

RISULTATI DI UNA LIVELLAZIONE EFFETTUATI SU UNA PIATTAFORMA MOBILE

*Comunicazione presentata alla
"1966 Annual Convention of the
American Congress on surveying and mapping"
Washington, D.C., March 1966*

Prof. Dr. MARIANO CUNIETTI
Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria
Politecnico di Milano, Italia

SOMMARIO

L'autore descrive una livellazione effettuata da postazione instabile. Si tratta del collaudo di un gasometro, diametro 70 m., ad involucro telescopico, dello stabilimento di Bovisa (Milano) della società Edison-Gas. Tale collaudo è stato reso possibile solo impiegando un livello automatico (modello 5173 della Filotecnica Salmoiraghi).

L'autore è professore di Teoria e Pratica delle Misure all'Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Milano, incaricato di effettuare il collaudo.

Il gasometro da 130.000 mc dello stabilimento di Bovisa della Società Edison-Gas è ad involucro telescopico, a quattro sezioni, a guardia idraulica, con guidaggio elicoidale sistema « Dempster ». Come risulta dalle figure 1 e 2, esso consiste in una sezione fissa del diametro di 70 m., e di quattro sezioni mobili che, con la pressione, si alzano liberamente l'una entro l'altra, guidate unicamente da rotaie poste sulla parete esterna ed inclinate di 45°. A differenza di quanto avviene in gasometri di tipo tradizionale, nessuna struttura metallica esterna guida le sezioni mobili; pertanto il collaudo della struttura e della regolarità dei movimenti richiedeva cure particolari. Un gasometro di tali dimensioni era una novità nel 1958, ed il primo in Italia; ciò consigliò la Società di eseguire controlli particolari e speciali dei movimenti e così eliminare le possibilità di anomalie troppo vistose e forse pericolose.

Oltre ai molteplici altri tipi di verifiche di carattere meccanico e geometrico, all'Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Milano è stata richiesta l'esecuzione di livellazioni delle differenti posizioni delle sezioni mobili corrispondenti ai successivi stadi di riempimento. Le differenti posizioni sono state ottenute mediante livellazioni geometriche indipendenti, sviluppate su ciascuno dei bordi superiori delle sezioni mobili del gasometro, e colleganti da 8 a 10 punti solidali alla struttura.

I risultati delle varie livellazioni hanno reso possibile il calcolo delle variazioni di quota relativa dei punti solidali alla struttura della sezione. Quindi, dalle variazioni di quota è stato possibile determinare l'entità della rotazione orizzontale di una sezione nelle sue successive posizioni, la direzione dell'asse orizzontale di rotazione e, infine, la direzione di massima pendenza. Ciò, ben inteso, nella plausibile ipotesi che le deformazioni della sezione non fossero di rilevanza tale da mascherare tali movimenti. D'altra parte, le variazioni di quota misurate permettevano una verifica dell'ipotesi. Infatti se la sezione, pur variando la sua posizione, si mantiene rigida, le variazioni di quota per i diversi punti — riportati graficamente sullo sviluppo della sezione stessa — danno luogo ad un diagramma regolare di tipo sinusoidale.

Le due ricerche sopra elencate e cioè determinazione dell'entità delle rotazioni e verifica dell'eventuale presenza di deformazioni, esigevano però una precisione assai elevata nella misura delle variazioni di quota.

Alcuni problemi importanti rendevano precaria l'esecuzione delle misure.

Primo problema: quando, per effetto della pressione interna, ciascuna sezione veniva sollevata dal suo appoggio, essa si trovava in una situazione di galleggiamento e quindi di instabilità tale da rendere pressochè impossibile il centramento delle livelle toriche dei livelli convenzionali durante il tempo di lettura alla stadia.

Secondo problema: le variazioni della pressione interna di sostentamento dovute alle perdite ed al riscaldamento per insolazione, provocavano movimenti della calotta e quindi degli elementi ad essa legati.

