



# L'ACQUA



ISSN 1125-1255 - Poste Italiane S.p.A. - Spedizione in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (convertito in L. n. 46 del 27/02/04) art. 1 comma 1 - D.C.B. ROMA



**Direttore Responsabile**

*Armando Brath*

direttore@idrotecnicaitaliana.it

**Comitato Tecnico-Scientifico**

*Renata Archetti*

*Lorenzo Bardelli*

*Marcello Benedini*

*Giuseppe Bortone*

*Bruno Brunone*

*Paolo Carta*

*Rosella Caruana*

*Carlo Ciaponi*

*Pierluigi Claps*

*Maria Cristina Collivignarelli*

*Bernardo De Bernardinis*

*Paolo De Girolamo*

*Roberto Deidda*

*Vittorio Di Federico*

*Renato Drusiani*

*Giorgio Federici*

*Francesco Federico*

*Marco Franchini*

*Gabriele Freni*

*Maurizio Giugni*

*Andrea Goltara*

*Salvatore Grimaldi*

*Ruggiero Jappelli*

*Goffredo La Loggia*

*Stefano Lanzoni*

*Francesco Macchione*

*Beatrice Majone*

*Antonio Massarutto*

*Mario Rosario Mazzola*

*Giovanni Menduni*

*Alberto Montanari*

*Michele Mossa*

*Francesco Napolitano*

*Francesco Puma*

*Roberto Ranzi*

*Enrico Rolle*

*Giuseppe Rossi Paradiso*

*Paolo Salandin*

*Maria Giovanna Tanda*

*Attilio Toscano*

*Lucio Ubertini*

*Massimo Veltri*

*Pasquale Versace*

**Responsabile della Redazione**

*Olimpia Arcella*

328 1205467

arcella.acqua@idrotecnicaitaliana.it

**Segretaria di Redazione**

*Caterina Porfidia*

320 7872904

acqua@idrotecnicaitaliana.it

**Impaginazione e grafica**

*PixelStudio*

*di Michele Massara*

pixelstudio@fastwebnet.it

**Archivio fotografico**

*Giorgio Carlini*, ACQUE SpA, Pisa

*Mara De Donato*, GORI SpA,

Ercolano (NA)



**In copertina: Vernal Falls, Yosemite National Park (California). Foto di Roberto Jappelli.**

**Editore**

**Associazione Idrotecnica Italiana**

Via di Santa Teresa, 23 - 00198 ROMA

www.idrotecnicaitaliana.it

e-mail: acqua@idrotecnicaitaliana.it

RIVISTA ASSOCIATA

Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 15595 del 21 agosto 1974

Iscrizione al ROC n. 4201 del 29 agosto 2002

Spedizione in abbonamento postale 70% - ROMA

**Le opinioni e i contenuti espressi dagli Autori non impegnano la Direzione**

La riproduzione delle illustrazioni e degli articoli pubblicati dalla rivista è riservata e non può avvenire senza l'autorizzazione della Casa Editrice.

Finito di stampare nel mese di marzo 2020 da Romana Editrice srl - Via dell'Enopolio, 37 - 00030 San Cesareo (RM)



Ciferri Flavia, Faggin Daniele, Previtali Riccardo\*

## IL NUOVO SCHERMO IMPERMEABILE DELLA DIGA DEL GIOVERETTO.

*Lavori eseguiti ed analisi del comportamento dell'opera*

## THE NEW WATERPROOF SCREEN OF THE GIOVERETTO DAM.

*Work Carried out and Analysis of the Behavior of the Work*

L'impianto idroelettrico di Plima Lasa (Val Martello, BZ) viene alimentato dalle acque derivate dal bacino sotteso dalla diga a speroni del Gioveretto. Le misure delle sottopressioni, regolarmente eseguite dall'entrata in esercizio dell'opera, hanno mostrato evidenti criticità legate agli elevati battenti idraulici sotto gli speroni 12, 13 e 14. Gli interventi di pulizia delle canne drenanti eseguiti alla fine del 2013, sono risultati solo parzialmente risolutivi. Per tale motivo si è reso necessario procedere alla realizzazione di un nuovo schermo impermeabile. Lo schermo è stato eseguito con iniezioni cementizie dal cunicolo di ispezione con il metodo G.I.N. (GroutingIntensityNumber) che limita il quantitativo di miscela in funzione della pressione raggiunta. Lo schermo drenante esistente è stato integrato con nove fori verticali per ciascuno sperone, profondi di circa 9 m dal contatto roccia-calcestruzzo. Le perforazioni sono state eseguite con il metodo Wassera che utilizza acqua ad alta pressione per imprimere la vibrazione al martello di perforazione. Con il nuovo schermo di impermeabilizzazione le sottopressioni si sono ridotte ai livelli registrati durante i primi anni di esercizio dello sbarramento.

**Parole chiave: Gioveretto, G.I.N, Wassera.**

The Plima Lasa hydroelectric power plant (in Val Martello, BZ) is powered by the waters derived from the basin of the Gioveretto dam. The uplift pressures, regularly measured since the dam's construction, have shown significant high piezometric level, under the buttresses 12, 13 and 14. The cleaning operations of the pipes carried out at the end of 2013 were only partially conclusive. For this reason, a new grout curtain (for water tightness) has been designed. The curtain was obtained by injections from the inspection gallery using the G.I.N. method. (GroutingIntensityNumber) that limits the amount of grout in function of the pressure reached. The existing drainage pipes was integrated with 9 vertical holes for each buttress deep approximately 9 m from the rock-concrete contact, aligned along the axis of the gallery. The drilling was achieved by the Wassera method that uses high pressure water to impress vibration at the drill hammer. The grout curtain allowed a significant reduction of the uplift pressure, bringing them back to the levels recorded during the first years of the reservoir operation.

**Keyword: Gioveretto, G.I.N, Wassera.**

### 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La diga del Gioveretto, costruita tra il 1954 e il 1956, sbarrata il torrente Plima, affluente di destra dell'Adige, nel comune di Martello (BZ); il serbatoio (circa 20 milioni di m<sup>3</sup>) permette la regolazione dell'energia nell'impianto idroelettrico di Plima-Lasa.

La diga, ad asse rettilineo, è costituita da 17 speroni a gravità alleggerita (interasse 18 m) e da due spalle a gravità massiccia. L'altezza è pari a 82 m; la quota del coronamento è 1851.5 m s.m.

