

DIGA DI CEPPO MORELLI

PROGETTO DI ADEGUAMENTO

PROGETTO DEFINITIVO - Rev. 1

RELAZIONE GENERALE



INDICE

1.	PREMESSA.....	1
2.	STATO DI FATTO	2
3.	SINTESI DELLO STATO DI FATTO.....	5
4.	SCELTA DELLA NUOVA STRUTTURA AD ARCO-GRAVITÀ	7
4.1.	MODELLO IDRAULICO DEFINITIVO.....	10
4.2.	STUDI GEOLOGICI-GEOMECCANICI.....	11
4.3.	ANALISI NUMERICHE A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE	13
5.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	16
5.1.	STRUTTURA AD ARCO-GRAVITÀ	16
5.1.1	SCAVI E DEMOLIZIONI	16
5.1.2	GIUNTI DI COSTRUZIONE	20
5.1.3	SISTEMA DI SEPARAZIONE TRA LE DUE DIGHE.....	23
5.1.4	TENUTA E DRENAGGIO DELLE FONDAZIONI.....	24
5.1.5	SOVRASTRUTTURE	26
5.1.6	CALCESTRUZZI.....	26
5.2.	SCARICO DI SUPERFICIE ESISTENTE.....	30
5.3.	SCARICO DI FONDO	31
5.3.1	MESSA IN SICUREZZA DELLO SCARICO ESISTENTE.....	32
5.4.	INTERVENTI COMPLEMENTARI.....	32
5.5.	MONITORAGGIO	33
6.	PROGRAMMA DEI LAVORI	35

ALLEGATI:

ALLEGATO 1: PROGRAMMA DEI LAVORI

1. PREMESSA

Il presente progetto definitivo costituisce l'aggiornamento del precedente datato dicembre 2009, a seguito delle integrazioni richieste dalla Direzione Generale per le Dighe.

Infatti, con Voto n. 42 del 18.12.2012 la IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (C.S.LL.PP.) chiedeva integrazioni al progetto definitivo 2009, che venivano riassunte dalla Direzione Generale per le Dighe (D.D.) con la nota prot. 4173 del 25.03.2013. Il Concessionario, con nota prot. 1274 del 17.06.2013, rispondeva alle richieste della D.D. presentando il proprio programma di indagini e studi integrativi, in base ai quali è stata redatta la presente revisione del progetto definitivo: "Diga di Ceppo Morelli – Progetto di adeguamento – Progetto definitivo Rev.1" (ottobre 2015).

Per la descrizione dello stato di fatto e gli approfondimenti in merito alla cronistoria degli studi e dei progetti precedenti, così come sugli approfondimenti eseguiti a seguito delle richieste del C.S.LL.PP. e della Direzione Generale per le Dighe, si rimanda all'apposito elaborato allegato al presente progetto: All. X.00 "Cronistoria e risposte alle integrazioni richieste dalla Direzione Generale per le Dighe con nota prot. 4173 del 25.03.2013 a seguito del Voto n. 42 del 18.12.2012 della IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici".

2. STATO DI FATTO

La diga di Ceppo Morelli, costruita nel 1929, sbarra il Torrente Anza, affluente destro del Fiume Toce, poco a monte dell'abitato di Ceppo Morelli; lo sbarramento regola giornalmente l'energia producibile dall'impianto idroelettrico di Battiggio.

Dal punto di vista geologico, l'opera è in una zona di origine glaciale costituita da roccia di natura gneissica, di ottime caratteristiche geomeccaniche, con pareti pressoché verticali.

Le principali caratteristiche del bacino imbrifero sotteso allo sbarramento e del serbatoio generato dallo stesso sono riportate in Tabella 1.

Quota di massima regolazione	780,75	m s.m.
Quota di massimo invaso di progetto (coincidente con quella dell'ultimo Foglio di Condizioni per l'Esercizio e le Manutenzione, nel seguito indicato come F.C.E.M.)	782,50	m s.m.
Volume di invaso (ultimo rilievo del 2014)	45.000	m ³
Volume utile di regolazione (ultimo rilievo del 2014)	42.000	m ³
Superficie bacino imbrifero direttamente sotteso	124,50	km ²
Superficie bacino imbrifero allacciato	32,50	km ²
Superficie totale bacino imbrifero	157,00	km ²

Tabella 1

La diga è in calcestruzzo, ad arco non tracimabile. L'estradosso è a centro unico ed il raggio varia da 19 m in sommità a 10,40 m alla base. L'intradosso è invece a tre centri con due raggi: uno è in corrispondenza della parte centrale dell'arco, e l'altro interessa solo le estremità verso le imposte; le aperture angolari sono comprese rispettivamente tra 110° e 140°.

La sezione verticale in chiave presenta all'estradosso una pendenza verso valle del 20% per circa la metà superiore della diga.

Le caratteristiche principali della diga sono riportate in Tabella 2.

Altezza del piano di coronamento, a quota 784,00 m s.m., sul punto più depresso delle fondazioni	46,00	m s.m.
Altezza del piano di coronamento sul piano dell'alveo a valle	39,00	m s.m.
Franco	1,50	m
Sviluppo del coronamento	36,50	m
Spessore dell'arco a coronamento	1,00	m

Tabella 2

In Figura 1 si riporta una planimetria della diga e delle sue opere di scarico, mentre in Figura 2 una immagine da valle della diga, con a sinistra lo sbocco della galleria dello scarico intermedio e a destra la restituzione del canale dello scarico di superficie.

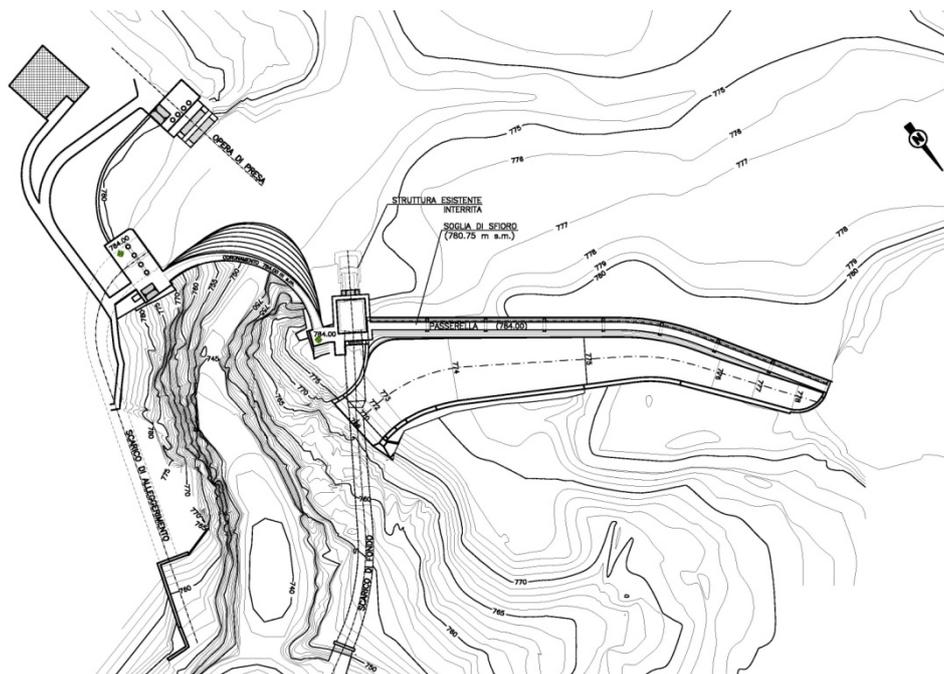


Figura 1



Figura 2

Il calcestruzzo dello sbarramento ha un dosaggio di cemento di 300 kg/m^3 ; in corrispondenza dei paramenti è disposta un'armatura metallica di barre verticali e orizzontali con diametro e distanze variabili. Il paramento di monte è rivestito con gunite retinata.

La diga appoggia direttamente sulla roccia di fondazione, senza pulvino, fino a quota 768 m s.m. ; nella parte superiore dell'opera, oltre quota 776 m s.m. , la diga si collega a due spalle a gravità in calcestruzzo. Non sono stati previsti sistema drenante e giunti di costruzione, pertanto la diga si presenta essenzialmente monolitica e saldamente collegata alle sue fondazioni.

Lo sbarramento è munito di tre opere di scarico: uno scarico di superficie, uno

intermedio e uno di fondo.

Lo scarico di superficie con ciglio a quota 780,75 m s.m. è sistemato sullo sperone roccioso in sponda sinistra ed è costituito da otto luci a soglia libera della larghezza di 10,50 m ciascuna. Un canale a valle dello sfioratore raccoglie le acque e le convoglia nel letto del torrente.

In Figura 3 si può vedere un'immagine del canale dello scarico di superficie alimentato dalle luci sfioranti.



Figura 3

Lo scarico intermedio è ubicato sulla sponda destra della diga ed è costituito da due luci con soglia a quota 770,00 m s.m. intercettate da paratoie piane di 3,00 x 4,00 m (lunghezza x altezza) con comando oleodinamico (3 fonti di energia) e pompa a mano di riserva. Le acque sono scaricate a valle mediante apposita galleria.

Lo scarico di fondo è ubicato sulla sponda sinistra tra lo sfioratore e la spalla della diga e consiste in una luce di 2,60 · 2,60 m con soglia di imbocco a quota 758,00 m s.m. provvista di una paratoia piana e di una a settore in serie comandabili dall'alto da un'apposita cabina. Le acque di scarico sono raccolte da una galleria che attraversa lo sperone roccioso e vengono convogliate lontano dalla diga.

Il trasporto solido del Torrente Anza ha causato un progressivo interrimento del serbatoio che oggi fa sì che i sedimenti arrivino in prossimità del paramento di monte della diga fino a circa 773 m s.m.

Per queste ragioni dal 1939 lo scarico di fondo risulta interrimento e conseguentemente inutilizzabile. L'esercizio limitato nel tempo di questo organo di scarico era però già previsto dal Progettista e dai Collaudatori dello sbarramento che infatti nella Relazione di Collaudo dicono " ... Essendo prevedibile l'interrimento dello scarico di fondo ... "

Le funzioni di legge dello scarico di fondo sono pertanto state egregiamente svolte, negli ultimi 75 anni, dallo scarico intermedio, molto più capace dello scarico di fondo originario.

3. SINTESI DELLO STATO DI FATTO

Si riporta qui di seguito l'elenco delle numerose indagini svolte sulla diga di Ceppo Morelli:

- La misura degli spostamenti assoluti al coronamento della diga (collimazione, triangolazione e livellazione);
- Le prove di laboratorio su provini di calcestruzzo, in fase di costruzione ed estratti dal corpo diga;
- Le misure in situ dello stato tensionale, mediante sovracarotaggi (Sial.tec – 2006);
- La prova in situ di vibrazione forzata, che ha permesso di comprendere i modi di vibrare della struttura (Cesi Ricerca – 2008);
- L'analisi chimico/petrografia delle carote estratte dal corpo diga (Cesi Ricerca-ERSE-RSE – 2008-2011);
- I sondaggi effettuati dal coronamento, in corrispondenza degli attacchi arco-spalla (S.In.Ge.A. – 2008);
- L'analisi delle murature dello scarico di superficie e i sondaggi eseguiti in prossimità del muro di valle del suo canale di scarico (S.In.Ge.A. – 2008);
- Le analisi numeriche ad elementi finiti, eseguite a partire dalla fine degli anni '90, da parte di Enel-Cris, Cesi Ricerca (ex Enel-Cris, poi Erse oggi RSE), svolte per diverse condizioni di carico e con diverse condizioni al contorno, per valutare lo stato tensionale dello sbarramento nella situazione odierna, in condizioni elastico-lineari, dopo oltre 30 anni di espansione da AAR (le misure indicherebbero l'inizio del fenomeno verso la fine degli anni '70). Le analisi sono state eseguite anche considerando ulteriori 30 anni di espansione futura sia per la diga integra che per due configurazioni di parzializzazione della stessa, conseguenti all'ipotetica demolizione di tutta la parte di calcestruzzo posta sopra alle quote rispettivamente di 778 m s.m. e 770 m s.m.

