

I LIVELLI MODERNI

Guido Golinelli

Con la livellazione geometrica, cioè con l'asse di collimazione orizzontale, il dislivello si determina come differenza fra l'altezza del livello e la lettura sulla stadia, nel caso della livellazione da un estremo, ovvero come differenza tra le letture sulla stadia indietro e sulla stadia avanti, nel caso della livellazione longitudinale dal mezzo. Per ottenere una buona approssimazione il livello deve possedere una buona sensibilità di orizzontamento dell'asse di collimazione e consentire una lettura precisa sulla stadia.

La precisione dell'orizzontamento dell'asse di collimazione dipende e dalla sensibilità della livella e dal modo con cui si effettua il centramento, il che si può ottenere o per lettura agli estremi della bolla o per coincidenza di immagini.

La precisione delle letture sulla stadia dipende a sua volta dalla distanza di collimazione e dalla bontà del cannocchiale, cioè dal suo ingrandimento, dalla luminosità e in definitiva dalla precisione di puntamento dell'obbiettivo (caratteristica questa dipendente dall'apertura dell'obbiettivo, cioè dal suo diametro libero).

Considerazioni sui livelli moderni.

Da alcuni decenni, dopo le innovazioni introdotte dallo svizzero Wild, si è imposto il livello « moderno » in cui non è più necessario che l'asse principale di rotazione sia reso verticale ma si richiede soltanto che sia bene centrata la livella torica un istante prima di leggere sulla stadia. Caratteristiche comuni a tutti i livelli moderni sono:

1) il cannocchiale a lunghezza costante, con lente interna mobile per il focamento;

2) la scatola della livella torica è resa solidale col corpo del cannocchiale (spesso la scatola e il corpo del cannocchiale sono fusi in un unico blocco);

3) una piccola livella sferica, con sensibilità di 4' - 7' per mm. fissa alla traversa o alla base, serve per rendere approssimativamente verticale l'asse di rotazione del cannocchiale;

4) la struttura compatta e robusta dello strumento, acciocché le rettifiche si conservino a lungo, nonostante le scosse che il livello è destinato a ricevere per il cambio frequente di stazione;

5) gli accorgimenti per proteggere la fiala da variazioni brusche di temperatura, racchiudendola in una scatola metallica;

6) la possibilità, da parte dell'operatore, di centrare la livella senza doversi spostare.

Nei livelli di media precisione si notano inoltre:

7) la vite di elevazione che, imprimendo piccole inclinazioni al cannocchiale, permette di centrare la bolla;

8) il centramento della bolla per coincidenza, facendo cioè coincidere le due semi-immagini degli estremi della bolla che viene osservata attraverso uno speciale veicolo ottico (scatola dei prismi);

9) spesso il suddetto veicolo ottico comprende una lente che consente un apprezzamento più preciso della coincidenza.

Nei livelli di alta precisione si nota altresì:

10) La bolla si osserva nel campo stesso del cannocchiale, il che permette di leggere sulla stadia subito dopo avere centrato la bolla e inoltre di controllare che questa si conservi centrata nel corso della lettura sulla stadia;

11) il micrometro ottico, costituito da una lamina di vetro ottico, a facce piane parallele, la quale, ruotando intorno a un asse orizzontale e nor-

male all'asse di collimazione, consente di *puntare* sulla stadia, mentre la frazione di unità della stadia viene letta sul tamburo graduato che comanda la rotazione della lamina.

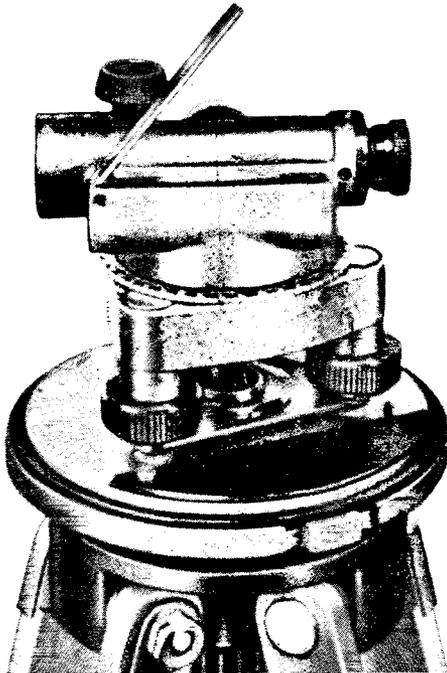
Da alcuni anni, con procedimenti speciali, le superfici ottiche della lente obbiettiva, della lente interna mobile e dell'oculare vengono *trattate* o *azzurate*, cioè su di esse viene steso un sottilissimo strato antiriflettente, che eliminando le riflessioni parassite aumenta la luminosità del cannocchiale.

