

**CONSORZIO DI BONIFICA DELLA  
BARAGGIA BIELLESE E VERCELLESE**

**RIFACIMENTO INVASO SUL TORRENTE SESSERA IN SOSTITUZIONE  
DELL'ESISTENTE PER IL SUPERAMENTO DELLE CRISI  
IDRICHE RICORRENTI, IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA IDRICA  
DEGLI INVASI ESISTENTI SUI TORRENTI RAVASANELLA ED OSTOLA,  
LA VALORIZZAZIONE AMBIENTALE DEL COMPENSORIO**

DATA PROGETTO

APRILE 2010

AGGIORNAMENTO  
PROGETTO

ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE



(dott. ing. Domenico Castelli)

**NUOVA DIGA**

**RELAZIONE TECNICA**

ELABORATO N.

RD1

**PROGETTO DEFINITIVO**

PRATICA N°10131D

ARCH. N° IB080

MODIFICHE  
AGGIORNAMENTI

Aggiornamento  
Data

1°  
OTTOBRE 2010

CONTROLLO

Firma

OPERATORE  
NG

CONTROLLO  
DC

APPROVAZIONE  
DC

# INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	IL BACINO IDROGRAFICO .....	2
3	LA NUOVA DIGA.....	5
3.1	Scelta tipologica.....	14
3.2	Criteri di pre-dimensionamento .....	16
3.3	Opere di scavo.....	24
3.4	Trattamento delle fondazioni .....	26
3.4.1	Schermo di impermeabilizzazione .....	26
3.4.2	Iniezioni di cucitura .....	28
3.5	Corpo diga.....	29
3.5.1	Elementi costruttivi .....	29
3.5.2	Cunicoli di ispezione e drenaggio.....	31
3.5.3	Coronamento .....	33
3.5.4	Calcestruzzi.....	33
3.5.5	Strumentazione.....	43
3.6	Opere di presa e scarico .....	45
3.6.1	Opera di presa e di derivazione.....	46
3.6.2	Scarico di mezzo-fondo .....	48
3.6.3	Scarico di fondo .....	51
3.6.4	Scarico di superficie.....	53
4	OPERE ACCESSORIE .....	54
4.1	Adeguamento strade esistenti.....	55
4.2	Strade di nuova realizzazione per l'accesso al corpo diga.....	56
4.3	Casa di guardia.....	57
4.4	Cantierizzazione e fasi di lavoro .....	58
4.4.1	Il sistema di trasporto .....	58
4.4.2	La cantierizzazione della diga.....	62
4.4.3	Demolizione sbarramento esistente e gestione invasi sperimentali .....	63
5	RIEPILOGO DI SPESA .....	65

# 1 PREMESSA

Le presente relazione tecnica ha come finalità quella di illustrare e motivare le scelte progettuali che sono state adottate nella progettazione definitiva del nuovo invaso sul torrente Sessera. L'opera in argomento si pone quale potenziamento dell'esistente *diga delle Mischie*, sul già citato torrente alla confluenza con il torrente Dolca, prevedendone la demolizione ed il rifacimento circa duecento metri più a valle.

Il sistema idrico esistente è costituito da uno sbarramento a ritenuta ad arco di altezza pari a 42 metri in grado di sviluppare un accumulo idrico di circa 1.600.000 mc. Da un'opera di presa a torre ubicata in sponda sinistra dell'invaso prende origine la galleria di derivazione di lunghezza pari a 3,5 km circa, realizzata completamente in roccia a vista negli anni '30 antecedentemente all'opera di sbarramento che è stata ultimata nei primi anni '60, al cui termine una piccola vasca di carico alimenta una condotta forzata in acciaio e la sottostante centrale idroelettrica denominata "Piancone I" dopo un dislivello di 260 metri circa.

Il progetto di rifacimento della *nuova diga sul torrente Sessera* ha l'obiettivo di incrementare la capacità d'accumulo dell'attuale diga passando da 1.600.000 mc circa a poco meno di 12.500.000 mc, al fine di esercire anche un utilizzo irriguo e potabile oltre a quello odierno che è esclusivamente idroelettrico.

In particolare, il maggiore accumulo idrico servirà:

- a svolgere un'adeguata azione di integrazione irrigua al comprensorio baraggivo denominato "Centro Sesia". Si tratta della porzione di territorio compresa tra il fiume Sesia ed il torrente Cervo di superficie pari a circa 13.500 ha quasi completamente coltivata a risaia come meglio riscontrabile nella relazione tecnica generale (elaborato RG2);
- a garantire la fornitura idropotabile agli abitati della Valsessera nonché ai comuni del comprensorio della Baraggia Biellese e Vercellese non ancora alimentati dai restanti invasi del Consorzio. Queste opere acquedottistiche hanno la funzione di razionalizzare gli attuali sistemi di approvvigionamento frazionati in una moltitudine di sorgenti e captazioni in falda (circa 100 diversi punti di captazione).

Per una più esaustiva descrizione della regola gestionale caratterizzante la nuova opera si rimanda alla relazione generale che accompagna il progetto definitivo di cui la presente è parte integrante.

## 2 IL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico si estende su un porzione di territorio situato in provincia di Biella, ricadente su una superficie di 51,31 Km<sup>2</sup> con un'altitudine media di 1.489 m s.l.m. e si estende fra le coordinate 45°32'48'' Nord, 45°32'22'' Sud, 4°14'48'' Est e 4°24'8'' Ovest.

La conformazione valliva tipicamente a V, legata principalmente a fenomeni erosivi di tipo fluviale, tende a diventare più aperta man mano che si risale il corso dei due torrenti per effetto dell'erosione da parte di paleo-ghiacciai ormai disciolti.

I due sottobacini, uno sotteso al Torrente Sesslera e l'altro al Torrente Dolca, confluiscono in corrispondenza della diga esistente a quota di circa 900 m.s.m.

La vegetazione arborea mette in evidenza una fascia pedemontana e montana inferiore (fino a 900-1000 m s.l.m.) ed una fascia montana superiore (da 900-1000 m fino a 1500-1600 m). La limitata presenza di coltri vegetative attribuisce al territorio dell'alta Val Sesslera un aspetto tipicamente alpino con ampi tratti di roccia affiorante.

Il sito della nuova diga è stato individuato sulla base di un concerto di valutazioni di carattere morfologico, tecnico, geologico, geotecnico ed ambientale. Già con la costruzione dell'esistente diga delle Mischie si era individuata come sezione d'imposta ottimale la confluenza tra i torrenti Dolca e Sesslera. Il comportamento di tale struttura nei decenni, testimoniato dall'abbondante documentazione di monitoraggio periodico e rendicontazione semestrale, fornisce già di per se importanti indicazioni sull'idoneità della stretta individuata. La sezione del nuovo sbarramento, ubicata circa 200 metri a valle rispetto alla diga esistente, presenta caratteristiche del tutto analoghe in quanto a formazione geologica e struttura meccanica, condizione molto rassicurante circa la fattibilità dell'opera, ma per una valutazione più dettagliata delle specifiche problematiche dell'imposta del nuovo sbarramento si rimanda alla apposita relazione geologica e geotecnica allegata al progetto.

Il bacino idrografico sotteso al torrente Sesslera risulta caratterizzato da una morfologia complessivamente acclive e da un grado di impermeabilità molto elevato per effetto della matrice rocciosa (prevalentemente graniti e gabbri) priva di grandi fratturazioni o notevoli coltri di ricoprimento.

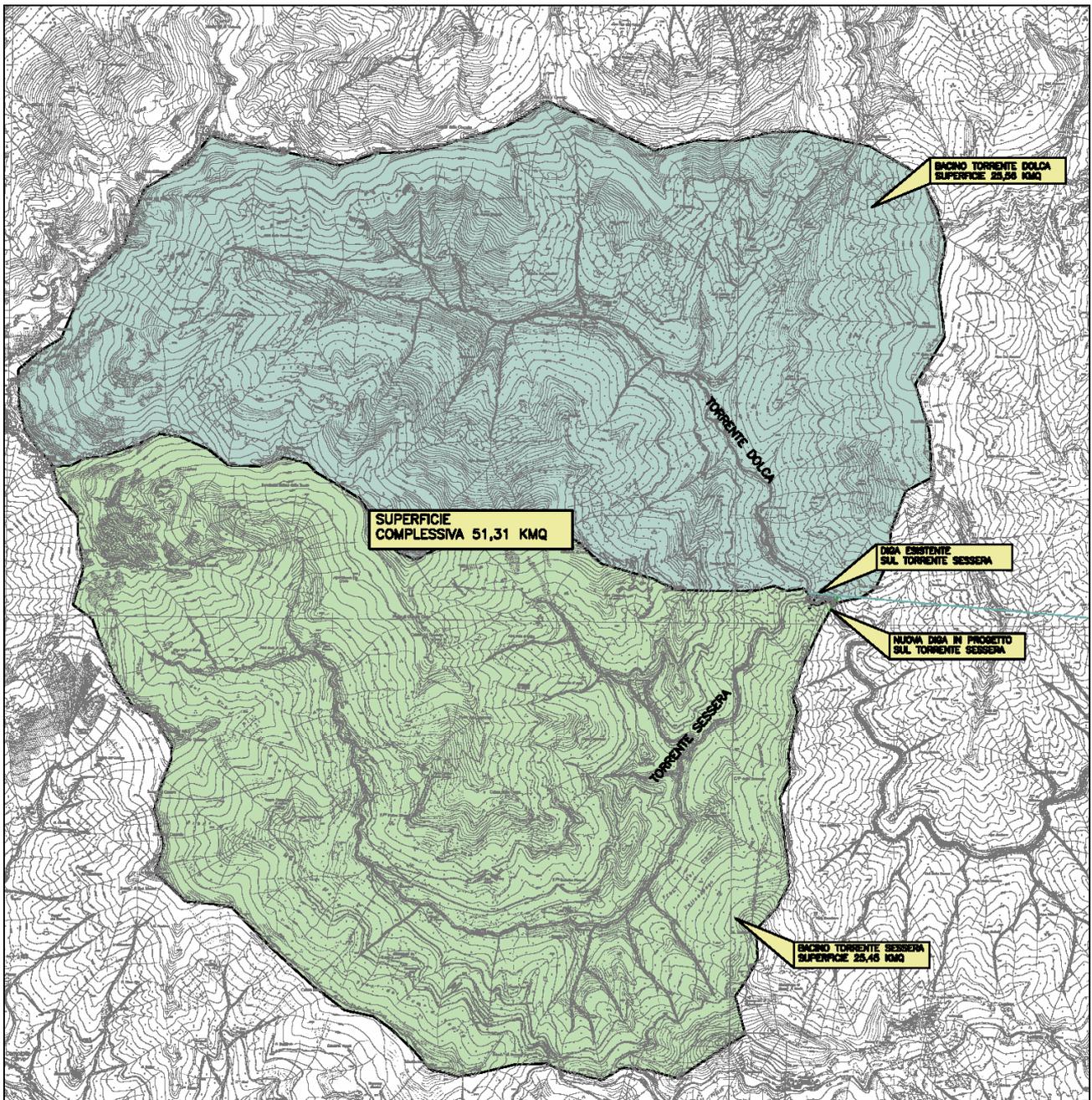
I principali dati del bacino idrografico sono i seguenti:

- Accumulo idrico complessivo alla quota massima di regolazione: 12.380.000 m<sup>3</sup>
- Altitudine dell'alveo alla sezione di sbarramento: 858,87 m.s.m.

- Superficie del bacino imbrifero alla sezione di sbarramento: 51,31 Km<sup>2</sup>
- Altitudine massima del bacino imbrifero: 2.555,00
- Altitudine media del bacino imbrifero: 1.489,00 m.s.m.

L'intero territorio facente parte del bacino idrografico, risulta essere un SIC (Sito di Interesse Comunitario (IT1130002 VALSESSERA) rientrante tra le aree tutelate ai sensi del D.P.R. 357 art. 5 e s.m.i.. Ciò nonostante è chiaramente evidente la compatibilità dell'invaso esistente con il territorio a cui attribuisce una ulteriore valenza paesaggistica. Ne consegue che un suo ampliamento a seguito della realizzazione del nuovo sbarramento non comporterà sostanziali modifiche allo stato attuale delle cose, andando ad ingrandire un lago già esistente e ben calato nel contesto vallivo.

Nell'immagine sottostante è riportata una corografia con l'indicazione del bacino idrografico e la sezione d'imposta del nuovo sbarramento.



*Estensione bacino idrografico*

Il bacino imbrifero si estende sul territorio di otto comuni: Trivero, Pettinengo, Valle San Nicolao, Bioglio, Veglio, Vallanzengo, Camandona e Mosso Santa Maria. Per la maggioranza di essi, le aree ricomprese nel bacino idrografico risultano essere degli enclavi di comuni anche molto distanti dall'area in oggetto.

### 3 LA NUOVA DIGA

L'alta valle Sessera è come detto caratterizzata da versanti acclivi e da una scarsa presenza di coltri e vegetazione, con notevoli affioramenti rocciosi. In particolare il sito definito per la costruzione della nuova diga risulta quasi completamente sprovvisto di depositi e ricoprimenti vegetali significativi, come si può riscontrare anche semplicemente dalla foto seguente.



La nuova diga sorgerà 240 m a valle dell'opera esistente in una conformazione valliva favorevole sia dal punto di vista morfologico che litologico alla realizzazione di opere di tale fattura.

Ancora prima di analizzare le risultanze dei nuovi studi e delle nuove indagini, informazioni significative sull'idoneità dell'ubicazione e del complesso roccioso su cui insisterà la nuova diga possono essere assunte dalla semplice osservazione di quanto esiste.

Appare infatti evidente come la presenza di uno sbarramento di analoghe caratteristiche costruttive, anche se di proporzioni meno rilevanti (lo sbarramento attuale è alto 42 metri), che da oltre cinquant'anni manifesta comportamenti ottimali possa già costituire una parziale dimostrazione dell'idoneità del sito. Dai diagrammi semestrali di cui alla Circolare

PCM/DSTN/2/22806 del 13.12.1995 regolarmente compilati dal gestore della diga delle Mischie emergono importanti rassicurazioni in merito a:

- l'ottimo grado di impermeabilità dell'ammasso roccioso di fondazione con perdite complessive dell'ordine di 0,1 l/s sull'intero contatto;
- la stabilità dei fronti rocciosi costituenti l'imposta non essendosi mai riscontrati distacchi annotabili;
- l'assenza di situazioni di instabilità significativa lungo il perimetro del bacino d'invaso.

Rinviando alla specifica sezione geologica e geotecnica allegata alla presente progettazione definitiva per la presa visione, si evidenzia come tutte le caratterizzazioni effettuate attraverso le due campagne geognostiche per il progetto preliminare (2005) e per l'attuale progetto definitivo siano state di conforto circa l'idoneità della localizzazione individuata. A dimostrazione della completezza dell'indagine condotta si riporta di seguito l'elenco delle prove e sondaggi eseguiti:

*Campagna del 2005 per il progetto preliminare*

Sono stati eseguiti in totale 3 sondaggi in sponda sinistra, sulla strada di accesso a quota 915m s.l.m. circa:

- 1 sondaggio verticale profondo 80 m, a carotaggio continuo, con prelievo di carote per prove di laboratorio ed esecuzione di 15 prove di assorbimento d'acqua in pressione tipo Lugeon;
- 1 sondaggio inclinato 15° dalla verticale profondo 40 m, a carotaggio continuo, con prelievo di carote per prove di laboratorio ed esecuzione di 8 prove Lugeon;
- 1 sondaggio verticale profondo 10 m, a carotaggio continuo, con esecuzione di una prova Lugeon nella porzione di roccia superficiale;
- 1 prova cross-hole su coppia di fori di 80 e 40m;
- 1 prova down-hole in foro da 80m;
- 2 tiri di velocità;
- 4 stendimenti a rifrazione (lunghezza di stendimento totale 82m);

In totale sono stati eseguiti 135m di carotaggio e 24 prove Lugeon.

Sulle carote di roccia prelevate nei sondaggi sono state effettuate le seguenti prove di laboratorio:

- 15 determinazioni del peso di volume;
- 6 misure di velocità soniche su carote;
- 15 prove di compressione uniassiale;
- 12 prove "point-load".

### *Campagna del 2009/20010 per il progetto definitivo*

Per tale campagna di indagini sono stati utilizzati mezzi di trasporto speciale per il posizionamento delle sonde con elicottero nelle varie zone dell'imposta della diga. Tuttavia, in parte per le condizioni morfologiche molto complesse, in parte per le avverse condizioni meteorologiche, non è stato possibile completare, almeno in questa prima fase, i sondaggi nelle due postazioni individuate in sponda destra. Sono stati eseguiti in totale:

#### *sponda sinistra:*

- 1 sondaggio a carotaggio continuo (SD8), ubicato sulla strada di accesso, inclinato verso l'alto di 20° dall'orizzontale per investigare la porzione di ammasso roccioso della sponda sinistra a quote superiori a 915 m s.l.m.; il sondaggio ha una lunghezza di 30m e ha previsto il prelievo di carote per prove di laboratorio;
- una terna di fori verticali profondi 40m (ubicati sempre sulla strada di accesso), uno dei quali (SD7) con 7 prove Lugeon, utilizzati per le prove di iniezioni cementizie;
- 1 sondaggio a carotaggio continuo (SD6), ubicato al piede della sponda sinistra (q. 878m s.l.m.) ad andamento orizzontale, della lunghezza di 20m, con prelievo di carote per prove di laboratorio ed esecuzione di 4 prove Lugeon;

#### *fondovalle:*

- 1 sondaggio a carotaggio continuo (SD4), profondo 40.5m con prelievo di carote per prove di laboratorio ed esecuzione di 7 prove Lugeon;
- 1 sondaggio a carotaggio continuo (SD5), profondo 51.5m con prelievo di carote per prove di laboratorio ed esecuzione di 10 prove Lugeon;
- una prova sismica in foro tipo "down-hole" profonda 30m (SD4);
- 4 stendimenti sismici a rifrazione (lunghezza di stendimento totale 137m);

#### *sponda destra:*

- - 1 sondaggio a carotaggio continuo (SD9), ubicato al piede della sponda destra (q. 882m s.l.m.) e inclinato verso il basso di 10° dall'orizzontale, della lunghezza di 30m, con prelievo di carote per prove di laboratorio ed esecuzione di 6 prove Lugeon;
- - 4 stendimenti sismici a rifrazione (lunghezza di stendimento totale 96m).
- 7

In totale sono stati eseguiti 172m di carotaggio e 34 prove Lugeon.

Sulle carote di roccia prelevate nei sondaggi sono state effettuate le seguenti prove di laboratorio:

- 45 determinazioni del peso di volume;
- 42 determinazioni della porosità e del peso specifico;
- 10 misure di velocità soniche VP e VS su carote;
- 5 determinazioni del coefficiente di Poisson;
- 47 prove di compressione uniassiale delle quali:
  - 39 semplici;
  - 13 con misura delle deformazioni assiali per la determinazione del modulo di Young;
  - 5 con misura delle deformazioni assiali e radiali;
  - 9 prove triassiali (ognuna su 3 provini);
  - 3 prove di trazione indiretta tipo “brasiliana”.
- 34 prove “point-load”;
- 5 analisi petrografiche.

E' stata inoltre eseguita una prova di carico su piastre contrapposte DN. 50cm in cunicolo (galleria di derivazione esistente che passa al di sotto della futura spalla sinistra della diga) con misura delle deformazioni della roccia tramite estensimetri multibase posizionati in fori coassiali alle piastre (procedura ISRM). La prova è stata portata fino ad un carico massimo di circa 12MPa. I due fori di lunghezza 3m utilizzati per l'installazione degli estensimetri sono stati eseguiti a carotaggio con rilevamento geostrutturale sulle carote. Dai due carotaggi sono stati prelevati 4 campioni sui quali sono state effettuate in laboratorio:

- determinazioni del peso di volume;
- prove di compressione uniassiale con misura delle deformazioni verticali.