Lo scarico principale è una soglia sfiorante ubicata in sponda sinistra, intercettata da una paratoia a ventola automatica; la portata complessiva esitabile dagli scarichi è 542 m<sup>3</sup>/s.

Il drenaggio in fondazione è affidato a fori praticati dal cunicolo inferiore (9 fori equidistanti 2 m e spinti in fondazione per circa 15 m dal contatto roccia-calcestruzzo) e dalla cavità disposta nell'espansione a monte dello sperone (4 fori di lunghezza 2 m circa).

\*Ciferri F., ingegnere, Previtali R., ingegnere - CESI spa, via Rubattino 54 Milano, Italy; riccardo.previtali@cesi.it; flavia.ciferri@cesi.it; Faggin D., ingegnere presso Alperia Greenpower srl, via Claudia Augusta 161, Bolzano, Italy e-mail: danielle.faggin@alperia.eu

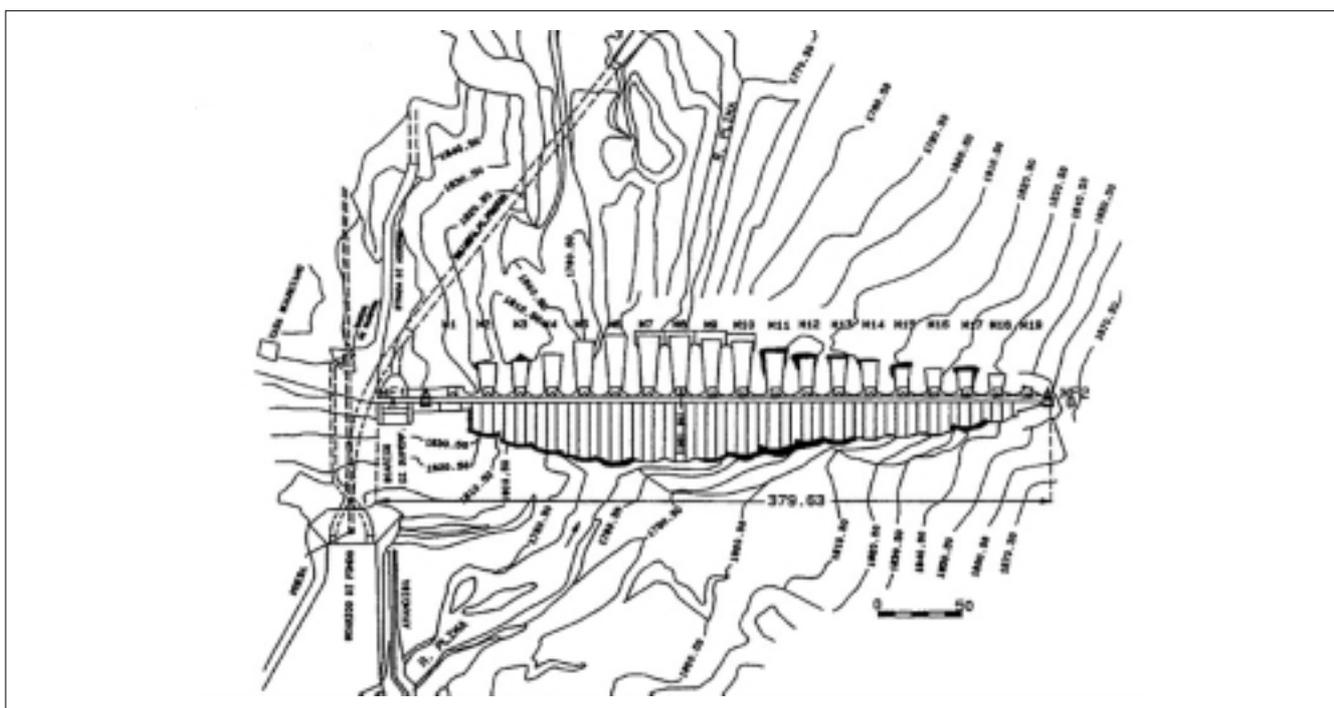


**Figura 1 - La Diga del Gioveretto.**

In ogni foro ( $\phi 55$  mm nel calcestruzzo e  $\phi 36$  mm nella roccia) è stato cementato un tubo al fine di raccogliere le eventuali acque di drenaggio e misurarne la portata e la pressione.

Lungo l'elevazione il drenaggio è assicurato da quattro canne  $\phi 200$  mm disposte ad interasse di 2.5 m, a lato delle cavità; le acque di filtrazione sono convogliate dal cunicolo d'ispezione allo sperone centrale.

Su tutta la sezione di sbarramento la roccia di fondazione è costituita da banchi di ortogneiss diretti Est-Ovest (incl. di  $45-50^\circ$  circa verso sud), che, a reggipoggio, assicurano la migliore condizione di giacitura sia del punto di vista statico che da quello di tenuta.



**Figura 2 - Planimetria dell'opera.**



## 2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO DELL'OPERA

La diga è dotata di una rete di monitoraggio estesa ed articolata. Rispetto alla configurazione risalente ai primi anni di esercizio, la rete è stata integrata dal sistema automatico di acquisizione installato nella prima metà degli anni '90. Gli interventi di razionalizzazione delle misure in epoca recente, hanno dato al sistema di monitoraggio la sua struttura attuale, consentendo il rilevamento delle grandezze idro-meteo, sottopressioni, spostamenti orizzontali della struttura (19 mire mobili e 5 pendoli diritti) e della fondazione (1 pendolo rovescio), spostamenti verticali, rotazioni, deformazioni della fondazione, apertura e scorrimento dei giunti nonché l'apertura delle fessure.

Il comportamento deformativo dell'opera è risultato sempre regolare (*Figura 5*); le perdite totali presentano un andamento generalmente crescente con il livello di invaso; i dreni con gli apporti più significativi, seppur modesti in valore assoluto, riferiscono agli speroni 4, 5, 12 e 13 (*Figura 7*).

Solamente le misure delle sottopressioni hanno evidenziato criticità legate agli elevati livelli piezometrici rilevati soprattutto in sponda destra (speroni 12, 13 e 14), dove i battenti massimi misurati hanno superato il 95% del carico idrostatico fin dai primi anni di esercizio (*Fig. 6*).

