Introduzione alla teoria della misura

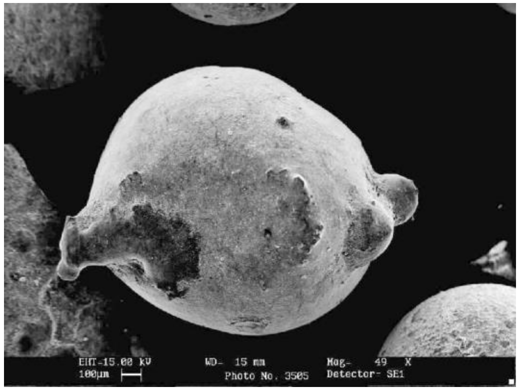
MISURA: informazione costituita da un numero, un'incertezza ed un'unità di misura, assegnata a rappresentare un parametro in un determinato stato del sistema.

INCERTEZZA: intorno limitato del valore di un parametro, corrispondente agli elementi della fascia di valore assegnatagli come misura.

UNITÀ DI MISURA: termine di riferimento adottato, per convenzione, per confrontare una grandezza con altre della stessa specie.

Esempio

Misura della dimensione di una sferula che si genera nella solidificazione di piccole gocce che vengono espulse durante la lavorazione tradizionale a caldo del ferro:



$$L = (1{,}3 \pm 0.1)\ \text{mm}$$

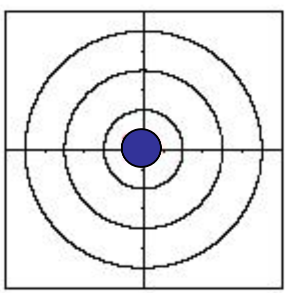
Il parametro viene rappresentato dall'intera fascia compresa fra 1,2 e 1,4 mm, che costituisce la misura del diametro della sferula; l'unità di misura è il millimetro, 1,3 è l'elemento centrale della fascia; ±0.1 mm è l'incertezza; la fascia viene designata indicando l'elemento centrale e l'incertezza

Misure precise ed accurate

Seguendo l'impostazione della teoria della misura basata sul valore vero si usa distinguere tra le cause di errore quelle di natura casuale da quelle di natura sistematica. Una misura per la quale sia trascurabile il contributo delle prime è detta **precisa**, mentre se è trascurabile il contributo delle seconde è detta **accurata.**

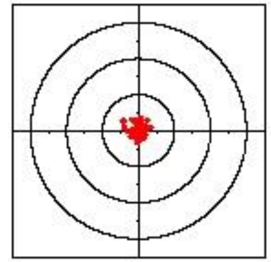
Il tiro al bersaglio può chiarire questa binomia: colpi raggruppati ma lontani dal centro indicano un tiro preciso ma non accurato, colpi dispersi intorno al centro indicano un tiro accurato ma impreciso, infine colpi raccolti intorno al centro indicano un tiro preciso ed accurato.

Supponiamo di avere un bersaglio e di sapere che il valore vero ricada al centro di esso (zona blu)



valore vero = 100 m

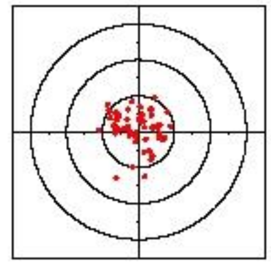
Eseguendo una misura possono verificarsi i 4 casi rappresentati a destra, dove ogni punto rosso è una misura fatta sul campione.



Grande accuratezza

Piccola incertezza (grande precisione)

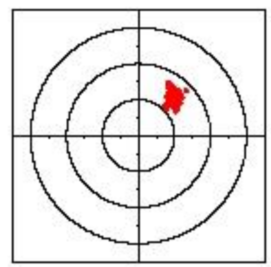
Misura A = 100 ± 5 m



Grande accuratezza

Grande incertezza (scarsa precisione)

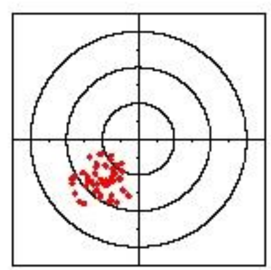
Misura B = 100 ± 20 m



Scarsa accuratezza

Piccola incertezza (grande precisione)

Misura C = 50 ± 5 m



Scarsa accuratezza

Grande incertezza (scarsa precisione)

Misura D = 50 ± 20 m

Introduzione alla teoria della misura

In queste situazioni la teoria della misurazione basata sul valore vero e sulla distinzione tra errori casuali e sistematici è una semplificazione utile.

La distinzione tra i due tipi di errore è la seguente: si intendono casuali quelli i cui effetti sul valore sono attenuati ripetendo la misurazione e mediando i valori ottenuti e sistematici quelli i cui effetti si riproducono invariati ad ogni ripetizione (es. lettura di termometro fatta dal basso con errore di parallasse, utilizzo di strumento mal tarato). Artigiani arrivano con i loro strumenti di misura non usano i nostri di cui non conoscono la precisione.**Voi nei laboratori di restauro utilizzate strumenti di cui dovete conoscere funzionamento e prestazioni**

La misura accurata e precisa necessita di strumentazione di qualità , personale e tempo→ costi . Si esegue misura precisa quanto necessario allo scopo.
Es: misura vano porta va fatta in modo diverso se faccio porta blindata o se voglio vedere se passa un mobile.
Voi farete misure diverse se lavorate a una miniatura o a una grande porta antica, ma senza rilievi
Misure di grande qualità per grandezze fisiche importanti per la determinazioni di leggi: es velocità luce, carica elettrica elementare, misure per verificare teorie quali relatività speciale o generale, etc.
Nei BC la precisione e accuratezza richiesta è legata **all'importanza storico-artistica** Particolare attenzione alle **datazioni**
.

Cifre significative

Regola per valutare le incertezze:

Le incertezze sperimentali dovrebbero essere arrotondate ad una cifra significativa.

Regola per valutare i risultati:

L'ultima cifra significativa in qualunque risultato dovrebbe di solito essere dello stesso ordine di grandezza (cioè della stessa posizione decimale) dell'incertezza.

Esempio: sarebbe sbagliato riportare la seguente misura dell'accelerazione di gravità:

$$g = (9.82 \pm 0.02385)\,\frac{m}{s^2}$$

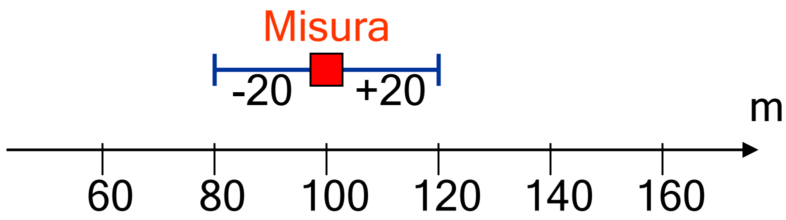
E' impensabile che l'incertezza possa essere conosciuta fino a cinque cifre significative. Nel lavoro di alta precisione, le incertezze sono talvolta date con due cifre significative; normalmente le incertezze riportano **una sola cifra significativa**. Ne segue che nella misura precedente l'incertezza dovrebbe essere arrotondata a $0.02\ m \cdot s^{-2}$ e la misura dovrebbe essere riscritta nel modo seguente:

$$g = (9.82 \pm 0.02)\,\frac{m}{s^2}$$

Non riportare i numeri, con tutte le cifre che da la calcolatrice.

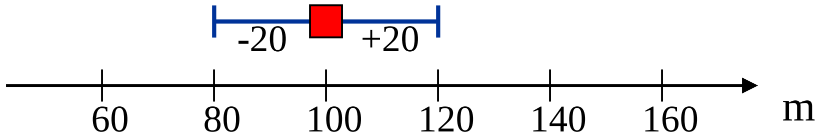
Introduzione alla teoria della misura

Si osserva che quando in un grafico si vuole rappresentare un'incertezza sulla misura (es: 100 ± 20) questa viene indicata con una barra orizzontale che si estende a destra e a sinistra della misura, della quantità dell'incertezza stessa.



Lunghezza = (100 ± 20) m

Introduzione alla teoria della misura



L = (100 ± 20) m

Il valore riportato (100 metri nel caso rappresentato) è il valor medio e rappresenta il valore più probabile per il valore vero.

L'incertezza sulla misura (20 metri nel caso rappresentato), si chiama **deviazione standard** e viene indicata con il simbolo **σ**.

La deviazione standard σ rappresenta l'intervallo all'interno del quale vi è una **probabilità del 68 %** che ricada il valore vero. Questo vuol dire che ogni valore all'interno di questo intervallo è possibile e, in termini statistici, che siamo ***confidenti*** **al 68% percento che il valore vero cada nell'intervallo indicato.**

In molti casi per avere un più alto livello di confidenza (cioè essere più certi che il valore vero appartenga all'intervallo indicato) si considera l'intervallo di **2σ.** In tal caso la probabilità che il valore vero ricada nell'intervallo è del **95 %.** Nel nostro caso, con un livello di confidenza del 95% (2σ) avremmo:

L = (100 ± 40) m

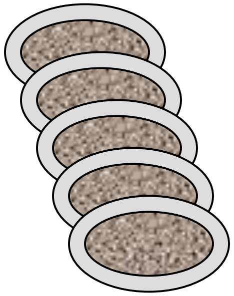
Ovvero, l'intervallo possibile aumenta, ma siamo *quasi sicuri* che sia in esso contenuta.

Se usassimo un intervallo di **3σ** il livello di confidenza salirebbe al **99.7 %.**

Valor medio e deviazione standard

Supponiamo di dover misurare qualche grandezza x e di aver identificato tutte le sorgenti di errore sistematico e di averle ridotte ad un livello trascurabile.
Dal momento che tutte le sorgenti restanti di incertezza sono casuali dovremmo essere capaci di rivelarle ripetendo la misura parecchie volte. Potremmo per esempio fare la misura cinque volte ….

Supponiamo di voler datare un mattone proveniente da una chiesa per mezzo della termoluminescenza. Prepariamo, ad esempio, 5 campioni ed eseguiamo 5 misure.



Misura

x_1 = 1203 dc

x_2 = 1238 dc

x_3 = 1191 dc

x_4 = 1213 dc

x_5 = 1183 dc

La miglior stima per l'età del mattone è fornita dalla media delle misure ottenute

$$\text{Età media} = \frac{1203+1238+1191+1213+1183}{5} = 1205.6\,\text{dc}$$

In termini più **generali**:

$$\text{Età media} = \bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

Con N = 5

Il valore così ottenuto, se preso singolarmente, non da informazione corretta sulla data di fabbricazione dell'oggetto. Bisogna associare a questo valore l'incertezza sulla misura.

