

Elementi di metrologia

CENNI STORICI

■ Società antiche

Con il sorgere dei grandi imperi a struttura complessa in Mesopotamia e in Egitto, emerse la necessità di elaborare e adottare un sistema di misura chiuso. Intorno al 3000 a.C., quando il faraone Menes unificò l'Alto e il Basso Egitto, fondando la prima dinastia, si impose la necessità di un sistema di misure unificato.

Uno stato centralizzato e burocratizzato ne aveva bisogno per il suo funzionamento, a cominciare dal controllo e dalla riscossione dei tributi. Il complesso apparato di esattori sparso sull'enorme territorio imponeva una uniformità, o quantomeno una confrontabilità, fra le varie misure locali.

Per le misure lineari si faceva riferimento alla distanza tra gomito e mano, che si credeva fissa in quanto determinata da un osso, detto cubito. Ma poiché questa misura variava da persona a persona, fu scelta la misura del cubito del Faraone in carica, che fu scolpita sui muri dei templi principali, da cui vennero ricavati campioni in pietra e in legno.



Cubito egizio conservato presso il Museo Egizio di Torino.

Anche Sumeri, Assiri e Persiani adottarono proprie unità di misura. Queste differenze crearono grandi difficoltà negli scambi commerciali, ma non si giunse al loro superamento se non quando s'imposero, con Alessandro Magno, un nuovo assetto politico-militare e una nuova fusione culturale; i sistemi metrologici dei Greci e dei Romani (peraltro ricavati nel corso del tempo dalle precedenti unità) uniformarono la base di tutto il commercio nell'area mediterranea.

■ Società contemporanee

Per molti secoli i sistemi di misura adottati nei diversi stati e società subirono una profonda diversificazione, pur nella continuità con quelli antichi.

Con la Rivoluzione francese però si giunse a una svolta anche per i sistemi di misura: nasceva il **sistema metrico decimale**. La spinta convergente di interessi commerciali, di esigenze industriali, del pensiero scientifico e filosofico condusse l'Assemblea Costituente a proclamare (1790) l'adozione del nuovo sistema, basato sul **metro**: esso era una unità naturale, cioè fondata su una grandezza naturale, il meridiano terrestre, di cui è la quarantamillesima parte. I campioni del metro e del kilogrammo vennero depositati a Sèvres, custoditi con somma cautela, per ricavarne i campioni secondari, da diffondere nei diversi Stati. È da notare che per motivi bellici l'Inghilterra non ha mai adottato il sistema metrico decimale, perciò le sue unità di misura (ancora oggi in uso) sono rimaste anomale.

Da allora la scienza della misura, la **metrologia**, ha fatto grandi passi in avanti, creando sistemi (quali il CGS, l'MKS e l'attuale SI) che hanno arricchito e semplificato il sistema metrico decimale, di pari passo con l'evoluzione della scienza e della tecnologia.



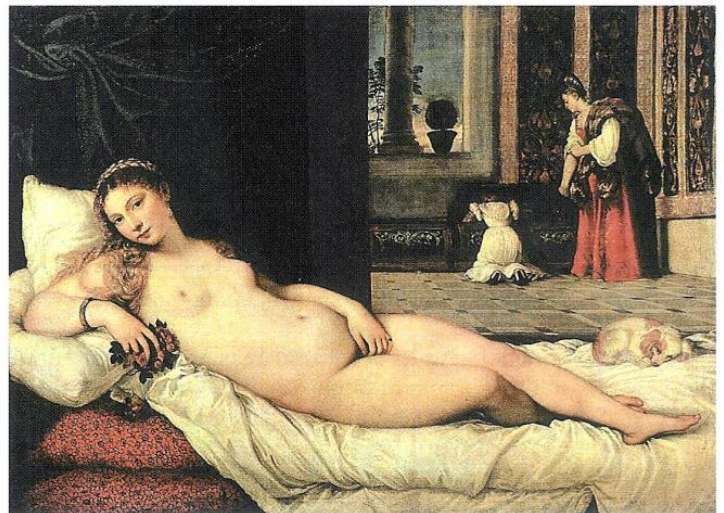
Manifesti francesi di propaganda del nuovo sistema metrico decimale.

COS'È LA METROLOGIA

La **metrologia** è la scienza che ha per oggetto lo studio dei principi, dei metodi e dei mezzi necessari per effettuare la misurazione delle grandezze fisiche.

Essa pertanto si occupa solo di **grandezze fisiche**; tanto è vero che, per aver diritto a essere definite tali, le proprietà di un oggetto o fenomeno devono essere misurabili, cioè deve essere possibile definirne unità di misura e metodi di misurazione.

Quindi, per esempio, la bellezza di una persona o di un quadro non rientra tra le grandezze fisiche; tra esse, invece, si possono annoverare la lunghezza, il peso, la forza, ecc.



Come si può misurare la bellezza di un'opera d'arte come *La Venere di Urbino* di Tiziano?

COS'È UNA UNITÀ DI MISURA

Per misurare una grandezza fisica, la si **confronta** con una della stessa specie, cioè con una **unità di misura**.

Nei secoli si sono gradualmente imposti precisi criteri per l'adozione delle unità di misura; essi sono:

- **semplicità**;
- **reperibilità**;
- **riproducibilità**;
- **precisione**.

Anticamente i primi tre criteri hanno portato all'uso di **unità antropometriche**, cioè basate sulle dimensioni del corpo umano; attualmente la tecnologia consente di soddisfare anche le più alte esigenze di precisione usando **unità di misura naturali**, cioè basate su grandezze o fenomeni esistenti in natura. Attualmente il metro è definito in funzione della velocità della luce, grazie alla disponibilità di strumenti molto precisi.

COS'È UNA MISURA

Per **misura** di una grandezza fisica si intende il prodotto di due fattori, di cui uno è una grandezza della stessa specie, scelta come unità di misura, e l'altra è un numero puro, che esprime quante volte questa unità è contenuta nella grandezza da misurare.

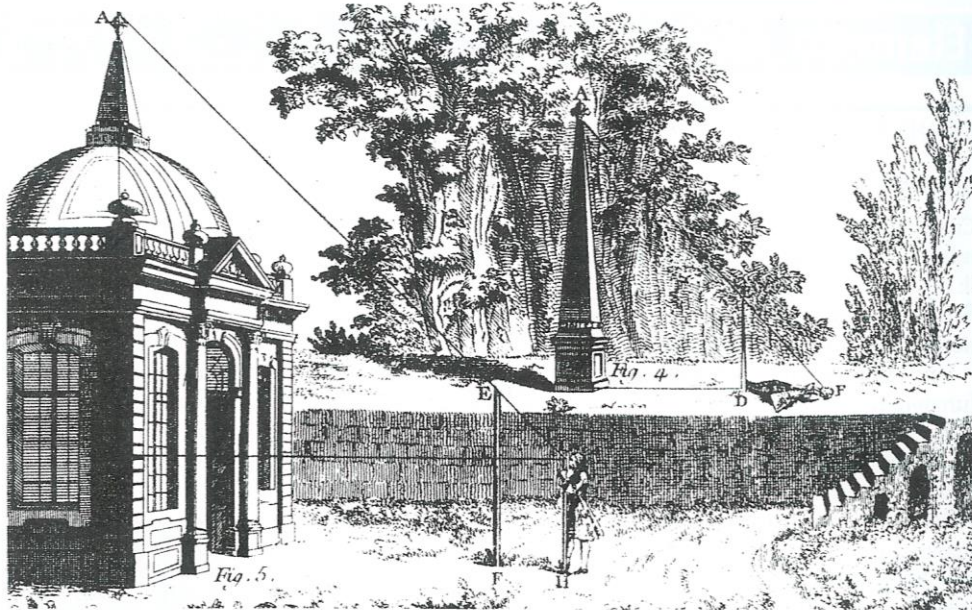
COME SI MISURA

Per ottenere una misura si può ricorrere a due metodi:

- **misurazione diretta;**
- **misurazione indiretta.**

Si ha una **misura diretta** quando si confronta direttamente l'unità di misura con la grandezza da misurare e si stabilisce il numero di unità contenute nella grandezza misurata. Per esempio sono misurabili direttamente l'altezza di un uomo, il battito cardiaco, la massa di un tavolo.

Si ha invece una **misura indiretta** quando si elaborano con prodotti e/o rapporti matematici altre misure eseguite direttamente. Per esempio vengono misurate indirettamente la velocità di un'auto, la potenza di una lampadina oppure la distanza Terra-Luna.



Misurazioni indirette di altezza (Saverien, *Dictionnaire Universel*).

QUALI UNITÀ DI MISURA

L'unità di misura (quindi il suo campione) deve essere **compatibile**, cioè adeguata alle dimensioni dell'oggetto o fenomeno che vogliamo esplorare e misurare.

Dopo aver definito una unità di misura, nella pratica se ne adotta un opportuno **multiplo** o **sottomultiplo**: un muratore esprime le misure in metri (al massimo in centimetri), un meccanico d'officina invece le esprime in millimetri.

I criteri di scelta dei multipli e sottomultipli sono molti e legati a esigenze pratiche, di calcolo, di tradizione. Per esempio:

- **decimali** (moderni e razionali, prevalenti);
- **sessagesimali** (antichi, sopravvivono nella misura degli angoli);
- **pratici** (frutto di esigenze varie).

QUANTE UNITÀ DI MISURA

Se per ogni grandezza da misurare adottassimo una particolare unità, dovremmo definirne una gran numero, con notevoli problemi di praticità. Se invece scegliessimo poche unità, dalle quali ricavare la misurazione indiretta di molte grandezze, avremmo dei rischi di imprecisione; infatti nell'elaborazione di diverse misure dirette si accumulano errori su errori.

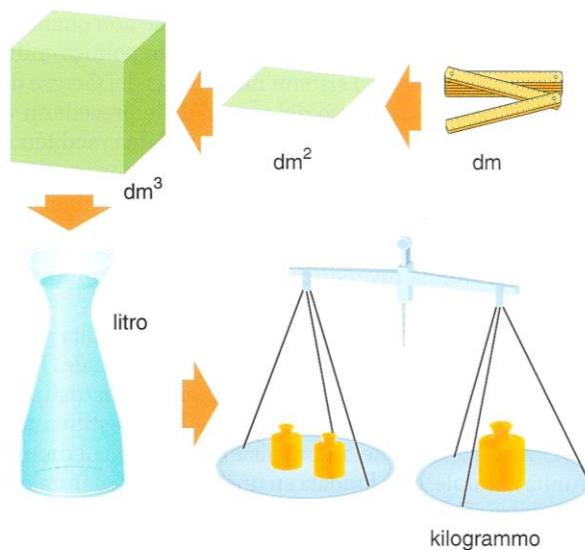
Le esigenze di praticità e semplicità logica per favorire gli scambi internazionali sono cresciute, e le conquiste tecniche aumentano la disponibilità di strumenti ad altissima precisione, perciò si è sempre più orientati verso l'adozione di poche unità.

