

# UNA PANORAMICA SULLE MISURAZIONI

a cura di  
**DANIELE BIMBI**

con la collaborazione di  
**FEDERICO PICCHI**  
**NICCOLÒ RETTORE**

# UNO SGUARDO ALLO SVILUPPO

Anticamente le distanze venivano misurate in funzione del **tempo di percorrenza** e del **mezzo di trasporto**: ore di camminata, giorni a cavallo, giorni con carri trainati da buoi...

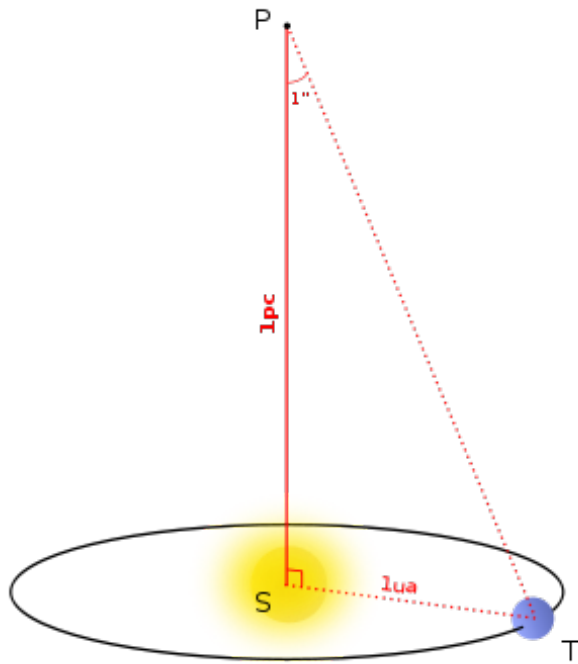
Con il progredire delle scoperte scientifiche l'uomo divenne sempre più "veloce" e più preciso e quindi anche il concetto di distanza mutò profondamente: quello che un tempo poteva essere considerato molto lontano divenne più vicino, o meglio più veloce da raggiungere.

Infine cambiò l'interesse dell'uomo verso le misurazioni. Divenne necessario andare ad esplorare l'infinitamente grande e l'infinitamente piccolo: pensiamo alle scoperte in ambito fisico e astronomico.

Tutto ciò fu possibile grazie all'avvento di nuovi strumenti per muoversi, alcuni di uso più comune altri meno:

- bicicletta;
- automobile;
- treno a vapore;
- treno elettrico;
- aereo;
- space shuttle.





Se andiamo a vedere l'infinitamente grande ci imbattiamo in quello che è uno degli oggetti più affascinanti per l'uomo: **lo spazio**.

A causa della sua vastità, molto spesso difficile da immaginare, l'uomo ebbe la necessità di definire delle nuove **unità di misura** opportunamente dedicate. In particolare ne sono state individuate tre.

La prima è la cosiddetta **unità astronomica**, che equivale alla distanza media Sole - Terra. Corrisponde a  $149,6 \times 10^9$  m.

La seconda si utilizza per le distanze astronomiche ed è l'**anno luce**, ovvero la distanza percorsa dalla luce nel vuoto (la cui velocità è costante a  $300.000\text{km/s}$ ) in un anno. Esso corrisponde a circa  $9,461 \times 10^{15}$  m.

Come multiplo viene utilizzato il **PARSEC** cioè la **PAR**allasse per **SEC**ondo di arco, corrispondente a 3,26 anni luce e 206.265 volte la distanza media Terra-Sole.



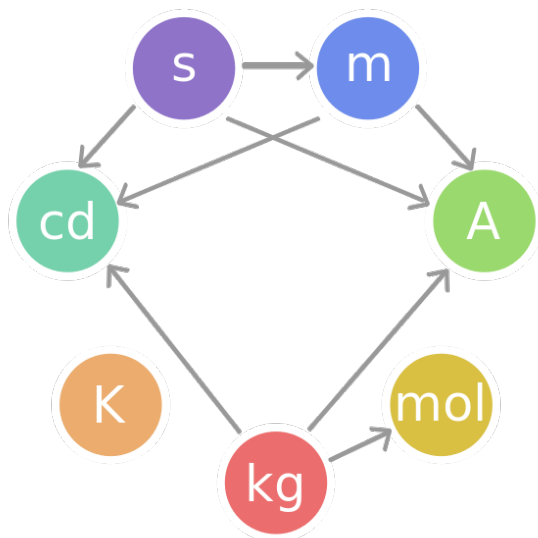
Torniamo per un attimo al passato. Anticamente i sistemi di misura erano diretta emanazione delle misure fisiche del regnante. Basti pensare a pollici, piedi e braccia che come tutti sappiamo caratterizzano il sistema di misura dei Paesi Angloassoni.

