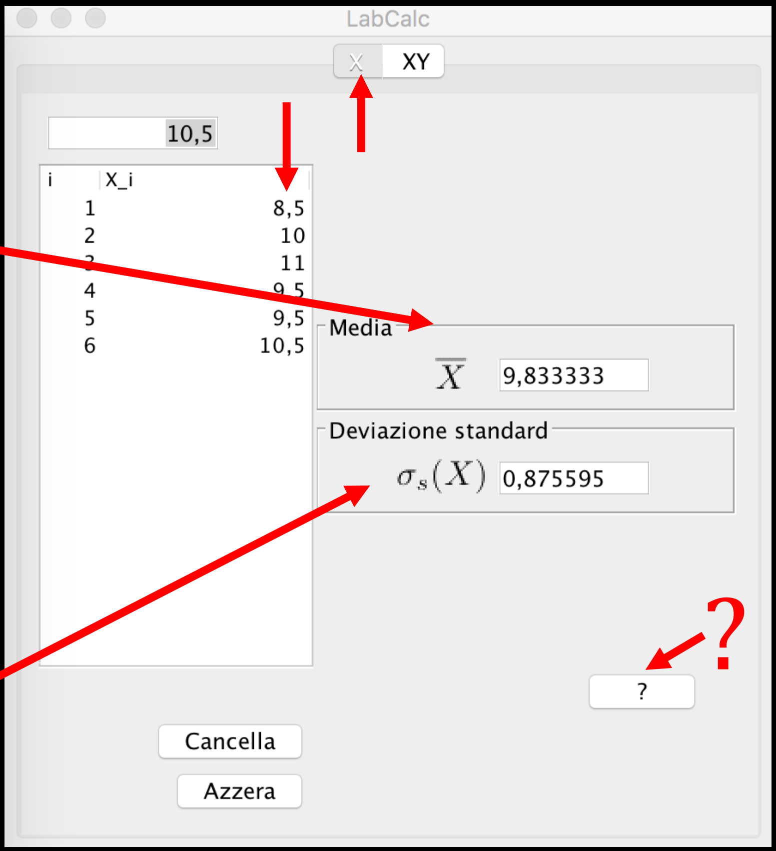
$$\overline{D} = \frac{\sum_{n=1,N} D_n}{N}$$

LabCalc

Per il calcolo della media è possibile utilizzare **LabCalc** che è sul desktop

Usare la virgola come separatore dei decimali e il tasto return per inserire il dato

Fornisce anche un'indicazione della dispersione delle misure intorno alla media aritmetica (deviazione standard σ_s)



La deviazione standard è legata alla **precisione della misura connessa con gli errori casuali della misura**.

OSSERVAZIONI SULLA DEVIAZIONE STANDARD

- Per ogni misura x_i possiamo considerare lo scarto, o residuo, ovvero di quanto x_i differisce da $\bar{x}$: $d_i = x_i - \bar{x}$
- Intuitivamente: scarti “grandi“ -> misura poco precisa, scarti “piccoli“ -> misura precisa. La media degli scarti potrebbe fornire una stima della precisione delle misure fatte.
- Ma per definizione di media: $\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} d_i = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right) - \bar{x} = 0$
- Per evitare questo problema medio gli scarti al quadrato d_i^2 (positivi!!) e poi ne prendo la radice quadrata (deviazione standard):
- $\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} d_i^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \rightarrow \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$
- La deviazione standard può essere presa come incertezza sulla singola misura x_i : $x_i \pm \sigma_x$

DISTRIBUZIONE NORMALE

- Se si misura la stessa grandezza x molte volte usando sempre lo stesso metodo e se tutte le fonti di incertezza sono casuali, i risultati saranno sempre distribuiti intorno al x_{vero} secondo la distribuzione normale (curva a campana o di Gauss)

Figura 5.3 Istogramma per 100 misure della stessa grandezza di Figura 5.2.

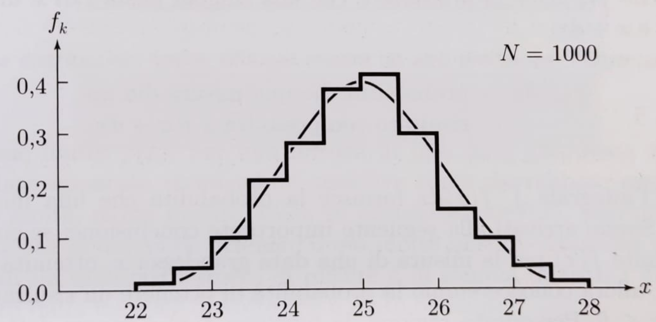


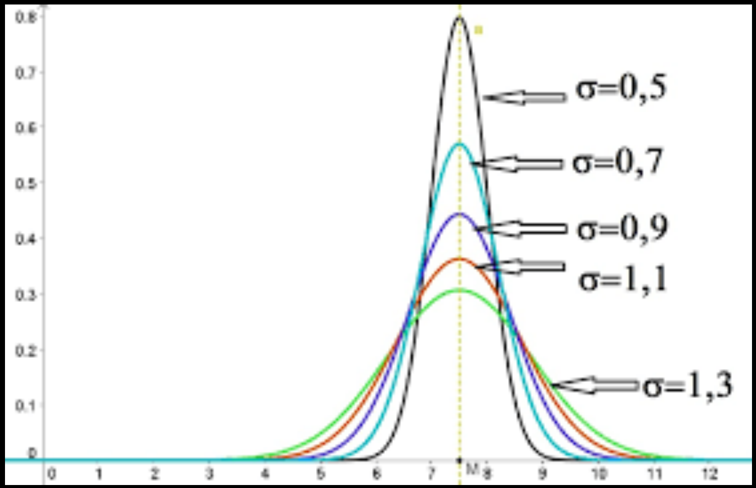
Figura 5.4 Istogramma per 1000 misure della stessa grandezza di Figura 5.3. La curva liscia è la distribuzione limite.