I livelli vengono impiegati per scopi diversi, per i quali sono richieste delle precisioni modeste ovvero elevate: (livellazioni di cantiere, nel rilievo di piani quotati, celerimensura), in livellazioni longitudinali per lavori stradali, ferroviarie e costruzioni idrauliche, nella livellazione di caposaldi fondamentali e di dettaglio.

Per soddisfare alle diverse esigenze di precisione, di rendimento e di costo, le ditte costruttrici offrono tutta una gamma di livelli, dal meno preciso al più preciso. Molte ditte hanno orientato la produzione su quattro tipi di livelli, di cui riportiamo qui di seguito le caratteristiche, nell'intento di agevolare il geometra nella scelta del livello più conveniente in relazione al lavoro che deve compiere.

Livelli di 1° grado

Sono spesso chiamati livelli da cantiere, in considerazione del loro più importante campo d'impiego, epperò sono convenientemente impiegati in molte altre livellazioni in cui sia sufficiente una precisione modesta.



Livella cilindrica
Fissa sul cannocchiale
sensibilità 30"/2 mm

LIVELLO DA CANTIERE (Ditta Salmoiraghi)

Piccolo livello da cantiere con cerchio azimutale orientabile, particolarmente adatto per le livellazioni raggianti.

E' di costruzione particolarmente robusta e compatta e conserva a lungo lo stato di rettifica.

L'errore medio chilometrico è di ± 5 mm.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Cannocchiale analattico

ad immagine rovesciata

(diritta a richiesta)

Strato antiriflettente su

tutte le superfici ottiche

Ingrandimento

22 x

Apertura utile dell'obiettivo

27 mm

Rapporto diastimometrico

1 : 100

Costante additiva

zero

minima distanza di

focamento

1 m

Campo visivo a 1 km

25 m

Cerchio azimutale metallico

Diametro

75 mm

Graduazione

400^g

Intervallo della graduazione:

o 360°

centesimale

^g

sessagesimale

1°

Letture a stima

0,1^g o 0,1°

In questi livelli più che la precisione ha importanza preminente il rendimento, cioè il maneggio rapido e semplice, la robustezza e il basso costo. Il cannocchiale ha un ingrandimento compreso tra 15 x e 25 x; la livella ha una sensibilità compresa tra 15" e 20" per millimetro. Il centramento della livella si effettua leggendo agli estremi della bolla, agendo sulle tre viti di base. L'operatore accorto può servirsi di una vite di base, quella che si trova meglio disposta in direzione della livella, come vite di elevazione. Però qualche livello di questa categoria ha anche la vite di elevazione: allora la livella si osserva su uno specchio inclinato a 45°.

La precisione con cui si centra la livella è di $\pm 2'' \div 5''$.

L'apertura dell'obbiettivo, cioè il diametro libero, è compreso tra 25 mm. e 30 mm. Con questi livelli la distanza di collimazione normale è di 30 ÷ 35 m.

Generalmente questi livelli sono muniti di cerchio orizzontale per la misura degli angoli, con una approssimazione variabile da 2' a 10'. La misura semplice di un dislivello si effettua con un errore medio di 2 ÷ 4 millimetri e la misura composta con un errore medio chilometrico di $\pm 6 \div 15$ millimetri.

Il costo di questi livelli varia da L. 100.000 a L. 140.000.

Livelli di 2° grado

Servono per livellazioni tecniche, cioè per determinare i dislivelli con un errore medio di $\pm 1,3$ mm. nella misura semplice e con un errore medio chilometrico di $\pm 3 \div 5$ mm. nella misura composta.

Il cannocchiale ha un ingrandimento compreso tra 25 x e 30 x con un obbiettivo di apertura 30 ÷ 40 mm. La livella deve avere una sensibilità compresa tra i 10" e 15" per millimetro e viene centrata sempre per coincidenza agendo sulla vite di elevazione: la precisione di centramento si aggira intorno a

$\frac{1}{15} \div \frac{1}{20}$ della sensibilità, cioè intorno a 0,7" - 1".

