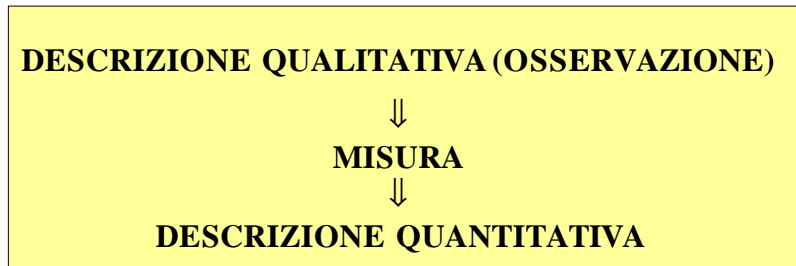


MISURE FISICHE

MISURARE ?

La **FISICA** e' una **SCIENZA SPERIMENTALE** , basata sulla osservazione dei fenomeni naturali. Studiare un fenomeno significa osservare con attenzione quali siano le grandezze che determinano il modo in cui esso si svolge e stabilire, se possibile, una relazione tra di esse. Per giungere a cio' occorre procedere alla loro **MISURA**.



CHE COSA ?

Il fine di un esperimento scientifico consiste nella misura di quantita' ben definite, chiamate **GRANDEZZE FISICHE**, e nella ricerca di possibili **RELAZIONI** esistenti tra tali grandezze. La definizione di una grandezza fisica e' una **DEFINIZIONE OPERATIVA**, che consiste nel descrivere la serie di operazioni da compiere per misurare la quantita' in questione. Esempi di grandezze fisiche sono: la lunghezza, la massa, il tempo, la velocita', l'area, Le grandezze qui citate sono **CONTINUE**, ma esistono anche delle grandezze osservabili **DISCRETE**, come, ad esempio, il numero di teste che escono nel lancio di n monete.

COME ?

Grandezze fisiche della stessa specie si dicono **GRANDEZZE OMOGENEE**. La misura di una grandezza fisica consiste nell'**ASSOCIARE ALLA GRANDEZZA UN NUMERO**, secondo operazioni fissate da regole ben definite, che esprime il **RAPPORTO TRA LA GRANDEZZA** in questione ed un'altra **GRANDEZZA OMOGENEA** usata come **UNITA' DI MISURA** ⇒ per esprimere il risultato di una misura si deve **INDICARE un NUMERO ed una UNITA' DI MISURA** .

QUALI UNITA' DI MISURA ?

Una unita' di misura deve:

- essere facilmente disponibile

- essere facilmente usabile
- essere stabile e non deteriorabile (vs condizioni di misura, tempo, ...)
- essere universale
- possedere multipli e sottomultipli

Esiste un sistema di unita' di misura accettato internazionalmente: il **SISTEMA INTERNAZIONALE (S.I.)** (si vedano le tabelle; da notare il “simbolo” con cui si indica l'unita': e' un simbolo e non una abbreviazione e va indicato esattamente come indicato in tabella). In esso le grandezze fisiche vengono distinte in **FONDAMENTALI** e **DERIVATE**.

Il Sistema Internazionale di Unità di Misura - S.I.

<i>grandezza fisica</i>	<i>unità di misura</i>	<i>definizione</i>	<i>luogo in cui è conservato il campione italiano</i>
LUNGHEZZA {L}	metro m	Il metro è la lunghezza uguale a 1.650.763,73 lunghezze d'onda, nel vuoto, della radiazione corrispondente alla transizione tra i livelli 2p _{1/2} e 5d _{5/2} dell'atomo di krypton 86. Nel 1975 l'incertezza con cui si realizzava il campione era di circa $4 \cdot 10^{-9}$	Istituto di metrologia del CNR «Gustavo Colonnetti» - Torino
MASSA {M}	chilogrammo kg	Il chilogrammo è la massa del prototipo internazionale conservato al Pavillon de Breteuil (Sèvres). Si tratta di un cilindro di platino-iridio, rispetto al quale i campioni nazionali vengono tarati con un'incertezza valutabile, nel 1975, in circa $2 \cdot 10^{-9}$	Ministero dell'Industria, commercio e artigianato - Roma Istituto di metrologia del CNR «Gustavo Colonnetti» - Torino
TEMPO {T}	secondo s	Il secondo è l'intervallo di tempo di durata corrispondente a 9.192.631.770 periodi della radiazione emessa nella transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133. Essa viene realizzata con un orologio atomico la cui incertezza era valutabile, nel 1975, in circa 10^{-12} su un tempo di 100 s	Istituto elettrotecnico nazionale «Galileo Ferraris» - Torino
TEMPERATURA TERMODINAMICA {Θ}	kelvin K	Il kelvin è la frazione 1/273,16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua, caratterizzato dalla coesistenza in equilibrio delle fasi solida, liquida e vapore. Nel 1975 il kelvin era realizzabile con l'incertezza di circa $4 \cdot 10^{-7}$	Istituto di metrologia del CNR «Gustavo Colonnetti» - Torino
INTENSITÀ DI CORRENTE {I}	ampere A	L'ampere è l'intensità di corrente costante che, percorrendo due conduttori rettilinei e paralleli, di lunghezza infinita e di sezione trascurabile, posti nel vuoto, produce tra essi la forza di $2 \cdot 10^{-7}$ N per ogni metro di lunghezza. Lo si realizza mediante una bilancia elettromagnetica con cui la forza prodotta dalla corrente viene confrontata con il peso di masse note. Nel 1975 l'incertezza del campione era di circa $4 \cdot 10^{-6}$	Istituto elettrotecnico nazionale «Galileo Ferraris» - Torino
INTENSITÀ LUMINOSA {J}	candela cd	La candela è l'intensità luminosa emessa in direzione perpendicolare alla superficie da un corpo nero di area $1/690.000$ m ² alla temperatura di fusione del platino e alla pressione di 101.325 Pa. Nel 1975 essa era realizzabile con l'incertezza di circa 10^{-2}	Istituto elettrotecnico nazionale «Galileo Ferraris» - Torino
QUANTITÀ DI SOSTANZA {N}	mole mol	La mole è la quantità di sostanza di un sistema composto da tante entità elementari uguali tra loro quanti sono gli atomi contenuti in 0,012 kg di carbonio 12. Il tipo di entità elementari (atomi, molecole, elettroni, ecc.) dev'essere specificato di volta in volta	Non esiste un campione
ANGOLO PIANO	radiante rad	Il radiante è l'angolo piano al centro di una circonferenza che intercetta sulla circonferenza stessa un arco di lunghezza uguale a quella del raggio	Non esiste un campione
ANGOLO SOLIDO	steradiano sr	Lo steradiano è l'angolo solido al centro di una sfera che intercetta sulla superficie sferica una calotta di area uguale al quadrato del raggio	Non esiste un campione

