

DIGA DI BARCIS

SCARICO DI SUPERFICIE AUSILIARIO IN SPONDA SINISTRA

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GENERALE

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	DESCRIZIONE DELLE OPERE	3
3.	PRESCRIZIONI NOTA PROT. 6793/UCCE DEL 25.09.2007	10
4.	STUDI GEOLOGICO-GEOMECCANICI	14
5.	ANALISI STRUTTURALI E GEOTECNICHE.....	15

1. PREMESSA

Il presente progetto esecutivo del nuovo scarico di superficie in sponda sinistra della diga di Barcis è stato sviluppato in perfetta continuità con il progetto definitivo (aprile 2007), approvato dall'allora Registro Italiano Dighe di Roma (oggi Direzione Generale per le Dighe) con nota prot. 6793/UCCE del 25.09.2007.

Questa approvazione conteneva prescrizioni a cui ottemperare nella progettazione esecutiva, come dettagliato nel seguito della presente relazione.

Il presente progetto riguarda esclusivamente il nuovo scarico di superficie, alcuni interventi complementari previsti nel progetto del 2007 sono stati stralciati.

Questo nuovo scarico di superficie si è reso necessario per consentire lo smaltimento della nuova piena millenaria di progetto avente portata al colmo di 2.500 m³/s, ed è costituito da un manufatto di imbocco in calcestruzzo armato con tre luci di sfioro uguali, presidiate da paratoie e ventola, che convogliano le acque in una galleria che le restituisce, con un manufatto di dissipazione, nella forra del T. Cellina circa 400 m a valle della diga.

Come dettagliato nel progetto definitivo, a seguito delle prove su modello fisico, il nuovo scarico di superficie determina una nuova **quota di massimo invaso di 403,95 m s.m.**, dato che a questo livello del serbatoio, insieme agli scarichi esistenti, consente lo smaltimento dell'onda di piena di progetto ($Q_{max} = 2.500 \text{ m}^3/\text{s}$).

Lo scarico in questione alla nuova quota di massimo invaso ha una capacità di poco superiore a 1.000 m³/s (1.042 m³/s).

In sede di autorizzazione ambientale del nuovo scarico l'allora Concessionario Edipower S.p.A. aveva presentato agli Enti Preposti una variante architettonica del progetto (datata maggio 2010), rispetto al definitivo di aprile 2007, riguardante il piazzale sinistro all'imbocco. Quest'ultimo sarebbe stato realizzato a quota ~405 m s.m. per consentire il varo delle paratoie, per essere poi parzialmente demolito insieme ai suoi muri di sostegno lato lago, fino ad ottenere una configurazione degradante verso il lago.

Il presente progetto esecutivo prevede di realizzare il piazzale sinistro con superficie orizzontale a quota ~405 m s.m. per esigenze di cantiere. La configurazione definitiva del piazzale che sarà realizzata al termine dei lavori sarà condivisa con il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo e pertanto non è oggetto del presente progetto esecutivo.

Nella presente relazione si riportano: una descrizione delle opere e degli interventi previsti in progetto (§ 2), le considerazioni in merito alle prescrizioni contenute nella nota del R.I.D. di approvazione del progetto definitivo (§ 3), e la sintesi degli studi geologico-geomeccanici e delle verifiche strutturali e geotecniche (§ 4, 5).

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 del presente progetto (v. All. A.02).

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

La diga di Barcis, in provincia di Pordenone, sbarra il Torrente Cellina, affluente del Fiume Meduna, a Ponte Antoi, poco a valle dell'abitato di Barcis. Essa regola stagionalmente le portate del torrente per la produzione di energia elettrica e per l'integrazione delle necessità irrigue del Consorzio Cellina-Meduna.

In Figura 1 si può vedere una fotografia dall'alto dell'invaso generato dallo sbarramento.



Figura 1 – *Vista aerea della diga e del lago di Barcis*

La diga è del tipo ad arco a doppia curvatura con giunto perimetrale fra la struttura a volta ed il pulvino d'imposta; essa ha una altezza di 50 m (ai sensi del D.M. 26.06.2014).

La quota di massima regolazione è a 402,00 m s.m.

La capacità di scarico della diga è affidata attualmente a tre opere: uno scarico di fondo, uno scarico di superficie a calice ed uno sfioratore in corpo diga.

In Figura 2 è riportata una planimetria della diga da cui si possono vedere anche le gallerie di scarico del calice e dello scarico di fondo.