Nel 1875 venne stabilita la Convenzione del Metro, ovvero un insieme di linee guida per definire un sistema di misura internazionale.

Successivamente nel 1889 con la 1<sup>a</sup> Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure venne introdotto il **Sistema MKS**, così definito in quanto comprendeva le tre grandezze fondamentali:

- Metro per le distanze,
- Kilogrammo per le masse,
- Secondo per i tempi.

Negli anni si susseguirono vari rimaneggiamenti di questo Sistema e solo nel 1961 la 11<sup>a</sup> Conferenza Generale Dei Pesi e delle Misure sancì la nascita del **Sistema Internazionale** che oggi noi tutti utilizziamo. Alle unità fondamentali del Sistema MKS ne vennero aggiunte altre quattro:



- Ampere per l'intensità di corrente,
- Candela per l'intensità luminosa,
- Mole per la quantità di sostanza,
- Kelvin per la temperatura termodinamica.

# PRINCIPI SULLE MISURAZIONI

Il principale riferimento per la misurazione delle distanze è il **metro** di cui un campione costruito in platino - iridio (lega con coefficiente di dilatazione estremamente basso) è conservato al Museo Pesi e Misure di Sevrés in Francia.

Tutti abbiamo in mente cos'è “1 metro”, ma come si definisce tale misura? O meglio, cosa rappresenta questo “metro”?

Sono state date varie definizioni negli anni:

- 1791: “un metro è  $1/10000000$  del meridiano terrestre tra polo nord ed Equatore”.
- 1983: “un metro è la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a  $1/299792458$  di secondo”.

Questa seconda dicitura è quella attualmente accettata dalla Comunità Scientifica Internazionale.



Risulta evidente che l'utilizzo del metro campione non è molto comodo per la misurazione delle distanze in quanto non è possibile andare fisicamente a confrontare le distanze con tale strumento.

Fu lo sviluppo tecnologico degli anni '20 - '30 del secolo scorso a permettere l'ideazione di nuovi strumenti che rendessero le misurazioni più semplici e più accurate.

Uno dei primi predecessori dei moderni teodoliti fu il **telemetro**, uno strumento originariamente ottico in grado di misurare la distanza intercorrente tra l'utilizzatore e un qualsiasi punto del campo visivo.

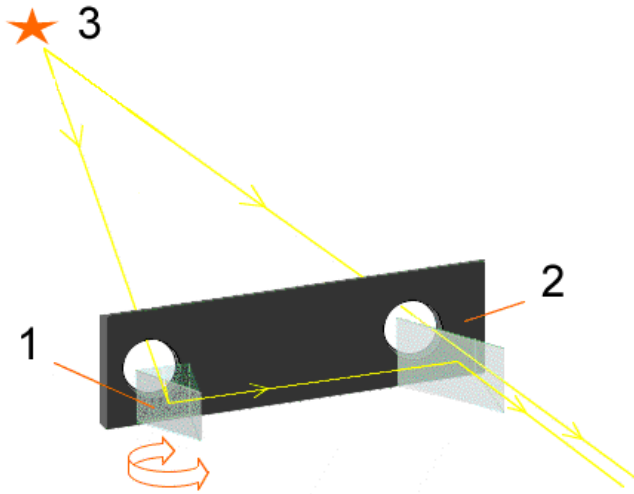
Ne vennero elaborate due versioni:

- telemetro a coincidenza,
- telemetro stereoscopico.



