

## TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY)



### 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 metodologia TDR</i>	3
2.	<i>Applicazioni geotecniche (anche in Italia)</i>	3
3.	<i>Applicazioni della metodologia TDR in campo internazionale</i>	7
7.	<i>Riferimenti bibliografici</i>	14



## **1. Premessa**

Scopo del presente documento è quello di descrivere a grandi linee l'utilizzo della tecnologia dei TDR (Time Domain Reflectometry), 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.

Si precisa che le applicazioni di seguito descritte, salvo quelle geotecniche (accoppiate a tubi inclinometrici) sono state raccolte da articoli o da presentazioni raccolte in ambito internazionale, tipicamente ai convegni Icold.

## **2. Caratteristiche della metodologia TDR**

Il sistema TDR, sviluppato principalmente dall'industria delle telecomunicazioni per la localizzazione di difetti o interruzioni nei cavi, si basa sulla tecnica dell'ecometria applicata ai cavi. Un impulso elettrico è inviato all'interno del cavo mediante una centralina che successivamente provvede ad analizzare la riflessione dall'impulso. Attraverso l'analisi della polarità, dell'ampiezza, della frequenza e di altre caratteristiche elettriche della riflessione, sono localizzate, con alta precisione, la posizione e l'entità della deformazione.

Tale tecnica è stata sviluppata originariamente dalle società di comunicazione per il controllo dei cavi (1931); successivamente la scoperta che tale tecnica permetteva di individuare il contenuto di umidità nei terreni diede un impulso all'utilizzo della tecnica nel campo agricolo(1985). Negli anni settanta ed ottanta U.S. Bureau of Mines adottò intensivamente la tecnologia per localizzare eventuali crolli nel soffitto delle gallerie delle miniere; analoghe applicazioni furono sviluppate anche nelle miniere canadesi.

Infine agli inizi del 1990, il Dipartimento dei trasporti californiano (Caltrans) diede impulso alla ricerca nel campo delle applicazioni TDR per monitorare zone instabili e successivamente ci fu una diffusione di tale metodologia nel campo geotecnico e geologico.

## **2. Applicazioni geotecniche (anche in Italia)**

Le applicazioni presenti in Italia si riferiscono al campo del controllo di movimenti di versante.

La metodologia consiste nella posa in opera di un cavo coassiale in un pozzo perforato in una area instabile (tipicamente in contemporanea all'installazione dei tubi inclinometrici) e di renderlo solidale alla pareti del foro mediante cementazione in modo che le eventuali deformazioni interagiscano con il cavo, deformandolo.

I cavi coassiali sono quelli comunemente usati nelle telecomunicazioni (televisioni e trasmissioni dei dati) e sono costituiti da un conduttore cilindrico metallico centrale circondato da materiali isolante, da un conduttore metallico che riveste le parte isolante e da un rivestimento protettivo esterno generalmente di tipo plastico.



Il principio delle misure TDR consiste nell'utilizzare una apposita centralina collegata al cavo coassiale: la centralina genera degli impulsi elettrici e se gli impulsi incontrano una variazione nell'impedenza caratteristica del cavo, vengono riflessi. Queste variazioni dell'impedenza possono essere causate da piegature e rotture. La centralina confronta gli impulsi riflessi con quelli emessi e determina il coefficiente di riflessione in ogni punto.

Gli impulsi generati si trasmettono lungo il cavo ad una velocità leggermente inferiore a quella della luce nel vuoto; quando la velocità di propagazione di un particolare cavo è nota, la distanza di ogni riflessione può essere individuata.

