

# REALIZZAZIONE DELLO SCHERMO DRENANTE DELLA DIGA DEL SALTO AD INVASO PIENO

Ezio Baldovin\*, Gian Luca Morelli\*\*, Giuliano Spogli\*\*\*

\* *Ingegnere, Geotecnica Progetti S.r.l.*

\*\* *Geologo, Geotecnica Progetti S.r.l.*

\*\*\* *Ingegnere, ERG Hydro S.p.A.*

## SOMMARIO

Costruita tra il 1938 ed il 1940, la Diga del Salto, a gravità massiccia in calcestruzzo cementizio con altezza massima di 93 m, sbarrava il fiume omonimo in Località Balze di S. Lucia, in Comune di Petrella Salto (Provincia di Rieti), e forma un serbatoio della capacità totale di circa 278 milioni di m<sup>3</sup>. Durante i primi invasi, caratterizzati da copiose perdite, le canne drenanti del diametro di 20 cm, che costituivano il sistema drenante interno al corpo murario, furono per la quasi totalità intasate mediante iniezioni cementizie. Nel 2013, in concomitanza con lo svolgimento delle verifiche dinamiche della diga, la Direzione Generale Dighe ha richiesto al Concessionario di procedere al ripristino delle canne ed alla realizzazione ex-novo di uno schermo di drenaggio nella roccia di fondazione, oltre che all'integrazione del sistema di controllo delle sottopressioni mediante nuovi piezometri.

La memoria illustra gli studi relativi alla fattibilità, alla progettazione, alle indagini preliminari ed, infine, all'esecuzione degli interventi eseguiti nel periodo 2015-2016 con serbatoio pieno, fornendo altresì i primi riscontri a conclusione dei lavori.

Parole chiave: Diga; Sistema drenante; Perforazioni; Piezometri; Sottopressioni.

## 1 PREMESSA

La Diga del Salto (Figura 1) è stata costruita tra il 1938 ed il 1940 insieme alla Diga del Turano per alimentare l'Impianto Idroelettrico di Cotilia (Provincia di Rieti), uno dei più importanti del Centro Italia, massimizzando la produzione di energia a servizio dell'industria siderurgica di Terni e per contrastare gli eventi di piena lungo la Valle del Velino che affliggevano Rieti. Nella Centrale in caverna sono state installate due turbine Francis della potenza totale di 50 MW ( $Q=25 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H=120 \text{ m}$ ), che garantiscono una produzione annua di circa 80 GWh.

Essendo lo sbarramento ubicato a soli 20 km dall'epicentro del "terremoto dell'Aquila" (2009), nel 2013 la Direzione Nazionale Dighe ne ha richiesto, tra i casi prioritari, la rivalutazione sismica.

Poiché, come atteso, i risultati preliminari delle verifiche sismiche della diga a gravità evidenziarono condizioni di criticità allo scivolamento a causa delle sottopressioni, la stessa Direzione ha sollecitato misure di manutenzione straordinaria sul sistema drenante per ridurre l'entità delle pressioni neutre.

Dopo una breve descrizione delle caratteristiche della Diga del Salto, nel seguito vengono illustrati i criteri progettuali e la realizzazione degli interventi, con i relativi benefici indotti in termini di conoscenza della roccia

d'imposta e del corpo diga, nonché di controllo della piezometria.

Questa tipologia di approccio si caratterizza per un impegno economico relativamente contenuto e può essere applicata senza interferenze penalizzanti sull'esercizio dell'opera. Essa appare particolarmente interessante per riqualificare almeno una parte del ricco patrimonio di dighe italiane a gravità, interessate da problemi di sottopressioni, soprattutto se associati ad una esigenza di significativa rivalutazione sismica.

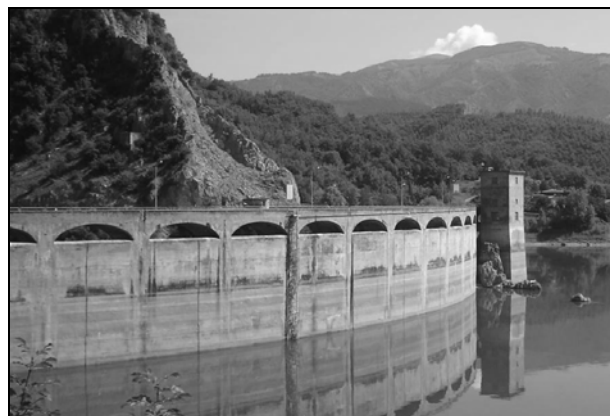


Figura 1 – Diga del Salto – Vista da monte

## 2 CARATTERISTICHE DELL'OPERA

La diga sbarra il Fiume Salto in Località Balze di S. Lucia, in Comune di Petrella Salto (Provincia di Rieti), e forma un serbatoio della capacità totale di circa 278 milioni di m<sup>3</sup>.

La quota di massimo invaso è la 541.5 m s.m., quella di massima regolazione la 540.5 m s.m., con la minima regolazione alla 477.5 m s.m. (Fig. 2)..