RAGGUAGLIO TRA LE ANTICHE MISURE COL METRICO DECIMALE			
ANTICHE	METRICHE - DECIMALI		
MISURE DI CAPACITÀ PER I LIQUIDI			
ETTOLITRI LITRI DECILITRI			
BOTTE	52	52	5200
SALMA	5	5	500
BARILE	2	2	200
QUARTARA	1	1	100
QUARTUCCIO	0,5	0,5	50
MISURE DI CAPACITÀ PER I SOLIDI			
ETTOLITRI LITRI DECILITRI			
SALMA	52	52	5200
TUNELLO	2	2	200
MONDELLO	1	1	100
CARUZZO	0,5	0,5	50
MISURE AGRARIE			
ETTARI ARE CENTIARE			
SALMA	52	52	5200
RISACCIA	2	2	200
TUNELLO	1	1	100
MONDELLO	0,5	0,5	50
PESI			
CHILOGRAMMI ETTOGRAMMI DECIGRAMMI			
CANTARO	52	52	5200
RETTOLO	2	2	200
ONCIA GROSSA	1	1	100
MISURE DI LUNGHEZZA			
METRO CENTIMETRI			
PALMO	22	22	2200
CANNA SCALA	2	2	200

Lapide del 1862, esposta a Palermo, con le numerose unità di misura da convertire al sistema metrico decimale.

COS'È UN SISTEMA DI UNITÀ DI MISURA

Un sistema di unità di misura è l'insieme di poche **unità fondamentali**, di cui si dà una definizione operativa, e di tutte le altre, dette **unità derivate**, ricavabili dalle fondamentali mediante prodotti e/o rapporti.



Dall'unità delle lunghezze è possibile ricavare quelle di superfici, volumi, capacità, pesi.

Il sistema deve essere tale da garantire l'**indipendenza tra le unità fondamentali**. Un sistema si dice:

- **assoluto**, se le sue unità derivano da fenomeni naturali non legati al luogo e al tempo della misurazione;
- **coerente**, se il prodotto e il quoziente di più unità fondamentali forniscono una nuova unità derivata con coefficiente numerico 1;
- **razionalizzato**, se è ottenuto eliminando il numero irrazionale π da tutte le formule, tranne quelle relative a cerchi, sfere e cilindri.
- **decimale**, se ha multipli e sottomultipli in base 10.

L'attuale **Sistema Internazionale (SI)** è caratterizzato dall'essere **assoluto, coerente, razionalizzato e decimale**.

IL SISTEMA INTERNAZIONALE (SI)

Il **Sistema Internazionale di Unità**, la cui abbreviazione è SI, è stato adottato nel 1960, completato nel 1983. È fondato su sette grandezze fondamentali: le quattro del precedente Sistema MKSA, o Sistema Giorgi, e cioè la **lunghezza**, la **massa**, gli **intervalli di tempo**, l'**intensità di corrente elettrica**, alle quali sono state aggiunte la **temperatura**, l'**intensità luminosa** e la **quantità di sostanza**.

Il sistema SI è un **sistema decimale**, quindi con multipli e sottomultipli in base 10.

■ Norme di scrittura del sistema SI

- Le cifre che costituiscono i numeri devono essere riunite a **gruppi di 3** dalla destra alla sinistra se si tratta di numeri interi, a sinistra della virgola verso destra se sono decimali.

Esempi: 1 070 12 480 56 290 370
 2,639 2,890 583 0,000 682

- È **sconsigliato** (ma non errato) l'uso del punto per la suddivisione a gruppi, per la possibile confusione con l'uso anglosassone del punto al posto della virgola. Sono perciò sconsigliate le seguenti forme:

6.782 561.943 12.561,37

- I simboli per le unità di misura fondamentali sono scritti in **lettere minuscole**, tranne quelle derivate da nomi propri come l'ampere (A), il kelvin (K), ecc.

- I simboli non richiedono mai il punto. Perciò

è errato scrivere m. s. kg.
ma si scriverà m s kg

- È errato scrivere mt per metro e sec per secondo.

- È errato scrivere mq e mc per indicare il metro quadrato e il metro cubo; l'indicazione esatta è m² e m³.

- Il valore numerico deve precedere il simbolo dell'unità. Quindi:

1000 g e non g 1000
7,2 m e non m 7,2

SISTEMA SI					
MULTIPLI			SOTTOMULTIPLI		
PREFISSO	SIMBOLO	VALORE	PREFISSO	SIMBOLO	VALORE
esa-	E	10 ¹⁸	deci-	d	10 ⁻¹
peta-	P	10 ¹⁵	centi-	c	10 ⁻²
tera-	T	10 ¹²	milli-	m	10 ⁻³
giga-	G	10 ⁹	micro-	μ	10 ⁻⁶
mega-	M	10 ⁶	nano-	n	10 ⁻⁹
kilo-	k	10 ³	pico-	p	10 ⁻¹²
etto-	h	10 ²	femto-	f	10 ⁻¹⁵
deca-	da	10 ¹	atto-	a	10 ⁻¹⁸

nota bene

Nel mondo anglosassone sono ancora in uso unità anomale, quali:

inch (pollice) = 2,54 cm

feet (piede) = 30,48 cm

yard = 91,44 cm

Nei precedenti sistemi di unità di misura gran parte delle unità facevano riferimento a **campioni**, depositati a Sèvres, presso l'Ufficio Internazionale Pesi e Misure pertanto erano dette **unità campionate**.

Tranne il kilogrammo, nel Sistema SI sono scomparse totalmente le unità campionate, soppiantate da **unità naturali**, cioè definite mediante fenomeni naturali.

UNITÀ FONDAMENTALI DEL SISTEMA SI

GRANDEZZA	UNITÀ E SIMBOLO	DEFINIZIONE
Lunghezza	metro (m)	Distanza percorsa nel vuoto dalla luce nell'intervallo di tempo di 1/299 792 458 s.
Intervallo di tempo	secondo (s)	Durata di 9 192 631 770 oscillazioni della radiazione emessa nella transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dall'atomo di cesio-133.
Massa	kilogrammo (kg)	Massa del prototipo di platino-iridio depositato a Sèvres.
Temperatura	kelvin (K)	Frazione 1/273,16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.
Intensità di corrente	ampere (A)	Corrente elettrica costante che, fluendo in due conduttori rettilinei, paralleli, indefinitamente lunghi, di sezione circolare trascurabile, posti a distanza di 1 m nel vuoto, determina tra essi una forza pari a $2 \cdot 10^{-7}$ N per metro di conduttore.
Intensità luminosa	candela (cd)	Intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza pari a $540 \cdot 10^{12}$ Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è di (1/683) W/sr.

Quantità di materia	mole (mol)	Quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 kg di carbonio-12.
---------------------	------------	---

UNITÀ SUPPLEMENTARI DEL SISTEMA SI

GRANDEZZA	UNITÀ E SIMBOLO	DEFINIZIONE
Angolo piano	radiante (rad)	Angolo piano, con il vertice nel centro della circonferenza, che sottende un arco di lunghezza uguale al raggio.
Angolo solido	steradiano (sr)	Angolo solido, con il vertice nel centro di una sfera, che sottende una calotta sferica la cui area è uguale a quella di un quadrato con i lati uguali al raggio della sfera.

UNITÀ DERIVATE DEL SISTEMA SI

GRANDEZZA	UNITÀ	SIMBOLO
Area	metro quadrato	m ²
Volume	metro cubo	m ³
Velocità lineare	metro al secondo	m/s
Accelerazione	metro al secondo quadrato	m/s ²
Velocità angolare	radiante al secondo	rad/s
Densità	kilogrammo al metro cubo	kg/m ³
Forza	newton	N
Peso	newton	N
Pressione	pascal	Pa
Frequenza	hertz	Hz
Lavoro	joule	J
Potenza	watt	W
Temperatura	grado Celsius	°C
Carica elettrica	coulomb	C
Potenziale, differenza di potenziale, tensione	volt	V
Forza elettromotrice	volt	V
Resistenza elettrica	ohm	Ω
Capacità elettrica	farad	F
Flusso magnetico	weber	Wb
Flusso luminoso	lumen	lm
Illuminamento	lux	lx

UNITÀ (NON SI) AMMESSE

GRANDEZZA	UNITÀ	SIMBOLO
Lunghezza	miglio marino	n mi
	angstrom	Å
Massa	tonnellata	t
Tempo	ora	h
	minuto	min
	giorno	d
Angolo piano	grado sessagesimale	°
	minuto di grado	'
	secondo di grado	"
Area	ettaro	ha
	ara	a
	centiara	ca
Volume	litro	l
Velocità	kilometro/ora	km/h
	nodo	
Forza	kilogrammo forza	kgf
Pressione	atmosfera normale	atm
	atmosfera tecnica	at
	millimetro di mercurio	mmHg
Lavoro	kilowattora	kWh
Quantità di calore	grande caloria	cal
Potenza	cavallo vapore	CV
Carica elettrica	amperora	Ah
Flusso di induzione magnetica	maxwell	Mx
Induzione magnetica	gauss	G

UNITÀ DECIMALI DI USO CORRENTE
MISURE LINEARI

kilometro	km	=	1000 m
ettometro	hm	=	100 m
decametro	dam	=	10 m
metro	m		
decimetro	dm	=	0,1 m
centimetro	cm	=	0,01 m
millimetro	mm	=	0,001 m
micrometro	μm	=	0,000 001 m

MISURE DI SUPERFICI

kilometro quadrato	km ²	=	1 000 000 m ²
ettometro quadrato	hm ²	=	10 000 m ²
decametro quadrato	dam ²	=	100 m ²
metro quadrato	m ²		
decimetro quadrato	dm ²	=	0,01 m ²
centimetro quadrato	cm ²	=	0,0001 m ²
millimetro quadrato	mm ²	=	0,000 001 m ²

