

***Comitato Nazionale Italiano  
delle Grandi Dighe ITCOLD***

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



2008

## **Membri del Gruppo di Lavoro:**

*Ing. Alberto Masera - Coordinatore*

*Ing. Morena Colli*

*Ing. Francesco Birindelli*

*Ing. Francesco Sainati*

*Ing. Paolo Valgoi*

*Ing. Paolo Gigli*

# **METODI INNOVATIVI PER IL MONITORAGGIO DELLE DIGHE E POSSIBILI SVILUPPI FUTURI**

## **1 Scopo**

Il lavoro che viene presentato è il risultato del Gruppo di lavoro che ha come compito l'esame delle più moderne ed innovative metodologie applicate sia in Italia che all'estero, per il controllo del comportamento degli sbarramenti (intesi nel loro insieme quali: struttura, fondazione e spalle, sponde del bacino o versanti).

Le varie metodologie che sono state analizzate sono:

- Rilievi SAR (Synthetic Aperture Radar) satellitari
- Rilievi SAR terrestri
- Rilievi laser scanning terrestre (laser a scansione)
- Applicazioni reti Gps (Global Position System)
- Sistemi optoelettronici (stazione topografica totale)
- Rilievi con TDR (Time Domain Reflectometry)
- Rilievi batimetrici con Multibeam Sonar (vedere scheda Enel)

Le metodologie presentate si integrano ovviamente alle attività di monitoraggio tradizionale che sono ampiamente descritte nei seguenti documenti, ai quali si rimanda per maggiori dettagli:

- ITCOLD – Bollettino 1: “Tecniche e realizzazioni italiane per il monitoraggio delle dighe e delle loro fondazioni”
- ICOLD – Bulletin 60: “Dam Monitoring – General Consideration”
- ICOLD – Bulletin 68: “Monitoring of Dams and Foundations – State of the art”
- ICOLD – Bulletin 87: “Improvement of Existing Dam Monitoring – Recommendations and case histories
- ICOLD – Bulletin 118: “Automated Dam Monitoring Systems – Guidelines and case histories”

Si ricorda che i sistemi di monitoraggio tradizionali hanno la caratteristica di fornire misure puntuali e con elevata precisione.

## **2 Principali fonti per la raccolta delle informazioni**

- Attività sperimentali, effettuate da numerose società elettriche che gestiscono dighe presenti sul territorio nazionale.
- Letteratura Tecnica: Proceedings di Simposi/Congressi ICOLD, Bollettini ICOLD; documentazione prodotta da altri Gruppi di Lavoro ICOLD o nazionali.
- Informazioni disponibili su siti Internet o fornite direttamente dalle società che realizzano le metodologie analizzate.

## **3 Premessa**

L'obiettivo principale del presente studio è di offrire ai gestori delle dighe l'opportunità di approfondire la conoscenza delle nuove tecnologie e delle loro potenzialità di applicazione.

In particolare le ricadute sono le seguenti:

- Approfondimenti delle potenziali generali del monitoraggio e delle loro applicazioni nelle settore delle dighe.
- Approfondimento delle conoscenze sulle potenzialità di nuove tecniche di monitoraggio remoto (interferometria da satellite o da terra, laser scanning) applicabili allo studio sia dei movimenti delle strutture che dei versanti.
- Fornire indicazioni di applicazioni comparative delle suddette tecniche.
- Acquisizione di una maggiore sensibilità verso nuove tecniche complementari od alternative per il monitoraggio sia delle strutture che dell'ambiente circostante.

In particolare nel corso delle attività del gruppo di lavoro, è stata predisposta una scheda illustrativa per ciascuna metodologia (riportante le caratteristiche ed i parametri di riferimento) a cui aggiungere i risultati delle applicazioni ed esperienze in campo, in confronto anche con le tecniche di rilevazione tradizionale, evidenziando infine i vantaggi e i limiti delle varie metodologie, nonché i rispettivi campi di applicazione.

Sono state effettuate ricerche a livello bibliografico, in particolare per i rilievi con TDR, che sono poco diffusi nel nostro paese, ma che negli ultimi anni vengono presentati ai convegni internazionali ICOLD.

Per quanto concerne i dettagli dell'esecuzione delle singole metodologie di rilievo ed i risultati ottenuti nel campo delle applicazioni sperimentali, si rimanda direttamente alle singole schede riportate in Allegato.

Nel seguito si riportano le valutazioni critiche e comparative concernenti le tecniche innovative applicate, alla luce delle considerazioni riportate nelle schede descrittive di ciascuna di esse.

