



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.132.00

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

Impianto idroelettrico di PIZZONE II

Progetto Definitivo per Autorizzazione

# RELAZIONE SULLE OPERE ESISTENTI

FILE NAME: GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.132.00.docx

ORDINE APPARTENENZA				Ingegnere	
PROVINCIA/REGIONE				Verona	
NUM. MATRICOLA				1542	
00	29-11-22	REVISIONE	E. Sangiovanni	G. Panni	G. Sembenelli
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED

## GRE VALIDATION

		F. Torasso
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT PLANT	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC.	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION						
	GRE	EEC	R	1	4	I	T	H	1	6	0	7	1	0	0	1	3	2	0

CLASSIFICATION: **PUBLIC**

UTILIZATION SCOPE: **PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE**

**INDICE**

1. INTRODUZIONE .....	4
2. STATO DI FATTO – SCHEMA IDROELETTRICO ESISTENTE .....	5
2.1. Schema Generale .....	5
2.1.1. Descrizione .....	5
2.1.2. Documentazione relativa agli impianti esistenti.....	5
2.2. Serbatoio di Montagna Spaccata sul Rio Torto .....	8
2.3. Opere di presa e derivazione in gronda al serbatoio di Montagna Spaccata .....	8
2.3.1. Opere di presa e derivazione dal Rio Fossati.....	8
2.3.2. Opere di presa e derivazione dal Rio Le Forme .....	8
2.3.3. Opere di presa e derivazione dal Rio Campitelli .....	8
2.4. La derivazione dal Lago di Montagna Spaccata .....	9
2.4.1. Opere di presa dal serbatoio di Montagna Spaccata.....	9
2.4.2. Galleria di derivazione in pressione serbatoio Montagna Spaccata – Centrale di Pizzone.	9
2.4.3. Pozzo piezometrico (Centrale di Pizzone) .....	9
2.4.4. Condotta forzata (Centrale di Pizzone) .....	9
2.5. Centrale di Pizzone ed opere annesse .....	10
2.5.1. La centrale.....	10
2.5.2. Lo scarico .....	10
2.5.3. Opere di presa e derivazione del Rio Vignalunga e del Rio Collealto.....	11
2.6. Serbatoio di Castel San Vincenzo sul Rio Salzera .....	11
2.7. Generazione a Valle dell’Invaso di CAsTel San Vincenzo .....	12
2.7.1. Galleria di derivazione in pressione serbatoio Castel San Vincenzo – Centrale di Rocchetta .....	12
2.7.2. Condotta forzata - Centrale di Rocchetta .....	12
2.7.3. Centrale di Rocchetta al Volturmo .....	12
3. INVASO DI MONTAGNA SPACCATA .....	14
3.1. Descrizione.....	14
3.2. Geologia e geotecnica .....	14
3.2.1. Geologia .....	14
3.2.2. Elementi di Geotecnica .....	16
3.3. Dati di Invaso .....	18
3.4. Diga Principale.....	20
3.4.1. Dati di Monitoraggio Disponibili .....	24
3.4.2. Misure di Collimazione.....	30
3.4.3. Misure di livellazione sul coronamento.....	31
3.4.4. Misure estensimetriche sul coronamento .....	31
3.4.5. Misure con estensimetri a base lunga .....	34
3.4.6. Misure clinometriche .....	35
3.4.7. Misure di temperatura e dilatazione .....	36
3.5. Diga n.2 in calcestruzzo a gravita’ con speroni/ordinaria .....	36
3.5.1. Descrizione di Dettaglio .....	36
3.5.2. Dati di Monitoraggio Disponibili .....	38
3.5.3. Misure delle Perdite.....	40
3.5.4. Misure Livellometriche.....	42

3.5.5. Misure Estensimetriche.....	43
3.5.6. Misure clinometriche .....	43
3.6. Diga n.3 in pietrame a secco con manto impermeabile a monte .....	45
3.6.1. Descrizione di Dettaglio .....	45
3.6.2. Dati di Monitoraggio Disponibili .....	48
3.6.3. Monitoraggio delle perdite.....	50
3.6.4. Misure di Collimazione.....	53
3.6.5. Misure di livellazione .....	55
4. INVASO DI CASTEL SAN VINCENZO .....	57
4.1. Descrizione.....	57
4.2. Geologia .....	60
4.3. Geotecnica .....	60
4.3.1. Indagini.....	60
4.3.2. Contronucleo di Valle .....	61
4.3.3. Nucleo.....	62
4.3.4. Fondazione Superficiale .....	63
4.3.5. Fondazione Profonda.....	63
4.4. Dati di invaso .....	65
4.5. Dati di Monitoraggio Disponibili .....	67
4.6. Analisi dei dati di Monitoraggio.....	72
4.6.1. collimazioni.....	72
4.6.2. MANOMETRI e piezometri .....	78
4.6.3. PERDITE.....	82
5. CONSIDERAZIONI SUL COMPORTAMENTO STATICO DELLE OPERE E RIFLESSI SU SVILUPPI FUTURI	85
5.1. Montagna Spaccata .....	85
5.1.1. Condizioni generali .....	85
5.1.2. Entita' dello svaso applicato .....	85
5.1.3. Diga principale .....	87
5.1.4. Diga 2 in muratura a gravita' con speroni .....	87
5.1.5. Diga 3 - In muratura a secco .....	87
5.2. Castel San Vincenzo .....	89
5.2.1. Condizioni generali .....	89
5.2.2. Entita' dello svaso rapido applicato .....	89
5.2.3. Considerazioni sul Comportamento del corpo diga .....	90
5.3. Conclusioni preliminari circa l'utilizzabilità degli impianti esistenti nel nuovo schema.....	94

## 1. INTRODUZIONE

Enel è proprietaria e gestore del Sistema Idroelettrico di Pizzone, ubicato tra le Province di L'Aquila e Isernia, che consiste in una serie di invasi in cascata che alimentano altrettante centrali. Nel tratto di monte di questo sistema esiste oggi l'invaso di Montagna Spaccata, che alimenta la centrale di Pizzone, scarica verso l'Invaso di Castel San Vincenzo, che a sua volta alimenta la Centrale di Rocchetta.

Nell'ambito delle strategie di investimento per ampliare la produzione di energia rinnovabile Enel sta considerando la possibilità di intervenire sul Sistema esistente per migliorarne l'efficienza o incrementarne la potenza installata.

Stantec S.p.A. (di seguito "**Stantec**"), in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power S.p.A. (di seguito "**EGP**") di produrre il Progetto Definitivo per Autorizzazione per proporre uno schema che sfrutti al meglio le potenzialità dell'impianto esistente nel tratto compreso tra i due invasi di Montagna Spaccata e Castel San Vincenzo.

All'interno dello studio svolto da Stantec, sono state analizzati i dati comportamentali e le potenzialità degli invasi esistenti, sia rispetto all'impiego attuale che rispetto alla operatività modificata, così come imposta dal nuovo schema proposto.

Il presente documento raccoglie i dati, le analisi e le considerazioni preliminari sugli impianti esistenti di Montagna Spaccata e Castel San Vincenzo e sulla fattibilità di un loro impiego all'interno del nuovo schema proposto.

## 2. STATO DI FATTO – SCHEMA IDROELETTRICO ESISTENTE

### 2.1. SCHEMA GENERALE

#### 2.1.1. DESCRIZIONE

L'esistente impianto idroelettrico di Pizzone è ubicato nel territorio dei Comuni di Alfedena e Barrea (Prov. dell'Aquila, Regione Abruzzo ) e di Pizzone (prov. Isernia, Regione Molise).

L'impianto sfrutta i deflussi del bacino imbrifero direttamente sotteso del Rio Torto e dei bacini allacciati in gronda del Rio Fossati, del Rio le Forme e del Rio Campitelli tra le quote 1068 e 699 m s.m., la cui differenza, pari a 369 m s.m., costituisce il salto naturale dell'utilizzazione.

Tali deflussi, intercettati in località Montagna Spaccata del Comune di Alfedena mediante tre dighe, formanti l'omonimo serbatoio, vengono captati grazie ad un'opera di presa in sponda destra del lago e derivati mediante una galleria in pressione fino a poco a Nord dell'abitato di Pizzone, dove si diparte, verso sinistra, la condotta forzata metallica. La condotta è per un primo tratto ubicata in galleria e per un secondo tratto fuori terra, e adduce le portate idriche verso la Centrale di Pizzone. Appena a monte della deviazione, è stato realizzato un pozzo piezometrico, ricavato in roccia.

Nella Centrale sono installati due gruppi turbina Pelton-generatore sincrono ad asse orizzontale.

Lo scarico dei deflussi avviene mediante un canale realizzato parte in galleria e parte, nel suo tratto finale, all'aperto. Il canale scarica verso il Lago di Castel San Vincenzo, creato artificialmente con l'omonimo sbarramento sul Rio Salzera, e raccoglie, oltre alle acque in uscita dalla Centrale di Pizzone, le portate dal Rio Vignalunga e dal Rio Collealto, intercettate poco più a monte del lago.

L'Invaso di Castel San Vincenzo, a sua volta, funge da vasca di carico per un secondo Impianto idroelettrico, la Centrale di Rocchetta al Volturno, alimentato attraverso una galleria di derivazione, anch'essa in pressione, e la condotta forzata finale. La Centrale è dotata di un gruppo di generazione turbina Francis-generatore sincrono ad asse verticale.

Il profilo schematico e la corografia degli Impianti di Pizzone e di Rocchetta sono riportati nelle figure che seguono.

#### 2.1.2. DOCUMENTAZIONE RELATIVA AGLI IMPIANTI ESISTENTI

La documentazione relativa agli impianti esistenti comprende:

- Scheda ANIDEL dell'invaso di Montagna Spaccata
- Atti di Collaudo dell'invaso di Montagna Spaccata inclusa documentazione geotecnica sulle fondazioni delle dighe
- Dati di monitoraggio delle dighe di Montagna Spaccata
- Scheda ANIDEL dell'invaso di Castel SanVincenzo
- Atti di Collaudo dell'invaso di Castel SanVincenzo inclusa documentazione geotecnica sulla fondazione della diga
- Dati di monitoraggio della diga di Castel San Vincenzo
- Relazione su Rischio Sismico dell'invaso di Montagna Spaccata e studi associati
- Relazione su Rischio Sismico dell'invaso di Castel San Vincenzo e studi associati



Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

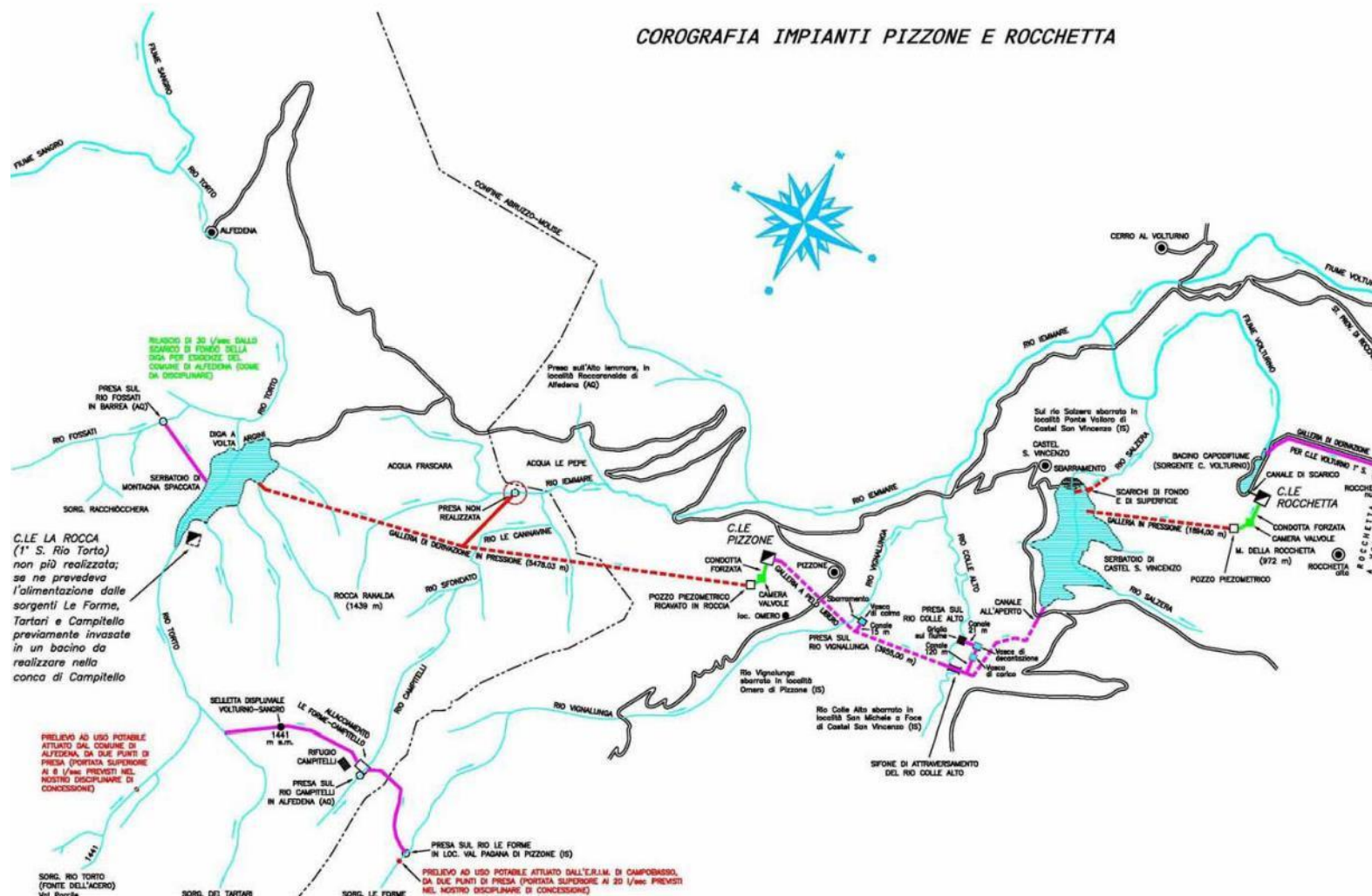
GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.132.00

PAGE

6 di/of 94

Per i dettagli topografici, tavolette I.G.M. F 153 III S.O. Alfedena; F 161 N N.O. Castel San Vincenzo; carta I.G.M. 1:50.000 Castel di Sangro

### COROGRAFIA IMPIANTI PIZZONE E ROCCHETTA





Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

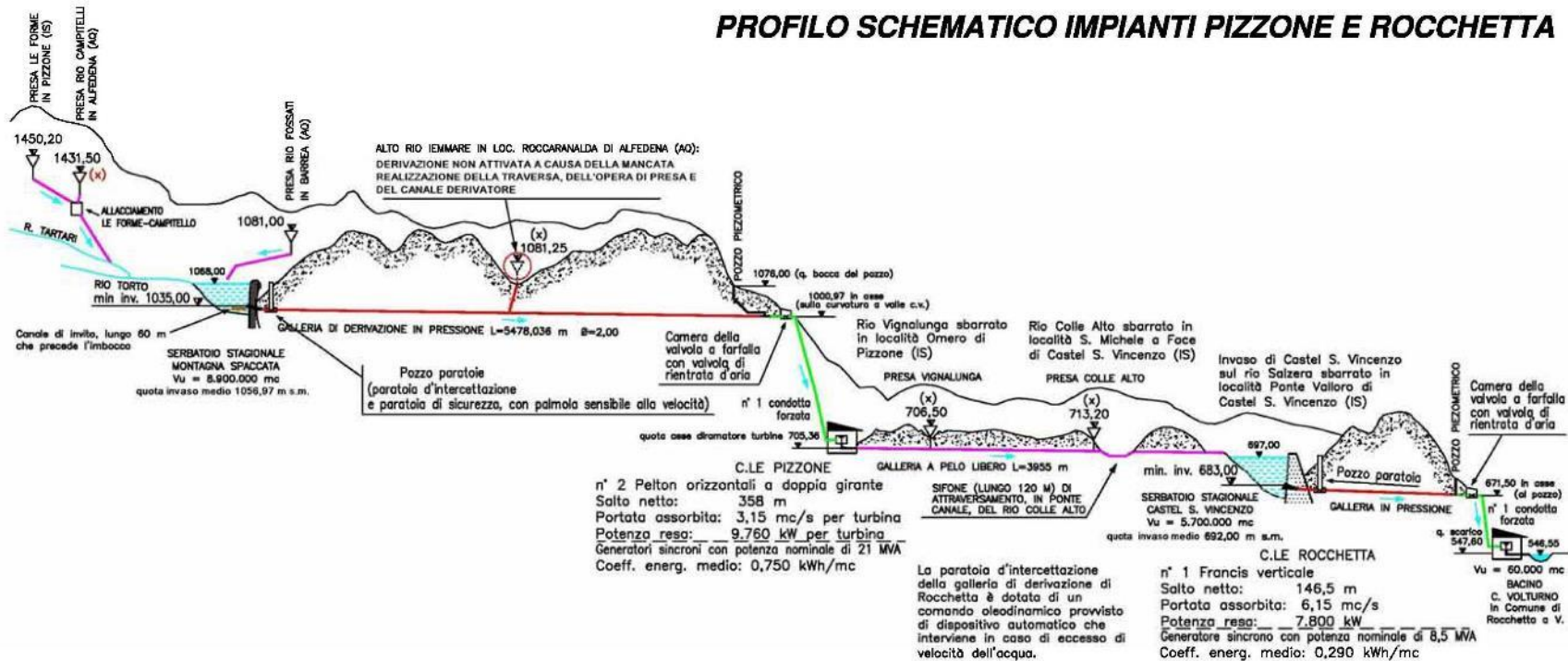
GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.132.00

PAGE

7 di/of 94

(x) Quota della soglia sfiorante della vasca di calma annessa alla traversa.

### PROFILO SCHEMATICO IMPIANTI PIZZONE E ROCCHETTA



## 2.2. SERBATOIO DI MONTAGNA SPACCATA SUL RIO TORTO

Il serbatoio di Montagna Spaccata è stato realizzato intercettando il Rio Torto mediante la realizzazione delle seguenti tre dighe:

- 1) diga principale a volta a doppia curvatura impostata nella strettissima gola del Rio Torto realizzata in calcestruzzo di cemento ed avente altezza massima di 85,5 m;
- 2) diga secondaria muraria a gravità alleggerita, costruita da n. 29 speroni posti ad un interasse di 5 m, ubicata sulla destra della diga a volta, caratterizzata da un'altezza massima di 14,4 m;
- 3) diga secondaria in muratura a pietrame a secco con manto di tenuta in lastre di c.a. situata all'estrema destra dello sbarramento principale, avente un'altezza massima di 16,7 m.

La quota di coronamento delle dighe è 1071 m s.m., con la quota massima di regolazione del bacino di 1068 m s.m.

Il volume totale di invaso è pari a 9.120.850 m<sup>3</sup>.



Figura 2-1: Serbatoio di Montagna Spaccata

## 2.3. OPERE DI PRESA E DERIVAZIONE IN GRONDA AL SERBATOIO DI MONTAGNA SPACCATA

### 2.3.1. OPERE DI PRESA E DERIVAZIONE DAL RIO FOSSATI

L'opera di sbarramento e presa dal Rio Fossati sorge nel Comune di Barrea, a quota 1081 m s.m. La presa avviene in sponda destra, attraverso due luci identiche attraverso le quali i deflussi captati vengono addotti ad un breve tratto di canale che termina in una vasca dissabbiatrice.

Dalla parete finale della vasca, ha poi inizio il canale di derivazione che sfocia nel serbatoio di Montagna Spaccata.

### 2.3.2. OPERE DI PRESA E DERIVAZIONE DAL RIO LE FORME

L'opera di sbarramento sul Rio Le Forme è situata in località Val Pagana del Comune di Pizzone, a quota 1450,20 m s.m.

I deflussi addotti vengono raccolti dapprima in una vasca di calma per poi transitare verso una vasca dissabbiatrice. Al termine di tale vasca ha inizio il canale di derivazione a sezione variabile, che termina con una tubazione in cemento del diametro di 0,4 m sboccante nel comparto di calma della Vasca Campitelli.

### 2.3.3. OPERE DI PRESA E DERIVAZIONE DAL RIO CAMPITELLI

L'opera di presa dal Rio Campitelli è situata a quota 1431,5 m s.m. ed è costituita da una vasca interrata provvista di bocca di presa larga 1 m e lunga 10 m protetta da una griglia con sovrastante strato di pietrame avente funzione di filtro.

Tale opera intercetta le acque provenienti da monte lungo un impluvio naturale e le convoglia



ad un pozzetto di raccolta, da cui si diparte un canale interrato di lunghezza pari a 20 m, che confluisce nella Vasca Campitelli costituita da un comparto di calma e da un comparto di carico.

Nel primo di questi comparti sbocca anche la tubazione proveniente dall'opera di presa su Rio Le Forme, precedentemente descritta.

Le acque qui raccolte tracimano tramite uno sfioratore dal primo al secondo comparto al cui termine ha inizio il canale di adduzione al serbatoio di Montagna Spaccata.

## **2.4. LA DERIVAZIONE DAL LAGO DI MONTAGNA SPACCATA**

### **2.4.1. OPERE DI PRESA DAL SERBATOIO DI MONTAGNA SPACCATA**

L'opera di presa è situata sulla sponda destra del serbatoio di Montagna Spaccata ed è preceduta da un canale d'invito della lunghezza di circa 60 m.

Esso ha uno sviluppo longitudinale complessivo di 11,80 m, lungo il quale la sua sezione trasversale varia con continuità fino ad assumere alla fine forma circolare con diametro interno pari a 2,50 m, per raccordarsi al tronco di galleria di pari diametro della lunghezza di 135 m sito a monte del pozzo paratoie.

### **2.4.2. GALLERIA DI DERIVAZIONE IN PRESSIONE SERBATOIO MONTAGNA SPACCATA – CENTRALE DI PIZZONE**

La galleria di derivazione che collega idraulicamente il serbatoio di Montagna Spaccata con le turbine della Centrale di Pizzone presenta una lunghezza complessiva di 5.478,036 metri, una sezione trasversale di tipo circolare con diametro finito pari a 2 m ed una pendenza di fondo pari al 2,5‰.

L'opera di derivazione è stata realizzata con metodo tradizionale per le maggior parte del suo percorso ed è stata completata con getto di rivestimento in uno o due strati costituito da calcestruzzo semplice in alcuni tratti ed armato in altri.

La galleria presenta sei fori in calotta tra le progressive 2.610 e 2.620 che costituiscono la modalità di immissione del bacino Alto Jemmare (mai completata) ed una finestra della lunghezza di circa 290 metri scavata in roccia senza rivestimento, che interseca l'opera di derivazione alla progressiva 2.297 circa in sinistra idraulica e costituisce uno dei possibili accessi, raggiungibile dalla S.S. 158 Valle Volturno, a piedi o con mezzi fuoristrada.

Un altro accesso è garantito dalla finestra "Monte Pizzone", di lunghezza circa 70 m intercettante la galleria alla progressiva 5.430 in sinistra idraulica. In questo caso l'accesso è raggiungibile esclusivamente tramite un impervio e scosceso sentiero pedonale di lunghezza circa 200 m.

### **2.4.3. POZZO PIEZOMETRICO (CENTRALE DI PIZZONE)**

Il pozzo piezometrico è stato costruito interamente interrato in c.a. e presenta forma cilindrica ( $h=16$  m e  $\varnothing=2,40$  m) con vasca d'espansione superiore a sezione rettangolare di dimensioni interne pari a m 6,50×16,00 e quota massima di coronamento pari a 1080,645 m s.m.

Il pozzo è collegato alla galleria di derivazione mediante una canna diagonale  $\varnothing=2,00$  m della lunghezza di circa 57 metri cui segue una camera di alimentazione formata da un tronco cilindrico della lunghezza di 47 metri e di diametro interno pari a 3,50 m sovrapposto al tronco terminale della galleria di derivazione.

I due tronchi risultano collegati mediante n.12 (dodici) fori  $\varnothing=400$  mm.

### **2.4.4. CONDOTTA FORZATA (CENTRALE DI PIZZONE)**

La condotta forzata si sviluppa in parte in galleria ed in parte all'aperto.

Il primo tratto presenta una lunghezza di 12,06 m bloccata in galleria, comprendente un raccordo tronco-conico  $\varnothing=2,00\div 1,60$  m che permette il collegamento al secondo tratto della condotta poggiato su sellette in galleria che presenta un diametro interno pari a 1,60 m, una lunghezza pari a 132,33 m e che termina con una valvola a farfalla, seguita da una valvola a rientrata d'aria, entrambe installate in apposita camera.

Dalla camera delle valvole in poi, la condotta si sviluppa totalmente all'aperto per un tratto pari a 462,65 m con diametro decrescente da 1,50 a 1,30 m fino alla sezione a monte del diramatore turbine.



**Figura 2-2: Vista della condotta forzata dal piazzale della Centrale di Pizzone**

## **2.5. CENTRALE DI PIZZONE ED OPERE ANNESSE**

### **2.5.1. LA CENTRALE**

La centrale di Pizzone è ubicata in edificio costituito da un corpo principale che presenta dimensioni in pianta 31,80 x 12,70 m ed altezza fuori terra pari a 10,80 m, ospitante la sala macchine, la sala quadri, il locale batterie e protezioni e la zona smontaggi.

La centrale presenta due gruppi di generazione formati da turbine Pelton a doppia girante ad asse orizzontale accoppiate a generatori sincroni con potenza nominale di 21 MVA.

Ognuna delle due turbine sfrutta un salto netto di 358 m, presenta potenza nominale pari a 9.760 kW e opera con una portata di acqua pari a 3,15 m<sup>3</sup>/s. La producibilità media annua è stimata essere di 14,9 GWh totali.

L'energia viene erogata sulle sbarre a 150 KV mediante montanti monoblocco tra i gruppi generatori ed i rispettivi trasformatori di potenza 10/150 KV, entrambi da 10,5 MVA ciascuno.

La sezione 20 kV dell'impianto è costituita da un unico sistema di sbarre dal quale partono tre linee denominate Volturno 1° S, Montagna Spaccata e Pizzone.

### **2.5.2. LO SCARICO**

I deflussi scaricati da ciascuna turbina vengono immessi in due distinti canali paralleli con dimensione caratteristica pari a 1,80 m e lunghi, rispettivamente 22 e 30 circa, che confluiscono in un collettore a sezione rettangolare con calotta ad arco ribassato della lunghezza di circa 40 m, a valle del quale ha inizio la galleria di scarico e derivazione in gronda verso il lago di Castel San Vincenzo.

Tale galleria presenta una lunghezza totale di 3875 metri con pendenza di fondo pari allo 0,9‰ a cui fa seguito un tratto di canale all'aperto di collegamento al serbatoio di Castel

San Vincenzo della lunghezza di 80 metri.

### **2.5.3. OPERE DI PRESA E DERIVAZIONE DEL RIO VIGNALUNGA E DEL RIO COLLEALTO**

Nel tratto di galleria in uscita dalla Centrale di Pizzone che sfocia nel bacino di Castel San Vincenzo, sono presenti due ulteriori immissioni di deflussi idrici.

Il primo deflusso è quello appartenente al Rio Vignalunga, il cui sbarramento e presa avvengono ad una quota di 706,50 m s.m. in località Omero di Pizzone (IS). La presa avviene tramite un imbocco grigliato di dimensioni 2,50 x 2,50 m che permette ai deflussi di raggiungere una vasca di calma, collegata alla galleria di derivazione in uscita dalla Centrale di Pizzone tramite un canale di lunghezza circa 15 m.

Il secondo deflusso che viene raccolto a quota 713,20 m e immesso nella galleria di derivazione in uscita dalla Centrale di Pizzone è quello appartenente al Rio Colle Alto, sbarrato in località San Michele a Foce (IS). In questo caso, la presa avviene tramite una griglia orizzontale che permette ai deflussi di raggiungere una vasca dissabbiatrice tramite una canaletta di derivazione di ridotta lunghezza. Da qui, le acque proseguono il loro percorso attraverso un secondo canale di derivazione che porta fino alla vasca di carico connessa direttamente con la galleria di derivazione in uscita dalla Centrale di Pizzone, in gronda al bacino di Castel San Vincenzo.

### **2.6. SERBATOIO DI CASTEL SAN VINCENZO SUL RIO SALZERA**

Il serbatoio di Castel San Vincenzo è stato realizzato in località omonima sbarrando il Rio Salzera, affluente del Volturno mediante la realizzazione di una diga in di altezza 25,50 m allo scopo di raccogliere l'acqua necessaria al funzionamento della Centrale idroelettrica di Rocchetta al Volturno, posta in cascata alla precedentemente descritta Centrale di Pizzone.

Il lago artificiale raccoglie i deflussi in uscita dalla Centrale idroelettrica di Pizzone, a cui vengono aggiunti i deflussi dei Rii Vignalunga e Collealto e quelli del bacino imbrifero del Rio Salzera.

La quota massima di regolazione del bacino è pari a 697 m s.m., alla quale l'invaso è pari a 5,75 milioni di m<sup>3</sup>.



**Figura 2-3: Serbatoio di Castel San Vincenzo**

## 2.7. GENERAZIONE A VALLE DELL'INVASO DI CASTEL SAN VINCENZO

### 2.7.1. GALLERIA DI DERIVAZIONE IN PRESSIONE SERBATOIO CASTEL SAN VINCENZO – CENTRALE DI ROCCHETTA

Le opere di presa dal serbatoio di Castel San Vincenzo avvengono in sponda destra idraulica attraverso una derivazione posta a quota di soglia pari a 697,60 m s.m. costituita da una condotta di diametro pari a 2,0 m fino al raggiungimento di una paratoia piana di intercettazione.

A valle della paratoia piana di intercettazione ha inizio la galleria di derivazione che permette ai deflussi idrici raccolti nel bacino di Castel San Vincenzo di raggiungere la Centrale di Rocchetta.

Tale galleria presenta una lunghezza pari a 1893,72 m, un diametro interno di 2,0 m e termina con un pozzo piezometrico circolare a doppio diametro (diametro inferiore = 5,80 m, diametro superiore = 4,80 m).

### 2.7.2. CONDOTTA FORZATA - CENTRALE DI ROCCHETTA

La condotta forzata, che congiunge la galleria in pressione a quota 671,50 m s.m. con l'organo di intercettazione posto nell'edificio centrale a 574 m s.m., presenta una lunghezza di 189 m ed un diametro medio pari a 1,70 m.

A parte il tratto iniziale realizzato in galleria, la maggior parte della condotta si sviluppa totalmente all'aperto.

### 2.7.3. CENTRALE DI ROCCHETTA AL VOLTURNO

L'impianto idroelettrico di Rocchetta al Volturno sorge poco distante dall'omonimo Comune in provincia di Isernia.

Esso sfrutta la portata idrica raccolta nel bacino di Castel San Vincenzo e convogliata fino all'edificio di centrale tramite un sistema di tubazioni e condotte. La portata massima disponibile è nell'ordine dei 6 m<sup>3</sup>/s, che permette di operare il gruppo di generazione della centrale formato da una turbina Francis ad asse verticale di potenza 7.800 kW accoppiata ad generatore sincrono di potenza nominale pari a 8,5 MVA.

La producibilità annua è stimata essere di 8271 kWh utilizzando un salto utile massimo di 146,50 m.



**Figura 2-4: Centrale di Rocchetto al Volturno**

L'energia prodotta, alla tensione di 10 kV viene inviata alla stazione di trasformazione posta nel piazzale della Centrale, che permette un innalzamento a 150 kV. La potenza viene poi immessa nella linea a 150 kV che collega l'impianto di Pizzone con la stazione primaria di



Green Power

**HGT Design & Execution**



GRE CODE

**GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.132.00**

PAGE

13 di/of 94

Volturno I salto.

I deflussi sono raccolti in una condotta a valle della turbina Francis e scaricati nell'invaso del fiume Volturno che scorre nei pressi della Centrale.

### 3. INVASO DI MONTAGNA SPACCATA

#### 3.1. DESCRIZIONE

L'invaso di Montagna Spaccata è sbarrato da un sistema di 3 dighe, di cui una, la principale, alta 85 m e le due secondarie di 14 e 16 m circa. Le caratteristiche sono riassunte in forma sintetica nella seguente Tabella.

Grandezza	Riferimento	Unità	Diga Principale	Diga 2	Diga 3
Tipologia			Arco	Gravità a Speroni	Pietrame a Secco
Quota coronamento		m slm	1071.00	1071.00	1071.00
Quota approssimativa terreno		m slm	990	1057	1055
Sviluppo coronamento		m	61.34	193.65	103.00
Volume Diga		m <sup>3</sup>	7000	8852	17468
Altezza	DM 24-03-1982	m	85.50	14.40	16.70
Altezza	L 584/1994	m	71.00	14.40	16.45
Altezza ritenuta		m	69.73	11.73	13.23
franco	DM 24-03-1982	m	1.23	1.23	1.23
franco netto	DM 24-03-1982	m	0.84	0.84	0.84
Classificazione	DM 24-03-1982		muraria	muraria	Materiali sciolti
			cupola	gravità	pietrame a secco
				speroni/ordinaria	ritenuta a monte
			Ab3	A.a.2.1	B.c

#### 3.2. GEOLOGIA E GEOTECNICA

##### 3.2.1. GEOLOGIA

I dati sono stati ricavati principalmente da elementi di geologia generale, riportati nella Relazione Geologica di questo Studio, dalla relazione CESI sulle verifiche sismiche della diga di Montagna Spaccata, e da osservazioni dirette e seguite nel corso delle visite.

Gli elementi fondamentali della geologia dell'invaso sono i Calcari Detritico-Organogeni del Miocene Medio, che occupano tutta la sponda sinistra, fino a circa metà invaso, e il Flysch marnoso-arenaceo che occupa la parte opposta dell'invaso e si estende verso sud e sud-est.

La linea di separazione tra le due formazioni potrebbe coincidere con la Faglia di Alfedena, almeno verso valle, ossia verso l'abitato di Alfedena. In realtà, la vista aerea di Figura 3-1 e Figura 3-2, suggerisce che la linea sia disturbata dalla presenza di un paleodistacco avvenuto nei calcari e che ha spostato l'asse del Rio Torto, poco a valle della sezione chiusa dalla diga (potrebbe essere questa l'origine del nome dato al Rio, nel qual caso il distacco potrebbe essere avvenuto in epoca storica).

In ogni caso, in corrispondenza dell'asse di ritenuta, il passaggio tra le due formazioni avviene tra la diga in muratura a speroni e quella in pietrame a secco, verso la sponda destra.

Il massiccio calcareo su cui sono fondate la diga principale e la secondaria degrada da sinistra verso destra e presenta una faglia in direzione NO-SE, che forma un gradone morfologico proprio lungo l'asse di ritenuta. E' possibile che la linea di transizione tra calcari e flysch assecondi questo gradone, per andare a passare in mezzo al lago.

Perpendicolarmente alla faglia NO-SE si è formata una profonda incisione lungo cui corre il Rio Torto e che è stata sbarrata dalla diga principale.

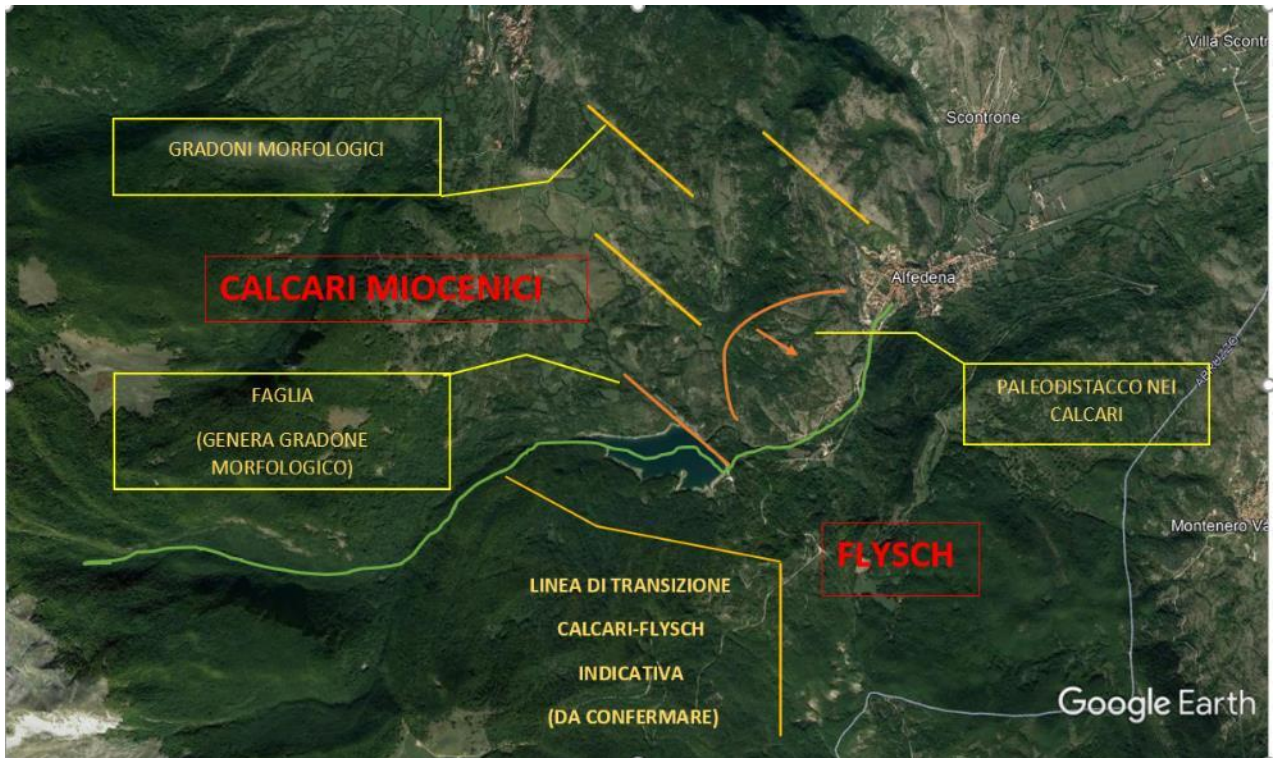


Figura 3-1 - Lago di Montagna Spaccata. Vista aerea con tratti significativi della geologia dell'area



Figura 3-2 - Lago di Montagna Spaccata. Vista aerea con dettaglio sui tratti significativi della geologia in prossimità delle opere

### 3.2.2. ELEMENTI DI GEOTECNICA

La diga principale ad arco è interamente impostata sui calcari organogeni del Miocene, in cui si è formata una profonda incisione a Y. La roccia calcarea è visibile in superficie fino a circa metà diga secondaria a speroni, di cui comunque costituisce la fondazione su tutta la sua estensione.

La roccia presenta buone caratteristiche in profondità, mentre superficialmente è decompressa e in parte alterata. Sulle spalle della diga principale, si osservano diverse famiglie di giunti, di cui una subparallela all'asse del RioTorto. Queste fessure potrebbero essere legate a un sistema preesistente sul quale si è sviluppata la forra, oppure derivare, per decompressione laterale, dalla presenza della forra. In particolare, da foto a distanza prese nel corso delle visite (Figura 3-3 e Figura 3-4), si può notare, in corrispondenza di scavi eseguiti presumibilmente nell'ambito dei lavori per la diga, la presenza di fratture aperte che da una analisi stereometrica potrebbero essere parallele all'asse del Rio Torto. Anche se l'apparenza suggerisce che le fratture siano superficiali e legate agli scavi, un approfondimento sulla presenza, natura ed estensione di questa o altri elementi di questo tipo sia meritoria di attenzione, nelle future fasi dello sviluppo progettuale.

In ogni caso, questo sistema di giunti è importante in quanto consente l'ingresso dell'acqua dell'invaso nella sponda e nelle spalle della diga.

