

Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

ITCOLD - Dighe a volta

***MONITORAGGIO E
CONTROLLO***

Alberto Masera

alberto59.masera@gmail.com

Quadro Normativo

DECRETO 26 giugno 2014 - Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).

C.11. – Monitoraggio

I progetti devono comprendere un piano generale degli apparecchi e dispositivi di controllo del comportamento, da installare nel corpo diga e nei terreni di fondazione, per il relativo inserimento nel Foglio di condizioni per la costruzione e nel Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione, di cui al Regolamento per la disciplina del procedimento di approvazione dei progetti e del controllo sulla costruzione e l'esercizio degli sbarramenti di ritenuta.

L'acquisizione e l'elaborazione delle osservazioni sperimentali dovranno garantire la continua verifica della rispondenza del comportamento reale dell'opera a quello atteso.

Quadro Normativo

Sono di norma da prevedere osservazioni e misure delle seguenti grandezze: grandezze meteorologiche; livelli nel serbatoio e nelle eventuali falde a valle; portate e volumi scaricati; perdite d'acqua dalla struttura e dal suo contorno; temperature esterne ed interne; sottopressioni e/o pressioni interstiziali al fine di controllare i processi di filtrazione determinati dall'invaso; tensioni totali, deformazioni e spostamenti della struttura, dei terreni di fondazione e delle eventuali aree instabili o potenzialmente instabili sulle sponde; registrazioni in occasione di eventi sismici.

Gli strumenti di misura devono essere idonei alla teletrasmissione in tempo reale dei dati acquisiti secondo il protocollo informatico definito dall'Autorità di controllo. Le misure strumentali devono potersi in ogni caso acquisire anche con lettura diretta dallo strumento e devono essere archiviate anche localmente, nello strumento stesso o presso la casa di guardia.

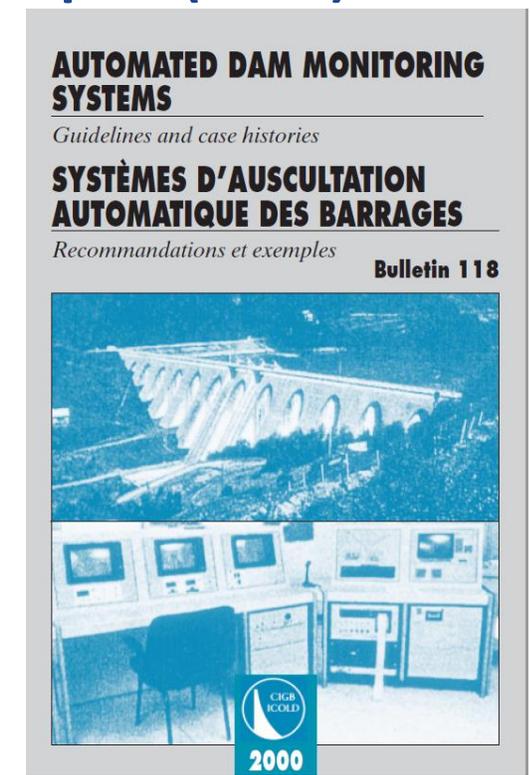
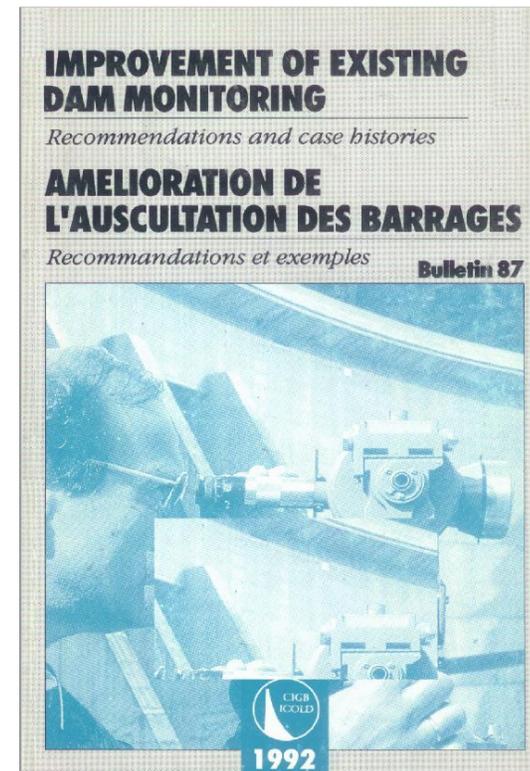
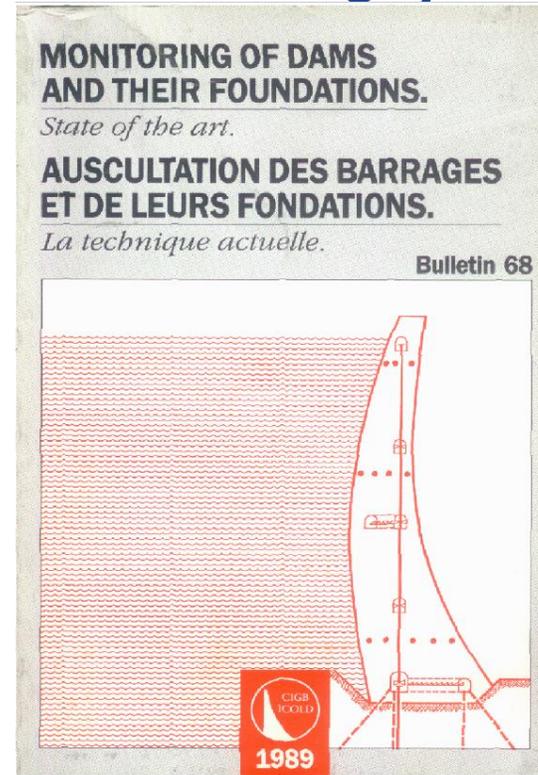
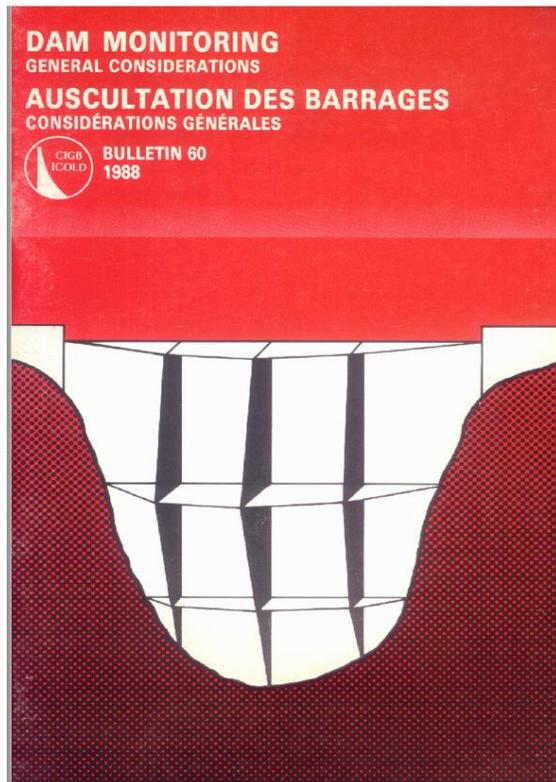
Quadro Normativo

Nel piano di cui al primo comma, dovranno anche indicarsi i tipi di strumenti e la frequenza delle osservazioni di ciascuna specie durante la costruzione, gli invasi sperimentali e il normale esercizio.

Nel corso della costruzione dell'opera di sbarramento e dell'esercizio sperimentale, dovranno essere progressivamente aggiornati i modelli geologici, i modelli geotecnica, e i modelli idrologici e idraulici, nonché i modelli comportamentali dello sbarramento, da utilizzare per la migliore interpretazione dei dati di monitoraggio, ai fini anche delle attività di collaudo.

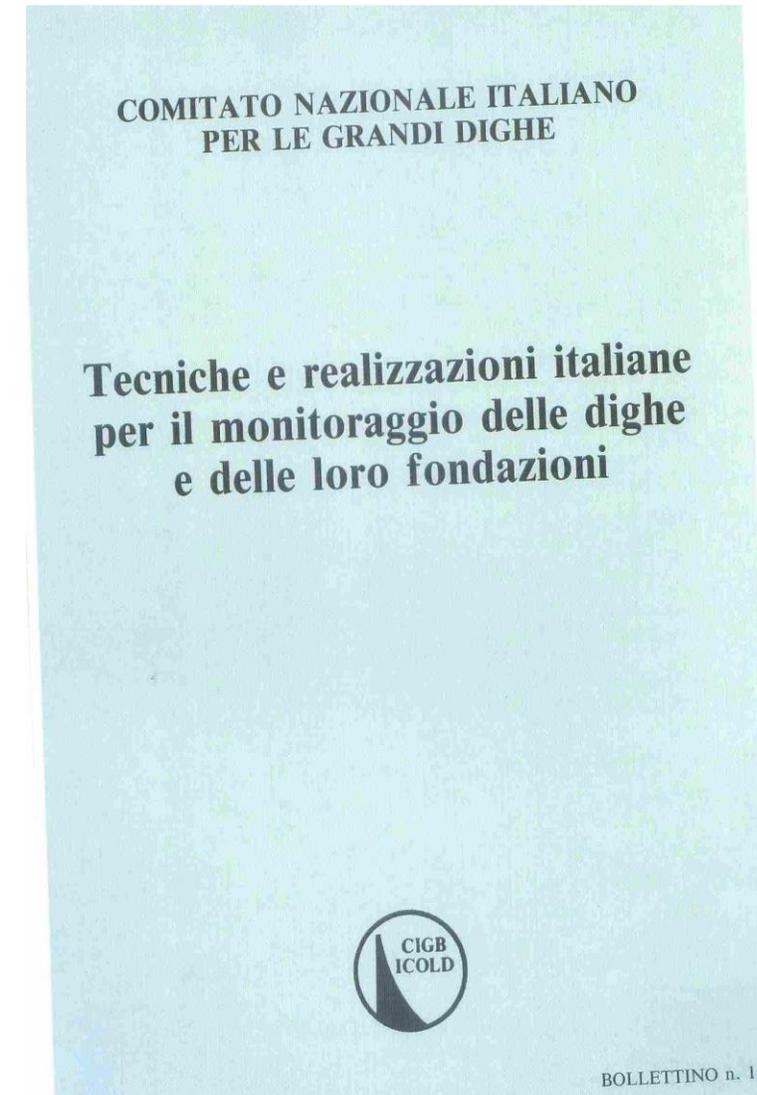
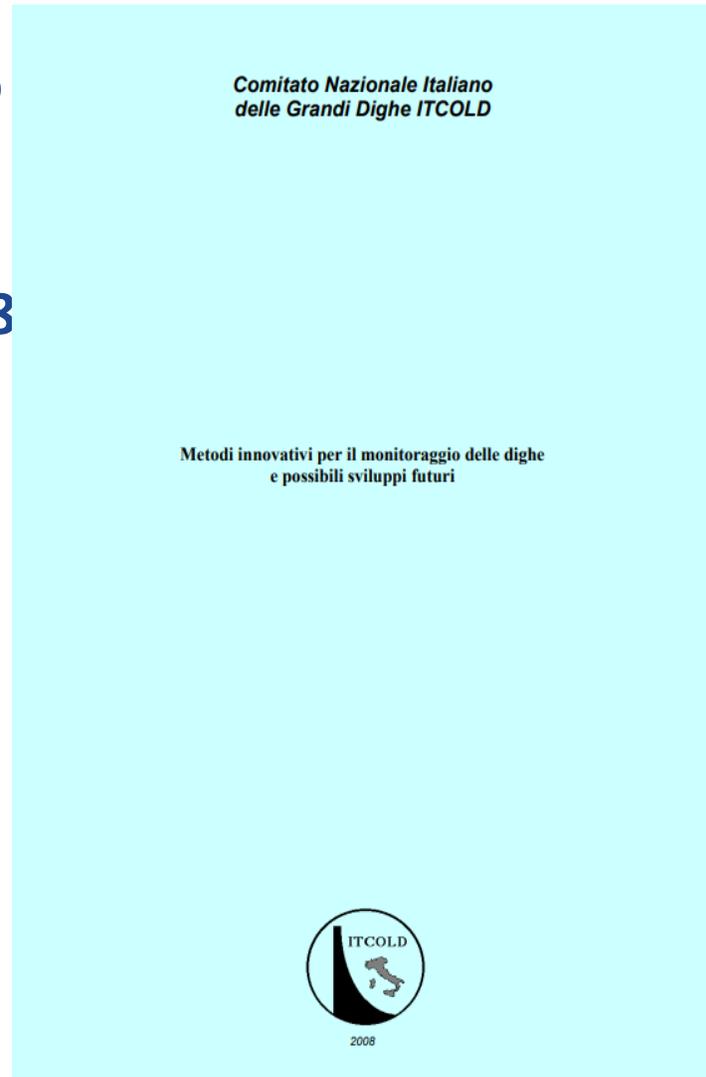
Riferimenti ICOLD - Monitoraggio