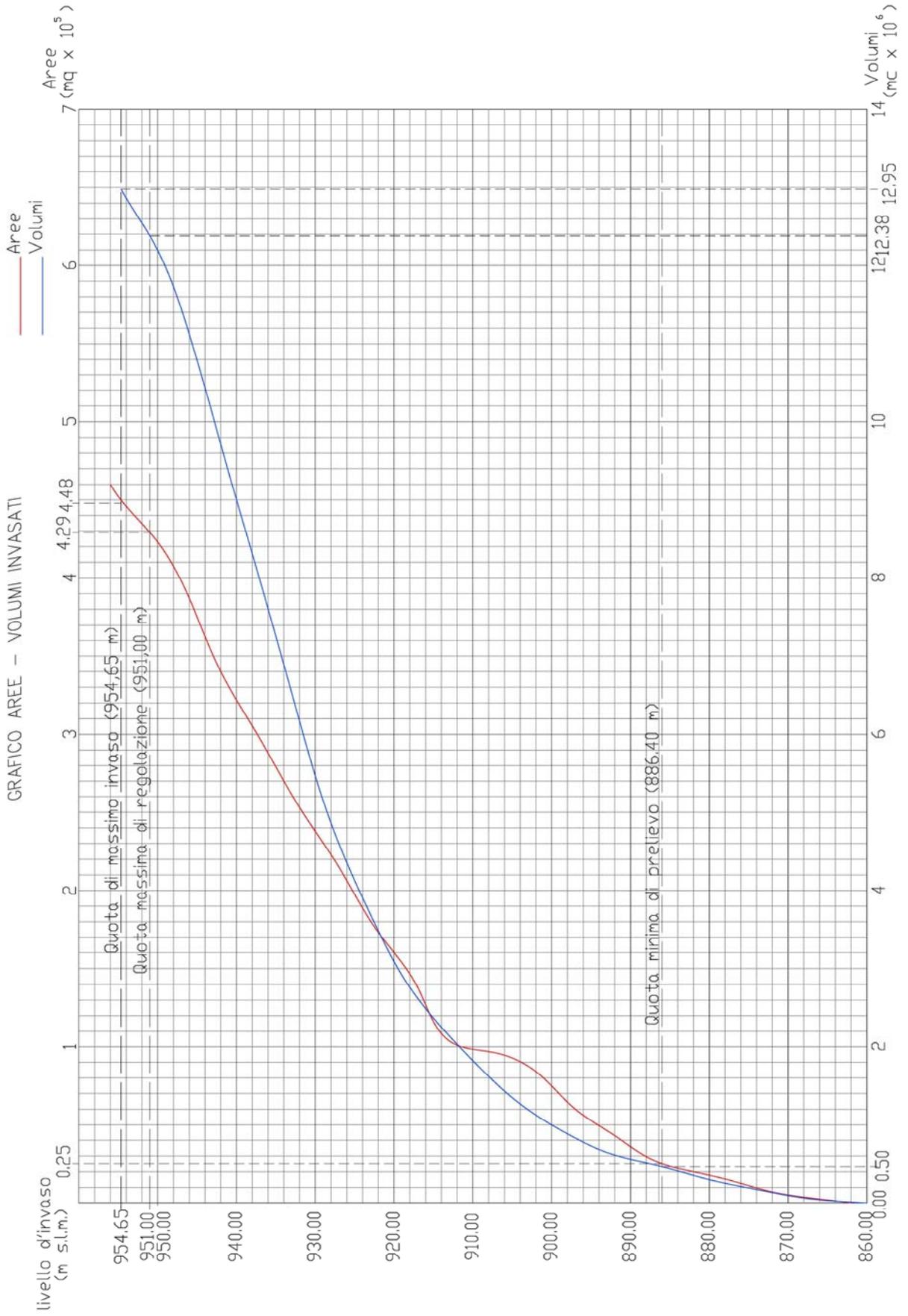
Nello stesso cunicolo sono state effettuate stazioni di rilevamento strutturale con misura della resistenza della roccia tramite sclerometro.

Infine si evidenzia come la scelta del sito per la realizzazione del nuovo sbarramento sia stata dettata anche da valutazioni di opportunità in relazione alle strutture idriche già esistenti. Infatti, l'individuazione della nuova sezione di ritenuta in posizione inferiore (240 m a valle) a quella esistente permetterà di continuare ad utilizzare quale vettore di derivazione dell'acqua la galleria esistente, senza quindi eseguire ulteriori scavi costosi ed ambientalmente impattanti per il collegamento verso valle.



Come si può notare dalle cartografie allegate al presente progetto, la porzione di alveo a valle della diga esistente che sarà interessata dalla sommersione, risulta essere piuttosto limitata. Essendo la valle decisamente incisa nel fondovalle, con scarpate piuttosto ripide, a volte strapiombanti, l'incremento d'invaso rispetto all'esistente è stato ottenuto principalmente in altezza, oltre quota 920,00 m.s.m. laddove la valle tende ad aprirsi e per modesti incrementi di altezza si viene ad incrementare con più decisione il volume idrico. In tal senso si riporta di seguito il digramma dei volumi d'invaso caratterizzanti la sezione in esame del torrente Sessera con indicata l'andamento delle aree in funzione dell'altezza del bacino.

GRAFICO AREE - VOLUMI INVASATI

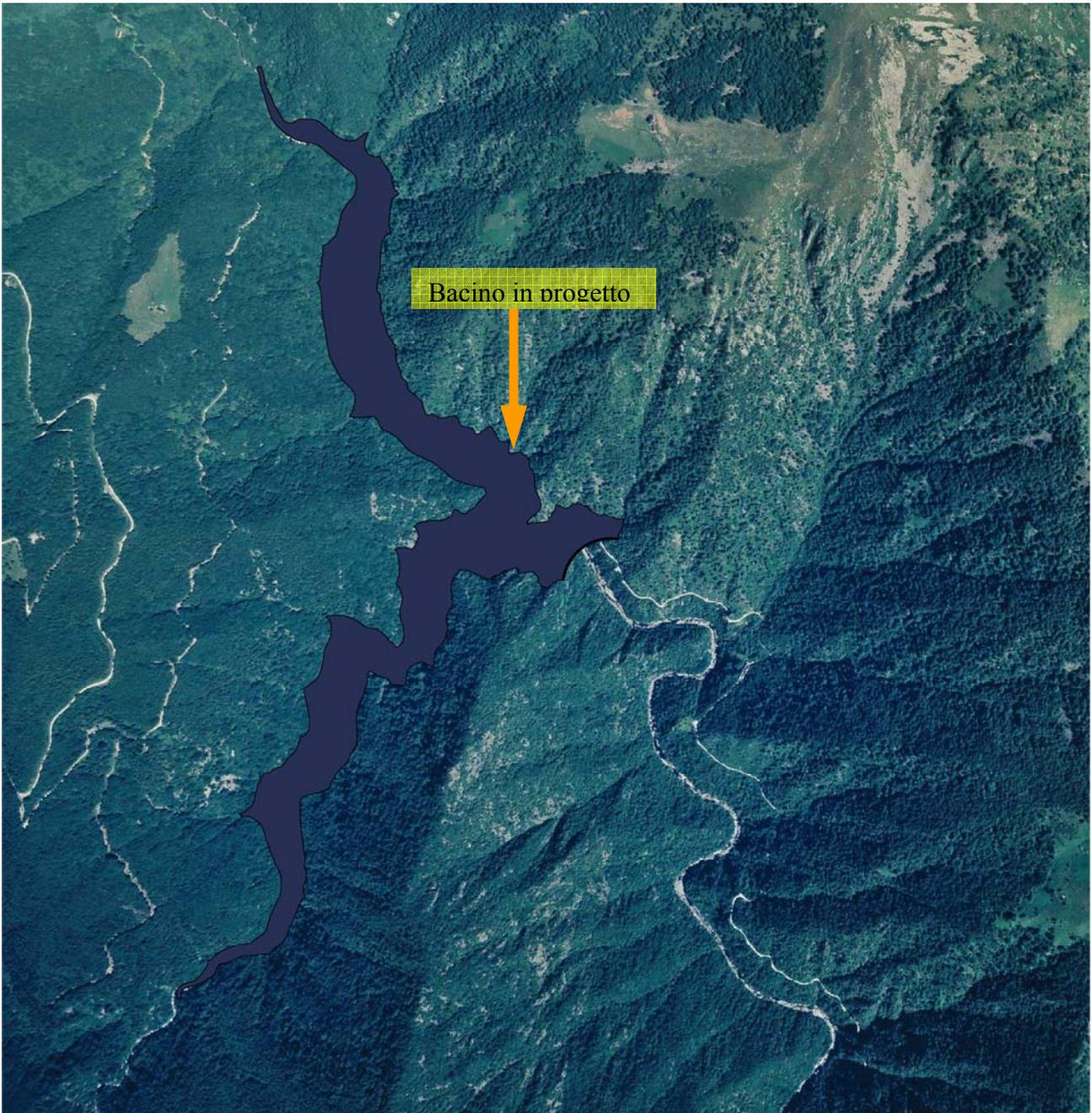


Il nuovo sbarramento incrementerà la superficie del bacino esistente portandolo dagli attuali 80.000 mq ai futuri circa 440.000 mq, con la sommersione di una parte degli alvei dei torrenti Sessera e Dolca.

Di seguito sono riportate le aerofoto del bacino attuale e la simulazione del bacino in progetto.



*Estensione bacino attuale*



*Estensione bacino in progetto*

Entrando più nel dettaglio del manufatto, esso sarà un classico esempio di sbarramento ad arco-gravità, il cui profilo tracimante Scimeni-Creager, concluso con un salto di ski, andrà a dare alla sezione maestra una conformazione più prossima ad una diga a gravità pura. Elementi funzionali alla nuova opera risultano essere oltre al già nominato scarico superficiale, l'opera di presa, lo scarico di fondo e lo scarico di mezzo fondo. La diga avrà un'altezza di massima ritenuta pari a circa 90,65 m.s.m. al fine di reperire un volume di invaso di oltre 12.380.000 mc necessario agli usi già elencati nella relazione generale.

Il nuovo sbarramento sarà caratterizzato dai seguenti dati geometrici e dimensionali:

- Quota minima di fondazione: 858,87 m.s.m.
- Quota alveo naturale: 864,75 m.s.m.
- Quota di massimo invaso: 954,65 m.s.m.
- Quota massima di regolazione: 951,00 m.s.m.
- Quota coronamento: 957,40 m.s.m.
- Altezza diga (D.M. 24.03.82): 98,53 m.
- Altezza diga (L. 584/94): 94,40 m.
- Altezza di massima ritenuta (D.M. 24.03.82): 90,65 m.
- Lunghezza del coronamento: 256,60 m.
- Larghezza del coronamento: 4,75 m.
- Massima larghezza alla base nella parte non tracimabile: 38,86 m.
- Massima larghezza alla base in corrispondenza del concio tracimabile: 92,82 m.
- Massimo raggio di curvatura: 131,78 m.
- Minimo raggio di curvatura: 67,90 m.
- Massimo angolo orizzontale: 98,05°
- Minimo angolo orizzontale: 70,29°
- Volume di calcestruzzo: 290.000 mc.
- Volume di scavo per le fondazioni: 120.000 mc.
- Volume totale invaso (D.M. 24.03.82): 12.950.000 mc.
- Volume utile di regolazione (D.M. 24.03.82): 11.878.800 mc.
- Volume invaso (D.L. 584/94): 12.380.000 mc.
- Volume di laminazione: 570.000
- Franco: 2,75 m.
- Franco netto: 2,00 m.

Nei capitoli successivi verranno analizzati i singoli elementi caratterizzanti lo sbarramento in progetto e una rapida illustrazione delle opere necessarie alla realizzazione della stessa.

### 3.1 *Scelta tipologica*

La scelta della tipologia di struttura da adottare per un'opera complessa come uno sbarramento di ritenuta, passa attraverso una serie di valutazioni circa l'idoneità geologica e geomeccanica del sito, i materiali da utilizzare, l'idrologia del bacino, il regime idraulico del corso d'acqua etc.

Tali nozioni una volta ottenute, in parte da prove eseguite in sito, in parte sulla scorta di dati cartografici, hanno portato alla definizione di una tipologia di sbarramento ideale per la stretta esistente.

Sebbene le caratteristiche meccaniche e strutturali dell'imposta consentissero di prevedere una tipologia di sbarramento del tipo ad arco, la soluzione tecnica individuata per la costruzione dello sbarramento è quella classificata, ai sensi del vigente D.M. 24.03.1982 "*Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento*", come **diga muraria a volta del tipo ad arco-gravità**.

La tipologia è stata definita in funzione delle caratteristiche geo-morfologiche della stretta nonché delle caratteristiche funzionali e geometriche dell'opera di ritenuta. Sono alla base della scelta effettuata le seguenti considerazioni:

- la qualità della roccia costituente la sezione d'imposta della diga come ampiamente documentato nella specifica sezione geologica del progetto e confermato dai risultati dell'indagine geognostica;
- la geometria della stretta individuata, tipicamente di origine fluviale a V, che non consente un ampio sviluppo della fondazione in relazione all'altezza del manufatto ed alla sua larghezza di coronamento superiore a 250 m;
- la morfologia valliva e la pre-esistenza dell'attuale sbarramento ubicato circa 200 metri a monte, rendono obbligata la scelta di organizzare lo scarico di superficie e lo scarico di fondo in corpo diga, dando luogo, in tale modo, a raccordi geometrici del paramento di valle meno acclivi;
- la necessità di ridurre il più possibile, rispetto ad una soluzione a gravità ordinaria, l'entità dello scavo di fondazione in ragione della difficoltà di reperire lo spazio necessario all'accatastamento del materiale roccioso per il suo successivo riutilizzo nel confezionamento del calcestruzzo;

- ridurre il più possibile, rispetto ad una soluzione a gravità ordinaria, il volume del calcestruzzo utilizzato sia in ragione ad esigenze ambientali che di difficoltà di cantierizzazione.

Come noto, le opere di sbarramento si possono suddividere in due categorie:

- dighe a gravità
- dighe a volta

Le dighe a gravità, in tutte le loro sottoclassi, vengono preferite per impieghi in vallate la cui larghezza della sezione è apprezzabilmente maggiore dell'altezza di ritenuta. Per tale motivo la soluzione di una diga a gravità non è stata presa in considerazione per il presente percorso progettuale e ci si è orientati verso le dighe a volta. Tale discernimento è stato facilitato sia dalla morfologia della valle, sia dalle ottime caratteristiche di resistenza della roccia sui versanti.

Le dighe a volta si suddividono a loro volta in:

- dighe ad arco
- dighe ad arco-gravità
- dighe a cupola

Anche in questo caso la scelta sulla tipologia di sbarramento da adottare è dettata per lo più da motivazioni di carattere geometrico. Si evidenzia infatti che in bibliografia viene definito comunemente il parametro  $C/H$ , dove  $C$  è la corda dell'arco superiore e  $H$  l'altezza della diga. Quando tale rapporto è compreso tra 1,5 e 3 si tende a indirizzarsi sulla tipologia ad arco-gravità. Essendo tale rapporto nella nostra situazione pari a circa 2,50 e viste le motivazioni elencate nei paragrafi precedenti, si è stato deciso di adottare la tipologia di sbarramento ad arco-gravità.

Questa scelta comporta un maggior utilizzo di materiale rispetto ad una diga ad arco puro, ma permette di rendere più semplice l'esecuzione dell'opera anche in funzione della morfologia del sito.

In effetti le risultanze della relazione di calcolo strutturale allegata al presente progetto, costituita da un modello matematico della struttura, mettono in evidenza il buon comportamento della stessa così come definita assicurando livelli tensionali congruenti sia con i materiali da costruzione impiegati che con le caratteristiche della roccia di fondazione.

### 3.2 Criteri di pre-dimensionamento

Sebbene le caratteristiche meccaniche e strutturali dell'imposta consentissero come detto la realizzazione di uno sbarramento del tipo ad arco a doppia curvatura, nel presente progetto definitivo si è ritenuto di optare per una struttura del tipo ad arco-gravità in relazione ai condizionamenti di carattere morfologico dell'imposta.

In prima approssimazione il dimensionamento della struttura di ritenuta è stato approssiato con le trattazione semplificata di un telaio composto da più archi sovrapposti con diverso raggio e centro di curvatura, ma quest'ultimi raccolti in un unico piano caratterizzati da un comportamento di tipo iperstatico e più mensole verticali caratterizzate da un comportamento sostanzialmente gravitazionale ed isostatico. Le deformazioni di archi e mensole sottoposte alle azioni dei carichi dovrà risultare una deformazione congruente per entrambi gli elementi resistenti generando quindi un vincolo comportamentale della struttura da cui si origina il presupposto della risoluzione dell'equazione di congruenza.

Facendo riferimento alla sintesi della trattazione dell'Arredi circa la ripartizione del carico idrostatico tra anelli e mensole di una struttura serbatoio riportata in Datei si è adottato uno schema di predimensionamento della diga ad arco-gravità quale tubo cilindrico con raggio  $r$  e spessore  $s$ .

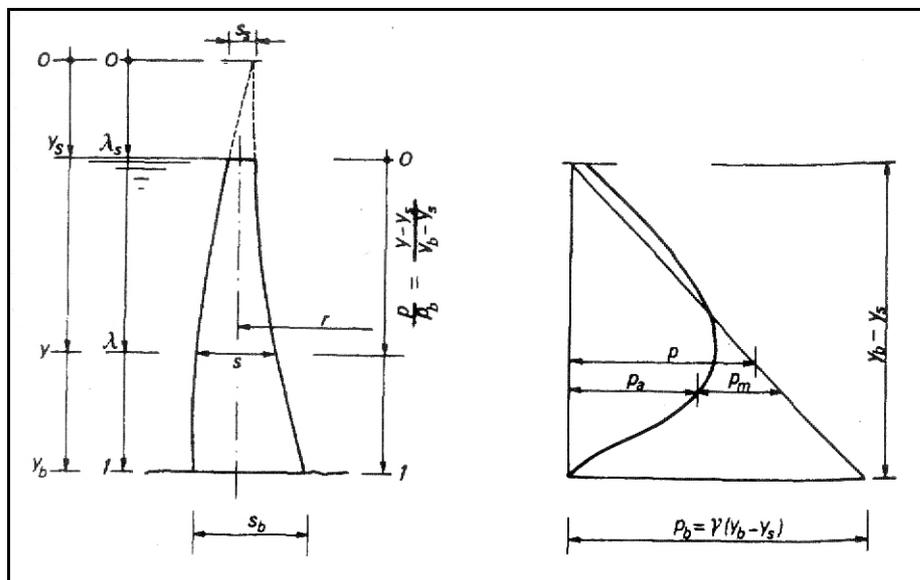


Figura 1 – Schema del modello strutturale a serbatoio. Notazioni.

Indicato con  $u$  lo spostamento radiale (positivo verso l'interno) ad una ascissa generica  $x$  determinato dall'applicazione della pressione esterna (idrostatica)  $p$ , l'allungamento e la dilatazione dell'anello considerato sono espressi, rispettivamente mediante le relazioni:  $2\pi u$  e  $u/r$ ; lo sforzo

normale corrispondente risulta essere:  $N = sEu/r$ . Lo sforzo  $N$ , isolato un arco elementare  $rd\theta$ , da luogo ad una risultante diretta radialmente:

$$q \cdot r \cdot d\theta = 2 \cdot N \cdot \sin(d\theta/2) = N \cdot d\theta$$

e quindi:

$$q = N/r = E \cdot s / (r^2) \cdot u$$

La grandezza  $q$  rappresenta la reazione unitaria elastica dell'anello in esame cosicché la striscia risulta sottoposta ad una pressione pari alla differenza

$$p - q = p - E \cdot s / (r^2) \cdot u$$

L'equazione differenziale della deformata della striscia, nella quale alla normale rigidezza  $E \cdot I$  venga sostituita l'espressione  $E \cdot I \cdot (1 - \nu^2) = E \cdot s^3 / (12 \cdot (1 - \nu^2))$  per tenere conto che la sezione della striscia stessa non si deforma trasversalmente per la presenza delle altre, notoriamente è:

$$\frac{E \cdot s^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \frac{du^2}{dx^2} = -M \quad [1]$$

che derivando due volte  $dM/dx = T$  e  $-dT/dx = p - q$  diventa:

$$p = \frac{E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{d^2}{dx^2} (s^3 \cdot u'') + \frac{E \cdot s}{r^2} \cdot u$$

dove:  $p$  = pressione esterna

$E$  = modulo elastico del materiale impiegato;

$u$  = spostamento radiale dell'elemento;

$r$  = raggio dell'arco considerato;

$s$  = spessore dell'arco considerato;

$\nu$  = coefficiente di Poisson.

Nota la deformata  $u(x)$  possono dedursi, oltre alle sollecitazioni  $T$  ed  $M$ , lo sforzo normale  $N$  e la rotazione  $du/dx$ .

L'equazione differenziale riportata dovrà quindi essere integrata con le seguenti condizioni al contorno:

coronamento:	$M = 0$	$T = 0$
base:	$u = 0$	$du/dx = 0$

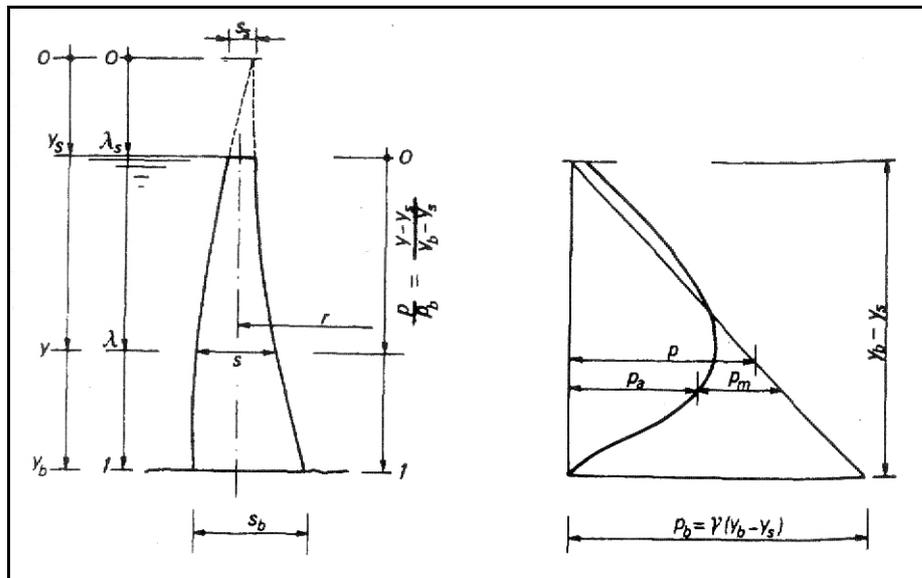
ritenendo il coronamento libero e la base perfettamente incastrata.

