

# MODIFICHE APPORTATE AL LIVELLO ZENITALE KERN PER MIGLIORARNE L'USO NELLA DETERMINAZIONE DI VARIAZIONI DI POSIZIONE DI PUNTI POSTI SULLA STESSA VERTICALE

*Michele Bonino - Mariano Cunietti \**

Nella determinazione degli spostamenti e delle deformazioni di grossi manufatti sia in cemento armato che in ferro, viene spesso usato il filo a piombo che permette di misurare le variazioni di posizione orizzontale relativa tra punti posti sulla stessa verticale. Il principio e la metodologia operativa è in generale molto semplice e consente di ottenere una sensibilità molto elevata. L'installazione di un piombo richiede però che vengano soddisfatte certe esigenze e certi requisiti ambientali che non in tutte le occasioni possono realizzarsi. Inoltre un filo a piombo richiede che una parte della attrezzatura venga legata permanentemente alla struttura i cui movimenti debbono essere misurati. Tale impianto fisso crea in alcuni casi degli inconvenienti non facilmente superabili.

Assai più modesta è la parte di attrezzatura che deve essere permanentemente legata alla struttura, quando si usa, come metodo di determinazione degli spostamenti, anziché un filo a piombo, un livello con visuale zenitale o nadirale, oppure con entrambe le visuali. In generale però l'uso del livello con visuale zenitale, o nadirale o con entrambe (livello che d'ora in poi chiameremo genericamente con il termine di « livello zenitale ») non è molto diffuso. E' difficile valutare ed enumerare le ragioni di questa minore utilizzazione e, come conseguenza quindi, della minore varietà di livelli zenitali che il mercato offre.

Pur senza ritenere che questa sia la sola ragione della limitazione d'uso del livello zenitale, tuttavia siamo dell'opinione che una certa remora al suo impiego sia derivata dal fatto che, per ottenere buone precisioni nella misura, occorre ripetere le letture nelle due posizioni coniugate, equivalente a quello che succede nella battuta di una livellazione geometrica quando si usa il livello tipo Egault. Qualora le due letture coniugate, cioè dopo aver ruotato lo strumento di 180° attorno ad un asse verticale, vengano mediate, il valore così ottenuto è esente dall'errore residuo di normalità fra la tangente centrale della livella e l'asse di collimazione del cannocchiale. Poiché tale tipo di errore residuo di strettifica non è mai totalmente eliminabile, ed inoltre è generalmente variabile in funzione dell'uso, della temperatura, delle condizioni ambientali e di trasporto, ne deriva la necessità che si debba operare in modo da eliminare tale errore.

Per poter eseguire le letture nelle due posizioni coniugate, quando, per esempio si vogliono misurare gli spostamenti di una parete verticale, occorre che lo strumento venga posto assai discosto dalla parete stessa per permettere all'operatore di leggere allo strumento nelle due posizioni.

La fig. 1 chiarisce meglio di qualsiasi descrizione la situazione che viene a crearsi, poiché in una parete verticale continua gli spostamenti che occorre prevalentemente misurare sono quelli in direzione normale all'andamento della parete

stessa. L'organo di misura, una stadia graduata, posta in corrispondenza del punto della parete che si vuole tenere sotto controllo, deve perciò sporgere parecchio con le conseguenze d'ingombro che ne possono ovviamente derivare.

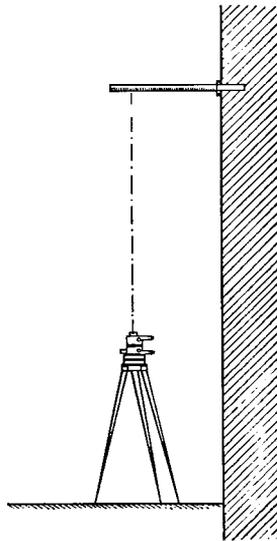


Figura 1

Eliminare questo inconveniente potrebbe essere un passo verso una maggiore utilizzazione dei metodi ottici nelle determinazioni delle variazioni di posizione orizzontale relativa di punti posti sulla stessa verticale.