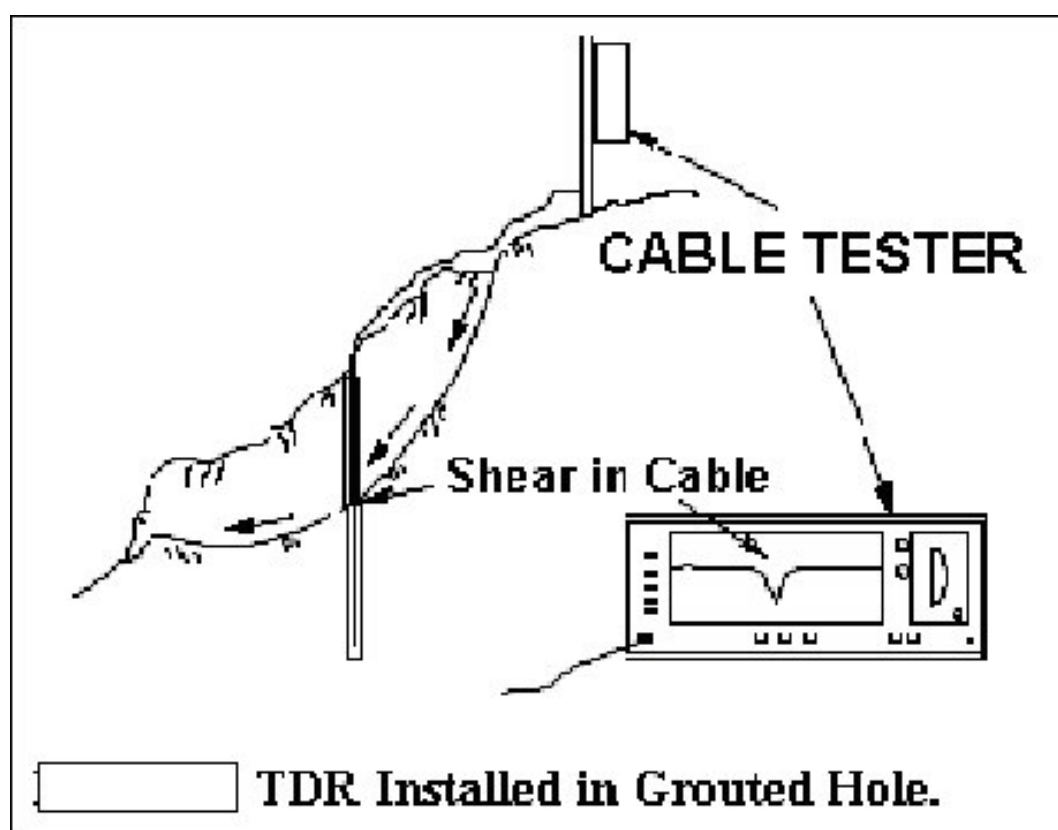


Figura 1 – Schema di applicazione TDR nel campo geotecnico (accoppiato a tubi inclinometrici)

La precisione delle misure (impulso o ampiezza del segnale lungo il cavo) è molto elevata, in funzione delle caratteristiche del cavo e della profondità del foro; ad esempio per un cavo di 100 o 200 metri, la precisione è rispettivamente pari a 52 e 100 millimetri.

