



**REMTECH EXPO**  
FERRARA FIERE

**21 - 23  
SETTEMBRE  
2022**



## **MONITORAGGIO DIGHE E TERRITORIO FRANE E VERSANTI**

ANDREA ZATTONI ISMES S.p.A.

**Gestione del territorio e tecnologie sostenibili**

**ITCOLD**

**21 settembre 2022**

[www.remtechexpo.com](http://www.remtechexpo.com)



## *Sistemi di monitoraggio: concetti fondamentali*

La «Missione» del Monitoraggio è : «fornire il maggior numero di **informazioni** possibili nel modo e nel **formato** più semplice e completo per essere utilizzato da chi ha la responsabilità di prendere decisioni

«**Le informazioni**» sono il risultato della raccolta, elaborazione, gestione e organizzazione di dati in modo tale da accrescere il livello di **conoscenza** di chi le riceve

In altre parole è il contesto in cui i dati sono ottenuti

# Monitoraggio: dalla teoria alla pratica



## Le 5 domande

### PERCHE'

- Individuare i motivi per cui è richiesta l'installazione di un sistema di monitoraggio (controllo durante la costruzione, verifica del comportamento nel tempo, situazioni di emergenza)
- **Prendere una decisione**

### COSA

- Definire i **fenomeni fisici** da monitorare
- Identificare le **grandezze** e le **misure** del sistema di monitoraggio

### DOVE

- Definire l'**architettura** del Sistema di monitoraggio
- Definire tipologia manuale o automatica

### QUANDO

- Definire la **frequenza delle misure**
- Identificare il sistema più appropriato di **acquisizione dei dati** e **gestione dei dati**

### CHI

- Individuare il **team** responsabile della gestione e manutenzione del Sistema di monitoraggio: **ingegneri esperti di strumentazione, esperti nella gestione dei dati, ingegneri per l'interpretazione dei dati**
- Organizzare/ Prevedere un **centro di gestione dei dati**

# Monitoraggio: utenti finali e scopo

## PROGETTAZIONE E LAVORI

	ATTORI	SCOPO	REQUISITI MONITORAGGIO
<b>Supporto alla progettazione</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proprietari / Concessionari</li> <li>• Progettisti</li> <li>• Consulenti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Misurare e rilevare i principali parametri necessari per la progettazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestito principalmente per mezzo di misure manuali o data logger provvisori</li> </ul>
<b>Verifica dell'avanzamento dei lavori</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proprietari / Concessionari</li> <li>• Impresa di costruzione</li> <li>• Consulenti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e le condizioni in esercizio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrazione tra misure manuali e automatiche</li> <li>• Giornale lavori</li> <li>• Report periodico automatico</li> <li>• Integrazione con BIM</li> </ul>
<b>Sicurezza durante i lavori</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresa di costruzione</li> <li>• Consulenti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantire il rispetto delle condizioni di sicurezza</li> <li>• Verificare ogni possibile variazione del comportamento dell'opera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrazione fra misure manuali e automatiche</li> <li>• Informazioni stato dei lavori</li> <li>• Report periodico automatico</li> <li>• Integrazione con BIM</li> </ul>
<b>Qualità</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proprietari / Concessionari</li> <li>• Impresa di costruzione</li> <li>• Consulenti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dati per supportare il rispetto delle condizioni progettuali e input rispetto il comportamento effettivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestione misure manuali e automatiche</li> <li>• Capacità di generare rapporti automatici</li> </ul>

# Monitoraggio: utenti finali e scopo

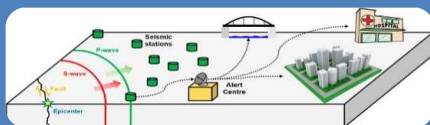
## ESERCIZIO

### ATTORI

### SCOPO

### REQUISITI MONITORAGGIO

#### Sistema di supporto alle decisioni



- Enti Preposti
- Impresa di costruzione
- Proprietari / concessionari

- Sistema di supporto alle decisioni in tempo reale per prevenire situazioni di pericolo e prendere decisioni adeguate

- Acquisizione dati automatica
- Integrazione fra l'analisi dei dati e la comparazione con i modelli FEM

#### Gestione emergenze



- Enti Preposti
- Impresa di costruzione
- Proprietari / concessionari
- Consulenti

- Monitoraggio in tempo reale per lo studio dell'evoluzione del fenomeno da controllare

- Sistema automatico con funzionalità in tempo reale
- Integrazione fra sistemi differenti

#### Esercizio



- Proprietari / concessionari
- Progettisti
- Impresa di costruzione
- Enti Preposti

- Misure e dati a supporto dello studio fra comportamento atteso (Progetto) e situazione reale

- Sistema integrato
- Analisi dati fuori linea con modelli
- IoT per previsione comportamento nel tempo