Tutto quanto sopra sinteticamente richiamato, consente di affermare che:

- Il calcestruzzo della diga di Ceppo Morelli è affetto dalla reazione AAR.
- Questa situazione ha alterato lo stato tensionale della diga, rispetto alle originarie valutazioni progettuali.
- La situazione attuale in una valutazione ingegneristica complessiva, non è da considerarsi tale da non consentire oggi un giudizio positivo circa il suo esercizio in condizioni di sicurezza.
- Lo studio dello stato tensionale evidenzia come oggi si siano formate zone di trazione all'attacco volta-spalle (la struttura ha "naturalmente" reagito liberandosi nelle zone critiche). Le analisi a seguito di ulteriori 30 anni di espansione denunciano sostanzialmente un incremento delle compressioni al paramento di valle nelle zone inferiori e laterali della diga. Le ipotesi di parzializzazione dello sbarramento a quota 778 e 770 m s.m. mostrano una modesta, ma non significativa, variazione degli sforzi sulla struttura sia nella configurazione odierna che a seguito di ulteriori 30 anni di espansione.

- La reazione AAR non è completata e proseguirà ancora lentamente negli anni, con conseguente aggravio dello stato tensionale e deformazionale come documentato nella relazione di Cesi Ricerca (marzo 2009).
- Le prove su modello idraulico hanno evidenziato una capacità dell'attuale scarico di superficie per la nuova quota di massimo invaso (784,50 m s.m.) superiori al previsto, ma comunque sufficienti, insieme allo scarico di intermedio, ad evacuare solo l'80% dell'onda di piena millenaria determinata dal Prof. Rosso (1187 m³/s).

4. SCELTA DELLA NUOVA STRUTTURA AD ARCO-GRAVITÀ

Alla luce delle considerazioni precedenti e sulla base delle informazioni oggi disponibili lo stato di fatto dello sbarramento e dell'invaso di Ceppo Morelli si può così sintetizzare:

- Assise di fondazione, costituita da rocce di qualità eccezionale, tenace e rigida, con poche discontinuità di scarsa importanza: la doverosa rivisitazione geologico-geomeccanica è stata effettuata nel 2009, ed integrata negli anni successivi.
- Tenuta idraulica dell'imposta della diga esistente assicurata dall'impermeabilità della roccia di fondazione, già trattata a suo tempo con iniezioni; oggi tamponata anche dall'estesa coltre di sedimenti anche fini (limi) che colmano l'invaso, a ridosso del paramento di monte, fino a circa 10 m sotto l'attuale piano di coronamento.
- Struttura esistente costituita da una esile volta in calcestruzzo (1 metro di spessore a coronamento) con estese armature sui paramenti, che a monte si addentrano nelle imposte rocciose. Le svariate analisi numeriche ad elementi finiti eseguite della struttura esistente formano un quadro tranquillizzante, consigliando solo un appesantimento della spalla artificiale sinistra della diga. La comprovata espansione del calcestruzzo della diga per reazione alcali-aggregati (questi provenivano da frantumazione della risulta degli scavi della galleria di derivazione) provoca già oggi, secondo le numerose analisi ad E.F. effettuate, tensioni molto maggiori, ma che neppure tra 30 anni (data del presunto esaurimento della reazione) comporterebbero rischi di collasso della struttura.
- La morfologia della stretta continua con le medesime caratteristiche sopra descritte, per circa un centinaio di metri verso valle.

Su questo "stato di fatto" è stato necessario intervenire per ottenere:

- 1) di riportare la diga entro limiti tensionali "regolamentari";
- 2) di garantire i requisiti di sicurezza idraulica, assicurando lo scarico della portata integrativa necessaria per evacuare la nuova onda di piena millenaria.

Per soddisfare entrambe le necessità è stata progettata una struttura di rinforzo a valle di quella esistente che trasformi la diga nel tipo ad arco-gravità. Questa nuova struttura avrà coronamento a quota 786,00 m s.m., garantendo così un franco netto di 1,20 m (sarebbe sufficiente 1,00 m) nei confronti del nuovo livello di massimo vaso (784,50 m s.m.).

Quanto alla necessità 1) è evidente che la nuova struttura di rinforzo potrà utilmente sfruttare come cassero a monte la diga esistente, che però dovrà essere lasciata liberamente espandere (verso monte e verso l'alto) e quindi non dovrà essere strutturalmente collegata nelle parti in elevazione alla 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 2) è stato previsto un nuovo sfioratore, con ciglio alla stessa quota dello scarico di superficie esistente (780,75 m s.m.), sopra la struttura ad arco-

gravità.

In Figura 4 si può vedere una planimetria della nuova struttura ad arco-gravità estratta dagli elaborati grafici di progetto; si può notare in essa lo sfioratore in fregio alla nuova opera.

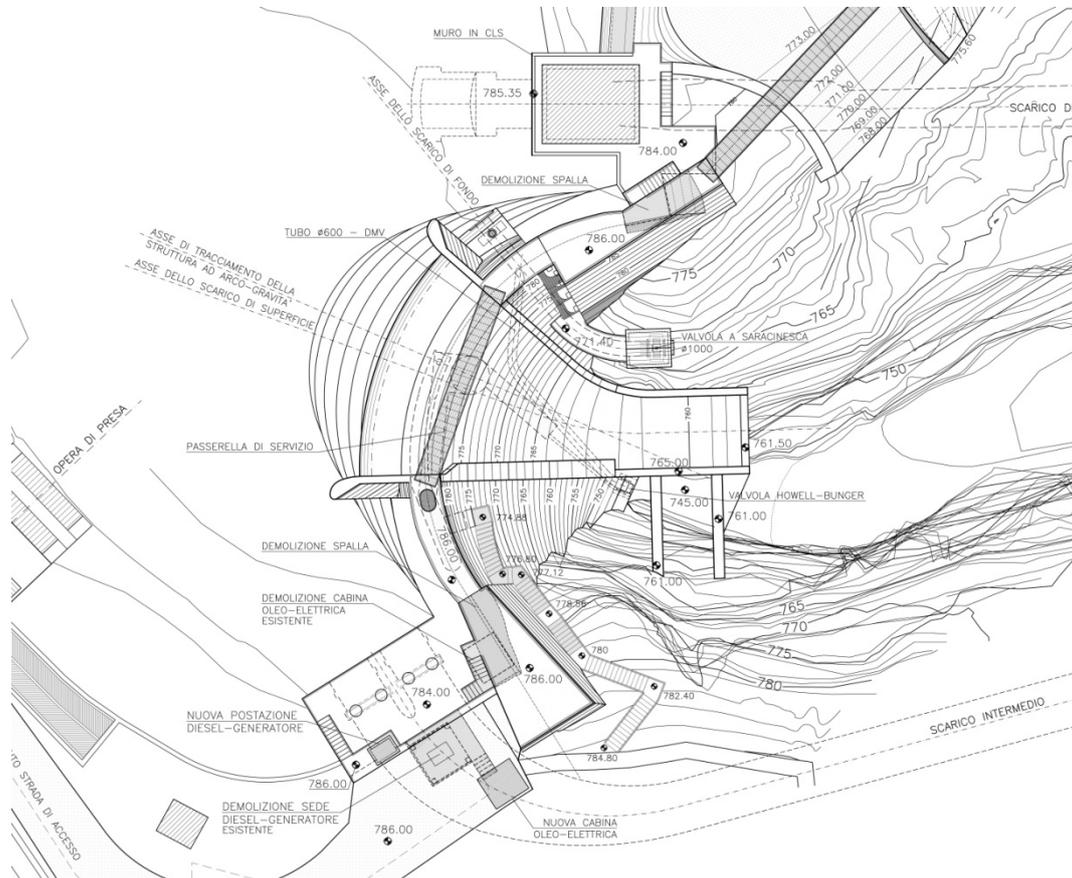


Figura 4

In Figura 5 è riportata la sezione della struttura ad arco-gravità in asse allo sfioratore, estratta dagli elaborati grafici di progetto.

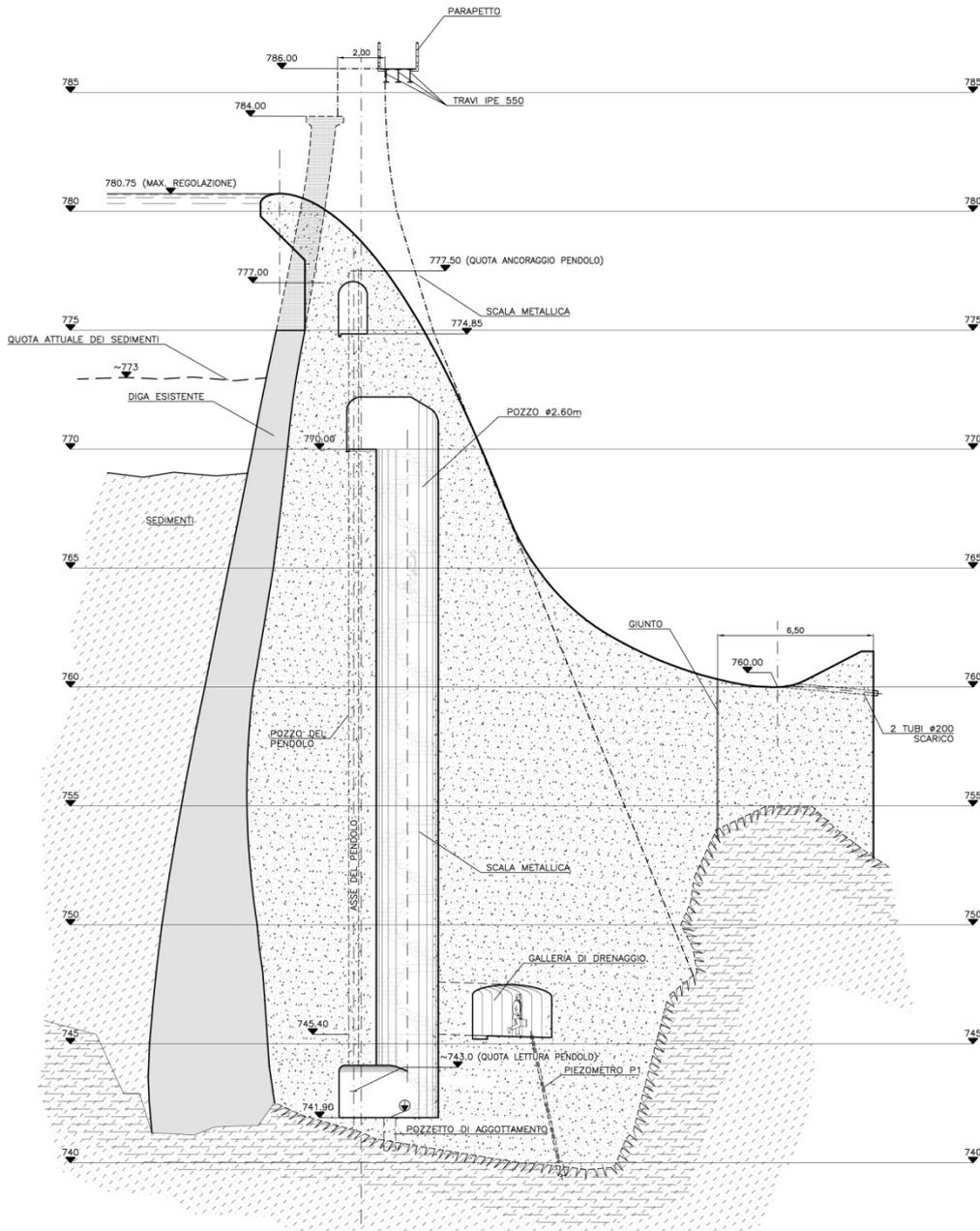


Figura 5

Si riportano qui di seguito (v. Tabella 3) le principali caratteristiche delle opere nella configurazione che risulterà alla fine dei lavori previsti, in ottemperanza alle nuove "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione di sbarramenti di ritenuta" approvate con D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 26.06.2014 (NTC Dighe):

Tipo di diga a.2.2. (diga in calcestruzzo ad arco-gravità)

Volume di invaso	45.000	m ³
Volume utile di regolazione	42.000	m ³
Altezza della diga	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	m
Colmo dell'onda di piena Q ₁₀₀₀	1.264	m ³ /s

Tabella 3

Di seguito si riporta una sintesi dei principali studi eseguiti per la progettazione definitiva di questa nuova struttura ad arco-gravità.