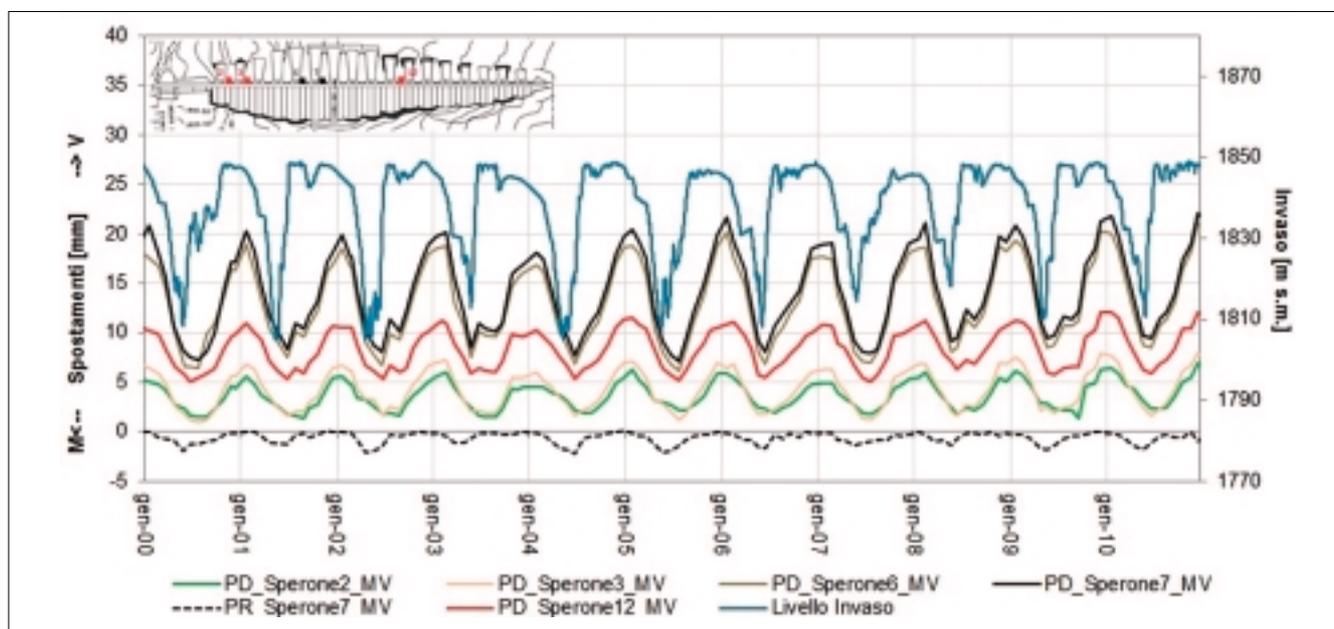


Figura 5 - Spostamenti Monte-Valle registrati dai pendoli diritti installati sugli speroni 2,3,6,7 e 12 e dal pendolo rovescio installato sullo sperone 7 (anni 2000÷2010).

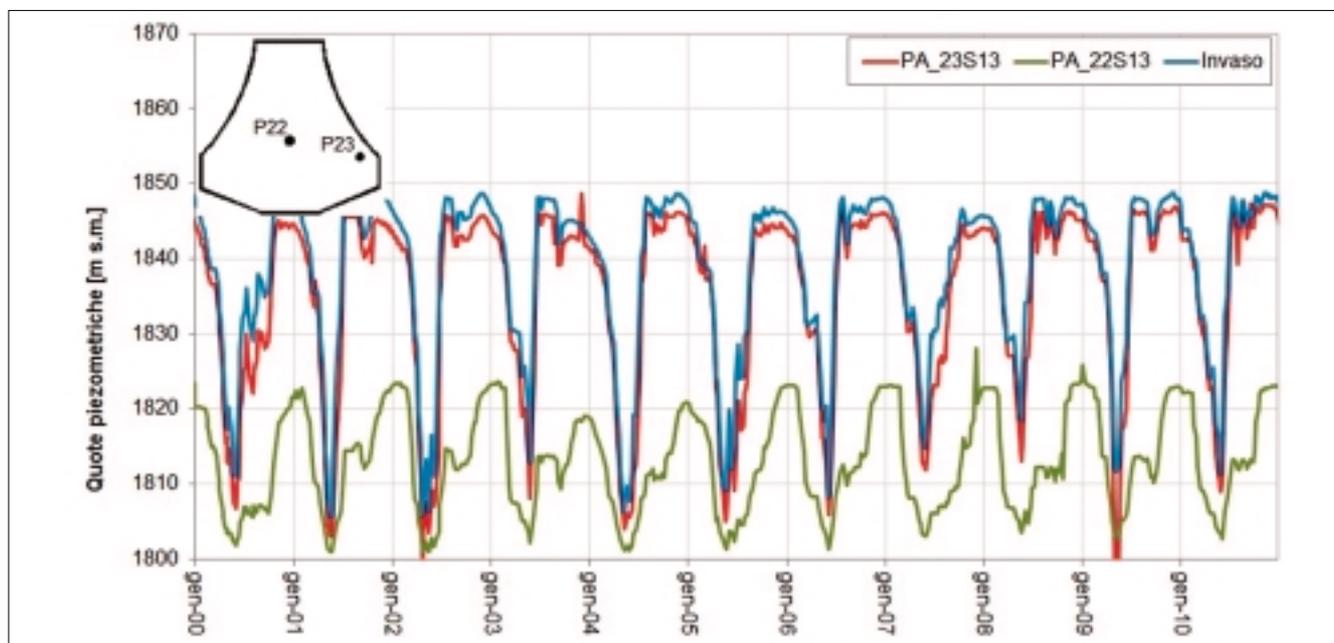
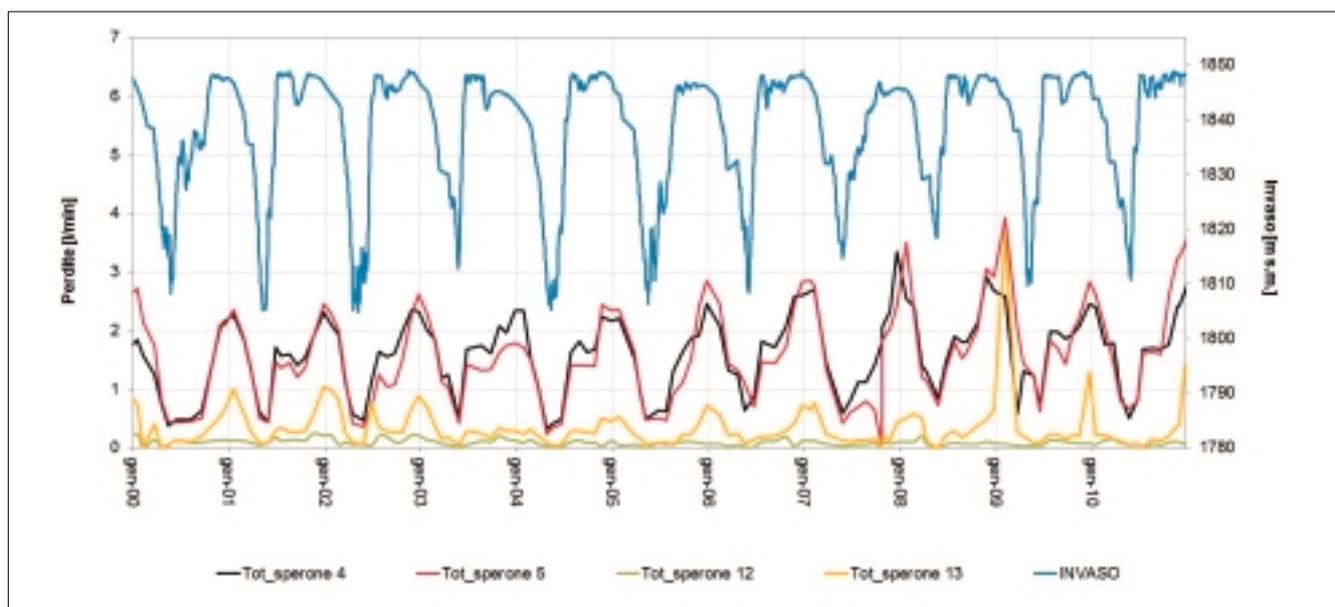


