

**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

STUDIO GEOLOGICO – IMPOSTA DIGA

RELAZIONE GEOLOGICA

ELABORATO N.

RD7.2.1

ATTIVITÀ SPECIALISTICA:



(Geol. Ing. Massimo PIETRANTONI)

PROGETTO DEFINITIVO

PRATICA N°10131D

ARCH. N° IB080

MODIFICHE
AGGIORNAMENTI

Aggiornamento
Data

CONTROLLO

Firma

OPERATORE

AT

CONTROLLO

MP

APPROVAZIONE

DC

I N D I C E

1.	PREMESSE	2
2.	INDAGINI E STUDI ESEGUITI.....	4
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	8
4.	GEOLOGIA DEL BACINO A MONTE DEL SITO DIGA.....	11
4.1.	GEOLOGIA DEL BACINO IMBRIFERO.....	11
4.2.	GEOLOGIA DEL BACINO DI INVASO.....	13
5.	SITO DIGA.....	15
5.1.	MORFOLOGIA	15
5.2.	CARATTERISTICHE PETROGRAFICHE.....	18
5.3.	CONDIZIONI DI AFFIORAMENTO.....	20
5.4.	TETTONICA	21
5.5.	RISULTATI DEI SONDAGGI E DELLE PROVE IN FORO	26
5.6.	RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE	30
5.7.	CONDIZIONI GEOLOGICO-STRUTTURALI E SEZIONE GEOLOGICA DEL SITO-DIGA	36
6.	CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	38
6.1.	METODOLOGIE DI INDAGINE	38
6.2.	CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA ROCCIA INTATTA	40
6.3.	CARATTERISTICHE STRUTTURALI DELLE DISCONTINUITÀ.....	45
6.4.	CARATTERISTICHE A LIVELLO DI AMMASSO.....	48
6.5.	PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ DELL'AMMASSO (PROVA IN CUNICOLO)	49
7.	PROBLEMI GEOLOGICO-TECNICI CONNESSI CON IL PROGETTO DELLA DIGA	52
7.1.	UBICAZIONE DEL SITO DIGA E CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE E TETTONICO-STRUTTURALI	52
7.2.	SCAVI DI FONDAZIONE DELLA DIGA.....	54
7.3.	TENUTA IDRAULICA.....	55

1. PREMESSE

Nell'ambito del programma di razionalizzazione e potenziamento dell'uso della risorsa idrica del biellese orientale e del vercellese settentrionale sono previste le seguenti opere:

- una nuova diga sul torrente Sessera, per il potenziamento dell'accumulo attuale;
- una nuova condotta ad uso irriguo ed idroelettrico che collega la centrale idroelettrica Piancone con l'invaso della Ravasanella e con la roggia Marchionale in località Pavona di Rovasenda, che nel primo tratto viene alloggiata all'interno di una galleria lunga 3700m;
- una nuova condotta ad uso potabile per gli insediamenti della val Sessera fino a Borgosesia derivata dalla tubazione prima descritta all'altezza dell'abitato di Coggiola;
- la costruzione di due piccole centrali idroelettriche e di una nuova grande centrale idroelettrica in località Pavona di Rovasenda.

Nella presente Relazione sono esaminate le condizioni geologiche del sito della nuova diga sul Torrente Sessera le cui caratteristiche principali sono elencate nel seguito:

a) Struttura: arco-gravità.

Altezza diga: 95m circa.

Quota di sfioro: 951.00 m s.m.

Quota di massimo invaso: 954.65 m.s.m.

La diga di progetto è ubicata circa 200m a valle di una diga esistente, realizzata negli anni '50, costituita da una struttura ad arco larga circa 80m e alta circa 45m.

Nei capitoli seguenti sono esposti e commentati i risultati delle indagini geognostiche e geotecniche e degli accertamenti eseguiti nei siti di progetto, con lo scopo di accertare sotto l'aspetto geologico, la situazione di sottosuolo delle aree di interesse e di acquisire i dati geologici e geotecnici necessari per la progettazione definitiva dell'opera.

Per la progettazione della diga sono state eseguite specifiche indagini mediante perforazioni a carotaggio (con prove di laboratorio), prove in sito e indagini geofisiche. In particolare le indagini sono state eseguite in due fasi: una prima fase per il progetto preliminare, mirata ad un inquadramento generale e all'acquisizione dei primi dati geognostici nelle zone più facilmente accessibili; una seconda campagna di maggiore dettaglio per la fase del progetto definitivo, anche con l'uso di mezzi speciali per il raggiungimento dei siti di maggiore difficoltà di accesso.

La documentazione geologica e geotecnica allegata al progetto, oltre alla presente Relazione, è costituita dai seguenti elaborati.

- *Carta geologica del bacino idrografico*
- *Carta geomorfologica del bacino idrografico*
- *Carta dell'acclività del bacino idrografico*
- *Sezioni strutturali geomeccaniche invaso*
- *Documentazione fotografica del bacino idrografico*
- *Carta geologica del sito-diga*
- *Carta geostrutturale del sito-diga*
- *Sezioni geologiche del sito-diga*
- *Tabulati e grafici dei rilievi geostrutturali*
- *Relazione sulle indagini*
- *Planimetria con ubicazione delle indagini*
- *Stratigrafie dei sondaggi e prove in sito*
- *Prove di Laboratorio*
- *Indagine geofisica*
- *Prove su piastra in cunicolo*

Studio geotecnico

- *Relazione geotecnica diga*
- *Tabulati e grafici delle verifiche geotecniche*
- *Galleria di collegamento della nuova opera di presa all'utenza esistente - Relazione geotecnica e di calcolo*
- *Nuova viabilità di accesso alla diga - Relazione geotecnica e di calcolo*
- *Profilo geomeccanico e sezioni tipo della galleria di collegamento della nuova opera di presa all'utenza esistente*
- *Verifiche di stabilità dei cunei*

2. INDAGINI E STUDI ESEGUITI

Nell'area interessata dal progetto sono state eseguite, nelle due fasi di progettazione preliminare e definitiva che si sono succedute a distanza di circa 4 anni, le seguenti attività di studio e indagine.

Esame bibliografico e ricerca dei dati esistenti

E' stata effettuata la ricerca di indagini e studi effettuati per la progettazione e la costruzione della diga esistente, ubicata 200m a monte del sito della nuova diga di progetto. E' stato accertato che per la realizzazione della diga non sono state effettuate indagini specifiche o quantomeno queste non sono state raccolte e catalogate. L'unico documento disponibile è rappresentato da una Relazione Geologica, redatta nel 1954 dal prof. ing. L. Peretti, nella quale sono inquadrate le problematiche di carattere geologico generale e viene descritta la situazione del sito di imposta della diga per quanto desumibile dalle osservazioni di superficie.

Non è stato reperito alcun documento su dati geologici acquisiti durante la costruzione della diga.

E' stata esaminata inoltre la Relazione Geologica, a firma del prof. Francesco Carraro, relativa ad un progetto preliminare degli anni '80 che prevedeva la costruzione di una diga sul T. Sessera a valle della diga esistente, in località Oro della Ceresa, all'incirca tra la diga esistente e la centrale del Piancone (quindi molto più a valle del sito individuato per la nuova diga).

Per quanto riguarda la documentazione geologica regionale sono stati raccolti i dati di letteratura più aggiornati necessari per un inquadramento geologico a grande scala.

Le ricerche bibliografiche sono state estese anche alle Amministrazioni comunali interessate dalle opere (diga e bacino di invaso).

Interpretazione geologica di foto aeree

Le zone dall'imposta della diga e dal futuro invaso sono state coperte da un volo per l'acquisizione di foto aeree.

Le foto sono state studiate e interpretate con l'utilizzo di attrezzature per visione stereoscopica.

L'attività di fotointerpretazione ha permesso di acquisire una serie di dati indispensabili per delineare i lineamenti geomorfologici e tettonico-strutturali dell'area e per indirizzare le attività di campagna. Dopo aver eseguito i rilievi in sito è stata effettuata una seconda fase di fotointerpretazione in modo da approfondire gli argomenti prima citati.

Rilevamento geologico

- rilievo geologico a grande scala per l'inquadramento geologico generale e per il controllo dei dati disponibili da letteratura; tale rilievo è stato utilizzato per la redazione della carta geologica del bacino imbrifero (Tav. RD7.2);
- rilievo geologico a media scala dell'area del futuro bacino di invaso; tale rilievo è stato esteso alle sole parti di territorio al di sopra dell'attuale bacino di invaso ed è stato

indirizzato, oltre che ad una classificazione litologica, anche ad un esame geomorfologico per l'individuazione di possibili aree di dissesto; tale esame è stato effettuato con l'aiuto delle foto aeree stante l'inaccessibilità di molte aree;

- rilievo geologico-tecnico di dettaglio della zona della stretta a valle della diga esistente; tale rilievo è stato esteso per un tratto di circa 500 m a valle della diga esistente con lo scopo di individuare il sito ottimale per l'imposta della nuova diga; i risultati del rilievo sono esposti nella carta geologica della tav. RD7.7;
- rilevamento dei caratteri mesostrutturali dell'ammasso roccioso finalizzato alla caratterizzazione delle discontinuità e all'acquisizione dei dati geomeccanici delle rocce. I risultati delle misure sono riportati nell'allegato RD7.10 e nella carta geostrutturale dell'allegato RD7.8.

Campagna di sondaggi geognostici e prove di laboratorio

Le indagini in sito sono state fortemente condizionate dalle caratteristiche morfologiche dei luoghi e dalle conseguenti difficoltà connesse alla scarsa accessibilità dei mezzi di indagine. In particolare, sulla sponda destra della valle la forte acclività del versante (dai caratteri tipicamente rupestri con balze rocciose e scarpate sub-verticali) non permette la postazione di sondaggi con mezzi tradizionali, mentre sul fondovalle l'accesso è possibile solo tramite piste molto impegnative o con elicottero. In sponda sinistra l'accesso è relativamente più agevole per la presenza della strada di accesso della diga esistente, ma anche in questo caso il posizionamento a quote diversa da quella della strada è molto difficoltoso.

In tale situazione, nell'ambito del progetto preliminare le indagini sono state eseguite nei siti di più facile accesso, rimandando alle successive fasi le indagini più impegnative.

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, anche in questo caso, 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, l'intero programma della campagna di indagini (non sono stati eseguiti in particolare 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).

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 V_p e V_s 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 "brasilliana".
- 34 prove "point-load";
- 5 analisi petrografiche.

E' stata inoltre eseguita una prova di carico su piastre contrapposte $\varnothing 50\text{cm}$ 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.

Il complesso dei risultati delle indagini eseguite nelle due fasi della progettazione è raccolto negli specifici elaborati costituenti il progetto definitivo e in particolare:

- o indagini in sito (stratigrafie dei sondaggi con rilievo geomeccanico, documentazione fotografica e risultati delle prove in sito) nell'elaborato della tav. RD7.13
- o prove di laboratorio nell'elaborato della tav. RD7.14
- o Indagini geofisiche nell'elaborato della tav. RD7.15
- o Prova su piastra nell'elaborato della tav. RD7.16.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Si riassumono brevemente alcuni temi principali di geologia regionale, necessari per la comprensione dello schema evolutivo della catena alpina e di conseguenza per l'inquadramento strutturale della zona in esame.

Come è noto, le Alpi hanno una struttura crostale "*a doppia vergenza*": sono costituite cioè da due catene a falde che, durante i processi orogenetici, si sono propagate, con fenomeni traslativi e plicativi, in senso opposto.

Con riferimento all'impostazione del nuovo *Structural Model of Italy* (CNR 1990), si possono distinguere una *catena a vergenza europea* e una *catena a vergenza africana*.

La *catena Europa-vergente*, o catena alpina in senso stretto, è costituita da una sequenza di sistemi tettonici che, a partire dal Cretacico, sono traslati verso l'avanpaese europeo (in media verso NW). In breve, tale catena è suddivisa a sua volta in una serie di sistemi tettonici principali, nella quale sono compresi gruppi di falde che sono caratterizzati da una certa analogia di cinematismo (o di modalità di messa in posto) e/o di posizione degli antichi bacini paleogeografici. Si distinguono i Sistemi Australpini delle Alpi occidentali ed orientali; la Zona Pennidica, dominante nelle Alpi centro-occidentali; il Sistema Elvetico-Delfinese, molto esteso nel settore esterno delle Alpi occidentali e centrali; il bacino della "molassa" (avanfossa), che si estende dal lago di Ginevra a Vienna; le falde di scollamento del Giura franco-svizzero.