Alcuni esemplari hanno la livella a doppia curvatura e il cannocchiale reversibile, il che facilita la rettifica del livello e inoltre consente di ottenere una lettura corrispondente alla visuale orizzontale dalla media di due letture sulla stadia; senonché la reversibilità riduce la compattezza dello strumento ed è essa stessa fonte di srettifiche per cui questi tipi di livelli non sono molto diffusi. I livelli di 2° grado sono muniti generalmente di cerchio orizzontale (approssimazione di lettura 1' ÷ 2') ed allora possono essere impiegati vantaggiosamente, in terreni poco accidentati, per il rilievo celerimetrico. Il loro costo varia da L. 140.000 a L. 240.000.

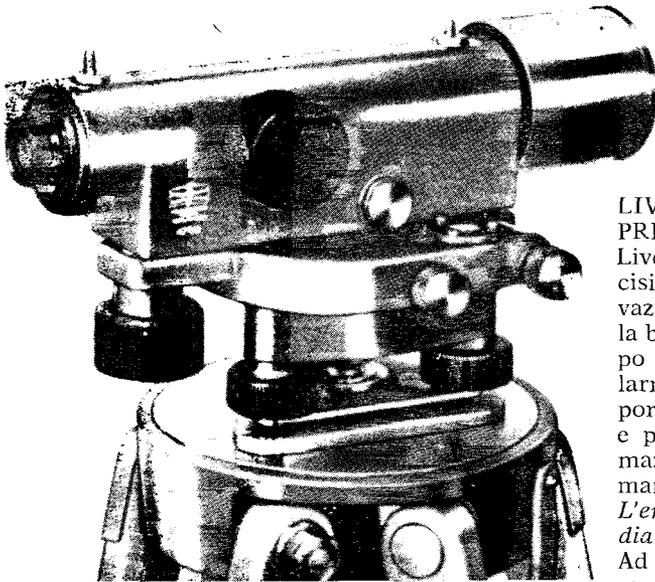
Livelli di 3° grado

Servono per livellazioni di precisione, cioè per determinare i dislivelli con un errore medio di $\pm 0,8$ mm. in una misura semplice e con un errore medio chilometrico di $\pm 1,5 \div 2,5$ millimetri nella misura composta.

Il cannocchiale ha un ingrandimento compreso fra 35 x e 42 x con un obbiettivo di apertura 40 ÷ 50 millimetri. La livella ha una sensibilità di 5" ÷ 10" per millimetro e viene centrata per coincidenza, osservandola spesso con una lente di 2 x, con una approssimazione di centramento di $\pm 0",4 \div 0",6$.

In alcuni di questi livelli si può applicare il *micrometro ottico* che consente il puntamento sulla stadia e la stima, sul tamburo, del decimo di millimetro.

Le stadiæ per livellazione sono in generale a doppia graduazione, in legno oppure, specie quando si usi il micrometro ottico, in invar. Il costo di questi livelli si aggira da L. 230.000 a L. 300.000.



LIVELLO DI ALTA PRECISIONE

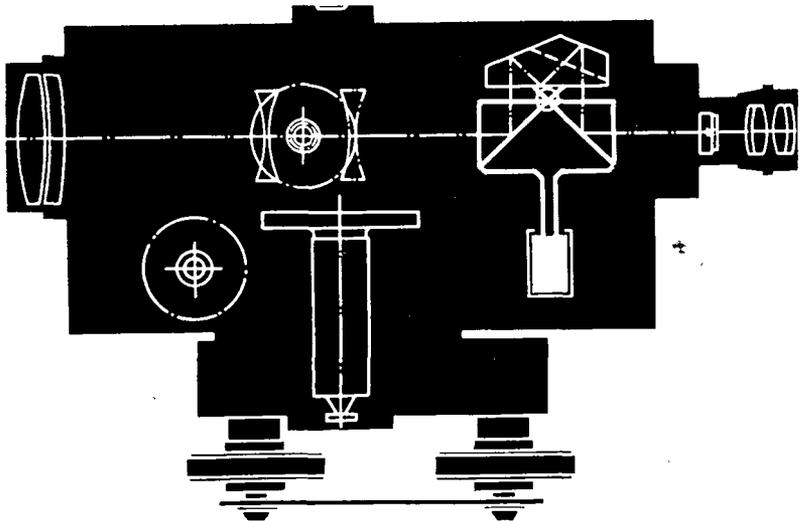
Livello moderno di alta precisione, dotato di vite di elevazione, con osservazione della bolla a coincidenza nel campo del cannocchiale. Particolarmente adatto nei più importanti lavori di ingegneria e per i controlli delle deformazioni e cedimenti di grandi manufatti.

