

Corso di Rilievo dell'Architettura

Condotta da daniele colistra – a.a.2015-2016

15. Il metodo indiretto: strumenti e applicazioni (seconda parte)

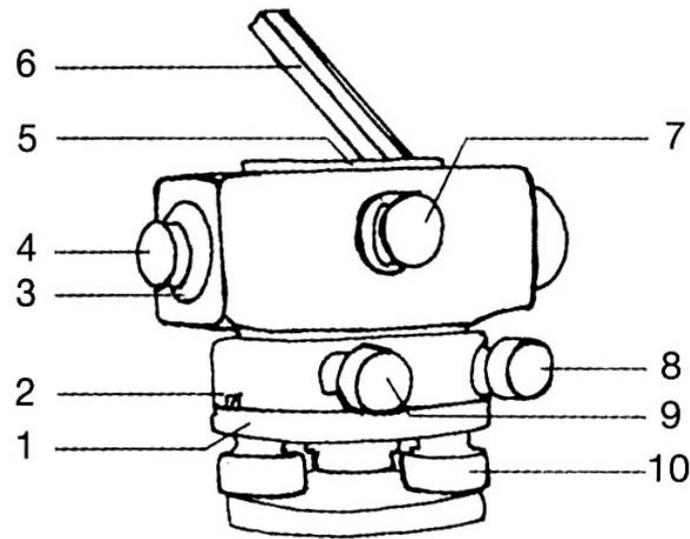
IL RILEVAMENTO ARCHITETTONICO

Il metodo indiretto: strumenti e applicazioni (seconda parte)

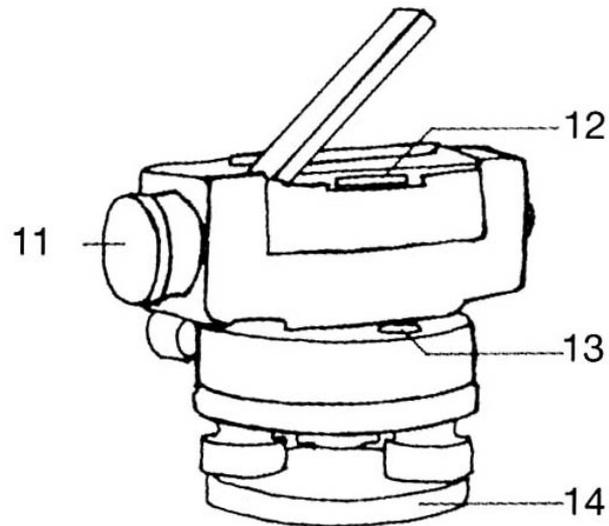
Il *livello ottico* è uno strumento topografico utilizzato per la misura dei dislivelli fra punti accessibili. È costituito da un cannocchiale con reticolo, munito di livella torica e in grado di ruotare attorno a un asse verticale; è presente inoltre un cerchio graduato per la lettura dei gradi orizzontali. Il cannocchiale è sorretto da un basamento; sul basamento sono allocate tre viti calanti, in modo da permettere la perfetta messa in stazione dello strumento. Alcuni modelli, denominati *autolivelli*, sono dotati di un compensatore che consente la messa in stazione automatica dopo il posizionamento con la bolla sferica.



Livello ottico.

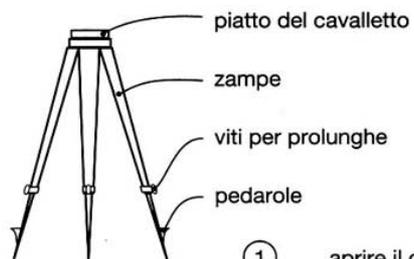


- 1 cerchio graduato
- 2 indice del cerchio graduato
- 3 vite per la messa a fuoco del reticolo
- 4 oculare
- 5 mirino
- 6 specchio (aperto)
- 7 vite della messa a fuoco
- 8 vite dei piccoli spostamenti
- 9 vite del basculaggio
- 10 viti calanti



- 11 cannocchiale
- 12 livella tubolare
- 13 livella circolare
- 14 piatto

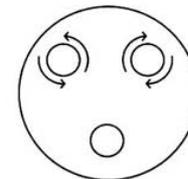
Schema esemplificativo delle parti componenti il livello ottico.



① aprire il cavalletto e fissarlo a terra



② fissare la testa dello strumento sul cavalletto



← schema degli spostamenti di una coppia di viti calanti

③ spostare le viti calanti a coppie finché la bolla che si trova dentro la livella circolare non è al centro del circoletto

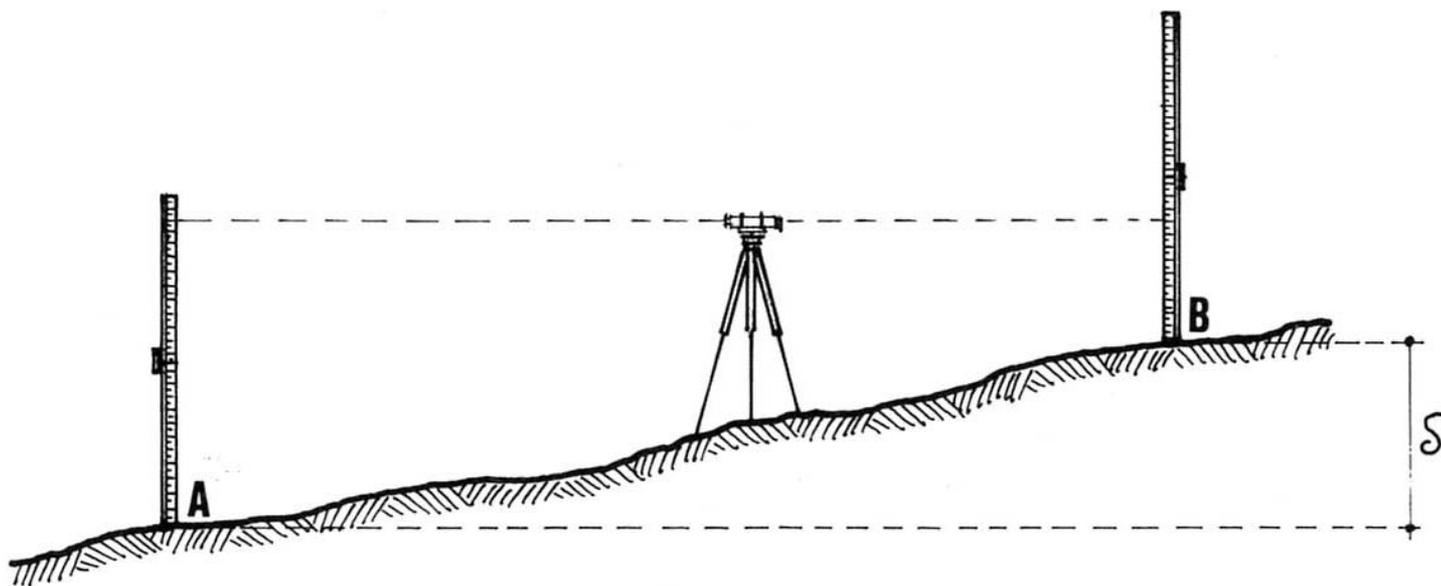
Schema esemplificativo delle procedure necessarie alla messa in stazione dello strumento.