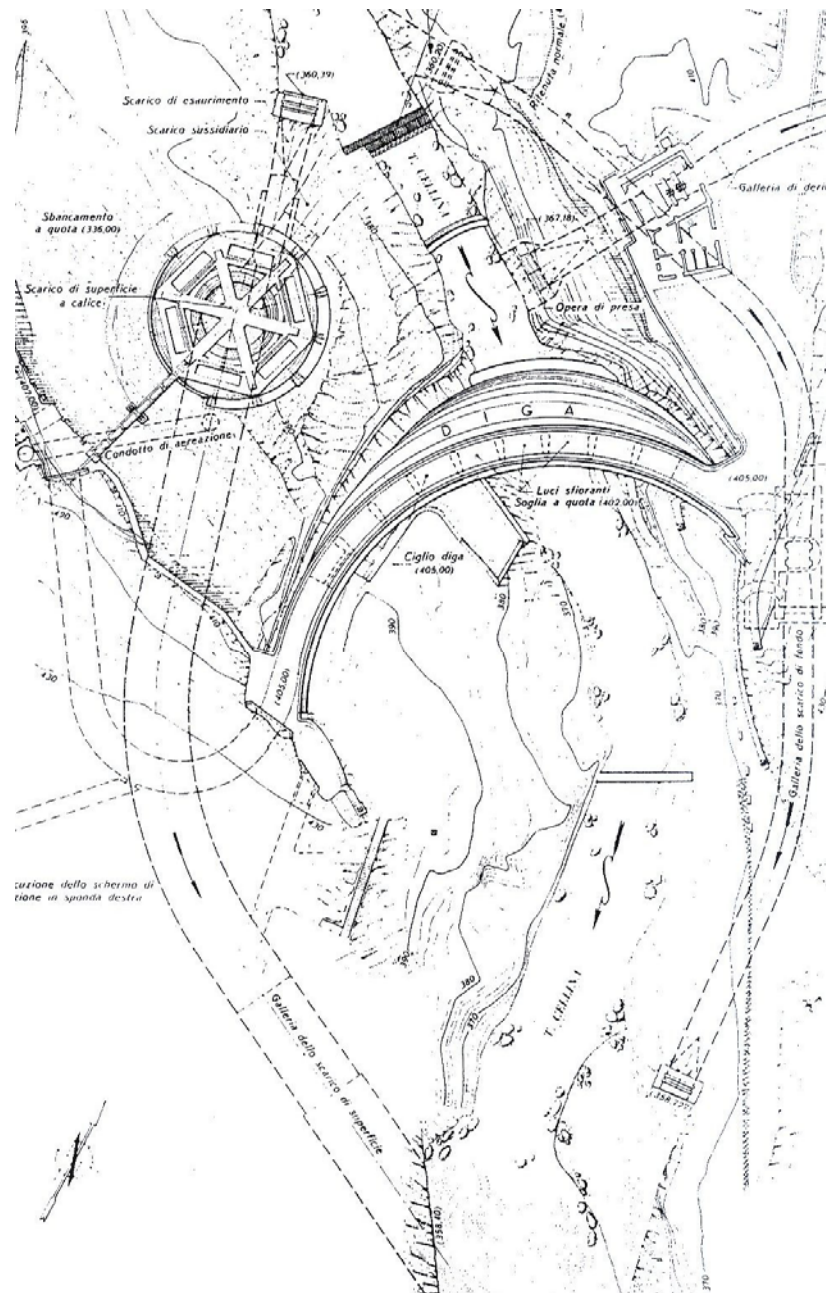


Figura 2 – Planimetria della diga e delle attuali opere di scarico

Il nuovo scarico di superficie in progetto è ubicato sulla sponda sinistra del serbatoio, a circa 250 m dallo sbarramento, come si può vedere dall'estratto corografico di Figura 3.

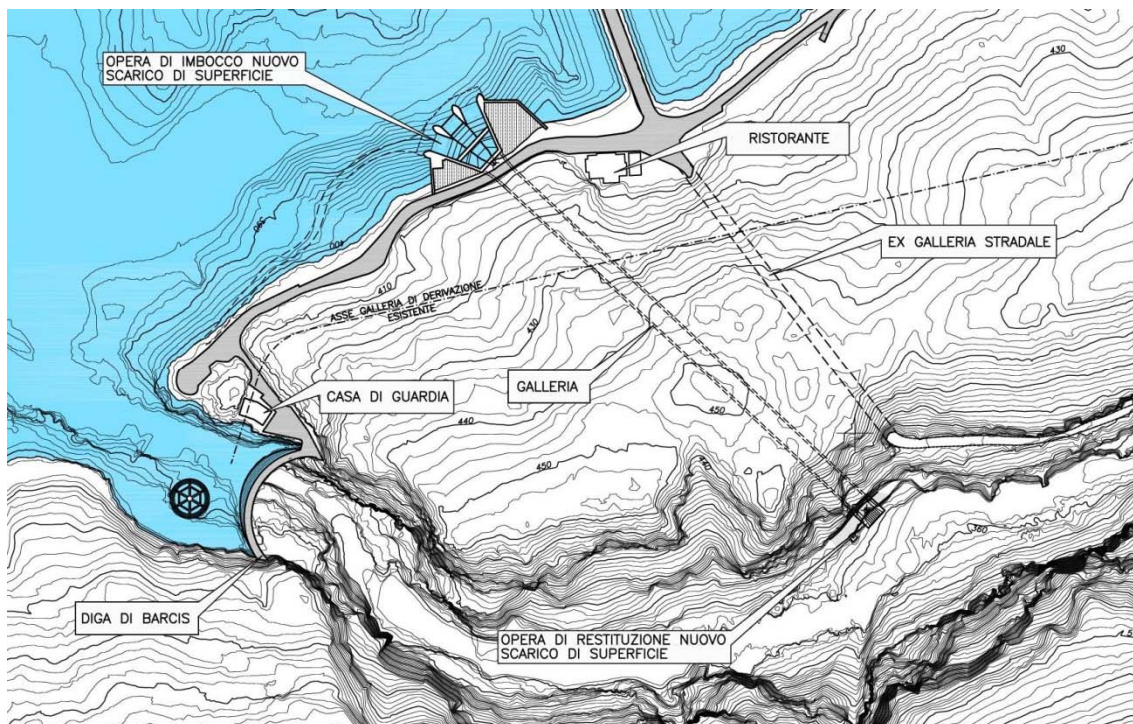


Figura 3 – Corografia del nuovo scarico di superficie in sponda sinistra

L'opera è essenzialmente costituita da:

- Opera di imbocco con tre luci convergenti, di luce netta 10 m ciascuna, con soglia a 397,60 m s.m., presidiate da paratoie a ventola 10,00 x 4,40 m², a comando oleodinamico.
- Opera di trasporto costituita da uno scivolo convergente e sagomato, opportunamente raccordato alla galleria con un tratto a sezione variabile di 21 m, seguito da circa 250 m di galleria a sezione costante policentrica di 9 m di diametro e pendenza del 2,5%.
- Opera di restituzione in calcestruzzo, a forma di "salto di ski" munita di deflettori, che restituisce le acque in alveo (nella Forra del Cellina) circa 400 m a valle della diga.