L'errore chilometrico con stadia normale è di $\pm 1,3$ mm.

Ad esso può essere, a richiesta, applicato il micrometro a lamina piano-parallela 5183: in tal caso è necessario l'uso delle stadie Invar di precisione e l'errore medio chilometrico si riduce a $\pm 0,25$ mm.

Livelli di 4° grado

Sono questi livelli più precisi, di una delicatezza estrema, che richiedono un personale particolarmente addestrato. Essi vengono impiegati per la livella-



Livello a orizzontamento automatico
(Ditta Ottica di Jena)

zione di reti altimetriche principali, cioè per determinare le quote dei capisaldi fondamentali ai quali dovranno appoggiarsi altre livellazioni di precisione inferiore; essi vengono altresì impiegati per la misura di piccoli cedimenti nel collaudo di costruzioni importanti (ponti, grattacieli, dighe, etc.), nel montaggio di grosse macchine, nei casi insomma in cui occorra l'approssimazione di 0,1 mm. Infatti con questi livelli l'errore medio nella misura semplice di un dislivello è di $\pm 0,1$ mm. e l'errore medio chilometrico nella misura composta è di $\pm 0,2 \div 0,5$ mm.

Il cannocchiale ha l'ingrandimento compreso tra 42 x e 50 x, con un obbiettivo di apertura 50÷60 mm.

La livella ha una sensibilità di circa 5" per millimetro che consente una precisione di centramento di $\pm 0",2 \div 0",3$.

Generalmente la livella si vede nel campo stesso del cannocchiale. Le letture sul tamburo del micrometro ottico si effettuano stimando: 0,01÷0,02 mm.

Il costo di questi livelli supera generalmente L. 350.000.

Livellazione geometrica con i livelli di 1° grado

L'asse di collimazione è reso orizzontale alle seguenti condizioni:

1) La tangente centrale della livella deve essere parallela all'asse di collimazione;

2) La livella deve essere centrata.

La verifica della condizione 1, che si effettua come col livello « inglese » facendo prima una stazione dal mezzo e quindi una stazione prossima ad un estremo, va ripetuta a intervalli di tempo (diversi giorni) e anche dopo un incidente qualsiasi che si sia verificato nel corso delle operazioni.

Poiché lo strumento appena estratto dalla custodia ha, in generale, una temperatura diversa da quella dell'aria ambiente, occorre attendere alcuni minuti prima di iniziare le misure e la rettifica, in quanto che le variazioni di temperatura producono errori di indicazione della bolla.

Per una livellazione in cantiere o dovendo eseguire livellazioni di dettaglio si procede nel modo seguente: si fa stazione in un punto S, prossimo ai punti da battere, A, B, C, ... si manda la stadia sul punto C.S. di cui si conosce la quota o al quale, comunque, ci si deve riferire e quindi sui punti A, B, C, ... successivamente. Le letture sulla stadia si registrano sul libretto di campagna in tabelle, come la seguente, in cui sono indicate anche le quote calcolate (ultima colonna).

punti battuti	lettura indietro (n)	letture avanti (m)	dislivelli (m)	quote	osservazioni
C.S.	1.307			125,808	quota segnalata dall'Uff. Tecnico del Comune
A		1,419	-0,112	125,696	
B		1,273	+0,034	125,842	
C		1,296	+0,011	125,819	
...		

Per la registrazione è bene adoperare matite dure e bene appuntite, scrivendo i numeri con la massima chiarezza.

Per una buona condotta dei lavori valgono inoltre le seguenti avvertenze:

1) Prima di iniziare le rettifiche e la livellazione il geometra deve curare l'esatta messa a fuoco, acciocché non abbia ad accusare poi un errore di parallasse nel corso della livellazione.

2) Occorre fare attenzione nel muoversi attorno al treppiede, nel corso delle misure, per non modificare la pressione sul terreno e tanto meno toccare le gambe del treppiede con la falda del soprabito.

