

II - PARTE PRATICA

5. Prove sperimentali

Le leggi e i corollari dimostrati in precedenza sono stati vagliati sperimentalmente tenendo presente l'applicazione prevista.

5.1. *La strumentazione.* Per accertare con sicurezza il metodo e le correzioni, si è ricorso alla apparecchiatura più accurata attualmente prodotta, costruita dalla Ottica di Jena seguendo i criteri di Meisser [4]. Essa consta essenzialmente di due vasi comunicanti, appesi a caposaldi murati, collegati da un grosso tubo in plastica per l'acqua e da un tubicino per l'aria; il sistema di lettura, assai sensibile ($\pm 0,01$ mm) [5], è costituito da un micrometro verticale a vite, la cui punta viene portata a sfiorare il pelo libero dell'acqua fino a spegnere la speciale spia luminosa elettronica.

5.2. *Gli impianti sperimentali.* Una prima installazione è stata posta nel sotterraneo dell'Istituto in condizioni ideali di stabilità e uniformità di temperatura, con vari caposaldi sia molto vicini che lontani (30 m). Una seconda installazione è stata successivamente applicata per controllare i cedimenti del Duomo di Milano con una tubazione lunga 70 m, il cui sviluppo, assai vario planimetricamente ed altimetricamente, seguiva dei cunicoli sotterranei, la cui temperatura alquanto variabile veniva misurata opportunamente.

5.3. *Sul riempimento del tubo.* Una precauzione particolare deve essere posta nel riempimento del tubo. Infatti [2] se la colonna liquida tra i vasi risulta spezzata da sacche d'aria, le misure diventano completamente erronee; le bolle d'aria si fermano soprattutto nei rami a sifone. Evidentemente le difficoltà di un perfetto riempimento crescono con la lunghezza del tubo, ma nella presente applicazione, limitando le tratte a una cinquantina di metri, la presenza di bolle d'aria viene facilmente evitata riempiendo il tubo sotto vuoto o disponendo la condotta in lieve pendenza o facendo fluire velocemente molto liquido preventivamente disareato.

5.4. *Sull'equilibrio dei vasi comunicanti.* In condizioni di perfetta uniformità termica e su postazioni sicuramente stabili come quelle sperimentate, la misura del dislivello eseguita per alcuni mesi non presenta variazioni maggiori della sensibilità dello strumento usato, cioè $\pm 0,01$ mm. Variazioni termiche di qualche grado, artificialmente o naturalmente presenti negli impianti sperimentali su dislivelli di qualche metro, producono le variazioni previste nei dislivelli, ma la loro correzione accurata si è dimostrata sempre incompleta per la difficoltà di rilevamento delle temperature; in tali casi la precisione della misura decade a circa $\pm 0,03$ mm e l'unico modo efficiente per migliorarla è di disporre la condotta orizzontale specialmente nei punti più soggetti a variazioni termiche.

Le influenze barometriche su condutture non lunghe, anche se in condizioni sfavorevoli, si sono dimostrate assai modeste e completamente eliminabili mettendo in comunicazione le parti superiori dei vasi con il tubicino previsto.

5.5 *Sul moto del liquido.* In entrambi gli impianti provati il moto era periodico smorzato, ma il periodo risultava circa doppio del previsto per due diversi motivi. Infatti il tubo non poteva più essere ritenuto di sezione praticamente uniforme, sia perché i vasi erano assai più larghi del tubo, sia perché l'entrata nei vasi era strozzata dai rubinetti.

Ma la causa che portava maggior turbamento all'equilibrio statico o al defluire oscillatorio del liquido era costituita dalla elasticità e plasticità del tubo, che interviene in modo notevole e mal prevedibile; per questo l'attesa dell'equilibrio doveva essere più lunga e spesso risultava insicura.