MISURE DI VOLUMI

metro cubo	m ³		
decimetro cubo	dm ³	=	0,001 m ³
centimetro cubo	cm ³	=	0,000 001 m ³
millimetro cubo	mm ³	=	0,000 000 001 m ³

MISURE DI CAPACITÀ

ettolitro	hl	=	100 l
decalitro	dal	=	10 l
litro	l		
decilitro	dl	=	0,1 l
centilitro	cl	=	0,01 l

MISURE DI PESO

tonnellata	t	=	1000 kg
quintale	q	=	100 kg
kilogrammo	kg		
ettogrammo	hg	=	0,1 kg
decagrammo	dag	=	0,01 kg
grammo	g	=	0,001 kg
decigrammo	dg	=	0,0001 kg
centigrammo	cg	=	0,00001 kg
milligrammo	mg	=	0,000001 kg

STRUMENTI DI MISURA

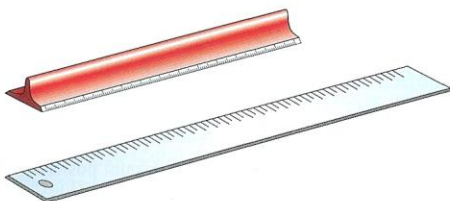
Mediante gli strumenti di misura siamo in grado di esprimere il valore delle grandezze. Questi dispositivi sono caratterizzati da alcune proprietà metrologiche rilevanti, quali:

- la **portata**, cioè il valore massimo che lo strumento può rilevare;
- la **risoluzione**, cioè la minima misura rilevabile dallo strumento;
- la **sensibilità**, cioè la capacità di segnalare piccole variazioni nella misurazione;
- la **precisione**, cioè lo scostamento rispetto a uno strumento campione.

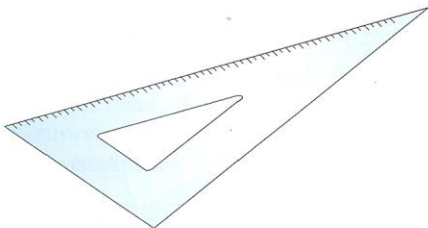
Di seguito esaminiamo solo i principali strumenti usati nel disegno tecnico.

STRUMENTI PER MISURE LINEARI

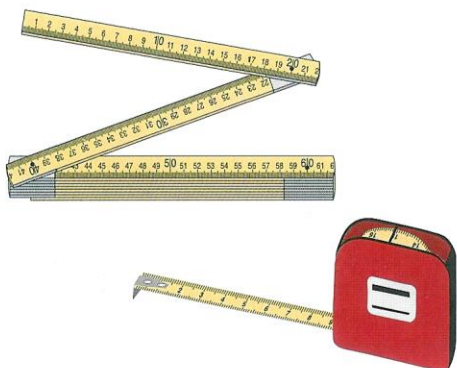
RIGHE E RIGHELLI GRADUATI. Hanno comunemente portata 20-60 cm e consentono misure con la risoluzione di 1 mm.



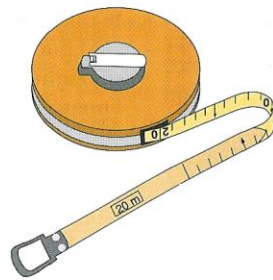
SQUADRE GRADUATE. Hanno comunemente portata 15-35 cm e consentono misure con la risoluzione di 1 mm. Esse consentono anche misurazioni di angoli particolari (90°, 30°, 45° e 60°).



METRO AVVOLGIBILE O PIEGHEVOLE. Ha portata 1-2 m e risoluzione di 1 mm.



FETTUCCIA METRICA. Ha portata 10-20 m e consente misure con risoluzione di 1 cm.



ASTE GRADUATE. Hanno portata 1-3 m e consentono misure con risoluzione di 1 cm.



ASTE TELESCOPICHE. In genere hanno portata 3-5 m e consentono misure con risoluzione di 1 cm.

CALIBRO A CORSOIO. Ha una portata di 130-500 mm e consente misure con risoluzione di 1/10, 1/20, 1/50 di mm, secondo il nonio in esso presente.



Nonio ventesimale

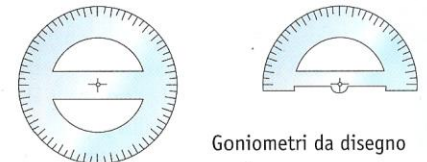
CALIBRO DIGITALE. Ha caratteristiche analoghe a quelle dello strumento precedente; in più è provvisto di un display su cui si legge il valore della misura.



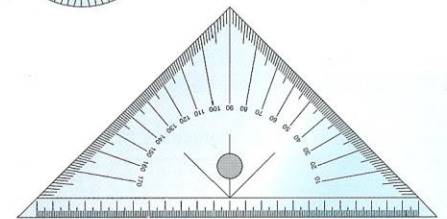
MICROMETRO. Con portata 25-100 mm, consente misure con risoluzione compresa tra 1/100 e 1/1000 di mm.

STRUMENTI PER MISURE ANGOLARI

GONIOMETRO. Normalmente ha una portata di 180°-360° e consente misure con risoluzione di 1°.



Goniometri da disegno



Squadretta con goniometro

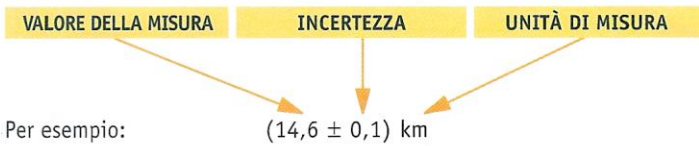


Goniometro da officina

INCERTEZZA DELLA MISURA

Misurando più volte lo stesso oggetto con uno stesso o diversi strumenti si registrano valori diversi; la misurazione è quindi soggetta a una **incertezza**.

In pratica la misura è l'insieme di tre dati:

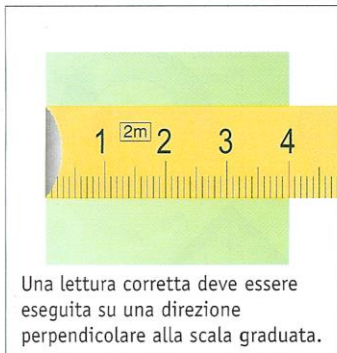


Per esempio:

Anche usando gli strumenti più sofisticati è possibile ridurre l'incertezza, ma non annullarla. Le incertezze si possono classificare in due gruppi: incertezze sistematiche e incertezze accidentali.

INCERTEZZE SISTEMATICHE: sono principalmente quelle dovute allo strumento; strumenti di scarsa precisione, soggetti a usura, realizzati con materiali deformabili, forniscono misure costantemente diverse da quelle di altri strumenti. Esempio comune è quello di un orologio tarato male e che va avanti o indietro, rispetto a quelli più precisi. È da notare che gli strumenti di misura, soprattutto quelli di laboratorio, sono provvisti di **certificato di taratura** che assegna allo strumento una particolare **classe di precisione**.

INCERTEZZE ACCIDENTALI: sono quelle dovute soprattutto all'ambiente o all'operatore; non sono facilmente quantificabili, e pertanto obbligano a misurazioni ripetute, sulle quali si calcolano i valori medi. Su queste incertezze influiscono fattori quali l'umidità, la temperatura e l'illuminazione dell'ambiente; ma elemento determinante è anche la perizia dell'operatore: errori nella scelta del modello di misurazione o dello strumento adatto, errori di manovra e posizionamento, errori di lettura. Tra questi ultimi è da ricordare l'**errore di parallasse**, cioè quello in cui si incorre eseguendo una lettura da una visuale non perpendicolare al piano della scala graduata.



ACCETTABILITÀ DELLA MISURA

Spingendo al massimo livello la precisione di una misura si scopre che persistono margini, anche se ridottissimi, di incertezza. Si può quindi dire che non possiamo conoscere la «misura vera», che quindi non esiste; la metrologia, scienza della precisione per eccellenza, si rivela paradossalmente come la «scienza dell'imprecisione». Ciò non vuol dire che essa ci impedisca di realizzare misurazioni utili allo scopo, ma che essa consente di conoscere i margini di incertezza e quindi di valutare l'**accettabilità della misura**.

Non sempre le misure richiedono una precisione elevata; d'altronde misurazioni di questo tipo comportano costi e tempi che spesso entrano in conflitto con le esigenze economiche e pratiche. A seconda dei casi ci si può accontentare di misure approssimative, ma sufficienti; ciò dipende dalle caratteristiche dell'oggetto o del fenomeno

da misurare. Per esempio se nella meccanica di precisione ci si deve spingere a misure con la risoluzione di 1/1000 di mm, nel definire la posizione di un oggetto all'interno di una stanza può essere sufficiente una misura con l'incertezza di 1 cm.

Si può pertanto dire che la **misura deve fornire una qualità di informazione funzionale agli scopi, alle esigenze e alle disponibilità dell'operatore**.

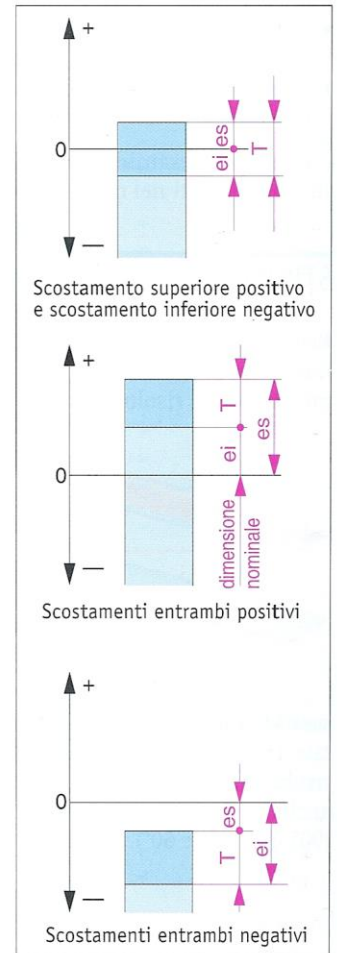
TOLLERANZA DI LAVORAZIONE

Nei disegni di progetto vengono indicate le dimensioni dell'oggetto da realizzare; però un prodotto finito non corrisponde mai perfettamente alle indicazioni del disegno. Eliminare queste imperfezioni, oltre che costoso, è talvolta inutile. Pertanto nei disegni di progetto, in particolare in quelli di tipo meccanico, si forniscono indicazioni sul grado di accettabilità degli errori di lavorazione; queste indicazioni sono riferite alla singola **dimensione nominale** (cioè quella teorica, prevista dal disegno). A questo valore vengono associati altri due valori:

- **scostamento superiore** (in figura, *es*), cioè la differenza algebrica tra la dimensione massima accettabile e la dimensione nominale;
- **scostamento inferiore** (in figura, *ei*), cioè la differenza algebrica tra la dimensione minima accettabile e la dimensione nominale.

