

DIGA DI CEPPO MORELLI

PROGETTO DI ADEGUAMENTO

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GENERALE



INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | PREMESSA | 1 |
| 2. | PRESCRIZIONI E RACCOMANDAZIONI DELLA DIREZIONE DIGHE | 2 |
| 3. | DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI..... | 13 |
| 3.1. | NUOVA STRUTTURA AD ARCO-GRAVITA' | 13 |
| 3.2. | SCARICO DI SUPERFICIE ESISTENTE | 18 |
| 3.3. | INTERVENTI COMPLEMENTARI | 21 |
| 3.3.1 | MESSA IN SICUREZZA DELLO SCARICO DI FONDO ESISTENTE | 21 |
| 3.3.2 | SISTEMAZIONI SPONDALI A VALLE DELLA DIGA | 22 |
| 3.3.3 | VIABILITA' CARRABILE DEFINITIVA DI ACCESSO ALLA SPONDA DESTRA DELLA DIGA | 22 |
| 3.4. | CALCESTRUZZI | 23 |
| 3.4.1 | CALCESTRUZZO DI MASSA (CLASSI M) | 23 |
| 3.4.2 | CALCESTRUZZO STRUTTURALE (CLASSE S) | 24 |
| 3.4.3 | CALCESTRUZZO DI TRANSIZIONE (CLASSE M*) | 24 |
| 3.5. | MONITORAGGIO | 25 |
| 4. | STUDI GEOLOGICI-GEOMECCANICI..... | 27 |
| 5. | VERIFICHE STRUTTURALI E ANALISI PARAMETRICHE | 30 |

1. PREMESSA

Il presente progetto esecutivo è stato sviluppato in perfetta continuità con il progetto definitivo (ottobre 2015) approvato dalla Direzione Generale per le Dighe con nota prot. 12451 del 09.06.2016 a seguito dell'Istruttoria del 06.06.2016.

Il progetto definitivo (ottobre 2015) è stato approvato con prescrizioni e raccomandazioni, di cui si riportano, per ciascuna di esse, le considerazioni e gli adempimenti nel § 2 della presente relazione.

Nel § 3 è riportata una descrizione degli interventi; per quanto riguarda invece la modalità esecutiva dei lavori e la loro programmazione temporale si rimanda alla specifica Relazione sul Cantiere e Programma dei Lavori (v. All. A.02 del presente progetto).

Nel § 4 si riporta la sintesi degli studi geologico-geomeccanici, mentre nel § 5 delle verifiche strutturali e geotecniche; in particolare, per quanto riguarda gli aspetti strutturali, vengono analizzati gli esiti degli ultimi approfondimenti delle analisi ad elementi finiti della nuova diga, eseguite da RSE S.p.A. (v. All. A.04 del presente progetto).

2. PRESCRIZIONI E RACCOMANDAZIONI DELLA DIREZIONE DIGHE

Nell'Istruttoria sul progetto definitivo della Direzione Dighe del 06.06.2016 sono riportate alcune prescrizioni e raccomandazioni; qui di seguito per ognuna di esse si riportano le considerazioni e gli adempimenti previsti.

- Galleria scarico intermedio: "... il Concessionario, prima della redazione della progettazione esecutiva delle opere, dovrà effettuare ulteriori controlli della galleria, per verificare la consistenza dei manufatti esistenti con riferimento alle caratteristiche di resistenza dei rivestimenti e per tarare in maniera accurata la scabrezza dei rivestimenti rispetto a quella adottata nelle verifiche, al fine di confermare le effettive modalità di deflusso dello scarico stesso."

E' stata eseguita una ispezione della galleria dello scarico intermedio, durante la quale si è potuto constatare l'ottimo stato di conservazione del manufatto, dal punto di vista strutturale e geologico. A dimostrazione di ciò, si riportano qui di seguito alcune immagini del rivestimento lapideo con blocchi perfettamente squadri (v. Figura 1), del compatto ammasso roccioso gneissico dove la calotta della galleria non è rivestita (v. Figura 2) e dell'uniforme e integro rivestimento cementizio dove la calotta è rivestita, che nonostante l'età presenta solo qualche lieve segno di carbonatazione (v. Figura 3).



Figura 1 - Platea dello scarico intermedio



Figura 2 - *Calotta non rivestita dello scarico intermedio*



Figura 3 - *Calotta rivestita dello scarico intermedio*

Le scabrezze ipotizzate in sede di progettazione definitiva ($k_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le sezioni di galleria interamente rivestite e $k_s = 45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per quelle parzialmente rivestite), a seguito di questo sopralluogo, appaiono cautelative; però si è visto che anche variandole leggermente non si avrebbero sensibili modifiche del comportamento idraulico, e pertanto si è ritenuto a favore di sicurezza di confermarle.

- Scarico Deflusso Minimo Vitale: " ... si raccomanda per detto scarico una soluzione indipendente, con imbocco autonomo, al fine di evitare che, nel normale esercizio della diga, lo scarico di fondo rimanga sempre in pressione, con paratoia di monte sempre aperta."

Nel presente progetto esecutivo è stato previsto uno scarico completamente autonomo per il DMV con un suo imbocco distinto avente il fondo a quota 771,00 m s.m., 1 m sopra quello dello scarico di fondo, a maggiore garanzia da un suo possibile interrimento.

Con questa variazione si è inoltre riusciti ad avere un tracciato planimetrico più rettilineo, riducendo così le perdite di carico.

- Tura di valle: " ... dovranno pure fornirsi le indicazioni circa il dimensionamento della tura prevista a valle della diga, definendo il tipo di opera che si intende eseguire e l'evento di piena dal quale ci si vuole proteggere con l'opera prevista, ..."

Si è previsto di utilizzare come tura, a protezione del cantiere dalle acque transitanti nell'alveo a valle, il blocco di fondazione in calcestruzzo del salto di ski dello scarico di superficie in corpo diga, che rimane separato dal restante corpo dello sbarramento da apposito giunto strutturale.

Questo blocco, di soli $\sim 150 \text{ m}^3$, una volta gettato consentirà di proteggere tutta l'area di cantiere della nuova diga. Avendo questo blocco sommità a quota 745 m s.m., consente di proteggere il cantiere da portate transitanti in alveo fino a circa $350 \text{ m}^3/\text{s}$ (v. prove su modello idraulico), corrispondenti a piene con un tempo di ritorno di ~ 50 anni.

- Verifiche geotecniche muro di valle scarico su superficie esistente: " ... mancano le verifiche geotecniche dell'ultima sezione del canale stesso, prevista fondata su pali disposti a cavalletto (Sez. 7)."

Nella Relazione di Calcolo (v. All. A.05 del presente progetto) sono riportate le verifiche, in conformità alla normativa vigente, dei micropali previsti per le fondazioni dell'ultimo tratto del sovrizzo del muro di valle dello scarico di superficie esistente.

- Analisi parametriche e sottopressioni con modello ad elementi finiti: " *Stante tuttavia l'influenza dei parametri in gioco, connessi con l'inevitabile incertezza dei valori assunti, quali ad esempio la rigidità del calcestruzzo della nuova diga e di quello esistente e dell'ammasso di fondazione, nonché delle caratteristiche termiche dei nuovi materiali ecc., si ritiene necessario che siano condotte analisi numeriche anche in forma parametrica, così come peraltro già indicato nei precedenti pareri rilasciati sulla precedente versione progettuale; ciò anche al fine di cogliere l'entità dell'influenza di ciascun parametro stimato.*"

Nelle Analisi numeriche parametriche a supporto della progettazione della diga di Ceppo Morelli (v. All. A.04 del presente progetto) sono descritte le analisi parametriche eseguite e i relativi risultati.

Innanzitutto, partendo dal modello di calcolo ad elementi finiti del progetto definitivo della nuova diga è stato introdotto il giunto verticale di costruzione con la parte terminale dello sfioratore, e sono quindi state introdotte le sottopressioni all'interfaccia diga-roccia di fondazione.

La modellazione del giunto verticale evidenzia una riduzione dello strato sovrasolleccitato a trazione, mentre invece l'introduzione delle sottopressioni non mostra alcuna variazione nello stato tensionale della diga, a dimostrazione della ininfluenza che ha questa solleccitazione sul nuovo sbarramento.

Partendo da questa nuova configurazione del modello di calcolo sono state eseguite le analisi parametriche, variando i seguenti parametri: moduli elastici di calcestruzzo e roccia, diffusività termica del calcestruzzo, angolo di attrito delle interfacce.

Qui di seguito si riporta per ciascuno di questi parametri i valori assunti nel progetto definitivo (caso di riferimento) e la variazione considerata nelle analisi parametriche.

- Modulo elastico del calcestruzzo:
 - progetto definitivo: 28.000 MPa;
 - analisi parametriche: 25.000÷30.000 MPa
- Modulo elastico della roccia:
 - progetto definitivo: 25.000 MPa;
 - analisi parametriche: 20.000÷40.000 MPa
- Diffusività termica del calcestruzzo
 - progetto definitivo: 0,004 m²/h
 - analisi parametriche: 0,003 m²/h
- Angolo di attrito delle interfacce: (giunti e roccia-calcestruzzo)
 - progetto definitivo: 37°
 - analisi parametriche: 31÷42°

Tutti i parametri sono stati prudenzialmente variati entro i massimi range possibili, compatibilmente con le caratteristiche dei materiali.

Per la diffusività termica è stato analizzato solo il limite inferiore, che rappresenta il

caso peggiore in quanto massimizza il gradiente termico in corrispondenza delle superfici esterne a contatto con l'aria.

Come si può vedere dai risultati, queste analisi parametriche evidenziano la scarsissima influenza che ha la variabilità di questi parametri sullo stato tensionale della diga; in alcuni casi (roccia e giunti) non si riesce ad apprezzare nemmeno una minima differenza nello stato di sforzo tra i due casi estremi di variabilità dei parametri, e risulta appena percettibile per la diffusività termica.

L'unico parametro che ha una qualche, seppur minima, influenza, come era logico attendersi, è il modulo elastico del calcestruzzo. Nel caso con modulo elastico massimo le zone sovrasollecitate sui paramenti ovviamente si estendono leggermente, mantenendosi però comunque assolutamente corticali.