3) Per ottenere una buona stabilità del livello occorre premere sui puntali del treppiede, non verticalmente ma in direzione della gamba inclinata.

4) E' bene proteggere lo strumento ed in particolare la livella dai raggi solari.

5) Prima di eseguire la lettura della stadia pretendere che il portastadia dia il segnale che conferma che la stadia è a posto e la livella sferica centrata.

Dovendo eseguire una livellazione composta, detta anche livellazione longitudinale, si pone sempre lo strumento nel mezzo cioè a eguale distanza fra le due stadia. Pertanto in questa livellazione è conveniente, sia per la precisione che per la celerità delle operazioni, disporre di due portastadie.

In ogni stazione si effettua una lettura sulla stadia indietro e una sulla stadia avanti. Le letture vengono registrate in tabelle predisposte in precedenza, come la seguente.

punti battuti	letture indietro L_i	letture avanti L_a	differenza $\Delta = L_i - L_a$
A	0,975	1,114	-0,139
	1,307	1,411	-0,104
	1,512	1,326	+0,186
	1,174	1,095	+0,079
	2,613	0,703	+1,910
B	1,709	1,022	+0,687

$$\sum L_i = 9,290 \quad \sum L_a = 6,671 \quad \sum \Delta = 2,619$$

$$\sum L_a = 6,671$$

$$\sum L_i - \sum L_a = +2,619$$

L'esempio riportato si riferisce alla livellazione fra due caposaldi A e B distanti fra loro circa 500 metri: per la livellazione si è scomposta la linea in 6 tratti di lunghezza pressoché uguali, in modo che la distanza di collimazione risultava intorno a 40÷45 metri. Il dislivello tra i due capisaldi, risultante dalla somma dei dislivelli parziali, è di +2,619 m. Il controllo dei calcoli consiste nel verificare che questo dislivello è anche dato dalla differenza fra la somma delle letture indietro meno la somma delle letture avanti.

Il giovane geometra tenga presente le ulteriori avvertenze seguenti:

6) All'inizio delle operazioni occorre spiegare ai portastadie, che si assumono generalmente nel luogo in cui si svolgono le operazioni, il loro compito, che è quello di tenere la stadia verticale (bolla sferica in centro), ferma e con la faccia rivolta allo strumento (piano della stadia normale al piano di collimazione); si ricordi che la buona riuscita dell'operazione di livellazione dipende anche dal loro comportamento coscienzioso.

7) Le stadia si possono tenere ben ferme solo usando due puntelli o bastoni, per controventare la stadia .

8) Appoggiare le stadia intermedie su qualcosa di solido e liscio, magari su un mezzo mattone, onde evitare l'affondamento della stadia.

9) Il portastadia avanti, che sarà pertanto portastadia indietro per la stazione successiva, nel ruotare la stadia dovrà evitare di spostarla.

10) La portata, ossia la distanza di collimazione, non deve essere troppo lunga: è bene che si aggiri su $30 \div 40$ m.

11) Se il livello non ha la vite di elevazione si può usare una vite di base, per centrare la livella prima di leggere alla stadia (naturalmente sarà quella vite di base che più si avvicina al piano di collimazione).

12) Nel trasporto dello strumento, da una stazione alla successiva, evitare che questo abbia a subire degli urti.

13) In normali condizioni di lavoro, la livellazione procede con una velocità di 2Km. al giorno .

Livellazione geometrica con livelli di 2° e 3° grado

La livellazione geometrica, concettualmente semplice, non cambia con questi strumenti ,solo che aumentando la sensibilità dello strumento e pretendendo una più elevata precisione non sono più trascurabili molte cause d'errore dipendenti in parte dal livello, in parte dall'operatore e dai portastadie e in parte dallo stato del suolo e dell'atmosfera, eppertanto crescono le attenzioni, cosicché l'abilità del topografo ha una importanza decisiva.

La squadra di livellazione deve essere composta di 4 persone: l'operatore, due portastadie e lo scrivano.

Le letture alla stadia sono sempre precedute da un accurato centramento della bolla (per coincidenza) a mezzo della vite di elevazione. Spesso si eseguono due letture sulla stadia indietro e due letture sulla stadia avanti, nel seguente ordine: prima lettura indietro (S_i), prima lettura avanti (S_a), seconda lettura avanti (D_a), seconda lettura indietro (D_i).