L'opera di imbocco, di 25 m di altezza totale, è costituita da una massiccia soglia sfiorante sormontata dalle tre paratoie a ventola, da due muri d'ala convergenti a sostegno dei piazzali laterali e dalle due pile di separazione delle tre luci.

Ai fianchi dell'opera idraulica sono previsti infatti due piazzali utili sia per ospitare servizi tecnici (in destra) che, durante la costruzione e l'esercizio, per il posizionamento dei mezzi necessari al montaggio delle paratoie ed alla loro manutenzione (in sinistra).

La soglia sfiorante è interamente percorsa da un cunicolo di accesso e di servizio (condotti oleo-elettrici e di segnalazione), con possibilità di risalita a quota coronamento all'interno delle due pile e del muro in sinistra; in sponda destra è previsto un locale interrato che ospita la centrale oleo-elettrica, la scala di accesso ed un pozzo per il passaggio dei carichi pesanti.

Nelle pile e nei muri d'ala sono infine disposti capaci condotti per l'aerazione della vena sfiorante sotto le paratoie abbattute.

Le tre paratoie a ventola sono a comando volontario con segnalazione del grado di apertura in casa di guardia. E' previsto un interblocco che consenta l'apertura delle paratoie in forma simmetrica: solo la centrale, le due laterali, le tre contemporaneamente. L'interblocco è disinseribile solo con intervento volontario.

L'abbattimento ed il sollevamento è affidato a martinetti oleodinamici, due per ogni ventola; questi vengono alloggiati negli appositi pozzi predisposti nella struttura dello scivolo, e resi accessibili dalla galleria che li collega alla camera in destra, sede della centrale oleodinamica e di quella elettrica.

La camera ha accesso dal piazzale con doppia botola: pedonale e per la movimentazione in verticale delle apparecchiature.

Il comando volontario potrà essere attivato sia in questa sede che nella casa di guardia della diga.

In Figura 4 è riportata la planimetria dell'imbocco, mentre in Figura 5 una vista da monte e una sviluppata lungo lo sfioro, da cui è possibile vedere i cunicoli e i pozzi interni all'opera.