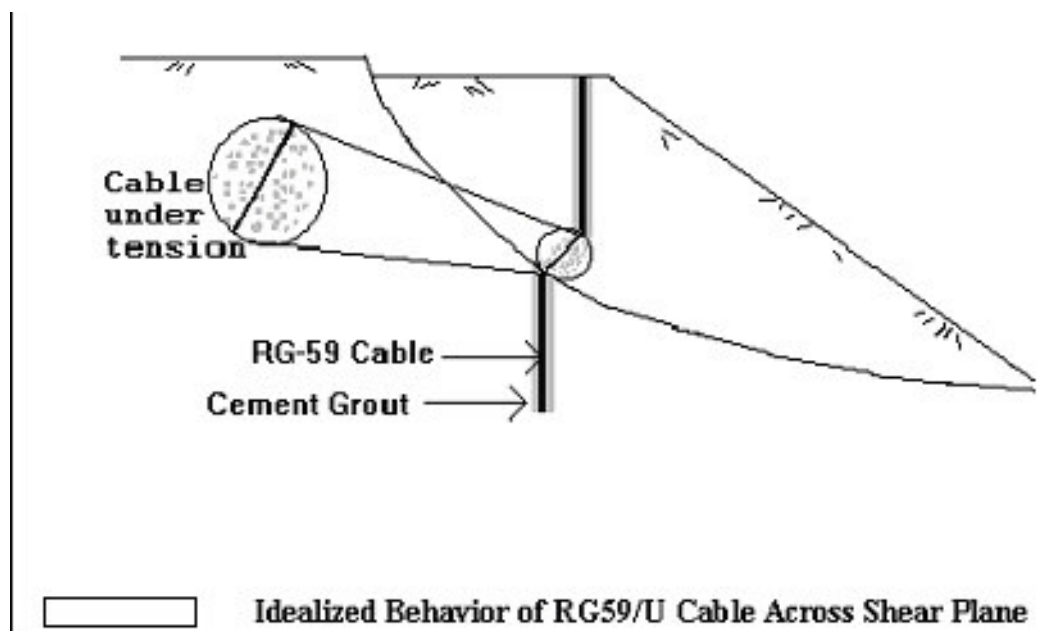


Figura 2 – Schema di applicazione TDR nel campo geotecnico (accoppiato a tubi inclinometrici)

L'elaborazione dei dati avviene mediante un software applicativo appositamente sviluppato che tipicamente permette i seguenti tipi di elaborazione dei dati:

- Elaborazione assoluta con la visualizzazione del coefficiente di riflessione in funzione della posizione-profondità del cavo.
- Elaborazione differenziale con la visualizzazione del coefficiente di riflessione calcolata rispetto ad una misura di riferimento.
- Elaborazione equivalente al taglio con la visualizzazione dello spostamento, espresso in millimetri, calcolata rispetto ad una misura di riferimento (elaborazione possibile in via teorica)

La figura seguente riporta un esempio di elaborazione dei dati



Figura 3 – Schema di applicazione TDR nel campo geotecnica (accoppiato a tubi inclinometrici)

Nella precedente figura sono riportati l'ampiezza dei segnali e la lunghezza del cavo (profondità di perforazione). La prima evidente discontinuità è segnalata 39,2m (ottenuti da 42,37-progressiva del cavo, a cui vanno sottratti 3,18 m di cavo esterno). Tale discontinuità è indice di stress localizzabile ed è da correlare la piano di scivolamento, in accordo con quanto indicato dalla sonda inclinometrica.

La metodologia permette la individuazione con elevata precisione delle superfici di scorrimento o le zone di deformazione in un versante instabile

Il limite principale della metodologia consiste nel fatto che la misura fornisce informazioni di tipo qualitativo e non sono ancora disponibili procedure per valutare l'entità delle deformazioni.

Sono in corso ricerche per correlare in modo quantitativo i movimenti con le deformazioni del cavo di misura. Ciò renderebbe possibile la misura di fori inclinometrici anche quanto la deformazione è tale da impedire di calare la sonda inclinometrica. Tale applicazione pertanto può essere un compendio ai tubi inclinometrici, considerato anche il costo limitato.



I cavi del sistema TDR possono essere letti a distanza, con un sistema automatico, evitando pertanto l'intervento del tecnico in campo.

### **3. Applicazioni della metodologia TDR in campo internazionale**

A livello internazionale le presentazioni relative alle applicazioni TDR sono finalizzate ai seguenti campi di applicazione:

- Controllo delle perdite in sbarramenti in terra (dighe, rilevati e canali)
- Rilievo dei movimenti tra rivestimento e plinto per le dighe in terra
- Rilievo dei movimenti e spostamenti del rivestimento in calcestruzzo di CFRD (concrete face rockfill dam)
- Controllo delle temperature in dighe in calcestruzzo

Per quanto riguarda il controllo delle perdite nelle dighe in terra si evidenzia che la misura delle TDR permette la rilevazione del campo di temperatura all'interno dell'opera e indirettamente di individuare la presenza di eventuali filtrazioni. In aggiunta in alcuni casi la finalità è il controllo dei movimenti della struttura (le seguenti figure sono tratte dalla presentazione di Johansson):

