

4. Le parti e gli assi dei teodoliti ottici

Facendo riferimento alla ► FIGURA 11, le parti essenziali dei *teodoliti ottici*, che in buona parte ritroveremo identiche a quelle dei *teodoliti elettronici*, rispetto ai quali mutano i **cerchi** e gli **apparati di lettura**, sono le seguenti:

- basamento;
- cerchi graduati;
- alidada;
- cannocchiale collimatore;
- livelle;
- apparati di lettura.

Il teodolite ottico (ma anche quello elettronico), per consentire al cannocchiale *collimatore*, sorretto dall'*alidada*, di venire orientato nella direzione di un qualsiasi punto dello spazio, dispone di **due movimenti**, entrambi rotatori e completi (a 360°):

- **rotazione dell'alidada** attorno a un asse meccanico che verrà disposto verticalmente;
- **rotazione del cannocchiale** attorno a un asse meccanico che verrà disposto orizzontalmente.

FAQ

► **Cosa consente al teodolite di poter collimare un punto qualunque nello spazio?**

L'azione combinata di due movimenti rotatori: quello dell'alidada attorno a un asse disposto in modo verticale, e quello del cannocchiale collimatore attorno a un asse disposto ortogonalmente al precedente.

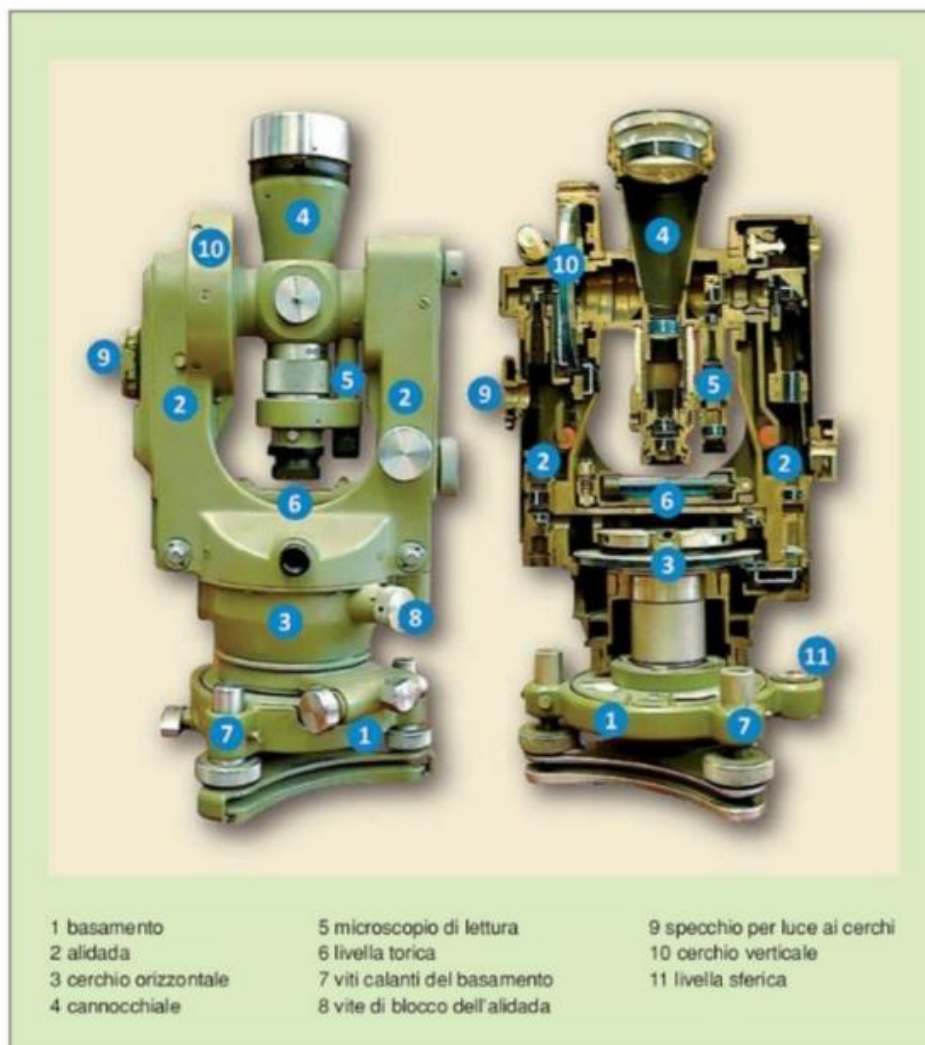


FIGURA 11 Parti essenziali di un teodolite ottico-meccanico che in gran parte ritroviamo anche nei teodoliti elettronici. A sinistra è riportata una vista esterna, a destra lo spaccato di un teodolite ottico-meccanico.