La *Catena Africa-vergente* è costituita da un sistema tettonico meridionale che, a partire dal Neogene, ha formato una serie di falde a prevalente vergenza africana (Sud); tale sistema è noto con il termine di Alpi Meridionali o Sudalpino.

Il contatto tra le Alpi Meridionali e la catena Europa-vergente è di natura tettonica ed è rappresentato da un sistema di faglie sub-verticali a dominante carattere trascorrente (*Linea Insubrica* o *Lineamento Periadriatico*) che si estende dalla linea del Canavese e quella del Tonale, prosegue nella Pusteria e arriva fino alle Alpi orientali in Slovenia.

La struttura attuale dell'edificio alpino è il risultato della sovrapposizione di diverse fasi di deformazioni. Vengono schematicamente distinti un primo evento (eoalpino), con la formazione di una prima catena a falde (orogenesi cretacica), e gli eventi successivi (mesoalpini e neoalpini) tra i quali si interpone la fase magmatica periadriatica.

L'*Evento Eoalpino* si concentra nei domini Australpini, Pennidico e Ligure-Piemontese con la formazione di falde di basamento e copertura a vergenza europea e dalla genesi delle unità

ofiolitiche; il metamorfismo di questa fase è essenzialmente di bassa temperatura e alte pressioni (eclogitico e in facies di scisti blu).

L'Evento Mesoalpino viene provocato dalla collisione del continente europeo sul fronte della microplacca adriatica; questa collisione favorisce lo sviluppo del metamorfismo regionale ad elevata temperatura e di nuove deformazioni duttili.

La perturbazione termica mesoalpina facilita lo sviluppo di un ciclo eruttivo collisionale, noto con il termine di *magmatismo Periadriatico* (in quanto i corpi magmatici sono localizzati lungo una fascia larga qualche decina di km che segue il Lineamento Periadriatico).

A partire dall'Oligocene-Miocene, a seguito della continuazione del movimento di propagazione della catena alpina verso l'avanpaese europeo, la struttura a doppia vergenza si sviluppa in maniera dominante. Si forma in particolare il sistema Sud-Alpino con l'attivazione del Lineamento Periadriatico. Le deformazioni principali si protraggono dal Miocene al Pliocene verso l'avanpaese padano-adriatico.

In tale contesto geologico-regionale la zona dell'alta Val Sessera, oggetto del presente studio, rappresenta un'area molto importante. Essa ricade infatti nel settore prealpino del Biellese ed è caratterizzata dalla presenza di due grandi complessi litologici, la *Zona Ivrea-Verbano* e la *Zona Sesia-Lanzo*, separati da un importantissimo allineamento tettonico: la *Linea del Canavese*. La *Linea del Canavese* è il segmento più occidentale di un importante sistema di discontinuità (Linea Insubrica) che, come accennato precedentemente, separa lungo tutto il suo sviluppo le parti più direttamente coinvolte negli eventi deformativi e metamorfici della catena alpina (Europa-vergente) da quelle solo marginalmente deformate e prive del carattere metamorfico (Sudalpino).

Secondo le più recenti interpretazioni, la linea del Canavese rappresenta una discontinuità molto antica lungo la quale sono avvenuti importanti movimenti di subduzione ed esumazione delle placche e formazione delle falde alpine; tali importanti processi sono testimoniati dalla presenza in questa fascia di associazioni di miloniti formati sia dai complessi litologici della Zona Ivrea-Verbano sia della Zona Sesia-Lanzo.

Nella zona in esame la linea del Canavese attraversa l'area biellese da Graglia a Pralungo e taglia in due l'alta Valsessera passando per il Bocchetto Sessera e il Bocchetto della Boscarola sviluppandosi in direzione SSW-NNE.

A nord della Linea del Canavese si estende la *Zona Sesia-Lanzo*, che rappresenta l'elemento inferiore di una serie di falde Australpine; si distinguono in questo sistema due complessi litologici, essenzialmente sulla base della diversa impronta metamorfica: il *Complesso degli Gneiss Minuti* e quello dei *Micascisti Eclogitici*. Nella zona in esame è rappresentato solo il secondo complesso.

A sud della Linea del Canavese si sviluppa la *Zona Ivrea-Verbano*: questa rappresenta una unità del basamento pre-carbonifero Sudalpino ed è costituita da una sezione di crosta continentale profonda, con associazione di lembi di peridotiti (mantello). Si tratta quindi di rocce magmatiche basiche, costituite in prevalenza da silicati di ferro e magnesio, e da rocce metamorfiche, derivate da rocce magmatiche e sedimentarie per trasformazione della struttura e della composizione mineralogica per azione della temperatura e della pressione. Si distinguono in particolare due principali unità litologiche di età diversa:

- a) L'unità più recente e profonda (complesso gabbriaco stratificato o *complesso basico*), che affiora con continuità a contatto con la linea del Canavese, comprende una sequenza di peridotiti, pirosseniti, gabbri e dioriti.
- b) La seconda unità litologica (*complesso kinzigitico*) costituisce il tetto, attualmente ruotato e deformato, dei plutoni gabbriaci. Essa è formata dall'associazione di metapeliti prevalenti con intercalazioni di vari tipi di metabasiti, marmi e quarziti.

Nel Basamento Sudalpino si sono intruse in epoca ercinica (Permo-Carbonifero) importanti masse granitiche (*Graniti dei Laghi*), affioranti tra Baveno e il Biellese; di tale complesso fa parte il *Massiccio granitico del Biellese*. Le intrusioni granitiche appaiono interposte tra il basamento più profondo costituito dalla Zona Ivrea-Verbano e quello soprastante noto con il nome di *Serie dei Laghi*.

Come precedentemente accennato, tra le fasi orogenetiche mesoalpina e neoalpina, durante una pausa distensiva, si sono verificate risalite di magmi che hanno dato luogo, prevalentemente all'interno delle rocce metamorfiche presenti a nord-ovest della linea del Canavese, alla formazione di ammassi intrusivi o in alcuni casi di effusioni laviche. Le rocce effusive affiorano lungo la linea del Canavese formando una fascia larga alcune centinaia di metri. Le rocce intrusive (graniti, monzoniti, sieniti), nella zona in esame, formano il Plutone della Valle del Cervo.

La fase compressiva più recente (neoalpina) si è verificata successivamente al citato episodio magmatico oligocenico, innescando tra l'altro importanti fenomeni di trascorrenza. Nell'ambito della zona in esame si segnala, in associazione alla Linea del Canavese, una seconda importante linea tettonica, nota come Linea della Cremosina, che nella zona di Trivero si sviluppa in direzione ENE-WSW separando la serie kinzigitica della Zona Ivrea-Verbano a nord, dal Massiccio granitico del Biellese a sud.

4. GEOLOGIA DEL BACINO A MONTE DEL SITO DIGA

4.1. Geologia del bacino imbrifero

Il bacino idrografico dell'alta Valsessera a monte della diga è costituito da due aste torrentizie principali, il Sessera e il Dolca, che confluiscono poco a monte della diga esistente. Il bacino idrografico sotteso si estende fino alle creste montuose che separano le valli del Sessera e del Dolca dalle contigue valli dello Strona, del Cervo, del Sorba e del Sesia. La linea dello spartiacque culmina a ovest con le creste montuose della Cima delle Guardie, Punta del Cravile, Punta del Mauro, Punta Corteis, Punta del Campanile, Testone delle Tre Alpi (tutti rilievi con quote superiori a 2000 m). L'estensione totale del bacino idrografico è di circa 51 km², e di questi circa il 60% è relativo al bacino del Sessera e il rimanente al bacino del Dolca.

Il corso del T. Sessera a monte della diga si sviluppa in direzione SSW percorrendo un'ampia curva che aggira la dorsale montuose della Cima dell'Asnas-Piana del Calcinone. Oltre tale dorsale il torrente piega verso ovest e quindi si sviluppa verso monte in direzione NNW fino alle sorgenti del Sessera, ubicate a quota 2000 m nella zona dei Tre Laghi.

Il corso del T. Dolca si sviluppa invece verso monte in direzione NNW e quindi, dopo il Ponte dei Lavaggi, piega progressivamente in direzione ovest. La testata della valle del Dolca si estende verso sud-ovest fino alla cresta della Punta del Mauro ed è separata dalla testata della valle del Sessera dalla sottile cresta della Punta del Canalaccio a quote superiori a 2200 m.

Dal punto di vista geologico, le valli del Sessera e del Dolca lungo il loro corso a monte della diga tagliano tutta la successione di formazioni geologiche descritta nel cap. 3.

In particolare, nella zona della diga esistente e per l'intero tratto che si sviluppa più a monte (fino alla zona de il Baraccone sul Sessera e fino alla zona del Ponte dei Lavaggi sul Dolca), entrambi i fianchi delle valli sono incisi nelle rocce gabbro-dioritiche del Complesso Basico (Zona Ivrea-Verbano).

Procedendo verso monte, rispettivamente nella zona de il Baraccone lungo il Sessera e in quella del Ponte dei Lavaggi sul Dolca, i due torrenti attraversano la Zona del Canavese.

La Linea del Canavese ha un andamento SSW-NNE e nell'ambito del bacino idrografico passa per la Bocchetta di Sessera, il Baraccone, tra l'Alpe Calcinone e il Dosso dell'Asino, attraversa il Torrente Dolca nei pressi del Ponte dei Lavaggi, quindi segue l'incisione del Rio Stramba fino alla Bocchetta della Boscarola. Tale fascia è ben individuabile, per caratteri morfologici, dall'interpretazione delle foto aeree ed è stata rilevata in campagna in vari punti.

Alla linea del Canavese sono associate varie litologie, più o meno tettonizzate e disturbate a seguito degli importanti fenomeni tettonici avvenuti lungo tale allineamento. Si ritrovano infatti scaglie di

gneiss occhiadini metagranitoidi leucocratici (Val Dolca) riferibili ad originarie litologie della Zona Sesia-Lanzo, lembi di quarziti feldspatiche, migmatiti originatesi dalla parziale fusione delle rocce gabbriche della Zona Ivrea-Verbanò, scisti argillosi con lenti calcaree, dolomie e marmi dolomitici nerastri con vene calcitiche bianche.

Associata alla linea tettonica, ad ovest della linea del Canavese, affiora una fascia, di larghezza variabile, di rocce effusive a composizione andesitica. La larghezza della fascia di andesiti è massima nella zona della Bocchetta Sessera (circa un km) e va progressivamente restringendosi procedendo verso NE fino ad annullarsi nella zona del Ponte dei Lavaggi sul Dolca.

Ad ovest della zona del Canavese (e della fascia di rocce andesitica ad essa associata) i rilievi che costituiscono il bacino idrografico del Sessera e del Dolca sono costituiti dal *Complesso dei micascisti eclogitici* della Zona Sesia-Lanzo. Si tratta di micascisti e gneiss minuti eclogitici (con granato, pirosseni sodici, glaucofane, ecc.), con lenti di eclogiti.

Nel settore sud-occidentale del bacino idrografico, tra i rilievi della Cima del Bonom, Punta del Cravile e Cima dell'Asnas, affiorano le rocce sienitiche dell'intrusione terziaria del Plutone della Valle Cervo. L'intrusione sienitica è accompagnata da una larga fascia in cui i micascisti sono metamorfosati per fenomeni termici ("aureola di contatto").

Nell'ambito del bacino idrografico le coperture detritiche coprono con spessori più o meno elevati e in zone più o meno estese le rocce del substrato. In gran parte si tratta di detriti di falda accumulatisi al piede dei versanti. In altri casi si rilevano ampie zone, soprattutto nei valloni maggiormente sviluppati, in cui l'intensa attività di erosione e di trasporto ha dato luogo ad accumuli di materiale detritico di un certo spessore.

In linea generale è possibile notare che gli accumuli detritici di maggiore importanza sono presenti nelle zone del bacino costituite dai micascisti, i quali, per la loro particolarità strutturale, hanno una maggiore predisposizione alla suddivisione e all'alterazione.

Accumuli di detriti a grana grossa, spesso sotto forma di grossi blocchi e massi e di grandi dimensioni, sono presenti sui versanti formati dalle rocce sienitiche (come ad esempio nella zona della Cost Argentera).

Altri accumuli sono connessi a fenomeni recenti di erosione e di distacco di masse detritiche che hanno dato luogo a dissesti sui versanti (come ad esempio nella zona dell'Alpe Briolo).