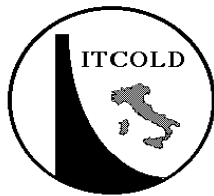


#### **Installations in Sweden**

1. Lövön (1998)	Seepage
2. Sädva (1999)	Movements
3. Aitik (2000)	Both
4. Ajaure (2001)	Movements
5. Vargfors (2001)	Seepage
6. Hylte dam and dyke (2002)	Seepage
7. Suorva West (2003)	Seepage
8. Suorva East and Sågviksdammen (2004)	Movements
9. Bastusel, 3 dams (2004)	Seepage



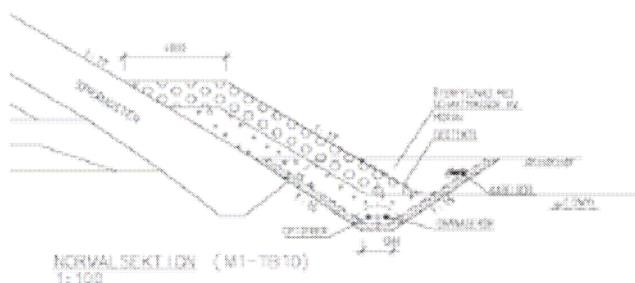




HydroResearch  
Sensornet AB

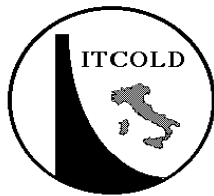
## Installation principles

- Seepage
  - Fibre installed deep inside the dam (Lövön and Aitik)
  - Fibre installed inside the downstream part when a toe berm is constructed (Vargfors, Suorva West, and Bastusel)
  - Fibre installed in a downstream trench (Hylte)
- Movements
  - Fibre installed at the crest on different levels (Ajaure, Sädva, Suorva East and Sångviksdammen)
  - Fibre installed inside the dam (Aitik)
- Temperature for frost penetration (Sädva, Suorva)

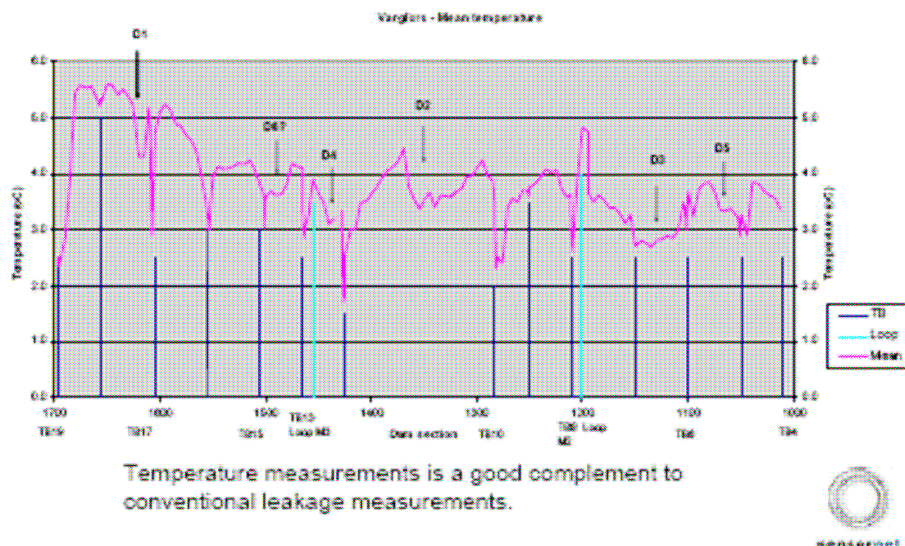


The DTS installation is a complement to conventional leakage measurements to detect seepage outflow areas or changes