Una misura non corredata della sua incertezza non ha alcun significato.

Valor medio e deviazione standard

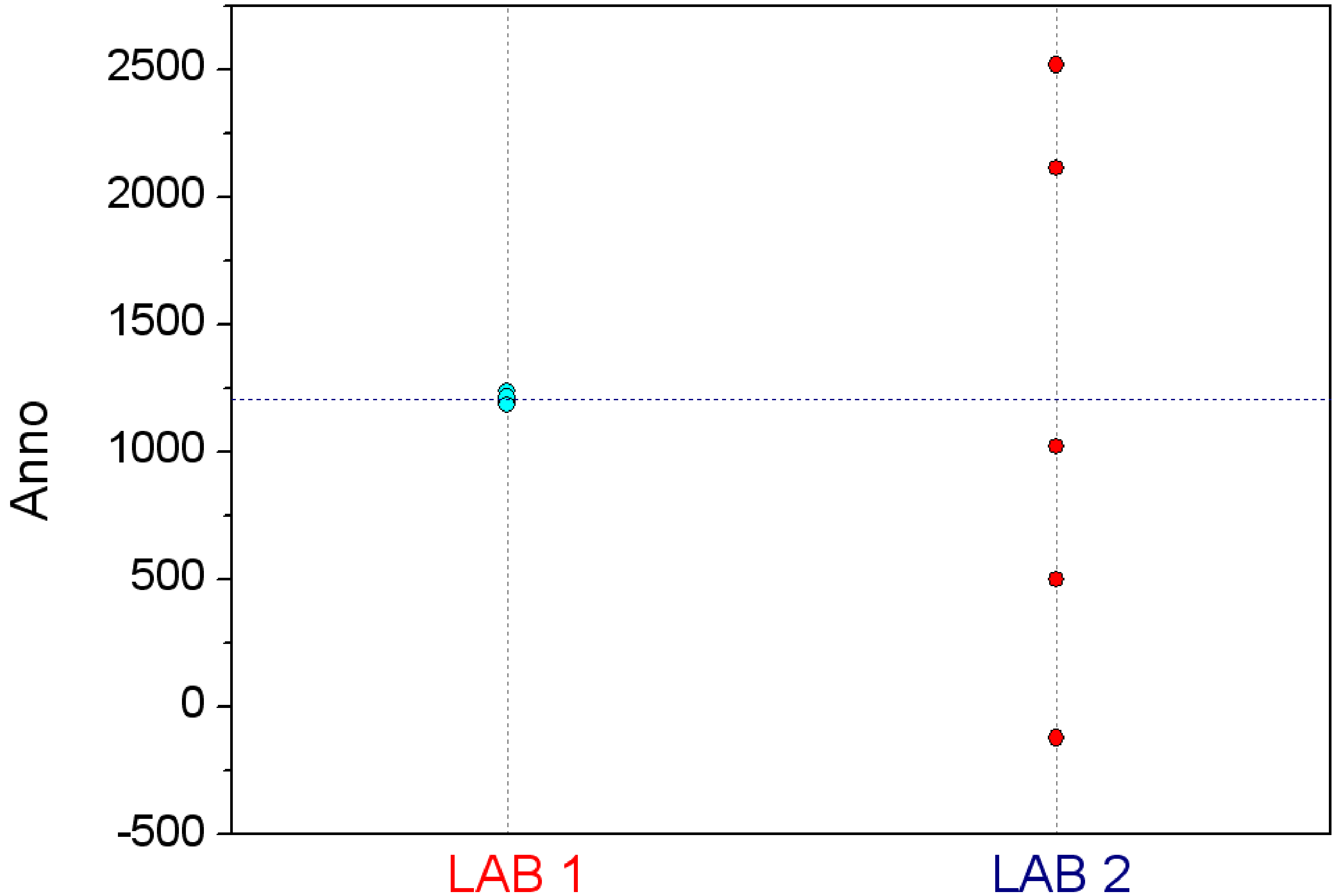
Supponiamo infatti di commissionare la datazione ad un altro laboratorio che ottiene, sempre per lo stesso mattone, i seguenti valori:

Misura lab. 2	Misura lab. 1
x_1 = 122 ac	x_1 = 1203 dc
x_2 = 2113 dc	x_2 = 1238 dc
x_3 = 500 dc	x_3 = 1191 dc
x_4 = 1020 dc	x_4 = 1213 dc
x_5 = 2517 dc	x_5 = 1183 dc

$$\text{Età media} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{1}{5}\left(-122+2113+500+1020+2517\right)=1205.6\,\text{dc}$$

Risulta evidente che pur essendo i valori ottenuti dal secondo laboratorio molto diversi tra di loro, la media risulta essere uguale.

Valor medio e deviazione standard



Valor medio e deviazione standard

E' allora necessario introdurre un nuovo parametro che quantifichi "la bontà" della misurazione. Tale parametro (la deviazione o residuo) ci indica quanto si discostano i nostri dati dal valor medio 1205,6

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

Misura lab. 2	Deviazione lab. 2	Misura lab. 1	Deviazione lab. 1
x_1 = 122 ac	d_1 = -1327.6 anni	x_1 = 1203 dc	d_1 = -2.6 anni
x_2 = 2113 dc	d_2 = 907.4 anni	x_2 = 1238 dc	d_2 = 32.4 anni
x_3 = 500 dc	d_3 = -705.6 anni	x_3 = 1191 dc	d_3 = -14.6 anni
x_4 = 1020 dc	d_4 = -185.6 anni	x_4 = 1213 dc	d_4 = 7.4 anni
x_5 = 2517 dc	d_5 = 1311.4 anni	x_5 = 1183 dc	d_5 = -22.6 anni

Valor medio e deviazione standard

Poiché la **media delle deviazione vale 0**, si utilizza come miglior stima per la deviazione la media dei quadrati delle deviazioni (deviazione standard), ovvero:

$$(\text{Deviazione standard})^2 = \sigma^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N} d_i^2$$

Ci sono poi dei motivi matematici per considerare come miglior stima della deviazione standard del valor medio (incertezza statistica sulla misura) la seguente:

$$(\text{Deviazione standard del valor medio})^2 = \sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N} d_i^2$$

Vediamo cosa succede nel caso dei nostri due laboratori

Deviazione Standard lab. 2

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N} d_i^2} = \sqrt{\frac{1}{5\cdot 4}\left(1327.6^2 + 907.4^2 + 705.6^2 + 185.6^2 + 1331.4^2\right)} \cong 495\, anni$$

Deviazione Standard lab. 1

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N} d_i^2} = \sqrt{\frac{1}{5\cdot 4}\left(2.6^2 + 32.4^2 + 14.6^2 + 7.4^2 + 22.6^2\right)} \cong 10\, anni$$

Valor medio e deviazione standard

Per cui, nelle misure dei due laboratori avremo:

Incertezza sulla media lab 2

$$\sigma_{\bar{x}} = 495\, anni \cong 500\, anni$$

Incertezza sulla media lab 1

$$\sigma_{\bar{x}} = 9.6\, anni \cong 10 anni$$

Da cui, la misura finale corredata dall'incertezza:

Laboratorio 2

$$Età = 1200 \pm 500 \text{ anni}$$

Laboratorio 1

$$Età = 1206 \pm 10 \text{ anni}$$

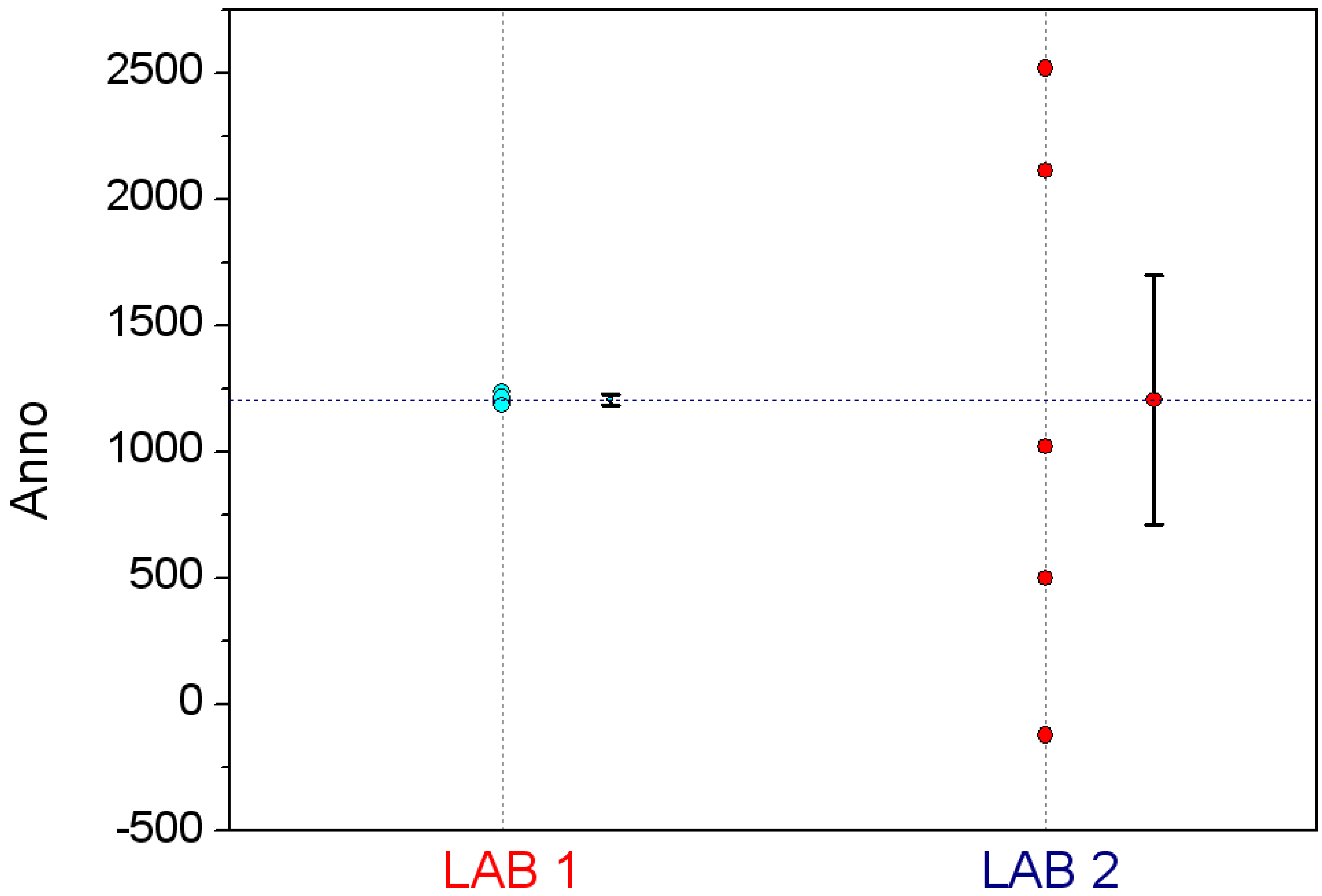
In questo caso si dice che la misura del laboratorio 1 è più precisa della misura effettuata dal laboratorio 2.