Qualche lembo residuo di antiche morene glaciali occupa il fondo dei circhi glaciali, sotto la cresta perimetrale dei rilievi, e colma le conche dell'Alpe Gorei e di Teggie l'Artignago.

Nelle zone di cresta e sulle cime più elevate le rocce del substrato sono denudate dall'esarazione glaciale.

Nell'area di fondovalle del Sessera e del Dolca le rocce del substrato sono per ampi tratti direttamente affioranti o coperte da massi e blocchi di rocce che lasciano comunque intravedere sul fondo le rocce affioranti in alveo. Solo in alcuni tratti il materasso alluvionale raggiunge, a stima, spessori di un certo rilievo.

Una specifica documentazione sulla geologia del bacino idrografico è riportata in appendice ed inoltre nella cartografia geologica specifica per queste aree.

4.2. Geologia del bacino di invaso

Con la quota di massimo invaso prevista a 951m s.l.m. l'area del futuro lago si estende a monte dell'attuale bacino lungo i due rami del Dolca e del Sessera.

In relazione alla morfologia molto accentuata della valle, l'invaso di progetto, in analogia a quello attuale, ha una forma stretta e allungata e si dirama lungo i due corsi d'acqua che, a monte della diga esistente, divergono tra loro di circa 90°.

Lungo il Dolca l'invaso raggiunge la zona a valle del Ponte dei Lavaggi, nella zona compresa tra le confluenze del Rio Barrosa, in sinistra, e del canale Tench in destra.

Lungo il Sessera il perimetro d'invaso arriva poco a valle dell'innesto del Rio Caramala, affluente di sinistra.

Come desumibile dalla Carta Geologica dell'allegato GG2, l'invaso interessa esclusivamente le rocce gabbro-dioritiche del Complesso basico della Zona Ivrea-Verbano. La zona del Canavese, che, come più volte ripetuto in precedenza, separa il complesso basico dai micascisti eclogitici della Zona Sesia-Lanzo, viene intercettato dai due corsi d'acqua poco più a monte della coda del futuro lago (nella zona del Ponte dei Lavaggi lungo il Dolca e in località il Baraccone lungo il Sessera).

In questo tratto di bacino non sono evidenti accumuli detritici di spessore rilevante. La presenza di una estesa copertura arbustiva non permette di rilevare direttamente, in maniera areale, gli affioramenti rocciosi; tuttavia, viste le forte acclività delle sponde, è da ritenere che le rocce del substrato risultino sub-affioranti sotto una sottile coltre detritica.

Affioramenti delle rocce gabbro-dioritiche sono rilevabili su molti tratti lungo l'alveo dei due corsi d'acqua (nel tratto a monte della zona attualmente occupata dall'invaso).

Lungo il T. Dolca sono presenti due zone di espansione fluviale: una in corrispondenza della coda del lago attuale, dove gli apporti terrigeni recenti del fiume hanno formato un'ampia zona di sedimenti ghiaiosi che occupano l'area golenale in sinistra del fiume. Poco più a monte di questa area si rileva nell'area golenale, sempre in sinistra del corso d'acqua, una zona di antico terrazzo alluvionale, indicato con il toponimo di Piane di Buronzo. Si tratta una zona pianeggiante, posta a

quota 920-925 circa, quindi appena lambita dall'attuale invaso, il quale termina proprio in questa zona rimanendo confinato nello stretto alveo di magra del torrente, leggermente incassato rispetto al terrazzo. Il terrazzo alluvionale delle Piane del Buronzo verrà invece sommerso dal futuro invaso. A monte delle Piane del Buronzo il corso d'acqua del Dolca risulta direttamente inciso nelle rocce del substrato.

Lungo il corso del torrente Sessera si nota una zona di sedimentazione alluvionale recente in corrispondenza della coda dell'attuale lago; si tratta di sedimenti ghiaiosi trasportati di recente dal fiume, ma che hanno presumibilmente coperto una zona di antica espansione fluviale; in questo tratto la valle si allarga leggermente rispetto al tratto più a monte, che risulta inciso e direttamente scavato nelle rocce del substrato.

Nella zona del futuro bacino di invaso non sono stati rilevati fenomeni di dissesto in atto o recenti né sono individuabili zone di accumulo detritico di notevole spessore che potrebbero essere interessati dal futuro lago. In generale le condizioni di stabilità dei versanti sono da ritenere buone. Piccoli fenomeni di crollo per distacco di frammenti e blocchi di roccia più o meno voluminosi o per scollamento delle coltri detritiche sono sempre possibili, soprattutto nelle zone che saranno in futuro interessate dalle oscillazioni dell'invaso. Si tratta tuttavia di fenomeni di piccola entità, da considerare "fisiologici" in tratti di versanti molto acclivi. Tali fenomeni non costituiscono in ogni caso una problematica di rilievo tecnico nei confronti della fattibilità delle opere.

Zone con accumuli detritici di spessore notevole sono invece presenti a monte del futuro invaso, nell'ambito del bacino idrografico (v. par. precedente). Tenuto conto delle forte acclività dei versanti, tali accumuli detritici possono dare luogo, soprattutto in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi, a fenomeni di erosione o di scivolamento delle coltri più superficiali. Eventi di questo tipo si sono verificati in passato, anche di recente, ma non hanno dato luogo a problemi di particolare rilievo a parte l'aumento del trasporto solido o l'arrivo nel lago di arbusti e vegetazione erosi e trasportati dalle acque.

Un evento di questo tipo di particolare intensità è avvenuto nel 2001, a seguito di precipitazioni molto intense e prolungate.

Si tratta in ogni caso di fenomeni che fanno parte della naturale evoluzione geomorfologica dei versanti, e che devono essere considerati possibili anche in futuro, qualora si ripresentino le condizioni meteorologiche gravose che le hanno innescate.

Anche per l'area del futuro invaso è stata preparata una specifica documentazione riportata in appendice ed inoltre nella cartografia geologica specifica per queste aree.

5. SITO DIGA

5.1. Morfologia

Nella sezione di imposta della diga esistente l'alveo del torrente scorre inciso in una stretta gola larga sul fondo non più di una decina di metri.

Il fianco destro della valle ha un andamento rettilineo, con pendenze molto accentuate, ed è modellato da alcune incisioni erosive. In particolare, poco a valle della diga due lunghe incisioni attraversano il versante obliquamente rispetto alle curve di livello (v. foto 5.1).



Foto 5.1 – Sponda destra poco a valle della diga esistente

Il versante sinistro è formato da uno stretto sperone che si allunga in direzione SW-NE; anche questo versante è modellato da alcune profonde incisioni e da canali, alcuni dei quali attraversano tutto il versante dal piede della sponda fino alla sommità dello sperone (v. foto 5.2).



Foto 5.2 – Sponda sinistra poco a valle della diga esistente

A valle della diga attuale, per una lunghezza di circa 150 m, il corso del torrente ha un andamento contorto nella zona d'alveo di magra, ma rettilineo nel complesso, con direzione all'incirca W-E.

Il versante destro è modellato da un'area di compluvio che crea un arretramento del versante e una generale diminuzione delle pendenze globali.

Nello stesso tratto di valle, in sponda sinistra, il versante è fortemente acclive, con pendenze medie superiori al 100% ed è attraversato da tre strette incisioni disposte in successione.

Alla fine di questo primo tratto rettilineo, l'alveo compie una brusca curva verso destra che devia il corso d'acqua di circa 90°. Con questa curva il torrente aggira una stretta e lunga dorsale rocciosa che si protende in sponda destra all'incirca da sud verso nord (v. foto 5.3).

La cresta della dorsale ha una forma aguzza con un andamento a gradini; nella parte bassa, lo sperone si protende con una parete rocciosa sub-verticale per una altezza di circa 45 m, interrotta da un ripiano sub-orizzontale a quota 920 circa (v. foto 5.3 e 5.4). Proseguendo verso monte la cresta diventa stretta e aguzza, modellata da balze e pinnacoli rocciosi



Foto 5.3– Lo sperone roccioso in sponda destra

Sul lato orientale la dorsale digrada regolarmente verso l'alveo con pendenze accentuate, dell'ordine del 150%. Su questo lato il versante si presenta rettilineo per oltre 500 m con pendenze regolari e senza particolari irregolarità morfologiche, a parte qualche incisione stretta e allungata che attraversa il versante. Sul versante la formazione rocciosa gabbro-dioritica è sempre affiorante ad eccezione di un limitato settore al piede del pendio in cui è visibile un accumulo detritico a grana grossa (anche con blocchi) che forma una conoide detritica (v. foto 5.4).

In questo tratto di versante è stato individuato il sito della nuova diga. La spalla verrà impostata nel tratto di sponda immediatamente a valle dello sperone roccioso.



Foto 5.4– Parte bassa dello sperone roccioso; sulla sinistra è visibile un accumulo di detrito

Sul fianco sinistro della valle, nella zona prospiciente allo sperone della sponda destra prima descritto, il versante si allarga formando un'ampia area di compluvio (v. foto 5.5), larga circa 200 m sulla testata e una cinquantina di metri al piede. Le pendenze diventano più blande, in media dell'ordine del 100%; l'area di compluvio è a sua volta modellata da ondulazioni e piccole vallecole che separano piccoli speroni rocciosi.



Foto 5.5– Versante sinistro poco a monte del sito della nuova diga

Sul margine orientale dell'area di compluvio il versante è percorso da una lunga incisione torrentizia (v. foto 5.5), ad andamento circa rettilineo, che si estende in direzione SW-NE fino a quote ben superiori a 1000 m.

Il sito per la spalla sinistra della nuova diga è stato individuato poco a valle di tale incisione, in un tratto di versante allungato in direzione NW-SE che digrada verso il fondovalle con pendenze

regolari, dell'ordine del 100% (v. foto 5.6); sul pendio sono presenti vasti affioramenti rocciosi fino al piede del versante. Le coperture detritiche sono poco estese e di piccolo spessore, spesso limitate alla sola coltre di terreno vegetale sulla quale si aggrappa la scarsa vegetazione presente sulla scarpata.



Foto 5.6– Versante sinistro in corrispondenza del sito della nuova diga

5.2. Caratteristiche petrografiche

Dal punto di vista litologico l'intero tratto di circa 500 m a valle della diga esistente, esaminato nel dettaglio per lo studio della nuova diga, è costituito da una formazione gabbro-dioritica appartenente al *Corpo Basico di Ivrea*.

Dal punto di vista macroscopico la roccia ha struttura granulare a grana grossa, colore nerastro con sfumature verdastre e puntature biancastre più o meno abbondanti. E' formata essenzialmente da plagioclasio e da pirosseno rombico interstiziale, con secondari cristalli di biotite, orneblenda e olivina. Nelle varietà dioritiche aumenta la presenza di quarzo. Il passaggio da una litologia all'altra (nel campo delle rocce gabbro-dioritiche) è molto sfumato e spesso difficile da riconoscere alla scala del campione a mano. Dioriti e Gabbri si distinguono infatti sulla base della composizione del plagioclasio e secondariamente in base all'indice di colore (spostandosi dalla diorite al gabbro il colore diventa più scuro per la maggiore presenza di minerali femici). In linea generale si può notare che nella zona del sito diga esistente prevalgono le litologie più dioritiche e verso valle le rocce si spostano maggiormente nel campo dei gabbri.

Generalmente la tessitura è isotropa, con una struttura che le analisi petrografiche hanno definito nella "facies a granuliti", solo localmente si nota una leggera isorientazione dei cristalli e superfici patinate, saponose al tatto.



Foto 5.7 – Dettaglio delle rocce gabbro-dioritiche (prevalenza dioritica)



Foto 5.8 – Dettaglio delle rocce gabbro-dioritiche (prevalenza gabbrica)

Le analisi petrografiche in sezione sottile hanno confermato che i componenti essenziali sono costituiti da plagioclasio (prevalente), clinopirosseno, ortopirosseno e orneblenda, mentre i componenti accessori sono: opachi, apatite, zircone. La microstruttura è granoblastica a tendenza poligonale con presenza di fasce cataclastiche.

I campioni sono classificati nel campo delle rocce mafiche in facies granulitica che indica la presenza di metamorfismo termico ad alta temperatura.