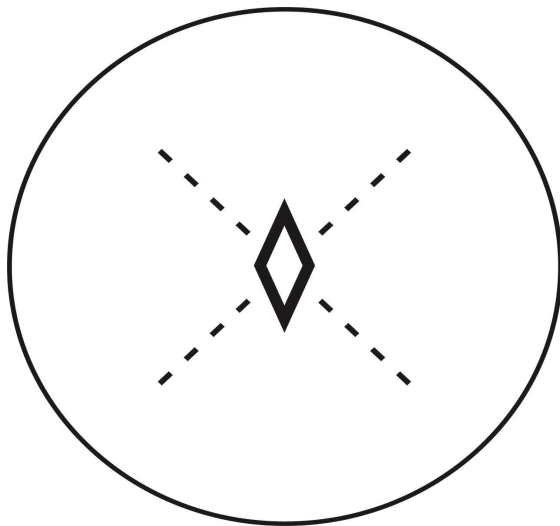


## TELEMETRO A COINCIDENZA



Il telemetro a coincidenza è formato da un cilindro su cui sono ricavati due fori: nel foro 1 è presente un prisma che riflette l'immagine del punto fissato (3) su uno specchio semi trasparente fissato nel foro 2. Agendo su una rotella l'utilizzatore farà ruotare il prisma fin quando le due immagini formatesi sullo specchio non si sovrapporranno. Raggiunta la sovrapposizione l'indice di rotazione della rotella, tramite un'opportuna scala, fornirà la distanza dell'oggetto.

## TELEMETRO STEREOSCOPICO



Il telemetro stereoscopico venne ideato per l'utilizzo sulle navi da guerra. Esso si basa sul fenomeno della parallasse, principio utilizzato anche dall'uomo e da molti animali secondo cui un oggetto sembra spostarsi rispetto allo sfondo se si cambia punto di osservazione. A fianco l'immagine del visore del telemetrista: il suo scopo era quello di posizionare il rombo sull'oggetto da colpire e, tramite il pulsante di collimazione, lo strumento forniva automaticamente la distanza da tale oggetto.

Una caratteristica molto importante di questi strumenti è la precisione: direttamente proporzionale alla distanza da misurare.



# TIPOLOGIE DI STRUMENTI

Nella misurazione di punti accessibili si ricorre al **teodolite** ed al **tacheometro**, grazie ai quali si risolvono dei triangoli: **equazione della stadia** a punti trigonometrici fondamentali.



Detti strumenti permettono di misurare esclusivamente degli angoli azimutali (piano orizzontale) e zenitali (piano verticale).

La maggiore differenza tra i due strumenti è il grado di precisione, che è stata sacrificata nel tacheometro in favore di una lettura tramite stadia graduata.

Inizialmente sia tacheometri che teodoliti erano manuali, quindi stava all'operatore dover fare tutti i calcoli necessari per la determinazione delle distanze.

Ad oggi invece si sono sviluppate le **stazioni totali** ovvero teodoliti evoluti, dotati di distanziometro elettronico e di un computer per la memorizzazione ed il calcolo dei dati. Tali strumenti permettono di misurare angoli e distanze e di fornire la collocazione spaziale rispetto ad un prefissato sistema di coordinate.

Tutti i modelli più avanzati ormai sono in grado di mettersi automaticamente in posizione utilizzando un compensatore elettronico che va a neutralizzare gli errori dovuti al posizionamento.



Esistono varie tipologie di strumenti, con funzionamenti differenti:

- a ultrasuoni,
- a infrarossi,
- a laser.

Tra le varie tipologie le differenze principali sono la precisione con cui vengono fornite le misure e la portata degli strumenti. Inoltre è molto importante la dipendenza delle misure stesse dalle condizioni esterne.

Per usi “domestici” si usano gli strumenti più semplici che emettono un fascio di **ultrasuoni** ad alta frequenza i quali vanno a colpire l’oggetto desiderato e, valutando il **fascio riflesso**, ne determinano la distanza. Questi sono gli strumenti meno precisi in quanto, per definizione stessa, il fascio di ultrasuoni è ampio e non vi è la sicurezza di aver misurato la distanza dell’oggetto desiderato. La portata massima di questi strumenti è di circa 20 - 25 metri.

Notiamo anche che la velocità del suono difficilmente è costante in quanto necessita di un mezzo di propagazione che in questi casi è l’aria. Risulta facile comprendere allora come le diverse condizioni di utilizzo vadano ad influire sulla misurazione: umidità, temperatura, pressione, indice di rifrazione, rarefazione dell’aria. Sono tutti parametri che andrebbero considerati e lo strumento di conseguenza tarato di volta in volta in base ad essi.