- B60 – Dam Monitoring – General Consideration (1988)
- B68 – Monitoring of Dams and their Foundations – State of the art (1989)
- B87 – Improvement of existing dam monitoring – Recommendation and case histories (1992)
- B118 – Automatic Dam monitoring system – Guidelines and case examples (2000)



Riferimenti ITCOLD

- **Bollettino 1 – Tecniche e realizzazioni per il monitoraggio delle dighe e delle loro fondazioni (1988) - Contributo Italiano al bollettino ICOLD n. 68**
- **Metodi innovativi per il monitoraggio delle dighe e possibili sviluppi futuri (2008)**



Quali strumenti installare per AR = Dighe ad arco durante la costruzione, invasi sperimentali e collaudo, in esercizio:

- Ambiente
- In corpo diga
- In fondazione

In funzione della significatività (livello di sicurezza):

- ** Stato di crisi (fino al collasso)
- * Fuori esercizio (totale o parziale)
- o Conoscenza

DIGHE IN CALCESTRUZZO

TABELLE 1a, b, c

Livello di sicurezza

** Stato di crisi (fino al collasso)
* Fuori servizio (totale o parziale)
o Conoscenza

GR = Diga a gravità
SP = Diga a speroni
AR = Diga ad arco

Grandezze da misurare: Ambiente	Costruzione	Esercizio prov. e collaudo	Esercizio	Strumenti
Temperatura dell'aria	*	o	o	Termometri
Precipitazioni nevose e piovose	o	o	o	Pluviometri e nivometri
Pressione atmosferica	o	o	o	Barometri
Umidità dell'aria	o	o	o	Igrometri
Temperatura dell'acqua	—	o	o	Termometri
Livello invaso	—	*	*	Stadia e bilancia idrostatica
Spessore del ghiaccio	—	o	o	
Batimetria	—	o	*	Sondaggi sonici e radar

Grandezze da misurare nel corpo diga	Costruzione			1° Invaso e collaudo			Esercizio			Strumenti
	GR	SP	AR	GR	SP	AR	GR	SP	AR	
Spostamenti orizzontali	—	—	—	**	**	**	**	**	**	Triangolazioni, collimazioni, pendolo dritto e rovesio
Spostamenti verticali	*	*	—	**	**	*	*	*	o	Livellazione topografica, idrostatica
Rotazioni	*	*	—	**	**	*	*	*	o	Clinometri removibili e fissi
Movimenti giunti	o	o	o	*	*	*	o	o	o	Dilatometri, deformometri, estensimetri
Movimenti fessure	**	**	**	**	**	**	**	**	**	Dilatometri, deformometri, estensimetri, emissione acustica
Temperature calcestruzzo	*	*	*	o	o	o	o	o	o	Termometri
Deformazioni calcestruzzo	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Estensimetri
Sollecitazioni calcestruzzo	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Tensimetri
Perdite	—	—	—	—	**	**	**	**	**	Stramazzi, misure volumetriche o a bilancino

Grandezze da misurare in fondazione	Costruzione			1° Invaso e collaudo			Esercizio			Strumenti
	GR	SP	AR	GR	SP	AR	GR	SP	AR	
Spostamenti orizzontali	—	—	—	**	**	**	**	**	**	Pendoli rovesci, inclinometri
Spostamenti verticali	*	*	*	**	**	*	*	*	o	Livellazione idrostatica o topografica estensimetri
Deformazione della roccia	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Estensimetri
Modulo elastico	o	o	o	o	o	o	—	—	—	Carotaggi sonici, velocità sismica
Sollecitazioni	o	o	o	o	o	o	—	—	—	Tensimetri
Sottopressioni e pressioni interstiziali	—	—	—	**	**	*	*	*	o	Celle di pressione, tubi piezometrici, celle manometriche
Perdite	—	—	—	**	**	**	**	**	**	Stramazzi, misure volumetriche o a bilancino

Grandezze fondamentali per dighe a volta

Corpo diga

- Spostamenti orizzontali
- Movimenti delle fessure
- Perdite

In fondazione

- Spostamenti orizzontali
- Perdite dalla fondazione

C O N C R E T E D A M S

Relevance of safety levels

** Critical situation (up to collapse)
 * Out of service (total or partial)
 0 Check

GR = Gravity dam
 BU = Buttress dam
 AR = Arch dam

Quantities to be measured: environment	Construction	Temporary operation and trial test	Operation	Instruments
Air temperature	*	0	0	Thermometers
Snow and rain fall	0	0	0	Snow and rain gauges
External pressure	0	0	0	Barometers
Humidity	0	0	0	Hygrometers
Water temperature	-	0	0	Thermometers
Water level	-	*	*	Levelling staff, hydrostatic balance
Ice thickness	-	0	0	
Bathyetry	-	0	*	Sonic and radar sounding

Quantities to be measured: in the dam body	Construction			1st operation and trial			Operation			Instruments
	GR	BU	AR	GR	BU	AR	GR	BU	AR	
Horizontal displacements	-	-	-	**	**	**	**	**	**	Triangulations, collinations, direct and inverted plumb line
Vertical displacements	*	*	-	**	**	*	*	*	0	Topographic or hydrostatic levelling
Rotations	*	*	-	**	**	*	*	*	0	Movable or fixed clinometer
Movements of joints	0	0	0	*	*	*	0	0	0	Dilatometers, joints meters, extensom.
Movements of cracks	**	**	**	**	**	**	**	**	**	Dilatometers, joint gunges meters, extensometers, acoustic emission
Concrete temperatures	*	*	*	0	0	0	0	0	0	Thermometers
Concrete deformations	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Extensometers
Stresses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Stress meters
Seepages	-	-	-	-	**	**	**	**	**	Weirs, volumetric measurements

Quantities to be measured: in the fondation	Construction			1st operation and trial			Operation			Instruments
	GR	BU	AR	GR	BU	AR	GR	BU	AR	
Horizontal displacements				**	**	**	**	**	**	Inverted plumb-lines, inclinometers
Vertical displacements	*	*	*	**	**	*	*	*	0	Topographic or hydrostatic levelling
Rock deformation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Extensometers
Elastic modulus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Sonic core, seismic velocity
Stresses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Stress meters
Under and pore pressions				**	**	*	*	*	0	Pressure cells, stand pipe piezometers
Underseepages				**	**	**	**	**	**	manometric cells Weirs, volumetric measurements

Sistemi di monitoraggio

Strumenti

Misuratore perdite (sensore di livello a monte stramazzo)



Misuratore pressione in fondazione (tubo piezometrico con sensore automatico e manometro)

Misuratore deformazioni fondazione (estensimetri a lunga base o rockmeter)



Misuratore spostamenti (filo a pendolo e telecoordinometro)

Diga di Cancano (1953-1956)

Principali Caratteristiche:

- Quota Coronamento **1902.0 m s.l.m.**
- Altezza diga **136,0 m**
- Sviluppo Coronamento **381.0 m**
- Volume Diga **522.000 m³**
- Volume Serbatoio **127.000.000 m³**



Diga di Cancano

Grandezze misurate dal sistema di controllo

IDROMETEREOLOGIA:

- Livello invaso
- Temperatura aria ed acqua
- Pioggia
- Neve
- Ghiaccio

MISURA DELLE PERDITE

- Corpo diga e fondazione

SPOSTAMENTI PLANIMETRICI

- Allineamento di collimazione (3 punti controllati) sul coronamento
- 2 pendoli diritti e 1 rovescio (controllo di 6 punti nella sezione maestra)

SPOSTAMENTI ALTIMETRICI

- Livellazione di precisione su 44 punti

DEFORMAZIONI ROCCIA

- 4 estensimetri multibase (rockmetri) per 10 punti controllati totali

ROTAZIONI

- Clinometro manuale + livellometro automatico

FESSURE E GIUNTI

- n. 63 estensimetri removibili

TERMOMETRI NEL CALCESTRUZZO

- 6 termometri ad acquisizione manuale + 28 automatici

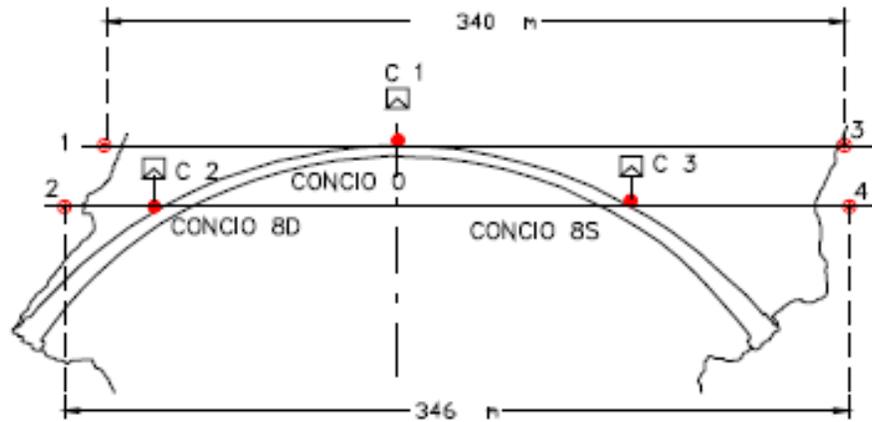
CONTROLLO SPONDE

- rete di triangolazione e livellazione spondale (32+90 punti totali controllati)

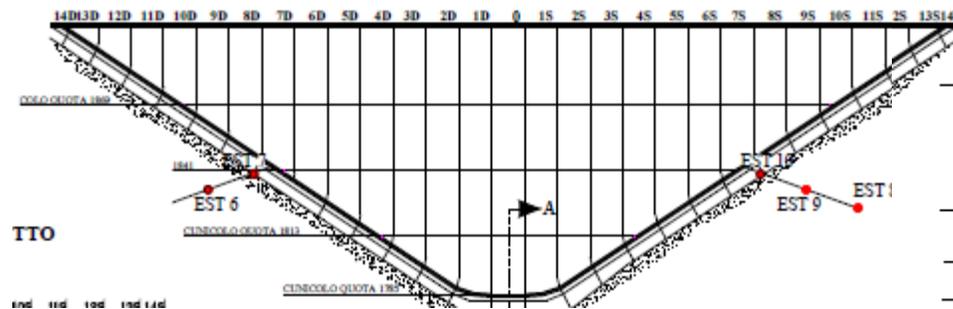
Diga di Cancano

Grandezze misurate dal sistema di controllo- schemi di installazione

PLANIMETRIA DELLA DIGA E SCHEMA DELLA COLLIMAZIONE



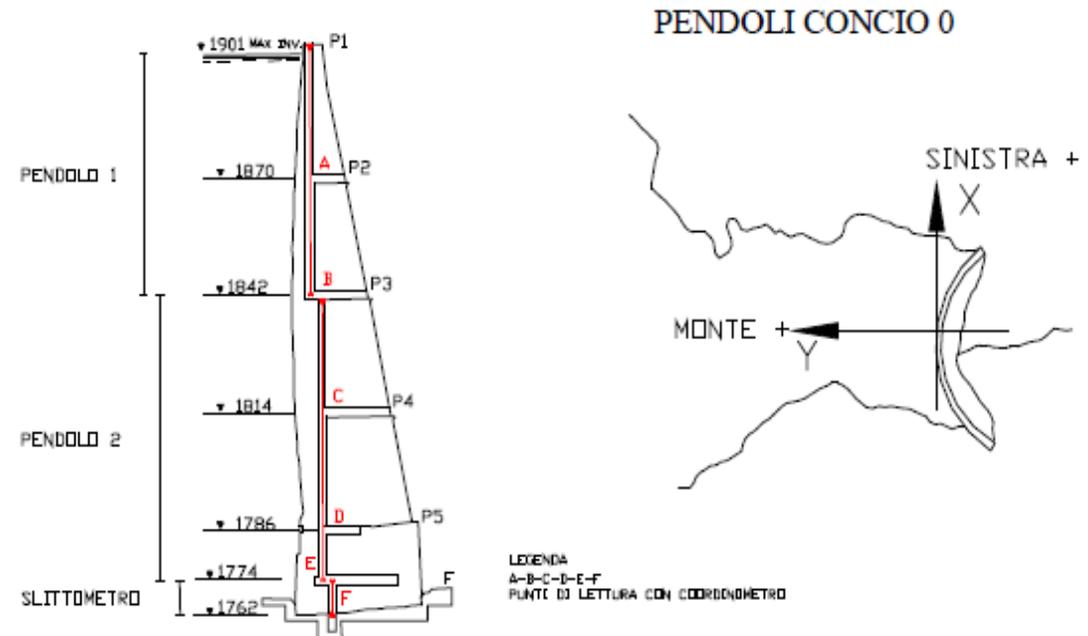
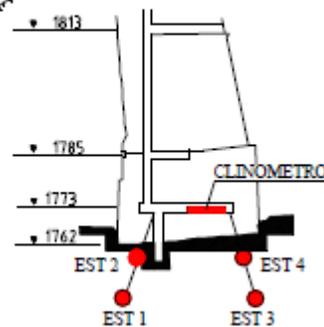
ESTENSIMETRI A BASE LUNGA