L'equazione differenziale [1] si presta, tenuto conto delle ipotesi che stanno alla base della sua scrittura, alla considerazione che:

$$p = \frac{E \cdot s}{r^2} \cdot u \quad \text{rappresenta la frazione del carico esterno } p(x) \text{ che va a caricare gli archi}$$

$$p = \frac{E}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \frac{d^2}{dx^2} (s^3 \cdot u'') \quad \text{rappresenta la frazione di carico esterno } p(x) \text{ che carica le mensole.}$$

L'equazione differenziale di congruenza degli spostamenti archi/mensole [1], è stata esaurientemente trattata dall'Arredi che ha trattato in modo omogeneo i casi più frequenti e cioè quelli in cui lo spessore degli archi varia in maniera lineare e quadratica, con valore nullo e non nullo in coronamento ( $s_s = 0$ ) e l'origine del punto d'incontro del prolungamento dei due paramenti (in sommità quindi  $s_s = 0$  o più in alto per  $s_s > 0$ )



Assunta la coordinata lineare  $y$  positiva verso il basso e la sua forma dimensionale  $\lambda = y/y_b$ , la sommità viene individuata dal valore  $\lambda_s = y_s/y_b$  e la base da  $\lambda = 1$ . Il carico idrostatico alla profondità  $\lambda$  è dato, con riferimento alla base  $p_b$ , dal rapporto:

$$\frac{p}{p_b} = \frac{y - y_b}{y_b - y_s} = \frac{\lambda - \lambda_s}{1 - \lambda_s}$$

mentre lo spessore diventa:

$$s = c \cdot y^n = c \cdot (y_b)^n \cdot \lambda^n = s_b \cdot \lambda^n$$

La circostanza che la sommità abbia o non abbia spessore finito è individuata dal parametro  $\lambda_s$  ovviamente nullo per  $s_s = 0$ ; ulteriore parametro da considerare, per porre in conto lo spessore di base ed il raggio, è  $\theta = \gamma_b^2 / s_b r$ . Sicché, in definitiva, la frazione di carico  $p_a/p_b$  da assegnare agli anelli (oppure, - ciò che lo stesso -, quella  $(p - p_a)/p_b$  da attribuire alle mensole) è una funzione del tipo:

$$\frac{p_a}{p_b} = f\left(\frac{p}{p_b}, \theta\right) \lambda_s$$

Il calcolo delle tensioni negli archi e nelle mensole non presenta difficoltà. Si ha infatti, ritenuta, come di consueto, positiva la tensione di trazione:

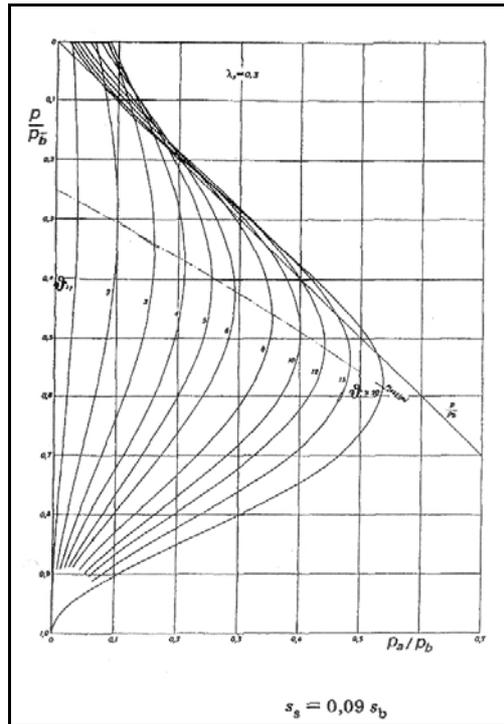
$$\sigma_a = -\frac{p_a r}{s} = -\frac{Eu}{r};$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,i} \\ \sigma_{m,e} \end{array} \right\} = \pm \frac{6M}{s^2} = \mp \frac{Es}{s(1-\nu^2)} \frac{d^2 u}{dx^2}$$

Sulla traccia dei lavori di Arredi, altri ricercatori hanno esaminato il comportamento della struttura arco-gravità formulando significativi diagrammi che mostrano, in forma adimensionale, la ripartizione tra la quota di carico idrostatico assorbita dagli anelli e quella dalle mensole.

Nel caso in esame il predimensionamento della struttura di ritenuta è stato effettuato ricorrendo alla schematizzazione di una diga ad arco-gravità con spessore variabile con legge quadratica ( $n = 2$ ) a partire da  $s_s = 0,09$ .

Il diagramma ricavato secondo la teoria semplificata illustrata consente di determinare, per i diversi valori dell'angolo orizzontale  $\theta$  degli archi alle diverse quote, in relazione a  $\lambda_s = y_s/y_b$ , la quota di diga che viene calcolata come prevalentemente ad arco e quella come prevalentemente a gravità.



*Ripartizione del carico idrostatico secondo Arredi per  $n=2$ .*

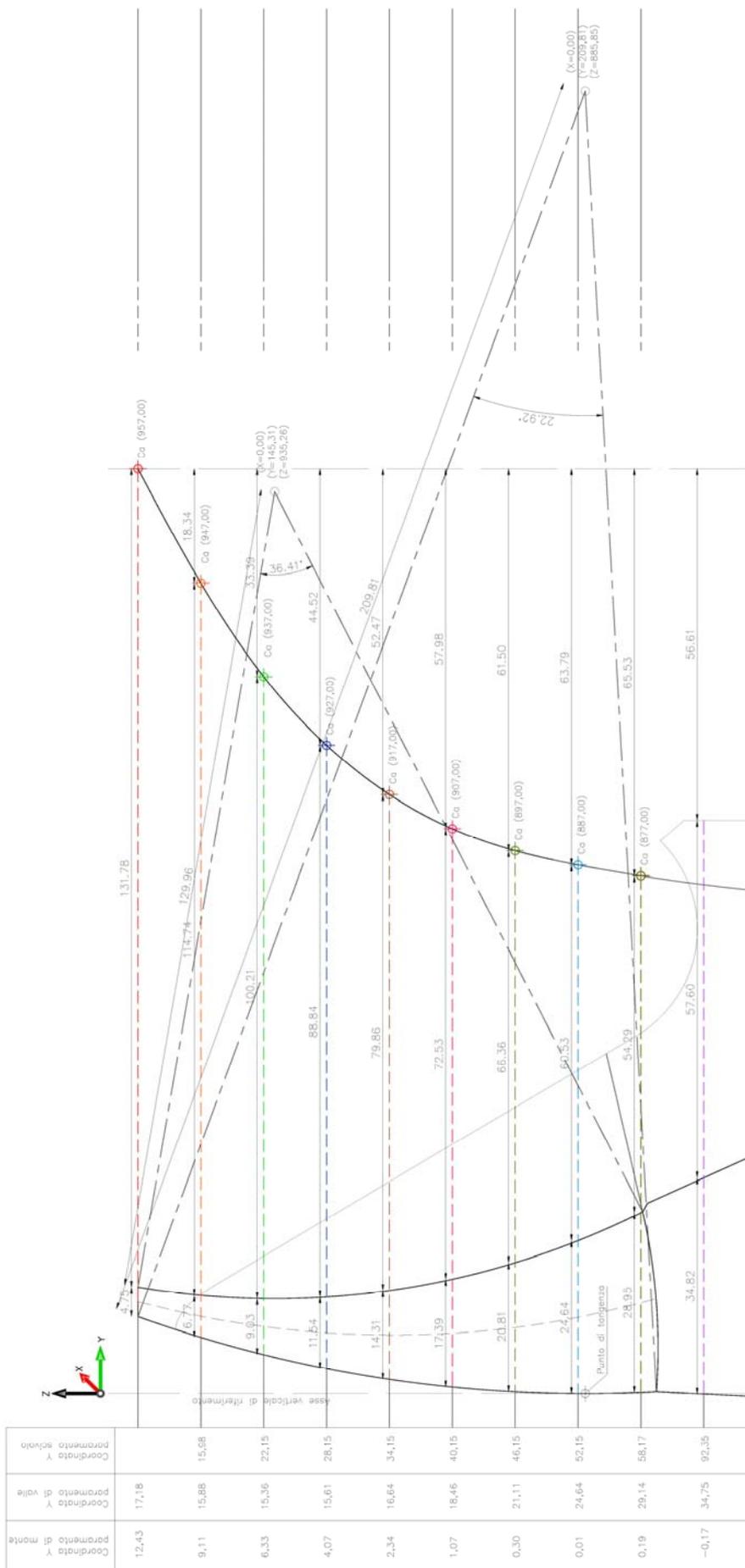
Definito lo spessore ai vari livelli si è stabilito il grado di concavità verticale, sia del paramento di monte che di quello di valle, tale da garantire che gli strapiombi dei rispettivi paramenti non superassero i  $15^\circ$ .

A tale fine si è tracciato il paramento di monte con una curvatura di 209,81 m di raggio con centro di curvatura posizionato a quota 885,85 m.s.m. Noti gli spessori del corpo diga alle varie quote e definiti i parametri del paramento di monte si può procedere geometricamente alla definizione del paramento di valle che risulterà con una concavità di raggio 129,96 m con centro di curvatura posizionato a quota 935,26 m.s.l.m.m. (cfr.Tav. DD13).

Giunti alla definizione della mensola maestra si è proceduto all'analisi dello sviluppo orizzontale degli archi, facendo coincidere il più possibile due esigenze:

- rendere congruenti la geometria della diga in progetto con la morfologia della vallata, limitando gli scavi allo stretto necessario;
- ottenere angoli di curvatura degli archi superiori a  $90^\circ$  in modo tale da garantire lo scarico delle tensioni derivanti dall'effetto arco il più possibilmente ortogonali alle superfici di scavo;

Partendo da queste premesse è stata costruita una curva verticale, ricavata per punti sulla quale sono stati individuati i raggi di curvatura alle varie quote degli archi orizzontali.



Definito in questo modo il tipo di geometria dello sbarramento in progetto, si è provveduto a compilare un apposito modello di calcolo strutturale 3D definito con le geometrie emergenti dal predimensionamento illustrato e assoggettato alle azioni di carico previste dalla vigente normativa di cui al D.M. 24 marzo 1982 “*Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento*”.

Le combinazioni esaminate, ai sensi del suddetto Decreto, sono le seguenti:

- **Combinazione A:** la combinazione coincide con il calcolo delle sollecitazioni dovute al solo peso proprio della diga;
- **Combinazione B:** si analizza il comportamento della struttura a serbatoio vuoto aggiungendo al peso proprio della massa muraria le coazioni per variazioni di temperature esterna, per esaurimento del calore di presa e per ritiro;
- **Combinazione C:** tale combinazione , a serbatoio vuoto, prevede l’aggiunta al peso proprio ed alle coazioni termiche delle azioni inerziali della massa muraria e delle azioni idrodinamiche dell’acqua invasata;
- **Combinazione D:** si analizza il comportamento della diga, nella situazione a serbatoio pieno, per effetto dell’azione del peso proprio, della spinta idrostatica e di quella eventuale del ghiaccio;
- **Combinazione E:** tale combinazione, definita nella situazione a serbatoio pieno, prevede l’aggiunta alle azioni definite per la combinazione D (peso proprio, spinta idrostatica, spinta del ghiaccio) le coazione per variazioni di temperature esterna, per esaurimento del calore di presa e per ritiro;
- **Combinazione F:** si analizza, a serbatoio pieno, l’aggiunta al peso proprio, alla spinta idrostatica e del ghiaccio ed alle coazioni termiche delle azioni inerziali della massa muraria e delle azioni idrodinamiche dell’acqua invasata.

Il calcolo strutturale è stato poi esteso applicando la nuova bozza di regolamento non ancora in vigore, “Proposta di aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)” della Adunanza del 25 luglio 2008 allegato al protocollo 27/2008 (di seguito P.A.N.T.), in modo da verificare il manufatto ai parametri di calcolo della futura nuova normativa.

Nel rimandare all'apposita relazione di calcolo strutturale per la completa trattazione della composizione del modello matematico e per l'analisi dei relativi risultati, si evidenzia qui in forma sintetica come il comportamento della struttura di ritenuta oggetto del presente progetto definitivo risulti ben verificata e non soggetta a stati tensionali, sia al proprio interno che ai confinamenti, difforni dai limiti di normativa.

Il dimensionamento dello scivolo per lo scarico di superficie ha seguito un procedimento diverso, basato su considerazioni geometriche legate alle condizioni al contorno. La larghezza dello scivolo è vincolata a monte dalle dimensioni dello sfioro che, comprensivo dello spessore della pile risulta pari a circa 60,00 m, mentre a valle è vincolata alle dimensioni della valle che non permette di avere un'impronta superiore ai 30,00 m. Questo fa sì che lo scivolo in questione debba subire un progressivo restringimento da monte verso valle sino ad imboccare la vallata il più possibile seguendo l'asse dell'alveo naturale. Tale variazione è stata resa graduale mediante un raccordo curvo con variazione di tipo decrementale della larghezza per evitare flessi troppo accentuati e relativi distacchi della vena fluida e per ridurre il più possibile l'instaurarsi di fenomeni tensionali superficiali.

Altro elemento di cui si è tenuto conto è la variazione direzionale orizzontale dello scivolo, legata alla morfologia della valle, la quale svolta leggermente verso destra subito a valle della diga in progetto. Tale variazione pari circa a  $10,50^\circ$ , pur essendo limitata, ha reso necessario lo studio di uno scivolo curvo che potesse indirizzare il flusso sfiorante in asse alla vallata. Tale variazione è stata gradualizzata mediante la realizzazione di uno schema di curvatura che seguisse regole di variazione incrementali e non lineari.

Si è così ottenuto uno scivolo che varia la propria direzione di pochi decimi di grado inizialmente per poi aumentare sino a metà altezza. Da qui in poi si applica l'effetto inverso andando a variare sempre meno l'angolo di rotazione orizzontale sino al raggiungimento della direzione di sbocco ottimale corrispondente a quella della vallata. Le suddette considerazioni geometriche sono esplicitate sulla Tav. DD13, nella quale viene inoltre riportata la costruzione grafica della variazione geometrica dalla sezione semicircolare in corrispondenza dello sfioro sino alla sezione rettilinea del tratto terminale.

La realizzazione dello scivolo secondo i criteri di dimensionamento classici ha portato alla creazione di una porzione centrale del corpo diga che risulta più assimilabile ad una diga a gravità che a una diga ad arco-gravità. Si rimanda alla relazione strutturale allegata al progetto la trattazione del comportamento strutturale della diga in progetto e delle iterazioni con il terreno di fondazione.

### 3.3 Opere di scavo

La caratterizzazione dell'ammasso roccioso è stata ottenuta per mezzo di due campagne di sondaggi, una preliminare eseguita nel corso del 2005 ed una più esaustiva a cavallo tra 2009 e 2010. La campagna di sondaggi del 2005 ha interessato esclusivamente la porzione di roccia in sponda sinistra destinata a supportare la spalla sinistra della diga. In tale ambito sono stati eseguiti tre sondaggi, due verticali e uno inclinato, con l'esecuzione di prove di cross-hole e down-hole. Furono altresì eseguite indagini geosismiche limitatamente alla porzione di versante circostante i fori di sondaggio.

Successivamente a tali sondaggi, a fine del 2009, inizio una più massiccia campagna di indagini atte a estendere e confermare i già buoni risultati dei carotaggi del 2005. Sono pertanto stati eseguiti ulteriori 3 sondaggi in sponda sinistra, 2 in alveo e uno in sponda destra con l'esecuzione di prove di cross-hole e down-hole. Si sono inoltre estesi gli stendimenti sismici in alveo al torrente per la determinazione del grado di fratturazione e l'eventuale individuazione di discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso.



La campagna di indagini ha potuto inoltre portare alla determinazione precisa del modulo elastico della roccia nel suo complesso grazie all'esecuzione di una prova di carico su piastra, eseguita sfruttando il già esistente cunicolo di derivazione della diga attuale (si rimanda agli allegati della serie RD7.2 per l'esposizione estesa dei risultati ottenuti dalle prove).

Come risulta dalle conclusioni delle relazione geologica e geotecnica, il sito in oggetto non presenta particolari controindicazioni per la realizzazione dell'opera in progetto. La roccia presenta buone capacità di resistenza a compressione e la fratturazione dell'ammasso roccioso si limita ai primi metri di superficiali che verranno asportati con gli scavi. Le coltri esistenti risultano piuttosto limitate e si riscontra limitatamente al piede della sponda destra una zona detritica che va parzialmente a lambire l'impronta della nuova diga, materiale che però verrà rimosso in fase di scavo.

Lo scavo delle pareti verrà eseguito a partire dall'alto, previa taglio della vegetazione presente e disgregazione delle pareti da eventuali massi o cunei in distacco. Viste le caratteristiche litologiche e di durezza della roccia, lo scavo dovrà essere eseguito con l'ausilio di esplosivi e interesserà gli strati superficiali e più degradati per una profondità minima di 5,00 m in fondazione e 3,00 m sulle spalle.

Gli scavi saranno in taluni punti superiori a quelli suddetti per garantire una regolarizzazione della geometria della valle tale da renderla il più simmetrica possibile. I fronti di scavo avranno inclinazione b/h 1/5 con altezza massima delle banche di 10 m e una conformazione a gradoni in cui le parti in piano avranno larghezze variabili.

Si prevede inoltre una percentuale di chiodature passive eseguite mediante perforazioni per profondità di 6 m e infilaggio di barre di acciaio  $\phi$  24mm disposte a maglia quadrata 2,50mx2,50m. L'esecuzione di tali eventuali interventi di consolidamento verranno decisi sulla scorta delle osservazioni eseguite sulla superficie rocciosa che si verrà a portare alla luce.

La superficie di scavo che dovrà risultare fresca e non sconnessa, verrà sottoposta a lavaggio ad alta pressione al fine di garantire il distacco di eventuali porzioni di roccia distaccate o polveri.

Il materiale derivante dagli scavi, avente pezzatura variabile, verrà lavorato a renderlo trasportabile all'interno del cantiere, con pezzatura massima pari a 60 cm. Il materiale stoccato in un'area predisposta nell'alveo del torrente verrà in seguito frantumato e utilizzato in parte per l'esecuzione della ricarica della strada e in parte per il confezionamento del cls per il corpo diga.

Il volume del materiale derivante dallo scavo per il corpo diga si aggirerà intorno ai 120.000 mc, per la maggior parte roccia compatta, vista la scarsa presenza di coltri. Tale volume verrà quasi totalmente lavorato e utilizzato in cantiere, fatta eccezione per le poche coltri presenti che saranno allontanate alle discariche di inerti.

Discorso a parte viene fatto per lo scavo della galleria di collegamento al cunicolo di derivazione esistente. Le modalità di esecuzione di tale intervento è rimandata all'apposita relazione RD8-3, mentre per le opere di completamento interne alla galleria si rimanda al paragrafo 3.6.1 della presente relazione.

### **3.4 *Trattamento delle fondazioni***

Al fine di garantire un comportamento corretto della struttura in fase di esercizio si rende necessaria, com'è consuetudine per le opere di sbarramento, l'esecuzione di un esteso intervento di trattamento della roccia di fondazione con il compito di assicurare:

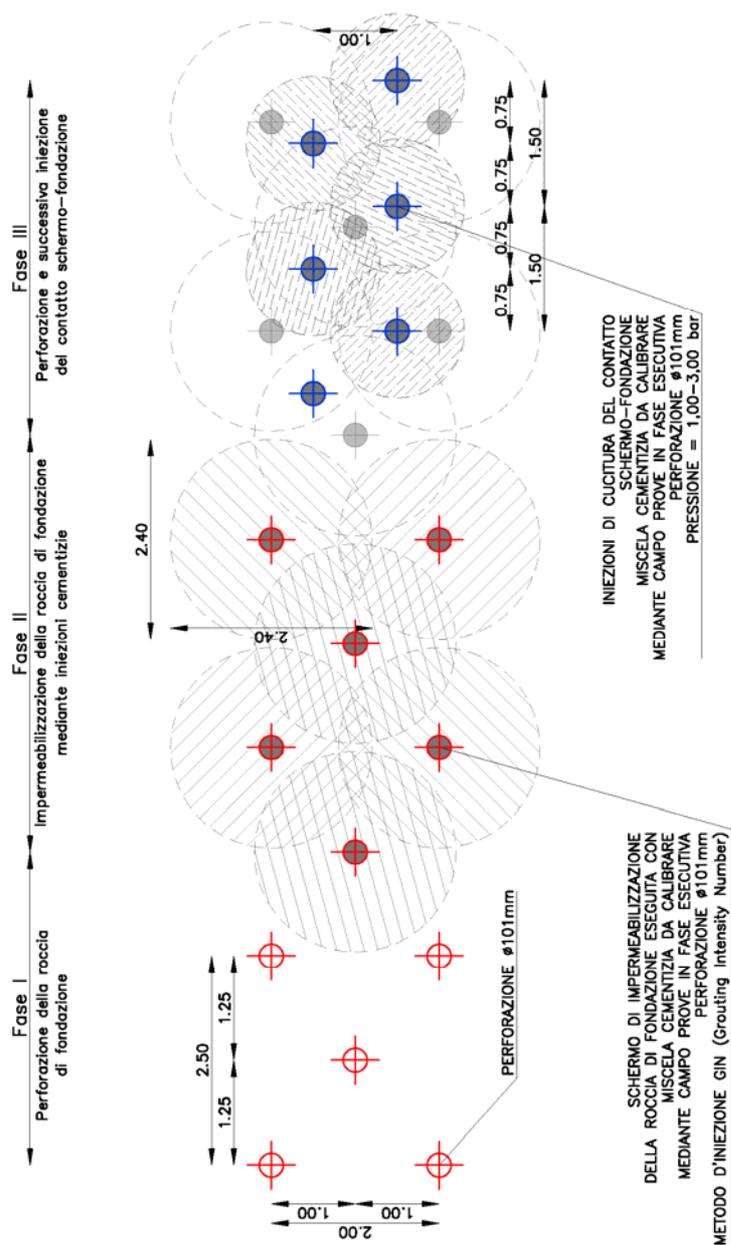
- la perfetta tenuta idraulica, anche in profondità, nei confronti delle acque dell'invaso;
- un collegamento efficace tra fondazione e corpo diga;
- ridurre le sottopressioni sul piano di fondazione e nell'ammasso roccioso. Anche se nelle dighe a volta non sarebbe strettamente necessario considerare l'effetto delle sottopressioni si è ritenuto, a vantaggio di sicurezza, di tenerne conto come riscontrabile nelle relazione di calcolo strutturale allegata al progetto.

Di seguito è riportata una descrizione degli interventi previsti per il consolidamento e l'impermeabilizzazione della roccia di fondazione e la solidarizzazione del corpo diga con terreno.

