



## STAZIONE TOPOGRAFICA TOTALE



### GRUPPO DI LAVORO ITCOLD

**Metodi innovativi per il monitoraggio delle dighe e dei versanti e possibili futuri sviluppi.**

Dott. Ing. A. MASERA (CESI –ISMES)  
Dott. Ing. S. M. COLLI (CVA SpA)  
Dott. Ing. F. BIRINDELLI (Studio PIETRANGELI)  
Dott. Ing. F. SAINATI (EDISON)  
Dott. Ing. P. VALGOI (AEM SpA)



## INDICE

1.	<i>Premessa</i>	3
2.	<i>Caratteristiche della stazione topografica totale</i>	3
3.	<i>Applicazioni della stazione topografica totale e validazione della tecnica</i>	6
5.	<i>Vantaggi della tecnica</i>	8
6.	<i>Limiti della tecnica</i>	9
7.	<i>Riferimenti bibliografici</i>	9



## **1. Premessa**

Scopo del presente documento è quello di individuare potenzialità, vantaggi e limiti nell'utilizzo della tecnologia della stazione topografica totale, specificatamente per il controllo ed il monitoraggio di dighe e di versanti.

L'attività è condotta nell'ambito del gruppo di lavoro ITCOLD "Metodi innovativi per il monitoraggio delle dighe e dei versanti e possibili futuri sviluppi" istituito nell'inverno 2004/2005.

## **2. Caratteristiche della stazione topografica totale**

Di seguito vengono esposte sinteticamente le caratteristiche della stazione topografica totale che permette la rilevazione degli spostamenti piano-altimetrici di punti che possono essere posizionati sia sulla struttura della diga che sui versanti del serbatoio.

L'utilizzo di una stazione topografica totale (tipicamente automatizzata) rende possibile effettuare il monitoraggio di un numero "illimitato" di punti con il solo vincolo della loro visibilità verso la stazione stessa. Per ogni punto di misura la stazione topografica restituisce la posizione del punto espresso in coordinate cartesiane (x,y,z).

I sistemi attualmente in commercio sono generalmente realizzati con i teodoliti di classe più elevata tra quelli disponibili nel catalogo delle diverse case produttrici. Essi differiscono sostanzialmente per il principio di ricerca e puntamento dei punti, che può essere basato su diversi criteri. I più frequentemente usati sono elencati nel seguito.

- Segnale ad infrarosso inviato dal distanziometro elettronico abbinato al teodolite: in tal caso viene individuata come direzione di collimazione quella corrispondente alla massima intensità dell'impulso riflesso dal prisma installato sul caposaldo controllato. Lo strumento esegue una ricerca nell'intorno del punto, partendo da una posizione presunta corrispondente all'ultima posizione rilevata; l'intervallo di ricerca è generalmente definito da un angolo.
- Individuazione della direzione di provenienza di un segnale radio trasmesso da un riferimento opportunamente equipaggiato; il riferimento è poi dotato di prisma riflettente che consente la misura della distanza mediante distanziometro ad infrarossi. Con questo sistema la ricerca dell'obiettivo viene eseguita a 360°.
- Analisi di immagine: l'immagine dello spot infrarosso emesso dal collimatore coassiale dello strumento è riflessa dal prisma riflettente, installato sul punto collimato, e rilevata dalla videocamera CCD, incorporata nello strumento. Tale immagine è analizzata mediante apposito software, che ne rileva lo scostamento rispetto alla direzione di mira. Si tratta in pratica di una procedura di autocollimazione. Il distanziometro ed il suo raggio infrarosso sono, in tal caso, estranei al puntamento poiché servono unicamente per la misura della distanza.

Lo strumento è dotato di motore per il movimento sul piano orizzontale e verticale e munito di un sistema di puntamento automatico che consente di traguardare un certo numero di riferimenti secondo una sequenza preordinata, ad intervalli di tempo programmati. Di tali riferimenti sono



misurati la distanza, l'angolo orizzontale rispetto ad un orientamento di riferimento e l'angolo verticale, al fine di calcolare le coordinate planoaltimetriche di ogni punto e seguirne l'evoluzione nel tempo.