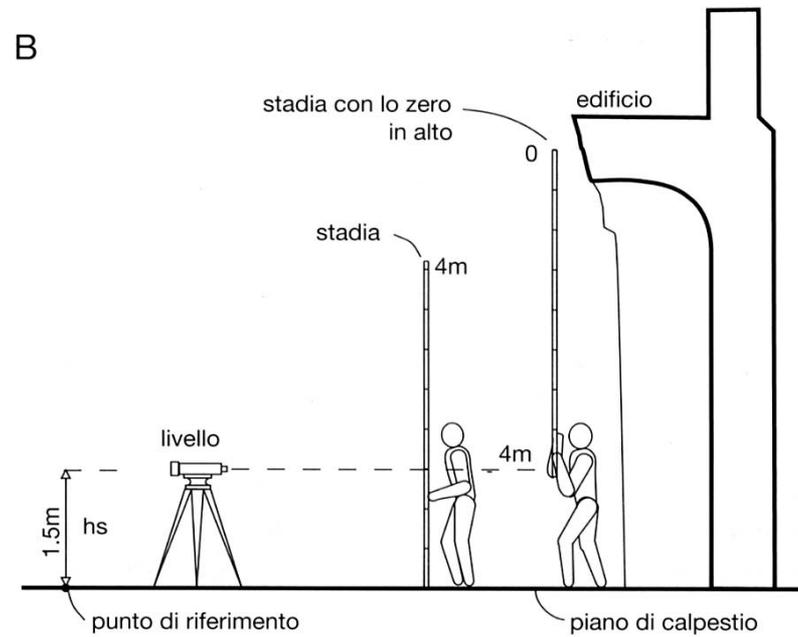
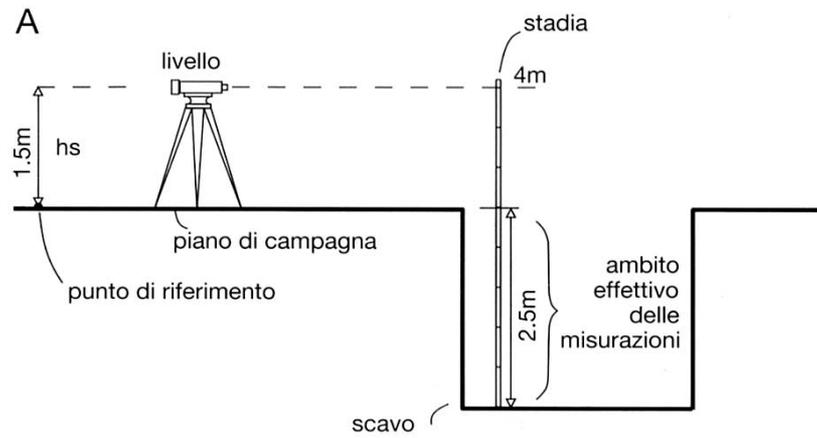
Autolivello.

Il livello ottico può essere utilizzato:

- per determinare un piano di riferimento orizzontale;
- per calcolare la quota di un punto rispetto ad un piano di riferimento;
- per misurare un dislivello;
- per effettuare livellazioni o trasporti di quota.



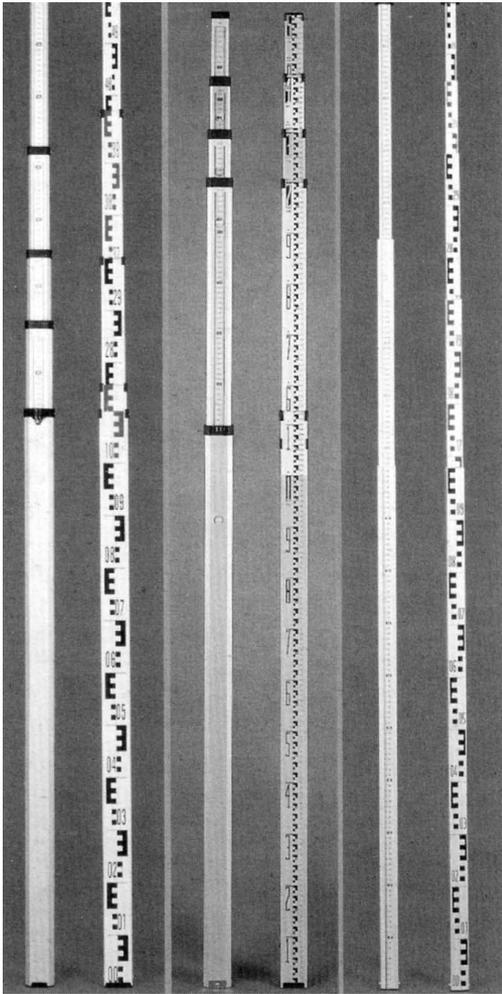
Esempio di misurazione di dislivello di un terreno tramite livello ottico.



Esempio di misurazione di dislivelli in ambito architettonico mediante livello ottico.

Il livello ottico viene quasi sempre utilizzato unitamente alla *stadia*. La *stadia* è un'asta graduata, di legno o metallo, lunga da 2 a 4 metri.

La gradazione è evidenziata con segni di colore bianco/nero, o bianco/rosso. La lettura, eseguita con il cannocchiale del livello, permette di definire il millimetro, stimando il decimo dell'intervallo di un centimetro.



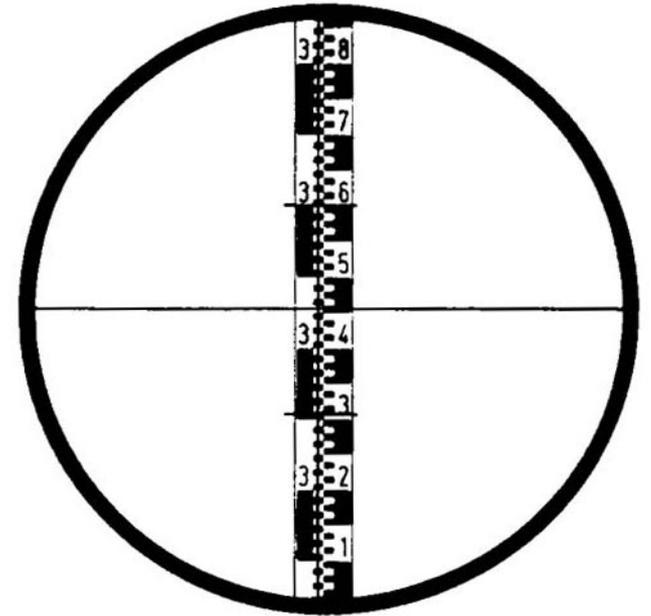
a.

a. Esempi di stadia.



b.