Altri strumenti utilizzano i **raggi infrarossi**. Un fascio di IR viene indirizzato sull'oggetto e quindi riflesso verso l'emettitore che, calcolando lo sfasamento dell'onda di ritorno e sfruttando la velocità di propagazione costante della luce (300.000 km/sec) ne determina la distanza.

A differenza degli strumenti ad ultrasuoni questi sono molto più precisi in quanto il fascio di IR ha una larghezza più contenuta e quindi va a colpire con più precisione l'oggetto desiderato.

Con questi strumenti il problema però potrebbe essere causato dall'interferenza dovuta al fatto che qualsiasi oggetto che sia ad una temperatura superiore allo zero assoluto (-273,15° C) emette spontaneamente raggi IR.

La soluzione è facilmente trovata: si emettono raggi IR a frequenza e lunghezza d'onda modulati, in modo da essere discriminati dallo strumento. Il tipico campo di utilizzo è:

$0,7 \mu\text{m} \div 1000 \mu\text{m} / 300 \text{ GHz} \div 428 \text{ THz}$



Esistono anche misuratori ad **onde radio**, poco usati per la loro complessità.



Altra metodologia è legata ai **GPS**: utilizzano satelliti geostazionari che tramite orologi ad altissima precisione inviano l'orario ai terminali i quali, in funzione delle differenze orarie, stabiliscono la posizione e quindi la distanza. Anche questi sono strumenti generalmente poco utilizzati in quanto molto costosi e dipendenti dalla buona copertura GPS, quindi non totalmente affidabili se ci si trova in zone remote.



# IL GEODIMETER



Innanzitutto andiamo a dare una piccola precisazione: quelle che noi normalmente ad utilizzare nei campi gara sono *stazioni totali*, come definite in precedenza. Il nome “Geodimeter” deriva dall’omonima casa produttrice di questi strumenti. Stessa cosa vale per strumenti come il Trimble o il Laica. Per abitudine comunque continueremo a chiamare tali oggetti Geodimeter.

Il Geodimeter che andremo ad utilizzare sul campo sfrutta un raggio di luce polarizzata ad alta energia: **il laser**.

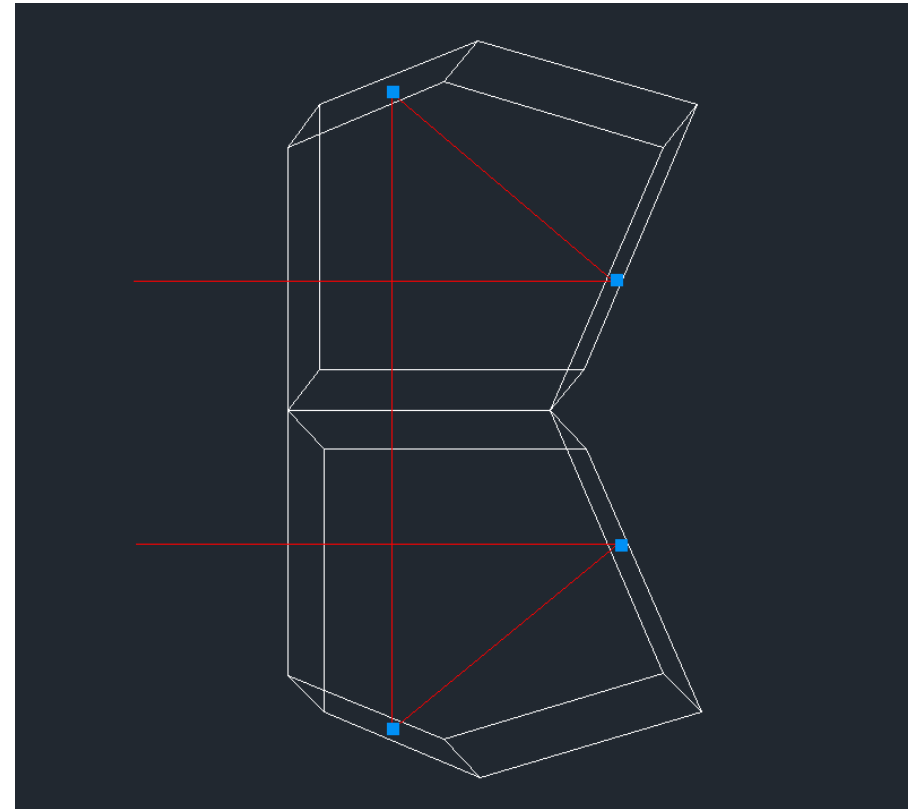
Il principio di funzionamento è piuttosto semplice: un diodo laser invia un raggio all’oggetto e un ricevitore capta il segnale riflesso. Tutto si basa sul fatto che velocità della luce tra emettitore e captatore è proporzionale alla distanza da calcolare.