Ciò ha richiesto di perfezionare la tenuta con iniezioni cementizie non solo sulle spalle e in fondazione delle dighe, ma anche nel tratto di collegamento e lungo il gradone in sinistra. Gli assorbimenti sono risultati di 200 kg/m di cemento per metro quadro di schermo per 70 m di profondità.

La diga in pietrame è interamente fondata su materiali descritti come argille siltose plumbee con sottili intercalazioni arenacee, dopo aver asportato una coltre superficiale alterata, di circa 2 m. I materiali sono descritti come di buone caratteristiche meccaniche e praticamente impermeabili.

Come discusso, il passaggio tra la fondazione calcarea e il flysch avviene tra la diga a speroni e quella in pietrame. La presenza della faglia subparallela all'asse delle dighe principali ha determinato la presenza di zone particolarmente alterate sotto l'imposta della diga a speroni, con conseguente necessità di importanti rimozioni di materiale scadente e ripristino con calcestruzzo di riempimento.





(United States)

**Figura 3-3 - Invaso di Montagna Spaccata. Vista della spalla sinistra della diga principale. Il blocco di calcare miocenico digrada verso la destra**



**Figura 3-4 - Invaso di Montagna Spaccata. Vista di dettaglio della precedente foto della spalla sinistra della diga principale. Dalla finestra generata da una cava di prestito dismessa, si nota che il calcare è interessato superficialmente dalla presenza di molte famiglie di giunti. Una frattura molto aperta potrebbe estendersi anche sotto al piano della cava.**

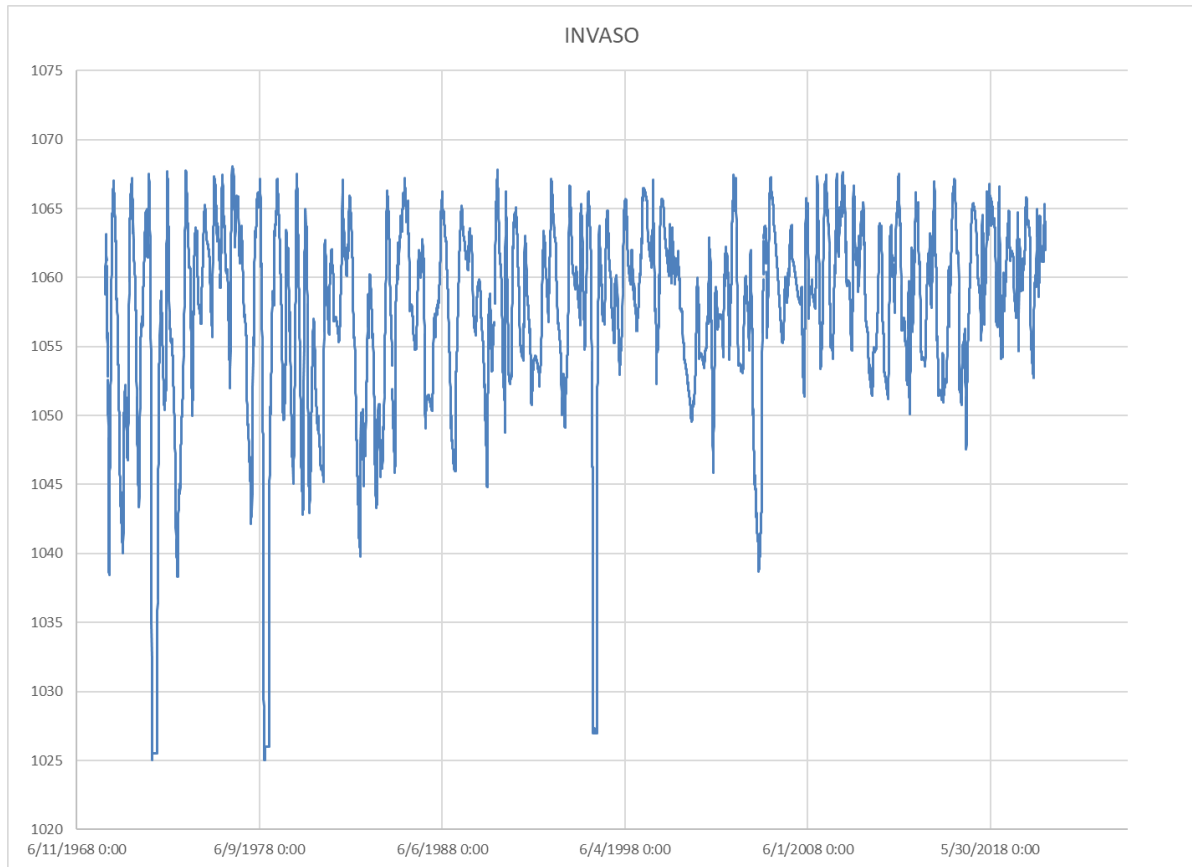
### 3.3. DATI DI INVASO

I dati sintetici dell'invaso, ricavati dal Foglio Condizioni per l'Esercizio e la Manutenzione sono così riassumibili.

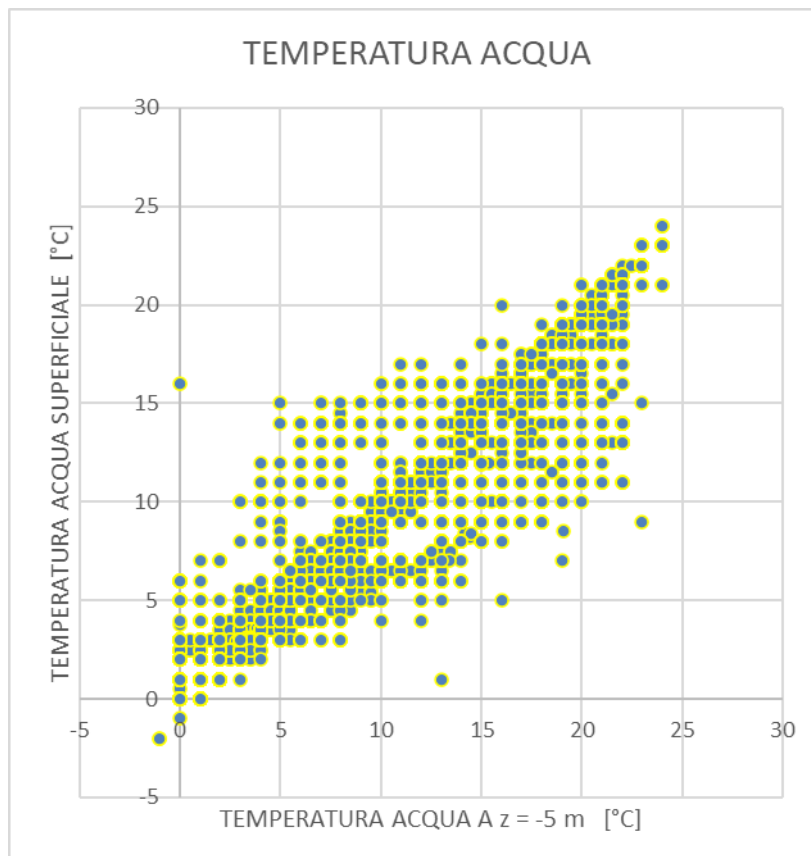
Quota di massimo invaso	1069.73	m slm
Quota di Massima Regolazione	1068	m slm
Quota di minima Regolazione	1035	m slm
Superficie dello specchio liquido		
• a massimo invaso	0.455	km <sup>2</sup>
• alla quota di massima regolazione	0.473	km <sup>2</sup>
• alla quota di minima regolazione	0.091	km <sup>2</sup>
• volume totale d'invaso (DM82)	9.82	milioni m <sup>3</sup>
• volume d'invaso (L. 584/94)	9	milioni m <sup>3</sup>
• volume utile di regolazione	8.11	milioni m <sup>3</sup>
• volume di laminazione	0.77	milioni m <sup>3</sup>
• volume per interrimenti	0.94	milioni m <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero		
• direttamente sotteso	20.9	km <sup>2</sup>
• allacciato	3	km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di progetto	180	m <sup>3</sup> /s
tempo di ritorno	>1000	anni
Portata esitata a quota 1069.73		
• scarico di superficie	126	m <sup>3</sup> /s
portata esitata a quota 1068		
• scarico di mezzofondo	73	m <sup>3</sup> /s
• scarico di fondo	12.6	m <sup>3</sup> /s

L'andamento nel tempo dell'invaso è illustrato nel diagramma di Figura 3-5. Di osserva che l'ampiezza di oscillazione dei livelli è andata decrescendo nel tempo, essendo fino alla fine degli anni '80 i minimi più frequentemente abbondantemente sotto la quota 1050 m slm, e successivamente sotto la quota 1055 m slm e in una sola occasione appena sotto la 1050. I massimi hanno avuto andamento un po' meno variabile dei minimi e solo negli anni più recenti, sono stati leggermente ridotti.

Sono stati analizzati anche i dati di temperatura dell'acqua in superficie e alla profondità di 5 m, come riassunto nel diagramma di Figura 3-6. Le due temperature tendono a equalizzarsi in ogni ciclo, con ritardo, in cui lo scarto che si produce è al massimo  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  e mediamente  $\pm 7^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 3-5 - Invaso di Montagna Spaccata. Monitoraggio dei livelli di invaso**



**Figura 3-6 - Invaso di Montagna Spaccata. Monitoraggio della temperatura dell'acqua invasata**

### 3.4. DIGA PRINCIPALE

Si riportano per praticità da Figura 3-7 a Figura 3-9 alcune immagini tratte dal foglio condizioni che descrivono gli elementi salienti della Diga Principale, in calcestruzzo a doppia curvatura.

Si riporta inoltre nella Figura 3-10 lo schema dei trattamenti eseguiti nel blocco in calcare sotto le dighe e lateralmente sulle spalle. Come riportato nella sezione sulla Geotecnica, sono stati iniettati mediante fino a 200 kg/cemento per metro, per m2 di schermo.

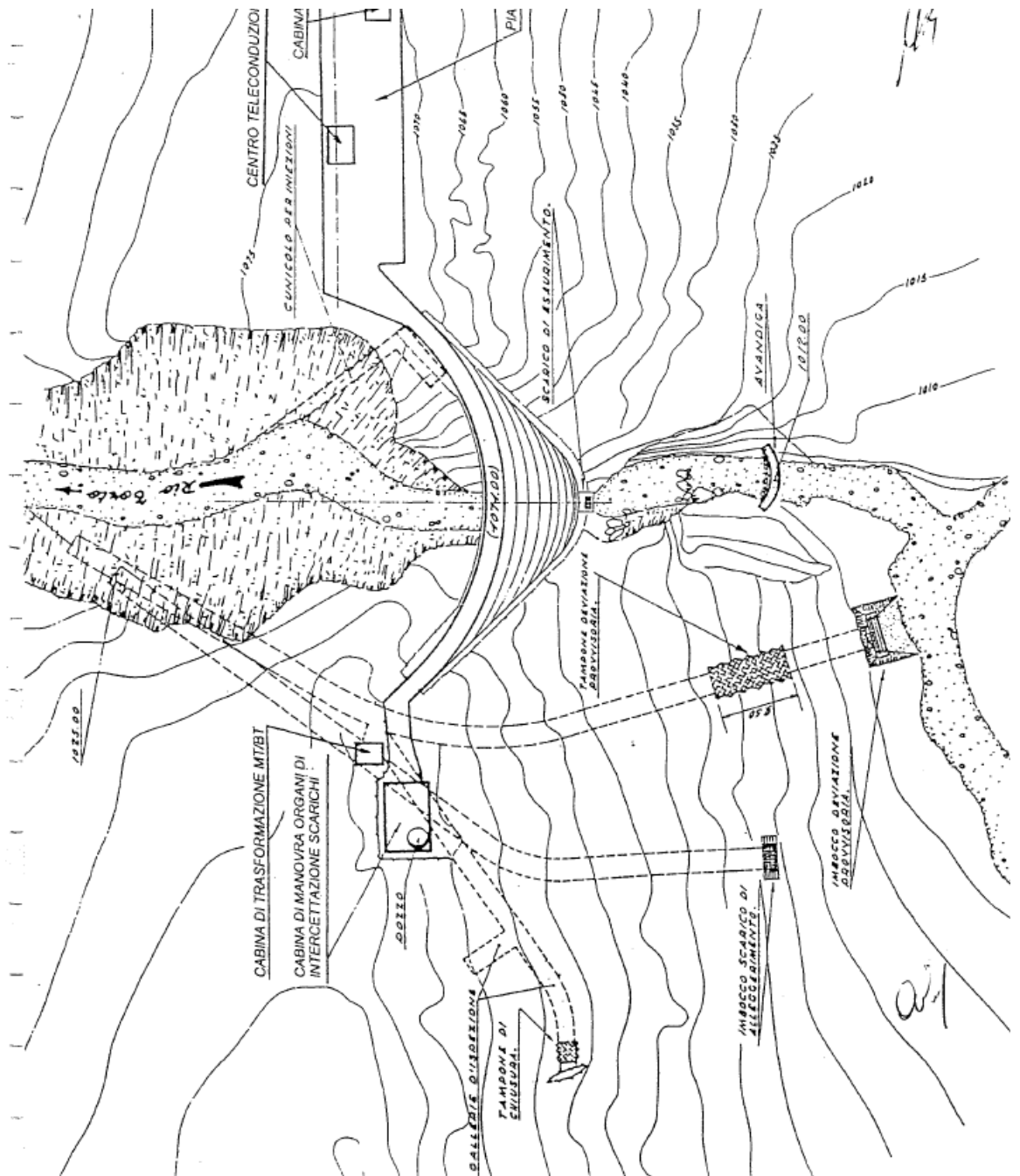


Figura 3-7 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Planimetria

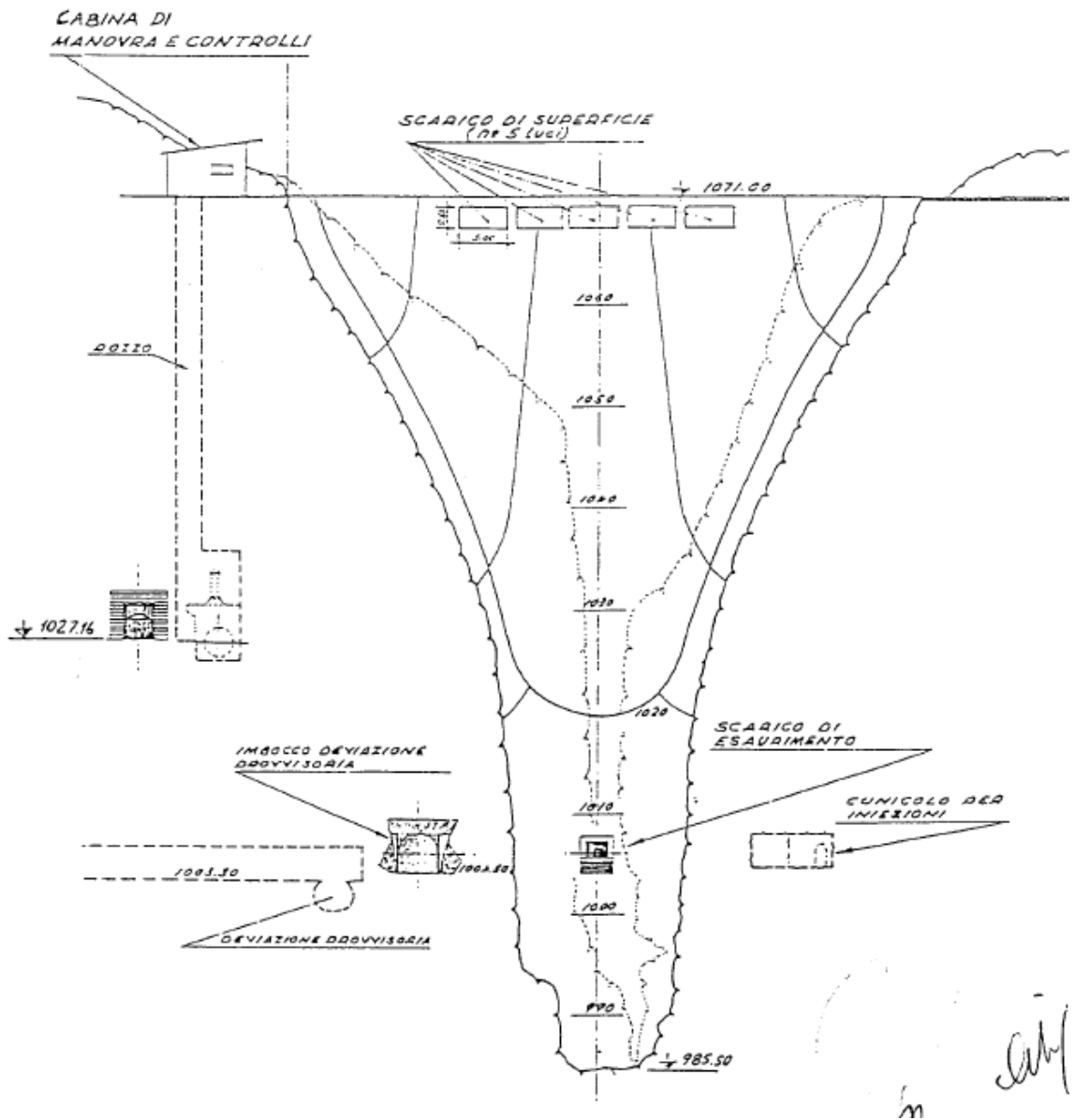


Figura 3-8 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Prospetto da monte

SEZIONE MAESTRA E CURVE CARATTERISTICHE PER IL TRACCIAMENTO DEGLI ARCHI

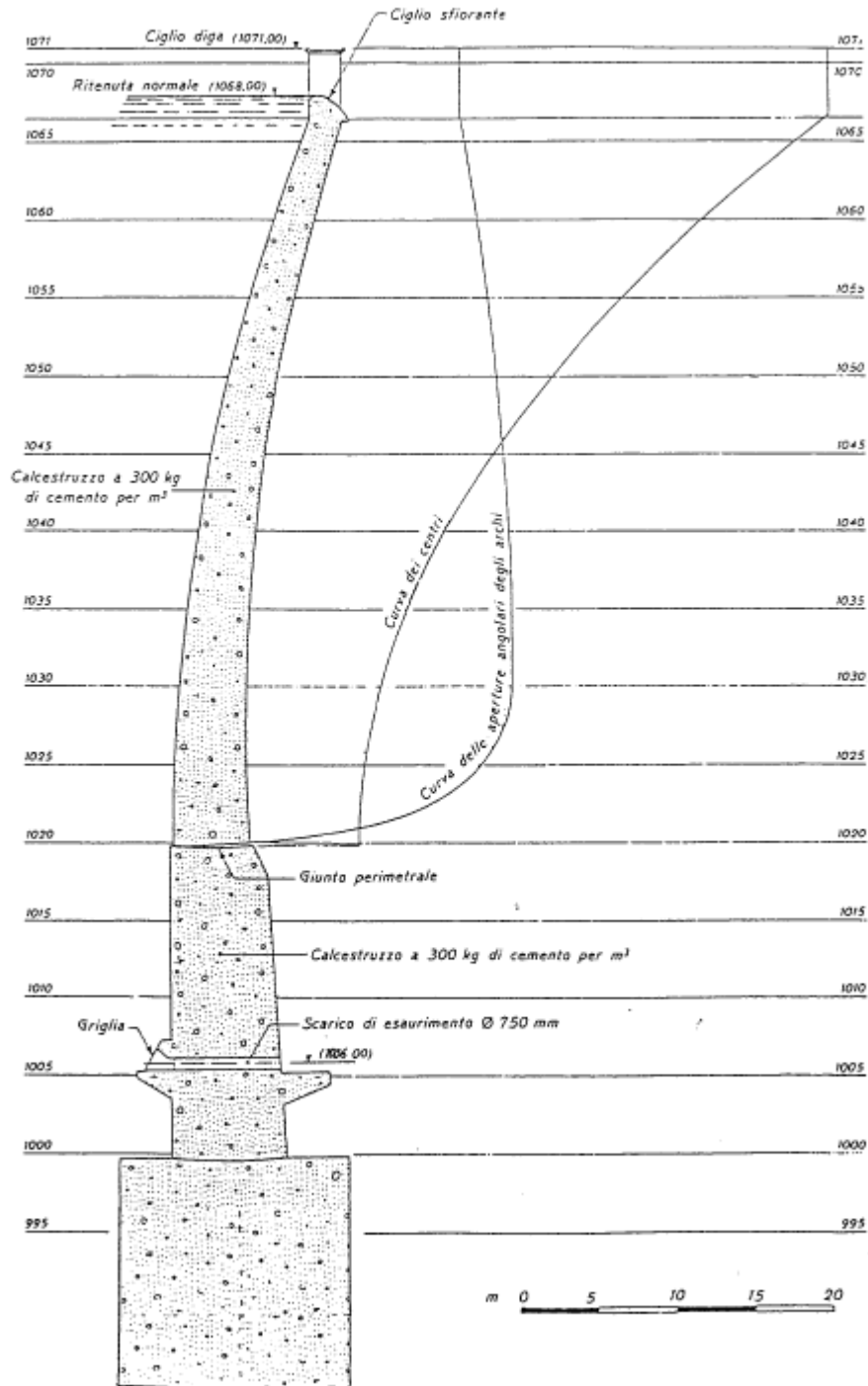
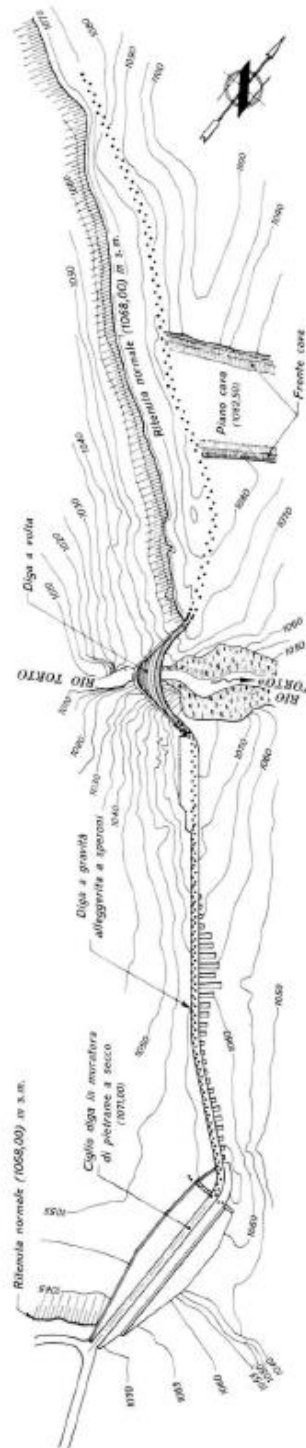
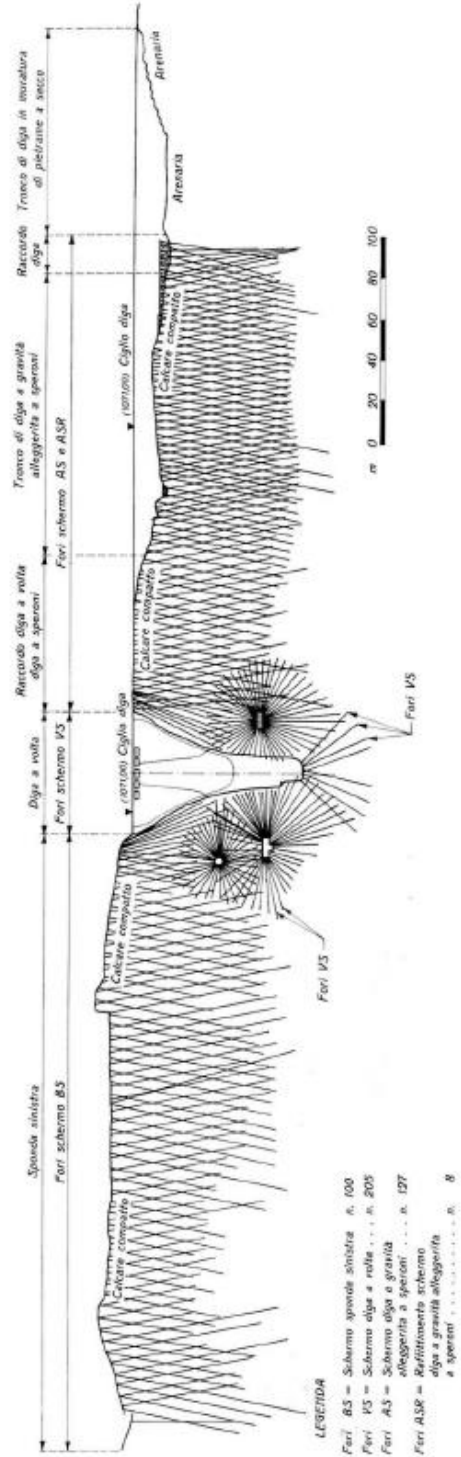


Figura 3-9 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Sezione in asse

INIEZIONI DI IMPERMEABILIZZAZIONE  
PLANIMETRIA



SEZIONE LONGITUDINALE SVILUPPATA  
VISTA DA MONTE



- LEGENDA
- Fiori B5 = Schermo spionda sinistra n. 100
  - Fiori V5 = Schermo diga a rotella n. 205
  - Fiori A5 = Schermo diga a gravità alleggerita a spintoni n. 127
  - Fiori ASP = Rafforzamento schermo diga a gravità alleggerita a spintoni n. 8

Figura 3-10 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale e adiacenti Dighe 2 e 3. . Planimetria e profilo dei trattamenti di impermeabilizzazione della fondazione

#### **3.4.1. DATI DI MONITORAGGIO DISPONIBILI**

Il monitoraggio è stato attivato fin dalle prime fasi di vita dell'opera e comprende le seguenti grandezze:

- Dati idrometeorologici e dell'invaso
- Misure di Collimazione
- Misure di livellazione
- Misure Estensimetriche
- Misure di dilatazione e temperatura interna

I punti di misura sono ubicati in pianta e sezione come illustrato da Figura 3-11 a Figura 3-15.



Misure di controllo

diga 1 - SPOSTAMENTI - ROTAZIONI - DILATAZIONI -

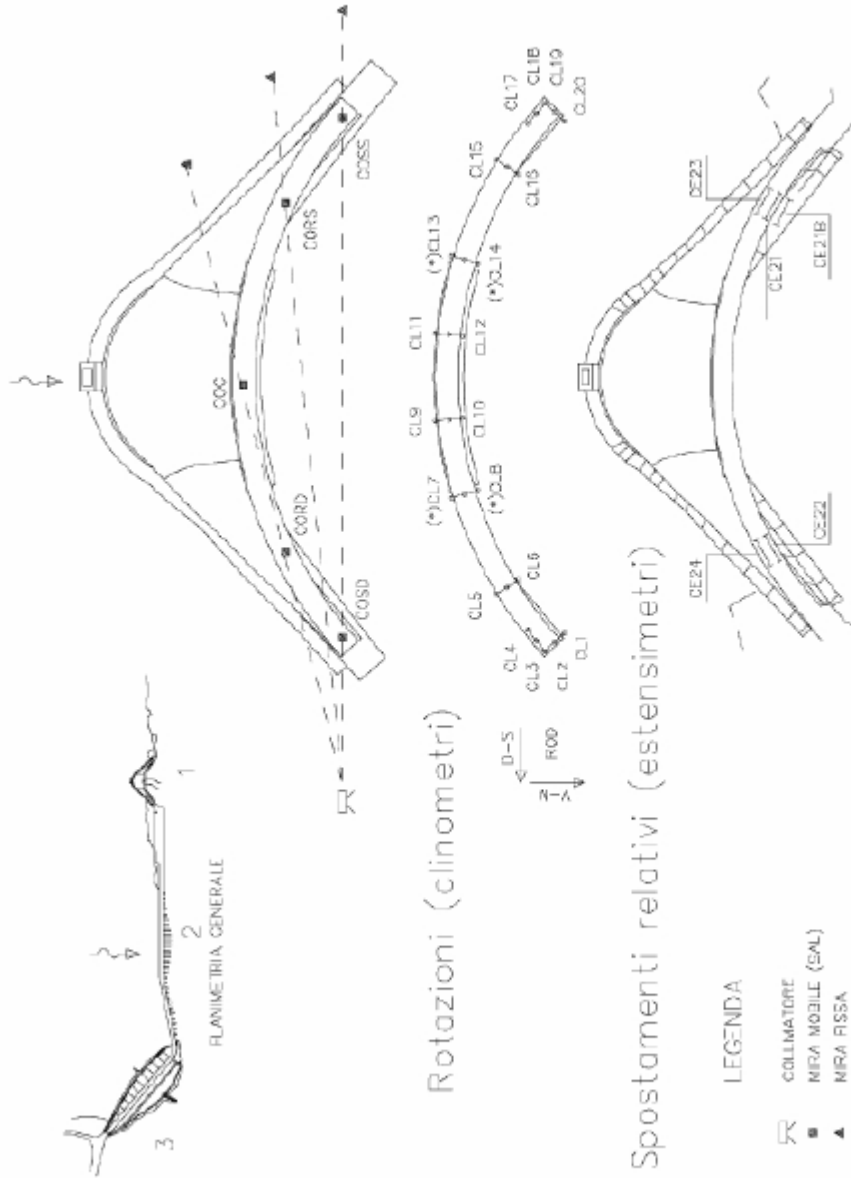
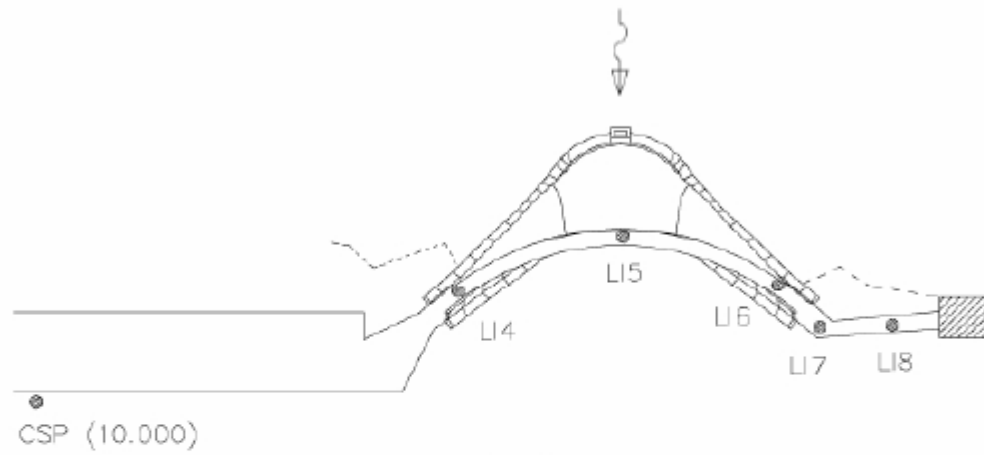


Figura 3-11 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Monitoraggio degli spostamenti. Ubicazione

**Misure di controllo**

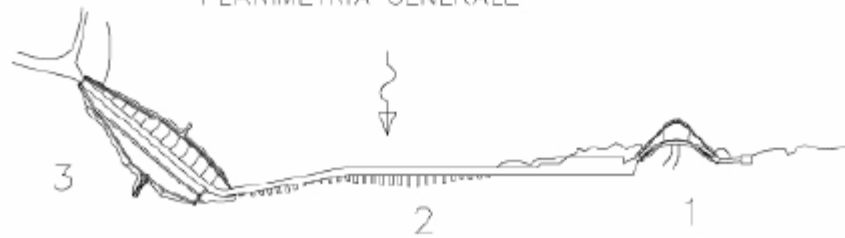
**diga 1 – SPOSTAMENTI ALTIMETRICI –**



LEGENDA

● CAPOSALDO LIVELLAZIONE (LII)

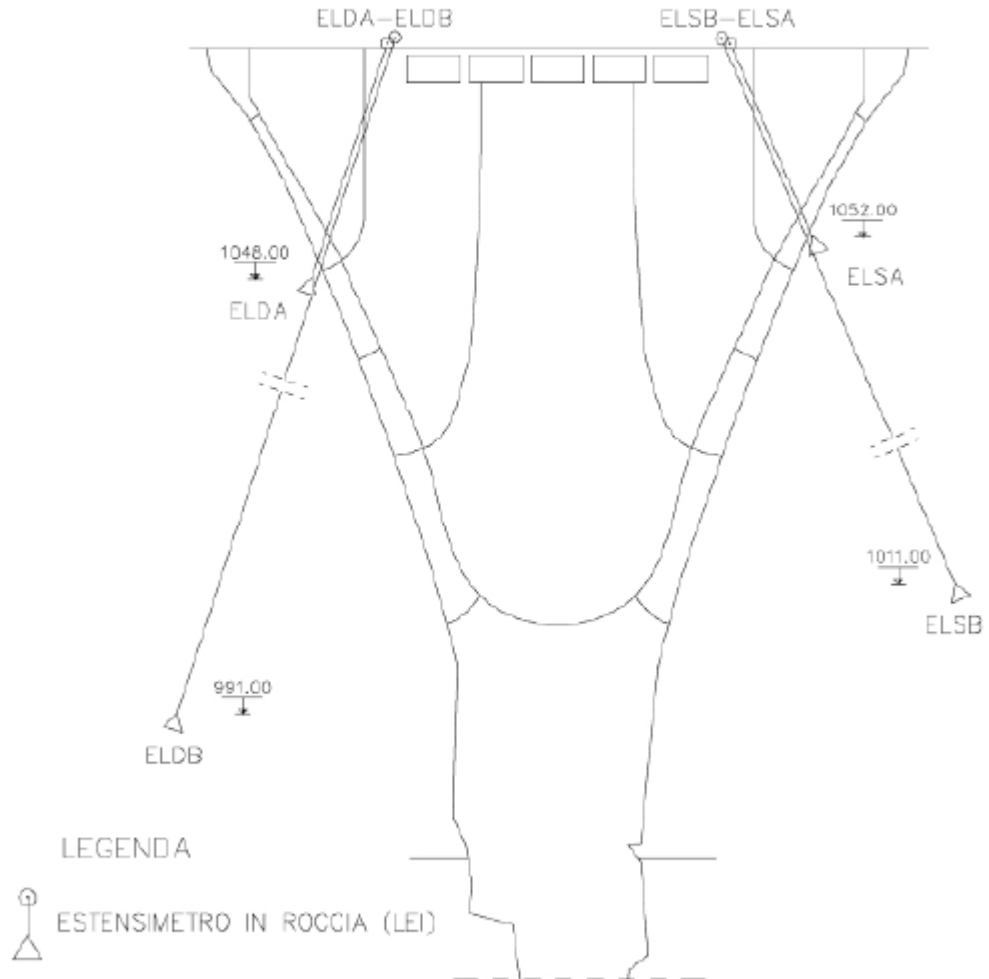
PLANIMETRIA GENERALE



**Figura 3-12 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Monitoraggio degli spostamenti. Altimetrici Ubicazione**

**Misure di controllo**  
**diga 1 – SPOSTAMENTI RELATIVI –**

VISTA DA VALLE



**Figura 3-13 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Monitoraggio estensimetrico. Ubicazione**

Misure di controllo  
diga 1 – SPOSTAMENTI RELATIVI –

VISTA DA MONTE SCALA 1:200

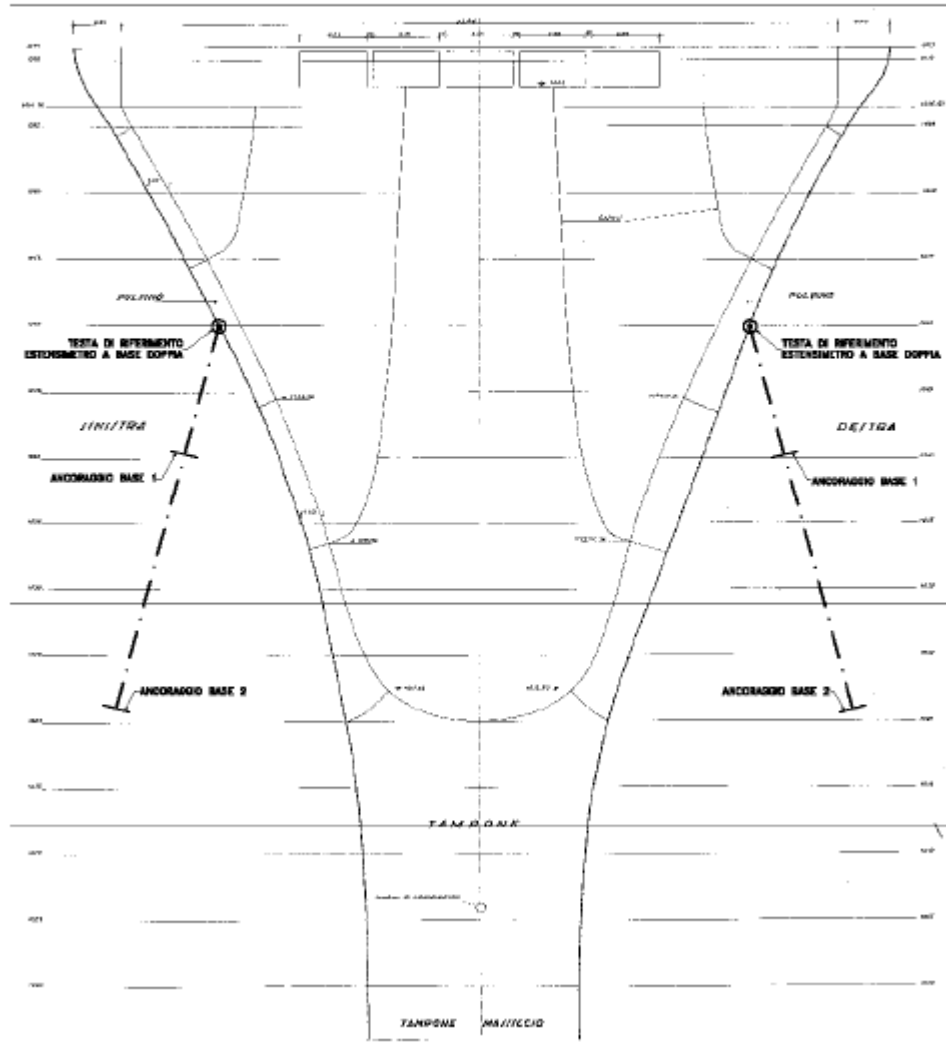
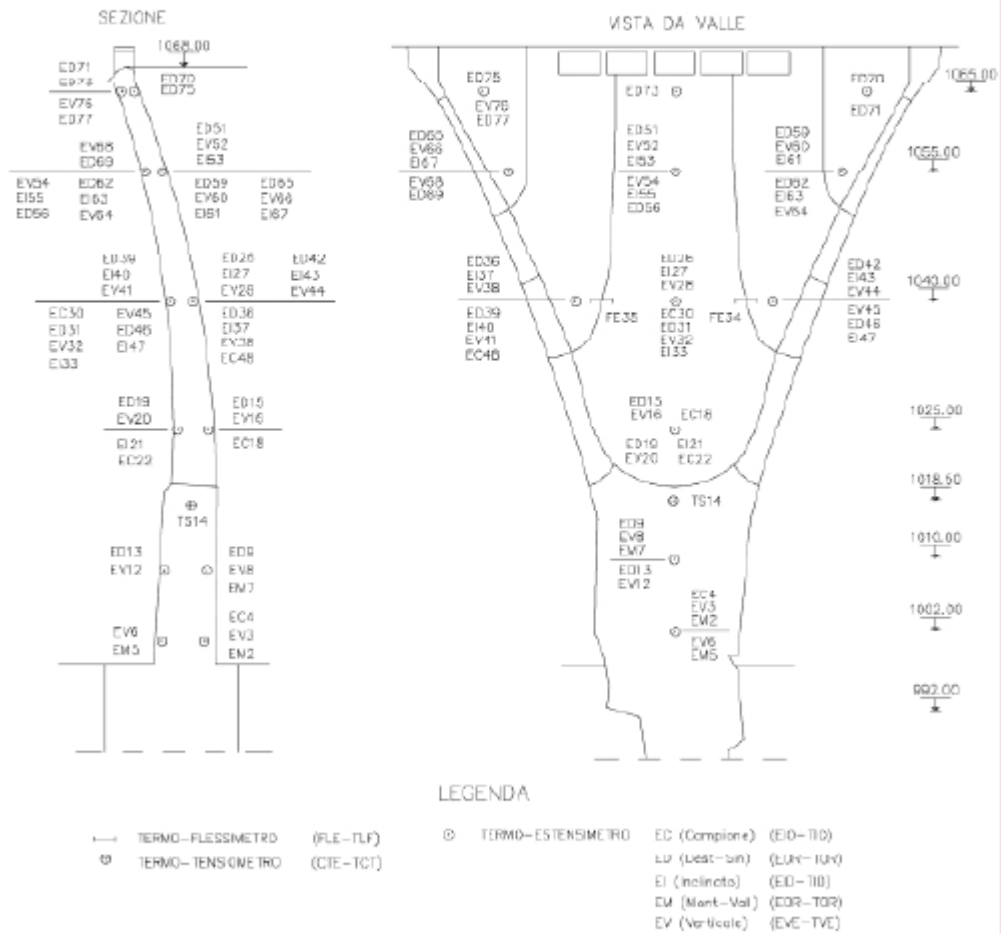


Figura 3-14 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Monitoraggio estensimetrico in roccia. Ubicazione

**Misure di controllo**  
**diga 1 – DILATAZIONI - TEMPERATURE INTERNE –**



**Figura 3-15 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Monitoraggio di temperatura e dilatazioni. Ubicazione**

### 3.4.2. MISURE DI COLLIMAZIONE

Le misure di collimazione sono state attivate a partire dalla fine anni '60.