Ogni misura, per poter essere valida e fornire informazioni, deve essere sempre accompagnata dall'incertezza. L'incertezza sulla singola misura (quella che mi aspetto da una ulteriore misura) del Lab 1 è:

$$(\text{Deviazione standard})^2 = \sigma^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N} d_i^2$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{(N-1)}\sum_{i=1}^{N} d_i^2} = \sqrt{\frac{1}{4}\left(2.6^2 + 32.4^2 + 14.6^2 + 7.4^2 + 22.6^2\right)} \cong 21{,}4\, anni$$

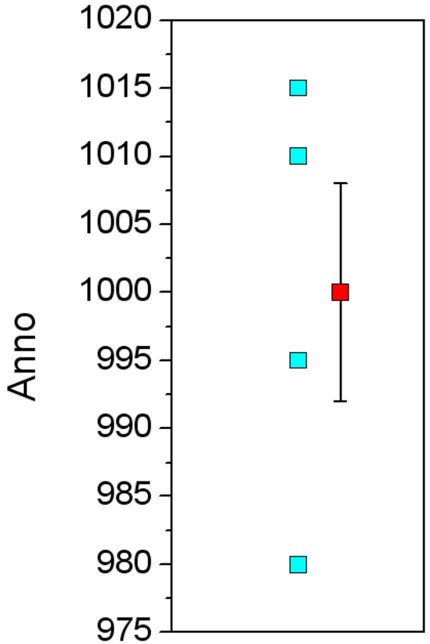
Valor medio e deviazione standard



Esempio

Durante una ricerca storica mirata a conoscere l'anno di costruzione di una chiesa vengono rinvenute da fonti di diverso tipo (manoscritti, lapidi commemorative etc.) quattro date leggermente discordanti tra loro. Gli anni riportati sono i seguenti: 980 dc; 995 dc; 1010 dc; 1015 dc. Supponendo che nessuna di queste fonti sia da scartare, ricavare la media e la deviazione standard (σ) in modo da ottenere una data di costruzione (media) presumibile corredata dell'incertezza.

$$\text{Età media} = \bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{1}{4}\left(980+995+1010+1015\right) = \frac{1}{4}\left(4000\right) = 1000\,\text{dc}$$



$$d_i = x_i - \bar{x}$$

d_1 = 980-1000=-20 anni

d_2 = 995-1000=-5 anni

d_3 = 1010-1000=10 anni

d_4 = 1015-1000=15 anni

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N} d_i^2} = \sqrt{\frac{1}{4\cdot 3}\left(20^2+5^2+10^2+15^2\right)} \cong 8\,anni$$

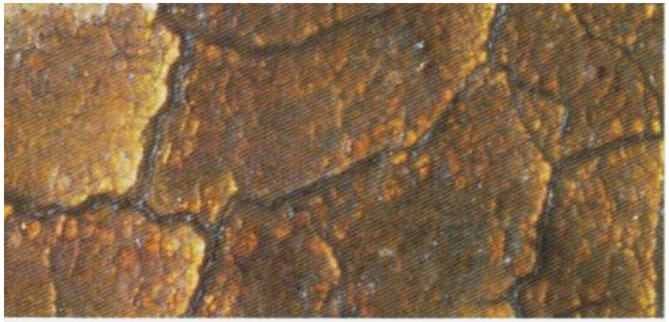
$$Età = 1000 \pm 8\,\text{dc}$$

Incertezza di σ

$$Età = 1000 \pm 16\,\text{dc}$$

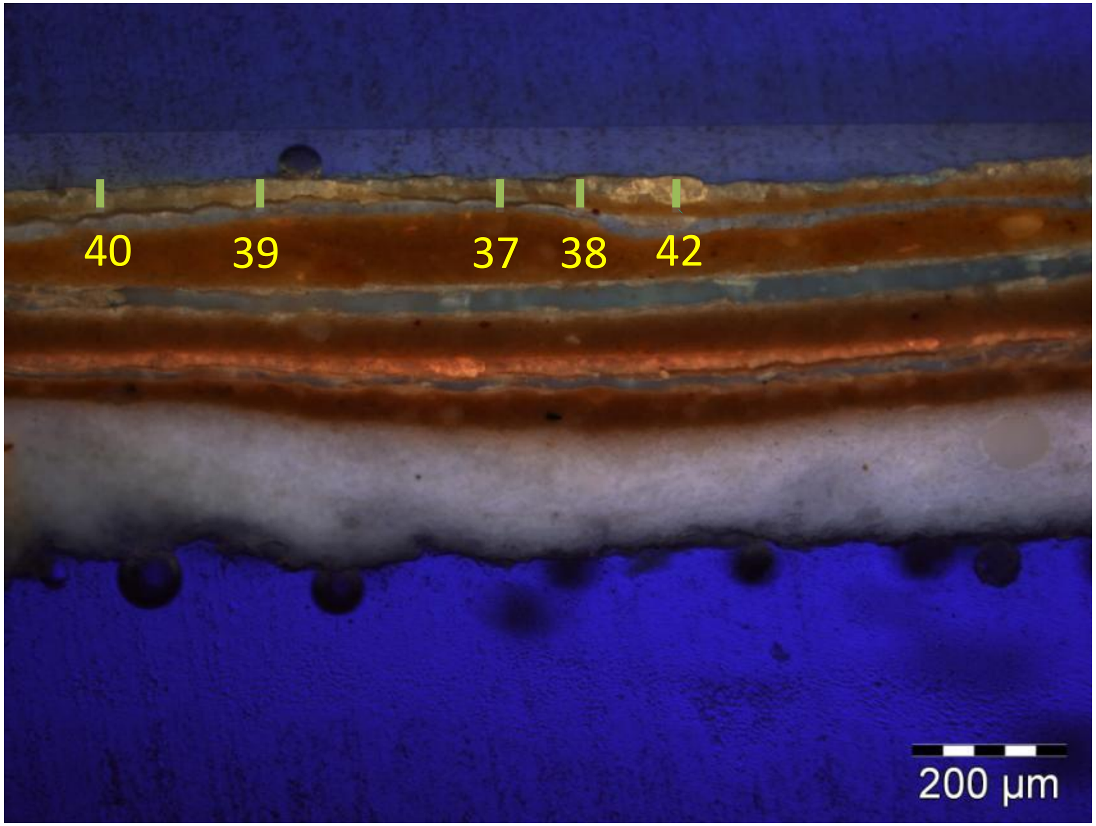
Incertezza di 2σ

Vernice stesa omogeneamente;
La misura media dello spessore non presenta eccessivi rischi di errore



Importante per la valutazione di aree idonee al prelievo

Stratigrafia fotografata in u.v.La resina risulta fluorescente



Esempio numerico :

38 μ

42 μ

37 μ

40 μ

39 μ

MEDIA: 39,2 μ

DEV. STANDARD: 1,9 μ

Sulla singola misura

Risultato (39±2) μ

Vernice stesa disomogeneamente;
La misura media dello spessore presenta rischi di errore vistoso

La deviazione standard risulta falsata

Esempio numerico:

