
PROVANDO E RIPROVANDO

PLS 2015: fisica - scienza della misura

L'**Accademia del cimento** ("Accademia dell'esperimento") - **prima associazione scientifica ad utilizzare** il **metodo sperimentale galileano** in Europa, con il motto Provando riprovando.

«Quel sol che pria d'amor mi scaldò il petto

Di bella verità m'avea scoverto

Provando e riprovando, il dolce aspetto».

Paradiso, canto terzo, 1-3.

(cioé argomentando e dis-provando, cioé controargomentando)

Le "sensate esperienze" iterate e reiterate di Galileo.

PLS 2015: fisica - scienza della misura

- Proposito :
  - Fornire ai docenti gli strumenti teorici e pratici per affrontare esperimenti di laboratorio dal punto di vista quantitativo.
  - Proporre (?) alcuni esperimenti “casalinghi” per discutere le problematiche della teoria delle incertezze.
  - Affrontare esperimenti presenti presso le scuole semplici/“complessi” per chiarire le complicazioni e soprattutto le problematiche di calibrazione.
  - **Pagina WEB** : http://www.fe.infn.it/u/ciullo/PLS_2015.html

Bibliografia:

Ciullo G. “ Introduzione al laboratorio di Fisica (Springer- Verlag Italia, Milano, 2014)

http://www.springer.com/physics/book/978-88-470-5655-8

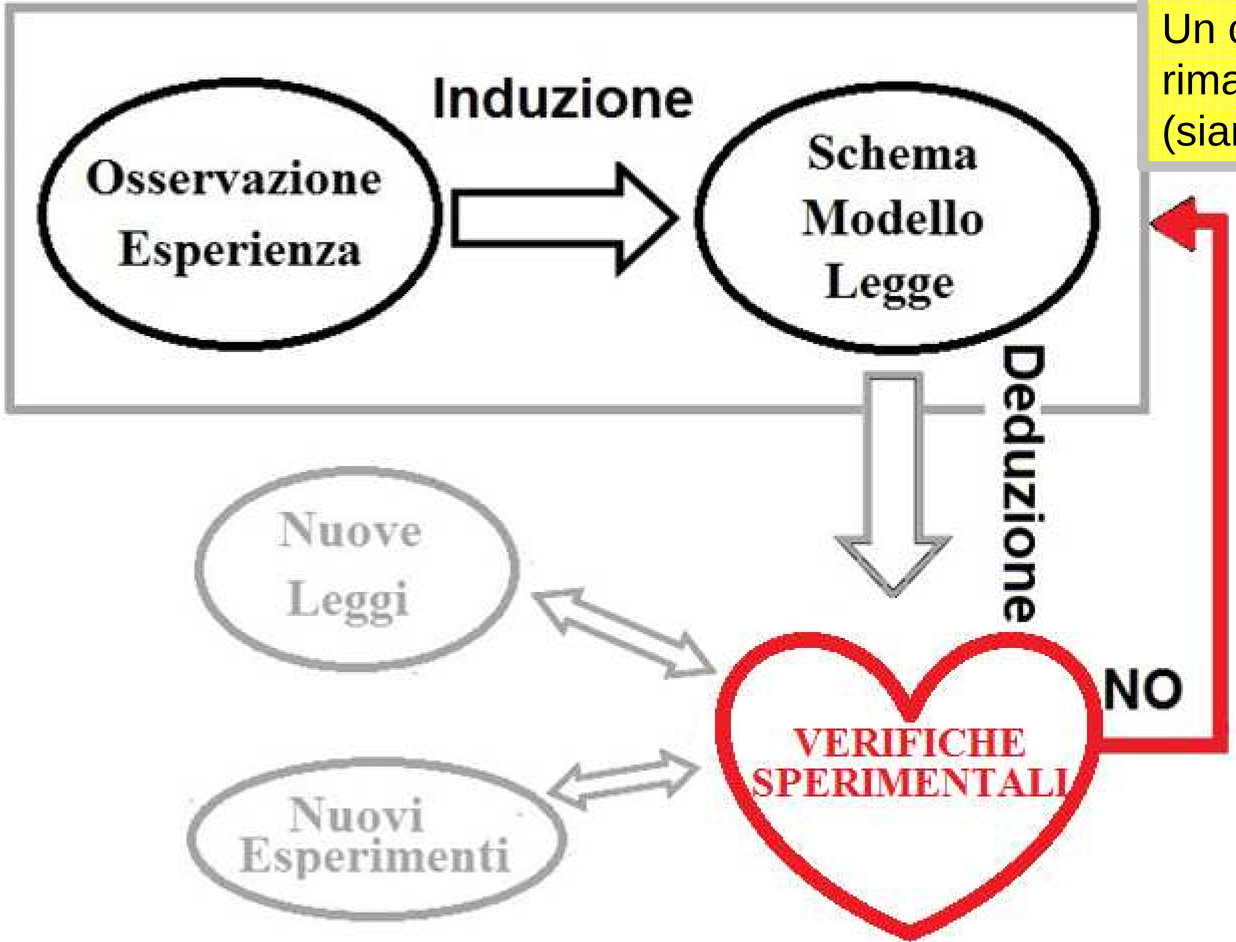
Sito dedicato ad esperienze sia per l’università che per le scuole:

http://www.fe.infn.it/u/ciullo/Introduzione_al_laboratorio.html

Laboratorio di fisica

- Con la Fisica ci si può e si può fare del male alle giovani menti:
  - Spesso si studia tanta matematica e tante leggi fisiche, poi si va in laboratorio e non si riesce a verificare neanche una legge semplice.
  - Bisogna prendere coscienza che ci sono:
    - misure a portata di mano (grossolani e quali-**quantitativi**)
    - metodi di misura in laboratorio: complicazioni
    - possiamo trovare esempi per i docenti delle scuole:
      - il **pendolo**. la **caduta del grave**, il **calorimetro** fatto in casa, un cannone elettronico, la misura della **costante di Planck** con **l'effetto fotoelettrico** e/o semplicemente con LED di vari colori … altre esperienze da "**provare**".

LA Fisica è una scienza quantitativa



Un corso di fisica senza laboratorio rimane nell’era pregalileiana (siamo ancora ad Aristotele).

Costruiamo un modello: poi dobbiamo trovare il modo di verificarlo (**rigettarlo**) **quantitativamente**.

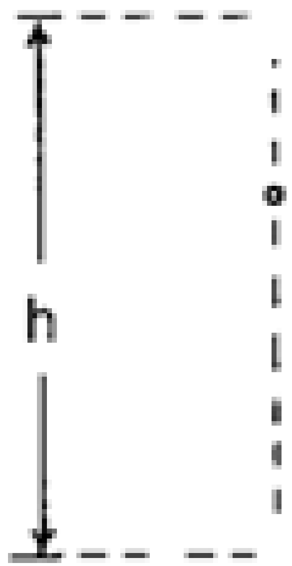
Per fare questo devo avere un **modello** e **misurare** – **quantitativamente** ogni **grandezza** in gioco.

Usiamo alcuni semplici (modelli):

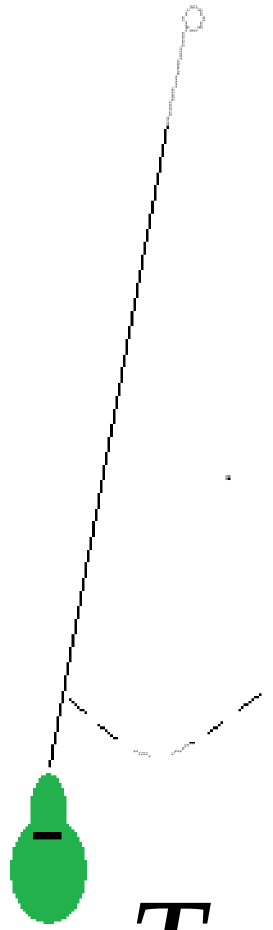
la **caduta del grave** il **pendolo**, entrambi legati alla legge di attrazione gravitazionale.

Dal modellino alla misura
un laboratorio onnipresente

$$F_g = mg$$



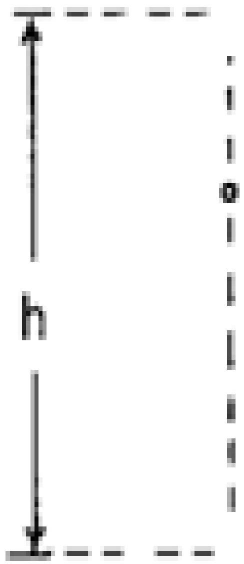
$$h = \frac{1}{2} g t^2$$



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Nel laboratorio non devo ricavare le leggi,
ma verificarle (rigettarle).

Misurare



$$h=\frac{1}{2}gt^2$$

Misurare:

trovare una relazione tra una grandezza fisica e la sua unità di misura.

- **Grandezza fisica**:

  entità che soddisfa il

  - criterio di **uguaglianza**,
  - criterio di **somma**,

  e per l'universalità delle leggi fisiche

  - un **campione** di misura:

  universalmente riconosciuto ed immutabile nel tempo.

Non ci confrontiamo con il campione, ma usiamo strumenti "calibrati": l'incertezza di "*accuratezza*" è minore dell'incertezza di "*misura-lettura*".

Non deduciamo leggi, ma …

Dal criterio di uguaglianza e di somma:

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

Posso sommare e uguagliare solo grandezze simili.

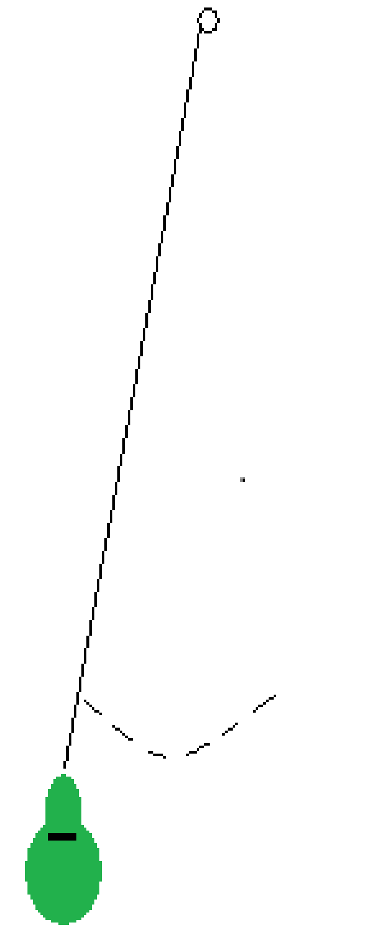
Controllare che una legge vada bene con l'analisi dimensionale: SI – sommario.

http://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_summary_en.pdf

Ma anche le unità di misura devono essere simili.

Se h in m, t in s e g in m s^{-2} : OK.