I teodoliti a puntamento automatico sono stati ideati per consentire l'esecuzione di rilievi celerimetrici da parte di un solo operatore od in modo automatico poiché sono in grado di inseguire un riferimento in movimento, purché dotato degli opportuni accessori (prisma riflettente, emettitore radio, o altro).

La stazione topografica totale automatizzata deve essere installata su un pilastrino in calcestruzzo, mediante impiego di una speciale piastra di ancoraggio per il centramento.

Si suggerisce di installare la postazione in zona protetta, ad esempio all'interno di un box prefabbricato adeguatamente coibentato.

L'acquisizione automatica della stazione topografica può avvenire attraverso un collegamento con un PC di acquisizione.

Figura 1 – Esempio di installazione



Le applicazioni più importanti delle stazioni topografiche sono:

- monitoraggio dei movimenti franosi
- monitoraggio strutturale (centri abitati, monumenti, grandi strutture, parti di impianto)





- monitoraggio del rischio naturale (ghiacciai, vulcani, zone soggette ad alluvione e terremoti).

I parametri caratteristici delle stazioni totali sono gli stessi della strumentazione topografica tradizionale, per quanto riguarda la accuratezza-incertezza strumentale e quella relativa alla metodologia di misura.

In particolare:

- incertezza strumentale fornita dalla casa costruttrice, tipicamente:

Grandezza	Fisso	Variabile
Distanza	1 mm	1 ppm
Angolo azimutale	1,5 cc	
Angolo zenitale	1,5 cc	

cc= secondi centesimali

- incertezza connessa alla metodologia di misura che scaturisce da una serie di fattori influenzanti esterni quali le condizioni di visibilità, illuminazione, turbolenza, etc presenti al momento della misura.

In aggiunta si possono considerare quelli relativi al riposizionamento della strumentazione ed al fattore umano, che non sono presenti nel caso di postazione fissa ed automatica.

- Incertezza dovuta ai fattori meteorologici (temperatura, pressione ed umidità lungo il percorso ottico del laser), per i quali si possono introdurre idonee correzioni. In genere però si conoscono i valori solamente in corrispondenza delle stazioni di misura.