4.1. MODELLO IDRAULICO DEFINITIVO

Protecnò S.r.l. nel 2009, presso il laboratorio idraulico di Voltabarozzo (PD), ha eseguito nella configurazione definitiva le prove su modello idraulico (IV Configurazione) dei nuovi scarichi (v. All. X.04), soprattutto per verificare eventuali interferenze nella regolare alimentazione degli imbocchi dei due scarichi di superficie (quello laterale esistente e quello nuovo in fregio alla struttura ad arco-gravità), posti alla medesima quota di massima regolazione (780,75 m s.m.). Non è stato incluso nel modello lo scarico intermedio la cui soglia è ad una quota di oltre 10 m inferiore (770 m s.m.) e quindi non interferente con gli scarichi superficiali. In merito si osserva che le ultime verifiche della sua capacità, in base all'ultima campagna di rilievi topografici della sua galleria di scarico, hanno portato a definire in 209,74 m³/s la portata da esso esitabile in condizioni di massimo invaso di progetto (784,50 m s.m.) (v. All. X.03).

Le prove eseguite alla quota di massimo invaso di progetto (784,50 m s.m.) hanno confermato la capacità di entrambi gli scarichi di superficie di esitare 1.054,33 m³/s, che unitamente allo scarico intermedio permette di evacuare il colmo dell'onda di piena millenaria recentemente corretto (1.264 m³/s), senza considerare il contributo del nuovo scarico di fondo che al massimo invaso può esitare ulteriori 9,95 m³/s.

Scarichi di superficie	1.054,33 m ³ /s
Scarico intermedio	209,74 m ³ /s
	1.264,07 m³/s

Altre osservazioni hanno suggerito leggere modifiche alla configurazione del canale di scarico dello sfioratore in corpo diga, rispetto a quanto presentato nel progetto preliminare (marzo 2009):

- Muro destro. All'imbocco e lungo la discenderia le condizioni di moto sono variabili nel tempo con altezze d'acqua mediamente maggiori di quelle previste; nella parte inferiore (salto di ski) risultano invece altezze inferiori e stabili nel tempo. Ciò è da attribuire a condizioni di alimentazione non perfettamente dirette in modo perpendicolare alla soglia, ma con una componente residua verso il muro destro. Si è cercato di migliorare questa situazione prolungando le estremità dei muri laterali verso l'invaso; si è inoltre abbassato di 2 m il muro finale abolendo il ricciolo ivi previsto per il contenimento delle intumescenze; il ricciolo è stato invece previsto lungo tutto il tratto di muro discendente, che è stato anche rialzato.
- Muro sinistro. Per le stesse ragioni il muro sinistro, lungo tutta la discenderia risulta quasi "scarico" e sarebbero sufficienti altezze inferiori. Lungo il salto di ski invece l'irregolarità costituita dalla brusca fine del muro andatore causava importanti spruzzi e sbuffi: il muro verticale è stato perciò proseguito sino alla fine del salto di ski.

Le modifiche sopra descritte hanno migliorato le condizioni di alimentazione e di deflusso fino alla quota di massimo invaso di progetto.

La restituzione a valle risulta regolare: in particolare il getto del nuovo scarico in corpo diga scavalca quello del vecchio scarico ed i due flussi confluiscono poi in alveo senza provocare eccessive turbolenze.

Per quanto riguarda il muro destro dell'esistente scarico di superficie (v. pag. 48 dell'All. X.04) la sua parte terminale viene superata, solo condizioni di massimo invaso di progetto, da pulsazioni ed intumescenze; la portata sfiorata, molto limitata, cade, come la corrente principale, su roccia sanissima e ricondotta in alveo: non si ritiene pertanto necessario, né opportuno, innalzare questo muro.

Un'ultima osservazione riguarda le lievissime depressioni rilevate sul profilo della soglia del nuovo scarico di superficie: esse, (v. All. X.04) sono ovviamente volute e necessarie per migliorare l'efficienza idraulica dello scarico alle massime portate.

4.2. STUDI GEOLOGICI-GEOMECCANICI

Il lavoro (v. All. X.02), eseguito da una equipe coordinata dal Prof. Giorgio Martinotti e dal Dott. Enrico Arese, esperti e profondi conoscitori della zona, si è svolto 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. X.02).

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

- L'ottima qualità dell'ammasso roccioso.
- 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, v. successivo § 4.3 e All. X.05) 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 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. Tuttavia sono state eseguite comunque prove Lugeon nei fori dei sondaggi, non per determinare la permeabilità dell'ammasso, ritenuta con sufficiente cautela del tutto impermeabile,

ma per valutare l'assorbimento di acqua all'interno delle principali discontinuità rilevate, in relazione al variare della pressione di iniezione.

Sulla base dei risultati ottenuti si può affermare che:

- 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 ritiene 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, durante l'esecuzione delle iniziali fasi di pulizia dei versanti, si valuterà con attenzione il quadro fessurativo e si prenderà in esame la possibilità di iniettare solo le eventuali fratture aperte.

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

4.3. ANALISI NUMERICHE A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE

E' stata eseguita da RSE una completa serie di analisi numeriche per la verifica del comportamento della struttura, il cui rapporto è allegato a presente progetto (All. X.05).

Gli studi e le analisi numeriche svolte da RSE rispondono alle richieste contenute nella nota Prot. 4173 del 25.03.2013 della Direzione Generale per le Dighe, a seguito del Voto n. 42 del 18.12.2012 della IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, redatta in merito al Progetto definitivo di adeguamento della diga di Ceppo Morelli; queste nuove analisi hanno come obiettivi quelli di valutare:

- a. la possibile interazione tra la diga esistente e quella di nuova costruzione durante le fasi realizzative;
- b. le spinte esercitate dalla nuova diga sulla roccia di fondazione in risposta ai carichi statici e sismici;
- c. gli effetti termo-meccanici che lo sviluppo ed il successivo smaltimento del calore di idratazione del calcestruzzo generano nella nuova diga durante la fase di presa dei getti;
- d. la sicurezza della nuova diga in risposta ai carichi statici e sismici, in accordo con le nuove "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", di cui al D.M. 26.06.2014, considerando la spinta dei sedimenti direttamente agente su di essa.

La complessità delle analisi necessarie all'approfondimento di questi aspetti ha

richiesto la predisposizione di differenti modelli geometrici, ed in particolare:

- per i precedenti punti a. e b., nel modello ad e.f. delle dighe e del versante sono state inserite anche la superficie di contatto per rappresentare l'interazione tra le due dighe ed il giunto tra il calcestruzzo della nuova diga e la roccia;
- per il punto c. è stato necessario raffinare opportunamente il reticolo di calcolo per cogliere con accuratezza i gradienti termici nei getti;
- per il punto d., che analizza combinazioni di carico sia statiche che sismiche, si sono adottati due modelli: il primo, sviluppato per cogliere con maggiore accuratezza lo stato tensio-deformativo in condizioni statiche, considera i giunti verticali di costruzione ed il giunto di fondazione e, per questo, è un modello non lineare; il secondo, per eseguire le analisi sismiche a spettro di risposta, deve necessariamente essere lineare, quindi privo di giunti.

Tutti i risultati delle nuove analisi sono coerenti con quelli ottenuti nel corso del precedente rapporto RSE "Analisi numeriche a supporto del progetto della nuova diga di Ceppo Morelli" (2011), presentato alla Direzione Generale per le Dighe nel maggio 2011.

L'esame dettagliato dei risultati dei nuovi studi ha permesso di definire, in relazione a ciascuno degli obiettivi precedentemente esposti, quanto segue.

a. Non si verificano contatti tra la nuova diga e quella esistente, né durante la costruzione, né in esercizio sotto i carichi statici e sismici: assumendo una distanza iniziale di 2 cm, le pressioni sulla superficie di contatto modellata tra le due strutture sono sempre nulli.

Il massimo avvicinamento risulta nella combinazione di carico sismica con carico termico estivo (combinazione 4.1 di Tabella 6 dell'All. X.05), per la quale risulta un avvicinamento dei due paramenti di poco superiore al millimetro.

b. Le pressioni massime che la diga di nuova costruzione esercita sulla roccia di fondazione sono mediamente dell'ordine di 0,5 MPa.

c. I risultati mostrano che la formazione di un nucleo caldo dovuto allo sviluppo del calore di idratazione nei getti si manifesta soprattutto nella parte medio-bassa della struttura, dove lo spessore è maggiore e dove è presente lo sfioratore massiccio in corpo diga.

In termini di sollecitazioni, risultano zone di trazione nella parte medio-bassa del paramento di valle, che non appaiono preoccupanti, sia in quanto si verificano in una zona corticale, dove la nuova diga sarà armata, sia poiché sono legate alle singolarità geometriche della struttura, modellata come monolitica e con un comportamento elastico-lineare dei materiali. Gli sforzi di compressione, durante tutta la costruzione, assumono valori modesti.

In generale, a commento dei risultati ottenuti, si evidenzia come i risultati di questa modellazione da un lato risentono dell'assenza nel modello geometrico del giunto di fondazione e (soprattutto) del giunto costruttivo tra il paramento di valle della diga e lo sfioratore massiccio (non modellati per esigenze di semplificazione della simulazione); dall'altro lato mostrano che le direzioni di tali trazioni sono sostanzialmente ortogonali al piano dei giunti non modellati, quindi il loro valore

sarebbe notevolmente ridotto, se non addirittura annullato, se venissero inseriti nel modello. Inoltre, la sequenza temporale dei getti adottata per queste analisi è molto cautelativa in quanto prevede tempi accelerati rispetto a quanto previsto nel programma dei lavori di progetto.

In definitiva, l'analisi dei risultati dello studio degli effetti legati al calore di idratazione del calcestruzzo durante la costruzione della nuova diga, porta a concludere che nel corpo diga non si generano trazioni tali da innescare stati fessurativi.

- d. Le analisi numeriche della nuova diga, in condizioni statiche e sismiche, sono state condotte in ottemperanza alle "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", di cui al D.M. 26.06.2014. Per i criteri di verifica si è fatto inoltre riferimento ai documenti pubblicati da US Army Corps of Engineers (USACE) per l'analisi sismica del proprio parco dighe. In condizioni statiche, la zona sovrasollecitata a trazione al paramento di valle, imputabile essenzialmente al carico termico, è del tutto accettabile: in primo luogo in quanto tali trazioni risultano corticali e quindi assorbibili dall'armatura prevista; in secondo luogo in quanto tra il paramento di valle della diga e lo sfioratore massiccio è prevista la realizzazione di un giunto (non modellato nel reticolo di calcolo) che renderà trascurabile il valore di tali trazioni. Al paramento di monte le condizioni di verifica sono sempre soddisfatte. Gli sforzi di compressione sono ampiamente entro i limiti in tutta la diga per ogni combinazione.