Si ricorda inoltre che allo scopo di costruire un quadro il più possibile completo delle opportunità offerte dalle diverse tecniche di monitoraggio remoto recentemente sviluppate, al fine di integrare le potenzialità e di superare limiti di applicazione, sono in corso attività di ricerca anche a livello europeo. Ad esempio CESI ha instaurato una serie di rapporti con Industrie, Enti ed Istituti universitari a livello nazionale ed internazionale, ottenendo di partecipare a progetti per l'applicazione ed il confronto di diverse tecnologie di monitoraggio. I progetti sono:

- Progetto EO-HYDRO sviluppato nell'ambito delle iniziative ESA (agenzia Spaziale Europea) per lo sfruttamento commerciale dei dati satellitare a supporto delle industrie
- Progetto "Monitoraggio da terra di fenomeni di instabilità geologica ad alto rischio e di Grandi Opere Strutturali" sviluppato nell'ambito del programma COFIN del MIUR
- Progetto TERRAFIRMA sviluppato nell'ambito delle iniziative ESA (agenzia Spaziale Europea) per lo sfruttamento commerciale dei dati satellitare a supporto delle industrie.

E' importante sottolineare che i progetti in questione non sono progetti di ricerca, finalizzati cioè allo sviluppo delle tecnologie; queste anzi, sono assunte, in buona sostanza come operative. Lo scopo principale è invece definire i contorni e le specifiche del servizio che può essere offerto ai potenziali utenti, attraverso l'applicazione delle tecnologie a casi rappresentativi e il confronto dei risultati ottenibili.

Un aspetto molto importante del presente lavoro è stato il confronto e la validazione con tecniche tradizionali. In particolare le varie metodologie sono state convalidate confrontando i risultati con quelli ottenuti tramite metodi tradizionali (livellazioni ottiche, pendoli, etc) al fine di valutarne l'accordo e confermare i parametri di target forniti dai "venditori" (tipicamente l'accuratezza di misura), confortati da risultati sperimentali.

## 4 Osservazioni e Commenti

Sono esposti di seguito i commenti e le osservazioni principali emersi dall'analisi e comparazione delle varie metodologie analizzate, rimandando alle schede allegate per maggior approfondimenti.

Alcune tecniche sono più consolidate, essendo suffragate dai risultati ottenuti nel corso di numerosi anni di utilizzo. Altre sono di gran lunga più recenti ed al di là dei confortanti risultati finora ottenuti, ulteriori sviluppi sono necessari. Inoltre il campo del monitoraggio è un settore in evoluzione e pertanto le nostre conclusioni non possono che essere limitate nel tempo ed alla attuali conoscenze ed evoluzioni.

Per quanto riguarda le stazioni topografiche e le reti Gps si segnala che sono tecnologie ormai consolidate e che non richiedono un particolare approfondimento o sperimentazione in quanto diffusamente in uso per il controllo delle dighe e dei versanti. In particolare per le misure topografiche si ritiene, sulla base di esperienze maturate su vari impianti, che una stazione totale possa riunire in un sistema solo tutte le misure riguardanti appunto il collimatore ottico manuale, il teodolite manuale e il sistema distanziometrico automatico.

Si riscontra inoltre come numerose tra le tecniche di monitoraggio analizzate appartengono al campo del monitoraggio remoto perché non vengono realizzate all'interno della stessa struttura o dell'ambiente circostante. Tali tecniche sviluppate negli anni più recenti mettono a disposizione irrinunciabili opportunità nell'individuazione e caratterizzazione dei movimenti delle strutture nonché dei movimenti dei versanti. Tali tecniche permettono infatti la individuazione e la perimetrazione delle aree eventualmente in movimento sulla base di analisi di estese porzioni di territorio.

Inoltre la necessità di disporre di dati di spostamento superficiale, sia di strutture che di versanti, senza dover accedere ad aree da controllare ed eventualmente instabili, ha stimolato negli ultimi anni la ricerca di nuove tecniche di misura, che sfruttando le più recenti tecnologie consentono di ottenere una valutazione generale degli spostamenti del settore indagato ed un controllo puntuale e preciso degli spostamenti.

Ciò può rappresentare un aspetto fondamentale nella gestione di situazioni di emergenza ove è necessario conseguire tempestivamente dati di spostamento di aree in rapida evoluzione, con frequenza tanto maggiore quanto più elevata è la velocità del fenomeno controllato. Paradossalmente infatti, quanto maggiore è la velocità di evoluzione di un fenomeno e quindi la frequenza di acquisizione dei dati necessari per il suo controllo, tanto più rischioso diventa l'accesso diretto dell'area in questione per installarvi strumentazione convenzionale di misura.