L'andamento delle misure, presentato nel diagramma di Figura 3-16, mostra per la maggior parte dei punti un rigonfiamento verso monte iniziato agli inizi degli anni '70, aumentato fino a circa il 1990, quando è iniziato un progressivo ritorno verso la posizione iniziale. A partire dal 2010, le misure appaiono stabilizzate, con una piccola oscillazione, nell'ordine di 1-2 mm, dovuta ai cicli di invaso e temperatura.

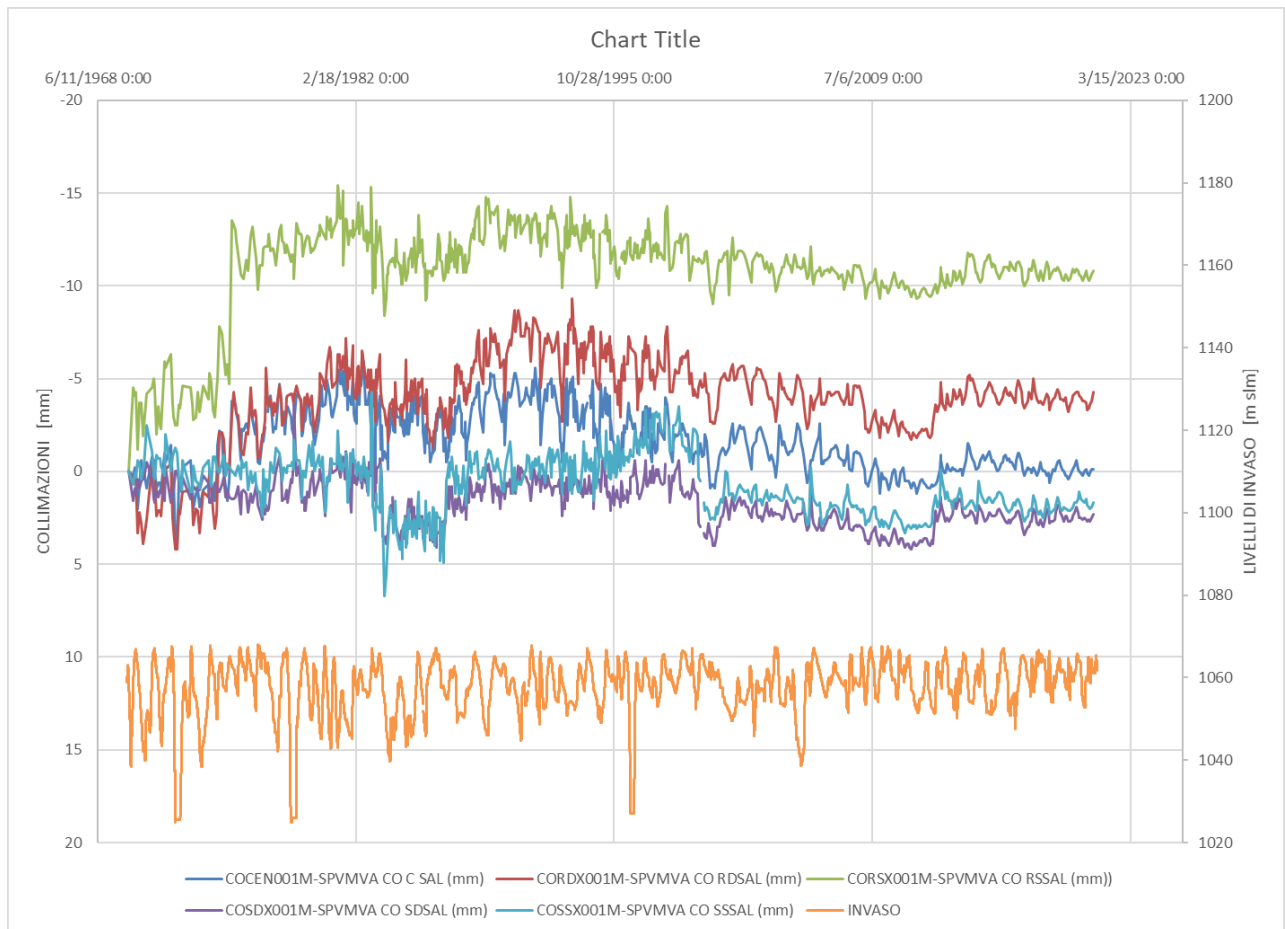
In passato, si sono registrate oscillazioni delle letture all'interno di un singolo ciclo di invaso superiori a 5 mm.

Un chiaro legame tra oscillazione dei livelli di invaso e misure di collimazione non esiste, anche se non si può non notare che il rigonfiamento corrisponde alla fase di invaso in cui i cicli erano più ampi e i minimi più bassi.

Sulla base dei dati disponibili, è pensabile che il rigonfiamento verso monte possa essere prodotto dai cicli termici sulla faccia di monte della diga e/o ai cicli di pressione che si generano nelle fessure monte valle presenti nelle spalle: un ritardo tra la loro saturazione e desaturazione rispetto alla pressione dell'invaso potrebbe causare una sovraspinta laterale sulle spalle della volta e conseguente deformazione verso monte.

Il lento ritorno verso la posizione iniziale potrebbe dipendere da un diverso regime di sollecitazioni termiche per la diversa esposizione del paramento di monte al cambiare del regime dei cicli di invaso, redistribuzione di tensioni per effetti viscosi, rilassamento del calcestruzzo e/o della roccia sotto carico, o a una evoluzione delle filtrazioni per effetto di trattamenti o semplicemente per progressivo intasamento delle fessure.

Il fenomeno andrà meglio chiarito nelle fasi successive di progettazione e potrebbe richiedere un trattamento supplementare di iniezione per prevenire/controlare meglio l'ingresso di acqua nelle spalle.



**Figura 3-16 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Misure di Collimazione**

### 3.4.3. MISURE DI LIVELLAZIONE SUL CORONAMENTO

Le misure di livellazione hanno dato spostamenti ciclici con ampiezza molto modesta, entro 1 mm.

Le misure non presentano anomalie apparenti.

### 3.4.4. MISURE ESTENSIMETRICHE SUL CORONAMENTO

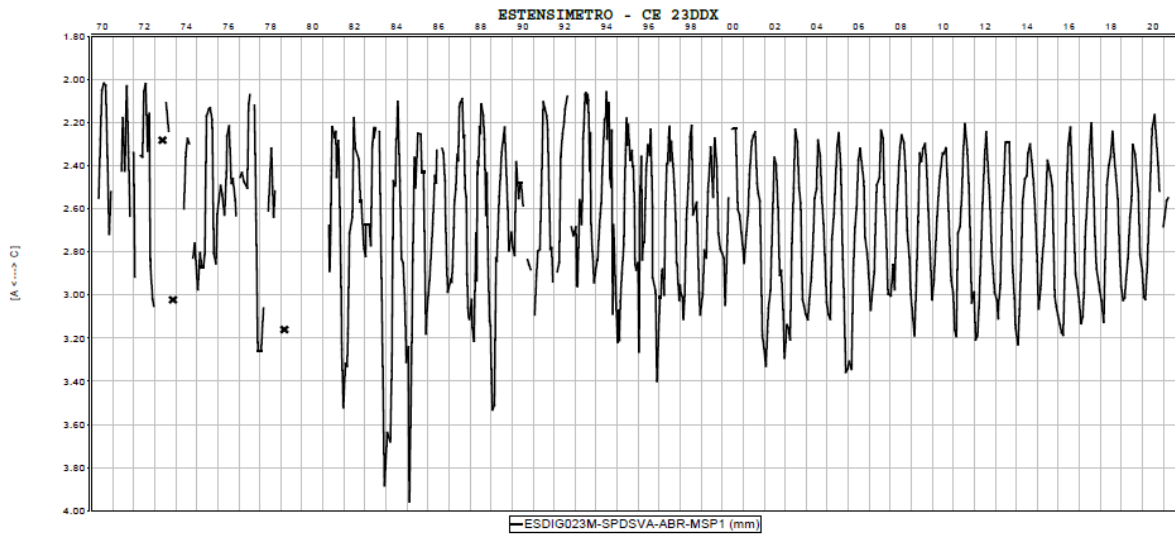
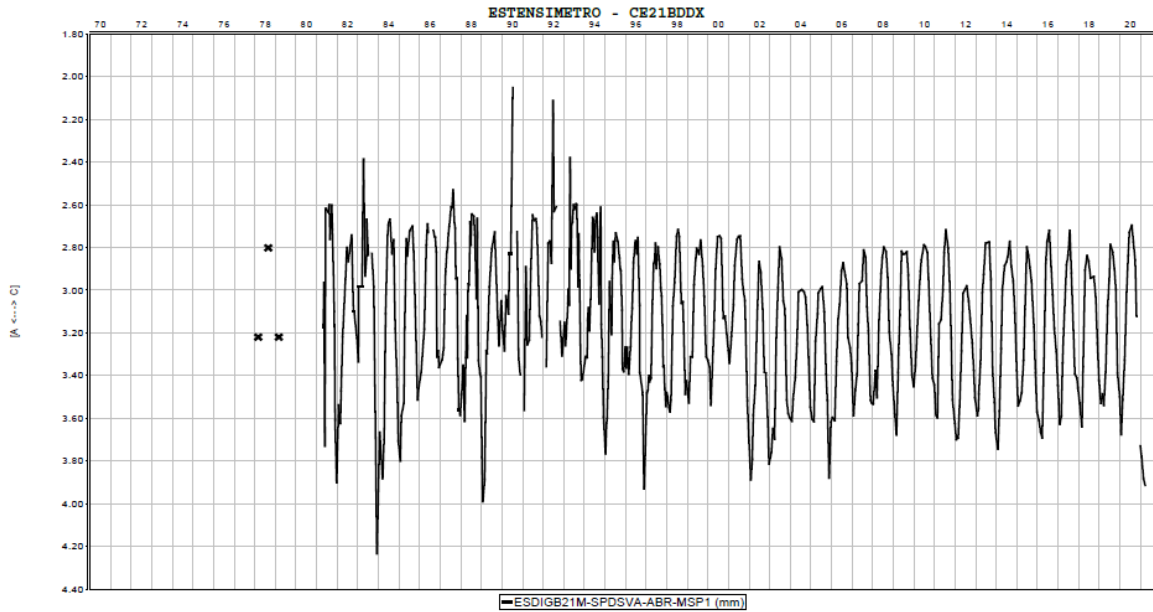
Le misure estensimetriche sono riportate in Figura 3-17 e Figura 3-18, per la spalla sinistra e destra rispettivamente.

Le misure hanno andamento oscillante con i cicli di carico idraulico e termico. I valori misurati sono contenuti essendo tuttavia leggermente maggiori in spalla sinistra. La differenza è andata aumentando nel tempo e negli ultimi 10 anni è pari a circa 0.4 mm.

Le misure in spalla destra inoltre mostrano una certa deriva, che si è praticamente annullata negli ultimi 10 anni. Questa deriva e la riduzione dell'ampiezza di oscillazione in destra potrebbero essere il motivo per cui l'iniziale rigonfiamento delle misure di collimazione si è via via ridotto, fino praticamente ad annullarsi.

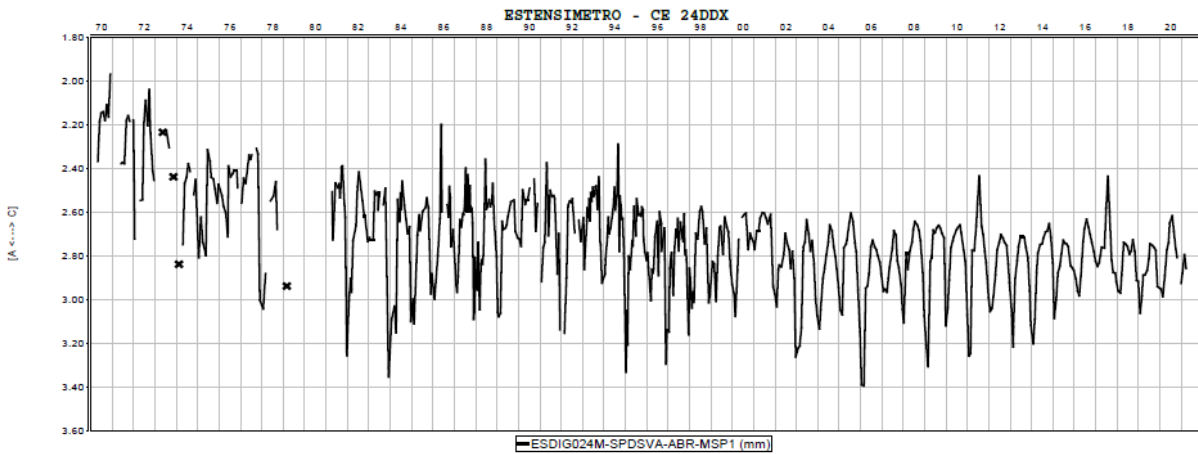
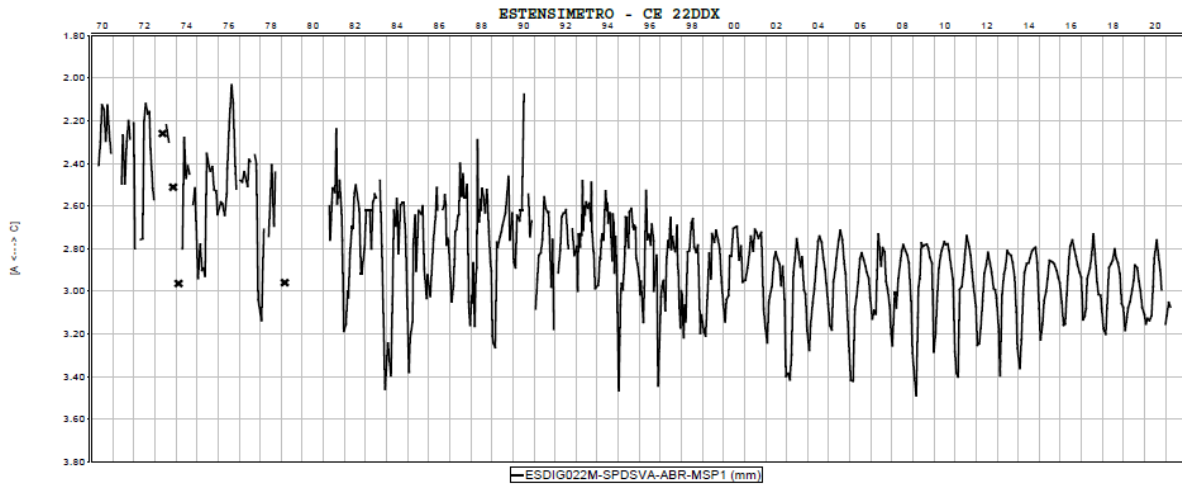
L'oscillazione annuale è risultata pari a 5 mm, nei primi anni, ed è andata via via riducendosi a 1-2 mm, più recentemente.

Le misure degli estensimetri posti nella stessa posizione sono praticamente uguali, il che suggerisce che non ci siano flessioni significative sugli appoggi, all'altezza del coronamento.



**Figura 3-17 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Misure estensimetriche sul coronamento. Spalla Sinistra**





**Figura 3-18 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Misure estensimetriche sul coronamento. Spalla Destra**

### 3.4.5. MISURE CON ESTENSIMETRI A BASE LUNGA

Le misure di livellazione, di cui sono stati esplicitati alcuni cicli in Figura 3-19, hanno dato spostamenti ciclici con ampiezza molto modesta, entro 1 mm.

Non presentano anomalie apparenti.

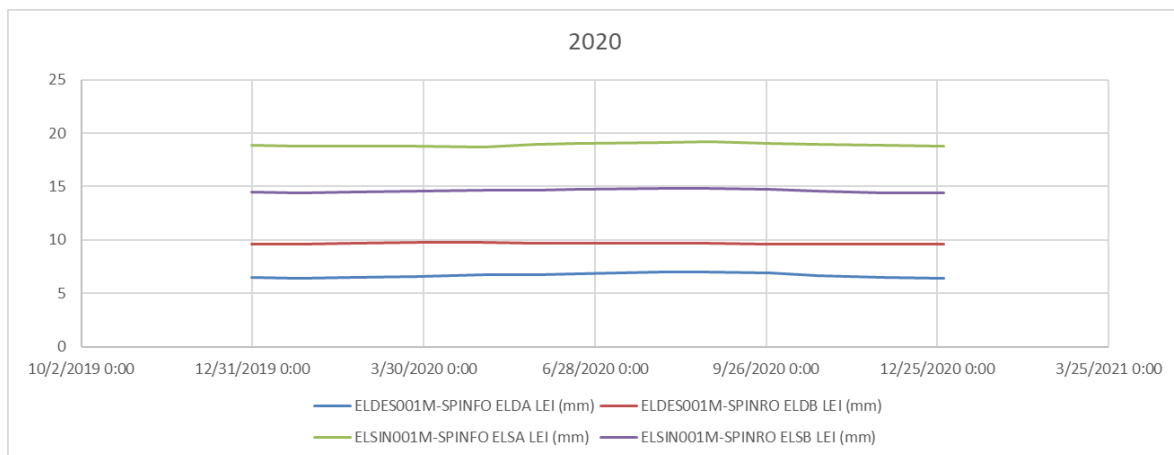
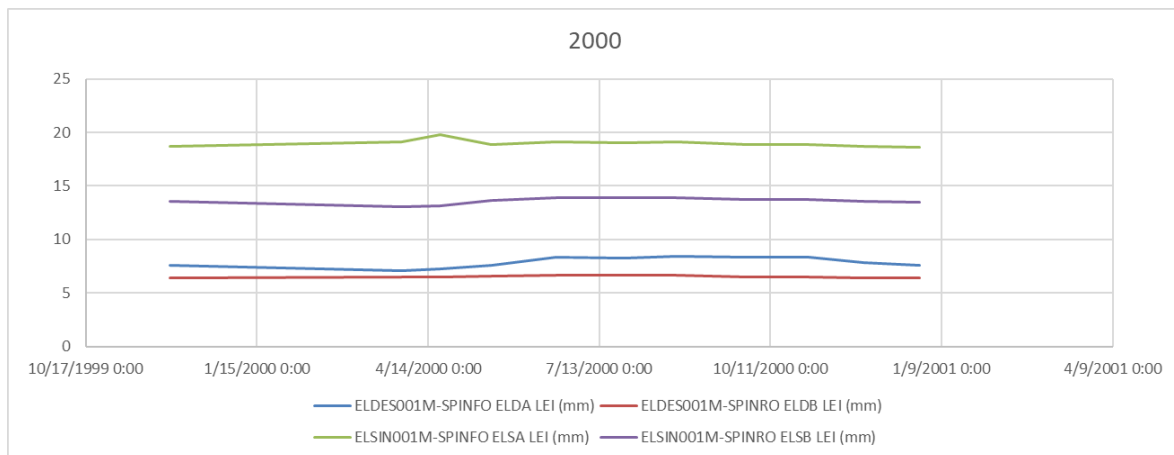
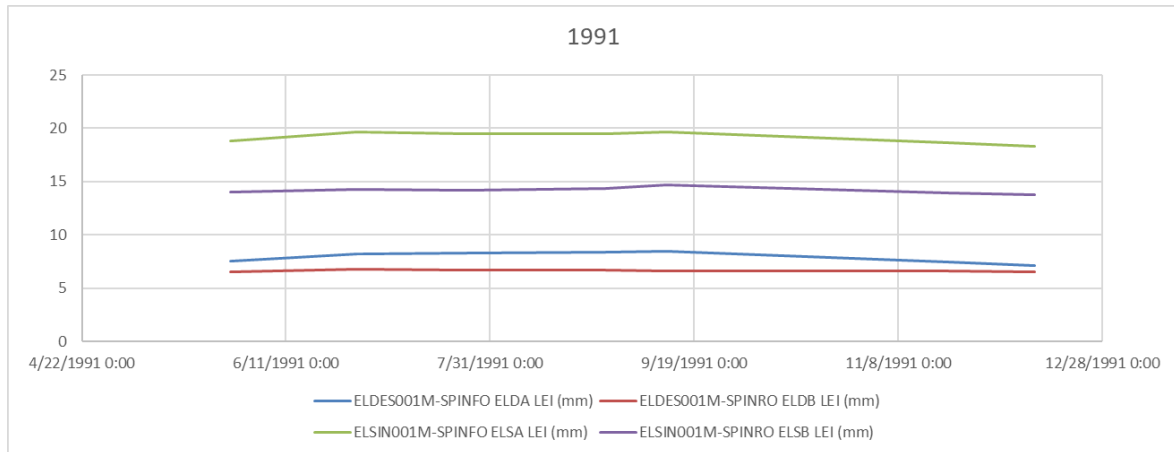


Figura 3-19 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Misure estensimetriche

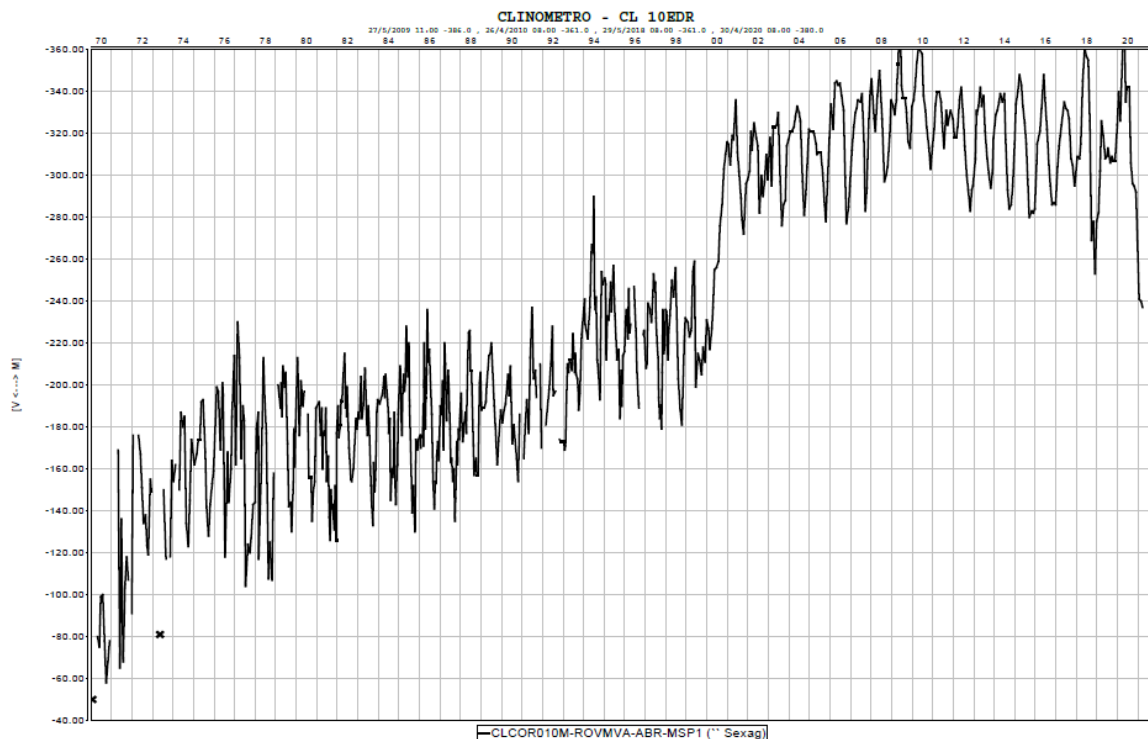
### 3.4.6. MISURE CLINOMETRICHE

Le misure clinometriche sono state rilevate a partire dagli anni '70 per alcuni strumenti installati in corrispondenza delle spalle, delle reni e della sezione centrale, e sono state completate da strumenti installati in posizioni intermedie a partire dagli anni '80.

I valori misurati sono risultati variabili da 20 a 220" di grado sessagesimale. Un tipico diagramma è mostrato in Figura 3-20, relativamente al clinometro CL-10 EDR, ubicato in chiave sulla faccia di valle, che corrisponde al valore di rotazione massimo registrato. La posizione, in corrispondenza dell'alleggerimento dovuto allo scarico di superficie, oltre che in corrispondenza della chiave dell'arco, può aver influito su questi valori relativamente più alti, registrati in tutti i clinometri ubicati in questo tratto.

Si nota in corrispondenza dell'anno 2000, circa, un salto nelle letture. La stessa anomalia è osservabile in altri clinometri (non tutti) ubicati sia in chiave, che sulle reni, che sulle spalle. La anomalia, che corrisponde al baricentro di un periodo di 2-3 anni in cui l'invaso è stato mantenuto sopra la 1060m slm, potrebbe essere associata alla stessa ragione per cui attorno al 2000 si osserva un assestamento della deriva estensimetrica in destra.

Questo aspetto, tuttavia, dovrà essere meglio analizzato e chiarito, anche se nel complesso sembrerebbe rientrare nella fisiologia generale della diga e le letture a valle di questo episodio hanno la tendenza alla stabilizzazione.



**Figura 3-20 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga Principale. Misure di Collimazione. Clinometro CL-10 EDR, ubicato in chiave sulla faccia di valle, che corrisponde al valore di rotazione massimo registrato.**

### 3.4.7. MISURE DI TEMPERATURA E DILATAZIONE

Non sono stati resi reperibili dati sulla temperatura e dilatazioni, presumibilmente perché confinati al periodo di costruzione e immediatamente seguente

## 3.5. DIGA N.2 IN CALCESTRUZZO A GRAVITA' CON SPERONI/ORDINARIA

### 3.5.1. DESCRIZIONE DI DETTAGLIO

Si riportano per praticità nelle Figura 3-21 e Figura 3-22 alcune immagini tratte dal foglio condizioni che descrivono gli elementi salienti della Diga 2, in muratura a gravità con speroni.

Si riporta inoltre in Figura 3-23 un dettaglio di alcuni elementi di geologia e geotecnica discussi nelle sezioni precedenti quali la faglia NO-SE, che forma il gradone morfologico, e il contatto tra litologie calcare-flysch, che illustra il tipo di interazione con l'opera.

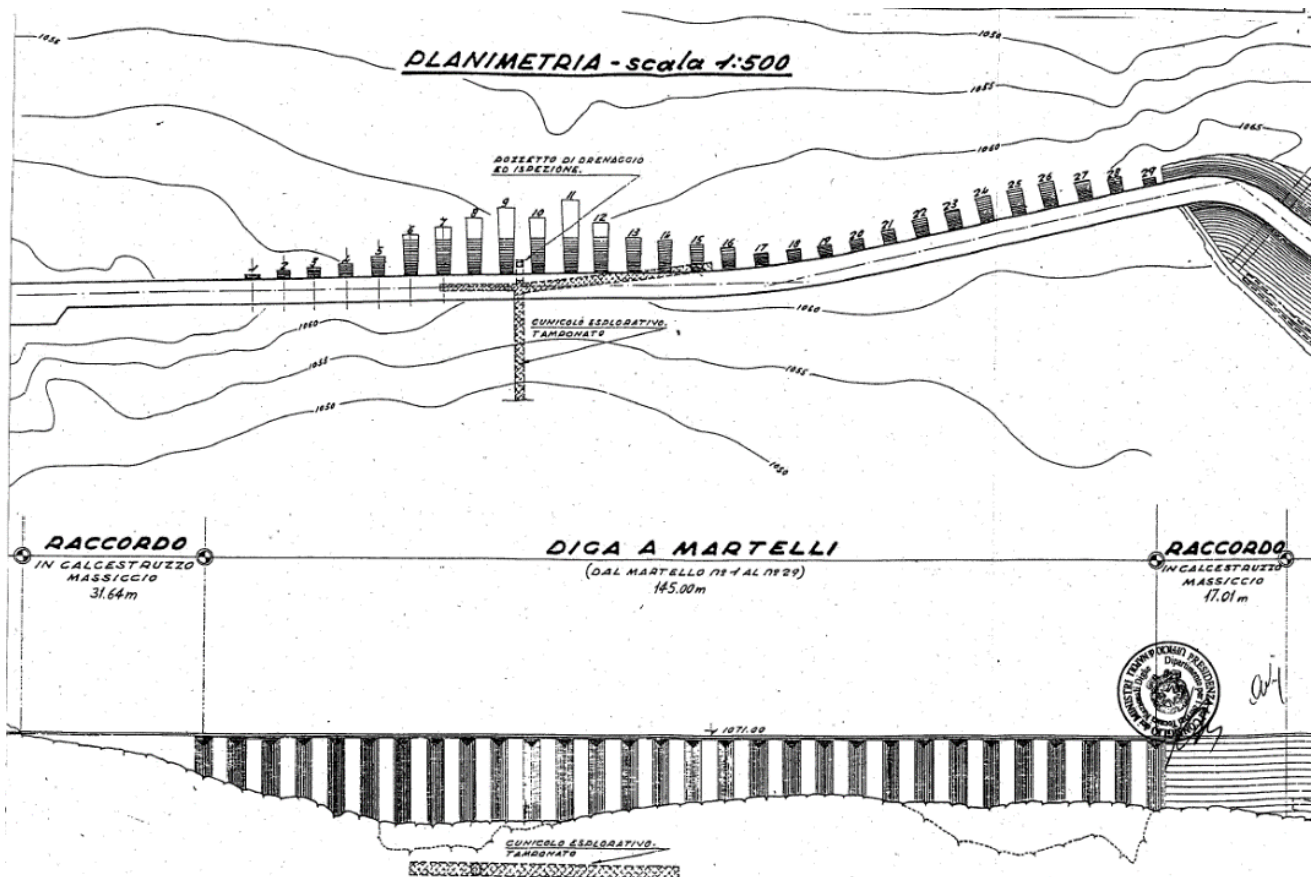


Figura 3-21 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 muraria a gravità con speroni. Planimetria e Prospetto

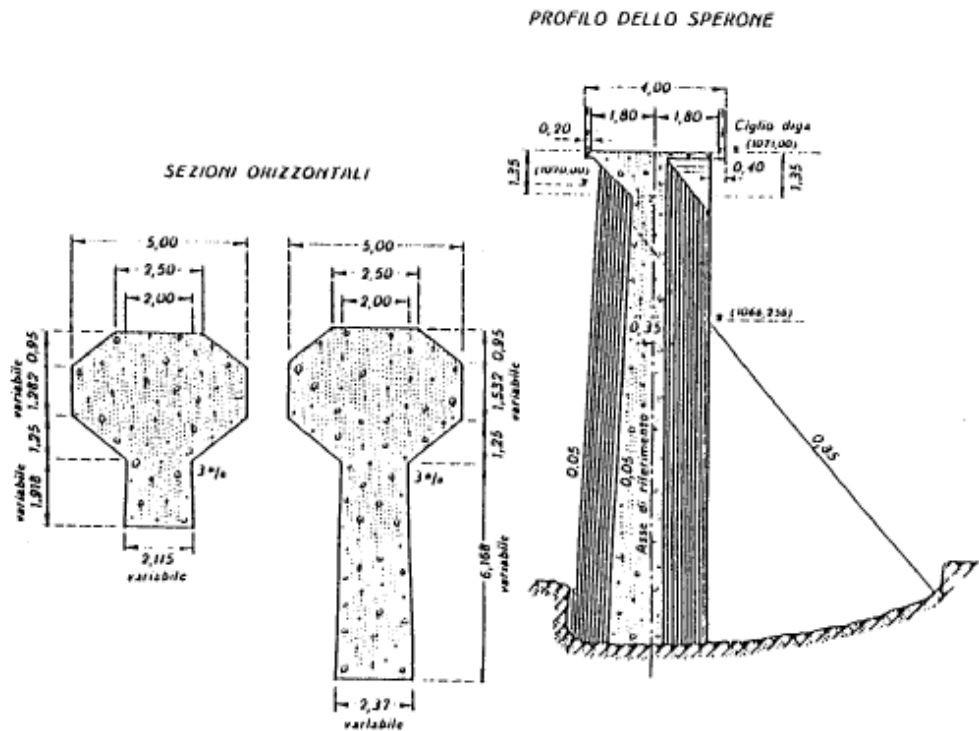


Figura 3-22 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 muraria a gravità con speroni. Sezione e dettagli degli speroni

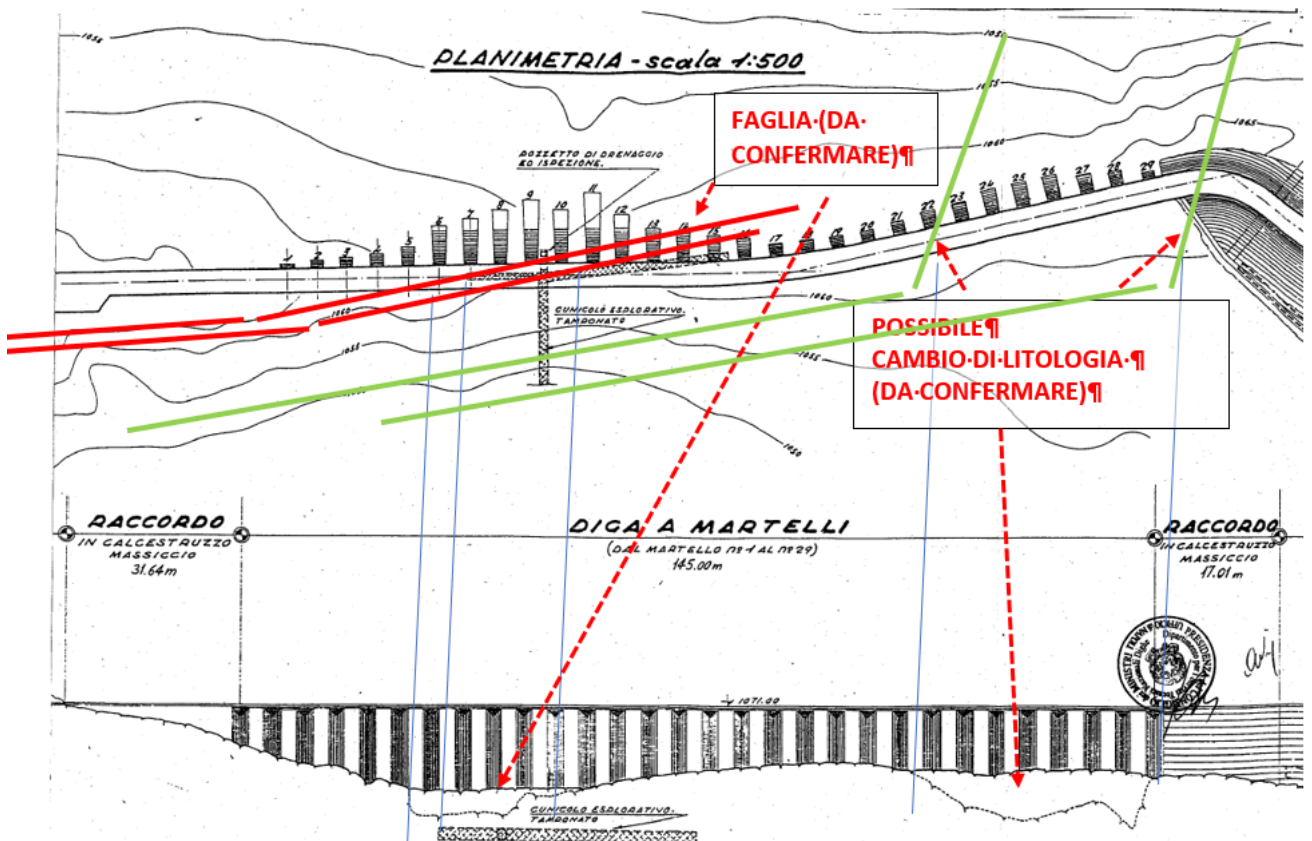


Figura 3-23 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 muraria a gravità con speroni. Elementi di geologia e geotecnica locale

### 3.5.2. DATI DI MONITORAGGIO DISPONIBILI

Il monitoraggio è stato attivato fin dalle prime fasi di vita dell'opera e comprende le seguenti grandezze:

- Dati idrometeorologici e dell'invaso
- Misure delle perdite dai cunicoli di drenaggio
- Misure di livellazione
- Misure estensimetriche
- Misure di Collimazione.

I punti di misura sono ubicati in pianta e sezione come illustrato in Figura 3-24 e Figura 3-25.