TTO

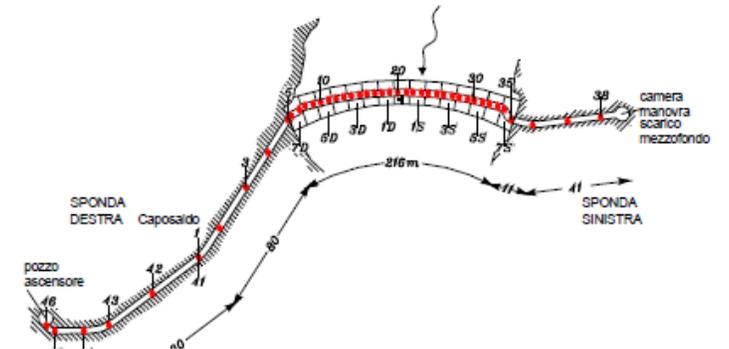
and 100 100 100 100 100

SEZ. A-A



PENDOLI CONCIO 0

CONTROLLO ALTIMETRICO CUNICOLO Q. 1841 m s.m.



Diga di Cancano

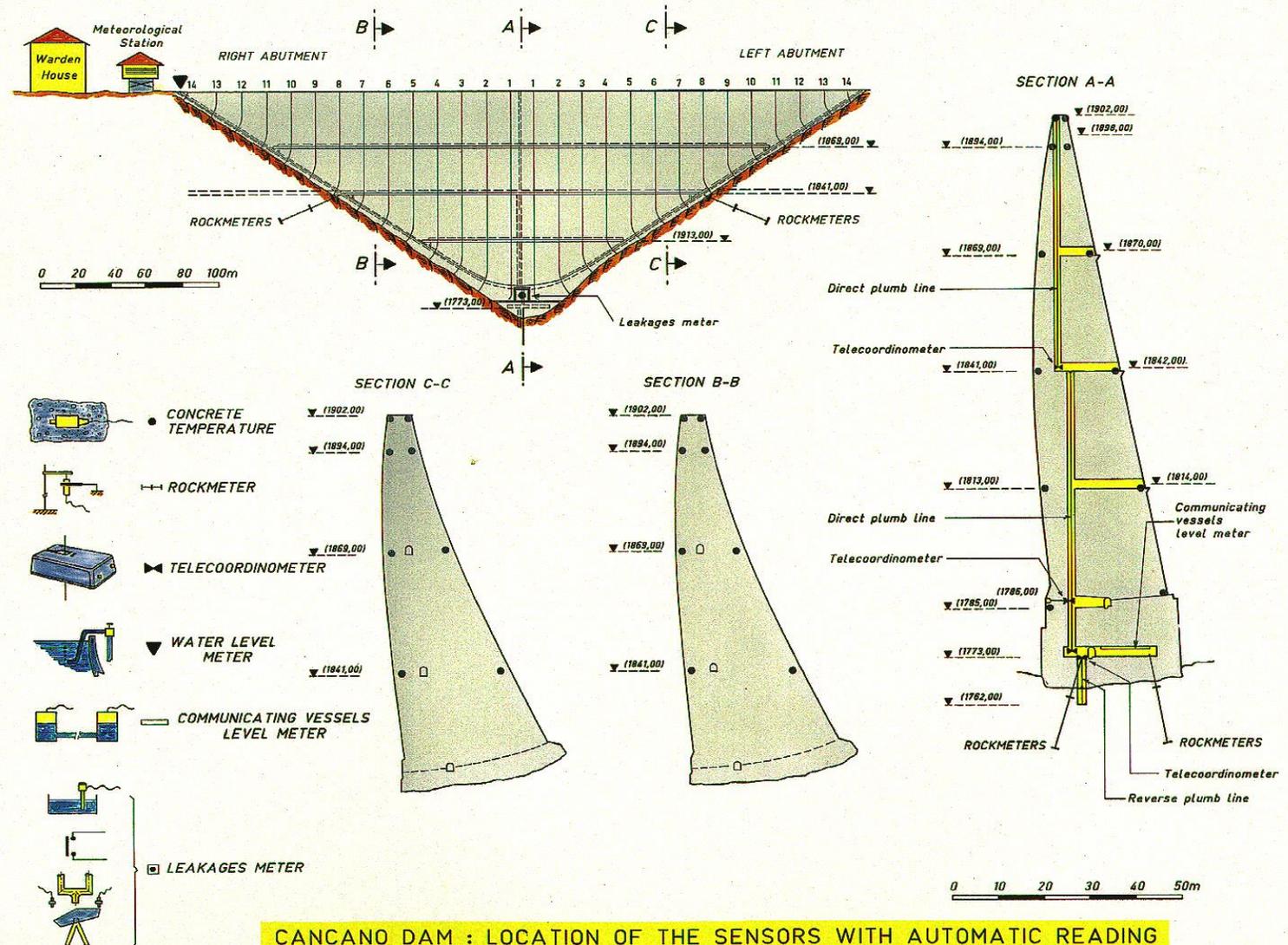
Grandezze misurate in automatico (1986)

Corpo diga:

- Spostamenti orizzontali con Pendoli diritti
- Perdite
- Temperature

In fondazione:

- Spostamenti orizzontali con Pendolo rovescio
- Rockmetri a base diga e sulle spalle



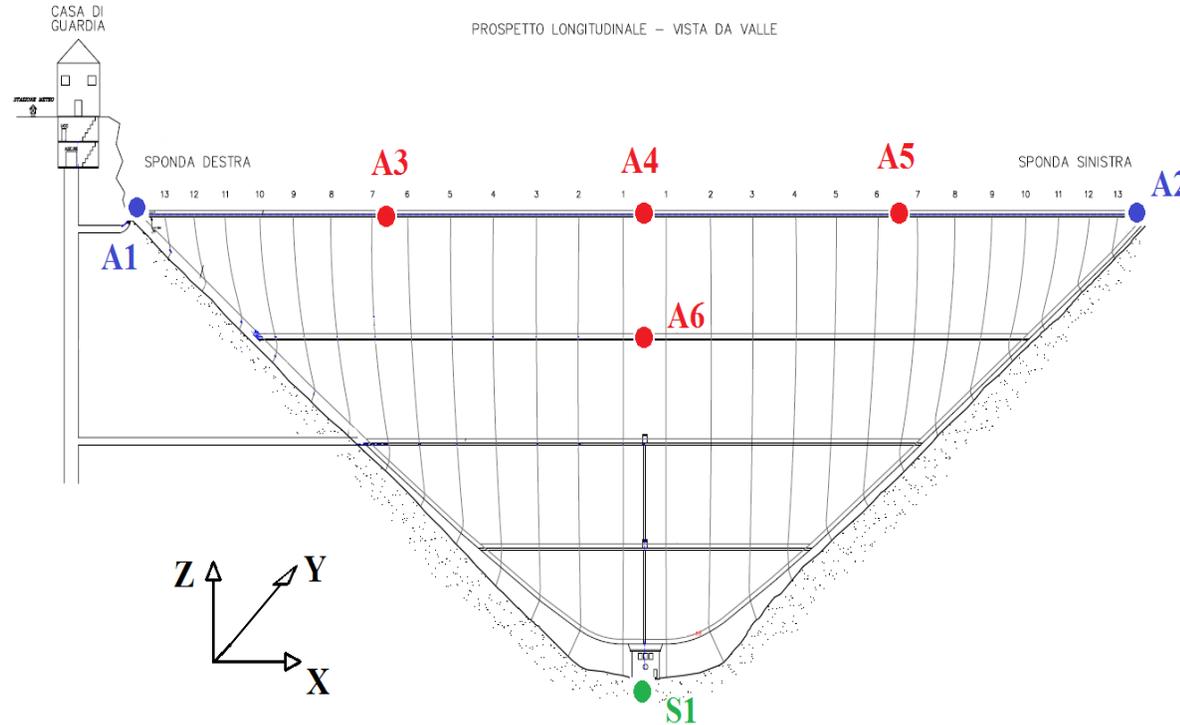
CANCANO DAM : LOCATION OF THE SENSORS WITH AUTOMATIC READING

Diga di Cancano

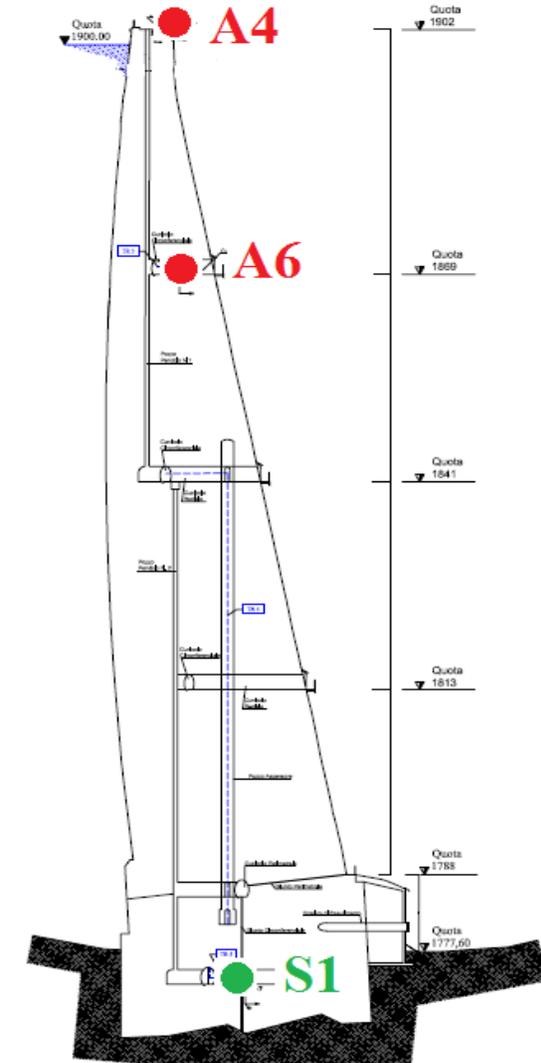
Sistema Sismico

2012:

- n. 14 trasduttori accelerometrici
- n. 3 sismometri installati in posizioni tali da poter cogliere l'input sismico al contorno e la risposta della struttura in alcuni punti del corpo diga disposti nel cunicolo o in prossimità del coronamento