* Questo Sistema è stato definito ed approvato dopo la XV Conferenza generale dei paesi e misure del 1975. Le tabelle che riportiamo sono state adattate dalla tavola pubblicata sotto il patrocinio delle Commissioni per la metrologia del CNR in occasione del centenario della Convenzione del Metro (1975) e compilata a cura dell'Istituto elettrotecnico nazionale «Galileo Ferraris» e dell'Istituto di metrologia del CNR «Gustavo Colonnetti» di Torino.

Le unità di misura delle grandezze fondamentali (m, kg, s, p.es.) vengono definite mediante **CAMPIONI** di cui viene fissata meticolosamente la definizione operativa; le unità di misura delle grandezze derivate sono invece definite mediante opportune operazioni di prodotto o rapporto di unità fondamentali (p.es. m, s, m/s, m²)

Principali grandezze fisiche derivate.

<i>grandezza fisica</i>	<i>unità di misura S.I.</i>	<i>dimensioni</i>
Superficie	m ²	[L ²]
Volume	m ³	[L ³]
Velocità	m/s	[L · T ⁻¹]
Accelerazione	m/s ²	[L · T ⁻²]
Frequenza	s ⁻¹ o <i>hertz</i> (Hz)	[T ⁻¹]
Forza	kg · m/s ² o <i>newton</i> (N)	[M · L · T ⁻²]
Momento	newton · metro (N · m)	[M · L ² · T ⁻²]
Pressione	newton/metro ² o <i>pascal</i> (Pa)	[M · L ⁻¹ · T ⁻²]
Energia o lavoro	newton · metro o <i>joule</i> (J)	[M · L ² · T ⁻²]
Potenza	joule/secondo o <i>watt</i> (W)	[M · L ² · T ⁻³]
Carica elettrica	ampere · secondo o <i>coulomb</i> (C)	[I · T]
Potenziale elettrico	joule/coulomb o <i>volt</i> (V)	[M · L ² · T ⁻³ · I ⁻¹]
Capacità elettrica	coulomb/volt o <i>farad</i> (F)	[M ⁻¹ · L ² · T ⁴ · I ²]
Resistenza elettrica	volt/ampere o <i>ohm</i> (Ω)	[M · L ² · T ⁻³ · I ⁻²]
Conduttanza elettrica	ampere/volt o <i>siemens</i> (S)	[M ⁻¹ · L ⁻² · T ³ · I ²]
Flusso del campo magnetico (o dell'induzione magnetica)	volt · secondo o <i>weber</i> (Wb)	[M · L ² · T ⁻² · I ⁻¹]
Campo magnetico (o induzione magnetica)	weber/m ² o <i>tesla</i> (T)	[M · T ⁻² · I ⁻¹]
Induttanza e mutua induttanza	weber/ampere o <i>henry</i> (H)	[M · L ² · T ⁻² · I ⁻²]
Flusso luminoso	candela · steradiano o <i>lumen</i> (lm)	[J]
Illuminamento	lumen/m ² o <i>lux</i> (lx)	[L ⁻² · J]
Attività (radioattività)	s ⁻¹ o <i>becquerel</i> (Bq)	[T ⁻¹]
Dose assorbita (radioattività)	joule/kg o <i>gray</i> (Gy)	[L ² · T ⁻²]

Formazione dei multipli e dei sottomultipli delle unità S.I.

	<i>fattore di moltiplicazione</i>	<i>prefisso</i>	<i>simbolo</i>
Alcuni prefissi, anteposti ai simboli delle unità S.I., permettono di esprimere i multipli e i sottomultipli secondo quanto riportato nella tabella qui a fianco.	1.000.000.000.000.000.000 = 10 ¹⁸	exa	E
	1.000.000.000.000.000 = 10 ¹⁵	peta	P
	1.000.000.000.000 = 10 ¹²	tera	T
	1.000.000.000 = 10 ⁹	giga	G
	1.000.000 = 10 ⁶	mega	M
	1.000 = 10 ³	kilo	k
	100 = 10 ²	etto	h
	10 = 10 ¹	deca	da
	0,1 = 10 ⁻¹	deci	d
	0,01 = 10 ⁻²	centi	c
	0,001 = 10 ⁻³	milli	m
	0,000.001 = 10 ⁻⁶	micro	μ
	0,000.000.001 = 10 ⁻⁹	nano	n
	0,000.000.000.001 = 10 ⁻¹²	pico	p
	0,000.000.000.000.001 = 10 ⁻¹⁵	femto	f
	0,000.000.000.000.000.001 = 10 ⁻¹⁸	atto	a
Esempi: 1 mm = 1 millimetro = 10 ⁻³ m 1 GW = 1 gigawatt = 10 ⁹ 1 μF = 1 microfarad = 10 ⁻⁶ F 1 ns = 1 nanosecondo = 10 ⁻⁹ s			

CALCOLO DIMENSIONALE

Ogni grandezza misurabile, fondamentale o derivata, possiede una **DIMENSIONE**, quella della relativa grandezza fisica. Facciamo alcuni esempi.