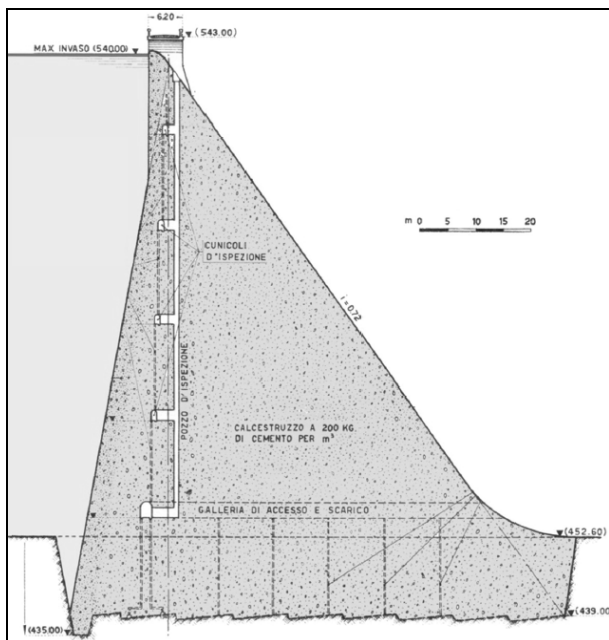


Figura 2 – Diga del Salto – Sezione maestra

Il bacino imbrifero diretto ha una superficie di 741 km<sup>2</sup>. Ad esso risulta allacciato, mediante una galleria di interconnessione, anche quello sotteso dalla Diga del Turano.

La diga, in calcestruzzo cementizio, è del tipo a gravità massiccia con andamento planimetrico curvilineo (arco di

raggio 150 m) e con sviluppo, in asse del coronamento, pari a circa 234 m.

Il ciglio della diga è sfiorante a quota 540.5 m s.m.. Il piano di coronamento, posto a quota 543.0 m s.m. è sorretto da pile poggianti sul ciglio.

L'altezza massima della diga è di 93 m, con larghezza massima in fondazione di circa 85 m.

La sezione della diga è triangolare, con paramento di monte verticale dal coronamento fino a quota 517.45 m s.m. e poi con inclinazione rispetto alla verticale di circa 10° fino in fondazione; il paramento di valle ha inclinazione costante pari a circa 35°.

Il volume complessivo della diga è di circa 358000 m<sup>3</sup>.

I giunti di dilatazione sono disposti con interasse di 15 m, hanno direzione radiale e dividono la struttura in 12 conci estesi per tutta l'altezza della diga, ad eccezione dei tre centrali che poggiano su di un tampone monolitico di 15 m di altezza tra le quote 438 e 456 m s.m. circa (Fig. 3).

In fase di costruzione furono eseguite iniezioni cementizie di consolidamento della roccia di fondazione e iniezioni di saldatura roccia-calcestruzzo con fori spinti fino a 5 m nella roccia.

Lo schermo di impermeabilizzazione fu realizzato immediatamente a monte del taglione di fondazione mediante fori di iniezione profondi verticali ed inclinati spinti, al di sotto della superficie di imposta, per 40 m in sponda sinistra, per 25 m sul fondo e per circa 50 m in sponda destra.

Alla costruzione la diga è stata dotata di un sistema drenante interno costituito da tubi forati in cemento del diametro di 20 cm, disposti verticalmente lato monte ad interasse di 3 m e recapitanti in cunicoli orizzontali di raccolta ed ispezione, tra di loro collegati, disposti alle quote 507.5, 490.5, 473.5 m s.m. e nella galleria di raccolta ed ispezione perimetrale, che, nella tratta centrale più profonda, ha il fondo a 456 m s.m. (Fig. 3).

Dalla platea di quest'ultima si dipartivano in direzione verticale verso il basso alcuni tubi, poi attrezzati con manometri in testa, che venivano utilizzati per il controllo delle sottopressioni.

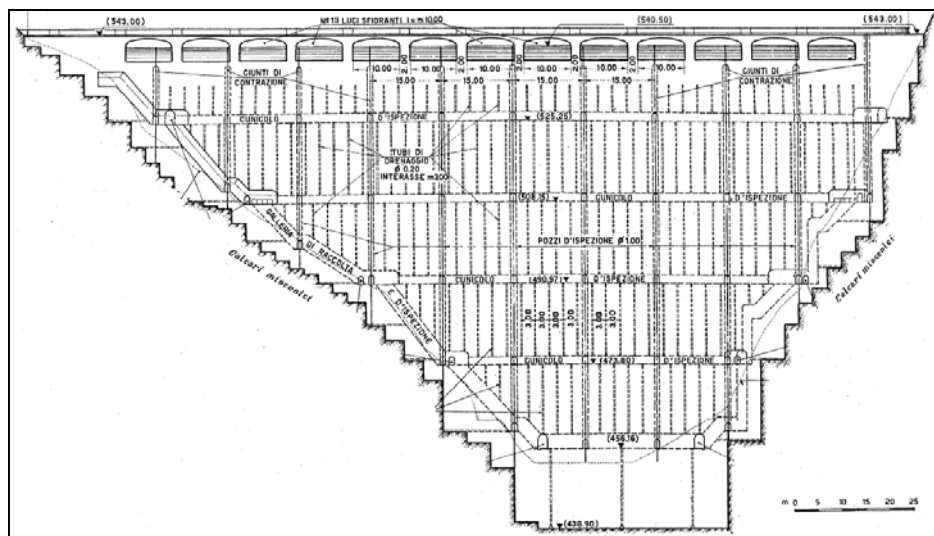


Figura 3 – Diga del Salto – Profilo longitudinale con indicazione delle canne drenanti originali