La soluzione qui proposta è assai semplice: ruotare di  $90^\circ$  la direzione di collimazione intorno all'asse verticale. In tal modo la direzione ove viene a trovarsi l'oculare, e quindi l'osservatore, è parallela alla direzione della struttura e normale alla direzione dei movimenti che debbono venire misurati. Le due posizioni coniugate possono essere occupate dall'operatore senza bisogno di far sporgere notevolmente lo strumento e la stadia di misura dalla struttura stessa. La figura n. 2 illustra questa soluzione.

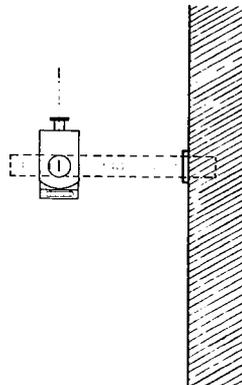


Figura 2

Naturalmente, per ottenere la sopra illustrata rotazione della visuale di osser-

vazione, basta semplicemente ruotare di  $90^\circ$  rispetto alla posizione abituale, quella cioè di parallelismo con la porzione orizzontale dell'asse del cannocchiale, la livella legata al cannocchiale stesso. La tangente centrale della livella risulta cioè normale alla direzione dell'asse di collimazione del cannocchiale nella sua parte orizzontale. L'operatore vede la stadia o scala di lettura che occupa il campo dell'oculare da destra a sinistra e non più dall'alto verso il basso, e la lettura viene fatta utilizzando il tratto verticale del reticolo del cannocchiale.

Questo accorgimento venne realizzato, per la prima volta, a quanto ci risulta, sul livello zenitale Kern OL di proprietà dell'Istituto di Topografia, Geodesia e Fotogrammetria « Gino Cassinis » del Politecnico di Milano, nella cui officina vennero costruite tutte le varianti.

Come è noto il livello Kern OL è composto di due cannocchiali rigidamente collegati l'uno sull'altro. L'uno con la visuale spezzata in direzione zenitale, l'altro con la visuale spezzata in direzione nadirale. Questa soluzione, a detta della Casa, permette di ottenere una maggiore stabilità dell'assieme. La livella, il cui centramento viene fatto a coincidenza, ha una precisione del centramento di  $1''$ ; essa, nella edizione standard, si trova sul fianco sinistro della struttura rispetto all'osservatore. L'ingrandimento del cannocchiale è di  $22,5 \times$  e la sua apertura di 30 mm. La figura n. 3 riproduce il livello Kern OL nella sua costituzione originaria. Esso non è munito di vite di elevazione, cosicché, non potendosi centrare la livella ad ogni lettura, si perde gran parte del beneficio della livella a coincidenza.



Figura 3

La figura n. 4 riproduce lo stesso livello Kern OL dopo le modifiche apportatevi, modifiche che si possono così elencare:

- 1) aggiunta di una livella torica a coincidenza montata con la tangente centrale diretta normalmente alla direzione della visuale dei due cannocchiali nella loro parte orizzontale;
- 2) modifica della struttura portante per inserirvi una vite di elevazione, attiva nella direzione della livella di cui in 1) che chiameremo a  $90^\circ$ ;
- 3) aggiunta di una livella sferica per agevolare la messa in stazione dello strumento.

La struttura portante della livella torica a  $90^\circ$  è costituita da un monoblocco in

ottone che viene inserito come un elemento aggiuntivo della struttura dei due cannocchiali e viene ad essa solidalmente collegato dalle stesse viti di bloccaggio dei due cannocchiali alla base. I punti di appoggio sono costituiti da tre piani lavorati, cosicché questo elemento può venire rimosso senza pericolo che la livella a 90° perda la sua primitiva situazione di rettifica.