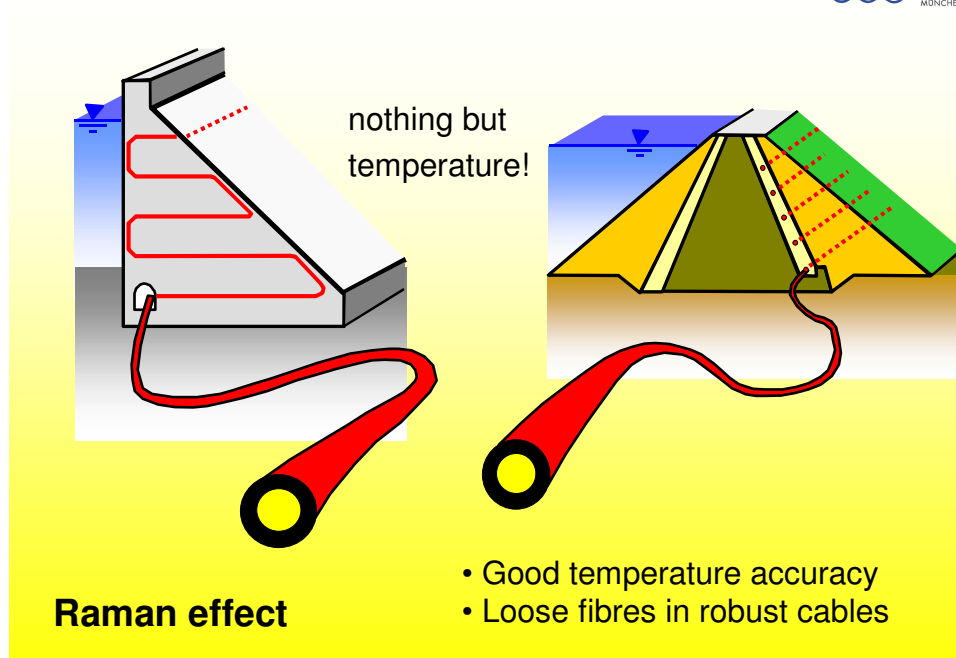


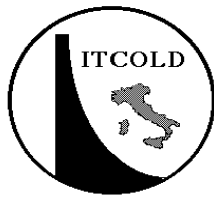


## Vargfors – Result Dec 2003

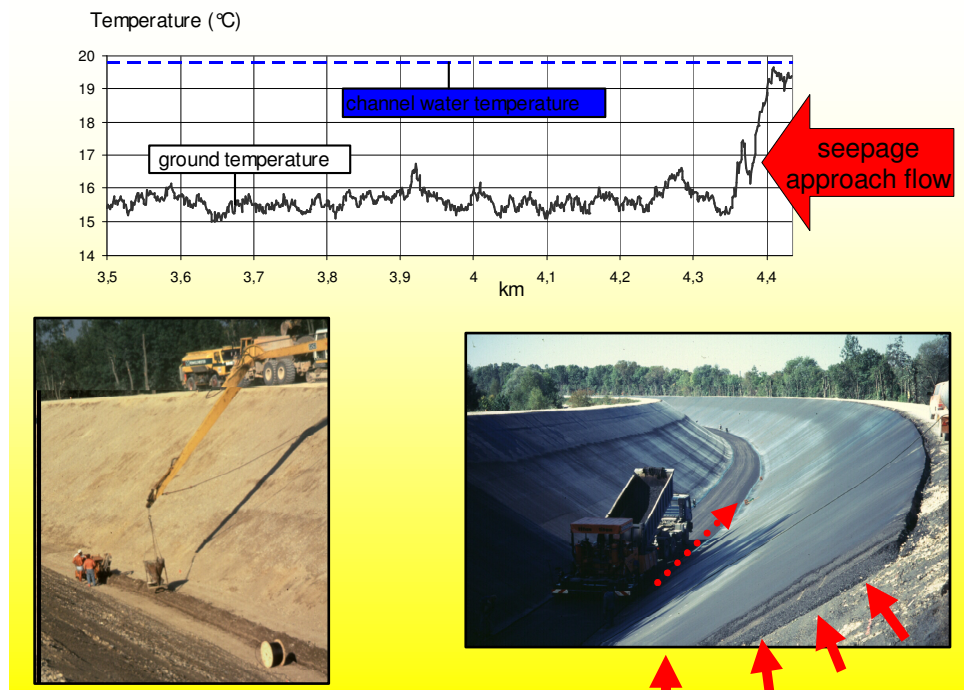


Nelle seguenti Figure sono invece riportate alcune applicazioni presentate da Aufleger (Università di Monaco), finalizzate sempre alla raccolta dei dati termici e di misure di deformazione sia per le dighe in calcestruzzo sia per quelle in terra:



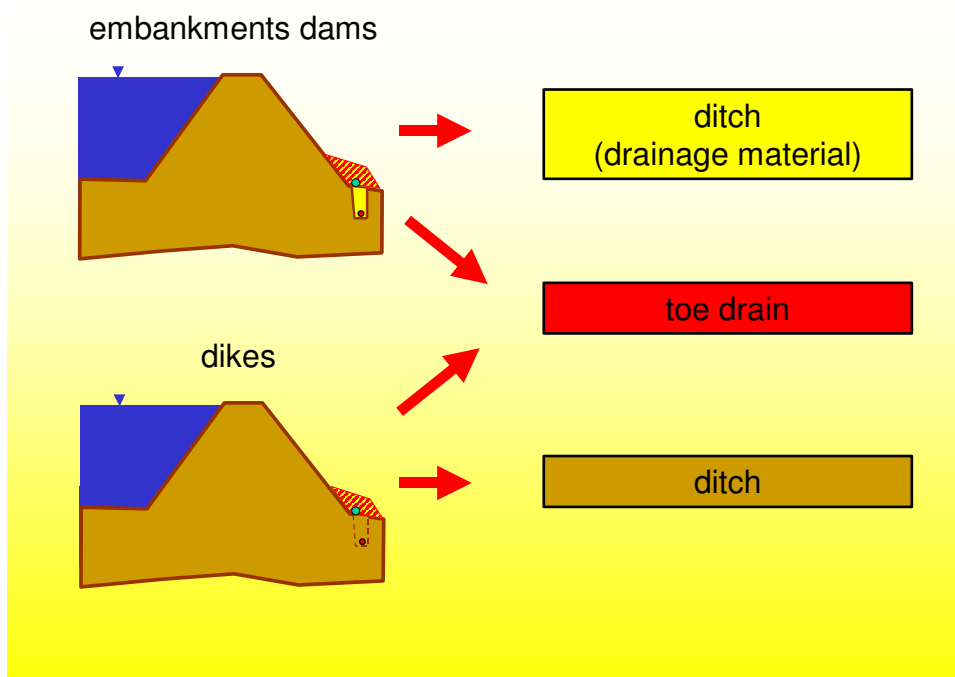


nel campo di controlli delle perdite nei canali idraulici

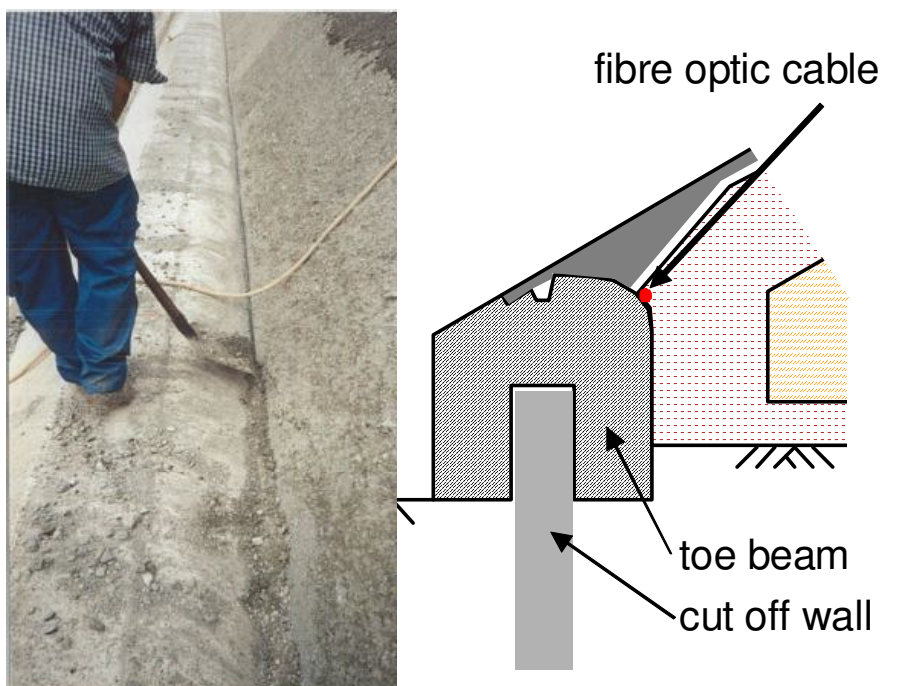


nel campo degli argini dei fiumi (Yangtze in Cina)