Grandezze fondamentali:

- la *distanza* ha le dimensioni di una *LUNGHEZZA*. Indichiamo le dimensioni delle distanze con [L];
- un *intervallo di tempo* ha le dimensioni di un *TEMPO*. Indichiamo queste dimensioni con [T];
- la *massa di un corpo* ha le dimensioni di una *MASSA*. Indichiamo le dimensioni delle masse con [M].

Grandezze derivate:

- una *velocità* ha le dimensioni di una *LUNGHEZZA* divisa per un *TEMPO*. Indichiamo le dimensioni della velocità con [L]/[T];
- una *superficie* ha le dimensioni di una *LUNGHEZZA* al *QUADRATO*. Indichiamo le dimensioni della superficie con [L] [L] = [L]².

Esistono grandezze fisiche prive di dimensioni: le **GRANDEZZE ADIMENSIONALI** o **NUMERI PURI**. Un esempio è l'ampiezza di un angolo misurato in radianti: il *rad* infatti è definito come rapporto tra due lunghezze.

La determinazione della dimensione di una grandezza, mediante il cosiddetto **CALCOLO DIMENSIONALE**, è un utile strumento. Infatti, grazie ad esso si può:

- controllare che le formule scritte siano corrette: le grandezze che compaiono dalle due parti del segno di uguaglianza devono avere le stesse dimensioni;
- studiando un problema nuovo, stabilire collegamenti tra le grandezze fisiche che intervengono nel fenomeno in studio.

TIPI DI MISURE

Si possono distinguere due categorie di misure:

- **MISURE DIRETTE**: ottenute confrontando direttamente la grandezza con l'unità di misura. Esempio: la misura della lunghezza di un segmento effettuata accostando un metro a fettuccia, su cui sono segnati in successione tanti segmenti tutti uguali ad una unità di misura, al segmento fino a sovrapporlo; questo equivale a riportare tante volte l'unità di misura sul segmento fino a ricoprirlo tutto. Contando quante volte l'unità di misura è stata riportata sul segmento si ottiene un numero che esprime la misura nell'unità scelta.

- **MISURE INDIRETTE** : ottenute misurando alcune grandezze ed applicando le relazioni esistenti tra tali grandezze e quella di interesse per ricavare il valore di quest'ultima.

Esempio: la misura della superficie di una stanza rettangolare, effettuata misurando le lunghezze dei lati della stanza e calcolando l'area come prodotto di tali lunghezze.

Una caratteristica **imprescindibile** dell'operazione di misura di una qualsiasi grandezza fisica e' la presenza di una **INCERTEZZA** da cui la misura risulta essere affetta.

ERRORI DI MISURA

ERRORE in una misura scientifica indica l' **INEVITABILE INCERTEZZA CHE E' PRESENTE IN TUTTE LE MISURE.**

Quando si effettua la misura di una grandezza non si puo' essere certi che il risultato dell'operazione di misura corrisponda al valore vero della grandezza, ma si puo' solo indicare un intervallo di valori entro cui si e' fiduciosi che cada il valore vero. Tale intervallo di valori prende il nome di **INTERVALLO DI VALIDITA' DELLA MISURA.** Cio' non vuol dire che si siano commessi degli sbagli nell'effettuare la misura: l'incertezza non puo' essere eliminata operando con molta cura, semmai puo' essere ridotta il piu' possibile. La larghezza dell'intervallo di validita' e' una misura della incertezza da cui il risultato e' affetto; tanto piu' la larghezza e' piccola, tanto piu' il risultato e' **PRECISO.**

Comunque, nessuna quantita' fisica puo' essere misurata con completa certezza: **NON ESISTONO MISURE ESATTE,** cioe' prive di errore.

E' pertanto fondamentale **CONOSCERE L'ENTITA' dell' INCERTEZZA** da cui e' affetta una misura ed anche **FISSARE un LIMITE DI INCERTEZZA ACCETTABILE** per la misura: se gli errori sperimentali sono piu' grandi di tale limite, la misura non permette di trarre una conclusione, non e' **SIGNIFICATIVA.** Il valore del limite di incertezza accettabile dipende dalla natura della misura che si deve effettuare: se si deve misurare l'altezza di una persona, sara' sufficiente fissare come limite di incertezza il cm, se, invece, si deve misurare lo spessore di una lente sara' necessario operare in modo da avere una incertezza inferiore al decimo di millimetro.

Per lo stesso motivo e' importante **SPECIFICARE sempre il CRITERIO usato per STIMARE l'errore** commesso in una misura.

Bisogna considerare che e' sempre presente una incertezza intrinseca legata alla

risoluzione finita dello strumento utilizzato.