#### **3.4.1 *Schermo di impermeabilizzazione***

Le iniezioni per l'impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso verranno eseguite a scavi ultimati mediante carotaggi a distruzione. I fori saranno disposti su tre file longitudinali allo sviluppo degli archi, a interasse di 1,00 m e 2,50 m lungo la fila con disposizione a quinconce.

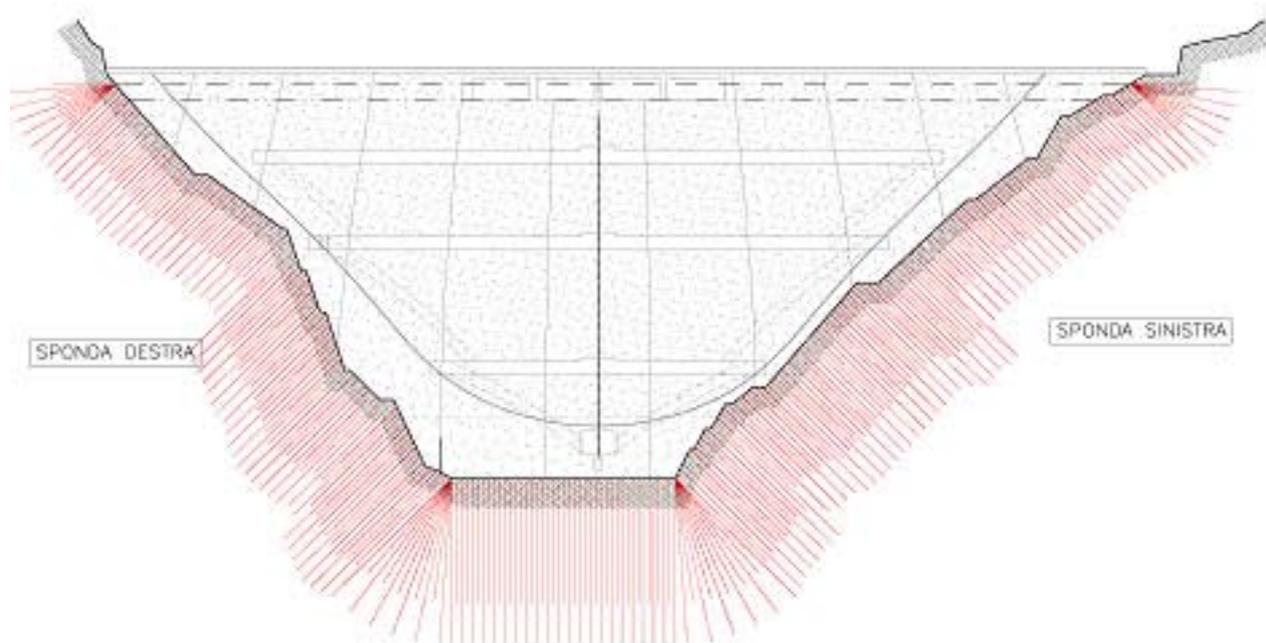
Durante la fase di perforazione si procederà a campione all'esecuzione di prove di permeabilità per consentire una taratura più precisa della miscela di acqua e cemento da utilizzare per la fase successiva di iniezione. Di seguito si riporta uno schema della geometria delle perforazioni, delle iniezioni per lo schermo di tenuta e le successive perforazione di cucitura del corpo diga con lo schermo.



La profondità dello schermo sarà variabile a seconda della quota per seguire progressivamente l'andamento delle pressioni idriche in fase di esercizio d'invaso. Per tale motivo si procederà con il presente criterio:

- sino a quota 875,00 m.s.m. perforazioni file esterne profondità 40,00 m, perforazione fila interna 30,00 m
- da quota 875,00 m.s.m. a quota 915,00 m.s.m. perforazioni file esterne profondità 35,00 m, perforazione fila interna 25,00 m
- oltre quota 915,00 m.s.m. perforazioni file esterne profondità 25,00 m, perforazione fila interna 15,00 m

Le profondità di perforazione risulta riferita al piano di scavo, quindi già depurata dello spessore di roccia disturbata ed eliminata dagli scavi superficiali.



*Profilo di scavo con indicazione delle iniezioni di cucitura*

Le iniezioni verranno eseguite con una miscela di acqua e cemento tarata come detto in funzione delle caratteristiche della roccia da saturare. Le modalità e le pressioni di iniezione alle varie profondità dovranno essere eseguite con particolare attenzione, prendendo come riferimento le modalità definite dal metodo GIN (Grouting Intensity Number). Le specifiche sulle modalità di iniezione sono rimandate alla relazione geotecnica allegata al presente progetto mentre la rappresentazione grafica dello schermo impermeabile è riportata sulla Tav. DD20.

A schermo ultimato si procederà all'esecuzione di alcune indagini conoscitive mediante perforazioni e prove Lugeon per una verifica della riuscita del trattamento di saturazione.

### **3.4.2 Iniezioni di cucitura**

Alle iniezioni di cucitura sarà affidato il compito di assicurare la sigillatura del contatto roccioso tra la fondazione dell'opera di sbarramento e la roccia sottostante. Esse quindi avranno lo scopo di:

- sigillare eventuali fessurazioni apertesi in roccia per azione delle attività di cantiere (esecuzione dello schermo impermeabile, allentamenti in seguito all'azione di scavo, ecc.);
- completare lungo tutto il piano di fondazione, a ritiro avvenuto, il collegamento diga-roccia;

Le iniezioni di cucitura saranno eseguite con diametri e metodologie simili a quelle previste per la realizzazione dello schermo di tenuta, quindi con perforazioni a distruzione e successive iniezioni con malta cementizia. Le pressioni di iniezioni saranno però limitate a pochi bar per evitare sollevamenti e distacchi dei conci della diga. La disposizione delle iniezioni sarà a quinconce con perforazione ubicata al centro della terna di fori dello schermo di tenuta (vedi Tav. DD20) mentre la profondità di iniezione è costante su tutto il paramento ed sarà pari a 5,00 m al di sotto del piano di scavo. Le iniezioni di cucitura dovranno essere eseguite seguendo le modalità del metodo GIN (Grouting Intensity Number).

### **3.5 *Corpo diga***

Lo sbarramento in progetto è un classico esempio di diga ad arco-gravità a doppia curvatura, con una parte centrale costituente l'arco e le porzioni perimetrali costituite dal pulvino che funge da elemento di transizione necessario allo scarico delle sollecitazioni sulla roccia d'imposta. La struttura si sviluppa radialmente lungo 11 conci e 10 giunti verticali che permettono di ottenere uno sviluppo complessivo sul coronamento di circa 250 m. Il corpo diga, pur essendo un'opera in calcestruzzo semplice, è dotata di un esiguo quantitativo di ferro disposto sulle superfici corticali dei singoli conci.

#### **3.5.1 *Elementi costruttivi***

Il materiale preponderante in una diga ad arco-gravità risulta essere il calcestruzzo il quale, per la presente struttura, sarà da confezionarsi in sito, con una miscela di inerti suddivisi in 5 classi granulometriche definite da un'apposita curva, preparato con cemento a lenta presa e di conseguenza con un basso sviluppo di calore.

Gli inerti verranno ricavati per le 3 classi granulometriche maggiori, da frantumazione della roccia derivante dagli scavi. Le due granulometrie minori verranno reperite totalmente da cave di prestito e stoccate in loco nei silos di immagazzinamento. L'uso di additivi verrà tarato in base alle condizioni atmosferiche e alle necessità che si verranno a riscontrare nei vari periodi di getto. Si rimanda al capitolo calcestruzzi della presente relazione un più esauritivo sviluppo dell'argomento.

I getti dei conci inizieranno dalla fondazione seguendo lo schema di salita a scacchiera indicativamente riportato sulla Tav. DD24. Tale criterio di salita, tipicamente usato per la

realizzazione di opere simili, è necessario per consentire la completa eliminazione del calore di idratazione e la dissipazione di tutto il ritiro del calcestruzzo al fine di ridurre al minimo gli effetti di fessurazione sulla superficie di contatto dei conci.

Si procederà per livelli successivi, con getti di altezze non superiori ai 50 cm, realizzati mediante l'utilizzo di casseri metalli rampanti con curvature variabili alle varie quote. La ripresa di getto sarà sottoposta a scarifica mediante getti di aria ed acqua ad alta pressione e la successiva stesura di malta di allettamento costituita da un impasto con spessore medio 8 cm e inerte dosato secondo una opportuna classe granulometrica ( da 0 a 3 mm) in modo tale da migliorare l'adesione e continuità dei getti.

I conci saranno realizzati come detto mediante un sistema di salita a scacchiera, con la realizzazione di tutti gli elementi funzionali necessari per il monitoraggio e il controllo della diga stessa (strumentazioni annegate nel getto, cunicoli, pozzi...) di cui si parlerà nei paragrafi seguenti.

I conci avranno una larghezza massimi di 21 m, fatta eccezione per i due conci esterni A e M che risultano leggermente più lunghi. I conci saranno dotati di un'armatura corticale su tutta la superficie ed in corrispondenza di tutte le cavità, quali cunicoli, pozzi d'ispezione e camere di manovra. Tale armatura sarà costituita da una maglia di  $\phi 16 / 40$  verticali e  $\phi 20 / 40$  orizzontali che verranno disposti con un copriferro minimo di 10 cm.

In corrispondenza del paramento di monte verrà disposto sul giunto tra i conci adiacenti, un doppio profilo di tenuta in PVC ( water-stop) al fine di creare le condizioni di tenuta del giunto sia in fase di iniezione dei giunto stesso, che in fase di esercizio dell'invaso. A valle è previsto il posizionamento di un unico water-stop con la funzione di contenere semplicemente le iniezioni.

Sul paramento di monte, ad ulteriore garanzia della tenuta idraulica del manufatto verrà realizzata una trave in ca mediante un getto di seconda fase eseguito sull'incavo lasciato in corrispondenza dei collegamenti corpo diga-pulvino. Tale trave avrà una dimensione di 55x25 cm a sezione pentagonale, come riportato sulla Tav. DD27 del progetto.

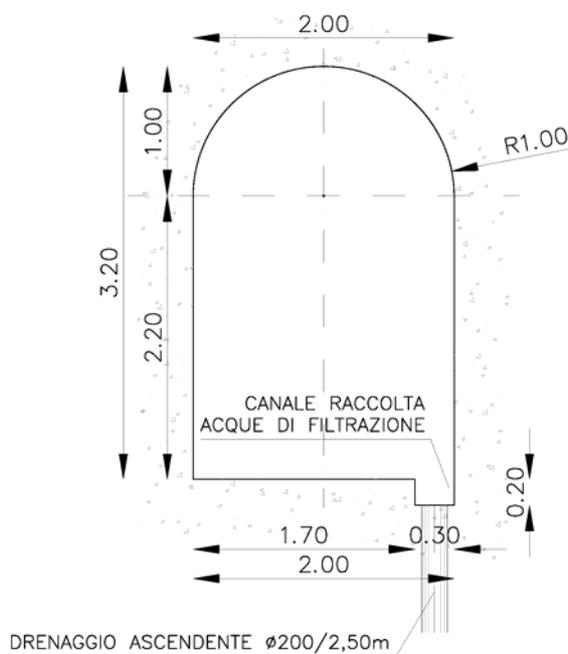
In fase di getto verrà inglobata una tubazione in Pead DE 32 PN 16, disposta a serpentina, completa di valvole e terminali a T come rappresentato nella Tav. DD26. I terminali saranno disposti in file orizzontali sulla superficie di contatto dei conci a formare una maglia di 2,50x2,50 m e saranno chiusi in fase di getto con un doppio tappo, uno in gomma dura e uno in gomma morbida deformabile. In fase di iniezione dei conci, la gomma deformabile verrà schiacciata per mezzo della pressione di iniezione sino a liberare il foro e permettere alla boiaccia di cemento di saturare l'intercapedine dei giunti. Per facilitare la fuoriuscita dell'aria intrappolata nell'intercapedine da

iniettare verrà disposta una tubazione di sfiato in corrispondenza delle compartimentazioni del singolo giunto. L'iniezione verrà eseguita a getti ultimati una volta che sarà esaurito tutto il calore di idratazione e sia avvenuto tutto il ritiro, con una miscela di acqua e cemento, iniettata con pressioni ridotte per evitare di indurre sollecitazioni sul calcestruzzo.

### 3.5.2 Cunicoli di ispezione e drenaggio

L'ispezionabilità della corpo diga sarà garantita da 3 livelli di cunicoli che si sviluppano all'interno dello sbarramento, da un estremo all'altro con un andamento curvilineo.

Il cunicolo superiore, posto a quota 935,80 m.s.m., sarà largo 2,00 m con pareti verticali e soffitto a volta, avente imposta a 2,20 m dal piano di calpestio e chiave a 3,20 m, con raggio di curvatura pari a 1,00 m. Il cunicolo sarà dotato di canaletta per la raccolta delle acque di scolo e drenaggio, avente sezione 0,30x0,20 m, con pendenza verso gli estremi del cunicolo. Al centro della diga il cunicolo presenterà un allargamento per una lunghezza totale di circa 8,00 m e con una larghezza di 4,80 m. Nel cunicolo verrà posata una linea di cavidotti per la percorrenza delle linee dati dagli strumenti di misura e le linee di forza, sia per gli impianti di illuminazione, che per gli organi meccanici di manovra.



Il cunicolo intermedio avrà le stesse caratteristiche geometriche del cunicolo superiore, con quota di calpestio posta a 915,00 m.s.m. e con accesso direttamente dall'esterno per mezzo di un tratto di cunicolo terminante sulla strada attualmente esistente. Anche in tale livello si avrà un'area

di allargamento in asse diga per la manovra di eventuali mezzi e per il monitoraggio degli strumenti di misura.

Il livello inferiore, posto a quota 885,00 m.s.m., sarà un cunicolo largo 2,50 m con pareti verticali e soffitto a volta, avente imposta a 2,20 m dal piano di calpestio e chiave a 3,20 m, avente raggio di curvatura pari a 1,00 m. anche quest'ultimo cunicolo presenterà un allargamento nella mezzeria della diga e sarà dotato della canaletta di scarico delle acque di filtrazione.

I cunicoli saranno in comunicazione tra di loro mediante scale di collegamento, costituite da cunicoli inclinati aventi sezioni uguali a quelli superiori, all'interno del quale si andrà a posare una scaletta in acciaio zincato sul piano inclinato la quale occuperà metà del cunicolo. Il restante metro di larghezza verrà riservato per l'installazione di una piattaforma elevatrice con la funzione di portare eventuali apparecchiature da un livello ad un altro.

In corrispondenza dei giunti saranno realizzati dei pozzi di ispezione di 1.00 m di diametro per permettere la captazione di eventuali perdite, l'ispezionabilità del giunto stesso e l'esecuzione delle iniezioni a saturazione dell'intercapedine tra un concio e l'altro dovuta al ritiro. Tali pozzi collegheranno un livello all'altro e saranno dotati di scaletta in acciaio zincato e griglia per la chiusura dell'ingresso.

Oltre a tali pozzi con funzione di dreni discendenti vi saranno lungo tutto il corpo diga una serie di canne di drenaggio discendenti che collegheranno un livello all'altro per l'individuazione di eventuali perdite all'interno dello sbarramento. Tali canne di drenaggio saranno realizzate mediante carotaggio del corpo diga dall'interno dei cunicoli ad interasse di 2,50 l'uno dall'altro, con diametro pari a 120 mm.

A completare il sistema di drenaggio verranno eseguiti una serie di dreni ascendenti mediante perforazione della fondazione del corpo diga e della roccia sino a raggiungere una profondità di 10,00 m dal piano di posa contatto roccia-cls. La perforazione eseguita a distruzione con un diametro di 200 mm ospiterà un tubo drenante forato nella parte profonda e rivestito con una rete in geotessile pesante da 500g/mq in polipropilene ad evitare un possibile intasamento da parte della sabbia disposta nell'intercapedine tra la superficie del foro a il dreno.

L'esecuzione di tali dreni risulta fondamentale per la riduzione delle sottopressioni alla base dello sbarramento, e per l'individuazione di eventuali vie di percorrenza preferenziali delle filtrazioni attraverso la parte inferiore della diga e del terreno di fondazione. La testa del dreno si troverà in corrispondenza della canaletta di raccolta delle acque a lato del cunicolo e convoglierà

l'acqua raccolta dai dreni alla camera di manovra delle paratoie in cui verrà posta la strumentazione di misura per le perdite.

### **3.5.3 Coronamento**

Lo diga sarà sormontata in tutta la sua lunghezza dal coronamento carrabile, posto a quota 957,40 m.s.m. Il coronamento sarà costituito da una carreggiata di larghezza pari a 3,27 m completa di tappetino di usura sp. 3 cm e da un camminamento di 1,05 m sovralzato rispetto al piano carrabile. Tale striscia carrabile sulla sommità della diga sarà confinata da due muretti in ca con funzione di parapetto.

La parte centrale del coronamento sarà costituita da quattro ponti di circa 13,50 m di luce netta sovrastanti lo sfioro. L'impalcato sarà realizzato con una struttura a cassone in ca gettato in opera con campate appoggiate sulle pile dello sfioratore e sulle due spalle laterali mediante perni di ancoraggio in acciaio. All'interno della struttura a cassone verrà ricavato uno spazio per ospitare il cavedio che consentirà il passaggio degli impianti elettrici ed il passaggio delle linee dati della strumentazione della diga. Tale cavedio sarà coperto da coppelle in cav per garantire l'ispezionabilità degli impianti alloggiati in esso.

Dal coronamento sarà possibile accedere all'opera di presa attraverso una porzione di concio aggettante verso monte rispetto al profilo curvilineo dell'arco, come si riscontra sugli elaborati grafici. Il coronamento sarà completo di impianto di illuminazione mediante pali e due torri faro e sarà dotato di impianto di video-sorveglianza come il resto della diga.

### **3.5.4 Calcestruzzi**

Tra tutti i materiali che costituiscono uno sbarramento di ritenuta quale quello oggetto del presente progetto definitivo, il calcestruzzo rappresenta sicuramente il più importante sia in termini di risultato prestazionale dell'opera che di incidenza economica.

Il DM 14/01/2008 "Normativa della costruzioni" attualmente in vigore e recepite la normativa europea UNI EN 206-1 e al normativa italiana UNI 11104, definiscono con precisione le specifiche per i calcestruzzi in tutte le condizioni ambientali ma non danno indicazioni sulle caratteristiche dei calcestruzzi con inerti di grosse dimensioni.

Per la determinazione del mix di calcestruzzo per il corpo diga occorre tenere in considerazione determinate condizioni:

- Garantire la durabilità nel tempo compatibile con l'attesa di vita utile della struttura;

- Ridurre al minimo gli effetti di ritiro igrometrico del calcestruzzo e gli effetti negativi prodotti dal calore di idratazione;
- Realizzare un calcestruzzo avente con un basso grado di permeabilità.

La scelta delle prestazioni minime delle miscele da adottare deve essere eseguita sulla base delle indicazioni riportate nella norma UNI 11104 del 2004 (documento di applicazione nazionale della norma europea UNI EN 206-1) in funzione della classe di esposizione ambientale in cui l'opera, o parte di essa verrà a trovarsi. La classe di esposizione più probabile per il corpo diga sarà la XC2+XF3, ambiente ciclicamente asciutto e bagnato con cicli di gelo e disgelo in elevata saturazione d'acqua senza sali disgelanti.

Bisogna inoltre tenere in considerazione che le dimensioni elevate di aggregati possono far sì che i valori minimi di cemento all'interno della miscela non rispettino i parametri della norma UNI 11104 che, come detto precedentemente, non prevede calcestruzzi con inerti ciclopici.

Il ritiro igrometrico che colpisce tutte le strutture a base di cemento, si possono prevenire e ridurre mediante riducendo il più possibile il rapporto acqua/cemento, riducendo il quantitativo di cemento e aumentando il volume di inerte che, avendo un modulo elastico maggiore, contrasta il ritiro.

Si possono inoltre adottare additivi che riducono sia il ritiro igrometrico, sia il calore di idratazione. È da considerare che il calore d'idratazione sviluppato nella fase di presa del calcestruzzo deve essere tenuto sotto controllo oltre che con l'aggiunta di additivi ritardanti, mediante adeguate misure di protezione del calcestruzzo.

La permeabilità, come il ritiro igrometrico, possono essere ridotte mediante l'adozione di un basso rapporto acqua /cemento.

Il cemento da utilizzare per l'opera in oggetto deve rispondere alle seguenti caratteristiche:

- Basso sviluppo di calore;
- Resistenza al dilavamento secondo quanto previsto dalla UNI 9606 da moderata ad alta;
- Alta resistenza ai solfati secondo UNI 9156.

Le tipologie di cemento più idonee per il caso in oggetto risultano essere la CEM III 32,5N e la CEM IV 32,5N

Anche se a causa dell'invalutabile lasso di tempo che decorrerà tra la presente fase di progettazione definitiva e quella realizzativa non è opportuno formulare affermazioni assolute circa

la composizione dei calcestruzzi che si utilizzeranno, è però necessario definire fin da ora tutte quelle caratterizzazioni degli aggregati e dei leganti che garantiranno l'ossequio delle norme ed il raggiungimento delle prestazioni indispensabili all'esecuzione dell'opera.

In tal senso la presente relazione si soffermerà sui seguenti aspetti:

1. definizione delle quantità degli aggregati;
2. definizione delle caratteristiche degli aggregati e loro reperibilità
3. definizione del tipo di legante idraulico
4. caratterizzazione delle prestazioni del calcestruzzo

### **Definizione delle quantità degli aggregati**

Il quantitativo complessivo di calcestruzzo che si ritiene di impiegare è pari a:

- 279.308 mc. nella classe C25/30 per i getti massivi della diga;
- 7.699 mc. nella classe C20/25 per i getti di riempimento;
- 7.462 mc. nella classe C30/37 per le opere strutturali (pile passarella, muri d'ala sfioratore, opere d'arte).