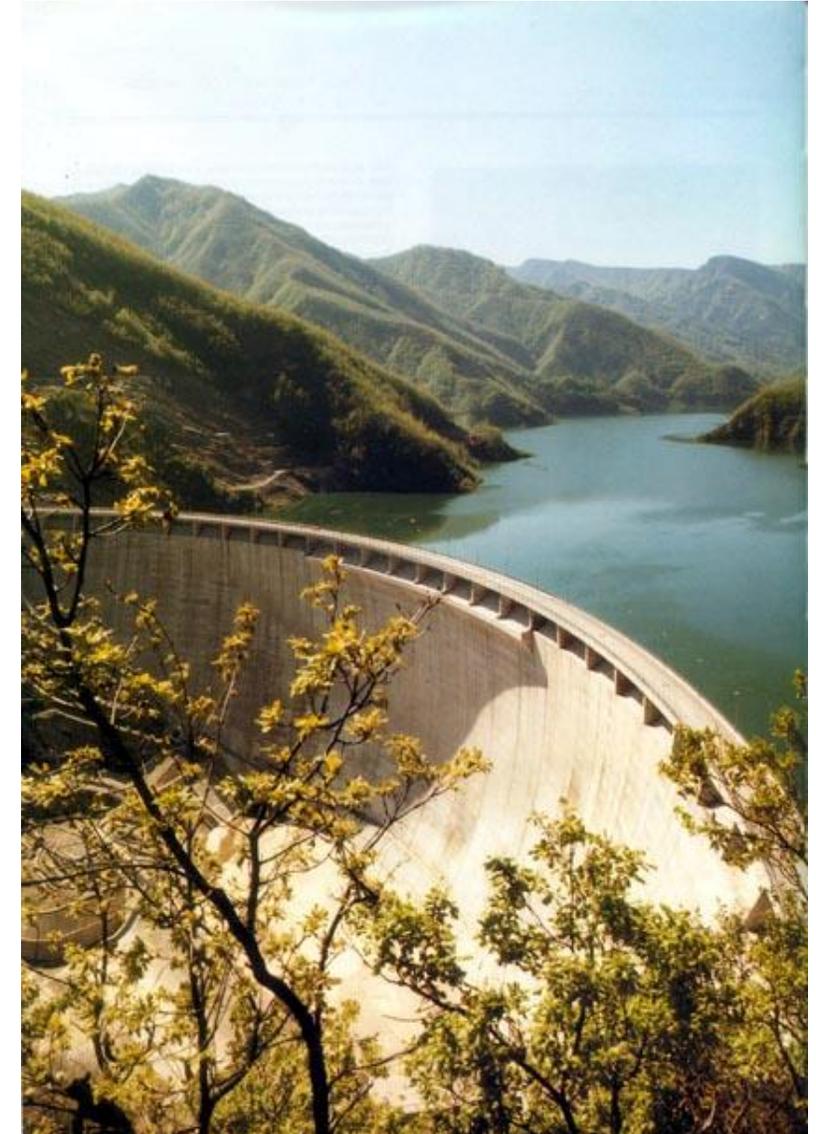
- posizione accelerometrica triassiale
- posizione accelerometrica biassiale orizzontale
- posizione sismometrica triassiale



Diga di Ridracoli

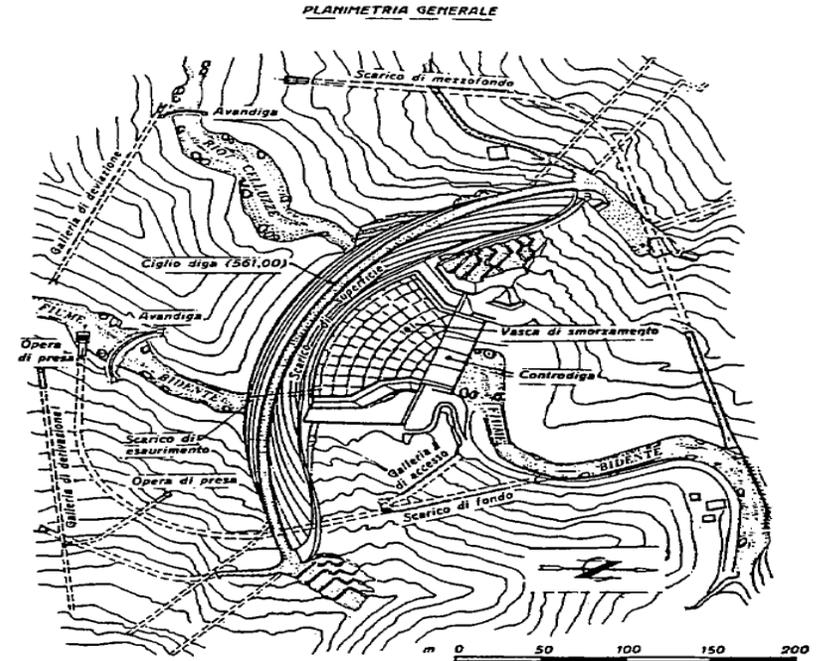
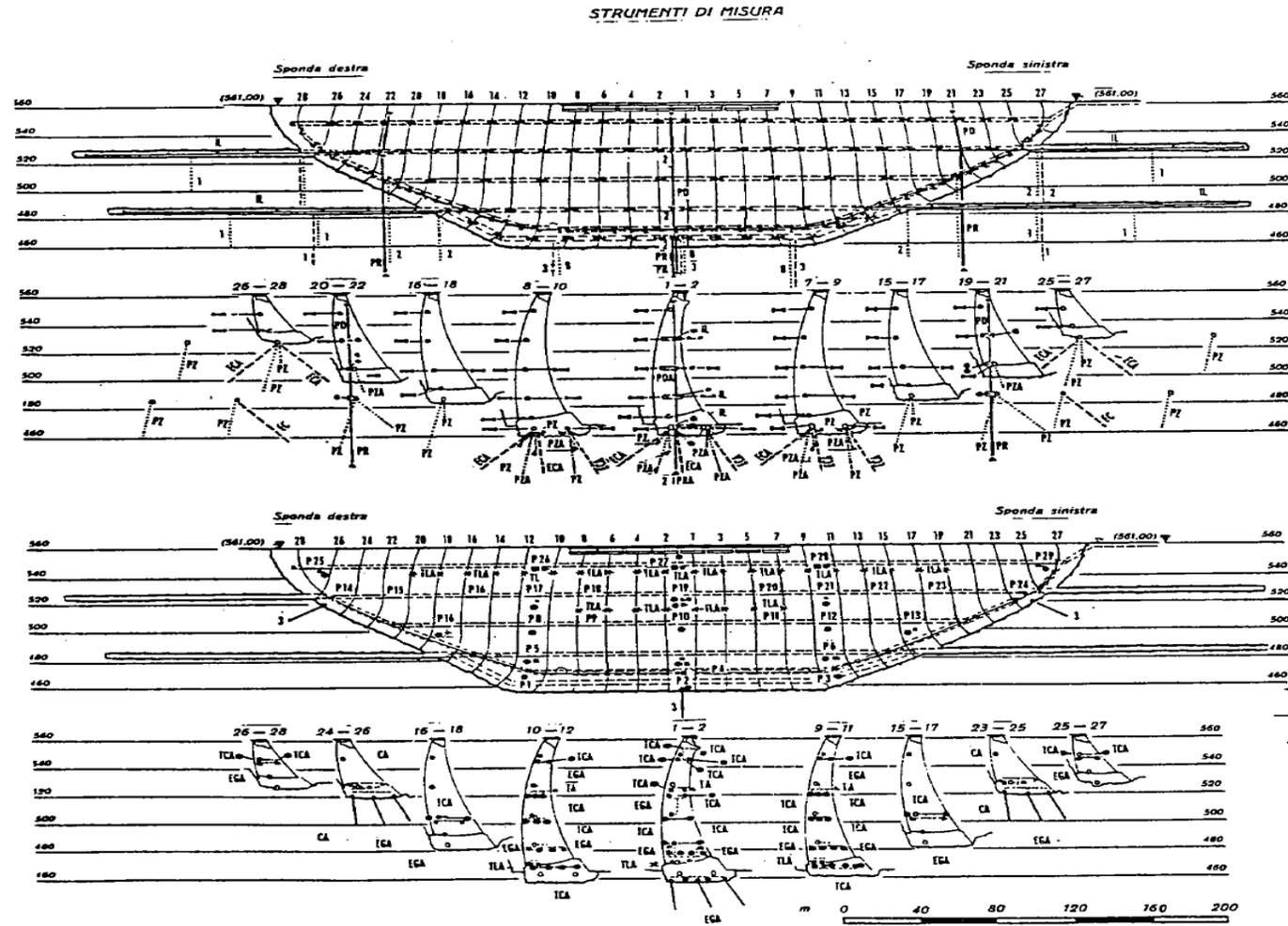
Principali Caratteristiche:

- Quota Coronamento 561.0 m s.l.m.
- Altezza diga 103,5 m
- Sviluppo Coronamento 432.0 m
- Volume Diga 600.000 m³
- Volume Serbatoio 33.000.000 m³



Diga di Ridracoli

Grandezze misurate dal sistema di controllo



- | | |
|---|--|
| EQ - EQA = Estensimetro in roccia | ± o = Bilancia dinamometrica |
| EC - ECA = Estensimetro a base lunga | IL = Indicatori di livello a vasi comunicanti (a 3 basi) |
| PZ - PZA = Piezometro | CE = Calibro estensimetrico |
| △ C - CA = Capsula tensiometrica | Stazione per coordinometro |
| TC - TCA = Termometro nel calcestruzzo | PD - PDA = Pendolo diretto |
| Termometro in acqua | PR - PRA = Pendolo rovescio |
| TA = Termometro in aria | La lettera "A" indica l'acquisizione automatica dei dati |
| TL - TLA = Tele dilatometro | |
| EG - EGA = Estensimetro in rosetta (da quattro) | |
| EG - EGA = Estensimetro in rosetta (da due) | |

Diga di Ridracoli

Sistema di controllo Statico

- Punti di Misura
- Sensori connessi al sistema di monitoraggio automatico
- Sensori analizzati in tempo reale (ogni ora)

971

259

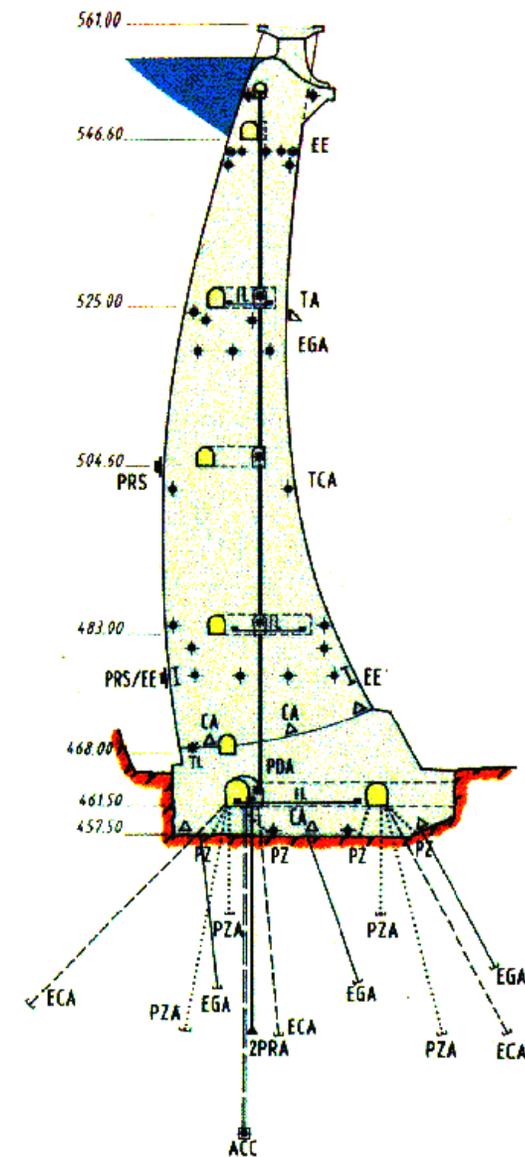
40



MEASURED QUANTITIES	SENSOR	CODE	NUMBER	FREQ.
STATIC MONITORING Meteorological quantities	Thermograph; Barograph;	TA	1	cnt
	Hydrograph; Pluviograph;		1	
	Measuring stick		1	
	Heliograph		1	
	Anemograph		1	
	Electric thermometer		1	plg/A
	Dynamometric balance		1	cnt/A
	Hydrometric staff		1	g
	Water level		1	plg/A
	Water temperature on surface and - 5 m		Electric thermometer	2
Horizontal displacements Dam: 4 direct plumbines	Coordinometer	PD	9	st/ms
	Telecoordinometer	PDA	1	plg/A
	Coordinometer	PR	10	st/ms
	Telecoordinometer	PRA	2	plg/A
Rock: 8 inverted plumbines	Coordinometer	PRA	6	ms
	Distance-measuring		10	trm
Geodetic surveys	Theodolite			
Vertical displacements Leveling nets crest, galleries, toe, abutments	Level	IL	100	ms
	Level meter			
Strain Dam body Rock foundation	Electric extensometer	EGA	60	plg/A
	Electric extensometer	EGA	9	plg/A
	Rockmeter	ECA	69	ms/plg/A
Movements of joints	Dilatometers	TL	33	plg/A
	Removable extensometer	CE	166	bms
Rotations	Vessel level meter	IL	48	ms
Uplifts	Pressure cell	PZA	13	plg/A
	Pressure gauge	PZ	47	st
Stress	Tensiometric capsule	CA	18	plg/A
	Electric thermometer	TCA	58	plg/A
Temperature dam				
Seepage	Weirs		2	plg/A
	Drains		232	ms
SEISMIC MONITORING Seismic	(Automatic) Accelerometer	ACC	4	
	Electric strain gauge	EE	6	
	Pressure switch	PRS	2	
	Seismometer station	STSM	5	
Microseismic (Area)				