FIGURA 12 Treppiede per il montaggio dei goniometri. Nella vista dall'alto si può osservare la vite di serraggio.

Ogni teodolite possiede dispositivi, di solito **viti** o **levette**, per il **bloccaggio** di entrambi questi movimenti, al fine di fissare il teodolite nel desiderato assetto spaziale. In questa posizione, tuttavia, il teodolite possiede sempre dispositivi per comandare i **piccoli movimenti** che consentono la collimazione precisa ai punti.

Di solito il teodolite viene montato su un **treppiede** (o **tripode**) composto da tre gambe estensibili, in legno o in alluminio, incernierate in sommità su un **piatto** metallico d'appoggio, al quale viene fissato il **basamento** dello stesso teodolite tramite una robusta **vite di serraggio** (► FIGURA 12).

Il treppiede deve essere collocato sopra il **segnale** a terra (*picchetto, chiodo*) in modo da consentire all'**asse generale** del teodolite (che tra breve definiremo) di passare per lo stesso segnale, durante la fase denominata: **messa in stazione**. Solo per operazioni topografiche di precisione, il teodolite viene fissato direttamente sui segnali, che in questo caso saranno costituiti da **pilastrini**, di solito in calcestruzzo (unità C2).

■ Basamento

Il **basamento**, identico nei teodoliti ottici e in quelli elettronici, è la parte inferiore dello stesso teodolite, che collega direttamente lo strumento al treppiede (o al segnale). È composto di tre elementi (► FIGURA 13):

- **placca di base** (a), resa solidale al piatto d'appoggio del treppiede tramite vite di serraggio;
- **placca superiore** (b), il cui assetto spaziale può essere modificato fino a raggiungere la sua orizzontalità;
- **tre viti calanti** (c), disposte a triangolo equilatero, che collegano le due placche precedenti e ne regolano la posizione relativa attraverso tre *traslazioni* alto-basso indipendenti.

Nella **placca superiore** sono presenti tre **fori** nei quali si inseriscono, e rimangono poi ritenuti da un apposito dispositivo comandato da una **chiave di bloccaggio** (L in ► FIGURA 13), tre corrispondenti **perni** del teodolite (o di una mira). Tale soluzione consente di staccare il teodolite vero e proprio dal basamento, per sostituir-



FIGURA 13 Basamento del teodolite con l'indicazione delle tre parti che lo compongono e la leva L di ritenuta dello strumento.



FIGURA 14 L'intercambiabilità tra teodolite e mira, che condividono lo stesso basamento, consente di mantenere il centramento sul segnale a terra.

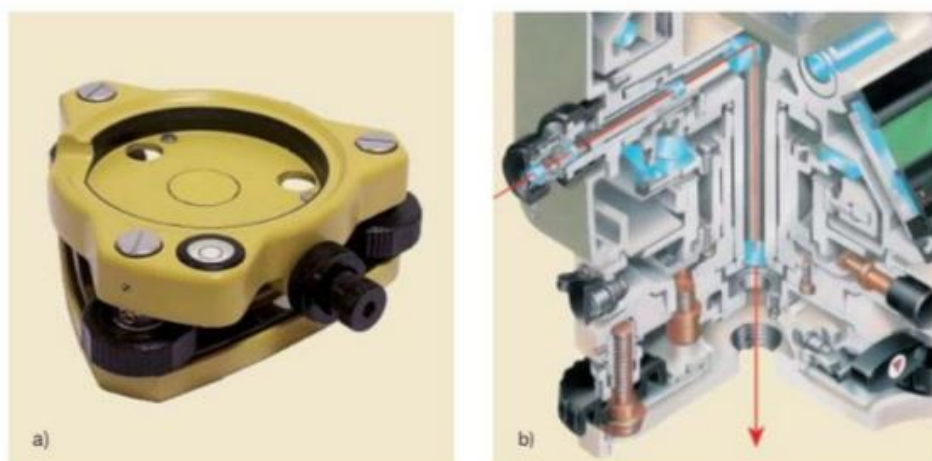


FIGURA 15 a) Basamento nel quale è visibile in primo piano l'oculare del piombino ottico. b) Piombino ottico per la centratura sulla verticale del picchetto.

lo con una **mira di precisione**. Pertanto il teodolite condivide con la mira lo stesso basamento, e ciò consente l'interscambio dei dispositivi senza perdere il centramento sul punto a terra. Tale eventualità è necessaria nell'ambito del **centramento forzato**, operazione che fornisce la possibilità di centrare, su un punto a terra, alternativamente un teodolite e una mira, con ottima precisione (►FIGURA 14).