Gli inerti necessari al confezionamento dei quantitativi di calcestruzzo sopra elencato deriveranno da due fonti di approvvigionamento: gli scavi dell'imposta diga e cave di prestito prossime. La scelta progettuale di usufruire anche del materiale proveniente dagli scavi dell'impronta diga deriva sia dalle riscontrate ottime caratteristiche qualitative della roccia di fondazione nonché dal notevole quantitativo di materiale che risulterà.

Il materiale proveniente dagli scavi è stato caratterizzato mediante le analisi sui campioni prelevati in occasione delle indagini geognostiche sulla sezione d'imposta che hanno fornito i seguenti valori medi (c.fr relazione geologica pagg. 41 – 44)

- Peso di volume: 29 kN/m<sup>3</sup>
- Peso specifico: 29 kN/m<sup>3</sup>
- Porosità: 0,6 – 1,0 %

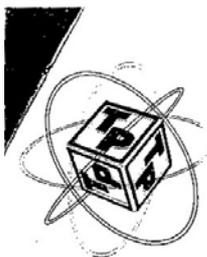
Il materiale proveniente dagli scavi sarà utilizzato per la costituzione della classe granulometrica maggiore in modo da rendere più semplice possibile l'impianto di frantumazione e ridurre la produzione di scarti di litoide che saranno comunque reimpiegati nelle ricariche stradali.

Per quanto concerne la qualità del materiale disponibile presso fornitori esterni si è fatto riferimento all'impianto di frantumazione di proprietà della ditta LIS s.r.l. di Aosta in quanto a

vicinanza di impianto (circa 15 Km dal sito di raccolta presso la località Granero di Portula), in quanto a sicura disponibilità del materiale nel tempo trattandosi di un impianto storico della zona e di notevoli dimensioni, ed infine in quanto ad analogia del materiale lapideo essendo la cava di prestito ubicata in area geologicamente omogenea a quella del sito diga.

Di seguito si riportano le schede degli esami petrografici delle classi d'inerte disponibili, da cui si può desumere la stretta analogia con il materiale lapideo presente nella sezione d'imposta della diga, nonché lo studio della miscela e della curva di resistenza dei provini appositamente confezionati. Tale attività è stata effettuata e certificata con la finalità di evidenziare come, in prima approssimazione, possano essere ritenute idonee le ipotesi formulate sul comportamento strutturale del calcestruzzo confezionato con le modalità previste nel presente progetto.

Sono da valutarsi in termini conservativi le semplificazioni derivanti dall'assenza della classe granulometrica maggiore dovuta al fatto che gli impianti commerciali esistenti non sono attrezzati per confezionare calcestruzzi contenenti inerti di tale diametro. Infatti si può sostenere come, pur ritenendo già ottima l'approssimazione derivante dal fuso granulometrico utilizzato che raggiunge il non comune diametro di 45 mm, campioni di calcestruzzo confezionati secondo la stessa curva granulometrica ma con una distribuzione delle classi d'inerti spostata verso diametri maggiori (90 mm) confermeranno una resistenza finale a compressione uguale o maggiore di quella già ottima ottenuta con il campione confezionato mediante i laboratori della ditta Lis s.r.l.



## TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE  
 SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA  
 ORGANISMO NOTIFICATO D. CEE 89/106 N° 1372  
 AUTORIZZ. MIN. II. TT. ART. 20 LEGGE 1086/71  
 AUTORIZZ. MIN. II. TT. DPR. 380/01 - CIRC. 349/99  
 PROVE GEOTECNICHE SUI TERRENI E SULLE ROCCE

### Sede legale:

Via C. Pizzorno, 12  
 28078 Romagnano Sesia (No)  
 Tel. +39 - 0163.885.111  
 Fax. +39 - 0163.885.028

### Sede amm./operativa:

Statale Valsesia, 20  
 13035 Lenta (Vc)  
 Tel. +39 - 0163.885.111  
 Fax. +39 - 0163.885.028

### Unità locali:

13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54  
 00161 Roma - Via De Rossi, 4

E-mail: tecnopiemonte@tecnopiemonte.com . www.tecnopiemonte.com

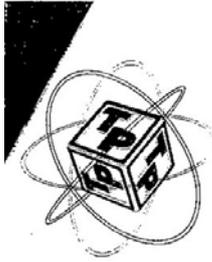
Rapporto di prova n° 03460/72/72 del 30/06/2009  
 Pagina n° 3 di 13

Tipo di prova	ESAME PETROGRAFICO DI UN CAMPIONE DI UN AGGREGATO
Normativa di riferimento	UNI EN 932-3
Campione/contrassegno	Sabbia 0/4 naturale
Provenienza	Cava di Vintebbio (VC)
Data prova	19/06/2009

FRAMMENTI DI ROCCIA [%]		
Rocce ignee o metamorfiche	Frammenti poliminerali di rocce vulcaniche (rioliti)	6
	Frammenti poliminerali di graniti o gneiss (qz+kf+fillosil.)	3
	Frammenti poliminerali di "pietre verdi"	10
	Frammenti poliminerali di calcescisti o micascisti	-
	Frammenti poliminerali di marmi o dolomie metam./granuliti	-
	Frammenti poliminerali quarzo-feldspati-minerali femici	-
	Frammenti poliminerali quarzo-minerali femici	-
	Frammenti poliminerali quarzo-miche	3
Rocce sedimentarie	Frammenti poliminerali di calcari, dolomie	-
	Frammenti poliminerali di arenaria	-
	Frammenti poliminerali di marne, siltiti, argilliti	-
	Frammenti fossili	-
<b>TOTALE</b>		<b>22 %</b>

PARTICELLE MINERALI IN GRANI LIBERI (in grassetto corsivo i minerali di possibile interesse particolare) [%]		
QUARZO	67	<b>GESSO</b>
FELDSPATI	3	<b>ANIDRITE</b>
FELDSPATOIDI	-	<b>PIRITE</b>
MICHE	4	<b>PIRROTINA</b>
SERPENTINO	-	<b>SELCE</b>
GRANATI	-	<b>DIASPRO</b>
CALCITE	-	<b>CALCEDONIO</b>
Altri minerali	-	<b>OPALE</b>
Grani torbidi non identificabili	4	<b>AMIANTO</b>
<b>TOTALE</b>	<b>78 %</b>	

DESCRIZIONE FISICA DEI FRAMMENTI E/O DELLE PARTICELLE MINERALI				
FORMA	%	DIMENSIONI	ALTERAZIONE	%
SPIGOLI VIVI	85	< 4 mm	SANI	100
SUBANGOLOSI	9		PARZIALM. ALTERATI	0
ARROTONDATI	0		ALTERATI	0
ALLUNGATI	0			
APPIATTITI	6			



## TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE  
SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA  
ORGANISMO NOTIFICATO D. CEE 89/106 N° 1372  
AUTORIZZ. MIN. II. TT. ART. 20 LEGGE 1086/71  
AUTORIZZ. MIN. II. TT. DPR. 380/01 - CIRC. 349/99  
PROVE GEOTECNICHE SUI TERRENI E SULLE ROCCE

### Sede legale:

Via C. Pizzorno, 12  
28078 Romagnano Sesia (No)  
Tel. +39 - 0163.885.111  
Fax. +39 - 0163.885.028

### Sede amministrativa:

Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39 - 0163.885.111  
Fax. +39 - 0163.885.028

### Unità locali:

13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54  
40161 Roma - Via De Rossi, 4

E-mail: [tecnopiemonte@tecnopiemonte.com](mailto:tecnopiemonte@tecnopiemonte.com) . [www.tecnopiemonte.com](http://www.tecnopiemonte.com)

Rapporto di prova n°  
Pagina n°

03460/72/72  
4

del  
di

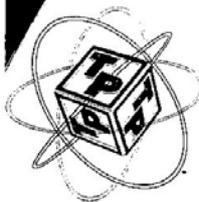
30/06/2009  
13

<i>Tipo di prova</i>	<b>ESAME PETROGRAFICO DI UN CAMPIONE DI UN AGGREGATO</b>
<i>Normativa di riferimento</i>	UNI EN 932-3
<i>Campione/contrassegno</i>	Pietrischetto 8/15 frantumato
<i>Provenienza</i>	Cava di Vintebbio (VC)
<i>Data prova</i>	19/06/2009

FRAMMENTI DI ROCCIA					
ROCCIE IGNEE	%	ROCCIE SEDIMENTARIE	%	ROCCIE METAMORFICHE	%
QUARZOLITE		CONGLOMERATO		QUARZITE	24
GRANITO/GRANODIORITE	18	BRECCIA		MARMO	
TONALITE		ARENARIA CALCAREA		FILLADE	
SIENITE / MONZONITE		ARENARIA (arenite)		SERPENTINITE	10
DIORITE / GABBRO	46	CALCARE (calcilutite)		CLORITOSCISTO	
RIOLITE / DACITE	2	DOLOMIA		METAGABBRO	
TRACHITE / LATTITE		MARNA		CALCESCISTO	
ANDESITE / BASALTO		ARGILLITE (lutite)		PRASINITE	
VETROSE (ossidiana pomice)		SELCE		ECLOGITE	
ULTRAMAFITE		TRAVERTINO		ANFIBOLITE	
(pirossenite, orneblendite		EVAPORITE (anidrite..)		HORNFELS	
lherzolite, peridotite, ..)		ALTRE VARIETA'		GNEISS	
FILONIANE (pegmatite, apfite)		ORGANOGENE (torba,..)		MICASCISTO	
		PIROCLASTITI		GRANULITE	
Altre varietà ignee		Altre varietà sedimentarie		Altre varietà metamorfiche	
<b>TOTALE</b>	<b>66</b>	<b>TOTALE</b>	<b>0</b>	<b>TOTALE</b>	<b>34</b>

PARTICELLE MINERALI IN GRANI LIBERI (in grassetto corsivo i minerali di possibile interesse particolare) [%]					
QUARZO		ORNEBLENDA		<b>GESSO</b>	
FELDSPATI		GRANATI		<b>ANIDRITE</b>	
PLAGIOCLASI		EPIDOTO		<b>PIRITE</b>	
ALBITE		CLORITE		<b>PIRROTINA</b>	
FELDSPATOIDI		TALCO		<b>SELCE</b>	
BIOTITE		SERPENTINO		<b>DIASPRO</b>	
PIROSSENI		GRAFITE		<b>CALCEDONIO</b>	
ANFIBOLI		CALCITE		<b>OPALE</b>	
OLIVINA		DOLOMITE		<b>MICA</b>	
				<b>MINERALI ARGILLOSI</b>	
<b>TOTALE</b>	<b>0</b>	<b>TOTALE</b>	<b>0</b>	<b>TOTALE</b>	<b>0</b>

DESCRIZIONE FISICA DEI FRAMMENTI E DELLE PARTICELLE MINERALI					
FORMA	%	DIMENSIONI		ALTERAZIONE	%
SPIGOLI VIVI	87	5 < X < 16 mm		SANI	100
SUBANGOLOSI	4			PARZIALM. ALTERATI	0
SUBARROTONDATI	0			ALTERATI	0
ARROTONDATI	0				
APPIATTITI	9				



## TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE  
SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA  
ORGANISMO NOTIFICATO D. CEE 89/106 N° 1372  
AUTORIZZ. MIN. II. TT. ART. 20 LEGGE 1086/71  
AUTORIZZ. MIN. II. TT. DPR. 380/01 - CIRC. 349/99  
PROVE GEOTECNICHE SUI TERRENI E SULLE ROCCE

### Sede legale:

Via C. Pizzorno, 12  
28078 Romagnano Sesia (No)  
Tel. +39 - 0163.885.111  
Fax. +39 - 0163.885.028

### Sede amm. operativa:

Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39 - 0163.885.111  
Fax. +39 - 0163.885.028

### Unità locali:

13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54  
00161 Roma - Via De Rossi, 4

E-mail: tecnopiemonte@tecnopiemonte.com . www.tecnopiemonte.com

Rapporto di prova n°  
Pagina n°

03460/72/72  
5

del  
di

30/06/2009  
13

Tipo di prova	ESAME PETROGRAFICO DI UN CAMPIONE DI UN AGGREGATO
Normativa di riferimento	UNI EN 932-3
Campione/contrassegno	Pietrisco 15/28 frantumato
Provenienza	Cava di Vintebbio (VC)
Data prova	19/06/2009

FRAMMENTI DI ROCCIA					
ROCCIE IGNEE	%	ROCCIE SEDIMENTARI	%	ROCCIE METAMORFICHE	%
QUARZOLITE		CONGLOMERATO		QUARZITE	35
GRANITO/GRANODIORITE	10	BRECCIA		MARMO	
TONALITE		ARENARIA CALCAREA		FILLADE	
SIENITE / MONZONITE		ARENARIA (arenite)		SERPENTINITE	10
DIORITE / GABBRO	45	CALCARE (calcilutite)		CLORITOSCISTO	
RIOLITE / DACITE		DOLOMIA		METAGABBRO	
TRACHITE / LATITE		MARNA		CALCESCISTO	
ANDESITE / BASALTO		ARGILLITE (lutite)		PRASINITE	
VETROSE (ossidiana pomice)		SELCE		ECLOGITE	
ULTRAMAFITE		TRAVERTINO		ANFIBOLITE	
(pirossenite, orneblendite lherzolite, peridotite, ...)		EVAPORITE (anidrite..)		HORNFELS	
FILONIANE (pegmatite, apfite)		ALTRE VARIETA'		GNEISS	
		ORGANOGENE (torba,..)		MICASCISTO	
		PIROCLASTITI		GRANULITE	
Altre varietà ignee		Altre varietà sedimentarie		Altre varietà metamorfiche	
<b>TOTALE</b>	<b>55</b>	<b>TOTALE</b>	<b>0</b>	<b>TOTALE</b>	<b>45</b>

PARTICELLE MINERALI IN GRANI LIBERI (in grassetto corsivo i minerali di possibile interesse particolare) [%]					
QUARZO		ORNEBLENDA		<b>GESSO</b>	
FELDSPATI		GRANATI		<b>ANDRITE</b>	
PLAGIOCLASI		EPIDOTO		<b>PIRITE</b>	
ALBITE		CLORITE		<b>PIRROTINA</b>	
FELDSPATOIDI		TALCO		<b>SELCE</b>	
BIOTITE		SERPENTINO		<b>DIASPRO</b>	
PIROSSENI		GRAFITE		<b>CALCEDONIO</b>	
ANFIBOLI		CALCITE		<b>OPALE</b>	
OLIVINA		DOLOMITE		<b>MICA</b>	
				<b>MINERALI ARGILLOSI</b>	
<b>TOTALE</b>	<b>0</b>	<b>TOTALE</b>	<b>0</b>	<b>TOTALE</b>	<b>0</b>

DESCRIZIONE FISICA DEI FRAMMENTI E/O DELLE PARTICELLE MINERALI					
FORMA	%	DIMENSIONI		ALTERAZIONE	%
SPIGOLI VIVI	90	11 < X < 21 mm		SANI	100
SUBANGOLOSI	10			PARZIALM. ALTERATI	0
SUBARROTONDATI	0			ALTERATI	0
ARROTONDATI	0				
APPIATTITI	0				

Dalle schede sopra riportate è possibile risalire al peso specifico medio delle classi d'inerti disponibili presso le cave della ditta Lis s.r.l. come di seguito riportato:

$\gamma = 2800 \text{ kg/m}^3$  per inerti di diametro inferiore a 2 mm.

$\gamma = 2830 \text{ kg/m}^3$  per inerti di diametro superiore a 2 mm. ed inferiore a 11 mm.

$\gamma = 2870 \text{ kg/m}^3$  per inerti di diametro superiore a 11 mm. ed inferiore a 45 mm.

Lo studio del fuso granulometrico dei calcestruzzi impegnati nelle opere costituisce una fase di primaria importanza per la buona riuscita dei getti. Per tale motivo il regolamento vigente prescrive un'attenta fase sperimentale da svolgere anticipatamente all'avvio dei getti regolata dal foglio condizioni per la costruzione dell'invaso.

In questa fase sarà quindi definita una curva granulometrica ottimale, molto prossima a quella che sarà definitivamente sperimentata all'atto esecutivo, sviluppata secondo la nota relazione di Bolomey:

$$P(\%) = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

dove P = peso in percentuale della classe d'inerte costituente l'impasto;

A = 9 per calcestruzzo poco lavorabile e inerti misti tondeggianti e spigolosi;

d = diametro della classe d'inerte;

D = diametro massimo dell'impasto

Conformandosi ai dati derivanti dalla curva sperimentale prodotti dalla ditta Lis s.r.l., quasi coincidente con la distribuzione di Bolomey, è possibile, con buona approssimazione, definire i quantitativi in peso del materiale inerte necessario alla realizzazione delle opere.

Infatti per ogni metro cubo di impasto sono presenti:

- 1995.36 kg di inerti
- 330 kg di cemento
- 2.64 kg di additivi
- 180 kg di acqua (quindi con un rapporto A/C = 0.55)

Considerando due fusi granulometrici distinti per i calcestruzzi della diga (279.308 mc con inerti fino a 90 mm) e quelli delle opere strutturali (15.161 mc con inerti fino a 45 mm) riferiti alla distribuzione di Bolomey si possono definire i seguenti quantitativi di inerti complessivi:

Curva di Bolomey				A = 9	
INERTI DIGA				mc	279.308
classe inerti (mm)	% passante	% classe	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	quantità di inerti (t)	
0 - 2	22,57	22,57	2.800	123.343	
2 - 11	40,81	18,25	2.830	100.815	
11 - 22	53,99	13,18	2.870	73.831	
22 - 45	73,35	19,36	2.870	108.440	
45 - 90	100,00	26,65	2.900	150.891	
		100,00		557.320	

Curva di Bolomey				A = 12	
INERTI STRUTTURE				mc	15.161
classe inerti (mm)	% passante	% classe	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	quantità di inerti (t)	
0 - 2	30,55	30,55	2.800	9.117	
2 - 11	55,51	24,96	2.830	7.527	
11 - 22	73,53	18,02	2.870	5.512	
22 - 45	100,00	26,47	2.870	8.096	
		100,00		30.252	

Il comportamento alle sollecitazioni di compressione di un calcestruzzo confezionato secondo i quantitativi e percentuali d'inerti sopra richiamati corrisponderanno con accettabile approssimazione, per il presente livello progettuale, alla curva caratteristica sperimentalmente determinata nei laboratori della ditta Lis s.r.l. certificata dalla società dall'Organismo notificato Tecnopiemonte s.r.l.



E' infine possibile concludere quanto segue:

- 1) Il quantitativo di inerti derivante dallo scavo della diga, pari a mc. 137.714,00 e corrispondenti a t. 399.370, è sufficiente a garantire l'approvvigionamento del quantitativo di inerti necessario per la classe granulometrica maggiore utilizzata nel confezionamento del calcestruzzo:

$$259.331 \text{ t} < 399.370 \text{ t}$$

- 2) Il restante quantitativo d'inerti necessario per la realizzazione dello sbarramento di ritenuta e delle strutture connesse, pari a 436.681 t. è reperibile presso i fornitori locali con caratteristiche molto simili a quelle del materiale imposto.
- 3) Il calcestruzzo confezionato secondo curve granulometriche e dosaggi definiti come sopra forniscono comportamenti di elevata prestazione come comprovato dalla sperimentazione condotta presso il laboratorio della ditta Lis s.r.l.

### **3.5.5 Strumentazione**

Il monitoraggio di un'opera come la diga in progetto ha come scopo quello di ottenere informazioni precise sul comportamento e sulle prestazioni di una struttura di tali dimensioni che è soggetta a una serie di sollecitazioni esterne (idrostatica, ghiaccio, termiche, sismiche...). Tale monitoraggio ha come funzione anche quella di eseguire un controllo sulla sicurezza strutturale e il comportamento a seguito dell'invecchiamento della struttura. Una diga, vista la notevole importanza strategica e il notevole investimento economico che ne consegue, è un'opera che deve avere necessariamente una vita utile superiore al secolo.

Conseguentemente a quanto riportato, il piano di strumentazione e monitoraggio assume un'importanza notevole nel panorama costruttivo e gestionale dell'intervento. Tutta la strumentazione sarà ridondante in quanto a modalità di lettura elettronica/automatizzata e manuale. Tutta la strumentazione elettronica sarà quindi raddoppiata con identici strumenti manuali di controllo che consentiranno la verifica delle anomalie. Ogni strumento elettronico sarà collegato mediante fibra ottica al centro di acquisizione dati presso la casa di guardia ove i dati saranno opportunamente elaborati ed archiviati; analogamente il custode incaricato delle letture manuali provvederà all'implementazione di tali dati. Un chiaro quadro sinottico su schermo, ripetibile in qualsiasi altro ufficio si ritenesse di allestire, renderà immediatamente fruibili i dati raccolti ed elaborati, nonché renderà immediata la lettura diretta delle singole strumentazioni.