RISULTATO DI UNA MISURA

Il modo corretto di fornire il risultato (G) di una qualunque misura e' quello di dare la migliore stima della quantita' (M) e l'intervallo (E_a) entro cui si e' confidenti che essa si trovi (errore assoluto):

$$G = M \pm E_a$$
$$(M - E_a) < G < (M + E_a)$$

CLASSI DI ERRORE

Esistono due classi di errori o incertezze: **ERRORI SISTEMATICI** e **ERRORI CASUALI**.

- **gli errori sistematici agiscono sempre nello stesso verso algebricamente** e sono dovuti ad **imperfezioni dell'apparato sperimentale** (metro corto) o ad **aberrazioni costanti dell'osservatore** (parallasse, errore di zero); essi sono spesso difficili da riconoscere, ma, se noti, possono essere compensati fino ad eliminarli;
- **gli errori casuali** sono dovuti al verificarsi di varie circostanze che, ripetendo le misure in condizioni supposte identiche, agiscono casualmente ora in un senso ora in quello opposto (variazioni di temperatura, spostamento del punto di osservazione di un indice, variazioni casuali delle condizioni di misura, ...). Questi errori **NON POSSONO ESSERE ELIMINATI**, ma solo stimati e limitati grazie alle tecniche della **ANALISI STATISTICA**, basata sul metodo delle **MISURE RIPETUTE**. Bisogna osservare che, comunque, non serve ripetere le misure se la risoluzione dello strumento e' peggiore delle altre sorgenti di fluttuazioni (non e' sensato ripetere la misura dell'altezza di una persona per ottenere un'incertezza inferiore al cm se si utilizza uno strumento graduato al cm.). Occorre scegliere uno strumento che permetta di ottenere una incertezza pari a quella voluta: si veda quanto detto piu' avanti a proposito della sensibilita' di uno strumento.

ANALISI STATISTICA DEGLI ERRORI

Nell'Analisi Statistica degli errori si definiscono alcune grandezze importanti:

- la **MIGLIORE STIMA** di una grandezza, x , di cui si ripete la misura N volte e' la

MEDIA ARITMETICA dei risultati delle misure:

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_N)}{N}$$

- SCARTO dalla media: $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$
- **SCARTO MASSIMO** : $\Delta x = \frac{(x_{max} - x_{min})}{2}$
- SCARTO MEDIO : $(\Delta x) = \frac{\sqrt{[(x_1 - \bar{x}) + (x_2 - \bar{x}) + \dots + (x_N - \bar{x})]}}{N}$
- **SCARTO QUADRATICO MEDIO** : $\sigma_x = \sqrt{\left[\frac{((x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_N - \bar{x})^2)}{(N - 1)} \right]}$
- **ERRORE SULLA MEDIA**: e' la larghezza dell'intervallo entro cui si e' confidenti che sia compreso il risultato della misura
- $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}$ se la misura viene ripetuta piu' di 20 volte;
- $\sigma_{\bar{x}} = \Delta x$ se la misura viene ripetuta solo poche volte (5 – 10 volte);
- **RISULTATO della MISURA** Il risultato della misura verra' dunque espresso come

$$X = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$$

scegliendo opportunamente l'espressione per il calcolo dell'errore sulla media.

SIGNIFICATO DELLE GRANDEZZE STATISTICHE

Vediamo, con l'aiuto di un esempio, quale sia il significato delle grandezze statistiche ora introdotte.

Si effettui la misura della lunghezza di un segmento ripetendo le operazioni di misura 20 volte; un modo conveniente di rappresentare i risultati consiste nel riportarli in una tabella, come fatto di seguito.

Nella prima colonna e' indicato il numero delle misura, nella seconda colonna e' riportato il risultato della misura, nella terza e' calcolato lo scarto della misura dal valore medio, nella quarta, infine, e' calcolato il quadrato dello scarto, utile per valutare lo scarto quadratico medio.

<i>Misura</i>	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	5.4	-0.225	0.051
2	6.3	0.675	0.456
3	4.7	-0.925	0.856
4	6.6	0.975	0.95
5	7.2	1.575	2.481
6	4.2	-1.425	2.031
7	5.1	-0.525	0.276
8	5.9	0.275	0.076
9	5.7	0.075	0.006
10	5.8	0.175	0.031
11	5.9	0.275	0.076
12	6.4	0.775	0.601
13	4.7	-0.925	0.856
14	6.2	0.575	0.331
15	6.9	1.275	1.626
16	3.9	-1.725	2.976
17	5.5	-0.125	0.016
18	4.9	-0.725	0.526
19	6.4	0.775	0.601
20	4.8	-0.825	0.681

Dai dati si ricava:

$$\bar{x} = 5.63 \text{ cm}$$

$$\sigma_x = 0.85 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = 0.19 \text{ cm}$$

dove per calcolare l'errore sulla media e' stato utilizzato lo scarto quadratico medio, dato che il numero di misure effettuate e' sufficientemente elevato.