Analisi dimensionale: necessaria, ma non sufficiente



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

o

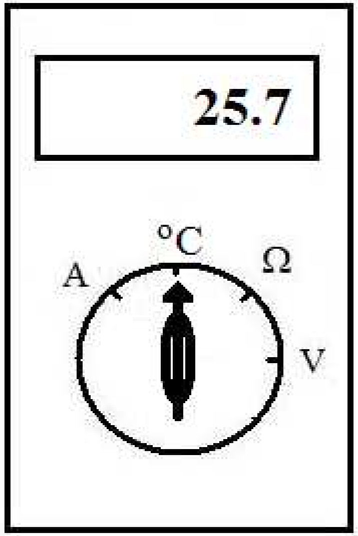
$$T = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Nelle scuole superiori possiamo verificare la legge più facilmente in laboratorio, che dedurla dall'equazione differenziale:

$$ml\frac{\mathrm{d}^2\vartheta}{\mathrm{d}t^2} = mg\,\mathrm{sen}\,\vartheta \overset{\text{piccole oscillazioni}}{\approx} mg\vartheta,$$

ma bisogna tenere ben presente le condizioni al contorno.

Misura e incertezza di lettura



a)

Il valore minimo, che leggete, è detto unità fondamentale (u.f.) o risoluzione

- Il misuratore fornisce la misura diretta della grandezza.

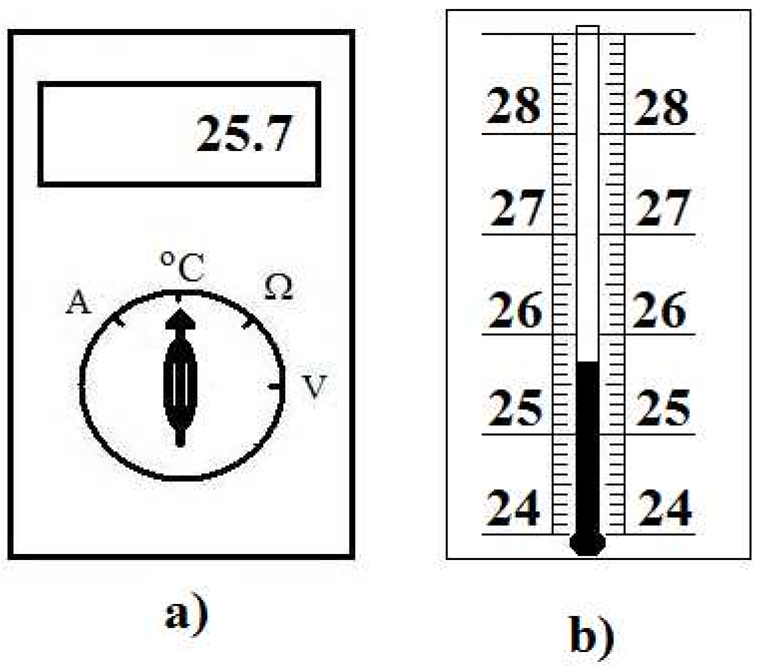
  Non c'è da discutere con i visualizzatori digitali: l'incertezza è + o – metà della risoluzione (u.f.).

$$T = 25.7 \pm 0.05\,°\mathrm{C}$$

$$25.7 - 0.05\,°\mathrm{C} \le T \le 25.7 + 0.05\,°\mathrm{C}$$

- **Con il visualizzatore digitale, ormai più diffuso, il problema non si pone.**
- **IMPORTANTE: ogni** strumento è **accurato** al limite della risoluzione, perciò tale incertezza di lettura si usa come incertezza per una **stima a priori**.

Misura e incertezza di lettura



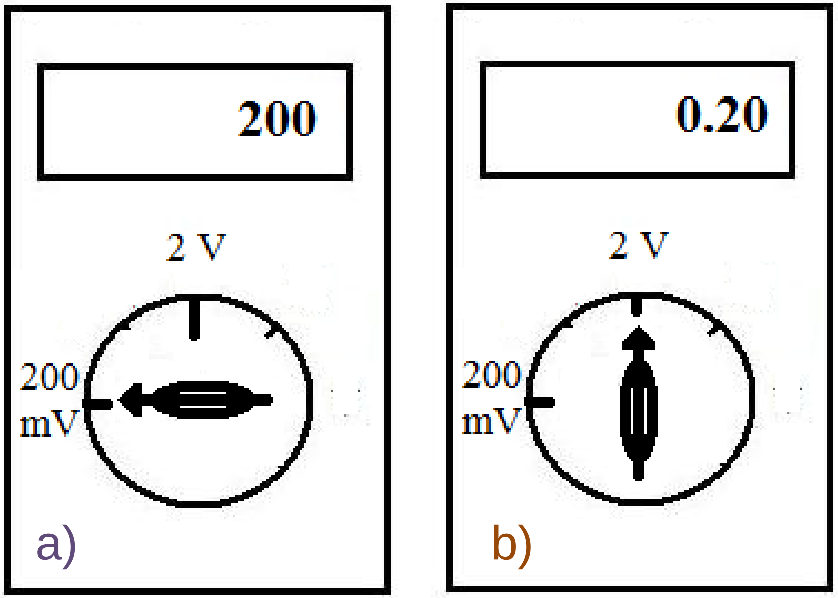
$$T = 25.7 \pm 0.05\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Intervallo tra tacche riportate detta unità fondamentale (u.f.) o risoluzione.

- Per le scale graduate è **convenzione** utilizzare come incertezza ½ della minima quantità sulla scala, detta anche unità fondamentale o risoluzione.
- **Convenzione ?**
- **Ogni strumento viene fornito con la garanzia, che l'incertezza di accuratezza sia minore o al massimo uguale a quella di lettura.**

- **RIBADISCO: ogni** strumento è **accurato** al limite della risoluzione, perciò tale incertezza di lettura si usa come incertezza anche per una **stima a priori**.

Sensibilità di misura e di lettura



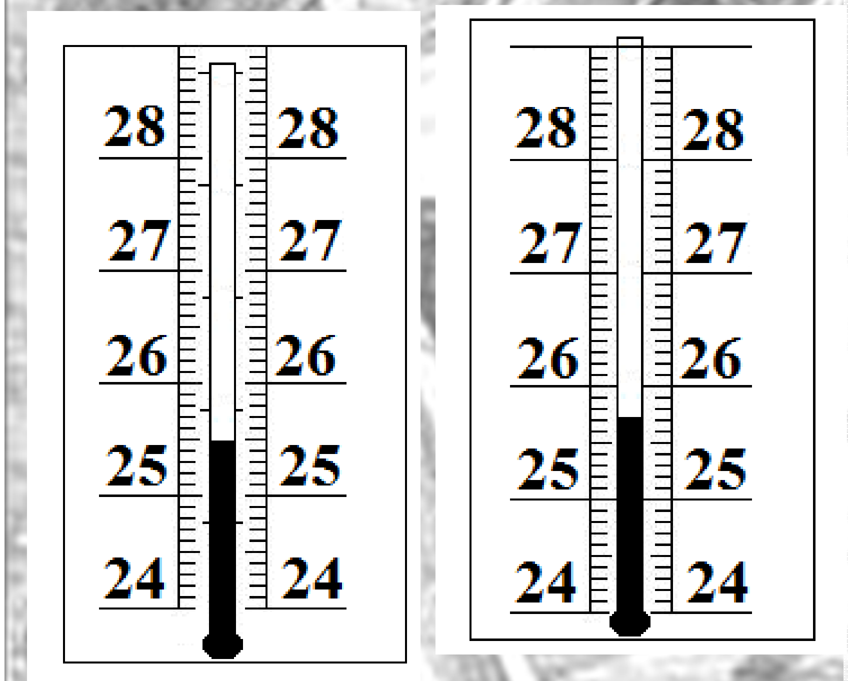
- **Sensibilità di lettura**:
  - minima variazione rilevabile in lettura: a) 0.5 mV, b) 0.005 V .
- **Sensibilità di misura:**
  - minima variazione rilevabile da uno strumento,

  equivale alla sensibilità di lettura per il fondoscala minore, caso a).

- **Portata** di uno strumento: massimo valore misurabile.
- **Soglia** di uno strumento: minimo valore misurabile.
- Strumenti con **fondoscala variabile** (massimo valore di lettura) forniscono **incertezze di lettura differenti**.

Importante: **l'incertezza di lettura, deducibile dal numero che leggiamo.**

Incertezza di accuratezza *



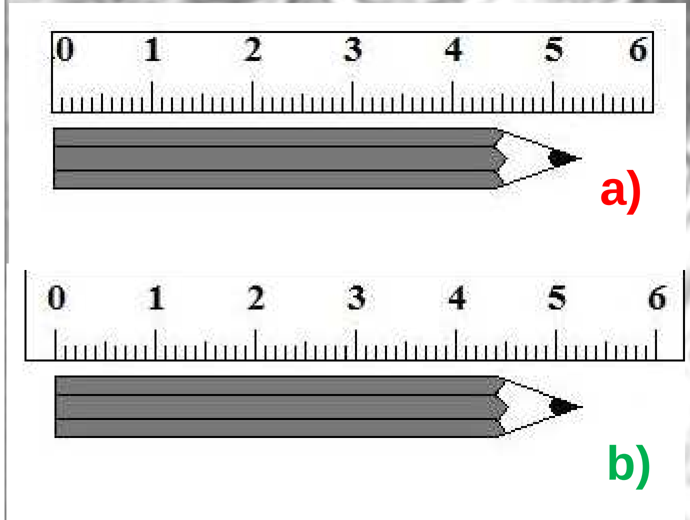
- Tali incertezze si presentano sempre con lo stesso segno (+ oppure -) rispetto al valore (vero), per individuarle, si devono calibrare gli strumenti o confrontarli con altri calibrati.

Per calibrazione intendiamo o tale procedura di confronto o l'applicazione di una **legge Fisica** che ci permetta sperimentalmente di individuare l'incertezza di accuratezza.

In questo caso punto di ebollizione 100 °C e di congelamento 0 °C dell'acqua.

Per * le esperienze tornano qualitativamente e non quantitativamente.

Misure: diretta e indiretta



Misura diretta: confronto diretto con regoli (lunghezza).

Nel caso a) inizio del regolo e inizio della matita posso appoggiarli su un piano, la misura è la coincidenza della fine della matita con le tacche risolvibili: quanto e con che incertezza?

53 mm e l'incertezza? (0.5 mm)

Caso b) Indiretta

La misura è frutto di una relazione, anche in questo caso è una differenza tra la posizione finale della matita meno la posizione iniziale della matita.

Indiretta: relazione fra più grandezze.

In generale con strumenti che forniscono direttamente la misura:

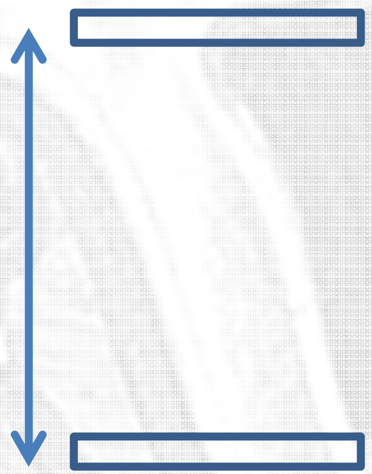
Velocità

- con **tachimetro**: diretta;
- **rapporto** tra **spazio** percorso e **tempo** impiegato: indiretta.