Terzo problema, pure legato alla situazione di galleggiamento: per eseguire le livellazioni era necessario muovere dei carichi sull'elemento che, per ciascuna posizione di tali carichi, veniva ad assumere una diversa situazione di equilibrio.

I carichi mobili, costituiti dall'operatore, dallo scrivano e dallo strumento, erano relativamente assai modesti; inoltre essi erano bilanciati con pesi equivalenti posti in posizione simmetrica. In conseguenza di ciò, il terzo problema influenzava molto limitatamente le misure.

Il primo ed il secondo problema hanno potuto essere superati solo con l'impiego di un livello automatico.

In questo tipo di strumento i piccoli movimenti dovuti a oscillazioni, vibrazioni lente o spostamenti del supporto, non possono ostacolare la corretta determinazione del dislivello fra due punti consecutivi, in quanto l'asse di collimazione si dispone automaticamente orizzontale. Ciò ha eliminato il primo problema.

La maggior facilità di messa in stazione dello strumento ha consentito di ridurre notevolmente la durata delle operazioni e di minimizzare gli effetti delle variazioni di pressione interna. In tal modo si è eliminato il secondo problema.

La scelta è caduta sul livello automatico Salmoiraghi modello 5173 (figura 3), allora di recente costruzione. Tale scelta è stata suggerita dalle seguenti considerazioni:

- peso e ingombro ridotti (18 x 18,5 x 32 cm - 3,4 kg, senza custodia);
- semplicità di funzionamento (la bolla si trova nel campo del cannocchiale e può essere osservata durante la lettura alla stadia);
- possibilità di leggere il decimo di millimetro quando accoppiato con l'apposito dispositivo micrometrico modello 5180. Questo dispositivo consiste in un meccanismo che solleva o abbassa lo strumento entro un campo di 10 mm. **.

L'impiego del normale treppiede dello strumento era chiaramente impossibile; è stata pertanto costruita una apposita mensola, che veniva di volta in volta solidamente fissata alla balaustra contornante la sommità di ciascuna sezione in posizione equidistante dalle due stadiie. In tal modo è stato possibile sfruttare i vantaggi della livellazione dal mezzo.

Onde non aumentare notevolmente il numero delle battute, le stadiie dovevano sporgere dal bordo delle sezioni. E' stata adottata la soluzione illustrata nella figura 4. I sostegni delle stadiie a pendolo, la posizione di ciascuno dei quali era stata accuratamente prescelta, sono stati rigidamente legati alla struttura della corrispondente sezione mobile. Alla estremità del sostegno, in apposita sede, è stata appesa la stadia a pendolo. Dieci sostegni e pertanto dieci punti di battute, sono stati collocati sullo sviluppo di ciascuna sezione. La distanza livello-stadia era assai variabile, ma in generale non superiore a 15 m. A questa distanza era agevole eseguire puntamenti con errore non superiore al decimo di millimetro.

Il collaudo del gasometro ha richiesto un totale di 28 livellazioni a diversi livelli e sulle diverse sezioni. Ciascuna battuta ha richiesto in media 5 minuti, tempo breve se si considerano difficoltà di movimento degli operatori sulla

** Tale dispositivo è anche disponibile con graduazioni in piedi. In questo caso il movimento verticale è 0.02 piedi, con divisioni ogni 0.0002 piedi.

passerella e le operazioni di sgancio e riaggancio della mensola di sostegno dello strumento.

Ciascuna lettura sulla stadia è stata ripetuta due volte. Nella tabella allegata sono riportati gli errori di chiusura delle 28 livellazioni, divise in 13 gruppi. Ciascun gruppo comprende le livellazioni eseguite sulle varie sezioni.

I gruppi N° 1 e N° 13 comprendono le livellazioni eseguite all'inizio ed al termine del collaudo, quando le sezioni mobili erano appoggiate sul fondo, mentre le altre livellazioni sono state eseguite quando le sezioni erano sostenute dalla pressione interna.