Un altro modo per rappresentare i risultati delle misure consiste nell'applicare la procedura seguente:

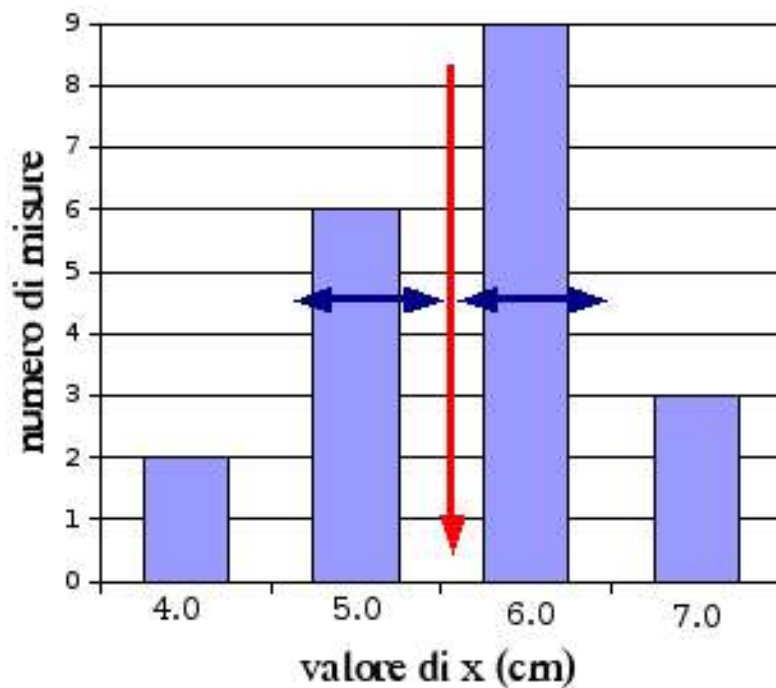
1. definire delle **CLASSI**, cioè' degli intervalli di valori che il risultato della misura può' assumere; in genere gli intervalli vengono scelti tutti della stessa larghezza ed in modo da avere sempre almeno 3-4 conteggi per ogni intervallo;
2. calcolare la **FREQUENZA** delle classi, cioè' il numero di misure che vanno a cadere nell'intervallo di ogni classe;

3. rappresentare la distribuzione delle misure suddivise in classi con un **ISTOGRAMMA** .

Nel nostro caso si possono scegliere le classi nel modo seguente:

Estremo inferiore classe (incluso)	Estremo superiore classe (escluso)	frequenza (conteggi)
3.5	4.5	2
4.5	5.5	6
5.5	6.5	9
6.5	7.5	3

e costruire l'istogramma:



dove la freccia rossa indica la posizione della media sull'asse dei valori di x e le frecce blu, invece, indicano il valore dello scarto quadratico medio, σ_x . L'istogramma e' tanto piu' "largo" quanto piu' i dati sono dispersi attorno al valore medio; in tal caso lo scarto quadratico medio ha grandi contributi dai singoli scarti e di conseguenza risulta grande; se, invece, i dati sono poco dispersi, lo scarto quadratico medio ha contributi piccoli e risulta piccolo → σ_x **misura la dispersione dei dati attorno alla media e corrisponde all'incirca**

alla semilarghezza della distribuzione dei valori a meta' altezza.

Possiamo, allora, concludere che:

- per descrivere la distribuzione delle misure occorre dare \bar{x} e σ_x
- per adre il risultato finale della misura occorre dare $\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$

Se una misura puo' essere ripetuta nelle stesse condizioni, questo dovrebbe essere fatto molte volte; in questo caso, infatti:

- e' possibile ricavare σ_x che risulta essere un buon indice degli errori: σ_x puo' essere interpretato come errore sulla singola misura della grandezza in esame;
- \bar{x} e' un valore piu' attendibile dei risultati delle singole misure ;
- $\sigma_{\bar{x}}$ diminuisce al crescere del numero di misure

Ripetere la misura non mette, pero', in luce gli errori sistematici; per evidenziarli occorre, invece, confrontare il risultato ottenuto con quello di misure precedenti o ottenute con altri strumenti o procedimenti.

CARATTERISTICHE DEGLI STRUMENTI DI MISURA

Due sono le caratteristiche che e' fondamentale conoscere di ogni strumento di misura che si utilizzi:

1. la **PORTATA**: il massimo intervallo di valori che lo strumento puo' misurare;
2. la **SENSIBILITA'** : la piu' piccola misura che si puo' apprezzare con lo strumento.

Di solito gli strumenti molto sensibili hanno piccola portata e gli strumenti di grande portata sono poco sensibili.

Nel caso di misure singole, non ripetute, il risultato va indicato come:

$$X = x \pm \Delta x = \text{valore misurato} \pm \text{sensibilita'}$$

In genere $Dx > \sigma_{\bar{x}}$, dato che deve essere $Dx \sim \sigma_x$. Anche da qui si puo' vedere che, ove possibile, conviene ripetere la misura tante volte per ridurre l'errore sul valore medio.

PRECISIONE ED ERRORE PERCENTUALE

Si diano due misure:

$$M_1 = (80 \pm 1) \text{ cm}$$

$$M_2 = (500 \pm 1) \text{ cm}$$

1 cm e' l'errore assoluto E_a , uguale per entrambe le misure; esso, tuttavia, non da direttamente una informazione sulla bonta' o **PRECISIONE** della misura, cioe' sul peso dell'errore da cui e' affetta. Tale tipo di informazione viene data dall'**ERRORE RELATIVO** o **PERCENTUALE** $E\%$:

- errore relativo $E\% = 100 E_a / M$

tanto piu' e' piccolo tanto piu' la misura e' precisa (il peso dell'errore e' piccolo).