Massa

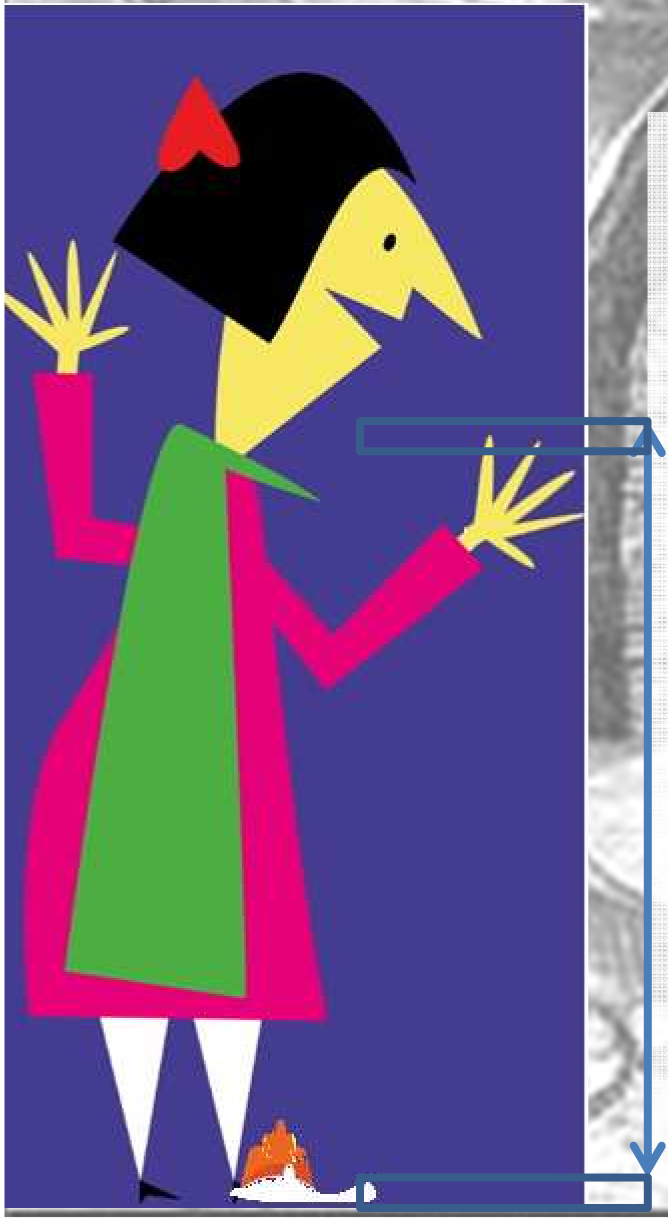
- **Solidi** con bilancia diretta.
- **Liquidi**: lordo –tara: indiretta.

Sensoristica : abilità e/o complicazione



- Traguadri segnati su lavagna, parete,
  - Interruttore mano, sensore occhi.
    - incertezza su *h* misurata con un regolo (diretta-indiretta).
    - misura con cronometro (a casa con cellulare).
- si possono fare
  - misure singole,
  - misure ripetute.

Sensoristica: abilità e/o complicazione



- Utilizzare i propri sensori o interruttori:
  - Interruttore di sgancio: mano.
  - Sensore di arrivo: piede, l'udito, la vista.
  - Cronometrare con l'altra mano il tempo impiegato.
  - Magia o previsione? Io sono alto

h = 1.82 m, mi aspetto t = 0.61 s.

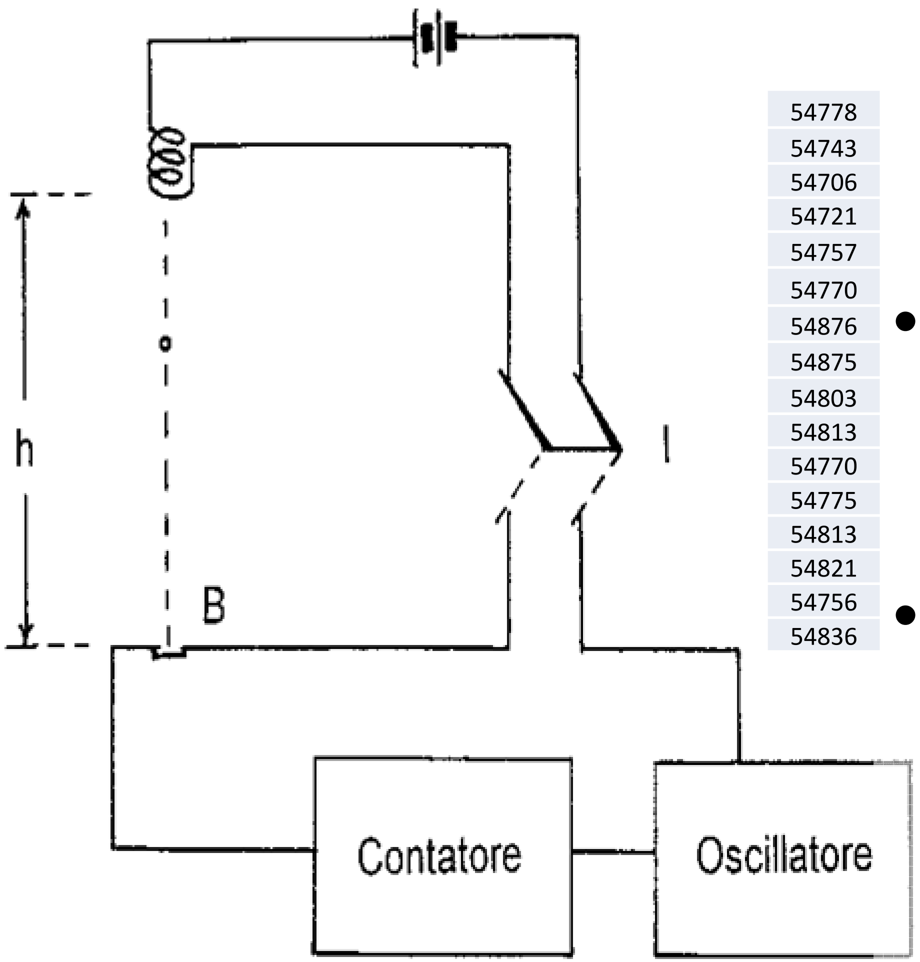
  - Usare la caduta del grave per misurare l'altezza degli studenti.

Misure ripetute

- Ripetiamo la misura di tempo, lasciando cadere l'oggetto e osserviamo che otteniamo misure diverse ogni volta.
- Possiamo inventarci qualsiasi effetto e complicarci la vita, per eliminare eventuali problemi.
- Ma aumentando la risoluzione, si amplificherà il contributo delle incertezze casuali.

Apparato per la misura precisa di *g*:

maggiore precisione = maggiore complicazione



54778
54743
54706
54721
54757
54770
54876
54875
54803
54813
54770
54775
54813
54821
54756
54836

- L’interruttore I chiuso sull’elettromagnete, che sostiene una sferetta.
- Si commuta l’interruttore, che rilascia la sferetta, e collega il generatore di impulsi al contatore (inizio).
- Quando la sfera passa attraverso un altro interruttore (B ad induzione magnetica) allora si apre il circuito tra contatore e oscillatore (fine).

54778, 54743, 54706, 54721, 54757, 54770, ecc. ecc.

Discutiamo un caso con un buon controllo e utilizzabile anche a casa

- **Pendolo** utilizzabile in classe, ottimo per introdurre le incertezze casuali.
- Si osserva che le rilevazioni si distribuiscono in un modo simmetrico rispetto ad un valore centrale.
- **Incertezze casuali**: compaiono con la stessa probabilità con segno positivo e segno negativo.

Ci sono esperienze che possiamo condurre con facilità in classe?

- Il pendolo è un sistema pratico per introdurre la teoria delle incertezze.
- Posso prevedere qual è il periodo di oscillazione dalla relazione:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

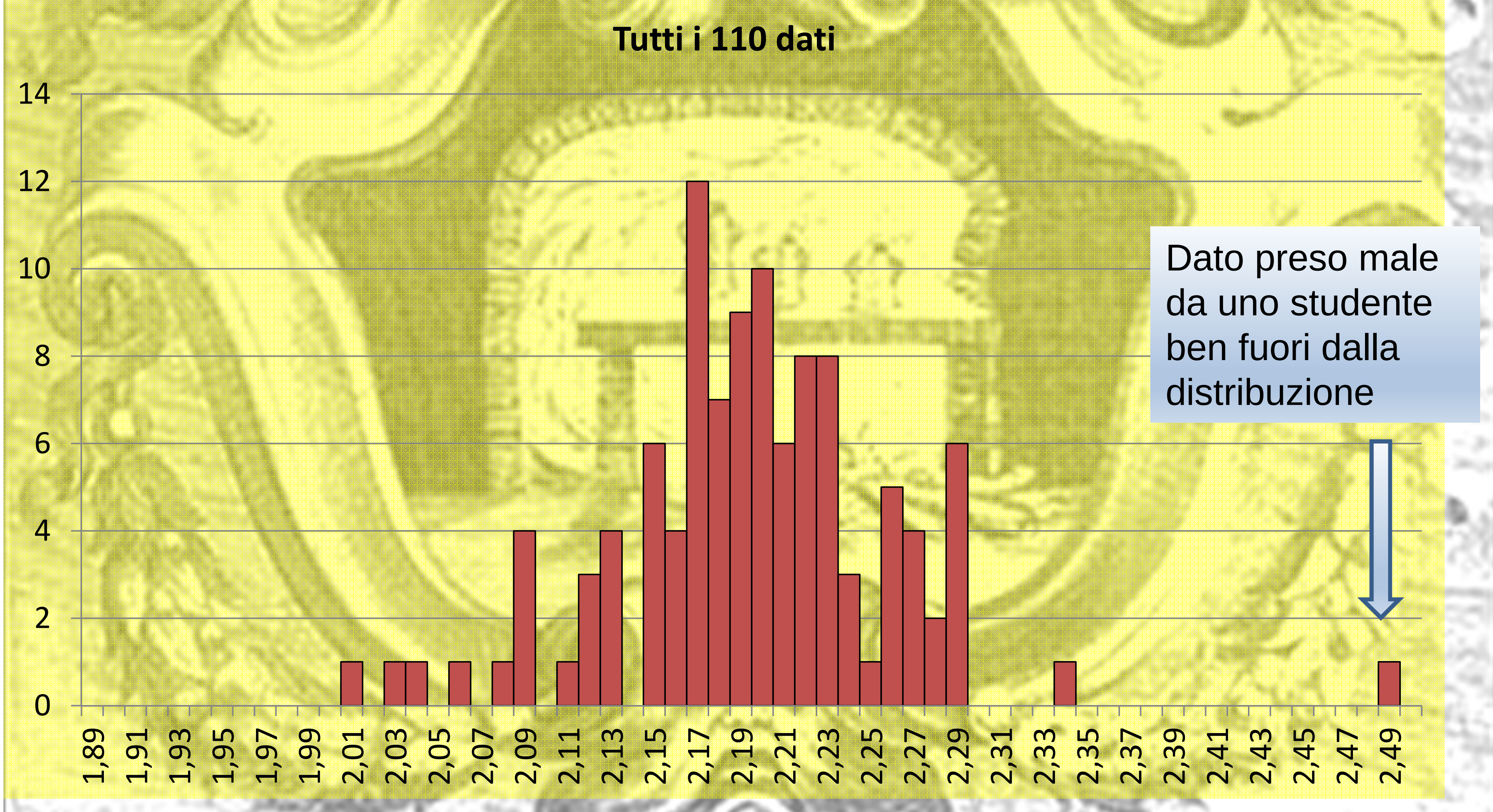
- Da sperimentale prendo la legge e la verifico, userò il sistema, per presentare come possa essere l'approccio sperimentale.
- PREVISIONI: su un cordino ed un piombo pescato a 15 m di profondità ad Otranto, di fronte alla ex cava di Bauxite.