Il piano di strumentazione prevede il seguente monitoraggio per la cui rappresentazione grafica e schematica si rinvia alla tavola di disegno DD32:

#### Temperature

- Termometri annegati nel calcestruzzo per la misura della temperatura interna della struttura alle varie quote e nei vari conci (fase di costruzione);
- Termometri esterni per la misura della temperatura dell'aria sul coronamento e nei pressi della casa di guardia;
- Termometri esterni per la misura della temperatura dell'acqua posti alle quote di regolamento;

#### Deformazioni

- Basi fisse ottiche per la collimazione della chiave della volta in coronamento (manuale) e per la definizione automatica (mediante coordinate) degli spostamenti nello spazio dei singoli conci in corrispondenza del coronamento e di punti predeterminati delle spalle rocciose della diga;
- Basi per calibro estensimetro e trasduttori per la misura degli scostamenti tra i conci in corrispondenza dei giunti, posti all'interno dei cunicoli in corrispondenza dell'intersezione con i conci;
- Estensimetri elettrici inglobati nella massa di calcestruzzo per la misura unidirezionale delle deformazioni;
- Rosette di estensimetri elettrici inglobati nella massa di calcestruzzo per la misura delle deformazioni sulle tre direzioni principali;
- Pendolo diritto con coordinometro automatico per rilevare gli scostamenti monte-valle e destra-sinistra sulla verticale della struttura;

#### Stati tensionali

- Celle elettriche piezometriche e piezometri manuali per il rilevamento delle sottopressioni idrauliche sia al di sotto del piano d'imposta a valle dello schermo d'impermeabilizzazione che a valle del manufatto diga;
- Celle elettriche di carico sul contatto calcestruzzo roccia di fondazione per il rilevamento dello stato tensionale;
- Accelerometri elettrici all'interno della massa di calcestruzzo per il rilevamento dell'intensità delle oscillazioni dovute al sisma;

#### Livelli

- Bilancia idrostatica per la misura assoluta della quota d'invaso;
- Asta idrometrica per la misura visiva dal coronamento della quota d'invaso dei primi 20 metri al di sotto della quota di massimo invaso;

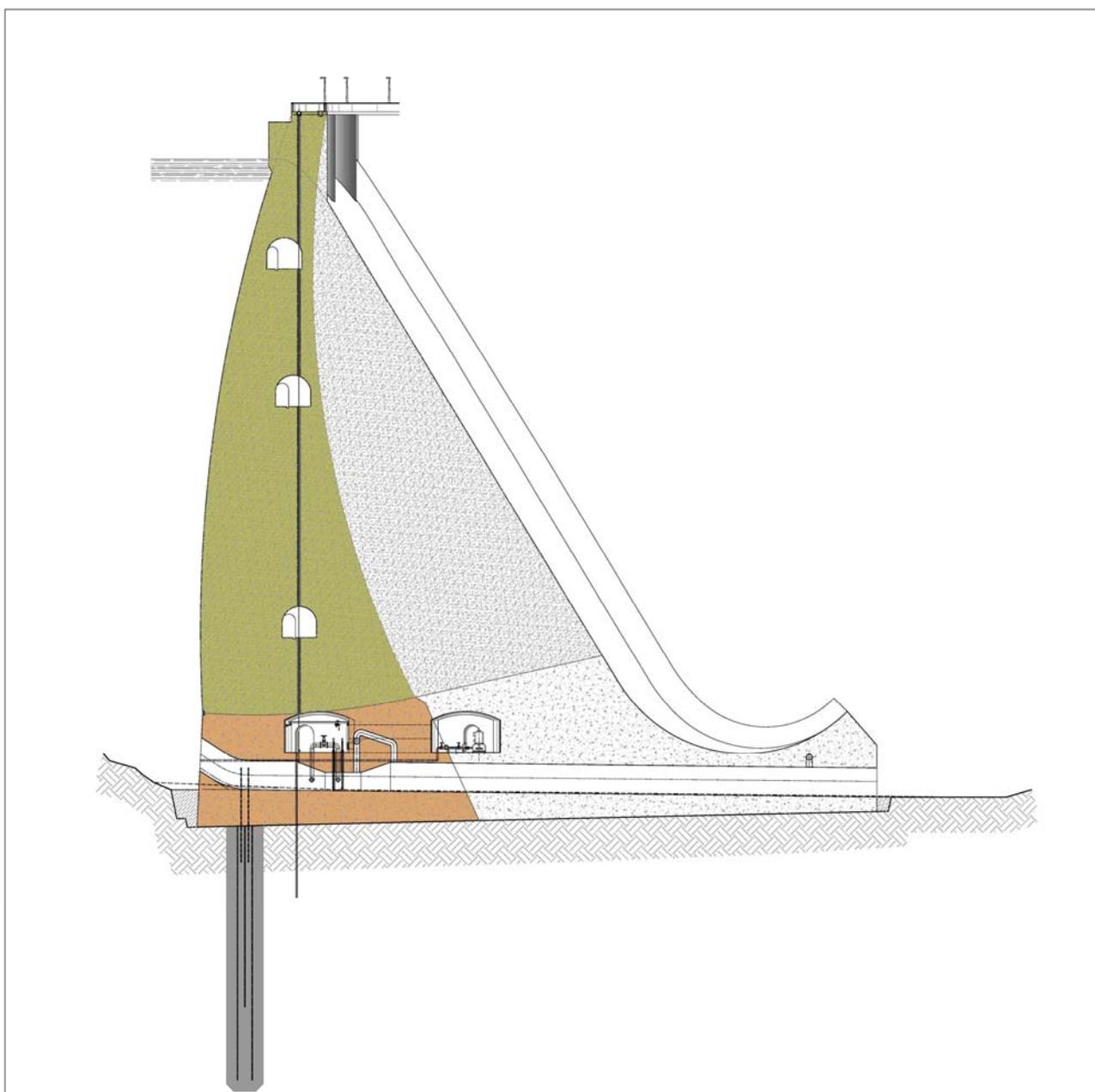
#### Portate e meteo

- Misura della portata raccolta dalle canne di drenaggio ascendenti e discendenti all'interno del corpo diga mediante due stramazzi elettrificati (spalla sinistra e spalla destra); tale lettura sarà sempre anche manuale;
- Misura della portata derivata dall'opera di presa mediante strumentazione venturimetrica posta sulla condotta principale al piede della diga prima dell'entrata nell'edificio di derivazione;
- Misura della portata fluente attraverso lo scarico di mezzo fondo attraverso un misuratore ad ultrasuoni posto in corrispondenza dell'edificio di derivazione a valle della diga;
- Misura della portata di DMV mediante strumentazione di misura di tipo elettromagnetico posta sulla condotta del DN 300 mm. in entrata alla turbina Pelton al piede diga.
- Stazione meteorologica nei pressi della casa di guardia completa di: pluviometro, nivometro, direzione e intensità del vento, temperatura aria, radiazione solare globale, umidità dell'aria:

### **3.6 Opere di presa e scarico**

Gli sbarramenti sui corsi d'acqua naturali necessitano di opere che consentano la modulazione della portata, il rilascio del deflusso minimo vitale e il convogliamento delle portate da derivare. La diga ad arco-gravità in progetto sarà dotata quindi, come previsto dal Decreto 24 marzo 1982 "Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento" (di seguito D.M. 82) e dalla "Proposta di aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" della Adunanza del 25 luglio 2008 allegato al protocollo 27/2008 (di seguito P.A.N.T.), di uno scarico di fondo, uno scarico di mezzo fondo, uno scarico di superficie e un'opera di presa e derivazione.

Nei paragrafi seguenti andremo a descrivere nel dettaglio i vari organi di manovra sopraelencati. Per lo sviluppo dei calcoli sulle portate esitate da tali luci si rimanda alla *Relazione idraulica* allegata al presente progetto.



*Sezione maestra corpo diga*

### ***3.6.1 Opera di presa e di derivazione***

L'opera di presa sarà costituita da una struttura a torre realizzata in aderenza al paramento di monte, sul lato sinistro del corpo diga, in corrispondenza del concio D. La sezione sarà di tipo scatolare con spessore delle pareti variabili al variare dell'altezza. La fondazione risulterà un tutt'uno con il corpo diga in quanto il getto verrà realizzato in concomitanza con quest'ultimo. Dal piano di fondazione sino a quota 908,82 m.s.m. la struttura sarà di tipo scatolare con pareti di spessore 1,20 m e dimensioni interne 7,10 x 8,10 m. Le pareti saranno in ca gettato in opera con una miscela di calcestruzzi diversa da quella del corpo diga, confezionata con inerti di dimensioni

minori e una quantità di ferro d'armatura decisamente più elevata. Nelle riprese di getto si dovrà prevedere un doppio giunto di tenuta di tipo water-stop.

Da quota 908,82 m.s.m. a quota 928,82 m.s.m. la sezione sarà sempre di tipo scatolare con pareti di 1,00 m di spessore e dimensione interna 7,30 x 8,50 m. Da quota 928,82 m.s.m. sino a quota coronamento la sezione si ridurrà ulteriormente con pareti di 0,80 m di spessore e dimensione interna 7,50 x 8,90 m. La torre di presa avrà quindi una sezione variabile con il filo fisso verticale esterno alla struttura che corre lungo tutta l'altezza della struttura.

In corrispondenza delle bocche di presa verranno realizzate delle solette di 50 cm di spessore con varie aperture in pianta, riportate sugli elaborati grafici, tali da permettere il passaggio della condotta da un livello all'altro, il passaggio di un elevatore a fune, il vano scala ed un ulteriore vano per la movimentazione delle valvole ed altre apparecchiature.

All'interno della struttura verrà installata la tubazione in posizione verticale avente diametro di 2000 mm degli snodi di ugual diametro per il prelievo della portata da derivare a varie quote. Tali prese saranno costituite da un tratto convergente tronco-conico, da un giunto di smontaggio e da una valvola capace di parzializzare il prelievo. La valvola sarà comandata da un attuatore elettrico installato direttamente sul corpo valvola.

La tubazione scenderà verso il piede della fondazione della torre di presa, all'interno del quale verrà inghisato un elemento a quattro vie: un tronco verticale in arrivo dalle bocche di presa, una orizzontale in arrivo dalla deviazione provvisoria della galleria di derivazione esistente e prosegue verso il corpo diga e un tronco di tubazione in arrivo dalla bocca di presa più depressa a quota 886,40 m.s.m. Dal convergente si staccherà la tubazione di derivazione in acciaio DN 2000 che proseguirà verso valle del corpo diga, per raggiungere l'edificio di ripartizione in progetto. In questo tratto di condotta verranno installati un venturimetro, un pezzo speciale completo di botola d'ispezione, una valvola per la chiusura rapida della derivazione e un giunto di smontaggio.

Sulla parte frontale delle bocche di presa scorrerà su delle guide metalliche vincolate alla struttura in ca, un pettine comandato dallo sgrigliatore posto sulla copertura dell'edificio sovrastante la torre di presa. Tale sgrigliatore temporizzato e azionabile manualmente in remoto, sarà completo di sistema per la pulizia e la raccolta del materiale captato dalla bocche di presa.

Sull'estremità superiore dell'opera di presa verrà completata da un edificio che fungerà da ingresso alla torre di presa. Verrà realizzato on una struttura in parte in ca gettato in opera, in parte in muratura, con una soletta di copertura in latero-cemento con guaina impermeabile sulla copertura.

Sulla copertura dell'edificio verrà installato il sistema di grigliatura e la vasca per la raccolta e lo smaltimento del materiale recuperato e l'avvisatore acustico per la segnalazione delle operazioni di apertura degli organi di manovra.

All'interno del suddetto edificio verranno anche posizionati i comandi per la movimentazione delle valvole e delle strumentazioni suddette, nonché un carroponete per la movimentazione dei materiali all'interno della torre. La torre di presa sarà dotata di una scala in acciaio zincato che collega i vari livelli della suddetta struttura e di un elevatore a fune per il trasporto del personale.

### ***3.6.2 Scarico di mezzo-fondo***

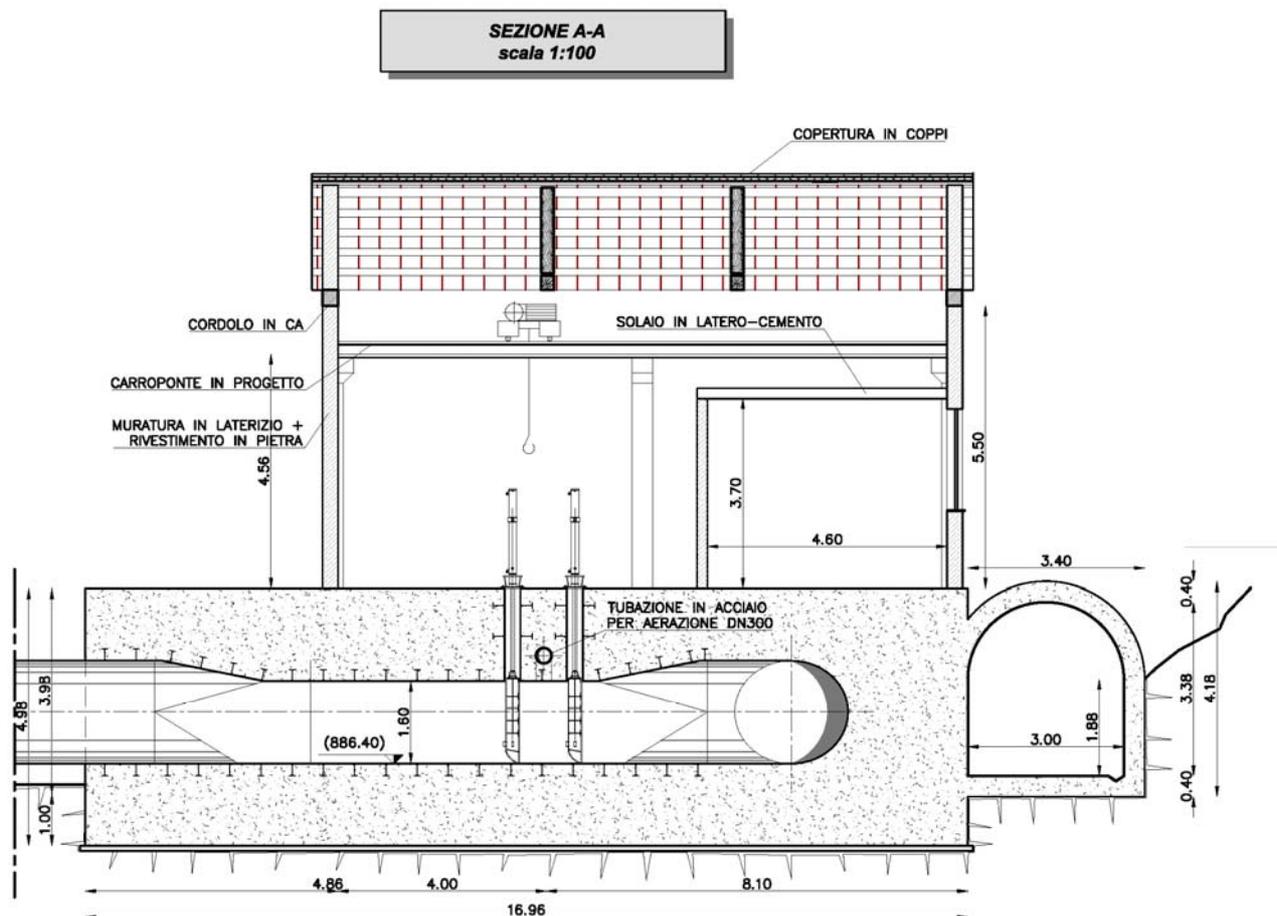
La normativa in vigore prevede, per opere aventi le caratteristiche della diga in progetto, una serie di organi per lo svuotamento dell'invaso che rispondano a precise caratteristiche, principalmente di tipo idraulico. Si rimanda alla relazione idraulica la trattazione dei risultati sul calcolo delle portate esistete dallo scarico di mezzo-fondo, limitandoci nel presente paragrafo alla descrizione della struttura e degli organi di manovra che ne fanno parte.

Lo scarico di mezzo-fondo sarà in grado di esitare con un livello idrico pari alla quota di massimo invaso (954.65 m.s.m.) una portata di 57,6 mc/s e con la quota massima di regolazione (951.00 m.s.m.) una portata di 56,5 mc/s.

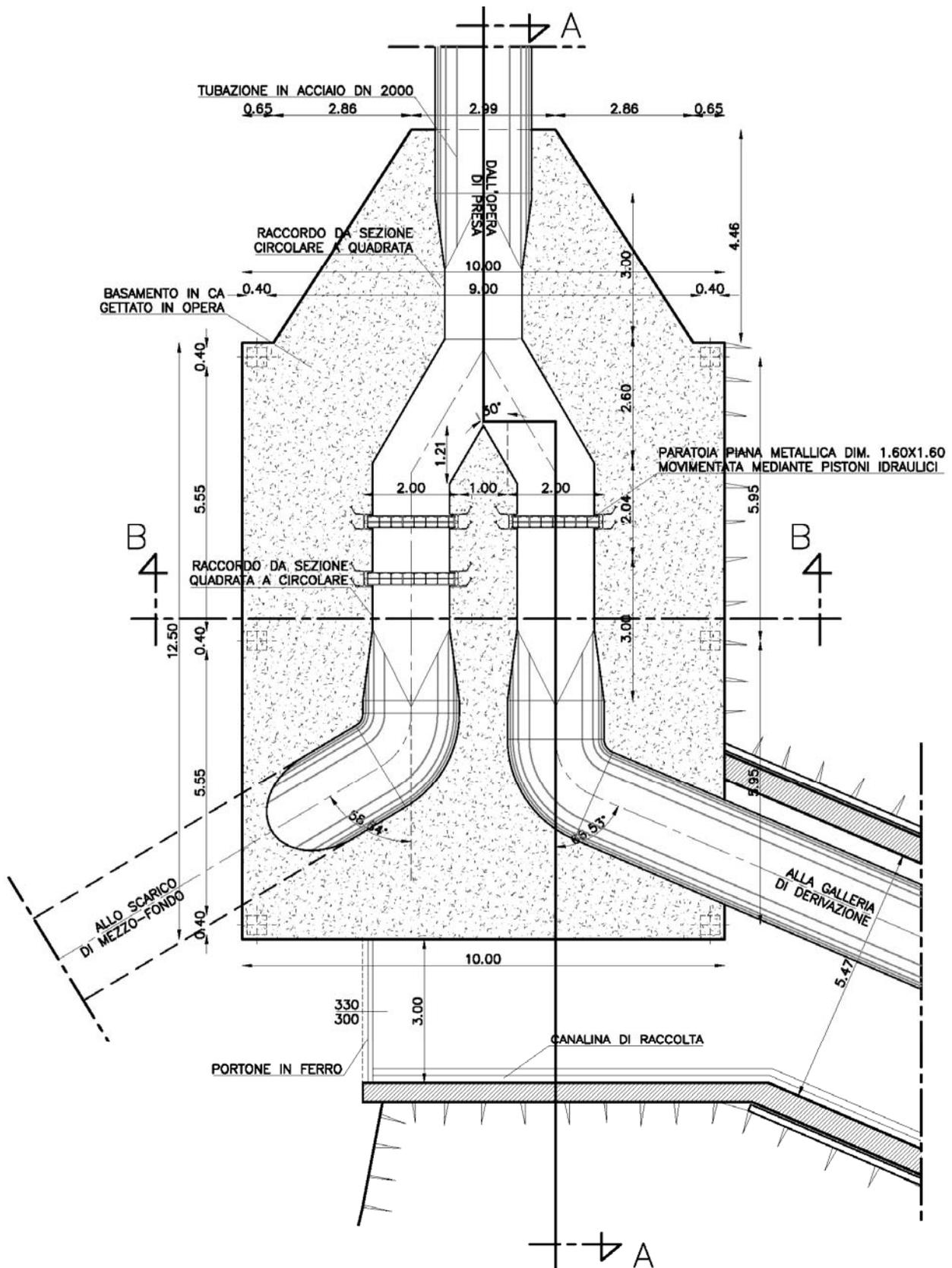
Dall'opera di presa sopra descritta si diparte la tubazione di derivazione che attraversa il corpo diga e fiancheggia il cunicolo intermedio a quota 887,40 m.s.m. (asse tubo). La tubazione sarà posta su selle in cls e dotata di una valvola per la chiusura rapida e un venturimetro completo di misuratore di portata elettromagnetico. La tubazione uscendo dal corpo diga entrerà nell'edificio di manovra in cui avverrà la ripartizione tra scarico di mezzo fondo e galleria di derivazione.

Tale edificio sarà costituito da un basamento in ca gettato in opera con la doppia funzione di blocco di ancoraggio per la tubazione e basamento per l'edificio sovrastante. La condotta sarà collegata ad un convergente per il passaggio dalla sezione circolare a quella quadrata di sezione 1,50 x 1,50 m dal quale si proseguirà con un tratto ad Y, sempre a sezione quadrata. Sui due rami del manufatto a Y, anch'essi di sezione quadrata 1,50 x 1,50 m, verranno poste le paratoie per la ripartizione delle portate. I due rami saranno diretti uno alla galleria di derivazione e quindi alla centrale idroelettrica, l'altro convogliato tramite un convergente e successivamente mediante una tubazione in acciaio DN 2000 verso il letto del torrente Sessera. Tale tubazione verrà posata in uno scavo realizzato sul fianco del versante e scenderà verso il fondovalle per entrare nel getto della parte terminale dello scivolo e essere incanalato in alveo.

Tornando all'edificio di manovra, lo scatolare inglobato nel getto del basamento, sarà realizzato con struttura in acciaio completa di irrigidimenti realizzati con travi in acciaio tipo IPE poste ortogonalmente al verso di scorrimento. All'interno del manufatto a Y verranno ricavati gli incavi per consentano lo scorrimento delle paratoie oleodinamiche, le quali permetteranno la parzializzazione della portata in una direzione piuttosto che in un'altra. Tali paratoie di dimensione 1,50 x 1,50 m avranno tenuta idraulica su quattro lati e struttura tale da sopportare la pressione dell'invaso pieno. La loro movimentazione sarà attuabile per mezzo di pistoni oleodinamici alimentati da una centralina posta all'interno dell'edificio sovrastante. Tale centralina avrà la funzione di alimentare anche le paratoie dello scarico di fondo di cui parleremo in seguito. Come si vede dall'immagine seguente, è stata prevista l'installazione di due paratoie sulla diramazione verso lo scarico di fondo e una paratoia in direzione della galleria di derivazione per ulteriore garanzia sulla possibilità di regolazione in caso di guasto di uno degli organi di manovra.