La sperimentazione estesa ad un numero significativo di applicazioni e di singoli casi ha messo in evidenza, a nostro parere, le enormi potenzialità delle nuove tecnologie in termini di elementi di conoscenza aggiuntivi ed integrativi, rispetto a quelli ottenibili dalle tecniche tradizionali.

Basti pensare alla possibilità, consentita dalla nuova tecnologia SAR, di indagare fenomeni di movimento ricostruendone la storia temporale di circa un decennio ed alla opportunità di acquisire informazioni accurate su aree estese di territorio, tali da fare riconoscere fenomeni, non altrimenti individuabili se non con costose campagne di misura mirate.

Le varie tecnologie, applicate alla misure degli spostamenti di strutture o di versanti, sono per molti aspetti complementari e si prestano pertanto ad essere tra loro integrate anche alle metodologie tradizionali, per fornire un quadro evolutivo completo delle strutture o delle aree controllate. A tal proposito si sottolinea la possibilità di utilizzare un rilievo laser scanning per creare il modello digitale della struttura e/o del terreno su cui sovrapporre le misure Sar effettuate sia da satellite che da stazione terrestre.

Queste tecniche forniscono informazioni d'insieme sull'evoluzione di aree estese o di grandi strutture, senza che sia necessario accedere alla aree controllate. Quest'ultimo aspetto le rende particolarmente adatte:

- All'impiego in situazioni critiche, quali ad esempio emergenze idrogeologiche.
- Alla verifica dell'idoneità al controllo delle reti di misura puntuali (le sole che possono essere automatizzate); da tale verifica possono scaturire indicazioni utili ad eventuali riconfigurazioni delle reti di controllo puntuali per poterle adeguare all'evoluzione dei fenomeni controllati.

I numerosi progetti di ricerca in corso porteranno a rapidi sviluppi delle apparecchiature e dei software di elaborazione, che ne aumenteranno la diffusione e ne semplificheranno l'uso nel breve-medio periodo.

Infine al fine realizzare un confronto tra le varie metodologie analizzate ed al fine di fornire ai gestori delle dighe un "vademecum" sulle varie applicazioni e delle loro potenzialità si è approntata la seguente tabella riassuntiva, scegliendo i seguenti parametri di riferimento:

- 1) Operatori: necessità o meno di tecnici esperti per la raccolta e la elaborazione delle informazioni.
- 2) Acquisizione: manuale(o periodica) o con possibilità di acquisizione in modo automatico da parte di un sistema di monitoraggio
- 3) Campo di misura: suddivisione tra le tecniche che permettono il rilievo dell'intero oggetto (struttura o versante) e quelle che si limitano ai punti di rilevazione
- 4) Campo di applicazione: possibilità di controllo di strutture o di versanti, ciò è legato fondamentalmente alla precisione del sistema ed alle variazioni che si vogliono cogliere dei fenomeni controllati

Metodologia	Operatori	Acquisizione	Campo di misura	Campo di applicazione	Note
Stazione Topografica	Tecnici gestore	Manuale Automatica	Target	Diga Versante	
Sistema GPS	Tecnici gestore	Manuale Automatica	Target	Versante	
Sar Satellitare	Esperti	Manuale	Punti (Permanent Scatter)	Diga Versante	Limite per la presenza dei PS
Sar terrestre	Esperti	Manuale	Intero Oggetto	Diga Versante	1 sola direzione di spostamento
Laser Scanning	Esperti	Manuale	Intero Oggetto	Versante (monitoraggio e rilievo strutturale pareti rocciose)	Per la diga orientato al rilievo geometrico non al monitoraggio
TDR (tubi inclinometrici)	Tecnici gestore	Manuale Automatica	Continuo lungo il tubo	Versante	Informazioni qualitative degli spostamenti

Concludendo si sottolinea che il presente lavoro del comitato è limitato alle attuali conoscenze ed evoluzioni in quanto il campo del monitoraggio è in continua evoluzione, come si riscontra a livello internazionale per quanto riguarda le applicazioni dei cavi a fibre ottiche (Tdr), che sono invece allo stato iniziale in Italia.

## **5 SCHEDE ALLEGATE**

Rilievi SAR (Synthetic Aperture Radar) satellitari

Rilievi SAR terrestri

Rilievi laser scanning terrestre (laser a scansione)

Applicazioni reti Gps (Global Position System)

Sistemi optoelettronici (stazione topografica totale)

Rilievi con TDR (Time Domain Reflectometry)

Sperimentazioni ENEL