#### Contenziosi



- Proprietari / concessionari
- Consulenti
- Impresa di costruzione
- Enti Preposti

- Informazioni tecniche oggettive per permettere di definire l'evoluzione di ogni situazione critica generatasi

- Analisi dati (Sistema manuale e automatico)
- Bollettini in modo automatico per analisi (Progetto vs Presente)

# Scelte, installazione gestione e risoluzione problemi

- Grandezze da misurare
- Tipo di sistema (manuale o automatico)
- Sistema di trasmissione dei dati (collegamenti diretti, radio, wi-fi)
- Requisiti Paese (regolamenti, normative, certificazioni, omologazioni)
- Programma lavori e risoluzione/gestione eventuali interferenze
- Definire adeguato piano di manutenzione per garantire il funzionamento del sistema nel tempo
- Definire modalità di rappresentazione dei dati e loro distribuzione
- Prevedere la gestione e analisi dati ed eventuale Sistema di Supporto alle Decisioni
- Valutazione economica (budget) che comprenda anche la quota parte relativa alle opera accessorie (elettromeccaniche e civili) e l'onere relative alla manutenzione negli anni

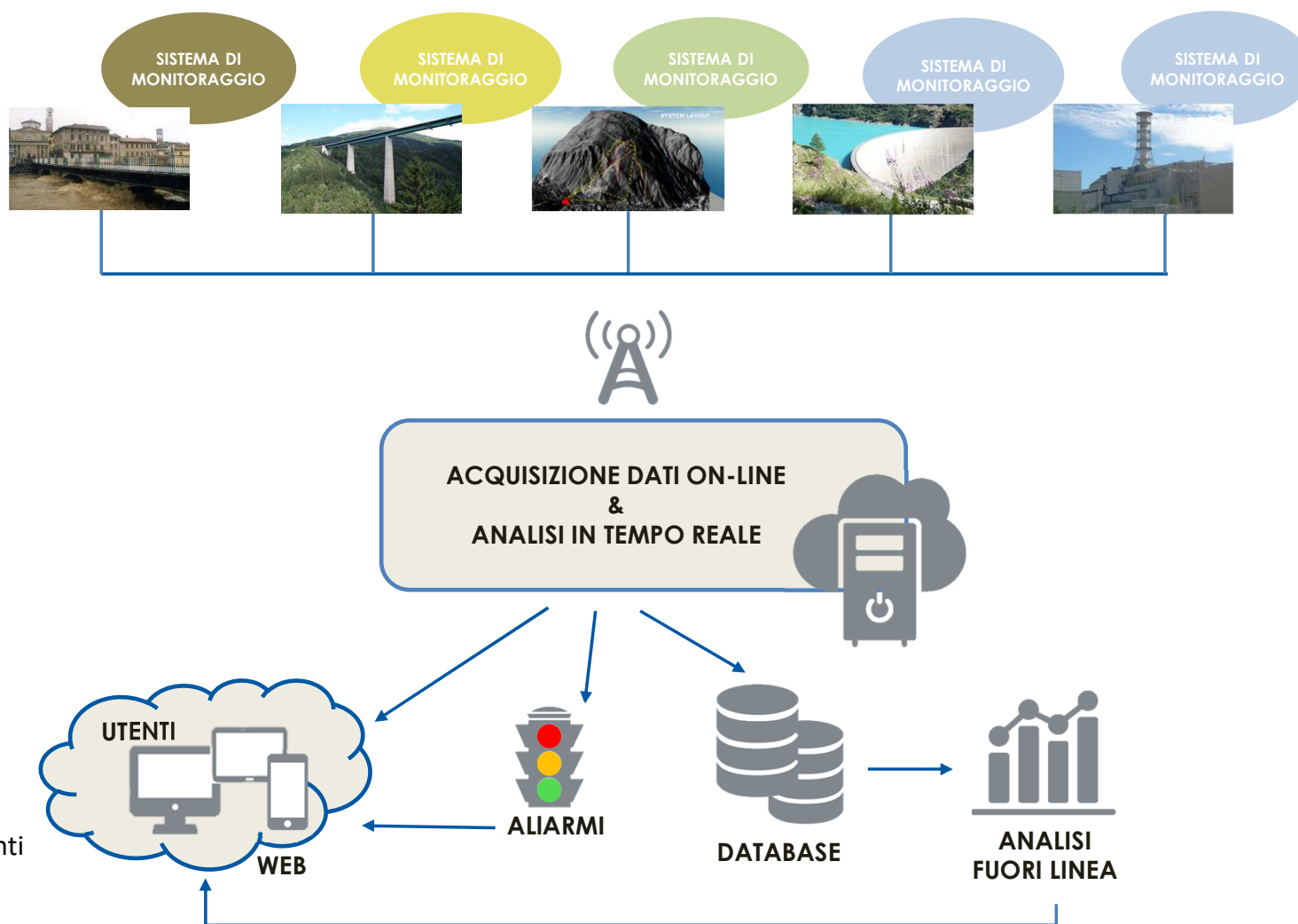
# Sistema di Monitoraggio generalità

Il Sistema di monitoraggio si compone di:

- Strumentazione atta a rilevare le grandezze fisiche richieste
- Sistema di acquisizione dati per la lettura e memorizzazione delle misure
- Sistema di trasmissione dati per la centralizzazione delle misure
- Sistema per la gestione dei dati, visualizzazione e elaborazione on-line e off-line



# Sistema di Monitoraggio: architettura



- Gestori, proprietari
- Enti Preposti
- Imprese generali
- Progettisti / Consulenti



## *Sistema di Monitoraggio : requisiti*



I requisiti più importanti sono:

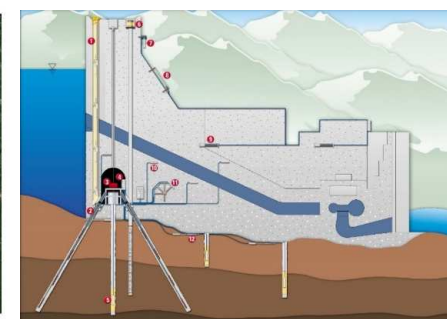
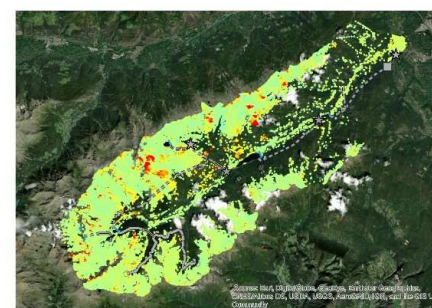
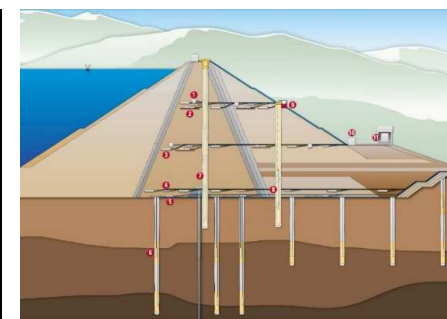
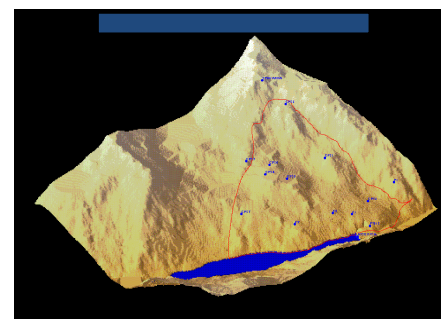
- Flessibilità: possibilità di configurarlo in funzione della tipologia della diga e del dissesto in atto
- Espandibilità: per future integrazioni
- Affidabilità: per garantire la disponibilità dei dati
- Semplicità della manutenzione: per limitare eventuali periodi di fuori servizio
- Ridondanza: per permettere la comparazione tra misure manuali e misure automatiche (l'automatizzazione delle misure deve permettere l'esecuzione di misure manuali di controllo)



## Sistemi di Monitoraggio : cosa misurare



- Livelli idrici
- Grandezze meteorologiche
- Temperatura (aria, acqua, calcestruzzo)
- Stato tensionale (corpo diga, fondazioni, ammassi rocciosi, terreni, sistemi di consolidamento)
- Spostamenti (orizzontali e verticali)
- Pressione (corpo diga, sovrappressioni, pressione in terreno e roccia);
- Perdite, circolazione idrica;
- Effetti dinamici (accelerazioni, sismi);
- Topografia (automatica e tradizionale), rete GPS, rete GNSS,
- SAR Interferometria satellitare e da terra



## *Sistemi di Monitoraggio: funzionalità*

Le principali funzionalità possono essere riassunte in:

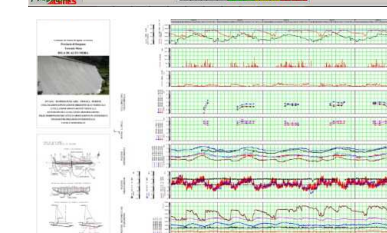
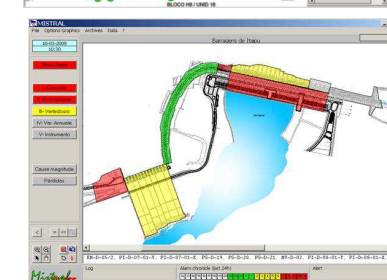
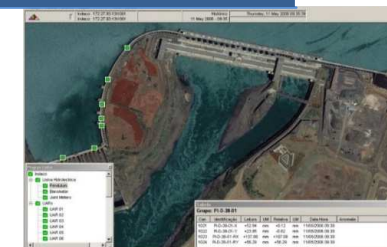
- Lettura in continuo o secondo frequenze prefissate
- Comparazione delle misure con valori limite o di soglia o con il comportamento teorico da modellazione matematica
- Trasmissione in remoto ai centri di gestione delle misure acquisite e degli eventuali allarmi (funzionamento del Sistema, superamento di soglie). Allarmi anche via e-mail, SMS o Telegram
- Capacità di variazione della frequenza di acquisizione (accelerazione) delle misure a seguito di evento esterno (ad esempio sisma, attivazione di disseti lungo il bacino)