Le sollecitazioni risultanti dall'applicazione delle azioni sismiche risultano di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quelle generate dalle coazioni termiche.

In conclusione, le verifiche di sicurezza della nuova diga, in condizioni statiche e sismiche, sono soddisfatte.

5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1. STRUTTURA AD ARCO-GRAVITÀ

Alla luce delle verifiche geologico-tecniche, idrauliche e delle analisi statiche e sismiche di cui si è riferito nei capitoli precedenti, si confermano totalmente le anticipazioni ed il dimensionamento delle opere come descritte nella precedente revisione progettuale del 2009; infatti le uniche differenze della struttura ad arco-gravità in questa revisione progettuale rispetto alla precedente riguardano solo l'innalzamento del piano di coronamento di 50 cm e le differenti geometrie dei cunicoli.

In particolare:

- l'assise di fondazione si è confermata, anche alla luce dei recenti approfondimenti, costituita da rocce di ottima qualità con poche discontinuità di scarsa importanza (v. All. X.02);
- dal punto di vista statico e sismico la diga ad arco-gravità sostituisce completamente la vecchia struttura, la quale, oltre a costituire il "cassero a perdere" verso monte per i nuovi getti, consentirà che tutte le lavorazioni a valle avvengano in totale sicurezza idraulica;
- la tenuta idraulica dell'imposta diga è assicurata (e comprovata da quasi 80 anni di esercizio) dalla qualità della roccia, trattata in fase di costruzione (v. All. X.02);
- lo sfioratore in corpo diga, assieme agli altri scarichi, consente lo smaltimento della piena millenaria senza superare la nuova quota di massimo invaso di 784,50 m s.m. (v. All. X.03);
- il franco netto regolamentare è ampiamente rispettato (1,20 m rispetto all'1,00 m necessario) (v. All. X.03);
- l'analisi statica mostra, secondo le attese per strutture massicce, qualche trazione superficiale sul paramento di valle, ove sono previste armature, per le condizioni termiche invernali; nessuna "sensibilità" invece per le sollecitazioni sismiche, anche estreme (v. All. X.05).

5.1.1 SCAVI E DEMOLIZIONI

5.1.1.1 ABBATTIMENTI E SCAVI IN ROCCIA

La Relazione geologico-geomeccanica (v. All. X.02) ha evidenziato che in sponda destra nella zona dei lavori esiste un unico blocco roccioso di volume consistente delimitato da due sistemi di diaclasi che lo rendono ipoteticamente instabile (v. disegno All. Y.04): a seguito del necessario studio morfologico di dettaglio, all'inizio dei lavori sarà realizzata una piattaforma per l'esecuzione di fori da mina e l'abbattimento di questo blocco con l'uso di cariche il più possibile limitate.

Nel disegno citato la delimitazione del "blocco instabile" è stata fatta con criterio esclusivamente "geometrico", nel senso che alle superfici che compaiono nelle sezioni 1 e 3 al di sotto della quota 774 m s.m. è stato attribuito il valore di traccia delle discontinuità, rispettivamente K3 e K2; queste tracce, prolungate verso l'alto sino alla

superficie topografica, isolano un volume di roccia di ~100 m³.

Nella planimetria del disegno sono indicate le direzioni medie definite nella Relazione geologico-geomeccanica (v. All. X.02) per le due famiglie (rispettivamente 64° e 303°) che in effetti si adattano piuttosto bene alle curve di livello rilevate dal topografo (in condizioni, come è immaginabile, piuttosto difficili); quanto alle immersioni medie fornite dal geologo (rispettivamente 56° e 63°) K2 risulta ben compatibile con la topografia, che darebbe invece K3 più verticale. Tutto ciò sarà ovviamente oggetto di ulteriori accurati rilievi all'inizio dei lavori.

I lavori proseguiranno con l'accurato disgiungimento di entrambe le sponde della gola per un tratto di circa 50 m a valle della diga esistente; mediante rocciatori esperti in questo tipo di lavori verrà riconsiderata in dettaglio la eventuale instabilità di piccoli blocchi (< 1 m³) con l'utilizzo di mezzi manuali e, se del caso, di limitate cariche esplosive.

Come anticipato nel progetto preliminare (marzo 2009) in linea di principio non è previsto alcuno scavo in roccia per la regolarizzazione delle fondazioni: questo criterio è perfettamente accettabile in considerazione della bassa probabilità che si inneschino fessure in corrispondenza delle irregolarità delle fondazioni per:

- il valore molto contenuto degli sforzi presenti nella struttura (v. § 4.3)
- il basso contenuto di legante e quindi:
 - il basso modulo elastico della struttura
 - il conseguente basso valore degli sforzi da ritiro

In ogni caso il Direttore dei Lavori deciderà in opera l'opportunità di disporre armature in corrispondenza degli spigoli più pronunciati (v. § 5.1.1.2).

Con queste premesse i veri "scavi di fondazione" saranno limitatissimi ed eseguiti contemporaneamente alla pulizia (v. § 5.1.1.2).

5.1.1.2 PULIZIA E PREPARAZIONE DELLE FONDAZIONI

Esaurite le operazioni descritte al paragrafo precedente si eseguirà, procedendo dall'alto verso il basso, l'accurata pulizia delle fondazioni della diga. Si eseguirà innanzitutto il taglio e l'asportazione della vegetazione (alberi e cespugli) seguiti dalla pulizia, con mezzi manuali, di tutte le cenge erbose e di ogni residuo vegetale, terroso e antropico accumulatosi negli anni.

Una pulizia meno accurata verrà eseguita sulle sponde a valle dell'imposta vera e propria in tutta la zona che incombe sull'area dei lavori (~20 m a valle del coronamento).

Durante questi lavori di pulizia dalla vegetazione esistente verranno aggiornati i rilievi geomeccanici e qualora emergessero nuove discontinuità o piccoli blocchi instabili la D.L. valuterà la loro eventuale rimozione o cucitura/chiodatura.

In questa fase verranno eseguiti anche gli "scavi di fondazione" (anche con micro-cariche, data l'ubicazione lontana da opere permanenti), indicati nei disegni di progetto e di volume veramente limitato (~20 m³ in totale) in corrispondenza:

- della parte finale del muro sinistro dello scarico di superficie in corpo diga;
- delle fondazioni del salto di ski;
- ecc...

La fase finale di pulizia è costituita da getti di acqua ed aria in pressione per eliminare dalla superficie della roccia e soprattutto dalle cavità ed anfratti tutte le particelle vegetali ed organiche.

Una volta asportati tutti i detriti verrà denudata anche la fondazione in alveo (sino a quota ~738 m s.m. in corrispondenza dell'unghia di valle): verrà realizzata una piccola tura provvisoria per difendere la zona dall'allagamento dovuto ad un'eventuale piena proprio in quel periodo.

Man mano che i getti procederanno verso l'alto si avrà comodo accesso alle sponde per eseguire le ultime lavorazioni di preparazione:

- eventuali maglie di armatura in corrispondenza degli spigoli rocciosi più accentuati (a giudizio della D.L.);
- chiodi e bulloni sia di collegamento calcestruzzo-roccia che di assicurazione di piccoli blocchi esposti;
- eventuali iniezioni localizzate di fratture aperte;
- eventuali interventi di "dental concrete", cioè di inserzione di calcestruzzi preconfezionati e/o malte in corrispondenza di cavità, cavillature, fessure, ecc...;
- posa in opera dei drenaggi delle fondazioni e loro sicuro collegamento con la rete già installata a quote inferiori.

5.1.1.3 TAGLI CON FILO DIAMANTATO

L'ultimo inverno (1 dicembre - 31 marzo) di lavoro è di capitale importanza per il successo del presente progetto: tutto il programma lavori (v. § 6) è teso a far sì che l'1 dicembre i getti massicci si trovino alle quote indicate in Figura 6 e vengano momentaneamente sospesi.

Si svuota l'invaso lasciando aperto lo scarico di mezzofondo e la prima operazione da eseguire, propedeutica alle indispensabili demolizioni di parte delle strutture esistenti, prevede il taglio con filo diamantato. Si è scelta questa metodologia per la sua applicabilità anche a strutture armate, la sua velocità di esecuzione e la precisione quasi chirurgica del taglio.

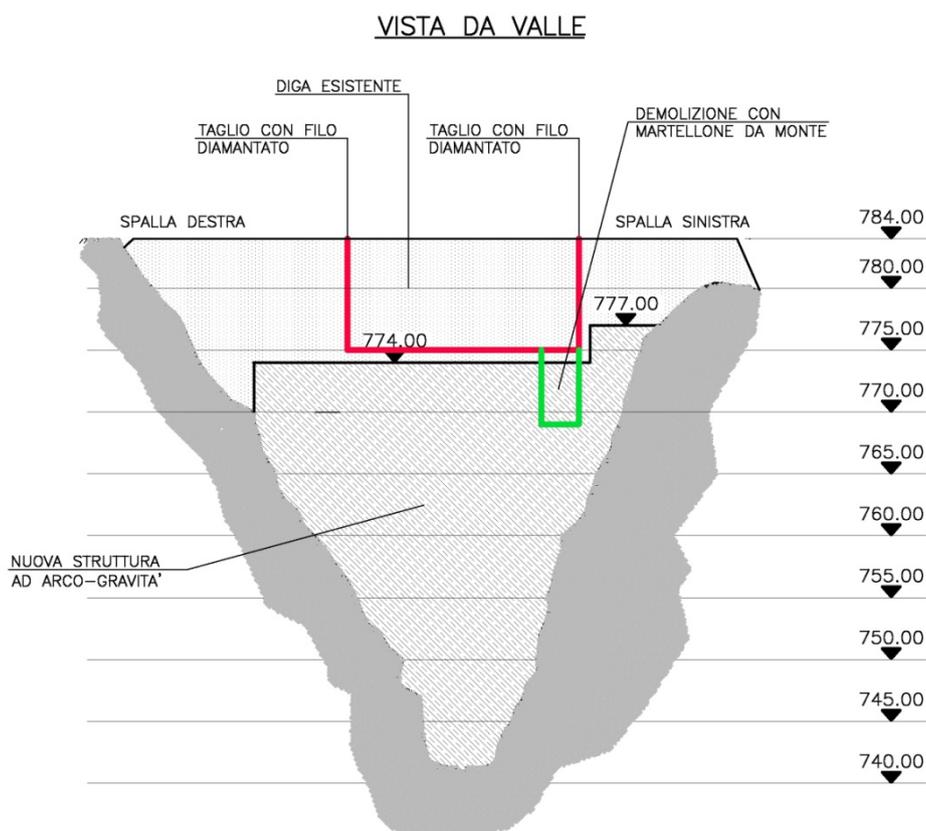


Figura 6

Diga esistente: va demolita quella parte della struttura sopra quota ~775 m s.m. interessata dalla realizzazione dell'imbocco dello scarico di superficie in corpo diga e dallo scarico di fondo (questi tagli sono indicati in rosso in Figura 1); si tratta di un settore di superficie laterale di un cono aggettante verso valle, di circa 20 m di larghezza, 9 m di altezza e spessore variabile da 1 m a 1,2 m. Si pensa di suddividere questo settore in almeno 2 pezzi (10×9 m²), in modo da facilitarne il ribaltamento e l'abbattimento verso monte sui sedimenti che riempiono l'invaso, ove potrà essere facilmente demolito mediante martellone.

