

VAJONT



*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

## PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

**DIGA DI BEAUREGARD**

**L'AZIONE DELLE DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE: CRITICITA' ED AZIONI  
CONSEQUENTI**



**CVA**

COMPAGNIA VALDOSTANA DELLE ACQUE S.P.A.  
Lorenzo ARTAZ e Morena COLLI, ingegneri

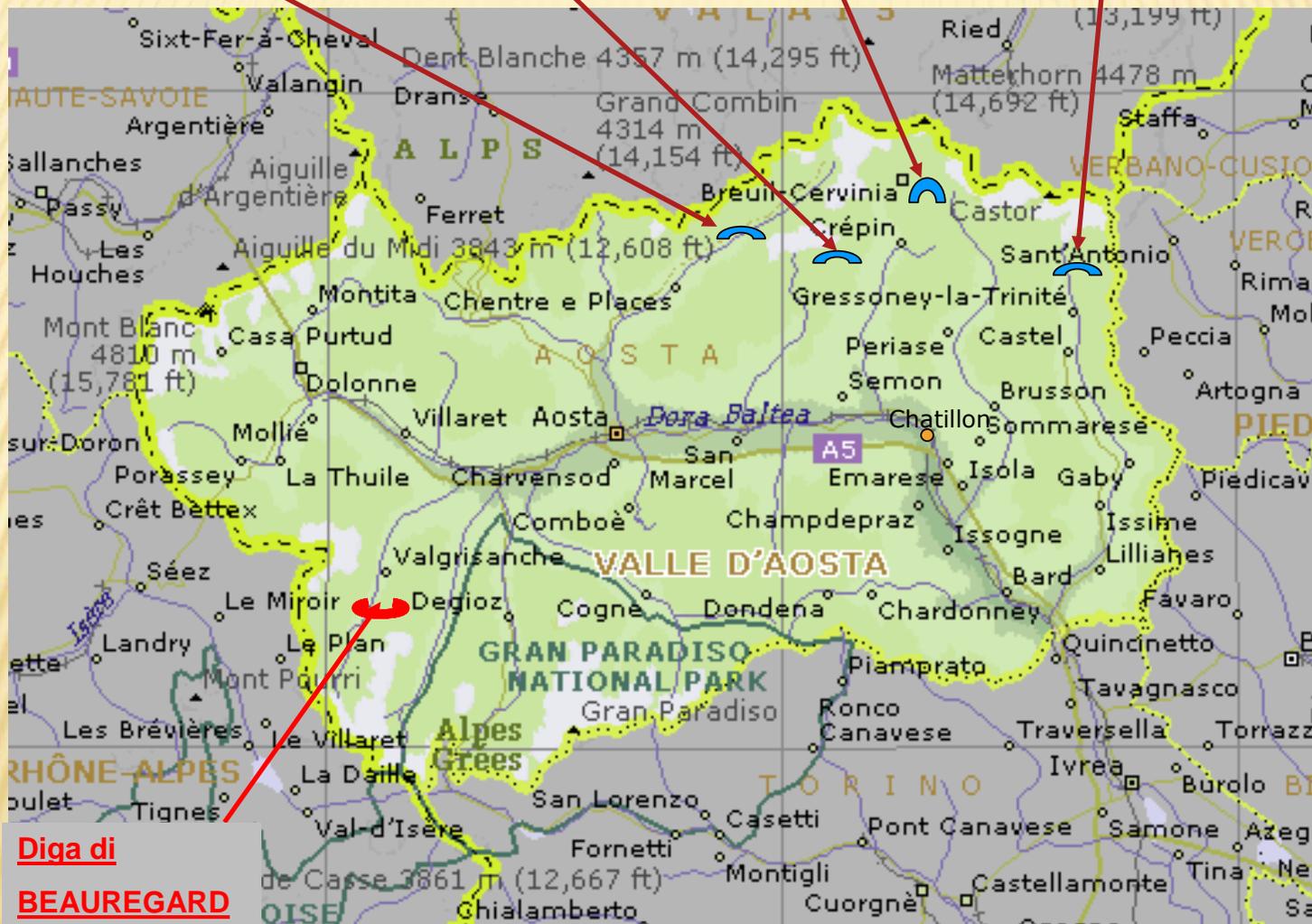
## LE PRINCIPALI DIGHE DELLA VALLE D'AOSTA

PLACE MOULIN

CIGNANA

GOILLET

GABIET



Diga di  
BEAUREGARD

CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

# PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



VAJONT





VAJONT



anniversary

CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

## PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



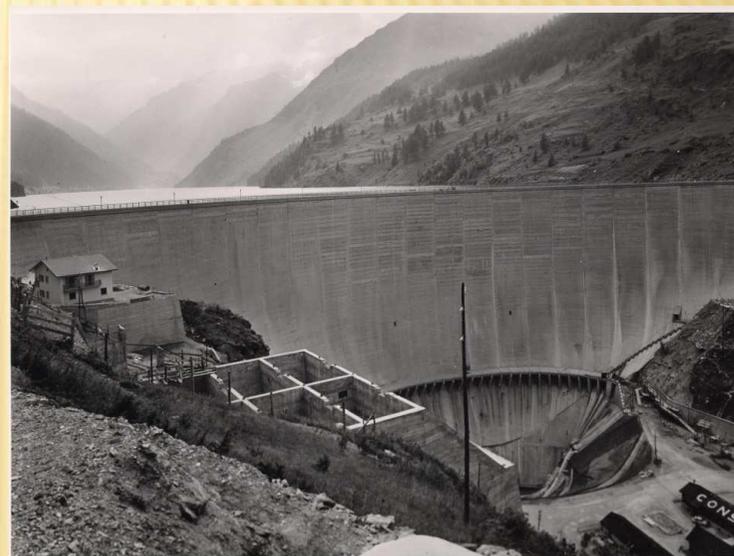
CVA

# CENNI STORICI

Il progetto dell'opera ha avuto molte vicissitudini

Primo progetto iniziale del 1918

- ✘ si è passati dalla previsione iniziale di invasare un volume di 11,3 Mm<sup>3</sup> sino a 72 Mm<sup>3</sup> ;
- ✘ portando contemporaneamente l'altezza della diga da circa 20 m a 130 m;
- ✘ cambiando il tipo di struttura da quello a vani interni a quello ad arco - gravità;
- ✘ giungendo al progetto finale del 1954, completato quando già gli scavi dell'opera erano ormai iniziati da tre anni (1951).

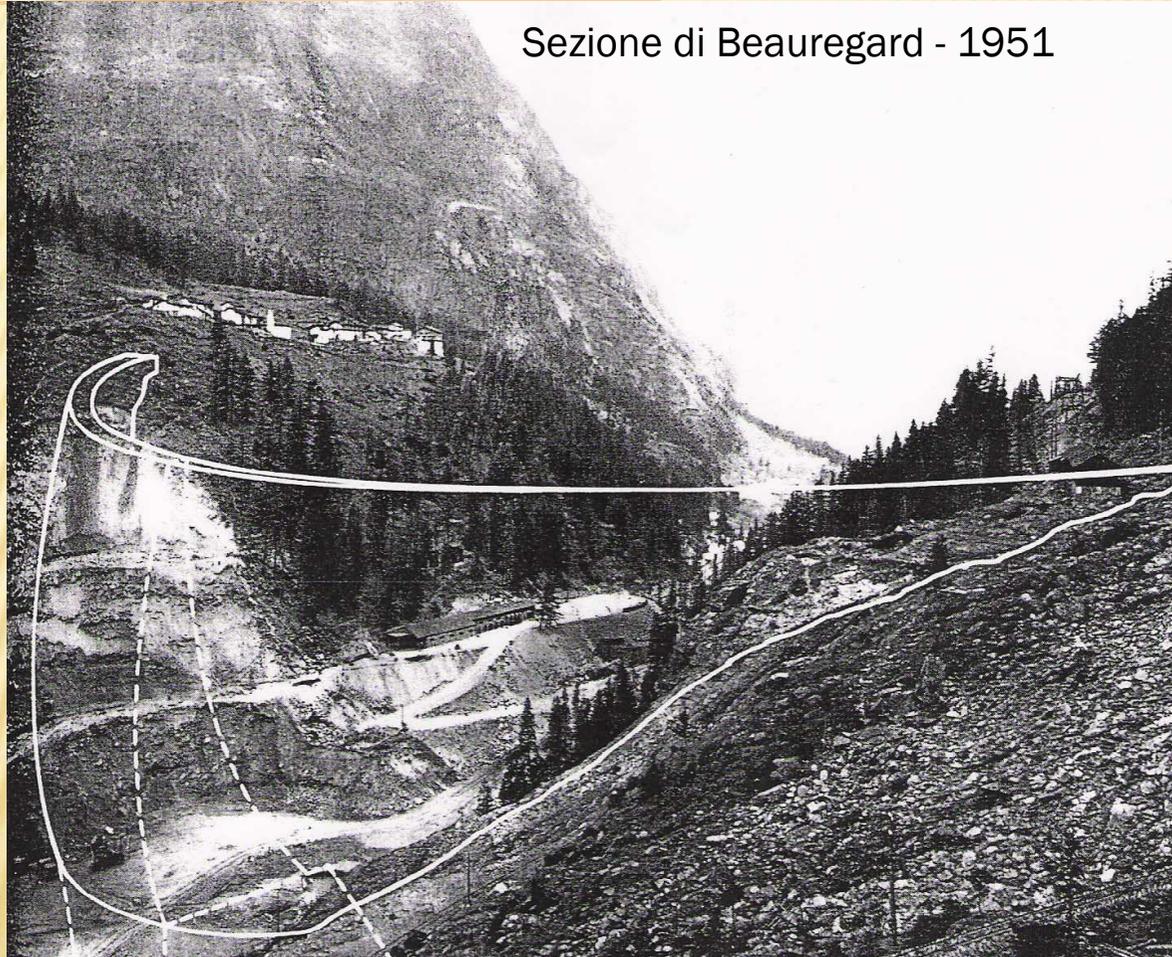


# DURANTE LA COSTRUZIONE .....

VAJONT



Sezione di Beauregard - 1951



*CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**



## DURANTE LA COSTRUZIONE .....

1949: concluse installazioni di cantiere e sondaggi preliminari

Ditte esecutrici : Torno e Scavarda

Costo complessivo: 20 miliardi di lire



*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**

## L'AREA DEL FUTURO INVASO - EVACUATI CINQUE VILLAGGI



VAJONT



*CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013*

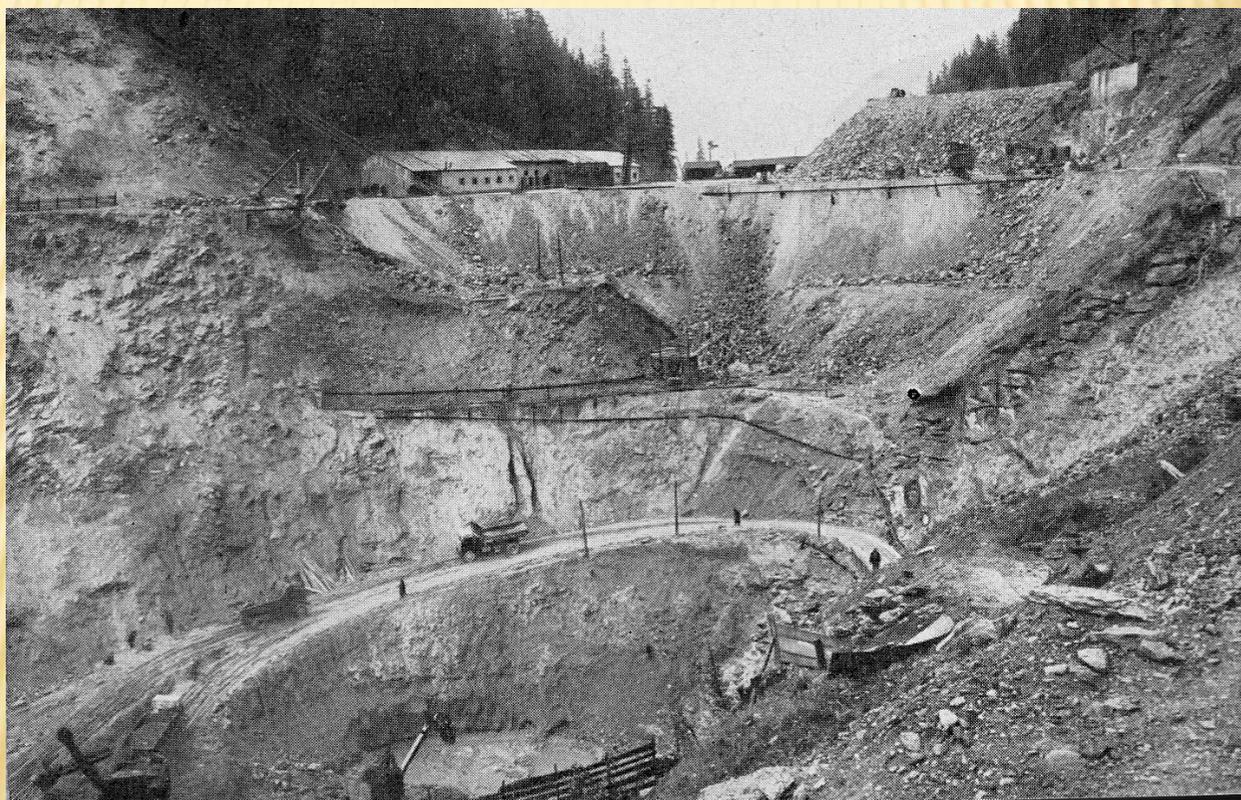
### PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