5.3. Condizioni di affioramento

Dal punto di vista litologico l'intero tratto di circa 500 m a valle della diga esistente, esaminato nel La roccia risulta affiorante sulla quasi totalità dei versanti. Solo in limitate aree è presente una sottile coltre detritico-eluviale o sono presenti accumuli di detrito, sempre di debole spessore.

Negli affioramenti la roccia si presenta in genere fresca o poco alterata; i processi di alterazione creano sola una decolorazione o patine di colore rossastro o brunastro. L'alterazione è limitata a pochi cm dalle superfici di frattura e si estende in profondità solo attraverso i giunti più aperti.

Nel fondovalle affiora in molti punti la roccia, con continuità al piede del versante e sporadicamente sul letto del fiume; grossi massi, blocchi e coltri ghiaioso-ciottolose coprono localmente il letto roccioso lasciando comunque intravedere il sottostante substrato. In generale si può stimare una percentuale di affioramento del substrato dell'ordine del 70-80%.

Alcune foto che illustrano la situazione nel fondovalle sono riportate nel seguito (foto 5.9 e 5.10).



Foto 5.9 – Affioramenti di roccia in alveo al piede della sponda sinistra



Foto 5.10 – Affioramenti di roccia e grossi blocchi in alveo

Una zona di accumulo detritico, che ha riflessi nei riguardi degli scavi di fondazione per l'imposta della nuova diga, è stata rilevata al piede della sponda destra, poco a valle dello sperone roccioso descritto nel paragrafo precedente (evidenziato nella foto 5.4 precedente). Si tratta di frammenti e blocchi, anche voluminosi, distaccatisi dalla parete rocciosa e accumulatisi al piede del versante; i blocchi hanno subito uno scarso o quasi assente processo di trasporto per cui si presentano a spigoli vivi e con scarsa frazione interstiziale.

5.4. Tettonica

L'interpretazione geologica delle foto aeree e i controlli di campagna hanno permesso di riconoscere lineamenti e discontinuità tettoniche (faglie) più o meno importanti.

Si specifica che si tratta di discontinuità tettoniche connesse all'orogenesi alpina (v. cap. 3) per le quali non sono noti fenomeni di riattivazione recente (neotettonica).

Si tratta peraltro degli stessi sistemi di faglia ben riconoscibili nel sito della diga esistente ed evidenziate nelle successive foto, che non hanno dato alcun tipo di problema durante i 50 anni di esercizio della diga.



Foto 5.11 – Le faglie presenti sulla spalla destra della diga esistente



Foto 5.12 – Le faglie presenti sulla spalla sinistra della diga esistente

Nell'area in esame sono stati riconosciuti due principali sistemi di faglie. Il primo, più evidente, è orientato NNW-SSE ed è quello che, associato ad altri sistemi secondari, determina particolari strutture morfologiche, in forma di lunghi speroni e costoloni emergenti obliqui sui versanti, ben evidenti nel paesaggio e che si seguono su lunghe distanze.

A tale associazioni di faglie antiche è da attribuire la formazione dello sperone che si protende sulla sponda destra verso il fondovalle e che provoca la brusca deviazione del torrente (v. foto 5.13-14).

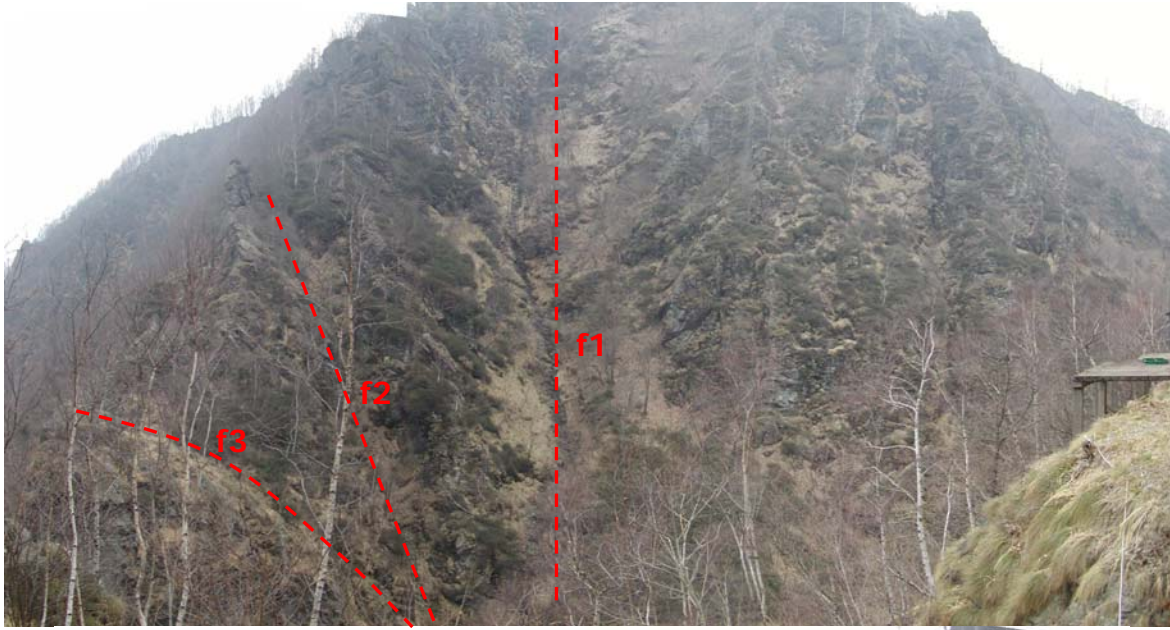


Foto 5.13 – Gli allineamenti tettonici individuati sullo sperone in sponda destra (vista da monte)



Foto 5.14 – Gli allineamenti tettonici individuati sullo sperone in sponda destra (vista da valle)

Le sigle (f...) riportate nelle foto sono le stesse utilizzate nella carta geologica e strutturale per numerare le lineazioni tettoniche principali.

Le suddette lineazioni sono ricavabili dall'interpretazione aerofotogeologica e in parte sono rilevabili direttamente sul terreno per la presenza di discontinuità e strette fessure sulle quali si sono successivamente impostati i processi erosivi che hanno dato luogo a fossi e incisioni torrentizie.

Altri evidenti lineamenti tettonici si rilevano in sponda destra e risultano leggermente ruotati rispetto ai precedenti (circa N-S), ma sono sempre attribuibili allo stesso sistema.

Un altro sistema di discontinuità è disposto all'incirca perpendicolarmente al primo. Nell'ambito della zona esaminata è stato riconosciuto un lineamento tettonico che si sviluppa in direzione SW-NE e che segue l'incisione erosiva in sponda sinistra che viene lambita dal corpo diga. Dalle foto aeree tale lineamento prosegue verso le cime dei rilievi per molte centinaia di metri.

L'allineamento ben riconoscibile dalle foto aeree in realtà sul posto non evidenzia zone di particolare fratturazione. Questa circostanza è evidente dalla foto 5.15 nella quale sono state evidenziate, con la stessa numerazione della carta geologica, il lineamento tettonico principale (f5) che segue l'incisione torrentizia, e un allineamento secondario trasversale al primo (f6).

Dalle foto si evidenzia come questo allineamento non provoca zona o fasce di disturbo e fratturazione particolarmente evidenti.

Questa circostanza è stata confermata anche dai sondaggi eseguiti di cui si parlerà nei paragrafi successivi.

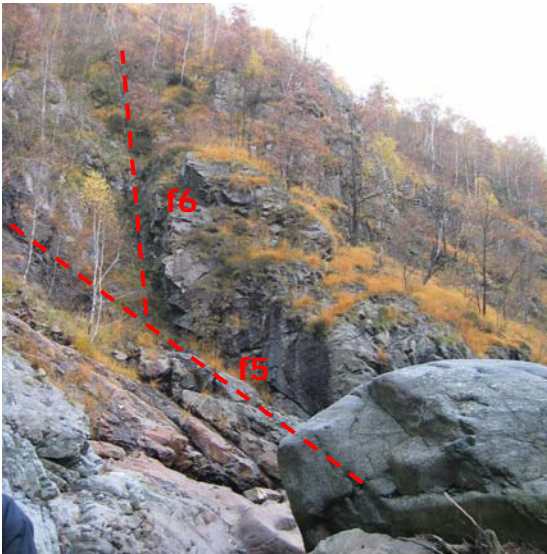


Foto 5.15 – Allineamenti tettonici in sponda sinistra

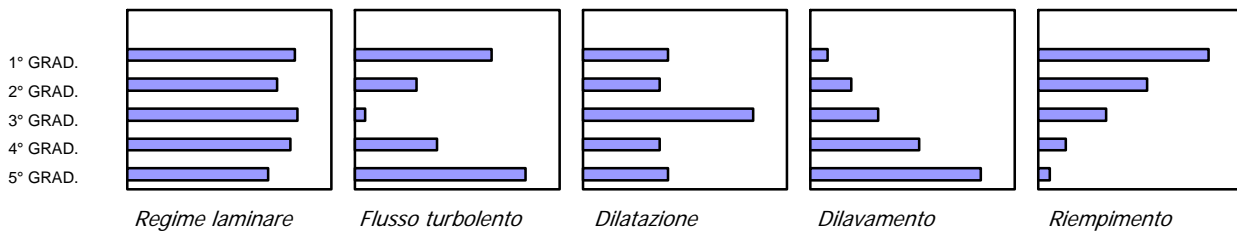
Oltre a questi due sistemi principali, sono presenti altre faglie minori, alcune associate ai due sistemi principali e distinti da queste solo da lievi rotazioni degli allineamenti o da minore persistenza, altre variamente disposte.

In tutti i casi le discontinuità tettoniche si delineano su fasce di roccia molto strette, in genere senza l'associazione di una zona cataclasata molto ampia.

5.5. Risultati dei sondaggi e delle prove in foro

Nelle stratigrafie allegare alla documentazione sulle indagini sono riportati i dati di rilevamento geomeccanico effettuato sulle carote; sono riportati in particolare gli indici TCR (Total Core Recovery), SCR (Standard Core Recovery) e RQD (Rock Quality Designation), che forniscono indicazioni sullo stato di fratturazione della roccia, ed inoltre i parametri geometrici e le caratteristiche dei giunti. I valori di RQD sono stati riportati anche nelle colonne stratigrafiche inserite nella sezione geologica della tav. RD7.9.

Per l'interpretazione delle prove di assorbimento Lugeon si è fatto riferimento alle metodologie proposte da A.C. Hously. Per la scelta del valore di Unità Lugeon (UL) rappresentativo si tiene conto dell'andamento degli assorbimenti in corrispondenza dei singoli gradini e si determina quindi il meccanismo di assorbimento (flusso laminare, turbolento, per dilatazione, dilavamento o riempimento delle fessure) facendo riferimento agli schemi seguenti. In funzione del tipo di assorbimento si sceglie il valore di UL caratteristico (ad es. valore medio in caso di flusso laminare).



I valori ricavati dalle prove sono riportati nella Relazione Geotecnica e sono inseriti graficamente nelle colonne stratigrafiche inserite nella sezione geologica.

Sponda sinistra

Sono stati eseguiti in totale 5 sondaggi a carotaggio (3 in fase di progetto preliminare e 2 per il definitivo) e una perforazione a distruzione di nucleo con prove Lugeon.

Tutti i sondaggi geognostici eseguiti in sponda sinistra hanno confermato le evidenze di superficie che indicano un basso grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Il grado di fratturazione e di alterazione è risultato molto basso già in superficie e diminuisce rapidamente con la profondità. I fenomeni di alterazione sono poco evidenti e sono concentrati nelle fessure più aperte; nei primi 4-5 m di profondità si nota che ad una distanza di qualche centimetro dalle fessure il materiale si presenta solo appena decolorato; a partire da 15-20 m di profondità la roccia si presenta del tutto integra anche all'interno delle fessure.

L'indice RQD è molto elevato già a poca profondità dal p.c. e tranne alcuni tratti con maggiore fratturazione, si mantiene spesso su valori tra 90 e 100%.

In particolare, i tre sondaggi eseguiti sulla strada di accesso a q. 915, hanno fornito risultati sostanzialmente analoghi.