37 μ

15 μ

25 μ

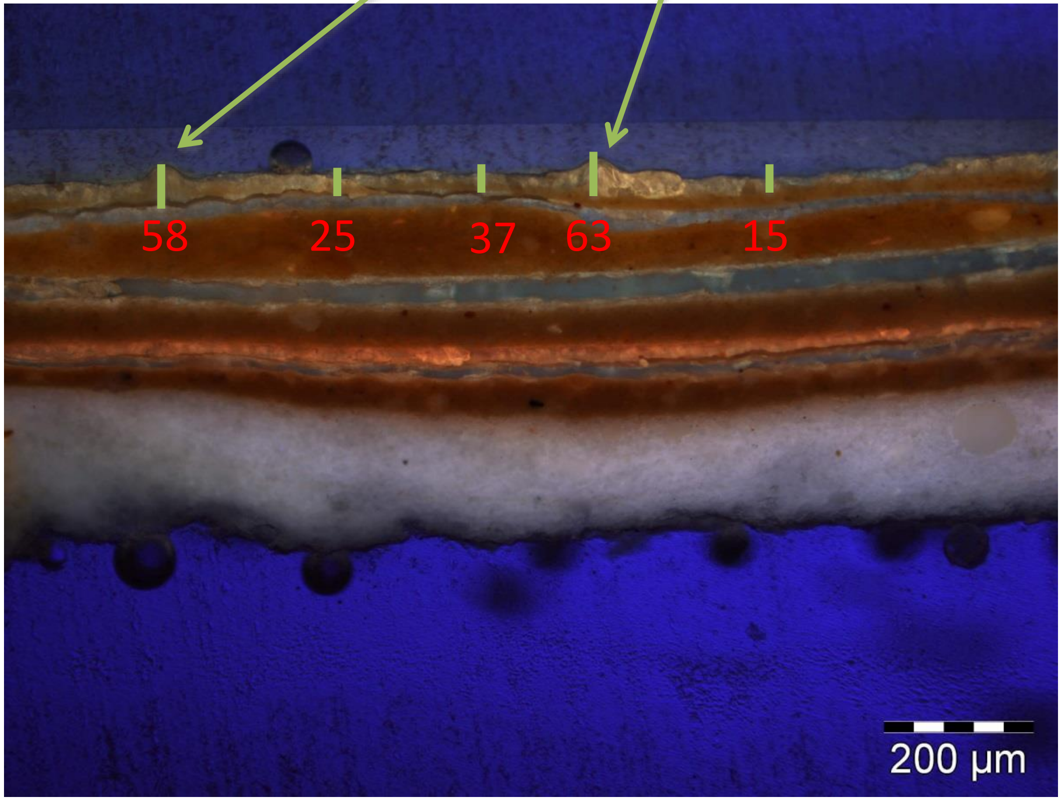
63 μ

58 μ

MEDIA: 39,6 μ

DEV. STANDARD: 20 μ

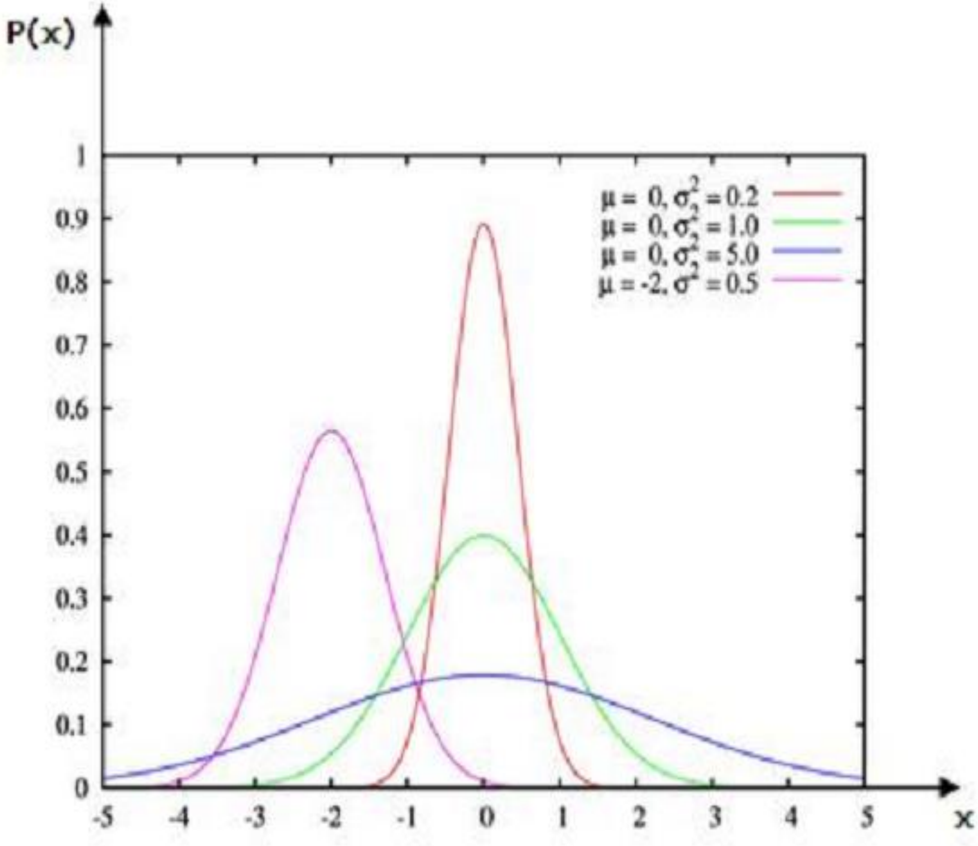
Risultato (40±20) μ



Stratigrafia fotografata in u.v.La resina risulta fluorescente

Distribuzione di Gauss

Si può verificare che effettuando molte misurazioni, queste si distribuiscono secondo un andamento che è detto curva di Gauss o gaussiana.



Dalla forma e posizione delle curve ottenute per diversi valori di μ e σ, si capisce che la posizione del picco (valore più probabile) è proprio il valor medio, mentre σ è legato alla larghezza della distribuzione. Più è larga la distribuzione, e più è alto il valore della deviazione standard.

L'area della curva di Gauss delimitata da $\pm\sigma$ rispetto al valor medio, equivale proprio al 68 % dell'area totale; l'area a $\pm 2\sigma$ corrisponde al 95% dell'area totale….

La deviazione standard σ rappresenta l'intervallo all'interno del quale vi è una probabilità del 68 % che ricada il valore vero.

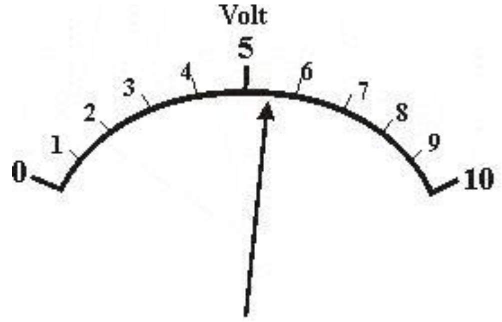
μ = valor medio, σ = deviazione standard

Medie pesate

Capita spesso che una grandezza fisica sia misurata parecchie volte, magari in parecchi laboratori differenti, e sorge il problema di come combinare queste misure per ottenere una singola migliore stima. Supponiamo, per esempio, che due studenti A e B, misurino una grandezza x con cura ed ottengano questi risultati:

Studente A: $x = x_A \pm \sigma_A$

Studente B: $x = x_B \pm \sigma_B$



Ciascuno di questi risultati è a sua volta il risultato di parecchie misure: x_A è la media di tutte le misure di A e σ_A la deviazione standard (o incertezza) della media (e analogamente per x_B e σ_B). Il problema è trovare il modo migliore di combinare le misure di A e B per ottenere la migliore stima di x.

Medie pesate

Utilizzando un principio detto di massima verosimiglianza, è possibile dimostrare che la miglior stima di x è ottenibile utilizzando la media pesata:

$$\bar{x} = \frac{\frac{x_A}{(\sigma_A)^2} + \frac{x_B}{(\sigma_B)^2}}{\frac{1}{(\sigma_A)^2} + \frac{1}{(\sigma_B)^2}} \qquad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_i^2}}$$

L'incertezza a tale media pesata è data da:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{(\sigma_A)^2} + \frac{1}{(\sigma_B)^2}}} \qquad \sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_i^2}}}$$

Ovviamente, tali espressioni possono essere estese al caso in cui ci siano N misure.

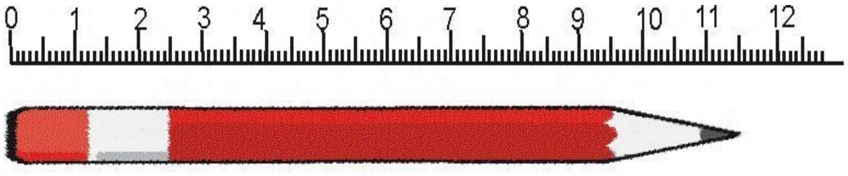
….. Più facile a farsi che a dirsi…. Proviamo con un esempio…

Medie pesate

Esempio

Tre studenti misurano la lunghezza L di un oggetto ed ottengono i seguenti risultati:

Misura del primo studente: L_A= (11 ± 1) cm
Misura del secondo studente: L_B= (12 ± 1) cm
Misura del terzo studente: L_C= (10 ± 3) cm



Dati questi risultati, qual è la miglior stima per la lunghezza L?

Si ottiene:

$$\overline{L} = \frac{\frac{L_A}{(\sigma_A)^2} + \frac{L_B}{(\sigma_B)^2} + \frac{L_c}{(\sigma_C)^2}}{\frac{1}{(\sigma_A)^2} + \frac{1}{(\sigma_B)^2} + \frac{1}{(\sigma_C)^2}} = \frac{\frac{11}{(1)^2} + \frac{12}{(1)^2} + \frac{10}{(3)^2}}{\frac{1}{(1)^2} + \frac{1}{(1)^2} + \frac{1}{(3)^2}} = 11.42\,\mathrm{cm}$$

L'incertezza è

$$\sigma_{\overline{L}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{(\sigma_A)^2} + \frac{1}{(\sigma_B)^2} + \frac{1}{(\sigma_C)^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{(1)^2} + \frac{1}{(1)^2} + \frac{1}{(3)^2}}} = 0.69\,\mathrm{cm}$$

Si ottiene quindi: $\overline{L} = (11.4 \pm 0.7)\,\mathrm{cm}$

Medie pesate

Esempio: media degli esami con crediti

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i cfu_i}{\sum_{i=1}^{N} cfu_i} = \frac{x_1 cfu_1 + x_2 cfu_2 + x_3 cfu_3 + x_4 cfu_4 + x_5 cfu_5}{cfu_1 + cfu_2 + cfu_3 + cfu_4 + cfu_5} =$$

Ovvero, per esempio, se uno studente ottiene:

Voto	Cfu
30	4
24	7
27	5
28	10
25	3

La sua media pesata sarà:

$$\frac{30*4+24*7+27*5+28*10+25*3}{4+7+5+10+3} = \frac{778}{29} = 26{,}8$$

Propagazione delle Incertezze (cenno)

Siano $x = (\bar{x} \pm \sigma_x) \quad ; \quad y = (\bar{y} \pm \sigma_y)$ **le misure di due osservabili fisiche.**

La misura della grandezza fisica $z = x + y$ **è data dalla seguente espressione:**

$$z = (\bar{z} \pm \sigma_z)$$

dove il valor medio è $\bar{z} = (\bar{x} + \bar{y})$ **e l'incertezza della media** $\sigma_z = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$

Questo vale se le variabili x e y sono indipendenti gli errori non si sommano linearmente (caso più pessimista) ma quadraticamente. L'errore si somma linearmente se le variabili sono dipendenti . Stesso ragionamento vale per la differenza

La misura della grandezza fisica $z = x - y$ **è data dalla seguente espressione:**

$$z = (\bar{z} \pm \sigma_z)$$

dove il valor medio è $\bar{z} = (\bar{x} - \bar{y})$ **e l'incertezza della media è** $\sigma_z = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$

Propagazione delle Incertezze

La misura della grandezza fisica $z = x \cdot y$ è data dalla seguente espressione:

$$z = \left(\bar{z} \pm \sigma_z\right)$$

dove il valor medio è $\bar{z} = \bar{x} \cdot \bar{y}$ e l'incertezza della media è $\sigma_z = \sqrt{\left(\sigma_x \cdot \bar{y}\right)^2 + \left(\sigma_y \cdot \bar{x}\right)^2}$

La misura della grandezza fisica $z = \dfrac{x}{y}$ è data dalla seguente espressione:

$$z = \left(\bar{z} \pm \sigma_z\right)$$

dove il valor medio è $\bar{z} = \dfrac{\bar{x}}{\bar{y}}$ e l'incertezza della media è $\sigma_z = \sqrt{\left(\dfrac{\sigma_x}{y}\right)^2 + \left(\dfrac{\sigma_y \cdot x}{y^2}\right)^2}$

ovvero $\sigma_z = \bar{z} \cdot \sqrt{\left(\dfrac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\dfrac{\sigma_y}{y}\right)^2}$

La quantità adimensionale $\dfrac{\sigma_z}{\bar{z}} = \sqrt{\left(\dfrac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\dfrac{\sigma_y}{y}\right)^2}$ è detta incertezza relativa.

Errore strumentale ed errore statistico

- In una misura del periodo del pendolo abbiamo che

$\delta t \rightarrow$ **σ = 0.09 s**

rappresenta l'errore statistico che può essere ridotto aumentando le singole misure.