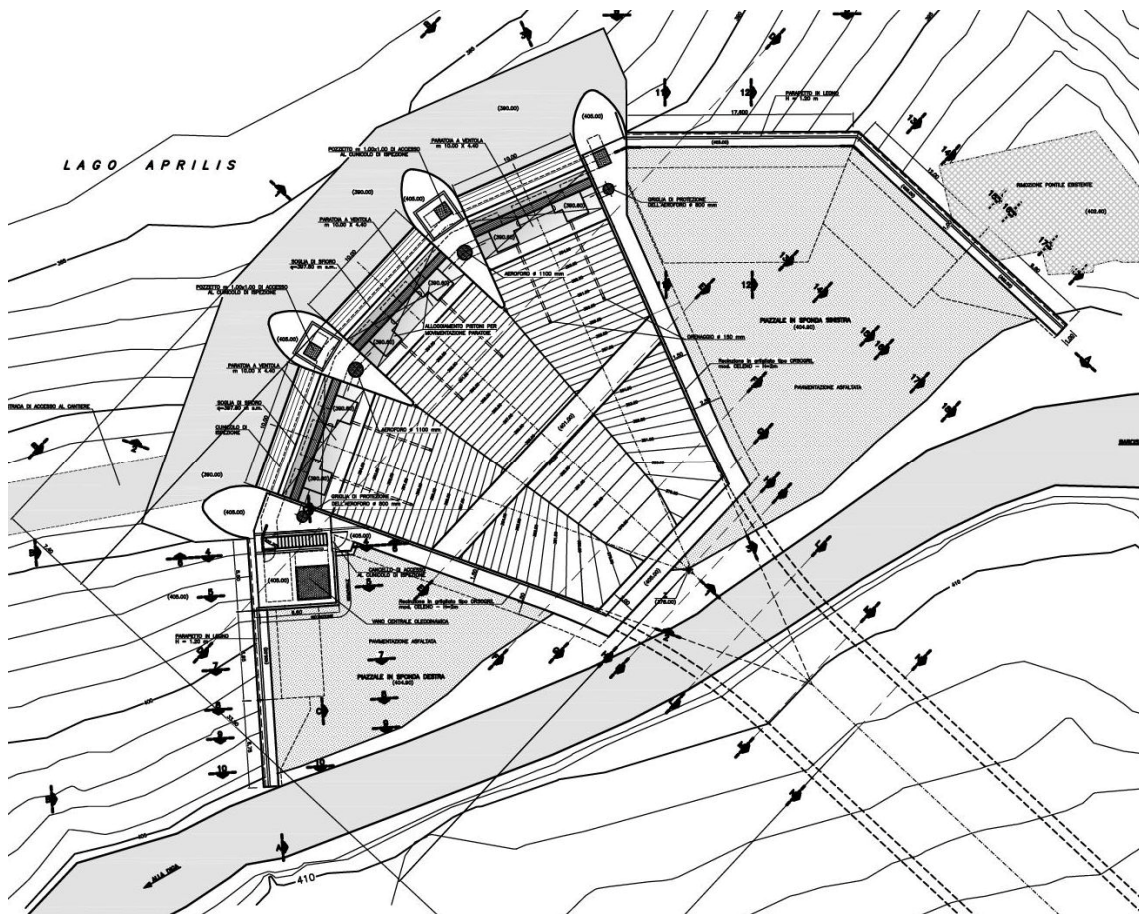


Figura 4 - Planimetria dell'imbocco

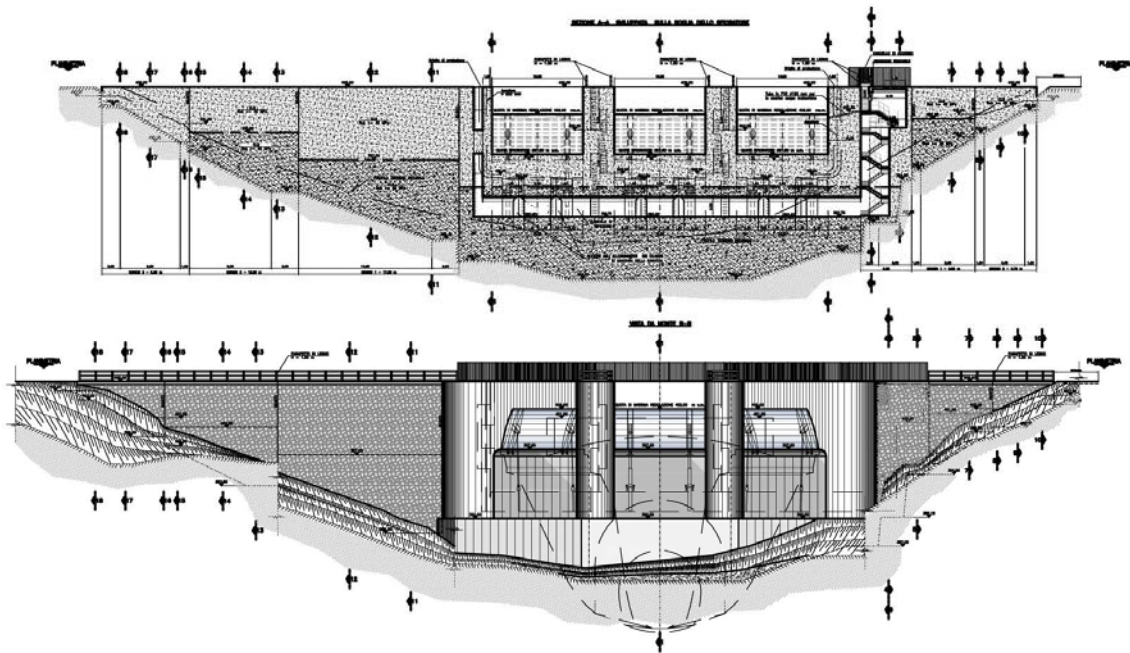


Figura 5 – Vista e sviluppata dell'imbocco

Come si può vedere dalla Figura 5, i muri dei piazzali laterali sono interamente rivestiti in pietra per favorire l'inserimento ambientale dell'opera.

In Figura 6 è invece riportato il profilo in asse del manufatto, in cui si può notare il tratto di imbocco a sezione variabile della galleria e lo schermo di impermeabilizzazione da eseguirsi lungo il taglione di monte dello scarico e dei muri laterali, sia per impermeabilizzare la roccia che per trattare il contatto roccia-calcestruzzo.

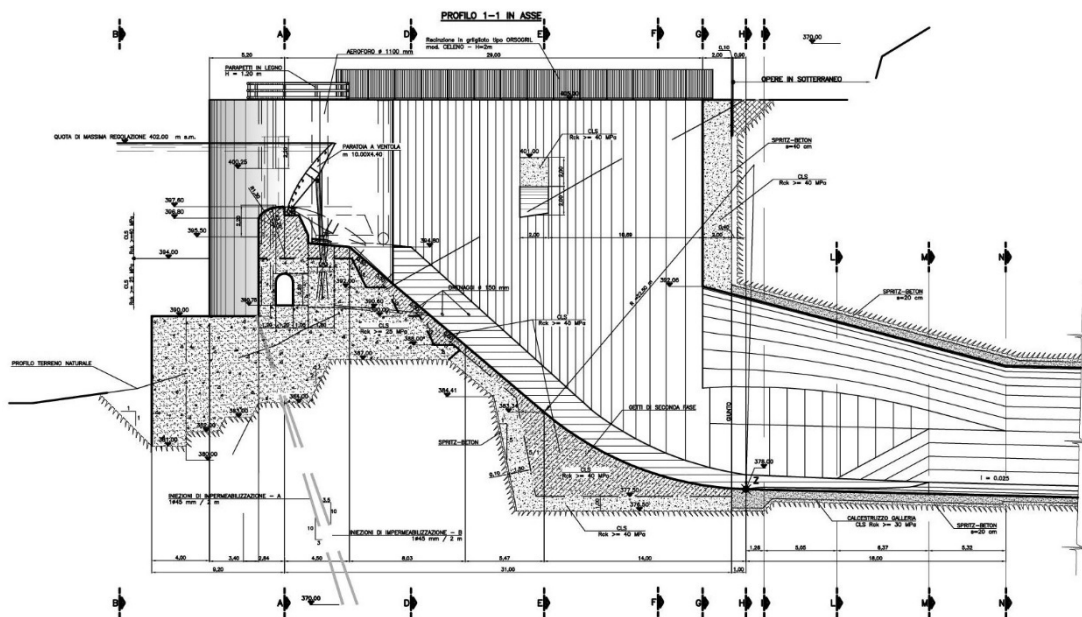


Figura 6 – Profilo in asse dell'imbocco

Lo scivolo del manufatto di imbocco convoglia le acque nella galleria, lunga circa 270 m, di cui i primi 21 m sono a sezione variabile, mentre i restanti a sezione policentrica costante di 9 m di diametro.

Il sostegno provvisorio tipologico della sezione della galleria, a tergo del fronte di scavo, verrà eseguito con chiodatura e rivestimento di 10 cm di spessore di spritz-beton armato con fibre.