Spesso nella placca superiore (►FIGURA 15a) viene collocato il **piombino ottico**, altre volte lo stesso dispositivo viene inserito nell'alidada, come illustrato nello spaccato di ►FIGURA 15b. Si tratta, in ogni caso, di un *minuscolo cannocchiale* ad asse spezzato, in parte fatto coincidere con l'asse generale del teodolite, la cui funzione è quella di **centrare** l'asse generale del teodolite sul *segnale* a terra utilizzando un **reticolo** a croce o una traccia circolare. In passato tale operazione era effettuata con il *filo a piombo*, mentre negli strumenti più recenti è sostituito da un **piombino laser** di luminosità regolabile. L'asse spezzato del piombino ottico consente di osservare il terreno sottostante lo strumento (►FIGURA 16) attraverso la vite di serraggio del treppiede, che pertanto deve essere cava. Essendo il piombino ottico inserito nella placca superiore (o nell'alidada), l'assetto del suo asse viene modificato tramite le tre viti calanti del basamento.

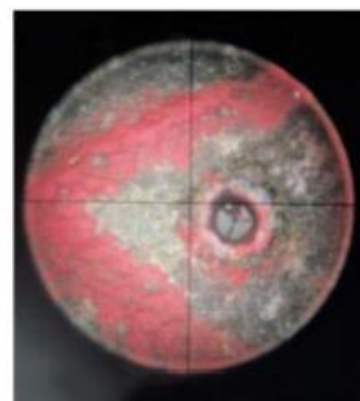


FIGURA 16 Vista del segnale a terra (chiodo su asfalto) dall'oculare del piombino ottico.

■ Alidada

L'*alidada*, la cui etimologia è di derivazione araba e la cui struttura non varia negli strumenti elettronici, è la robusta parte superiore del teodolite caratterizzata da una forma a forcella (►FIGURA 17). Essa può **ruotare** a 360°, rispetto al basa-



FIGURA 17 Evidenziazione dell'alidada nella vista di un teodolite (a), e struttura dell'alidada isolata dagli altri componenti del teodolite, in cui sono ben visibili i montanti laterali che portano il cannocchiale e il perno inferiore di collegamento al basamento (b).



FIGURA 18 Cannocchiale collimatore con l'oculare in primo piano e con il mirino meccanico sul dorso superiore.

mento, intorno all'*asse generale* del teodolite (che in fase di stazionamento verrà reso verticale), trascinando, durante la rotazione, gli **indici di lettura** al cerchio orizzontale.

L'alidada è costituita essenzialmente da una base inferiore, da due **montanti** che sostengono il cannocchiale collimatore, consentendone il completo capovolgimento, e da un **perno** infilato coassialmente nel corrispondente foro del supporto metallico che sostiene il cerchio orizzontale se questo è *ripetitore* (v. il paragrafo dedicato ai cerchi), oppure direttamente nel **mozzo** del basamento, se lo stesso cerchio è *reiteratore*.

I **grandi**, ma approssimativi, **movimenti** sono impressi direttamente all'alidada con le **mani**, mentre per i piccoli movimenti, che consentono la precisa collimazione, occorre prima fissare l'alidada con l'apposito dispositivo di **bloccaggio** e successivamente agire sulle **viti dei piccoli movimenti**.

■ Cannocchiale collimatore

Il *cannocchiale*, come più volte ribadito, costituisce l'apparato **collimatore** del teodolite; esso è sostenuto dai montanti dell'alidada tramite cuscinetti collocati in alloggiamenti nella parte superiore degli stessi montanti, consentendo al cannocchiale un completo basculamento che porta al suo **capovolgimento**. Tale importante manovra (che, come vedremo in seguito, consente di effettuare le **letture coniugate**) è consentita dalla compattezza del cannocchiale a **lunghezza costante** (concepito da Wild) che da oltre un secolo equipaggia i teodoliti (sia ottici sia elettronici). Il funzionamento e le caratteristiche di tale dispositivo sono state esaminate nella precedente unità C4.

Come per l'alidada, anche per il cannocchiale sono previsti sia i **grandi movimenti** (approssimativi) da imprimere al cannocchiale direttamente con le mani, sia i **piccoli movimenti**, che consentono la collimazione finale. Per attivare i piccoli movimenti con l'apposita vite, tuttavia, occorre prima fissare il cannocchiale con l'apposito dispositivo di **bloccaggio**.