- errore assoluto $E_a = M E\% / 100$

ARROTONDAMENTO

Arrotondare vuol dire esprimere il risultato di una misure con un numero finito di **CIFRE SIGNIFICATIVE**. Cifre significative di un numero, leggendolo da sinistra a destra, sono tutte quelle che seguono la prima cifra diversa da zero:

cifra piu' significativa 23.528 cifra meno significativa **5 cifre significative**

0.0034 **2 cifre significative**

Vediamo come si puo' arrotondare un risultato, per esempio a **4 cifre significative**:

- per difetto: **0.0527839** @0.05278 **5^cifra: 0-4**
- per eccesso: **124.6725** @124.7 **5^cifra: 5-9**

Per **ESPRIMERE CORRETTAMENTE IL RISULTATO** di una misura occorre:

- determinare l'errore** assoluto da cui e' affetta;
- arrotondare** il valore dell'errore assoluto a **2 cifre significative**
- arrotondare** il valore del **risultato** in modo che l'incertezza espressa dall'errore assoluto si riversi sulle ultime **2 cifre significative** del risultato. **Ulteriori cifre del risultato sono PRIVE DI SIGNIFICATO** perche' meno significative dell'errore, cioe' dell'incertezza con cui e' possibile ottenere il risultato.

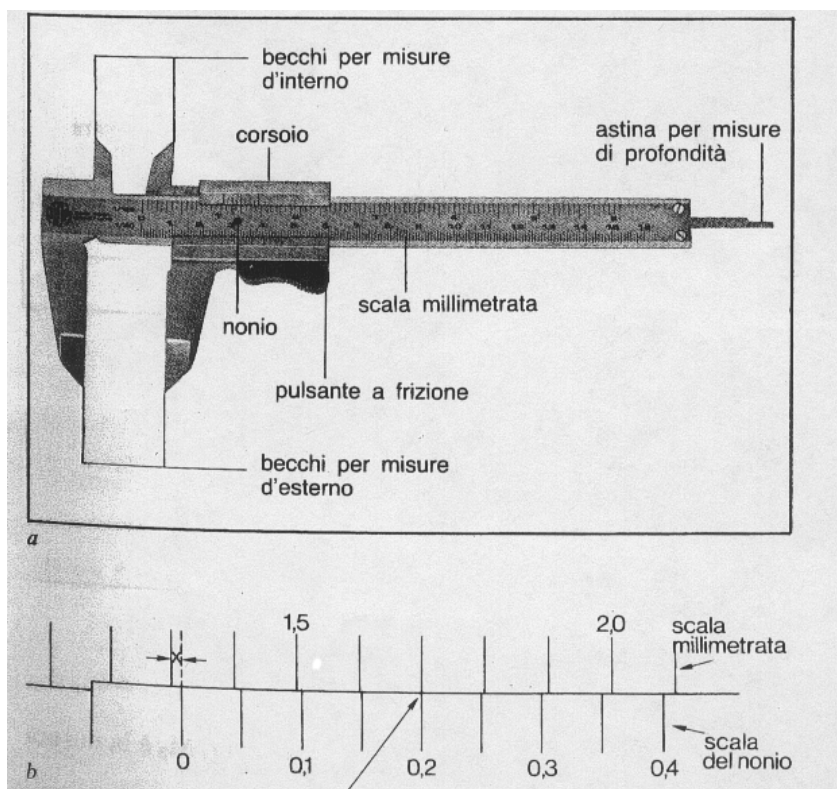
Esempi: $(2,143 \pm 0.041) \text{ m/s}$ $E\% = 1.9\%$

$(19.00 \pm 0.51) \text{ m/s}$ $E\% = 2.7\%$

CALIBRO VENTESIMALE E MICROMETRO PALMER

Descriviamo brevemente due strumenti di misura che verranno utilizzati in laboratorio: il CALIBRO VENTESIMALE ed il MICROMETRO PALMER.

Il **calibro** e' uno strumento che permette di misurare lunghezze al massimo si una ventina di *cm* con una sensibilita' migliore del decimo di *mm*. E' costituito da una parte fissa e da una parte mobile, con le quali e' possibile stringere un oggetto per effettuare misure di esterno. Sulla parte fissa c'e' una scala in *cm* con divisioni di *1 mm*, mentre sulla parte mobile c'e' un'altra piccola scala, detta **nonio** che permette di aumentare la sensibilita' di lettura fino a **1/20 mm**. La tecnica di lettura e' descritta nella figura.

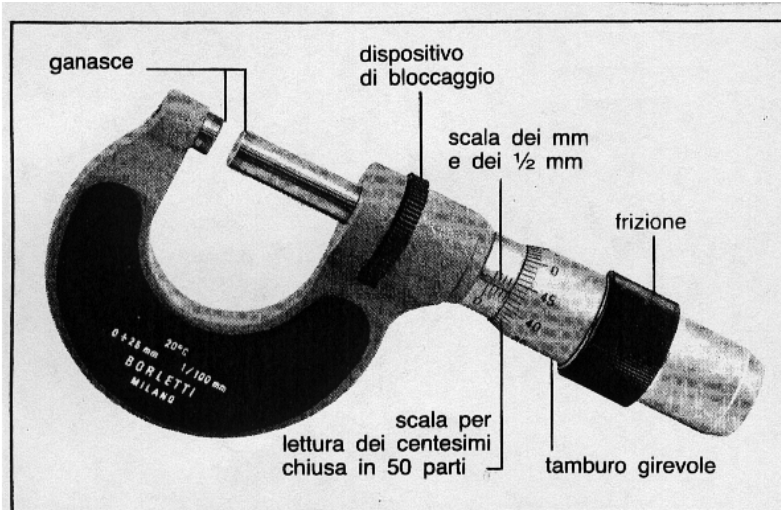


La lunghezza misurata viene letta sulla scala millimetrata in corrispondenza dello « zero » della scala del nonio.