La galleria avrà quindi un rivestimento definitivo in calcestruzzo armato con fibre metalliche di 60 cm di spessore; questo spessore è dettato più che da ragioni strutturali dalla necessità di assicurare la durata nel tempo di quest'opera soggetta al transito, saltuario, di corrente particolarmente veloce ed anche veicolo di trasporto solido in sospensione, nonché di qualche sporadico corpo galleggiante.

In Figura 7 si riportano le sezioni tipologiche trasversale e longitudinale della galleria con indicati i sostegni provvisionali e il rivestimento definitivo.

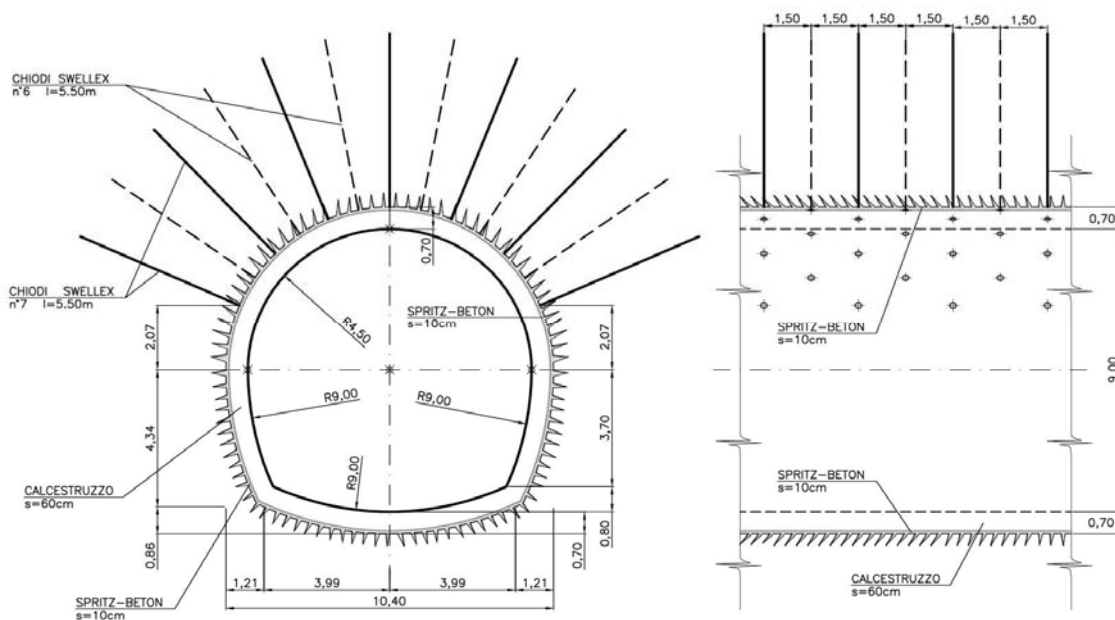


Figura 7 – Sezioni tipo della galleria

In fondo alla galleria, in corrispondenza dello sbocco nella Forra del Cellina, è ubicato il manufatto di restituzione in calcestruzzo armato, con dispositivi di dissipazione dell'energia della corrente a salto di ski.

In Figura 8 e in Figura 9 sono riportati rispettivamente la planimetria e il profilo di questa struttura.

Anche i calcestruzzi di questo manufatto saranno rivestiti in pietra per favorirne l'inserimento ambientale.



Figura 8 - Planimetria della restituzione

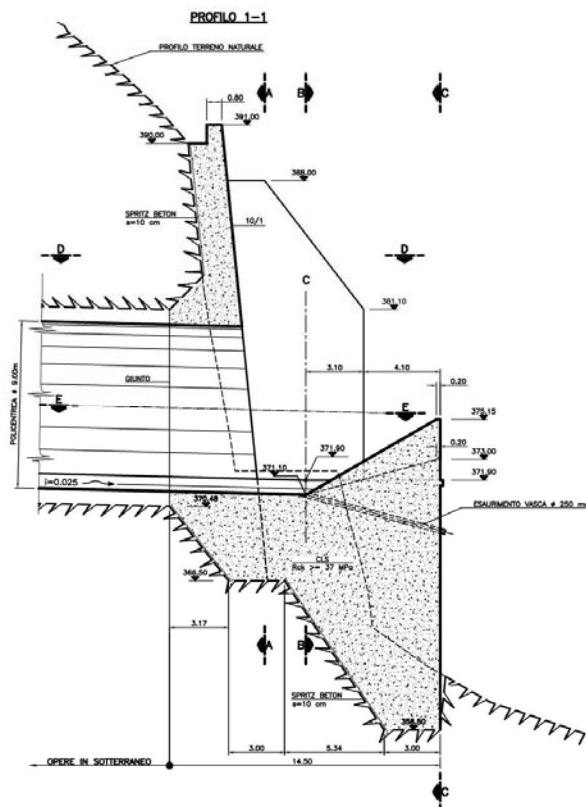


Figura 9 - Profilo in asse della restituzione

3. PRESCRIZIONI NOTA PROT. 6793/UCCE DEL 25.09.2007

Le prescrizioni contenute nella nota di approvazione del progetto definitivo (prot. 6793/UCCE del 25.09.2007) sono state attentamente analizzate e, nel corso di una riunione a Roma del 05.11.2007 sono stati forniti chiarimenti in merito alla loro corretta interpretazione.

Qui di seguito vengono riportate in corsivo le sole prescrizioni riguardanti lo scarico di superficie in progetto, e per ciascuna di esse vengono riportate le relative considerazioni, alcune delle quali erano già contenute nella nota di Edipower S.p.A. prot. 14267 del 13.11.2007, avente la funzione di promemoria e ricapitolazione di quanto definito durante la riunione a Roma del 05.11.2007.