- Il **sondaggio verticale S2** ha solo due passaggi con RQD relativamente più bassi: uno tra 2.50 e 5.25m (RQD tra 32 e 43) e uno tra 28.00 e 31.95m (RQD tra 27 e 70); negli altri tratti i valori più frequenti si aggirano tra 90 e 100, e solo brevi passaggi, dell'ordine del metro, hanno valori di RQD inferiori; al di sotto dei 40m il grado RQD è quasi sempre pari al 100%.
- Il **sondaggio inclinato S3** ha fornito valori di RQD quasi sempre superiori a 80, con rari passaggi, di breve lunghezza, con valori inferiori, ma in ogni caso sempre superiori a 50.
- Nel **sondaggio inclinato SD8** i primi 7m mostrano valori di RQD nel campo 50-80%; tra 7 e 20m i valori di RQD sono spesso intorno a 80-90%, ma con alcuni passaggi inferiori (in particolare tra 15.87 e 18.85m i valori di RQD arrivano a minimi di 45%); tra 20 e 30m i valori di RQD sono stabilmente tra 80 e 90%.

Con riferimento alle **prove Lugeon** si riassumono i seguenti risultati.

Nel sondaggio S2 i valori di assorbimento sono risultati apprezzabili fino a 20 m di profondità, con valori di UL tra 2 e 5.

A profondità maggiori di 20 m gli assorbimenti sono risultati generalmente bassi (inferiore a 1 UL), anche se con valori apprezzabili in alcuni tratti (2.5 UL tra 30 e 35 m); la prova a 25-30 m ha avuto assorbimenti elevati ma è stata interrotta per difficoltà di tenuta.

A partire dalla profondità di 40 m, i valori di assorbimento sono risultati nulli, ad eccezione del tratto tra 65 e 70 m, dove peraltro si è misurato un valore di 0.3 UL.

Nel sondaggio S3 gli assorbimenti sono risultati molto elevati nelle prime due prove fino a 10 m di profondità, con valori di UL di circa 30 e 50. Tali risultati sono da attribuire alla presenza di alcune fessure aperte piuttosto che ad un intenso e diffuso stato di fratturazione, come si ricava dai valori dell'indice RQD. I valori di assorbimento a profondità maggiori di 10 m risultano inferiori a 1 UL tranne la prova a 25-30 m (1.8 UL).

La perforazione a distruzione SD7 ha fornito risultati delle prove di assorbimenti del tutto analoghi (se non uguali) a quelli del sondaggio S2 (ubicato a poca distanza). Valori di U.L. tra 1 e 4 nei primi 20m e inferiori a 2 nei successivi 20m (con un solo valore elevato e anomalo pari a circa 6 tra 30 e 35m, peraltro legato a fenomeni di dilavamento/turbolenza).

Nella gran parte dei casi l'assorbimento si è verificato con un meccanismo di flusso laminare (o assimilabile ad esso). Altre volte si denota una tendenza all'aumento dei valori di UL con il procedere della prova (meccanismo di tipo "wash-out") verosimilmente a causa di un dilavamento delle fessure.

Una situazione particolare è stata invece accertata con il **sondaggio orizzontale SD6** eseguito al piede della sponda sinistra.

Il sondaggio è stato ubicato e indirizzato in modo tale da attraversare l'allineamento sul quale si sviluppa l'incisione torrentizia che le interpretazioni fotogeologiche legano ad un antico disturbo tettonico (v. precedente paragrafo). Il sondaggio non ha attraversato porzioni di roccia particolarmente più fratturate rispetto al resto (a conferma delle osservazioni di superficie). I valori di RQD si mantengono infatti anche in questo caso su valori di 80-90% con passaggi a 65% (1.50-3.50m), 20% (13.05-13.80m), 10% (17.40-18.00m); una particolarità da segnalare è la cavità di 7cm attraversata a 6.40-6.47m; si tratta verosimilmente di una fessura beante legata al disturbo tettonico prima descritto (il punto della segnalazione corrisponde all'attraversamento dell'allineamento), ma non si esclude che si possa trattare della stessa incisione torrentizia, visto che la perforazione si sviluppa in obliquo rispetto alla parete e l'incisione forma una rientranza. In ogni caso i tratti di carotaggio prima e dopo la fessura beante si presentano freschi e poco fratturati (addirittura con RQD del 95%), quindi si conferma che la fascia tettonizzata è di larghezza molto contenuta.

Tuttavia, gli elevati valori di assorbimento riscontrati in questo foro (vedi oltre) indicano una situazione particolare per questo settore, forse del tutto casuale, forse legato all'antica tettonizzazione. In 3 prove su 4 gli assorbimenti sono infatti stati molto elevati, tali da non consentire il raggiungimento della pressione di prova; il tratto di prova tra 11.00 e 15.55m ha fornito un valore di U.L. pari a circa 10.

Fondovalle

Sono stati eseguiti in totale 2 sondaggi a carotaggio profondi 40 e 50m.

Anche in questo caso si delinea una prima fascia superficiale solo leggermente più fratturata e detensionata e una porzione profonda integra e poco fratturata.

Il **sondaggio SD4** ha attraversato per i primi 2.9m le alluvioni di fondovalle, costituiti da ghiaie, ciottoli e grossi blocchi lapidei. Nella sottostante roccia il grado RQD si mantiene quasi sempre su valori intorno al 90%, con valori del 50% tra 5.80 e 6.80m e 80% tra 6.80 e 8.70m. Al di sotto dei 24m il valore di RQD è sempre 100% tranne il tratto 36.30-39.20m con RQD=80%.

Il **sondaggio SD5** ha fornito risultati sostanzialmente analoghi; lo spessore delle alluvioni è di soli 40cm, mentre nella sottostante roccia il grado RQD è tra 50 e 80% fino a 7.60m; a profondità maggiori il grado RQD si mantiene quasi sempre su valori intorno al 90%, con valori del 50% tra 14.20 e 16.20m e 20% tra 21.30 e 22.00m. Al di sotto dei 27m il valore di RQD è sempre 100%.

La suddetta situazione di fratturazione viene confermata anche dai risultati delle prove di assorbimento Lugeon.

Nel sondaggio SD4 le prove forniscono valori elevati (tra 8 e 33 circa) fino a 20m di profondità; a profondità maggiori gli assorbimenti sono sempre nulli tranne un valore di circa 2.5 U.L. nel tratto 27.10-30.30m.

Nel sondaggio SD5 i risultati sono sostanzialmente simili: valori mediamente elevati (tra 6 e 14 U.L. circa) fino a 16m di profondità; valori medio-bassi (circa 2-2.5 U.L.) tra 18 e 26m; assorbimenti sempre nulli a profondità maggiori e fino a 50m.

Sponda destra

E' stato per ora eseguito il solo **sondaggio sub-orizzontale SD9** eseguito al piede della sponda destra. Il carotaggio ha ottenuto un valore di RQD alquanto costante lungo il foro di 30m, tra 80 e 90%; tra 25 e 30m il grado di fratturazione aumenta con valori di RQD tra 60-70% con tratti anche molto fratturati. Questo passaggio corrisponde all'attraversamento della faglia individuata con i rilievi strutturali (v. carta e sezione geologica).

Le prove di assorbimento hanno fornito valori variabili, ma sostanzialmente congruenti con il grado di fratturazione dell'ammasso. Valori medi nei primi 10m (circa 4 e 7 U.L.), un valore molto elevato (69 U.L. circa) nel tratto 13.45-15.55m, valori molto bassi (circa 1 U.L.) tra 17.50 e 25.60m, un valore mediamente elevato (5.5 U.L.) nell'ultimo tratto di prova (28.95-29.95m). Quest'ultimo tratto di prova corrisponde alla fascia di elevata fratturazione legata al disturbo tettonico prima descritto; il valore di assorbimento molto elevato nel tratto 13.45-15.55 è verosimilmente legato alla porzione di roccia molto fratturata attraversata con il tratto di fine manovra (vedi foto delle cassette), anche questa probabilmente legata ad una fascia tettonica (v. sezione geologica).

Gli altri risultati sono in linea con il complesso dei risultati, tenuto conto che si tratta di una perforazione sub-orizzontale che interessa porzioni di roccia più superficiali e detensionate (anche per motivi tettonici).

Con riferimento alle **condizioni idrogeologiche**, tutte le perforazioni non hanno incontrato circolazioni idriche né livelli di falda stabili nel foro. Si conferma quindi l'assenza di una falda idrica a profondità di interesse.

In sede di progetto preliminare era stata segnalato nel foro S2 un livello idrico persistente alla profondità di circa 29 m dal p.c. cioè a quote notevolmente più elevate rispetto al fondovalle (circa 20-25 m al di sopra delle quote del torrente). Questo livello era stato attribuito a possibili circolazioni idriche legate al periodo di scioglimento del manto nevoso accumulatosi durante l'inverno, (che peraltro danno luogo a numerose piccole emergenze idriche a quote alte sul versante, all'incirca alla stessa quota indicata dal sondaggio).

Era stato peraltro notato che tale emergenze corrispondono all'incirca all'andamento della galleria di derivazione che corre, poco all'interno del versante (circa 25 m sotto la quota della stradina da

dove è stato eseguito il sondaggio). In effetti da una finestra di accesso alla galleria ubicata sul versante, all'epoca dei rilievi per il progetto preliminare, fuoriusciva acqua, verosimilmente per il superamento della soglia presente all'interno della galleria (si tratta infatti di una galleria rivestita solo nella parte bassa e sui fianchi).

Alla luce delle osservazioni più recenti si può senz'altro affermare che nell'ammasso è assente una falda idrica persistente almeno fino a profondità ritenute significative. Le venute idriche rilevate in alcuni periodi sui versanti sono da attribuire alle circolazioni superficiali, legate all'infiltrazione delle acque di superficie (pioggia e neve) nella porzione di ammasso più fratturato.

5.6. Risultati delle indagini geofisiche

Nel sito sono state eseguite le seguenti indagini sismiche:

in sponda sinistra:

- 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 sismici a rifrazione;

sul fondovalle:

- 1 prova down-hole in foro da 30m nel fondovalle;
- 4 stendimenti sismici a rifrazione;

in sponda destra:

- 4 stendimenti sismici a rifrazione;

Sponda sinistra

Con gli stendimenti sono stati individuati due o tre strati:

- ✓ un primo sismostrato (identificato come terreno vegetale e copertura superficiale) con velocità di 200÷600 m/s circa;
- ✓ un secondo sismostrato (terreni detritici) con velocità di 860÷1300 m/s;
- ✓ un terzo sismostrato (roccia poco fratturata) con velocità tra 2000 e 3000 m/s.

La successione di tre sismostrati è stata individuata solo nel profilo sismico RS01, ubicato lungo lo stradello di accesso alla diga, poco a valle della postazione del sondaggio e quindi anche dell'asse diga. In questo profilo viene individuato un profondo avvallamento del substrato roccioso che nella zona centrale raggiunge una profondità di circa 9 m. Il riempimento di tale avvallamento è costituito da terreni con velocità di 860÷1300 m/s che sono da attribuire ad un accumulo di materiali sciolti. In effetti in questo settore il profilo interessa una zona in cui la roccia è coperta da un accumulo detritico; tuttavia il forte spessore dei terreni sciolti individuati con la prospezione è

verosimilmente da attribuire anche alla presenza del rilevato stradale che in questo tratto, a causa delle forte acclività, potrebbe raggiungere sul lato di valle spessori considerevoli; è da ritenere quindi che lo spessore massimo di terreni sciolti di circa 9 m comprenda il rilevato stradale, i sottostanti terreni detritici e forse anche la parte più allentata della formazione rocciosa.

Negli altri profili si individua solo un primo sismostrato molto allentato, di spessore variabile da pochi dm ad un paio di metri, sovrapposto alla roccia. La variabilità della coltre superficiale è da attribuire all'andamento molto irregolare del substrato roccioso e a irregolarità morfologiche.

I profili sismici e i due tiri di velocità eseguiti in corrispondenza dello stendimento RS03 hanno mostrato la presenza di un ammasso roccioso poco fratturato, con velocità dell'ordine di 2500-3000 m/s già a poca profondità dal p.c. e un rapido aumento delle velocità in profondità (come confermato dalle prove sismiche in foro).