Gli scostamenti vengono indicati dopo il valore nominale con cifre ridotte, per esempio: $30^{+0,1}$ oppure $40^{+0,3}_{-0,2}$. La differenza tra la dimensione massima accettabile e quella minima prende il nome di **tolleranza**.

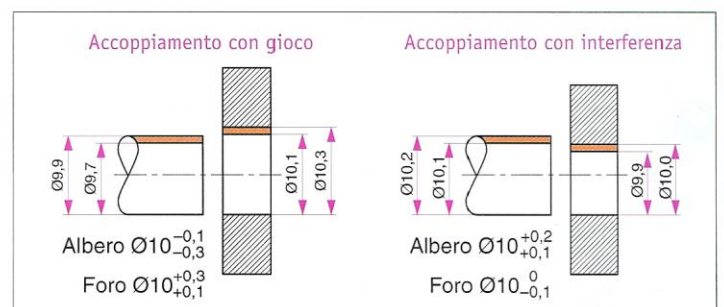
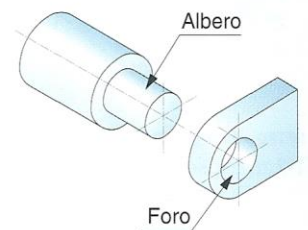
Le tolleranze sono particolarmente importanti quando si deve realizzare un accoppiamento tra due elementi, quale ad esempio un **albero** da inserire in un **foro**. In casi come questo si può desiderare che l'albero si muova liberamente nel foro (accoppiamento con gioco) oppure che esso si blocchi nel foro (accoppiamento con interferenza). A seconda della scelta si indicheranno le tolleranze conseguenti.



Scostamento superiore positivo e scostamento inferiore negativo

Scostamenti entrambi positivi

Scostamenti entrambi negativi



Misurazione e strumenti

Nelle pagine precedenti sono stati presentati i concetti fondamentali della metrologia, quali quelli di misura, unità di misura, sistemi di unità di misura e incertezza della misura.

Qui ci occuperemo della metrologia applicata, cioè dei problemi della misurazione e degli strumenti per misurare particolari caratteristiche:

- *dimensioni* (lunghezze e angoli);
- *forma* (rettilineità, planarità, rotondità);
- *posizione* (parallelismo, perpendicolarità).

MISURAZIONE

La **misurazione** è il procedimento che si mette in atto per quantificare una proprietà di un oggetto o di un fenomeno, cioè per ottenerne la misura.

La misura deve fornire una *qualità di informazione funzionale agli scopi*, alle esigenze o disponibilità dell'operatore. Non si può mettere in atto una misurazione senza avere definito scopi, mezzi e procedure per la misurazione.

In tal senso bisogna compiere i seguenti processi logici e operativi.

1. *Definire che cosa si misura* (il cosiddetto *misurando*) e le condizioni in cui si trova. Di un pistone si può per esempio misurare la durezza oppure il diametro; ma queste sue caratteristiche sono influenzate da diversi fattori, quale per esempio la temperatura che condiziona le sue dimensioni.
2. *Stabilire lo scopo della misurazione*, e quindi i metodi e l'incertezza della misura che si vuole ottenere. In ciò la funzione dell'oggetto è determinante: se il diametro di un pistone può essere misurato con una incertezza di $\pm 0,01$ mm, per il bilanciere di un orologio bisogna scendere a livelli molto più ridotti di incertezza.
3. *Scegliere l'unità di misura e il campione o strumento* che la concretizza. Se ci si può accontentare di una incertezza di ± 1 mm, si potrà ricorrere a un righello millimetrato, senza bisogno di altri più costosi e complessi strumenti.
4. *Programmare la sequenza corretta* per attuare la misurazione e leggere la misura. Oltre alle indicazioni d'uso fornite dal costruttore dello strumento, è importante controllare lo stato dello stesso e attuarne una eventuale messa a punto.
5. *Elaborare i dati*, effettuando correzioni e calcoli che conducono alla misura vera e propria. Spesso si effettuano ripetute misurazioni nelle stesse condizioni, elaborando poi statisticamente le misure ottenute.

Il risultato di una misurazione fornisce informazioni sia quantitative (il valore vero e proprio) sia qualitative (l'incertezza della misura).

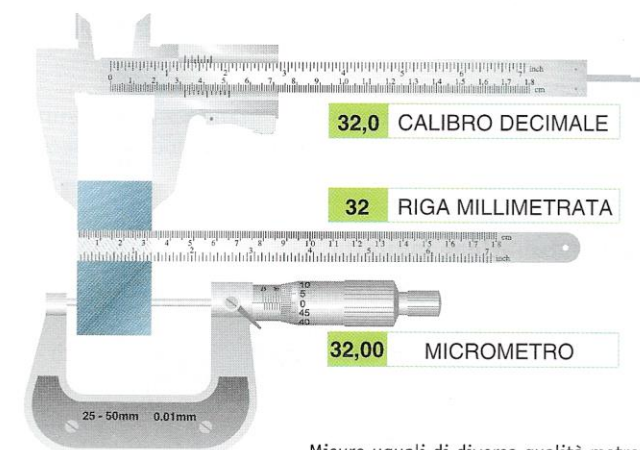
QUALITÀ DELLA MISURA

Per qualificare una misura sono determinanti:

- l'**unità di misura**; fornire le misure 8 m oppure 800 cm può sembrare equivalente, ma la prima misura mette in evidenza che si è utilizzato uno strumento in grado di apprezzare solo il metro, mentre nel secondo caso l'incertezza della misura è ± 1 cm;
- le **cifre significative**; se il valore presenta solo una parte intera oppure una parte intera e una decimale (cioè seguente la virgola), le cifre sono significative anche se fossero zero e qualificano la misura. Per esempio 32 mm, 32,0 mm e 32,00 mm, dal punto di vista matematico sono equivalenti, ma non dal punto di vista metrologico. Mentre la prima dichiara un'incertezza di 1 mm, la seconda ha un'incertezza di 0,1 mm e la terza di 0,01 mm.

Molti altri dati concorrono a qualificare l'incertezza di una misura, ma in generale si può dire che essa è ricavabile dalle *informazioni fornite dal costruttore dello strumento*; queste si possono ricondurre a:

- **condizioni operative** durante l'uso dello strumento;
- **classe di precisione** dello strumento, esplicitata attraverso il **certificato di taratura**.



TARATURA DEGLI STRUMENTI

La **taratura** consiste nel *confronto tra la misura ottenuta da uno strumento e quella fornita da uno strumento campione*.

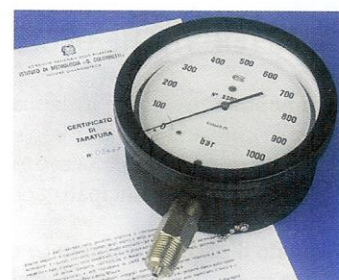
La taratura di uno strumento è realizzabile sia da parte del produttore sia da parte dell'operatore. Quest'ultimo, infatti, procede spesso a tarare lo strumento per verificarne lo stato, in funzione della qualità desiderata per le misure.

La taratura compiuta dal costruttore viene generalmente realizzata nei laboratori aziendali o in appositi laboratori metrologici, che rilasciano il **certificato di taratura** dello strumento.

Per garantire la qualità delle tarature fornite dai laboratori, è stato creato il **Servizio Italiano di Taratura (SIT)**, che consiste in una rete di *Centri di Taratura* che fanno capo a Istituti metrologici primari: IN-RIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica), ENEA (Ente Nazionale Energie Alternative) e ISS (Istituto Superiore di Sanità).

Il Servizio Italiano di Taratura mette a punto le procedure di taratura e verifica la compatibilità delle misure dei diversi laboratori, rilasciando a questi il riconoscimento quale Centro di Taratura.

La piramide costituita da Istituti metrologici primari e dai Centri di Taratura forma la struttura della graduale disseminazione dei campioni fino a pervenire allo strumento usato sul posto di lavoro.



I risultati della taratura di uno strumento, compiuta da un Centro SIT, vengono trasmessi mediante un certificato.

memo

La metrologia ha ormai abbandonato l'uso del termine **errore**, a favore di **incertezza**.

Il primo, infatti, è sinonimo di sbaglio, discrepanza rispetto a un «valore vero» che non si conosce e teoricamente resta indeterminato. Incertezza, invece, esprime meglio l'indeterminatezza insita in ogni risultato sperimentale.

METODI DI MISURAZIONE

Metodo di misurazione diretta

Consente di conoscere direttamente la misura senza ricorrere a misure di altre grandezze (tranne eventuali grandezze che influenzano la misurazione, come la temperatura).

Questo metodo comprende le seguenti metodologie operative.

Metodo di misura per deviazione o a lettura diretta.

La misura è fornita dallo spostamento dell'indice su una scala graduata o da altro tipo di segnale d'uscita. Gli strumenti di misura più usuali sono di questo tipo.

Metodo di misura per azzeramento o per confronto.

La misura è fornita dal confronto della grandezza da misurare con un campione a essa omogeneo. Questo metodo è utilizzato nelle bilance a due piatti oppure nei calibri fissi.

Metodo di misurazione indiretta

La misura è ricavata per calcolo da misure di altre grandezze collegate a quella da misurare.

Una misurazione di questo tipo è quella della velocità di un corpo, calcolata dalle misure dello spazio e del tempo, messe in relazione da una legge della fisica.

Metodo di misurazione a letture ripetute

La misura viene assegnata come risultato di un'analisi statistica di valori ottenuti con ripetute misurazioni nelle stesse condizioni.

Il metodo statistico più semplice nella elaborazione di misure ripetute consiste nell'estrapolare i valori che si discostano molto dagli altri e di questi ultimi calcolare la media aritmetica.