#### Misure di controllo

#### diga 2 – SPOSTAMENTI - ROTAZIONI - DILATAZIONI – PERDITE –

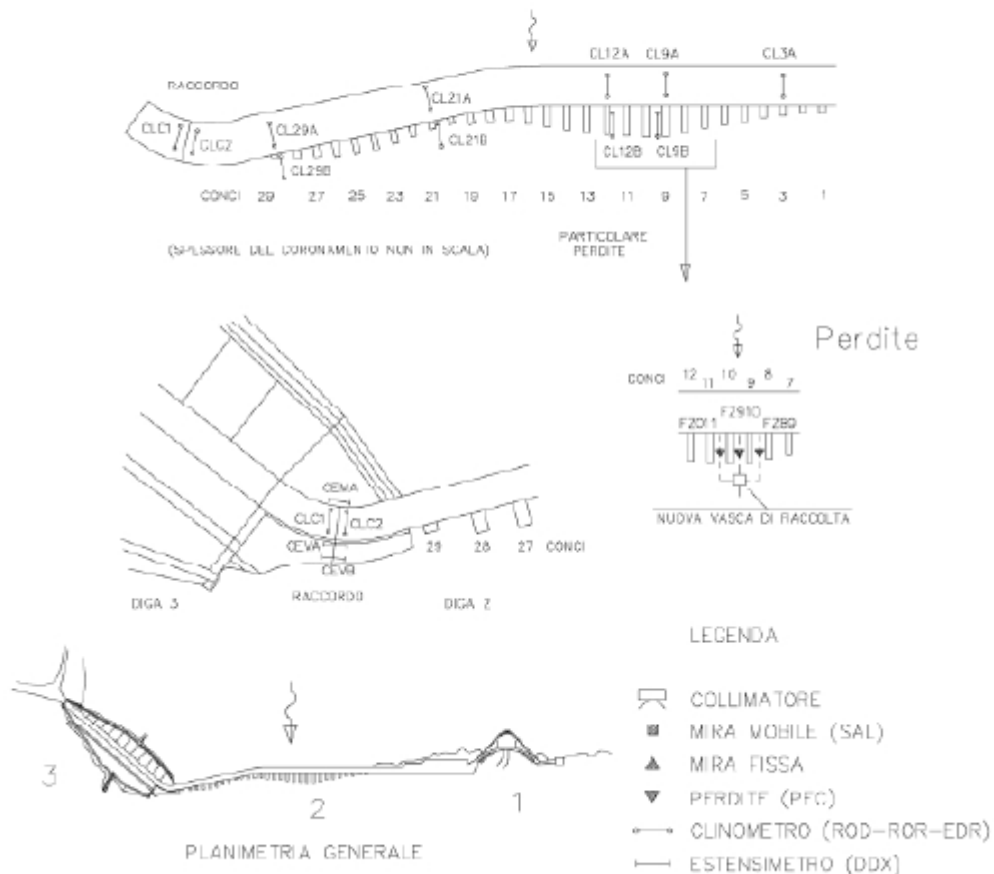


Figura 3-24 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 in calcestruzzo a speroni. Monitoraggio degli spostamenti. Ubicazione

Misure di controllo

diga 2 – SPOSTAMENTI ALTIMETRICI –

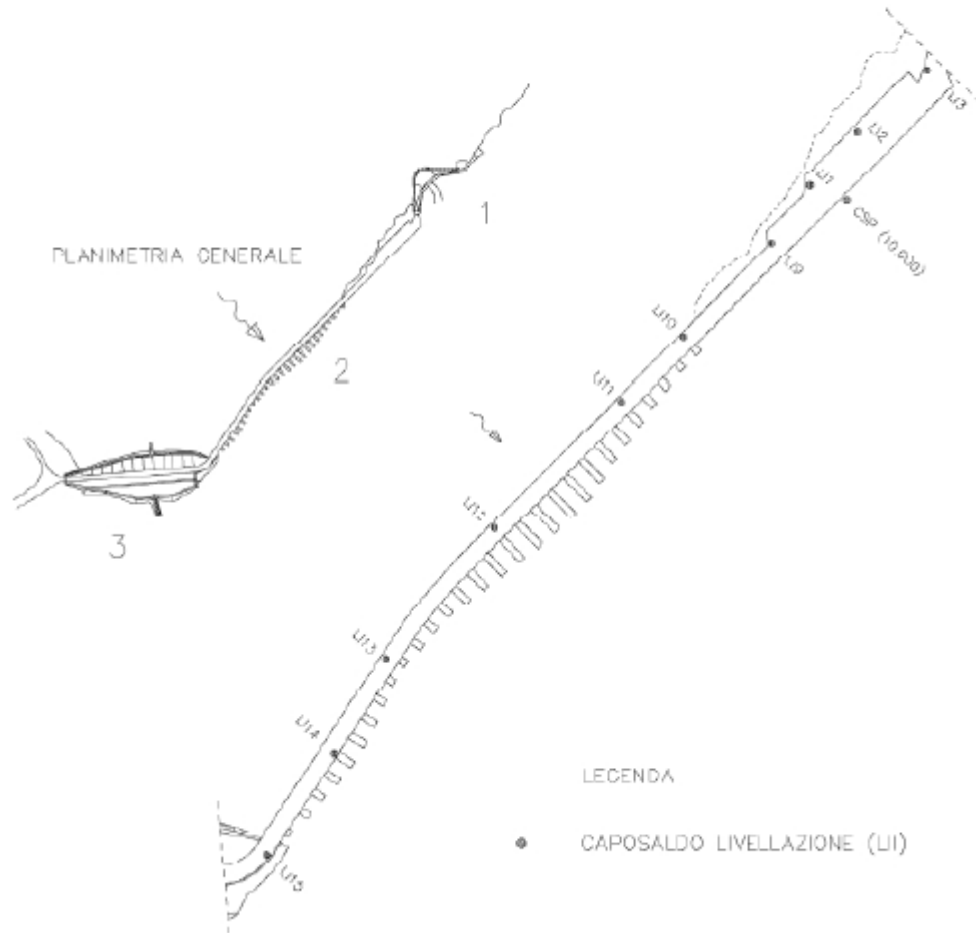


Figura 3-25 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 in calcestruzzo a speroni. Monitoraggio degli spostamenti verticali. Ubicazione

### 3.5.3. MISURE DELLE PERDITE

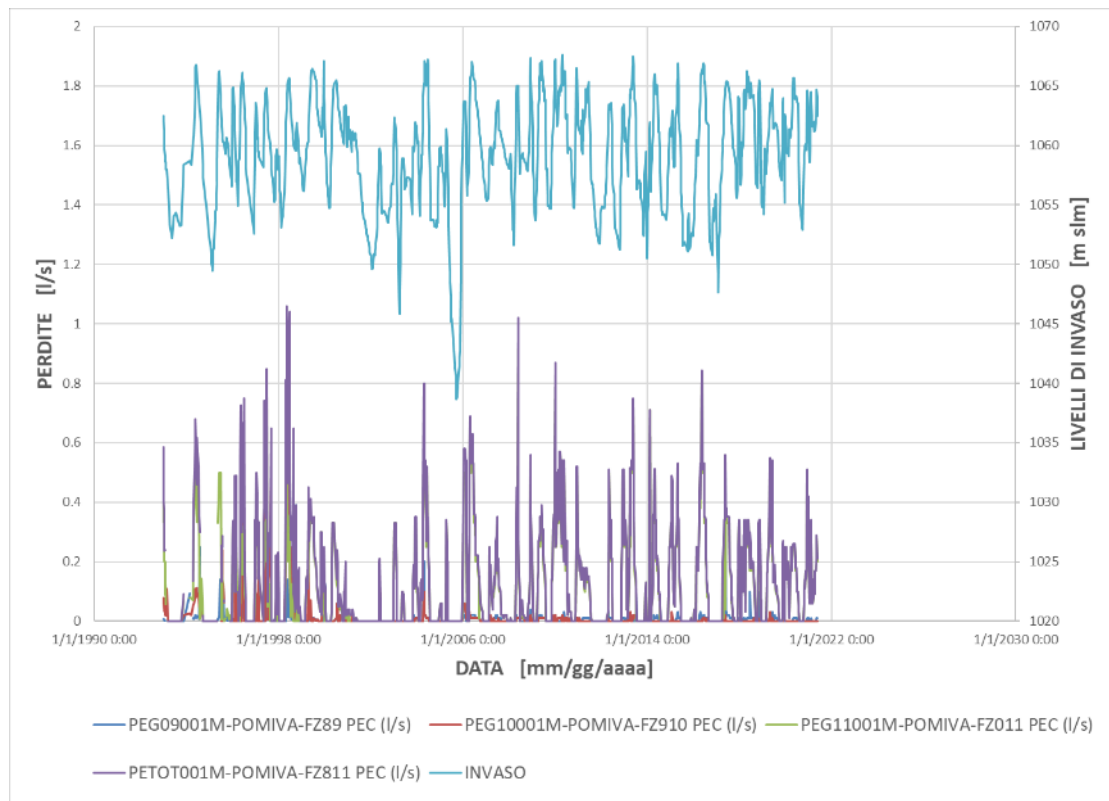
Le misure delle perdite sono presentate nelle Figura 3-26 e Figura 3-27, assieme all'andamento dell'invaso per pratico riferimento.

Le perdite totali si mantengono entro valori massimi puntuali compresi nell'intervallo 0.6-1 l/s, essendo i valori medi più frequenti compresi nell'intervallo 0.2-0.4 l/s.

Per quanto riguarda le perdite parziali, quelle dalla sponda sinistra sono risultate in genere più contenute, sia perché la roccia è migliore sia perché il tratto drenato è più breve. Le perdite del tratto centrale sono risultate significative e simili a quelle del tratto di destra fino alla fine degli anni '90, dopo di che sono diventate trascurabili. Le perdite che mediamente sono risultate più significative sono quelle del tratto destro, che oggi formano in pratica da sole le perdite totali rilevate. Questa differenza può anche essere legata all'estensione dei trattamenti di fondazione in destra, rispetto al dettaglio del contatto tra calcari e flysch.

Dai diagrammi di risposta sincrona rispetto all'invaso, si evince che le perdite sono attivate nel momento in cui il livello di invasivo supera la quota di fondazione. Più nel dettaglio si è osservato che le perdite totali non hanno subito evoluzioni significative nel tempo, come suggerisce il diagramma di Figura 3-28, se non forse una leggera diminuzione.

Allo stesso tempo il diagramma di Figura 3-29 conferma la preponderanza del contributo delle perdite in destra rispetto alle altre, presumibilmente perché in questa zona la diga poggia su Flysch, certamente più permeabile dei calcari.

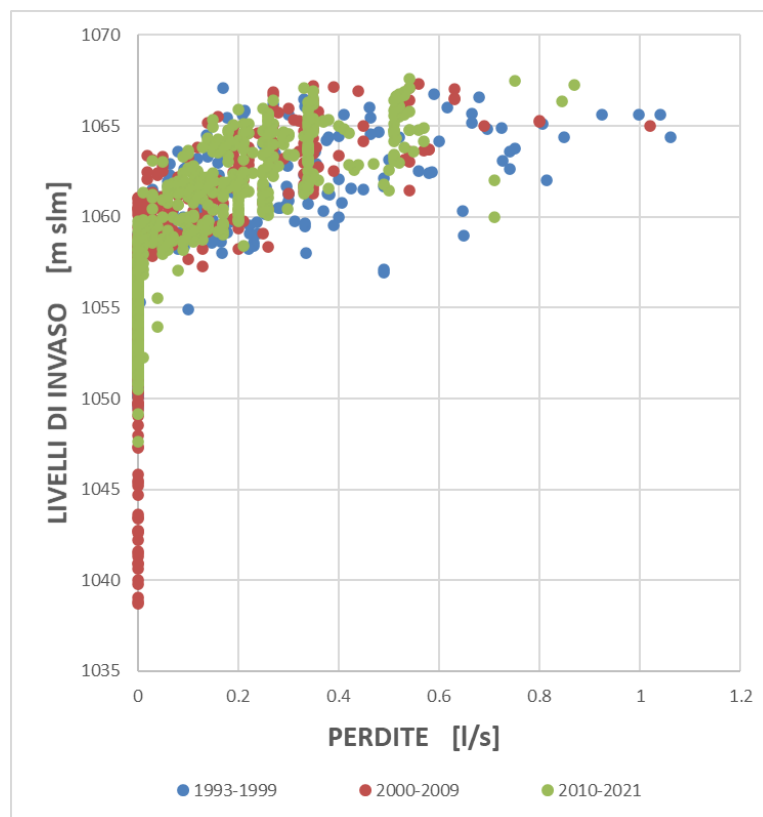


**Figura 3-26 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 a Gravità a speroni. Monitoraggio delle perdite. Letture delle perdite parziali e totali**

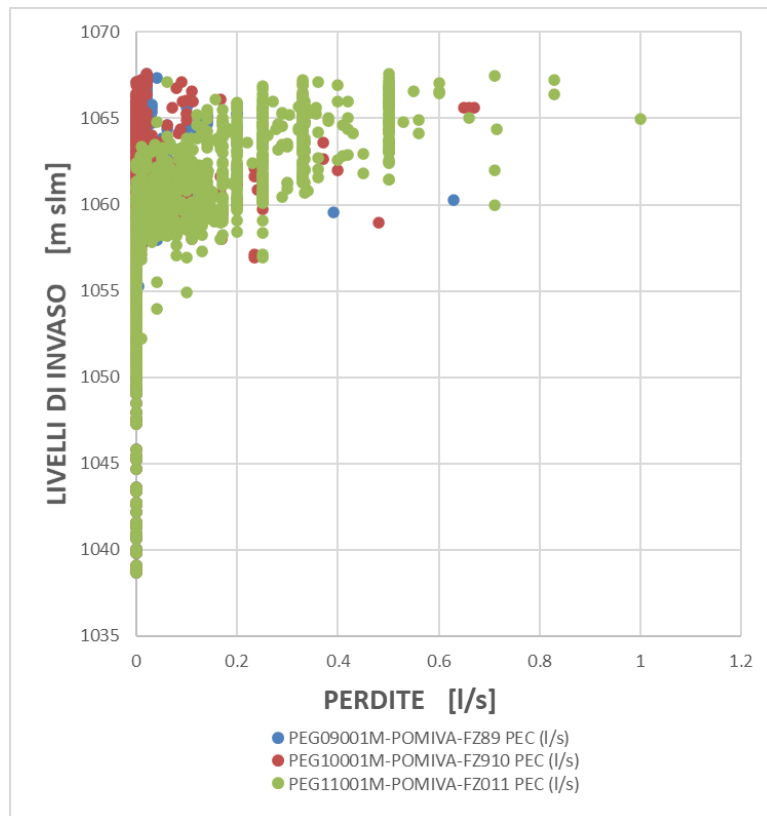




**Figura 3-27 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 a Gravità a speroni. Monitoraggio delle perdite. Letture delle sole perdite parziali**



**Figura 3-28 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 a Gravità a speroni. Monitoraggio delle perdite. Diagramma di risposta sincrono delle perdite totali nel tempo, ripartite per decennio**

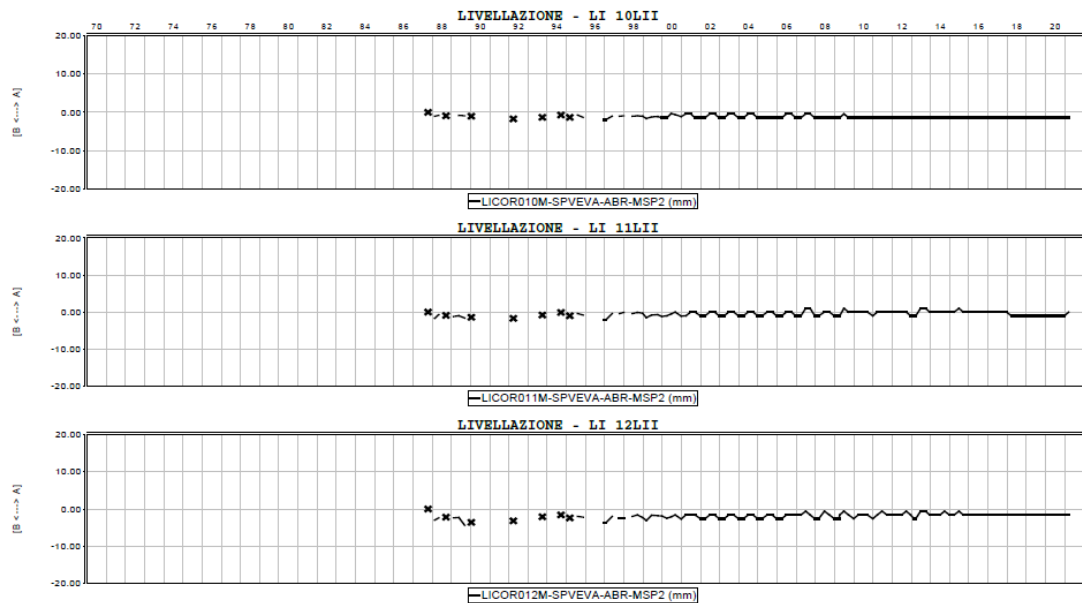


**Figura 3-29 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 a Gravità a speroni. Monitoraggio delle perdite. Diagramma di risposta sincrono delle perdite parziali**

### 3.5.4. MISURE LIVELLOMETRICHE

Le misure di livellazione hanno dato spostamenti ciclici con ampiezza molto modesta, entro 1 mm, come suggerisce il campione di Figura 3-30.

Le misure non presentano anomalie apparenti.



**Figura 3-30 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 a Gravità a speroni. Monitoraggio dei dati livellometrici. Letture degli spostamenti verticali LI10, 11, e 12.**

### 3.5.5. MISURE ESTENSIMETRICHE

Le misure estensimetriche hanno dato spostamenti ciclici con ampiezza modesta. In genere i valori registrati e le loro oscillazioni sono coerenti con la posizione e orientazione con cui sono stati disposti nelle strutture.

Le misure non presentano anomalie apparenti.

### 3.5.6. MISURE CLINOMETRICHE

Le misure clinometriche hanno dato una mappa di spostamenti come indicato nello schema di Figura 3-31 e Figura 3-32.

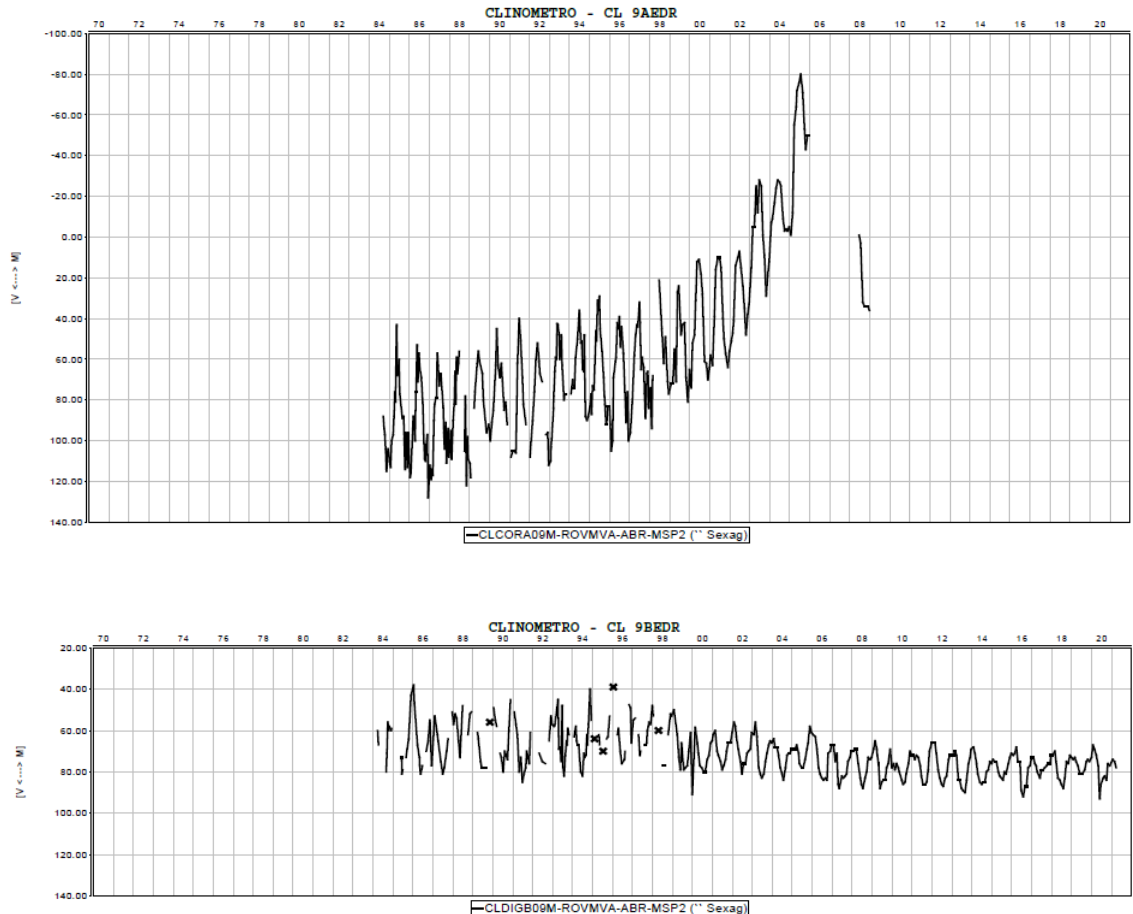
Il dato più saliente è osservato nei Conci 9, 10, 11 e 12, dove la linea di coronamento indica una rotazione a monte fino a 180" di grado sessagesimale, mentre le misure a valle indicano spostamenti minimi, con una leggera deriva verso valle. Più precisamente il Concio in cui si concentrano i maggiori spostamenti è il 9, mentre gli altri sembrano essere in un certo senso trascinati. La rilevazione del sensore sul coronamento del Concio 9 è stata sostanzialmente troncata nel 2005, al culmine di una rapida impennata delle rotazioni verso monte (Figura 3-31).

I movimenti sembrerebbero essere iniziati verso la fine degli anni '90, dopo un decennio in cui l'invaso è sceso 3 volte sotto la quota 1052 m slm, in un periodo di invasi alti, con cicli dapprima limitati e poi via via più ampi.

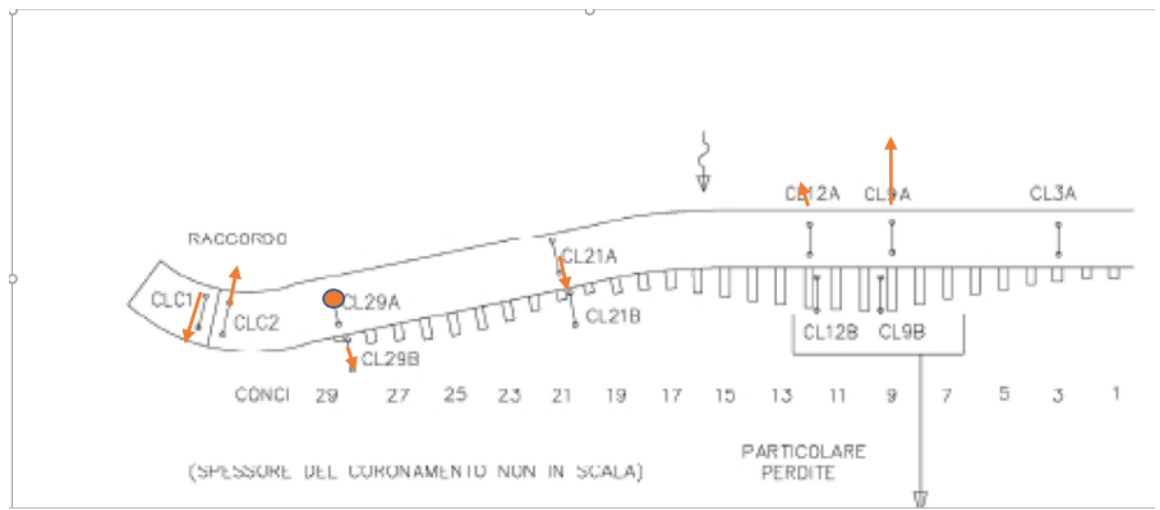
A parte questo legame apparente con l'invaso, i valori misurati sembrerebbero essere poi dipendere più direttamente da altri parametri, come ad esempio la temperatura, responsabile forse principale della componente oscillante dei dati rilevati.

Si osserva che i conci critici sono disposti in corrispondenza di un avvallamento della roccia, che presumibilmente deriva dalla presenza della faglia che attraversa diagonalmente la fondazione e che è stata oggetto di risanamento in fase di costruzione. Le planimetrie degli Atti di Collaudo inoltre indicano la presenza di 2 cunicoli esplorativi disposti a T, che si incrociano proprio sotto al Concio 9. Questi aspetti meritano approfondimenti nelle prossime fasi di progettazione.

Nel complesso gli spostamenti associati alle misure rilevate sono minimi e quindi di impatto modesto sullo stato attuale delle strutture. Tuttavia, questo aspetto andrà meglio investigato e chiarito nelle successive fasi di progettazione.



**Figura 3-31 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 a Gravità a speroni. Monitoraggio dei dati clinometrici e estensimetrici. Letture dei Clinometri CL 9A EDR e CL 9B EDR**



**Figura 3-32 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 2 a Gravità a speroni. Monitoraggio dei dati clinometrici e estensimetrici. Direzione qualitativa delle risultanti di spostamento.**

### 3.6. DIGA N.3 IN PIETRAMA A SECCO CON MANTO IMPERMEABILE A MONTE

#### 3.6.1. DESCRIZIONE DI DETTAGLIO

Si riportano per praticità da Figura 3-33 a Figura 3-35 alcune immagini tratte dal foglio condizioni che descrivono gli elementi salienti dell'opera.

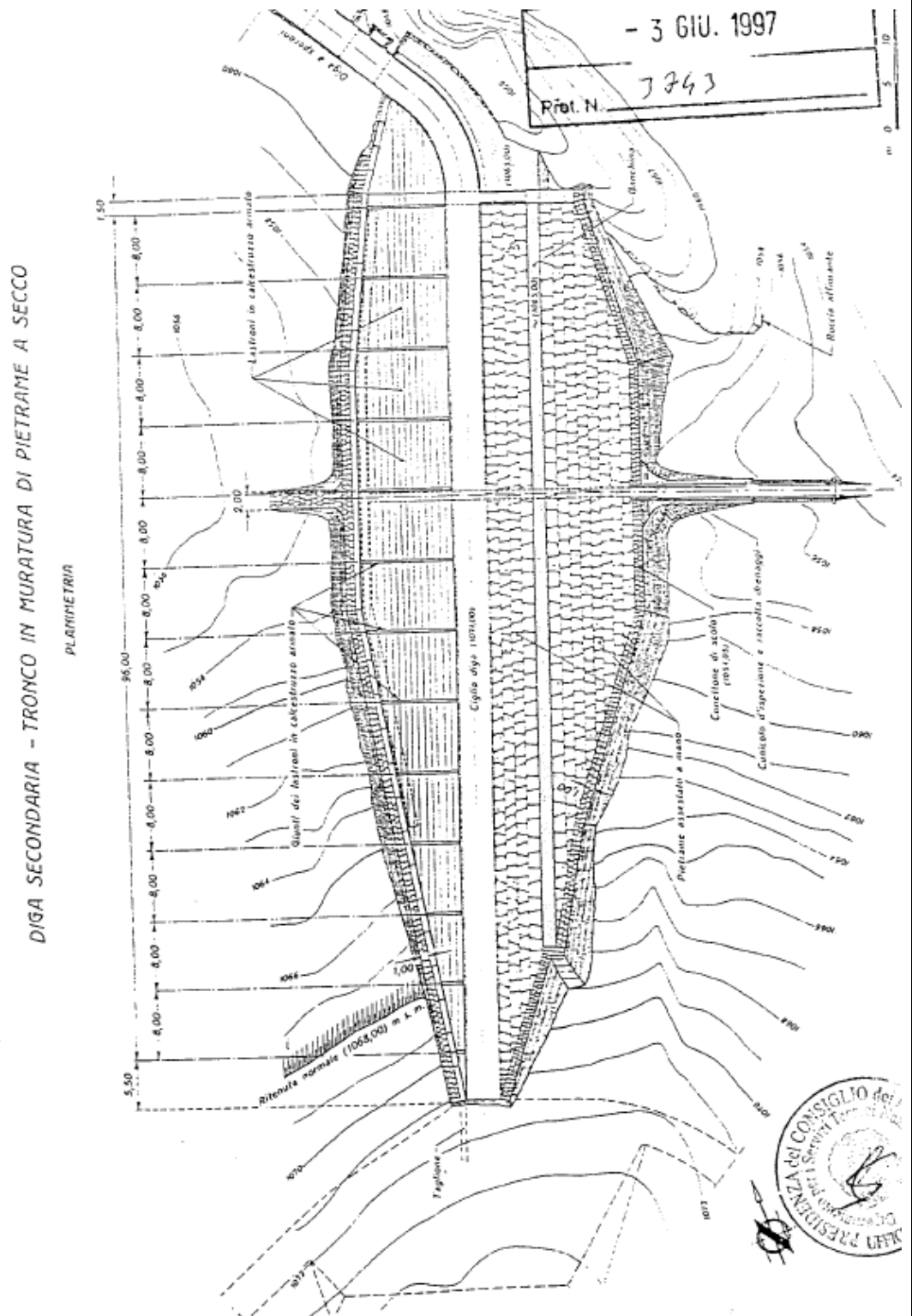


Figura 3-33 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in muratura di pietrame a secco. Planimetria

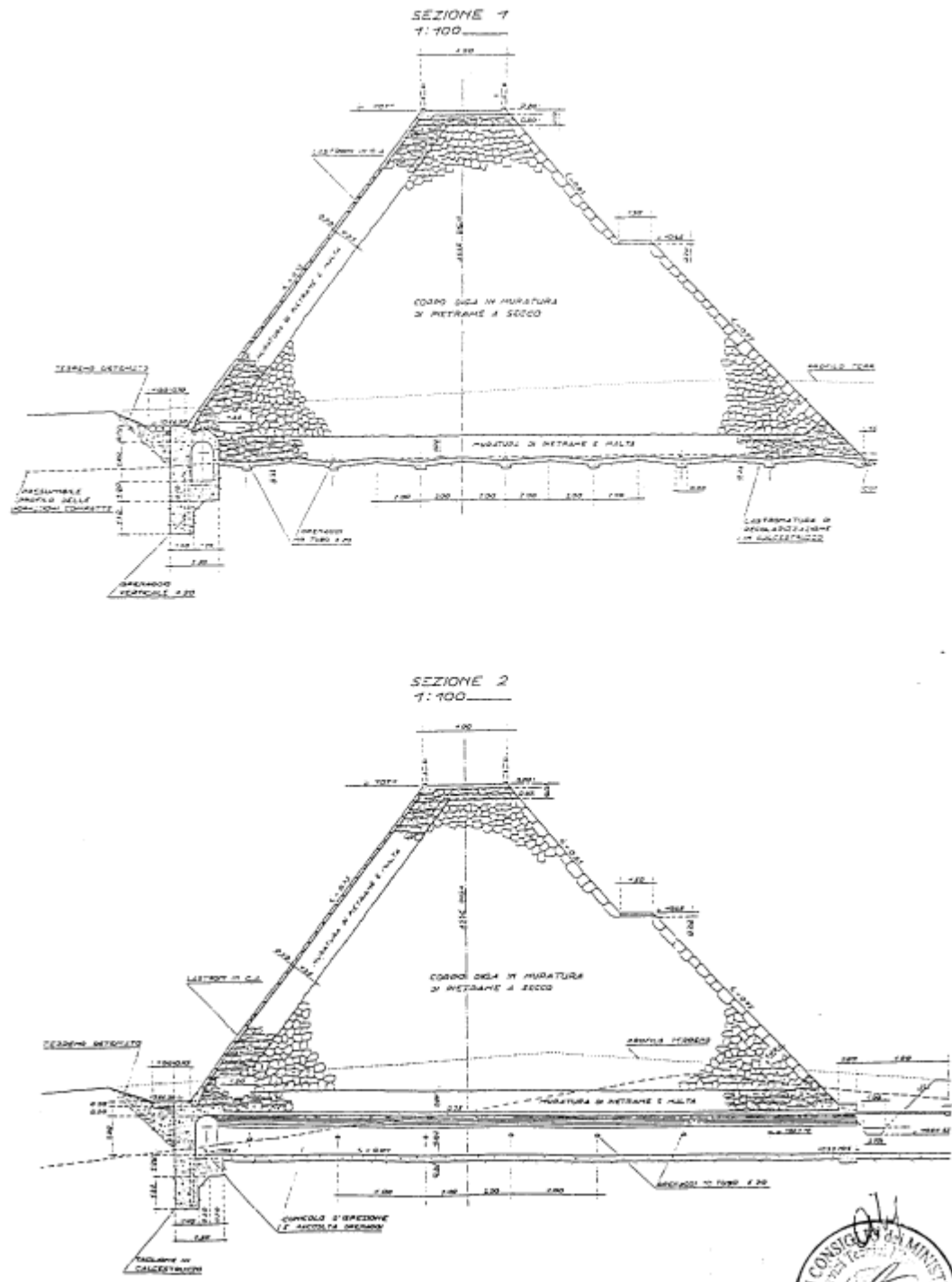


Figura 3-34 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in muratura di pietrame a secco. Sezioni Tipo

PROFILO LONGITUDINALE LUNGO L'ASSE DIGA

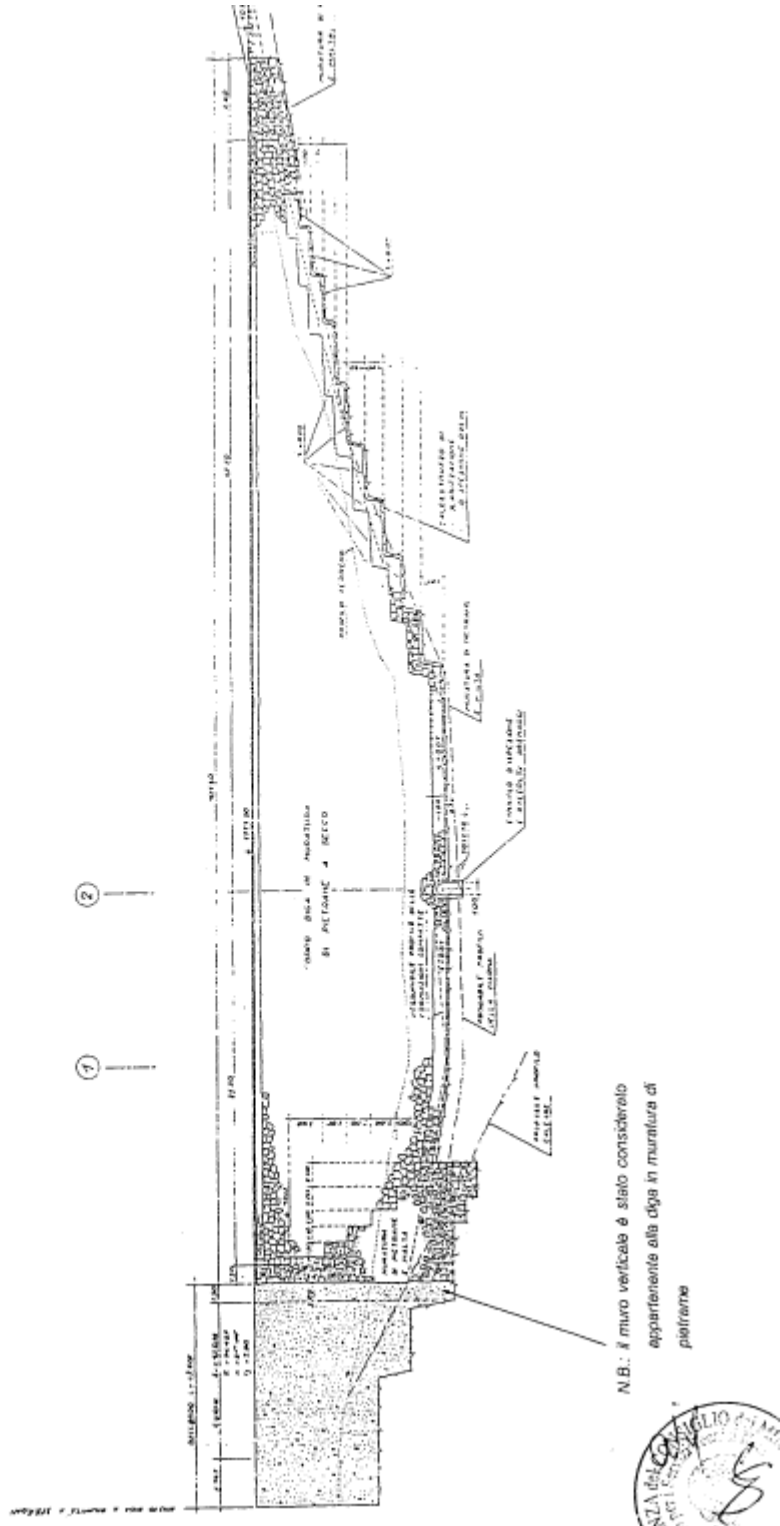


Figura 3-35 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in muratura di pietrame a secco. Profilo

### 3.6.2. DATI DI MONITORAGGIO DISPONIBILI

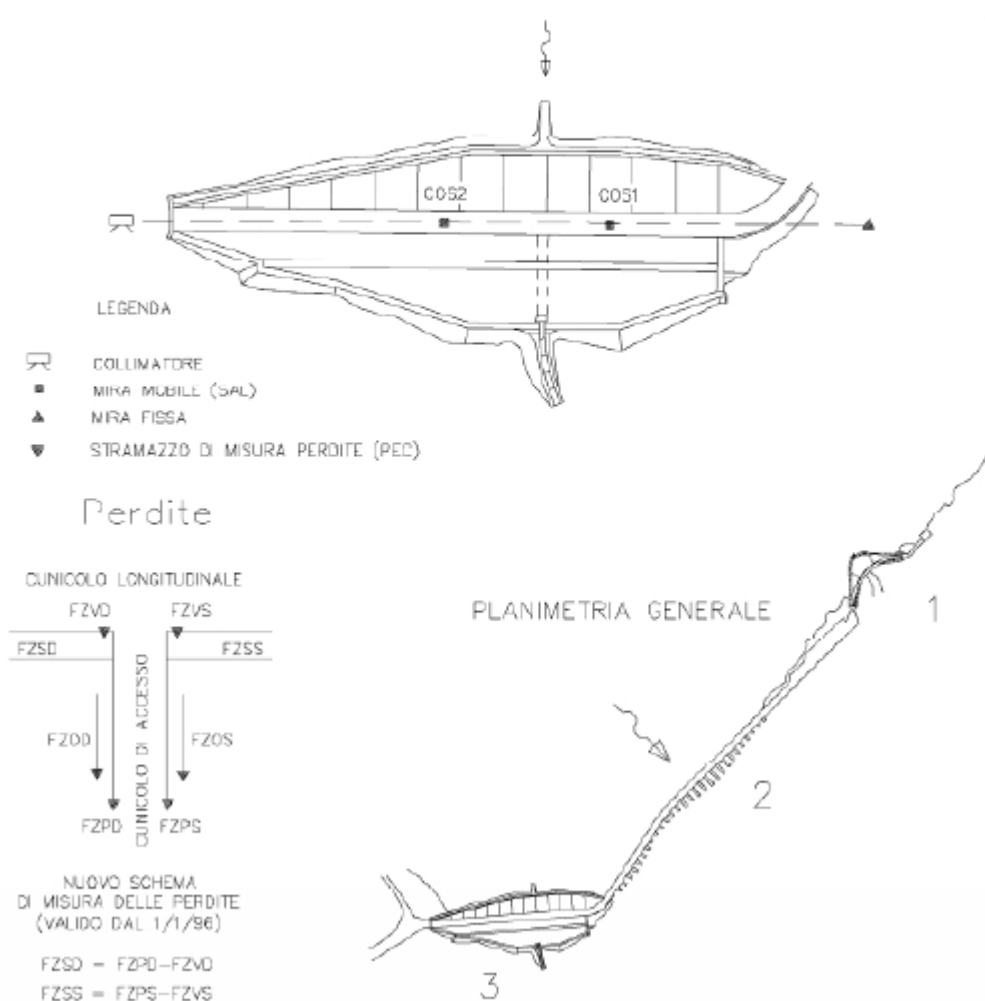
Il monitoraggio è stato attivato fin dalle prime fasi di vita dell'opera e comprende le seguenti grandezze:

- Dati idrometeorologici e dell'invaso
- Misure delle perdite dai cunicoli di drenaggio.
- Misure di Collimazione
- Misure di livellazione

I punti di misura sono ubicati in pianta e sezione come illustrato da Figura 3-36 a Figura 3-37.