Generalmente si utilizzano emettitori con lunghezza d’onda di 635 nanometri in quanto il raggio risulta visibile all’occhio umano.

Ciò che permette allo strumento di rilevare le distanze è il **doppio pentaprisma ottico**, montato sul ben conosciuto “picchetto” che il giudice in caduta porta con sé.

La particolarità di questo oggetto è che, sfruttando il fenomeno della riflessione parziale quindi con angolo di incidenza e riflessione non uguali, a differenza degli specchi il raggio riflesso è esattamente parallelo a quello incidente e quindi sicuramente tornerà al ricevitore senza disperdersi.

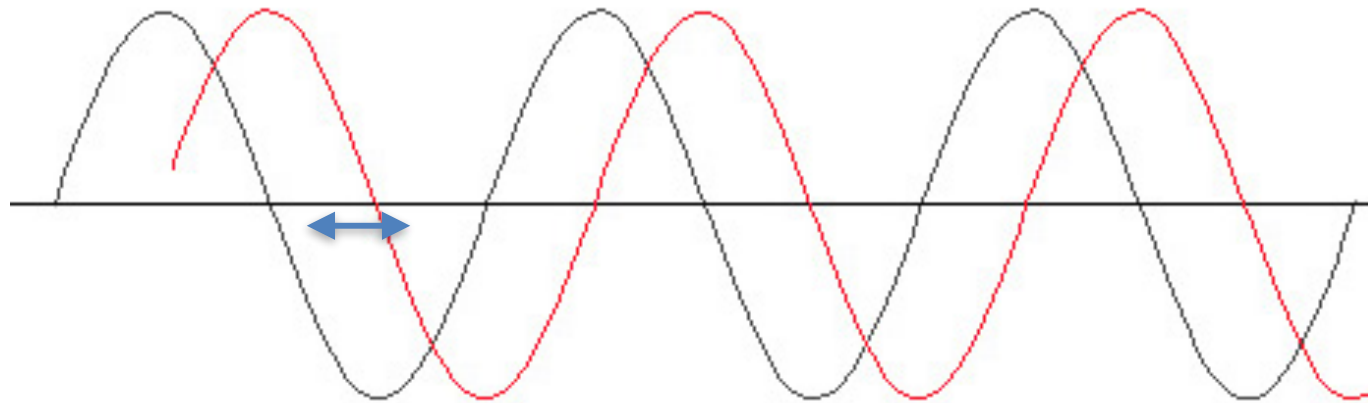
Se utilizzassimo un normale specchio, per il principio della riflessione speculare, vi sarebbe la necessità di avere il riflettore esattamente perpendicolare al terreno in modo da avere angolo incidente e riflesso pari a  $0^\circ$ . Ma sappiamo tutti che è pressoché impossibile una tale evenienza, ecco perché si ricorre al pentaprisma doppio.