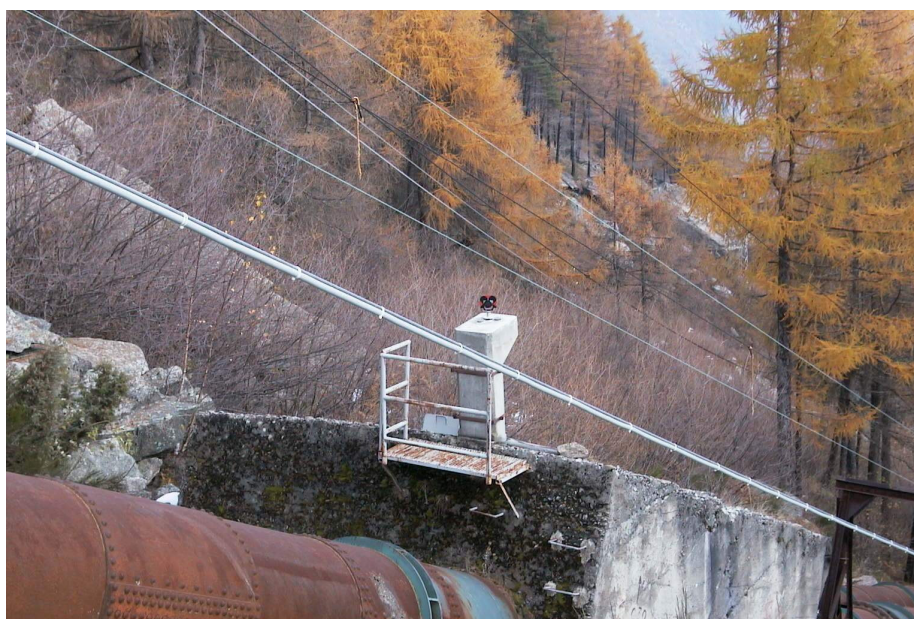


Figura 2 – Target per il controllo dei movimenti di una condotta forzata

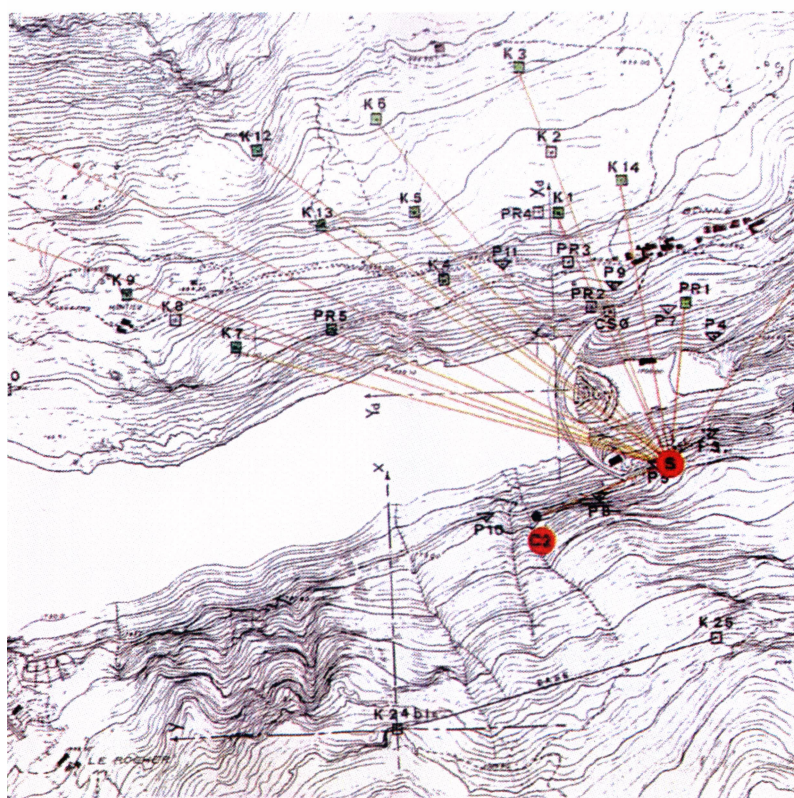


### 3. Applicazioni della stazione topografica totale e validazione della tecnica

Oggetto della presente analisi è la specifica applicazione della stazione topografica totale per il controllo e monitoraggio dei movimenti franosi, delle dighe e/o di particolari parti di impianti idroelettrici quali ad esempio le condotte forzate; in particolare si farà riferimento alla applicazione realizzata presso la diga di Beauregard.

Nelle seguenti Figure 3÷6 sono riportati gli schemi di controllo presenti alla diga in oggetto ed i risultati dell'applicazione della metodologia, in confronto ai sistemi tradizionali di rilevazione presenti sulla diga.

Figura 3. - Diga di Beauregard, schema del sistema di controllo della stazione topografica

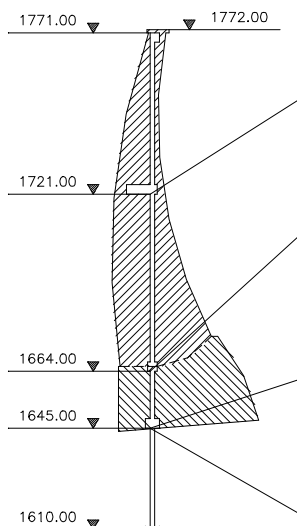


E' da precisare che per quanto riguarda il caso in oggetto, la validazione della tecnica è stata effettuata confrontando i valori raccolti dalla stazione topografica totale con i corrispondenti spostamenti della struttura (spostamenti raccolti dal pendolo dritto + il pendolo rovescio) in corrispondenza della sezione maestra dello sbarramento. Si sottolinea che è stata considerata anche la deformazione della fondazione misurata dal pendolo rovescio in fondazione oltre alla