- 1) *Si dovranno analizzare in maniera più approfondita le possibili interferenze della nuova galleria con la galleria di derivazione.*

Nel presente progetto esecutivo è previsto che in corso d'opera siano adottati opportuni accorgimenti al fine di contenere entro limiti ammissibili le vibrazioni indotte sull'opera esistente.

In ogni caso è previsto che in vicinanza della galleria di derivazione lo scavo della galleria avvenga con volate lunghe al massimo 1,5 m, e se la qualità della roccia lo consentirà, mediante l'utilizzo di martellone, con limitato o nullo utilizzo di esplosivi.

- 2) *Si dovrà prevedere un costante aggiornamento del rilievo geostrutturale del fronte di scavo, a seguito del quale si dovranno redigere nuovi calcoli di stabilità dell'intero fronte di scavo, nei quali si tenga conto anche delle discontinuità più significative che caratterizzano l'ammasso roccioso.*

Nel presente progetto esecutivo è previsto che detto rilievo sia aggiornato in continuo ed i calcoli di stabilità del fronte aggiornati solo nel caso in cui dovessero emergere variazioni significative dei dati geotecnici rispetto a quelli adottati per le preesistenti verifiche.

Il responsabile geologo-tecnico dell'Appaltatore dovrà eseguire un rilievo dettagliato del fronte ogniqualvolta le sue caratteristiche geotecniche varino in modo significativo (variazione di categoria di appartenenza). Ad ogni volata lo stesso responsabile certificherà invece in modo speditivo la sostanziale continuità delle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

- 3) *Relativamente alla scelta di realizzare nella galleria un rivestimento definitivo in calcestruzzo armato con fibre, si dovranno svolgere nuovi calcoli che considerino nell'analisi dei carichi una percentuale cautelativa di carico litostatico trasferita dall'ammasso roccioso al rivestimento.*

Il rivestimento definitivo della galleria, costituito da un getto con spessore di 60

cm di calcestruzzo armato con fibre metalliche, è previsto non tanto per ragioni statiche, ma per assicurare nel tempo la durata di quest'opera soggetta al transito, saltuario, di corrente particolarmente veloce.

Infatti, le ottime caratteristiche medie degli ammassi rocciosi attraversati, uniti alle valutazioni ed ai calcoli riportati nella Relazione di calcolo di progetto (All. A.04), rassicurano nei confronti della stabilità della galleria, anche a lungo termine, con i soli interventi di presostegno previsti.

Inoltre, il getto del rivestimento definitivo avverrà, da valle verso monte, solo quando tutto lo scavo sarà completato ed in particolare, secondo il programma lavori di progetto, non prima di 2÷3 mesi dal termine dello scavo.

In definitiva, alla luce delle curve di convergenza calcolate al § 10 della relazione di calcolo e visto l'intervallo di tempo che trascorrerà tra il termine dello scavo ed il getto del rivestimento definitivo, si prevede che l'ammasso sia completamente detensionato al momento del getto definitivo. Non è di conseguenza prevedibile che il rivestimento definitivo possa venire sollecitato dal carico litostatico dell'ammasso.

In ogni caso, la relazione di calcolo contiene le valutazioni quantitative, basate su ipotesi cautelative, nell'irrealistica ipotesi di un incremento del 20% del massimo spessore di ricoprimento della galleria. Le analisi in queste condizioni dimostrano come le verifiche di resistenza del getto del rivestimento definitivo siano soddisfatte anche senza considerare il contributo offerto al calcestruzzo dalla presenza delle fibre metalliche.

- 4) *In corrispondenza dell'attraversamento dello schermo di tenuta esistente si dovranno eseguire iniezioni a raggiera dal cavo della galleria, in modo da ripristinare l'efficienza dello schermo stesso; si dovrà, inoltre, installare idonea strumentazione finalizzata all'accertamento dell'efficienza dello schermo ripristinato ed al suo monitoraggio nel tempo.*

In corrispondenza dell'attraversamento dello schermo esistente sono previste nel presente progetto le iniezioni a raggiera da eseguirsi dalla galleria.

Non si ritiene invece necessaria l'installazione di strumenti di monitoraggio dell'efficienza dello schermo ripristinato.

- 5) *Si dovranno prevedere sostegni provvisori degli scavi anche in prossimità dello sbocco della galleria.*

Nel presente progetto sono previste preventive attività di disgiungimento di blocchi di roccia instabili, e quindi il sostegno provvisorio delle pareti di scavo con spritz-beton armato con fibre, oltre che eventuali chiodature qualora ne emergesse la necessità.

Si ricorda inoltre che la realizzazione del manufatto di restituzione è preceduta

dall'accurato inghisaggio di barre di armatura nella roccia con profondità di quasi 5 m.

- 6) *Si dovrà integrare la relazione geomeccanica con la classificazione e la caratterizzazione dell'ammasso roccioso nell'area di restituzione.*

L'area in questione è quella situata sulla sponda opposta allo sbocco della galleria, limitatamente alla superficie che sarà interessata dall'impatto del getto d'acqua in occasione dello scarico della piena millenaria.

Su tale area, stanti le notevoli difficoltà di accesso dovute alla presenza di pareti rocciose pressoché verticali, la caratterizzazione e classificazione dell'ammasso è stata effettuata con l'ausilio di riprese fotografiche e, ove possibile, mediante rilievi diretti dal basso.

La Relazione geologico-geomeccanica del presente progetto (v. All. A.03) contiene queste integrazioni.