Per l ~ 1.15 m si ha T = 2.15 s.

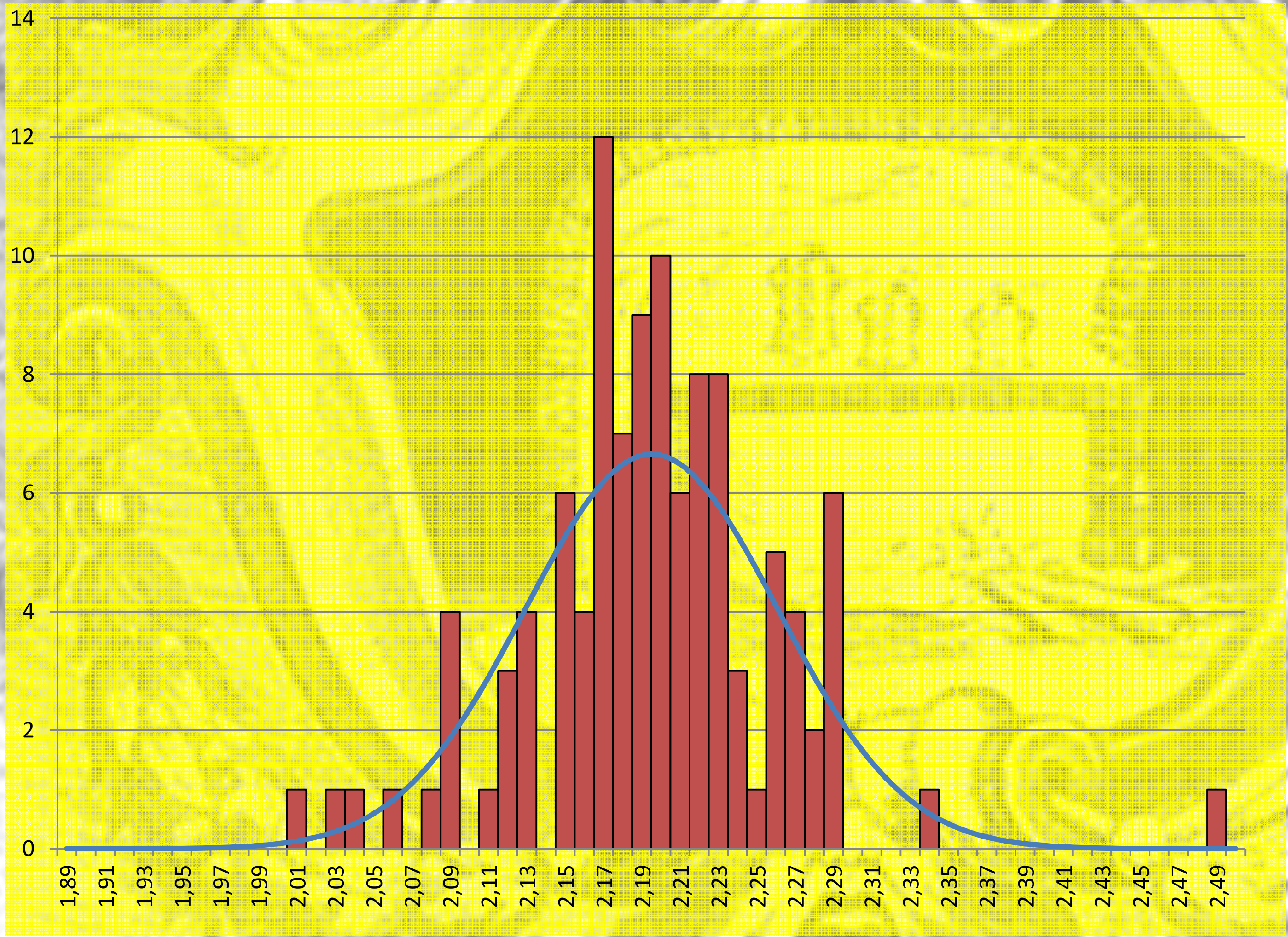
Misure ripetute (1 osc. 10 v.) da 11 studenti

$j_{studente}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i dati	S.	L.1	M1	N	M2	A	L2	S	E	F	M3
1	2,49	2,15	2,16	2,22	2,27	2,18	2,24	2,20	2,09	2,20	2,23
2	2,03	2,18	2,19	2,17	2,23	2,12	2,21	2,19	2,21	2,22	2,18
3	2,15	2,18	2,28	2,19	2,09	2,22	2,12	2,29	2,18	2,23	2,04
4	2,15	2,16	2,29	2,29	2,23	2,19	2,20	2,28	2,19	2,19	2,24
5	2,17	2,18	2,22	2,20	2,22	2,17	2,22	2,21	2,26	2,26	2,34
6	2,08	2,13	2,20	2,17	2,13	2,21	2,17	2,22	2,12	2,22	2,17
7	2,06	2,18	2,11	2,17	2,23	2,09	2,17	2,26	2,20	2,27	2,19
8	2,29	2,19	2,21	2,26	2,29	2,13	2,21	2,15	2,20	2,29	2,15
9	2,20	2,16	2,17	2,27	2,20	2,13	2,25	2,23	2,17	2,27	2,17
10	2,15	2,01	2,19	2,16	2,24	2,17	2,26	2,23	2,23	2,20	2,09

Distribuzione dei dati organizzati su larghezza ris (= valore letto).

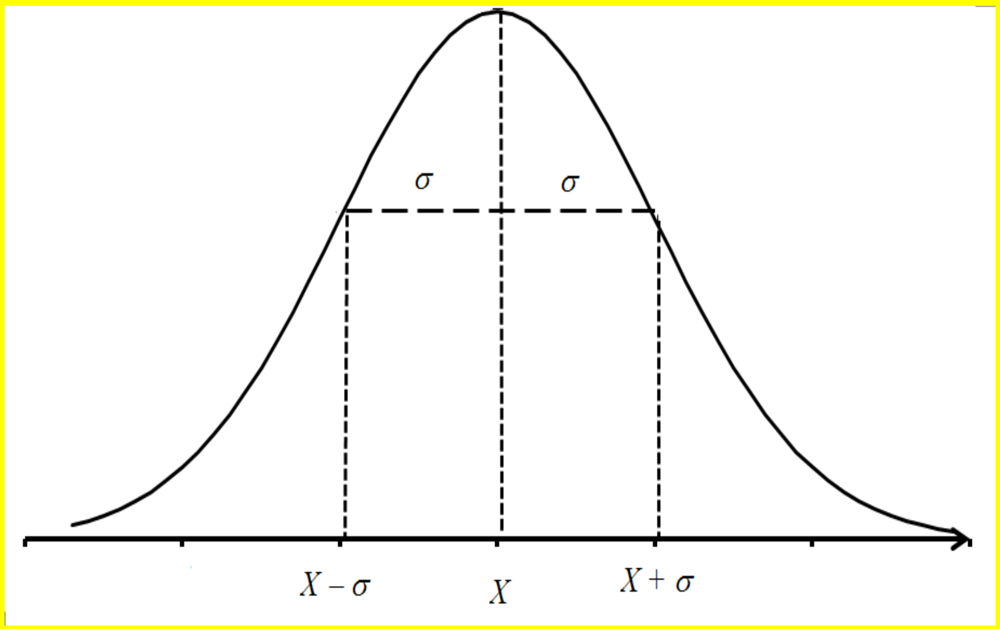


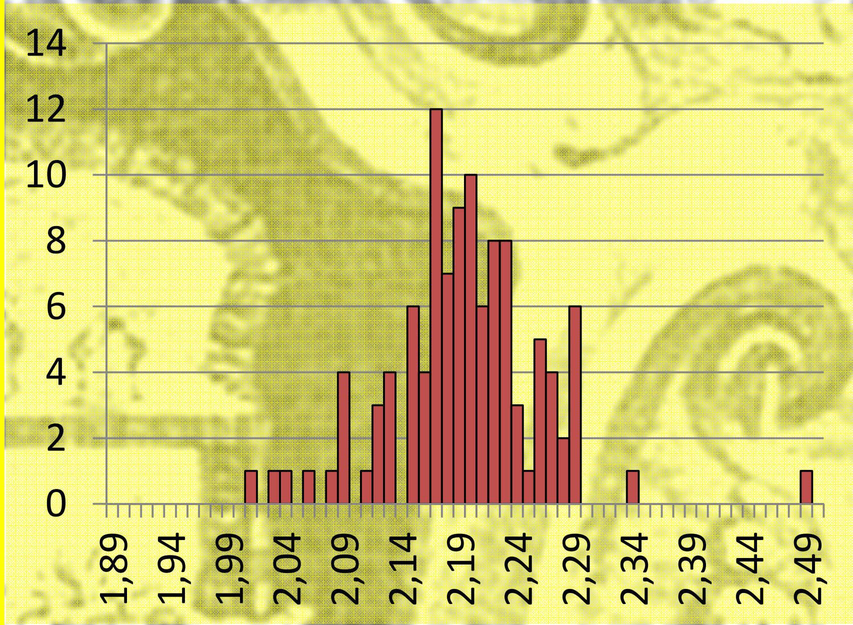
Curva attesa per misure affette da incertezze casuali



$$G_{(X,\sigma)}\Delta x N$$

Curva attesa per misure affette da incertezze casuali-gaussiana





X centralità – valore più probabile
σ unico punto individuabile sulla curva, cambio di concavità, preso per questo come distanza (deviazione) standard