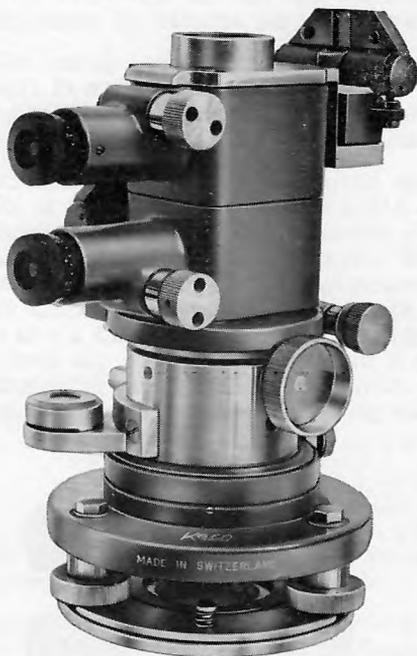


Figura 4

La livella a coincidenza viene vista direttamente dall'operatore immediatamente al di sopra della ghiera del cannocchiale zenitale; la coincidenza viene ottenuta guardando in una finestrella alla quale si affacciano i due prismi accoppiati. Il complesso livella, sua custodia ed organi ottici per la coincidenza, ci è stato fornito direttamente dalla ditta Kern. Le caratteristiche della livella sono esattamente le stesse di quella montata normalmente su questo tipo di livello.

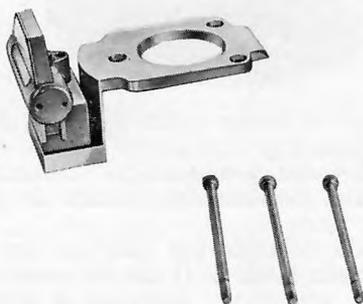


Figura 5

La figura n. 5 riproduce questo pezzo isolato. Sono visibili le tre viti che servono ad agganciarlo alla struttura del livello. Tale pezzo può essere rimosso, ed il

livello Kern OL può venire rimontato nella sua forma primitiva.

Anche l'aggiunta della vite di elevazione è stata ottenuta senza alterare le parti costitutive originarie. Tale organo è stato inserito tra la base ed il complesso del cannocchiale. Lo schema geometrico di funzionamento è assai semplice ma funzionale. Esso è illustrato nella figura 6. La struttura è in acciaio inossidabile. La vite micrometrica in bronzo fosforoso è stata costruita in modo da rendere il più uniforme e dolce possibile il movimento e quindi rendere agevole il centramento della livella. Il campo di azione della vite di elevazione è ampiamente entro i limiti di incertezza del centramento della livella sferica. Il blocco azimutale funziona ancora come in precedenza e così pure la vite dei piccoli spostamenti azimutali.

La livella sferica montata sul supporto della vite di elevazione ha una sensibilità di  $10'$ .

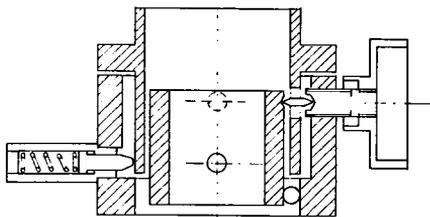


Figura 6

La misura delle variazioni di verticalità fra punti di una stessa struttura può avvenire, con il livello Kern OL, in tre differenti maniere, in conseguenza del fatto che esso dispone delle due visuali opposte. Le tre metodologie di misura vengono qui di seguito descritte:

- a) Visuale zenitale strumento in posizione fissa: si usa solo il cannocchiale con la visuale spezzata zenitale. Il riferimento è costituito dalla posizione che il livello viene ad assumere tutte le volte che esso viene legato alla struttura. E' perciò necessario disporre di una mensola munita di piastra forata. Al foro della piastra viene legata, con l'apposito vitone, la piastra di base del livello (1).
- b) Visuale nadirale, strumento di posizione fissa: come nel caso precedente, salvo che viene utilizzato il cannocchiale con la visuale spezzata in direzione nadirale (1).
- c) Visuale zenitale e nadirale strumento in posizione variabile: vengono utilizzati entrambi i cannocchiali, una delle due visuali serve a determinare la posizione di riferimento.