## Sistema di Monitoraggio : gestione dei dati



- Interfaccia per la gestione del Sistema HMI di facile utilizzo (GIS, cartografia)
- Visualizzazione dei dati in formato numerico e grafico (differenti scale temporali)
- Capacità di **acquisire e gestire** dati da **sistemi di monitoraggio differenti** (statico, dinamico, idro meteo, territorio)
- **Conversione** delle grandezze misurate da valori elettrici a grandezze fisiche
- Impostazione di **soglie di allarme** (strumentali e fisiche)
- **Validazione** dei dati
- **Analisi dati in tempo reale** con generazione di messaggi di allerta e allarme
- Applicazione di **modelli deterministici** per lo studio del **comportamento strutturale della diga o dei dissesti**
- **Generazione** di rapporti (fuori linea e in automatico)
- **Distribuzione** dei dati e informazioni (web, rete locale LAN)



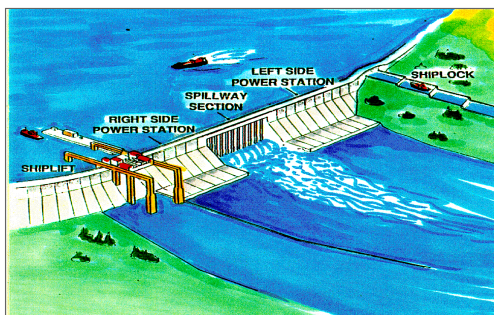


## Monitoraggio di una diga: approccio complessivo

Diga, sbarramento, opere accessorie (scarichi, canale di derivazione, opera di presa) aree a valle diga

Corpo diga e fondazioni

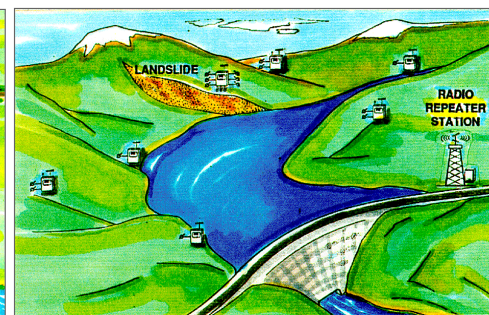
Serbatoio e bacino idrico



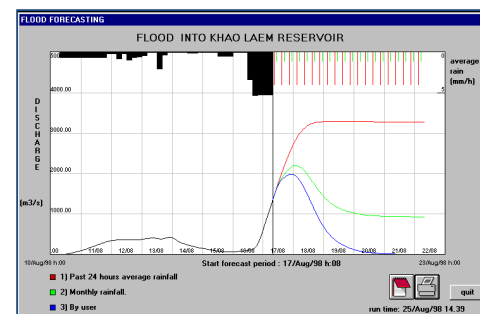
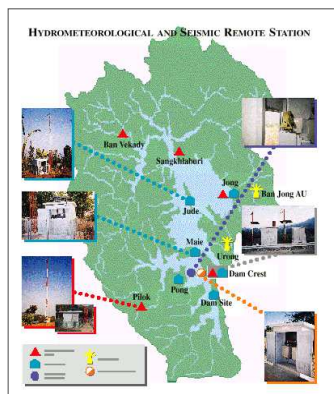
Monitoraggio di tipo strutturale (statico e dinamico), idraulico,



Monitoraggio di tipo strutturale (statico e dinamico), idraulico,



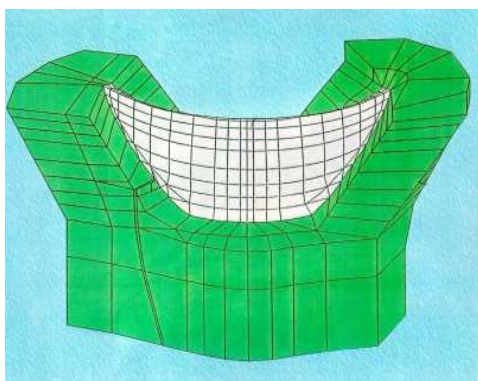
(Sistemi di monitoraggio meteo-idrogeologico, stabilità dei versanti e delle sponde, sistema di monitoraggio microsismico, sistema gestione bacino (previsioni))



## Monitoraggio: studio comportamento della struttura

I dati forniti da un sistema di monitoraggio vengono utilizzati dagli ingegneri che devono studiare il comportamento di un' opera d'arte come indicatori del comportamento attuale dell'opera stessa che, comparati, mediante applicazione di modelli matematici, ai parametri assunti in sede di progetto di verificarne il comportamento nel tempo.