Se si impiegano le stadia in invar, che portano due graduazioni, è possibile effettuare il controllo, in quanto tra le due graduazioni v'è uno scarto costante (costante della stadia) noto.

Se si impiega un livello di 3° grado munito di micrometro ottico, occorre ruotare il tamburo, per effettuare il puntamento, senza esercitare pressioni, controllando che la bolla si mantenga centrata.

Esempio di livellazione con livello di 3° grado, munito di micrometro ottico e con l'impiego di due stadia in invar.

Punti battuti	letture indietro		letture avanti		Controlli $D_i - S_i$ $D_a - S_a$	Dislivelli calcolati $S_i - S_a$ $D_i - S_a$	Dislivelli medi Δ
	S_i (1)	D_i (4)	S_a (2)	D_a (3)			
1	230,22	822,74	280,97	873,43	592,52 592,46	-50,75 -50,69	-50,720
	147,62	740,16	126,72	719,20	592,54	+20,90 +20,96	
2	304,18	896,64	283,47	875,94	592,46	+20,71 +20,70	+20,705

$$\epsilon\Delta = -9,085$$

Le stadiie impiegate erano graduate al mezzo centimetro cosicch  i dislivelli indicati nell'ultima colonna e il dislivello totale — 9,085 sono espressi in mezzi centimetri: dividendo per due si ha il dislivello in centimetri: — 4,542 pari a — 45,42 millimetri.

La costante delle stadiie era: 592,50 e pertanto i controlli, *effettuati subito dopo la registrazione delle letture*, ci confermano della bont  delle letture stesse.

Altre avvertenze che dovr  tenere presente il topografo per un coscienzioso lavoro sono le seguenti:

14) Le livelle sferiche debbono essere controllate una volta tanto e per questo si fa uso di un lungo filo a piombo (2 metri almeno), mettendosi in un luogo chiuso e comunque riparato dal vento.

15) Per evitare l'errore proprio delle stadiie conviene eseguire un numero *pari* di stazioni, in modo cio  che la stadia indietro della prima stazione sia anche la stadia avanti dell'ultima stazione.

16) Il centramento della bolla deve essere effettuato molto lentamente, specie il tocco finale, e occorre attendere, prima di leggere, che la bolla sia ferma.

17) Nel passare alla collimazione sulla stadia avanti si deve ruotare lo strumento con delicatezza.

18) La vite di elevazione va manovrata senza esercitare pressioni.

19) Lo strumento deve essere posto a uguale distanza fra le due stazioni con una approssimazione tanto maggiore quanto pi  le battute sono corte e l'ingrandimento del cannocchiale   grande, dovendo assolutamente evitare, in una stazione, di dover cambiare la messa a fuoco.

Livellazione geometrica con livelli di 4° grado

Con strumenti pi  precisi e delicati aumentano le attenzioni dell'operatore: conseguentemente il rendimento della livellazione scende a 1 km. al giorno circa.

La squadra di livellazione   generalmente composta di 5 persone, in quanto vi si aggiunge l'uomo che porta l'ombrello per proteggere lo strumento dai raggi solari, sia quando esso   in stazione come quando viene trasportato.

Poich  si usano stadiie in invar con doppia graduazione, i dislivelli vengono determinati due volte, cio  con riferimento alla tabella precedente, come differenza $S_i - S_a$ e $D_i - D_a$.

Le linee di livellazione si dividono in tronchi di 700 - 1000 m. e si esegue la livellazione di ciascun tronco in andata e in ritorno, seguendo il criterio di effettuare la livellazione in ritorno nel pomeriggio per quei tronchi che siano stati livellati in andata al mattino e viceversa.

Le discordanze tra i risultati ottenuti in andata e in ritorno devono essere inferiori alla *tolleranza*, di cui si riportano nella tabella accanto, alcuni valori espressi in millimetri, in funzione della lunghezza l del tronco in chilometri; relativi alle livellazioni di alta precisione.

l	tolleranza
0,5 km.	1,77 mm.
1,0 »	2,50 »
1,5 »	3,06 »
2,0 »	3,54 »

Le tolleranze sono state calcolate con la formula internazionale $\pm 2,5 \sqrt{l}$ km.