Nei casi descritti in a) e b) la lettura viene fatta su di una scala graduata legata alla struttura, sulla verticale del punto ove viene fissato lo strumento. Circa

(1) In questa situazione operativa diviene ancora più utile la modifica apportata al livello Kern OL; infatti volendo eseguire le letture coniugate con il livello non modificato, occorrerebbe una mensola di appoggio di dimensioni notevoli.

il tipo di stadie e di scale usate con questo strumento si darà più oltre una descrizione. La successione delle operazioni in queste due situazioni è la seguente:

- centramento della livella sferica;
- allineamento del livello in modo che il filo verticale del reticolo risulti normale alla graduazione della scala; si ottiene ciò con la vite dei piccoli movimenti azimutali;
- centramento della livella a coincidenza con la vite di elevazione;
- aggiustamento finale dell'orientamento del livello;
- lettura della posizione del reticolo sulla scala della stadia;
- rotazione del livello di  $180^\circ$  ed orientamento del reticolo come nella posizione precedente;
- centramento della livella con la vite di elevazione;
- lettura della posizione del reticolo sulla scala della stadia;
- media delle due letture.

L'operazione dell'orientamento del livello, onde ottenere che il tratto del reticolo di lettura risulti normale alla scala e quindi parallelo ai tratti della scala stessa, diviene tanto più importante e delicata ai fini della precisione delle letture, quanto più l'immagine della scala risulta eccentrica rispetto al centro del reticolo; è perciò opportuno che l'immagine della stadia venga a cadere il più possibile al centro del campo.

Qualora si operi nelle condizioni di lavoro indicate in c) e cioè il punto di riferimento sia costituito non già dal punto di appoggio del livello ma da una posizione fissa situata per esempio lungo la direzione nadirale, allora il livello zenitale può essere sistemato su un treppiede e lo schema operativo necessita di due stadie, una posta sulla struttura in direzione nadirale e l'altra in posizione zenitale. Lo schema geometrico di lavoro può essere paragonato ad una battuta di livellazione, non dal mezzo fra le due stadie, usando un livello con cannocchiale girevole intorno all'asse meccanico e livella a doppia curvatura; unica variante: la direzione verticale sostituisce la direzione orizzontale. Salvo il caso, estremamente difficile da ottenere in pratica, che le due stadie, quella zenitale e quella nadirale, vengano montate sulla struttura in posizioni che risultino perfettamente parallele (o almeno con errori inferiori a quelli percepibili all'osservazione), in ogni altra situazione è opportuno che una delle due stadie (in generale quella più facilmente manovrabile dall'operatore) sia ruotabile attorno ad un asse verticale. Nella ipotesi che si verifichi questa seconda situazione operativa, la successione delle operazioni da eseguire per determinare una lettura è la seguente:

- messa in stazione dello strumento in posizione tale che possa collimare ad entrambe le stadie, quella nadirale e quella zenitale;
- centramento della livella sferica;
- orientamento dello strumento sulla scala fissa (per ipotesi quella zenitale), per far sì che il reticolo risulti normale alla scala e parallelo ai suoi tratti;
- osservazione alla scala nadirale ed orientamento della scala mobile nadirale fino a renderla normale alla direzione del reticolo;
- centramento della livella a coincidenza mediante la vite di elevazione e rettifica eventuale dell'orientamento;
- lettura alla scala nadirale con un cannocchiale, lettura alla scala zenitale con l'altro cannocchiale;
- rotazione del livello di  $180^\circ$  e suo orientamento sulla scala zenitale fissa; la scala nadirale mobile deve risultare automaticamente orientata; in caso di piccoli disorientamenti della scala nadirale, rettificare l'orientamento di quest'ultima;
- centramento della livella a coincidenza con la vite di elevazione;
- lettura sulle due scale con i due cannocchiali;

- media delle due letture alla scala zenitale, e media delle due letture sulla scala nadirale;
- differenza delle due letture; questa differenza misura la posizione dello zero della scala zenitale rispetto allo zero della scala nadirale presa come origine.