### 3 STUDI, RILIEVI, INDAGINI PREGRESSE

#### 3.1 Documentazione esistente

Le informazioni disponibili sono state ricavate dalla Relazione di Collaudo dell'opera, datata Novembre 1952 (C.S.L.P., 1952), con i relativi allegati grafici, e dai risultati di una estesa campagna geognostica svolta da ISMES nel periodo 1988-1990 (ISMES, 1988-1990), finalizzata alla caratterizzazione geologica e geotecnica della roccia di fondazione, alla valutazione della qualità dei calcestruzzi ed alla verifica, attualizzata a quel tempo, delle condizioni di stabilità della diga.

La diga è interamente fondata su rocce calcaree mioceniche appartenenti alla Formazione del "Calcarea a Briozoi e Litotamni", costituita, in prevalenza, da una calcarenite fine detritico-organogena di colore avorio chiaro, alternata ad una calcilitite marnosa grigio chiaro.

La formazione si presentava, dopo gli scavi di imposta, molto fratturata alla mesoscala per la presenza di molteplici fratture con spaziatura ridotta, tanto che durante la costruzione della diga essa venne intensivamente consolidata mediante iniezioni cementizie.

Le caratteristiche meccaniche della roccia di fondazione, considerate nelle suddette verifiche di stabilità della diga, sono riepilogate nella Tabella 1.

Tabella 1 - Caratteristiche fisico-meccaniche tipiche della roccia di fondazione		
Parametro		Valore
Massa volumica apparente	(g/cm <sup>3</sup> )	2.67
Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta	(MPa)	96.1
Velocità sonica	(m/s)	5230
Modulo elastico della roccia intatta	(GPa)	60.2
Coefficiente di Poisson dell'ammasso, $\mu$	-	0.25
Modulo elastico dell'ammasso, $E_m$	(GPa)	15

Dai documenti di Collaudo risulta che il calcestruzzo della diga fu realizzato con dosatura di cemento Portland di 200 kg/m<sup>3</sup> e con inerti calcarei provenienti da cave locali situate poco a monte dello sbarramento; solo per uno spessore di circa 2 m lungo il paramento di monte il dosaggio venne elevato a 300 kg/m<sup>3</sup>.

Prove di compressione monoassiale eseguite in fase di costruzione su provini cubici fornirono valori medi di resistenza a 28gg. pari a circa 172 kg/cm<sup>2</sup>.

Prove di permeabilità effettuate in fori di sondaggio eseguiti nel corpo diga hanno rilevato valori di permeabilità di massa variabili nel range  $1 \times 10^{-8} \div 2 \times 10^{-6}$  m/s, ragionevolmente includenti anche l'influenza delle riprese di getto. Permeabilità misurate in laboratorio su carote di calcestruzzo sono risultate di almeno due ordini di grandezza più basse, mediamente pari a  $3.3 \times 10^{-10}$  m/s, ancorché verosimilmente riferite al calcestruzzo di migliori caratteristiche.

#### 3.2 Dati di monitoraggio

Con riferimento al controllo delle perdite dallo sbarramento ed attraverso la roccia di fondazione, nonché del regime delle sottopressioni in fondazione, la Diga del Salto possiede una lunga serie storica di misure strumentali che vengono costantemente aggiornate con cadenza fissa.

In particolare le perdite sono misurate con una serie di stramazzi ubicati a varie quote presso le uscite a valle dei cunicoli di accesso, verso cui confluiscono le varie canalette che raccolgono nei cunicoli le filtrazioni provenienti dai vari livelli della diga e dalla roccia di fondazione.

Le misure di perdita in passato rilevate per la diga denotano valori piuttosto contenuti, generalmente inferiori o al più dell'ordine del litro al secondo. In generale, la prevalenza delle venute è attribuita agli apporti provenienti dai giunti strutturali 3, 4 e 5 della diga, che si manifestano principalmente all'altezza dei cunicoli orizzontali di quota 507.5, 490.5 e 473.5 m s.m.. Modesti appaiono, d'altro canto, gli apporti dalla roccia di fondazione, ad esclusione di due piezometri/dreni in spalla sinistra che segnalano, da tempo, filtrazioni praticamente costanti nel tempo.

Storicamente le sottopressioni in fondazione erano misurate mediante una rete di 14 piezometri collocati per lo più nella parte centrale dell'imposta (11 piezometri) e, secondariamente, entro la spalla sinistra (3 piezometri), in corrispondenza della terminazione dei tre cunicoli orizzontali di raccolta ed ispezione, rispettivamente alle quote 473.5, 490.5 e 507.5 m s.m. (Figura 4).