La battuta, cio  la distanza di collimazione, si tiene di 40 ÷ 50 m. in condizioni normali di visibilit  e di rifrazione: si pu  aumentare sino a 55 ÷ 60 m. in buone condizioni (al mattino prima che sorga il sole e alla sera poco prima del tramonto), mentre si dovr  ridurre in condizioni atmosferiche sfavorevoli (tremolio dell'aria), che si verificano subito dopo che   sorto il sole.

Alle avvertenze riportate in precedenza si aggiungono le seguenti.

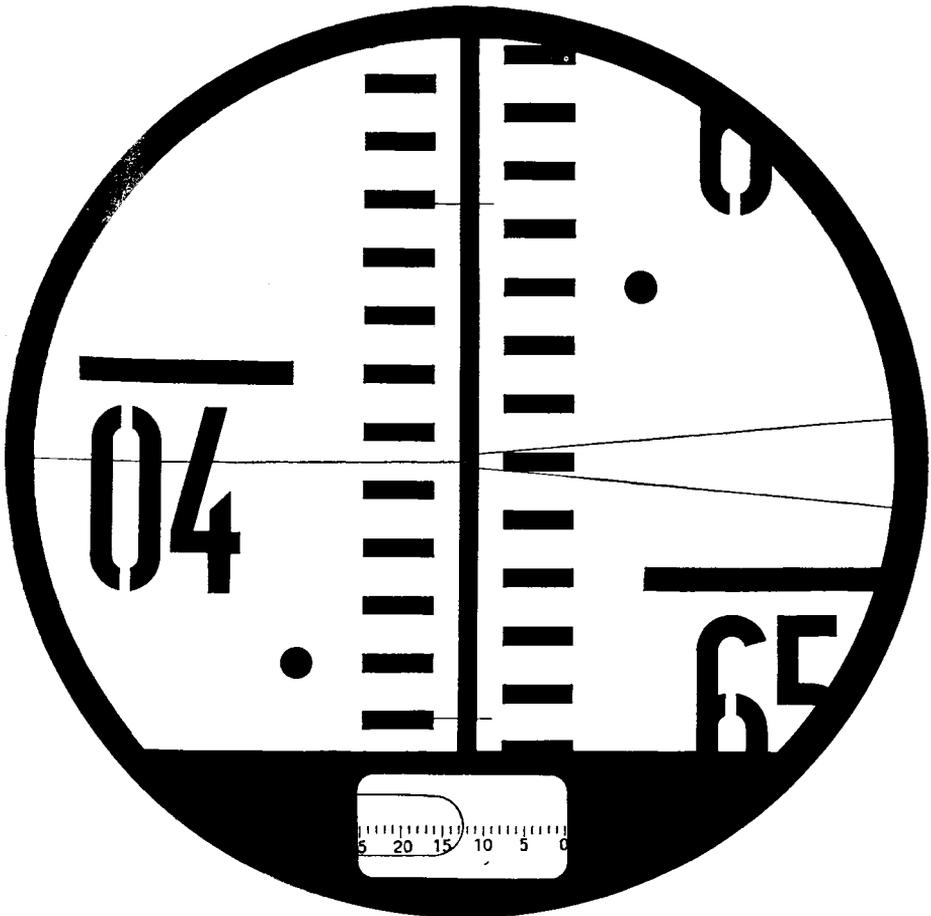
20) E' bene evitare di leggere ai primi decimetri della stadia, il che po-

trebbe capitare livellando su terreno con pendenza sensibile; occorre in tale caso ridurre la distanza di collimazione in modo da leggere sulla stadia a 50 cm. almeno dal piede della stessa, e ciò per diminuire gli errori provenienti dalla influenza della rifrazione sulle due letture indietro e avanti.

21) Agire sulla vite d'elevazione con delicatezza, terminare il centramento della bolla *lentamente* e subito dopo effettuare il puntamento sulla stadia, controllando che nel frattempo la bolla rimanga centrata, poiché la livella non si mantiene mai centrata a lungo: bastano piccole variazioni termiche, la spinta del venticello, piccole deformazioni del treppiede, variazioni di pressione sul terreno dovuta all'operatore che si sposta, perché la bolla, sensibilissima, si scenti.

22) Per una buona riuscita dell'operazione si richiede da parte del topografo non solo abilità, ma anche una buona dose di pazienza e di calma.