In definitiva l'esito di queste analisi parametriche evidenzia la bontà dei parametri assunti nel caso di riferimento (progetto definitivo) a supporto del dimensionamento e delle verifiche della nuova diga, e confermano in tutti i casi estremi analizzati il soddisfacimento dei requisiti normativi e di sicurezza.

- Calcestruzzi non a presa rapida: *"Ad ogni modo si conferma la necessità di impiego di calcestruzzi non a presa rapida, al fine di limitare lo sviluppo del calore di idratazione e quindi eventualmente anche il previsto quantitativo di ceneri; queste ultime dovranno essere soggette a tutti i controlli previsti dalle vigenti norme sui materiali da costruzione.*

Circa infine la prefissata temperatura minima ambientale esterna (-5°C), al di sotto della quale non consentire i getti, si segnala che la stessa appare troppo bassa e pertanto si rileva la necessità che la stessa venga fissata stabilmente non inferiore a 0°C."

Nel Capitolato Tecnico (v. All. A.06 del presente progetto) si è previsto l'impiego di cemento IV B 32,5 N, pertanto con pozzolana e presa più lenta rispetto all'equivalente R; così facendo, unitamente al limitato quantitativo di cemento e all'impiego delle ceneri volanti, si otterrà una miscela con basso sviluppo di calore di idratazione. Le ceneri volanti saranno ovviamente sottoposte a tutti i controlli previsti dalle vigenti normative in materia.

Sempre nel Capitolato Tecnico, per quanto riguarda le temperature di getto, si è imposto che i getti debbano essere eseguiti con temperature ambientali non inferiori a 0 °C; la programmazione dei lavori è stata conseguentemente aggiornata, rispetto al progetto definitivo, anche alla luce di questo vincolo.

- EPDM di interposizione tra le due dighe: *"Con la redazione del progetto esecutivo dovranno fornirsi maggiori dettagli in merito alla durabilità nel tempo del materiale individuato e valutazioni sperimentali inerenti l'adesione dello stesso con il calcestruzzo gettato in aderenza, a seguito della presa avvenuta, oltre ad una*

conferma del campo degli spostamenti attesi per il tramite di analisi parametriche.”

Nel progetto definitivo si è verificato che il massimo avvicinamento tra i due sbarramenti, in condizioni sismiche, è di circa 1 mm.

Un avvicinamento massimo così modesto fra le due strutture ha portato alla decisione di semplificare e ridurre al massimo il sistema di separazione tra le due strutture; pertanto si è deciso di adottare uno strato di EPDM (Etilene Propilene Diene Monomero) di 2 cm di spessore avente una densità di 200 kg/m³. L'EPDM, nell'ambito delle gomme sintetiche ha ottime caratteristiche fisiche e meccaniche in un'ampia fascia di temperature ambientali (-40 °C ÷ + 95 °C), ed infatti trova vastissime applicazioni. Essendo un polimero a celle chiuse ha il vantaggio di non consentire il passaggio di acqua al suo interno (impermeabile); inoltre l'EPDM ha elevate caratteristiche di durabilità e assenza di qualsiasi rilascio a contatto con acqua.

Nel caso in esame queste ottime caratteristiche meccaniche e di durabilità dell'EPDM sono “quasi sprecate”, infatti la finalità progettuale è esclusivamente quella di garantire un adeguato strato di separazione tra le due strutture; paradossalmente, una volta ultimata la nuova diga e demolita quasi completamente la parte emergente dai sedimenti dell'esistente, l'EPDM non ha quasi più ragione di esistere perché ha ormai garantito il sufficiente strato di separazione tra le due strutture. Infatti, come ampiamente dimostrato dalle numerose analisi numeriche eseguite, il nuovo sbarramento è dimensionato per reggere da solo al carico sia idrostatico che dei sedimenti del serbatoio; pertanto anche l'adesione ai nuovi calcestruzzi dell'EPDM non è necessaria, essa sarà comunque garantita dal carico degli strati di 2 m previsti per i getti della nuova diga.

In base alle informazioni avute da produttori di questo materiale sul suo modulo elastico, si è calcolato in fase di progettazione definitiva che uno strato di 2 m di calcestruzzo fresco determinerebbe una deformazione dell'EPDM di 2 mm; se anche il modulo elastico fosse la metà o il doppio rispetto a quanto previsto, la conseguenza sarebbe di avere variazioni della deformazione di ± 1 mm, che sarebbero assolutamente ininfluenti per le finalità progettuali.

- Prove Lugeon e iniezioni di cucitura: *“Ad ogni modo si ritiene che a scavi eseguiti debba essere ulteriormente confermata l'idoneità dal punto di vista della tenuta, della sezione di imposta mediante nuove prove Lugeon. Dovranno inoltre prevedersi, oltre la contemplata pulizia dei versanti, iniezioni di cucitura della struttura con la roccia di fondazione e di intasamento di eventuali fratture aperte.”*

In fase costruttiva è previsto che, una volta terminata la pulizia e preparazione dell'imposta della diga, il geologo della D.L. esegua una accurata ispezione di essa e stabilisca in funzione di questi rilievi di campagna le posizioni in cui eseguire nuove prove Lugeon, previste nel presente progetto, a ulteriore garanzia della tenuta della roccia di imposta.

Sempre in questa fase il geologo della D.L. individuerà anche le eventuali fratture aperte dell'ammasso di fondazione, che verranno intasate e trattate con iniezioni localizzate, previste nel presente progetto.

Per quanto riguarda le iniezioni di cucitura tra la roccia e il calcestruzzo, nel presente progetto si è previsto che dal pozzo principale del nuovo sbarramento venga eseguita una serie di iniezioni che vadano a trattare il contatto in fondazione e alle imposte, soprattutto in prossimità del paramento di monte della nuova diga.

- Drenaggi ascendenti in fondazione: *"dovranno pertanto prevedersi drenaggi ascendenti, sufficientemente approfonditi in fondazione, da perforare a raggiera e il più possibile ravvicinati al paramento di monte, con recapito delle eventuali filtrazioni intercettate nella galleria di drenaggio."*

Nel presente progetto si è previsto di eseguire, dal pozzo principale del nuovo sbarramento, delle perforazioni a raggiera di drenaggio, sia discendenti in fondazione che ascendenti alle imposte, così da intercettare tutte le eventuali filtrazioni che in futuro dovessero provenire dall'ammasso roccioso.

Tutti questi drenaggi convoglieranno le acque nella galleria di drenaggio, dove verranno misurate e quindi scaricate a gravità a valle della diga.

- Demolizione diga esistente: *"Ad ogni modo in fase di progettazione esecutiva potrà essere approfondito ulteriormente detto aspetto, verificando la possibilità di estendere ulteriormente gli interventi di demolizione stessi. Prima del loro avvio andranno inoltre essere definite nel dettaglio le effettive modalità esecutive."*

La diga esistente è preziosa durante la costruzione di quella nuova, in quanto garantisce la protezione idraulica del cantiere. Una volta ultimata la nuova diga, quella esistente non ha più alcuna funzionalità, né ragione d'essere; il nuovo sbarramento è stato infatti dimensionato per reggere da solo a tutti i carichi sia idrostatici che dei sedimenti presenti nell'invaso.

Per quanto riguarda le demolizioni della diga esistente, nel progetto definitivo è stata prevista la completa demolizione delle sue spalle e la sostanziale rimozione della volta sopra la quota dei sedimenti del serbatoio, soprattutto per ospitare lo sfioratore in fregio al nuovo sbarramento.

In questa fase di progettazione esecutiva, in ottemperanza alla richiesta della Direzione Dighe, sono state ulteriormente incrementate le demolizioni della volta della diga esistente; nuove demolizioni sono risultate necessarie anche per ospitare il nuovo imbocco dello scarico del DMV.

Con queste ulteriori demolizioni, a lavori ultimati non rimarrà praticamente nulla della parte emergente dai sedimenti del serbatoio dello sbarramento esistente.

Nella Relazione sul cantiere e programma dei lavori del presente progetto (v. All. A.02) sono dettagliate le modalità esecutive previste per queste demolizioni; queste informazioni sono state necessarie anche per consentire la redazione del Piano di Sicurezza e Coordinamento (v. All. A.08).

Le modalità esecutive che intende utilizzare l'Appaltatore, nel rispetto dei vincoli di Capitolato tecnico (v. All. A.06), saranno dettagliate nella sua documentazione d'appalto, sottoposta all'approvazione della D.L., e nel suo Piano Operativo per la Sicurezza, sottoposto all'approvazione del Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione.

- Iniezione dei giunti: *"Al riguardo nel concordare con la scelta individuata, il Progettista nella successiva fase progettuale fornirà ulteriori elementi di dettaglio in merito al previsto sistema di iniezione e alle miscele da adottarsi."*

Nel presente progetto sono riportati tutti i necessari dettagli dei giunti a livello di disegni e di capitolato, del loro sistema di tenuta e dei circuiti di iniezione.

Sono inoltre riportate le indicazioni delle modalità di iniezione e le caratteristiche che deve rispettare la miscela, incluse le prove di qualifica e da eseguirsi in corso d'opera.

- Sentiero e sistemazioni a valle della diga: *"Circa gli ulteriori aspetti, si raccomanda che il Progettista verifichi la fattibilità di praticare un sentiero di accesso al piede di valle della diga/sfioratore di superficie, allo stato raggiungibile solo dall'interno della struttura mediante scale, nonché definisca gli interventi di sistemazione valle della diga (tavola Y20)."*

Nel presente progetto esecutivo sono riportati maggiori dettagli e sezioni delle sistemazioni spondali a valle della diga, la cui finalità è quella di prevenire eventuali fenomeni erosivi delle sponde in concomitanza di eventi di piena.

Per quanto riguarda l'accesso a valle della diga, nel presente progetto sono state confermate le scale metalliche al paramento di valle già indicate nel progetto definitivo: in sinistra per raggiungere le valvole dello scarico di fondo e in destra per raggiungere comodamente a quota 775 m s.m. il cunicolo di accesso alla diga.

Sia da questa scala in destra, che soprattutto dal locale di valle dello scarico di fondo risulta ispezionabile tutto il paramento di valle e il canale dello sfioratore in corpo diga.

Per consentire un comodo accesso a valle è stato inoltre previsto il prolungamento della galleria di drenaggio con uscita a paramento e quindi, tramite apposita scala, sarà possibile raggiungere sia il blocco di fondazione a quota 745 m s.m. che l'alveo a valle della diga.