X stimato con i dati media $\bar{x}$

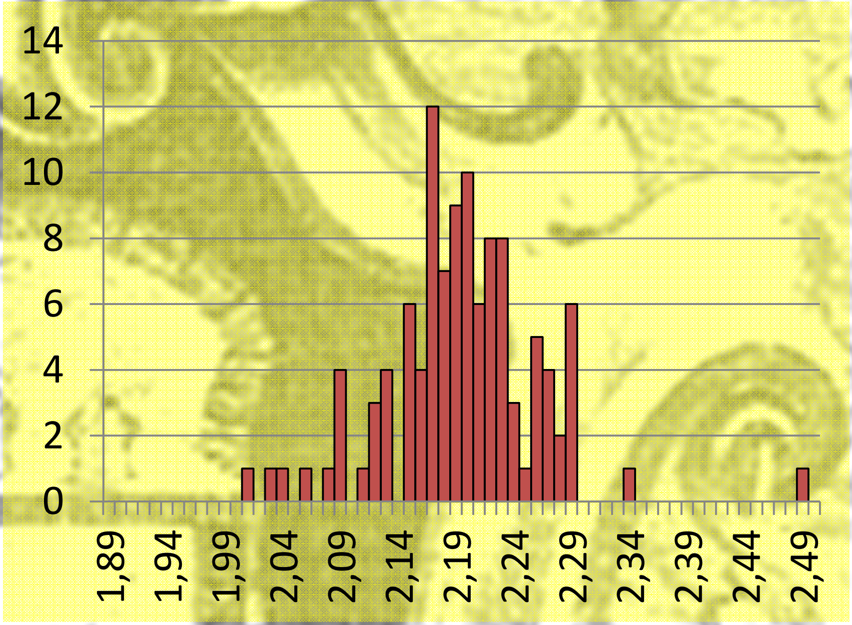
σ stimato dai dati come deviazione standard del campione σ_x

Stime dei parametri X σ dai dati

Se abbiamo $x_1, x_2, \dots, x_n$ dati:

$$X_{ms} = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

$$X_{ms} = \bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}$$



$$\sigma_{ms}^2 = \sigma_x^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_2 - \bar{x})^2}{n-1}$$

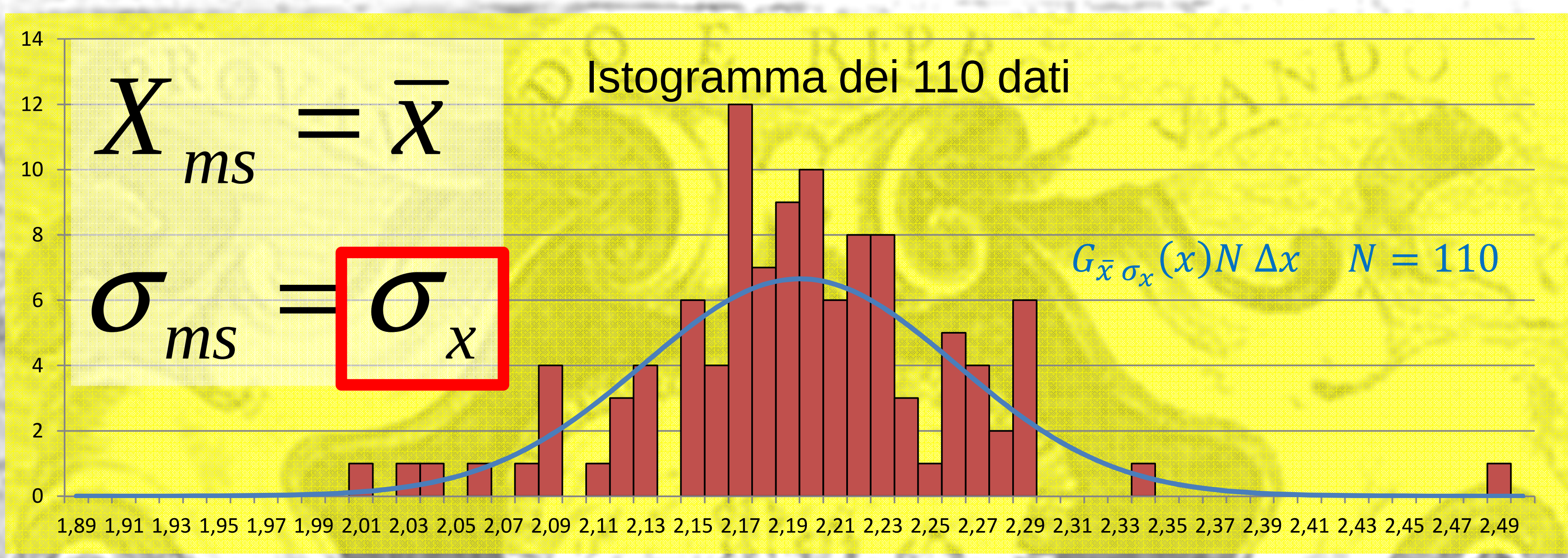
$$\sigma_{ms} = \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

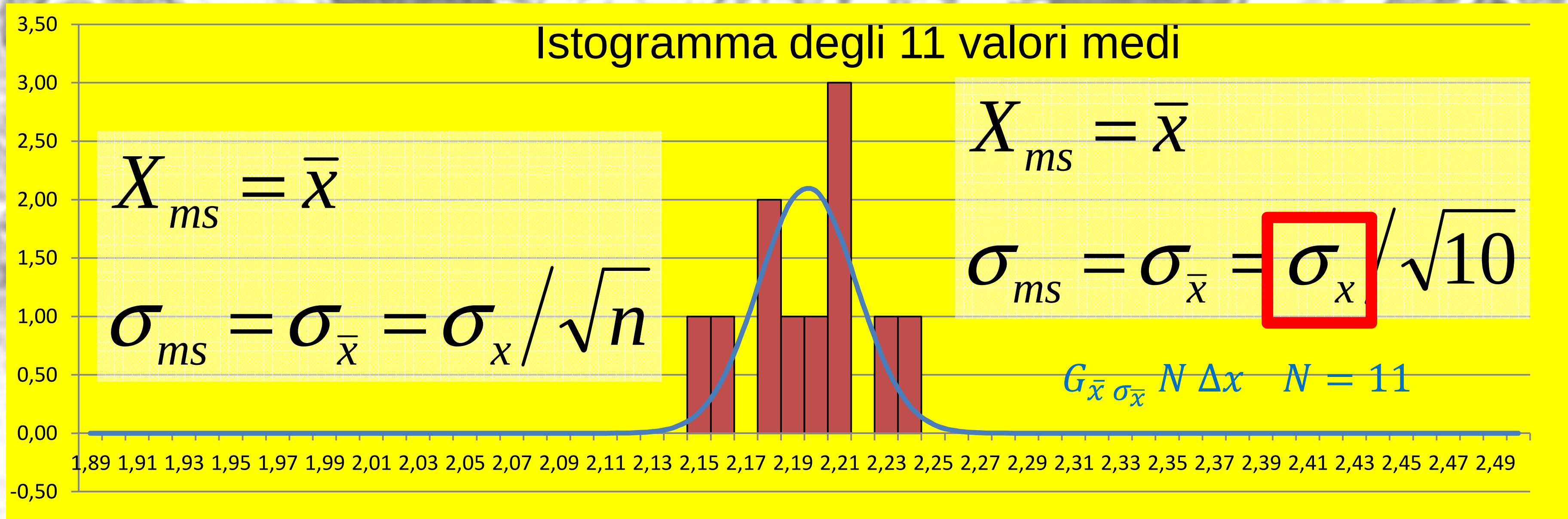
σ stimato dai dati come deviazione standard del campione σ_x

Media, dev. Stand. e dev. Stand. media

$j_{studente}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nome											
i_{misura} 1	2,49	2,15	2,16	2,22	2,27	2,18	2,24	2,20	2,09	2,20	2,23
2	2,03	2,18	2,19	2,17	2,23	2,12	2,21	2,19	2,21	2,22	2,18
3	2,15	2,18	2,28	2,19	2,09	2,22	2,12	2,29	2,18	2,23	2,04
4	2,15	2,16	2,29	2,29	2,23	2,19	2,20	2,28	2,19	2,19	2,24
5	2,17	2,18	2,22	2,20	2,22	2,17	2,22	2,21	2,26	2,26	2,34
6	2,08	2,13	2,20	2,17	2,13	2,21	2,17	2,22	2,12	2,22	2,17
7	2,06	2,18	2,11	2,17	2,23	2,09	2,17	2,26	2,20	2,27	2,19
8	2,29	2,19	2,21	2,26	2,29	2,13	2,21	2,15	2,20	2,29	2,15
9	2,20	2,16	2,17	2,27	2,20	2,13	2,25	2,23	2,17	2,27	2,17
10	2,15	2,01	2,19	2,16	2,24	2,17	2,26	2,23	2,23	2,20	2,09

$\overline{x}_j$	2,18	2,15	2,20	2,21	2,21	2,16	2,21	2,23	2,19	2,24	2,18
σ_j	0,13	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,08





Se la grandezza segue Gauss, sono autorizzato a fornire l'incertezza stimata della distribuzione dei valori medi ovvero la deviazione standard della media

Combinare le incertezze: casuale

Supponete di leggere la temperatura e osservare solo due valori x_1 = 25 °C e x_2 =26 °C, Il misuratore oscilla sempre tra questi due valori. Supponiamo di avere *n* dati, saranno *n*/2 x_1 e *n*/2 x_2.

$$\bar{x} = \frac{{}^{n}/_{2}\, x_1 + {}^{n}/_{2}\, x_2}{n} = \frac{n}{2}\frac{x_1 + x_2}{n} = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$\bar{x} = 25.5\ °\mathrm{C}$$

$$\bar{x} = x_1 + \frac{1}{2} u.f.$$

$$\bar{x} = x_2 - \frac{1}{2} u.f.$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\frac{n}{2}(x_1 - \bar{x})^2 + \frac{n}{2}(x_2 - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{n}{2}\frac{(-{}^{1}/_{2}\, u.f.)^2 + ({}^{1}/_{2}\, u.f.)^2}{n-1}}$$

$$\sigma_x == \sqrt{\frac{n}{2}\frac{1/4(u.f.)^2 + 1/4(u.f.)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{n}{4}\frac{(u.f.)^2}{n-1}} \overset{n\ grande}{\rightarrow} \frac{1}{2} u.f.$$

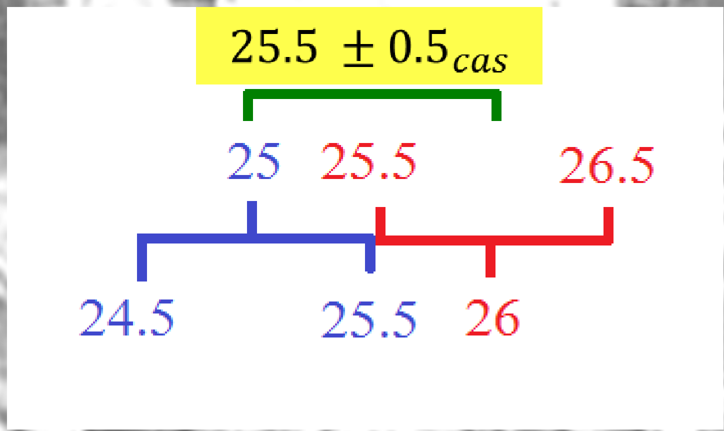
$$x = 25.5\ \pm 0.5_{cas}\ °\mathrm{C}$$

Combinare le incertezze: … e lettura

Abbiamo solo l'incertezza casuale?

$$x = 25.5 \pm 0.5_{cas}\ °C$$

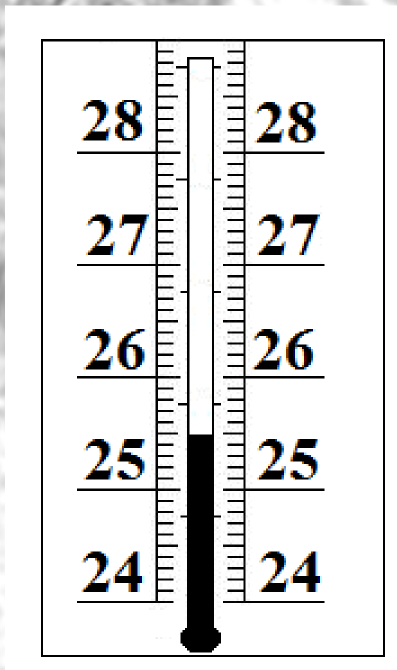
Dobbiamo considerare anche quella di lettura?