Nell'esempio (fig. 6b) la tacca dello zero del nonio è un po' oltre la tacca dei 13 mm; la lunghezza misurata è: $13 \text{ mm} + x$. Il valore di x è di tanti ventesimi di *mm* quanti sono i passi che si devono fare sulla scala del nonio per trovare una tacca coincidente con una tacca della scala millimetrata. Nell'esempio, 4 passi: perciò $x = 4/20 \text{ mm} = 0,20 \text{ mm}$. (Ciò succede perché ad ogni passo la tacca del nonio « resta indietro » di $1/20$ di *mm* rispetto alla corrispondente tacca dei *mm*: ad $1/20$ di *mm* per volta, la distanza tra le tacche viene « consumata » fino ad annullarsi).

Con il calibro e' possibile effettuare anche misure di interno e di profondita' usando gli appositi becchi e l'astina, come indicato nella figura.

Un altro strumento, usato per misurare spessori con la sensibilita' di **1/100 mm**, e' il **micrometro di Palmer**. La sua portata e' solitamente di 25 mm: da 0 a 25 mm, oppure da 25 a 50 mm, ecc. Fino ad un massimo di 100 mm. L'elevata sensibilita' di lettura si ottiene misurando l'angolo di rotazione di una vite che, avanzando o retrocedendo, comanda la chiusura o l'apertura delle sue ganasce. La figura mostra l'aspetto di questo strumento ed il modo in cui si esegue la lettura.



Micrometro Palmer. Il tamburo girevole è collegato ad una vite il cui passo è 1/2 mm. Ad ogni giro della vite le ganasce si aprono o si chiudono di 1/2 mm ed il tamburo scopre o ricopre la scala dei mm e 1/2 mm incisa sul gambo del micrometro.

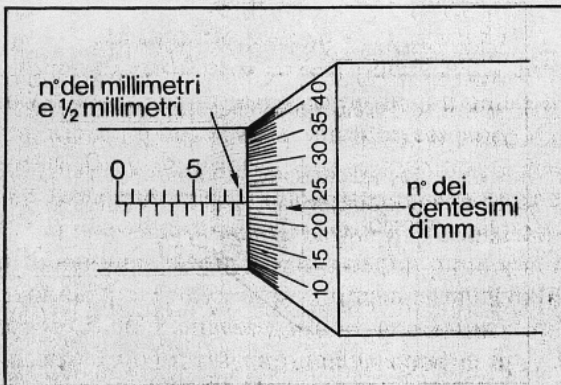
Una rotazione pari ad 1 divisione della scala incisa sul tamburo è 1/50 di giro, cioè uno spostamento delle ganasce di 1/50 di 1/2 mm = mm (completare). Per non serrare troppo le ganasce si deve manovrare il tamburo con il bottone a frizione.

Negli esempi (figg. 7b, c) si leggono le lunghezze:

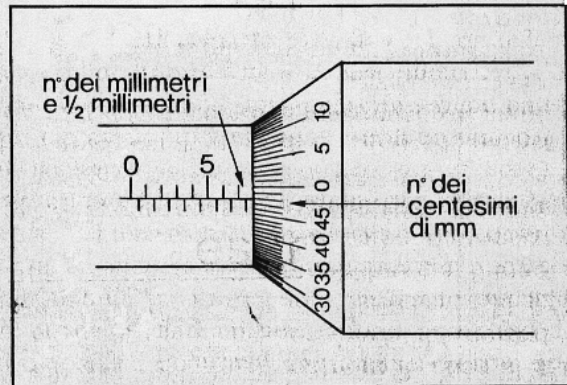
$$8 \text{ mm} + 23/100 \text{ mm} = 8,23 \text{ mm};$$

$$7 \text{ mm} + 1/2 \text{ mm} + 47/100 \text{ mm} = 7,97 \text{ mm}.$$

a



b



c

MISURE DI SPESSORE

- Con il calibro misurare 30 volte lo spessore della lente di plexiglas convergente o divergente. Dopo ogni misura riazzerare il calibro. Far fare una misura ad ogni membro del gruppo alternativamente.
- Raccogliere le misure nella seconda colonna della seguente tabella:

<i>misura</i>	x_i	$x_i - \bar{x}_i$	$(x_i - \bar{x}_i)^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

- Dopo aver ultimato le 30 misure valutare il valor medio, gli scarti e gli scarti a quadrato di ogni misura rispetto alla media (da scrivere nella terza e quarta colonna della tabella)

ed infine σ_x e $\sigma_{\bar{x}}$

<i>calibro</i>	
\bar{x}	mm
σ_x	mm
$\sigma_{\bar{x}}$	mm

- Dividere in classi le misure in modo opportuno e rappresentare attraverso un istogramma la distribuzione delle frequenze dei risultati delle misure

- Con il micrometro Palmer ripetere le 30 misure di spessore. Ricordarsi di spostare lo strumento ad ogni misura e di far turneggiare gli osservatori. Costruire una nuova tabella simile a quella utilizzata per i dati ottenuti con il calibro e riportarvi i dati nelle prime due colonne.

<i>misura</i>	x_i	$x_i - \bar{x}_i$	$(x_i - \bar{x}_i)^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

- Dopo aver ultimato le 30 misure valutare il valor medio, gli scarti e gli scarti a quadrato di ogni misura rispetto alla media (da scrivere nella terza e quarta colonna della seconda tabella) ed infine σ_x e $\sigma_{\bar{x}}$

<i>micrometro Palmer</i>	
\bar{x}	mm
σ_x	mm
$\sigma_{\bar{x}}$	mm

- Dividere in classi le misure in modo opportuno e rappresentare attraverso un istogramma la distribuzione delle frequenze dei risultati delle misure

Torino, 25 novembre 2003

Gruppo:
.....
.....
.....