L'alveo a valle è anche raggiungibile attraverso un sentiero in sponda sinistra, che

durante i lavori sarà interessato da apposita pista provvisoria di cantiere (v. pista V1 dell'All. A.02 del presente progetto).

- Pendoli diga: *“Per quanto riguarda gli spostamenti in fondazione si ritiene utile prevedere anche l'installazione di un pendolo rovescio, con punto di misura in apposito vano da ubicare all'incirca alla quota della prevista galleria di drenaggio. In detto vano potranno farsi recapitare le richieste perforazioni di drenaggio verticali con recapito all'esterno delle stesse per gravità; in tal modo potrà peraltro evitarsi il sistema di aggettamento di raccolta delle perdite a quota 741,90 m s.m., attualmente previste in progetto. Il pendolo rovescio dovrà essere ancorato ad una sufficiente profondità nell'ammasso di fondazione.”*

Nel presente progetto è stato introdotto un pendolo rovescio, fondato a 15 m di profondità nell'ammasso roccioso di fondazione, che, unitamente al pendolo diritto già previsto, consentirà di monitorare le deformazioni dello sbarramento.

Entrambi i pendoli avranno i serbatoi di recapito con le stazioni di lettura in una apposita camera alla stessa quota della galleria di drenaggio; così facendo si è riusciti ad evitare il sistema di raccolta delle perdite per aggettamento, che invece, come anticipato in precedenza, verranno recapitate nella galleria di drenaggio, quindi misurate e scaricate a valle della diga a gravità.

- Termometri nel calcestruzzo: *“Circa le previste celle per il controllo della temperatura nel calcestruzzo e durante i relativi getti, si ritiene utile prevedere ulteriori punti di rilievo, in aggiunta a quelli attualmente proposti (n. 4 sul giunto in corrispondenza della spalla destra).”*

Nel presente progetto esecutivo si è previsto di mettere in opera ulteriori quattro celle termometriche all'interno del giunto con la spalla sinistra, così facendo si avranno anche in quella parte della diga informazioni in merito allo sviluppo del calore di idratazione e alla variazione termica stagionale della struttura.

- Tavole di armatura: *“Il progetto tuttavia non contiene i dettagli esecutivi delle armature previste, indicate solo come armature tipo nelle sezioni significative; detti dettagli dovranno pertanto essere presentati a questa Amministrazione con il progetto esecutivo, ai sensi del comma 7bis dell'art.1 della L.584/94.”*

In questa fase esecutiva di progettazione sono stati sviluppati tutti i disegni e i particolari costruttivi dei calcestruzzi armati e delle carpenterie metalliche delle opere progettate, unitamente ai relativi calcoli strutturali, necessari al deposito dei cementi armati, in conformità alla L. 1086/71, come indicato dalla L. 584/94.

- Studi dell'onda di piena artificiale a valle della diga: *“l'aggiornamento/conferma*

della validità degli studi dell'onda di piena artificiale (manovre volontarie degli organi di scarico/collasso)"

Con la presente si conferma la validità degli studi in essere di propagazione di onde di piena artificiali a valle della diga sia per quanto riguarda il collasso della diga (dam break) che per le manovre volontarie degli organi di scarico.

Infatti la nuova diga mantiene la stessa quota di massima regolazione dell'attuale (780,75 m s.m.).

Per quanto riguarda invece gli scarichi, quello di alleggerimento non viene assolutamente modificato dagli interventi, e la capacità di scarico mancante (per far fronte alla piena millenaria) viene integrata da uno sfioratore a soglia libera alla quota di massima regolazione.

- Qualifica dei calcestruzzi: In progetto, ad eccezione del magrone, sono previste tre miscele di calcestruzzo:

- M: massivo a basso rilascio di calore di idratazione per i getti della nuova diga;
- M*: per i getti della nuova diga nelle zone di transizione tra i getti massivi e quelli strutturali, e per il paramento di monte (ottenuta dalla miscela M privandola della classe maggiore degli aggregati);
- S: per i getti delle opere strutturali.

Per la miscela M della nuova diga si è scelta praticamente la stessa identica composizione di quella definita in passato per la diga di Stropo, di cui si disponeva delle caratteristiche ottenute in sede di qualifica ufficiale.

Le analisi parametriche sul modello ad elementi finiti hanno comunque evidenziato come variazioni estreme dei parametri del calcestruzzo non comportino variazioni significativi nello stato tensionale della diga.

Va poi fatto presente che in sede di progettazione definitiva, nella simulazione per fasi della costruzione della diga per verificare il rilascio del calore di idratazione, si è considerata, a favore di sicurezza, una costruzione estremamente rapida della diga, non più realistica rispetto al cronoprogramma del presente progetto dove si è tenuto conto della nuova temperatura minima ambientale (0 °C) a cui eseguire i getti.

Si ricorda infine che gli inerti del serbatoio, abitualmente utilizzati presso l'impianto calcestruzzi qualificato di Vanzone della Cogeis S.p.A. (a 4 km di distanza dalla diga), che sicuramente verranno utilizzati per i getti del nuovo sbarramento, sono stati già sottoposti con esito positivo presso laboratorio ufficiale a tutte le prove volte a scongiurare la reattività all'AAR.

Fatte queste premesse, e considerato che l'iter di autorizzazione ambientale (V.I.A.) della nuova diga non è ancora concluso, si è previsto di eseguire la qualifica ufficiale delle miscele di calcestruzzo una volta che si avrà la certezza

dell'esecuzione dei lavori.

La qualifica di tutte e tre le miscele verrà eseguita dall'Appaltatore, subito dopo la consegna dei lavori, presso un laboratorio ufficiale. Qualora emergessero parametri della miscela M sostanzialmente differenti rispetto a quelli considerati e parametrizzati nei calcoli numerici, le analisi ad elementi finiti verranno ripetute. Il tempo per la qualifica così come per eventuali analisi numeriche integrative non mancherebbe certo, considerando che i getti della diga sono previsti con il secondo anno dei lavori.

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Gli interventi di adeguamento della diga di Ceppo Morelli, consistono:

- nell'esecuzione di una nuova diga ad arco-gravità a ridosso dell'esistente sbarramento;
- nell'adeguamento dello scarico di superficie esistente;
- in interventi complementari tra cui: sistemazioni spondali a valle della diga, messa in sicurezza dello scarico di fondo esistente e nuova viabilità carrabile definitiva di accesso alla sponda destra della diga.

La nuova diga ad arco-gravità sostituirà integralmente lo sbarramento esistente, che per la sua costruzione verrà sfruttato come "cassero a perdere". Il nuovo sbarramento consentirà l'adeguamento dell'impianto sia dal punto di vista strutturale che idraulico, dovendo essere adeguata la capacità di scarico a fronte della nuova piena millenaria.

La nuova diga sarà realizzata con calcestruzzo a basso rilascio di calore di idratazione e sarà munita di un proprio scarico di fondo e di uno di superficie in fregio alla nuova struttura.

Durante la costruzione di questo manufatto verrà quasi integralmente demolita la parte della diga esistente emergente dai sedimenti del serbatoio.

Verranno mantenuti lo scarico di mezzofondo e lo scarico di superficie esistenti in quanto costituiti da opere esterne allo sbarramento attuale.

Lo scarico di superficie esistente verrà adeguato alle nuove quote idriche del serbatoio (nuova quota di massimo invaso: 784,50 m s.m.) mediante il sovrizzo del muro di valle, su cui verrà anche spostata la passerella pedonale che consente l'accesso in diga dalla sponda sinistra dell'invaso.

Le opere in appalto prevedono anche interventi complementari minori, come la sistemazione di alcuni tratti spondali a valle della diga, per proteggerli da fenomeni erosivi in concomitanza di piene, la messa in sicurezza dello scarico di fondo esistente mediante il tamponamento del suo imbocco con calcestruzzo, e la nuova viabilità carrabile di accesso alla diga in sponda destra.

Nel seguito si riporta una breve descrizione delle opere, per le cui modalità esecutive si rimanda alla Relazione sul cantiere e programma dei lavori (v. All. A.02), e per le cui specifiche e prescrizioni esecutive si rimanda al Capitolato tecnico (v. All. A.06).

3.1. NUOVA STRUTTURA AD ARCO-GRAVITA'

La nuova diga ad arco-gravità verrà realizzata a ridosso del paramento di valle dell'esistente sbarramento, e una volta costruita lo sostituirà integralmente.

Infatti la parte emergente dai sedimenti del serbatoio della diga attuale, verrà quasi integralmente demolita durante la costruzione del nuovo sbarramento.

Questa nuova struttura ad arco-gravità avrà coronamento a quota 786,00 m s.m., garantendo così il franco regolamentare nei confronti del nuovo livello di massimo invaso (784,50 m s.m.).

La nuova diga potrà utilmente sfruttare come cassero a monte la diga esistente, che per essere lasciata liberamente espandere (verso monte e verso l'alto) non sarà strutturalmente collegata nelle parti in elevazione alla nuova struttura di valle.

Le due strutture saranno invece organicamente collegate all'imposta per realizzare la tenuta a monte, mentre il restante contatto roccia/calcestruzzo della struttura di valle sarà liberamente drenante.

Quanto alla necessità di adeguare l'impianto alla nuova piena millenaria di 1.264 m³/s è stato previsto uno sfioratore in fregio alla nuova diga, con ciglio alla stessa quota dello scarico di superficie esistente (780,75 m s.m.).

In Figura 4 si può vedere una planimetria della nuova diga estratta dagli elaborati grafici di progetto; si può notare in fregio ad essa lo sfioratore.