- L'errore strumentale è δt **= 0.01 s**

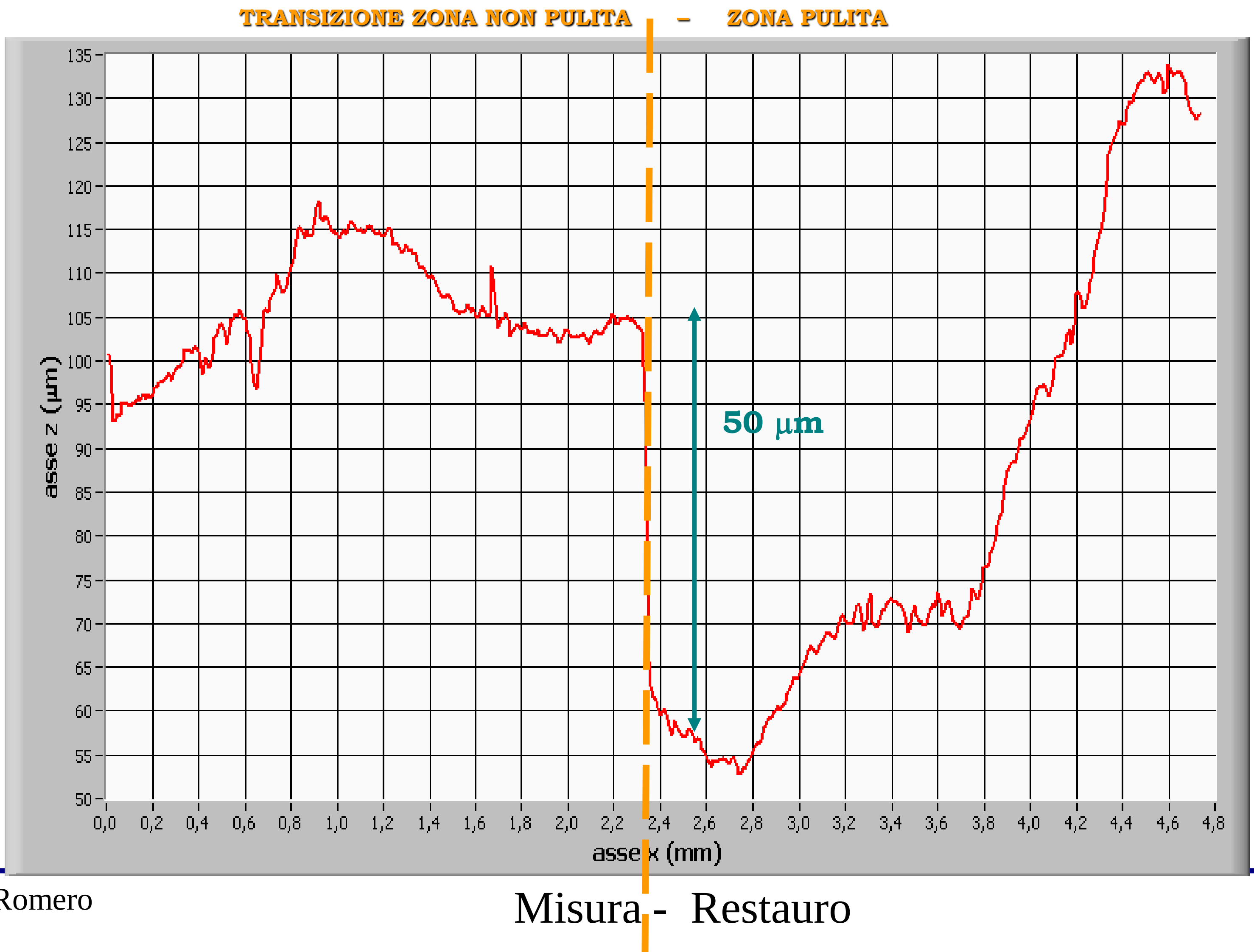
non possiamo pensare di migliorare la precisione della misura aumentando il numero delle misure ma si ha in generale che l'errore totale si ottiene sommando quadraticamente l'errore sistematico e l'errore casuale Se sommassi linearmente i due errori otterrei l'errore massimo e sarei troppo pessimista.

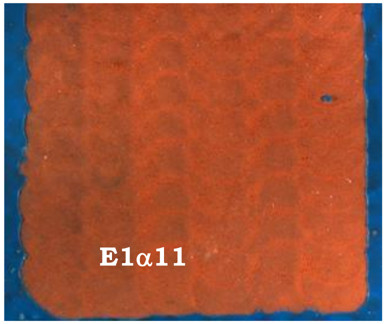
$$\delta_{\bar{x}} = \sqrt{\delta^2{}_{\text{stat}} + \delta^2{}_{strum}} = \sqrt{0{,}09^2 + 0{,}01^2} = 0{,}09\,\text{s}$$

- In questo caso l'errore di sensibilità dello strumento e δ**t = 0.01s piccolo rispetto a 0,09** quindi influisce quasi nulla. Se **gli errori fossero simili o quello strumentale superiore a quello statistico influerebbe sulla misura in pratica solo quello strumentale e sarebbe inutile continuare a fare misure con la stessa strumentazione**

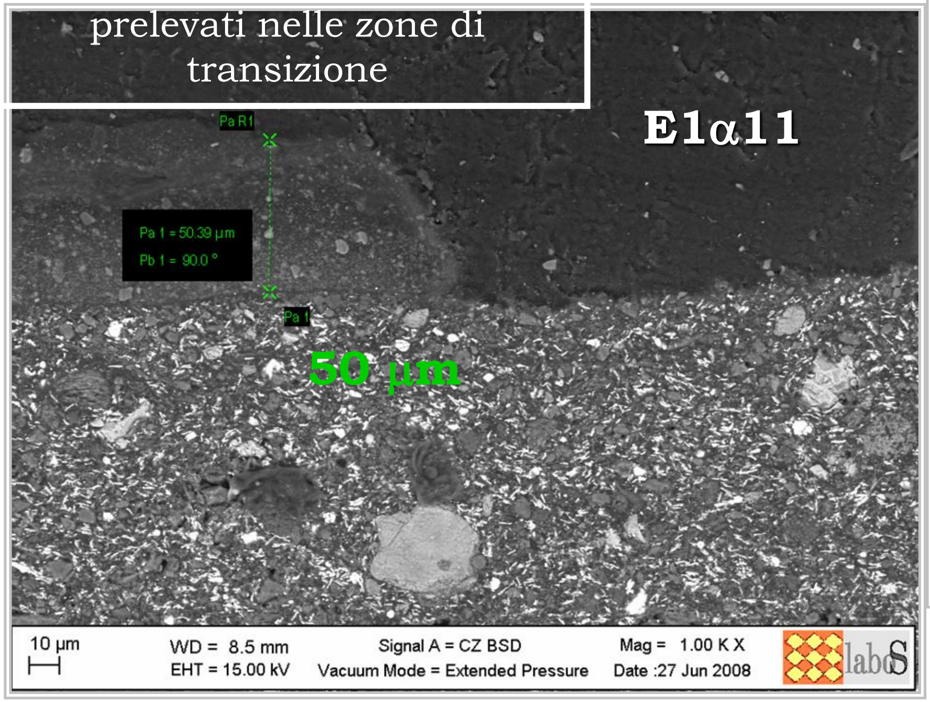
Esempio di misure nel restauro

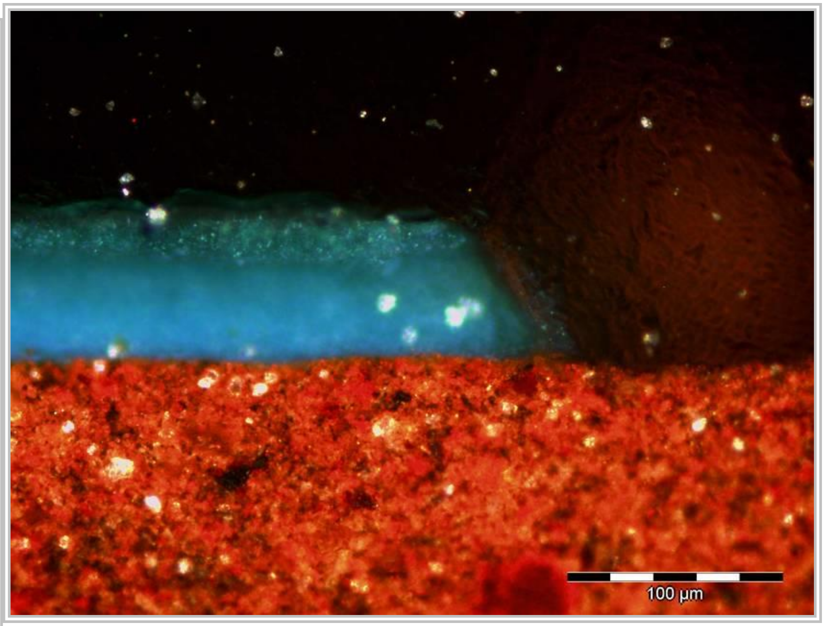
Con l'aiuto di miscroscopi ottici o elettronici si possono valutare gli spessori degli strati da rimuovere . Devo fare medie tra le varie misure