CVA

## DURANTE LA COSTRUZIONE .....

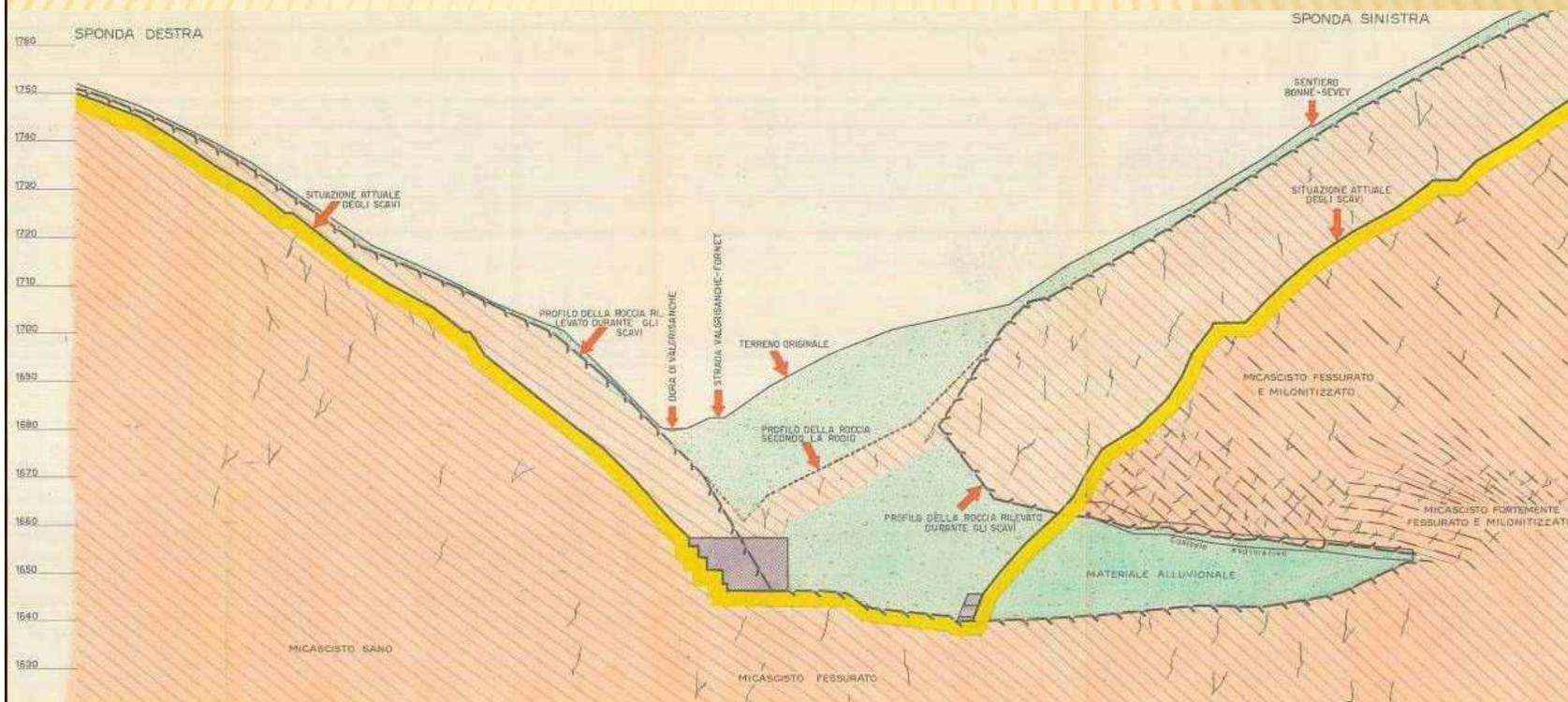
furono condotti numerosi studi che individuarono la presenza anomala di materiale morenico e alluvionale al di sotto di formazioni rocciose molto più antiche.



*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

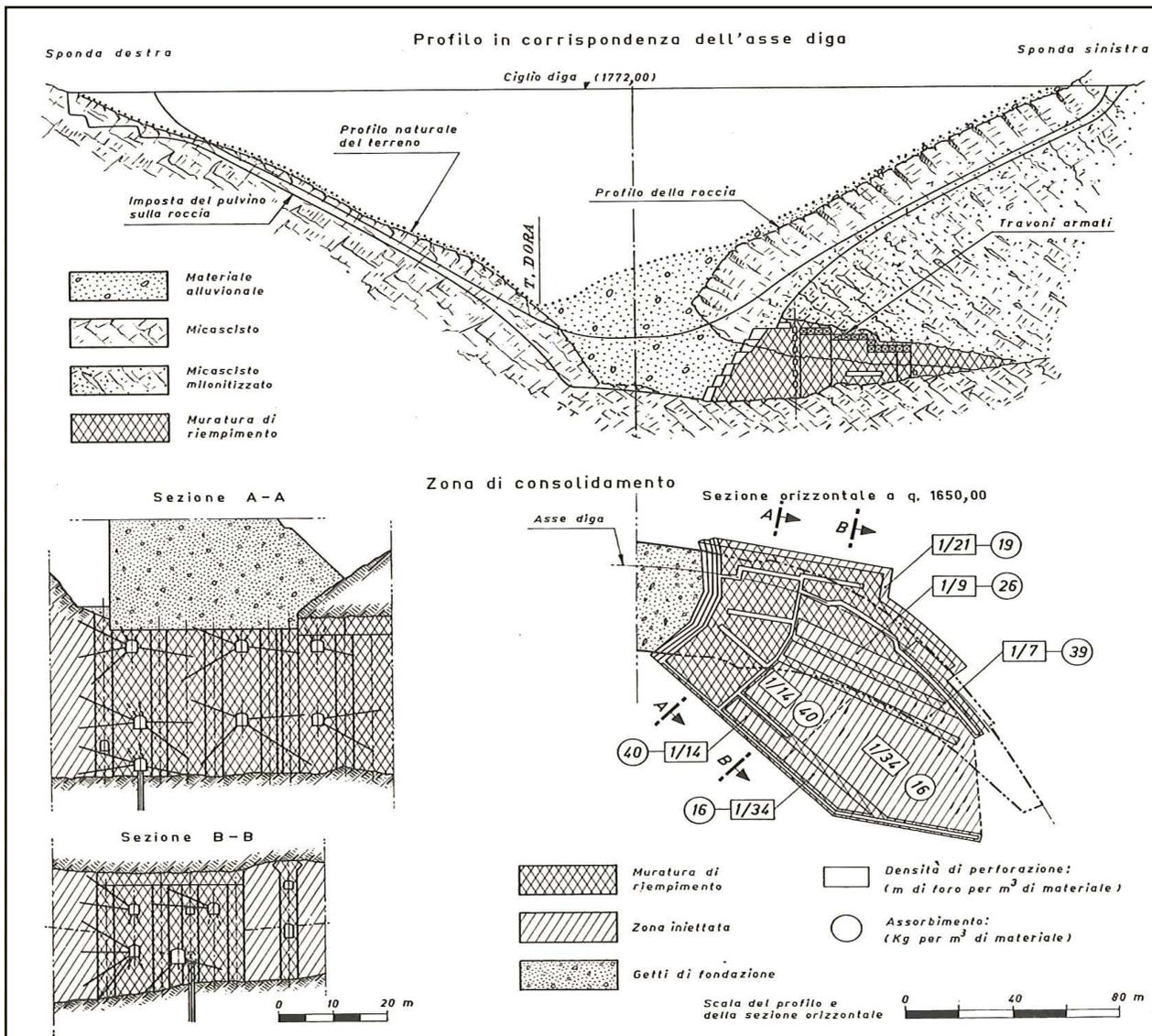
**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**

Vengono rilevate qualità scadenti dei materiali presenti in sinistra orografica; in particolare una «sacca» alta 30 m che si ritiene in prima battuta formata da materiale alluvionale



CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



VAJONT



La relazione geologica conclusiva (luglio 1954) “..... l’opera possa essere condotta a buon fine dopo aver provveduto ad impermeabilizzare e consolidare, le masse rocciose milonitizzate della spalla sinistra

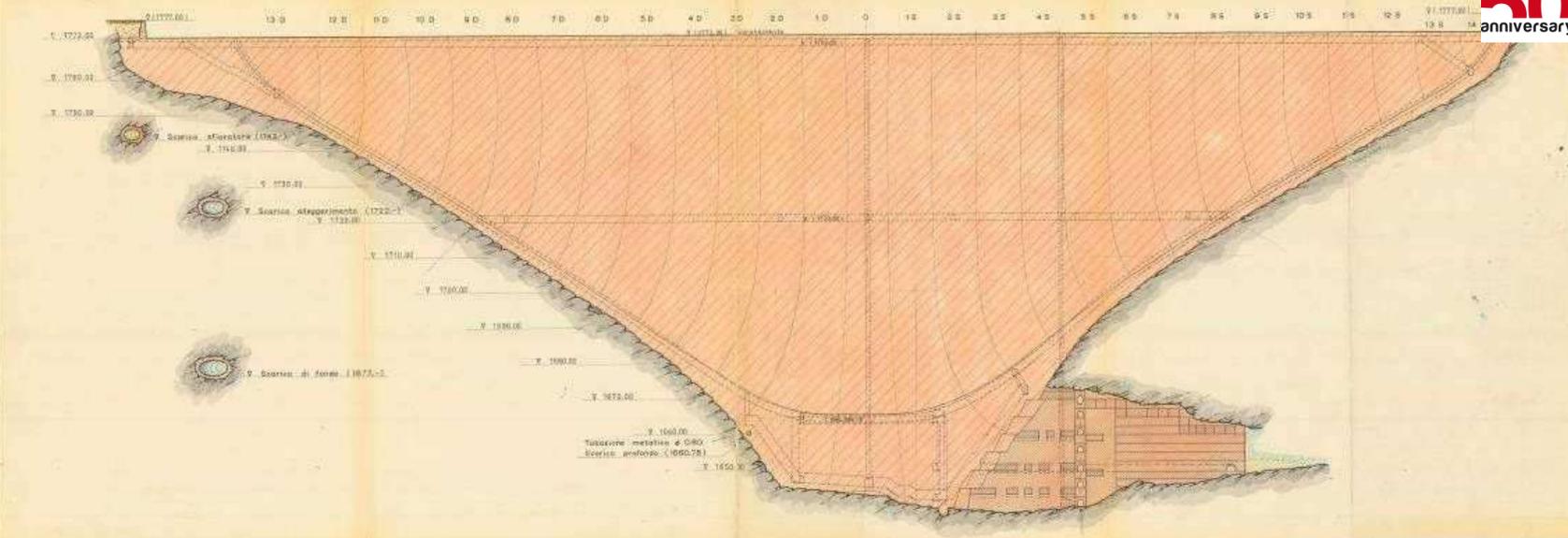
CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



- Iniezioni, consolidamenti e impermeabilizzazioni continuarono anche dopo l'ultimazione del corpo diga (1957) fino al 1962