#### Misure di controllo

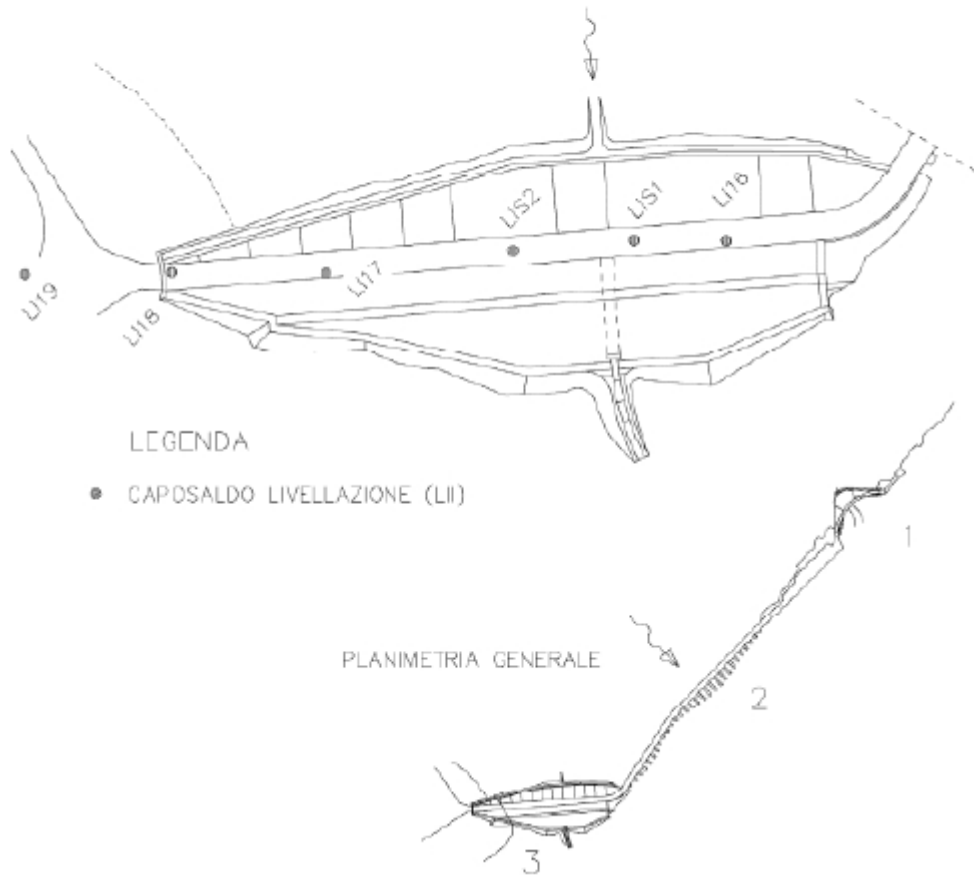
#### diga 3 – SPOSTAMENTI - PERDITE –



**Figura 3-36 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio degli spostamenti e delle perdite. Ubicazione**



**Misure di controllo**  
**diga 3 – SPOSTAMENTI ALTIMETRICI –**



**Figura 3-37 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio degli spostamenti verticali. Ubicazione**

### 3.6.3. MONITORAGGIO DELLE PERDITE

Le misure delle perdite sono riportate, con l'andamento dell'invaso, in Figura 3-38.

Inizialmente, le misure in destra e sinistra sono risultate circa uguali, con un massimo di circa 0.25 l/s, eccetto dei picchi puntuali in destra, che arrivano a 0.5-1 l/s. In un paio di occasioni, anche le misure in sinistra hanno mostrato picchi eccezionali. E' da dire che, come si può evincere ad esempio dal ciclo di invaso del 1992 presentato in Figura 3-39, alcuni di questi picchi potrebbero derivare da un errore nell'acquisizione del dato, visto che non c'è apparente corrispondenza con l'andamento dell'invaso, o da eventi meteorici particolarmente intensi, che vanno ad aggiungersi all'effetto dell'invaso.

A partire dalla fine di un periodo di invasi bassi, nei primi anni 2000, le portate hanno iniziato a differenziarsi essendo mediamente i massimi 0.25 l/s sinistra e 0.5 l/s in destra. In ogni caso le perdite sono modeste.

Da un esame della risposta ai cicli di invaso, di cui si riportano alcuni esempi nelle Figura 3-39 e Figura 3-40, si può notare che le perdite sembrano reagire più alla velocità con cui aumenta l'invaso, che ai livelli di invaso. Un aumento di invaso superiore a 2m/10 gg sembra provocare aumento rapido perdite che però si stabilizzano e riducono solo a un rallentamento della crescita e diminuiscono drasticamente appena si inverte la tendenza.

Questo aspetto dovrà essere meglio approfondito e chiarito nelle fasi di progettazione che seguiranno, essendo i cambi di livello attesi più veloci di quanto non si verifichi oggi.

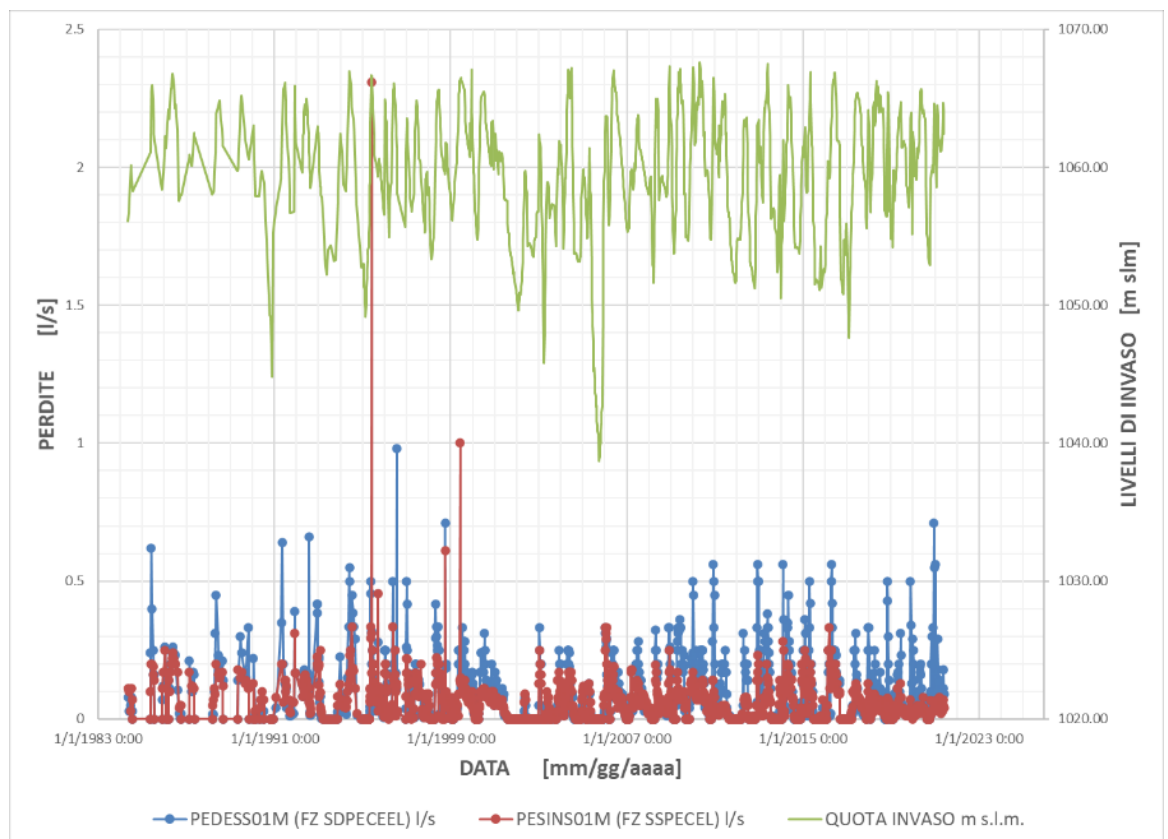
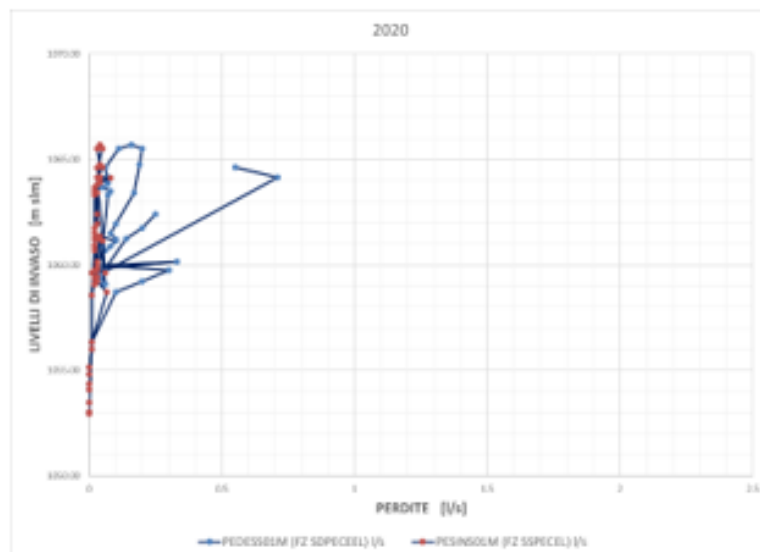
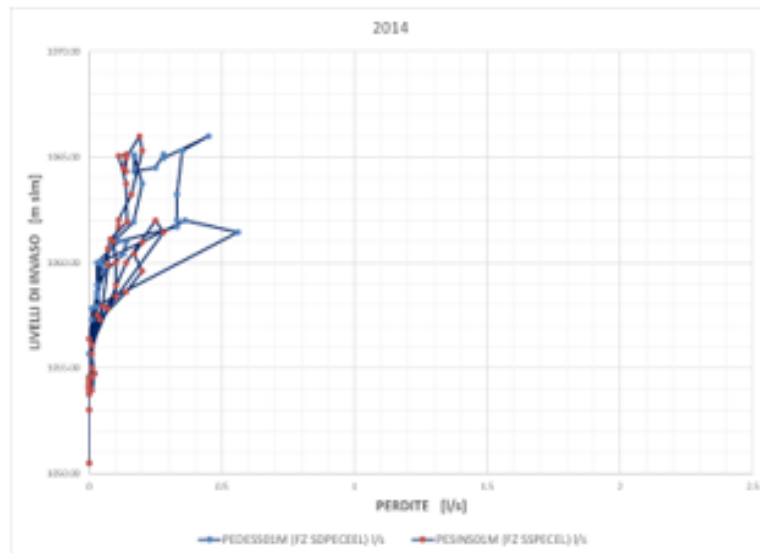
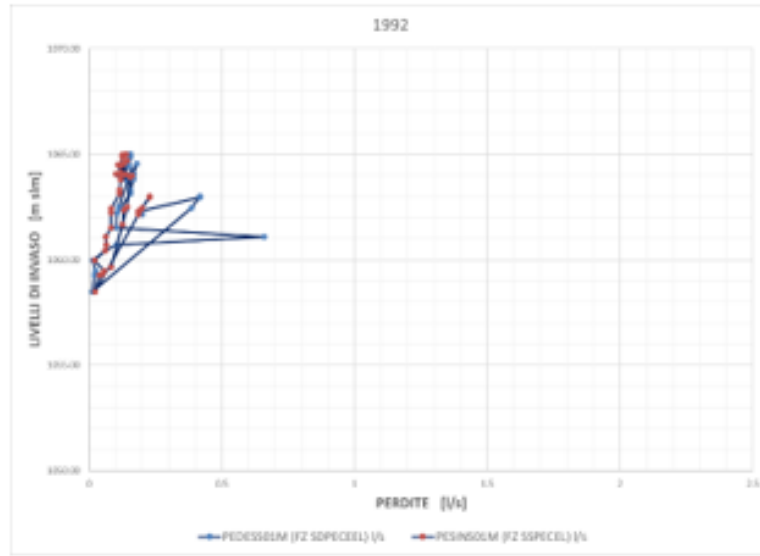


Figura 3-38 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio delle perdite



**Figura 3-39 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio delle perdite. Dettaglio di 3 cicli tipici (anno 1992, 2014, 2020)**



**Figura 3-40 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio delle perdite. Diagramma di risposta di 3 cicli tipici (anno 1992, 2014, 2020)**

### 3.6.4. MISURE DI COLLIMAZIONE

Le misure di collimazione sono riportate in Figura 3-41.

Lo scostamento massimo è risultato di circa 14 mm verso valle, per entrambi i punti rilevati. Si osserva una continua deriva a partire dall'inizio con incrementi via via decrescenti a partire da 8 mm/6 anni, all'inizio delle misure, a 1.1. mm/6anni, nel periodo 1988-2015, fino a 0.5 mm/6 anni, nell'intervallo 2015-2021. Nonostante la significativa attenuazione, il movimento, seppur nel complesso modesto, non sembra al momento esaurito. Le misure di spostamento sono perfettamente coerenti tra loro, come mostra la Figura 3-42.

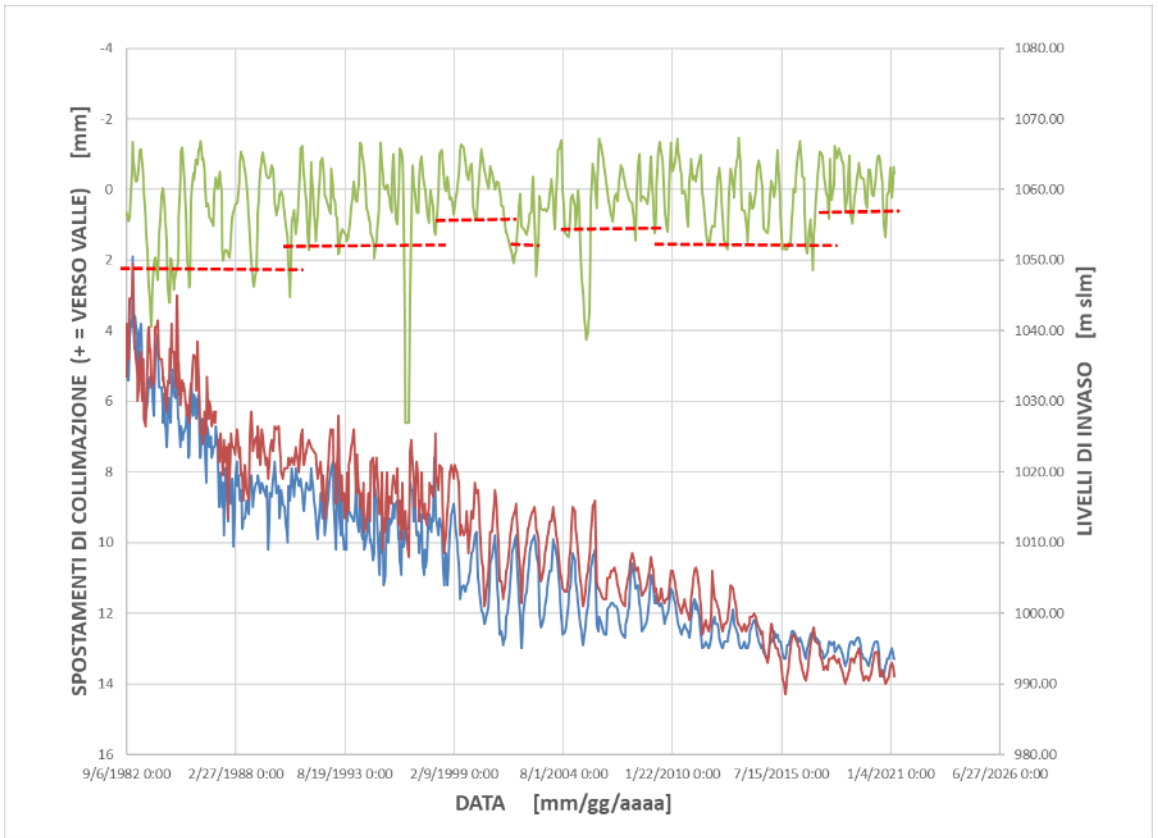
Si è cercata una possibile correlazione con i cicli di invaso ma i dati sono estremamente fluttuanti, anche perché la risposta in termini di spostamento non può essere veloce come le variazioni di livello in un lago con volume relativamente modesto come a Montagna Spaccata. Si può notare tuttavia una possibile correlazione tra i minimi di invaso mediamente raggiunti in un certo periodo e l'incremento medio misurato in un ciclo di 6 anni, essendo i massimi di invaso fluttuanti attorno a valori costanti. Si ottengono mediamente i valori riassumibili in tabella, con riferimento ai minimi evidenziati con tratteggio rosso in Figura 3-41:

<b>INVASO MINIMO MEDIO</b>	<b>INCREMENTO DI SPOSTAMENTO IN UN CICLO DI 6 ANNI</b>
[m slm]	[mm/ 6 anni]
1048	4.0
1052	1.5
1056	0.5

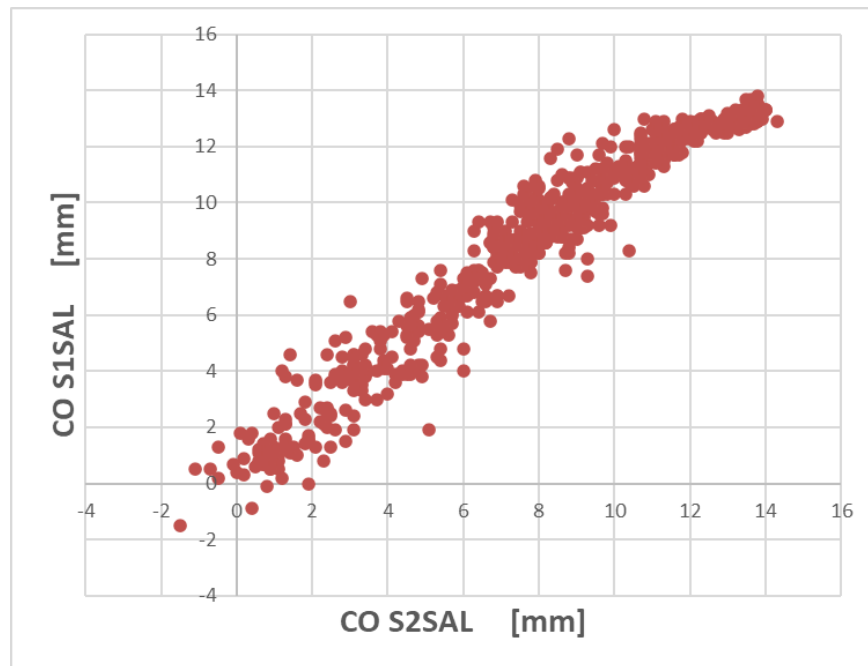
È interessante osservare che apparentemente l'incremento di spostamento in 6 anni aumenta significativamente, quando il minimo è alla 1048 m slm, ossia circa alla quota di base del taglione. Apparentemente, un aumento dei livelli di invaso produce più spostamento verso valle, quando segue una depressurizzazione e desaturazione della fondazione. Le cause potrebbero essere molteplici e andranno indagate nell'ambito degli studi che seguiranno.

Si è anche notato che la mira fissa, utilizzata per le misure di collimazione, si trova all'esterno della diga, al colmo di un pendio relativamente ripido, con pendenza verso E-NE. Come illustrato schematicamente nella Figura 3-43, gli spostamenti rilevati (verso S-SE) potrebbero anche derivare dallo spostamento dell'asse di riferimento e risultare in pratica nulli o ridotti. Uno spostamento del riferimento apparirebbe più plausibile dello spostamento della diga, sul comportamento della quale non ci sono riscontri coerenti con quanto rilevato.

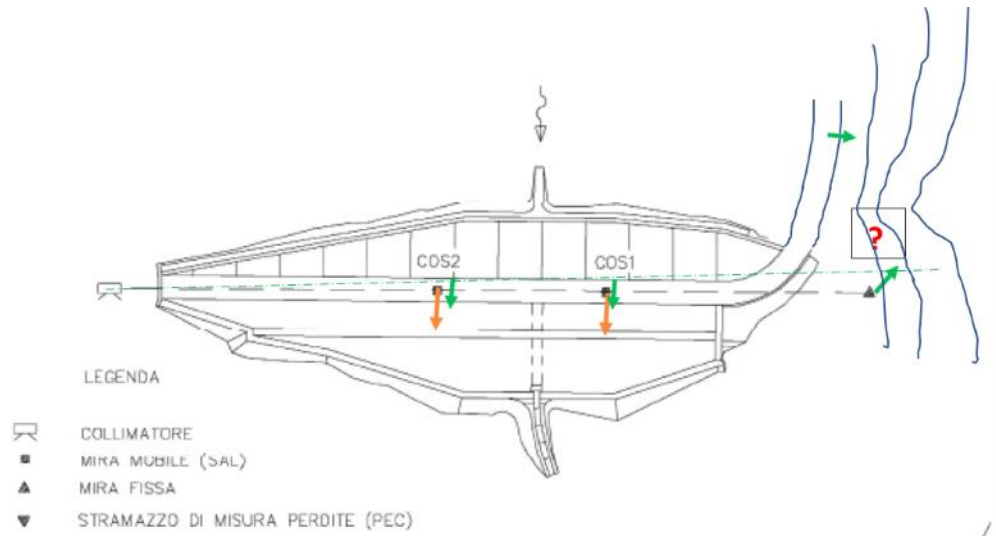
Certamente questi aspetti andranno controllati e rivalutati nelle fasi di progettazione che seguiranno.



**Figura 3-41 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio degli spostamenti di collimazione.**



**Figura 3-42 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio degli spostamenti di collimazione. Confronto tra gli spostamenti rilevati**



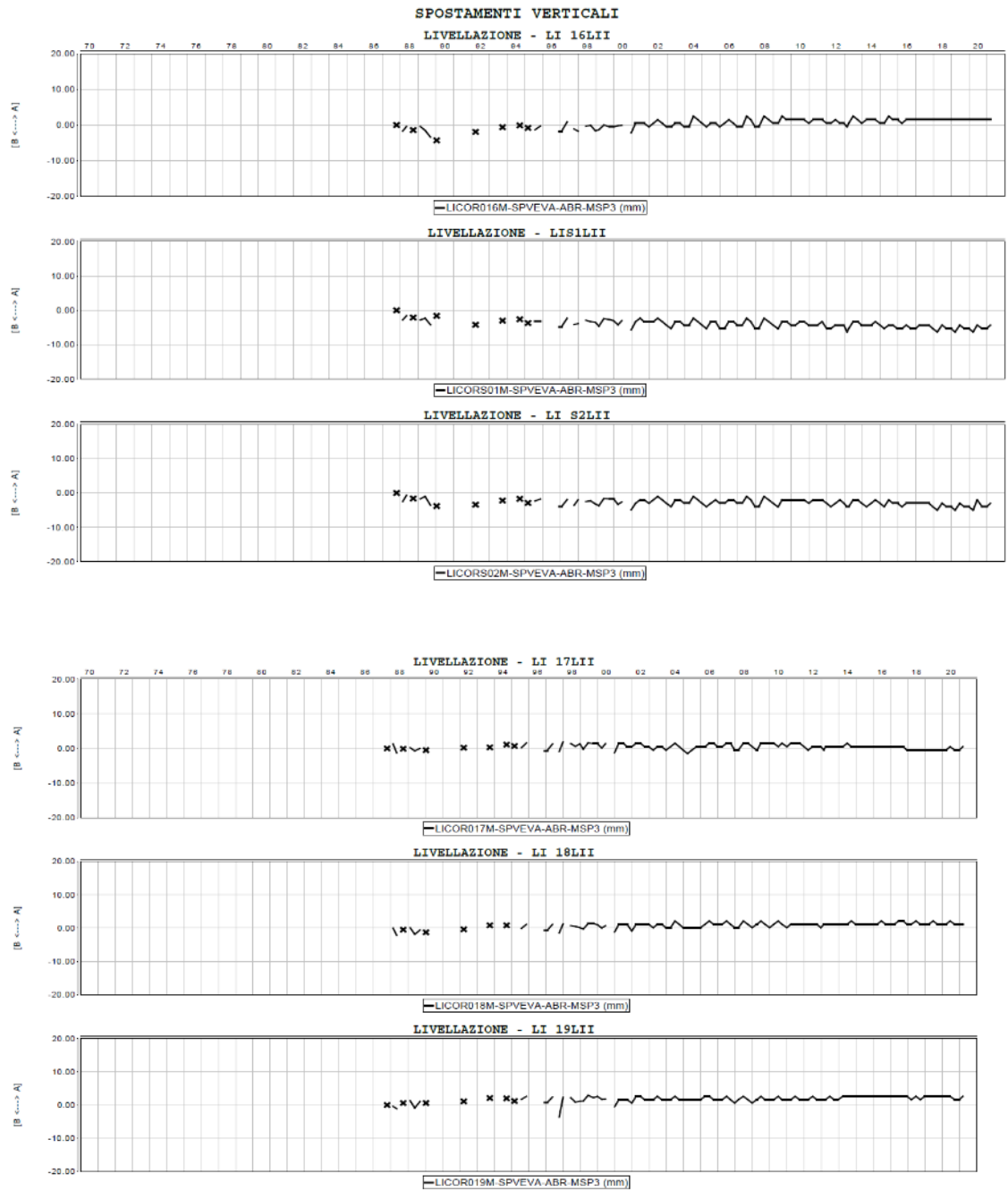
**Figura 3-43 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietrame a secco. Monitoraggio degli spostamenti di collimazione. Immagine qualitativa delle possibili interpretazioni**

### 3.6.5. MISURE DI LIVELLAZIONE

Le misure di livellazione, di cui sono stati esplicitati alcuni cicli in Figura 3-44, hanno dato spostamenti ciclici con ampiezza molto modesta, entro 1 mm, e valore tendenziale medio entro 2.5 mm. Più in particolare:

- i punti LI18 e LI19, esterni alla diga, sulla destra, si sono mediamente sollevati di circa 1-1.5 mm
- Il punto LI17, sulla porzione destra della diga non si è praticamente spostato
- I due punti centrali della diga LI1 e LI2, si sono abbassati con un massimo di circa 2-2.5 mm
- Il punto LI16, nella porzione sinistra della diga, si è alzato di circa 1 mm.

I valori misurati sono presumibilmente legati a dettagli della fondazione sono di entità modesta e non presentano anomalie apparenti.



**Figura 3-44 - Invaso di Montagna Spaccata. Diga 3 in pietra a secco. Monitoraggio degli spostamenti di livellazione**



#### 4. INVASO DI CASTEL SAN VINCENZO

##### 4.1. DESCRIZIONE

La Diga di Castel San Vincenzo, le cui caratteristiche salienti sono riassunte nella seguente tabella, è una opera in terra zonata, con nucleo impermeabile centrale.

Grandezza	Riferimento	Unità	
Quota coronamento		m slm	699.50
Sviluppo coronamento		m	292.00
Larghezza coronamento		m	6.00
Volume Diga		m <sup>3</sup>	400000
Altezza	DM 24-03-1982	m	34.40
Altezza	L 584/1994	m	32.00
Altezza ritenuta		m	25.00
franco	DM 24-03-1982	m	1.80
franco netto	DM 24-03-1982	m	1.35
Classificazione	DM 24-03-1982		Materiali sciolti
			terra zonata
			nucleo di tenuta
			B.b

La geometria della diga è illustrata nelle Figura 4-1, Figura 4-2 e Figura 4-3. I paramenti della diga sono relativamente dolci, essendo:

- il paramento di monte, con pendenza dall'alto in basso pari a 2H/1V, 2.75H/1V, 3.5H/1V, seguiti da una banchina larga 14 m tra le quote 682.5 e 683 m slm, e successivamente ancora 2H/1V, in corrispondenza dell'unghia di monte in pietrame,
- il paramento di valle, con pendenza dall'alto in basso pari a 2H/1V, 2.75H/1V, 5H/1V, che termina alla quota 675.50 m slm, sul muro di piede in pietrame, largo 6.5 m e con paramento di valle 1H/1V. I cambi di pendenza sono segnati da altrettante berme, larghe 1.50, alla quota 692.50 m slm, e 3.25 m, alla quota 685.50.

Il paramento di monte è rivestito con pietrame selezionato posto su un letto di materiale di transizione spesso 1.5 m. Il paramento di valle è rinverdito a prato.

Il nucleo centrale ha forma trapezia con base allargata, la cui sommità è posta alla quota 698.50 m slm, con una larghezza di 3.50 m. I fianchi hanno una pendenza pari a 1H/5V, fino a una profondità di 1.5-1.7 m circa sotto al piano campagna medio. Da questa quota, si allarga sia a monte che a valle e approfondisce fino al tetto della formazione. Al centro del contatto con la formazione di base, è stato realizzato un taglione con larghezza alla base di 3 m e profondità variabile da 2 a 3.5 m, in funzione della posizione. Con questo, il contatto lungo la formazione di base ha lunghezza massima 26 m.

Il coronamento è completato sul filo di monte da un muro parapetto in calcestruzzo.

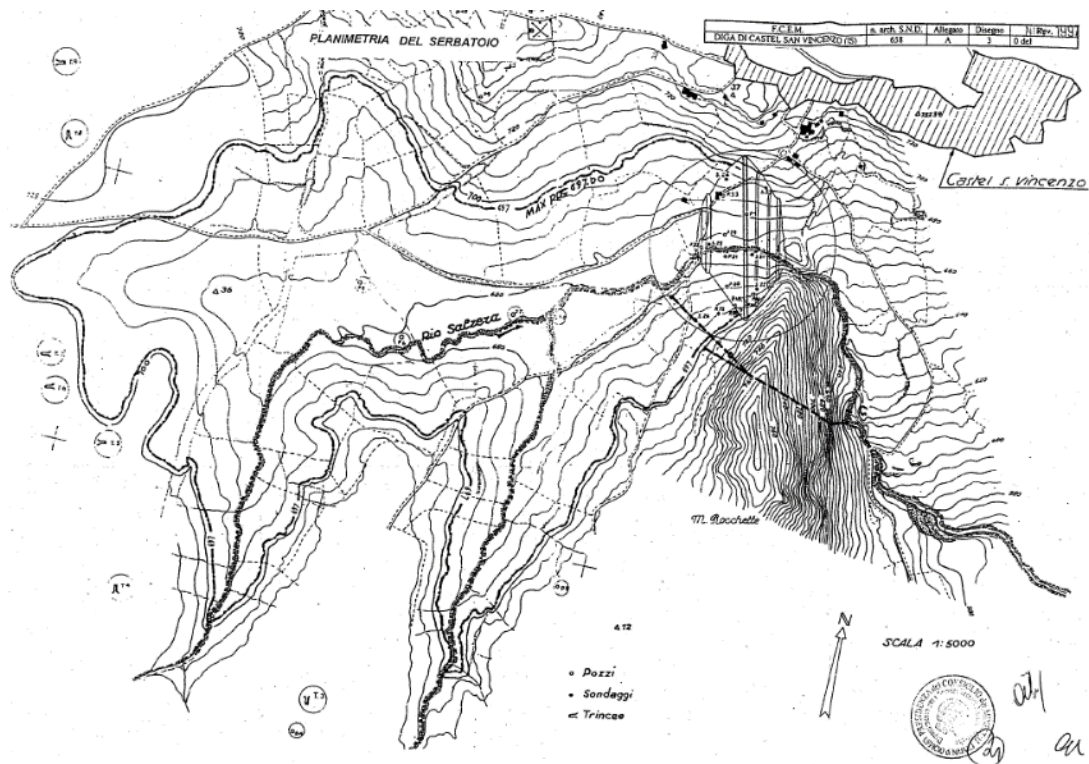
Sono stati realizzati due sistemi di drenaggio/filtro:

- a valle diga, il filtro si sviluppa lungo il paramento di valle del nucleo e si estende sotto al contronucleo fino all'unghia di valle in pietrame. Il tratto suborizzontale contiene cunicoli per il convogliamento delle acque di filtrazione, di cui il principale è quello centrale, lungo l'alveo del Rio Salzara, che raccoglie gran parte delle acque del filtro contro il nucleo. La superficie totale è di 12000 m<sup>2</sup>;
- a monte, il drenaggio si sviluppa in orizzontale, sotto la parte di monte del contronucleo, ed è collegato all'unghia di monte in pietrame in modo da accelerare la dissipazione delle sovrappressioni durante lo svasso rapido. Il filtro si estende fino a circa 16-17 m dal limite di monte della base del nucleo. La superficie di questo dreno è 7800 m<sup>2</sup>.

I materiali da costruzione del corpo diga sono stati ottenuti a partire da quelli ricavabili in una vicina cava di prestito, lungo il Rio Jemmare, costituiti da pietrame distribuito su un ampio spettro e con matrice fine. In particolare,

- per i contronuclei si è utilizzato il materiale con diametro massimo 300 mm e una matrice fine variabile da 5 a 20% in volume
- per il nucleo si è utilizzato lo stesso materiale tagliato al vaglio 50 mm, in percentuale 78%, cui furono aggiunti sabbia di frantoio 20% e bentonite di Ponza, 2%

I filtri sono stati ottenuti con alluvioni fluviali, comprendenti sabbie, ghiaietto e ghiaia grossolana.



**Figura 4-1 - Planimetria generale dell'invaso di Castel San Vincenzo.**

PLANIMETRIA GENERALE

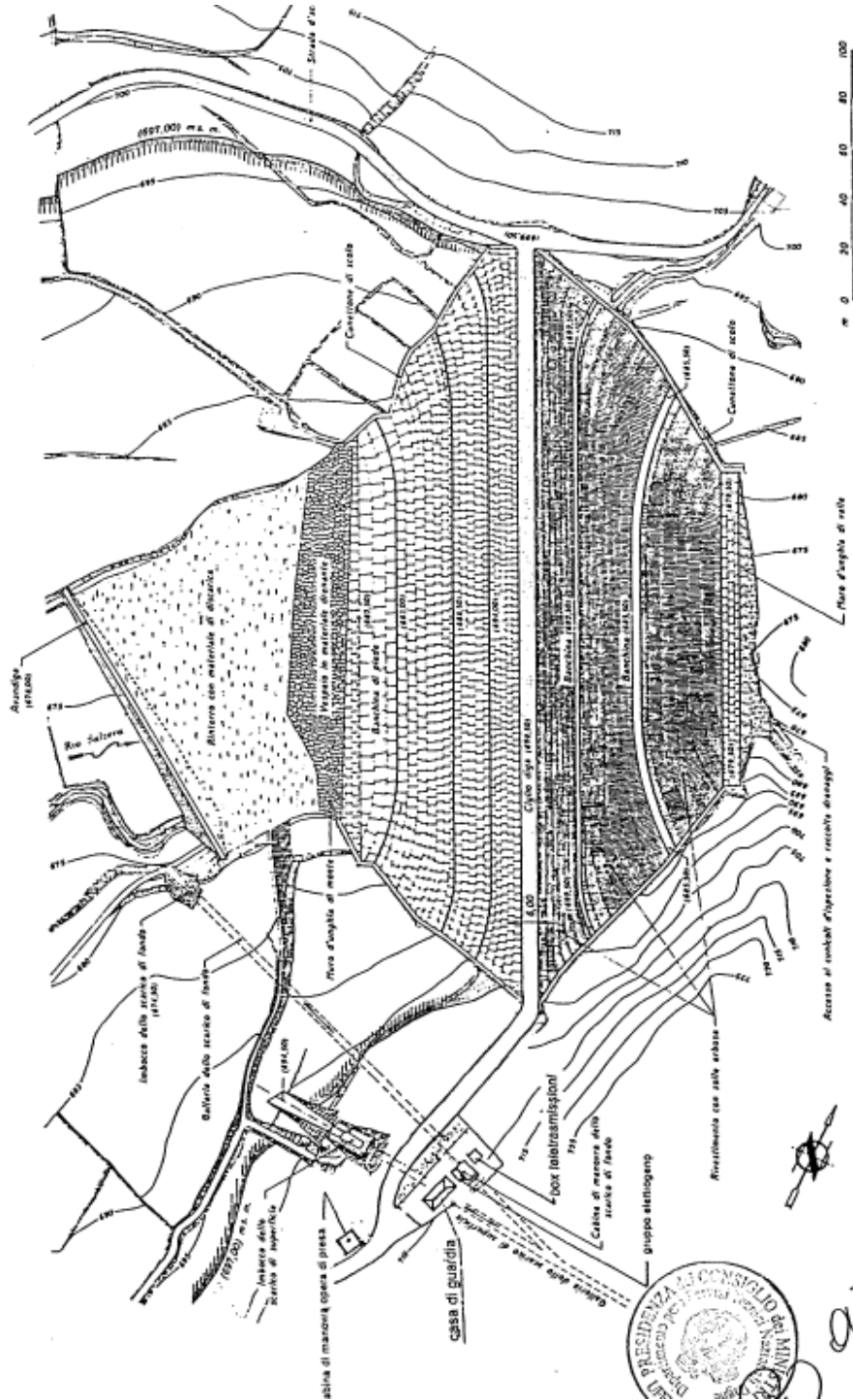


Figura 4-2 - Diga di Castel San Vincenzo. Planimetria

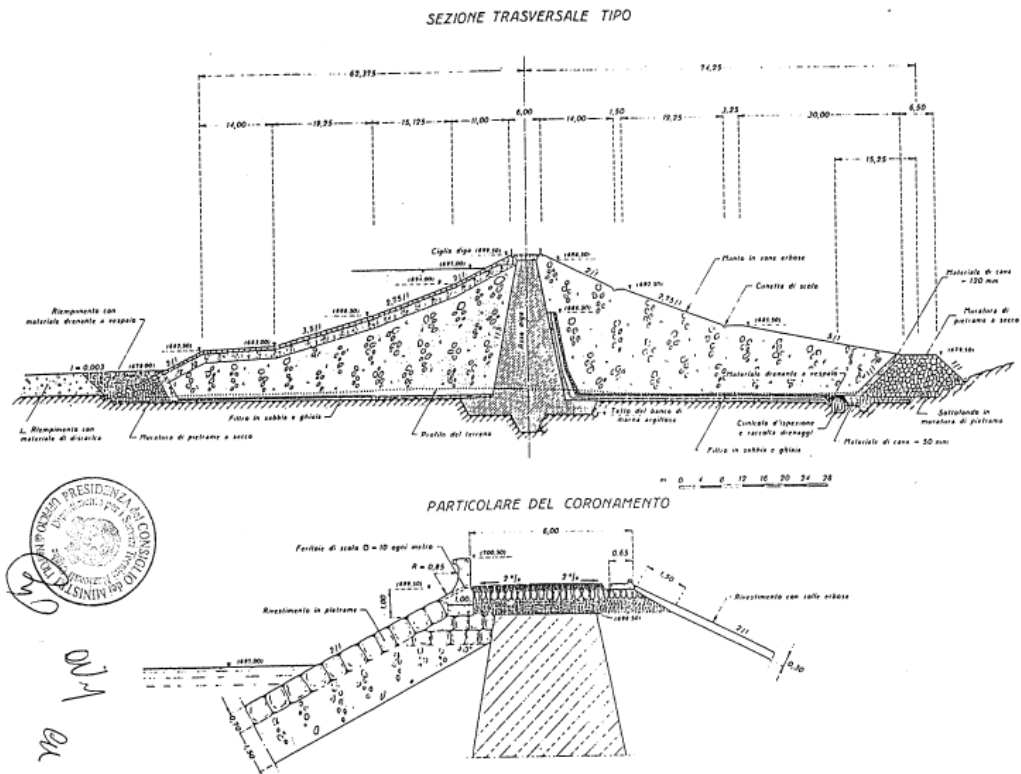


Figura 4-3 - Diga di Castel San Vincenzo. Sezione tipo e dettaglio del coronamento

## 4.2. GEOLOGIA

L'invaso e la diga di Castel San Vincenzo sono impostati sul Flysch marnoso-arenaceo del Miocene Superiore, che risulta allentato e in parte alterato nella sua parte più superficiale. Dai dati disponibili, ottenuti in sede di progettazione esecutiva e più recentemente nel corso dell'esercizio, i termini prevalenti sono marnosi, specie a contatto con la base della diga. Tale informazione andrà comunque completata e confermata, anche nella sua distribuzione planimetrica.

All'altezza della Diga, si osserva sulla destra, una cresta che si estende verso Sud, formata da Calcari Miocenici del Monte Rocchetta. Questi calcari sono descritti come compatti, almeno nell'area più prossima alla diga.