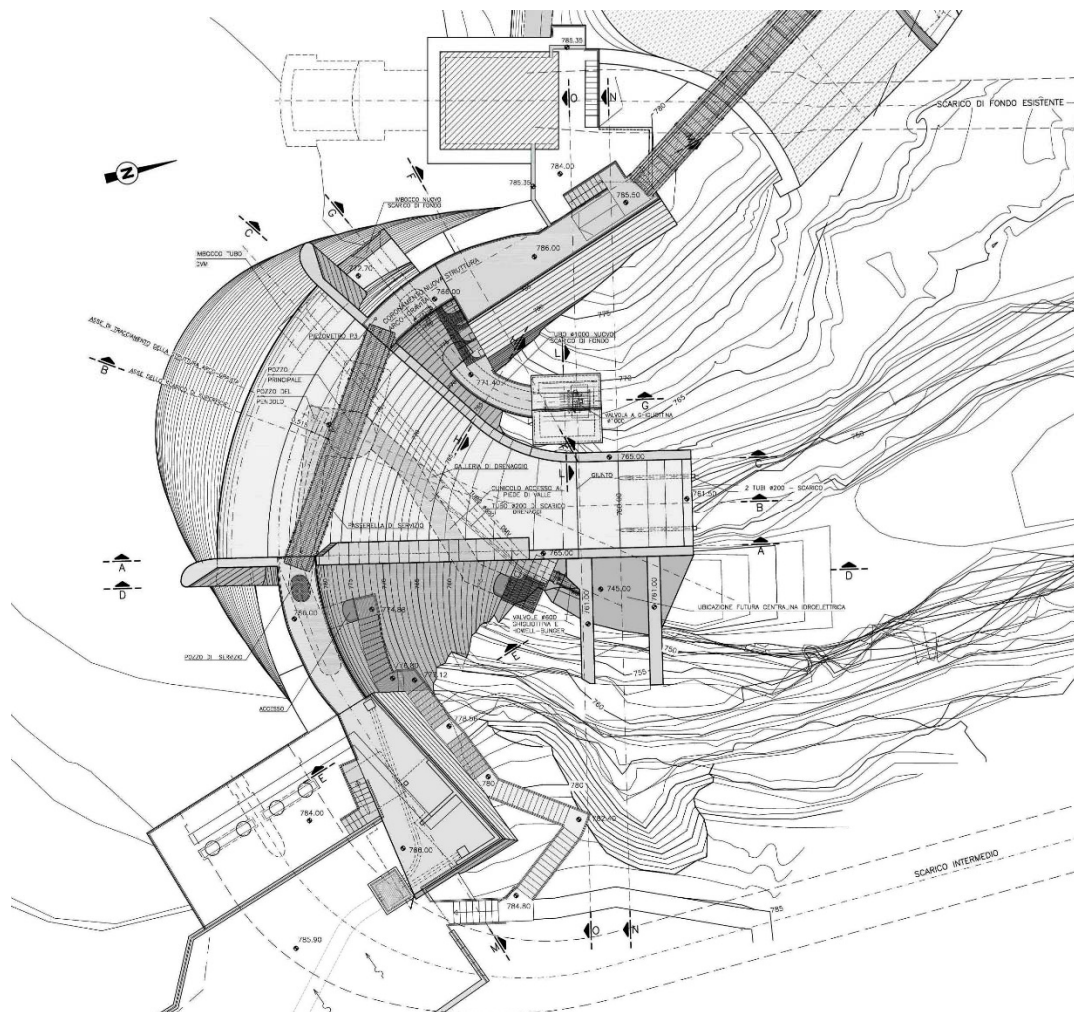


Figura 4 - Planimetria diga ad arco-gravità

In Figura 5 è riportata la sezione della struttura ad arco-gravità in asse allo sfioratore,

estratta dagli elaborati grafici di progetto.

Il nuovo scarico di superficie è delimitato da due muri in calcestruzzo armato, aggettanti nell'invaso, che proseguono lungo tutto il suo sviluppo fino al salto di ski finale, come si può vedere dalla planimetria di Figura 4.

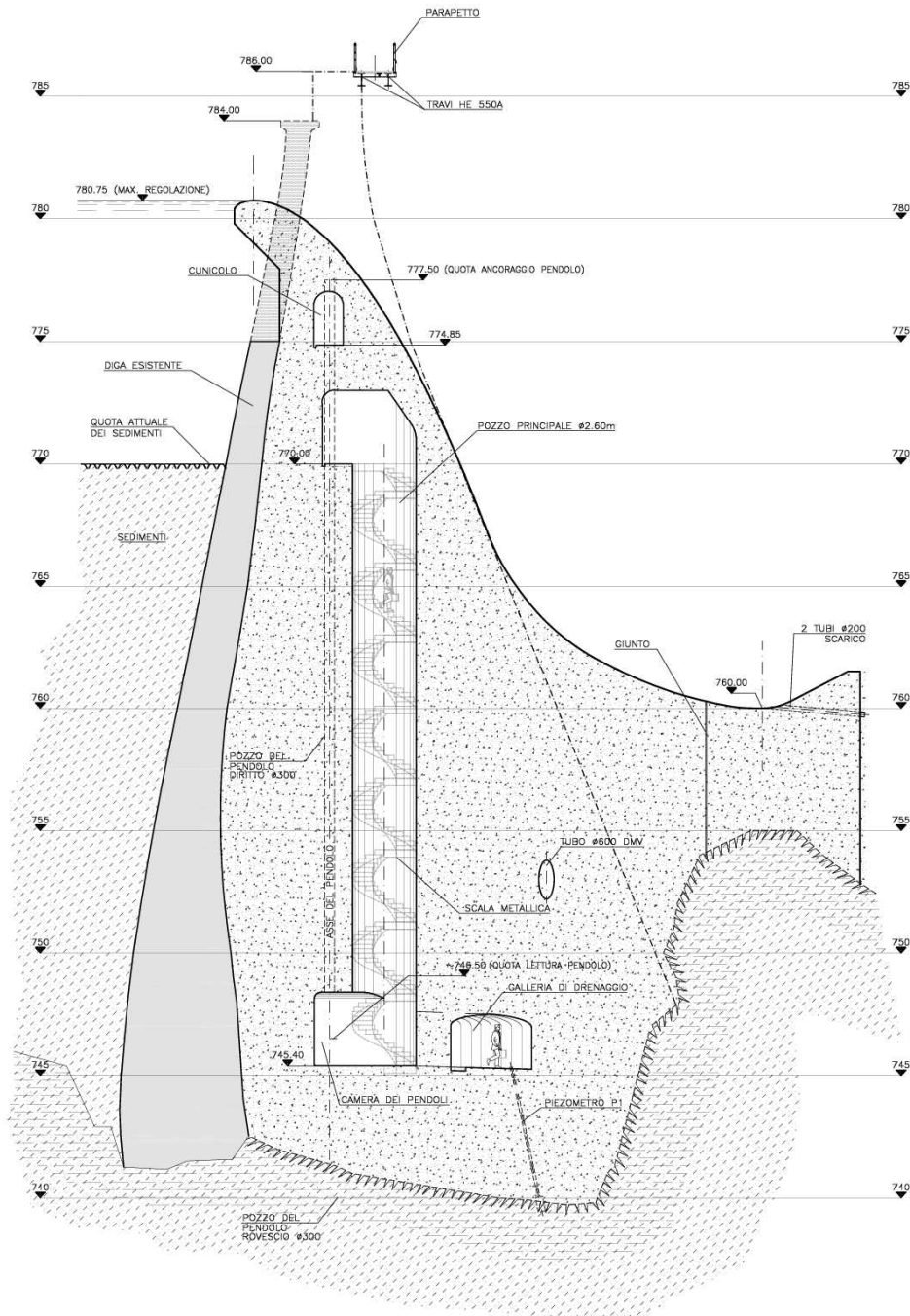


Figura 5 - Sezione diga ad arco-gravità

La diga è dotata anche di due organi di scarico profondi: di fondo e per il rilascio del

DMV, costituiti da tubazioni in acciaio rispettivamente $\varnothing 1000$ mm e $\varnothing 600$ mm annegate nel calcestruzzo, con apposite valvole. In particolare lo scarico di fondo ha sia a monte che a valle valvole a ghigliottina: quella di monte in una apposita camera interna alla diga e quella di valle nel locale di nuova realizzazione; mentre lo scarico del DMV ha a valle due valvole in serie: a ghigliottina a monte e Howell-Bunger a valle, la ghigliottina serve per consentire eventuali future manutenzioni alla Howell-Bunger.

In Figura 6 si può vedere il profilo del nuovo scarico di fondo.

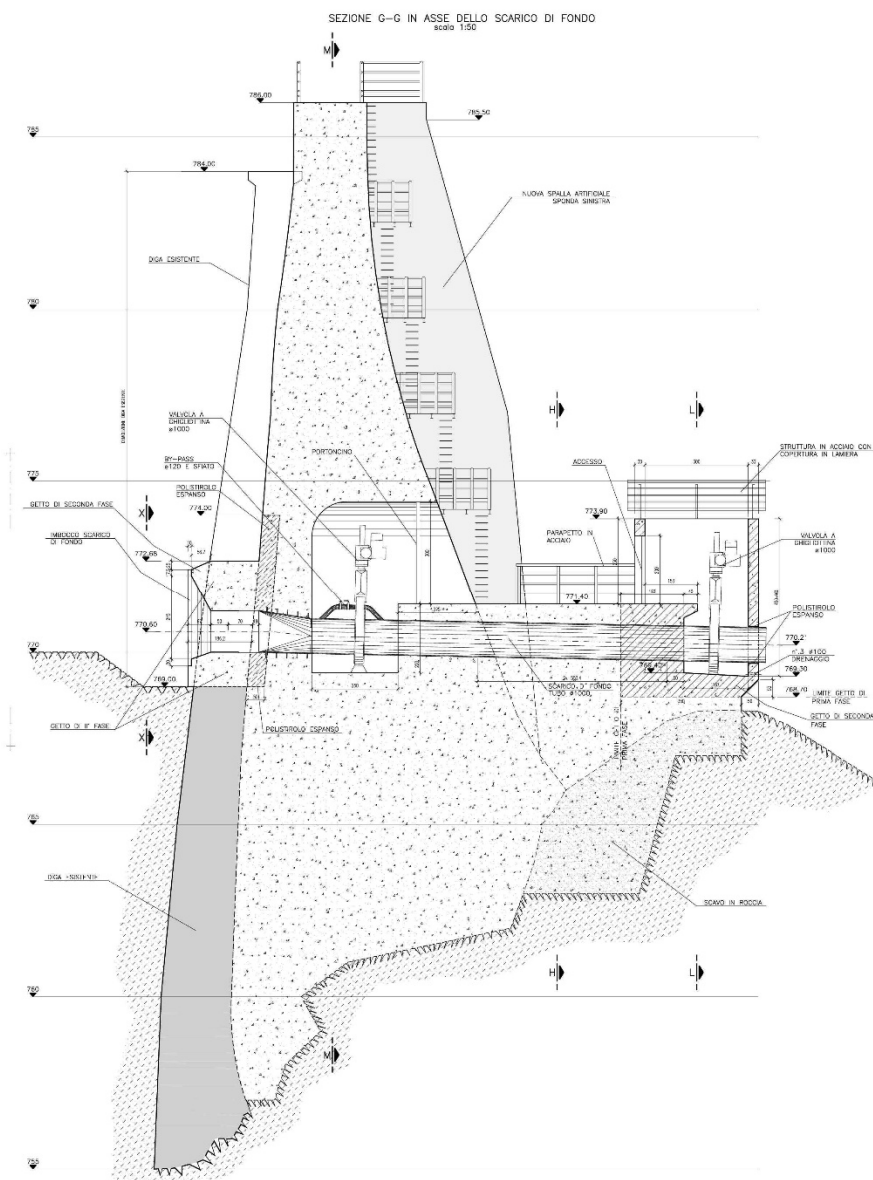


Figura 6 - Profilo nuovo scarico di fondo

La nuova diga si sviluppa a valle dell'esistente, lungo le imposte rocciose su cui sarà fondata, per circa 25 m.