6. *L'applicazione al controllo di grandi strutture*

Per tale scopo specifico si è dovuto in primo luogo fissare le precisioni occorrenti e le condizioni ambientali. Per quanto riguarda la precisione si sono stabilite tre categorie con errori medi di 1 cm, 1 mm e 0,1 mm rispettivamente, per collegamenti di lunghezza media di qualche chilometro, di un chilometro e di qualche centinaio di metri, cui corrispondono i casi previsti di dighe in terra, dighe in calcestruzzo, postazioni di grosse macchine ed equivalenti. Le condizioni ambientali invece vennero caratterizzate soprattutto dall'ampia escursione termica da -30°C a $+70^{\circ}\text{C}$, la quale ha limitato notevolmente la scelta dei liquidi.

6.1. *Scelta dei liquidi.* Oltre le suddette limitazioni di basso punto di congelamento e alto punto di ebollizione, i liquidi utilizzabili devono essere omogenei, stabili, poco viscosi, poco volatili, scarsamente reattivi o solventi; inoltre la loro scelta va abbinata a quella delle sostanze costituenti le tubazioni, le rubinetterie, le flange: i liquidi dimostratisi più idonei e inerti sono risultati, dopo una lunga scelta preliminare seguita da prove sperimentali, i glicoli e i siliconi.

6.2. *Suddivisione dei collegamenti.* Una linea di livellazione idrostatica, che congiunga i caposaldi prescelti, difficilmente può svolgersi rimanendo all'incirca allo stesso livello, in modo che i vasi, o meglio, le stadi graduate, siano corte (fig. 1); anche per questo motivo si è ritenuto più conveniente applicare lo stesso procedimento affermatosi nella livellazione geometrica, cioè di spezzare ogni collegamento in una successione di tronchi o battute di lunghezza inferiore ai cento metri, facilitando così anche la rapidità dell'equilibrio idrostatico nei vasi e favorendo grandemente le operazioni di montaggio e manutenzione della conduttura. Tale suddivisione obbliga però a disporre i vasi a due diverse altezze della stessa stadia, ovvero a fissare due caposaldi, nelle postazioni fisse, su ogni punto battuto, analogamente a quanto avviene nella successione delle battute lungo la livellazione geometrica.

6.3. *Impianti di tipo fisso.* La livellazione idrostatica si è dimostrata particolarmente adatta a impianti di controllo di tipo fisso. Si è allora dimostrato preferibile l'impiego di tubature rigide (rame, ferro, piombo, politene) raccordate ai vasi terminali con due corti tubi di gomma.

6.4. *Dispositivo di lettura.* Nei limiti delle precisioni richieste, si è riconosciuto che il sistema di lettura più semplice e sicuro è ancora quello di traguardare a vista il centro del menisco direttamente sulla scala graduata verticale accostata al vaso terminale. Mentre il vaso terminale realizzato in materia plastica trasparente può rimanere alquanto libero e venire appeso semplicemente al supporto della scala graduata, questa viene invece fissata stabilmente alla postazione da controllare.

7. *Impianti realizzati*

Attualmente è in via di approntamento un primo impianto su una diga in terra, situata in una valle a circa 1000 metri di altitudine nell'Italia centrale; esso è costituito da una dozzina di postazioni per uno sviluppo di circa 800 metri.

Un secondo prossimo impianto è previsto per seguire i cedimenti delle fondazioni di una centrale termica poggiate su terreno fangoso.

Conclusione

Lo studio teorico e gli impianti sperimentali hanno mostrato la grande efficienza della livellazione idrostatica nei controlli dei cedimenti; tale efficienza deve essere ora confermata dai risultati ottenuti in condizioni reali e per lunghi periodi di tempo. Un ulteriore sviluppo è previsto nella automazione delle misure e nell'invio a distanza delle letture.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Nörlund N.E. - Hydrostatisk Nivellement over Oresend. G.I. Klenharen, 1946.
- [2] Scheel G., Sandig H.U. - Zur praktischen Durchführung von hydrostatischen Nivellements. Angewandte Geodäsie - Heft N. 32, Frankfurt M., 1957.
- [3] Scheel G. - Systematische Fehler der hydrostatischen Nivellements und Verfahren zu ihrer Ausschaltung. Angewandte Geodäsie - Heft 27, Frankfurt M., 1956.
- [4] Meisser - Präzisions - Schlauchwaage - 1961.