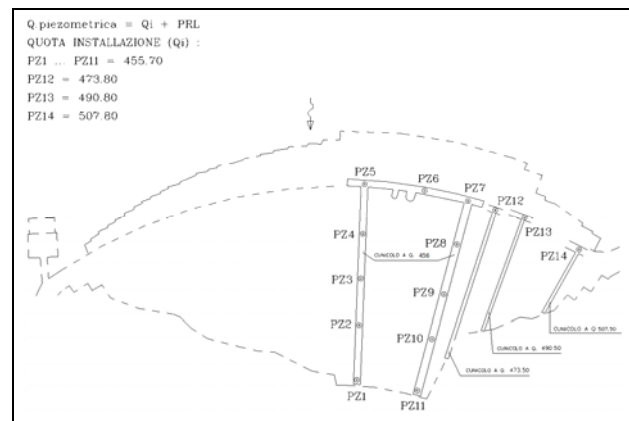


Figura 4 – Diga del Salto – Ubicazione planimetrica dei piezometri nei cunicoli in fondazione

I piezometri sono del tipo a tubo aperto con micro fessurazione su tutto lo sviluppo e risultano dotati ciascuno di un dispositivo a valvola di chiusura in testa provvisto di manometro.

La serie storica delle misure piezometriche evidenzia che le massime sottopressioni si sono registrate in corrispondenza dei piezometri ubicati lungo la linea dei drenaggi (piezometri PZ5, PZ6 e PZ7), i quali hanno segnalato valori massimi di sottopressione dell'ordine di 25÷30 m., per poi decrescere gradualmente fino ad

annullarsi presso il piede di valle della diga.

### 3.3 Situazione canne drenanti

Durante i primi invasi, i tubi forati in cemento del diametro di 20 cm, che costituivano il sistema drenante interno nel corpo murario, furono per la quasi totalità intasati mediante iniezioni cementizie, in quanto interessati da abbondanti perdite.

## 4 RILIEVI TOPOGRAFICI

Allo scopo di disporre degli elementi di base necessari per procedere alla progettazione dell'intervento, è stato condotto un rilievo topografico di dettaglio, mediante tecnica laser scanner, sia dei cunicoli e gallerie interni al corpo diga, comprese le posizioni della testa delle canne drenanti esistenti, sia dei relativi accessi esterni e dei paramenti visibili dello sbarramento.

I dati del rilievo, acquisiti con elevata risoluzione, sono stati elaborati e restituiti in forma di planimetrie, sezioni e viste tridimensionali (Figura 5).

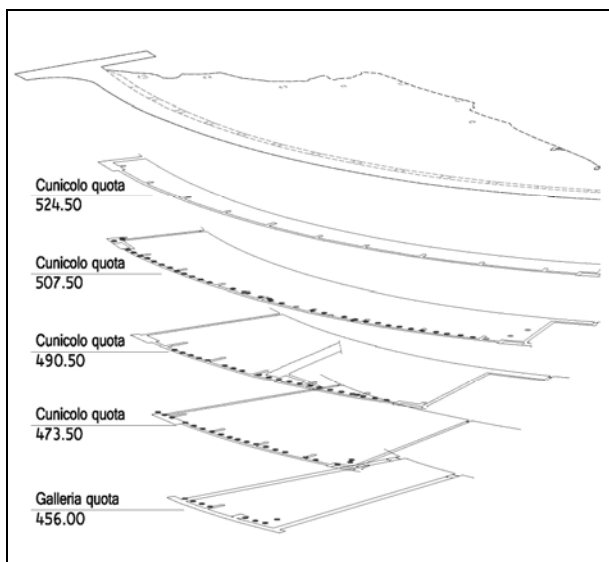


Figura 5 – Rappresentazione tridimensionale dei cunicoli interni della diga con posizione delle canne drenanti esistenti (punti neri)

Parallelamente al rilievo topografico della struttura, si è provveduto al rilievo puntuale delle canne di drenaggio esistenti all'interno della diga ed alla loro sistematica catalogazione, mediante censimento visivo, in base alle condizioni di efficienza (chiuse o aperte).

Dai riscontri in sito è risultato evidente come praticamente la totalità delle canne drenanti esistenti fossero occluse e, il più delle volte, tappate alla base con tappi in legname.

Pur tuttavia si è osservato che il paramento di valle e l'interno dei cunicoli denotavano un diffuso stato di filtrazioni d'acqua, in progressivo aumento verso le quote inferiori dello sbarramento, segnalato anche dalla presenza crescente di concrezioni carbonatiche.

## 5 LINEE PROGETTUALI

L'intervento (Geotecna Progetti, 2015a-b) è stato finalizzato all'allineamento delle condizioni di drenaggio della diga alle prescrizioni contenute nel Regolamento Dighe, che prevedono un interasse tra i fori drenanti nel corpo diga ed entro la roccia di fondazione non superiore a m 2.50 ed un diametro degli stessi fori pari, rispettivamente, a 120 mm nel corpo diga e 200 mm in fondazione.