Nel campo delle dighe in terra con manto impermeabile, il cavo a fibre ottiche viene posizionato nella zona di contatto tra plinto e rivestimento (la diga in oggetto è riportata sulla copertina del presente documento)

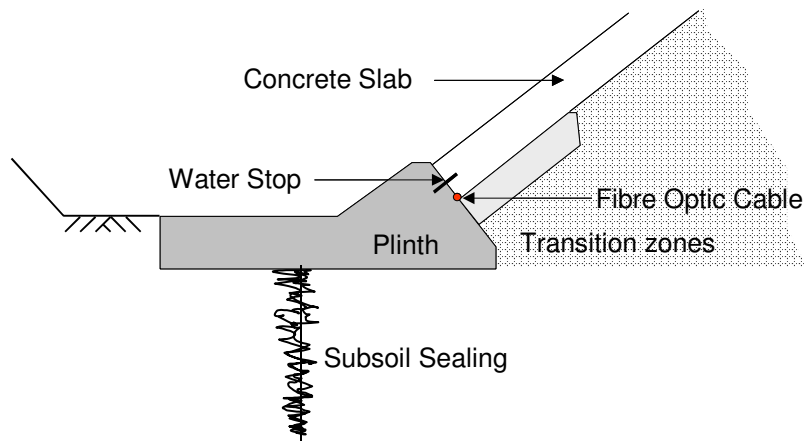




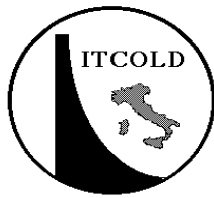
Inoltre nel campo delle dighe CFRD (concrete face rockfill dam) la metodologia viene utilizzata per il controllo dei movimenti-deformazioni-stress del manto di rivestimento in calcestruzzo ed al contatto con il plinto di base.