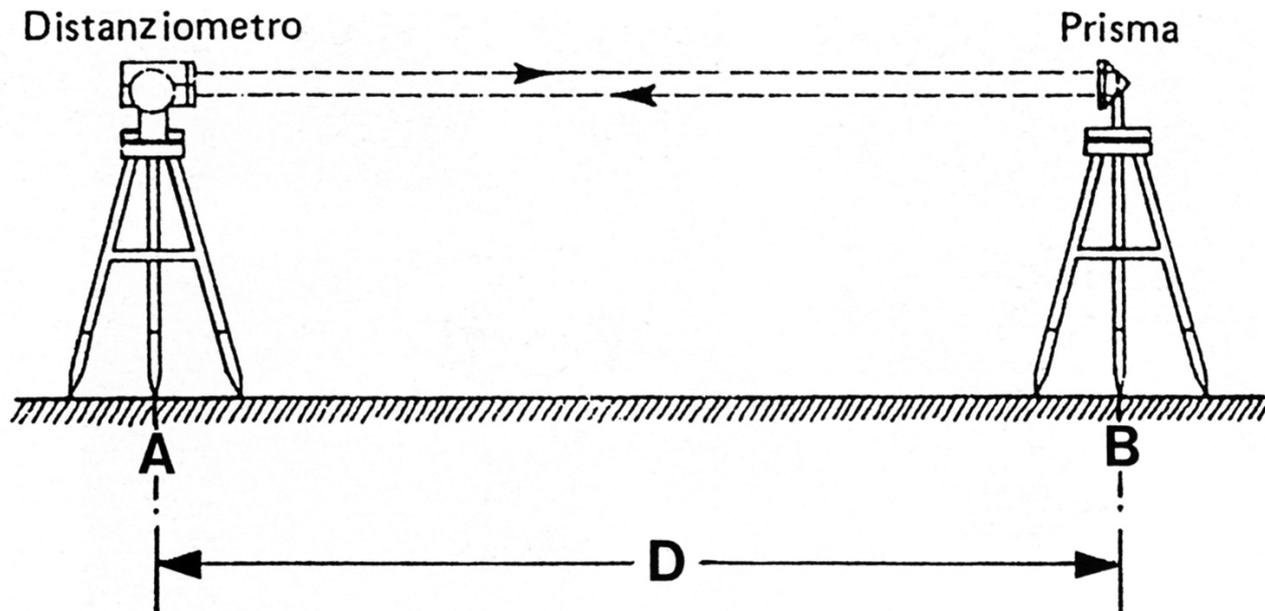
b. Particolare della gradazione di una stadia.



c.

c. Esempio di lettura di stadia attraverso il reticolo del cannocchiale.

Il *distanziometro elettronico* è uno strumento di misura indiretta delle distanze. I primi modelli di distanziometro elettronico si componevano di un apparato trasmittente in grado di inviare un segnale a onda modulata in direzione di un prisma riflettente, che lo inviava nuovamente alla stazione trasmittente. Oggi sono stati soppiantati quasi completamente dalla stazione totale (vedi oltre), le cui funzioni assolvono anche alla misurazione delle distanze. La precisione è sempre stata abbastanza elevata, dell'ordine di ± 1 cm entro una distanza di 1-2 km.

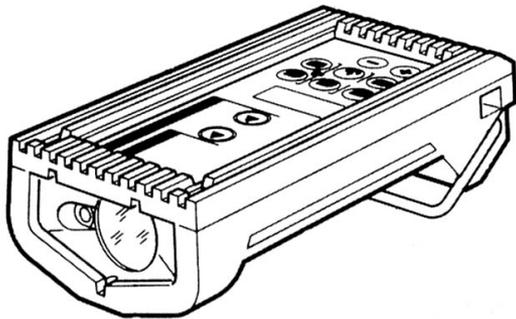


Schema esemplificativo del funzionamento di un distanziometro elettronico di prima generazione.



Due modelli di distanziometro elettronico.

Molto utilizzati nel rilievo degli ambienti interni, sono i *distanziometri laser*, tascabili e di prezzo molto contenuto. Essi sono in grado di effettuare i puntamenti direttamente sugli oggetti, materializzando il raggio laser sotto forma di punto luminoso, e quindi di funzionare senza l'ausilio del prisma. I distanziometri laser emettono un raggio che, raggiunto l'oggetto, ritorna allo strumento di emissione. La misurazione della distanza avviene calcolando il tempo di andata e ritorno del raggio laser, in quanto il tempo tra l'emissione e il ricevimento del segnale luminoso è proporzionale alla distanza da misurare. Per poter misurare il tempo di transito del raggio luminoso, il raggio laser emette degli impulsi elettronici. Per i distanziometri viene solitamente applicata una lunghezza d'onda di 635 nanometri; infatti in questo modo il punto di destinazione della luce è ben riconoscibile dall'occhio umano e il raggio luminoso è nel contempo visibile anche per la fotocellula nel ricevitore. I distanziometri laser funzionano in modo attendibile anche per le distanze mediamente lunghe: un distanziometro di media qualità ammette una deviazione di 2 mm su 30 metri.



Distanziometri laser tascabili.

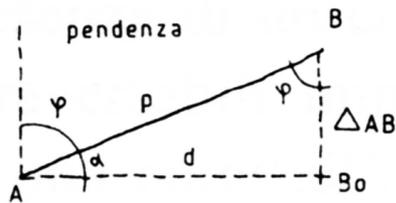
Il *tacheometro* è uno strumento che permette di misurare i dislivelli (mediante la cosiddetta "livellazione tacheometrica"), oppure la distanza fra due punti, con l'ausilio di semplici formule trigonometriche, oppure può essere usato per le triangolazioni (mediante intersezione).

Gli strumenti più affidabili sono quelli ad angolo parallattico costante (quelli ad angolo parallattico variabile, i cosiddetti *telemetri*, sono poco precisi).

Il tacheometro è uno strumento "antico"; oggi il suo uso è molto limitato, in quanto si preferisce utilizzare il teodolite o la stazione totale. Si compone essenzialmente di un cannocchiale, dotato di reticolo a tre fili, di cerchio graduato orizzontale (per la lettura dell'angolo azimutale) e di cerchio graduato verticale (per la lettura dell'angolo zenitale).

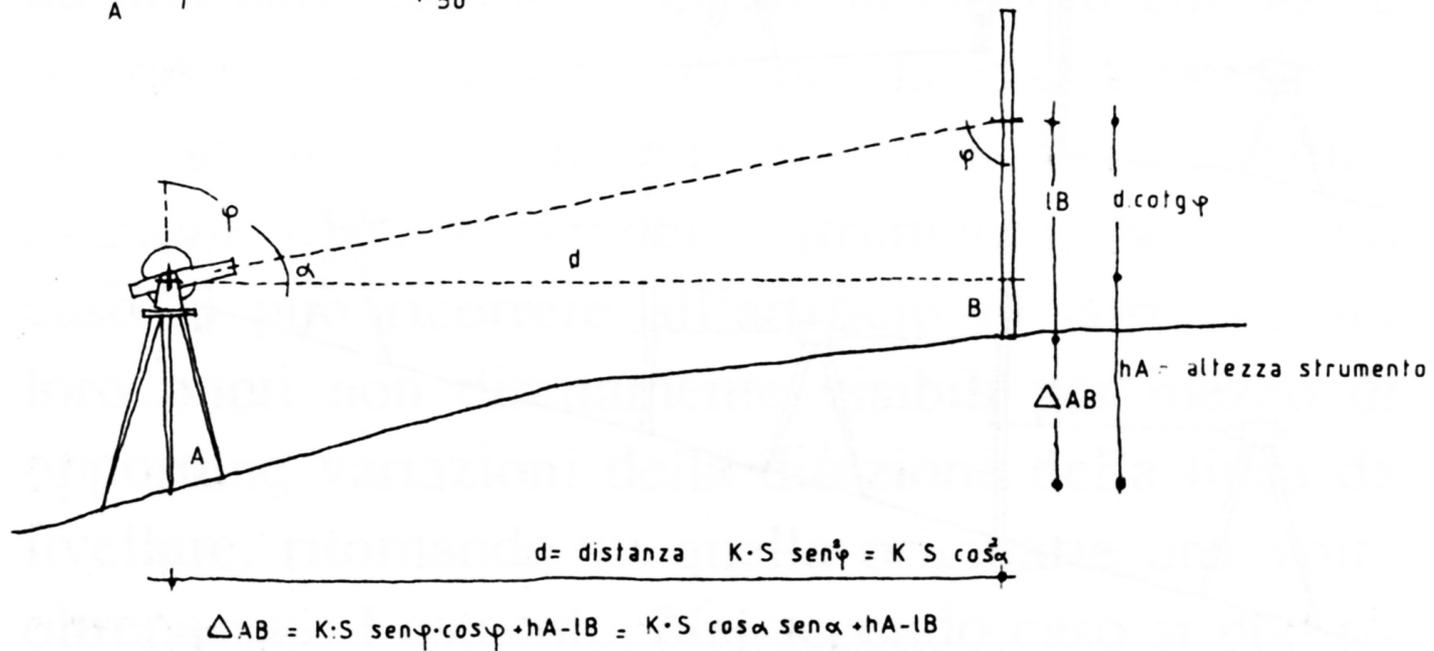


Alcuni modelli di tacheometro;
il primo è dei primi anni del XX secolo, l'ultimo è attualmente in commercio.