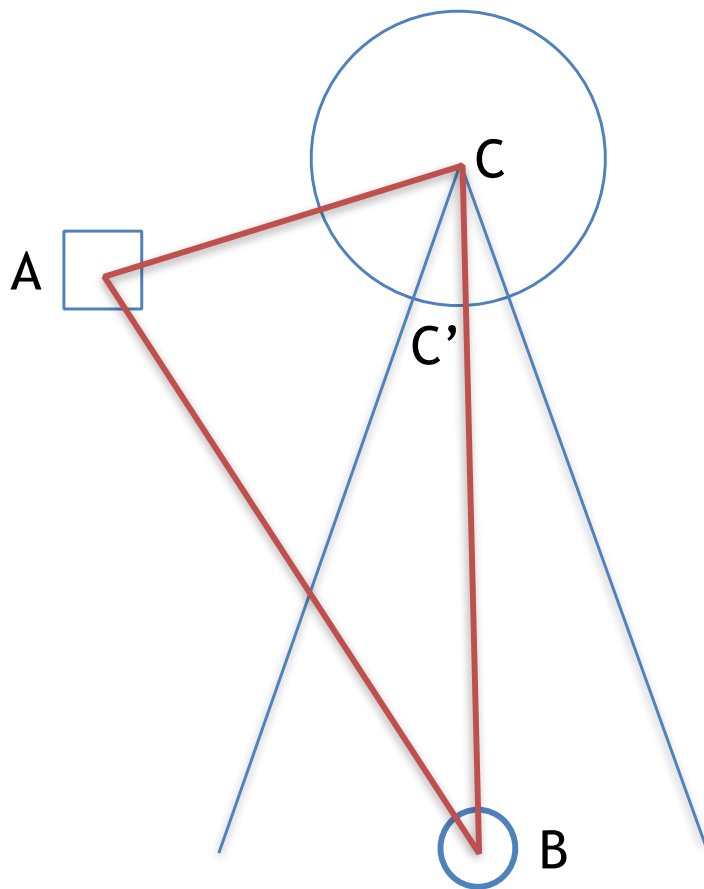


Il raggio laser viene inviato dallo strumento sotto forma di **onda sinusoidale** e il principio di funzionamento si basa sulla lettura dello **sfasamento** dell'onda riflessa rispetto a quella inviata. Maggiore è lo sfasamento, maggiore è la distanza dell'oggetto.

Considerato che risultano costanti velocità di propagazione della luce, frequenza e ampiezza del raggio emesso, è possibile calcolare la distanza percorsa dal raggio laser.



Quello che abbiamo illustrato è il principio fisico che sta alla base del funzionamento di un Geodimeter a laser.



Ora dobbiamo capire in che modo lo strumento sia in grado di darci la misura esatta di un salto o di un lancio.

Tutto si basa su semplici **regole trigonometriche**. Grazie al software di cui è dotato, dati tre punti lo strumento risolve dei teoremi sugli angoli, in particolare il Teorema di Carnot o Teorema del Coseno.

### Per i lanci da pedana circolare.

I tre punti a disposizione dello strumento sono:

- la posizione dello strumento stesso (A),
- il punto di caduta dove viene posizionato il picchetto (B),
- il centro pedana (C).

Chiamiamo C' il punto sul bordo della pedana del raggio che congiunge il centro con il punto di caduta. Il segmento CC' è di lunghezza nota, essendo il raggio della pedana.

Da semplici regole trigonometriche risulta che:

$$CB^2 = AB^2 + AC^2 - 2 \cdot AB \cdot AC \cdot \cos \beta$$

$$BC' = BC - CC'$$

Definiamo  $\beta$  l'angolo formato dai AC e AB.

## Per i salti in estensione.

I tre punti a disposizione dello strumento sono:

- la posizione dello strumento stesso (A),
- il punto di caduta dove viene posizionato il picchetto (C),
- gli estremi dell'asse di battuta (B ed E).

Chiamiamo CD la distanza da calcolare, dove D è in corrispondenza dell'asse di battuta.

Con alcuni passaggi trigonometrici ricaviamo:

$$CB^2 = AB^2 + AC^2 - 2 \cdot AB \cdot AC \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \beta'' = (CB^2 + AC^2 - AB^2) / (2 \cdot AC \cdot CB)$$