L'imposta su cui verrà fondata la nuova struttura sarà accuratamente trattata e preparata prima dei getti, come meglio dettagliato nelle relazioni specialistiche del presente progetto (v. All. A.02 e All. A.06).

Come anticipato in precedenza, la diga esistente verrà parzialmente demolita durante la costruzione della nuova, anche per consentire la realizzazione dei nuovi scarichi di fondo, del DMV e di superficie; nelle Figura 7 e Figura 8 si riporta rispettivamente una vista da monte e una sviluppata da valle con indicate le demolizioni delle porzioni di diga esistente, che verranno anche preventivamente isolate mediante tagli con filo diamantato (linee rosse).

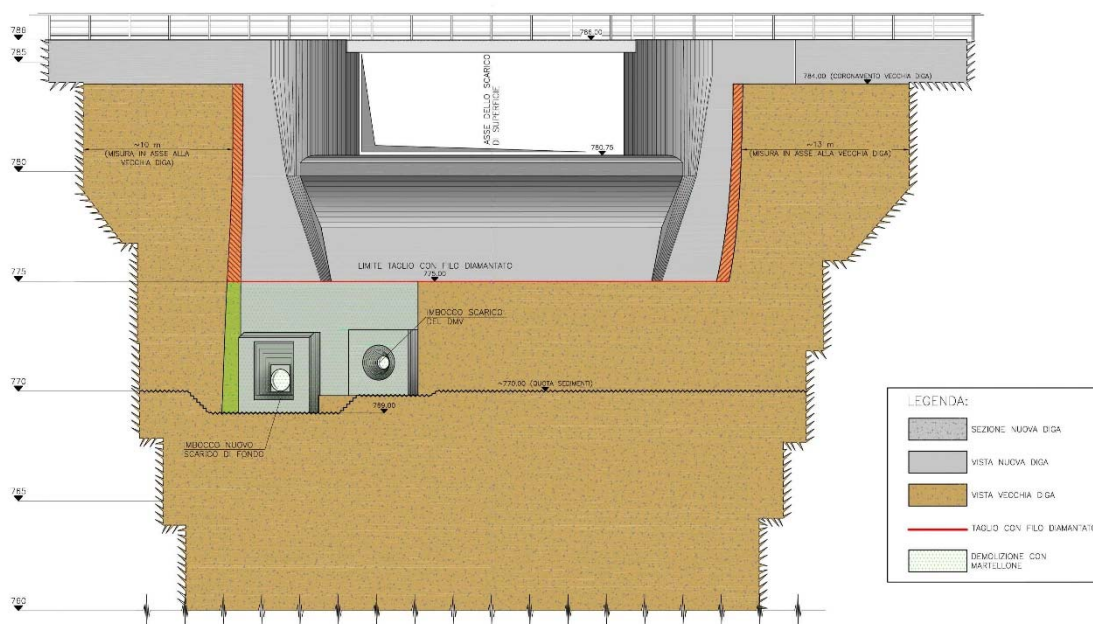


Figura 7 - Vista da monte con indicate le demolizioni della diga esistente

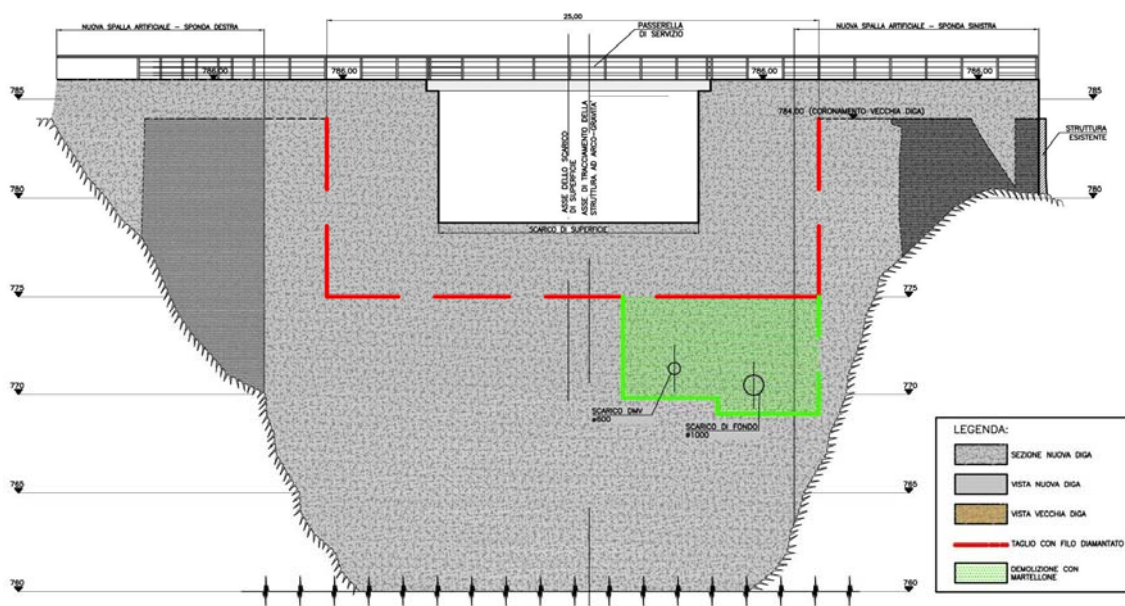


Figura 8 - Sviluppata da valle con indicate le demolizioni della diga esistente

La nuova diga è munita al suo interno di cunicoli collegati ad un pozzo verticale, che consentono di raggiungere la strumentazione di monitoraggio, e la galleria di drenaggio in cui vengono raccolte e quindi scaricate a valle le acque raccolte dai dreni.

In Tabella 1 si riportate le principali caratteristiche della nuova diga e del suo serbatoio:

| | | |
|--|--------|-------------------|
| Volume di invaso | 82.000 | m ³ |
| Volume utile di regolazione | 78.400 | m ³ |
| Tipo di diga (D.M. 26.06.2014) | a.2.2. | |
| Altezza della diga (D.M. 26.06.2014) | 48,00 | m |
| Quota di massimo invaso | 784,50 | m s.m. |
| Quota di massima regolazione | 780,75 | m s.m. |
| Quota del piano di coronamento | 786,00 | m s.m. |
| Franco | 1,50 | m |
| Franco netto | 1,20 | m |
| Sviluppo del coronamento | 50 | m |
| Spessore a coronamento | 2,00 | m |
| Colmo dell'onda di piena Q ₁₀₀₀ | 1.264 | m ³ /s |

Tabella 1 - Dati nuova diga e serbatoio

3.2. SCARICO DI SUPERFICIE ESISTENTE

Lo scarico di superficie esistente è costituito da uno sfioratore laterale in sponda sinistra,

il cui canale di raccolta delle acque sfiorate si sviluppa per circa 90 m prima di restituire le portate a valle dello sbarramento.

In Figura 9 è riportata una planimetria di questo manufatto di scarico (parzialmente visibile in Figura 4).