$$\text{pendenza } AB = \frac{\Delta AB}{d}$$

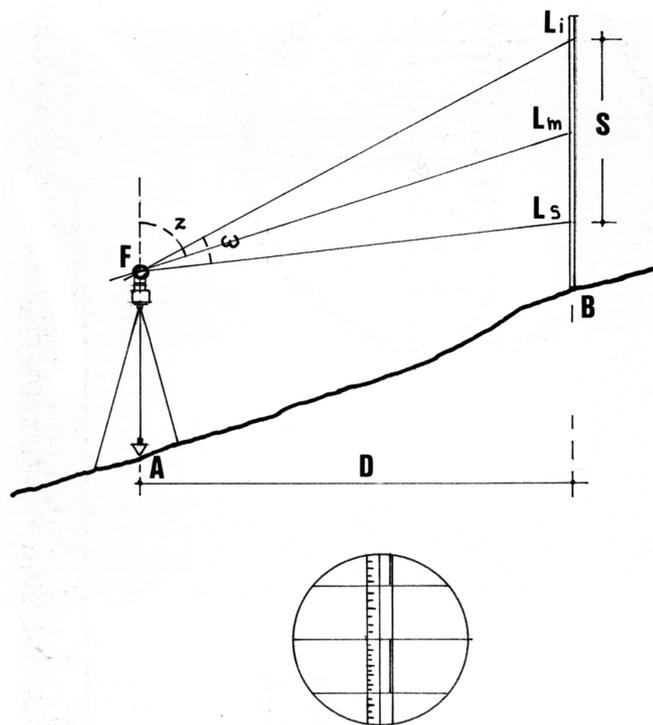
$$p = \text{tang} \alpha = \text{cotg} \psi$$



Schema esemplificativo di livellazione tacheometrica.

Per misurare la distanza fra due punti A e B per mezzo del tacheometro, si procede nel modo seguente:

- si mette in stazione il tacheometro in corrispondenza del punto A, e si dispone sul punto B una stadia in posizione verticale (si sottolinea il fatto che la gradazione della stadia è capovolta in modo da poter essere letta correttamente tramite il cannocchiale del tacheometro);

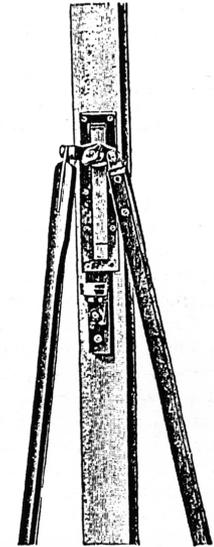
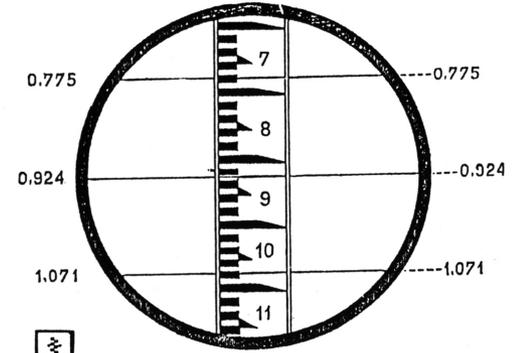
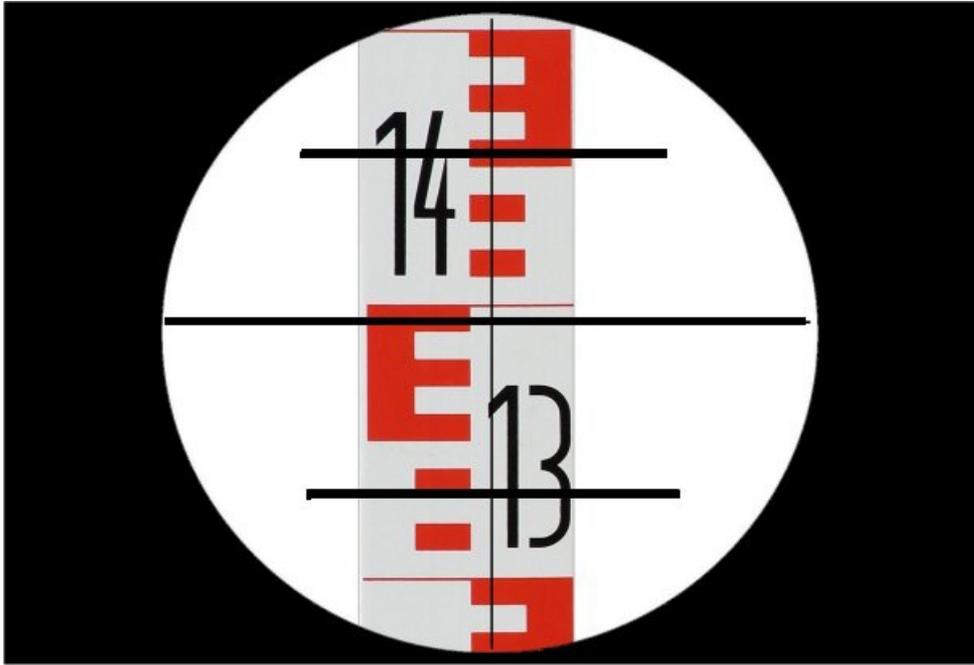


Determinazione indiretta della distanza fra A e B utilizzando un tacheometro.

- si traguarda entro l'oculare del cannocchiale.

Il cannocchiale è munito di un reticolo che consente di effettuare sulla stadia tre letture: una inferiore, una mediana e una superiore.

I due fili che permettono la lettura inferiore e superiore sono distanziati tra loro in modo da determinare un angolo ω prestabilito rispetto al centro ottico dello strumento;



Letture della gradazione di una stadia attraverso il reticolo del tacheometro.

- per calcolare la distanza D fra i due punti A e B occorre leggere l'angolo zenitale z sul cerchio verticale, leggere la misura inferiore e quella superiore sulla stadia. La distanza fra i due punti è data dalla seguente formula, nota anche come *equazione della stadia*:

$$D = K \cdot S \cdot \text{sen}^2 z$$

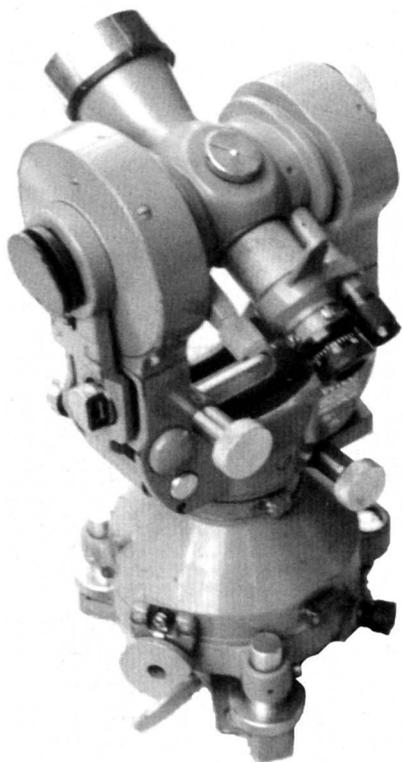
in cui S è la differenza fra le letture effettuate sulla stadia, z è l'angolo zenitale formato dall'asse ottico dello strumento rispetto alla verticale e K è una costante, caratteristica dello strumento, il cui valore è solitamente uguale a 100.