Per esempio, ottenute le seguenti misure

$$15,6 \text{ mm} - 15,7 \text{ mm} - 14,7 \text{ mm} - 15,5 \text{ mm}$$

si elimina il valore 14,7, che è evidentemente il risultato di una errata lettura, e degli altri si calcola la media aritmetica:

$$\frac{15,6 + 15,7 + 15,5}{3} \text{ mm} = 15,6 \text{ mm}$$

Questa elaborazione del valore medio consente di attenuare l'influenza di fattori accidentali sulla singola misura.

CARATTERISTICHE DEGLI STRUMENTI DI MISURA

Strumento di misura è un apparecchio in grado di fornire la misura di una grandezza fisica che interagisce con esso.

Vediamo le sue principali caratteristiche.

Formato d'uscita è il modo in cui lo strumento presenta il segnale d'uscita. In base a esso gli strumenti si possono distinguere in:

- **strumenti analogici** (o a indice), se la misura è fornita da un indice che si muove in modo continuo su una scala graduata; per esempio è analogico un orologio con lancette su un quadrante;
- **strumenti digitali** (o numerali), se la misura è fornita in modo discontinuo tramite cifre su un display; per esempio è digitale un contakilometri.



Orologio analogico



Orologio digitale

Portata è la misura massima che lo strumento può fornire.

Campo di misura è l'intervallo tra la misura massima e la misura minima che lo strumento può esprimere.

Risoluzione è la più piccola misura che lo strumento è in grado di rilevare. Corrisponde normalmente alla più piccola suddivisione della scala graduata.

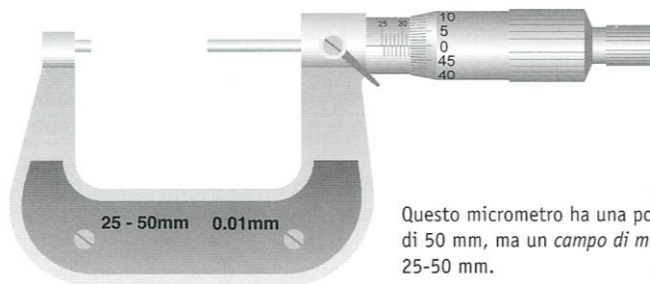
Sensibilità è l'attitudine dello strumento ad amplificare lo spostamento dell'indice al variare della grandezza misurata.

Ripetibilità è l'attitudine dello strumento a fornire misure costanti in ripetute misurazioni di una stessa grandezza.

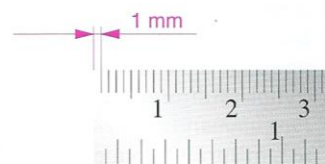
Stabilità è l'attitudine dello strumento a dare misure costanti in diverse misurazioni di una stessa grandezza, alle stesse condizioni ma in un determinato intervallo di tempo.

Prontezza è l'attitudine dello strumento a fornire la misura in tempi rapidi.

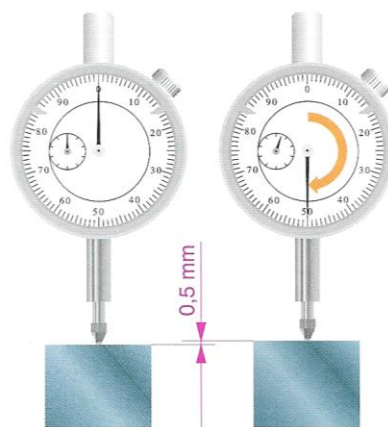
Classe di precisione è il gruppo di strumenti che rispettano precisi limiti di alcune caratteristiche metrologiche nelle condizioni prescritte.



Questo micrometro ha una portata di 50 mm, ma un campo di misura 25-50 mm.

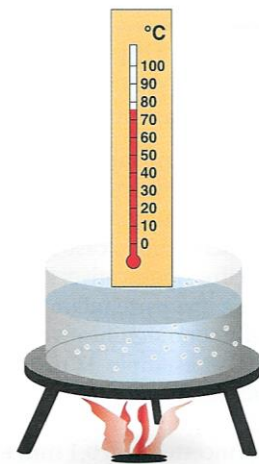


La riga millimetrata presenta una risoluzione di 1 mm.



Uno strumento sensibile amplifica le variazioni pur minime della grandezza.

Il termometro è uno strumento con una prontezza ridotta, perché necessita di un tempo relativamente lungo per fornire la misura.



STRUMENTI PER MISURE LINEARI

■ Campioni materiali

Sono apparecchi che riproducono una grandezza di valore noto con una data incertezza; essi non possiedono indici né parti mobili durante la misurazione. Tra essi si possono citare:

- **blocchetti piano-paralleli**, parallelepipedi con dimensioni impresse sul pezzo, utilizzati per la taratura e l'azzeramento di strumenti di misura;
- **calibri fissi**, di vari tipi e forme, per il controllo rapido di dimensioni che rientrino entro un determinato campo di incertezza.



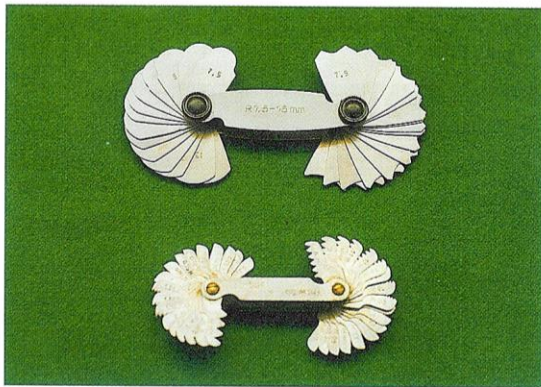
Serie di blocchetti piano-paralleli.



Calibro a tampone.



Calibro a forcella.

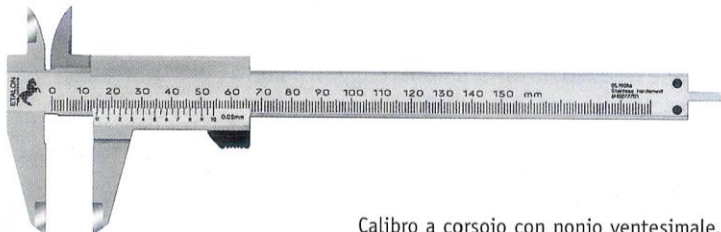


Spessimetro e contafiletti.

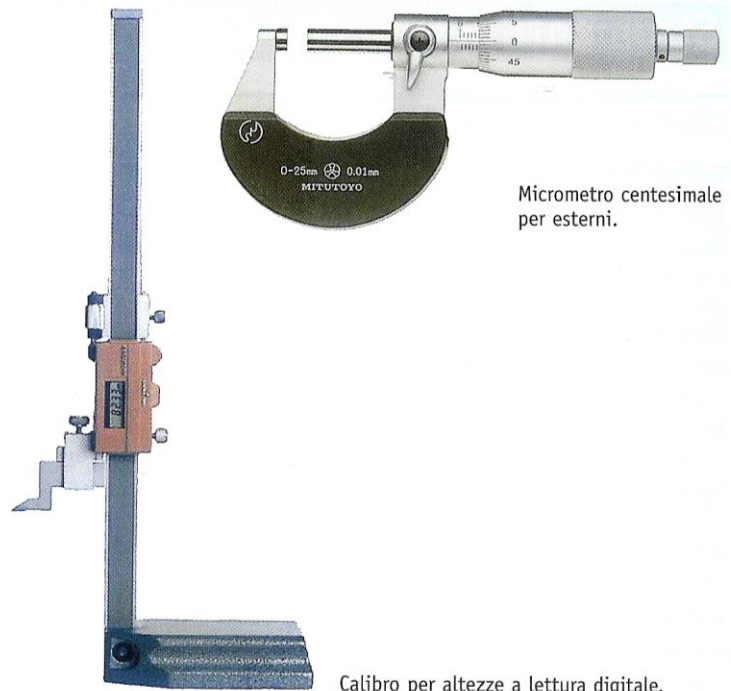
■ Strumenti misuratori

Sono apparecchi che forniscono la misura per lettura diretta. Tra essi si possono citare:

- **righe millimtrate**, di vari materiali e dimensioni;
- **calibri a corsoio**, di vari tipi e forme, con una parte fissa e una scorrevole, a cui è solidale una scala aggiuntiva detta *nonio*;
- **micrometri**, di vari tipi e forme, con parte fissa e parte mobile, azionata da una vite micrometrica.



Calibro a corsoio con nonio ventesimale.



Micrometro centesimale per esterni.

Calibro per altezze a lettura digitale.

■ Strumenti comparatori

Sono apparecchi che forniscono la differenza tra una grandezza e un'altra, assunta come riferimento; questi strumenti, quindi, non forniscono la misura assoluta di una grandezza, ma il suo scostamento da un'altra.



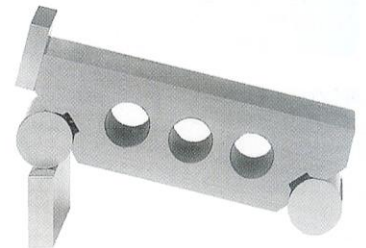
Comparatore a lettura digitale.

STRUMENTI PER MISURE ANGOLARI

■ Campioni materiali

Campioni di grandezze angolari sono:

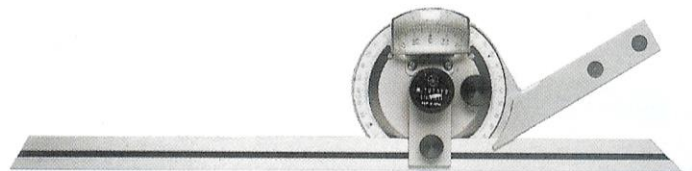
- **blocchetti angolari**;
- **squadre e cilindri di precisione**;
- **barra seno** che, congiuntamente a blocchetti piano-paralleli, fornisce angoli di alta precisione.



Barra seno.

■ Goniometri

Forniscono direttamente misure di angoli, con l'ausilio del nonio oppure di un indice su quadrante, per le frazioni di grado.



Goniometro universale con nonio.

Strumenti per misure lineari

CAMPIONI MATERIALI

■ Blocchetti piano-paralleli

Hanno forma di parallelepipedi con alto grado di precisione nella dimensione nominale (distanza tra le facce di misura), nella planarità e nel parallelismo tra le facce stesse. Sono costruiti con materiali particolarmente resistenti all'usura e alla corrosione, con garanzia di stabilità nel tempo. In generale sono realizzati in acciai legati, talvolta in carburo o in quarzo.