In particolare si sono previsti la realizzazione ex-novo del sistema drenante in fondazione, limitato a pochi fori con funzione anche di piezometri, ed il rifacimento delle canne drenanti interne al corpo diga, previo intasamento di quelle pervie mediante riperforazione/alesatura dei fori esistenti e successiva iniezione di miscela cementizia.

In pratica, per queste ultime si è optato per l'abbandono di tutte le esistenti e la perforazione, dai cunicoli interni alla diga, di nuovi fori drenanti verticali in posizione intermedia a quelli originali e disposti con interasse variabile, al fine di rispettare una distanza di sicurezza minima di 50 cm rispetto ai dreni esistenti ed evitare interferenze in fase di esecuzione.

I nuovi fori drenanti, di lunghezza variabile da un minimo di 1.5÷2 m ad un massimo di 15 m, presentano diametro finito di 120 mm ed interasse medio di circa 2.5 m.

Essi hanno direzione verticale e sono perforati dal basso verso l'alto a partire dalla calotta dei cunicoli orizzontali di raccolta ed ispezione interni alla diga, posti alle quote 473.5, 490.5 e 507.5 m s.m. circa, aventi sezione corrente di altezza circa 1.6÷1.7 m e larghezza di 1 m, e dal tratto orizzontale della galleria di raccolta ed ispezione di quota 456 m s.m., con dimensioni 2 m x 3 m. L'intervento ha compreso anche l'esecuzione di nuove canne drenanti  $\varnothing$  120 mm L = 6 m entro il cunicolo superiore di raccolta ed ispezione di quota 524.5 m s.m., sprovvisto di tali elementi.

I fori delle canne sono stati previsti con innesto in posizione laterale (lato monte) rispetto all'asse dei cunicoli, ad una distanza minima operativa dal piedritto di almeno 20 cm, in modo da rendere agevole l'installazione della slitta di perforazione (Figura 6).

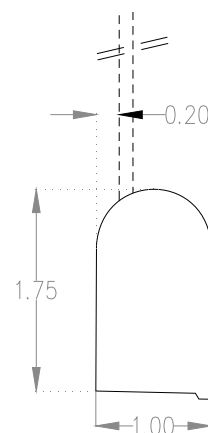


Figura 6 - Schema di perforazione delle nuove canne drenanti nei cunicoli in corpo diga

Per la realizzazione del sistema drenante nella roccia di fondazione, a tergo dello schermo di tenuta esistente, si è prevista l'esecuzione di 60 fori spinti fino ad addentrarsi per circa 4 m nella roccia calcarea di fondazione.

I fori, di diametro finito 200 mm, sono stati ubicati con interasse variabile a partire da postazioni ubicate nella galleria perimetrale di raccolta ed ispezione, con lunghezza variabile tra 6 e 14.5 m circa, e con disposizioni a raggiera con orientazione variabile dal verticale fino all'orizzontale o lievemente verso l'alto.

Il posizionamento dei fori in fondazione e la loro orientazione spaziale lungo lo sviluppo dell'imposta sono stati studiati e rappresentati nel dettaglio mediante modellazione 3D in ambiente BIM, fornendo le coordinate spaziali di ciascun foro.

Dovendo procedere con serbatoio pieno ed essendo noto che durante gli invasi sperimentali ed il collaudo della diga si erano verificate perdite importanti, per tutte le perforazioni di drenaggio, sia in corpo diga che in fondazione, si è considerata la possibilità che nella fase esecutiva i nuovi fori potessero interferire con fratture della roccia o discontinuità del calcestruzzo della diga, determinando apporti rilevanti di acqua dentro i cunicoli.

In progetto, l'ipotetico presentarsi di tale eventualità è stato affrontato prevedendo l'adozione delle seguenti opzioni alternative:

- un'azione preventiva tramite l'uso di "preventer";
- la predisposizione e l'adozione di procedure di emergenza che in caso di necessità comportassero la tempestiva sospensione del foro, il blocco degli afflussi con un "tampone di emergenza" ed il successivo intasamento dei fori con miscela cementizia.

Si è altresì previsto di procedere con le lavorazioni per livelli successivi a partire dalle quote più elevate verso il basso, operando simultaneamente con macchine diverse sia nei cunicoli interni alla diga che lungo le due tratte rampanti della galleria di raccolta ed ispezione perimetrale.

Data la dimensione estremamente ridotta dei cunicoli orizzontali (1 m x 1.7 m) e dei pozzi di collegamento utilizzabili per la movimentazione dei macchinari di perforazione tra i vari livelli della diga, una particolare cura è stata dedicata alla messa a punto di specifiche tecniche per la scelta dei macchinari e per l'esecuzione delle lavorazioni nel rispetto dell'applicazione dei precetti relativi agli *ambienti confinati* (D. Lgs. 81/2008 e D.P.R. 177/2001, in linea con la Direttiva Europea 92/57/EEC).