QUESTIONARIO FINALE LEZIONE 1 MISURE FISICHE

DOMANDE RELATIVE ALLE MISURE DI SPESSORE

- MISURE EFFETTUATE CON IL CALIBRO

1. Scrivere il risultato finale della misura effettuando gli opportuni arrotondamenti ai valori della media \bar{x} e dell'errore sulla media $\sigma_{\bar{x}}$

$x =$

2. Confrontare il valore di $\sigma_{\bar{x}}$ con la sensibilita' del calibro. Commentare.

3. Confrontare il valore di σ_x con la sensibilita' del calibro. Commentare.

4. Individuare possibili fonti di errori sistematici nelle misure e, se presenti, stimarne l'entita'. Dire come si potrebbe operare per compensare tale tipo di errori.

• MISURE EFFETTUATE CON IL MICROMETRO PALMER

5. Scrivere il risultato finale della misura effettuando gli opportuni arrotondamenti ai valori della media \bar{x} e dell'errore sulla media $\sigma_{\bar{x}}$: $x =$

6. Confrontare il valore di $\sigma_{\bar{x}}$ con la sensibilita' del calibro. Commentare.

7. Confrontare il valore di σ_x con la sensibilita' del calibro. Commentare.

8. Individuare possibili fonti di errori sistematici nelle misure e, se presenti, stimarne l'entita'. Dire come si potrebbe operare per compensare tale tipo di errori.

9. *Facoltativo*

Supponendo che le lenti di cui si misura lo spessore siano state ottenute con una attrezzatura che assicura solo in modo limitato la planarita' delle due superfici piane delle lenti, dire che cosa rappresenta fisicamente σ_x e la distribuzione delle misure.

Candidato:

DOMANDE RIASSUNTIVE

1. Nella frase seguente: "Il volume del recipiente e' 5 dm^3 , corrispondenti a 5000 cm^3 " trovare :

a) di quale grandezza fisica si parla ?

b) quali sono le unita' di misura usate per esprimerne il valore ?

.....

c) quale delle unita' usate e' la piu' grande ? Qual' e' la relazione esistente tra le diverse unita' di misura ?

.....

d) esprimere il valore della grandezza in m^3

2. Le temperature vengono abitualmente espresse in gradi Celsius

($^{\circ}\text{C}$); nei paesi anglosassoni si usano anche i gradi Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Tra la temperatura del ghiaccio fondente e quella dell'acqua bollente vi sono $100 (^{\circ}\text{C})$ e $180 (^{\circ}\text{F})$.

a) quale delle due unita' di misura e' piu' grande ?

b) quanto vale il rapporto tra le due unita' di misura ?

3. Completare la seguente frase:

Un volume ha le dimensioni di Indichiamo le dimensioni dei volumi con [.....]. L'unita' di misura del S.I. per i volumi e'

4. Sei gruppi di studenti hanno misurato in laboratorio la densita' ρ dell'alluminio ($\rho = \text{densita}' = \text{massa} / \text{volume}$) trovando i seguenti valori: $2,71 \text{ g/cm}^3$; $2,68 \text{ g/cm}^3$; $2,65 \text{ g/cm}^3$; $2,73 \text{ g/cm}^3$; $2,72 \text{ g/cm}^3$; $2,67 \text{ g/cm}^3$.

Qual' e' secondo queste misure la stima piu' attendibile della densita' dell'alluminio, e con quale incertezza la si puo' esprimere ?

stima piu' attendibile =

incertezza =

5. Convertire il risultato dell'esercizio precedente in kg/m^3

.....

6. Un cattivo orologio corre di 10 minuti al giorno. Che tipo di errore si compie misurando con quell'orologio un tempo di 2 ore?

.....

Quanto vale tale errore ?

Le misure che si compiono sono sbagliate per eccesso o per difetto?

7. Calcolare gli errori percentuali delle misure seguenti e disporle in ordine dalla piu' precisa alla meno precisa: $M_1 = (10,00 \pm 0.05) \text{ mm}$; $M_2 = (40,0 \pm 0.1) \text{ kg}$; $M_3 = (80,00 \pm 0.1) \text{ cm}$; $M_4 = (20,00 \pm 0.4) \text{ g}$.

.....

.....

.....

.....

8. Calcolare, conservando prima 2 e poi 1 sola cifra significativa, gli errori percentuali delle misure seguenti: $M_1 = (48 \pm 4) \text{ cm}$; $M_2 = (1,50 \pm 0.05) \text{ m}$; $M_3 = (25 \pm 3) \text{ g}$; $M_4 = (350 \pm 2) \text{ km}$.

.....

.....

9. Nel misurare una velocita', il cui valore e' 25 m/s , si e' compiuto un errore percentuale del 2%. Quanto vale l'incertezza assoluta della misura?

10. Tre persone misurano la stessa lunghezza, usando rispettivamente una riga millimetrata, una fettuccia centimetrata ed un'asta su cui sono indicati i decimetri. Con la riga millimetrata si e' trovato il valore 0.838 m . Come devono essere scritte le misure eseguite con gli altri due strumenti?

11. Il piatto di una bilancia a stadera si è talmente consumato da bucarsi ed il proprietario lo ha riparato saldandovi un pezzo di lamiera. Che tipo di errori potrà aspettarsi usando questa bilancia se il lavoro non è stato eseguito con cura?