Ovviamente, il rilevamento può procedere effettuando le misurazioni dal medesimo punto di stazione verso altri punti (irradiamento), oppure si può spostare il punto di stazione e procedere mediante intersezione o poligonazione.

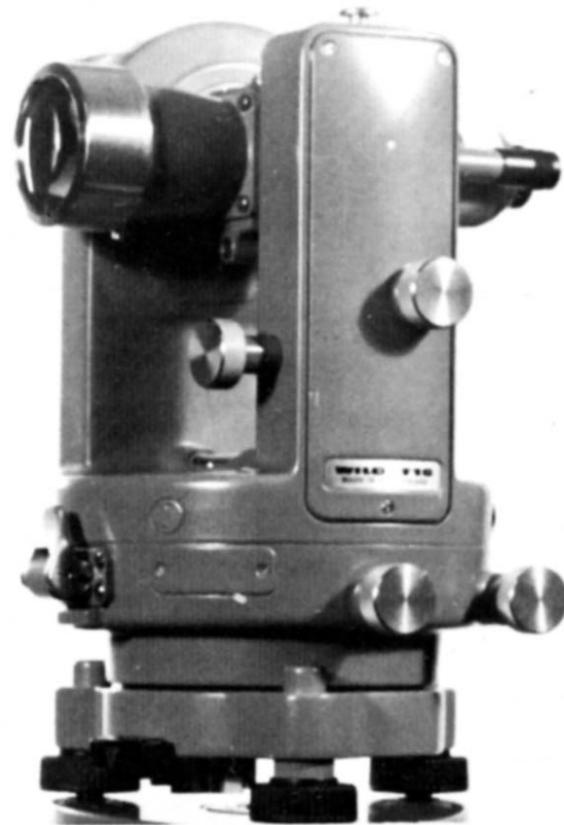
L'uso del tacheometro come longimetro su distanze brevi produce un errore pari a 0,3 - 0,4 metri ogni 100 metri. Si tratta quindi di uno strumento non eccessivamente preciso.

Il *teodolite ottico - meccanico* è, come il tacheometro, uno strumento che misura angoli sia orizzontali che verticali, ossia un *goniometro altazimutale*. Il teodolite e il tacheometro ormai non differiscono di molto l'uno dall'altro. Un tempo, il teodolite misurava solo gli angoli orizzontali e verticali. Oggi anche il teodolite è dotato di un reticolo distanziometrico che permette di misurare in modo indiretto le distanze. Di conseguenza, l'unica differenza fra i due strumenti è che il teodolite è più preciso del tacheometro.

Il teodolite, infatti, consente la misurazione di valori da uno a cinque secondi centesimali, mentre il tacheometro apprezza solo dai venti secondi centesimali in su.



a.

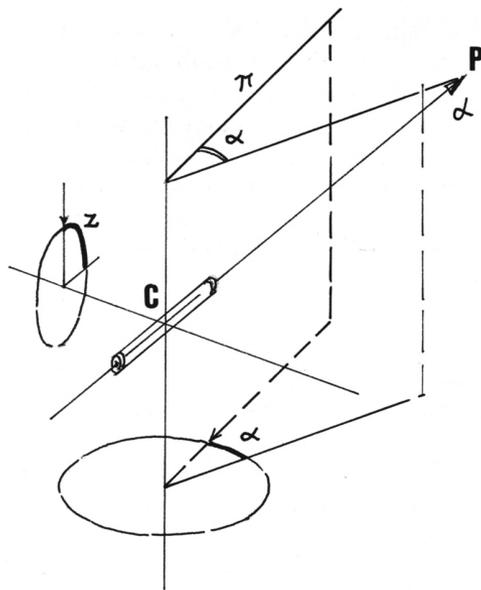


b.

a. Teodolite T2 della Wild, prodotto nel 1964.

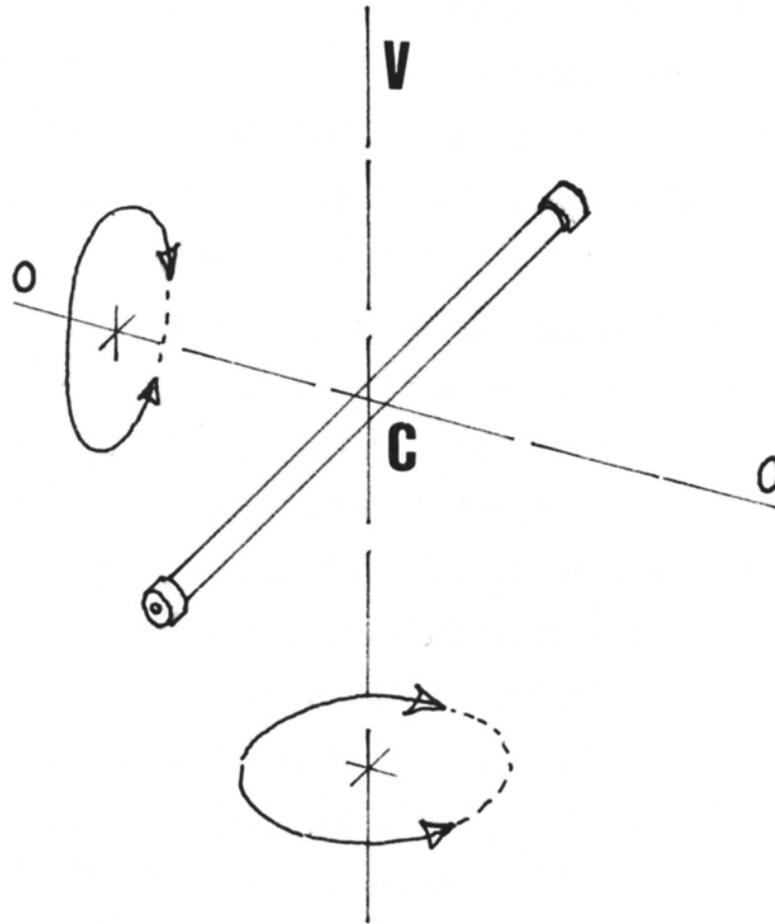
b. Teodolite T16 della Wild, con cannocchiale a 30 ingrandimenti.

Il teodolite è uno strumento che consente di determinare la direzione uscente da un punto detto *centro* dello strumento. La posizione di un punto P nello spazio è quindi definita dalla direzione dell'*asse ottico* dello strumento quando collima il punto stesso. La posizione dell'*asse ottico* è definita dalla lettura dell'angolo azimutale α (orizzontale) e dell'angolo zenitale z (verticale).