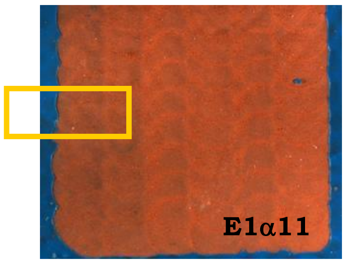


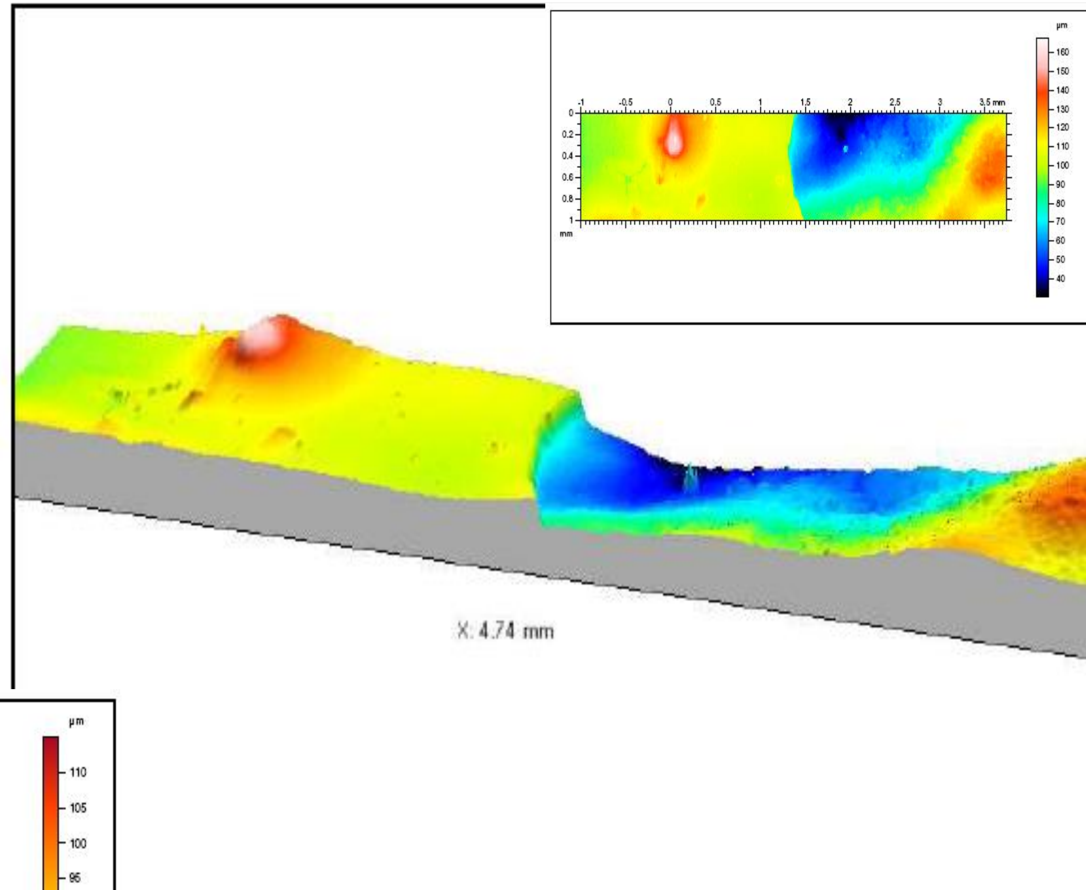
Correlazione tra le misure
non invasive di profilometria e
le osservazioni di campioni
prelevati nelle zone di transizione

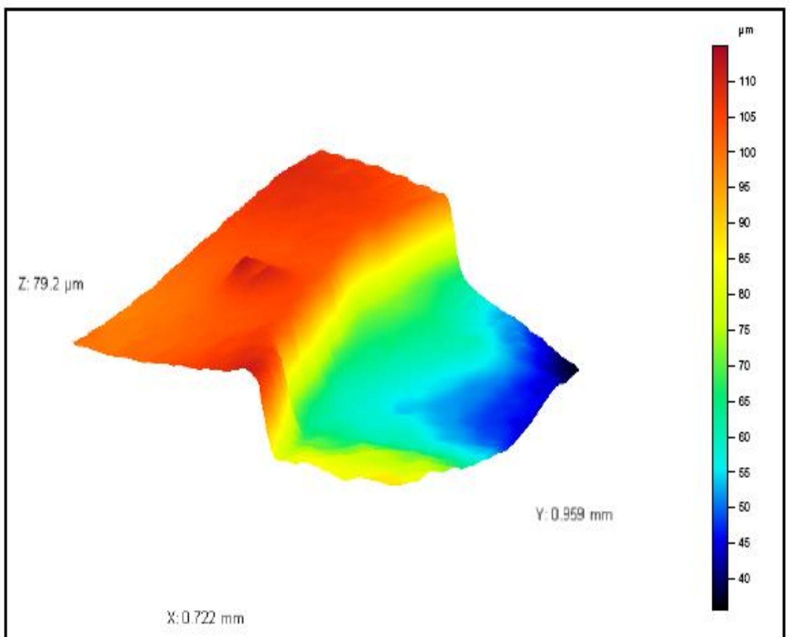


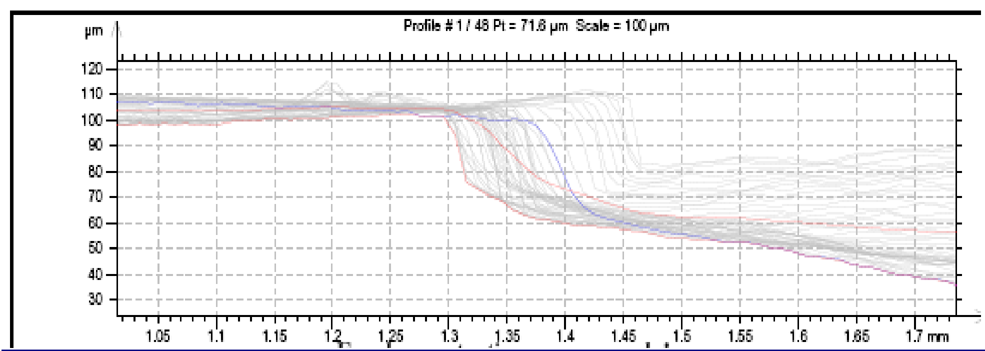


PROFILOMETRIA
Interferometro OPTIMET
EC 3000
Per rilevazione topografica
superficiale in 3D



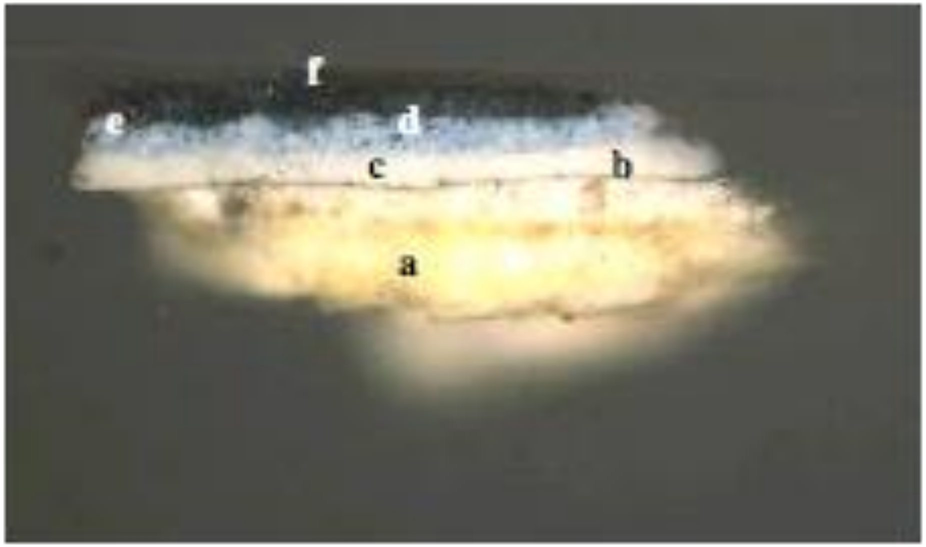


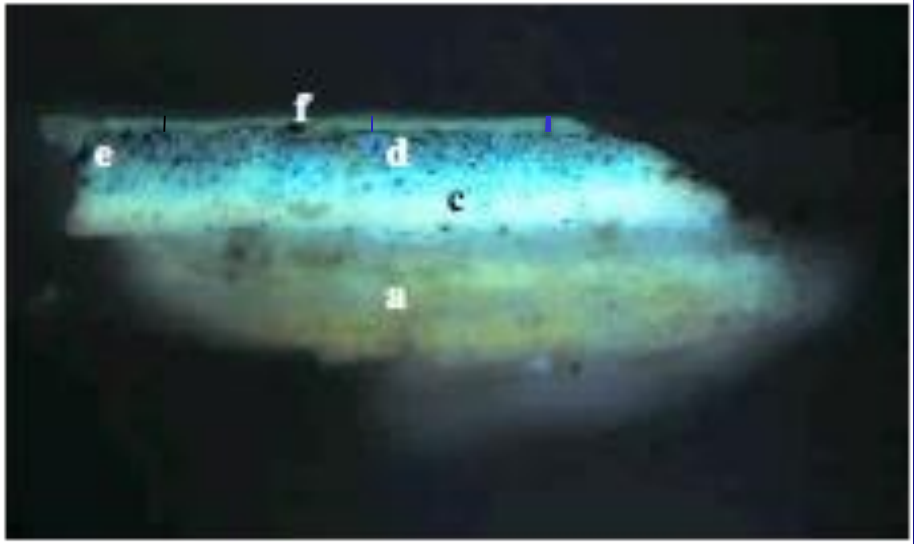




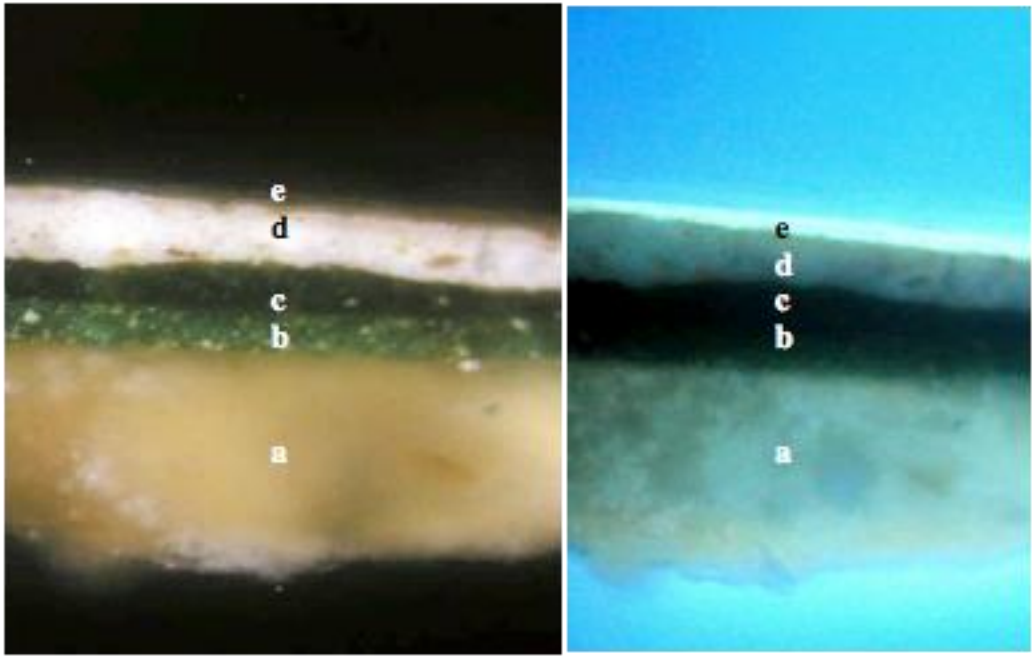
Per gentile concessione Sig. Dellavalle - FORINST

Esempi di misura di uno strato non omogeneo prelevato. Lo strato più esterno f è quello su cui si lavora