Figura 6 - Sperone 13 - Quote piezometriche misurate.



**Figura 7 - Perdite totali misurate dai dreni.**

Nel 1999 il Gestore ha commissionato ad I-SMES verifiche di stabilità allo scorrimento degli speroni 11, 12, 13 e 14; le verifiche sono state eseguite secondo il DM82 ricostruendo, per la sezione al contatto roccia-calcestruzzo, l'andamento delle sottopressioni misurate (*Figura 8*). Le verifiche con livello d'invaso alla massima regolazione (1850.5 m s.m.) furono positive.

### 3. PULIZIA DELLE CANNE DRENANTI ED INTERVENTI DI IMPERMEABILIZZAZIONE

Nella primavera 2011, è stata verificata la funzionalità dei dreni degli speroni 12, 13 e 14 (i più critici) che sono risultati completamente intasati. Nel novembre 2013 è stato programmato un intervento di ispezione e pulizia di tutti i dreni della diga tra lo sperone n. 2 e lo sperone n. 19; la pulizia è stata eseguita con idrolavaggio ad alta pressione (800 ÷ 1000 bar) utilizzando ugelli rotanti con getto d'acqua frontale e radiale.

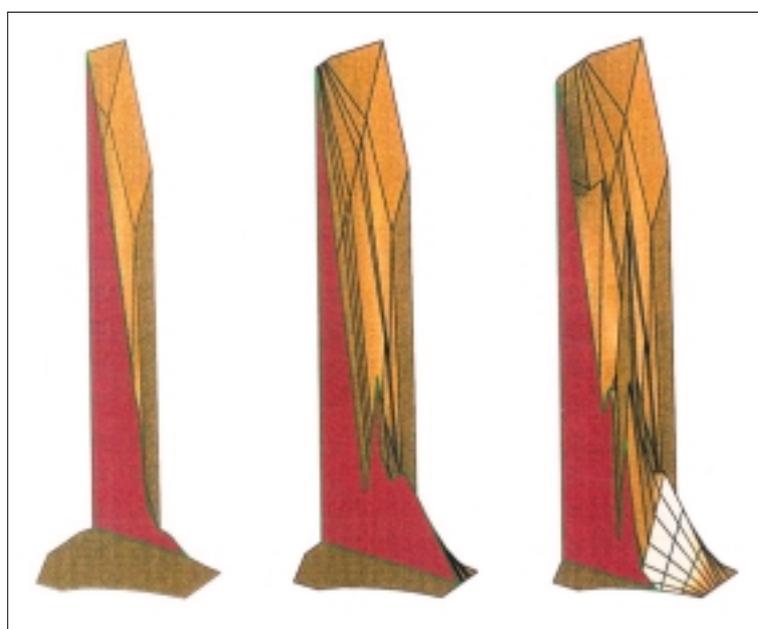
L'intervento ha riattivato le funzionalità dello schermo drenante esistente riportando l'operatività di quasi tutti i dreni alla loro lunghezza di collaudo eccezion fatta per i dreni degli speroni in destra dove le misure hanno continuato ad evidenziare battenti piezometrici elevati.

Pertanto è stato studiato un nuovo schermo di tenuta avente la duplice funzione di impermeabilizzazione della fondazione più profonda e di "cucitura" del contatto roccia-calcestruzzo laddove la roccia superficiale era maggiormente alterata e costituiva una possibile via preferenziale per i moti di filtrazione dell'acqua.

L'intervento è consistito nell'esecuzione di due file di iniezioni cementizie (una a monte e una a valle) tra loro compenstrate e spinte alla profondità di circa 6 m dal contatto roccia-calcestruzzo (*Figura 12*).

Le attività di cantiere sono iniziate nell'Ottobre 2014 con prove di permeabilità tipo Lugeon su n. 4 fori perforati a carotaggio continuo in corrispondenza degli speroni 13 e 14; durante le perforazioni sono state rilevate stratigrafia e valore di R.Q.D. (superiore al 90%).