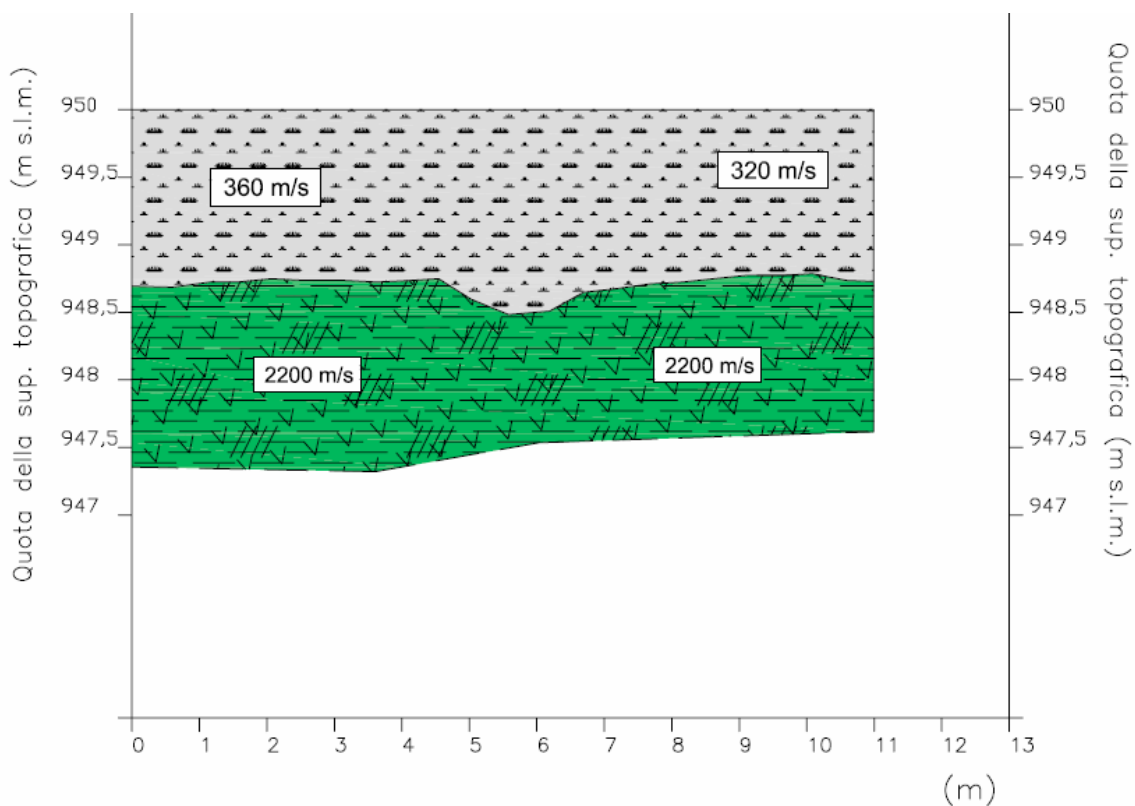


Fig. 5.1 – Profilo sismico RS-03

Dalla prova *down-hole* si possono individuare i seguenti strati:

- ✓ un primo strato molto allentato, di spessore 2 m con velocità v_p di circa 900 m/s;
- ✓ un secondo strato di roccia fratturata, con v_p di circa 2400 m/s, fino alla profondità di 5 m;
- ✓ nello strato sottostante, fino a 11-12m a velocità delle onde P sale rapidamente a 4000 m/s;
- ✓ a partire da 12 m e fino a fondo foro (80 m) le velocità si mantengono intorno a 6000 m/s.

Le velocità v_s aumentano gradualmente da 500 a 2000 m/s nei primi tre strati citati per poi mantenersi nello strato più profondo intorno a 3000 m/s.

La prova *cross-hole* eseguita tra i sondaggi 2 e 3 conferma i risultati della prova down-hole avendo individuato una simile tendenza all'aumento dei valori di velocità procedendo in profondità; i valori registrati sono leggermente superiori a quelli misurati con la prova down-hole e arrivano ad un massimo di circa 7000 m/s.

I suddetti risultati sono in accordo con la stratigrafia dei due sondaggi S2 e S3 e in particolare con il grado RQD della roccia.

Fondovalle

Gli stendimenti sono stati ubicati longitudinalmente e trasversalmente al fondovalle in modo da ricostruire l'andamento della copertura alluvionale (a stima a vista di piccolo spessore) e lo stato di alterazione della roccia nel sottosuolo.

Gli stendimenti trasversali (LSD1 e LSD2) hanno individuato spessori di coltri alluvionali molto esigui (1-2m al massimo); nello stendimento LSD1 si individuano numerosi punti di affioramento della roccia, a conferma delle evidenze di superficie.

Negli stendimenti longitudinali alla valle (LSD3 e LSD4) lo spessore delle alluvioni è ancora più esiguo e discontinuo (con molti punti di affioramento della roccia).

Le velocità dell'ammasso roccioso risultano molto elevate (>4000 m/s) già a pochi metri di profondità, a conferma del basso stato di fratturazione e alterazione già individuato con i sondaggi.

Non sono state evidenziate particolari discontinuità nell'ammasso roccioso.

Nelle figure seguenti sono illustrate le restituzioni topografiche delle prospezioni.

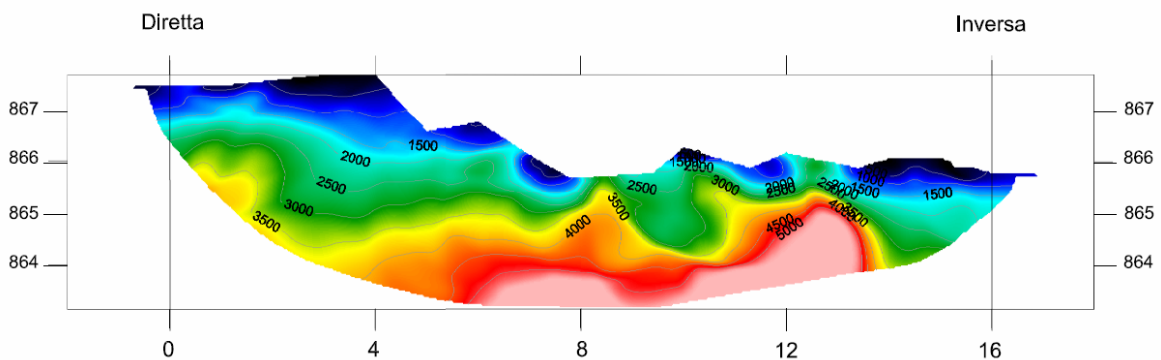


Fig. 5.2 profilo stendimento LSD1 sul fondovalle

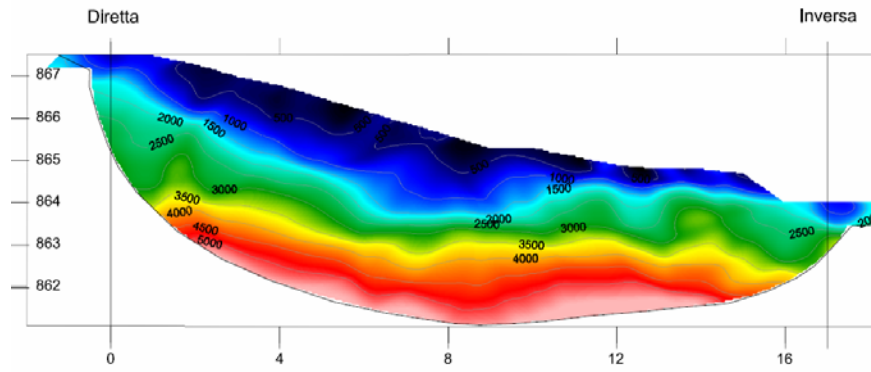


Fig. 5.3 profilo stendimento LSD2 sul fondovalle

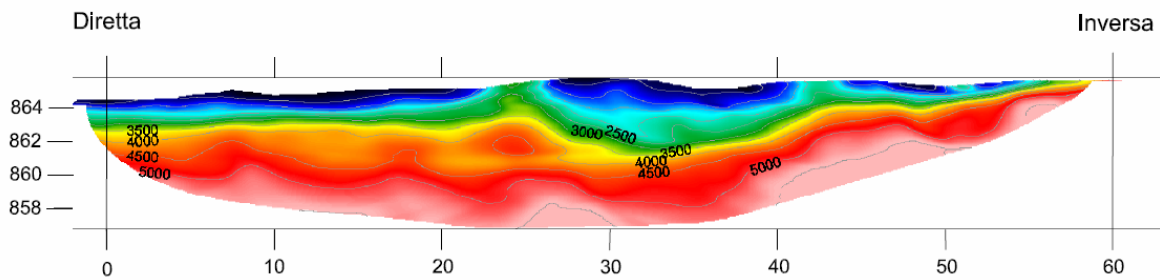


Fig. 5.4 profilo stendimento LSD3 sul fondovalle

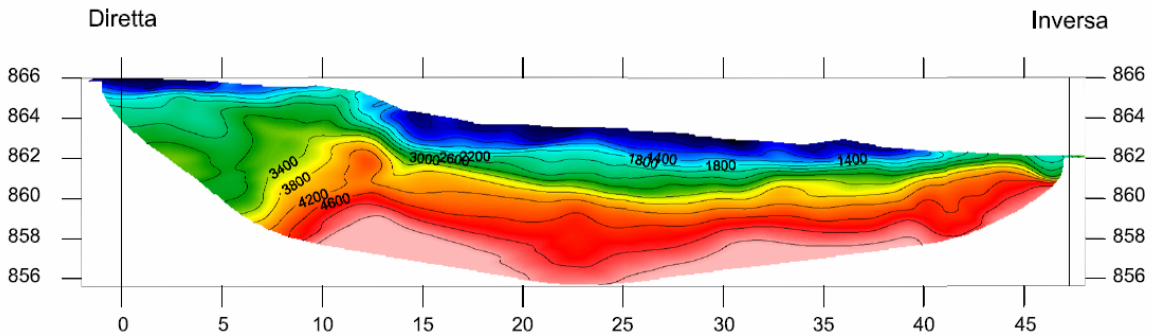


Fig. 5.5 profilo stendimento LSD4 sul fondovalle

La prova down-hole sul foro SD4 ha misurato velocità delle onde di compressione V_p rapidamente crescenti da 1.500 a 5.000m/s nei primi 5m e poi si mantengono su 5.000m/s in profondità.

Le velocità delle onde di taglio V_s aumentano da 700 a circa 3.000m/s nei primi 5m per mantenersi su quest'ultimo valore in profondità.

Questi risultati confermano la presenza di un esiguo spessore di alluvioni nel fondovalle e della presenza di un ammasso roccioso molto chiuso e poco alterato già a poca profondità dal p.c..

Sponda destra

Gli stendimenti sono stati ubicati in corrispondenza della conoide detritica più volte citata che è presente al piede della sponda destra. I profili sismici sono stati in varie direzioni in modo da ricostruire in maniera dettagliata, l'andamento e lo spessore della copertura detritica.

Gli stendimenti sismici eseguiti in questa zona hanno evidenziato i seguenti sismostrati:

- ✓ un primo sismostrato (identificato come coltre superficiale) con velocità fino a 1000 m/s;
- ✓ un secondo sismostrato (detrito di pendio/roccia alterata) con velocità di 1000÷2000 m/s;
- ✓ un terzo sismostrato (roccia) con velocità superiore a 2000 m/s a sua volta distinto in vari strati con diverso grado di fratturazione, con velocità fino a 5500 m/s.

Gli stendimenti disposti lungo la linea di massima pendenza (LSD7 e LSD8) hanno individuato spessori della coltre detritica anche di una certa entità (fino alla decina di metri).

Lo stendimento LSD7 (da q. 881 a q. 865) individua uno spessore di circa 10m nella parte alta del profilo per poi diminuire verso il fondovalle dove si assottiglia fino a quasi scomparire.

Lo stendimento LSD8 (da q. 884 a q. 870) individua invece uno spessore alquanto costante (circa 6m) con un lieve approfondimento nella zona mediana.

Gli stendimenti trasversali (LSD5 e LSD6) hanno fornito risultati congruenti con i primi due: il profilo LSD5 (a quote di circa 872) individua uno spessore della coltre detritica alquanto costante, di circa 6m; nel profilo LSD6 (q. 868-869) la copertura detritica ha uno spessore inferiore, variabile tra 2 a 4m.

Si deve specificare che lo strato intermedio a velocità tra 1500 e 2000 m/s, individuato come copertura detritica o roccia molto fratturata, deve essere interpretato nel contesto di ogni singolo stendimento, poiché si tratta di velocità generalmente attribuibili a rocce molto fratturate, ma che in questo contesto (considerate le alte velocità intrinseche dei litotipi), possono anche essere attribuite anche a coltri detritiche a grossi blocchi.

In tutti i casi è sempre ben individuabile la superficie che delimita le velocità di 2500-3000 m/s, attribuibili a porzioni di ammasso roccioso poco e o mediamente fratturate.