VAJONT



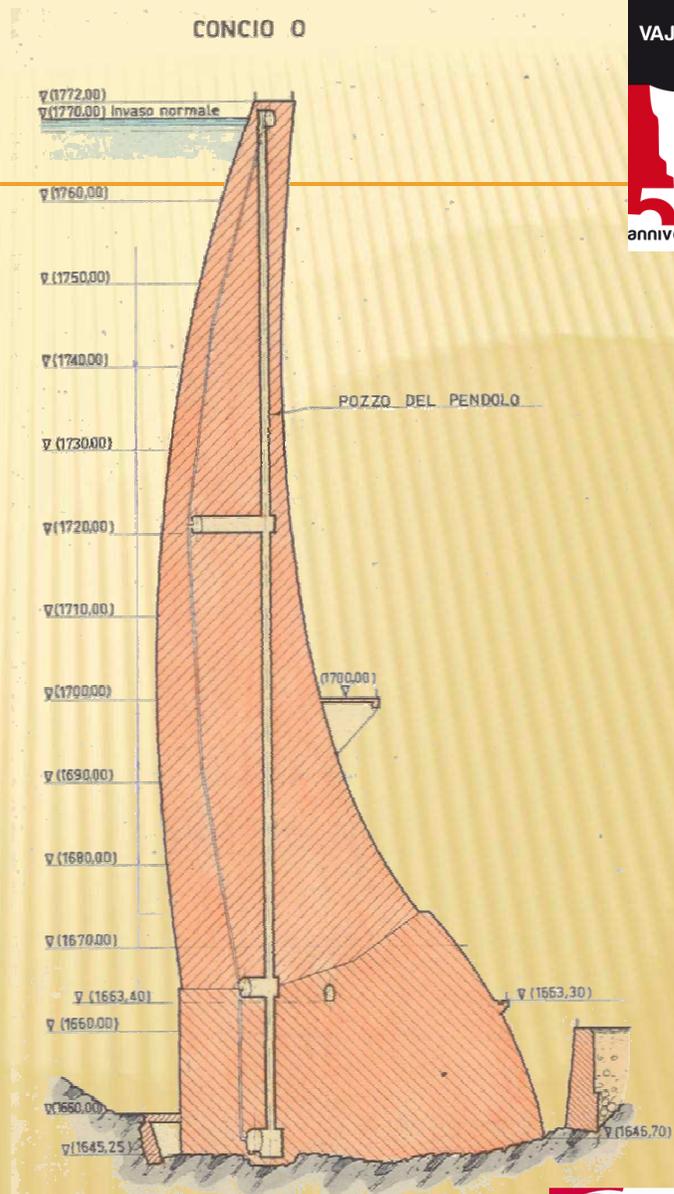
CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



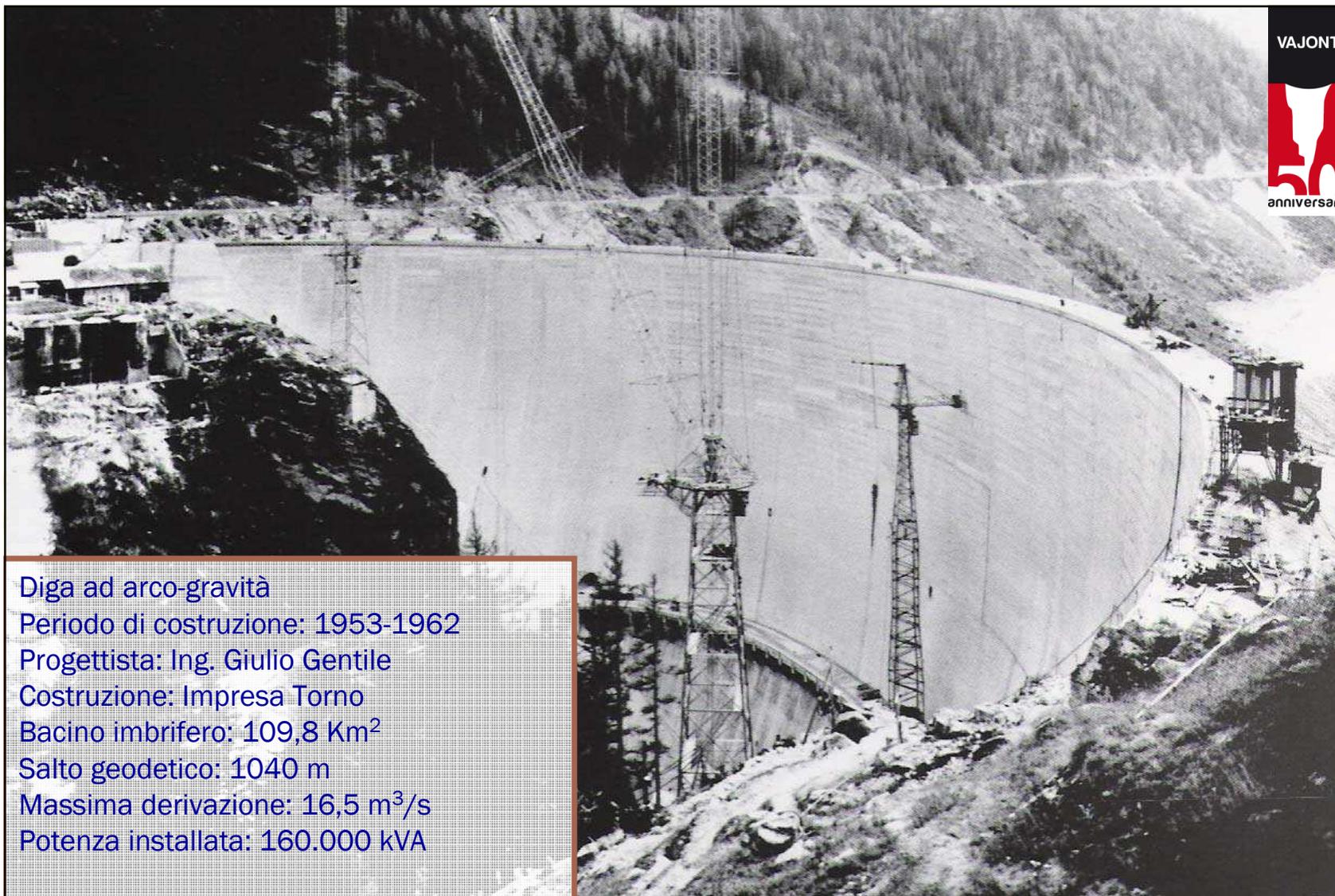
# DATI TECNICI

- ✘ Altezza massima totale di 132 m
- ✘ Sviluppo del coronamento di 394 m
- ✘ Quota coronamento 1772 m s.l.m.
- ✘ Sono stati impiegati 430.000 m<sup>3</sup> di calcestruzzo
- ✘ Spessori da 5 m a 40 m alla base



CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



VAJONT



Diga ad arco-gravità  
Periodo di costruzione: 1953-1962  
Progettista: Ing. Giulio Gentile  
Costruzione: Impresa Torno  
Bacino imbrifero: 109,8 Km<sup>2</sup>  
Salto geodetico: 1040 m  
Massima derivazione: 16,5 m<sup>3</sup>/s  
Potenza installata: 160.000 kVA

CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



## CRONOLOGIA DEGLI EVENTI.....

Dal 1959 gestione del serbatoio con quote d'invaso prossime alla quota di massima di progetto ( 1770 m s.l.m.). Si notano movimenti nella spalla sinistra dell'ordine di alcuni cm che generano nella struttura muraria una serie di deformazioni con conseguenti lesioni.



CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



Dal 1964 al 1969 Il serbatoio viene gestito con invasi limitati alla quota 1730

1969 La commissione Arredi collauda l'opera limitando cautelativamente la quota di esercizio a 1710 m s.l.m. superabile solo in caso di eventi di piena eccezionali.

Nel certificato di collaudo viene evidenziato:

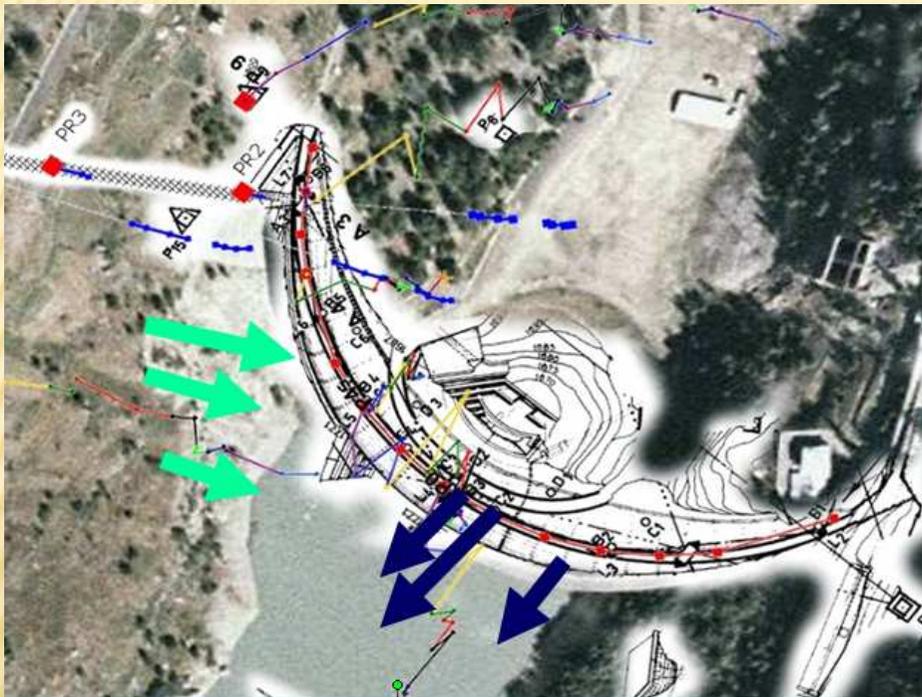
*“.....l'esistenza di un lentissimo movimento dell'ammasso roccioso”*

*“.....escludendo ogni possibilità di movimenti franosi di rilievo”.*

- 01 giugno 2001 creazione di GEVAL S.p.A. che diventa il 1 gennaio 2002 C.V.A. S.p.A
- febbraio 2002 CVA sia per ottemperare alle richieste del RID sia per necessità oggettiva di collegare organicamente tutta la mole di dati preesistenti, da l'avvio ad uno studio dal titolo *“Approfondimento Tecnico-Conoscitivi per la verifica delle caratteristiche del dissesto sinistro vallivo in corrispondenza della diga e per l'integrazione del sistema di monitoraggio”*. E' il primo di molti studi e approfondimenti riguardanti la diga, il versante e la loro interazione

# STATO FESSURATIVO DELLA DIGA

VAJONT



LE FESSURAZIONI NEL CORPO DIGA SI FORMARONO FINO DAI PRIMI INVASI SPERIMENTALI.

IL MOVIMENTO DELLA SPALLA SINISTRA "COSTRINGE" IL MANUFATTO A UNA DERIVA COSTANTE VERSO MONTE E E' LA CAUSA DELLA PROFONDA FESSURA AL PARAMENTO DI VALLE E DEL DISSESTO DELLA PARTE SUPERIORE.