Gli errori di chiusura dei gruppi 1 e 13 sono stati naturalmente minori di quelli relativi a tutti gli altri gruppi di livellazioni. Il valore quadratico medio degli errori di chiusura è, nel primo caso, (gruppi 1 e 13), di ± 0.9 mm, mentre nel secondo caso, (gruppi dal 2 al 12) è di ± 2.2 mm. Questo netto aumento dell'errore di chiusura è senz'altro da attribuirsi ai movimenti lenti di assestamento delle sezioni durante il collaudo.

Le livellazioni sulla prima sezione hanno avuto errori di chiusura positivi, giustificando la presenza di un errore sistematico, ad esempio una variazione di quota durante l'operazione per effetto della diminuzione lenta della pressione interna.

Tenuto conto che il numero medio delle battute per ciascuna livellazione era di 10, e supponendo che l'errore di chiusura fosse da attribuirsi ai soli errori accidentali, risulta che l'errore quadratico medio di determinazione del dislivello fra due punti successivi è di ± 0.3 mm nel primo caso e di ± 0.7 mm nel secondo caso. Questi valori consentono di concludere che il comportamento dello strumento è stato più che soddisfacente.

La quota relativa riferita al punto iniziale A di ciascuna livellazione è stata determinata per i punti di ciascuna sezione, mediante i risultati delle 28 livellazioni. Il confronto delle quote relative dei punti di una sezione, in una delle condizioni intermedie di collaudo, con quelle nella condizione iniziale, ha permesso di ricavare le variazioni di quota relative dei vari punti, per effetto della mutata giacitura della sezione stessa a seguito del sollevamento. Tali variazioni di quota sono state riportate in grafico in funzione della loro posizione sullo sviluppo della circonferenza di ciascuna sezione alla quale i punti erano solidali.

Il punto A di ciascuna sezione era il punto di riferimento e pertanto non aveva variazioni. Tra i punti del grafico è stata interpolata una curva continua. Tale curva è risultata assai prossima ad una sinusoide; in alcuni casi vi sono però deformazioni.

Nella figura 5 sono riportate, quale esempio, le curve delle variazioni di quota sulle quattro sezioni mobili, rilevate con il gruppo di livellazioni N° 5. La posizione dei singoli punti si sposta assai poco dalle curve interpolatrici. Supponendo che tali scostamenti non siano dovuti a deformazione locale della struttura, ma solo ad errori di misura, la limitata dispersione dei punti conferma che le misure hanno una buona precisione. La posizione dei punti in tutti i grafici relativi alle altre operazioni, è analoga a quella riportata sulla figura 5.

Dalle curve delle variazioni di quota si è poi risaliti alla misura della entità delle rotazioni delle sezioni durante il riempimento del gasometro, ed alla posizione dell'asse orizzontale di dette rotazioni. Il primo dato è stato ricavato dall'ampiezza totale A dell'oscillazione della curva delle variazioni di quota.

Nell'esempio della figura 5 l'ampiezza è riportata sul bordo destro di ciascun grafico. Noto il diametro D della sezione mobile, il valore angolare \varnothing' in primi sessagesimali della rotazione è immediatamente calcolabile dalla relazione:

$$\varnothing' = A/D \cdot \text{arc } 1'$$

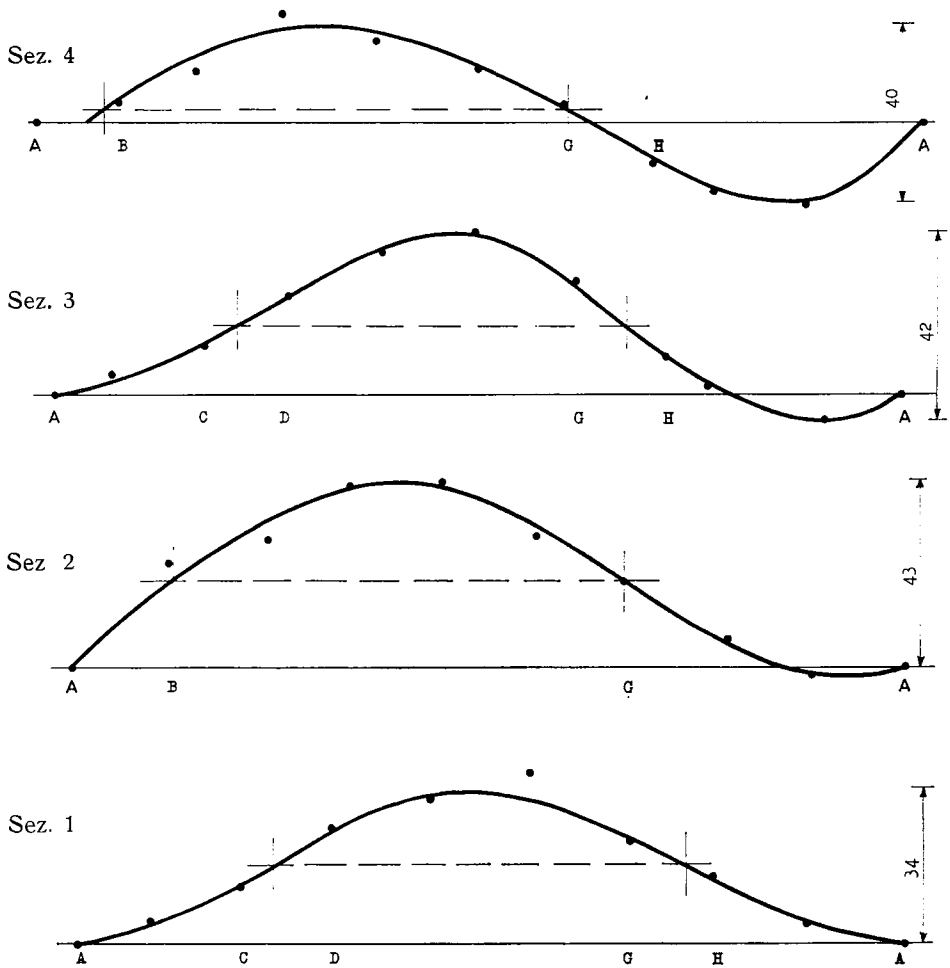
Il secondo dato — direzione dell'asse di rotazione orizzontale — è stato ricavato con piccola precisione.

Se la curva delle variazioni è una senoide perfetta, l'asse di rotazione orizzontale può essere facilmente localizzato sul perimetro della sezione, poichè esso taglia detto perimetro in corrispondenza delle ascisse dei punti di intersezione della senoide con la retta parallela all'asse delle ascisse ed equidistante dai punti di massimo e minimo della curva.

La deformazione della sezione altera però la forma sinusoidale della curva delle variazioni di quota di ciascuna sezione. Se si usa quindi lo stesso metodo impiegato per la determinazione della direzione dell'asse orizzontale di rotazione precedentemente descritto, si possono commettere errori non piccoli. Si può valutare grossolanamente l'entità di tali errori dalla misura della lunghezza del segmento intercettato dall'onda positiva della curva, sulla retta parallela all'ascissa ed equidistante dagli estremi.

Per la senoide tale lunghezza deve essere uguale alla metà dell'intero sviluppo della sezione.

Nelle curve sperimentali essa mostra differenze, rispetto alla lunghezza teorica, di circa $1/8$ dell'intera circonferenza. Questo valore, e cioè un ottavo dell'angolo giro ($1/8 \times 360^\circ = 45^\circ$), può essere assunto come indicazione approssimativa dell'errore medio della direzione degli assi di rotazione orizzontale delle sezioni.



CURVE DI VARIAZIONE DELLE QUOTE