Le facce di misura, per le esigenze di precisione, sono levigate con lavorazione di lappatura ($Ra = 0,025 \mu m$).

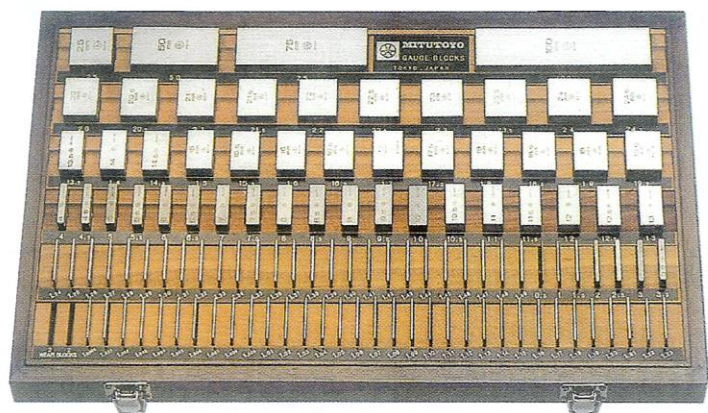
L'uso dei blocchetti piano-paralleli è prevalentemente quello del controllo e della taratura degli strumenti di lavoro.

Esistono blocchetti di diverse classi di precisione a seconda della destinazione d'uso. La tabella UNI EN ISO 3650 ammette quattro classi di precisione decrescente:

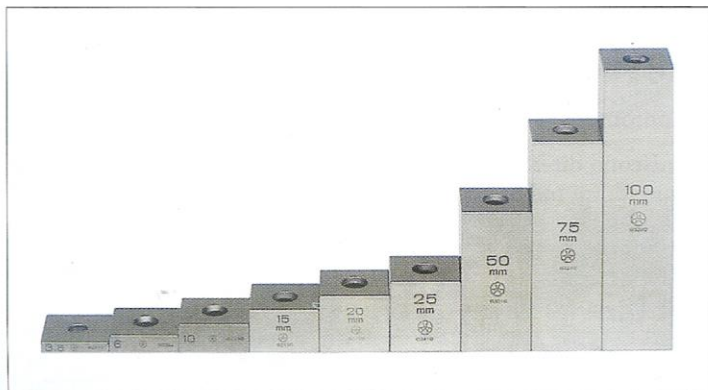
- **classe 00**, per laboratorio metrologico e come misura campione;
- **classe 0**, per il controllo di blocchetti da lavoro e per la messa a punto di apparecchi di alta precisione;
- **classe 1**, per la taratura e il controllo di calibri, micrometri, ecc.;
- **classe 2**, per il controllo di calibri d'officina, per tracciature.

Sono venduti in serie con assortimento di pezzi di diverse dimensioni; ciò consente di combinarli fino a formare la dimensione desiderata.

L'estrema levigatezza delle superfici consente un'elevata adesione spontanea tra le facce a contatto. Talvolta sono realizzati con foro centrale passante per combinarli più rapidamente mediante vite.



Blocchetti di riscontro piano-paralleli.



Blocchetti muniti di foro per combinarli mediante vite.

Per conservare i requisiti certificati dal costruttore, bisogna usare i blocchetti con particolare cura:

- sgrassarli prima dell'uso;
- separarli, pulirli e ingrassarli dopo l'uso;
- riporli nella cassetta, da conservare lontana da calore, polvere e umidità.

SERIE DI BLOCCHETTI (47 PEZZI)

N. DI BLOCCHETTI	MISURA (mm)	INCREMENTI (mm)
1	1,005	-
9	1,01 ÷ 1,09	0,01
9	1,1 ÷ 1,9	0,1
24	1 ÷ 24	1,0
4	25 ÷ 100	25

Al fine di facilitare e ampliare il loro uso, esistono accessori, quali morsetti per combinare diversi blocchetti, punte per tracciare, becchi di misura, ecc.

■ Calibri fissi

Sono dei campioni materiali di varia forma utilizzati per il controllo rapido di dimensioni che debbano rientrare entro precisi limiti dimensionali; essi pertanto portano impressa sia la dimensione nominale sia la tolleranza.

Tra i più comuni vi sono i **calibri fissi differenziali**, che permettono di controllare la misura attraverso il controllo con due parti del campione, il *lato passa* e il *lato non passa*; essi perciò sono anche chiamati calibri tipo **passa-non passa**.

Per riconoscere il lato *passa* da quello *non passa*, si usano diversi segnali:

- indicazione dello scostamento su ciascun lato;
- incisione delle scritte «passa» e «non passa», oppure «P» e «NP»;
- marcatura del lato non passa con *bordo in rosso* o con *smusso* sulle sue facce di controllo.

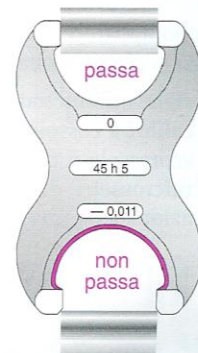


Calibri a tampone, a forcella e ad anello.

Tra i calibri differenziali sono molto diffusi:

- **calibri a tampone** e **calibri a barretta** (per fori);
- **calibri a forcella** e **calibri ad anello** (per esterni).

Per l'esecuzione del controllo si procede prima al controllo sul *lato passa*; se questo è positivo si fa il controllo sul *lato non passa*; se invece il pezzo ha dimensioni maggiori, non è accettabile per le condizioni di tolleranza prescritte, ma eventualmente può essere lavorato di nuovo. Se il pezzo non può essere introdotto nel *lato non passa*, ha superato il controllo; in caso contrario va scartato.



Il pezzo supera il controllo dimensionale solo se può essere introdotto nel *lato non passa* ma non nel *lato non passa*.

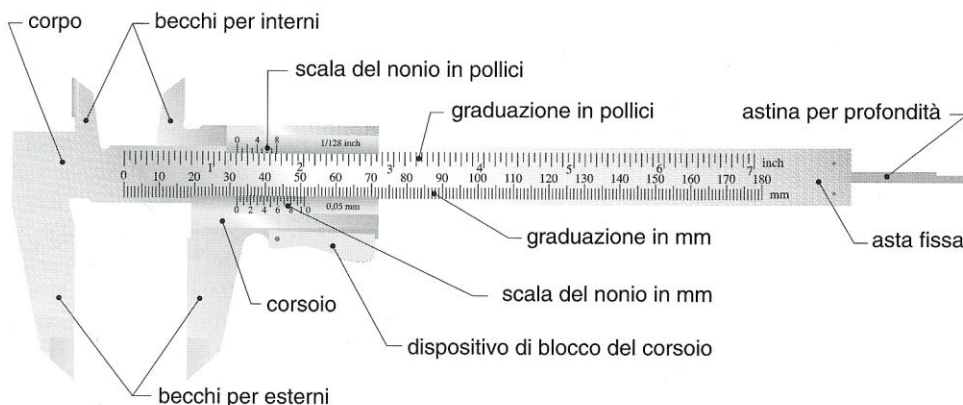
CALIBRO A CORSOIO

Senz'altro è il più diffuso strumento di misure lineari, sia nelle officine che in tutto il mondo della tecnica. Presenta caratteristiche e impieghi diversi.

■ Caratteristiche funzionali

In generale esso è costituito da una parte fissa (**corpo**) e da una parte mobile (**corsoio**).

Il corpo si compone di un'**asta fissa** (con graduazioni in millimetri e in pollici) e di uno o due **becchi fissi**. Il corsoio possiede uno o due **becchi scorrevoli**, una scala aggiuntiva (**scala del nonio**) ed è solidale a una **astina per profondità**.



■ Caratteristiche costruttive

In genere è realizzato in acciaio inox temprato, molto resistente alle deformazioni e all'usura. Le superfici di contatto tra asta graduata e corsoio devono essere piane e levigate per garantire uno scorrimento fluido e in una sola direzione.

Il corsoio possiede un dispositivo di bloccaggio che funziona in qualunque posizione di misura.

I tratti delle diverse graduazioni devono essere linee nitide con spessore tra 0,08 e 0,2 mm.

I becchi devono garantire parallelismo e planarità. Le loro estremità sono affilate, talvolta raccordate o smussate.

Sulla faccia posteriore dello strumento si trovano spesso stampate delle tabelle di uso pratico in officina (peso di barre quadrate o tonde, diametro di fori per filettature).

Campo di misura: da un minimo di 0 ÷ 135 mm, a un massimo di 0 ÷ 1000 mm.

Risoluzione: 0,1 – 0,05 – 0,02 mm (nei calibri a lettura digitale 0,01 mm).

■ Impieghi

Il calibro è abbastanza versatile e può essere utilizzato:

- per misure esterne;
- per misure interne;
- per misure di profondità.



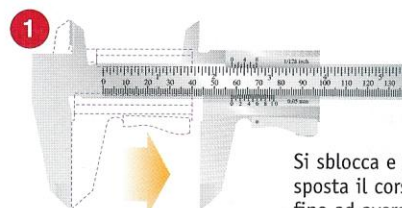
Calibri speciali sono destinati a una sola di queste misurazioni, oppure ad altre (misurazioni di altezze e operazioni di tracciatura).

Il valore della misura può essere visualizzato anche da un indice su quadrante (nei calibri con comparatore) e da cifre su display (nei calibri digitali).

■ Controlli preliminari all'uso

- Lo scorrimento del corsoio deve essere regolare e continuo per tutta la corsa.
- Il dispositivo di bloccaggio deve funzionare in modo efficace.
- I becchi sia per interni sia per esterni devono possedere parallelismi e planarità accettabili (verificabili anche con un controllo visivo in controluce).
- Lo strumento totalmente chiuso deve fornire un perfetto azzeramento della scala fissa rispetto a quella del nonio.