- 7) *Con riferimento agli effetti sull'opera di sbarramento, si dovrà esaminare la condizione di scarico della portata massima di progetto, allorché il livello idrico nell'alveo a valle raggiungerebbe quota 370 m s.m. determinando un rigurgito fino al piede di valle dello sbarramento, con la sommersione del tampone/pulvino per circa 14 m.*

I livelli previsti a valle dello sbarramento in questa situazione non sono tali da pregiudicare l'efficienza della strumentazione di controllo. Per quanto riguarda, inoltre, le verifiche strutturali della diga, la corrispondente condizione di carico è certamente meno gravosa di quelle considerate nelle verifiche, con esito positivo, illustrate nel rapporto CESI n. A5010435 "Diga di Barcis - Valutazione della sicurezza - Analisi numeriche per carico idrostatico" del 20.09.2005, in Vostro possesso.

Alla luce di quanto sopra riportato non si ritiene pertanto necessario il ricorso ad ulteriori analisi strutturali sullo sbarramento.

- 8) *Dovranno essere redatti i seguenti elaborati integrativi:*

- *aggiornamento dello studio dell'onda di piena artificiale per manovra volontarie degli scarichi*
- *schema dei nuovi impianti elettromeccanici delle apparecchiature di comando e di controllo dello scarico ausiliario*
- *piano di integrazione di cartelli monitori ed eventualmente del dispositivo di segnalazione acustica (con particolare riferimento all'area di restituzione)*
- *piano degli strumenti di controllo in corso d'opera o definitivi.*

La strumentazione prevista per il controllo e il monitoraggio delle fasi realizzative

dell'opera è riportata nel Capitolato tecnico del presente progetto (v. All. A.05).

Lo studio di propagazione dell'onda di piena artificiale per manovra volontaria degli scarichi, così come l'eventuale piano di integrazione dei cartelli monitori, saranno redatti una volta completato l'iter autorizzativo del presente progetto, prima dell'inizio dei lavori.

Per quanto riguarda le paratoie del nuovo scarico di superficie, la loro progettazione esecutiva/costruttiva sia impiantistica che strutturale (in condizioni statiche e sismiche) è demandata all'Appaltatore; prima dell'inizio della realizzazione di questi manufatti, questa documentazione tecnica, nella versione approvata dalla Direzione Lavori, verrà consegnata alla Direzione Generale per le Dighe.

Come indicato nel Capitolato tecnico del presente progetto (v. All. A.05) è previsto che le paratoie possano essere manovrate sia sul posto che dalla casa di guardia; saranno inoltre installati dei sensori di rilevazione del loro grado di apertura che permettano di rilevarlo sia sul posto che in casa di guardia.

4. STUDI GEOLOGICO-GEOMECCANICI

Lo studio contenuto nella relazione geologico-geomeccanica, redatto dal Dott. Geol. Enrico Arese a supporto della progettazione esecutiva del nuovo scarico (All. A.03 del progetto), è sviluppato in perfetta continuità con il progetto definitivo dell'aprile 2007.

Il lavoro è consistito essenzialmente nell'analisi critica e nella validazione del modello geologico e geomeccanico del progetto definitivo, svolto da S.IN.C. S.r.l. – PROITER S.r.l., ed ha portato ad alcune variazioni ed integrazioni che si sintetizzano di seguito.

L'inquadramento sismico è stato integrato con lo studio: "Rivalutazione sismica del serbatoio ai sensi della Proposta di aggiornamento delle Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta - Testo Allegato al Voto n.204/2009 Assemblea generale del Consiglio Superiore dei LL.PP. - Aggiornamento 18 Dicembre 2009" (codice elaborato 036-RE-004-A11 del 11.03.2013), a firma dello studio GRIFFINI S.r.l. Tale studio sismotettonico, sviluppato per l'intero serbatoio, ha permesso di parametrizzare le sorgenti sismogenetiche, di evidenziare le correlazioni di attenuazione e di definire i terremoti di scenario, aggiornando gli spettri di risposta elastici del sito. Viceversa per quanto concerne la pericolosità sismica, in particolare, la classe di importanza dell'opera, la categoria di suolo del sito e i relativi effetti topografici, la relazione mantiene quanto riportato ed approvato nel progetto definitivo, definito mediante specifiche indagini in sito (down-hole in foro di sondaggio).

Il quadro geologico del progetto definitivo è stato verificato e condiviso; è stato inoltre integrato dallo studio di dettaglio dell'area di restituzione e dalle misure piezometriche. Infatti, come detto, la relazione ottempera all'unica prescrizione di carattere geologico contenuta nella nota di approvazione del progetto definitivo, che chiede di *"integrare la relazione geomeccanica con la classificazione e la caratterizzazione dell'ammasso roccioso nell'area di restituzione"*.

L'analisi della campagna di indagini effettuata per il progetto definitivo ha permesso di ritenerla sufficientemente esaustiva, per numero, ubicazione e tipologia, per la definizione del modello geologico-geomeccanico del progetto esecutivo. Si è comunque ritenuto opportuno prevedere, in fase di costruzione, l'esecuzione di un ulteriore sondaggio diretto dalla quota della strada verso monte con direzione e inclinazione tali da attraversare la galleria, al fine di verificare l'assenza di strutture tettoniche che determinino ampie fasce di roccia cataclasata a tergo dello sbancamento posto a valle della strada stessa.

L'assetto strutturale è stato leggermente modificato rispetto a quello del progetto definitivo, estendendo, a scopo cautelativo, alcune faglie rilevate nelle gallerie esistenti al profilo geomeccanico di previsione. Tale modifica peggiora lievemente la distribuzione in percentuale delle varie classi RMR in cui è stata suddivisa la galleria nel progetto definitivo. Viceversa i parametri geomeccanici attribuiti all'ammasso roccioso ed alle "terre", contenuti nel progetto definitivo, sono stati verificati e condivisi.

Lo studio è conforme alle norme attualmente in vigore, ed in particolare al D.M. Min. II. TT. 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni.

5. ANALISI STRUTTURALI E GEOTECNICHE

La Relazione di calcolo, All. A.04 del progetto, illustra le verifiche geotecniche e strutturali delle opere previste in progetto. Di seguito si riporta una breve sintesi degli aspetti in essa contenuti.