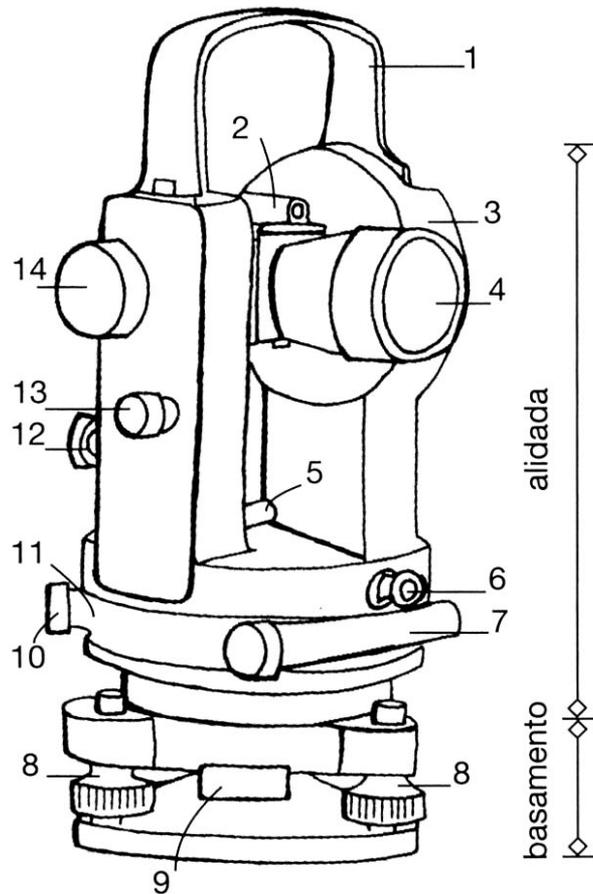


Schema spaziale del teodolite ottico - meccanico. La posizione del punto P nello spazio è determinata rispetto a un generico piano rilevando l'angolo azimutale e l'angolo zenitale. Naturalmente, se il teodolite è privo di reticolo distanziometrico il rilievo deve essere effettuato da due punti di stazione distinti (triangolazione).

Il teodolite si compone di un basamento, sorretto da un cavalletto, e di un sovrastante elemento, detto alidada, in grado di ruotare intorno a un asse verticale. Sull'alidada è imperniato un cannocchiale di collimazione che, a sua volta, ruota attorno a un asse orizzontale. In questo modo il cannocchiale può assumere tutte le direzioni dello spazio in quanto può ruotare sia attorno all'asse orizzontale che, unitamente all'alidada, attorno all'asse verticale.



L'asse verticale V di rotazione dell'alidada, l'asse orizzontale O di rotazione del cannocchiale e l'asse di collimazione si incontrano nel punto C, centro dello strumento e origine del sistema cartesiano di riferimento.

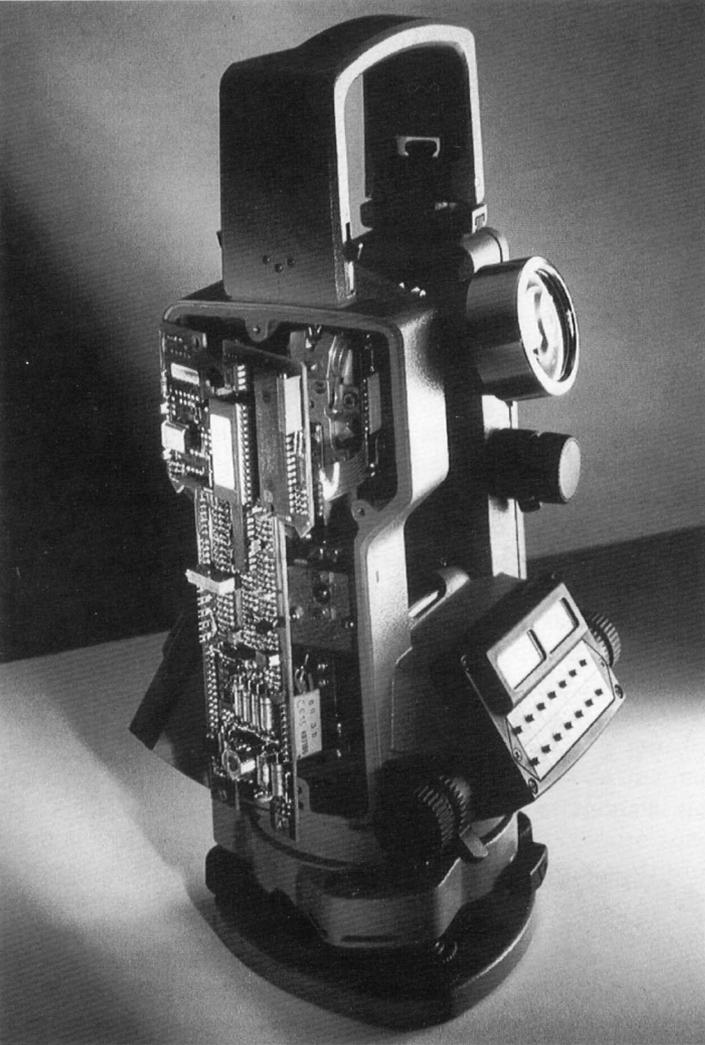


- 1 maniglia staccabile
- 2 mirino
- 3 cerchio verticale
- 4 cannocchiale
- 5 bolla ovale (torica)
- 6 mirino per il piombo ottico
- 7 viti per i piccoli spostamenti del cerchio orizzontale
- 8 viti calanti
- 9 chiave di blocco alidada - basamento
- 10 viti per il blocco alidada - cerchio orizzontale
- 11 cerchio orizzontale
- 12 viti per i piccoli spostamenti del cerchio verticale
- 13 viti per il blocco alidada - cerchio verticale
- 14 micrometro per la lettura del cerchio verticale

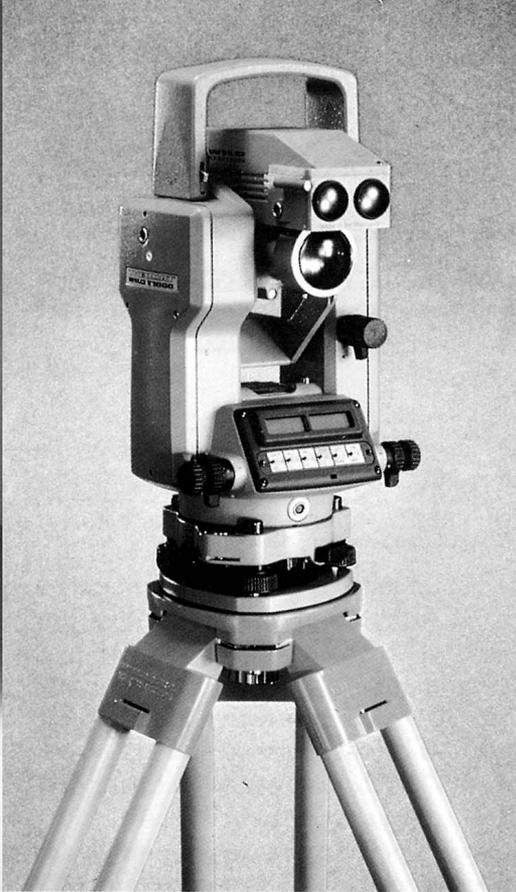
dall'altro lato dello strumento sono:

- la bolla sferica, accanto ad una delle viti calanti
- la vite per il blocco basamento - cerchio orizzontale, alla base dell'alidada
- cerchietto inciso sul fianco dello strumento che ne indica il centro ottico e dal quale si misura l'altezza strumentale (h_s)

Il teodolite ottico - meccanico è stato sostituito da alcuni decenni dal *teodolite elettronico*. Quest'ultimo è spesso corredato di un distanziometro elettronico che permette di misurare in modo immediato le distanze fra il centro ottico dello strumento e l'oggetto. Quando il distanziometro è integrato al teodolite, lo strumento è definito *stazione totale* (sarà descritto nella lezione successiva).



a.



b.