DFOT for CFRD

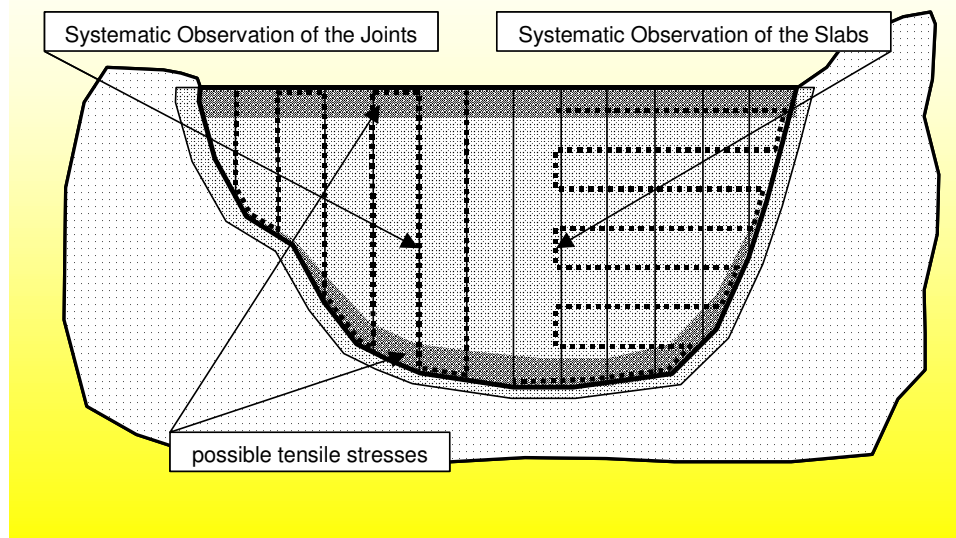




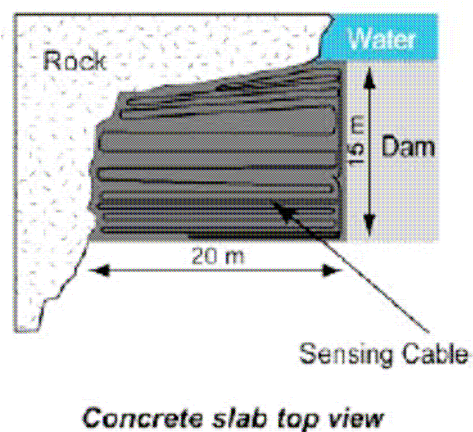


## DFOT for CFRD

### Layout for systematic observation of the slab



Infine nel campo delle dighe in calcestruzzo per il controllo delle temperature nella massa muraria durante le fasi di getto e per il controllo del calore di idratazione (ref. Comitato Svizzero).



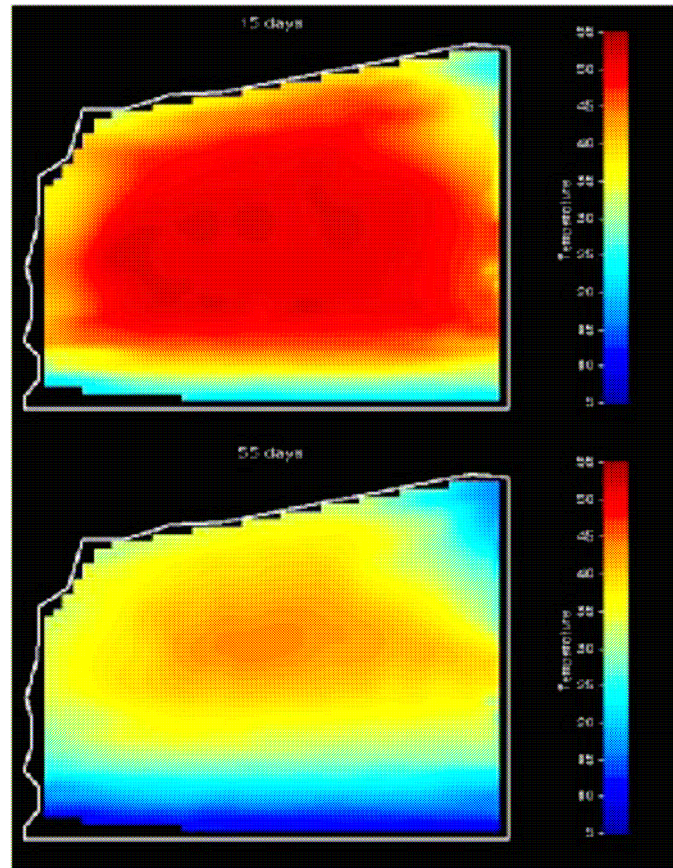
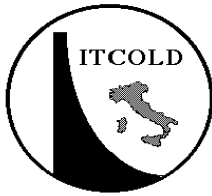
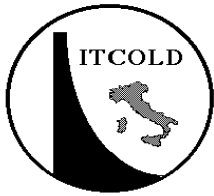


Figure 1.15-4: Mesures de température, 15 et 55 jours après le bétonnage (Source MET-EPFL, Omnisens, SMARTEC).

## 7. Riferimenti bibliografici

- William F. Kane:  
"Monitoring slope movement with Time Domain Reflectometry"
- Anderson; Green, Kane:  
"Monitoring of embankment stability using embedded coaxial cables"
- Comitato Svizzero delle dighe:  
"Dispositif d'Auscultation des barrages – Concept, fiabilité et redondance" Avril 2005
- Sam Johansson:  
"Some Experiences from seepage detection and monitoring in embankment dams using fibre optics system for distributed temperature sensing"





- *Markus Aufleger:*  
*"Innovative dam monitoring tools based on distributed temperature measurement"*
- *TUM – Technische Universität München:*  
*"Leakage Detection Re-instrumentation"*
- *Second International symposium on time domain reflectometry for innovative geotechnical applications*