La struttura esistente (leggermente armata sui due paramenti) verrà dapprima perforata a quota 775 m s.m. da due o più perforazioni inclinate verso monte, ove verrà fatto scorrere il filo diamantato per la realizzazione di un taglio sub-orizzontale; le attrezzature di taglio scorreranno su binari posti sui getti (sospesi a quota ~774 m s.m.) della nuova struttura. Anche la posa e la movimentazione delle carrucole di rimando sul paramento di monte sono facilitate dalla presenza del "piazzale" costituito dai sedimenti che riempiono l'invaso sino a circa quota 773 m s.m. Si procederà poi ai tre (almeno) tagli verticali sempre con l'attrezzatura posta sui getti (sospesi) a valle ed infine al ribaltamento verso monte dei 2 (o 3) pezzi mediante funi collegate al coronamento e tesate da mezzi cingolati (e/o tirforts).

Spalle a gravità: parte delle spalle esistenti (v. disegni di progetto) vanno demolite per poter realizzare le nuove spalle della struttura ad arco-gravità.

In sponda sinistra il taglio è piuttosto limitato (~40 m²) e l'installazione può essere la stessa già utilizzata per la diga.

In sponda destra invece la struttura esistente è fondata a quota ~770 m s.m. e quindi verrà lasciato un pozzo nei nuovi getti di 4 m di profondità per l'installazione della carrucola di rimando del filo diamantato: le attrezzature possono essere ubicate sopra lo scarico di mezzofondo a quota 784 m s.m.

5.1.1.4 DEMOLIZIONE DI CALCESTRUZZI

La demolizione dei settori di diga, come già detto, non dà alcuna preoccupazione, né riguardo ai tempi di esecuzione né per i mezzi d'opera, malgrado la presenza di armature. Anche la demolizione in opera della diga esistente in corrispondenza dell'imbocco del nuovo scarico di fondo, fra le quote 769 e 775 m s.m. (v. Figura 6), è facilitato dal poter disporre di un martellone proprio di fronte alla zona da demolire. Per proteggere da questa operazione i retrostanti getti della nuova diga, in questa zona viene interposta tra le due strutture una lastra di polistirolo espanso di 10 cm, che diventa una imbottitura di 50 cm in corrispondenza della giunzione delle parti metalliche (v. disegno All. Y.11).

Più ardua è invece la demolizione delle due spalle, sia come accessibilità per i mezzi d'opera che per la ristrettezza delle sezioni da demolire e l'acclività dei versanti. Per queste demolizioni viene comunque prescritto di non utilizzare esplosivi, in quanto in aderenza a strutture che dovranno mantenere la loro funzionalità anche in futuro. Potranno perciò essere utilizzati o metodi chimici o martelli demolitori eventualmente montati su bob-cat: solo per i primi metri della spalla destra potrà essere utilizzato un vero martellone ubicato alla quota 784 m s.m. sopra lo scarico di mezzofondo.

La risulta delle demolizioni verrà fatta precipitare in alveo ove si provvederà al suo trasporto a discarica o, a giudizio della D.L., al suo utilizzo per la realizzazione delle difese a valle.

5.1.2 GIUNTI DI COSTRUZIONE

Sono stati previsti due giunti che separano il corpo del nuovo sbarramento dalle sue spalle a gravità; nelle Figura 7 e Figura 8 sono riportati rispettivamente la planimetria della struttura ad arco-gravità e la sezione sviluppata a coronamento (estratte dagli elaborati grafici di progetto) con indicati in rosso i giunti.

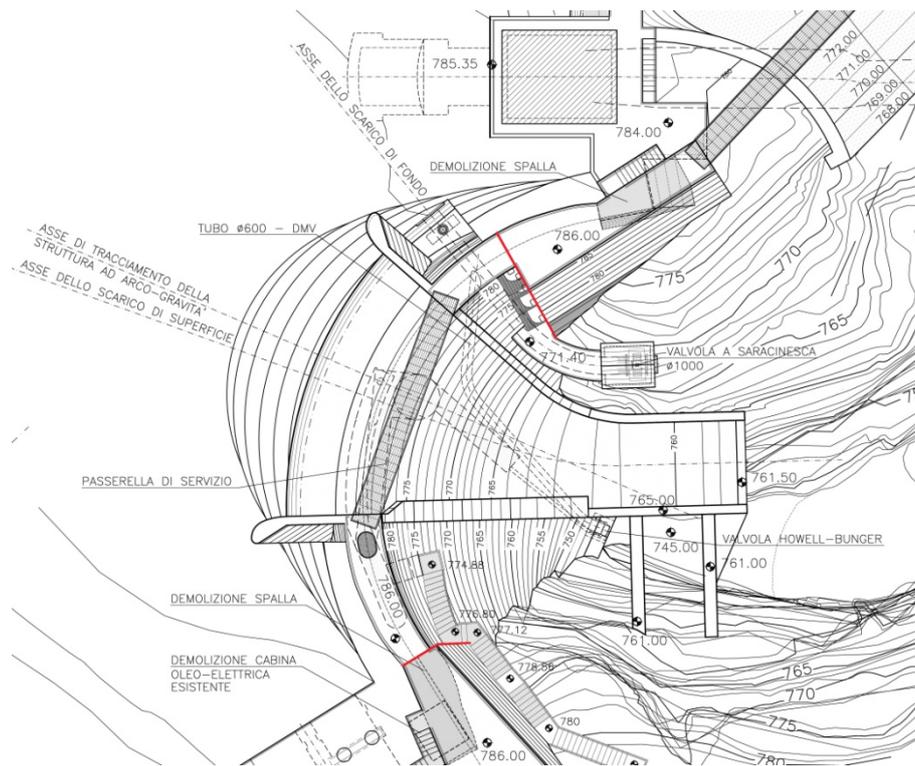


Figura 7

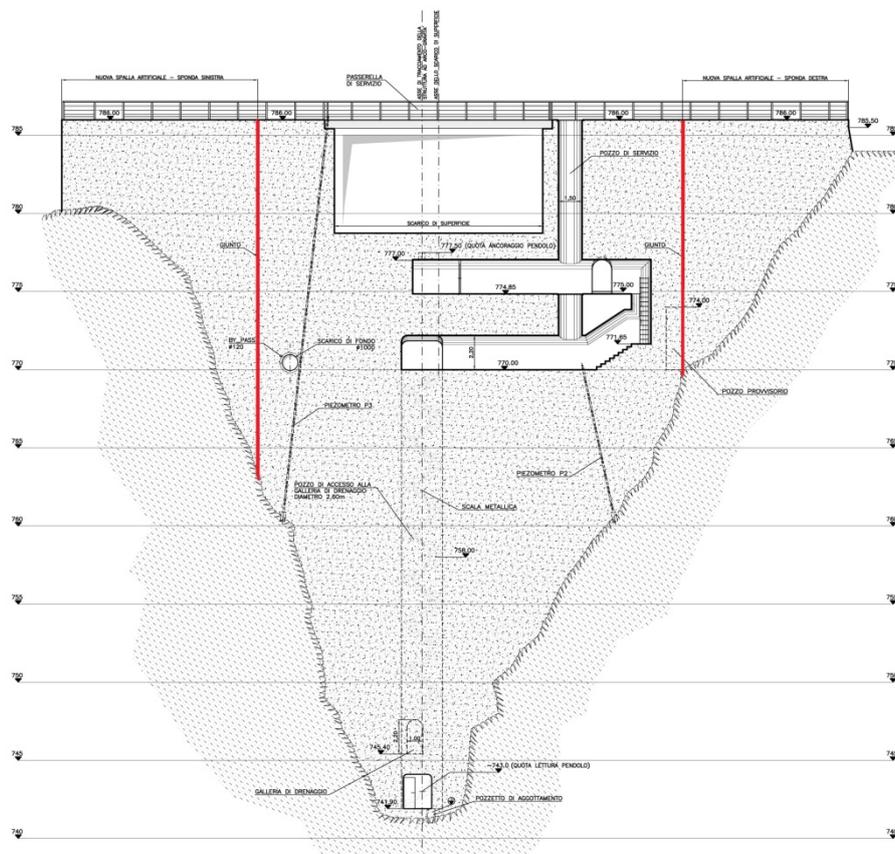


Figura 8

Sino a quota 780 m s.m., questi giunti verranno iniettati ed eventualmente reiniettati con miscele cementizie, anche con l'utilizzo di cementi ultrafini, nei primi periodi freddi successivi al completo smaltimento del calore di idratazione dei getti.

Allo scopo di identificare il periodo più opportuno (che si prevede sia intorno alla fine del mese di marzo) verranno lasciati nel getto, in vicinanza del giunto con la spalla destra della diga, quattro termometri per calcestruzzo, intorno alle quote 771, 773,5, 776 e 778,5 m s.m.

Si è previsto di non iniettare i giunti sopra quota 780 m s.m., in modo da non favorire l'effetto arco sopra quella quota (comunque già interrotto dalla presenza della soglia sfiorante), e quindi diminuire le spinte orizzontali sulla parte superiore delle due spalle a gravità.

Nelle Figura 9 e Figura 10 sono riportate le superfici dei giunti rispettivamente in spalla destra e sinistra, con indicati i circuiti di iniezione e in tratteggio rosso le superfici interessate dall'iniezione; nella Figura 9 del giunto destro sono indicate con quadratini rossi le posizioni dei termometri annegati nel calcestruzzo.