■ Uso del calibro per misurazione di esterni



memo

Misure inglesi

Non più ammesse dal Sistema Internazionale, ma ancora usate nei paesi anglosassoni e in alcuni ambiti della meccanica, sono le seguenti unità di misura lineari:

$$1 \text{ yarda} = 3 \text{ piedi} = 36 \text{ pollici}$$

La corrispondenza con le unità del SI fornisce:

$$1 \text{ pollice} = 25,4 \text{ mm}$$

Il pollice si indica con il simbolo " (per esempio 10"). Il pollice ha i seguenti sottomultipli espressi in frazioni:

$$1/2 \quad 1/4 \quad 1/8 \quad 1/16 \quad 1/32 \quad 1/64 \quad 1/128$$

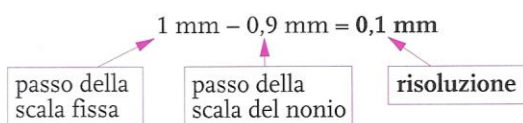
NONIO

È una scala graduata accessoria che caratterizza il calibro a corsoio. Esso consente di misurare anche frazioni di millimetro, quindi fornisce allo strumento una **risoluzione inferiore a 1 mm**. In generale il nonio è una scala graduata con passo diverso dal millimetro, che invece caratterizza la scala dell'asta fissa. La differenza tra il passo della scala fissa e quello del nonio fornisce la risoluzione dello strumento. A seconda del numero delle parti che formano la scala del nonio si distinguono:

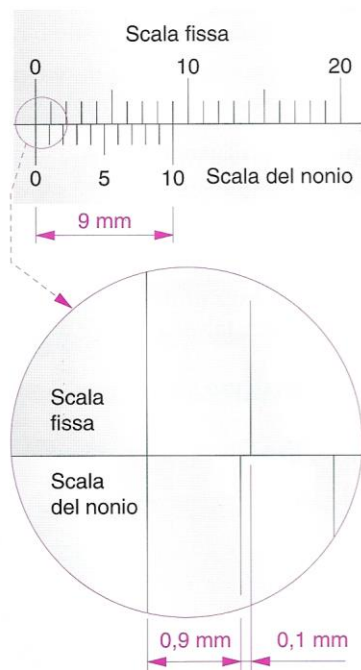
- nonio decimale (risoluzione 1/10 mm);
- nonio ventesimale (risoluzione 1/20 mm);
- nonio cinquantiesimale (risoluzione 1/50 mm).

NONIO DECIMALE

Consiste in una scala lunga 9 mm divisa in 10 parti uguali. Pertanto ogni parte della scala del nonio è lunga $9/10 \text{ mm} = 0,9 \text{ mm}$. Essendo la risoluzione dello strumento pari alla differenza tra il passo della scala fissa e quello del nonio, si ha:



Vediamo in concreto cosa significa. Quando il corsoio è in posizione di chiusura del calibro, lo zero del nonio coincide con lo zero della scala fissa, mentre il trattino 10 della scala del nonio è perfettamente allineato con il tratto 9 della scala fissa; nessun altro trattino della scala del nonio è allineato con quelli della scala fissa.



Se spostiamo il corsoio fino a far allineare il trattino 1 della scala del nonio con il trattino 1 della scala fissa, si noterà che non vi è altro allineamento tra i trattini delle due scale. Lo spostamento sarà pari alla differenza tra passo della scala fissa e passo della scala del nonio e quindi:

$$1 \text{ mm} - 0,9 \text{ mm} = 0,1 \text{ mm}$$

Questo spostamento è la più piccola misura che il calibro con nonio decimale riesce ad apprezzare. Ulteriori spostamenti fornirebbero allineamenti su altri trattini della scala del nonio e pertanto fornirebbero le seguenti misure:

- 0,2 mm con allineamento sul trattino 2
- 0,3 mm con allineamento sul trattino 3
- 0,4 mm con allineamento sul trattino 4

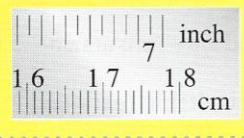
... e così via.



L'allineamento del trattino 2 indica una misura di 0,2 mm

nota bene

Alcuni costruttori realizzano calibri con scala fissa graduata in mm, ma la numerazione riporta i valori in cm; nella figura, per esempio, l'ultimo trattino corrisponde a una misura di 180 mm e non di 18 mm.



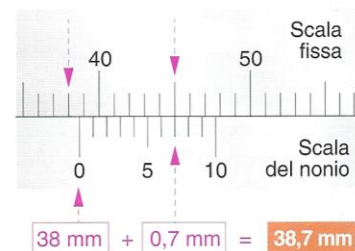
■ Lettura del calibro con nonio decimale

I valori delle misure fornite da un calibro di questo tipo (comunemente detto *calibro decimale*) sono composte da una *parte intera* e una *parte decimale*. La parte intera viene fornita dalla posizione del tratto 0 del nonio.

Se esso si trova *perfettamente allineato* con un trattino della scala fissa, da quest'ultimo si ricava il valore della misura (per esempio nella figura a fianco si legge la misura 12,0 mm). La certezza dell'allineamento dello 0 del nonio con il trattino della scala fissa è verificabile dall'allineamento anche del tratto 10 del nonio con uno della scala fissa.



Se invece il tratto 0 del nonio *non coincide* con uno della scala fissa

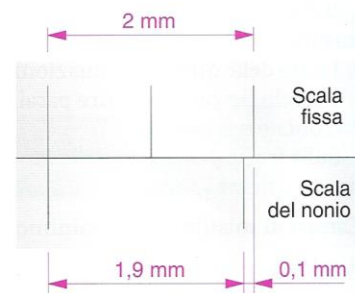


- la parte intera del valore si ricava dal tratto della scala fissa che si trova a sinistra del tratto 0 del nonio (in figura questo valore è 38 mm);
- la parte decimale viene indicata dal tratto del nonio allineato con uno della scala fissa (in figura è il tratto 7 e quindi il valore decimale è 0,7 mm).

Quindi la misura fornita è 38,7 mm.

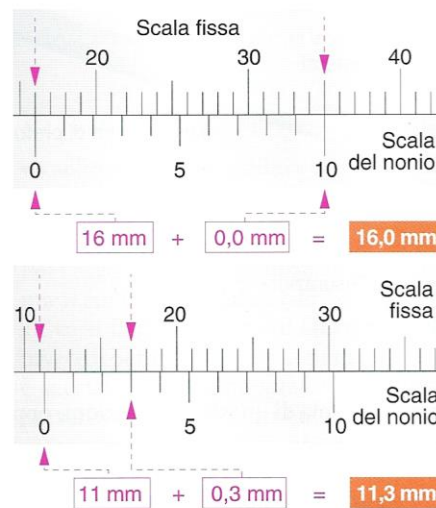
NONIO DECIMALE DOPPIO

Questa variante del nonio decimale è più pratica nella lettura, ma ha la stessa risoluzione (0,1 mm); la sua *lunghezza complessiva è pari a 19 mm*. Anche in questo caso la scala del nonio è divisa in 10 parti uguali, che pertanto risultano di 1,9 mm ciascuna (v. figura a fianco).



■ Lettura del calibro con nonio decimale doppio

La lettura dei valori interi e decimali delle misure è identica a quella del nonio decimale, ma si ha il vantaggio della maggiore ampiezza del passo del nonio che aumenta la leggibilità.



glossario

Nonio deriva dal nome del portoghese P. Nuñez (1492-1577), che inventò un dispositivo analogo a quello attuale. Nella sua forma definitiva esso è stato messo a punto dal francese P. Vernier (1580-1637), in memoria del quale il nonio è talvolta chiamato *verniero*.

NONIO VENTESIMALE

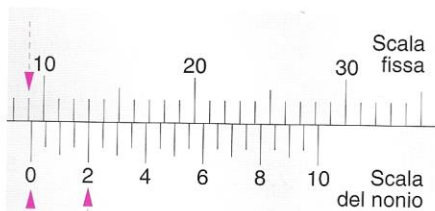
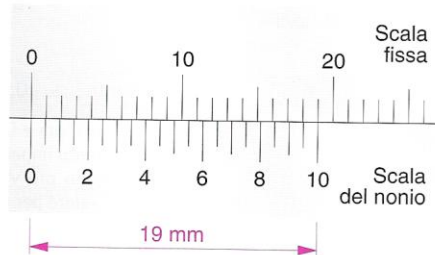
La scala di questo tipo di nonio è lunga complessivamente 19 mm ed è divisa in 20 parti uguali. Quindi ogni parte della scala del nonio è lunga $19/20 \text{ mm} = 0,95 \text{ mm}$. La differenza tra il passo della scala fissa e quello del nonio fornisce la risoluzione:

$$1 \text{ mm} - 0,95 \text{ mm} = 0,05 \text{ mm}$$

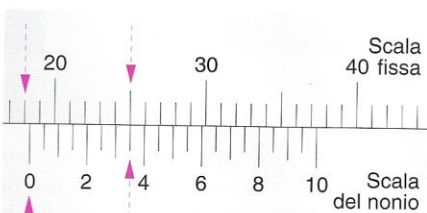
passo della scala fissa passo della scala del nonio risoluzione

In questo caso la scala del nonio, pur essendo divisa in 20 parti, è numerata da 0 a 10, ma solo per facilitare il calcolo decimale.

Con questo nonio, se è allineato il primo trattino, alla parte intera della misura dovremo aggiungere un valore decimale di 0,05 mm; se è allineato il secondo trattino la parte decimale è di 0,10, al terzo è di 0,15 e così via.



$$9 \text{ mm} + 0,20 \text{ mm} = 9,20 \text{ mm}$$

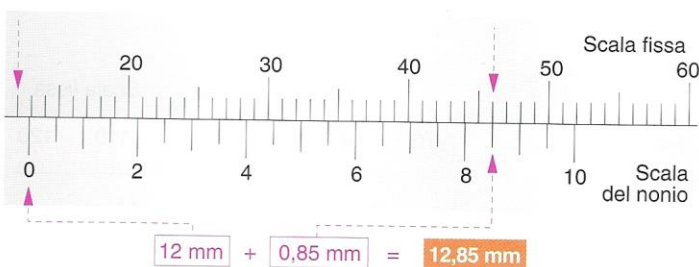


$$18 \text{ mm} + 0,35 \text{ mm} = 18,35 \text{ mm}$$

Esempi di lettura di misurazioni con calibro ventesimale.

■ Nonio ventesimale doppio

Ha una scala divisa in 20 parti ma di lunghezza totale pari a 39 mm. La *risoluzione dello strumento* è 0,05 (cioè identica a quella del nonio ventesimale), però la maggiore ampiezza delle singole parti del nonio facilita la leggibilità della parte decimale della misura.



$$12 \text{ mm} + 0,85 \text{ mm} = 12,85 \text{ mm}$$

nota bene

Per individuare la **risoluzione** di un calibro basta *controllare la divisione della scala del nonio*. Se questa è divisa in

- 10 parti → risoluzione = 0,1 mm (1/10 mm);
- 20 parti → risoluzione = 0,05 mm (1/20 mm);
- 50 parti → risoluzione = 0,02 mm (1/50 mm).