Per facilitare l'orientamento del cannocchiale, nell'ambito dei *grandi movimenti*, verso la direzione del punto da collimare, ancora prima di aver effettuato l'*adattamento alla distanza*, il cannocchiale del teodolite è sempre provvisto di **mirino** di tipo meccanico (►FIGURA 18).

FAQ

► **Nella lettura al cerchio orizzontale, dove si trova l'indice di lettura?**

È solidale all'alidada e pertanto ne riproduce le rotazioni.



FIGURA 19 Cerchio orizzontale. I tratti della graduazione sono sottilissimi e non apprezzabili a occhio nudo.

■ Cerchi graduati

Il teodolite è un goniometro universale, pertanto possiede due cerchi: il **cerchio orizzontale** e il **cerchio verticale**.

Su entrambi sono riportate, per fotoincisione, le **graduazioni** che ne consentono la lettura; quest'ultima è completamente diversa nei teodoliti ottici (che stiamo esaminando), la cui lettura deve essere eseguita dall'operatore con un dispositivo **ottico**, rispetto a quella riportata sui cerchi dei teodoliti elettronici (che verranno illustrati in altra parte del corso), la cui lettura è invece eseguita **automaticamente** da dispositivi elettronici.

● Cerchio orizzontale

Il *cerchio orizzontale* (CO) del teodolite, è una corona di cristallo (►FIGURA 19) con diametro compreso tra 5 e 8 cm, la cui graduazione viene letta per *trasparenza*, completamente nascosta all'interno del teodolite. Pertanto la sua lettura ne richiede l'**illuminazione**, che viene ottenuta tramite un piccolo specchio orientabile, che convoglia la luce dall'esterno fino al cerchio e da qui al **microscopio**, attraverso una serie di prismi opportunamente collocati sul percorso ottico dei

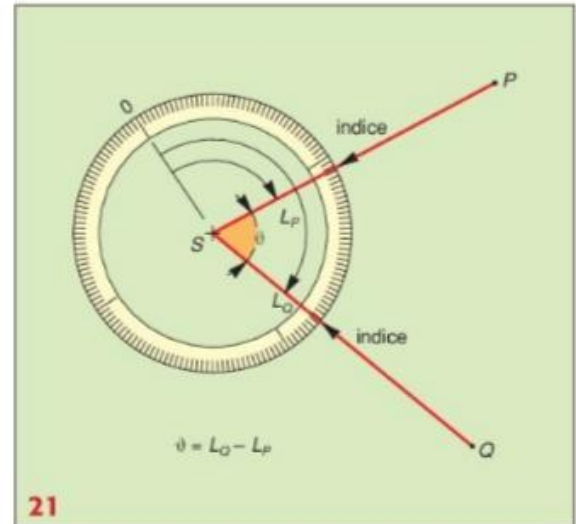
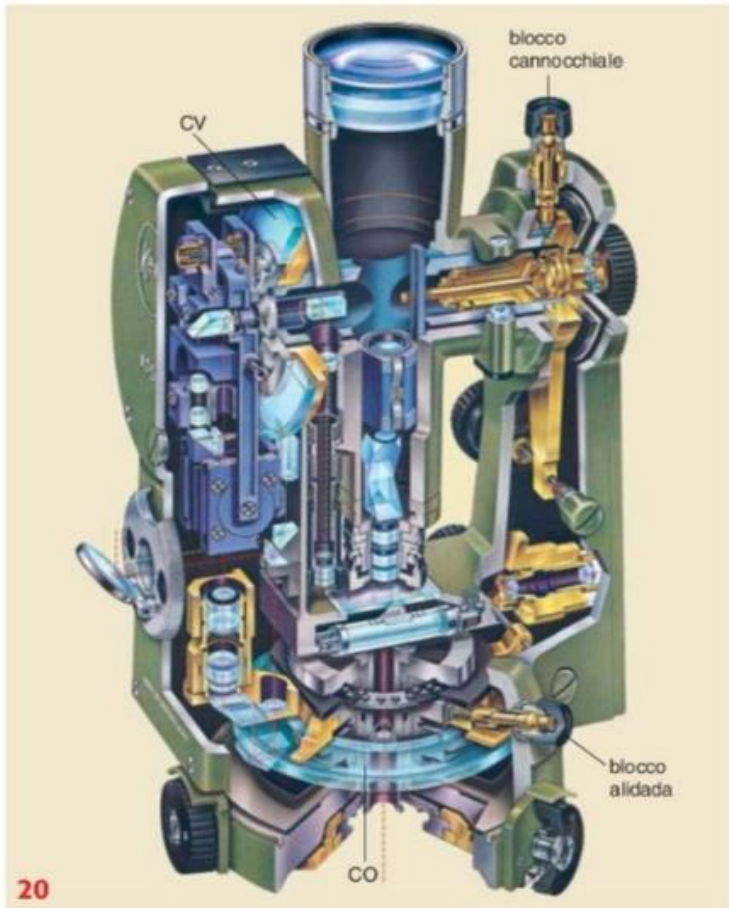


FIGURA 20 Spaccato di un teodolite ottico-meccanico. Il cerchio orizzontale viene letto per trasparenza utilizzando la luce che viene convogliata dall'esterno per mezzo di uno specchio e che segue un particolare percorso guidato da una serie di prismi.