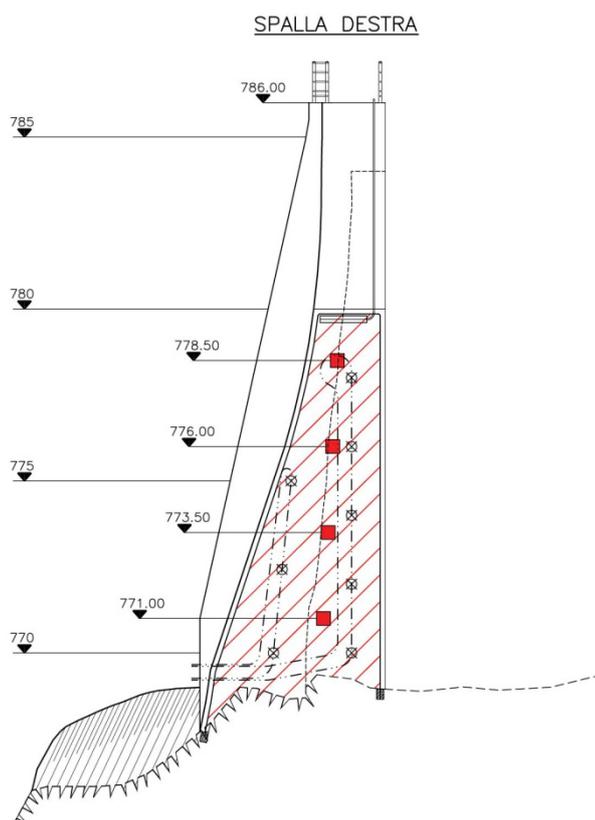


Figura 9

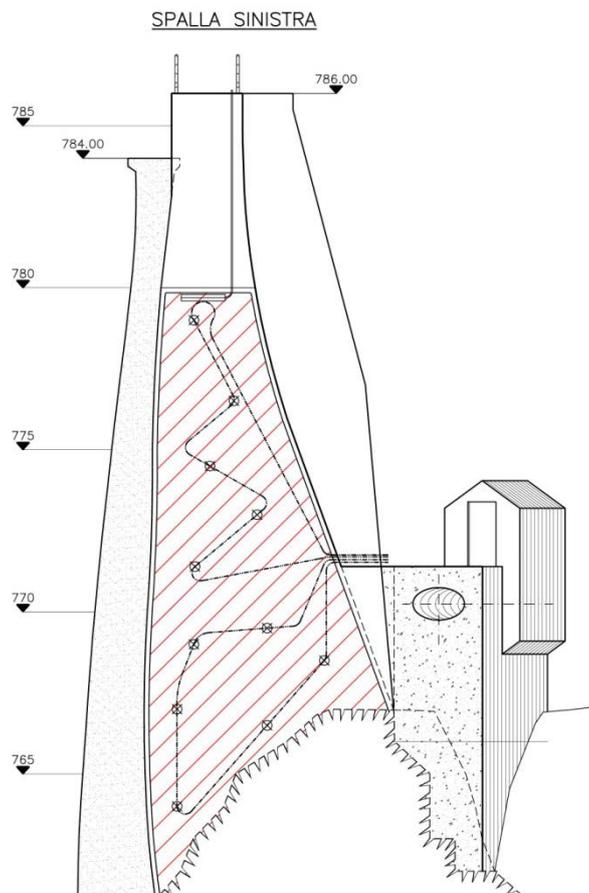


Figura 10

Il dispositivo di iniezione, costituito da tubazioni in acciaio Ø1" che collegano le valvole di iniezione (1 ogni 4÷5 m² di giunto), verrà annegato nel getto del "concio basso": pertanto, da come è previsto il programma dei getti, il circuito per il giunto in sinistra verrà annegato nel corpo diga, mentre quello per il giunto in destra sarà annegato nel corpo della spalla destra; entrambi i circuiti faranno capo ad una apposita piazzola sul paramento di valle da dove avverranno le operazioni di iniezione.

5.1.3 SISTEMA DI SEPARAZIONE TRA LE DUE DIGHE

Ciò che caratterizza il presente progetto è che la nuova struttura di rinforzo (diga ad arco-gravità) potrà utilmente sfruttare come "cassero a perdere" a monte la diga esistente, che però dovrà essere lasciata liberamente espandere (AAR: verso monte e verso l'alto) e quindi non dovrà essere strutturalmente collegata nelle parti in elevazione alla struttura di valle.

Le due strutture saranno invece organicamente collegate in fondazione e all'imposta (v. § 5.1.4) per realizzare la tenuta a monte, mentre il restante contatto roccia/calcestruzzo della struttura di valle sarà liberamente drenante.

Come detto in precedenza (v. § 4.3), le analisi strutturali sul modello ad elementi finiti comprendente entrambe le dighe hanno evidenziato come il massimo avvicinamento

tra le due strutture, in condizioni sismiche, risulti circa 1 mm. Un avvicinamento massimo così modesto fra le due strutture ha portato alla decisione di semplificare e ridurre il sistema di separazione tra le stesse, rispetto a quello previsto nel progetto del 2009. Si è infatti deciso di adottare uno strato di EPDM di 2 cm di spessore avente una densità di 200 kg/m³. L'EPDM (Etilene Propilene Diene Monomero) è un polimero sintetico a celle chiuse abitualmente impiegato per guarnizioni; esso ha il vantaggio di non consentire il passaggio di acqua al suo interno (impermeabile), di essere deformabile ma allo stesso tempo di comprimersi poco (< 2 mm) sotto il carico di uno strato di 2 m di calcestruzzo fresco, di non alterarsi chimicamente a contatto con il calcestruzzo, e di mantenere le sue proprietà meccaniche in ambienti tra -40°C e + 95°C.

Inoltre risulta molto semplice da mettere in opera, in quanto le lastre di EPDM possono essere fornite con uno strato adesivo per il loro fissaggio temporaneo al paramento di valle della diga esistente, durante le fasi di getto della nuova. Ovviamente la posa dell'EPDM sarà preceduta da una perfetta pulizia con getti di acqua e aria in pressione del vecchio calcestruzzo.

Nel progetto definitivo del 2009 era stata prevista una membrana impermeabilizzante a spruzzo non perché non ci si fidava della tenuta del solo calcestruzzo della nuova struttura, ma semplicemente per il modesto onere che questo dispositivo comportava utilizzando la diga esistente come cassero. La semplificazione del sistema di contatto tra le due dighe non prevede più l'impiego di questa membrana. Nonostante la miscela M del calcestruzzo della nuova diga abbia caratteristiche sufficienti a garantire, da sole, una adeguata impermeabilità della struttura, si è comunque previsto di utilizzare nell'ultimo metro di spessore della nuova struttura a ridosso del paramento di monte, e quindi a contatto con l'EPDM, la miscela M*, più ricca di legante essendo ottenuta privando la miscela M, dei getti massivi del corpo diga, dell'ultima classe di inerti. Questa scelta è finalizzata a preservare lo strato di separazione in EPDM, evitando di gettare contro di esso una miscela con inerti di classe 30-80 mm. Inoltre questa scelta garantisce maggiormente la tenuta del paramento di monte della nuova opera, soluzione già utilizzata in passato con questa finalità per altre dighe esistenti.

5.1.4 TENUTA E DRENAGGIO DELLE FONDAZIONI

In prossimità delle imposte rocciose della diga l'elemento di separazione (EPDM, di cui al paragrafo precedente) si interrompe. Per garantire la perfetta solidarizzazione della nuova diga all'imposta, sia con la struttura esistente che con la roccia, è stata prevista la messa in opera negli ultimi 3÷4 m a cavallo tra la diga esistente e l'imposta rocciosa (1,5÷2 m per parte) l'applicazione, preventiva ai getti della nuova diga, di un adesivo epossidico bicomponente (v. Figura 11 e Figura 12). L'applicazione di questo prodotto sarà ovviamente preceduta dalla perfetta pulizia e scarifica con getti di acqua e aria in pressione sia del vecchio calcestruzzo che della roccia.

Verso valle poi le restanti fondazioni e imposte della nuova struttura verranno drenate a gravità verso il cunicolo ispezionabile a quota 745 m s.m. (galleria di drenaggio) e da qui scaricate a valle (con clapet di non ritorno).

VISTA DA VALLE

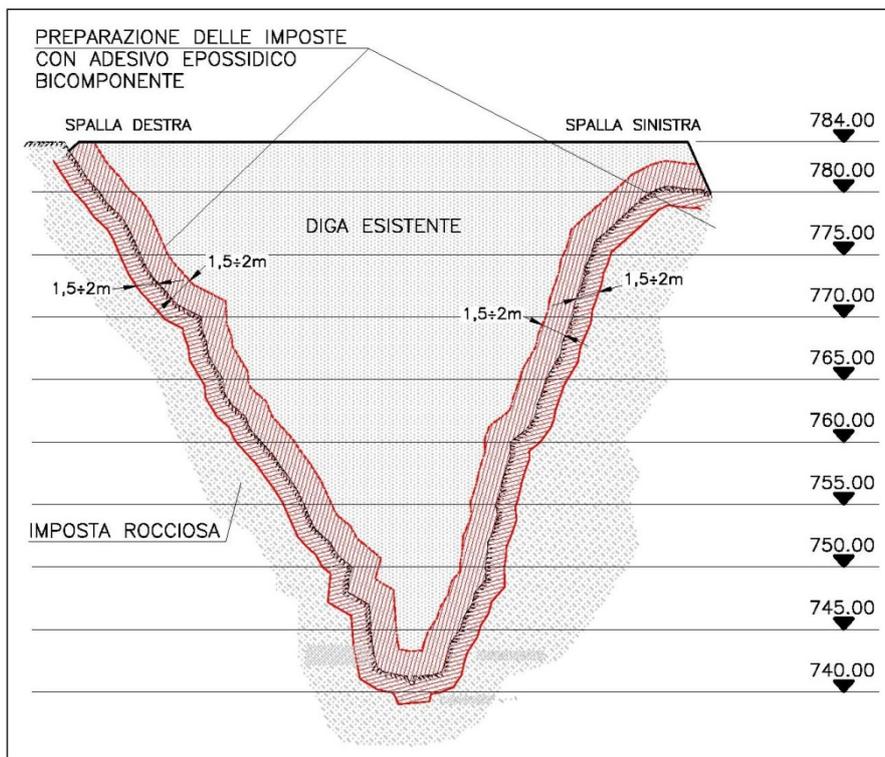


Figura 11

SEZIONE ORIZZONTALE A QUOTA 765 m s.m.

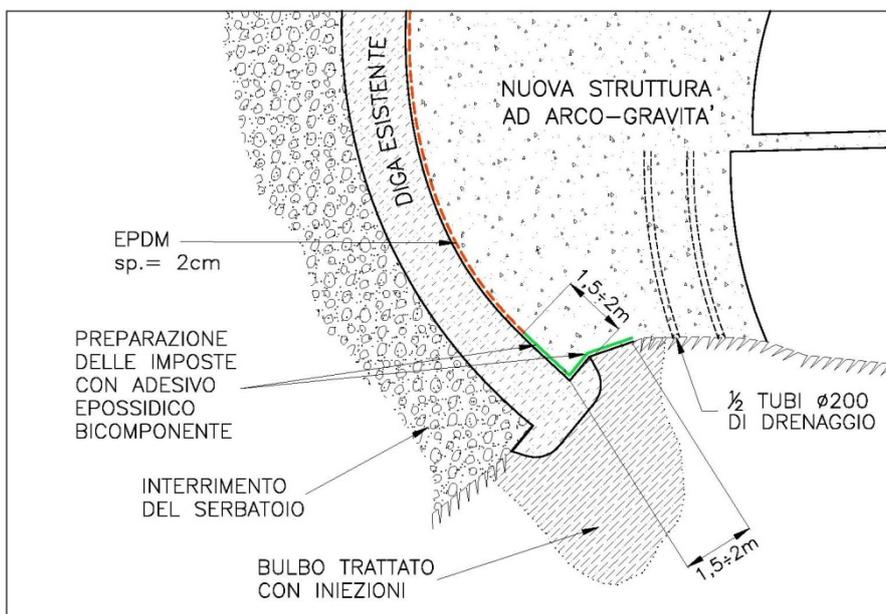


Figura 12

Al termine dei lavori pertanto la tenuta del serbatoio sarà assicurata, come oggi, dall'ottima impermeabilità della roccia di imposta, già trattata a suo tempo con iniezioni.

Inoltre, in ottemperanza alle conclusioni degli ultimi approfondimenti geologici (v. All. X.02), durante le iniziali fasi di pulizia dei versanti verrà valutata con attenzione anche la possibilità di iniettare solo le eventuali fratture aperte rilevate.

5.1.5 SOVRASTRUTTURE

In fregio alla nuova struttura ad arco-gravità troverà sede il nuovo scarico di superficie; in corrispondenza della parte centrale della struttura, il "nasone" sommitale sarà infatti la soglia sfiorante di questo nuovo organo di scarico.

La soglia sarà limitata lateralmente da due muri d'ala aggettanti verso l'invaso che delimitano tutto lo scivolo dello scarico fino al salto di ski terminale; essi sono stati sagomati in base alle ultime risultanze delle prove su modello idraulico.

I muri laterali di questo nuovo scarico hanno uno spessore di 50 cm, nel tratto terminale di quello in destra verranno realizzati due traversi, aventi uno spessore di 70 cm e un'altezza di 3 m, per contrastare i nuovi getti alla parete rocciosa della stretta; con la stessa finalità si è inoltre previsto di eseguire un solettone continuo di calcestruzzo massivo fino a quota 745 m s.m., su cui fondare i getti del salto di ski.