*Sezione edificio di manovra*



*Pianta edificio di manovra*

Al di sopra del manufatto ad Y verrà realizzato un edificio di controllo e manovra eseguito in parte in ca e in parte in muratura come si evince dai disegni allegati al presente progetto (vedi Tav.29DD). Il tetto sarà realizzata con orditura principale e secondaria in legno e copertura in coppi. Le pareti esterne saranno intonacate e avranno una zoccolatura e degli inserti in lastre di pietra locale locali. La parte edile dell'edificio verrà completata con infissi e portoni in ferro come si può osservare sugli elaborati grafici.

Il locale di manovra sarà accessibile per mezzo di una scala in acciaio zincato con partenza a quota strada e arrivo a quota 889,30 m.s.m., piano di calpestio del futuro locale. Il carico e lo scarico di eventuali apparecchiature potrà avvenire per mezzo di un portone in acciaio posto a quota 889,30 m.s.m. con apertura verso la strada in progetto.

All'interno del locale verranno collocati oltre alla centralina oleodinamica per l'azionamento delle paratoie, i quadri elettrici di comando e un gruppo elettrogeno collocato in un vano a sestante.

In aderenza all'edificio sopra descritto verrà realizzato l'ingresso della galleria di derivazione. La tubazione che si dirama dal manufatto a Y, viene infatti indirizzata verso la galleria di derivazione di nuova realizzazione, lunga circa 50 m, che collega l'edificio suddetto alla galleria di derivazione esistente. Tale galleria realizzata in tradizionale avrà imbocco a quota 884,92 m.s.m. con pendenza verso l'esterno e sezione con diametro di 6,10 m. Le modalità di esecuzione della galleria di derivazione saranno meglio esplicitate nella *relazione geologica* allegata al progetto.

Nei primi 20 m di galleria verrà posata la tubazione di derivazione DN 2000 su delle selle in cls e verrà fiancheggiata da un camminamento per il personale e per i mezzi d'opera. Al termine dei primi 20 m di galleria sarà realizzato un muro in ca a tappare la galleria, in cui verrà ricavata un'apertura per la collocazione di una porta stagna che consenta l'accesso per la manutenzione del proseguo della galleria. Il tratto successivo di galleria sarà dotato di blindatura mediante setti di dissipazione per rompere il getto in arrivo dalla tubazione di derivazione dall'opera di presa. La portata derivata verrà così tramutata in corrente a pelo libero e imbrocherà la galleria di derivazione esistente la quale dirigerà la portata prelevata alla centrale idroelettrica del Piancone.

### **3.6.3 Scarico di fondo**

Come previsto dal comma C.1. del Decreto 24 marzo 1982 "Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento" (di seguito D.M. 82) e dalla "Proposta di aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" della Adunanza del 25 luglio 2008 allegato al protocollo 27/2008 (di

seguito P.A.N.T.), lo scarico di fondo è l'opera che permette, in caso di necessità, di eseguire il vuotamento di almeno il 75% dell'invaso in un tempo inferiore ai 3 giorni.

Nello specifico della diga in progetto, lo scarico di fondo è stato ricavato all'interno del corpo diga in posizione centrale rispetto allo scivolo al fine di mantenere l'asse del torrente quale asse di restituzione a valle.

Lo scarico di fondo sarà in grado di esitare con un livello idrico pari alla quota di massimo invaso (954.65 m.s.m.) una portata di 157,5 mc/s e con la quota massima di regolazione (951.00 m.s.m.) una portata di 154,3 mc/s.

Il canale di scarico avrà sezione variabile da 4,00 x 4,00 m agli imbocchi a 2,00 x 2,50 in corrispondenza delle due paratoie di sezionamento. Lo scatolare dello scarico di fondo inizia a quota 866,58 m.s.m. con una sezione 4,00 x 4,00 m che curva inizialmente verso il basso per proseguire sino a quota 863,82 m.s.m., quota di fondo degli organi di manovra. Lo scarico di fondo verrà regolato tramite un sistema di due paratoie in serie con sezione netta 2,00 x 2,50 m le cui caratteristiche meccaniche sono riportate nella relazione strutturale allegata al progetto. Le paratoie avranno un sistema di movimentazione oleodinamico mediante una linea di trasmissione del fluido pneumatico dalla centralina di alimentazione posta nel locale dello scarico di mezzo-fondo. Vi sarà la possibilità di pressurizzare manualmente il sistema di alimentazione delle paratoie mediante una pompa manuale. È prevista l'installazione di un tiretto al fine di poter posizionare una piccola paratoia e poter così sezionare la paratoia di monte per l'esecuzione di eventuali operazioni di manutenzione 4,00 x 4,00 m. Tale sezione verrà mantenuta in fase di cantiere per l'esitazione a pelo libero delle portate di piena. Il blocco paratoie e il restringimento alla sezione 2,00x 2,50 m verrà creato a fine getti mediante la realizzazione di un convergente in acciaio, completo di irrigidimenti ed intasato di calcestruzzo.

Il canale di scarico ultimerà in corrispondenza del tratto terminale del salto da sci, a quota 863,00 m.s.m. Tutto il tratto in questione sarà blindato mediante l'inghisaggio all'interno del getto dello scatolare in acciaio avente spessore di 15 mm e irrigidimenti eseguiti con profili IPE 150. Verrà posata una tubazione DN 500 in acciaio con la funzione di by-pass sulla prima paratoia. Tale tubazione passante all'interno del locale di manovra delle paratoie, sarà manovrabile tramite una valvola a farfalla motorizzata. L'aerazione della vena fluida defluente a valle delle paratoie verrà garantita da una tubazione in acciaio DN 800 che collega il tratto divergente con l'esterno della diga e con il locale di manovra tramite una flangia cieca da utilizzare come ingresso per eventuali opere di manutenzione. L'aeroforo sarà a doppia presa per il controllo della laminarità della corrente in corrispondenza dei cambi di sezione dello scarico di fondo.

Il locale sovrastante la blindatura dello scarico di fondo sarà un locale di circa 70 mq, dotato di un carroponete per la movimentazione delle paratoie. Tale locale che ospita le paratoie oleodinamiche suddette e gli organi di manovra in genere dello scarico di fondo è raggiungibile, oltre che dai cunicoli d'ispezione, anche dall'esterno mediante l'apertura a quota 915,00 m.s.m. di dimensioni carrabili.

Il deflusso minimo vitale non sarà però rilasciato tramite la parzializzazione delle paratoie dello scarico di fondo ma, per mezzo di un tubazione in acciaio DN 250 che pescherà direttamente dal bacino, convoglierà la portata destinata al rilascio ad una turbina in modo da sfruttare il salto di rilascio della portata prevista. La turbina sarà preceduta da una valvola a farfalla e da un misuratore di portata per eseguire una verifica sull'effettiva portata rilasciata. La turbina sarà di tipo Francis orizzontale avente portata massima 1,00 mc/s con la possibilità di recuperare dal turbinamento della portata di DMV sino a 750 Kw.

La turbina avrà la possibilità di essere by-passata grazie a una tubazione di scarico in acciaio DN 150 che scarica direttamente nello scatolare dello scarico. Il tutto sarà ospitato in una camera con caratteristiche simili a quelle dello scarico di fondo, completa di impianti elettrici, linee segnali e carroponete.

### **3.6.4 Scarico di superficie**

Sempre il paragrafo C.1. del Regolamento definisce le caratteristiche idrauliche che devono avere gli scarichi di superficie delle dighe, definendo la portata di piena che questi devono esitare. Nel caso specifico, lo scarico superficiale sarà realizzato in corpo diga con risvolto a salto di sci in asse al torrente Sessera al fine di ottimizzare sia l'entità delle opere di restituzione verso valle della portata sfiorata nonché quelle dello scarico di fondo. L'opportunità infatti di realizzare uno sfioratore con restituzione a salto di sci, grazie alle ottime caratteristiche di resistenza meccanica della roccia in alveo, consente di ridurre al minimo le opere di canalizzazione da monte a valle con conseguente notevole economia di spesa.

Lo sfioratore centrale sarà costituito da quattro diverse luci da 13,50 m, separate da pile con la parte di monte e di valle circolari con diametri a monte di 1,66 m e a valle di 1,60 m. Le superfici laterali delle pile risultano convergenti in direzione del centro di curvatura dell'arco dello sfioratore.

Questo fa sì che la luce di sfioro risulti leggermente convergente e imbocchi lo scivolo che, subito a valle delle pile presenta una larghezza netta di 58,00 m. La superficie sfiorante sarà costituita da un profilo di tracimazione USBR-WES, del tipo Scimeni-Creager con quota di soglia a 951.00 m.s.m. Nel verificarsi di un evento di piena con tempo di ritorno di 1000 anni l'escursione

del bacino sarà pari a 3,65 con una quota di massimo invaso di 954,65 m.s.m. Tale quota di invaso permetterà lo smaltimento della piena massima millenaria presumibile di 817 m<sup>3</sup>/s.

I dati dimensionali dello sfioratore superficiale sono i seguenti:

- Luce netta sfioratore: 54,00 m
- N° di luci: 4
- Dimensione delle singole luci: 13,50 m
- Quota profilo sfiorante: 951,00 m.s.m. (quota massima di regolazione)
- Portata sfiorante (Tr 1000 anni): 817 mc/s
- Quota sfiorante (Tr 1000 anni): 954,65 m.s.m. (quota di massimo invaso)
- Franco (Tr 1000 anni): 2,75 m.

La decisione di creare quattro luci sfioranti da 13,50 m anziché un numero maggiore con dimensioni unitarie minori, è dovuta alla necessità di garantire il passaggio di eventuali corpi galleggianti, principalmente alberi, che potrebbero essere portati dalla corrente. Per tale motivo la luce dello sfioro è stata dimensionata per permettere il passaggio di alberi le cui dimensioni sono riferibili a quelle presenti nel territorio a monte dello sbarramento.

Per una più estesa trattazione dei calcoli idraulici della portata esitata dallo sfioratore superficiale e delle verifiche sullo scivolo si rimanda alla *Relazione idraulica* allegata al presente progetto.

#### **4 OPERE ACCESSORIE**

Il presente progetto prevede, oltre allo sbarramento sul torrente Sessera, una serie di opere complementari alla funzionalità della diga stessa, che nel caso specifico riguardano principalmente la viabilità esistente. È infatti previsto nel presente progetto, interventi funzionali sulla viabilità esistente per permettere la fruibilità durante il cantiere da parte dei mezzi d'opera e la realizzazione di nuove strade da realizzarsi in fase di cantierizzazione ma mantenute a lavori ultimati.

Di seguito si riporta una descrizione sommaria degli interventi accessori alla nuova diga rimandando agli elaborati grafici dalla Tav. DD32 alla Tav. DD44 una più esaustiva spiegazione degli interventi previsti.

#### **4.1 Adeguatezza strade esistenti**

Attualmente la viabilità di accesso al sito diga è costituita essenzialmente da strada sterrate.

A partire dal paese più vicino, cioè Castagnea, frazione di Trivero, si snodano 13.400 m di strade sterrate che si possono suddividere in tre tronchi:

- Castagnea - Santuario Novareja L=2.600 m
- Santuario Novareja – Centrale del Piancone L=2.900 m
- Centrale del Piancone – diga L=7.900 m

Il primo tratto presenta un tracciato per lo più pianeggiante con una costante manutenzione da parte degli enti locali. Per tale motivo non risulta necessario eseguire interventi di manutenzione su tale tratto fatta eccezione per ricariche frequenti nell'ambito del cantiere.

Il secondo tratto necessita di interventi di varia entità. È prevista infatti la sostituzione dei parapetti in acciaio verniciato con barriere stradali in acciaio-legno, in parte vincolati su cordoli in ca esistenti, in parte vincolati a terra mediante carotaggio della roccia naturale e cementazione del foro con inghisato il montante del guard-rail.

La morfologia della strada e la natura della roccia entro cui è stata ricavata ha creato localmente fenomeni di instabilità che necessitano di interventi di consolidamento. I più ricorrenti sono legati a franamenti delle coltri che ricoprono lo strato roccioso sottostante. Tale problematica verrà affrontata mediante la realizzazione di gabbionate con pietra locale.

Localmente verranno eseguiti anche interventi sui compluvi mediante la posa di condotte in ca turbocentrifugato DN 60 e 100 o per quelli di dimensioni maggiori degli scatolari in CAV. A monte dell'imbocco della tubazione verrà posizionata una griglia selettiva costituita da pali in legno inghisati nel getto del manufatto di captazione posto a monte della strada.

Il terzo tratto di strada verrà riqualificato con interventi simili a quelli sopra evidenziati con un'incidenza maggiore vista il minor intervento di manutenzione attuato negli anni.

Su tutta la viabilità verranno realizzate ricariche stradali con misto stabilizzato sp. 20 cm durante le fasi di cantiere con cadenza minima annuale, mentre la sistemazione finale verrà realizzata mediante il riutilizzo del materiale proveniente dalle demolizioni delle strutture provvisorie in cls del cantiere debitamente e della diga esistente, debitamente frantumati e vagliati, privati dei ferri d'armatura e aggregati con collante sintetico per uno spessore finito di 25 cm.

## **4.2 Strade di nuova realizzazione per l'accesso al corpo diga**

Attualmente la viabilità di accesso alla diga esistente è costituita da una strada bianca realizzata a mezza costa sul versante in sponda sinistra e collega la casa di guardia esistente alla diga delle Mischie. Tale strada che corre circa a quota 915 m.s.m verrà a coincidere con la quota di ingresso al cunicolo intermedio della diga esistente. Su tale strada non verranno eseguiti interventi difformi da quelli già descritti nel capitolo precedente. A completamento di tale viabilità si andrà a realizzare ulteriori due tronchi stradali che collegheranno la strada suddetta al coronamento della diga in progetto e l'accesso al cunicolo inferiore e allo scarico di fondo.

Il primo tronco stradale, definito tratto A-B partirà da quota 906 m.s.m per terminare a quota coronamento, posto a quota 957,40 m.s.m. La suddetta strada verrà realizzata mediante scavo in roccia sul fianco del versante in sponda sinistra della valle. Il secondo tronco stradale definito C-D partirà da quota 913,00 m.s.m per arrivare a quota 888,43 m.s.m. che corrisponde alla quota d'imbocco dello scarico di fondo.

Vista l'accidentalità del percorso e della roccia presente in sito, localmente verranno realizzate opere di sostegno quali muri di contenimento i quali avranno altezze variabili a seconda dei casi. I muri di maggiori dimensioni saranno dotati di opere di sottofondazione mediante micropali  $L=12,0$  m con perforazione di 200mm a interasse di 1,50 m, armati con tubo di diametro 168,3 mm e spessore 10 mm. Il muro verrà inoltre tirantato mediante tiranti perforati per una lunghezza di 14,00 m, di cui 8,00 m liberi e 6,00 m costituenti il bulbo.

I compluvi verranno convogliati mediante tubazioni in ca o scatolari in cav come previsto per i tratti di strada in avvicinamento alla diga e descritti nel capitolo precedente. Nei tratti di monte in cui si riscontrano scivolamenti della coltre o franamenti localizzati si procederà alla realizzazione di gabbionate realizzate con pietre locali e sacchi di juta con terreno vegetale inerbato mediante idrosemina. Nei tratti in roccia con presenze di dissesto si procederà alla realizzazione di chiodature passive, eseguite mediante perforazioni con profondità di 6 m e infilaggio di barre di acciaio  $\phi$  24mm disposte a maglia quadrata 2,50mx2,50m.

Sui tratti sopra descritti verrà posata una barriera in acciaio-legno di classe N2, verrà eseguita la stessa ricarica prevista per le strade esistenti e verrà realizzato un linea di illuminazione della sede stradale a partire dalla nuova strada del custode.

Si rimanda agli elaborati grafici la rappresentazione delle tipologie di sezione stradale e degli interventi di consolidamento previsti.

### 4.3 *Casa di guardia*

Tra le opere accessorie a servizio della diga esistente rientra l'attuale casa di guardia, in cui il custode pernotta, per espletare il suo servizio di vigilanza sull'opera esistente.

E' prevista la realizzazione di un nuovo fabbricato per l'alloggiamento del custode e l'installazione delle nuove strumentazioni per il monitoraggio del nuovo sbarramento.

La posizione individuata differisce da quella che attualmente ospita l'edificio di guardiania della diga esistente per i seguenti motivi:

- la posizione attuale è troppo angusta per le dimensioni dell'edificio in progetto che deve rispondere a più moderni criteri di efficienza e comfort oltre a dover ospitare molte più funzioni;
- non si vuole creare interferenza con le funzioni di gestione dell'invaso attuale durante la fase di costruzione della nuova diga;
- il nuovo sito di edificazione risulta climaticamente molto meglio esposto del vecchio in quanto a soleggiamento, cosa non trascurabile in considerazione della quota e dell'angustezza della vallata.

Il fabbricato è stato studiato per richiamare nel suo aspetto esteriore un fabbricato tipico del luogo. L'edificio sviluppato su due piani fuori terra, presenta una finitura esterna in intonaco verniciato e scampoli di pietra locale a fare da zoccolo e angolari sulla struttura. Con una perlinatura in legno si è realizzata una fasciatura della parte di parte subito sottostante il tetto. La copertura sarà realizzata mediante una struttura con orditura principale e secondaria in legno, completa di copertura in lose di pietra.

Al piano terra verranno ricavati un mini-alloggio per il custode supplente e facente funzione di foresteria completo di bagno, cucinetta e soggiorno-letto, un ampio locale per l'installazione dei quadri di comando e controllo della diga nonché una sala riunioni con annesso servizio igienico. Al primo piano verrà realizzato l'appartamento per il custode titolare completo di soggiorno, due camere da letto, doppio bagno, cucina e lavanderia. Al piano interrato, raggiungibile tramite una rampa di collegamento alla strada di accesso alla diga, verrà ricavata un'autorimessa per due autovetture completa di officina, un locale cantina e un locale centrale termica.

In posizione prospiciente alla casa di guardia, dall'altra parte della strada di accesso alla diga, è ubicato un secondo piccolo edificio destinato ad attività di servizio. Esso, ad un solo piano e

realizzato con la stessa attenzione edilizia dedicata all'edificio principale, ospiterà il gruppo elettrogeno della diga nonché i trasformatori e quadri elettrici della fornitura elettrica.

Per quanto concerne il collegamento elettrico ma anche telefonico e dati, le rispettive linee, debitamente protette, saranno posate all'interno dell'esistente galleria di adduzione dell'acqua derivata alla centrale idroelettrica Piancone I fino al raggiungimento della anzidetta centrale. Tale sito è già attualmente e confortevolmente collegato a tutti i servizi di rete.

Si rimanda alla tavola DD44 del progetto per la rappresentazione grafica della struttura.

#### **4.4 *Cantierizzazione e fasi di lavoro***

La realizzazione di opera quale la diga in progetto, richiede non solo uno studio dell'opera nella sua completezza, ma anche un'attenta analisi sulle metodologie di cantierizzazione e gestione delle fasi di lavoro.

Prima di definire le caratteristiche e le dimensioni del cantiere è stata fatta un'attenta analisi delle vie di accesso, i luoghi di approvvigionamento, i volumi di materiali in gioco e le tempistiche di esecuzione. Questi dati si sono dovuti poi calare sul territorio che, vista la sua asperità, riduceva le possibilità di un'agevole fruizione e una scarsa possibilità di lavorare grossi volumi in breve tempo.

Un'attenta analisi sulle modalità di movimentazione del materiale, con l'intento di creare il minor impatto possibile sul territorio, ha portato ad effettuare scelte che, seppur economicamente più onerose di sistemi di trasporto più tradizionali, risultano sicuramente meno impattanti.

Si rimanda alla “*Relazione sulle modalità di cantierizzazione e di approvvigionamento dei materiali per il nuovo sbarramento e per le principali opere connesse*” per una più approfondita analisi delle fasi di allestimento del cantiere, dei volumi movimentati e sulla gestione delle lavorazioni.

##### **4.4.1 *Il sistema di trasporto***

Visti i notevoli volumi di materiale previsti per la realizzazione dell'opera in progetto, si è dovuto analizzare attentamente le metodologie di vettoriamento del materiale conformemente alle fasi esecutive dell'opera. La produzione giornaliera di calcestruzzo si attesterà su un volume di circa 600 mc, quantità che risulta difficilmente trasportabile su gomma vista la difficoltà di fruizione del tratto di strada tra Trivero e il sito di lavoro.

Si è deciso pertanto di sfruttare la viabilità provinciale esistente dai luoghi di approvvigionamento al nodo di smistamento in località Granero (Frazione di Portula) che è stato individuato come primo centro di stoccaggio e smistamento.

Tale area di cantiere, ricavata in prossimità dell'incrocio che porta all'abitato di Coggiola dalla S.P. 113, è ubicata al piede del rilevato stradale che delimita il tornante e ha facile accesso alla viabilità provinciale esistente. Da questa zona si inizierà ad aprire la galleria di servizio che condurrà al nodo di monte. La galleria avrà la funzione principale di ospitare la condotta forzata in arrivo dall'opera di captazione in prossimità del nodo di monte. In fase di cantierizzazione e quindi provvisoriamente, ospiterà le tecnologie necessarie al trasporto dei materiali per la realizzazione del nuovo invaso.

Il materiale, inizialmente stoccato in silos o trincee nel nodo di smistamento, verrà fatto circolare nella galleria costruita ad hoc per la futura condotta. Il trasporto in galleria verrà eseguito mediante nastro trasportatore necessario al trasporto degli inerti o treno elettrico, quest'ultimo mantenuto dopo l'ultimazione dello smarino a seguito dello scavo della galleria stessa, per il trasporto dei materiali vari e del cemento.



Sopra esempi di nastro trasportatore e treno elettrico

Il materiale percorrerà così il tratto tra Granero e la centrale del Piancone senza alcuna interferenza con l'ambiente circostante e senza andare ad usare le piste di montagna esistenti, se non per il transito di mezzi leggeri per il trasporto del personale.