FIGURA 21 Schema di misura dell'angolo azimutale ϑ sul cerchio orizzontale del teodolite.

raggi luminosi. La ►FIGURA 20 mostra il cammino di tali raggi in un teodolite rappresentato in spaccato.

La graduazione del cerchio orizzontale è di solito *centesimale* e procede in senso *orario*. Un **indice di lettura**, solidale all'alidada, consente di leggere l'angolo che la direzione della linea di mira del cannocchiale forma con l'**origine** della graduazione. Come già esposto in precedenza, quando il cannocchiale collima i generici punti *P* e *Q*, si eseguono le due letture alla graduazione del cerchio L_P e L_Q . La differenza di queste letture fornisce il valore dell'angolo azimutale ϑ (►FIGURA 21):

$$\vartheta = L_Q - L_P$$

Durante le **fasi di misura** che portano alle letture della graduazione, cioè durante le fasi di movimento di *alidada* e *cannocchiale* necessarie alle **collimazioni** dei punti, il *cerchio orizzontale* rimane rigorosamente fermo e **solidale al basamento**, mentre l'*indice di lettura* ruota trascinato dall'alidada.

Tuttavia, per alcune operazioni (non in fase di misura) è necessario **cambiare la posizione** del cerchio orizzontale, per *orientarne* l'origine in una direzione desiderata, o per misurare l'angolo in *settori diversi* dello stesso cerchio. Per consentire questo movimento il cerchio orizzontale può essere **ruotato** a piacere dell'operatore con due diverse modalità, in corrispondenza delle quali esso assume due diverse denominazioni: cerchio **reiteratore** (con azione *diretta* sul cerchio) o **ripetitore** (con azione *indiretta* sul cerchio).

- Il cerchio si dice **reiteratore** quando è vincolato al basamento a *frizione* e può subire rotazioni impresse **direttamente** dall'operatore, vincendo l'attrito del

FAQ

► **Che differenza c'è tra il cerchio di un goniometro ripetitore e quello di un reiteratore?**

Il cerchio del goniometro ripetitore può essere agganciato all'alidada e quindi ruotare con essa, quello del goniometro reiteratore può essere fatto ruotare solo manualmente.

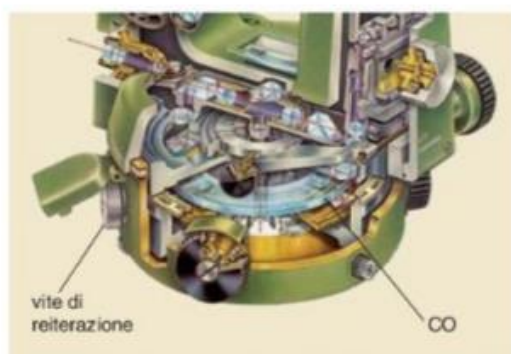


FIGURA 22 Apparato reiteratore di un cerchio orizzontale. Esso consente all'operatore di ruotare direttamente il cerchio tramite una vite esterna protetta da uno sportellino basculante per evitare manovre involontarie.



FIGURA 23 Levetta di ripetizione in primo piano. La sua posizione verticale è quella di esercizio (cerchio fisso al basamento). Rendendo orizzontale la levetta il cerchio viene fissato all'alidada per il suo trascinarsi.

collegamento. Nei teodoliti ottici più recenti la rotazione del cerchio viene ottenuta con un meccanismo di precisione a cremagliera comandato da una vite esterna (► FIGURA 22).

- Il cerchio si dice **ripetitore** quando non è accessibile direttamente, ma è possibile fissarlo sia al basamento sia all'alidada tramite una **levetta** esterna (► FIGURA 23). In questo caso per ruotare il cerchio, prima è necessario fissarlo all'alidada, quindi si *ruota* quest'ultima fino alla posizione desiderata, infine si torna a fissare il cerchio al basamento.

• Cerchio verticale

Il cerchio verticale (CV) è sempre **solidale al cannocchiale** riproducendone le rotazioni (in questo caso, dunque, sono gli *indici di lettura zenitali* a rimanere fermi) e possiede le stesse caratteristiche fisiche già viste per il cerchio orizzontale, anche se talvolta presenta diametro minore.