E' possibile infatti rilevare con il monitoraggio gli effetti prodotti dalle grandezze causa e verificare lo scostamento dal comportamento effettivo rispetto al modello definito



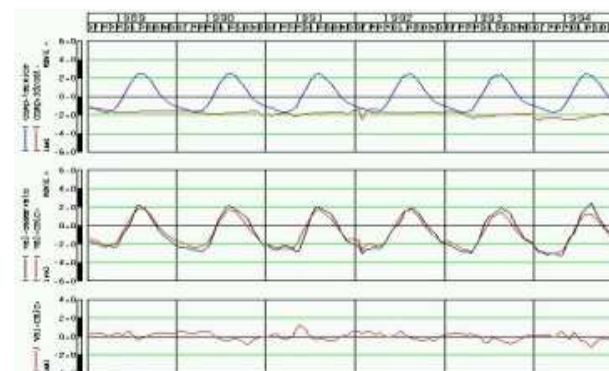
Previsione del modello



Risultati del modello vs  
misure rilevate

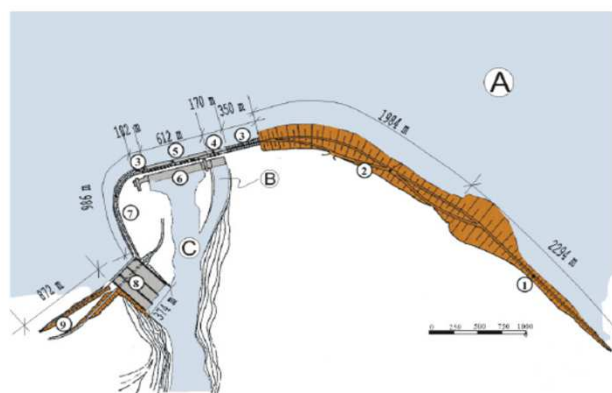


Scostamenti

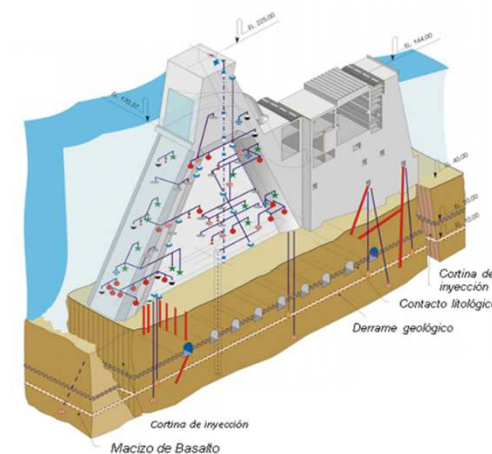


## Progetti di riferimento. Diga di Itaipu

La diga di Itaipu ha una lunghezza complessiva di 7,919km e altezza massima di 196 m. Si compone di una parte in calcestruzzo a gravità dove sono ubicati i 20 generatori di capacità cadauno di 700 Mw per un totale di capacità produttiva pari a 14.000 Mw, una parte in rock fill e la restante parte in terra.



- A - Itaipu Reservoir - El. 220 m.a.s.l.
- B - Downstream Level - El. 100 m.a.s.l.
- C - Diversion Channel
- 1 - Left Earthfill Dam
- 2 - Rockfill Dam
- 3 - Left and Right Connection Dams - Buttress
- 4 - Diversion Structure - Massive Concrete
- 5 - Main Dam - Hollow Gravity Concrete
- 6 - Powerhouse
- 7 - Right Wing Dam - Buttress
- 8 - Right Earthfill Dam