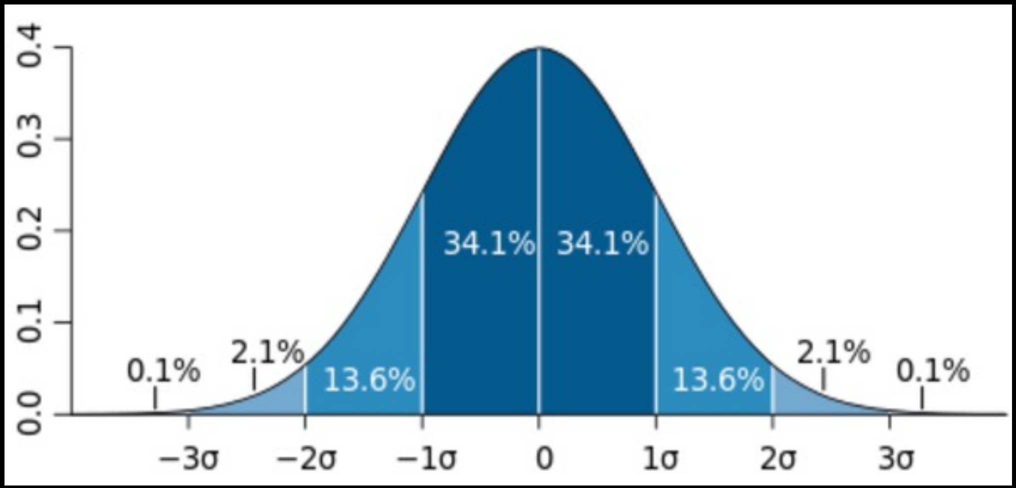
- Al crescere del numero di misure la distribuzione discreta (l'istogramma) approssima sempre meglio la distribuzione limite a cui tende, ovvero la Gaussiana:

$$G_{X,\sigma}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-X)/2\sigma^2}$$

SIGMA NELLA DISTRIBUZIONE NORMALE

- Circa il 68% dei risultati cadrà all'interno di una distanza $\sigma_x$da entrambi i lati di x_{vero}, cioè il 68% delle misure cadrà nell'intervallo: $x_{vero} \pm \sigma_x$
- Se si ripete una singola misura (usando lo stesso metodo) si ha una probabilità del 68% che tale risultato si trovi entro σ_x dal valore vero.
- Possiamo prendere σ_x come incertezza associata ad una misura singola di x, sicuri al 68% che al misura cada entro σ_x da x_{vero}





LA DEVIAZIONE STANDARD DELLA MEDIA

- Se $x_1,\ldots,x_N$ sono i risultati di N misure della stessa grandezza x, si dimostra che la miglior stima per la grandezza x è la media:
$\bar{x}=\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)$
- Si dimostra inoltre che l'incertezza sul nostro risultato finale, ovvero $\bar{x}$, è data dalla deviazione standard σ_x divisa per $\sqrt{N}$
- Questa quantità è chiamata deviazione standard della media e si indica con:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}$$

- Il risultato finale della misura di x sarà quindi:

(valore di x) = $\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$

1) Tabulare la media aritmetica dei diametri ($\overline{\mathrm{D}}$) e delle circonferenze “esterna” ($\overline{\mathrm{C}}_{\mathrm{e}}$) e “interna” ($\overline{\mathrm{C}}_{\mathrm{i}}$)

2) Tabulare la deviazione standard delle misure dei diametri e delle circonferenze “esterna” e “interna”

3) Quale misura (D, C_e o C_i) risulta più precisa?

4) Calcolare la differenza $\Delta C = \bar{C}_e - \bar{C}_I$

La differenza è legata all'accuratezza della misura (entità degli errori sistematici)

Se le misurazioni della lunghezza della circonferenza C* sono state eseguite con "attenzione" si dovrebbe ottenere

$$\bar{C}_e > C^* > \bar{C}_i$$

5) Calcolare la media aritmetica $\bar{C} = \frac{\bar{C}_e + \bar{C}_i}{2}$ per compensare parzialmente gli errori sistematici in eccesso (C_e) con gli errori sistematici in difetto (C_i)

$\bar{C}$ rappresenta la stima più precisa e accurata di C*

••• La migliore stima del valore di π è data dal rapporto delle medie aritmetiche: $\pi_{mis} = \frac{\overline{C}}{\overline{D}}$

>>> Quanto si discosta π_{mis} dal valore $\pi^* = 3{,}141\,592\,65\ldots$?

in termini assoluti $\Delta\pi = \pi_{mis} - \pi^* = ???$ scarto assoluto

in termini relativi $\Delta_r\pi = \Delta\pi/\pi^* = ???$ scarto relativo

Tipicamente una misura è “buona” se fornisce $|\Delta_r| < 5\%$

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica

A.A. 2023-2024

Ci vediamo giovedì 21/03 ore 9:00
Mi raccomando la puntualità

lasciate il tavolo di laboratorio in ordine e pulito;
ne siete responsabili (anche della strumentazione)

LaDiFi
laboratoriodidatticodiFisica