Nelle figure seguenti sono illustrate le restituzioni topografiche delle prospezioni LSD7 e 8 eseguite lungo la linea di massima pendenza del versante e delle prospezioni LSD5 e 6 eseguite a due differenti quote lungo le curve di livello.

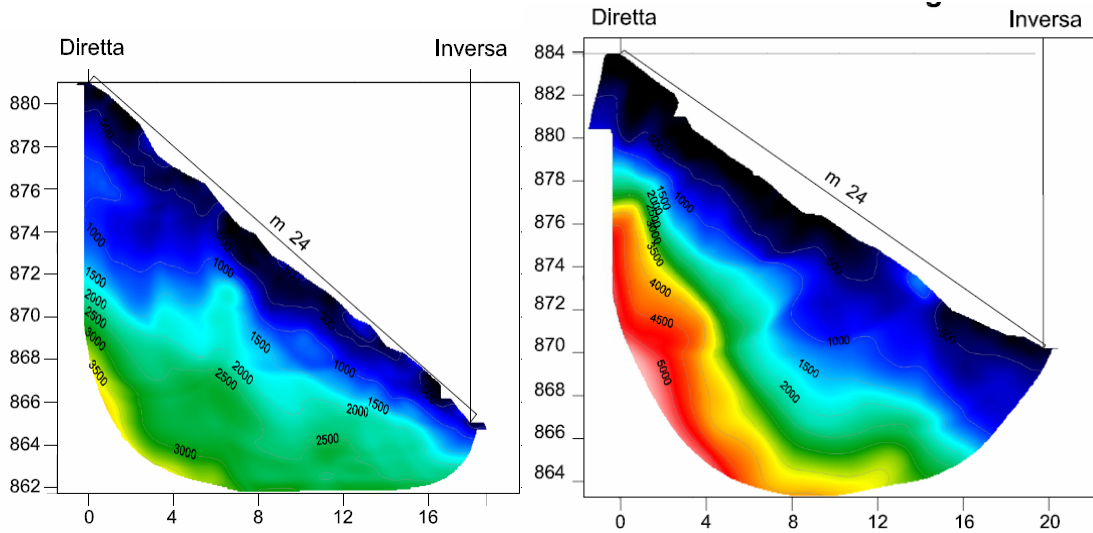


Fig. 5.6 profili sismici LSD 7 e 8 sulla sponda destra

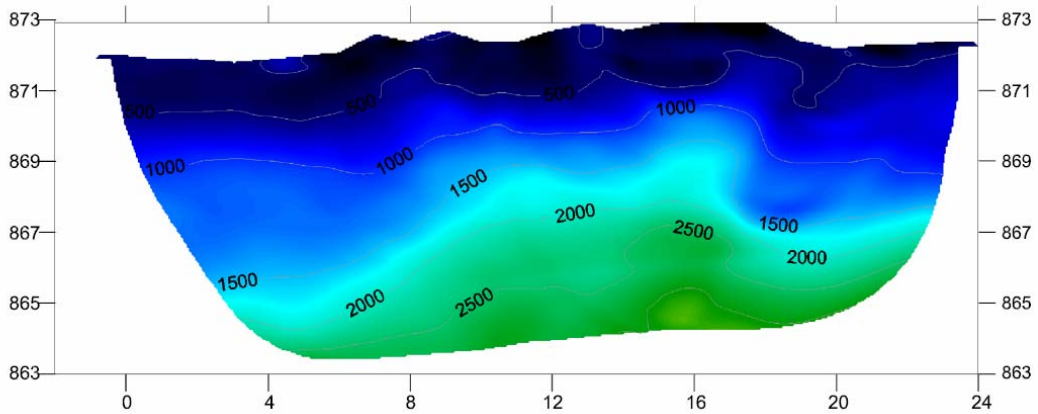


Fig. 5.7 profilo sismico LSD 5 sulla sponda destra

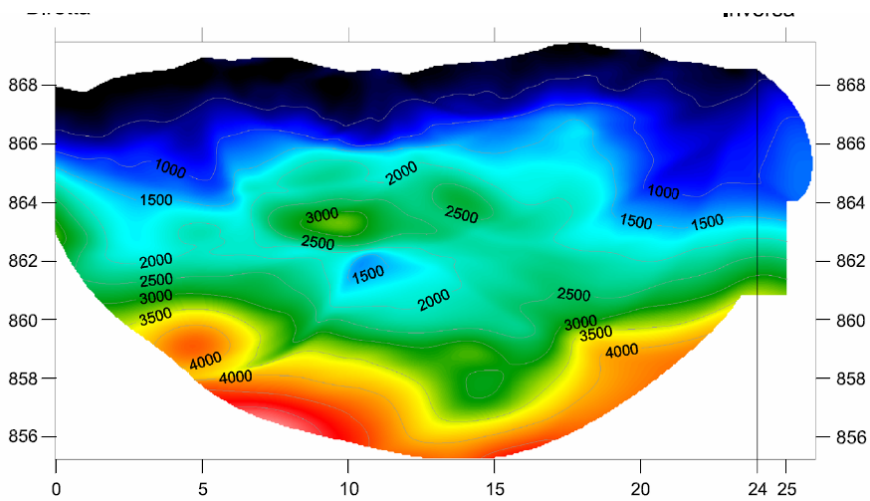


Fig. 5.8 profilo sismico LSD 6 sulla sponda destra

5.7. Condizioni geologico-strutturali e sezione geologica del sito-diga

Sulla base dell'insieme dei risultati delle indagini e degli studi commentati nei precedenti paragrafi, è stata ricostruita la situazione geologica di superficie e di sottosuolo del sito-diga, rappresentata graficamente nella sezione geologica della tav. RD7.9.

Come indicato nei precedenti paragrafi, nel sito della diga è presente una sola litologia, rappresentata dalla formazione gabbro-dioritica; le differenze petrografiche presenti nella formazione (dai litotipi prevalentemente gabbrici a quelli dioritici) non sono individuabili macroscopicamente e in ogni caso non hanno influenza e importanza dal punto di vista tecnico. Nel profilo geologico si è quindi rappresentato graficamente un solo litotipo, fornendo informazioni puntuali circa le caratteristiche di fratturazione dell'ammasso ricavate dai sondaggi e dalle indagini geofisiche.

Sono inoltre state distinte le coperture detritiche e alluvionali, laddove presenti.

In sponda sinistra la roccia gabbro-dioritica è sempre affiorante o sub-affiorante (con coperture detritico-eluviali non cartografabili e poco significative dal punto di vista tecnico). Questa situazione è rappresentata nelle foto 5.6, 5.9 e 5.15.

Tutte le indagini sono concordi nell'individuare la presenza di un ammasso roccioso poco fratturato già a poca profondità dal p.c.. Questa situazione si evince dalla distribuzione dell'indice RQD misurato nei sondaggi.

Nel profilo geologico sono state indicate due faglie già descritte in precedenza nel paragrafo sulla tettonica. Il sondaggio inclinato SD6 ha individuato, all'incirca in corrispondenza della supposta faglia, la presenza di una fessura aperta non accompagnata però da una fascia di fratturazione più accentuata rispetto a quanto accertato con gli altri sondaggi. Tuttavia, i valori di assorbimento più elevati della media riscontrati in questa zona potrebbero indicare uno stato di allentamento più spinto (indipendentemente da quanto valutabile con l'indice RQD) forse legato ai suddetti disturbi tettonici.

Nell'area di fondovalle come già detto, la copertura alluvionale è risultata molto esigua e discontinua, con frequenti ed estese aree di affioramento di rocce (v. foto 5.9 e 5.10).

La copertura alluvionale indicata nella sezione geologica ha un significato indicativo e ha lo scopo di evidenziare la presenza di coperture alluvionali di spessore poco significativo, dell'ordine di 1-2m. Gli scavi di fondazione previsti in questa zona (indicati nella sezione geologica) consentiranno l'asportazione totale della copertura alluvionale e del primo strato di roccia superficiale.

I due sondaggi SD4 e SD5, oltre a confermare l'assenza quasi totale della copertura alluvionale, hanno evidenziato la presenza di un ammasso roccioso relativamente integro e poco fratturato a poca profondità dal p.c..

La presenza della faglia di fondovalle è ipotizzata solo su basi interpretative, ma non è stata confermata dai sondaggi e dalle indagini geofisiche.

In sponda destra la situazione più significativa dal punto di vista tecnico è rappresentata dalla presenza della fascia detritica al piede della sponda. Lo spessore della copertura detritica è stato ricostruito sulla base delle indagini geofisiche e sembra essere congruente con i rilievi di superficie. Come si evidenzia dal profilo geologico, tale accumulo detritico verrà completamente asportato con gli scavi di fondazione della diga.

Nel profilo geologico sono inoltre stati tracciati i possibili lineamenti tettonici individuati su basi interpretative. Uno di questo è stato attraversato dal sondaggio orizzontale SD9 che ha in effetti verificato la presenza di una fascia di roccia più fratturata.

Gli allineamenti tettonici a quote più elevate sono invece solo ipotizzati.

6. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

6.1. Metodologie di indagine

Come è noto gli ammassi rocciosi sono strutture composte da una matrice rocciosa intatta separata da discontinuità (fratture), serrate o più o meno aperte, a volte riempite da materiale di origine secondaria. Tali discontinuità hanno una fondamentale importanza per il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso; dal punto di vista ingegneristico l'ammasso viene infatti assimilato ad un aggregato di blocchi, più o meno giustapposti, separati da un reticolo di discontinuità. La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso consiste quindi nella definizione dei parametri geomeccanici e geometrici più significativi e nell'individuazione di un modello che meglio approssimi il comportamento dell'ammasso.

Con tale criterio la caratterizzazione può essere fatta trattando l'ammasso come un mezzo "discontinuo", a comportamento anisotropo, o come un mezzo "continuo" a comportamento schematizzabile come un mezzo isotropo.

Nel primo caso gli elementi strutturali influiscono in misura essenziale sulle caratteristiche meccaniche dell'insieme, soprattutto nei riguardi delle condizioni di stabilità dei pendii e dei fronti di scavo. Nel secondo caso, a causa dell'intensità della fratturazione e/o della scala del problema trattato, ovvero del volume di roccia interessato in relazione all'andamento delle discontinuità, gli elementi strutturali influiscono ancora sulla caratterizzazione geomeccanica, ma senza stabilire anisotropie di comportamento.

La scelta di uno o l'altro modello è ovviamente funzione delle caratteristiche specifiche dell'ammasso, ma anche del tipo di problema (volumi interessati, geometria degli scavi, direzione delle sollecitazioni).

In linea generale, a prescindere dall'effetto scala, il comportamento meccanico di un ammasso roccioso (in termini di caratteristiche di resistenza e deformabilità) può essere considerato isotropo nei due casi estremi in cui la formazione rocciosa è completamente integra o è interessata da un sistema di discontinuità fitto e irregolare (il primo di questi casi è nella pratica mai applicabile).

Nei casi più frequenti, in cui la presenza di sistemi di discontinuità più o meno regolari fanno individuare zone di debolezza dell'ammasso, la caratterizzazione geomeccanica deve essere indirizzata a definire un modello che meglio approssimi il comportamento di un ammasso roccioso discontinuo.

Per una ricostruzione del modello è richiesta l'analisi dei seguenti aspetti:

- caratteristiche meccaniche della roccia intatta;
- assetto strutturale delle discontinuità;
- resistenza a taglio dei piani di discontinuità.

Di questi tre aspetti, il terzo è quello che richiede maggiori sforzi per l'acquisizione dei dati, in quanto è assai difficile riprodurre, in sito o in laboratorio, le effettive condizioni che si presentano lungo i giunti. Tra i vari metodi quello più affidabile, ma peraltro più oneroso, è quello che richiede l'esecuzione di complesse prove di taglio in sito. Tali prove sono in genere demandate alle fasi di progettazione più avanzata. In questa sede si è provveduto ad una stima di campagna, con misure speditive di scabrezza secondo il criterio del JRC (Joint Roughness Coefficient).

Le caratteristiche meccaniche della roccia intatta sono state ricavate con gli usuali mezzi delle prove di laboratorio, che risultano affidabili in quanto la scala del campione è rappresentativo delle caratteristiche del litotipo intatto.