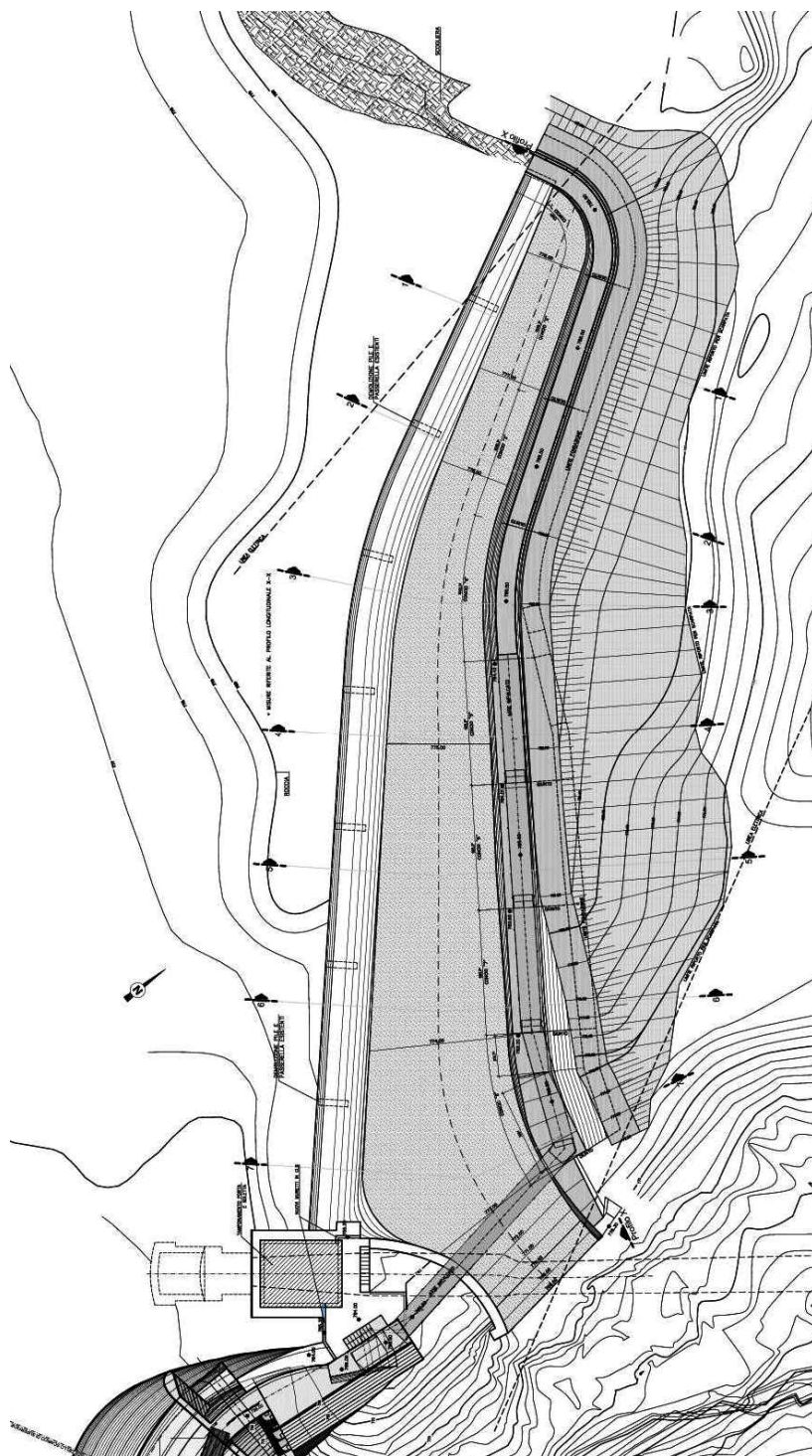


Figura 9 - Planimetria scarico di superficie esistente

Il progetto prevede il sovrizzo del muro di valle di questo scarico, per consentire di

contenere nel canale la portata scaricata in condizioni di piena millenaria.

Questo muro è costituito da blocchi di pietrame con fughe in malta; data la difficoltà di sovralzare un elemento strutturale di questo tipo e visto il suo buono stato di conservazione, si è deciso di eseguire un nuovo muro in calcestruzzo armato a valle di esso, che lo "inglobi", come si può vedere dalla sezione tipo di Figura 10.

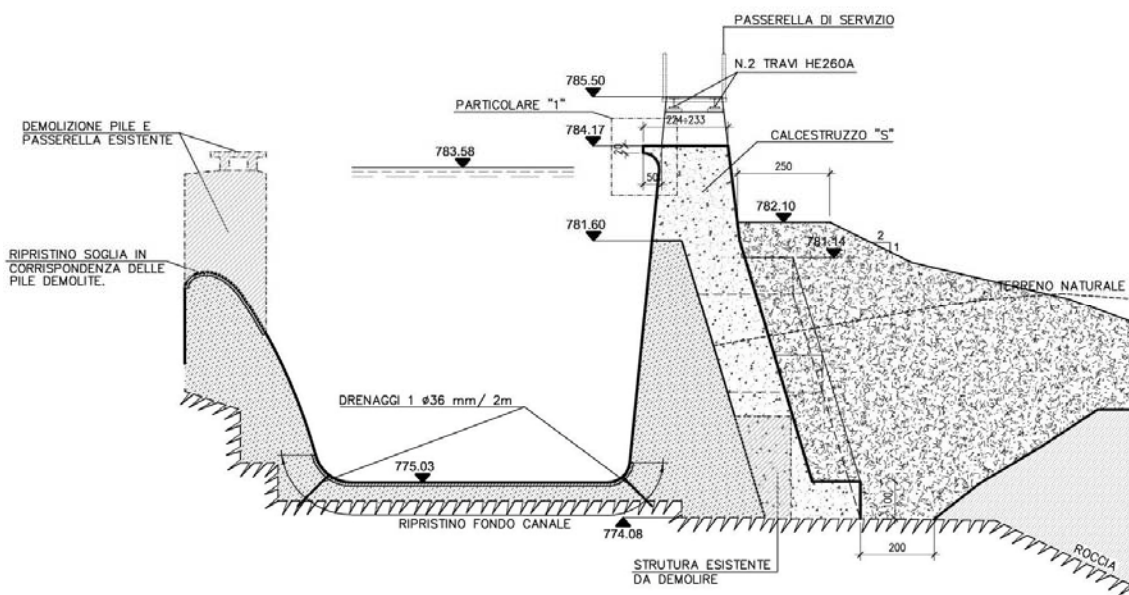


Figura 10 - Sezione tipo sovrizzo muro di valle

Questo nuovo muro sarà fondato su roccia; nella parte terminale di valle, data la profondità considerevole della roccia riscontrata dai sondaggi eseguiti, verranno realizzate due file di micropali spinti 3 m in roccia, aventi la funzione di sostenere il muro esistente durante gli scavi e di trasmettere in roccia i carichi di quello nuovo (v. particolare di Figura 11).

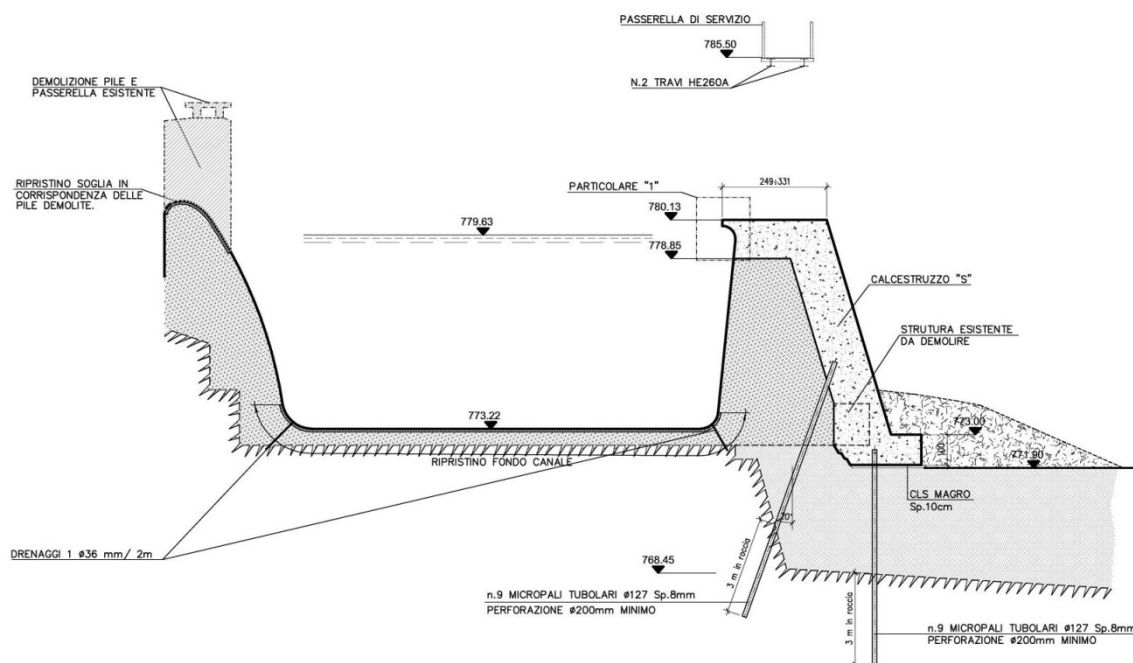


Figura 11 - Sezione sovrizzo muro di valle con micropali

Oltre al necessario sovrizzo del muro di valle del canale, verranno anche demoliti l'impalcato e le pile della passerella esistente sopra la soglia di sfioro (v. Figura 10), sia per l'incompatibilità di essa alla nuova quota di massimo invaso, ma anche per favorire la fluitazione di eventuali corpi galleggianti.

Il nuovo percorso pedonale che consentirà di accedere al coronamento della diga dalla sponda sinistra, correrà lungo la testa del nuovo muro di valle dello scarico, dopo di che proseguirà su impalcato in carpenteria metallica, sorretti da pile in calcestruzzo armato, per poi sbarcare sulla nuova diga.

Infine, oltre al ripristino della soglia sfiorante nelle zone in cui sono state demolite le pile della passerella esistente, è previsto il ripristino del fondo del canale che oggi si presenta ammalorato, e la realizzazione di due file di drenaggi ai suoi lati per consentire lo scarico di eventuali sottopressioni.

3.3. INTERVENTI COMPLEMENTARI

Sono previsti in appalto alcuni interventi complementari, che riguardano sostanzialmente:

- la messa in sicurezza dello scarico di fondo esistente;
- la sistemazione di due tratti delle sponde dell'alveo a valle della diga;
- la realizzazione di una viabilità carrabile definitiva di accesso alla sponda destra della diga.

3.3.1 MESSA IN SICUREZZA DELLO SCARICO DI FONDO ESISTENTE

Lo scarico di fondo esistente è interrito e inutilizzabile dal 1939; la paratoia a settore che

ne regolava l'imbocco è in posizione di chiusura ed è protetta a monte da una paratoia piana.

Come messa in sicurezza di questo scarico è previsto l'intasamento dell'intercapedine, di ~2 m di spessore, tra la paratoia piana e la paratoia a settore con calcestruzzo, che verrà gettato a monte della paratoia a settore tramite opportuni fori praticati nel manto della stessa.

Per questo getto di intasamento si è previsto l'impiego della miscela di calcestruzzo M*.

3.3.2 SISTEMAZIONI SPONDALI A VALLE DELLA DIGA

Per quanto riguarda l'alveo a valle della diga, è prevista la sistemazione delle sue sponde circa 100 m a valle della diga, in due posizioni che già attualmente sono soggette a erosione in occasione delle piene più importanti. Le due tratte da sistemare si sviluppano per circa 50 m in sponda sinistra e circa 30 m in destra.

Le sistemazioni sono costituite essenzialmente da:

- Una struttura in massi da 500÷800 kg accuratamente sistemati fino a quota 746 m s.m., fondata su roccia o con un taglione sub-alveo sino a 2 m di profondità. A tergo della struttura in massi un filtro di sabbia e ghiaia, poggiante su un geotessile drenante, protegge dall'erosione delle acque sotterranee il retrostante rilevato.
- Un rilevato in tout-venant compattato di raccordo tra il ciglio della struttura in massi e le scarpate attuali. Questo rilevato verrà ricoperto con uno strato di terreno vegetale e quindi rinverdito con idrosemina.

Il materiale per la formazione delle scogliere e del rilevato compattato proverrà dalle risulite degli scavi, se ritenuto idoneo dalla D.L., altrimenti da cave esterne al cantiere.