Anche in questa situazione operativa, l'orientamento del reticolo del livello sulla scala fissa, e della scala mobile sul reticolo del livello, è operazione assai delicata in quanto un errore di orientamento provoca errori nella determinazione della posizione relativa delle origini delle scale tanto maggiori quanto maggiore è l'eccentricità di ciascuna scala rispetto al centro del reticolo. E' perciò in questo caso necessario porre l'asse attorno al quale viene fatta ruotare la scala mobile il più possibile sulla verticale definita dalla scala fissa, ed inoltre porre lo strumento, sul suo treppiede, in modo che le immagini delle due stadie risultino quanto più possibile centrate sui rispettivi reticoli.

Le variazioni di posizione vengono determinate ripetendo a distanza di tempo queste operazioni sulla struttura e sugli stessi punti, e quindi facendo la differenza fra il risultato delle operazioni successive e quello ottenuto nella operazione iniziale presa come riferimento.

La terza situazione operativa c) richiede però dal livello una particolare condizione di rettifica: i due cannocchiali debbono avere le direzioni dei rispettivi reticoli parallele.

Infatti supponiamo che i due reticoli, quello del cannocchiale con direzione zenitale, e quello del cannocchiale con direzione nadirale, formino tra loro un angolo  $\alpha$ ; in conseguenza della successione delle operazioni sopra descritte, anche fra le due stadie alla fine dell'orientamento viene ad essere imposto un angolo uguale ad  $\alpha$ . La differenza delle letture dipende perciò anche dalla posizione che assume il livello quando viene montato e messo in stazione tra le due stadie. La figura n. 7 illustra in maniera geometrica evidente l'inconveniente. La differenza di posizione  $d$  che viene generata da questa srettifica interna dello strumento è data dalla seguente relazione:

$$d = e \operatorname{sen} \alpha$$

ove con  $e$  si è indicata la componente della variazione di posizione del centro dello strumento nella direzione normale alla stadia. Nella ipotesi che l'eccentricità  $e$  possa variare di uno o due centimetri al massimo, affinché la differenza  $d$  sia inferiore ad un decimo di millimetro, errore medio di interpolazione a stima sulla scala millimetrata di lettura, occorre che  $\alpha$  sia inferiore a  $10'$ .

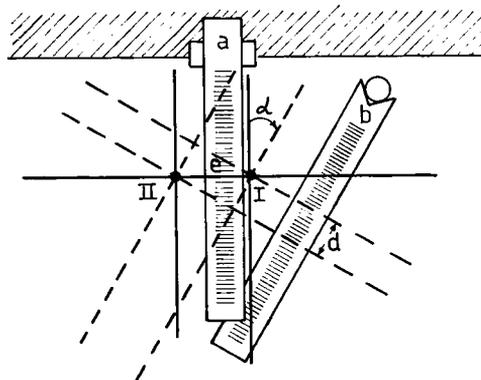


Figura 7

La verifica di questa condizione di rettifica può essere facilmente fatta speri-

mentalmente mediante due operazioni sulle stesse due stadi, la prima con centro del reticolo tutto in alto (nel campo di osservazione dell'oculare) rispetto alla posizione della scala fissa, la seconda con reticolo tutto in basso rispetto alla scala stessa.

Lo strumento è strettificato quando i due valori così trovati non sono uguali fra di loro.

La rettifica è invece assai laboriosa, richiede una attrezzatura assai complessa, descritta in figura n. 8. Per fortuna la condizione di rettifica, una volta ottenuta, si mantiene a lungo, stante anche la non eccessiva precisione che bisogna raggiungere nella condizione di parallelismo.