Per definire le pressioni e i quantitativi di miscela a regime, si è proceduto all'iniezione dei primi fori. La misura degli assorbimenti fu superiore alle aspettative sebbene le prove di permeabilità avessero confermato la presenza

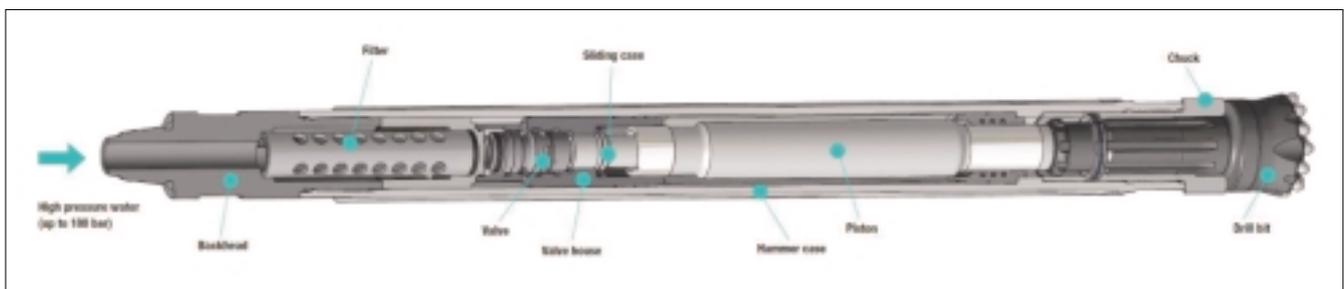


**Figura 8 - Superfici di interpolazione dei valori misurati delle sottopressioni (in rosso la sezione) – Sperone 13.**

di una roccia debolmente fratturata con assorbimenti di acqua molto limitati. Si decise perciò di prolungare la lunghezza delle perforazioni di ulteriori 3m. Il valore ottimale di miscela è stato individuato in 80 lt/m per la parte più superficiale; in profondità, per compensare la maggior lunghezza di perforazione, è stato invece adottato un quantitativo di 160lt/m.

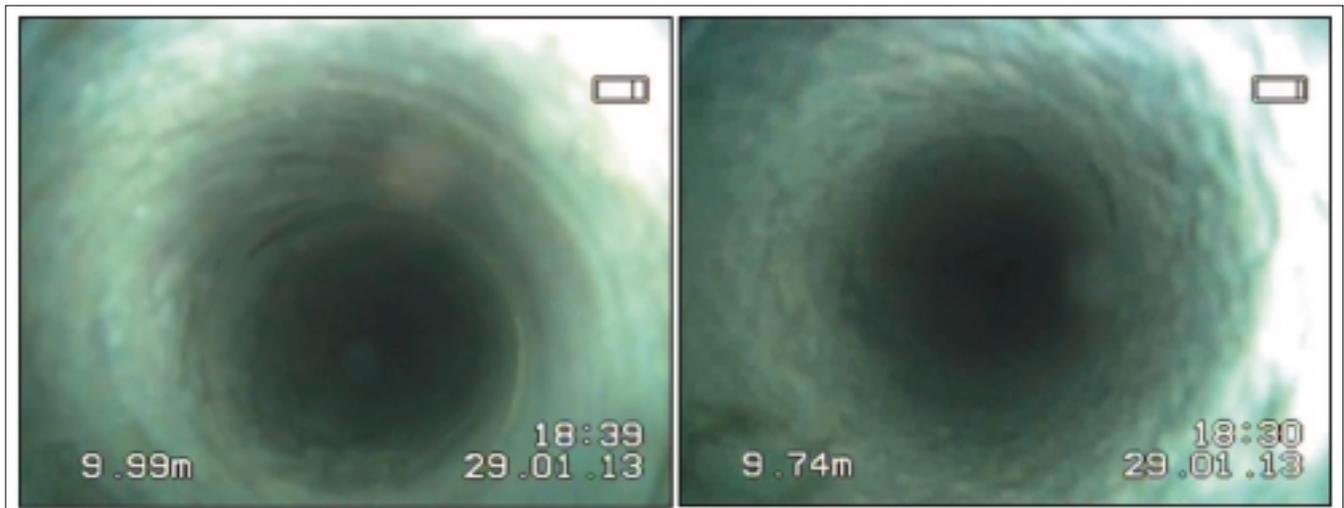
Le perforazioni sono state eseguite sia a carotaggio continuo sia con il metodo “Wassara”, che utilizza acqua ad alta pressione (fino a 180 bar) per imprimere la vibrazione al martello di perforazione; quando l’acqua esce dalla testa ha perso la sua energia e circola nel foro a bassa velocità come un normale fluido di perforazione. La stessa acqua viene poi utilizzata per convogliare i detriti di perforazione in superficie.

Le perforazioni per le iniezioni sono state eseguite con un martello Wassara W50  $\phi$ 64mm mentre le perforazioni per i dreni con un martello W 80  $\phi$ 95 mm.



**Figura 9 - Schema della sonda utilizzata per le perforazioni con metodo Wassara.**

I fori eseguiti con le due metodologie di scavo sono stati oggetto di videoispezione; i fori a carotaggio presentavano pareti levigate e pulite per effetto della rotazione del carotiere; i fori a distruzione pareti più rugose, ma altrettanto pulite (*Figura 10*).



**Figura 10 - Confronto tra il foro realizzato a carotaggio continuo (sx) e quello realizzato a distruzione (dx).**

Per le perforazioni sono state utilizzate due sonde azionate alternativamente e posizionate nello sperone 13 e nello sperone 14. Operativamente venivano perforati 2 fori sullo sperone 13 e contemporaneamente iniettati 2 fori sullo sperone 14; successivamente si invertivano le operazioni cercando di dare la precedenza ai fori di valle rispetto a quelli di monte.

I fori sono stati iniettati risalendo dal basso verso l’alto in tratte da 2m; in prossimità del contatto roccia-calcestruzzo il passo è stato ridotto ad 1 m.

La gestione delle iniezioni è avvenuta in maniera automatizzata con il metodo G.I.N. (GroutingIntensityNumber) che limita il quantitativo di miscela da iniettare in funzione della pressione raggiunta nel corso dell’iniezione nel rispetto della curva G.I.N. prefissata e impostata sulla centralina che comanda gli iniettori.

Il valore di intensità di iniezione G.I.N., definito per metro di foro, è stato fissato pari a:  $I = P \cdot V = 1200 \text{ bar} \cdot \text{lt/m}$  (intensità di iniezione media tipica per una roccia di buone caratteristiche). Con “P” si indica la pressione di iniezione; con “V” il volume di iniezione al metro di foro.