Il cerchio verticale (in quanto sempre fisso al cannocchiale) non può essere né *ripetitore* né *reiteratore*. La sua graduazione viene letta contestualmente a quella del cerchio orizzontale, in quanto entrambe le immagini si formano nel campo dello stesso **microscopio** composto affiancato al cannocchiale.

■ Livelle

I teodoliti sono dotati di una **livella torica**, sempre solidale all'alidada, e di una **livella sferica**, in genere solidale alla placca superiore basculante del basamento, ma talvolta anch'essa solidale all'alidada.

La **livella sferica** (► FIGURA 24) serve per un primo **approssimativo** orizzontamento della placca superiore del basamento; in questa operazione il suo centramento viene ottenuto modificando la **lunghezza** delle tre gambe estensibili del **treppiede**.

La **livella torica** (► FIGURA 25) ha la funzione di affinare la precedente azione svolta con la livella sferica, dunque quella di rendere orizzontale con maggior precisione la placca superiore del basamento, e con essa il piano contenente il cerchio orizzontale. Il centramento della livella torica si ottiene agendo sulle tre viti calanti del basamento (che modificano l'assetto spaziale del basamento). La procedura si sviluppa in **due fasi** (descritte nella precedente unità C3), in modo da rendere orizzontali due rette, non parallele, dello stesso piano, quindi orizzontale il piano stesso.

FAQ

► Il cerchio verticale è fissato a un montante dell'alidada?

No, è reso solidale al cannocchiale; sono gli indici di lettura zenitali che sono fissati al montante dell'alidada.

FAQ

► Il mirino meccanico del cannocchiale viene utilizzato con le viti dei piccoli movimenti?

No, viene utilizzato nell'ambito dei grandi movimenti impressi a mano con cannocchiale sbloccato.



FIGURA 24 Livella sferica montata sul basamento.



FIGURA 25 Livella torica dell'alidada; alla destra è visibile e accessibile la vite di rettificazione.

■ Sistemi di lettura ottica dei cerchi (lettura analogica)

I cerchi del goniometro vengono osservati per trasparenza dall'operatore mediante *microscopi composti*, corredati di **indici di lettura** e da dispositivi (semplici *reticoli* o più complessi sistemi ottici detti **micrometri**) necessari per valutare le **frazioni di intervallo** di graduazione dei cerchi, che consentono di effettuare la lettura alla graduazione.

Infatti, se l'indice di lettura coincidesse precisamente su una marca della graduazione, la lettura sarebbe immediata e ovvia. In generale, però, l'indice di lettura cade in una posizione interna a un certo **intervallo di graduazione**; si pone allora il problema di stimare il valore della **frazione di intervallo** che intercorre tra la posizione dell'indice e il tratto di graduazione immediatamente precedente, utilizzando i dispositivi prima menzionati.

Come già anticipato, la **graduazione** dei cerchi del teodolite è costituita da n intervalli (parti) che vengono riprodotte per fotoincisione sul bordo esterno dei cerchi di cristallo, e il cui numero dipende dal tipo di graduazione adottata. Nei cerchi dei teodoliti ottici, in generale gli intervalli corrispondono a un **grado centesimale** (1 gon), dunque la graduazione contiene $n = 400$ intervalli.

Per ottenere letture con precisioni inferiori al valore nominale dell'intervallo di graduazione (1 gon), fino al secondo (1/10 000 gon), vengono utilizzati dei dispositivi che, come detto in precedenza, hanno il compito di valutare le **frazioni delle unità** di graduazioni dei cerchi.

Negli strumenti antichi tale dispositivo era costituito dal **nonio** (o *verniero*), costituito da una piccola *scala*, concentrica alla graduazione, osservata con un *microscopio semplice*.

Nell'evoluzione dei teodoliti ottici tali dispositivi potevano essere costituiti, in relazione alle **precisioni** con cui deve essere eseguita la lettura alla graduazione dei cerchi, semplicemente da particolari **reticoli** posti in prossimità dell'oculare del *microscopio composto* col quale viene osservata la parte di graduazione interessata alla lettura, oppure da sistemi *ottico-meccanici*, ben più complessi, basati sulle proprietà delle **lamine** a facce piane e parallele, denominati **micrometri**. In generale sono stati usati dispositivi di quattro tipi: a *stima*; a *scala*; micrometri a *vite micrometrica*; micrometri a *coincidenza di immagini*.