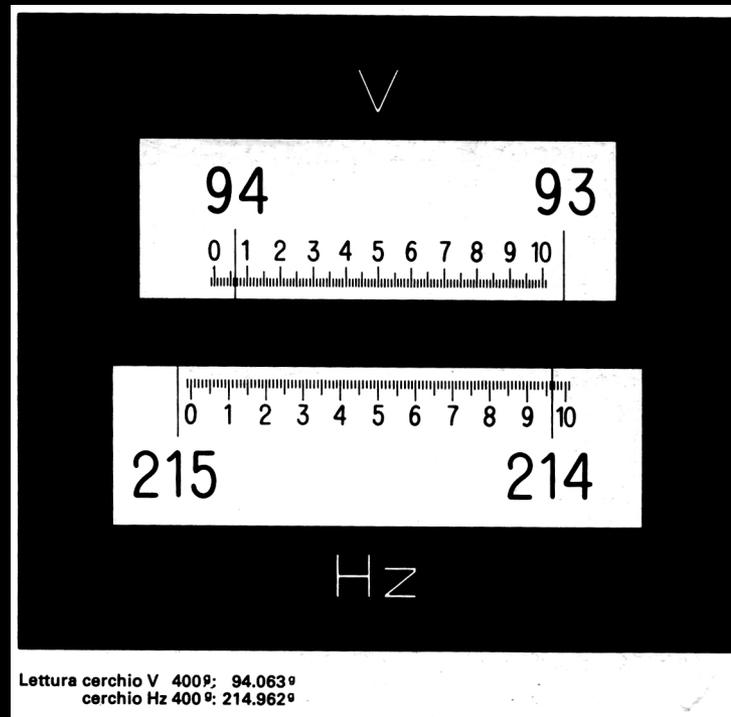
c.

a. Il teodolite elettronico Wild T 1600;

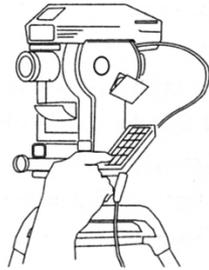
b. Il teodolite elettronico Wild T 1600 accoppiato a un distanziometro elettronico

c. Il teodolite elettronico Wild T 1610 accoppiato a un distanziometro laser Leica, in grado di funzionare senza prisma riflettente.

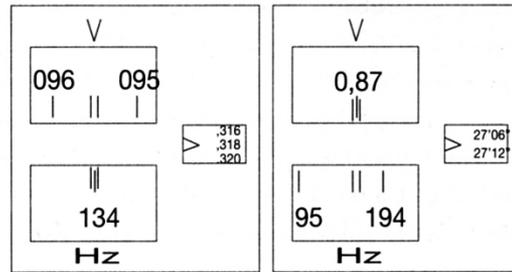
La lettura dei valori angolari (solitamente centesimali e non sessagesimali) in un teodolite elettronico è visualizzata su un display.



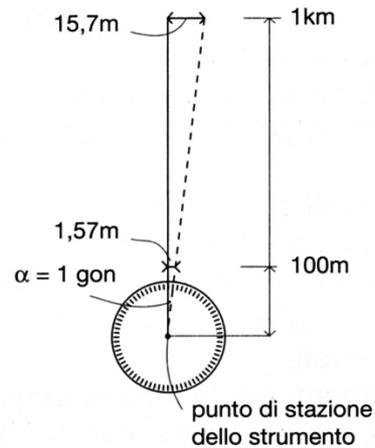
Lettura dei cerchi verticale (V) e orizzontale (Hz) in un teodolite.



teodolite accessoriato con
distanziometro e registratore
di dati a inserimento manuale



lettura dei gradi orizzontali
a 400 gon o 360°



incidenza dell'errore
di lettura angolare in
rapporto alla distanza

Schema di teodolite con distanziometro elettronico, esempi di lettura dei gradi centesimali e sessagesimali, incidenza degli errori di lettura in funzione della distanza.

L'uso del tacheometro, del teodolite ottico - meccanico e del teodolite con distanziometro permetteva quindi di misurare contemporaneamente le tre coordinate spaziali di un punto. Tale tecnica prende il nome di *celerimensura* (o *tacheometria*). Il termine deriva dal latino *celer* + *mensura* = misurazione veloce e corrisponde al greco *tacheometria* (di identico significato). È stato coniato dal topografo Ignazio Porro (1801-1875) che, nel 1850, ideò il cannocchiale distanziometrico anallattico (da cui derivò il tacheometro). La celerimensura, quindi, permette di definire, rispetto a un'origine nota, la posizione di un punto nello spazio (a condizione che sia accessibile) attraverso le sue coordinate, senza ricorrere alla misurazione diretta delle distanze.

Avendo a disposizione un teodolite con distanziometro, si procede nel seguente modo:

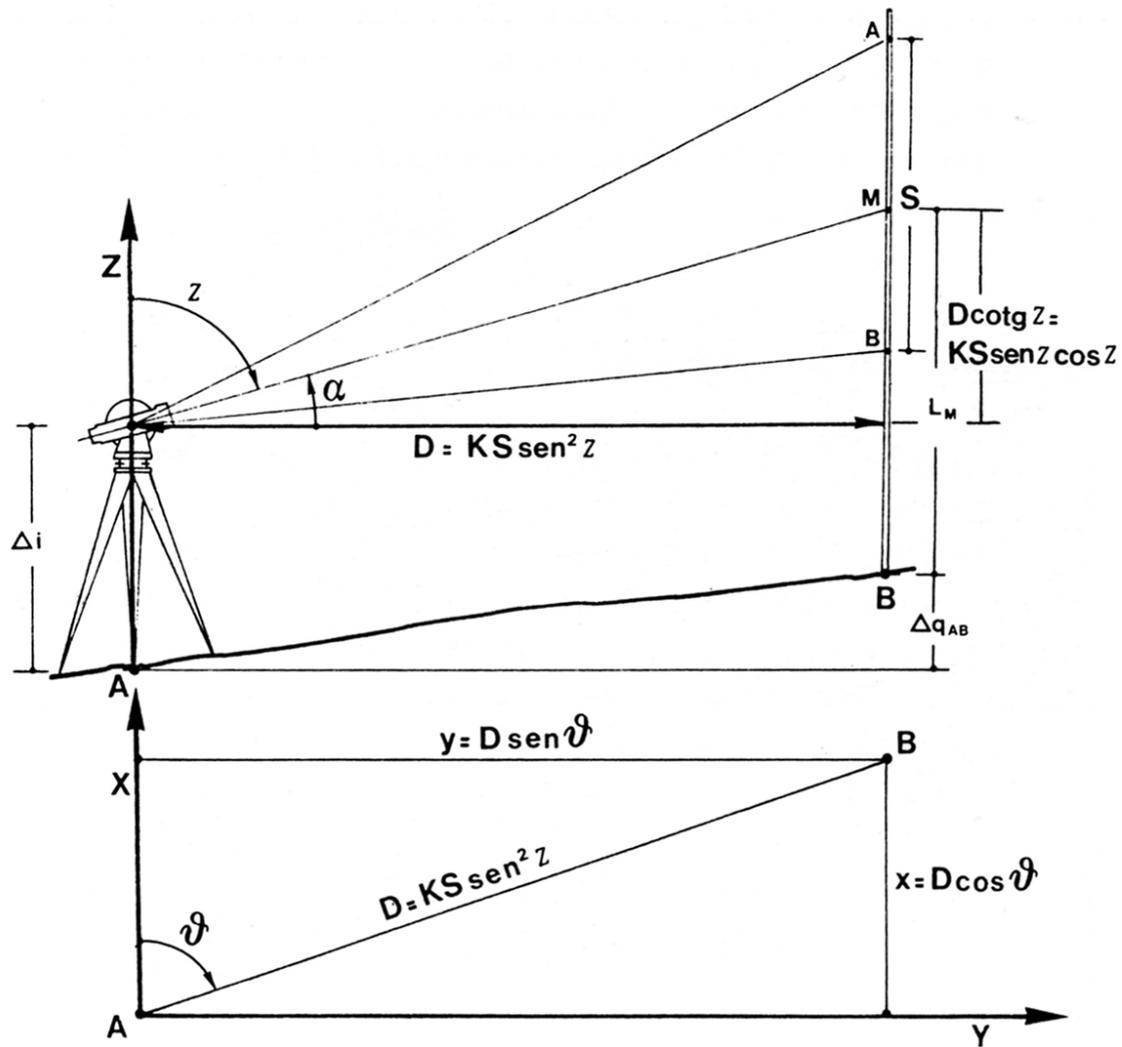
- si posiziona lo strumento sul punto A;
- si assume come origine del sistema di coordinate cartesiane ortogonali il centro O dello strumento;
- si fissa (anche in modo arbitrario) la direzione da dare all'asse delle X;
- si calcolano le coordinate di un generico punto B utilizzando le formule (si vedano i teoremi sui triangoli rettangoli - lezione 12):