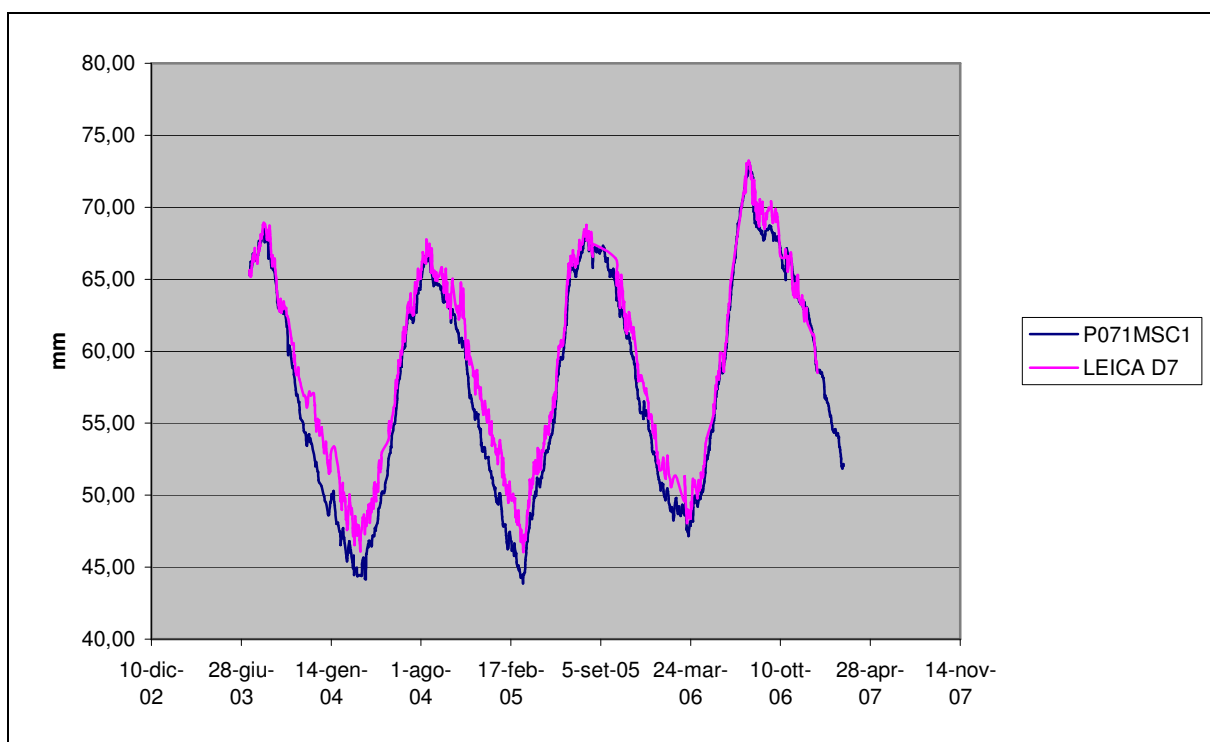


deformazione del corpo diga rilevata dal pendolo diritto, realizzato a partire dal coronamento fino al cunicolo perimetrale alla base dell'opera, secondo lo schema riportato nella seguente figura.