La diga non è comunque in contatto diretto con i calcari.

È pensabile che la fascia lungo l'asse originario del Rio Salzera abbia mantenuto una permeabilità maggiore rispetto ai terreni circostanti.

## 4.3. GEOTECNICA

### 4.3.1. INDAGINI

Sono disponibili i risultati di indagini condotte nel 2002, in cui sono stati eseguiti 6 sondaggi a partire dal paramento di valle, lungo le berme superiore (1) e inferiore (2).

Il quadro dei campioni disponibili per ciascuno dei materiali del corpo diga e della sua fondazione è il seguente.

Vista la posizione dei prelievi, non sono disponibili dati sul contronucleo di monte (presumibilmente uguale a quello di valle, a parte la piena saturazione del materiale) e sul nucleo.

		A1	A2	B1	B2	C1	C2
Contronucleo V	Rimaneggiati	rim1, rim2		rim1, rim2	rim1, rim2	rim1, rim2	rim1, rim2
	Indisturbati						
filtra	Rimaneggiati			rim2?			
	Indisturbati						
argilla fond sup	Rimaneggiati	rim3	rim1?	rim3	rim3, rim4?	rim3	rim3
	Indisturbati						C1, C2
argilla fond prof	Rimaneggiati	rim4	rim2	rim4	rim4?	rim4	rim4
	Indisturbati						C3,C4,C 5
? il punto interrogativo indica che il prelievo è in prossimità di un passaggio di strato e quindi esiste un certo livello di incertezza sulla sua attribuzione							

#### 4.3.2. CONTRONUCLEO DI VALLE

Il materiale da contronucleo è una ghiaia sabbiosa limosa, con fini a bassa plasticità. Non sono state al momento recuperate le curve granulometriche determinate durante la costruzione su campioni prelevati direttamente dalle stese. Il materiale sottoposto a prova nella campagna di indagini del 2002 è stato prelevato con sondaggi e quindi potrebbe non contenere le frazioni più grossolane, invece presenti nella realtà.

La tabella che segue riassume i dati di classificazione disponibili. La ghiaia è in percentuale preponderante e presenta un diametro massimo  $D_{max} = 20-60$  mm. Sabbia e fini si equivalgono in proporzione. I limiti della parte fine sono  $LL=22-36$  % e  $PI= 11-21$ %, con un indice medio di attività colloidale pari a  $A = 0.5$  circa.

Non abbiamo dati recenti circa lo stato di addensamento del materiale riscontrato in situ. Dalla Relazione di Collaudo ricaviamo che il materiale è stato compattato in strati da 30 cm, con 5-10 passate di rullo vibrante Vibro-Werken CH30, di massa 3400 kg (non chiaro se complessiva o del solo tamburo). Densità secca  $gd = 20.8 - 20.9$  kN/m<sup>3</sup>, contenuto d'acqua  $w = 6.1 - 7.0$  %.

Nell'indagine di laboratorio, sono state eseguite una prova di compattazione con energia AASHTO standard e alcune prove di resistenza triassiale su una miscela ottenuta dai materiali prelevati. La curva granulometrica della miscela taglia diagonalmente il fuso dei materiali da contronucleo, per cui il materiale sottoposto a prove risulta più uniforme della media riscontrabile in situ.

La prova di compattazione ha dato  $\gamma_{opt} = 21.5$  kN/m<sup>3</sup> e  $w_{opt} = 7.5$  %. I valori (medi) riscontrati durante la costruzione sono leggermente più bassi come sia come peso di volume che come contenuto d'acqua e giacciono in pratica sul ramo secco della curva di compattazione.

La resistenza individuata per i materiali compattati all'ottimo standard è risultata pari a  $c = 0$  kPa e  $f_i = 39^\circ$ . Si osserva che il campo delle tensioni di confinamento applicato non raggiunge le massime prevedibili in realtà. In aggiunta lo stato di addensamento in situ potrebbe essere nel complesso leggermente diverso dal massimo ottenuto in laboratorio.

Per questi motivi e considerato che la densità riscontrata è leggermente inferiore a quella dei provini sottoposti a prova, appare prudentiale assumere per i contronuclei una resistenza pari a  $c = 0$  kPa e  $f_i = 38^\circ$ .

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF DA	PROF A	G+C	S	L	A	#200	#0.42	LL	PL	PI	Act	
A1	R1	13.5	13.8	44	28	16	12	29	35	25	11	14	0.408	
	R2	19	19.25	59	20	11	9	22	28	33	15	18	0.560	
A2	SPT1	2.8	3.25	74	11	7	8	15						
	SPT2	5	5.45	65	16	10	9	20						
B1	R1	8.5	8.7	45	32	13	10	24	35	22.3	11.5	10.8	0.378	
	R2	18.5	18.7	54	24	13	9	23	30	35.8	14.9	20.9	0.697	
B2	R1	5	5.3	66	12	11	11	23						
	R2	10	10.25	52	22	16	10	27						
C1	R1	3.4	3.75	69	14	10	7	18						
	R2	13	13.3	58	21	12	10	23						
C2	R1	3.7	3.95	64	19	7	9	17	22	34.2	13.9	20.3	0.496	
	R2	5.6	5.85	67	15	10	8	19						
MIX	MIX1			52	28	15	5	20						
		min		44	11	7	5	15	22	22.3	11.0	10.8	0.378	
		max		74	32	16	12	29	35	35.8	15.0	20.9	0.697	
		media		59	20	12	9	22	30	30.1	13.3	16.8	0.508	

#### 4.3.3. NUCLEO

Il materiale da nucleo è derivato da quello del contronucleo con aggiunta di poca bentonite. Si può assumere che le sue proprietà non differiscano significativamente da quelle dei contronuclei.

I pochi dati disponibili possono essere desunti dalla Relazione di Collaudo. Si rileva che il materiale da nucleo è derivato da quello di base Jemmare, con eliminazione della frazione più grossolana, e aggiunta di sabbia di frantoio e bentonite, nelle seguenti proporzioni:

- Materiale di cava < 50 mm                                78%
- sabbia di frantoio e    20%
- bentonite    2%

Compattazione in strati da 20 cm, con 8-12 passate di mezzi gommati a 8 ruote di peso complessivo 250 qli. Densità secca  $gd = 20.1 - 20.5 \text{ kN/m}^3$ , contenuto d'acqua  $w = 8.8-9.3\%$ .

La permeabilità è presumibilmente inferiore di 0.5-1 ordine di grandezza, come del resto attestato dalla Relazione di Collaudo, che riporta un valore medio in sede sperimentale (iniziale) pari  $k = 10E-6 \text{ cm/s}$ .

La resistenza è presumibilmente relativamente alta, essendo la preponderanza del materiale formata da frazioni ghiaiose e sabbiose. Si assume  $c = 5 \text{ kPa}$  e  $fi = 30^\circ$ .

#### 4.3.4. FONDAZIONE SUPERFICIALE

La fondazione superficiale è mediamente descritta come un limo con argilla debolmente sabbioso con tracce di ghiaia. Rappresenta l'alterazione delle argille marnose sottostanti. Il contenuto di argilla è alto, ossia compreso tra 26 e 40%.

I limiti di Atterberg sono  $LL = 43-58\%$  e  $PI = 22-39\%$ , il che pone questi materiali sopra la linea A del diagramma di plasticità, nelle argille inorganiche di plasticità medio-alta. L'attività colloidale è risultata  $A = 0.5 - 1$ , che corrisponde a minerali argillosi abbastanza attivi.

Il peso di volume è mediamente  $\gamma = 20.9 - 21.3$ , con contenuto d'acqua  $w = 14 - 18\%$ , con 1 solo valore inferiore pari a 12%.

La resistenza non drenata, ottenuta da una singola prova TxUU è pari a  $q/2 = 124$  kPa, con  $w = 17\%$ . Non è possibile determinare se questo corrisponda a  $s_u$  (servirebbero più provini).

La resistenza in termini efficaci da prove triassiali e di taglio è risultata nel range:

- Picco: triassiale  $c = 0$  kPa e  $\phi = 31^\circ$ , taglio diretto  $c = 0$  kPa e  $\phi = 20-25^\circ$ .
- Critica: triassiale  $c = 0$  kPa e  $\phi = 25.8^\circ$
- Residua: taglio diretto ciclatto  $c = 0$  kPa e  $\phi = 14^\circ$  (coerente con contenuto e tipo di argilla presente nel materiale)

Appare ragionevole assumere per la fondazione superficiale una resistenza pari a  $c = 0$  kPa e  $\phi = 24^\circ$ . Si osserva che per la porzione di monte, perennemente sommersa, l'assorbimento di acqua potrebbe aver portato la resistenza su valori più bassi, all'interno del range determinato in laboratorio. La resistenza non drenata è prudenzialmente stimabile in  $s_u = 100 - 120$  kPa, essendo il contenuto d'acqua al limite plastico o leggermente superiore.

CAMPIONE	PROF DA	PROFA	G	S	L	A	#200	#0.42	LL	PL	PI	Act	
R3	22	22.3	8	5	49	38	88	90	55.7	17.9	37.8	0.895	
R1	17.6	18	0	3	60	37	99	99	49.3	27.4	21.9	0.586	
R3	20.7	21	3	11	51	35	90	96	51.4	17.5	33.9	0.930	
R3	14.8	15	0	5	59	37	100	100	58.3	19.4	38.9	1.051	
R4	15.75	15.8	1	5	59	34	95	98	43.4	21	22.4	0.646	
R3	18.65	19	22	18	35	26	63	68	51.7	19.7	32	0.837	
I1	9	9.5	4	4	55	37	93	95	51	23	28	0.719	
R3	9.3	9.5	0	1	59	40	100	100	49.8	21.9	27.9	0.698	
I2	11.6	12	5	9	57	30	90	95	45	18	27	0.855	
	min		0	1	35	26	63	68	43.4	17.5	21.9	0.586	
	max		22	18	60	40	100	100	58.3	27.4	38.9	1.051	
	media		5	7	54	35	91	93	50.6	20.6	30.0	0.802	

#### 4.3.5. FONDAZIONE PROFONDA

La fondazione profonda è anch'essa sostanzialmente descritta come un limo con argilla debolmente sabbioso con tracce di ghiaia. Il contenuto di argilla è compreso tra 17 e 37%. Rispetto alle argille superficiali, presenta un contenuto di sabbia e ghiaia maggiore e un contenuto di argilla inferiore, presumibilmente legati a un minor grado di alterazione.

I limiti di Atterberg sono LL = 31-49% e PI = 11-24 %, il che pone questi materiali sopra la linea A del diagramma di plasticità, nelle argille inorganiche di plasticità medio-bassa. L'attività colloidale è risultata A = 0.5 - 0.8, che corrisponde a minerali argillosi mediamente attivi (un valore pari a 0.2 è probabilmente sbagliato e presumibilmente legato ad un errore di trascrizione del Limite di plasticità PL= 26 anziché 16)

Il peso di volume è mediamente  $\gamma = 21.8 - 22.5$ , con contenuto d'acqua  $w = 7 - 11\%$ .

La resistenza non drenata, ottenuta da 2 singola prova TxUU è pari a  $q/2 = 366$  e  $470$  kPa, con  $w = 9\%$ , circa. E' pensabile che questo corrisponda a  $su = 470$  kPa o maggiori.

La resistenza in termini efficaci da prove triassiali e di taglio è risultata nel range:

- Picco: triassiale  $c = 0$  kPa e  $\phi = 25-28^\circ$ , taglio diretto  $c = 0$  kPa e  $\phi = 21-(31)^\circ$ , ( $31^\circ$  un solo punto, forse anomalo).
- Critica: triassiale  $c = 0$  kPa e  $\phi = 24.9^\circ$
- Residua: taglio diretto ciclatto non disponibile

Appare ragionevole assumere per la fondazione profonda una resistenza pari a  $c = 10 - 15$  kPa e  $\phi = 24^\circ$ . Si osserva anche in questo caso, che per la porzione di monte, perennemente sommersa, l'assorbimento di acqua potrebbe aver portato la resistenza su valori più bassi, all'interno del range determinato in laboratorio.

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF DA	PROF A	G	S	L	A	#200	#0.42	LL	PL	PI	Act
A1	R4	28.75	29	11	5	58	26	86	88	33.9	14.1	19.8	0.670
A2	R1	17.6	18	0	3	60	37	99	99	49.3	27.4	21.9	0.586
	R2	19.6	20	1	5	58	36	97	99	36.7	26 (*)	10.7 (*)	0.294 (*)
B1	C4	27	27.3	17	12	52	19	75	78	31.2	19.6	11.6	0.476
B2	R4	15.75	15.8	1	5	59	34	95	98	43.4	21	22.4	0.646
C1	R4	26.5	26.8	15	21	47	17	66	70	36.5	16.5	20	0.824
C2	I3	13	13.49	6	8	51	34	87	90	40	16	24	0.635
	I4	16	16.3	23	11	49	18	70	73	36	16	20	0.811
	R4	16.65	16.9	8	11	57	23	82	86	35.8	17.4	18.4	0.688
	I5	17.6	18	18	9	52	21	75	78	38	18	20	0.743
		min		0	3	47	17	66	70	31.2	14.1	10.7	0.294
		max		23	21	60	37	99	99	49.3	27.4	24.0	0.824
		media		10	9	54	27	83	86	38.1	19.2	18.9	0.637

\*) valore presumibilmente non corretto



#### 4.4. DATI DI INVASO

I dati salienti dell'invaso di Castel San Vincenzo sono così riassumibili:

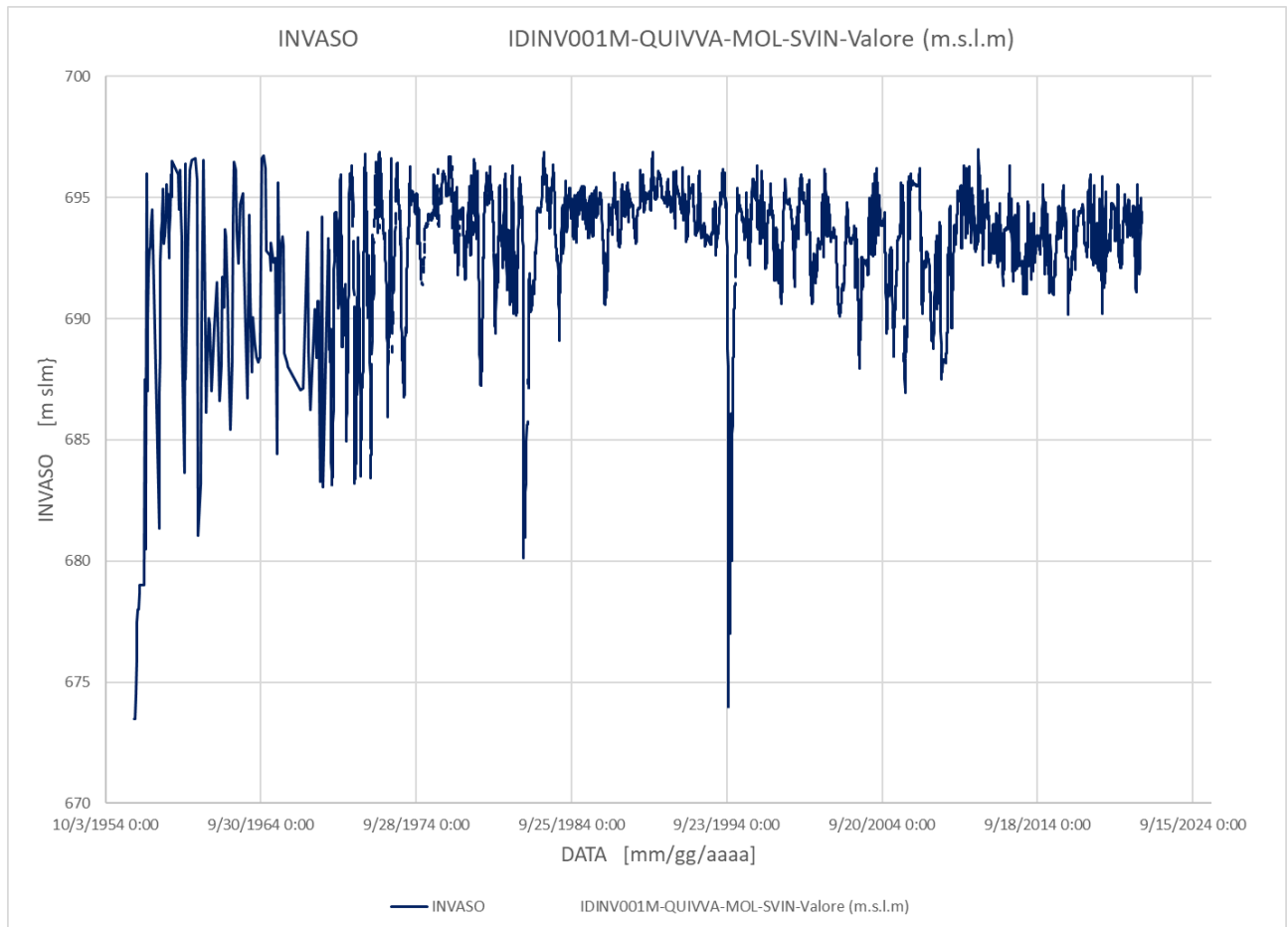
Quota di massimo invaso	697.7	m slm
Quota di Massima Regolazione	697	m slm
Quota di minima Regolazione	683	m slm
Superficie dello specchio liquido		
<ul style="list-style-type: none"> <li>a massimo invaso</li> </ul>	0.61	km <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>alla quota di massima regolazione</li> </ul>	0.59	km <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>alla quota di minima regolazione</li> </ul>	0.16	km <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>volume totale d'invaso (DM82)</li> </ul>	6	milioni m <sup>3</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>volume d'invaso (L. 584/94)</li> </ul>	5.6	milioni m <sup>3</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>volume utile di regolazione</li> </ul>	5	milioni m <sup>3</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>volume di laminazione</li> </ul>	0.4	milioni m <sup>3</sup>
volume per interrimenti		milioni m <sup>3</sup>
superficie del bacino imbrifero		
<ul style="list-style-type: none"> <li>direttamente sotteso</li> </ul>	2.7	km <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>allacciato</li> </ul>	47.5	km <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>portata di massima piena di progetto</li> </ul>	50	m <sup>3</sup> /s
<ul style="list-style-type: none"> <li>tempo di ritorno</li> </ul>	nd	anni
portata esitata a quota 697.70		
<ul style="list-style-type: none"> <li>scarico di superficie</li> </ul>	21.5	m <sup>3</sup> /s
portata esitata a quota 697		
<ul style="list-style-type: none"> <li>scarico di superficie</li> </ul>	12.8	m <sup>3</sup> /s
<ul style="list-style-type: none"> <li>scarico di fondo</li> </ul>	18	m <sup>3</sup> /s

L'andamento nel tempo dell'invaso è illustrato nel diagramma di Figura 4-4. Di osserva una certa fluttuazione nel tempo sia dell'ampiezza di oscillazione tra massimo e minimo livello, che dei livelli massimi.

In particolare, sono state applicate grandi escursioni di livello, nell'ordine anche superiore a

10 m, fino agli anni '70, per poi ridursi a un massimo di 5-6 m. In questa seconda fase, si notano due periodi in cui l'oscillazione è stata particolarmente piccola, nell'ordine di 4 m, a cavallo tra gli anni '80 e '90 e a partire dal 2010, con minimi che non sono mai scesi sotto alla quota 690 m slm. In rarissime occasioni, si è scesi sotto al limite operativo di 683 m slm.

Il cambio di regime operativo sembra essere dovuto semplicemente alle necessità dettate dal mercato elettrico o da richieste di tipo ambientale. Non sono stati reperiti nella documentazione ricevuta indicazioni che leghino questo cambio a osservazioni sul comportamento delle opere.



**Figura 4-4 - Invaso di Castel San Vincenzo. Monitoraggio dei livelli di invaso**

#### **4.5. DATI DI MONITORAGGIO DISPONIBILI**

Il monitoraggio è stato attivato fin dalle prime fasi di vita dell'opera e comprende le seguenti grandezze:

- Dati idrometeorologici e dell'invaso
- Misure di Collimazione
- Misure di livellazione
- Misure manometriche dal 1957 al 1966 e a partire dal 1987 fino a oggi
- Misure Piezometriche a partire dall'installazione nel 2008
- Misure delle perdite dai cunicoli di drenaggio.

I punti di misura sono ubicati in pianta e sezione come illustrato da Figura 4-5 a Figura 4-8.

### Misure di controllo

- SPOSTAMENTI \_Collimazioni\_ Livellazioni -  
- PERDITE -

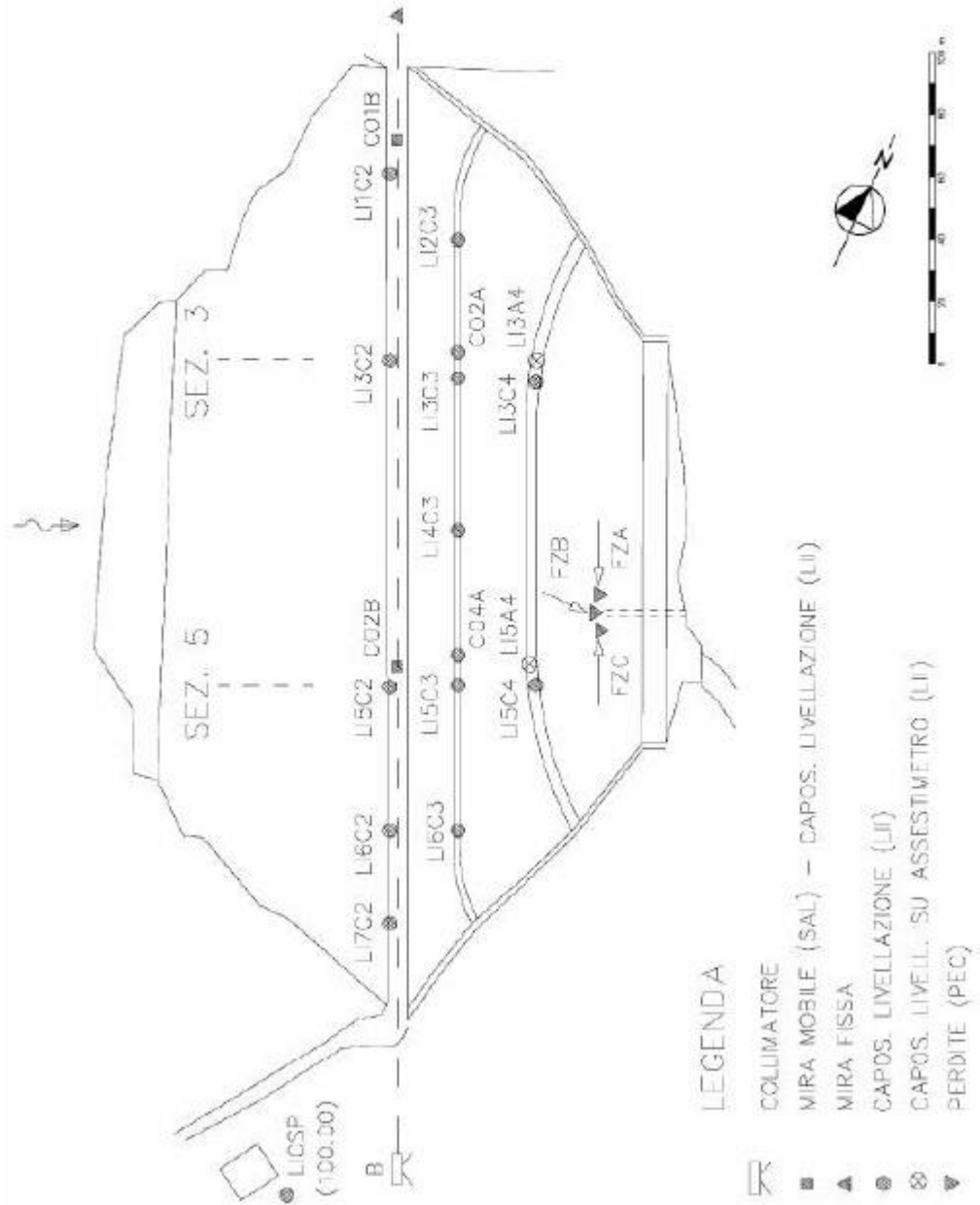
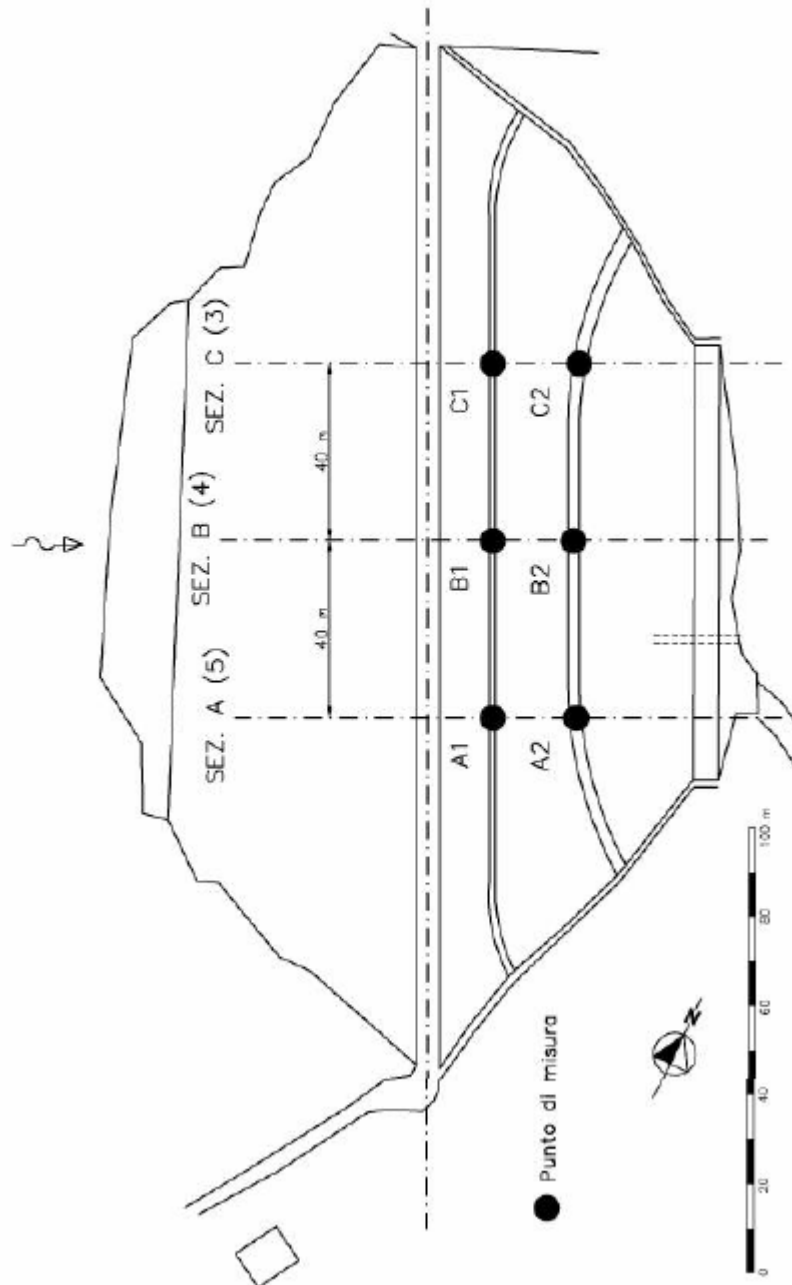


Figura 4-5 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio. Planimetria punti di misura di base

**Misure di controllo**

**- PIEZOMETRIA\_Pianta -**



**Figura 4-6 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio. Planimetria punti di misura Piezometri addizionali**

Misure di controllo

- PIEZOMETRIA \_ Celle manometri -

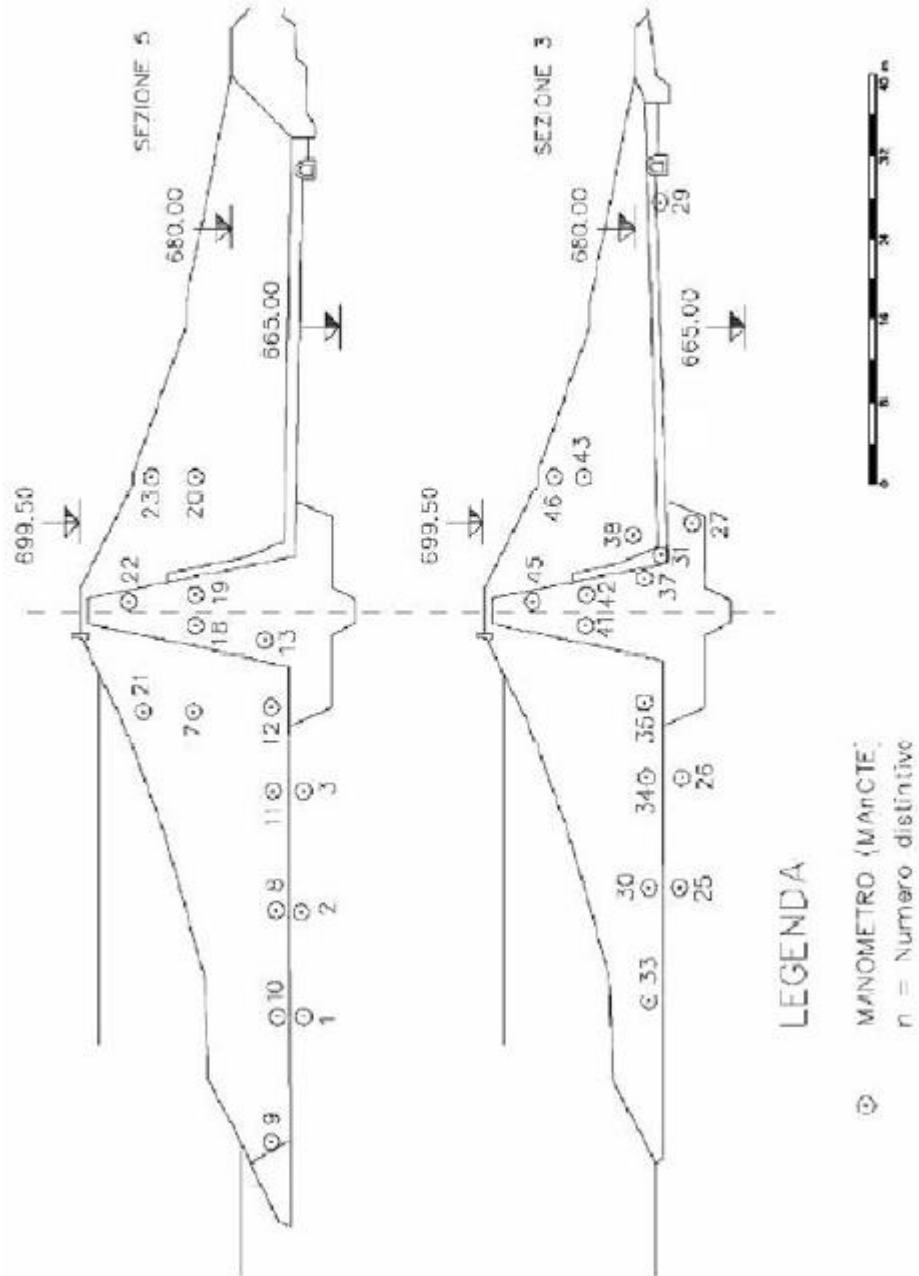
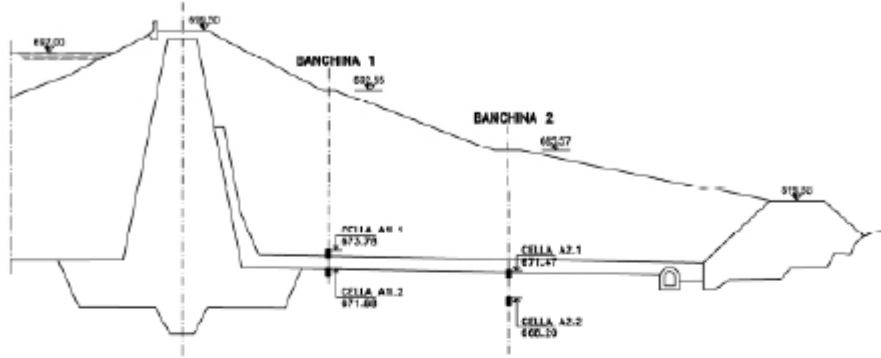


Figura 4-7 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio. Posizione dei punti di misura manometrici in sezione

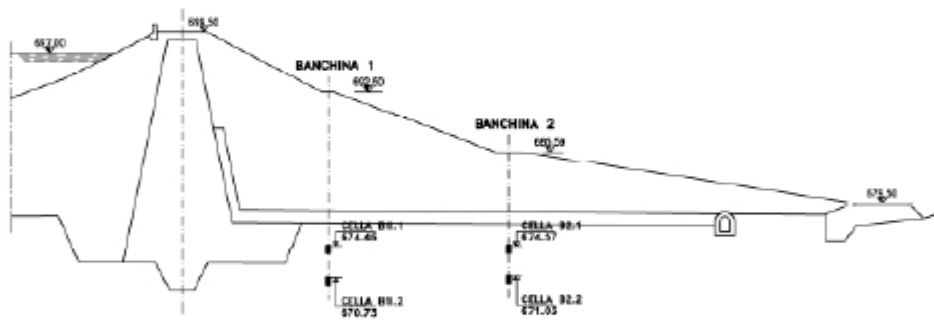
Misure di controllo

- PIEZOMETRIA \_ Celle Casagrande -

SEZIONE A-A (5)



SEZIONE B-B (4)



SEZIONE C-C (3)

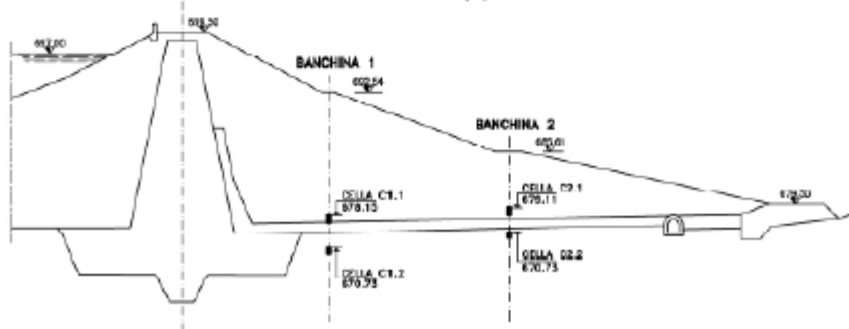


Figura 4-8 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio. Posizione dei punti di misura piezometrici (Piezometri Casagrande) in sezione

## 4.6. ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO

### 4.6.1. COLLIMAZIONI

Le misure di collimazione sono eseguite a partire dagli anni '70, su due punti disposti sul coronamento.

Le misure mostrano uno spostamento continuo verso monte, che ha raggiunto il valore asintotico di 35 e 28 mm, nei due punti monitorati, come indicato nella Figura 4-9. L'incremento è risultato molto accentuato nei primi anni, per iniziare ad attenuarsi attorno all'inizio degli anni '80 e raggiungere un valore stabile dopo il 2014. Va notato che l'entità degli spostamenti è comunque modesta, se comparata con l'altezza della diga (1/1000) e in generale col fatto che si tratti di una diga in terra.

E' stata osservata una certa corrispondenza tra i livelli di invaso e l'andamento degli spostamenti. In particolare, con riferimento anche a Figura 4-10 e Figura 4-11:

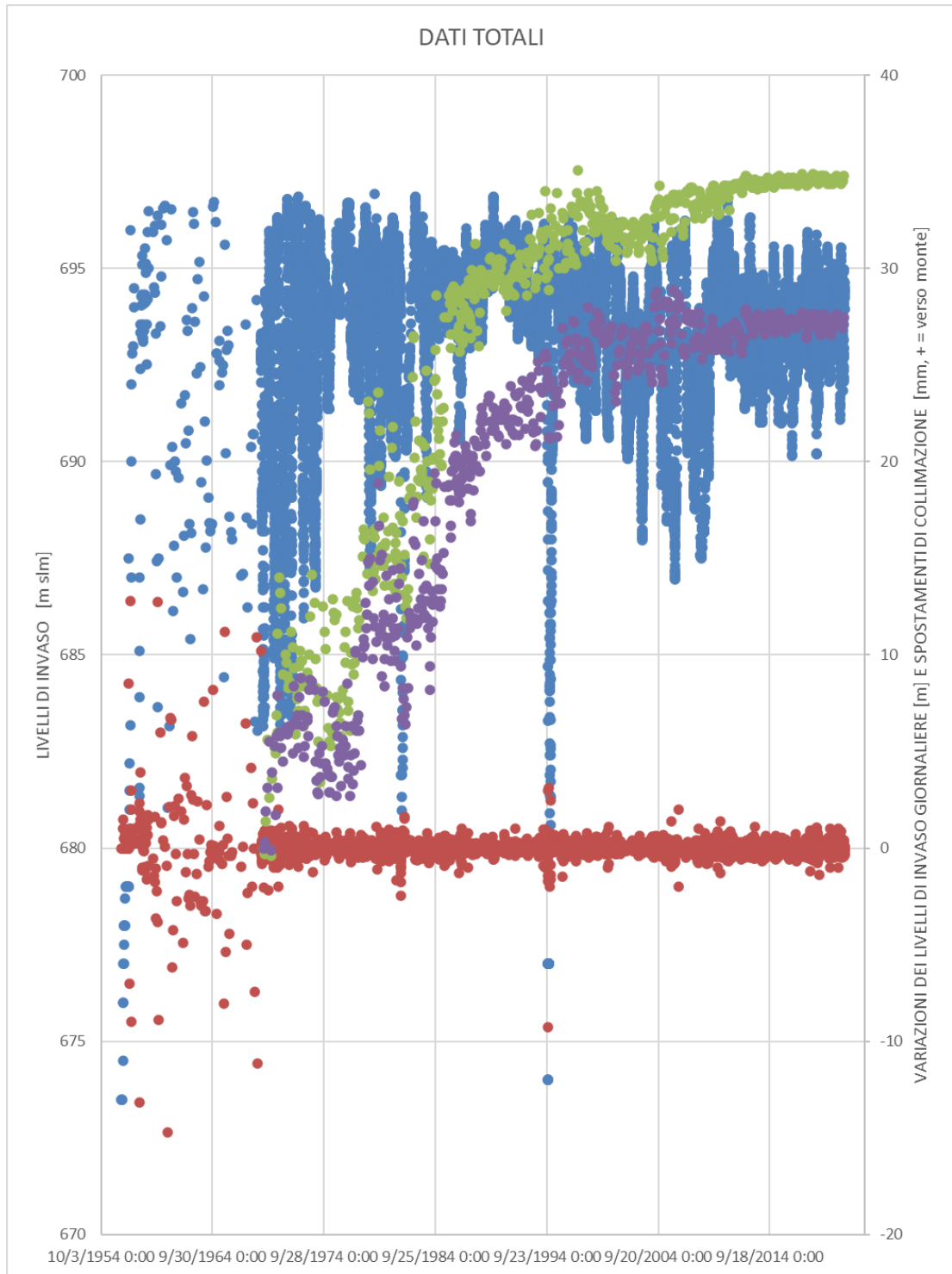
- Gli incrementi maggiori sono avvenuti a invaso alto e con variazioni del livello d'invaso ampie;
- La attenuazione del fenomeno è iniziata quando è stata ridotta l'ampiezza d'oscillazione dell'invaso;
- Gli spostamenti si sono stabilizzati quando la quota massima d'invaso si è ulteriormente ridotta, con invaso oscillante tra 690 e 695.5 m slm.