• Dispositivi a stima

Il reticolo del microscopio è costituito essenzialmente da una linea, che costituisce l'**indice di lettura** (► FIGURA 26), e la porzione di intervallo di graduazione viene *stimata* dall'operatore aiutato solo dal fatto che la visione è ingrandita dal microscopio. La modesta precisione della lettura limitava e limita l'impiego di tale dispositivo solo a goniometri di scarsa importanza.

FAQ

► **In che modo viene effettuata la lettura ai cerchi in un teodolite ottico?**

Utilizzando un microscopio composto, che ingrandisce una piccola parte di graduazione, e dal suo reticolo costituito da un indice di lettura e da una serie di incisioni che consentono la misura delle frazioni di intervallo di graduazioni del cerchio.

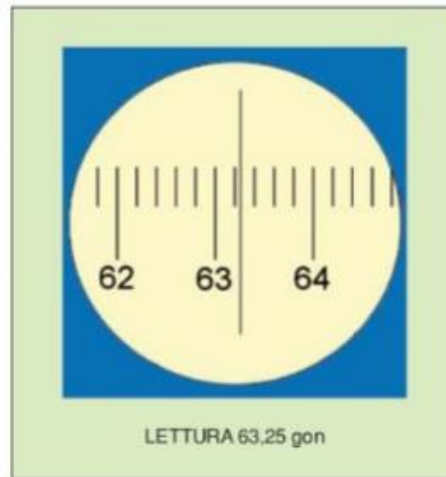


FIGURA 26 Campo del microscopio a stima.

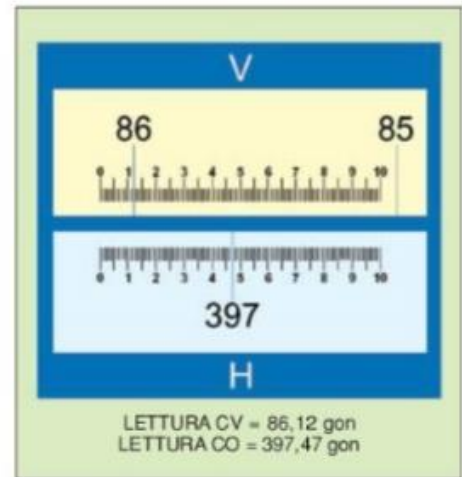


FIGURA 27 Campo del microscopio a scala.

• Dispositivi a scala

In questo caso il reticolo del microscopio è costituito da una scala incisa finemente su un vetrino posto davanti all'oculare, che poi verrà ingrandita dallo stesso oculare. Essa è lunga quanto l'immagine di un intervallo di graduazione fornita dall'obiettivo, ed è divisa in n parti (nel caso di graduazione centesimale $n = 100$).

La graduazione della scala procede in *senso inverso* alla graduazione del cerchio, e l'approssimazione a del reticolo a scala (cioè la sua precisione) è data dalla relazione:

$$a = \frac{i}{n} \quad (3)$$

dove i è il valore del più piccolo intervallo della graduazione e n è il numero di parti in cui è suddivisa la scala. Generalmente la graduazione del cerchio è in gradi centesimali (1 gon) e la scala è divisa in 100 parti, per cui l'approssimazione è di $a = 0^{\circ},01$ (1 primo centesimale = 1/100 gon).

Nello stesso campo del microscopio compaiono, di norma, sia l'immagine del **cerchio orizzontale** sia quella del **cerchio verticale**, che pertanto possono essere letti contemporaneamente e indipendentemente (► FIGURA 27).

• Micrometro a vite micrometrica

È costituito da un **indice di lettura** formato da due fili paralleli molto vicini e da un **settore graduato** sul quale appare l'immagine di una piccola porzione di graduazione (► FIGURA 28). Un **tamburo**, posto all'esterno del teodolite, comanda, con la sua rotazione, una **lamina a facce piane** e parallele che fa spostare l'immagine del cerchio rispetto all'indice e contemporaneamente fa ruotare il settore graduato.

Per eseguire la lettura al cerchio, si ruota il tamburo esterno finché la **marca** della graduazione più vicina all'indice si dispone tra i due fili; fatto questo, si legge al settore la frazione di intervallo.

Con questo dispositivo la lettura al **cerchio orizzontale non può** essere contestuale a quella del **cerchio verticale**, in quanto le due letture richiedono due diverse manovre sul tamburo esterno.

• Micrometro a coincidenza di immagini

Si tratta di un complesso sistema ottico-meccanico (► FIGURA 29), basato sulla presenza di una coppia di **lamine a facce piane e parallele** fatte ruotare della stessa quantità ma in senso opposto, che intercettano i raggi luminosi provenienti da parti **diametralmente opposte** del cerchio, e che opportunamente collegate con settori circolari graduati sono in grado di consentire letture con ottime precisioni. Il suo impiego era riservato ai teodoliti ottici di **grande precisione**.