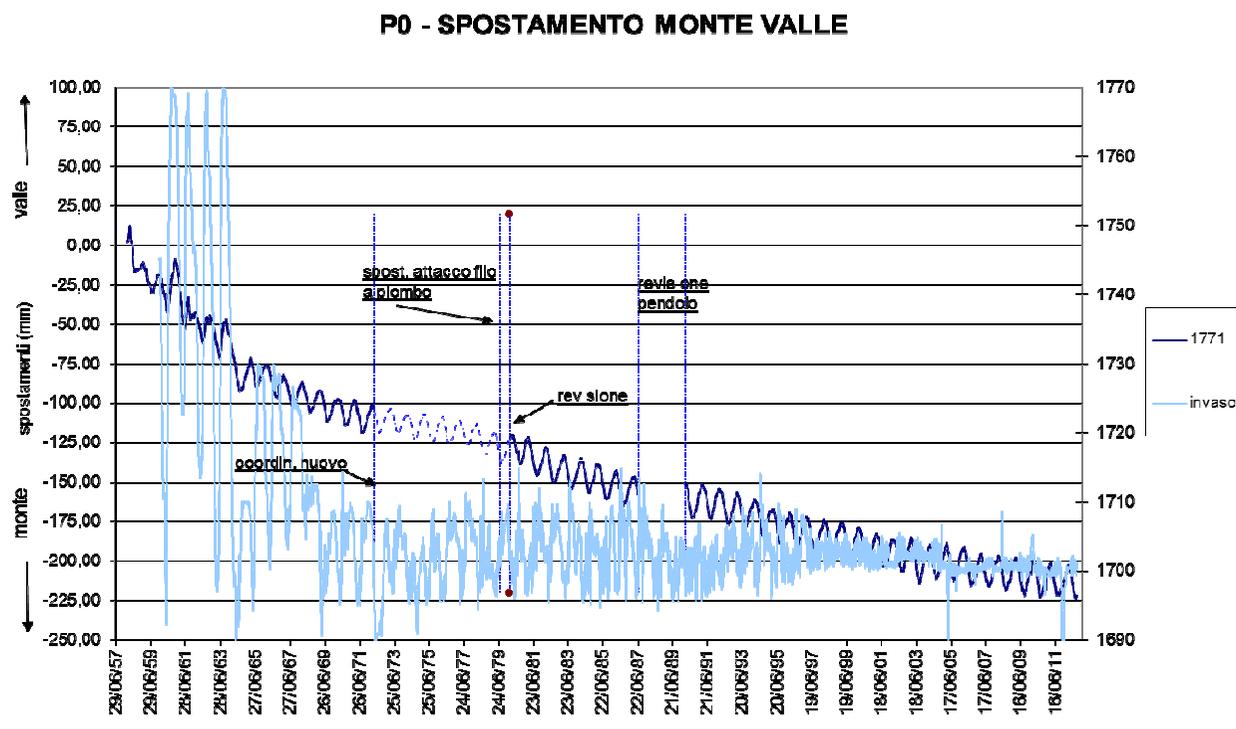
NEGLI ANNI TALE STATO DEFORMATIVO E' STATO OGGETTO DI ATTENTO MONITORAGGIO E STUDIO. TALI ANALISI E CONTROLLI SONO STATI INTENSIFICATI A PARTIRE DAL 2002 TRAMITE L'EFFETTUAZIONE DI NUOVI RILIEVI E LA POSA DI ULTERIORE STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO

CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



I 2 pendoli del corpo diga hanno un andamento ciclico correlato principalmente alla termica. La componente di deriva verso monte e verso destra è strettamente dipendente dai movimenti del versante.

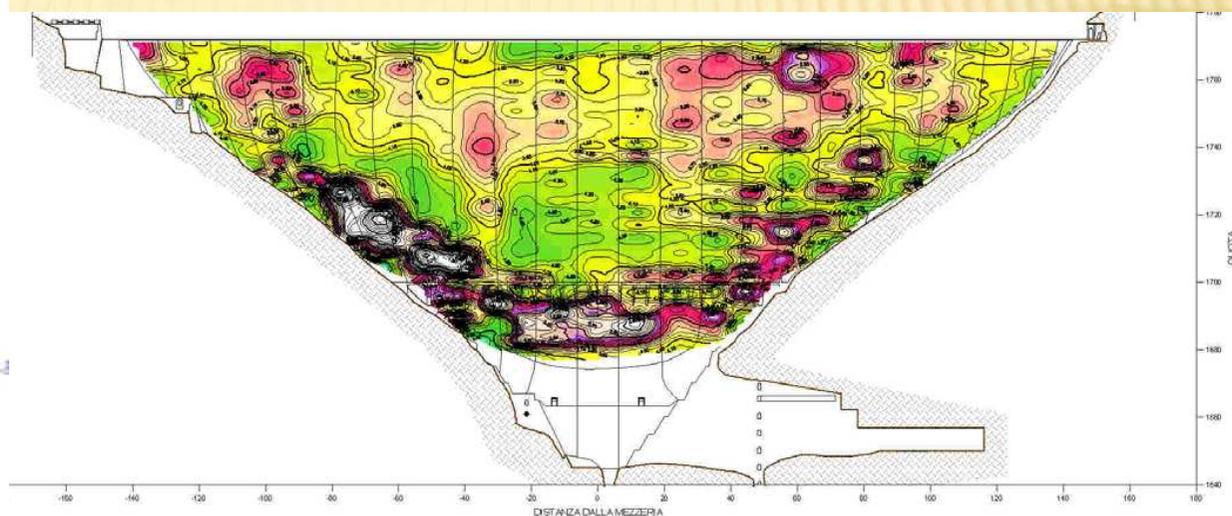
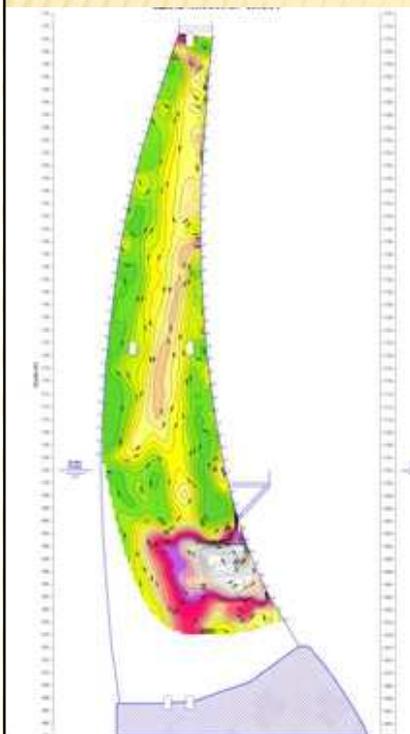


Per il pendolo in chiave:

- 14 mm/anno nel periodo degli invasi alti (1770 m s.m.)
- 7 mm/anno nel periodo (1965-1967) di invasi «medi» (1730 m s.m.)
- 3 mm/anno nel periodo degli invasi bassi (<1710 m s.m.)
- Tot spostamento cumulato verso monte circa 21 cm

# QUADRO FESSURATIVO: INDAGINI TOMOGRAFICHE

VAJONT

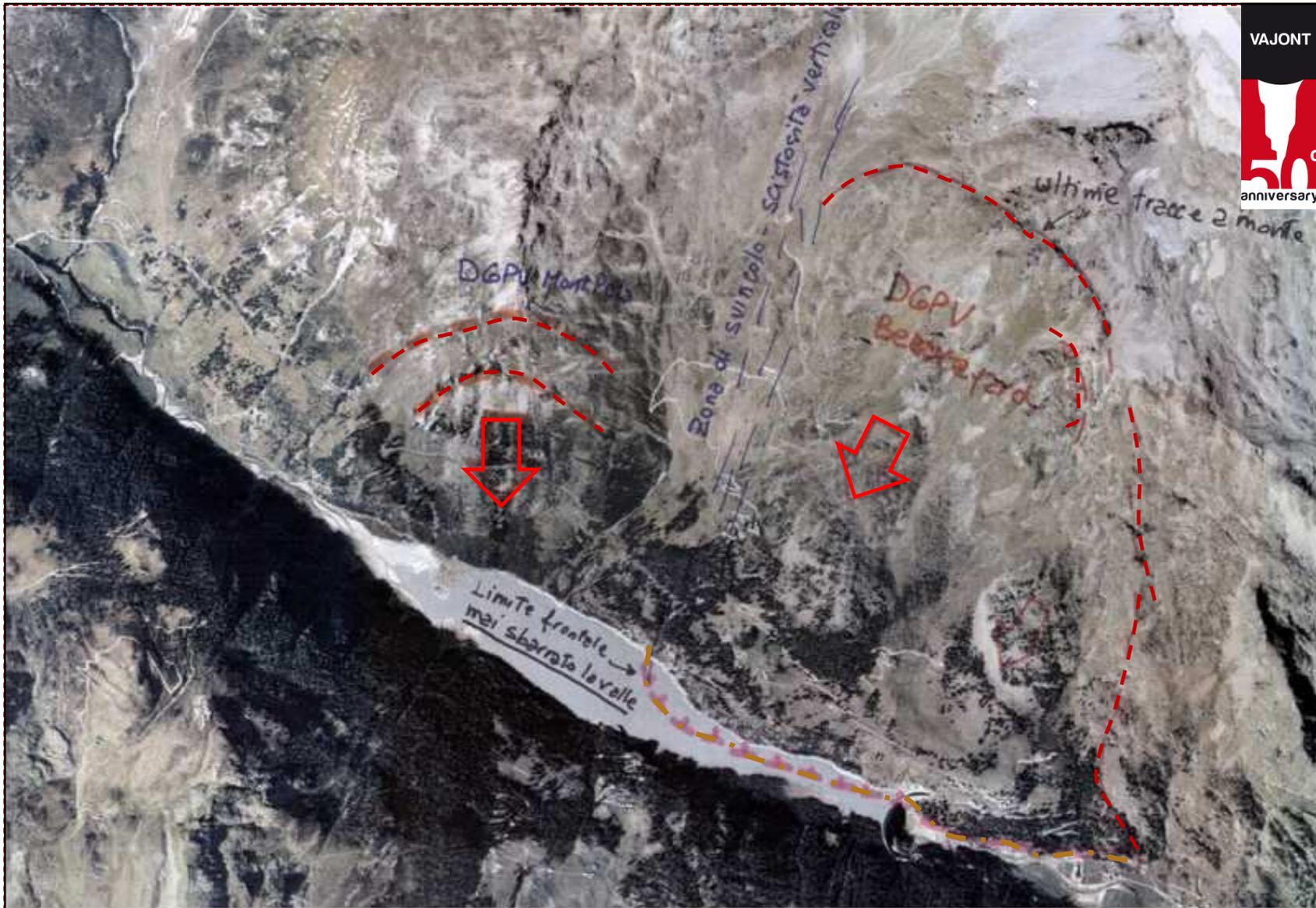


Immagini tomografiche: velocità delle onde di compressione concio 0 e paramento di valle

CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE





VAJONT



CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

# PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



# UNO SGUARDO D'INSIEME

VAJONT

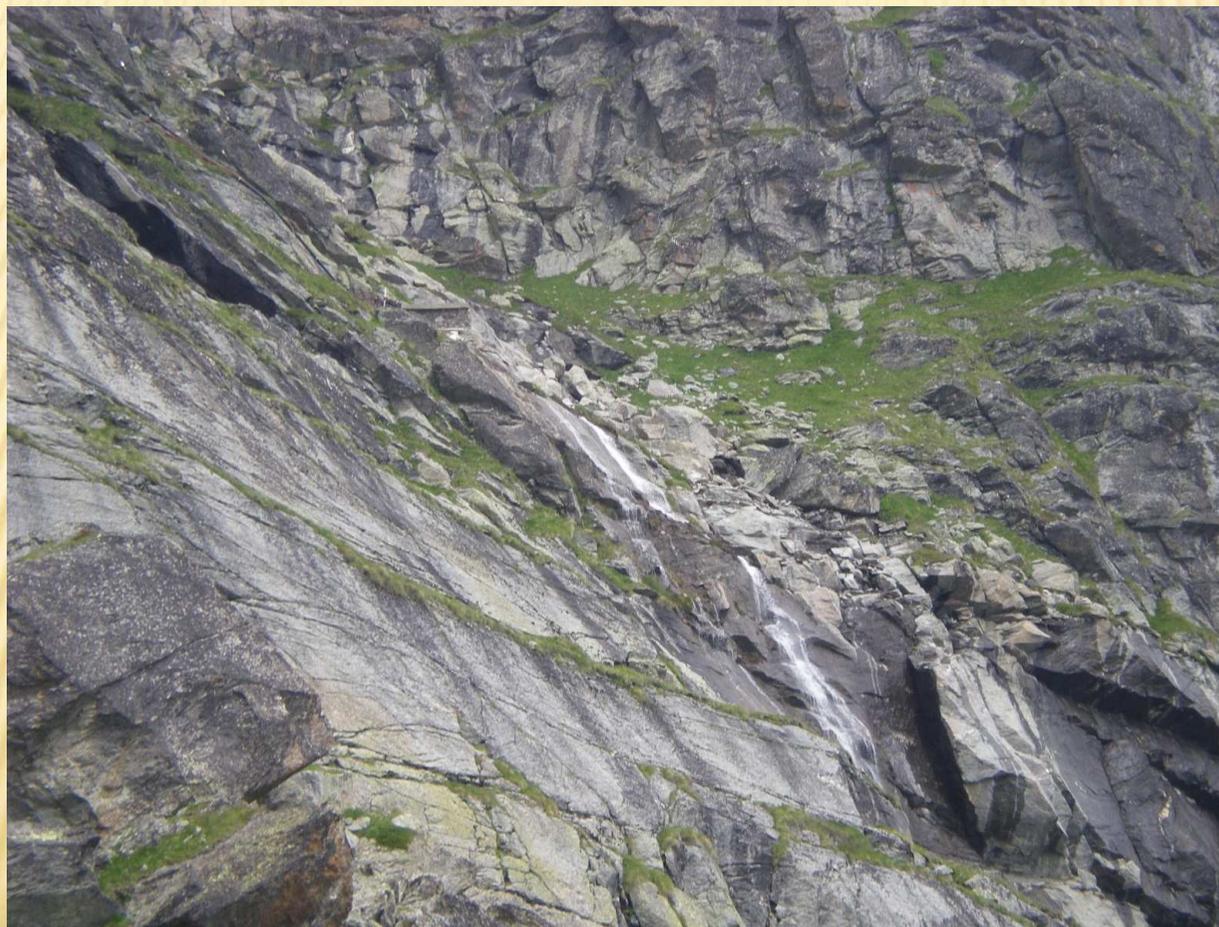


*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**



# UNO SGUARDO D'INSIEME



*CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**

VAJONT



# UNO SGUARDO D'INSIEME



*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**

VAJONT

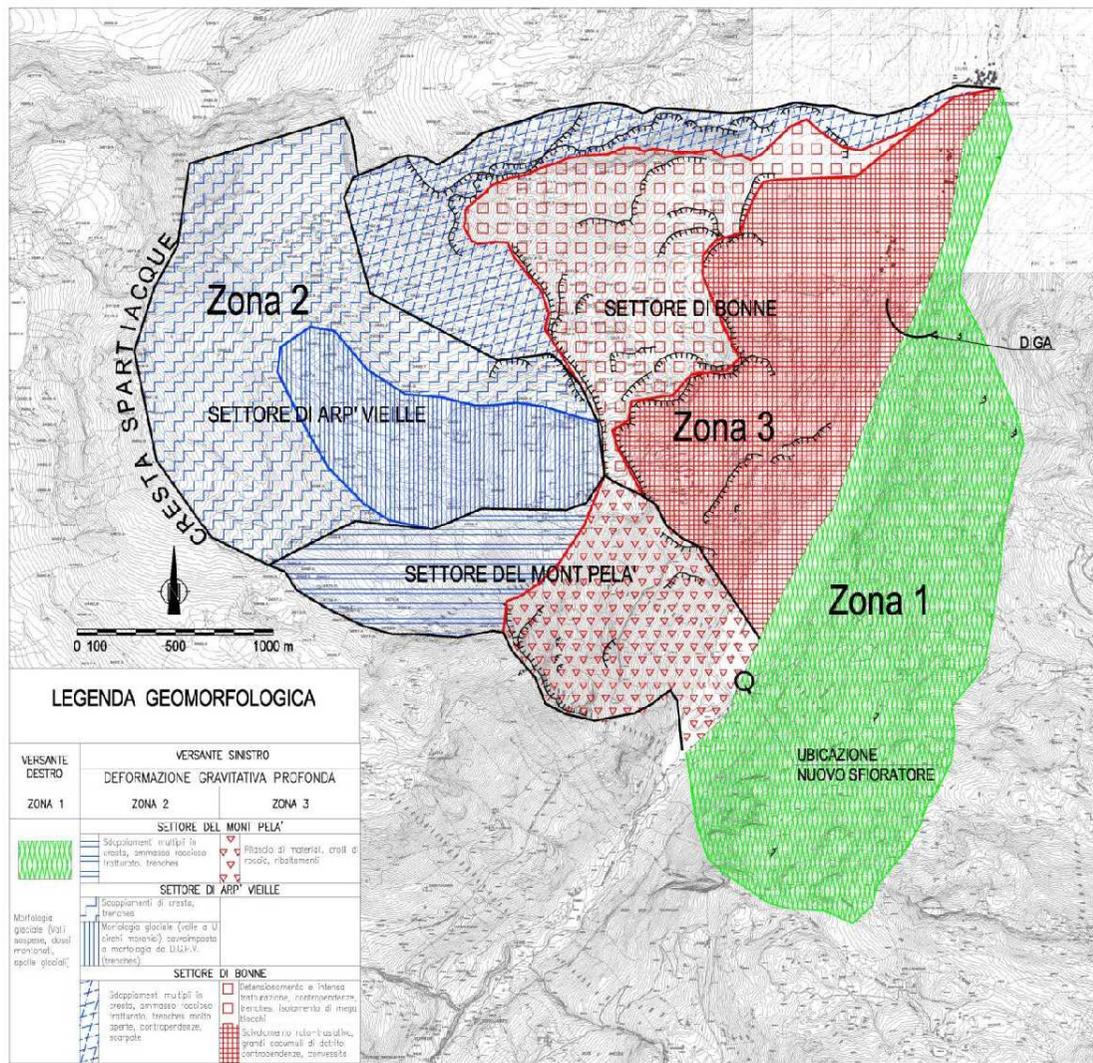


COMMESSA \_08565

DATA \_07/08

VISTO \_AC

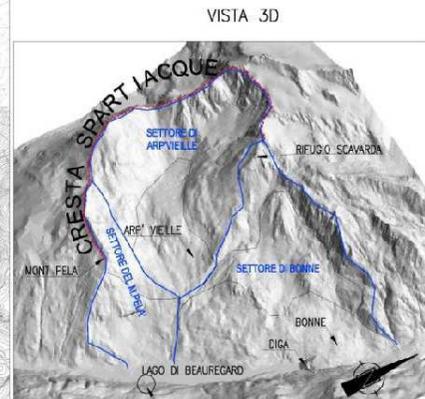
REDATTO \_PM



LEGENDA GEOMORFOLOGICA

VERSANTE DESTRO	VERSANTE SINISTRO		
	DEFORMAZIONE GRAVITATIVA PROFONDA		
	ZONA 2	ZONA 3	
	SETTORE DEL MONT PELLA'		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Séparations multiples de crête, ammasso roccioso fratturato, trenches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ritardo di materiali, crolli a rasoio, ribaltamenti</li> </ul>	
	SETTORE DI ARP' VIELLE		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Morfologia glaciale (valli anguste, daval tronconi, spole glaciali)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accoppiamenti di crista, terraces</li> <li>Morfologia glaciale (valli a U, circhi, rovine), sovrapposta a morfologia da D.G.V. (transes)</li> </ul>		
	SETTORE DI BONNE		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Séparations multiples de crête, ammasso roccioso fratturato, trenches molto aperte, corti pendenze, scarpate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distacco e intesa in strazione, retrocessione, frangimento, isolamento di magli, blocchi</li> <li>Sindrone su roccia, graniti esposti di detto, retrocessione, connessa</li> </ul>	

RL 0903 – FIGURA 1.1  
 NUOVO SFIORATORE  
 BEAUREGARD-VALGRISENCHÉ (AO)  
 SCHEMA GEOMORFOLOGICO DELL'AREA CON UBICAZIONE  
 PREVISTA DEL NUOVO SFIORATORE  
 Scala 1:20.000



VISTA 3D

UBICAZIONE NUOVO SFIORATORE

GEODES

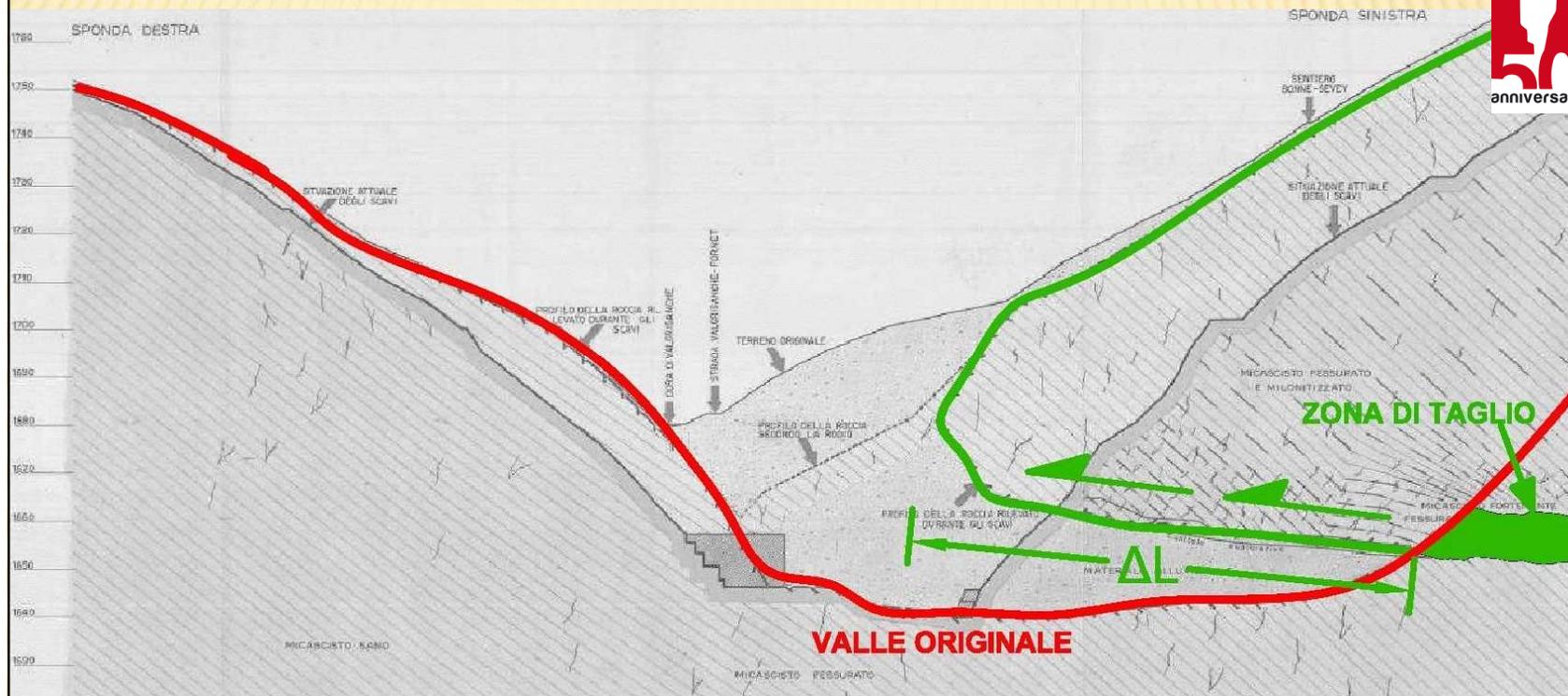
VAJONT



CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLosità IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

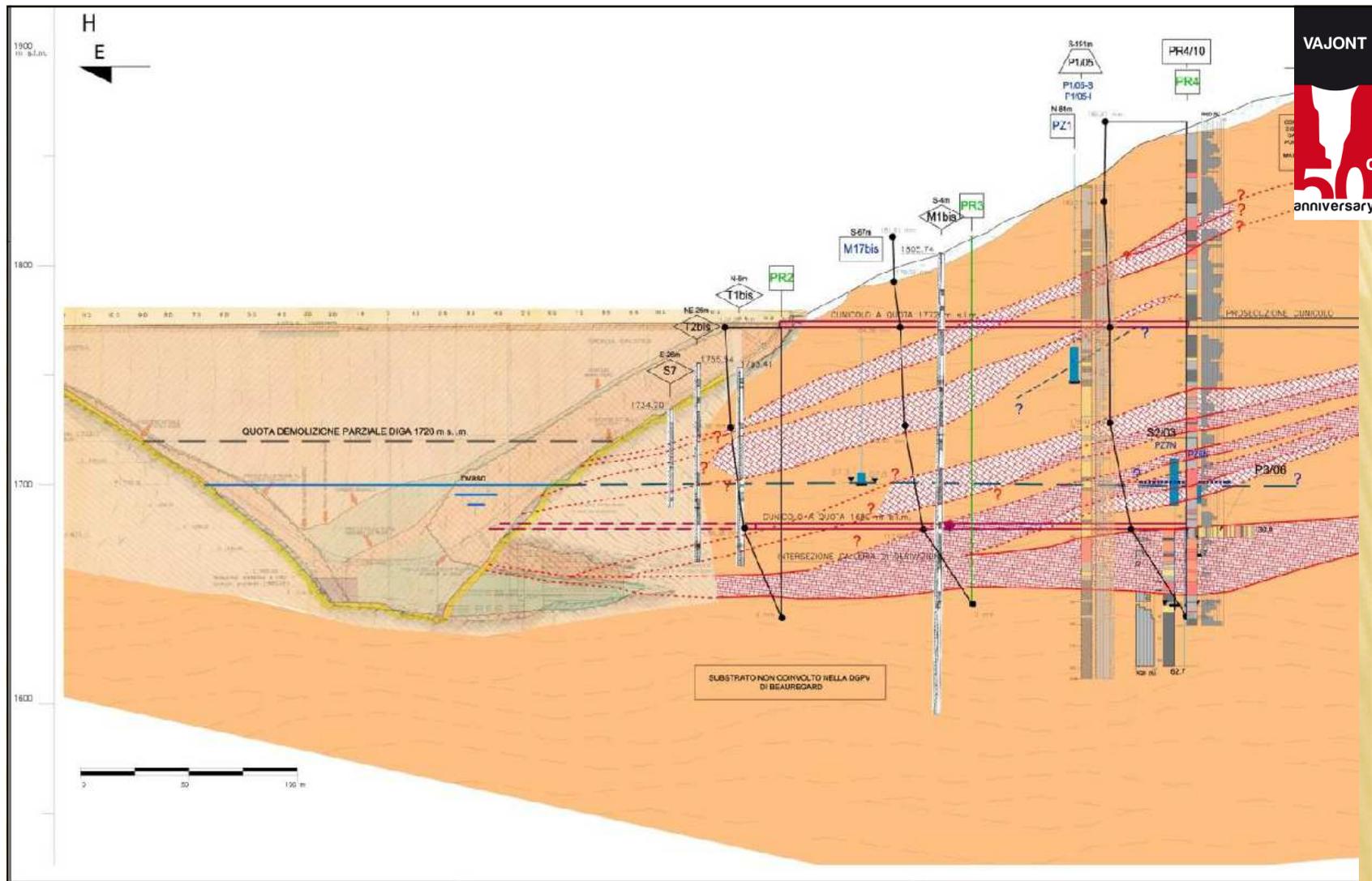




$\Delta L \sim 100 \text{ m}$   
 $\Delta T \sim 10 \div 12.000 \text{ anni}$   
 $V_{\text{media}} \sim 0,8 \div 1 \text{ cm/anno}$

CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



VAJONT



CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

# PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



- La DGPV ha avuto origine 10.000 anni fa
- Non ha mai sbarrato la valle
- Volume > 200 milioni di m<sup>3</sup>
- Velocità attuale: 0,5÷1 cm/anno
- Si è sempre evoluta in modo lento e costante, con velocità simili alle attuali
- Non vi sono elementi per prevedere una evoluzione dissimile nel futuro
- Si possono escludere improvvise e repentine accelerazioni

# SALVAGUARDIA DELLA SICUREZZA A VALLE DELLA DIGA

VAJONT



I risultati ottenuti dai vari studi, tra il 2002 e il 2006, confermarono l'esistenza del fenomeno gravitativo in spalla sinistra ma anche del suo manifestarsi nel tempo sotto forma di lento scivolamento, senza possibilità di accelerazioni o crolli improvvisi.

Gli studi effettuati confermavano inoltre che la diga, con i limiti di esercizio imposti in sede di collaudo, NON aveva problemi di stabilità.

A fronte di tali favorevoli conclusioni emerse la concreta possibilità di mantenimento dell'invaso ( !!! ) confortata anche dalle esigenze, al di fuori della pura finalità di produzione idroelettrica, di garantire le funzioni di laminazione e di sicurezza per i territori che a valle della diga presentavano, nei punti più critici, capacità di deflusso dell'alveo inferiore a 10 mc/s.

CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



A luglio 2004 CVA, in collaborazione con RAVA Ass. Territorio Ambiente e Protezione Civile, redige un protocollo per il controllo giornaliero che consenta il mantenimento dell'invaso con quota di gestione alla 1702,00 m s.l.m. Tale accordo viene assentito successivamente anche dalla Direzione Dighe

Dopo un primo progetto di messa in sicurezza di sbarramento e invaso presentato e bocciato nel 2005 a aprile 2006 con - **Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri** Dichiarazione dello stato di emergenza in relazione alla messa in sicurezza della Diga di Beauregard nel comune di Valgrisenche. (GU n. 91 del 19-4-2006 ). *“.....è dichiarato lo stato di emergenza nel territorio del comune di Valgrisenche in relazione alla improcrastinabile necessità di provvedere alla messa in sicurezza della diga di Beauregard, fino al 31 dicembre 2006.”*

L'obiettivo dell'ordinanza è la salvaguardia dell'integrità delle popolazioni, dell'ambiente e degli insediamenti.

La commissione, appositamente nominata, si prefigge di giungere ad una soluzione definitiva del problema attraverso un progetto comprendente una serie di interventi volti anche a minimizzare l'impatto sul territorio oltre che a salvaguardare la capacità di laminazione del serbatoio, molto importante per la valle

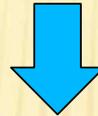
**CON LA NOMINA NEL 2007 DEL COMMISSARIO STRAORDINARIO  
ING. MARIO TOTI INCOMINCIANO UNA SERIE DI ATTIVITÀ:**

VAJONT



## **FASE CONOSCITIVA (2007-2008)**

(Indagini idrologiche e geologiche, sondaggi, geofisica, galleria esplorativa per drenaggio, pozzi, analisi dati di monitoraggio, studi sul versante e sul comportamento della diga, modellazione numerica)



## **INTERVENTI**

**SUL VERSANTE:** regimazione delle acque superficiali, limitazione delle infiltrazioni in corpo frana, incremento monitoraggio

**SULL'INVASO:** realizzazione di uno sfioratore fondo lago e interventi di adeguamento dell'alveo

**SULLA DIGA:** riduzione altimetrica della diga in modo da prolungare la vita utile della struttura rimanente diminuendo le sollecitazioni del versante sulla stessa

*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**





## ATTIVITA' COMMISSARIALI



Realizzazione di cunicolo esplorativo per valutare la possibilità di DRENAGGIO PROFONDO del versante e acquisire nuove informazioni sul versante stesso



CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL), – 13 SETTEMBRE 2013  
PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE  
DELLE DIGHE

# ATTIVITA' COMMISSARIALI:

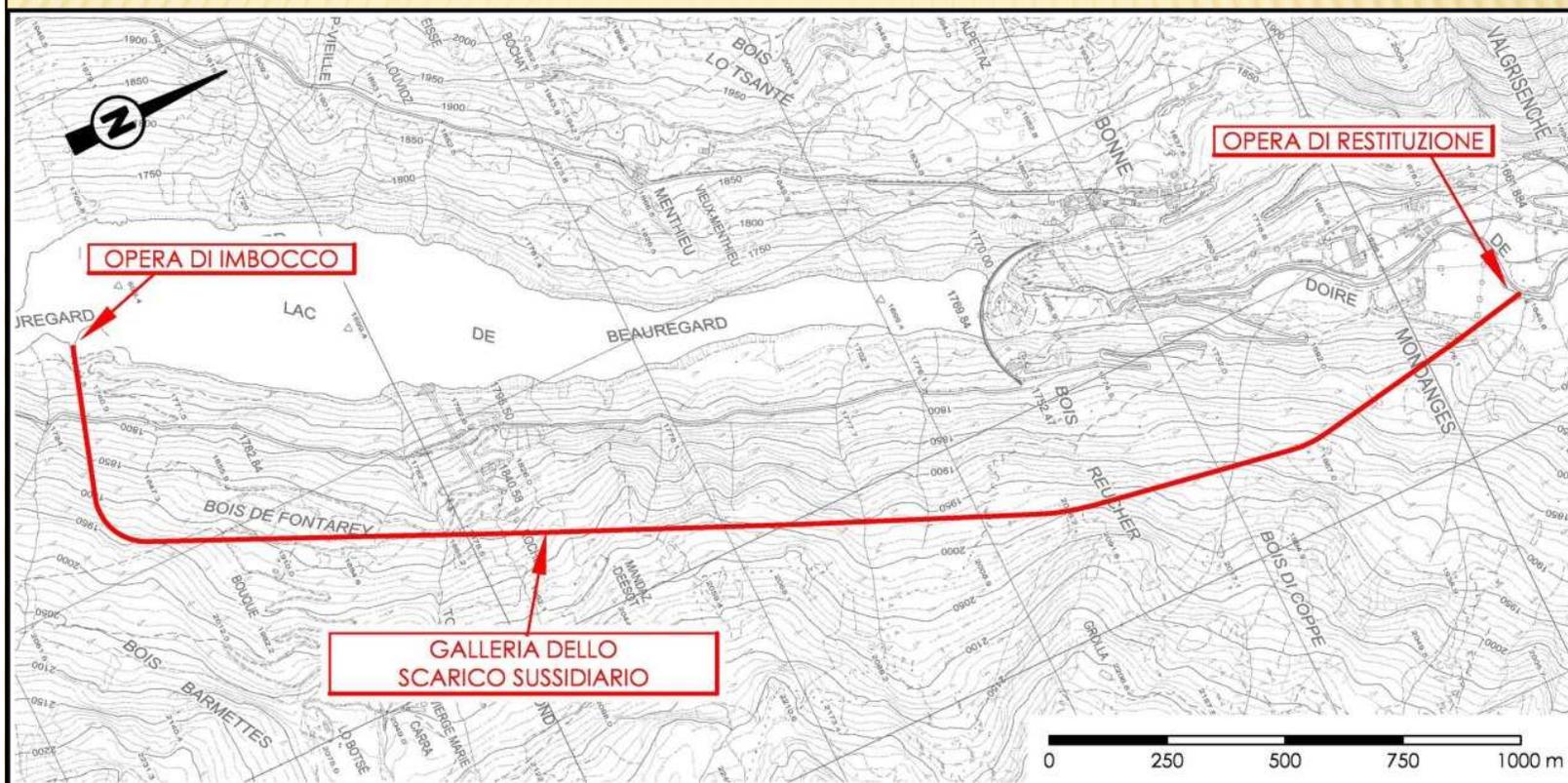
LAVORI DI REGIMAZIONE E CONTROLLO DELLE ACQUE  
LAVORI DI DEVIATIONE DELLE ACQUE DEI LAGHI DEL MORION

VAJONT



# ATTIVITA' COMMISSARIALI

MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA tramite la realizzazione di uno SFIORATORE Attualmente è stato ultimato il collaudo



CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

# ATTIVITA' COMMISSARIALI

VAJONT



*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**



## ATTIVITA' COMMISSARIALI

In conseguenza della costruzione del nuovo scarico di superficie è stata realizzata la sistemazione dei punti più critici dell'alveo di valle che avrebbero potuto andare in crisi con le portate smaltite dal suddetto nuovo sfioratore.

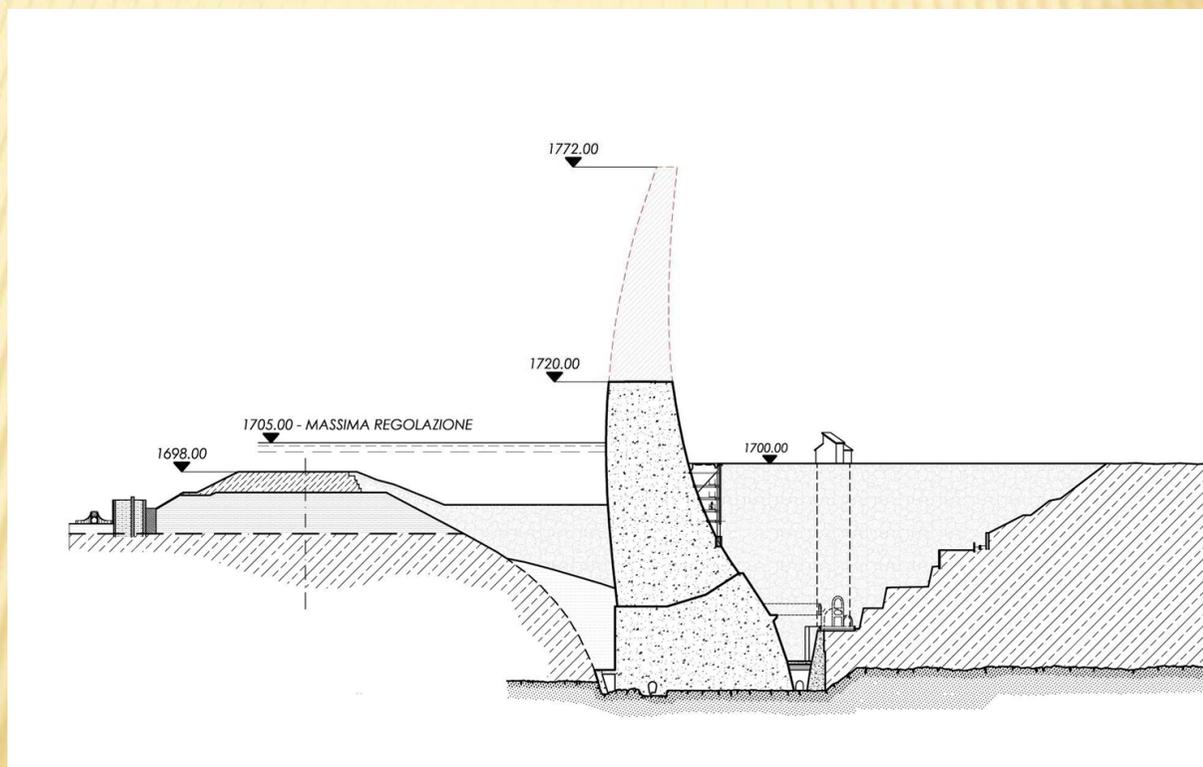


CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BI.) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