Figura 4 – Sistema pendolare in sezione maestra

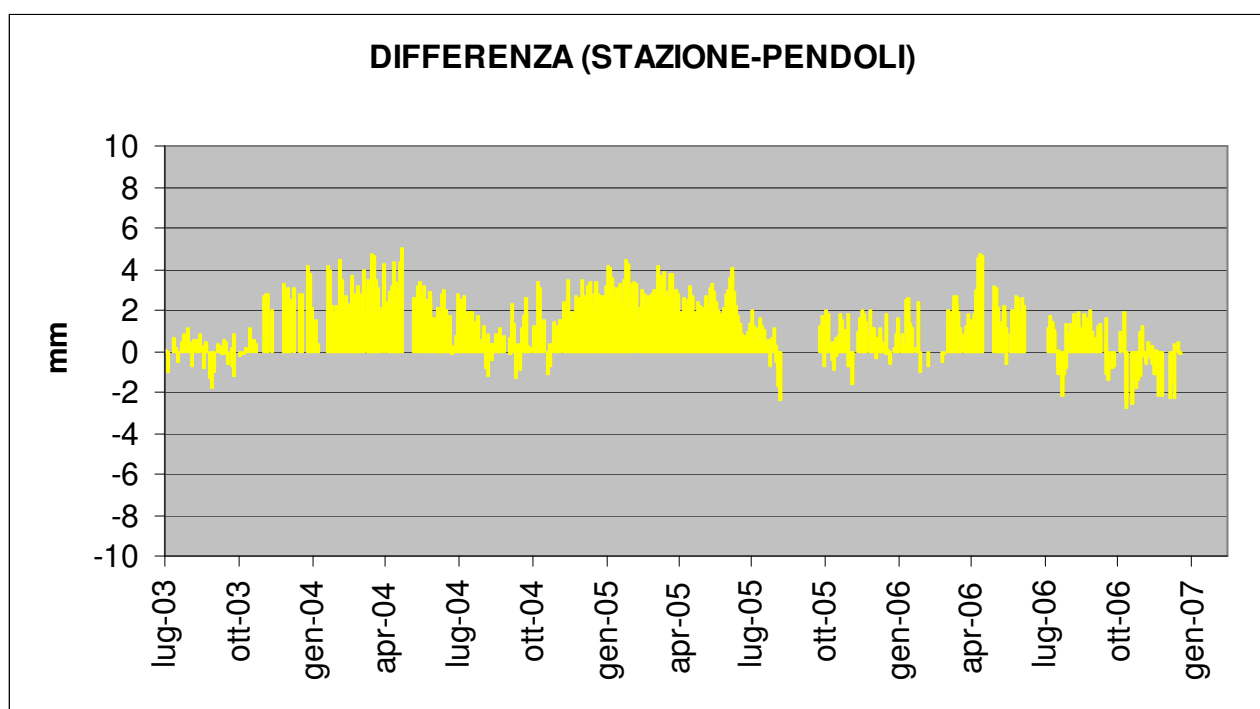


Nelle seguenti Figure si confrontano i risultati ottenuti dalle elaborazioni della stazione topografica con i dati di controllo strumentale rilevati dai telecoordinometri.





Si osserva come i risultati di spostamento in direzione monte-valle (parametro di massima importanza ai fini del controllo della diga) siano ottimamente confrontabili fra loro. Le differenze sono ampiamente contenute in circa 5 mm.



In particolare la deviazione standard della differenza degli spostamenti è pari a 1,37 mm che risulta inferiore al 5% dell'escursione annua della misura.

Si tenga inoltre presente che a contribuire alla differenza tra i due sistemi di misura partecipa anche il differente posizionamento dei 2 punti di misura: il prisma di collimazione è posto sul paramento di valle mentre l'attacco del pendolo è interno alla struttura e posto nella zona di monte del coronamento.

## **5. Vantaggi della tecnica**

- I vantaggi d'impiego delle stazioni totali sono gli stessi della strumentazione topografica tradizionale.
- Tale metodologia si può considerare come una pratica operativa.
- Le informazioni ottenibili dall'elaborazione dei dati topografici consentono la determinazione con sufficiente precisione dei movimenti piano-altimetrici dei target di riferimento sia per quanto riguarda gli spostamenti delle opere sia il controllo degli eventuali movimenti franosi (versanti, canali derivatori, gallerie, condotte forzate).





- Controllo dei movimenti anche in continuo quando la stazione topografica è connessa a un sistema di monitoraggio automatico.
- La facile utilizzazione del sistema di misura e la consultazione ed analisi dei risultati non richiede personale esperto.

## **6. Limiti della tecnica**

- I limiti d'impiego delle stazioni totali e le incertezze di misura associate sono i medesimi della strumentazione topografica tradizionale. In particolare l'incertezza di misura diventa eccessiva per distanze tra caposaldo e punto di riferimento superiori ad 1 km circa; tale distanza limite risulta decisamente inferiore e dell'ordine di qualche centinaio di metri per il controllo degli spostamenti delle strutture in calcestruzzo.
- Necessità di condizioni di intervisibilità tra stazione totale e target di misura, anche a fronte di presenza di manto nevoso o di crescita di vegetazione.
- Necessità di disporre di punti "fissi" della rete di misura, mediante installazione di alcuni target di riferimento, anche al fine di poter effettuare metodi di compensazione e di calcolo dell'ellisse di errore che richiedono ridondanza delle informazioni.
- Incertezze legate a condizioni ambientali, in particolare quando il raggio di misura transita superiormente alla superficie liquida del serbatoio.

## **7. Riferimenti bibliografici**

- ARPA – Regione Lombardia:  
"Monitoraggio – Linee guida per il controllo dei fenomeni franosi"
- Comitato Svizzero delle dighe:  
"Dispositif d'Auscultation des barrages – Concept, fiabilité et redondance" Avril 2005
- Ricerca di Sistema:  
"Ricognizione tecnico-scientifica sull'impiego di rilievi condotti con tecniche satellitari per il monitoraggio dei movimenti di versante di bacini. Confronto con tecniche tradizionali"