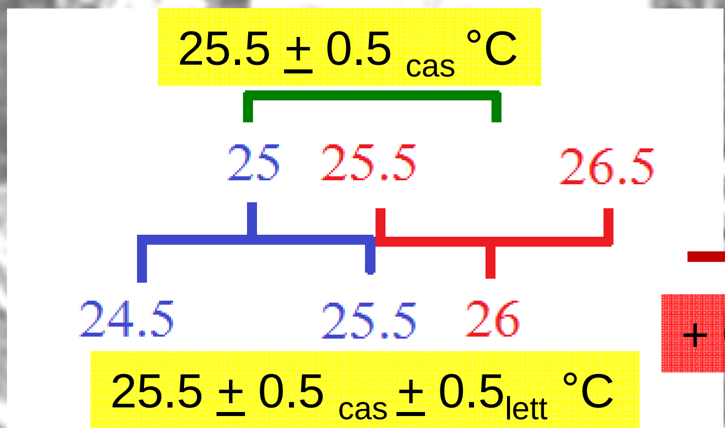


$$x = 25.5 \pm 0.5_{cas} \pm 0.5_{lett}°C$$

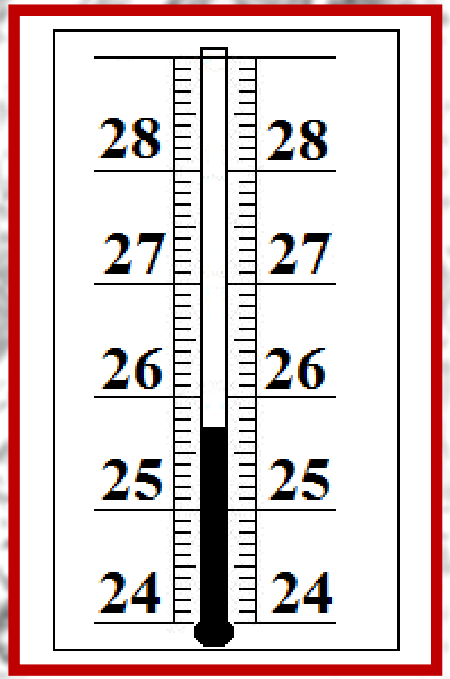
Combinare le incertezze: … e accuratezza

Se il termometro è scalibrato, vedi prima, e si osserva che tutte le misure sono spostate di, per esempio, – 0.2 °, dobbiamo correggere tutto di + 0.2 °C, quindi sommare tale valore:





+ 0.2 °C



$25.5 \pm 0.5_{\text{cas}} \pm 0.5_{\text{lett}} + 0.2_{\text{acc}}$ °C

La statistica: permette la somma in quadratura

Somma lineare: le incertezza, si combinano sempre nello stesso verso, quando si ha il massimo di incertezza di una si ha il massimo delle altre, e così i minimi, questo accade nel caso di correlazione tra incertezze (vedremo). Incertezze casuali, di lettura e di accuratezza sono scorrelate tra loro

Le incertezze si possono sommare in quadratura:

$$T = 25.5 \pm \sqrt{0.5_{cas}^2 + 0.5_{lett}^2} + 0.2_{\mathrm{acc}}\ °\mathrm{C}$$

Conosciamo il segno nell'incertezza di accuratezza

$$T = 25.5 \pm \sqrt{0.5_{cas}^2 + 0.5_{lett}^2 + 0.2_{acc}^2}\ °\mathrm{C}$$

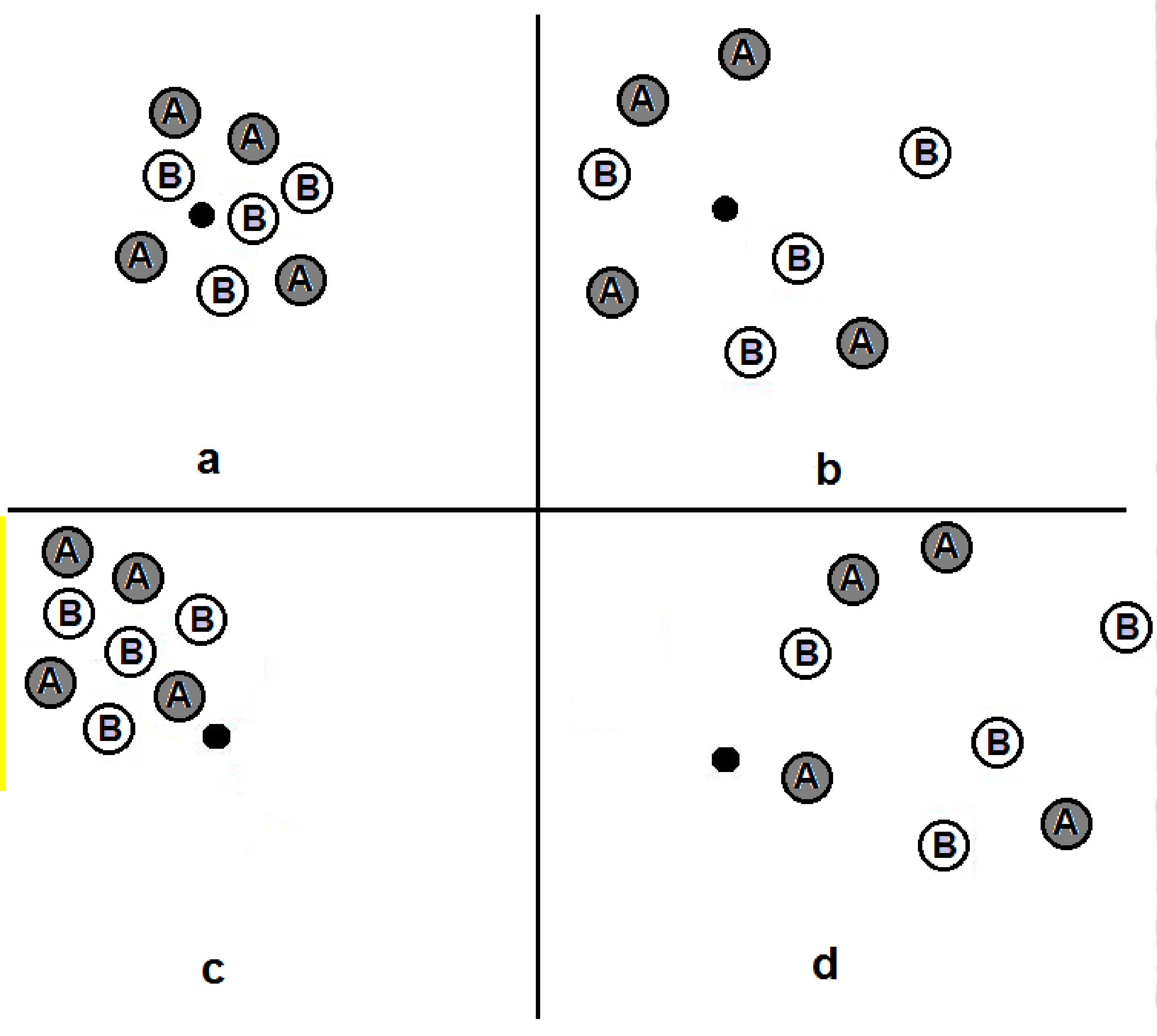
NON Conosciamo il segno nell'incertezza di accuratezza

Schema su incertezze

Accuratezza: $\frac{1}{|\eta_x|}$

precisione: $\frac{1}{|\epsilon_x|}$

Grado di precisione: $\frac{1}{\sqrt{\sigma_x^2+\varepsilon_x^2}}$



Il pallino è il valore atteso, che non sappiamo dove si trova.

Approfondimenti:

- σ_x associata alla Gaussiana, probabilità previsionale 68 %, varianza σ_x^2.
- diamo all'incertezza di lettura un simbolo ε_x, tale incertezza ha una prob. 100 %, la varianza è $\varepsilon_x^2/3$ probab. al 57 %.
- Così accuratezza η_x prob. 100 %, $\eta_x^2/3$ probab. al 57 %.