Per garantire il transito pedonale sopra il nuovo coronamento della diga, verrà messo in opera un ponte in carpenterie metalliche sopra lo scarico di superficie.

5.1.6 CALCESTRUZZI

In progetto sono state previste tre miscele di calcestruzzo: miscela M per i getti massivi, miscela S per le strutture armate e miscela M* per le zone di transizione dalla miscela M alla S oltre che per lo scivolo del nuovo scarico di superficie ed il primo metro del paramento di monte.

Queste miscele di calcestruzzo in sede di progettazione esecutiva verranno testate ed affinate presso un laboratorio ufficiale, verificando anche gli opportuni additivi da eventualmente aggiungervi.

5.1.6.1 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 garantire la lavorabilità.

In Tabella 4 si riporta la ricetta indicativa per metro cubo di calcestruzzo:

Leganti	Cemento tipo IV B 32,5 R	100	kg
	Ceneri volanti	100	kg
Acqua		120	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	2.420	kg

Tabella 4

Il cemento pozzolanico è stato previsto con la classe di resistenza minore: 32,5 e con comportamento meccanico R. Sia le classi N che R garantiscono lo stesso valore di resistenza a 28 giorni di maturazione, ciò che le differenzia è che le classi R hanno uno sviluppo iniziale più rapido delle resistenze. Questo aspetto, considerato il modesto quantitativo di cemento per metro cubo, non desta preoccupazioni dal punto di vista dell'aumento di sviluppo del calore di idratazione; in ogni caso in sede di progettazione esecutiva, tramite prove di laboratorio, si approfondirà l'opportunità di adottare un cemento di classe N invece che R.

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

5.1.6.2 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 5 si riporta la ricetta indicativa per metro cubo di calcestruzzo:

Leganti	Cemento tipo IV B 32,5 R	400	kg
Acqua		160	kg
Aggregati	0÷3 mm	980	kg
	3÷15 mm	220	kg
	15÷30 mm	645	kg
	Peso teorico dell'impasto	2.405	kg

Tabella 5

5.1.6.3 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 della intera classe di inerte grosso. Questa miscela M* sarà utilizzata anche per tutto lo scivolo dello scarico di superficie, così come per il primo metro di spessore della nuova struttura a ridosso del paramento di monte.

In Figura 13 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 anche notare lo strato di

calcestruzzo M* al paramento di monte.



Figura 13

5.1.6.4 GETTI IN PERIODO FREDDO

Il clima alla diga di Ceppo Morelli è particolarmente rigido nel periodo invernale, periodo in cui si devono eseguire i getti della parte superiore della diga per ottemperare alle esigenze connesse alla programmazione dei lavori.

Conseguentemente, particolare attenzione verrà posta alla confezione, alla posa ed al "curing" del calcestruzzo, onde garantirne una corretta maturazione.

La temperatura dell'impasto al momento del getto dovrà essere ≥ 7 °C; questo sarà ottenuto all'impianto di confezionamento tramite il riscaldamento dei componenti, in particolare gli aggregati e l'acqua.

Se necessario al conseguimento dell'obiettivo, le autobetoniere, le benne ed i casseri saranno opportunamente coibentati.

Qualora i piani di posa fossero gelati o presentassero evidenze di ghiaccio, e comunque ogni qualvolta si eseguissero getti con T dell'aria nelle immediate vicinanze all'opera in esecuzione ≤ 1 °C, i piani di getto e le cassature andranno trattati con getti di aria calda.

In merito al "curing" dei getti, essi andranno protetti con teli o dispositivi coibentanti trattati con getti di aria calda, in modo da garantire che nelle 24 ore successive al getto la T corticale del calcestruzzo non scenda sotto i 15 °C e si mantenga a temperatura ≥ 5 °C nei successivi 10 giorni.

In ogni caso saranno consentiti i getti solo con temperature dell'aria nelle immediate vicinanze dell'opera di esecuzione ≥ -5 °C con tendenza all'aumento.

5.1.6.5 ANALISI DEGLI AGGREGATI (AAR)

Il riconosciuto fenomeno espansivo (AAR: Reazione Alkali Aggregati) che ha interessato il calcestruzzo della diga di Ceppo Morelli è sicuramente imputabile agli aggregati (gneiss quarzoso-feldspatici ricavati dalla frantumazione della risulta degli scavi della galleria di derivazione), ma anche al contenuto di alcali del cemento ("tipo granito", come recita la Relazione di Collaudo, dosato a 300 kg/m³).

Per il confezionamento dei calcestruzzi per la nuova struttura ad arco-gravità si prevede di utilizzare gli aggregati presenti nel serbatoio della diga di Ceppo Morelli, che vengono "da sempre" utilizzati senza alcun problema nell'impianto di preconfezionamento di Vanzone (della ditta Cogeis S.p.A.). Già prima della consegna del progetto preliminare (marzo 2009) si erano richiesti i certificati delle prove di routine (UNI 8520-22) che non evidenziavano tale tipo di pericolo.

In ogni caso data l'importanza e la delicatezza del tema, è stata programmata ed eseguita una campagna di indagini di caratterizzazione degli aggregati presenti nel serbatoio, per scongiurare il pericolo di una reazione espansiva del calcestruzzo.

Inizialmente è stata eseguita una prima fase di indagini con:

- a) caratterizzazione petrografica dell'aggregato, suddiviso in 5 classi granulometriche, mediante sezioni sottili esaminate al microscopio a luce polarizzata, utilizzo di stereomicroscopio ed esami chimico-fisici;
- b) prove di espansione accelerata su barre di malta, eseguite su ogni frazione granulometrica, utilizzando un cemento Portland ad alto contenuto di alcali e protraendo la prova oltre la scadenza standard prevista (14 gg) sino a 28 e 56 gg di immersione in NaOH 1N a 80 °C.

I risultati della caratterizzazione a) hanno definito tutte le classi granulometriche in Categoria II, cioè un aggregato di incerta valutazione, per il quale non si può escludere la reattività per la presenza di quarzo stressato.

Le prove b) hanno dato invece risultati inferiori ai limiti ammissibili per ogni scadenza di prova.

Il risultato non completamente liberatorio dell'esame a) ha imposto, per estrema cautela, di dare luogo ad una seconda fase di indagini con:

- a) prove accelerate su provini di calcestruzzo prismatici (75x75x250 mm), confezionati con differenti livelli di alcali (da 3,5 a 7,5 kg/m³ Na₂O_{equiv.}) e stagionati in soluzione alcalina a 150 °C;

b) prove a lungo termine (fino a 1 anno di stagionatura) su provini di calcestruzzo prismatici (75x75x250 mm), confezionati con differenti livelli di alcali (da 3,5 a 7,5 kg/m³ Na₂O_{equiv.}) e stagionati a 38 °C e 100% di umidità relativa.

L'obiettivo è stato quello di determinare il Livello di Soglia degli Alcali (LSA) dell'aggregato, al di sopra del quale si manifesta il fenomeno espansivo. E' un parametro fondamentale per la selezione di un aggregato suscettibile di reazione alcali-silice e per la determinazione delle misure preventive più appropriate per evitare l'insorgere di fenomeni espansivi. Infatti, se confrontato con il Livello massimo di alcali disponibili del calcestruzzo (L_{ac max}) previsto nella vita in servizio della struttura ad arco-gravità, esso consente di quantificare la Forza Motrice (FM) della reazione:

$$FM = L_{ac\ max} - LSA$$

L'obiettivo è avere un valore di FM = 0 o meglio ancora FM < 0.

Le prove hanno individuato un valore di LSA = 5,3 kg/m³ Na₂O_{equiv.}, pertanto l'impiego di questo aggregato è condizionato al mantenimento di un valore massimo di alcali disponibili nel calcestruzzo (L_{ac max}), per l'intera vita di servizio della nuova opera, inferiore a LSA.

Il valore di L_{ac max} per il calcestruzzo (miscela M) della nuova struttura ad arco-gravità, calcolato sulla base della composizione prevista in progetto, è risultato di 3,3 kg/m³ Na₂O_{equiv.}, pertanto la Forza Motrice della reazione espansiva risulta:

$$FM = L_{ac\ max} - LSA = (3,3 - 5,3) \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O}_{equiv.} = - 2,0 \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O}_{equiv.}$$

Quindi non solo la reazione espansiva non ha la forza necessaria ad innescarsi, ma addirittura si ha un ulteriore margine di sicurezza di 2 kg/m³ Na₂O_{equiv.}. Inoltre va sottolineato come i calcoli per la determinazione di L_{ac max}, a favore di sicurezza, non abbiano tenuto conto che il cemento è pozzolanico; fatto che equivale ad un ulteriore abbassamento della Forza Motrice e quindi ad un ulteriore aumento del margine di sicurezza.

Nel capitolato del progetto esecutivo verranno imposti i limiti di L_{ac max} per la fase di qualifica delle miscele; così facendo l'aggregato presente nel serbatoio potrà essere impiegato in assoluta sicurezza per il confezionamento del calcestruzzo della struttura ad arco-gravità.

Le relazioni specialistiche delle indagini sopra descritte sono state trasmesse alla Direzione Generale per le Dighe nel 2011 in allegato al documento "Chiarimenti ed elementi aggiuntivi in ottemperanza alla nota della Direzione Generale per le Dighe prot. 13100 del 02.12.2010".

5.2. SCARICO DI SUPERFICIE ESISTENTE

Sullo scarico di superficie esistente, costituito da uno sfioratore laterale in sponda sinistra, è stata eseguita, sempre da Protecno S.r.l. presso il laboratorio idraulico di Voltabarozzo (PD), una serie di prove su modello idraulico nel 2008, la cui relazione finale è stata allegata al progetto preliminare (marzo 2009).

Queste prove hanno dimostrato come, nelle nuove condizioni di massimo invaso, il muro di valle del canale verrebbe trascinata.

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".

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.

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, 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 fino a dove esso è a quota 785,50 m s.m., dopo di che proseguirà a questa quota su impalcati in carpenteria metallica, sorretti da pile in calcestruzzo armato, per poi sbarcare sul coronamento della diga a 786,00 m s.m.

Nei tratti in cui la passerella è costituita dagli impalcati metallici, è stato realizzato un piccolo deflettore alla testa del nuovo muro perché in alcuni punti il franco tra il livello della corrente in occasione della piena millenaria e la testa del muro è inferiore a 1 m.

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 delle eventuali sottopressioni.

5.3. SCARICO DI FONDO

E' prevista l'esecuzione di un nuovo scarico di fondo che attraversa la struttura ad arco-gravità in prossimità della sua imposta sinistra; esso, dal punto di vista idraulico ed elettromeccanico, avrà le stesse caratteristiche già presentate nel progetto "Parziale ripristino dello scarico di fondo" (giugno 2007).

Questo nuovo scarico sarà presidiato da una paratoia piana di altezza 1,20 m e larghezza 1,00 m con battuta a 770 m s.m.; essa alimenterà una tubazione Ø1000 mm in acciaio che, dopo ~16 m di sviluppo, tramite una valvola a saracinesca, restituirà le acque sul versante roccioso del versante sinistro a valle dello sbarramento.

Questo scarico di fondo avrà una capacità alla nuova quota di massimo invaso di circa 10 m³/s.

Circa 3 m a valle della paratoia piana di guardia, dalla tubazione Ø1000 mm si diramerà un condotto in acciaio Ø600 mm che attraverserà il corpo della struttura ad

arco-gravità per poi restituire le acque, tramite una valvola Howell-Bunger con asse a quota 745,65 m s.m., alla destra idraulica dello scivolo del nuovo scarico di superficie. Questa diramazione servirà per il rilascio del Deflusso Minimo Vitale.