Va notato inoltre che, in corrispondenza di alcuni cicli di invaso più basso della media, agli inizi degli anni 2000, l'andamento degli spostamenti ha subito una momentanea regressione, nell'ordine di pochi mm, per poi riprendere la legge di attenuazione interrotta. Ciò, oltre che a qualche intervento di manutenzione nel sistema di misura o nella zona del coronamento diga (dove sono installati i punti di collimazione) potrebbe essere legato a una componente elastica di spostamento della massa del corpo diga, sottoposto all'azione dell'invaso.

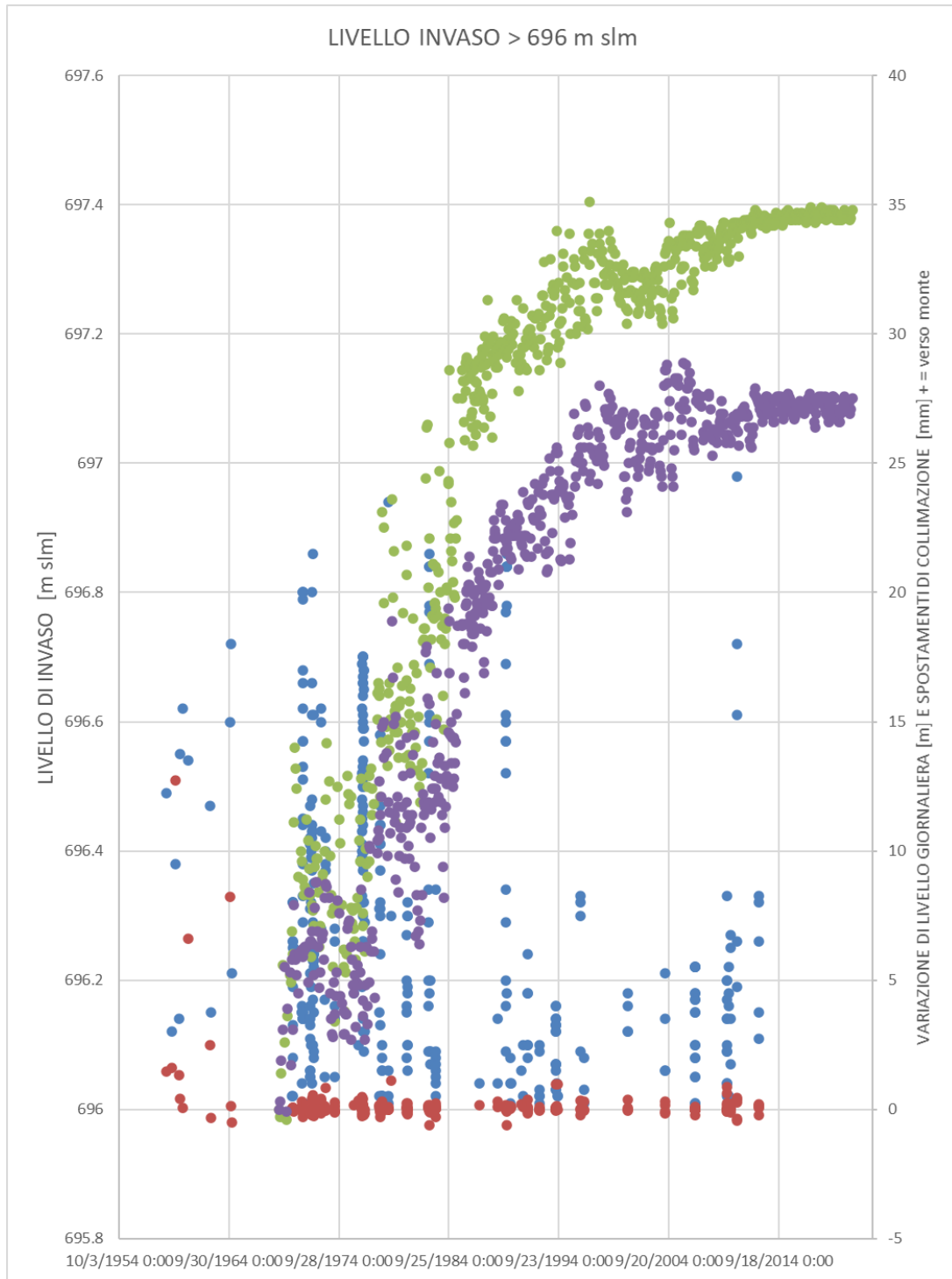
Nel corso della visita si è osservato un certo disordine nel paramento di monte, la cui linea di spiaggia è frastagliata, e sulla cui superficie si notano blocchi mossi e chiazze di materiale di transizione affioranti. È pensabile che questo fenomeno evolutivo, anche se apparentemente stabilizzato, possa aver avuto come riflesso gli spostamenti di collimazione sopra discussi.

Indipendentemente dalla sua natura, sembrerebbe comunque consigliabile prevedere lavori di manutenzione straordinaria della protezione in pietrame del paramento di monte della diga di Castel San Vincenzo, nell'ambito dei lavori per il nuovo schema.

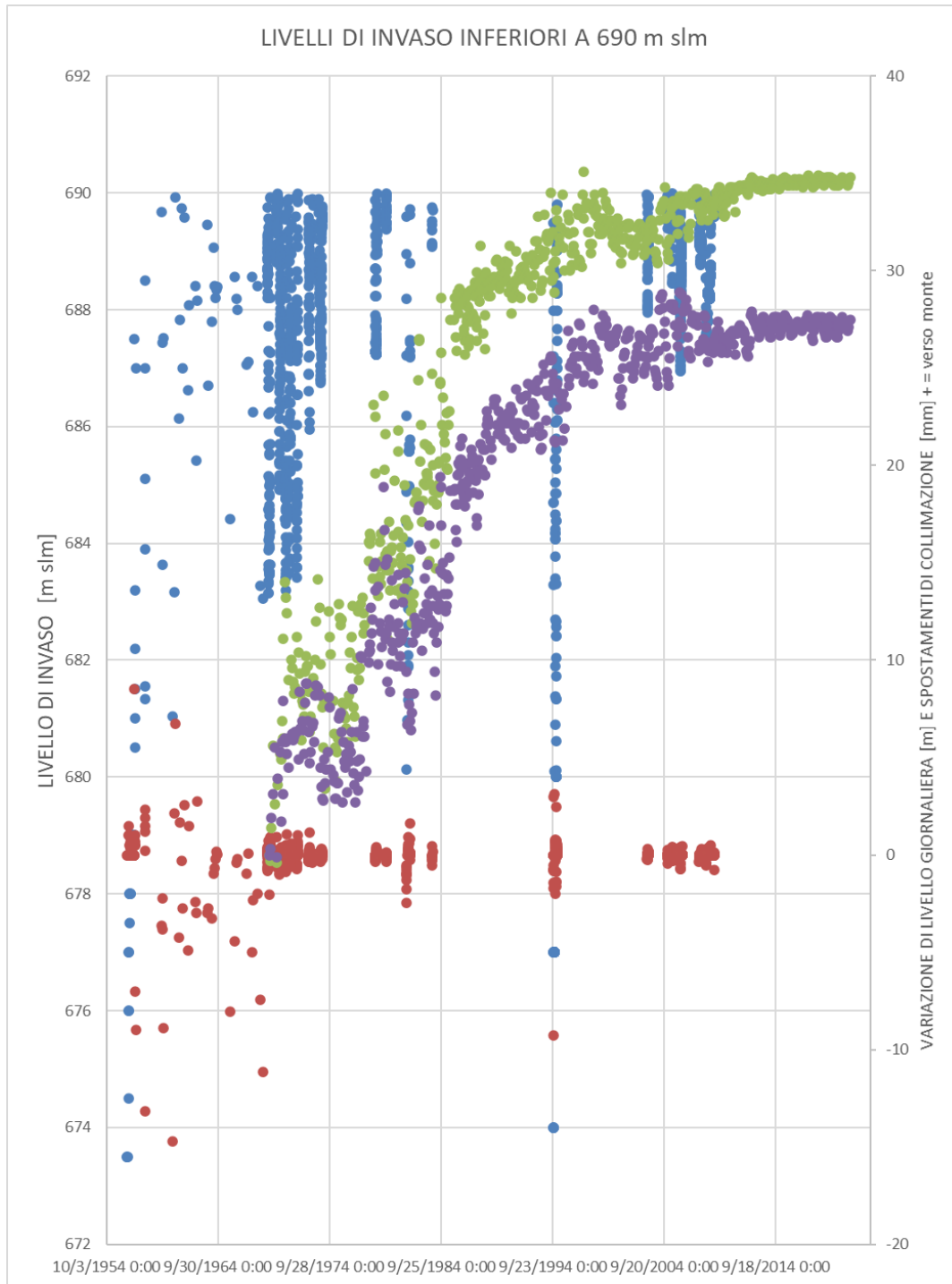




**Figura 4-9 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure di collimazione. Dati totali (blu= invaso, verde = punto collimazione 1, viola = punto di collimazione 2, mattone = variazione giornaliera dei livelli di invaso)**



**Figura 4-10 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure di collimazione. Dati totali con evidenziati i soli punti di invaso con quota maggiore di 696 m slm, ossia a invaso alto (blu= invaso, verde = punto collimazione 1, viola = punto di collimazione 2, mattone = variazione giornaliera dei livelli di invaso)**



**Figura 4-11 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure di collimazione. Dati totali con evidenziati i soli punti di invaso con quota minore di 690 m slm, ossia conoscillazione relativamente ampia (blu= invaso, verde = punto collimazione 1, viola = punto di collimazione 2, mattone = variazione giornaliera dei livelli di invaso)**



**Figura 4-12 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure di collimazione. La linea di spiaggia lungo il paramento di monte appare frastagliata**



**Figura 4-13 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure di collimazione. La superficie della protezione di monte appare irregolare e disordinata**

#### 4.6.2. MANOMETRI E PIEZOMETRI

Le misure con manometri, nonostante questi siano stati installati durante la costruzione, non sono disponibili con continuità dall'inizio degli invasi a oggi, mancando dai dati trasmessi le misure nel periodo 1966-1987. Dei piezometri, installati nel 1988, sono disponibili tutte le letture.

I manometri offrono una mappa di letture, da cui si può dedurre, con riferimento all'ultimo decennio di invaso che:

- le letture nella fondazione di monte e nella parte di monte del nucleo tendono a mantenersi prossime al massimo invaso e alla sua oscillazione
- valori più bassi si riscontrano nel contronucleo di monte, con oscillazione tendenzialmente più contenuta di quella dell'invaso e dei piezometri di fondazione
- A valle del nucleo i valori misurati sono bassi e l'oscillazione praticamente nulla
- La sezione 3, verso la sponda sinistra mostra tendenzialmente valori di pressione medi nella parte alta del nucleo e del contronucleo di monte più alti che nella sezione 5. Allo stesso modo, anche nel contronucleo di valle si notano delle oscillazioni, non percepibili nella sezione 5.

E' pensabile che quanto osservato derivi da un possibile progressiva impermeabilizzazione del fondo serbatoio per sedimentazione, che riduce l'efficienza dell'unghia di monte in pietrame e del dreno alla base del contronucleo di monte associato, cosicché rimangono intrappolate le pressioni generatesi con il massimo invaso.

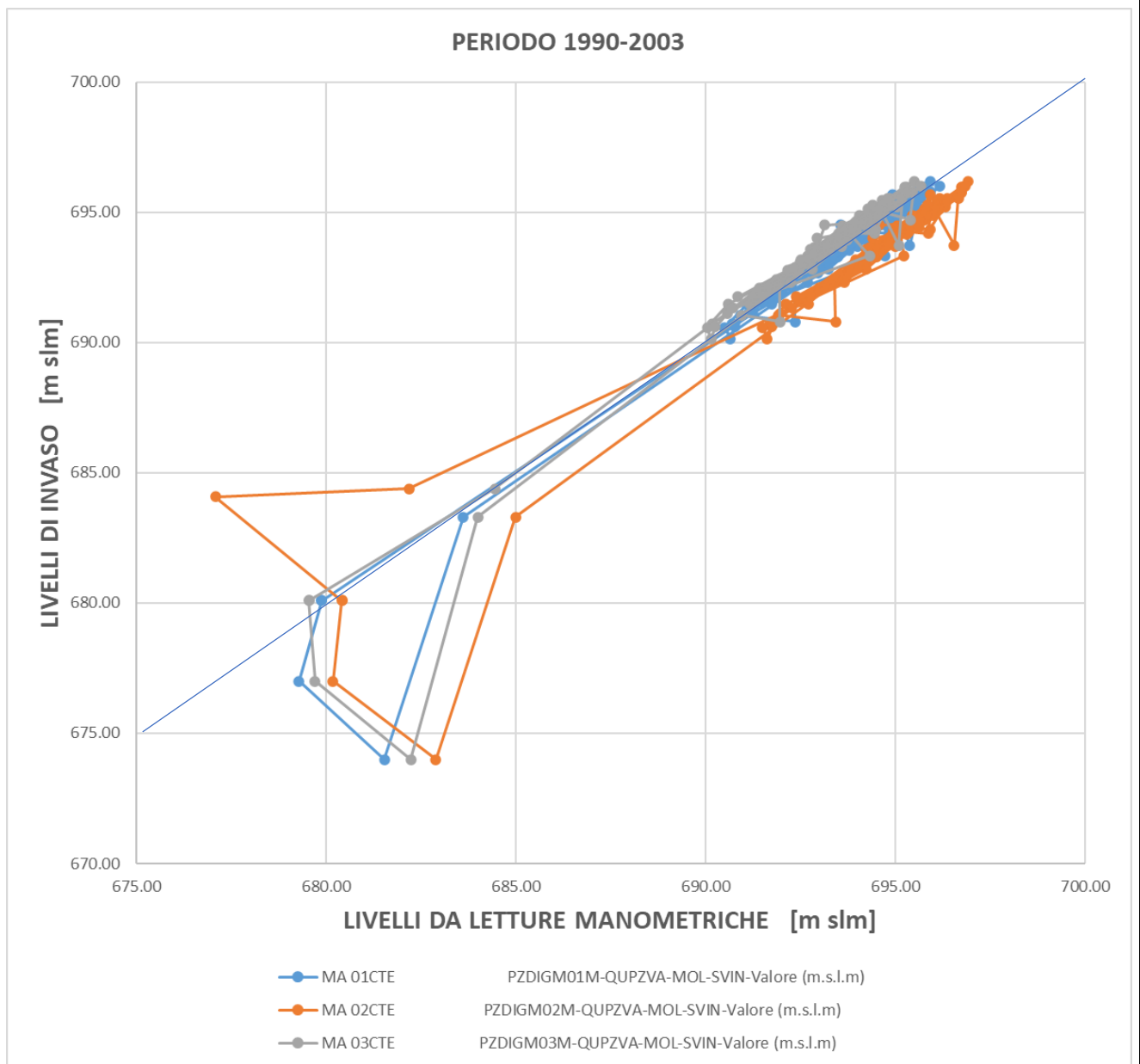
Le letture della Sezione 3, inoltre, suggeriscono un possibile apporto di acque di falda da sinistra, con conseguente modifica locale della superficie piezometrica.

I piezometri Casagrande al contrario si trovano in una posizione troppo profonda nelle argille di fondazione per poter risentire dell'invaso e quindi risultano poco reattivi.

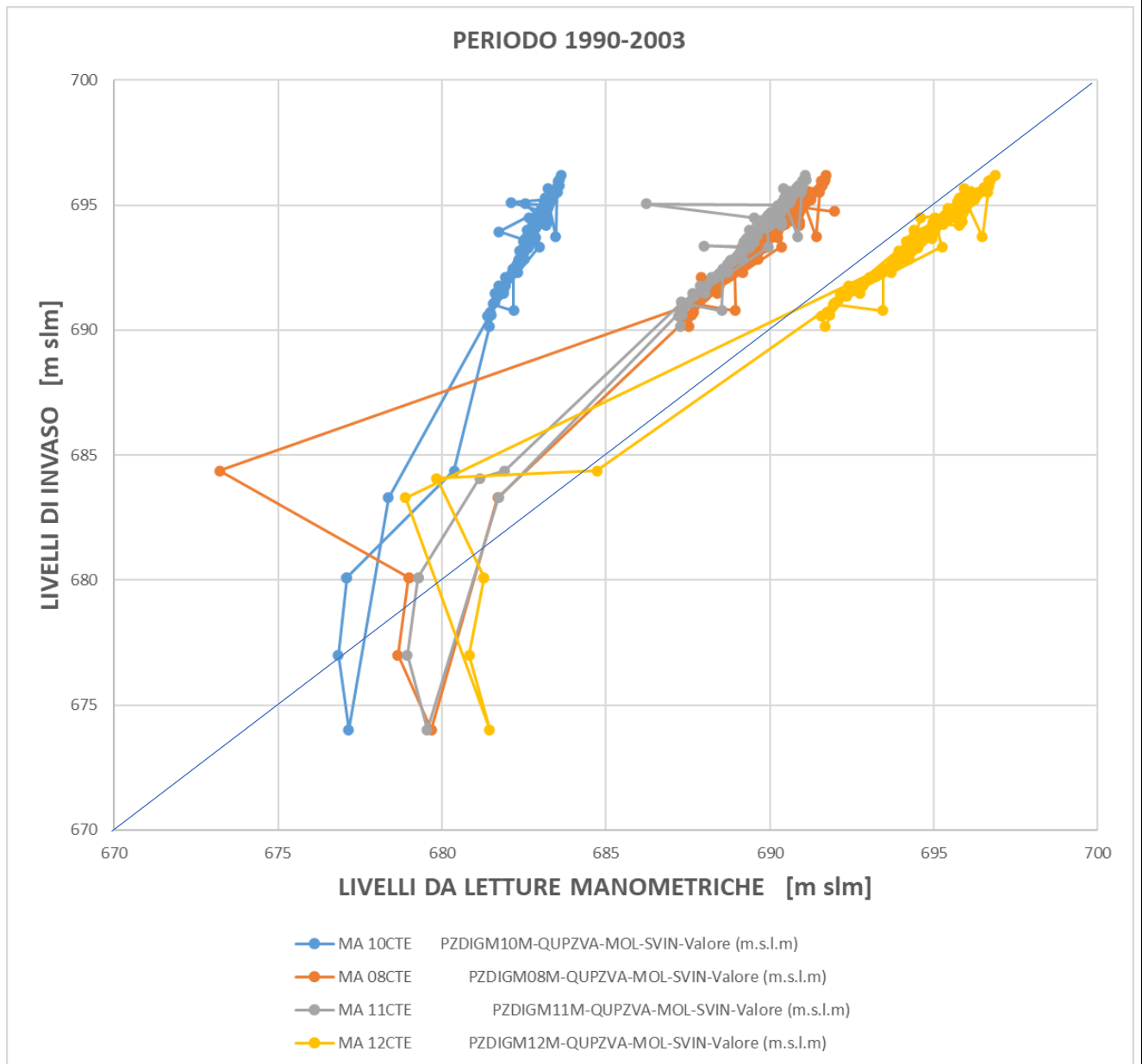
E' stato inoltre eseguito un controllo della risposta dei manometri, nel periodo 1990-2003, che include uno svaso più profondo, presumibilmente in corrispondenza di lavori di manutenzione straordinaria.

I manometri della Sezione A (o 5) presentano un andamento lineare, quando l'invaso oscilla tra il livello massimo e la 683 m slm, circa, sia per gli strumenti in fondazione, Figura 4-14, che per quelli nel contronucleo appena sopra il tappeto drenante o la base del nucleo, Figura 4-15.

Analogamente, i manometri della Sezione B (o 3) presentano anch'essi un andamento lineare, nell'intervallo massimo invaso - quota 684 m slm, con l'eccezione del manometro MA 25CTE, che si diparte dalla linearità, a partire da quota 690 m slm, circa (Figura 4-16). Questa apparente anomalia è presumibilmente legata a quanto osservato in generale per le letture della Sezione B, ossia un possibile apporto dalla sponda sinistra che, anche se relativamente lontana, altera in qualche modo l'assetto della piezometrica nella porzione esterna del corpo diga.



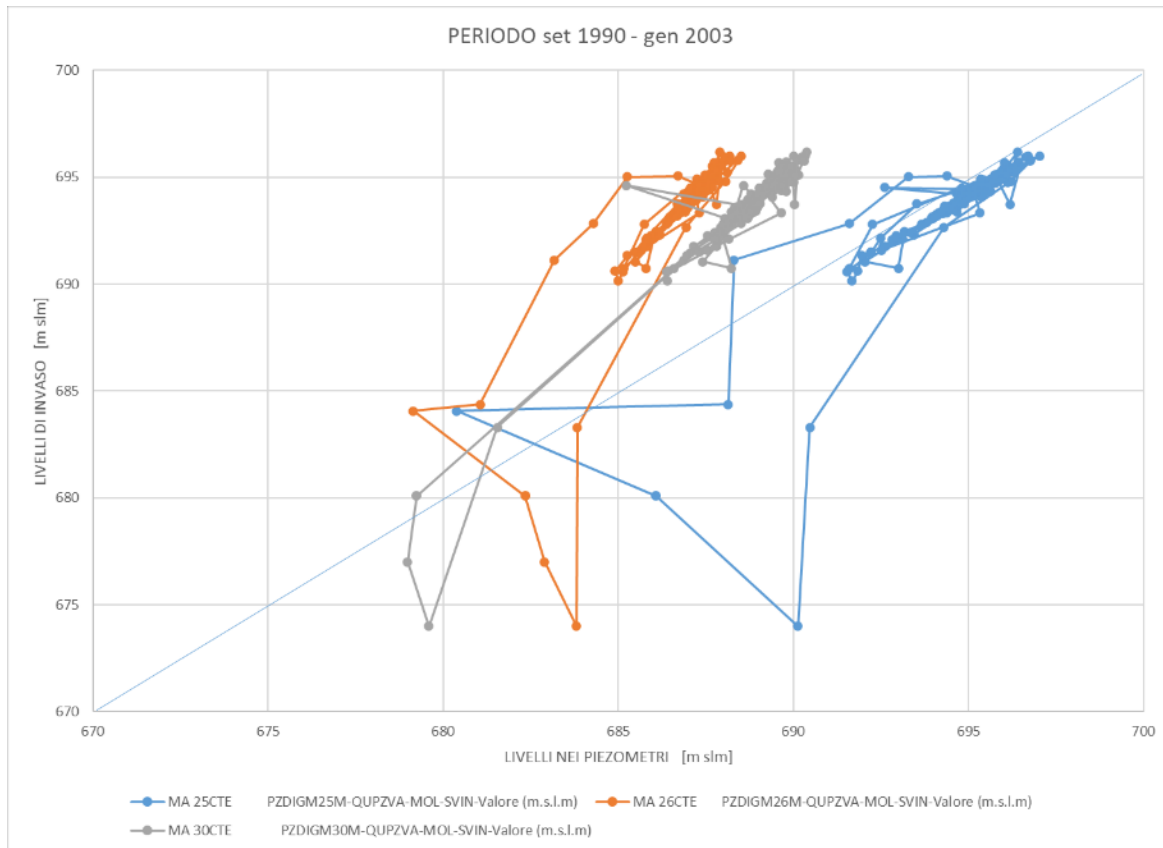
**Figura 4-14 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure manometriche. Manometri in fondazione sotto contronucleo di monte**



**Figura 4-15 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure manometriche nella Sezione A (o 5). Manometri nel contronucleo di monte, poco sopra il tappeto filtrante, nella Sezione**



Sez BB



**Figura 4-16 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure manometriche nella Sezione B (o 3). Manometri nel contronucleo di monte, poco sopra il tappeto filtrante**

#### 4.6.3. PERDITE

Le perdite sono misurate con regolarità a partire dall'inizio anni '70.

Dei tre assi di drenaggio, quello centrale appare come più produttivo da sempre. Le portate massime, si sono comunque attestate su circa 4-5 l/s, per il dreno centrale e 1-2 l/s, per quelli laterali

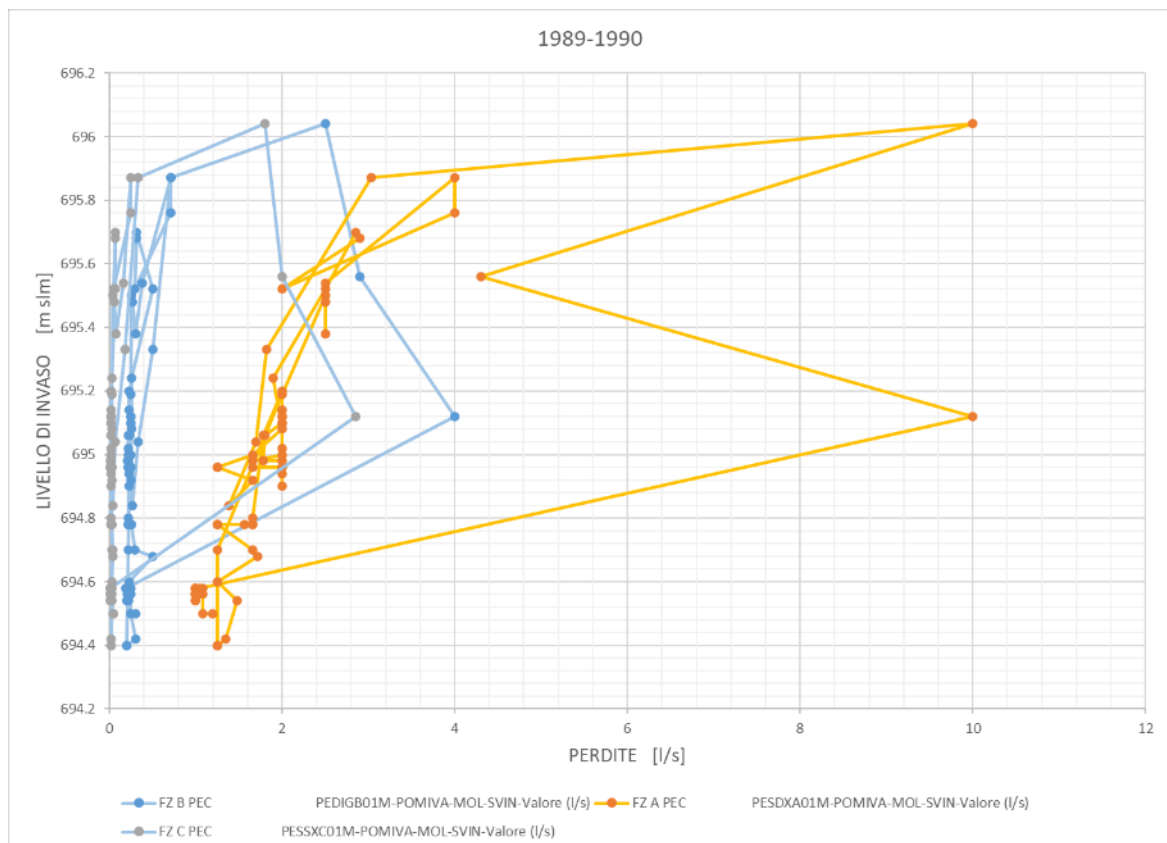
Si è osservata anche in questo caso una certa dipendenza delle perdite dall'ampiezza dei cicli di invaso, oltre che della quota massima.

Da un esame più approfondito della risposta in termini di perdite, derivabile dal confronto dei diagrammi da Figura 4-17 a Figura 4-20, si può notare che per la perdita principale esiste un 'ginocchio' alla quota 693 m slm, circa, al di sopra del quale le perdite aumentano. Il fenomeno è andato via via amplificandosi nel tempo.

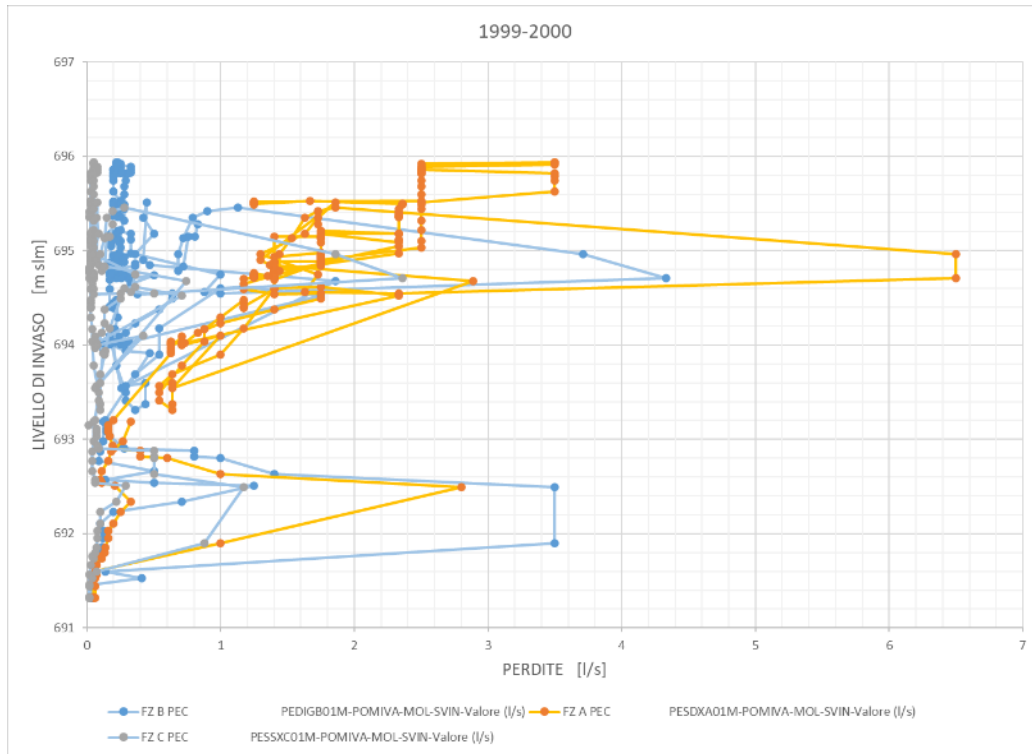
Si nota che la quota 693 tocca il paramento di monte circa sulla verticale dell'estremità dell'appendice di monte del nucleo, quasi che il pieno carico idrostatico fosse tale da aumentare la filtrazione lungo il contatto nucleo-fondazione. Questo passaggio potrebbe aver logorato la tenuta lungo il contatto. Il fatto che il fenomeno abbia una pur modesta evoluzione merita qualche considerazione addizionale nelle fasi successive di progettazione.

E' stato anche fatto un esame delle perdite cumulative per dare maggiore evidenza alla risposta complessiva dei dreni. Con riferimento ai diagrammi di Figura 4-21, si può osservare che mentre le perdite dei dreni laterali tendono a ridurre gli apporti, questo non avviene per il dreno centrale che continua a incrementare il volume complessivo di perdita.

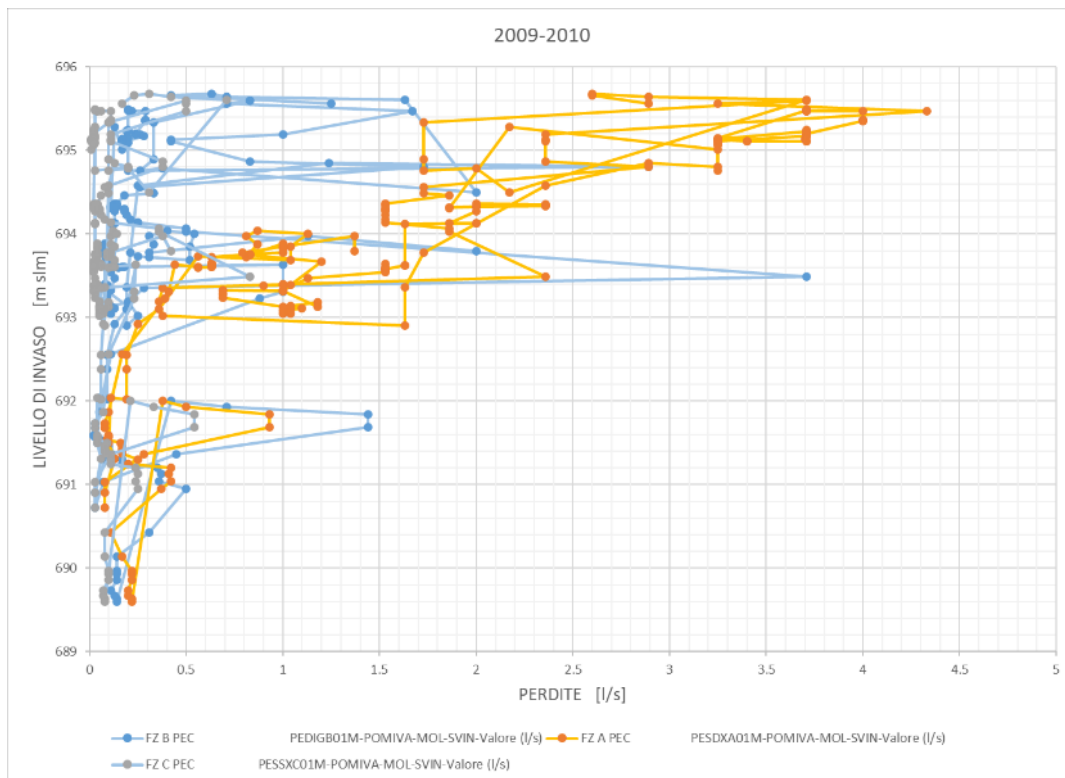
Tenuto conto delle osservazioni precedenti, questo deriva dal fatto che negli ultimi anni il serbatoio si è mantenuto più frequentemente e per periodi più lunghi sopra la quota 693 m slm, e quindi con le perdite relativamente più alte, rilevabili sopra il ginocchio di risposta.



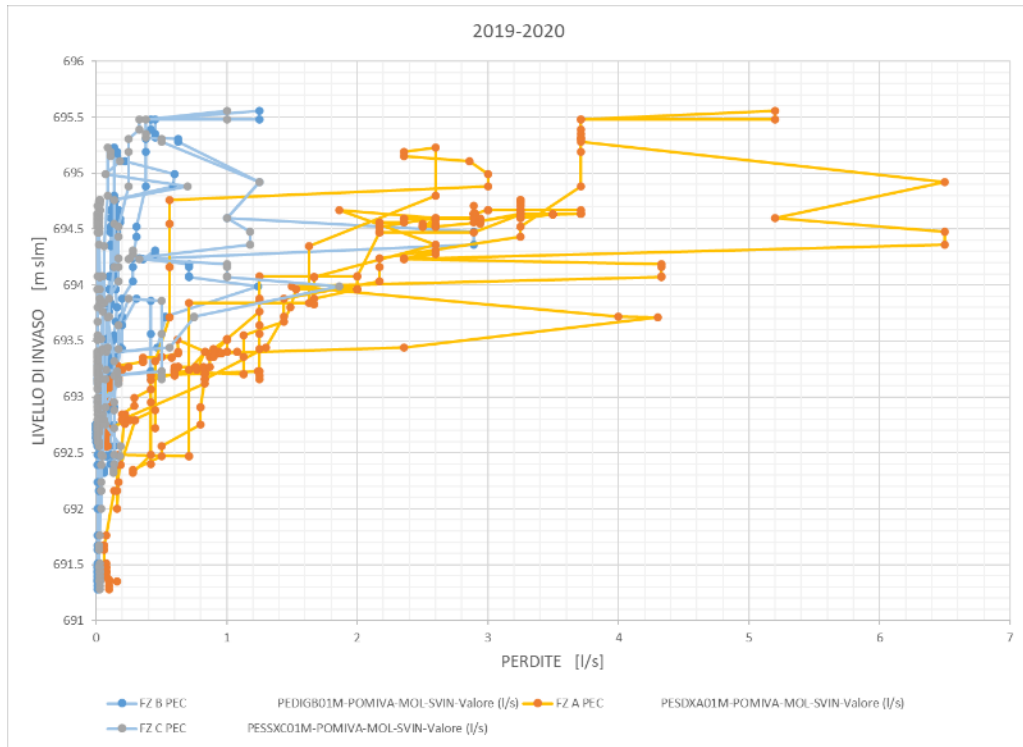
**Figura 4-17 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure delle perdite. Diagrammi di risposta ciclo di invaso 1989-1990**



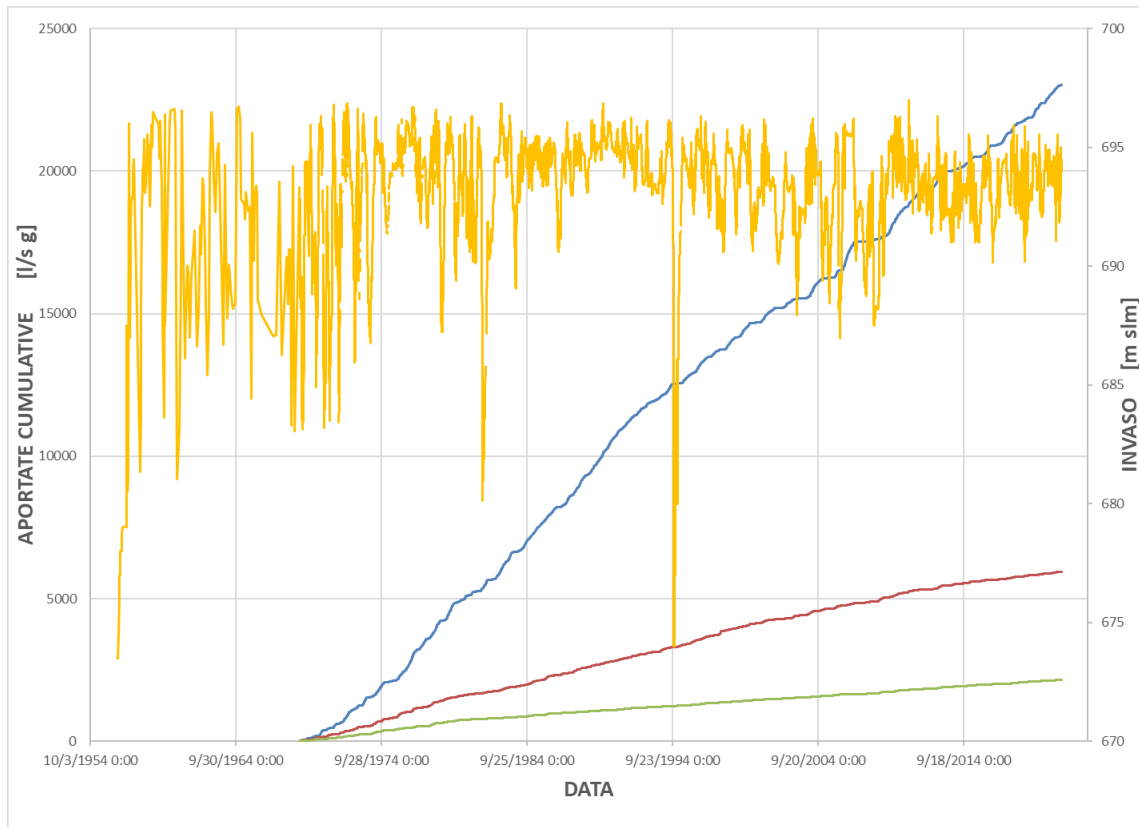
**Figura 4-18 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure delle perdite. Diagrammi di risposta ciclo di invaso 1999-2000**



**Figura 4-19 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure delle perdite. Diagrammi di risposta ciclo di invaso 2009-2010**



**Figura 4-20 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure delle perdite. Diagrammi di risposta ciclo di invaso 2019-2020**



**Figura 4-21 - Diga di Castel San Vincenzo. Monitoraggio delle misure delle perdite. Perdite cumulative nel tempo**

## **5. CONSIDERAZIONI SUL COMPORTAMENTO STATICO DELLE OPERE E RIFLESSI SU SVILUPPI FUTURI**

### **5.1. MONTAGNA SPACCATA**

#### **5.1.1. CONDIZIONI GENERALI**

Le condizioni generali di funzionamento della Diga Principale e delle due dighe secondarie, nonché dell'invaso ad esse associato, sono sostanzialmente buone, dopo circa 60 anni di esercizio.