Diamo il simbolo δ all'incertezza totale:

Se Gaussiana

$$\delta x = \sqrt{\sigma_x^2 + \varepsilon_x^2 + \eta_x^2}$$

valore assoluto

$$\delta x = \sqrt{\sigma_x^2/n + \varepsilon_x^2 + \eta_x^2}$$

$$\delta x = \sqrt{\sigma_x^2 + \varepsilon_x^2/3 + \eta_x^2/3}$$

espressione con le varianze

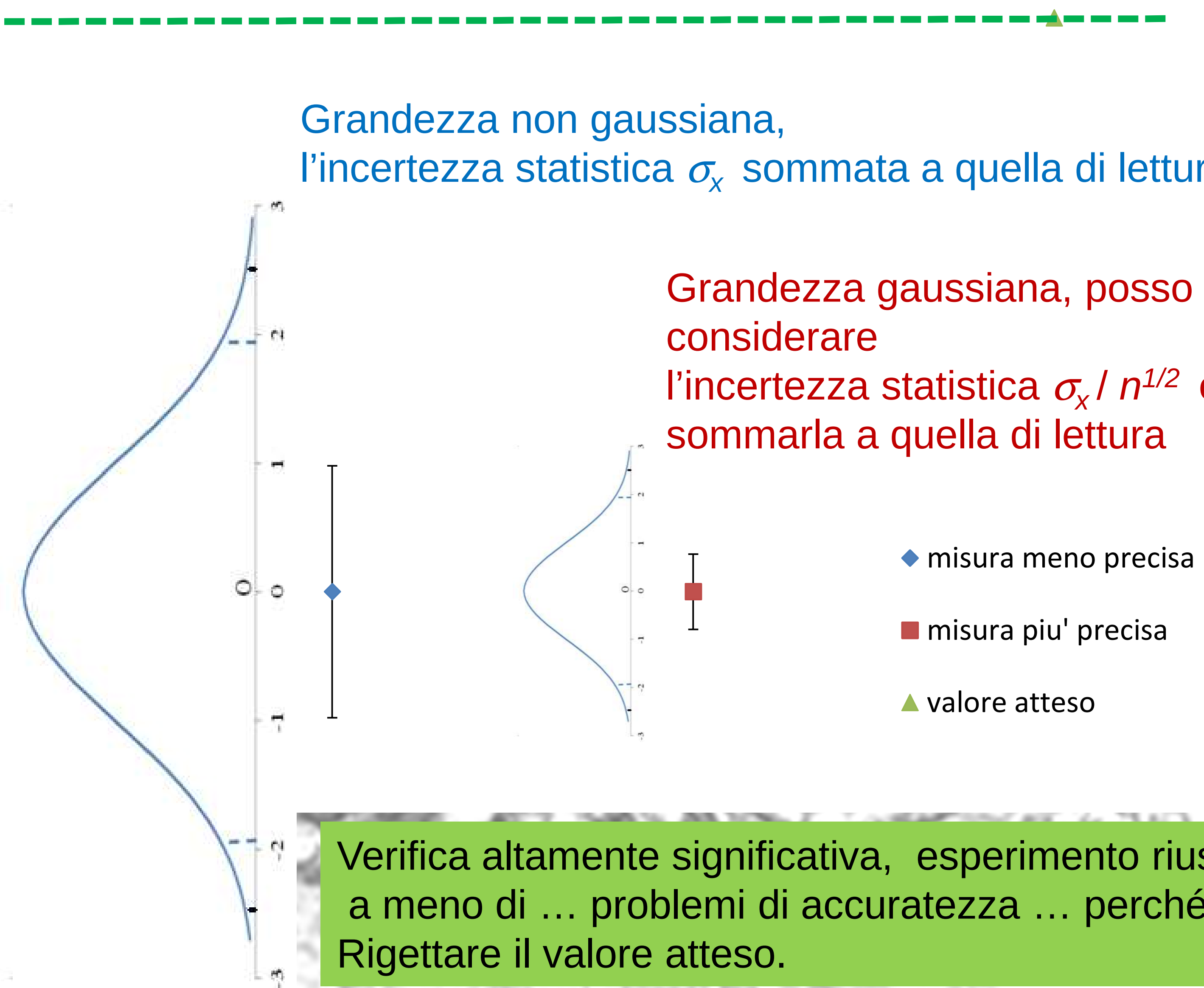
$$\delta x = \sqrt{\sigma_x^2/n + \varepsilon_x^2/3 + \eta_x^2/3}$$

Conclusione:

Non vogliamo rischiare più del 1 % di rigettare un'ipotesi, che potrebbe essere buona.

Grandezza non gaussiana,
l'incertezza statistica σ_x sommata a quella di lettura

Grandezza gaussiana, posso considerare
l'incertezza statistica $\sigma_x / n^{1/2}$ e sommarla a quella di lettura



Verifica altamente significativa, esperimento riuscito,
a meno di … problemi di accuratezza … perché posso
Rigettare il valore atteso.

Decisione: dati gaussiani?

Se vogliamo usare la media e la deviazione standard:
almeno 10 dati per una buona stima del valore medio,
almeno 30 per una buona stima di σ,
più di 40 per verificare, che sia gaussiana.

Per meno dati valore centrale e semi - dispersione.

Valore centrale = (x_{max} +x_{min})/2, semidispersione Δ_x = (x_{max} - x_{min})/2 100 %

110 dati precedenti **media** e **deviazione standard** T= 2.20 ± 0.07 s (* 2.58 =**0.17 s**)

110 dati precedenti **val. centr** e **semidispersione** T= 2.25 ± **0.24** s

Tiro via il dato 2.49 s dai precedenti 110 dati

109 dati: **media** e **deviazione standard** T= 2.19 ± 0.06 s ((* 2.58 = **0.16** s)

109 dati: **val. centr** e **semidispersione** T= 2.18 ± **0.17** s

Valore centrale e semidispersione «accettabili», se non ci sono misure «sbagliate».

Incertezza totale e relativa

- Incertezza totale: δx

  (comprende σ_x o Δ_x , e ε_x,η_x).
- Incertezza relativa: $\delta x/|x|$.
- Si consiglia di presentare i risultati con un num. di cifre significative non superiori al «necessario»: aspetto-presentazione del risultato e

variazioni su una cifra dell'incertezza relativa

Esempio dal testo proposto:
25.756 458 $\pm$1.245 793,
108.455 391 $\pm$ 5.245 787

Modo si presentare la misura

- Per l’incertezza totale sulla base della variazione di una sola cifra percentuale o millesimale, si riporta l’incertezza con una due cifre significative se la cifra più significativa è minore di 3.
- Si riportano con una sola cifra, se la prima cifra più significatica è **maggiore/uguale a 3**.

- Si armonizza poi la migliore stima

Esempio dal testo proposto:
25.8 ±1.3, 109 ± 5

Una differenza di qualche percento

Accettabile per un laboratorio didattico

MIGLIORE STIMA		Incertezza TOTALE	Incertezza RELATIVA	
25.756458	+	1.245793	0.048	0.05
25.75646	+	1.24579	0.048	0.05
25.7565	+	1.2458	0.048	0.05
25.757	+	1.246	0.048	0.05
25.76	+	1.25	0.049	0.05
25.8	+	1.3	0.050	0.05
26	+	1	0.038	0.04

MIGLIORE STIMA		Incertezza TOTALE	Incertezza RELATIVA	
108.455391	+	5.245787	0.048	0.05
108.45539	+	5.24579	0.048	0.05
108.4554	+	5.2458	0.048	0.05
108.455	+	5.246	0.048	0.05
108.46	+	5.25	0.048	0.05
108.5	+	5.3	0.049	0.05
109	+	5	0.046	0.05

Utilizzando una sola cifra, si sottostimerebbe di un valore percentuale su 5 l'incertezza relativa

25.8 $\pm$1.3,

Utilizzando una sola cifra, non si osservano variazione nella stima nell'ordine del percento

109 $\pm$ 5

Approfondimenti: cifre per il calcolo

Accettabile per un laboratorio didattico

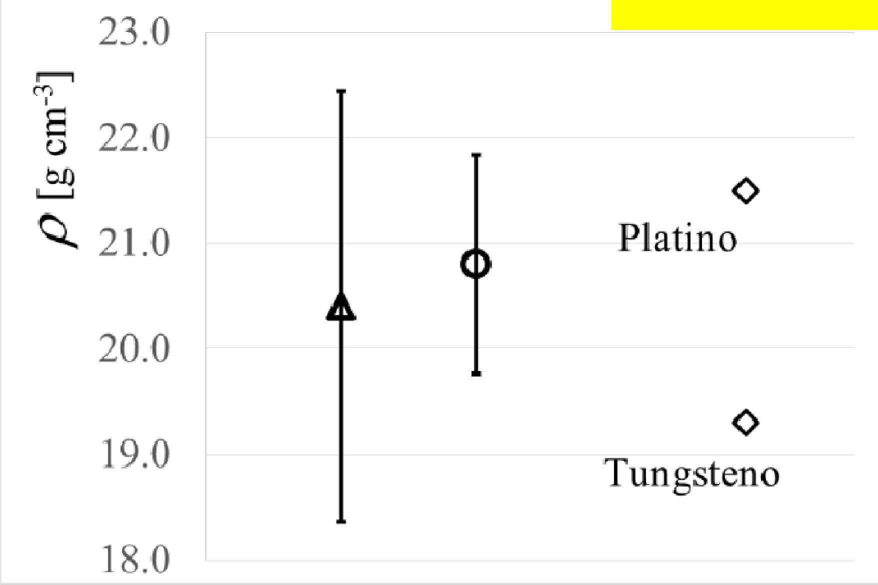
Migliore Stima		INCERTEZZA TOTALE	RELATIVA		Intervallo del 1 %
25.756458	±	1.25	0.048	0.05	3.21
25.75646	±	1.25	0.048	0.05	3.21
25.7565	±	1.25	0.048	0.05	3.21
25.757	±	1.25	0.048	0.05	3.21
25.76	±	1.25	0.049	0.05	3.23
25.8	±	1.3	0.050	0.05	3.35
26	±	1	0.038	0.04	2.58
108.455391	±	5.25	0.048	0.05	13.5
108.45539	±	5.25	0.048	0.05	13.5
108.4554	±	5.25	0.048	0.05	13.5
108.455	±	5.25	0.048	0.05	13.5
108.46	±	5.25	0.048	0.05	13.5
108.5	±	5.3	0.049	0.05	13.7
109	±	5	0.046	0.05	12.9

Nel caso di rischio di rigettare un'ipotesi buona, servirebbe più precisione.
Il modo di presentare un risultato, deve essere chiaro, nel calcolo sarebbe meglio portarsi dietro una cifra significativia in più.

**Per le scuole si può arrivare alla licenza
di una cifra significatica, ma si rischia di
rigettare un'ipotesi buona.**

Confronto tra una misura e valore atteso

Per ora grossolanamente



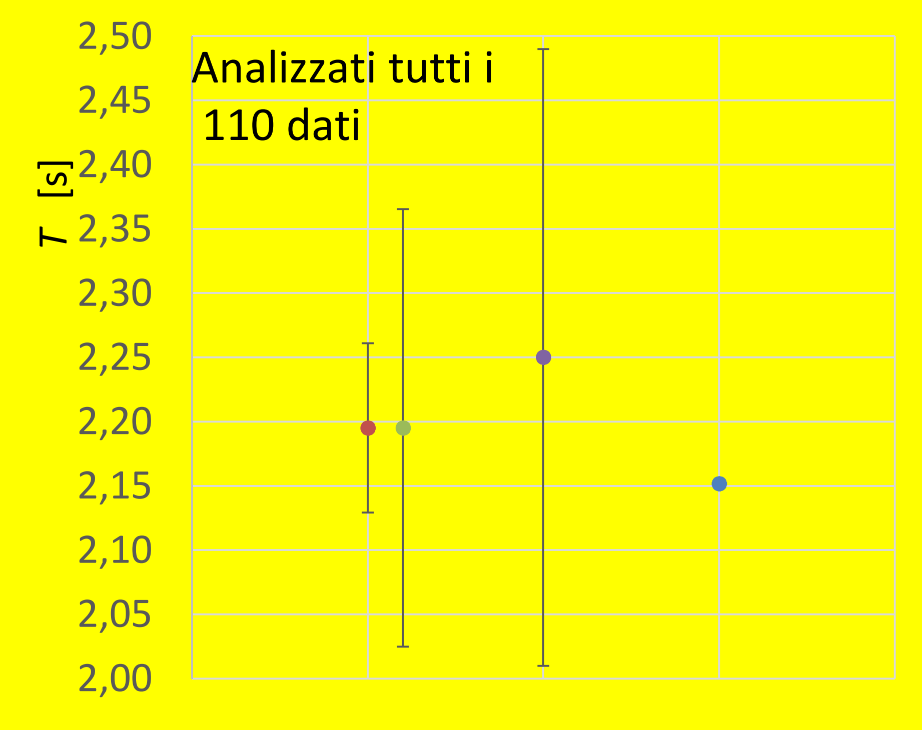
- Se il valore atteso casca all'interno della bande di incertezza (Gauss ? 2.58σ) lo riteniamo attendibile.
- Ma per essere conclusivi dobbiamo arrivare a rigettare alcune ipotesi,

fino ad accettarne solo una.