In tal senso si è previsto l'impiego tassativo di macchine perforatrici di piccola dimensione ad alimentazione elettrica o elettroidraulica, con centraline di controllo separate e smontabili che ne permettessero gli spostamenti nei ridotti spazi interni alla diga.

Per l'introduzione dei macchinari in diga si è ipotizzato

l'utilizzo degli accessi da valle dei cunicoli a piede diga, nonché, mediante l'approntamento di ballatoi pensili e ponteggi, di alcuni ingressi dei cunicoli "sospesi" sul paramento di valle a differenti altezze. Questi ultimi, raggiungibili con autogru dalla strada di coronamento, sono risultati utilizzabili per il deposito temporaneo ed il trasporto di mezzi ed attrezzature entro i cunicoli superiori della diga.

Le principali installazioni del cantiere (baracche, magazzini, generatori, mezzi di trasporto, accumulo materiale di perforazione, ecc..) sono state ubicate alla base della diga, sul lato di valle.

## 6 SVILUPPO DELLE ATTIVITA'

### 6.1 Indagini preliminari all'inizio dei lavori

Preliminarmente all'avvio dell'esecuzione dei lavori di perforazione dei dreni, anche in ottemperanza a quanto richiesto dalla Direzione Generale Dighe, è stata eseguita un'attività iniziale di perforazione, prevalentemente esplorativa, finalizzata a confermare l'adeguatezza delle tecniche e delle attrezzature prescelte ed a verificare l'eventuale sussistenza di problematiche legate alla presenza di acque di filtrazione in pressione, sia nel corpo diga che nella roccia di fondazione. Dai risultati di tali indagini si riteneva anche di poter effettuare una valutazione qualitativa e quantitativa sull'efficienza dello schermo di impermeabilizzazione esistente.

Nel dettaglio, in tale fase iniziale sono state eseguite, dall'interno dei cunicoli della diga, procedendo dai livelli superiori verso quelli più bassi:

- n. 10 perforazioni a carotaggio continuo a varie quote entro la galleria di raccolta ed ispezione con esecuzione sistematica di prove Lugeon e successiva installazione di tubi piezometrici attrezzati con manometri in testa;
- perforazione di prova di alcuni dreni in corpo diga in corrispondenza dei cunicoli orizzontali di quota 507.5, 490.5, 473.5 e 456 m s.m., indicativamente in numero di 3 canne per ciascun livello.

L'esecuzione dei 10 fori a carotaggio nella roccia di fondazione (4 in fondazione e 3+3 lungo le spalle di imposta), a partire dalla galleria di raccolta ed ispezione perimetrale presso gli slarghi di raccolta tra quest'ultima ed i cunicoli orizzontali interni alla diga, ha permesso di accertare, in modo puntuale, le caratteristiche di fratturazione e di permeabilità dell'ammasso roccioso di fondazione della diga, nonché le effettive condizioni di pervietà della superficie di contatto diga/roccia (Figura 7).

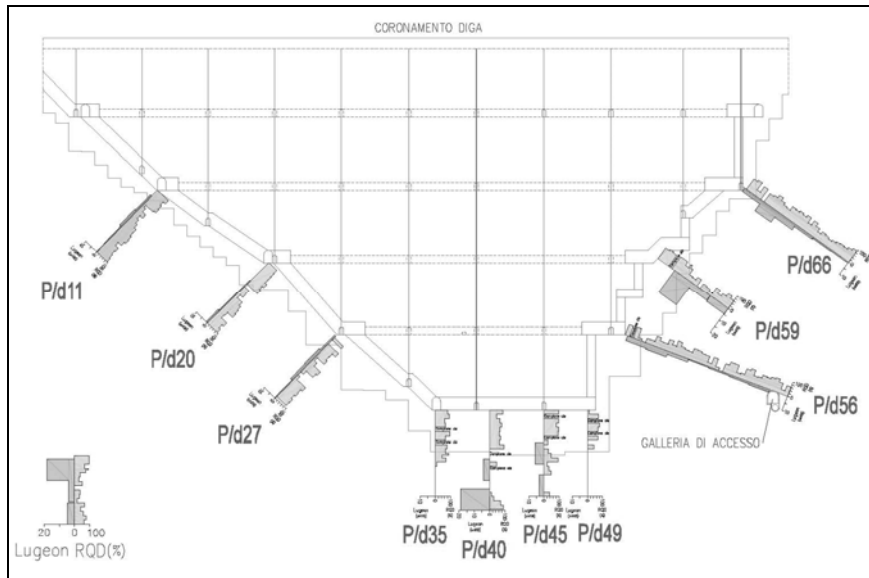


Figura 7 – Profilo longitudinale con ubicazione dei sondaggi/piezometri eseguiti nella roccia di imposta

La successiva installazione nei fori di sondaggio di tubi piezometrici fenestrati su tutta la lunghezza, esclusa la parte superiore entro il calcestruzzo della diga, ma comprendente la parte in corrispondenza del contatto diga/roccia, ha poi consentito una sostanziale implementazione dell'esistente sistema di monitoraggio delle sottopressioni, estendendone la copertura anche alle quote superiori lungo le due spalle dell'imposta diga.