LEGEND:

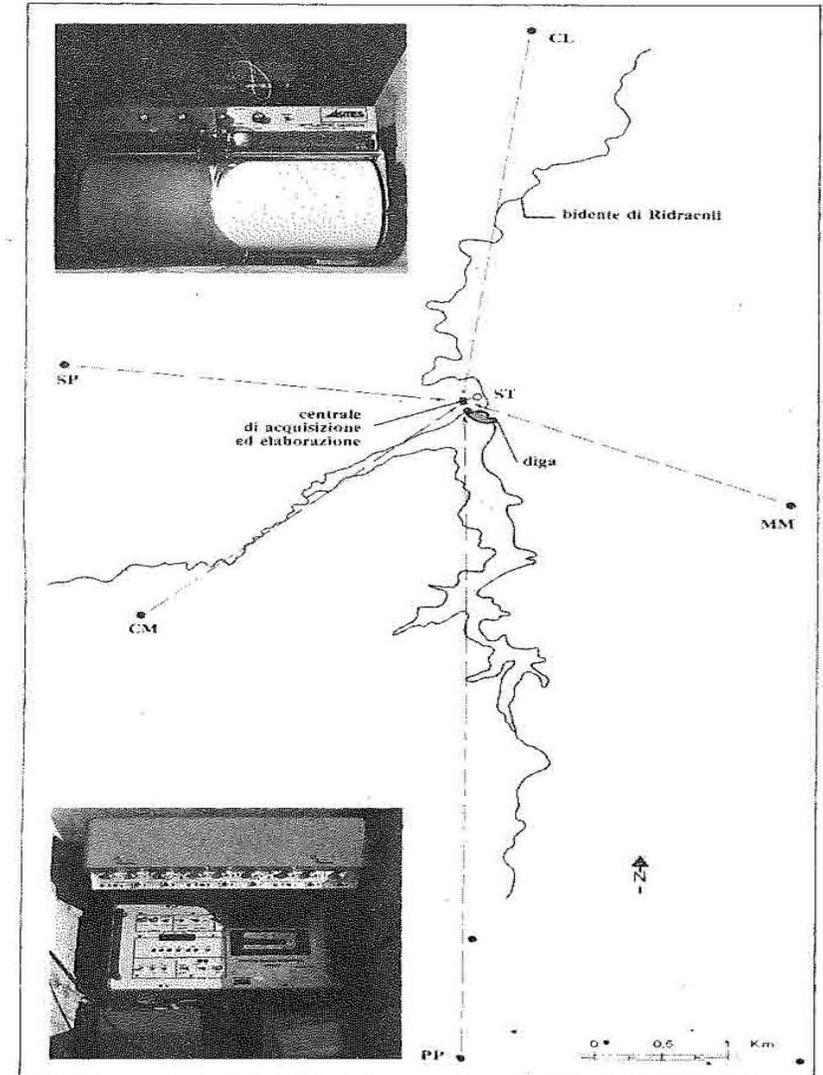
cnt = continuous g = daily plg = multiday
A = automatic st = weekly ms = monthly
trm = quarterly bms = semimonthly



Diga di Ridracoli

Sistema di controllo Microsismico per verificare effetti di «RIS» – Reservoir Induce Seismicity (Sismicità indotta dal serbatoio).

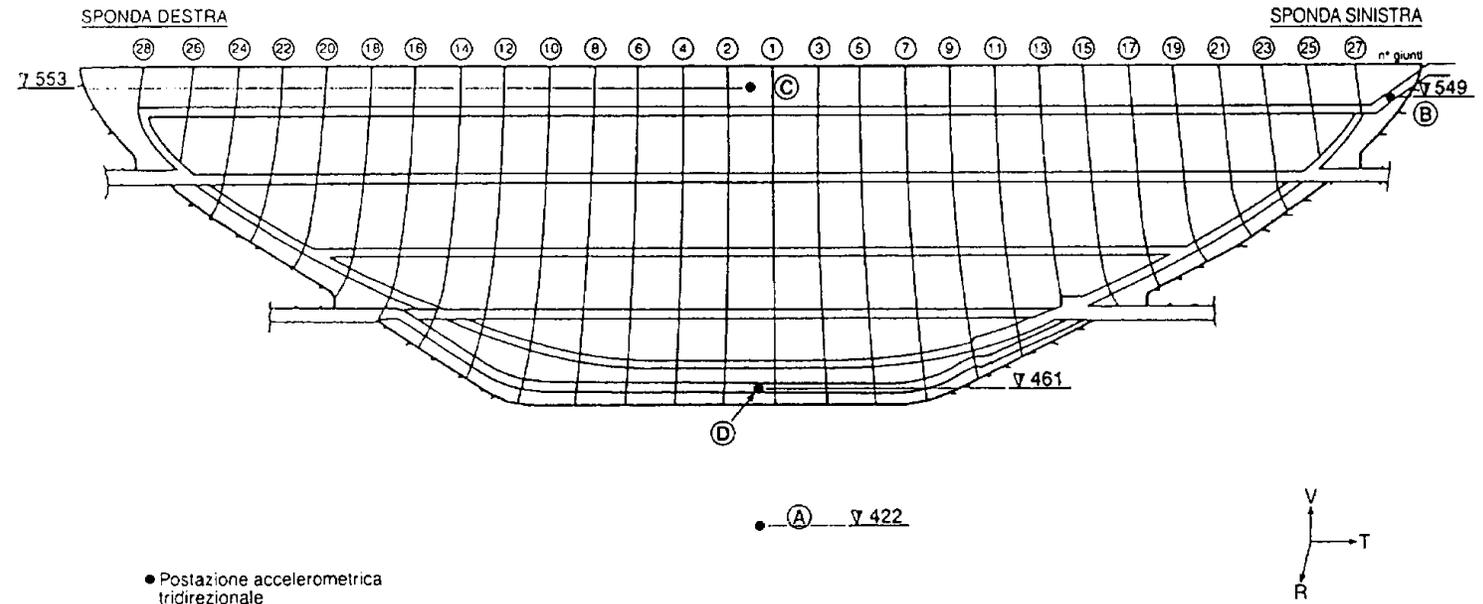
- 6 stazioni sismiche attorno al bacino



Diga di Ridracoli

Sistema di controllo Dinamico

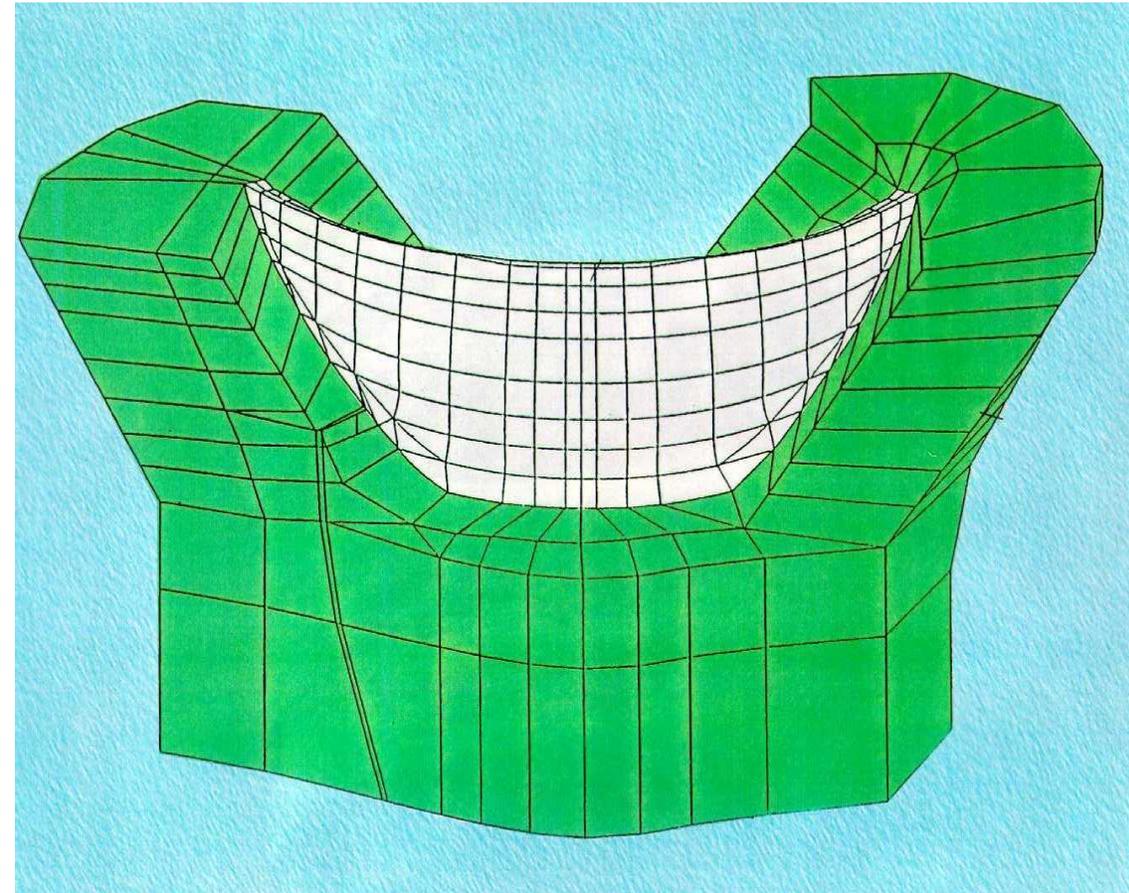
- 4 terne accelerometriche per il rilievo dei sismi in arrivo e per la risposta della struttura
- 1 terna sismometrica della rete microsismica (collegata successivamente)



Diga di Ridracoli

Modello matematico di previsione del comportamento

- Analisi degli sforzi e delle deformazioni in fase di progettazione
- Risposta strutturale per:
 - Carico idrostatico
 - Carico termico
 - Carico sismico



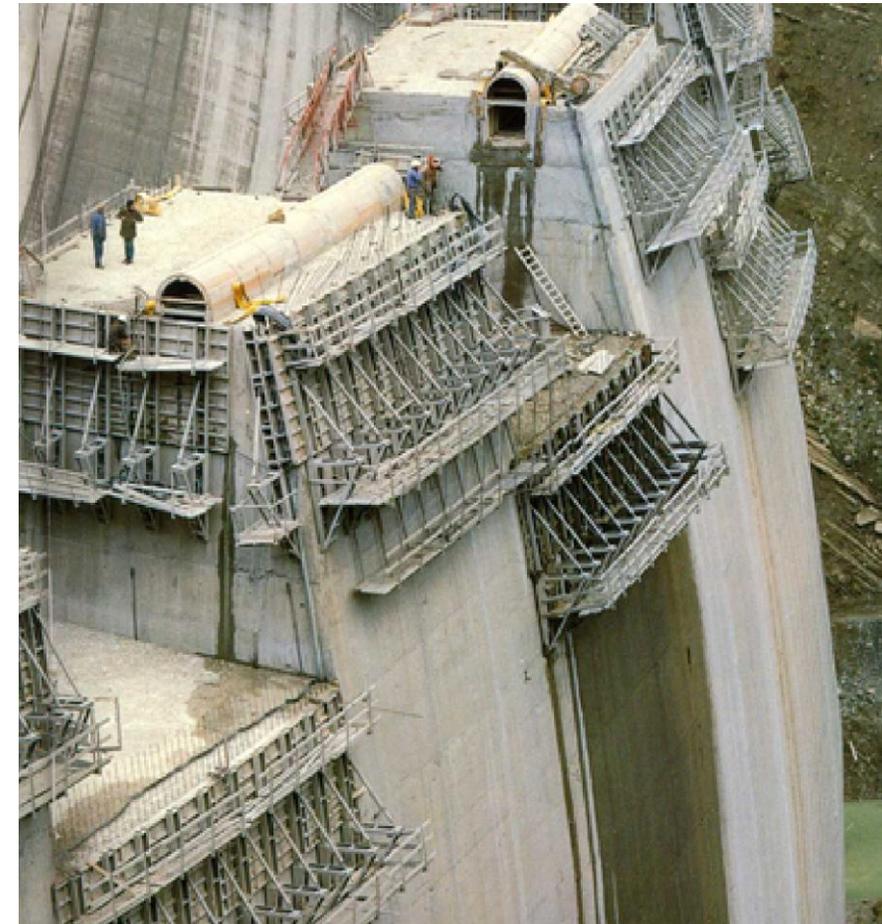
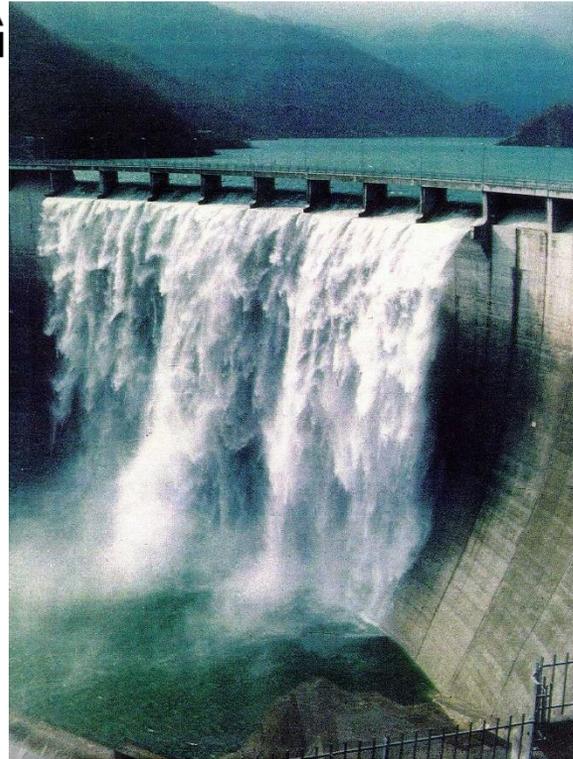
Diga di Ridracoli