# IL PROGETTO....

- REALIZZATO DALL'O STUDIO MARCELLO DI MILANO
- APPROVATO DAL COMMISSARIO, DAL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI, DALLA DIREZIONE DIGHE E DAGLI ENTI TERRITORIALMENTE INTERESSATI



CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

# ADEGUAMENTO/MESSA IN SICUREZZA DELLA OPERE

VAJONT



## PRINCIPI SEGUITI:

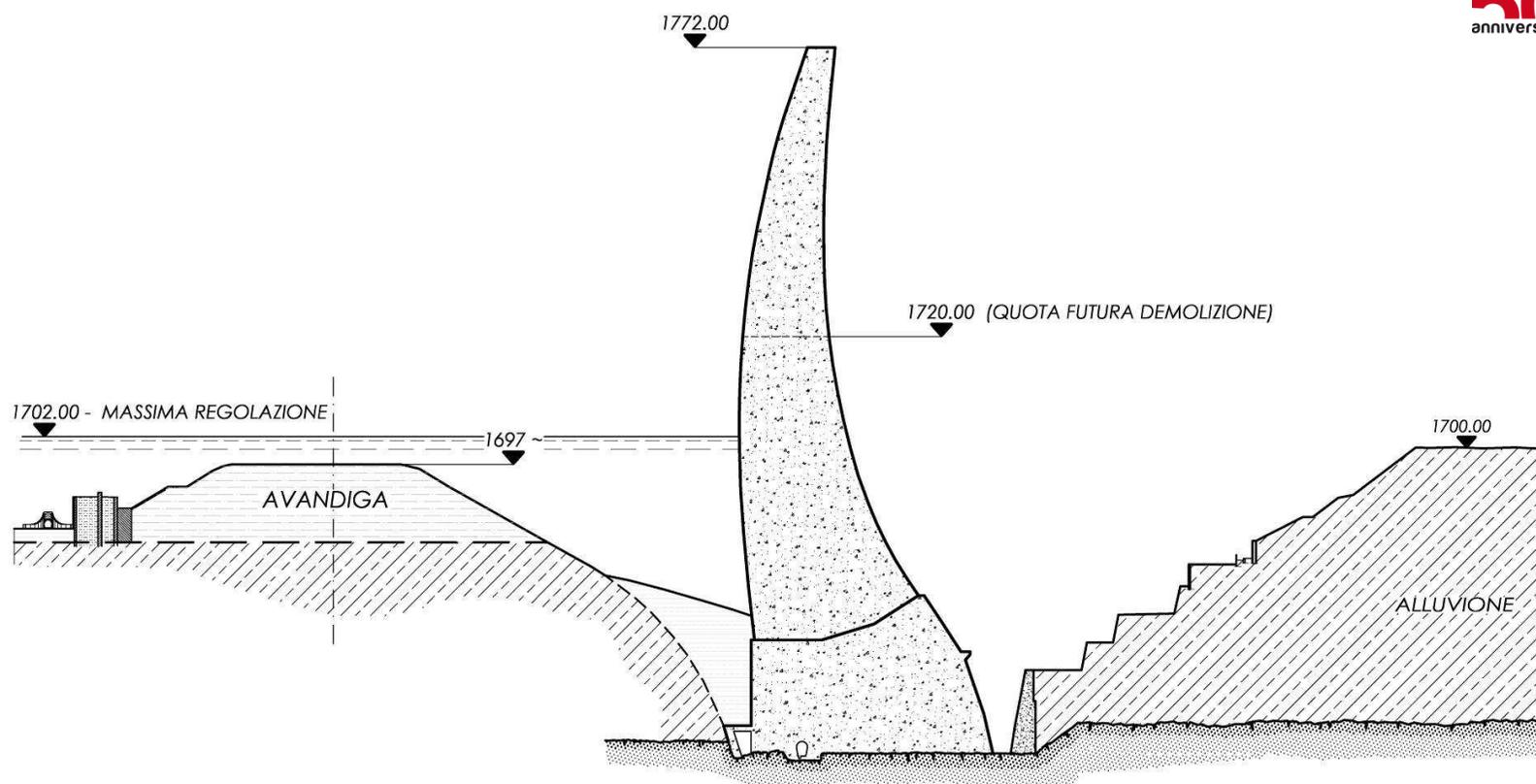
- inderogabile necessità di conservare la funzionalità della diga e del serbatoio per garantire la insostituibile funzione di laminazione delle piene e la connessa tutela della pubblica incolumità
- Esigenza di realizzare lo svincolo strutturale tra diga e versante, in modo da rendere la struttura indipendente dai movimenti del pendio, al fine di prolungare la vita utile dello sbarramento e dell'impianto
- Conservazione della produzione