Oltre alle sistemazioni spondali è prevista in progetto anche la captazione della sorgente esistente a quota 770 m s.m. ed il suo convogliamento in alveo mediante tubazione in PVC pesante Ø250 mm di ~60 m di lunghezza, protetta in trincea di ~1 m di profondità. Nella parte iniziale di questa tubazione recapiteranno anche le acque captate da una trincea drenante di ~2 m di profondità e ~10 m di lunghezza.

3.3.3 VIABILITA' CARRABILE DEFINITIVA DI ACCESSO ALLA SPONDA DESTRA DELLA DIGA

Sia per l'esecuzione dei lavori che per facilitare l'esercizio futuro dello sbarramento, si è previsto in progetto di prolungare la viabilità carrabile esistente in sponda destra, che oggi consente di raggiungere lo sgrigliatore dell'opera di presa, fino alla spalla della diga.

Durante i lavori questa viabilità servirà come pista di cantiere per i getti della nuova diga, e al termine dell'appalto verrà sistemata e asfaltata in modo da diventare una viabilità di accesso carrabile permanente della diga.

La realizzazione di questa viabilità di accesso comporta la costruzione di nuovi muri in calcestruzzo armato di sostegno per il contenimento del rilevato stradale; questi manufatti verranno realizzati con la miscela di calcestruzzo strutturale S.

Nel suo tratto terminale, in prossimità della spalla della diga, la carreggiata stradale si allarga fino a diventare un piazzale, per consentire sia la sosta che la manovra di automezzi.

Questo nuovo tratto di strada sarà munito di apposito sistema di drenaggio delle acque meteoriche con cunette e pozzetti.

3.4. CALCESTRUZZI

In progetto sono state previste tre miscele di calcestruzzo:

- M: per i getti massivi della nuova diga;
- S: per i getti strutturali della nuova diga (pile, muri e traversi del nuovo scarico di superficie), del sovrizzo del muro di valle dello scarico di superficie esistente, e dei muri di sostegno della nuova viabilità in sponda destra;
- M*: per i getti della nuova diga nelle zone di transizione tra le miscele M e S, e per il paramento di monte.

Queste miscele saranno oggetto di qualifica presso un laboratorio ufficiale da parte dell'Appaltatore, in ottemperanza alla normativa vigente.

3.4.1 CALCESTRUZZO DI MASSA (CLASSI M)

La miscela M verrà utilizzata per i getti massivi della nuova struttura ad arco-gravità; essa ha la finalità di ridurre lo sviluppo di calore e le conseguenti tensioni indotte.

Sulla scorta di questi obiettivi si è prevista una miscela con un quantitativo contenuto di cemento pozzolanico e un pari quantitativo di ceneri volanti, per garantirne la lavorabilità.

In Tabella 1 si riporta la ricetta indicativa per metro cubo di calcestruzzo:

| | | | |
|-----------|---------------------------|-------|--------|
| Leganti | Cemento tipo IV B 32,5 N | 100 | kg |
| | Ceneri volanti | 100 | kg |
| Acqua | (inclusa umidità inerti) | 120 | l |
| Additivi | Superfluidificante | 2 | l (kg) |
| Aggregati | 0÷3 mm | 520 | kg |
| | 3÷15 mm | 610 | kg |
| | 15÷30 mm | 410 | kg |
| | 30÷80 mm | 560 | kg |
| | Peso teorico dell'impasto | 2.422 | kg |

Tabella 1 - *Composizione indicativa Miscela M*

Dal punto di vista delle resistenze, l'obiettivo è di ottenere una resistenza "caratteristica" (a 90 gg) ≥ 15 MPa.

3.4.2 CALCESTRUZZO STRUTTURALE (CLASSE S)

La miscela S verrà utilizzata per le opere strutturali in calcestruzzo armato, in particolare per il sovrizzo del muro di valle dello scarico di superficie esistente, così come per le pile, i muri e i traversi del nuovo sfioratore.

Questa miscela strutturale avrà le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza: C (32/40)
- Classe di esposizione ambientale: XF1-XF3
- Classe di consistenza: S4

In Tabella 2 si riporta la ricetta indicativa per metro cubo di calcestruzzo:

| | | | |
|-----------|---------------------------|---------|--------|
| Leganti | Cemento tipo IV B 32,5 R | 400 | kg |
| Acqua | (inclusa umidità inerti) | 160 | l |
| Additivi | Superfluidificante | 2,5 | l (kg) |
| Aggregati | 0÷3 mm | 980 | kg |
| | 3÷15 mm | 220 | kg |
| | 15÷30 mm | 645 | kg |
| | Peso teorico dell'impasto | 2.407,5 | kg |

Tabella 2 - *Composizione indicativa Miscela S*

3.4.3 CALCESTRUZZO DI TRANSIZIONE (CLASSE M*)

La miscela M* è prevista nella zona di transizione di circa 1 m dove le strutture in c.a. (muri, travi, ecc.) si innestano nella diga, così da avere, rispetto al calcestruzzo massivo M, una miscela più ricca di legante per la transizione con la miscela strutturale S.

La miscela M* si otterrà privando la miscela M dell'intera classe di inerte grosso (30÷80 mm). Questa miscela M* sarà utilizzata anche per tutto lo scivolo dello scarico di superficie, così come per il primo metro di spessore del paramento di monte.

In Figura 12 si riporta un profilo longitudinale schematico del muro di destra dello sfioratore in fregio al nuovo sbarramento, per mostrare la transizione prevista tra le differenti miscele di calcestruzzo; in questa immagine si può notare anche lo strato di calcestruzzo M* al paramento di monte.

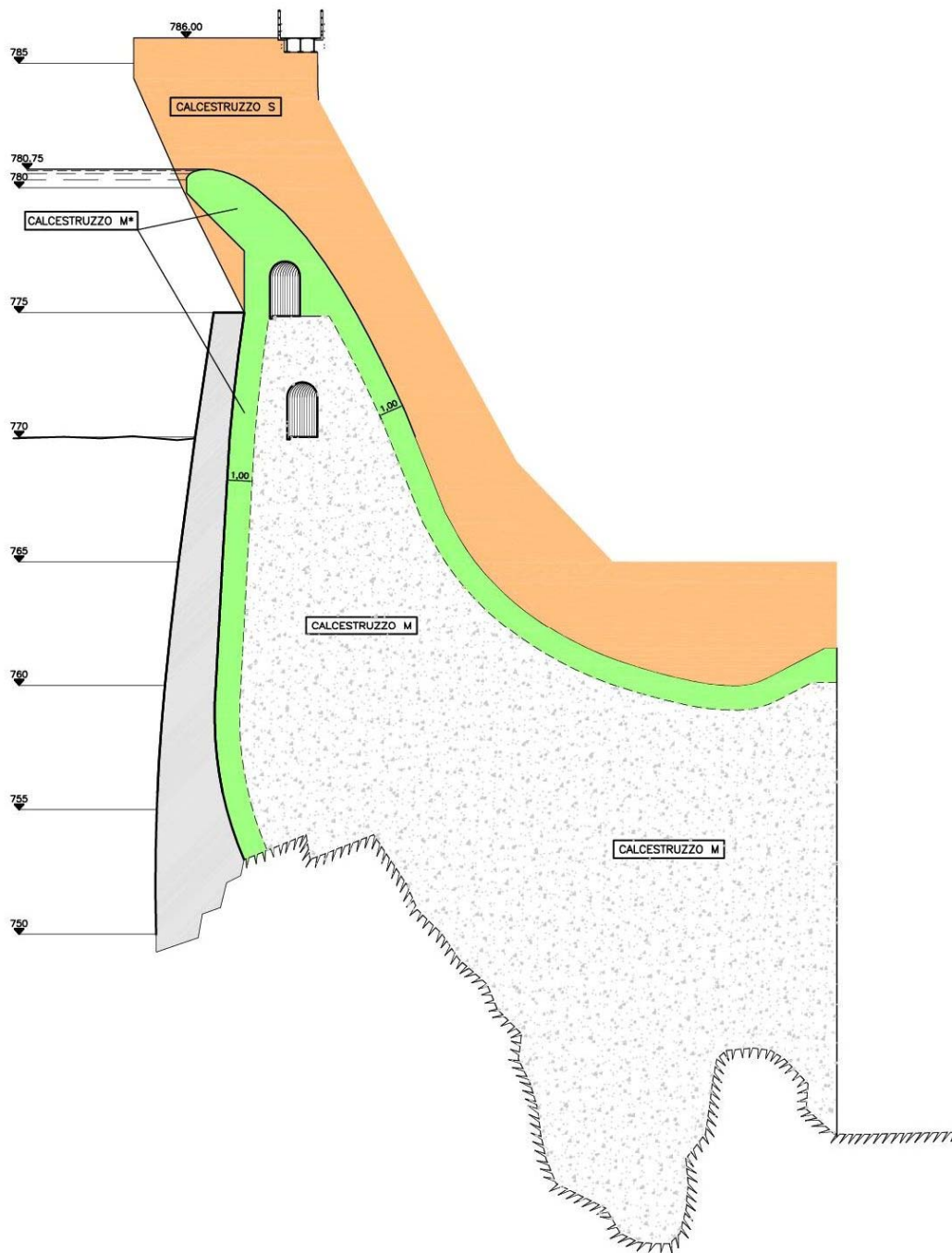


Figura 12 - Calcestruzzi nuova diga

3.5. MONITORAGGIO

Come sistema di monitoraggio della nuova struttura ad arco-gravità è prevista l'installazione di:

- Pendoli: un pendolo dritto e uno rovescio automatici in asse diga, in sostituzione delle misure di collimazione. Queste infatti non possono controllare la sezione in chiave della diga per la presenza dello sfioratore. Oltre alle misure automatiche,

controllabili dalla casa di guardia, si disporrà anche una postazione per le misure manuali di controllo.

I serbatoi dell'olio di questi pendoli e le loro letture automatiche e manuali verranno eseguite nell'apposita camera ricavata alla stessa quota della galleria di drenaggio (745,40 m s.m.), accessibile dalla scala del pozzo principale.