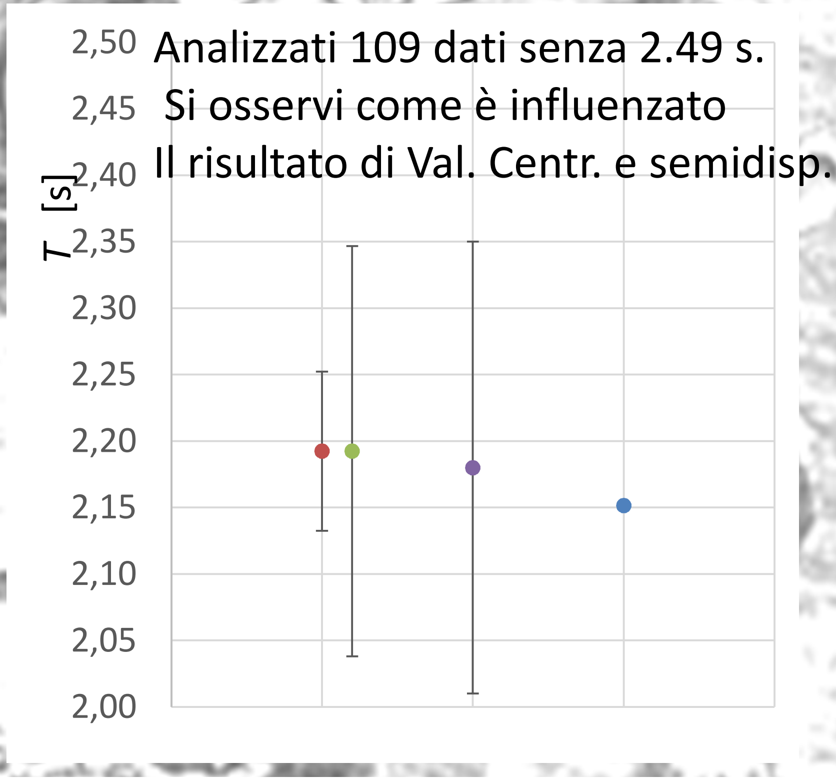
Esempio dal testo proposto:

$$\frac{|x_{ms} - x_{att}|}{\delta x} \leq 1$$

Pendolo: confronto tra T_{mis} con T_{att}



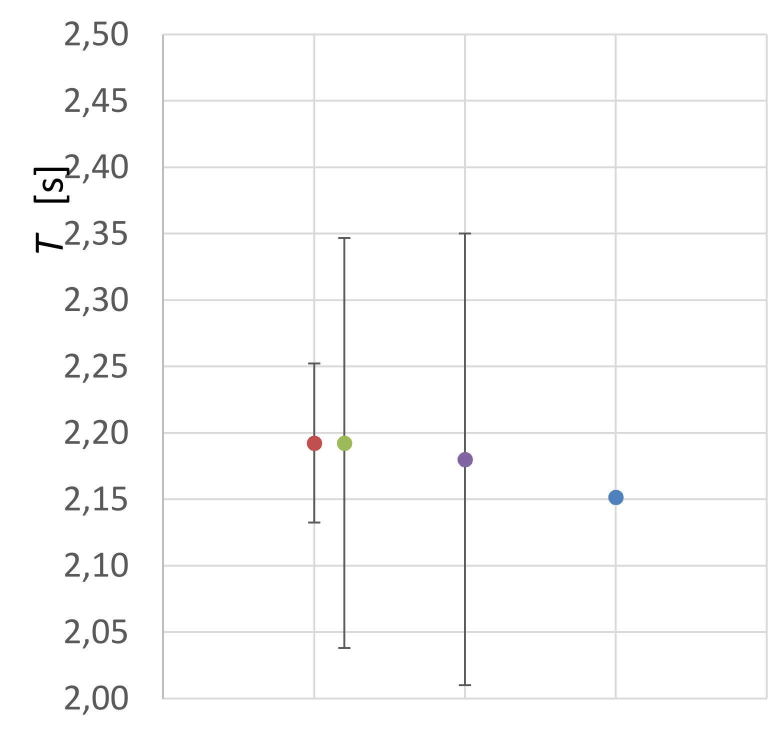
- Media e $\delta T = (\sigma_T^2 + \varepsilon_T^2/3)^{1/2}$
- intervallo del 99 % (2.58 δT)
- Valore centrale e semidispersione
- Valore atteso



- Media e $\delta T = (\sigma_T^2 + \varepsilon_T^2/3)^{1/2}$
- Intervallo del 99 %% (2.58 δT)
- Valore centrale e semidispersione
- Valore atteso

Usando valore centrarle e semidispersione, ci avviciniamo abbastanza alla discussione rigorosa statistica, se prendiamo abbastanza dati con accortezza.

Pendolo: confronto tra T_{mis} con T_{att}



Cosa concludereste?

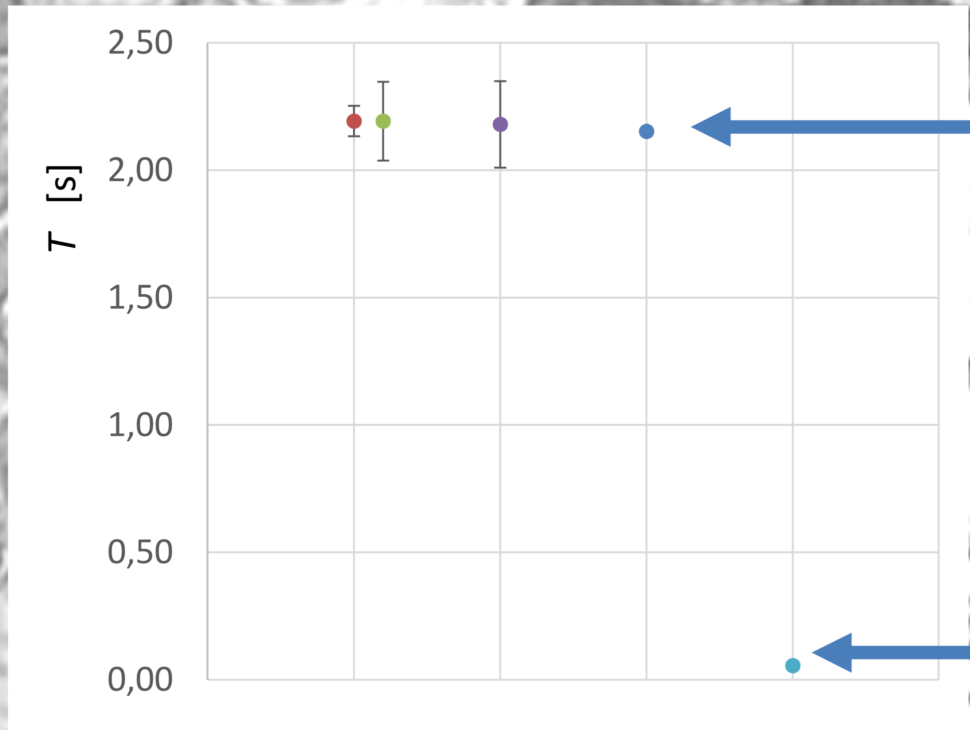
Direste che l'esperimento è riuscito?

Dal punto di vista dell'esperimento,
Cerchiamo di fare esperimenti per rigettare delle ipotesi.

- Media e $\delta T = (\sigma_T^2 + \varepsilon_T^2/3)^{1/2}$
- Intervallo del 99 %% (2.58 δT)
- Valore centrale e semidispersione
- Valore atteso

Conclusioni: ***verifica non significativa***

Ma se vogliamo verificare quale legge sia appropriata.

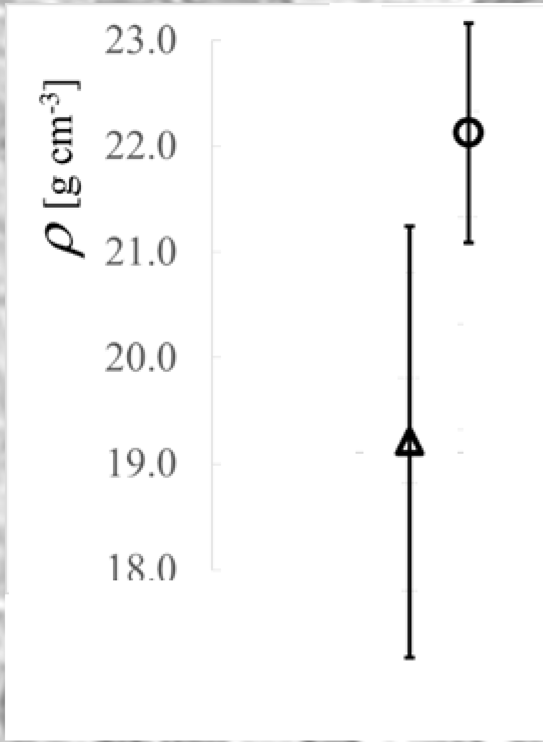


$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\cancel{T = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{l}{g}}}$$

La verifica per la legge $T = 1/(2\pi)\,(l/g)^{1/2}$ è altamente significativa, possiamo rigettarla.

Confronto tra due misure



Abbiamo due misure che indichiamo con *A* e *B*, ed incertezze δA e δB.

Si ipotizza che appartengano alla stessa popolazione (Gauss), quindi la differenza *A*-*B* dovrebbe tendere a zero e l'incertezza, vedremo, di una differenza è la somma delle δA e δB.

$$\frac{|(A-B)_{ms} - 0_{att}|}{\sqrt{(\delta A)^2 + (\delta B)^2}} \leq 1$$

- Se si sovrappongono le barre: misure consistenti.

Conclusioni prima parte

- Ci sono due possibili conclusioni:
  - se il risultato **conferma** le ipotesi,

    allora hai fatto una **misura**;

  - se il risultato è **contrario** alle ipotesi,

    allora hai fatto una **SCOPERTA**!

Aforisma attribuito ad E. Fermi.