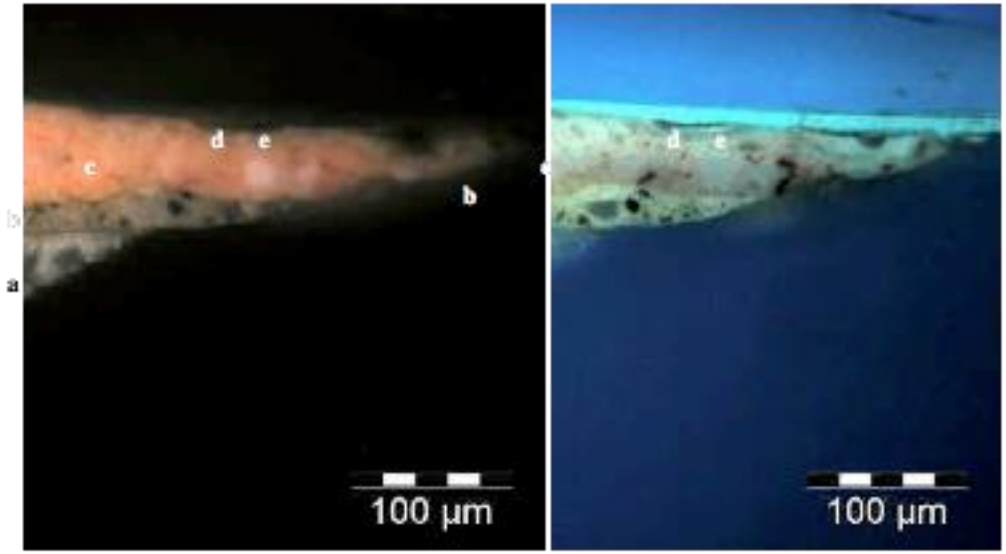




Leggendo la sezione stratigrafica, si individua una doppia preparazione a gesso e colla (a), seguita da una sottilissima stesura organica con rare particelle di nero di carbone (b),che potrebbe corrispondere al disegno preparatorio. Poi si rilevano uno strato bianco a biacca (c) e due stesure composte da lapislazuli e biacca (d,e), la seconda delle quali presenta un maggior contenuto di legante organico ed una colorazione grigia piuttosto che azzurra. Sulla superficie si individua uno strato di vernice (f) molto fluorescente



Leggendo la sezione dal basso verso l’alto, si individua la preparazione a gesso e colla (a), seguita da un doppio strato verde: il primo (b) costituito da verdigris mescolato con biacca e giallo di piombo e stagno, mentre il secondo corrisponde ad una velatura organica pigmentata con virdigris (c). Sulla superficie si individua un’ulteriore strato bianco a biacca (d), che mostra numerose cavità al suo interno; sopra questo, si rileva uno strato di vernice molto fluorescente (e).

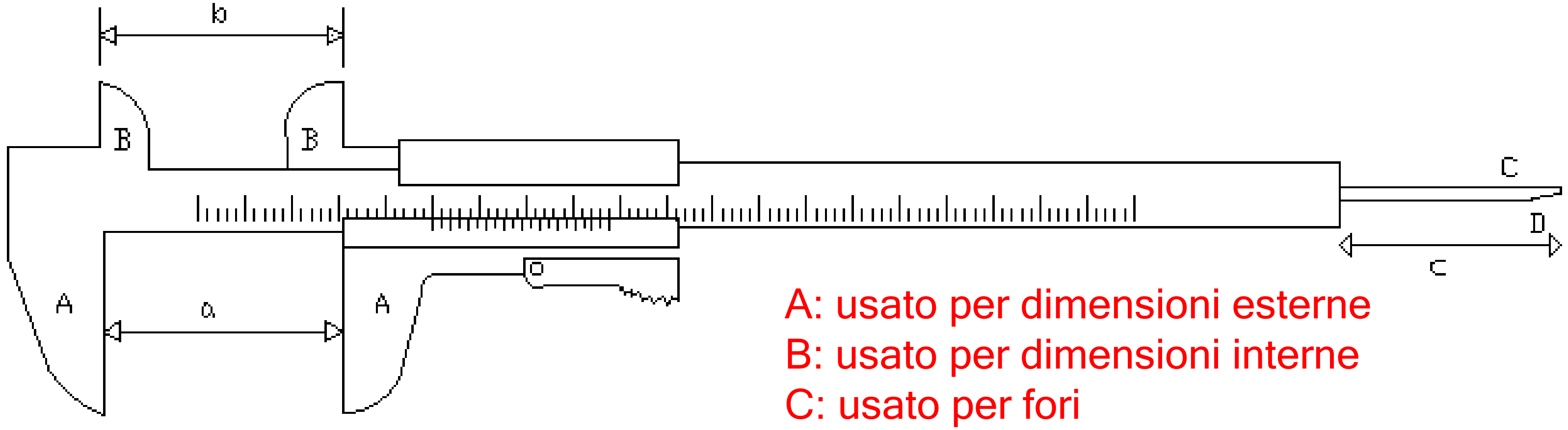


La stratigrafia risulta costituita da uno strato di preparazione a gesso e colla (a) seguito da uno strato beige scuro (b) a biacca pigmentata con nero di carbone e terre brune e da una stesura di colore rosso arancio (c) composta da una biacca mescolata con terra rossa , granuli contenenti Ca e Mg (dolomite?), granuli rossi a base di piombo (minio?) e rare particelle di lacca rossa. Oltre questa stesura si rilevano i residui di una velatura organica (d) e – al di sopra- tracce di un deposito di polvere (e) presenti esclusivamente nelle zone sottolivello dello strato rosso-arancio. Sulla superficie si individua uno strato omogeneo (f) di vernice molto fluorescente.

Uso del calibro

Il calibro è uno strumento di misura utilizzato per misurare la distanza tra due pareti simmetricamente opposte.

Il calibro a corsoio è un tipo di calibro costituito da un regolo graduato realizzato in due parti che scorrono assialmente tra loro e dotato di appendici (becchi, aste) che servono da battuta per le quote da misurare.
Normalmente si definisce parte 'fissa' o corpo la parte che reca la gradazione principale, mentre l'altra si definisce parte mobile, o semplicemente corsoio.
Il corsoio dispone di un sistema di bloccaggio (chiamato freno)per evitare di perdere accidentalmente la misura durante la manipolazione dello strumento. Normalmente vengono usati o un pulsante frizionante o una vite di bloccaggio

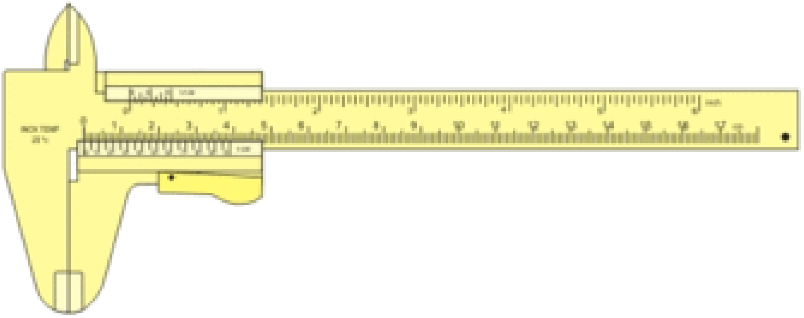


A: usato per dimensioni esterne
B: usato per dimensioni interne
C: usato per fori

Uso del calibro

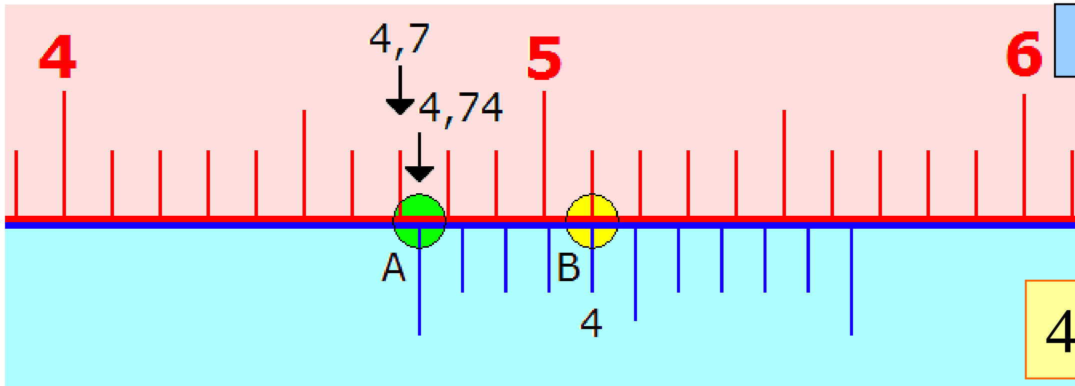
Sul corpo vengono normalmente incise due scale, una in millimetri e una in frazioni di pollici. Sul corsoio vengono invece incisi dei noni per la lettura di precisione. Pertanto, sulla scala fissa vengono letti i millimetri (o i pollici), sul nonio le relative frazioni.
I noni possono essere decimali, ventesimali o cinquantesimali, e conseguentemente la risoluzione dello strumento potrà essere di 0,1 - 0,05 - 0,02 mm. Noni con risoluzioni superiori non sono convenienti in quanto, per essere leggibili, devono avere dimensioni notevoli. Il lato dove è stato inciso il nonio è smussato, per avvicinarlo alla scala della parte fissa, e annullare gli errori di parallasse. Le graduazioni vengono incise e annerite, per evitare che vengano cancellate da abrasioni accidentali.
La misura si effettua seguendo queste operazioni:

1. si porta la sezione provvista di nonio alla quota da misurare;
2. si blocca la sezione del nonio;
3. si effettua la lettura sulla scala e sul nonio.