## Progetti di riferimento. Diga di Itaipu



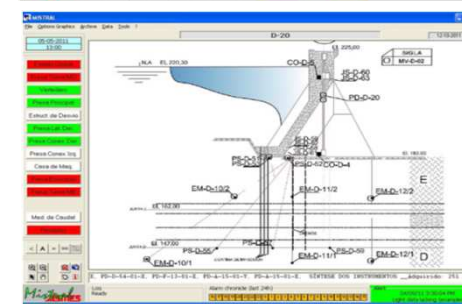
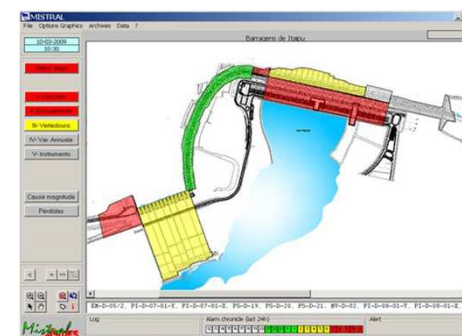
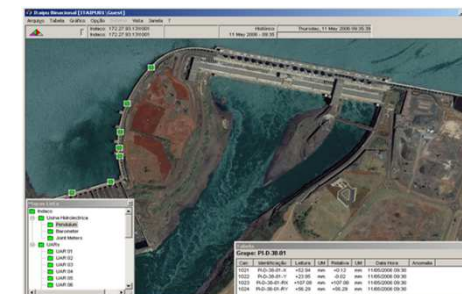
Il Sistema di monitoraggio della diga a partire dalla costruzione si compone di circa 2.300 strumenti di misura installati in Fondazione e nel corpo diga.

Gi strumenti sono stati installati in Fondazione e nel corpo diga in calcestruzzo, nella sezione in rock fill e in quella in terra. La diga nel suo complesso ha circa 5.200 dreni.

Circa 305 sensori compongono il Sistema di monitoraggio automatic (ADAS).

Il Sistema di monitoraggio è stato completato con un Sistema di Supporto alle Decisioni che analizzando i dati in tempo reale ed eseguendo una comparazione tra sensori di tipologia differente per soglie di allarme e gradiente fornisce lo stato della diga in continuo

Type of Reading to be Automated	Type of Instrument	Quantity
Displacements of the Structures	Direct Pendulums	15
Displacements of the Structures	Inverted Pendulums	9
Seepage	Flow meters	40
Deformations of the Rocky Foundation Massif	Extensometers (Total of rods)	46(110)
Uplift Pressure Readings (foundation of the concrete dams)	Standpipe Piezometers	55
Uplift Pressure Readings (earth and rockfill dams foundations; earth-concrete interfaces)	Electrical Piezometers	21
Joint Displacements	Electrical Joint meters	13
Stress	Stress meters for the concrete	2
Strain	Strain meters for reinforcement	3
Rain	Rain gauge	2
Temperature Readings	Thermometers (included into the vibrating wire sensors)	35
TOTAL Instruments		305 (270+35)





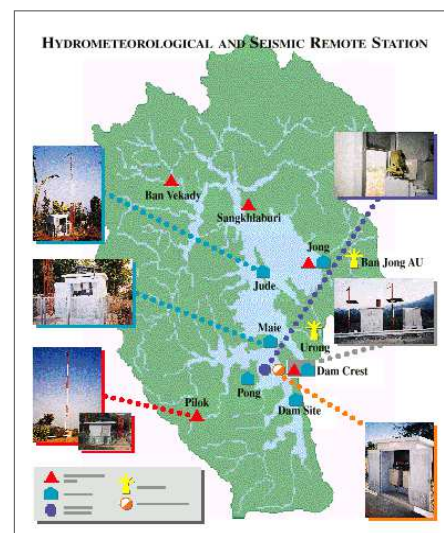
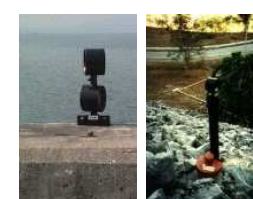
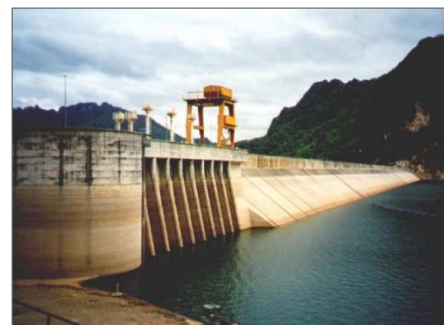
## Progetti di riferimento. Diga di KhaoLaem (Vajiralongkorn)

La diga è in un diga in rock-fill, con altezza totale di 92 metri e lunghezza del coronamento pari a 1.019 m, con la parete del paramento di monte in calcestruzzo. Ha una capacità del bacino di 8,860 million di m<sup>3</sup> di capacità di generazione 300 MW

Il Progetto è consistito nella realizzazione di un sistema integrato per il monitoraggio dello studio del comportamento della diga

- Monitoraggio del corpo diga con 300 sensori di misura (piezometri corpo diga e a valle diga, inclinometri, misuratori perdite e livelli invaso e canale di scarico. Il Sistema include anche una rete topografica automatica composta da due stazioni di misura e 45 mire distribuite sul coronamento e sul corpo diga
- Monitoraggio sismico formato da una rete di 6 stazioni di misura nel bacino e sul corpo diga
- Monitoraggio idrometeorologico compost da 5 stazioni di misura nel bacino allo scopo di definire l'apporto idrico
- La trasmissione dei dati avviene via rete radio proprietaria appositamente realizzata per le stazioni remote, mentre per il monitoraggio della diga via fibra ottica