Il materiale, dopo questa prima fase di trasporto, giungerà al “nodo di monte” in località Piancone. In questa area non vi sono attualmente gli spazi idonei ad ospitare le infrastrutture necessarie allo stoccaggio ed allo smistamento dei materiali da costruzione destinati al corpo diga nel cantiere di monte.

Per poter creare quindi un'adeguata area da destinare allo smistamento dei materiali dal nodo di valle sarà necessario realizzare un piazzale che servirà in primis per l'estrazione della fresa che realizzerà la galleria e successivamente come deposito preliminare per i materiali necessari alla costruzione della piattaforma del capannone (tav. C07).

Per la realizzazione di questo piazzale (tav. C06) in destra orografica a monte del ponte esistente, sarà necessario innanzi tutto demolire la struttura adibita attualmente a deposito e successivamente elevare un nuovo muro di contenimento in c.a. che si andrà in un secondo tempo a riempire con materiale proveniente dall'attiguo scavo dell'opera di captazione andando a raggiungere la quota di progetto 601,75 m.s.m. (quota del piano di camminamento).

La piattaforma ospiterà la partenza della teleferica, l'arrivo della ferrovia e l'area di stoccaggio. Verrà realizzata al di sopra del torrente Sessera previa realizzazione di opportuni setti in cemento armato per il sostegno della struttura (tac. C06 sez. B-B e C07) e avrà una forma trapezia.

Al di sopra della piattaforma si realizzerà il capannone in carpenteria metallica che andrà a coprire la parte destinata allo stoccaggio ed alla movimentazione dei materiali da costruzione (tav. C07 e C08). La costruzione avrà una struttura portante in capriate in acciaio ed una copertura in lamiera d'acciaio.

Nel nodo di monte verrà ubicata la stazione di partenza della teleferica in progetto che fungerà da collegamento tra il suddetto centro di smistamento e il cantiere della diga. La linea teleferica avrà un tracciato continuo e rettilineo, privo di stazioni intermedie, per una lunghezza totale di 3550 m ed un dislivello di 333 m. La linea si svilupperà lungo la stessa direttrice dell'attuale galleria, con il conseguente vantaggio di richiedere minimi disboscamenti e sbancamenti. Il sistema previsto è una teleferica bifune a moto continuo, progettata per trasporto di 150 tonnellate/ora di materiali sfusi. Sono previsti vagonetti con capacità di 0.8 m<sup>3</sup> o 1100 kg, spazati di 26 s.



Il carico e lo scarico del materiale dai vagoni avviene automaticamente, fatta eccezione per i materiali speciali per i quali esiste un'apposita corsia di rallentamento e sgancio per permetterne lo scarico in sicurezza



#### ***4.4.2 La cantierizzazione della diga***

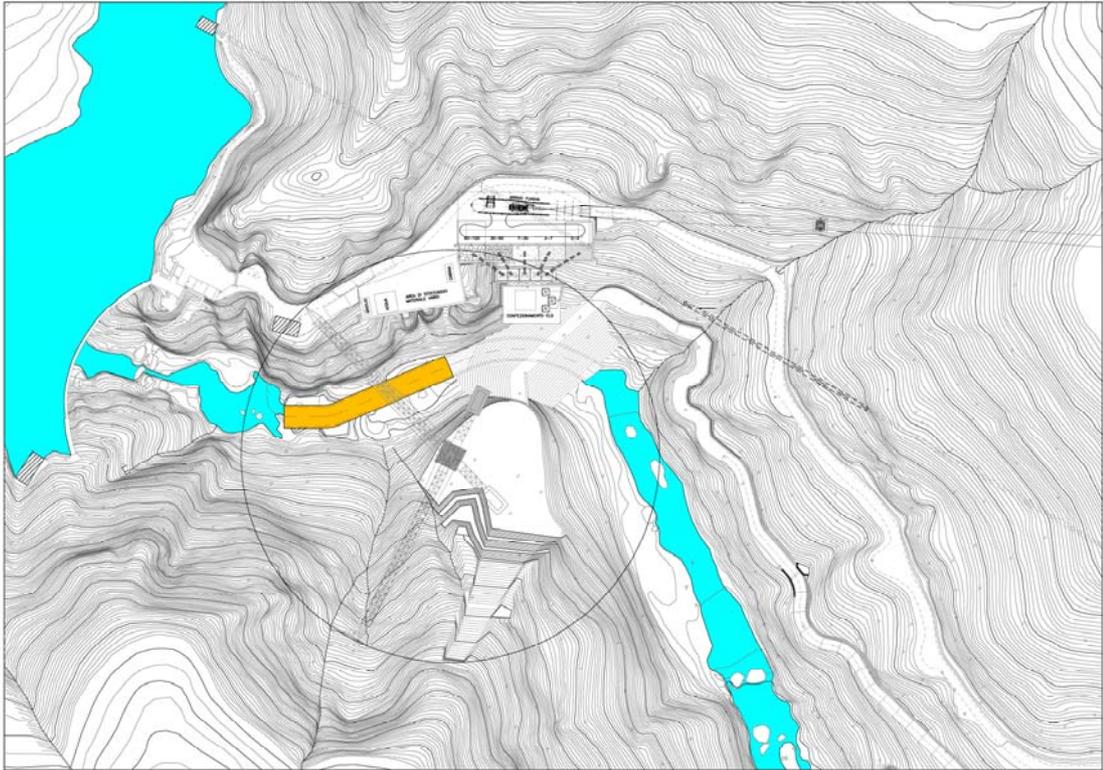
Giunti nella stazione di monte, con modalità analoghe al caricamento, i vagoncini con gli inerti verranno scaricati in vasche di accumulo posizionate al di sotto del piano di arrivo posto a quota 916,00 m.s.m.. Le vasche saranno cinque come il numero di pezzature di inerti necessari al confezionamento del calcestruzzo e avranno capacità unitaria di circa 2.000 m<sup>3</sup>. Anche in questa stazione i vagoncini potranno essere tolti dalla linea principale per permettere lo scarico dei materiali diversi dagli inerti. Il trasporto degli inerti riguarderà essenzialmente le tre classi con pezzature minori, mentre le due classi maggiori saranno prodotte direttamente in sito mediante la frantumazione delle rocce derivanti dagli scavi.

Il cemento verrà trasportato in appositi vagoni coperti e scaricati mediante un sistema di caricamento e scaricamento ad aria compressa. Sia il cemento che gli additivi saranno stoccati in silos verticali posti ai piedi della struttura.

La struttura sarà realizzata in ca gettato in opera, con pilastri di dimensione 1,00x1,00 m di altezze variabili, travi di dimensione 0,70x1,50 m e 0,40x0,70 e solai in latero-cemento.

La struttura ospitante la stazione di arrivo della teleferica sarà realizzata a quota 916,00 m.s.m., in parte ricadente sulla struttura sopra descritta e in parte su una platea in ca. La struttura, eseguita in acciaio, sarà simile a quella prevista per il nodo di smistamento del Piancone e ospiterà, oltre alla stazione di arrivo della teleferica, un'area per il distacco dei carrelli e lo scarico degli stessi nelle vasche di stoccaggio.

Come detto, il volume di roccia derivante dallo scavo della diga risulterà nell'ordine di circa 120.000 m<sup>3</sup> che, una volta stoccato a causa del rigonfiamento naturale del materiale smosso risulterà volumetricamente pari a circa 150.000 m<sup>3</sup>. Questo materiale verrà ad essere stoccato sul fondo valle, previa realizzazione di un condotto scatolare in ca. Tale scatolare di dimensioni interne 4,00 x 6,00 m avrà pareti di spessore 1,00 m e uno sviluppo di circa 120 m, realizzato in due fasi successive, come riportato negli elaborati di progetto, al fine di seguire l'avanzamento degli scavi.



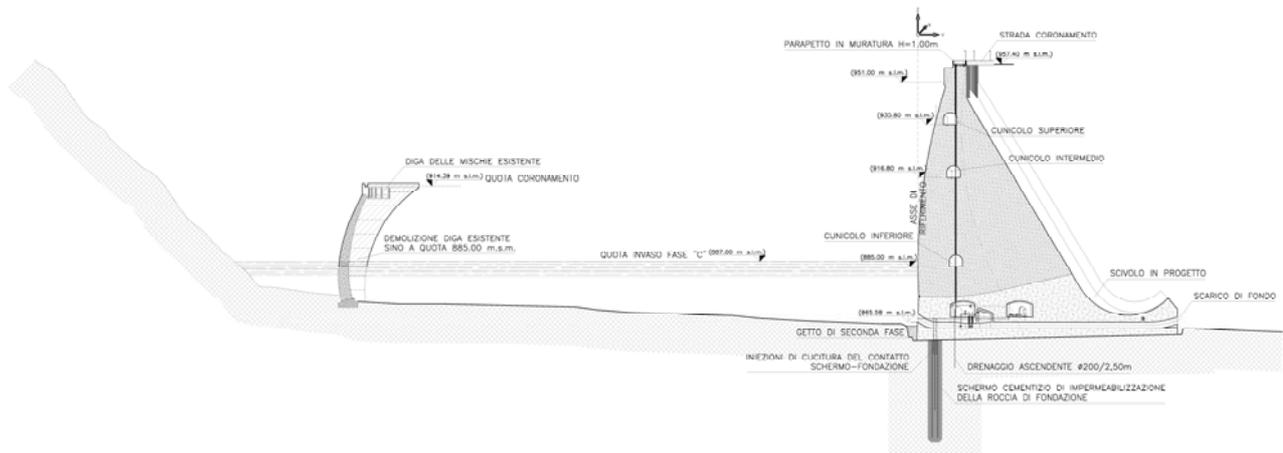
Lo scatolare è stato progettato per permettere l'evacuazione della portata di piena del torrente in condizioni ordinarie. La prosecuzione della realizzazione della diga porterà alla riduzione del terrapieno creato nell'alveo del torrente sino ad esaurimento del materiale stoccato e verrà riportato alla luce lo scatolare suddetto. Ultimata quindi il corpo diga si procederà alla demolizione sia dello scatolare che delle altre opere di cantiere.

La fase successiva comporterà l'esecuzione degli invasi sperimentali e la conseguente demolizione dello sbarramento esistente, come descriveremo nel paragrafo seguente.

#### ***4.4.3 Demolizione sbarramento esistente e gestione invasi sperimentali***

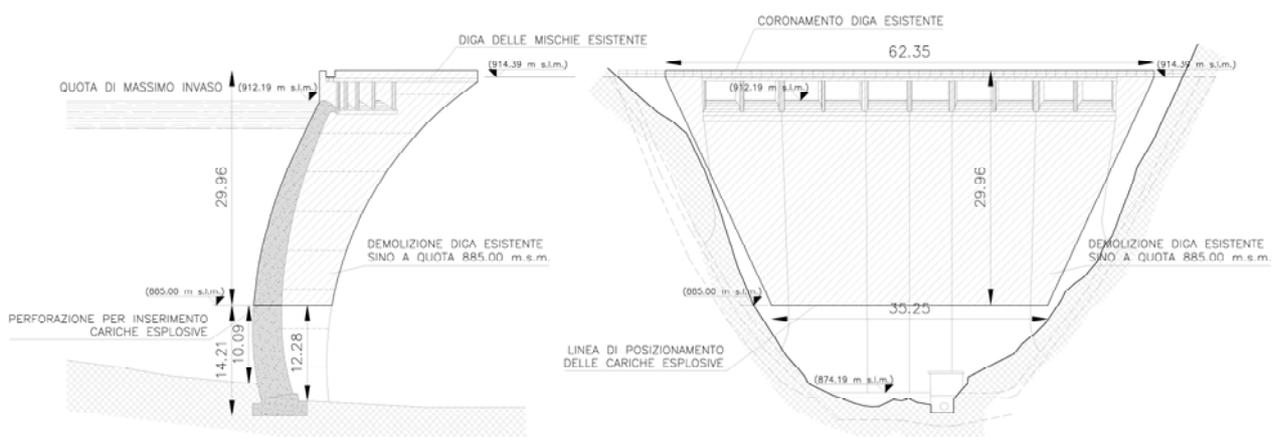
Il sito della nuova diga è stato scelto come detto per le sue caratteristiche morfologiche e litologiche, per la possibilità di sfruttare le opere di derivazione esistenti e per la possibilità di occultamento della diga esistente mediante la sua sommersione all'interno del nuovo bacino.

Come detto in precedenza la diga in progetto sorgerà a circa 200 m da quella esistente. Tale opera in seguito alla costruzione di quella nuova dovrà essere demolita. La demolizione di opere strutturalmente così complesse richiedono accorgimenti tecnici particolari.



Per tale motivo si è optato per la soluzione della demolizione controllata, vista che all'atto della demolizione si avrà la concomitante presenza della nuova opera di sbarramento subito a valle e vista la difficoltà di intervenire con mezzi di demolizione più convenzionali nella stretta conformazione valliva.

La demolizione verrà eseguita mediante perforazione sulle linee di rottura prestabilite della struttura in calcestruzzo, al fine di poter ubicare le cariche esplosive. Le operazioni di perforazione e di brillamento verranno eseguite per conci e dovranno essere eseguite in modo tale da poter spezzare durante l'esplosione anche i ferri d'armatura. Durante la fase di demolizione verrà monitorata la nuova diga per verificare la presenza di ripercussioni sulla struttura appena realizzata, nonostante la distanza e le tecniche di demolizione utilizzate non diano ambito a possibili iterazioni tra le due strutture.



La demolizione della struttura esistente verrà eseguita durante le fasi di esecuzione degli invasi sperimentali come meglio descritto nella relazione sulla cantieristica dell'opera.

Il materiale derivante dalla demolizione verrà ridotto in pezzature trasportabili e, per quanto concerne l'inerte, frantumato e utilizzato per le ricariche stradali, per quanto riguarda il ferro d'armatura portato in apposite discariche.

## 5 RIEPILOGO DI SPESA

Il preventivo di spesa per la realizzazione della nuova diga ammonta a complessivi € 150.050.000,00.

I prezzi unitari utilizzati fanno riferimento al prezziario regionale approvato con D.G.R. n° 34-10910 del 02.03.2009.

La stima eseguita è comprensiva sia dei costi di costruzione da assoggettare a ribasso d'asta contrattuale, che di quelli afferenti alla sicurezza fisica dei lavoratori e del cantiere che saranno esclusi dalle migliori di gara.

Il riepilogo del costo dell'opera, nei modi e nelle forme dell'Art. 17 del D.P.R. 554/99, è riportato nella pagina seguente.

### A) LAVORI:

#### LAVORI A MISURA:

##### Diga - strade di accesso:

Demolizioni, scavi e movimenti di materie	€	98.420,40
---	---	-----------

##### Diga - Sistemazioni finali nodo di uscita loc. Piancone:

Sistemazioni ambientali	€	1.186,42
-------------------------	---	----------

##### Diga - Opere provvisionali:

Demolizioni, scavi e movimenti di materie	€	435.416,20
---	---	------------

<b>TOTALE LAVORI A MISURA</b>	€	<b>535.023,02</b>
-------------------------------	---	-------------------

#### LAVORI CORPO:

##### Diga - Strade di accesso:

Demolizioni, scavi e movimenti di materie	€	1.597.678,23	€	3.471.589,21
Cls. semplici, armati e prefabbricati	€	283.575,60		
Acciaio per c.a.	€	79.864,16		
Casseri	€	33.641,37		
Tubazioni	€	15.790,32		
Opere speciali	€	338.481,36		
Varie	€	1.122.558,17		

<b>Diga - Opere provvisionali loc. Granero:</b>		€ 891.146,68
Demolizioni, scavi e movimenti di materie	€	199.786,77
Cls. semplici, armati e prefabbricati	€	170.569,77
Acciaio per c.a.	€	302.092,12
Casseri	€	44.640,41
Tubazioni	€	9.312,03
Opere elettromeccaniche	€	157.376,86
Varie	€	7.368,72

<b>Diga - Opere provvisionali nodo di uscita loc. Piancone - galleria tratto "B":</b>		€ 2.799.471,17
Demolizioni, scavi e movimenti di materie	€	426.672,97
Cls. semplici, armati e prefabbricati	€	266.351,33
Acciaio per c.a.	€	259.860,14
Casseri	€	37.933,69
Coperture	€	98.239,64
Carpenterie metalliche	€	1.631.028,59
Opere elettromeccaniche	€	71.764,06
Varie	€	7.620,75

<b>Diga - Sistemazioni finali nodo di uscita loc. Piancone - galleria tratto "B":</b>		€ 684.518,68
Difese in massi	€	24.296,26
Cls. semplici, armati e prefabbricati	€	176.639,16
Acciaio per c.a.	€	301.522,18
Casseri	€	36.628,78
Varie	€	145.432,30

<b>Diga - Opere provvisionali:</b>		€ 17.872.374,07
Demolizioni, scavi e movimenti di materie	€	439.529,76
Cls. semplici, armati e prefabbricati	€	1.107.319,60
Acciaio per c.a.	€	729.649,08
Casseri	€	214.382,24
Tubazioni	€	54.411,23
Carpenterie metalliche	€	1.450.913,77
Opere elettromeccaniche	€	13.849.684,06
Varie	€	26.484,33

<b>Diga - Corpo diga:</b>		€ 52.737.193,00
Demolizioni, scavi e movimenti di materie	€	4.168.530,23
Cls. semplici, armati e prefabbricati	€	38.197.404,01
Acciaio per c.a.	€	1.451.890,14
Casseri	€	2.111.918,20
Impermeabilizzazioni	€	92.932,21
Murature, intonaci	€	38.360,12
Solai	€	5.411,04
Coperture	€	19.097,38
Pavimenti, rivestimenti, opere in pietra	€	73.124,19
Serramenti	€	16.597,52
Tubazioni, apparecchiature idrauliche	€	1.448.362,06
Opere speciali	€	1.791.987,49
Opere elettromeccaniche	€	1.863.605,22
Varie	€	1.457.973,19

**Diga - Impianto elettrico**

€ 1.138.163,31

Illuminazione esterna e cavidotti principali	€	223.536,54
Illuminazione interna, FM, tubazioni e canalizzazioni	€	248.642,15
Cavi elettrici e di segnale	€	162.055,50
Impianto citofonico di servizio	€	10.390,00
Impianto TV	€	2.140,00
Impianti casa custode	€	20.720,45
Quadri elettrici, trasformatori, gruppi di continuità	€	195.187,49
Impianti di terra	€	14.612,58
Impianti di videosorveglianza	€	55.815,00
Impianti antintrusione	€	46.167,60
Sistema di automazione per ricezione e trasmissione segnali e comandi	€	92.400,00
Sistemi di supervisione edifici	€	66.496,00
<b>TOTALE LAVORI A CORPO</b>		<u>79.594.456,12</u>

- Opere a misura	€	535.023,02
- Opere a corpo	€	79.594.456,12
<b>TOTALE COSTO DI COSTRUZIONE A)</b>	€	<u>80.129.479,14</u>

**Oneri sicurezza determinati ai sensi Aut. Vig. LL.PP. Determinazione n° 4/2006 del 26/07/2006****CSC - Costi della Sicurezza Contrattuali**

derivanti dalla particolarità dell'intervento come evidenziato nel piano della Sicurezza e computati analiticamente

€ 2.000.000,00

Sommano € 2.000.000,00

- Importo lavori da assoggettare a ribasso d'asta	€	80.129.479,14
- Spese complessive della Sicurezza non soggette a ribasso d'asta	€	2.000.000,00

**TOTALE A) € 82.129.479,14 € 82.129.479,14****B) SOMME A DISPOSIZIONE (Art. 17 D.P.R. 554/99):**

* Opere necessarie per la riduzione dell'impatto ambientale delle opere, di ripartizione del beneficio idrico per gli abitati sottesi dall'invaso, per l'attuazione degli interventi mitigativi della cantierizzazione ed interventi di compensazione come individuati nella procedura di V.I.A. e negli accordi territoriali. Interventi di ampliamento dell'integrazione irrigua di soccorso ai comprensori limitrofi delle aree del Cervo e dei Comuni di Vigliano e Valdenigo	€	24.000.000
* Acquisto di locomotore elettrico a batteria la manutenzione della condotta primaria in galleria per pendenze massime del convoglio senza l'uso di cremagliera fino al 4% con uso di cremagliera fino al 20%	€	160.000,00
* Fornitura di strumentazione di misura, monitoraggio e controllo dello sbarramento di tenuta e relative sezioni strutturali	€	320.000,00
* Lavori per opere di compensazione ambientale	€	250.000,00
* Taglio ed allontanamento di piante arboree ed arbustive infestanti, area nuovo lago, con asportazione anche dei ceppi del cespugliame, sramatura depezzamento ed asportazione del materiale di risulta	€	80.000,00
* Lavori di completamento da eseguire in economia diretta per la migliore funzionalità dell'opera	€	320.000,00
* Allacciamenti ai pubblici servizi	€	160.000,00
* Acquisizioni aree o immobili, espropri, occupazioni, servitù, costi catastali e notarili	€	1.000.000,00

* Spese generali dell'Amministrazione valutate ai sensi della circolare n° 312 del 01.07.1985 del Ministero per le Politiche Agricole per le attività amministrative, legali, tecniche e ambientali: 13% su importo lavori	€	14.192.032,29	
* Accantonamento 4° comma, art. 133 D.lgs. n° 163/06	€	750.000,00	
* Iva 20% su lavori, spese generali e altre forniture	€	24.332.302,29	
* Spese per pubblicità ed eventuali opere artistiche	€	50.000,00	
* Spese per accertam. di laboratorio e verifiche tecniche previste dal C.S.A., collaudi statico e specialistici	€	70.000,00	
* Oneri finanziari 1%	€	1.478.138,14	
* Imprevisti, varie ed arrotondamenti	€	758.048,15	
<b>TOTALE B)</b>	<b>€</b>	<b><u>67.920.520,86</u></b>	<b>€ <u>67.920.520,86</u></b>
<b>TOTALE GENERALE A) + B)</b>			<b>€ <u>150.050.000,00</u></b>