- Livellazione: verrà realizzata una linea di livellazione a coronamento che partendo dalla roccia affiorante in sponda destra controlli 6 punti caratteristici della nuova struttura: 2 punti della diga in vicinanza dei muri d'ala dello scarico di superficie e 2 punti a cavallo dei giunti sia in destra che in sinistra.
- Piezometri: verranno installati tre piezometri in fondazione per il controllo delle sottopressioni al contatto roccia-calcestruzzo, in particolare:
 - *Piezometro P1*: a ~740 m s.m. in centro alla fondazione della diga con recapito e lettura nella galleria di drenaggio a 745,40 m s.m.
 - *Piezometro P2*: a ~760 m s.m. sull'imposta destra con recapito e lettura nel cunicolo a 770 m s.m.
 - *Piezometro P3*: a ~760 m s.m. sull'imposta sinistra con recapito e lettura a coronamento.

Le misure di questa strumentazione potranno essere lette in automatico dalla casa di guardia o manualmente sul posto.

- Termometri: verranno installati otto termometri nel calcestruzzo in corrispondenza dei giunti di costruzione con le spalle della diga: quattro nel giunto destro e quattro in quello sinistro.

Le misure di questa strumentazione potranno essere lette in automatico dalla casa di guardia.

- Perdite: è prevista l'installazione nella galleria di drenaggio di un sistema di raccolta e misura delle perdite provenienti dai drenaggi alle imposte.

Le misure di questa strumentazione potranno essere lette in automatico dalla casa di guardia o manualmente sul posto.

A valle del misuratore di portata, le acque verranno scaricate a valle della diga tramite una tubazione in acciaio Ø200 mm, presidiata da una valvola a clapet per evitare, in caso di eventi di piena eccezionali, l'ingresso nella galleria di drenaggio delle acque transitanti in alveo.

Nell'appalto della diga verranno realizzate tutte le opere civili per l'installazione della strumentazione di monitoraggio, mentre la strumentazione vera a propria, fatta eccezione per i termometri, verrà fornita e installata con appalto separato a ditta specializzata.

4. STUDI GEOLOGICI-GEOMECCANICI

Gli studi geologico-geomeccanici (v. All. A.03 del presente progetto), condotti da una equipe coordinata dal Prof. Giorgio Martinotti e dal Dott. Enrico Arese, esperti e profondi conoscitori della zona, si sono svolti in più fasi:

Nel periodo aprile-maggio 2009, è stato effettuato:

- un rilevamento geologico-strutturale della zona interessata dallo sbarramento;
- uno studio strutturale volto alla ricostruzione degli eventi deformativi duttili e fragili;
- un rilevamento geologico-strutturale di dettaglio delle imposte della diga comprendente:
 - 3 stendimenti verticali (calate);
 - 4 stendimenti orizzontali;
- un rilevamento geologico-strutturale della galleria dello scarico di fondo;
- un riesame delle carote dei sondaggi eseguiti nel 2008;
- un esame delle condizioni geomorfologiche al contorno e della situazione idrogeologica, con particolare riferimento alle emergenze in sponda sinistra;
- un'elaborazione dei dati strutturali ai fini della caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso;
- un'analisi di stabilità mediante metodi dell'equilibrio limite e successiva elaborazione mediante codici di calcolo.

Nel periodo febbraio-marzo 2011, è stata effettuata:

- la revisione dell'analisi di stabilità dei fronti in roccia, di cui sopra, ai sensi del D.M. 14/01/2008 e della Circ. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

Nel periodo novembre 2014-maggio 2015, è stata effettuata:

- una campagna geognostica da parte di Tecno In S.p.A., comprensiva di:
 - n. 2 carotaggi geotecnici, in corrispondenza delle spalle della diga, spinti sino a 65,00 m di profondità (S1 in spalla destra ed S2 in spalla sinistra);
 - esecuzione di prove Lugeon in foro;
 - esecuzione di videoispezioni ottiche ed acustiche in foro;
- una revisione del modello geomeccanico dell'ammasso roccioso di imposta della diga, in relazione alle nuove indagini eseguite, con particolare riferimento alle caratteristiche di impermeabilità ed iniettabilità;

- un'analisi di stabilità, mediante metodi dell'equilibrio limite e successiva elaborazione mediante codici di calcolo di una porzione potenzialmente instabile della spalla sinistra, utilizzando le spinte più gravose che la diga eserciterà sull'ammasso roccioso;
- la stesura del rapporto finale, comprensivo di tutti gli elaborati prodotti nelle varie fasi di studio sopraelencate dal 2009 al 2015 (v. All. A.03).

In estrema sintesi, le conclusioni di questi approfonditi studi evidenziano:

- L'ottima qualità dell'ammasso roccioso di imposta della diga.
- La stabilità dei versanti è verificata nelle condizioni più gravose (statiche e sismiche), fatta eccezione per un cuneo potenzialmente instabile in sponda destra di cui è stata prevista in progetto la rimozione.
- Le modeste spinte esercitate dalla nuova diga sulla roccia di imposta nelle condizioni più gravose statiche e sismiche, con valori massimi di ~0,5 MPa, sono ininfluenti in relazione ai parametri geomeccanici della roccia.
- L'ultima campagna di indagine ha consentito di verificare che l'ammasso roccioso si presenta decisamente chiuso e con fratture aperte (di pochi mm) spaziate di circa 10 m, con un'unica faglia osservata seppur senza zona di danneggiamento, ma con patine di ossidazione, nel sondaggio S2 tra 9,60 e 10,60 m.

Sulla base dei risultati ottenuti si può affermare che:

- l'ammasso roccioso si presenta chiuso e impermeabile;
- le discontinuità o le zone fratturate ubicate in corrispondenza della maggior parte delle prove Lugeon effettuate sono praticamente impermeabili;
- solamente 3 discontinuità (una in S1 e due in S2) presentano assorbimenti da modesti a medi;
- alcune prove Lugeon, specialmente a fondo foro, evidenziano una modesta fratturazione idraulica per $P > 0,6 \div 0,8$ MPa.

In riferimento a quanto sopra riportato non si è ritenuta necessaria la realizzazione di uno schermo di impermeabilizzazione. Iniezioni in pressione, anziché "cucire" l'ammasso roccioso, già impermeabile di suo, potrebbero infatti generare fratturazione idraulica, peggiorando le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso stesso.

Viceversa, come già indicato in precedenza in ottemperanza alle prescrizioni della Direzione Dighe, durante l'esecuzione delle iniziali fasi di pulizia e preparazione delle imposte, il Geologo della D.L. valuterà con attenzione il quadro fessurativo e definirà le eventuali fratture aperte da intasare e iniettare, previa esecuzione di ulteriori prove Lugeon.

Sempre in ottemperanza alle prescrizioni della Direzione Dighe verranno invece eseguite, una volta completata la nuova diga, perforazioni a raggiera dal pozzo

principale con la doppia finalità di:

- trattare con iniezioni cementizie localizzate il contatto roccia-calcestruzzo, soprattutto in prossimità del paramento di monte;
- drenare maggiormente, come integrazione della rete di drenaggio superficiale in fondazione (mezzi tubi Ø200), l'ammasso di imposta della diga, anche con perforazioni ascendenti.

In relazione alla sicurezza del cantiere, in fase costruttiva, una volta pulite le sponde, si eseguirà un attento disgaggio di tutte le porzioni che possano rivelarsi instabili nei confronti di rilasci di piccoli blocchi rocciosi.

5. VERIFICHE STRUTTURALI E ANALISI PARAMETRICHE

Il progetto definitivo approvato conteneva tutte le analisi numeriche ad elementi finiti, statiche e sismiche, della nuova diga con cui è stata dimostrata la rispondenza delle verifiche di sicurezza del nuovo sbarramento alla normativa vigente.

Al presente progetto sono invece allegate (v. All. A.04) le Analisi numeriche parametriche a supporto della progettazione della diga di Ceppo Morelli, eseguite da RSE S.p.A., in ottemperanza alle prescrizioni della Direzione Dighe.

Come già illustrato al § 2, nelle analisi parametriche sono stati fatti variare i parametri del calcestruzzo e della roccia di imposta, così come gli attriti delle superfici di interfaccia.

Queste analisi parametriche evidenziano la scarsissima influenza che ha la variabilità di questi parametri sullo stato tensionale della diga; in alcuni casi (roccia e giunti) non si riesce ad apprezzare nemmeno una minima differenza nello stato di sforzo tra i due casi estremi di variabilità dei parametri, e risulta appena percettibile per la diffusività termica del calcestruzzo.

L'unico parametro che ha una qualche, seppur minima, influenza, come era logico attendersi, è il modulo elastico del calcestruzzo. Nel caso con modulo elastico massimo le zone sovrasollecitate sui paramenti ovviamente si estendono leggermente, mantenendosi però comunque assolutamente corticali.

In definitiva l'esito di queste analisi parametriche evidenzia la bontà dei parametri assunti nel caso di riferimento (progetto definitivo) a supporto del dimensionamento e delle verifiche della nuova diga, e confermano in tutti i casi estremi analizzati il soddisfacimento dei requisiti normativi e di sicurezza.

Per quanto riguarda le verifiche delle altre opere strutturali previste in progetto, esse sono contenute nella Relazione di Calcolo (v. All. A.05). In essa sono riportate le seguenti verifiche:

- calcestruzzi armati del sovrizzo del muro di valle dello scarico di superficie esistente; i calcoli sono condotti nella condizione eccezionale di massima piena ed in condizione sismica;
- calcestruzzi armati dei muri laterali dello scarico di superficie in fregio alla nuova struttura ad arco-gravità; anche queste verifiche vengono condotte con il carico idrico corrispondente alla massima piena ed in condizioni sismiche;
- strutture metalliche dei nuovi ponti di servizio pedonali; il sovraccarico verticale di progetto per tutte le passerelle è di 5,0 kN/m², corrispondente allo schema di carico 5 (folla compatta) indicato al § 5.1.3.3.3. del D.M. 14 gennaio 2008;
- stabilità, in fase di cantiere, delle porzioni di diga esistente tagliate con filo diamantato;
- muri di sostegno a mensola in c.a. in sponda destra.

I dimensionamenti sono condotti considerando per tutte le nuove opere una vita nominale di 100 anni ed una classe d'uso IV.

Come si evince dalla Relazione di Calcolo (v. All. A.05), le verifiche delle opere in progetto risultano tutte soddisfatte conformemente alle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti (D.M. 14 gennaio 2008).

Dott. Ing. Carlo Claudio MARCELLO

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'C' followed by 'M' and 'M'.