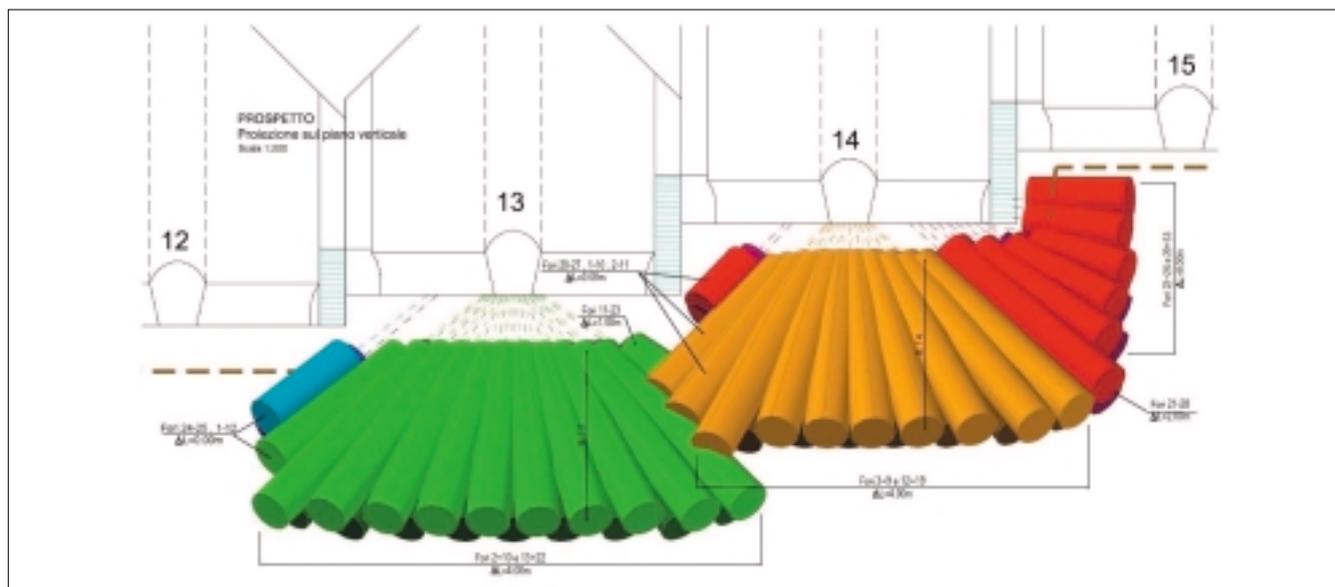


Figura 11 - Prospetto delle iniezioni impermeabilizzanti - proiezione sul piano verticale.

La combinazione dei due metodi non convenzionali per la perforazione in roccia (metodo Wassera) e per l'iniezione della miscela cementizia (Metodo G.I.N.) ha ridotto significativamente i tempi delle lavorazioni.

#### 4. RIPRISTINO DELLO SCHERMO DI DRENAGGIO E INSTALLAZIONE DI NUOVI PIEZOMETRI

Il progetto prevedeva anche l'esecuzione di un nuovo schermo di drenaggio per gli speroni 12, 13, 14 e 15 a seguito dell'intasamento dei dreni esistenti dovuto alle operazioni di iniezione.

Il nuovo schermo è stato eseguito con 9 fori verticali per ciascuno sperone profondi circa 9 m al di sotto del contatto roccia-calcestruzzo (Figura 12 e Figura 13). I dreni sono allineati lungo l'asse del cunicolo e sono posti ad un interasse di circa 2m.

Le perforazioni sono state eseguite in parte a carotaggio continuo ( $\phi$  92mm), per verificare l'integrità del calcestruzzo di fondazione e della roccia, e in parte a rotopercolazione ad acqua con metodo Wassara ( $\phi$  94mm).