$$\varphi = 180^\circ - (\alpha + \beta'')$$

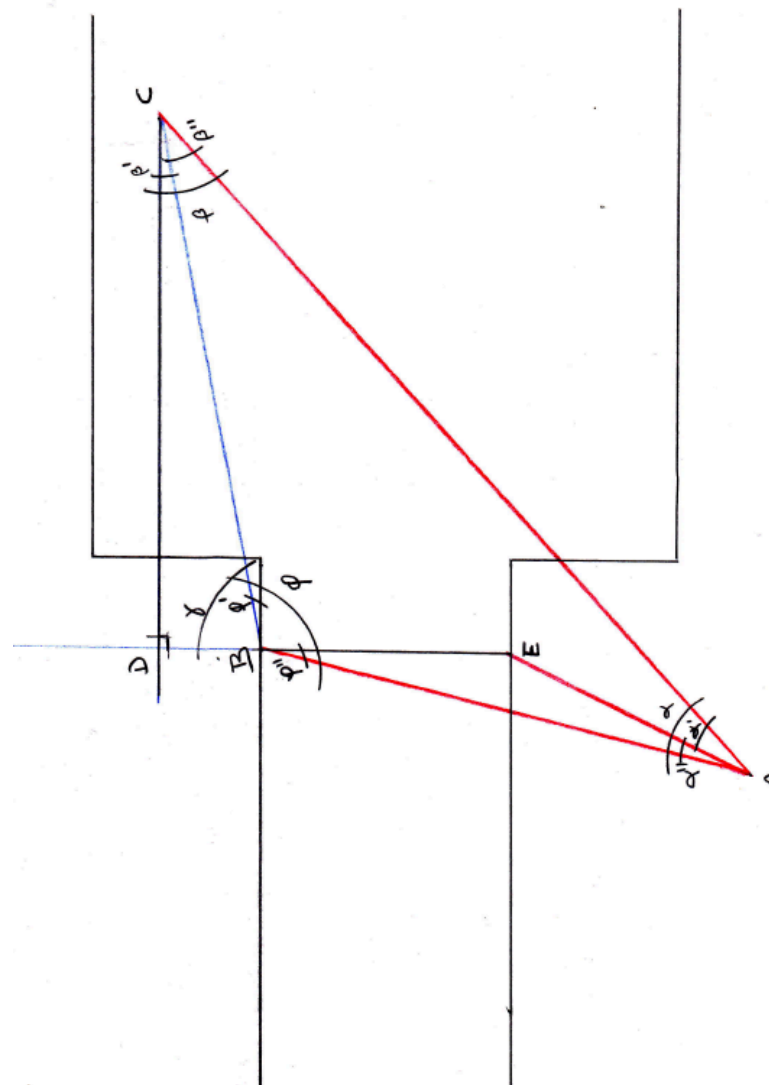
BE = larghezza della pedana, calcolata in fase di taratura

$$\varphi'' = (AE^2 + AB^2 - BE^2) / (2 \cdot AE \cdot AB)$$

$$\varphi' = \varphi - (90^\circ + \varphi'')$$

$$\gamma = 90^\circ - \varphi'$$

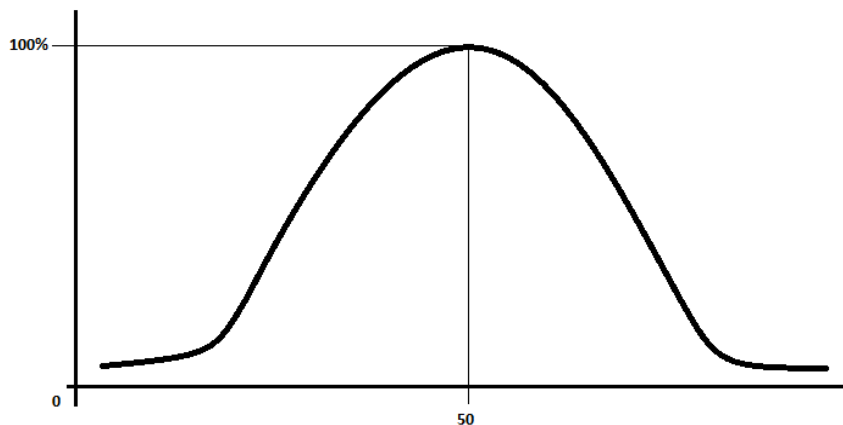
$$\mathbf{DC = BC + \sin \gamma}$$



Non dimentichiamo comunque che anche la misurazione più accurata non corrisponde mai al vero. Possono essere commessi **errori** a causa di imprecisioni dello strumento, particolari condizioni ambientali o sbagli dell'operatore. La misurazione sarà tanto più accurata quanto più lo strumento è costruito bene e se lo strumento è rettificato, ovvero se sono soddisfatte certe condizioni:

- asse generale perfettamente verticale,
- asse di rotazione perfettamente orizzontale,
- asse di collimazione perpendicolare all'asse di rotazione,
- scala graduata ad alta precisione.

In ogni caso le tolleranze applicabili ci permettono con tranquillità di assumere le misure ottenute per vere.



Campana di Gauss