Articolo che riassume le attività di progettazione costruzione, e comportamento dell'opera durante gli invasi sperimentali – Idrotecnica n. 2 - 1988

PROJECTS AND WORKS

RIDRACOLI DAM:
DESIGN, CONSTRUCTION AND BEHAVIOUR
DURING THE FIRST FILLING

Federico Bavestrello, Alberto Masera, Pier Paolo Marini (*)



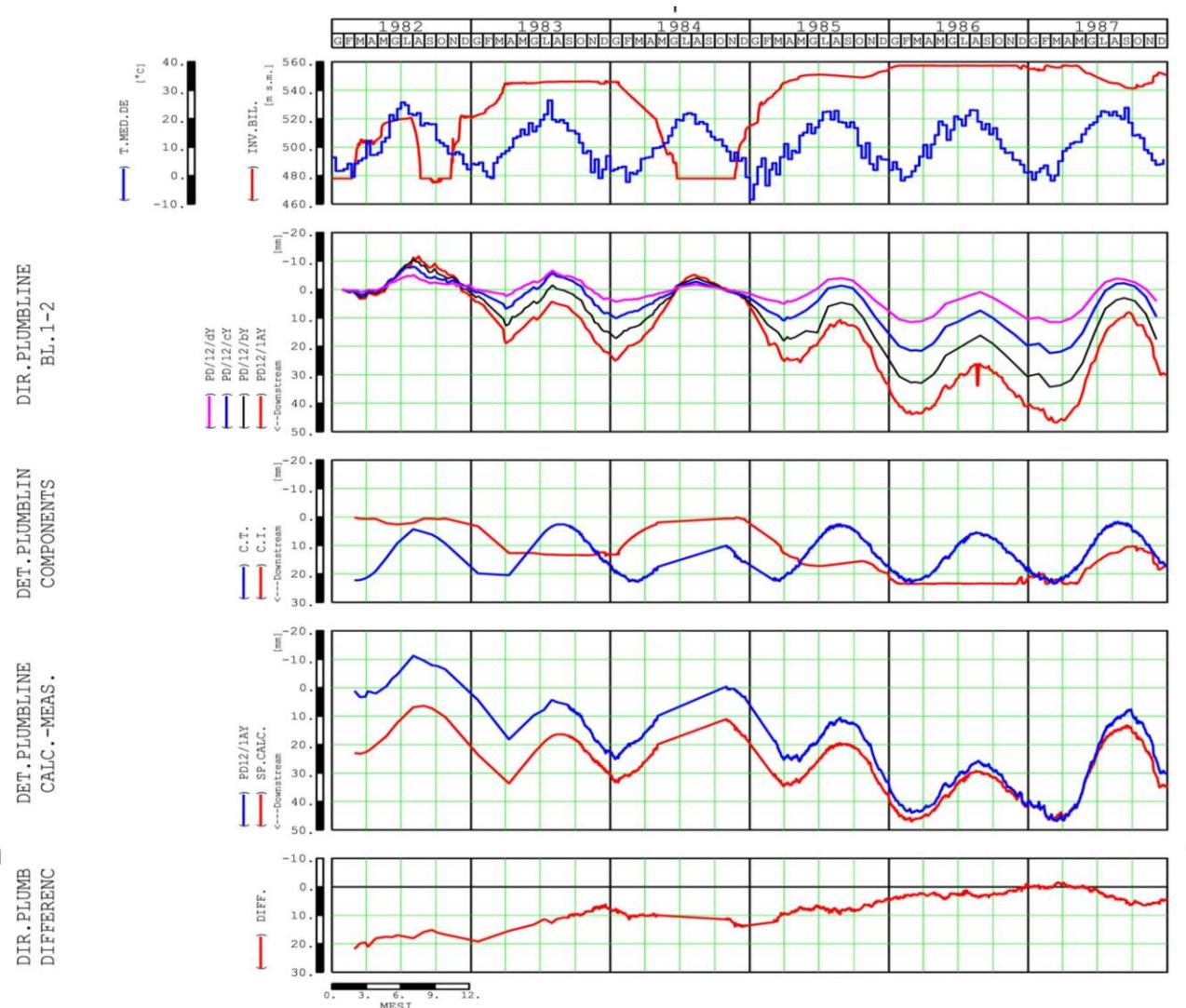
Diga di Ridracoli

Diagrammi relativi agli spostamenti della sezione maestra e confronto tra gli spostamenti misurati e quelli previsti dal modello di riferimento (anni 1982-1987):
Nei vari diagrammi:

- Livelli invaso e --- temperatura ambiente
- Spostamenti pendolo diritto alle varie quote

per il pendolo dell'intera sezione:

- Componenti idrostatica e --- termica
- Confronto spostamenti da modello e -- misure
- Differenze modello-misure

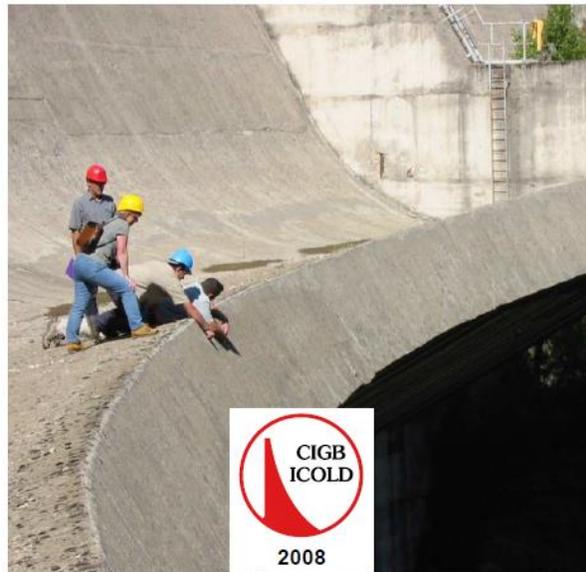


Riferimenti ICOLD – Sorveglianza

- **B138 – General Approach to Dam Surveillance (2008)**
- **B158 – Dam Surveillance Guide (2018)**

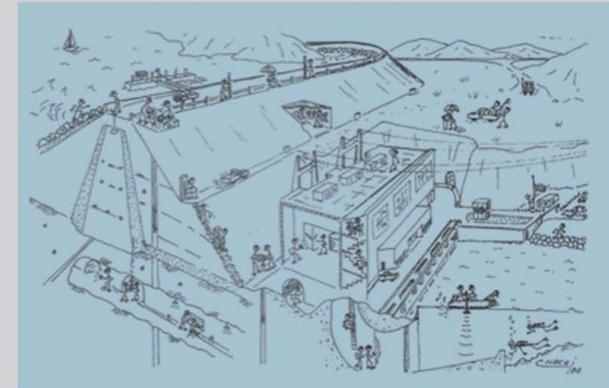
GENERAL APPROACH TO DAM SURVEILLANCE
INTRODUCTION A LA SURVEILLANCE DES BARRAGES

Bulletin 138



DAM SURVEILLANCE GUIDE
**GUIDE DE LA SURVEILLANCE
DES BARRAGES**

Bulletin 158



Riferimenti ITCOLD – FCEM Sorveglianza

- ITCOLD – Procedure per la gestione delle dighe in condizioni di emergenza e training degli operatori (2004)
- Foglio di Condizioni Esercizio e Manutenzione

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO PER I SERVIZI TECNICI NAZIONALI

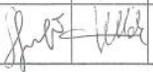
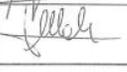
SERVIZIO NAZIONALE DIGHE
UFFICIO PERIFERICO DI FIRENZE

FOGLIO DI CONDIZIONI PER L'ESERCIZIO E LA MANUTENZIONE

DIGA DI
RIDRACOLI
IN COMUNE DI S. SOFIA (FO)
(n. arch. S.N.D. 1173)

Concessionario e Gestore: ROMAGNA ACQUE S.p.A.
Piazzale del Lavoro, 35 - 47100 - FORLÌ

Redazione: ing. UGO RAVAGLIOLI
(convenzione del 30.10.95 ai sensi L. 584/94)

Redazione	Resp. Ufficio Periferico S.N.D. FIRENZE	Funzionario della Sede Centrale S.N.D.	Rev.		Approvazione del S.N.D.		
			n.	data	Prot.	data	Firma
ing. U. Ravaglioli		ing. F. Mele	0	20.05.97			
			1	20.04.98			
							

PRESIDENZA CONSIGLIO MINISTRI
SEGRETARIATO GENERALE
DIPARTIMENTO PER I SERVIZI TECNICI NAZIONALI
Ufficio Dighe di Firenze

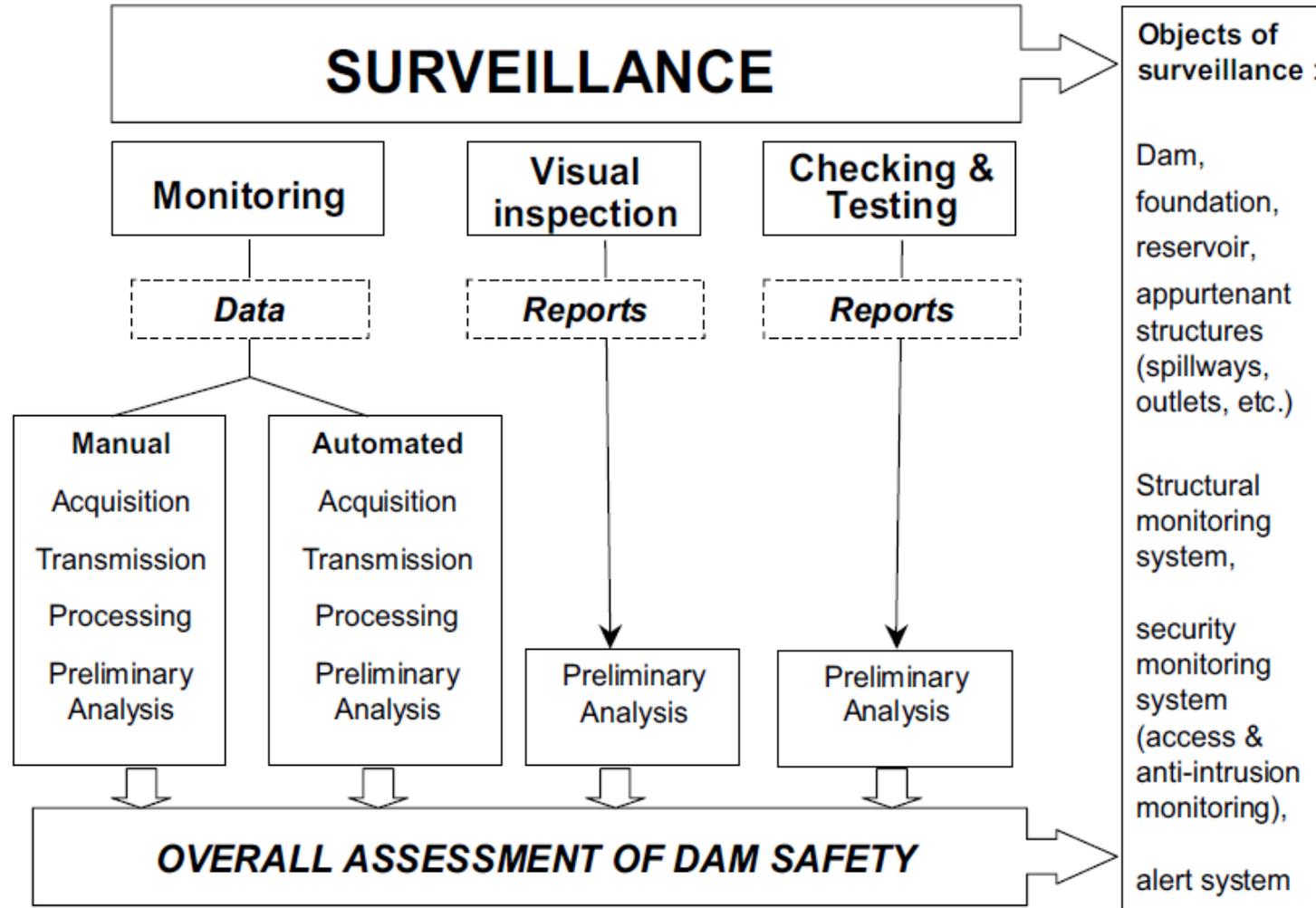
Comitato Nazionale Italiano
delle Grandi Dighe - ITCOLD