23) Tenere presente che è difficile ottenere una buona stabilità dello strumento e dello zoccolo, su cui appoggia la stadia, su strada asfaltata d'estate, a causa della plasticità della pavimentazione. Lo stesso inconveniente si accusa sul terreno gelato d'inverno. Può eliminarsi l'inconveniente suddetto aumentando la superficie d'appoggio, ad esempio interponendo dei mattoni fra le punte delle



Centramento della stadia, col micrometro ottico.

gambe e il terreno.

24) In giornate di sole le operazioni si sospendono verso le ore 10 e si riprendono dopo le 16. Le giornate più favorevoli sono quelle con cielo coperto, in cui non si hanno grandi variazioni di temperatura, senza vento.

Applicazioni

A titolo d'esempio, si riferisce succintamente a due livellazioni geometriche effettuate per scopi diversi.

Esempio di una buona livellazione tecnica.

L'oggetto della livellazione era quello di stabilire le quote *assolute* di alcuni capisaldi, compresi tra l'Ospedale « S. Maria delle Stelle » ed il ponte sul Torrente Molgora (Comune di Melzo), per una lunghezza di linea di circa 3 km.

I capisaldi erano richiesti per la progettazione e quindi la esecuzione di alcune opere di fognatura e per lavori stradali.

D'accordo con l'Ufficio Tecnico del Comune, i capisaldi, tutti del tipo orizzontale, furono distribuiti a una distanza media di 250 m., in numero di 14.

I capisaldi n. 2 - 3 - 4 - 5 - 8 - 9 - 12 erano costituiti da bulloni in ferro, a testa esagonale piana, i cui gambi vennero immorsati in pilastri in calcestruzzo affondati nel terreno. I capisaldi 1 - 6 - 7 - 10 - 11 - 13 - 14 vennero segnalati invece su pietre esistenti, scelte tra quelle che avevano carattere di maggiore stabilità. Per le misure si usò un livello moderno con vite d'elevazione e centramento della bolla per coincidenza, avente le seguenti caratteristiche: apertura dell'obbiettivo 40 mm., ingrandimento del cannocchiale 30 x, sensibilità della livella torica 10" per mm.

Le stadie impiegate erano a doppia graduazione in cm., munite di livella sferica e puntale metallico, da appoggiare su zoccoli metallici. Le misure consistettero nell'eseguire la livellazione geometrica dal mezzo, in andata e in ritorno, dei 13 tronchi in cui era stata suddivisa la linea. Nella tabella accanto sono riportati i dislivelli ottenuti per ciascun tronco, in andata e in ritorno. L'errore medio del dislivello totale, tra il caposaldo 1 e il caposaldo 14, calcolato con la formula

$$\pm \frac{1}{2} \sqrt{\sum d^2}, \text{ in cui per } d \text{ si intendono le differenze dei dislivelli (andata meno}$$

$$\text{ritorno)}, \text{ risulta uguale a } \pm \frac{1}{2} \sqrt{36,73} = \pm 3 \text{ mm.}; \text{ risultato soddisfacente, se si}$$

tiene conto che la lunghezza della linea livellata è di 3 km.

Per avere le quote assolute dei capisaldi si è collegato il caposaldo n. 3 con il caposaldo della livellazione geometrica fondamentale dell'I.G.M. più vicino, cioè col caposaldo verticale n. 17 della linea di livellazione n. 160. Gavazzo - Gorgonzola. Detto caposaldo verticale si trova su una parete della Torre di S. Ambrogio, in Piazza Vittorio Emanuele II, e la sua quota è di 119,4912 m. s.l.m. come risulta da « Elementi della livellazione geometrica ausiliaria » fascicolo IV - Firenze, anno 1925.

Il dislivello tra il caposaldo verticale 17 e il caposaldo orizzontale n. 3 risulta uguale a $- 3,5769$ m. eppertanto ne consegue che la quota di quest'ultimo è uguale a: $119,4912 - 3,5769 = 115,9143$ m. s.l.m.

Le quote assolute degli altri caposaldi si sono calcolate in base ai dislivelli medi riportati nell'ultima colonna della tabella precedente.

Al committente furono consegnati:

- 1 - I quaderni di campagna, completi di ogni indicazione;
- 2 - Un fascicolo contenente le quote dei capisaldi, con illustrazioni monografiche per ciascun caposaldo, atte a facilitare il rinvenimento;
- 3 - una planimetria con indicata l'ubicazione dei caposaldi.