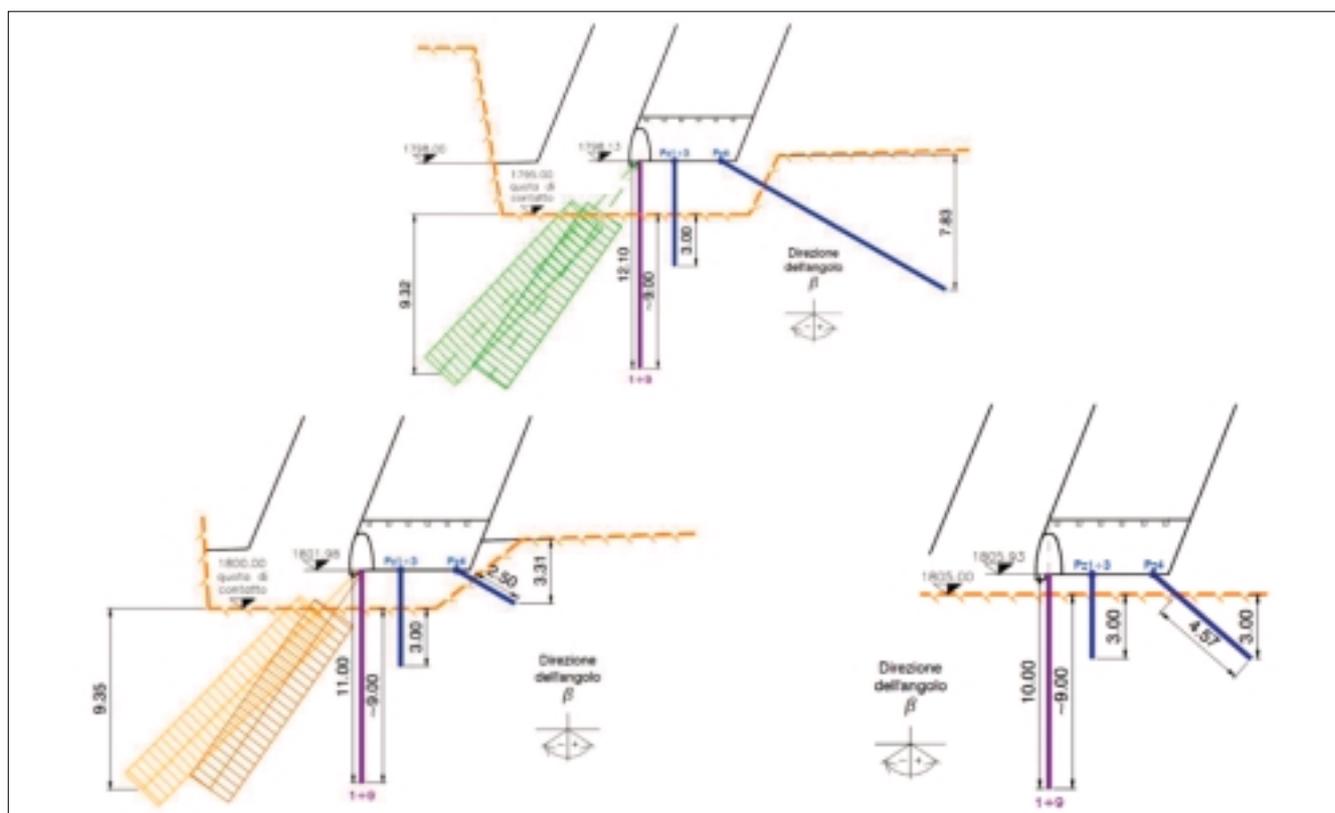
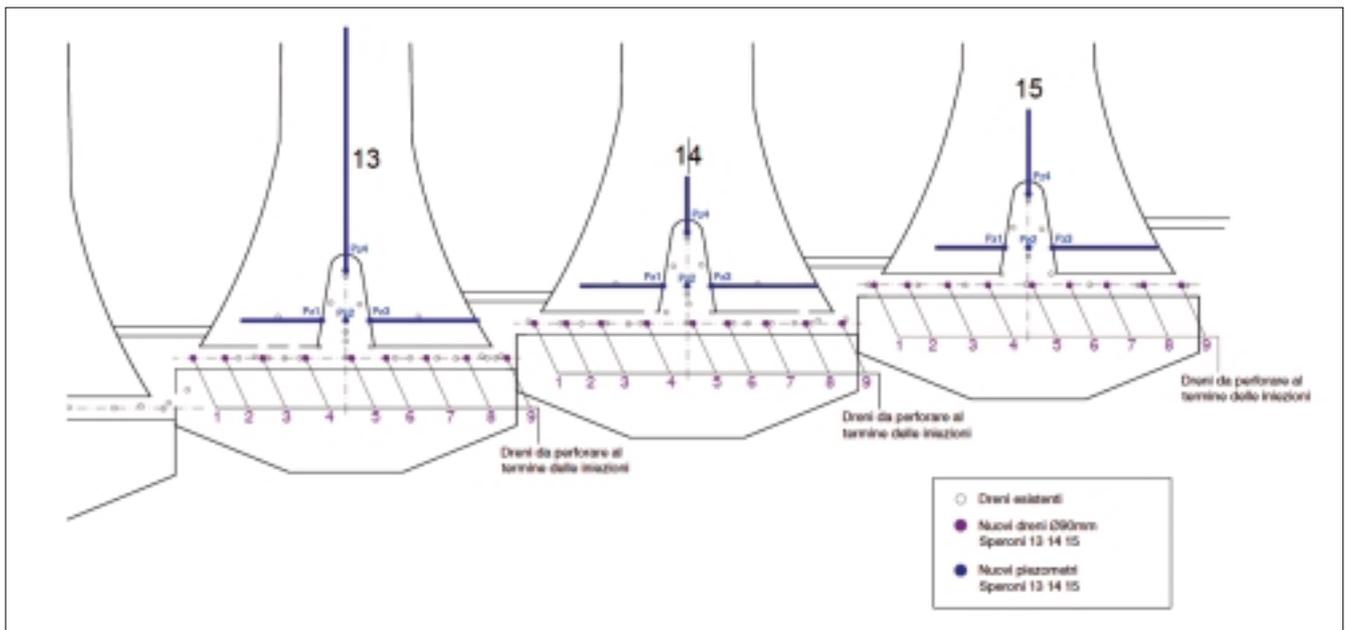


Figura 12 - Sezione in asse - Sperone 13 (sopra) Sperone 14 (sx) e Sperone 15 (dx).



**Figura 13 - Posizione dei nuovi dreni e dei quattro piezometri installati in ciascuno sperone.**

Al fine di valutare l'efficacia degli interventi, lo schermo drenante è stato integrato con 4 nuovi piezometri per ciascuno sperone. Tre di essi (Pz1-Pz2-Pz3) sono posizionati 2 m a valle dello schermo; un quarto piezometro (Pz4) è stato invece installato più a valle con angolazione media di circa 50° sulla verticale (Figura 13 e Figura 15).

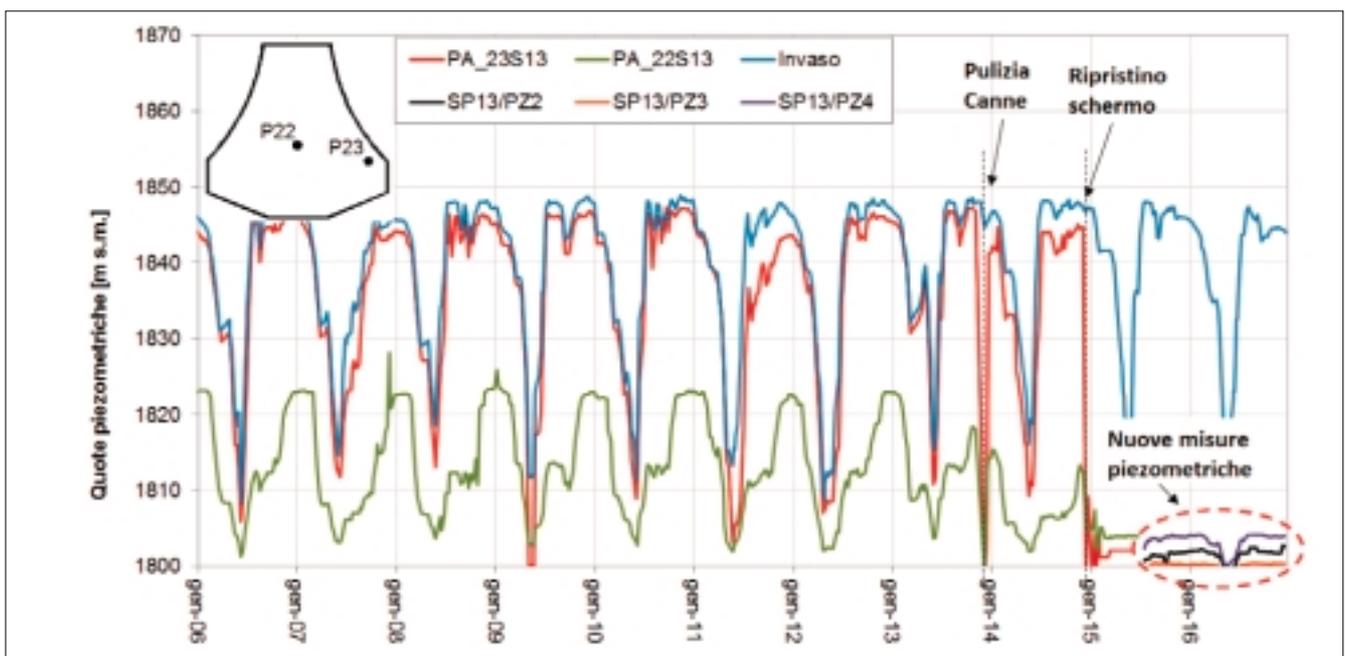
I piezometri raggiungono una profondità di 2.5÷3m al di sotto del contatto roccia-calcestruzzo, eccezion fatta per il piezometro Pz4 dello sperone 13 che è stato realizzato con una lunghezza maggiore (Figura 13).