*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**

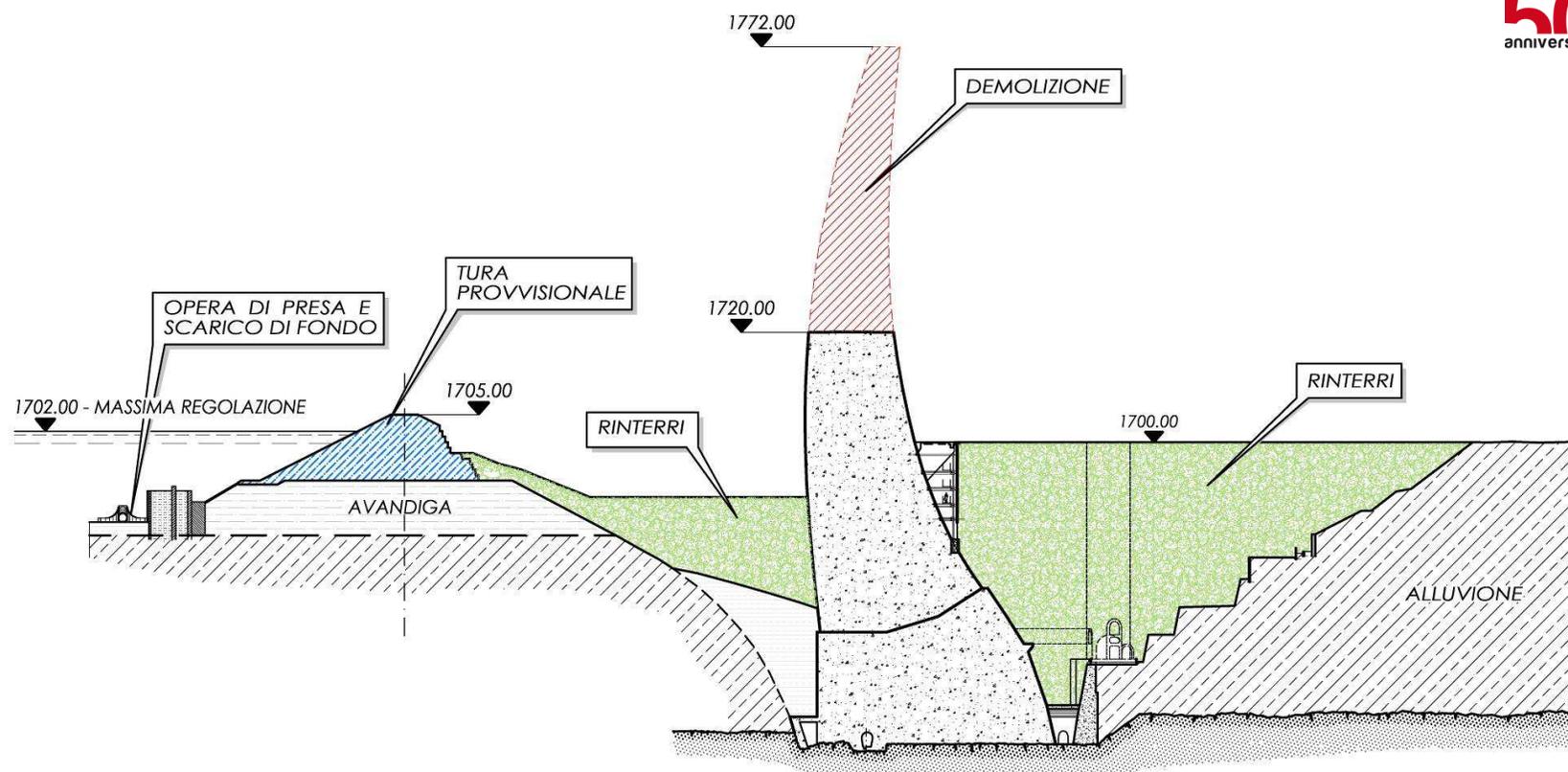


# PRIMA DEI LAVORI



CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

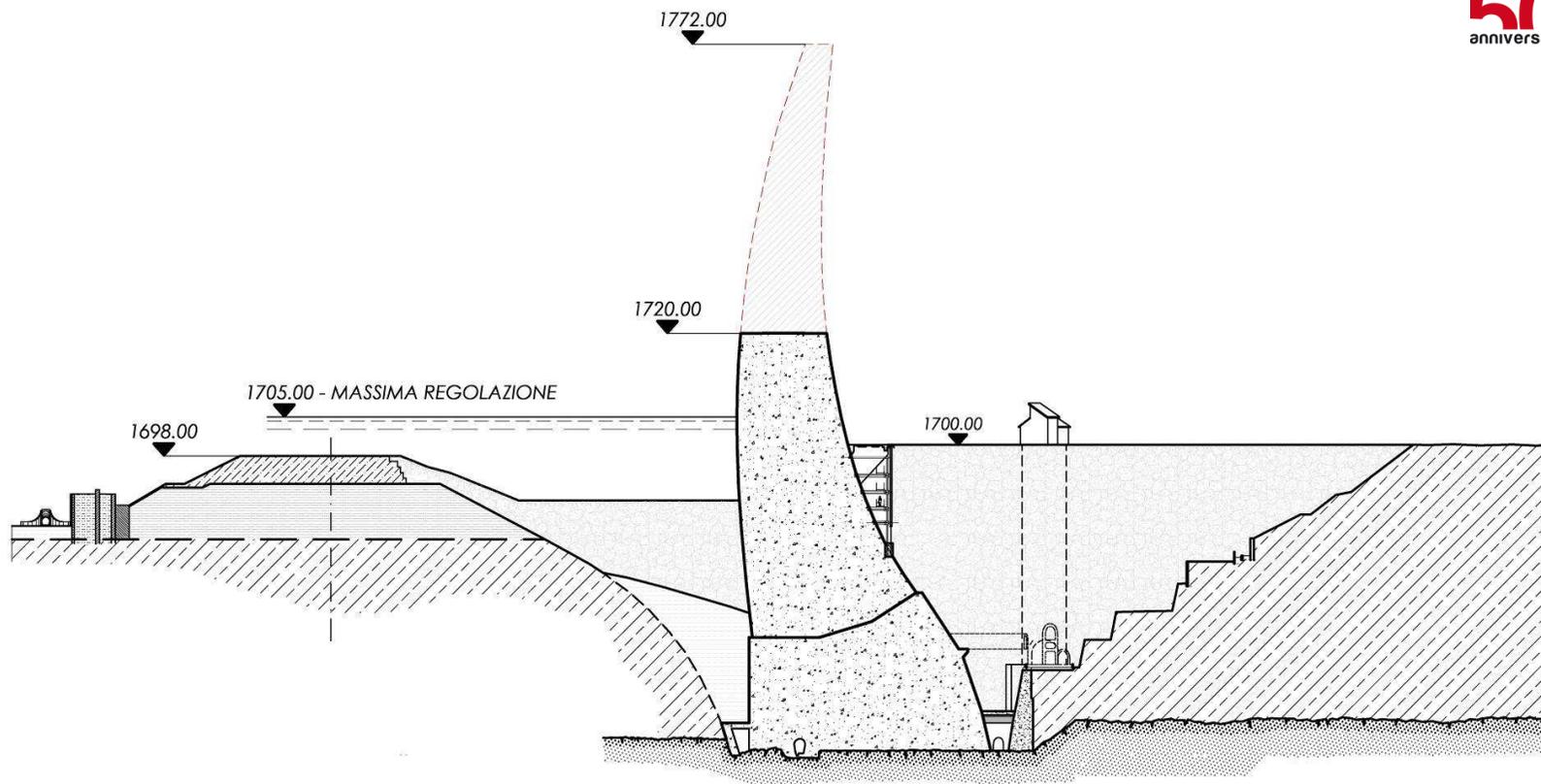


CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

# AL TERMINE DEI LAVORI

VAJONT

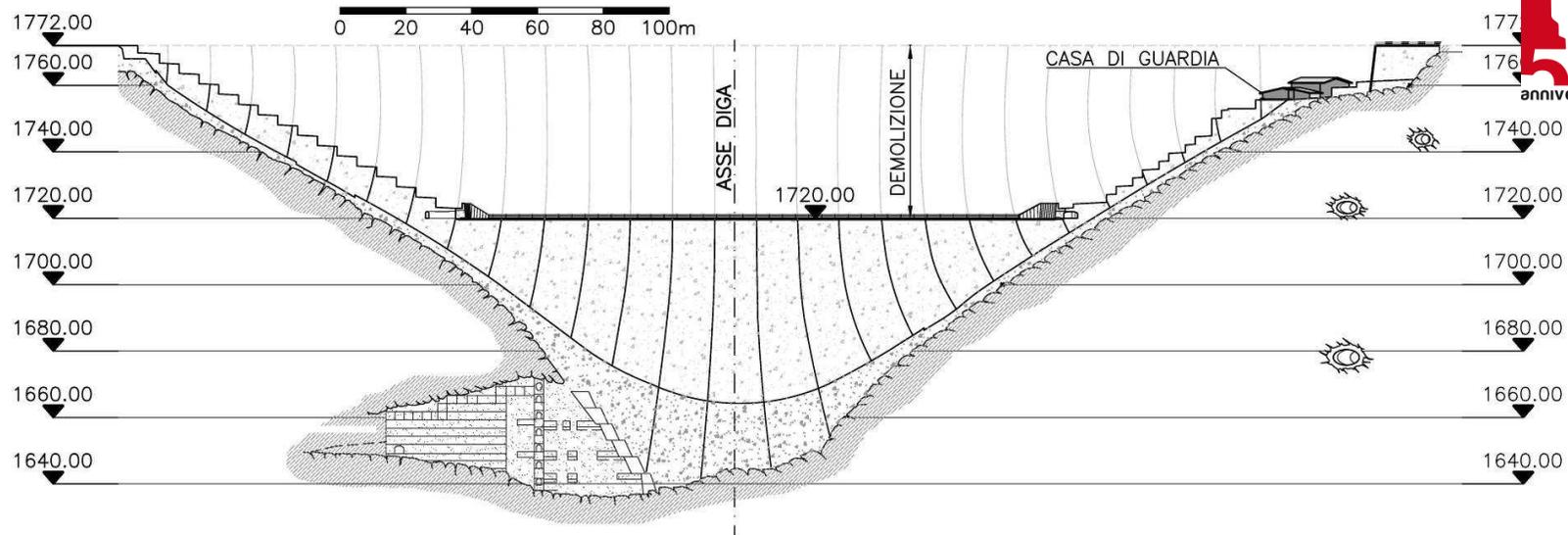


CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

## PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



PROFILO IN ASSE CORONAMENTO DIGA

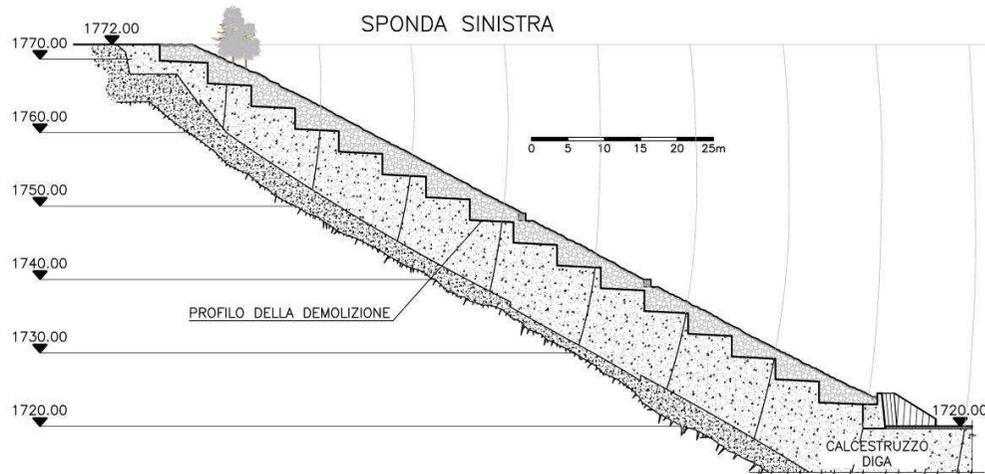
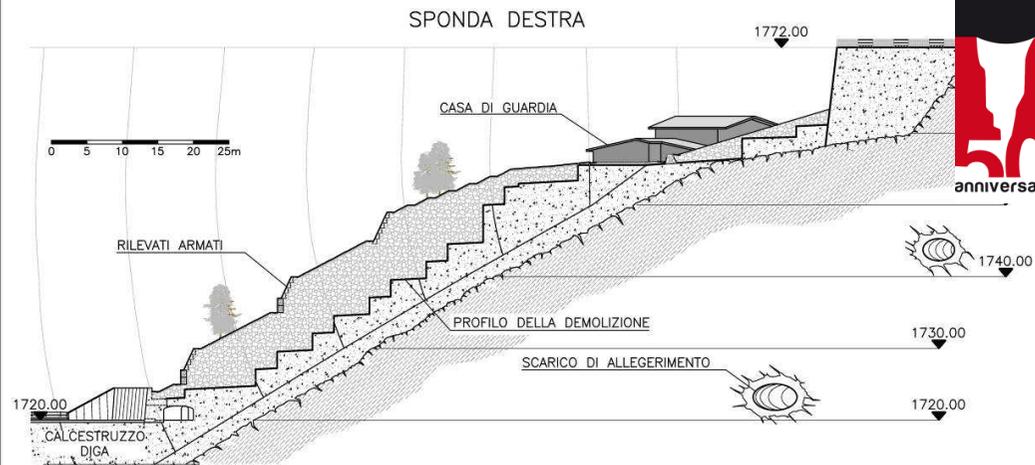


50 anniversary



CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

VAJONT

50  
anniversary



...dopo



Prima...

CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

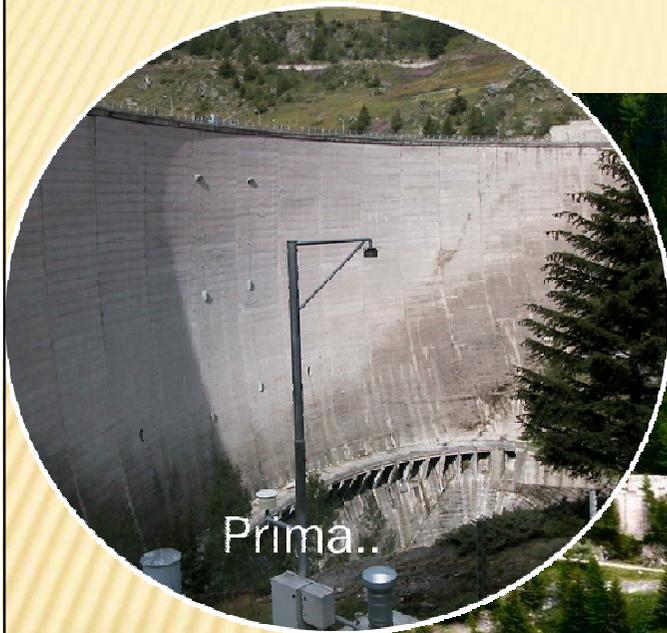


CVA

CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

# PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE

VAJONT



Prima..



...dopo



	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Tura</b>	■				
<b>Lavori preparatori</b>		■			
<b>Demolizione</b>			■	■	
<b>Sistemazioni finali</b>					■



VAJONT



*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**





VAJONT



anniversary

CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



CVA



VAJONT



CONVEGNO NAZIONALE - LONGARONE (BL) - 13 SETTEMBRE 2013

# PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE





VAJONT

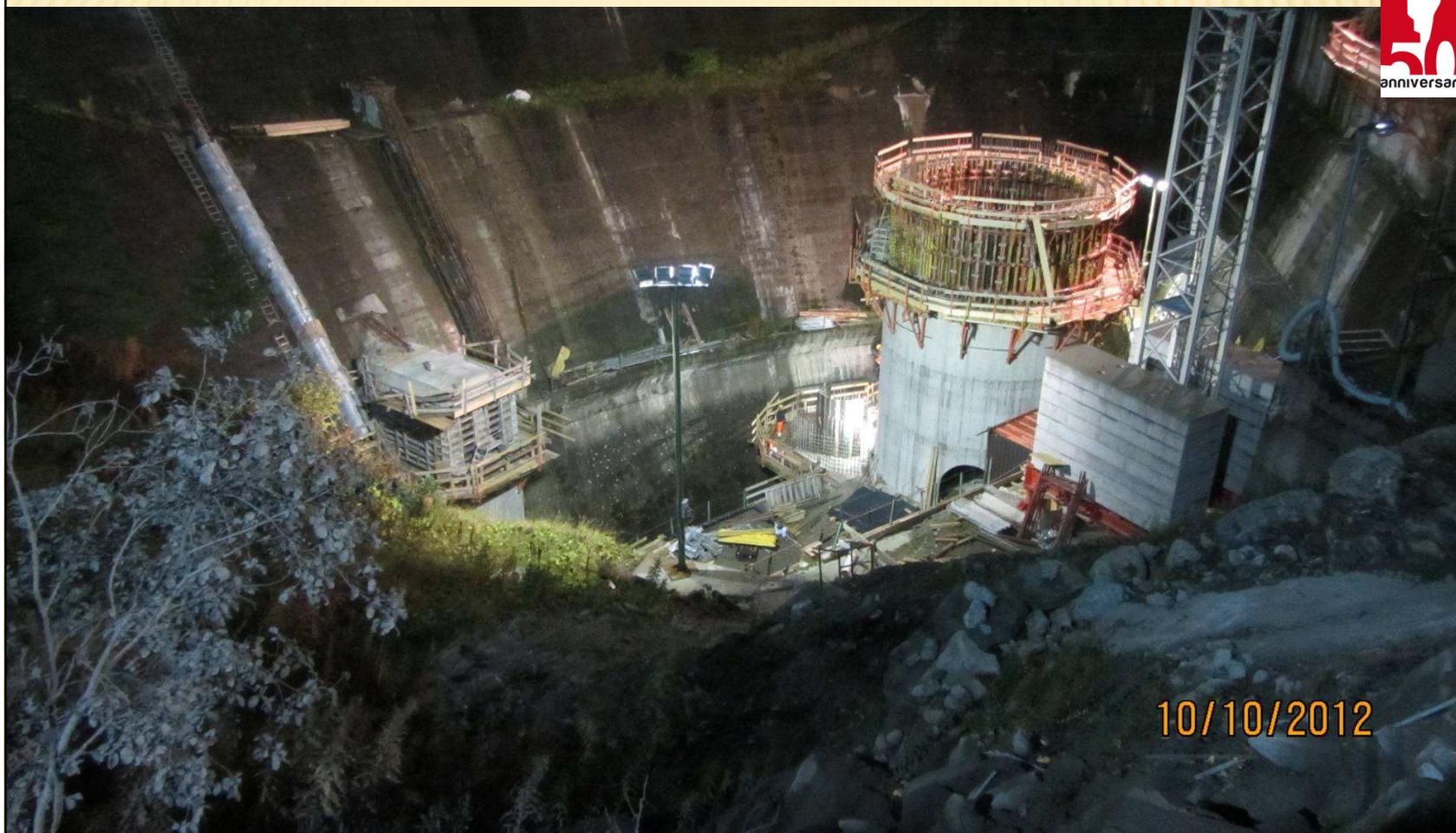


CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



VAJONT



10/10/2012

*CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013*

**PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE**





VAJONT



CONVEGNO NAZIONALE – LONGARONE (BL) – 13 SETTEMBRE 2013

PERICOLOSITÀ IDRAULICA A VALLE DELLE DIGHE



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

VAJONT



**Tecnomine**

**Piacenza Genova**

**DEMOLIZIONI CON ESPLOSIVI**