*Procedure per la gestione delle dighe
in condizioni di emergenza e training degli operatori*



Riferimenti ICOLD – Sorveglianza

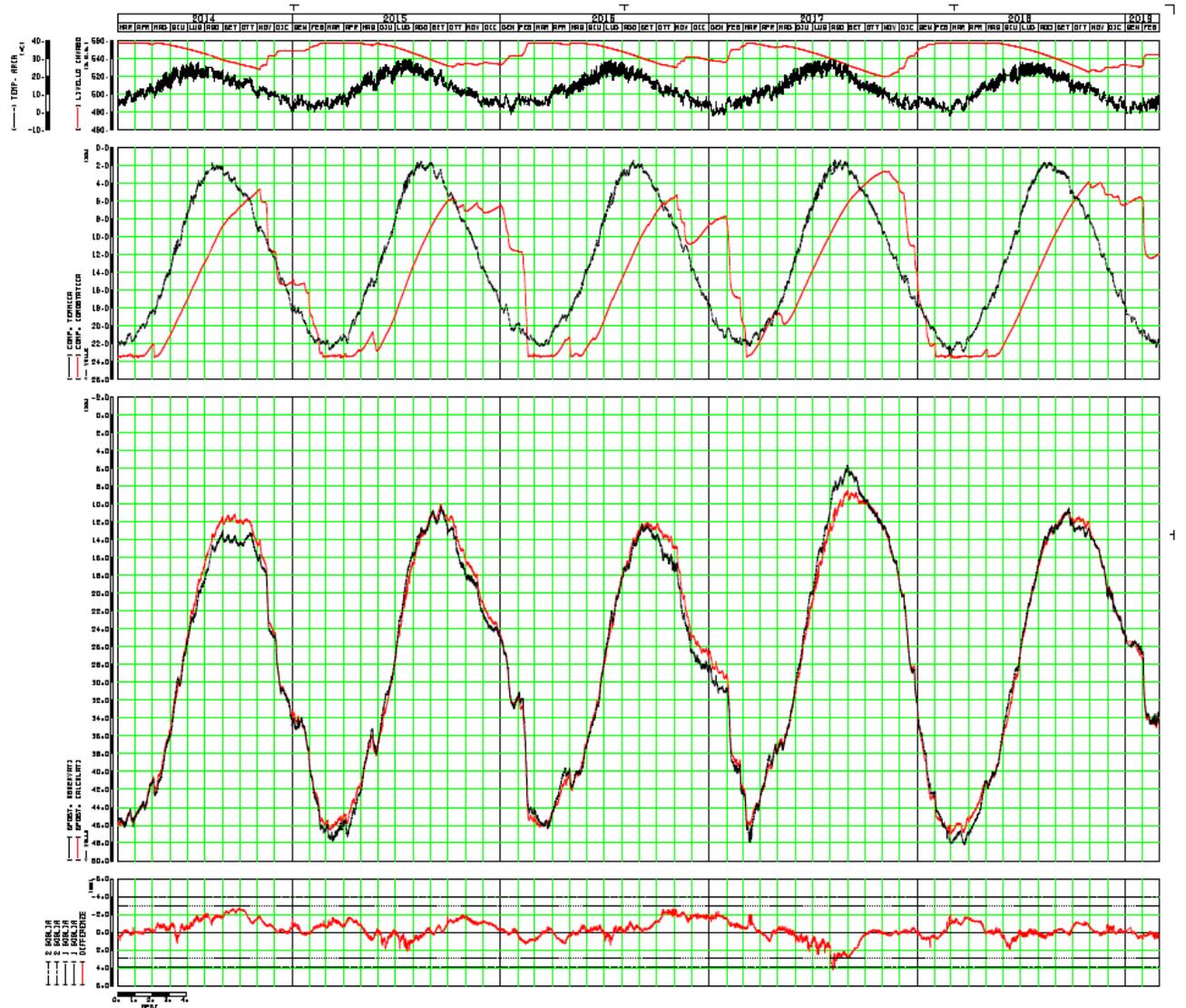
- Surveillance



Diga di Ridracoli – Procedure

Analisi del comportamento mediante il confronto tra spostamenti misurati e calcolati dal modello

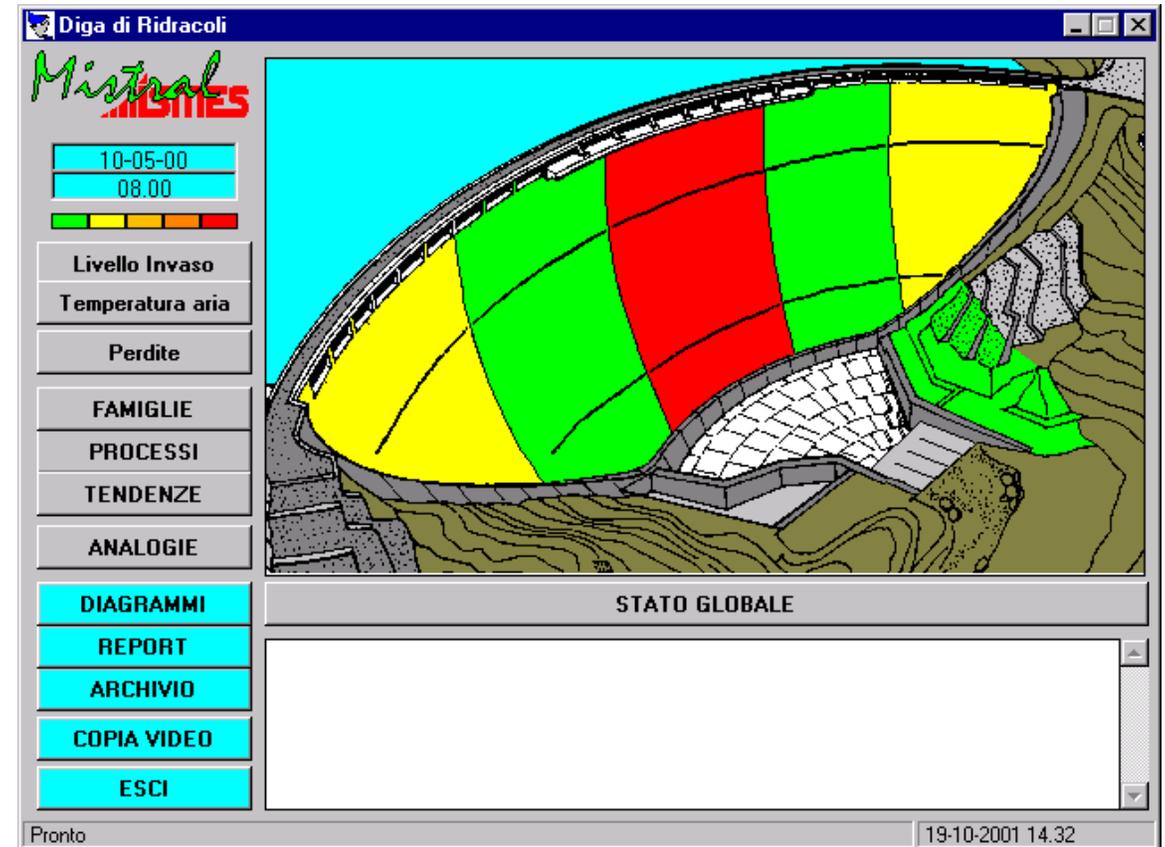
La diga risponde alla variazione dei carichi (livelli di invaso e temperature) come previsto in progetto



Diga di Ridracoli – Procedure

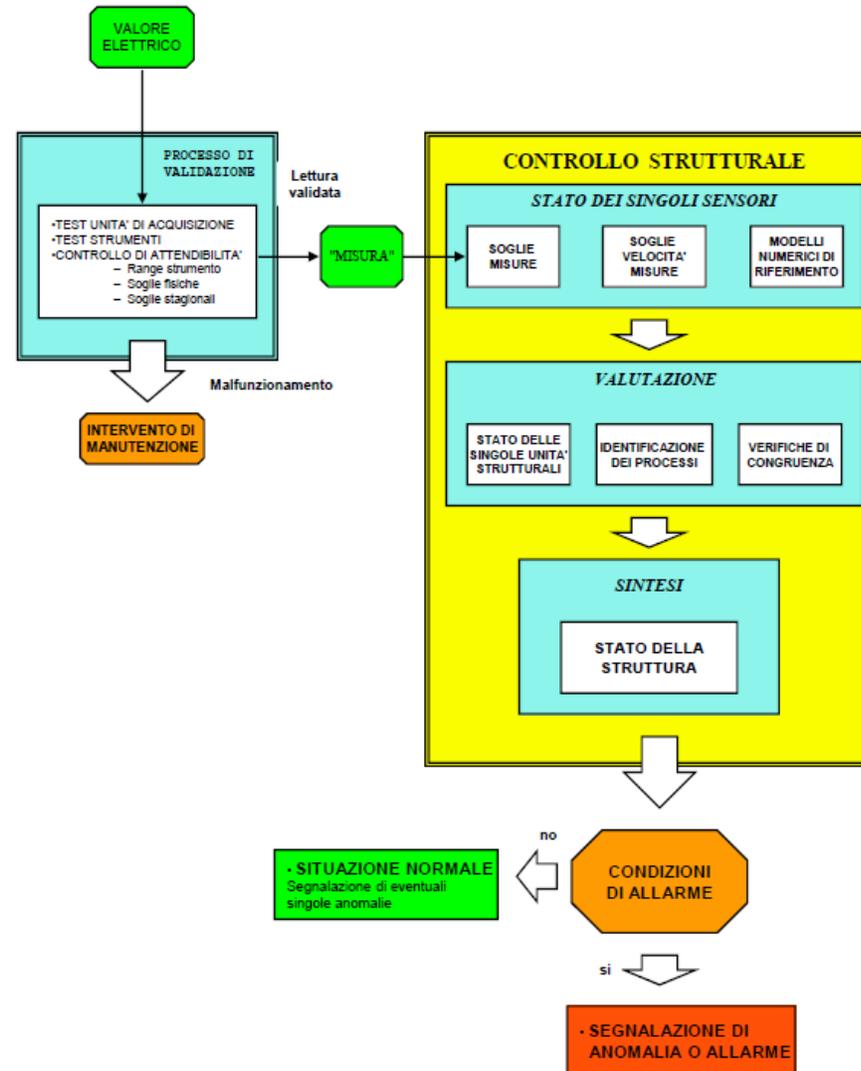
Sistema di monitoraggio statico – Sistema Mistral per il Controllo strutturale in linea per l'analisi del comportamento dello sbarramento a supporto delle attività di sorveglianza:

- Valuta il comportamento
- Filtra le situazioni anomale
- Fornisce spiegazioni



Diga di Ridracoli – Procedure

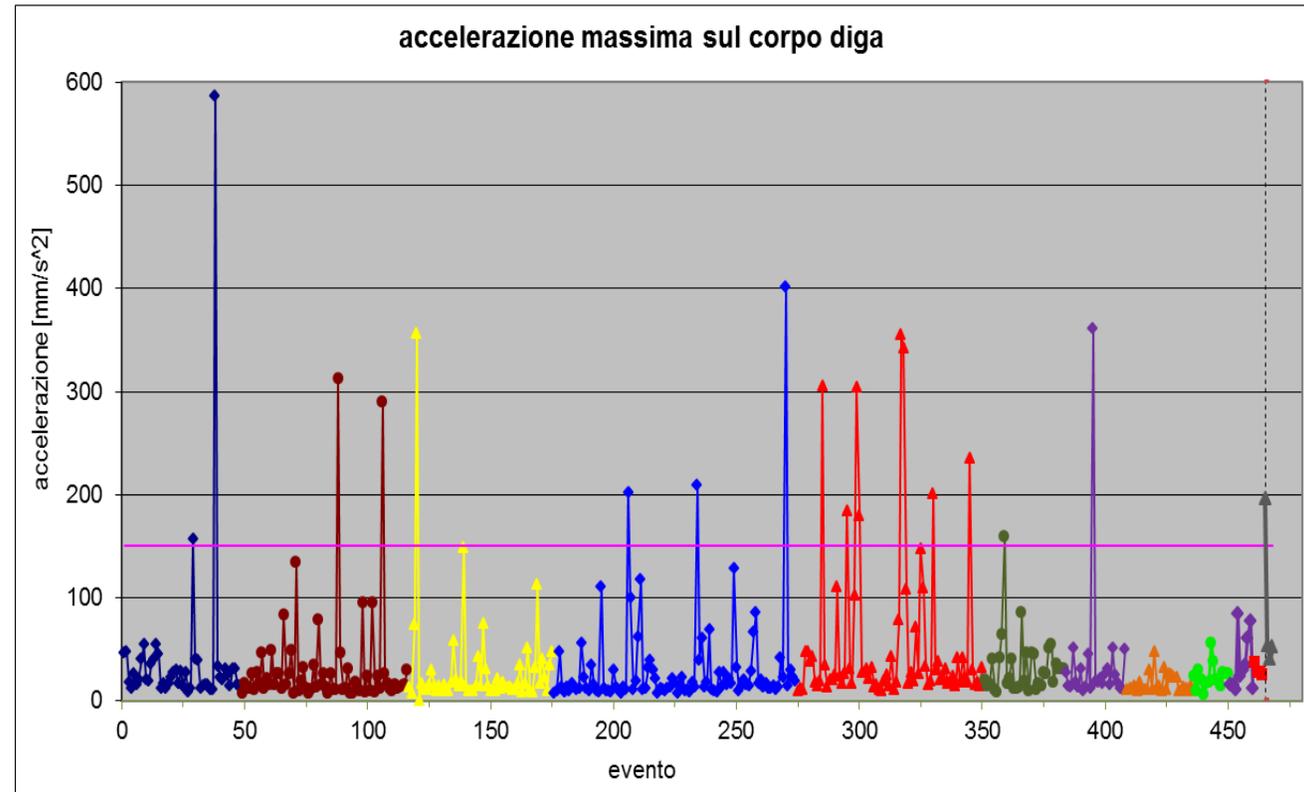
Logica del sistema Mistral



Diga di Ridracoli – Procedure

Sistema di monitoraggio dinamico:

- circa 500 eventi sismici apprezzabili
- La soglia di trigger della terna sismometrica ha sempre fatto scattare le registrazioni. Il trigger degli accelerometri non è mai stato superato
- 18 eventi sismici superiori alla soglia di 150 mm/sec² (0.015g) registrati alla terna accelerometrica in cresta (direzione m-v)



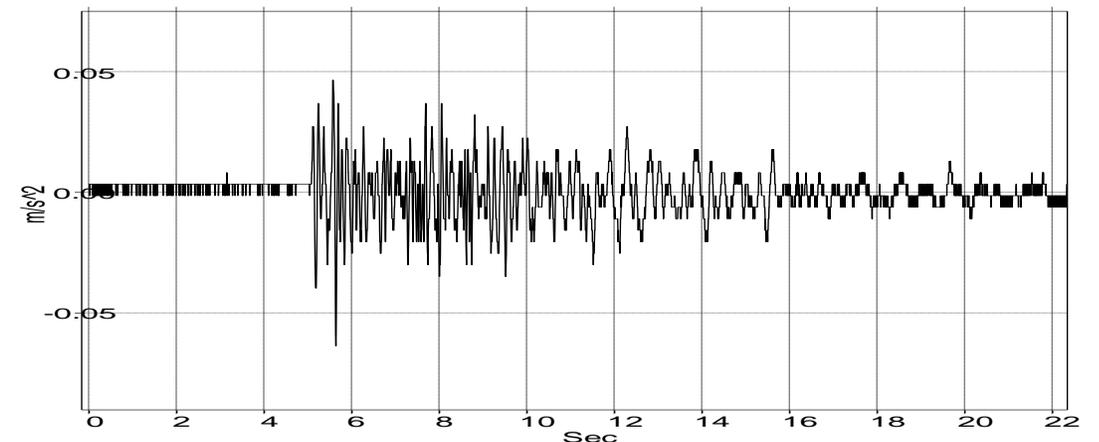
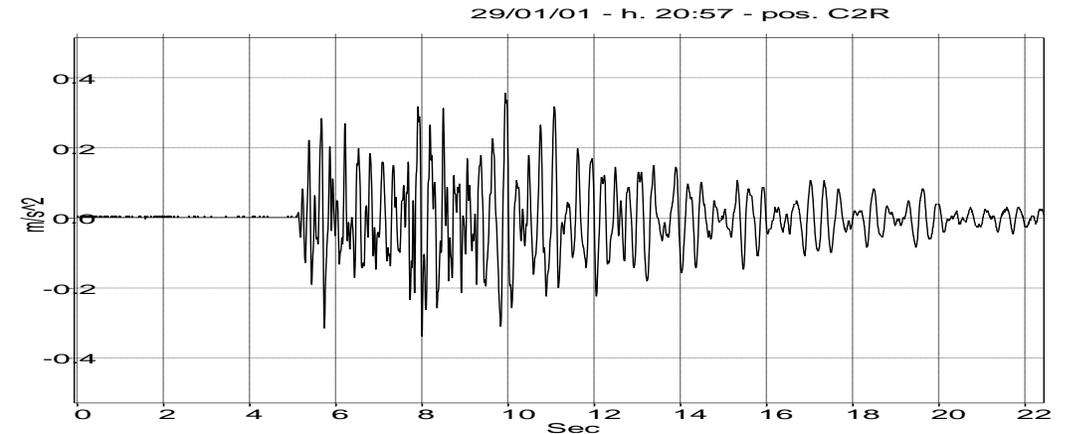
Diga di Ridracoli – Sismi

Eventi sismici Gennaio 2003

- Magnitudo 4.2, V grado scala Mercalli ed epicentro a 14 km dalla diga. In una prima fase valutato 3.9

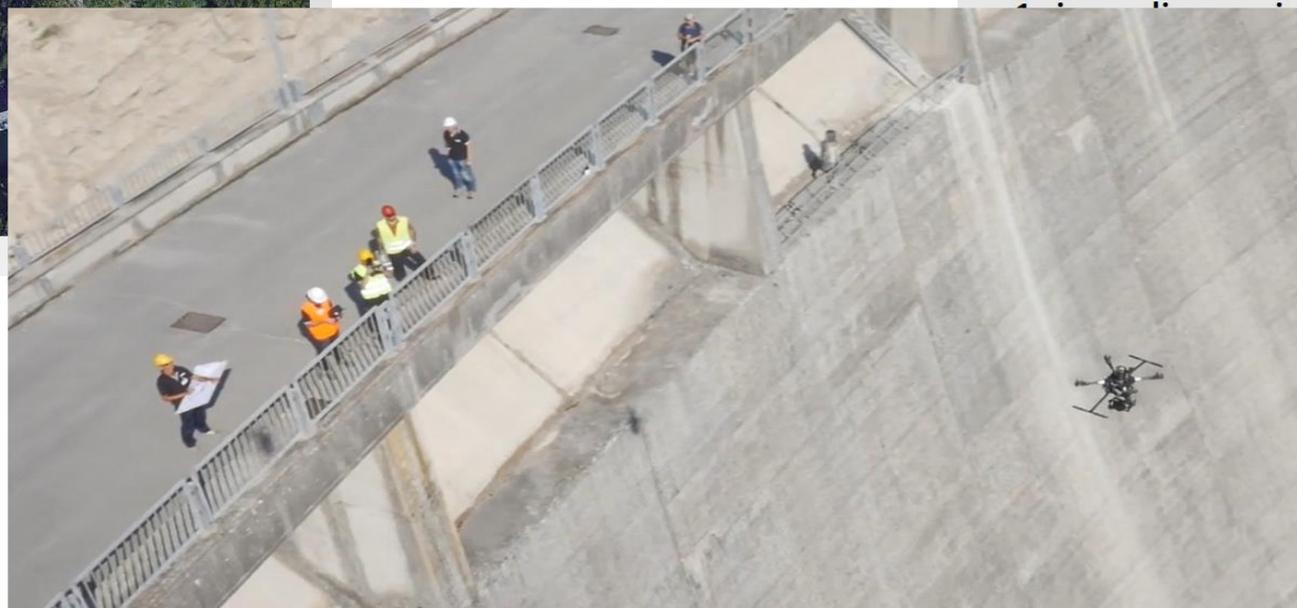
- Massima Accelerazione Misurata al Coronamento 356 mm/sec² pari a 0.036 g

-Massima Accelerazione alla base diga
63 mm/sec² pari a 0.0063 g <0.01 g



Diga di Ridracoli – Mappatura Paramenti

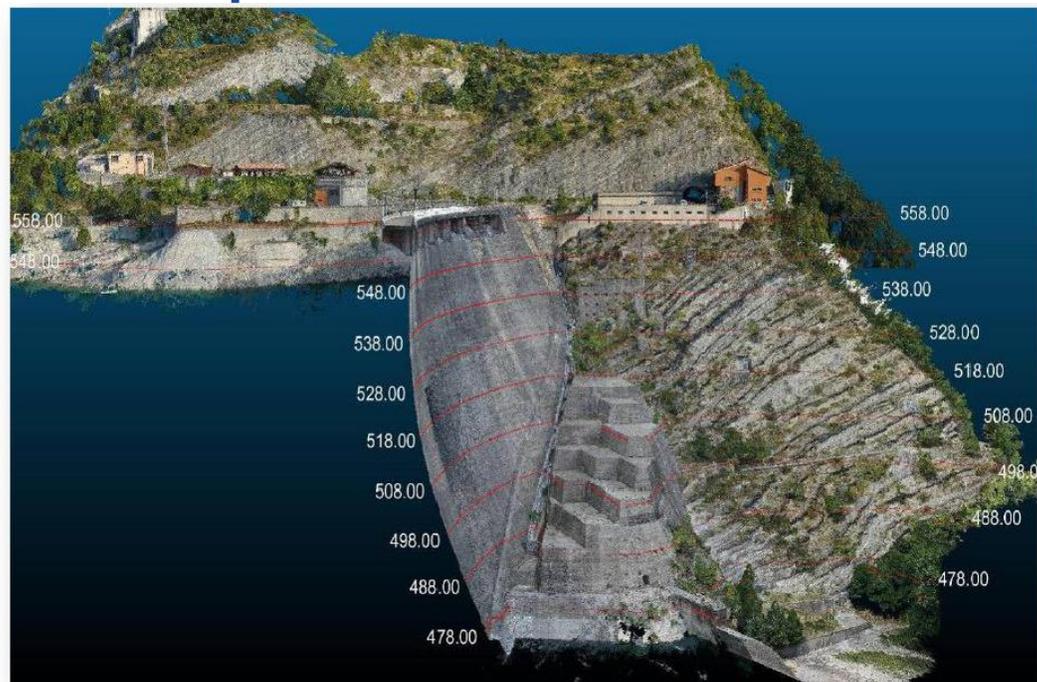
Rilievo condizioni paramenti con drone



... include le pause tecniche
... media effettiva 15min/volo

Diga di Ridracoli – Mappatura Paramenti

Rilievo paramenti con drone



Ringraziamenti

Si ringrazia