I lavori sono terminati nel Giugno 2015.

## 5. ANALISI DEL COMPORTAMENTO DELL'OPERA A SEGUITO DEGLI INTERVENTI

Mentre le operazioni di pulizia delle canne drenanti effettuate nel 2013 non hanno portato a risultati soddisfacenti (i valori delle sottopressioni misurate sono risultate in linea con quelli precedenti all'intervento), le successive operazioni di ripresa dello schermo di impermeabilizzazione e di rifacimento del sistema drenante in fondazione, invece, hanno fornito risultati decisamente positivi.

La riduzione delle quote piezometriche è evidenziata nei diagrammi di Figura 17 e Figura 18.



**Figura 14 - Sperone 13 - Quote piezometriche misurate dai piezometri automatici prima (PA 22 e 23) e dopo l'intervento (PZ 3 e 4).**

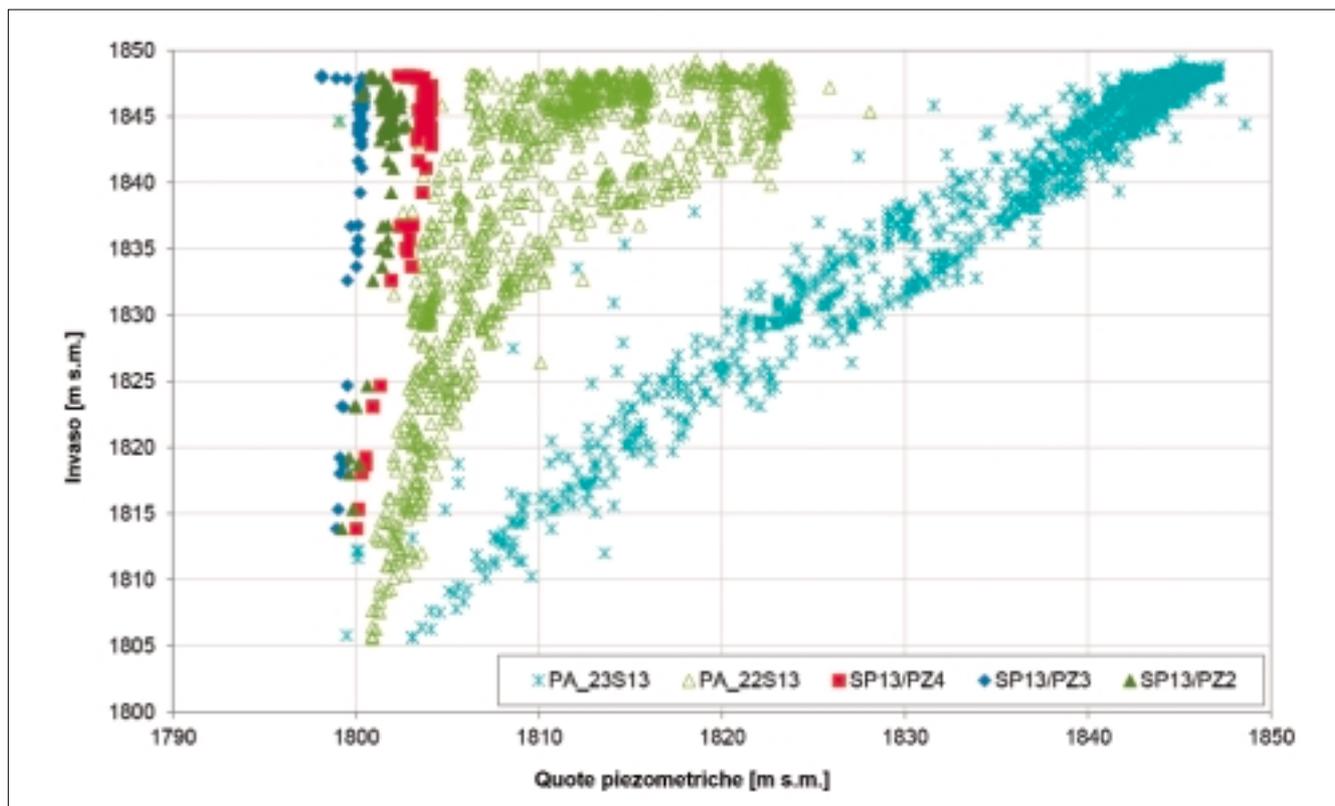


Figura 15 - Sperone 13 - Quote piezometriche in funzione del livello d'invaso. Misure dei piezometri automatici prima (PA 22 e 23) e dopo l'intervento (PZ2 3 e 4).

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il concessionario Alperia Greenpower S.rl. per la gentile concessione alla pubblicazione dei dati e l'Ing A. Masera (CESI) per il supporto tecnico.



Diga di Gioveretto vista da valle.



Diga di Gioveretto.