Il Concessionario della diga prevede di sfruttare idroelettricamente questo rilascio del DMV; l'ubicazione della piccola centrale idroelettrica è prevista tra il salto di ski e la sponda rocciosa in destra: il gruppo di produzione verrà comunque dotato di by-pass per assicurare il rilascio del DMV anche durante i fuori servizio della centralina.

5.3.1 MESSA IN SICUREZZA DELLO SCARICO ESISTENTE

La realizzazione di un nuovo scarico di fondo sarà accompagnata dalla messa in sicurezza di quello esistente.

Questo scarico 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.

E' previsto pertanto l'intasamento dell'intercapedine, di ~2 m di spessore, tra la paratoia piana e la paratoia a settore con calcestruzzo (miscela M*) che verrà gettato a monte della paratoia a settore tramite opportuni fori praticati nel manto della stessa.

Il calcestruzzo verrà approvvigionato all'interno del pozzo dello scarico da monte, tramite una pompa calcestruzzi che transiterà sulla pista predisposta sul fondo del serbatoio vuoto; anche questo lavoro andrà quindi eseguito durante l'ultimo inverno del programma lavori.

5.4. INTERVENTI COMPLEMENTARI

Oltre agli interventi finora descritti, verranno anche eseguite sistemazioni minori riguardanti gli accessi e l'alveo del Torrente Anza a valle della diga.

L'accesso principale e carraio sia per il cantiere che in esercizio è in sponda destra, con l'utilizzazione, mediante appositi accordi, della strada di servizio della centrale ex Rumianca: di qui esiste già una pista verso la diga di Ceppo Morelli che verrà prolungata sino alla spalla destra della diga ed, a fine lavori, resa definitiva. L'accesso pedonale alla stessa spalla destra, dalla casa di guardia, verrà invece garantito tramite un sentiero di nuova realizzazione che correrà a quota 786,00 m s.m.

Dalla sponda sinistra, come già accennato, l'accesso in esercizio sarà solo pedonale, come oggi, mediante la nuova passerella sopra il muro di valle dello scarico di superficie; con l'invaso vuoto i mezzi potranno accedere a monte della diga sui sedimenti che riempiono l'invaso.

In merito invece all'alveo a valle della diga, si è prevista la sistemazione delle due sponde dell'alveo circa 100 m a valle della diga, in due posizioni che già attualmente sono soggette a erosione in occasione delle piene più importanti.

Le sistemazioni sono costituite essenzialmente da:

- Una struttura in massi di cava di 500÷800 kg sistemati a mano, sino a quota 746 m s.m., fondata su roccia o con un taglione sub-alveo sino a 2 m di profondità. La

struttura costituisce la protezione contro l'erosione al piede del pendio da parte delle acque del T. Anza, ed è conformata, in sinistra, in modo tale da inalveare e proteggere anche lo sbocco del torrente laterale nell'Anza. A tergo della struttura in massi un filtro di sabbia e ghiaia protegge dall'erosione delle acque sotterranee il retrostante rilevato.

- Una struttura di transizione, costituita da massi gettati alla rinfusa, sino a quota 748 m s.m., che è la quota massima che viene raggiunta dall'acqua in corrispondenza della piena millenaria, come segnalato dal modello.
- Un rilevato compatto di raccordo tra il ciglio della struttura in massi ed il ciglio delle scarpate di erosione attuali. La sua pendenza finale è all'incirca quella del pendio stabile attuale, e quindi l'azione erosiva di ruscellamento delle acque superficiali non ha più modo di espletarsi. Il materiale per la formazione del rilevato proverrà dai depositi ghiaioso-sabbiosi nell'invaso e dalla risulta degli scavi: si avrà cura di disporre il materiale di risulta degli scavi in roccia nella parte superficiale del rilevato in corrispondenza dell'alveo del torrente in sinistra, ad ulteriore protezione anti-erosiva. Lateralmente all'alveo del torrente, in superficie, si disporrà il terreno vegetale proveniente dagli scotici e a fine lavori si provvederà all'inerbimento e piantumazione con opportune essenze.
- 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 di ~10 m di lunghezza.

5.5. MONITORAGGIO

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

- Un pendolo diritto automatico in asse diga nell'apposito pozzo, 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, si disporrà anche una postazione per le misure manuali di controllo.
Rispetto alla precedente (dicembre 2009), in questa revisione progettuale è stato modificato il sistema di accesso alla camera del pendolo e al suo fulcro, prevedendo un sistema di scale più agevole sia per l'esercizio ordinario che per eventuali futuri interventi di manutenzione, che consente anche di raggiungere la galleria di drenaggio.
- 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. In Figura 14 è riportata una planimetria con la prevista posizione dei capisaldi di livellazione.

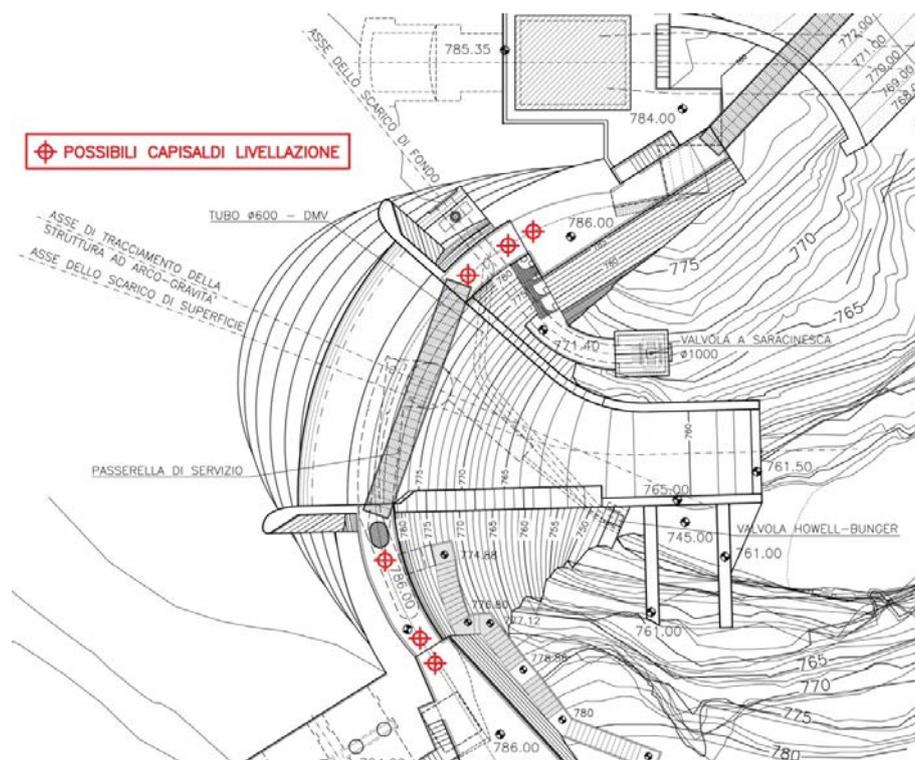


Figura 14

- Tre piezometri in fondazione per il controllo delle sottopressioni al contatto roccia-calcestruzzo.
- Quattro termometri nel calcestruzzo in corrispondenza del giunto di costruzione in spalla destra; due in più rispetto a quanto previsto nella precedente revisione progettuale (dicembre 2009).
- Sistema di misura delle eventuali perdite nella galleria di drenaggio.

6. PROGRAMMA DEI LAVORI

Ciò che caratterizza questo programma è la necessità di far coincidere sia la demolizione della parte superiore della diga esistente (e di parte delle sue spalle) che i getti di completamento della nuova struttura con il periodo di magra del fiume, che corrisponde al periodo invernale, dai primi di dicembre alla fine di aprile. In questo periodo infatti le portate istantanee in arrivo al serbatoio non superano i 10-15 m³/s, e possono essere facilmente deviate con una piccola tura verso lo scarico intermedio, rendendo libero l'invaso vuoto per l'accesso a monte della diga e per tutti i lavori di demolizione e di getto senza alcuna preoccupazione per la sicurezza idraulica.

La nuova struttura verrà quindi gettata sino a quota 774 m s.m. nel periodo precedente l'inverno (aprile-ottobre), lasciando intatta la struttura esistente e quindi la normale gestione dell'impianto.

Ma per l'inizio dei getti è ovviamente necessario:

a) aver eseguito gli scavi e la pulizia in alveo (sino a quota -738 m. s.m.) e la loro protezione da eventuali piene da valle (scaricate dagli scarichi intermedio e di superficie),

e quindi, prima di questa lavorazione è necessario:

b) aver eseguito l'abbattimento del cuneo roccioso (§ 5.1.1.1) e la pulizia delle fondazioni (§ 5.1.1.2);

c) avere a disposizione accessi e mezzi (derrick) per la distribuzione del calcestruzzo.

L'insieme di queste necessità ha consigliato:

- di prevedere l'inizio dei getti dalla parte finale del salto di ski, che è quindi stato separato con un giunto dalla diga vera e propria, e che costituisce sia la fondazione ideale per il derrick, sia la protezione dalle piene da valle;
- di prevedere quindi le operazioni b) prima dell'inverno, magari con un appalto separato.

L'inizio dei lavori veri e propri è quindi fissato con l'inizio di marzo, mentre l'inizio dei getti "diga" e "strutturali" è previsto per la seconda metà di maggio, quando saranno sicuramente ultimate le prove per la qualificazione dei calcestruzzi, non indispensabili per la realizzazione del blocco di valle.

I lavori allo scarico di superficie esistente riguardano essenzialmente il rinforzo e l'innalzamento del muro di valle, quindi sono teoricamente compatibili anche con lo smaltimento di piene importanti; si è comunque previsto di realizzare le sezioni più delicate di questo muro (cioè quelle più a valle) nei periodi nei quali è meno probabile il verificarsi di piene importanti, tenendo conto che il solo scarico intermedio è già in grado di scaricare oltre 180 m³/s con un franco di 75 cm rispetto alla soglia dello sfioratore esistente.

La realizzazione del nuovo scarico di fondo avviene ovviamente in due fasi:

- la posa in opera della tubazione in corpo diga avviene durante l'innalzamento dei corrispondenti getti;
- la realizzazione dell'imbocco avviene da monte dopo la demolizione della diga esistente.

A commento del diagramma a barre allegato alla presente relazione (v. Allegato 1) è opportuno anche precisare:

- 1) Gli scavi in alveo ed il getto del blocco di valle avverrà con accesso da valle in alveo; infatti sino a metà aprile le portate naturali sono molto limitate e quindi sia lo smarino (escavatori e dumpers) che i getti (autobetoniere ed autogru) potranno accedere tramite pista (parzialmente esistente) che scende in alveo dalla strada regionale.
- 2) Una volta installato il derrick (o la gru a torre, 20 m di sbraccio) sul blocco, le autobetoniere avranno comodo accesso nei pressi della spalla a gravità in destra, ove caricheranno benne da 1÷2 m³ di calcestruzzo.
- 3) Svotato l'invaso l'1 dicembre si avrà un comodo accesso anche dalla sponda sinistra scendendo sopra i sedimenti a monte della diga.

Dott. Ing. Carlo Claudio MARCELLO



ALLEGATO 1

Programma dei lavori

- Le durate sono espresse in giorni lavorativi
- La settimana lavorativa è di 6 giorni con unico turno giornaliero di 8 ore
- Si sono introdotte due settimane di chiusura cantiere ad agosto e una a dicembre

Probabilità piene: gen=0%, feb=0%, mar=0%, apr=0%, mag=17%, giu=5%, lug=0%, ago=10%, set=23%, ott=33%, nov=11%, dic=1%