Risultato L=(2,470 ±0,005) cm = (24,70 ±0,05) mm

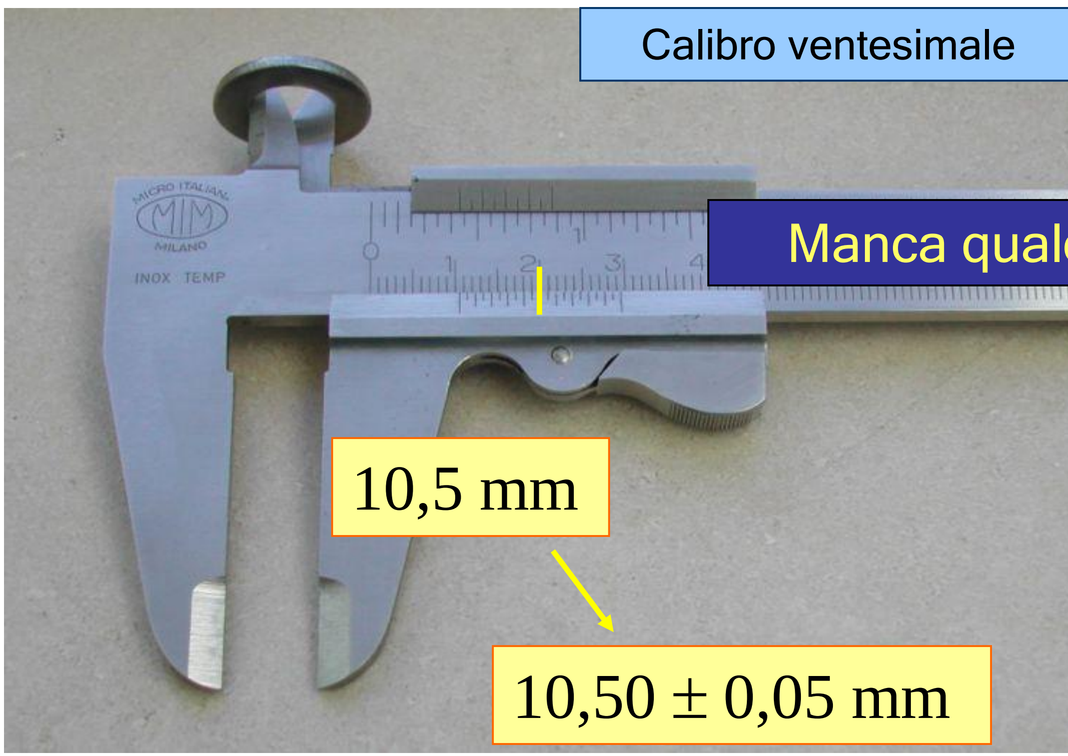
Uso del calibro: altri esempi di misura



Calibro decimale

47,4 mm

47,4 ± 0,1 mm

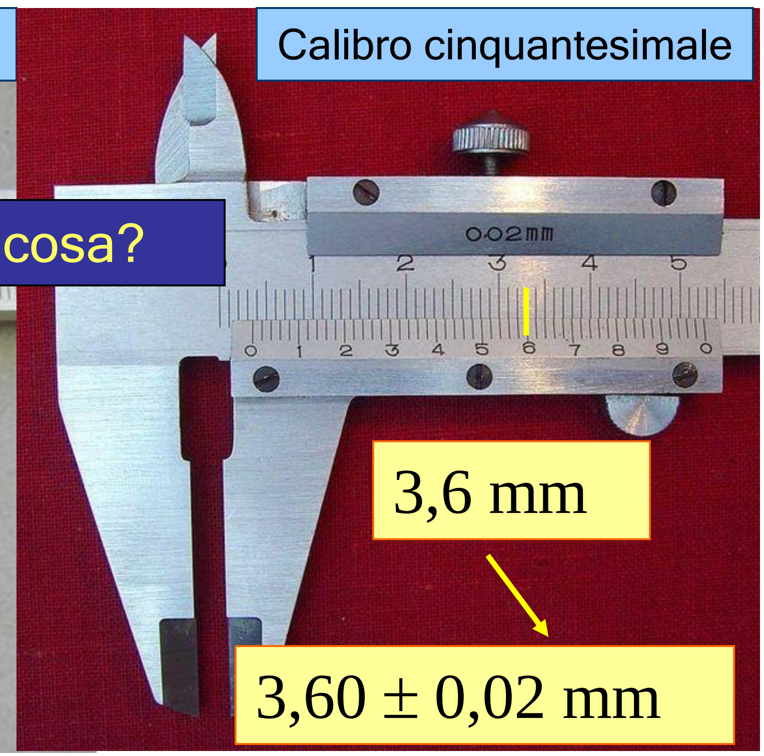


Calibro ventesimale

Manca qualcosa?

10,5 mm

10,50 ± 0,05 mm



Calibro cinquantesimale

3,6 mm

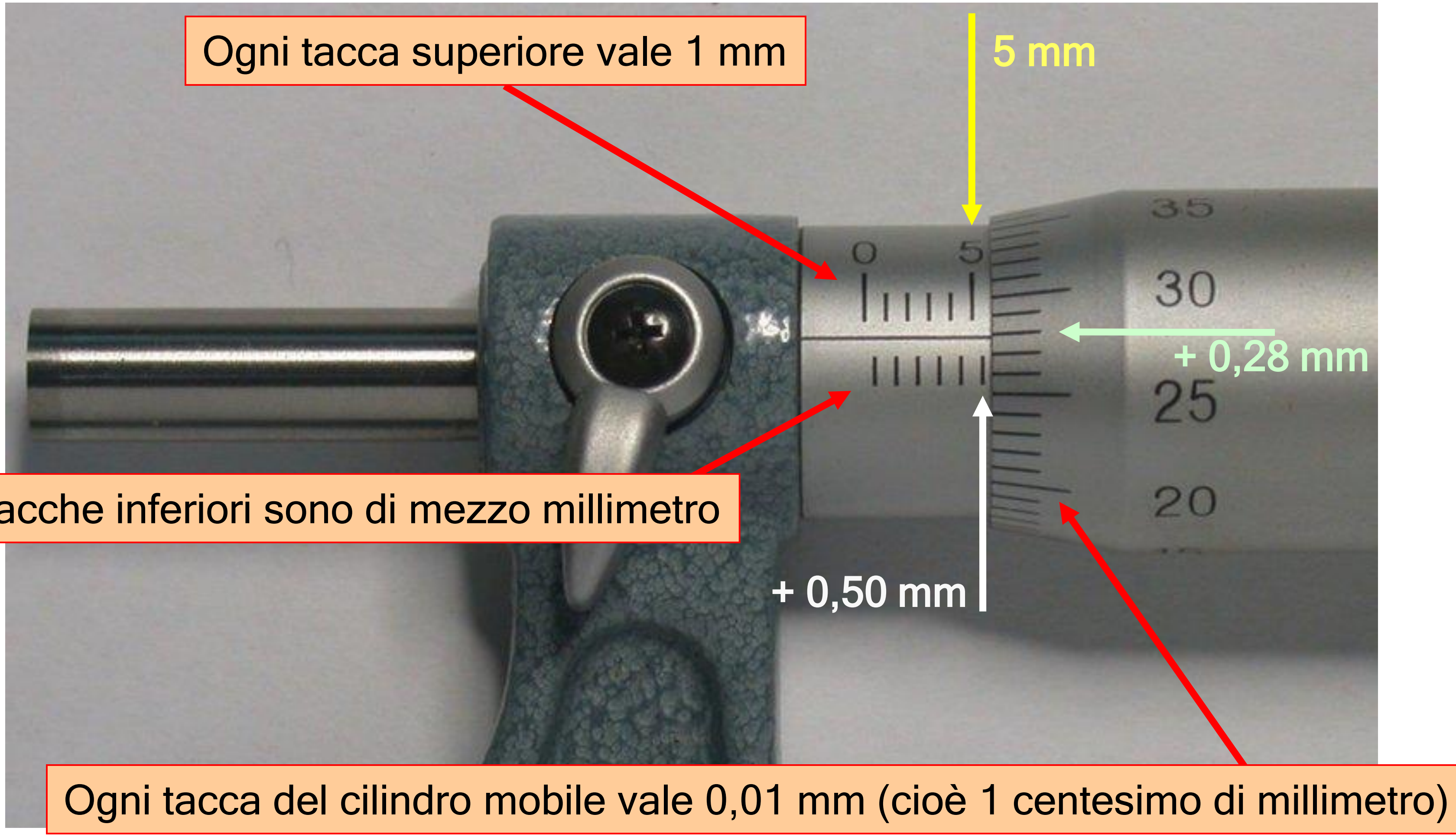
3,60 ± 0,02 mm

Uso del micrometro

Il micròmetro (o calibro Palmer) è uno strumento di misura in grado di misurare lunghezze con una accuratezza fino al milionesimo di metro; il nome dello strumento deriva dal prefisso micro, normalmente utilizzato per indicare un sottomultiplo pari a un milionesimo.

Rispetto al calibro, il micrometro è più semplice da usare e più preciso nella lettura. Il principio di funzionamento è basato sull'avanzamento di una vite che spinge un cilindro mobile contro uno fisso, tra cui viene posto l'oggetto da misurare. Una scala graduata solidale alla vite è suddivisa in tacche, in modo che si possano apprezzare le frazioni di passo della vite stessa. Se per esempio la vite avanza di un millimetro ad ogni giro e la scala è suddivisa in cento parti, la precisione dello strumento sarà di un centesimo di millimetro. Una seconda scala solidale all'albero fisso rispetto alla vite consente di determinare i multipli di passo e quindi la misura macroscopica.
Esistono micrometri adatti per misure di spessore e diametri esterni di barre, fili o sfere, altri per misure di diametri interni ed altri infine per la misura di profondità di fori.

Uso del micrometro



La misura in questo caso vale: 5 mm + 0,50 mm + 0,28 mm = 5,78 ± 0,01 mm

Esperimento 1

Per mezzo di un calibro e di un micrometro misurare la dimensione di alcuni oggetti a disposizione.

Effettuare una misura per ogni componente del gruppo.

Calcolare la media e la deviazione standard per ogni oggetto

Calcolare la media pesata dei risultati ottenuti dai vari gruppi

Esperimento 1

OGGETTO	Misura
Foglio 1 (micrometro)	
Foglio 1 (calibro)	
Foglio 2 (micrometro)	
Foglio 2 (calibro)	
Cartoncino (3) (micrometro)	
Cartoncino (3) (calibro)	
Dado (micrometro)	
Dado (calibro)	
Mattone romano 1 (calibro)	
Mattone romano 2 (calibro)	
Bottiglietta interno (calibro)	
Bottiglietta diam. collo interno (calibro)	

Esperimento 1

OGGETTO	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Misura 4	Misura 5	Misura 6	Media	Dev. standard della media	Incertezza strumentale	Incertezza totale	Misura finale
Foglio 1 (micrometro)											
Foglio 1 (calibro)											
Foglio 2 (micrometro)											
Foglio 2 (calibro)											
Foglio 3 (micrometro)											
Foglio 3 (calibro)											
Dado (micrometro)											
Dado (calibro)											
Mattone romano (calibro)											
Mattone romano (calibro)											
Bottiglietta interno (calibro)											
Bottiglietta diam. collo (calibro)											

Valore medio

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

Incertezza sul valore medio

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N} d_i^2$$

Esperimento 1

OGGETTO	Media pesata con incertezza
Foglio 1 (micrometro)	
Foglio 1 (calibro)	
Foglio 2 (micrometro)	
Foglio 2 (calibro)	
Cartoncino (3) (micrometro)	
Cartoncino (3) (calibro)	
Dado (micrometro)	
Dado (calibro)	
Mattone romano 1 (calibro)	
Mattone romano 2 (calibro)	
Bottiglietta interno (calibro)	
Bottiglietta diam. collo interno (calibro)	

Media pesata

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_i^2}} \qquad \sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_i^2}}}$$