Il Sistema si completa di tre centri di gestione dei dati, due localizzati presso la diga e il terzo presso gli uffici del dam safety di EGAT. I software installato permetter la gestione integrate dei sistemi, la gestione degli allarmi su soglie, I calcolo in automatic dei parametri significative di eventi sismici (ipocentro, magnitudo, epicentro), la variazione di velocità di acquisizione in caso di evento sismico e mediante opportune modello idraulico la previsione del livello di invaso, basata sui dati del sistema meteo, per la corretta gestione della risorsa idrica.

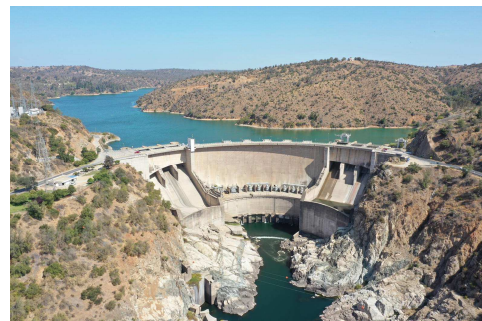


## Progetti di riferimento. Diga di Rapel e Pangué

La diga di Rapel è una diga ad arco gravità con altezza totale di 112 metri. Lunghezza del coronamento pari a 350 metri, con una capacità di 377 MW e un capacità di invaso di 530 milioni di m<sup>3</sup>.

Il Sistema di monitoraggio realizzato comprende 17 pendoli (14 dritti e 3 rovesci) con telecordinometro per la misura automatica degli spostamenti orizzontali, due stramazzi con misura del livello automatico, una stazione meteorologica che include anche la misura del livello di invaso.

Due sistemi di acquisizione dati consentono la lettura e memorizzazione dei dati per il successivo trasferimento al sistema di gestione ubicato nella sala comando e all'ufficio responsabile per la sicurezza delle dighe ubicato a Santiago. Il collegamento al Sistema centrale è garantito con un sistema misto cavo, wifi. Il software INDACO adeguatamente configurato consente la gestione dell'intero sistema.



La diga di Pangué è una diga in RCC con altezza totale di 113 metri. lunghezza del coronamento pari a 430 metri, con una capacità di 463 MW e una capacità di invaso di 175 milioni di m<sup>3</sup>.

Il Sistema di monitoraggio realizzato comprende 27 misuratori di giunti triortogonali e 7 mono assiali, 11 misuratori delle perdite e 9 piezometri ubicate a valle della diga, e la misura del livello invaso. Sono stati collegati al Sistema anche 24 piezometri installati durante la costruzione.

Due sistemi di acquisizione dati consentono la lettura e memorizzazione dei dati per il successivo trasferimento al Sistema ubicato nella sala comando e all'ufficio responsabile per la sicurezza delle dighe ubicato a Santiago. Il Sistema è gestito mediante il software INDACO adeguatamente configurato.



## Progetti di riferimento. Diga di Osiglia



La diga di Osiglia è una diga ad in calcestruzzo a volta, a doppia curvatura con altezza pari a 76,8 metri, uno sviluppo del coronamento di 224 metri e capacità di invaso pari a 13 milioni di m<sup>3</sup>

Il Sistema di monitoraggio di tipo tradizionale è stato integrato da un sistema per il rilievo degli spostamenti del corpo diga mediante una rete di ricevitori GNSS installati sul coronamento (3 ricevitori di misura e uno di riferimento)

Le misure rilevate sono acquisite in automatico e sono gestite dal software che comprende anche le misure di tipo tradizionale