La lunghezza totale della scala del nonio non influenza la risoluzione. Spesso la risoluzione è anche stampata o incisa sullo strumento.

NONIO CINQUANTESIMALE

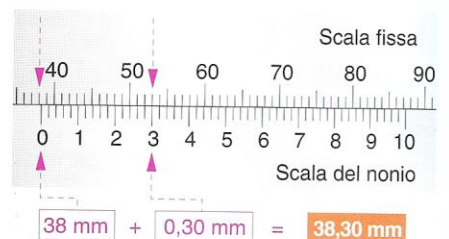
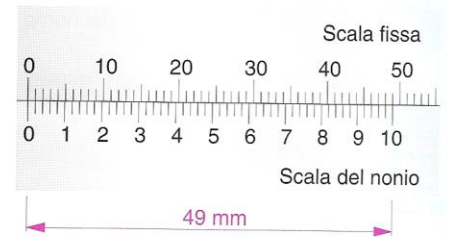
Questo nonio ha una scala di lunghezza complessiva 49 mm ed è diviso in 50 parti uguali. Quindi ogni parte della scala del nonio è lunga $49/50 \text{ mm} = 0,98 \text{ mm}$. La differenza tra il passo della scala fissa e quello del nonio fornisce la risoluzione:

$$1 \text{ mm} - 0,98 \text{ mm} = 0,02 \text{ mm}$$

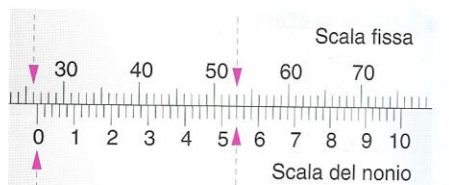
passo della scala fissa passo della scala del nonio risoluzione

La scala del nonio è divisa in 50 parti ma è numerata da 0 a 10 per facilitare il calcolo decimale.

La lettura delle misure è analoga a quella degli altri tipi di nonio. Se è allineato il primo trattino, alla parte intera della misura dovremo aggiungere un valore decimale di 0,02 mm; se è allineato il secondo trattino la parte decimale è di 0,04, per il terzo è 0,06 e così via.



$$38 \text{ mm} + 0,30 \text{ mm} = 38,30 \text{ mm}$$

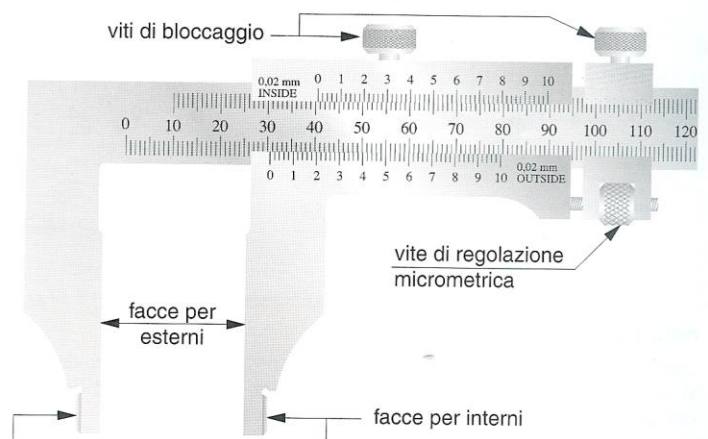


$$26 \text{ mm} + 0,54 \text{ mm} = 26,54 \text{ mm}$$

Esempi di lettura di misurazioni con calibro cinquantessimale.

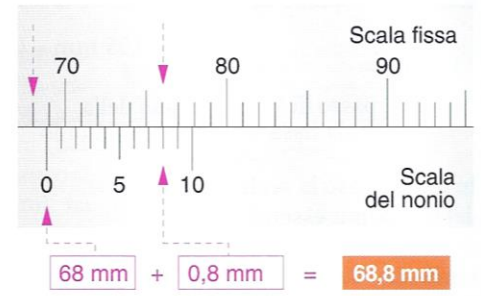
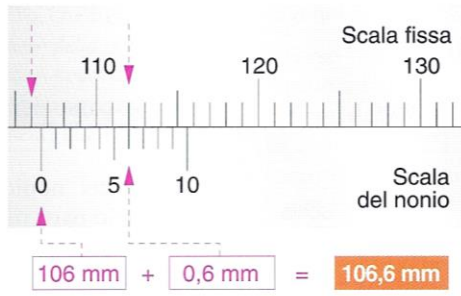
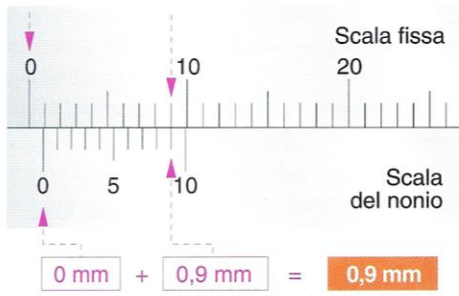
■ Caratteristiche costruttive del calibro cinquantessimale

Per esigenze funzionali il calibro cinquantessimale è spesso realizzato in modi particolari. È frequente che possieda una sola coppia di becchi sia per interni sia per esterni. Talvolta c'è una doppia scala (inferiore e superiore) in mm, la prima riferita alle misure esterne, l'altra alle misure interne. È spesso presente un doppio corsoio con vite micrometrica per piccoli spostamenti.

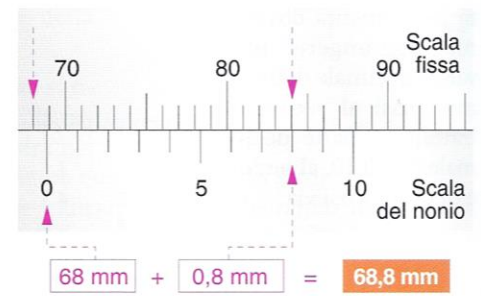
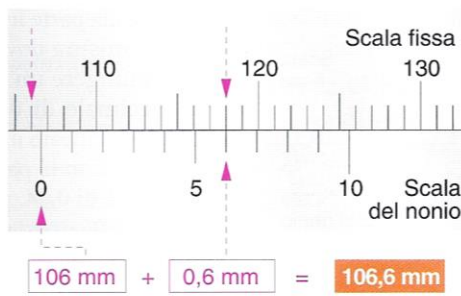
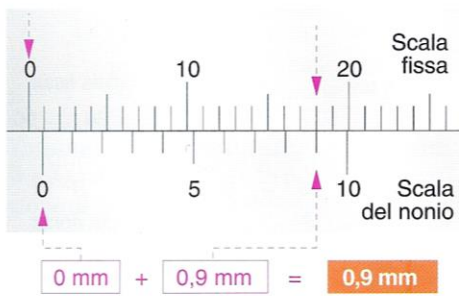


LETTURA DI MISURE CON DIVERSI TIPI DI CALIBRO

■ Calibro decimale

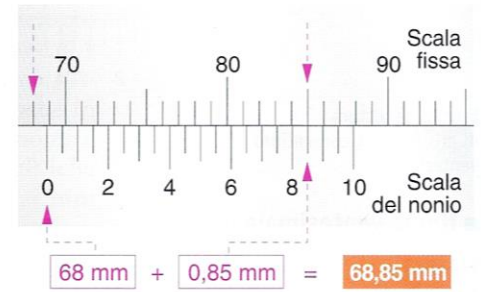
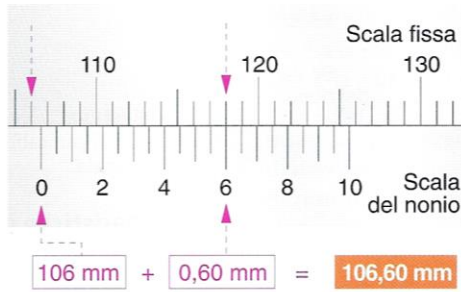


■ Calibro decimale doppio

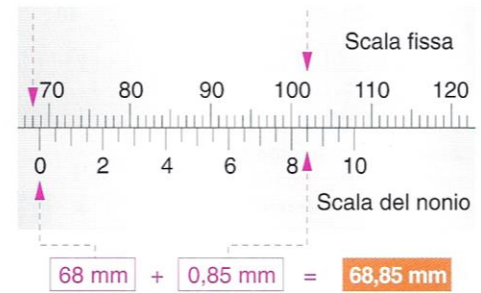
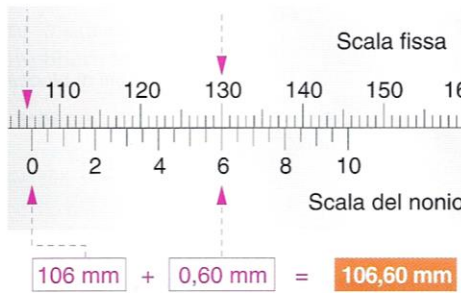
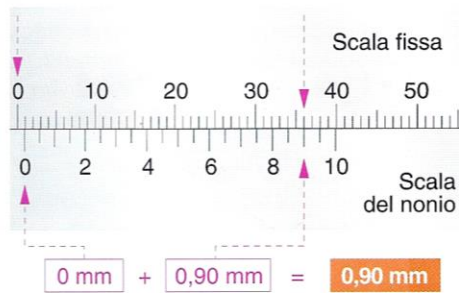


Nel caso qui sopra e in quello qui sotto si può notare un allineamento imperfetto, pertanto si sceglie il tratto del nonio più vicino all'allineamento, approssimando il valore per difetto o per eccesso.

■ Calibro ventesimale



■ Calibro ventesimale doppio



Con un calibro ventesimale (quindi con una migliore risoluzione) la stessa misura di prima può essere letta senza approssimazione per eccesso o per difetto.

nota bene

Quando uno strumento analogico, quindi con spostamento continuo del suo indice, fornisce un valore intermedio tra quelli riportati sulla scala graduata, si opera una **approssimazione per eccesso o per difetto**; ciò significa che si sceglie il valore successivo o precedente alla posizione dell'indice, a seconda che questo sia più vicino all'uno o all'altro tratto della scala.