$$X_B = D \cdot \cos \theta$$

$$Y_B = D \cdot \sin \theta$$

$$Z_B = D \cdot \cotg z$$

dove D è la distanza, misurata sull'orizzontale, del punto B dalla stazione A, θ l'angolo orizzontale e z l'angolo verticale.



Schema altimetrico e planimetrico associato alle formule per il rilevamento celerimetrico.

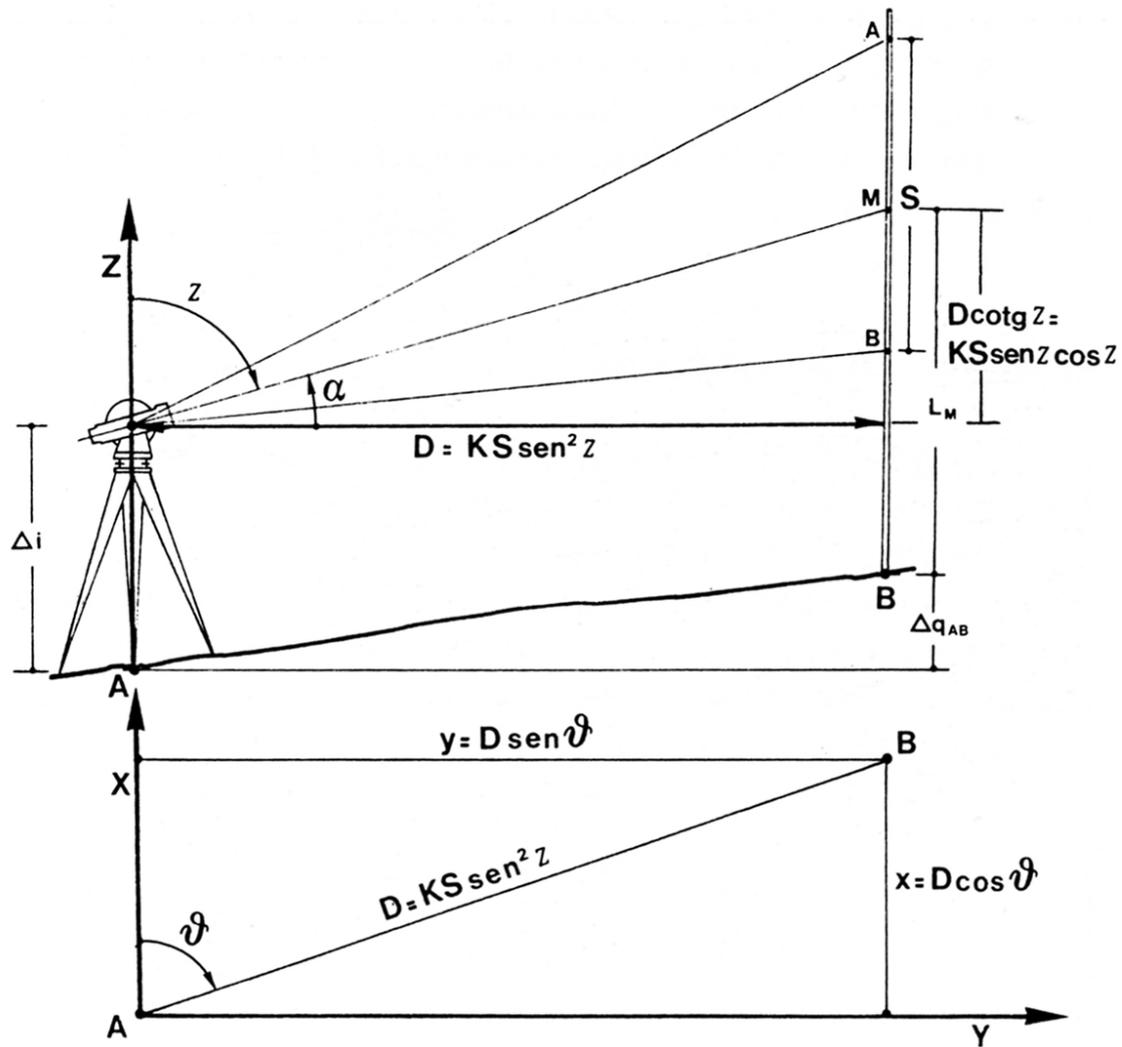
Nel caso non si disponga di teodolite con distanziometro ma solo di un tacheometro, la distanza D del punto B rispetto al centro dello strumento può essere calcolata utilizzando la lettura sulla stadia verticale e impiegando le seguenti formule (si ricordi l'equazione della stadia, illustrata in precedenza):

$$X_B = K \cdot S \cdot \operatorname{sen}^2 z \cdot \cos \theta$$

$$Y_B = K \cdot S \cdot \operatorname{sen}^2 z \cdot \operatorname{sen} \theta$$

$$Z_B = K \cdot S \cdot \operatorname{sen} z \cdot \cos z$$

dove K rappresenta la costante distanziometrica.



Schema altimetrico e planimetrico associato alle formule per il rilevamento celerimetrico.

Qualora, invece, siano note le coordinate cartesiane del punto di stazione A, si possono riferire ad essa le coordinate di tutti gli altri punti mediante le seguenti espressioni:

$$X_B = X_A + K \cdot S \cdot \text{sen}^2 z \cdot \cos \theta$$

$$Y_B = Y_A + K \cdot S \cdot \text{sen}^2 z \cdot \text{sen} \theta$$

$$Z_B = Z_A + K \cdot S \cdot \text{sen} z \cdot \cos z + \Delta_i - L_m$$

dove Δ_i rappresenta l'altezza dello strumento rispetto al punto A mentre L_m rappresenta la lettura sulla stadia.

Tali espressioni si definiscono "formule celerimetriche per il calcolo delle coordinate cartesiane".