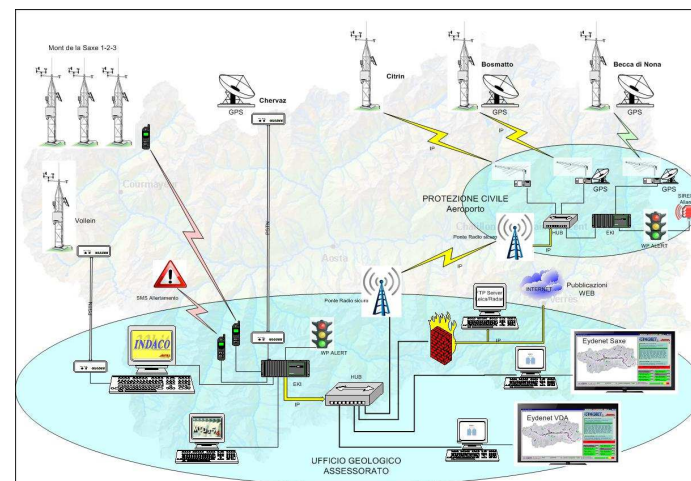
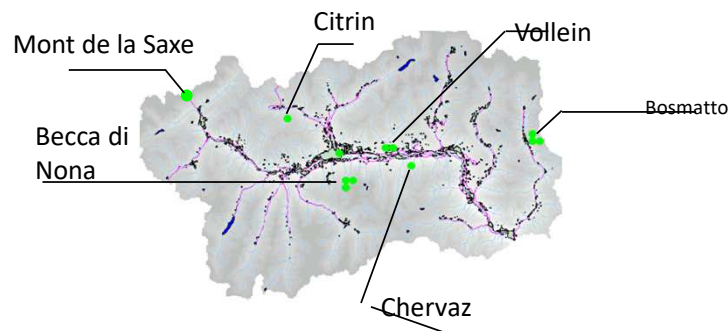
## Progetti di riferimento .Monitoraggio delle principali frane in Valle d'Aosta



Il sistema di monitoraggio a livello regionale comprende le grandi frane di Bosmatto (Valle di Gressoney), Chervaz (Valle della Dora Baltea), Citrin (Valle del Gran San Bernardo) e Vollein (Saint-Barthélemy). I volumi di materiale mobilizzato variano da circa 1,2 milioni di metri cubi per la frana di Becca di Nona, fino a 5,0 milioni di metri cubi per la frana di Bosmatto, la Frana del Mont de La Saxe nel comune di Courmayeur. La massa instabile è stimata in più di 8 milioni di metri cubi e, in caso di collasso, potrebbe interessare i centri abitati di Entrèves e La Palud (frazioni del Comune di Courmayeur) nonché la strada di accesso alla Val Ferret e il raccordo autostradale che conduce al Traforo del Monte Bianco, collegamento internazionale tra Italia e Francia.

I sistemi di monitoraggio delle frane prevedono l'utilizzo di tecnologia di tipo tradizionale (stazioni meteo, piezometri, estensimetri a filo) e reti GPS

Tutti i dati sono raccolti presso il centro di controllo posto presso la struttura regionale Attività geologiche a Quart (AO), dove il software di supporto alle decisioni (Early Warning System) EYDENET®, sviluppato da ISMES, li elabora inviando le segnalazioni via SMS ai tecnici della Regione, al centro operativo di Protezione Civile e al centro di Telassistenza presso la sede di ISMES S.p.A. Le segnalazioni vengono inviate dal sistema in caso di superamento delle soglie prefissate.





## *Monitoraggio dissesti e rischio idrogeologico*



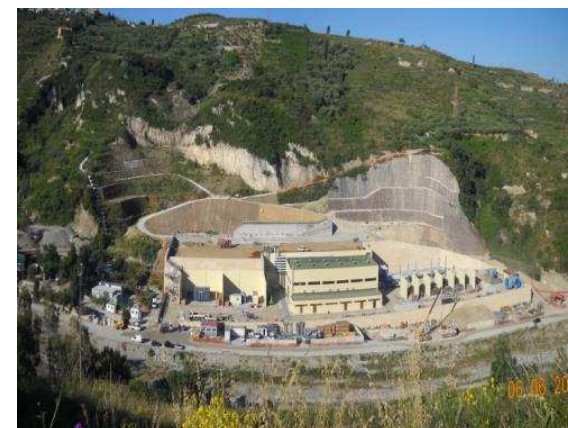
Sotto stazione di Villafranca della rete nazionale di distribuzione dell'energia elettrica.

Tenuto conto dei dissesti presenti a tergo dell'area prevista per la realizzazione della sottostazione, è stato previsto un sistema di monitoraggio per la misura dell'eventuale presenza di movimenti superficiali e profondi del versante, sollecitazioni delle opere strutturali realizzate e valutazione del carico idraulico effettivo sulle opere realizzate, comprensivo di tool per l'interpretazione dei fenomeni, teleassistenza e implementazione di una piattaforma informativa web.

IL sistema di monitoraggio oltre ad utilizzare tecnologie di tipo tradizione (8 verticali piezometriche, 7 inclinometriche dotate di catene di misura inclinometriche per la misura in automatico del livello di falda e degli spostamenti) , si avvale di una rete topografica composta da 70 mire distribuite sul corpo di frana e sulle strutture e da due stazioni totali automatiche.

Tutti i dati sono raccolti da un sistema che ne permette la gestione e archiviazione in una banca dati.

Il progetto si completa con le attività di ingegneria per l'analisi dei dati acquisiti e lo studio del comportamento dei dissesti





**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

Ing. Andrea Zattoni

---

ISMES S.p.A.

---

+39 329 6889868

---

andrea.zattoni@ismes.it

---