In particolare, tutte le misure, nelle attuali condizioni di esercizio, sono sostanzialmente stabili o con tendenza a stabilizzarsi su un andamento asintotico, con piccole eccezioni che pur meritando un controllo, non sembrano al momento critiche.

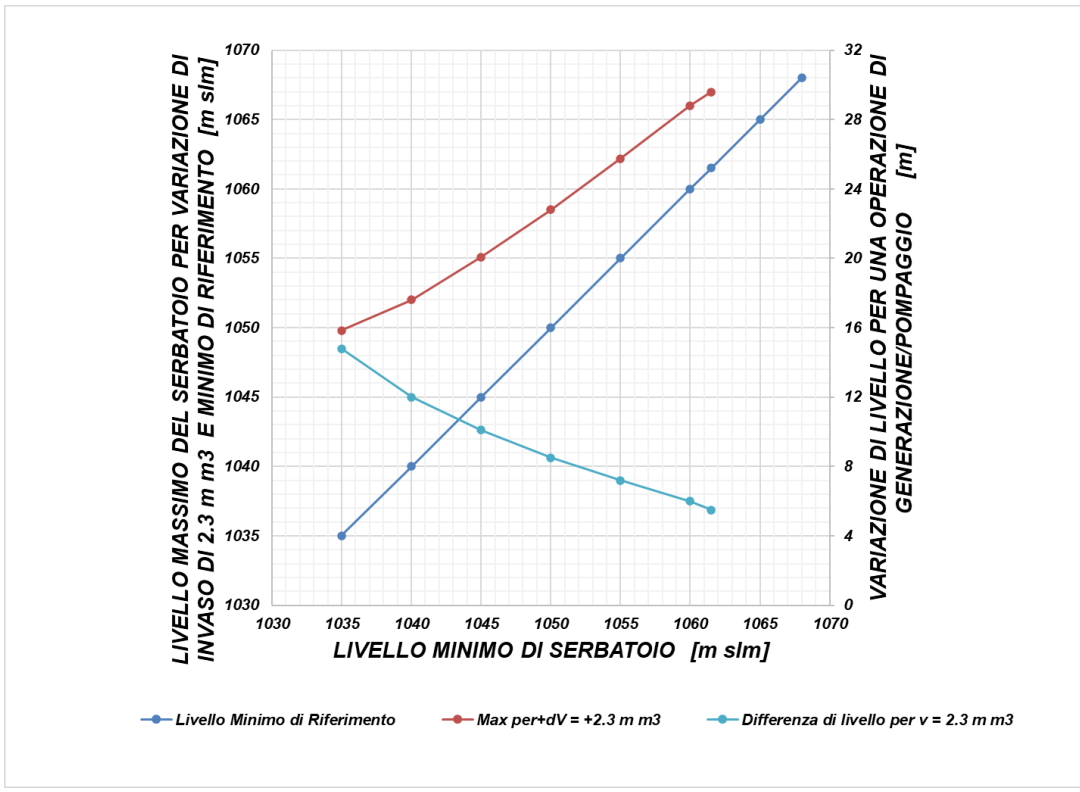
Recenti verifiche della vulnerabilità sismica delle dighe sono risultate positive, nel senso che le opere sono state giudicate idonee a sopportare le azioni sismiche di progetto, secondo le più recenti Normative.

#### **5.1.2. ENTITA' DELLO SVASO APPLICATO**

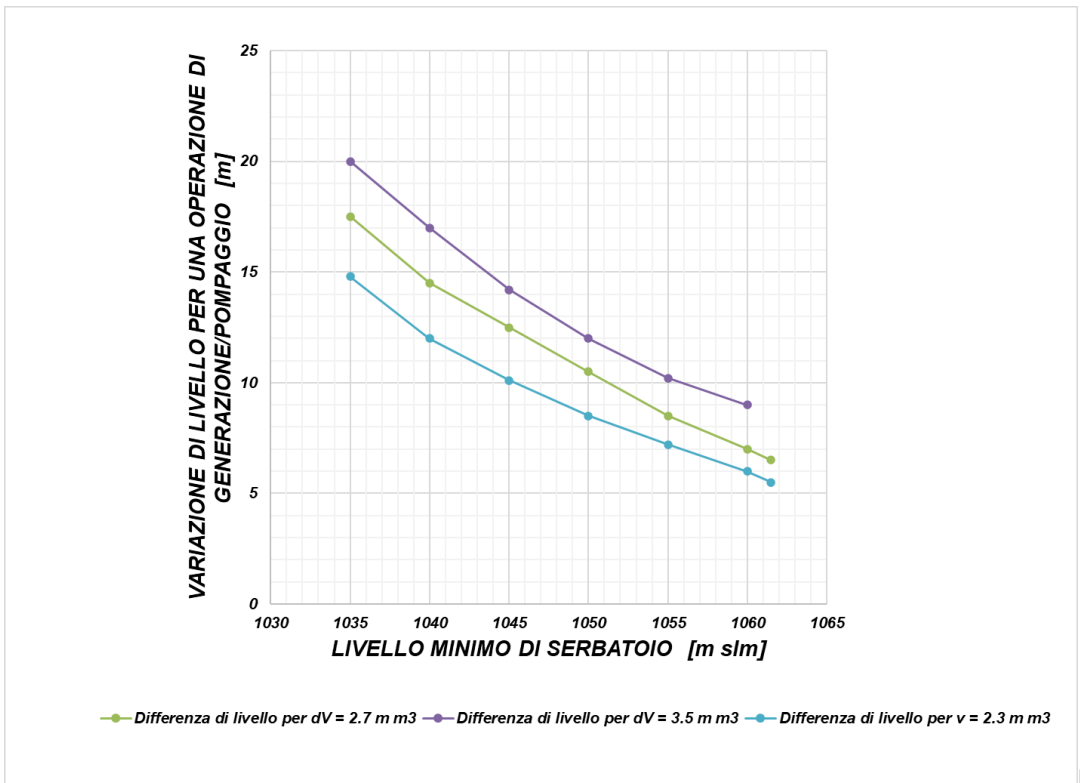
In base alle considerazioni espone nella Relazione Tecnica Generale, l'Impianto che si propone si basa su un volume scambiato tra un serbatoio e l'altro di circa 2,217 milioni di m<sup>3</sup>/giorno, considerando un funzionamento in pompaggio di 8 h.

Il diagramma di Figura 5-1 offre un quadro riassuntivo dei livelli di invaso che corrispondono a questa variazione di volume e del corrispondente svaso (Grafico A)). Come riferimento, sono stati inoltre aggiunti, separatamente nel Grafico B), gli svasi che corrispondono a variazioni di volume pari a 2.3, 2.7 e 3.5 m<sup>3</sup>. Si osserva che nelle condizioni di progetto per l'invaso di Montagna Spaccata, ossia per una variazione di volume 2.2 m<sup>3</sup>, l'entità dello svaso può variare nell'intervallo 6-10 m. Chiaramente, con variazioni di volume maggiori, le variazioni di livello risultano nell'intervallo 8-10 fino a 18-20 m.

Essendo la portata del nuovo schema maggiore di quella dello schema attuale, le variazioni di livello saranno molto più rapide, sia in svaso, che nel successivo invaso. Per ottimizzare la produzione e la capacità di risposta, l'Invaso di Montagna Spaccata dovrebbe essere prevalentemente pieno.



A)



B)

Figura 5-1 - Invaso di Montagna Spaccata. A) Livelli massimo e minimo (scala a sinistra) e relativa variazione di livello (scala a destra) per un volume di 2.3 m³ e B) Diagrammi di variazione di livello per un volume di 2.3, 2.7 e 3.5 m³

### 5.1.3. DIGA PRINCIPALE

La Diga Principale in calcestruzzo a doppia curvatura si presenta in buone condizioni e le misure di monitoraggio non presentano elementi significativi di allarme, nell'ambito dell'attuale esercizio.

È stato discusso l'opportunità di approfondire alcuni aspetti delle misure di monitoraggio che non appaiono totalmente allineati con il contesto, nell'ottica di un esercizio modificato. A questo fine potrebbe essere utile aggiungere qualche controllo sulla piezometria e osservazioni, con misure se possibile, su eventuali perdite raccolte a valle.

Il sistema di fessure parallele all'asse dell'incisione in cui scorre inizialmente il Rio Torto, origine o conseguenza della formazione della valle stessa, potrebbe generare un accumulo di pressione che associata a cicli di invaso-svaso rapidi potrebbe portare a sovrappressioni laterali sulle spalle dell'arco.

Questo aspetto andrà indagato e approfondito nell'ottica di un potenziamento dell'Impianto. In ogni caso non appaiono evidenze che possano influire sulla fattibilità, ma solo una eventuale necessità di migliorare l'impermeabilità delle spalle per ridurre il potenziale flusso d'acqua in ingresso, fino alla linea di tenuta.

L'approfondimento di analisi in fase di progettazione esecutiva dovrà essere esteso anche a tutte le spalle, sia verso sinistra che verso destra, per indagare sull'eventuale presenza di fratture e vie d'acqua preferenziali oltre che analizzare lo stato di salute dei trattamenti eseguiti con la realizzazione delle opere.

### 5.1.4. DIGA 2 IN MURATURA A GRAVITA' CON SPERONI

La Diga 2 in muratura a gravità con speroni si presenta in buone condizioni e le misure di monitoraggio non presentano elementi significativi di allarme, nell'ambito dell'attuale esercizio.

Nell'ambito di un cambio del regime di esercizio, le misure clinometriche richiedono un approfondimento, specie per i dati rilevati nei conci 9, 10, 11 e 12. È pensabile che la anomalia registrata rispetto ai conci adiacenti possa essere attribuita alla presenza della faglia, nonostante la bonifica del piano di posa, eseguita in sede di realizzazione.

L'impressione è che questa apparente anomalia non sia tale da mettere in dubbio la fattibilità del Progetto di Potenziamento, anche se potrebbero essere necessari locali lavori di miglioramento della fondazione, con trattamenti e/o con locali diaframature, presumibilmente corte.

Potrebbe avere senso legare anche solo localmente la diaframmatura a una geomembrana, per migliorare la tenuta tra diaframmi e paramento.

Si osserva che appena a valle della Diga 2 si trova un pendio abbastanza ripido, in parte su calcari e in parte, forse verso o oltre l'estremità meridionale della diga, su flysch. Crediamo importante, nell'ambito di lavori di potenziamento dell'impianto, investigare le condizioni del pendio rispetto alla filtrazione. L'installazione di alcuni piezometri e di punti fissi per il rilievo topografico è raccomandabile.

Anche in questo caso, se da un lato non sembrano esistere evidenze di criticità rispetto alla fattibilità, potrebbe essere necessario eseguire lavori locali per il miglioramento della tenuta o più in generale del controllo delle filtrazioni.

### 5.1.5. DIGA 3 - IN MURATURA A SECCO

La Diga 3 in pietrame a secco si presenta in buone condizioni e le misure di monitoraggio

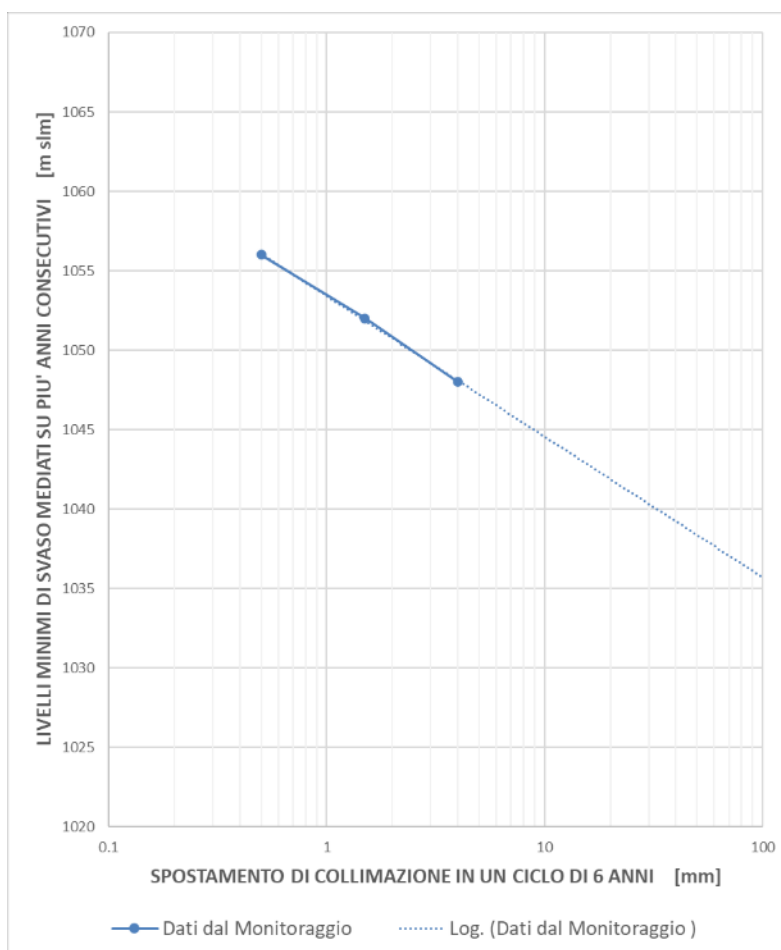
non presentano elementi significativi di allarme, nell'ambito dell'attuale esercizio.

Esistono tuttavia 2 elementi che meritano attenzione, ossia la deriva delle misure di collimazione, che a distanza di 60 anni dall'entrata in esercizio, non sembrano diminuire e le misure delle perdite raccolte in sponda destra, che sono aumentate rispetto ai valori nella prima metà di vita dell'opera.

Per quanto riguarda le misure di collimazione una estrapolazione lineare nel diagramma semilogaritmico di Figura 5-2 suggerisce che all'abbassarsi dei livelli di invaso, al di sotto della quota 1045 m slm, potrebbero nascere significativi spostamenti verso valle. È pensabile che, specie se si volesse utilizzare tutta la potenzialità del serbatoio fino alle quote più basse come indicato in Figura 5-1, sarebbe necessario presumibilmente intervenire sulla tenuta della fondazione, approfondendo il taglione, con una diaframmatura, o adottando provvedimenti equivalenti. Anche in questo caso potrebbe avere senso migliorare la tenuta lungo il contatto diaframma-paramento di monte con una geomembrana.

Un provvedimento di questo tipo recherebbe benefici anche rispetto alle filtrazioni, in quanto consentirebbe di allungare i percorsi di filtrazione verso i drenaggi e le uscite, limitando i gradienti e il potenziale pericolo che si instaurino fenomeni evolutivi sotto ai maggiori carichi applicati. Non va dimenticato che è stato osservato una significativa reattività delle perdite, rispetto a repentini e veloci cambi di livello dell'invaso, cosa implicitamente inclusa nello schema di pompaggio proposto.

Complessivamente, i due elementi qui analizzati non appaiono incompatibili con la fattibilità dell'opera, ma richiedono adeguate attenzioni in fase di progettazione, per una loro migliore definizione e individuazione dei sistemi di controllo ottimali.



**Figura 5-2 - Invaso di Montagna Spaccata. Correlazione tra incrementi dei valori di collimazione e livelli minimi di invaso. La curva di estrapolazione lineare potrebbe essere eccessivamente conservativa allontanandosi dai valori misurati**



## **5.2. CASTEL SAN VINCENZO**

### **5.2.1. CONDIZIONI GENERALI**

Le condizioni generali di funzionamento della Diga di Castel San Vincenzo e dell'invaso associato sono buone, dopo circa 60 anni di esercizio. In particolare, tutte le misure, nelle attuali condizioni di esercizio, tendono a stabilizzarsi su un andamento asintotico.

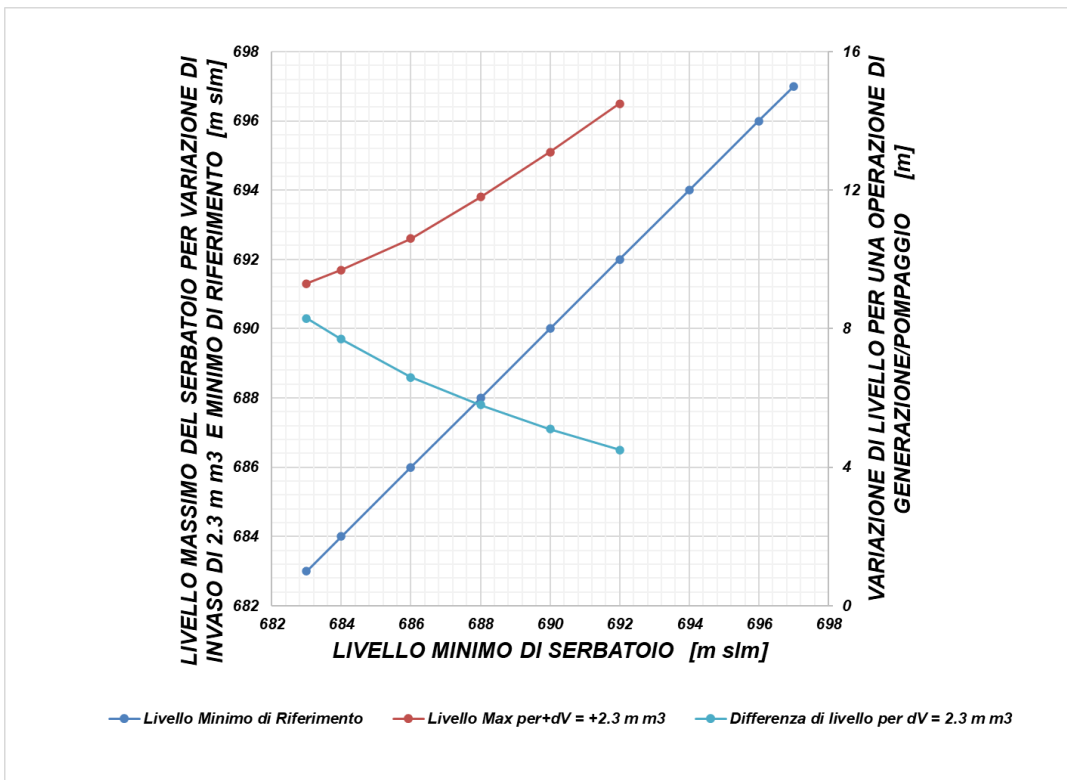
Come discusso, è stata notata una forte dipendenza delle misure dai livelli di invaso e dalle condizioni di esercizio, con risposta che si mantiene in genere lineare nelle condizioni che sono state applicate in questo ultimo decennio. In ogni caso livelli superiori a 693 – 696 m slm e inferiori a 683-684 m slm, in funzione del tipo e ubicazione della misura, tendono a far uscire la risposta dal campo di linearità.

Recenti verifiche della vulnerabilità sismica della diga sono risultate positive, nel senso che l'opera è stata giudicata idonea a sopportare le azioni sismiche di progetto, secondo le più recenti Normative.

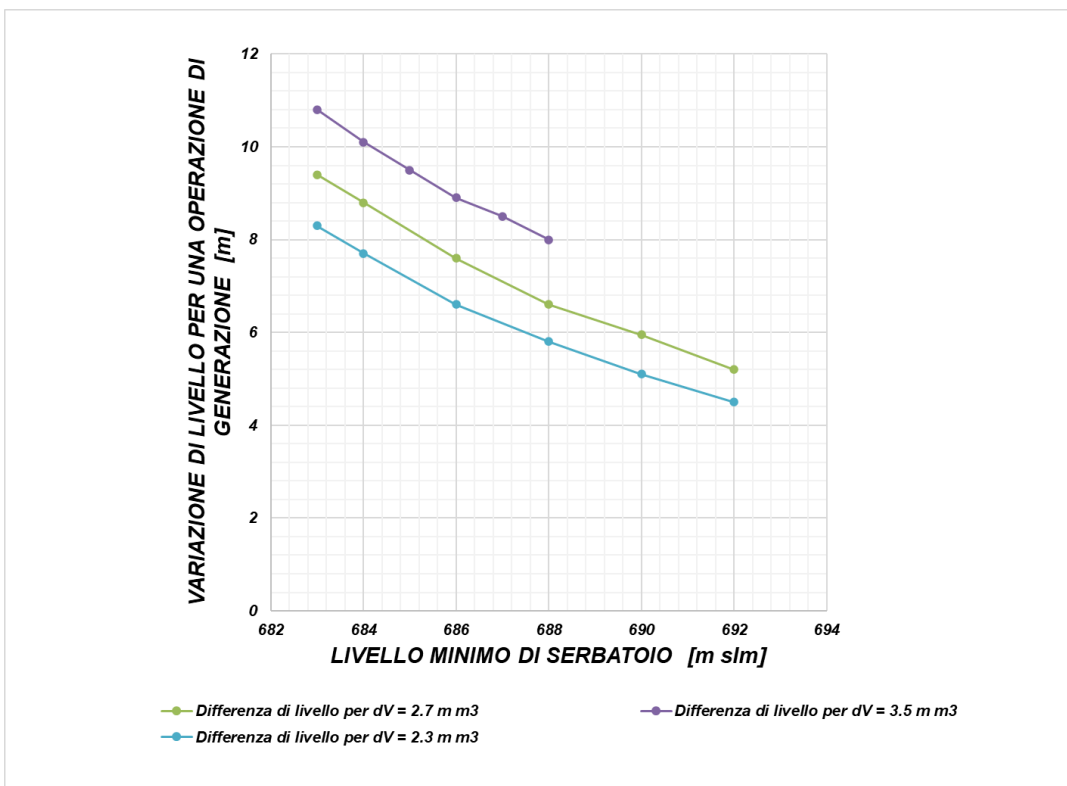
### **5.2.2. ENTITA' DELLO SVASO RAPIDO APPLICATO**

In base alle considerazioni espone nella Relazione Tecnica Generale, l'Impianto che si propone si basa su un volume scambiato tra un serbatoio e l'altro di circa 2.2 milioni di m<sup>3</sup>.

I diagrammi di Figura 5-3, offrono un quadro riassuntivo dei livelli corrispondenti a tale variazione di volume, per l'invaso di Castel San Vincenzo, unitamente alla corrispondente variazione di livello nel lago. Si osserva che le variazioni di livello per un volume di 2.2 m<sup>3</sup>, oscillano nell'intervallo 4 -7 m. Con volumi scambiati maggiori, di 2.7 e 3.5 m<sup>3</sup>, riportati come riferimento nel Grafico B), le variazioni di livello risultano nell'ordine di 7.5 – 10.5 m.



A)



B)

Figura 5-3 - Invaso di Castel San Vincenzo. A) Livelli massimo e minimo (scala a sinistra) e relativa variazione di livello (scala a destra) per un volume di 2.3 m³ e B) Diagrammi di variazione di livello per un volume di 2.3, 2.7 e 3.5 m³

### 5.2.3. CONSIDERAZIONI SUL COMPORTAMENTO DEL CORPO DIGA

Dal diagramma di Figura 5-3 si può osservare che, usando tutto il potenziale disponibile,

ovvero variando il livello massimo da 693.8 a 696.5 m slm, il livello minimo si mantiene sopra la quota 683 m slm, ossia una quota tale per cui il comportamento della maggior parte dei piezometri e manometri di monte si mantiene lineare.

Va notato tuttavia che la portata di trasferimento dell'acqua da un serbatoio all'altro è nell'ordine di 90 m<sup>3</sup>/s generazione/80 m<sup>3</sup>/s in pompaggio, per 7-8 ore, con frequenza teoricamente quotidiana, mentre nell'esercizio odierno la portata di scarico è mediamente nell'ordine di 3-4 m<sup>3</sup>/s, con punte di 6 m<sup>3</sup>/s. Le nuove portate sono dunque più grandi delle attuali e quindi la variazione mediamente attesa in una giornata, nell'esercizio attuale richiederebbe 10-20 giorni.

Le condizioni di svaso rapido applicate nella nuova configurazione sono dunque estremamente più gravose di quelle esistenti.

Sono state condotte alcune analisi di stabilità in forma preliminare, per verificare comunque quali margini di sicurezza siano associati a questa situazione.

Le verifiche sono state condotte all'equilibrio limite, con il Programma SlopeW di GEOSLOPE. È stato impiegato il Metodo di Morgenstern-Price su superfici circolari generate automaticamente dal programma, entro limiti imposti.

È stata analizzata una sezione tipo, sottoposta a 2 diverse condizioni di svaso, ossia invaso iniziale alla 696.5 e svaso di 7.5 m e invaso iniziale alla 694 m slm e svaso di 10.5 m. In considerazione delle misure disponibili, le condizioni di svaso sono state conservativamente modellate con 2 diverse piezometriche, una alta, al livello di massimo invaso, per i materiali di fondazione e una che segue lo svaso all'esterno, mentre all'interno del corpo diga resta alta, per i contronuclei. Queste assunzioni rappresentano una estremizzazione delle condizioni di carico e possono essere conservativamente accettate al livello preliminare del presente studio.

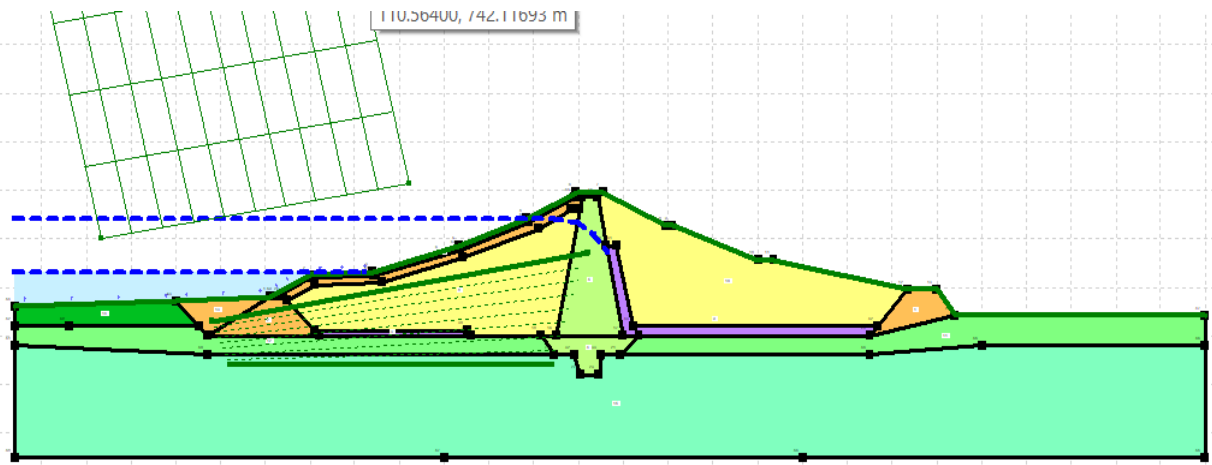
Le effettive condizioni di carico andranno modellate in modo più raffinato, nelle successive fasi della progettazione, una volta stabilito con più precisione le sequenze operative degli invasi e ricorrendo a analisi di filtrazione nel transitorio per la determinazione delle effettive sovrappressioni che si possono generare.

La geometria e la distribuzione dei materiali, adottate nelle analisi, è presentata in Figura 5-4. Da notare che per la verifica a svaso rapido si è conservativamente adottato il solo primo tratto dell'inviluppo bilineare, che corrisponde alla resistenza drenata,

I Fattori di Sicurezza preliminari, pur con le ipotesi cautelative adottate per i carichi e le resistenze, sono risultati nell'ordine di  $F_s = 1.423$ , con svaso 694 -683 m slm, e  $F_s = 1.543$ , con svaso 696 - 688 m slm (Figura 5-5 e Figura 5-6). Tali valori offrono ampi margini di sicurezza come del resto logico attendere tenuto conto della geometria della diga, compatibili con condizioni di normale esercizio, ossia molto maggiori di quelli accettati normalmente per la condizione di svaso rapido. Si noti che anche estremizzando la possibilità di svaso, ossia portandolo tra 697 e 683 m slm, con volumi associati superiori a 3.5 milioni di m<sup>3</sup>, il fattore di sicurezza si manterrebbe ancora al di sopra dell'unità.

I risultati ottenuti consentono di mantenere valori di sicurezza superiori all'unità nel momento in cui si aggiunge la sollecitazione sismica. In queste condizioni, sono potenzialmente attendibili quindi trascurabili, o al massimo modeste, deformazioni sismiche del contronucleo di monte, che non pregiudicano il comportamento globale e la funzionalità della diga di Castel San Vincenzo.

Indipendentemente da questi risultati, rimane comunque la raccomandazione di prevedere lavori di manutenzione straordinaria della protezione del paramento di monte dell'opera, nell'ambito dei lavori per il nuovo schema. Questo aspetto dovrà essere studiato approfonditamente e finalizzato, nell'ambito delle prossime fasi di progettazione, tenendo conto dei livelli di svaso, alle varie quote, in modo più dettagliato di quanto non sia stato eseguito in questa sede.



Materials

- Contronucleo
- Nucleo
- Fondazione Superficiale
- Fondazione Profonda
- Pietrame
- Riempimento
- Filtro

gamma	c	f	cu
kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	kPa
21.5	0	38	
21	5	30	
19.5	0	22	15+0.25 sigmav
19.5	15	24	350
21.5	0	40	
19.5	10	24	
20	0	33	

**Figura 5-4 - Invaso di Castel San Vincenzo. Verifiche di Stabilità Preliminari della Diga. Geometria e materiali**

Analysis Explorer

KeyIn Analyses

- Castel S.Vincenzo Dam
  - Slope Stability
  - Slope Stability (obis)
  - Slope Stability 694-683**
  - Slope Stability 696-688
  - Slope Stability 697-683

Solve Manager

Start Stop

Analysis Name	Status
Slope Stability	Solved 12/6/2021 1:27:46 AM
Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:27:48 AM
Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:45:46 AM
Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:45:46 AM
<input checked="" type="checkbox"/> Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:46:10 AM

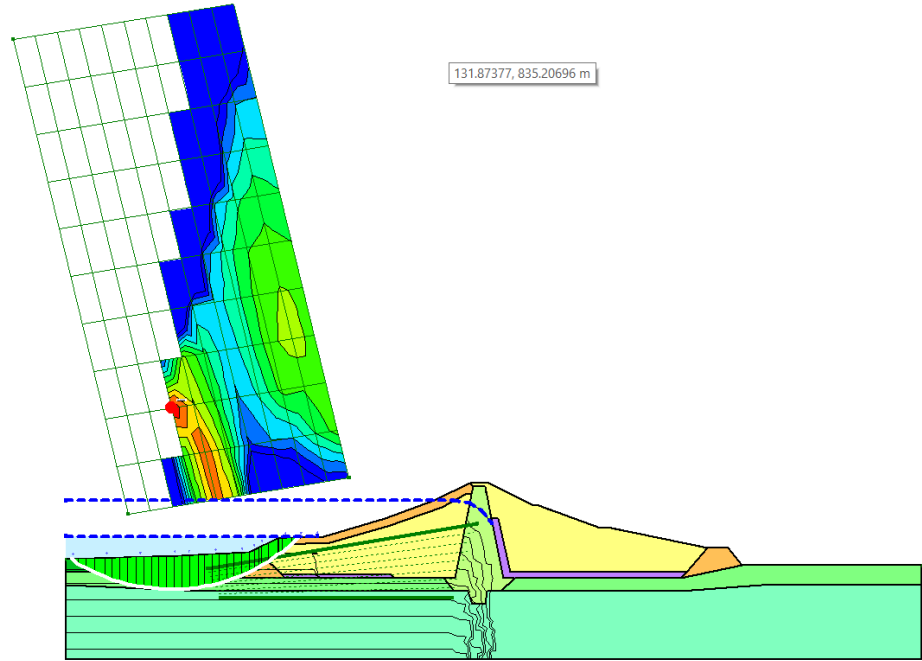
Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

231  Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Detail
231	1.423	66.774	722.77	56.207	Critical
142	1.524	77.205	709.2	43.076	
43	1.547	80.786	694.5	28.226	
230	1.634	66.774	722.77	55.237	
141	1.665	77.205	709.2	41.949	
240	1.712	73.624	723.9	56.859	
42	1.732	80.786	694.5	27.038	
387	1.767	104.29	744.22	80.217	
52	1.792	87.636	695.62	29.029	
339	1.796	70.043	738.6	71.77	
486	1.816	100.71	758.92	94.917	
297	1.823	114.72	730.64	66.641	



**Figura 5-5 - Invaso di Castel San Vincenzo. Verifiche di Stabilità Preliminari della Diga. Svasso rapido tra le quote 694 e 683 m slm**

Analysis Explorer

KeyIn Analyses

- Castel S.Vincenzo Dam
  - Slope Stability
  - Slope Stability (obis)
  - Slope Stability 694-683
  - Slope Stability 696-688**
  - Slope Stability 697-683

Solve Manager

Start Stop

Analysis Name	Status
Slope Stability	Solved 12/6/2021 1:27:46 AM
Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:27:48 AM
Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:45:46 AM
Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:45:46 AM
<input checked="" type="checkbox"/> Slope Stabili...	Solved 12/6/2021 1:46:10 AM

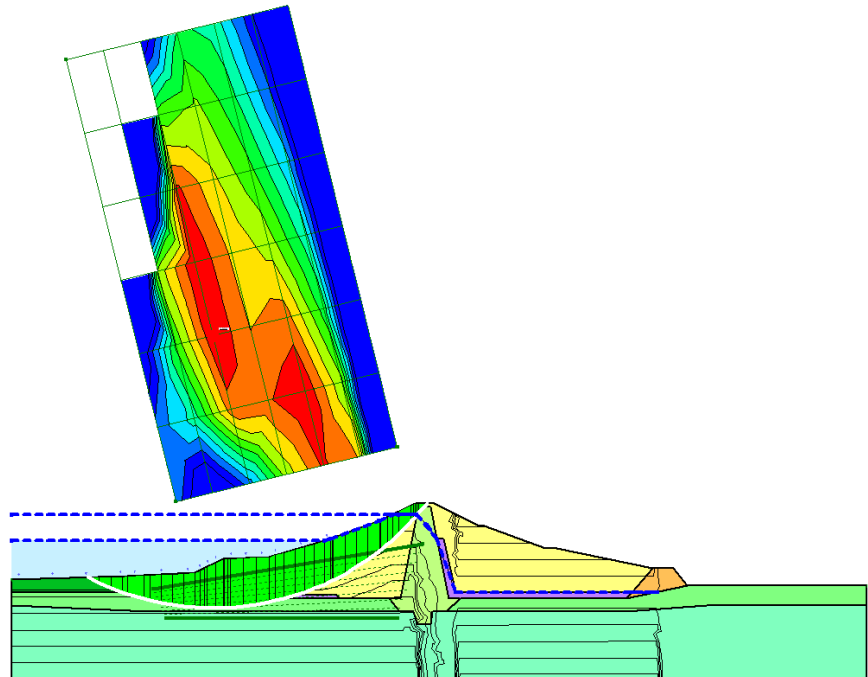
Slip Surfaces

All slip surfaces

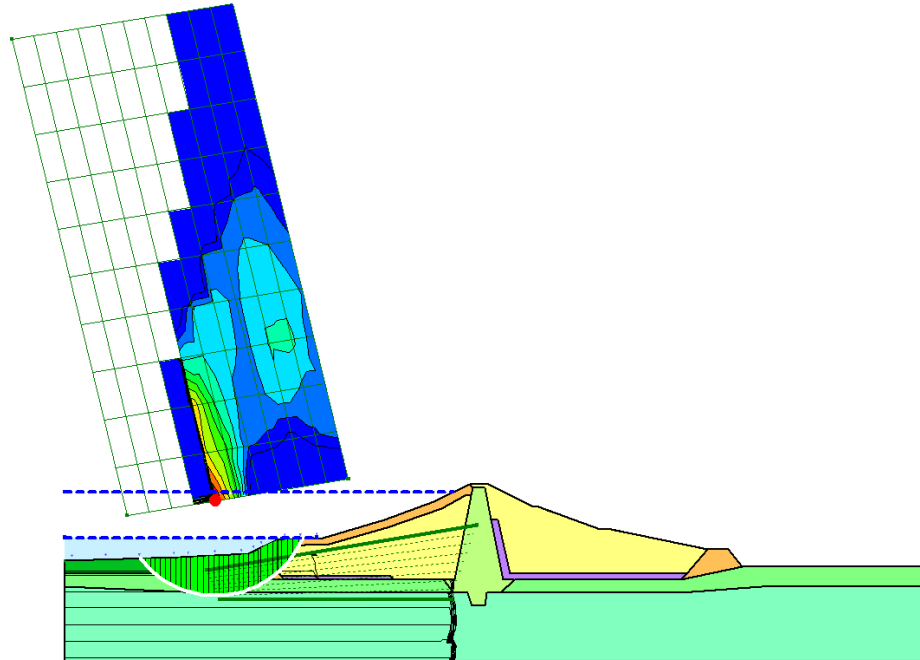
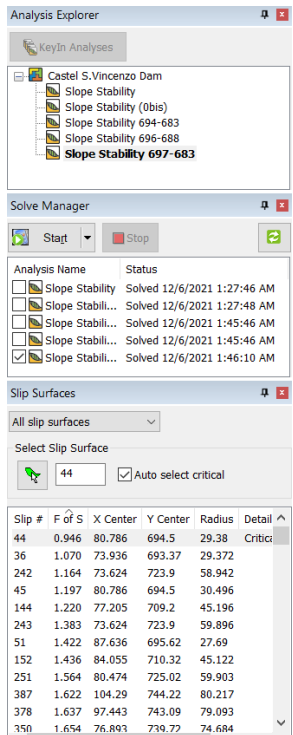
Select Slip Surface

151  Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Detail
151	1.543	96.667	751.33	84.261	Critical
100	1.546	125.33	734.17	52.553	
214	1.549	91	774.17	107.33	
152	1.552	96.667	751.33	85.823	
153	1.599	96.667	751.33	87.333	
215	1.610	91	774.17	108.78	
277	1.619	85.333	797	130.41	
37	1.625	131	711.33	29.099	
98	1.657	113.83	731.33	65.42	
90	1.680	102.33	728.5	64.5	
213	1.681	91	774.17	105.82	
216	1.682	91	774.17	110.17	



**Figura 5-6 - Invaso di Castel San Vincenzo. Verifiche di Stabilità Preliminari della Diga. Svasso rapido tra le quote 696 e 688 m slm**



**Figura 5-7 - Invaso di Castel San Vincenzo. Verifiche di Stabilità Preliminari della Diga. Svasso rapido tra le quote 697 e 683 m slm**

### 5.3. CONCLUSIONI PRELIMINARI CIRCA L'UTILIZZABILITÀ DEGLI IMPIANTI ESISTENTI NEL NUOVO SCHEMA

Alla luce delle analisi svolte e dei risultati ottenuti, il comportamento delle opere appare compatibile con l'impiego delle stesse all'interno del nuovo schema di potenziamento dell'Impianto, pur con l'aggravio di sollecitazione legato all'applicazione di cicli di svasso e invaso molto ampi e molto più rapidi di quanto fino a oggi sperimentato dalle opere.

E' necessario quindi prendere in considerazione con studi specifici gli effetti dei livelli di invaso massimi e minimi, e gli effetti della velocità di invaso e svasso.

Solo a seguito degli studi specifici di cui sopra potrà essere verificata la eventuale necessità di eseguire alcuni lavori di manutenzione straordinaria, come ad esempio un aumento della tenuta delle spalle e della fondazione nell'invaso di Montagna Spaccata o il riordino della protezione del paramento della Diga di Castel San Vincenzo, che a oggi potrebbero apparire opportuni.

Una integrazione più o meno estesa della rete di monitoraggio esistente potrà quindi essere prevista, nell'ambito e nei tempi compatibili con i nuovi lavori.