- Fronte di scavo dell'imbocco.

Si tratta di verifiche di carattere principalmente geotecnico che riguardano la parete di scavo in roccia sovrastante l'imbocco della galleria, dove sono previste opere di sostegno costituite da chiodi, tiranti ed uno strato di spritz-beton.

Le verifiche agli stati limite ultimi riguardano la stabilità globale del fronte di scavo e la verifica allo sfilamento della fondazione dei tiranti provvisori pretesati; quelle agli stati limite di esercizio il controllo delle deformazioni della roccia, in particolare in corrispondenza della sede stradale ubicata a quota 405 m s.m. circa, sopra il fronte di scavo.

I calcoli sono svolti con l'ausilio di un codice di calcolo automatico, con il metodo delle differenze finite ed in condizioni di deformazione piana, sulla sezione bidimensionale di maggiore altezza del fronte di scavo. L'ammasso roccioso è modellato con comportamento alla Mohr-Coulomb, facendo riferimento ad un modello geotecnico "continuo equivalente".

Tutte le verifiche risultano soddisfatte; la massima deformazione prevista dal calcolo in corrispondenza della strada è di 1,5 mm, pertanto ampiamente ammissibile.

- Strutture in calcestruzzo armato costituenti l'opera di imbocco.

Le verifiche agli Stati Limite Ultimi riguardano le verifiche al sollevamento, quelle sulle deformazioni, oltre a quelle di resistenza degli elementi strutturali e della fondazione. Quelle agli Stati Limite di Esercizio comprendono le verifiche a fessurazione, il controllo delle tensioni e delle deformazioni.

In condizioni sismiche, per gli Stati Limite Ultimi si sono adottati i parametri relativi allo Stato Limite di Collasso, agli Stati Limite di Esercizio quelli allo Stato Limite di Danno, in linea con il documento "Verifiche di sicurezza sismica degli scarichi e delle opere accessorie e complementari - Riferimenti per l'istruttoria" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 4 aprile 2016.

I calcoli strutturali sono svolti con l'ausilio di un codice di calcolo automatico, con il metodo degli elementi finiti. I calcoli sono eseguiti in campo elastico, con materiale omogeneo ed isotropo. L'analisi della struttura soggetta a sollecitazioni sismiche è lineare dinamica.

Le analisi della struttura di imbocco hanno riguardato sia la configurazione definitiva di progetto dell'opera, sia la fase transitoria di cantiere; è infatti previsto che la parte di valle dello scivolo venga gettata in seconda fase, una volta ultimata la galleria di scarico, per permettere l'utilizzo in fase di cantiere dell'area piana di circa 180 m² che si forma in prima fase a quota 377,50 m s.m.

- Struttura in calcestruzzo armato costituente il vano della centrale oleodinamica.

Sono state condotte le verifiche di resistenza e di deformabilità delle pareti e della soletta di copertura, attraverso semplici modelli di calcolo ad elementi finiti.

- Muri a mensola di sostegno dei piazzali laterali all'imbocco.

Si tratta di strutture di sostegno in calcestruzzo armato fondate su roccia. Solamente per il primo concio in sinistra, che presenta l'altezza maggiore, la stabilità è garantita da micropali in fondazione.

Le verifiche allo Stato Limite Ultimo di tipo geotecnico riguardano lo scorrimento sul piano di posa, il collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno ed il ribaltamento; quelle di tipo strutturale il raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali, nello specifico micropali (dove presenti) ed elementi strutturali in calcestruzzo armato.

Sono inoltre condotte le verifiche allo Stato Limite di Esercizio di fessurazione, di limitazione delle tensioni e, ove pertinente, sono valutati gli spostamenti permanenti indotti dal sisma all'SLD.

- Galleria di scarico.

Si sono analizzate le sezioni della galleria di maggior sviluppo, e cioè quelle in classe III (GSI=52) e IV (GSI=45 e GSI=32); siccome i parametri dell'ammasso dipendono anche dalla copertura, per ciascuna classe è stato studiato sia il caso con copertura massima (70 m) che quello con copertura minima (45 m).

L'analisi di ciascuna delle sezioni calcolate si articola in due fasi, sviluppate attraverso due differenti modelli di calcolo alle differenze finite:

- A) analisi assialsimmetrica del processo di scavo, che consente di simulare l'avanzamento del fronte e la successiva messa in opera del rivestimento di prima fase; questa analisi permette una stima delle convergenze del cavo in funzione della distanza dal fronte, e fornisce l'estensione delle zone plastiche al fronte;
- B) analisi della sezione trasversale della galleria, eseguita con un principio analogo a quello del metodo delle curve caratteristiche, in cui la tensione radiale σ_r applicata al contorno della galleria diminuisce dal valore iniziale σ_0 (prima dello scavo) fino a 0 nel caso in cui non si mettano in opera sostegni provvisori. La tensione radiale σ_r simula quindi l'effetto di sostegno fornito dal fronte della galleria, che diminuisce con l'allontanamento del fronte; da questa seconda analisi si ottiene la curva di convergenza del cavo e le azioni sugli interventi di supporto.

I risultati ottenuti hanno permesso di verificare l'adeguatezza degli interventi di sostegno previsti e di ritenere stabile sia il fronte che le pareti dello scavo.

Le analisi contenute nella relazione sono conformi alle norme attualmente in vigore, ed in particolare al D.M. Min. Il. TT. 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni.

Per tutte le strutture definitive oggetto della presente relazione, la vita nominale è 100 anni e la classe d'uso IV, quindi con un coefficiente d'uso pari a 2. Il periodo di riferimento dell'azione sismica è pertanto di 200 anni.

Dott. Ing. Carlo Claudio MARCELLO