Mediante l'esecuzione dei fori dei piezometri e delle perforazioni di prova in corpo diga sono state messe a punto e testate le tecniche e le attrezzature di perforazione e valutate quelle più adeguate per il prosieguo delle lavorazioni.

E' stata, inoltre, ragionevolmente accertata l'insussistenza di problematiche riguardanti possibili venute cospicue di acqua in pressione dai nuovi fori, sia in diga che nella roccia di fondazione, e, pertanto, è stata

esclusa l'adozione sistematica di un dispositivo "preventer".

Nel corso della perforazione mediante carotaggio delle nuove canne drenanti in corpo diga sono stati altresì prelevati 99 campioni di calcestruzzo da sottoporre a prove fisico-meccaniche di caratterizzazione in laboratorio.

### 3.4 Interventi

Le attività in sito sono state completate in 8 mesi di lavoro, essendo iniziate nel Giugno 2015 e terminate nel Gennaio 2016, rispettando il cronoprogramma di progetto.

In totale sono stati perforati circa 2000 m di nuovi dreni in corpo diga ed oltre 800 m nella roccia di fondazione (Figura 8).

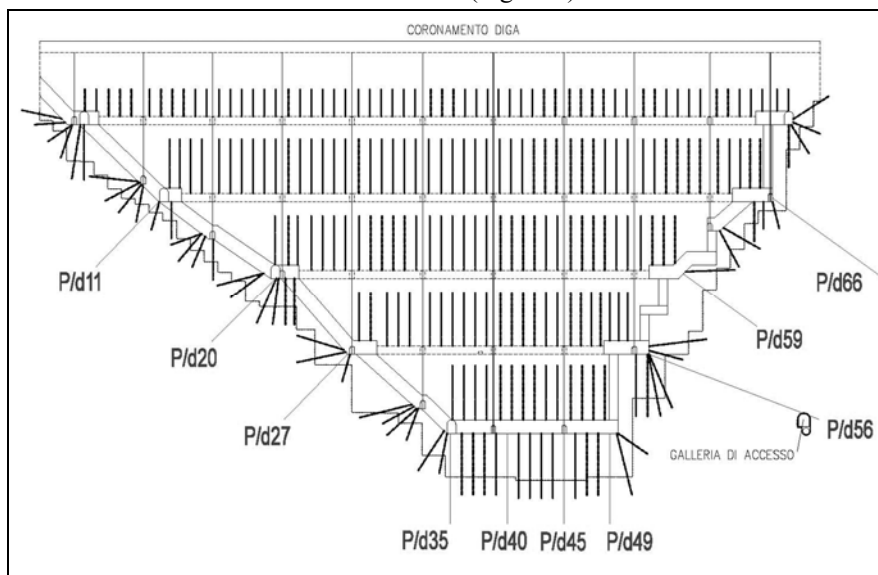


Figura 8 – As built del nuovo sistema drenante. Profilo longitudinale con indicazione dei nuovi fori drenanti

Le attività di perforazione delle canne drenanti verticali  $\Phi$  120 mm nei cunicoli in corpo diga sono state condotte con l'impiego di due carotatrici elettroidrauliche operanti simultaneamente su ciascun livello (Figura 9), utilizzando carotieri semplici dotati di corona diamantata ed acqua come fluido di perforazione.



Figura 9 – Carotatrice utilizzata nei cunicoli orizzontali per la perforazione delle canne drenanti  $\Phi$  120

I fori sono risultati in grande maggioranza completamente asciutti o, al più, con indizi di umidità e lievi percolazioni. Evidenze di filtrazioni, ancorché molto modeste, sono state riscontrate in 6-7 fori ubicati nei cunicoli alle quote inferiori; in solo due canne è stato necessario procedere con la cementazione e la successiva riperforazione a causa delle venute d'acqua manifestatesi nel corso della perforazione.

Per l'esecuzione dei dreni  $\Phi$  200 mm in fondazione e dei piezometri sono state, invece, utilizzate due sonde operanti, simultaneamente, nella galleria perimetrale di raccolta ed ispezione (Figura 10).



Figura 10 – Sonda utilizzata per la perforazione dei dreni  $\Phi$  200

La perforazione è stata eseguita a roto-percussione con l'impiego di martello a fondo foro.

## 7 PRIMI RISCONTRI A CONCLUSIONE DEI LAVORI

I primi e più significativi riscontri degli effetti dell'intervento sul regime delle sottopressioni sono desumibili dal confronto tra le misure dei piezometri prima e dopo il completamento dei lavori.

Tale confronto riguarda, nello specifico, i piezometri esistenti PZ1-PZ10 ubicati nella parte centrale e più profonda della fondazione ed ha il conforto delle misure fornite dai nuovi dispositivi eseguiti praticamente in adiacenza agli esistenti (Pd/35, Pd/40, Pd/45, Pd/49) (Figura 11).