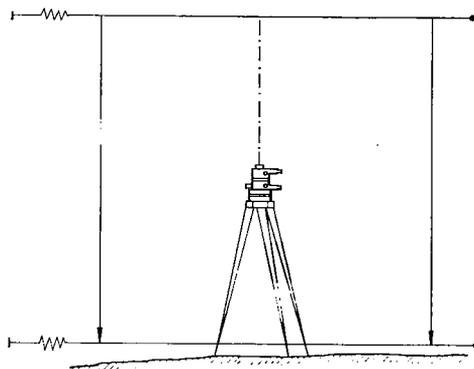


Figura 8

I due fili tesi, sopra e sotto lo strumento, illustrati in figura 8, sono resi fra loro paralleli mediante due piombini a filo posti alle estremità del filo alto. Se i due fili sono discretamente lunghi, per esempio due metri, è agevole ottenere il parallelismo a meno di qualche primo. Posto quindi il livello tra i due fili, ed orientato il livello in modo che il reticcoo di un cannocchiale sia parallelo ad uno dei due fili, si nota, agendo sulle apposite viti, l'altro reticolo fino ad ottenere che esso risulti parallelo all'altro filo.

Nel presente scritto non si può ancora dare alcuna indicazione sulla precisione raggiungibile nella determinazione, mediante questo strumento, delle variazioni di inclinazione relativa di una struttura; attualmente è in corso di esecuzione uno studio che mira appunto a stabilire l'entità di tale errore e la sua dipendenza dalla distanza dei punti collimati e delle condizioni ambientali.

Le scale graduate o stadi, usate per le operazioni con il livello zenitale Kern OL, sono anch'esse state progettate e costruite presso l'officina dell'Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria « Gino Cassinis » del Politecnico di Milano.

Esse constano di una scala con graduazione millimetrica incisa su banda metallica. La banda graduata è a sua volta legata ad un supporto metallico con sezione a forma di C, e quindi assai rigido. Il supporto metallico termina con un blocco magnetico munito di due piccole spine sporgenti. Queste due spine vengono innestate in due fori (dei quali uno asolato longitudinalmente) praticati in una piastra in ferro la quale viene legata alla struttura nella posizione i cui movimenti si vogliono determinare. Il circuito magnetico generato dal magnete viene chiuso sulla piastra in ferro, in modo tale che la stadia risulta saldamente attaccata alla

piastra a sua volta legata alla struttura; terminate le operazioni di lettura la stadia può essere staccata dalla piastra a muro interrompendo il circuito magnetico. Le due spine assicurano che il posizionamento della stadia nelle operazioni successive risulterà sempre identico.

Un altro esemplare di stadia con scala graduata è costituito da un supporto rigido analogo al precedente, esso però termina dalla parte dell'origine della graduazione o con una coda di rondine o con un perno normale al piano della scala. Le due versioni servono entrambe per rendere mobile la stadia: nel primo caso essa può ruotare attorno ad un asse cilindrico cui il terminale a coda di rondine viene accostato; nel secondo caso può ruotare attorno al proprio asse infilato in apposita sede cilindrica.

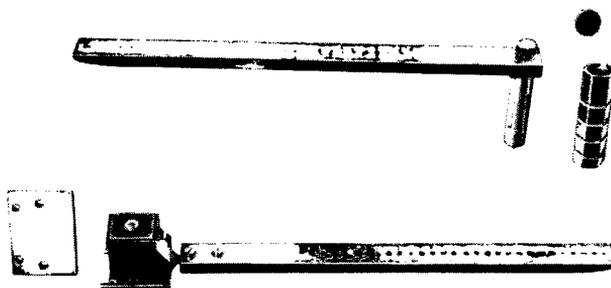


Figura 9

La figura n. 9 riporta la fotografia della scala fissa con magnete, e della scala mobile con perno.