FAQ

► Perché il micrometro a vite micrometrica è più preciso di quello a scala?

Perché il settore del micrometro è più lungo della scala e quindi viene diviso in un maggior numero di parti in modo da consentire la lettura di frazioni angolari più piccole.



FIGURA 28 Campo del microscopio a vite micrometrica configurato per la lettura al CO.

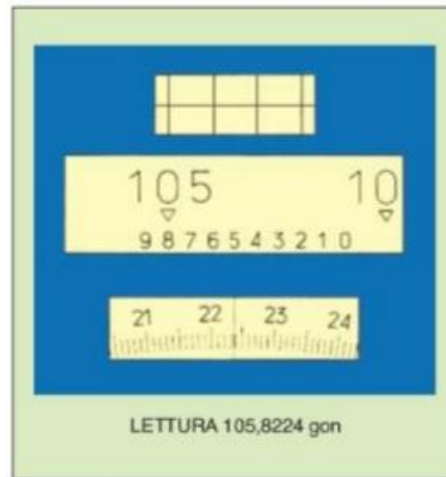


FIGURA 29 Campo del microscopio a coincidenza. La finestrella superiore testimonia la realizzata coincidenza delle immagini diametralmente opposte della graduazione del CO.

Questo dispositivo, di cui omettiamo l'esame del funzionamento, aveva il grande pregio di fornire, in una **sola lettura**, la **media analogica** di due letture eseguite agli **indici opposti** della graduazione del cerchio.

■ Gli assi di un teodolite

Sia nel teodolite *ottico*, sia in quello *elettronico*, possono essere riconoscibili tre **assi fondamentali** che ne regolano il funzionamento (► FIGURA 30):

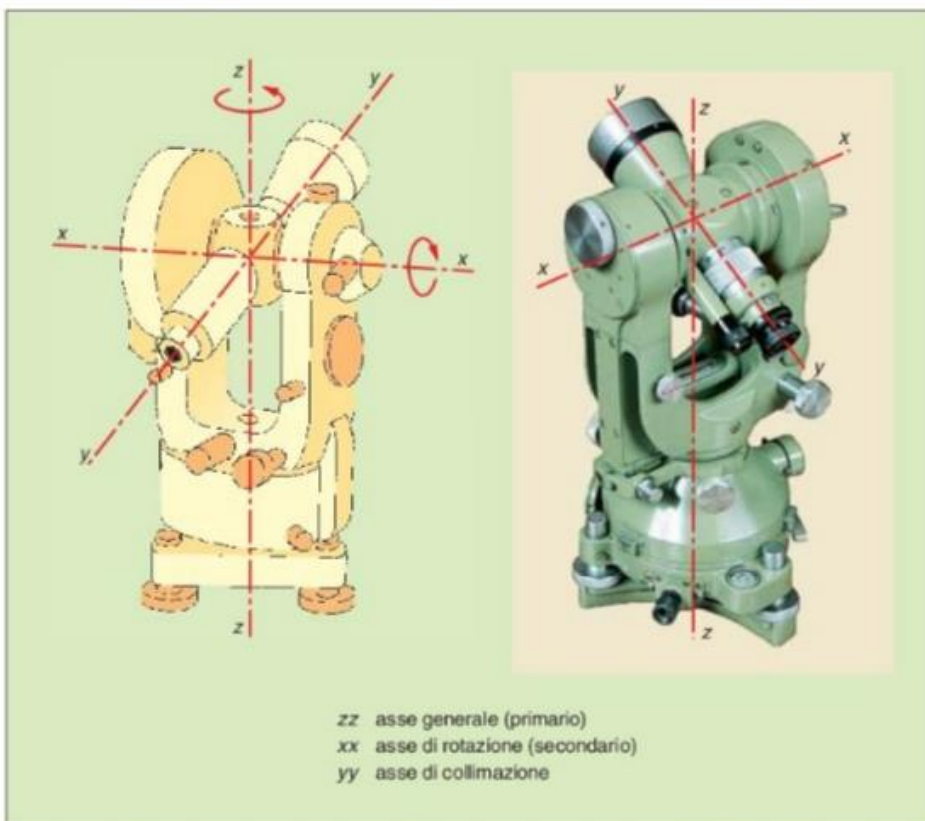


FIGURA 30 Gli assi di un teodolite ottico (ma anche elettronico); essi sono strettamente connessi alle parti, e ai relativi movimenti, dello stesso teodolite.