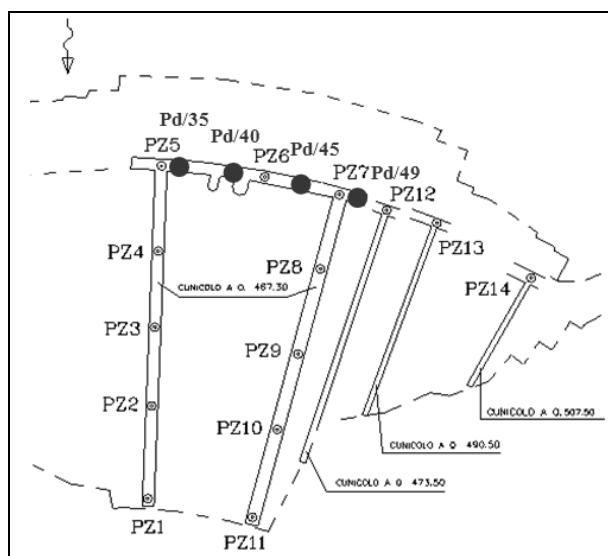


Figura 11 – Pianta con ubicazione dei piezometri originali e di quelli recentemente realizzati in fondazione dalla galleria di raccolta ed ispezione

Nella Tabella 2 sono riportate le misure di sottopressione acquisite, circa a parità di quota d'acqua nell'invaso, prima e dopo il completamento dei lavori di formazione del nuovo schermo drenante (Spogli G., 2016).

Come osservabile, i valori di sottopressione misurati successivamente ai lavori risultano ovunque prossimi a zero, confermando l'efficacia dell'intervento in fondazione.

Inoltre l'incremento delle perdite complessive dal corpo diga a seguito dei lavori, a dispetto delle preoccupazioni iniziali e dei possibili scenari ipotizzati, è risultato nel complesso modesto, attestandosi le perdite su valori totali inferiori a 2 l/s.

Tabella 2 – Confronto tra i valori di piezometria rilevati prima e dopo gli interventi di rifacimento del sistema drenante		
	<i>Prima dei lavori</i>	<i>Dopo i lavori</i>
	21/08/2014	18/03/2016
Quota invaso (m s.m.)	527.90	528.90
	Misura (m)	Misura (m)
PZ1	0	0.5
PZ2	2	0
PZ3	0	0
PZ4	7	0.5
PZ5	19	0.5
Pd/35	-	0
Pd/40	-	0
PZ6	18	0
Pd/45	-	0
PZ7	11	0
Pd/49	-	0
PZ8	7	0.5
PZ9	2	0.5
PZ10	3.5	0.5

## BIBLIOGRAFIA

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Quarta Sezione - Servizio Dighe, 1952. *Diga del Salto - Atti di Collaudo*.
- Geotecna Progetti Srl, 2015a. *Diga del Salto - Formazione nuovo schermo drenante. Progetto Definitivo*.
- Geotecna Progetti Srl, 2015b. *Diga del Salto - Formazione nuovo schermo drenante. Piano di Sicurezza e Coordinamento*.
- ISMES, 1988-1990. *Diga del Salto – Indagini sulla roccia di fondazione, sui calcestruzzi e verifiche di stabilità della diga*.
- Spogli G., 2016. *Salto Dam, Drainage System improvement works*. Proceedings 10<sup>th</sup> ICOLD European Club Symposium, Antalya 25-30 October 2016.

## RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano ERG Hydro S.p.A. che ha permesso la pubblicazione di questo contributo.

## ABSTRACT

### SALTO DAM DRAIN CURTAIN DRILLING WITH FULL RESERVOIR

Keywords: Dam; Drainage system; Drillings; Piezometers; Uplifts.

Built between 1937 and 1940, the concrete gravity Salto Dam forms a reservoir with a total capacity of about 278 million m<sup>3</sup> along the Salto River, close to the village of Petrella Salto (Rieti Province).

During the first impound, the original pipes with internal diameter of 20 cm which constituted the internal draining system of the dam, due to copious losses were almost entirely clogged by cement injections.

In 2013, concurrently with the dynamic analysis of the dam, the Direzione Generale Dighe requested the Concessionary to reactivate the original draining system in the dam body and to drill a new drain curtain in the foundation rock, in accordance with the Italian Dams Code.

The Detail Design has been developed in 2014-2015.

The works have been completed in 8 months, between June 2015 and January 2016, without relevant problems.

On the whole, approximately 2000 m of new vertical drains in the dam body and over 800 m of drain pipes in the foundation rock have been drilled.

In addition to the realization of the drainage curtain, also the existing uplift pressure control system has been integrated and upgraded with the execution of 10 new piezometers distributed in the rock.

The uplift values measured by the piezometers after the completion of the activities highlighted a significant drop, resulting everywhere close to zero, and so confirming the effectiveness of the new drainage system.

The increase of the total losses of the dam as a consequence of the works, despite initial concerns and possible scenarios, resulted modest, reaching a total value of less than 2 l/s.

The paper illustrates the studies concerning the feasibility, the preliminary investigations, the design, and, finally, the execution of the works, as well as the first results obtained.