Per la definizione dell'assetto strutturale delle discontinuità è invece necessario un approfondito studio di campagna che, già in questa fase del Progetto Preliminare, è stato svolto con accuratezza. A tale scopo, per fornire una rappresentazione statisticamente significativa delle discontinuità presenti negli ammassi rocciosi, è stato effettuato uno specifico rilievo geostrutturale realizzato con alcune stazioni di misure. In tali stazioni vengono analizzate le caratteristiche strutturali della roccia in corrispondenza di allineamenti (traverse); le traverse sono rappresentate da ideali linee sull'affioramento, posizionate a discrezione dal rilevatore in modo che essa intercetti in maniera significativa le discontinuità che intersecano l'ammasso. Per le discontinuità intercettate vengono rilevati i seguenti dati:

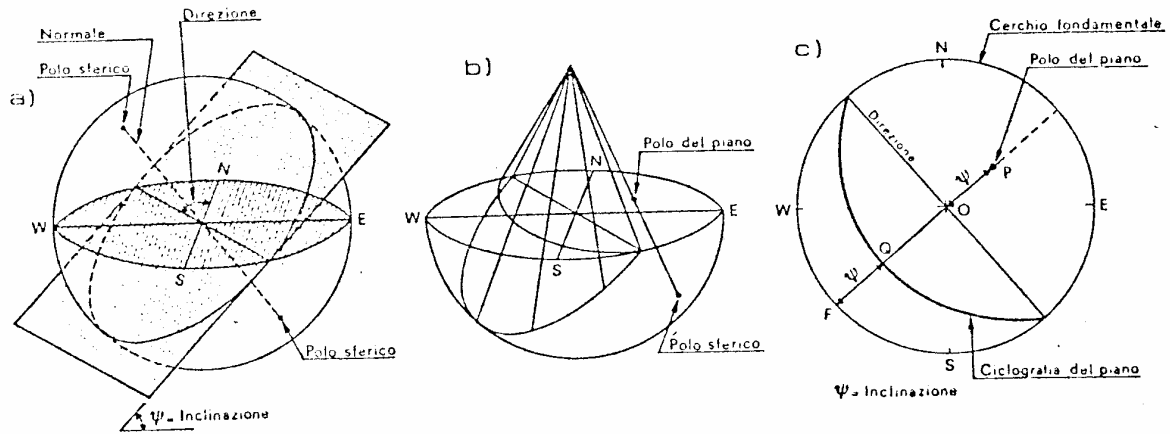
- distanza dal punto di inizio della traversa;
- giacitura del piano di discontinuità (immersione e inclinazione);
- lunghezza visibile della frattura;
- apertura/larghezza della frattura;
- rugosità della superficie di frattura;
- tipo di riempimento (se presente).

I dati raccolti sono riassunti in apposite tabelle; i dati di giacitura delle discontinuità sono elaborati e rappresentati graficamente con i metodi di proiezione stereografica polare ed equatoriale.

Con tale metodo un piano nello spazio è definito dalla direzione della linea di massima pendenza proiettata sull'orizzontale (immersione), misurata in gradi in senso orario dal riferimento Nord, e dalla sua inclinazione rispetto all'orizzontale. La rappresentazione piana viene fatta proiettando l'intersezione del piano con l'emisfero di riferimento (arco di cerchio nella proiezione equatoriale conforme), detta ciclografica, o in alternativa riportando il suo polo (intersezione tra la superficie dell'emisfero di riferimento e la normale al piano passante per il centro) su uno stereogramma polare.

Il criterio prima enunciato è illustrato graficamente nella fig. 1 seguente.

I dati delle discontinuità così rappresentati sono poi elaborati statisticamente e graficizzati sempre sulle proiezioni stereografiche con una rappresentazione delle isodense (linee di uguale densità dei punti rappresentativi delle discontinuità).



Proiezione stereografica di un piano inclinato:
 a) cerchio massimo tracciato dal piano sulla sfera di riferimento
 b) proiezione della sua metà inferiore sul piano orizzontale
 c) ciclografia e polo del piano

Fig. 1 – Sistema di rappresentazione stereografica delle discontinuità dell'ammasso roccioso

6.2. Caratteristiche meccaniche della roccia intatta

La roccia gabbro-dioritica affiorante nel sito-diga è caratterizzata generalmente da struttura granulare e tessitura isotropa, solo raramente con una lieve isorientazione dei cristalli.

Nella campagna di indagini eseguita sono stati raccolti i seguenti dati di laboratorio con prove eseguite su carote prelevate dai sondaggi:

- determinazione del peso di volume
- determinazione della velocità sonica dei provini;
- resistenza a compressione uniassiale;
- prove di schiacciamento "point-load".

I risultati delle prove di laboratorio sono riassunti nella tabella seguente.

INDAGINI PROGETTO DEFINITVO													
RISULTATI PROVE DI LABORATORIO													
Sond	Camp.	Prof.	Peso di volume	Peso specifico	Porosità	Point Load	I _{s(50)}	UCS	Vp	Vs	Poisson	E _{tang}	E _{sec}
		(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(%)	(kN)	(MPa)	(MPa)	(m/s)	(m/s)	(-)	(GPa)	(GPa)
SD4 - C1		2.90-3.90	30.8	31.0	0.68	52.8	8.6	47.5					
SD4 - C1		3.17-3.35	29.1	29.2	0.40			25.7					
SD4 - C2		6.00-6.70	30.3	30.6	0.83	71.5	14.3	79.3					
SD4 - C2	c2-tx1	6.11-6.23											52.3
SD4 - C2	c2-tx2	6.23-6.35											93.8
SD4 - C2	c2-tx3	6.58-6.70											72.0
SD4 - C3		10.00-11.00	28.9	29.2	1.09	30.7	5.1	78.9			0.31		63.5
SD4 - C3		10.65-10.83	28.7	28.8	0.50			20.0					
SD4 - C4		15.80-16.80	27.7	28.3	2.17	20.7	3.4	79.2	4879	2660	0.29	50.6	60.4
SD4 - C4		16.30-16.48	27.8	27.9	0.44			41.6					
SD4 - C5		20.60-21.60	28.1	28.3	0.80	66.5	10.9	164.8					
SD4 - C5	tx1	21.00-21.12											126.4
SD4 - C5	Tx2	21.12-21.24											61.1
SD4 - C5	tx3	21.35-21.47											26.0
SD4 - C6		25.00-26.00	28.2	28.5	1.05	93.8	15.2	178.2	5069	2751	0.29	55.1	133.8
SD4 - C6		25.05-25.23	27.5	27.7	0.66			43.3					
SD4 - C7		30.50-31.50	28.7	29.1	1.22	136.4	22.4	131.6					
SD4 - C7		30.87-31.05						74.7			0.11		46.7
SD4 - C8		38.50-39.50	29.6	29.9	1.09	19.8	3.3	65.3					
SD5 - C1		4.50-5.00	29.5	29.7	0.83	81.4	13.1	47.2					
SD5 - C1	c1-tx1	9,36-9,48										58.7	46.3
SD5 - C1	c1-tx2	9,36-9,48										65.3	56.3
SD5 - C1	c1-tx3	9,36-9,48										68.7	59.8
SD5 - C2		8.10-9.10	30.2	30.6	1.17	31.6	5.0	73.9	5376	2858	0.30	56.0	31.1

Sond	Camp.	Prof.	Peso di volume	Peso specifico	Porosità	Point Load	I _{s(50)}	UCS	Vp	Vs	Poisson	E _{tang}	E _{sec}
		(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(%)	(kN)	(MPa)	(MPa)	(m/s)	(m/s)	(-)	(GPa)	(GPa)
SD5 - C3		12.60-13.10	30.5	30.7	0.69	63.7	10.4	77.7					
SD5 - C4		17.15-18.00	28.5	28.7	0.75	23.7	3.7	59.2			0.34	57.5	48.0
SD5 - C5		22.10-22.70	28.3	28.5	0.62	30.2	5.0	43.5					
SD5 - C5	c5-tx1	22.22-22.34										65.4	58.5
SD5 - C5	c5-tx2	22.34-22.46										15.7	13.9
SD5 - C5	c5-tx3	22.46-22.58										60.4	21.3
SD5 - C6		26.4-27.15	30.2	30.3	0.29	60.3	9.3	121.4	5465	2905	0.30	124.2	60.7
SD5 - C6		26.81-26.99	28.9	29.0	0.49			50.7					
SD5 - C7		34.00-34.90	28.3	28.6	1.04	43.1	6.6	77.5					
SD5 - C7		34.26-34.44						94.0			0.13	32.4	32.4
SD5 - C8		36.90-37.90	28.1	28.5	1.51	50.1	7.6	48.3					
SD5 - C8		36.6-36.78	29.6	29.8	0.58			52.7					
SD5 - C8	tx1	37.16-37.28										42.6	39.3
SD5 - C8	tx2	37.28-37.40										84.4	58.6
SD5 - C8	tx3	37.40-37.52										60.2	59.4
SD5 - C9		41.55-42.55	29.8	30.1	1.01	92.9	13.9	138.2	5708	3046	0.30	134.4	69.1
SD5 - C9		41.82-42.00	30.4	30.6	0.68			88.1					
SD5 - C10		45.10-46.10	29.2	29.6	1.48	63.7	9.4	82.8					
SD6 - C1		3.30-4.00	29.2	29.3	0.46	79	12.0	42.6					
SD6 - C2		5.00-6.00	28.2	28.4	0.64	51.8	7.5	76.4	5450	2957	0.29	66.4	38.2
SD6 - C3		10.00-10.50	28.0	28.3	1.10	86.8	13.2	58.5					
SD6 - C3	c3-tx1	10.00-10.10										66.6	45.3
SD6 - C3	c3-tx2	10.10-10.20										64.9	45.3
SD6 - C3	c3-tx3	10.20-10.30										21.0	15.3
SD6 - C4		18.40-18.70	28.0	28.4	1.47	30.6	4.4	80.3					
SD8 - C1		2.00-3.00	29.4	29.5	0.39	63.4	9.5	49.6					
SD8 - C2		9.00-10.00	31.7	31.9	0.67	104.3	15.3	83.8					

Sond	Camp.	Prof.	Peso di volume	Peso specifico	Porosità	Point Load	I _{s(50)}	UCS	Vp	Vs	Poisson	E _{tang}	E _{sec}
		(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(%)	(kN)	(MPa)	(MPa)	(m/s)	(m/s)	(-)	(GPa)	(GPa)
SD8 - C2	tx1	9.12-9.24										66.1	53.9
SD8 - C2	tx2	9.24-9.36										187.5	154.4
SD8 - C2	tx3	9.36-9.48										77.2	58.7
SD8 - C3		12.50-12.68						196.9			0.28	145.4	155.3
SD8 - C3		12.00-12.80	30.3	30.5	0.80	120.8	18.5	143.7					
SD8 - C4		19.00-20.00	28.5	28.8	0.97	62.4	9.3	96.3	5901	3191	0.29	49.1	35.1
SD8 - C5		24.00-25.00	29.5	29.7	0.73	66.8	10.3	79.8					
SD8 - C5	tx1											74.2	54.6
SD8 - C5	tx2											71.6	65.4
SD8 - C5	tx3											82.6	73.6
SD8 - C6		28.0-29.0	31.6	31.9	0.88	138.9	21.0	195.1	5721	3001	0.31	104.9	97.6
SD9 - C1		2.20-2.70	28.7	29.0	1.14	76.7	11.9	66.0	5594	3020	0.29	59.0	33.0
SD9 - C1		2.35-2.53	28.5	28.6	0.5			82.7					
SD9 - C2		6.50-7.00	29.0	29.2	0.80	93.5	14.9						
SD9 - C2	c2-tx1	6.64-6.76										62.4	62.2
SD9 - C2	c2-tx2	6.76-6.88										78.0	58.2
SD9 - C2	c2-tx3	6.88-7.00										75.5	72.9
SD9 - C3		14.20-14.90	28.6	28.7	0.52	18.9	2.6	41.4					
SD9 - C4		18.45-19.00	28.3	28.6	0.97	4.8	0.7	99.8					
SD9 - C5		21.40-22.00	28.1	28.2	0.53	80.6	11.5	97.1	6115	3322	0.29	94.5	37.5
SD9 - C6		27.80-28.40	29.1	29.3	0.83	48.3	6.9	32.4					
SC1	c1	51.60	30.3					45.7				107.4	125.2
SC1	c2	51.60	31.5					52.0				45.3	33.2
SC2	c1	51.60	30.4					29.7				227.3	109.2

INDAGINI PROGETTO PRELIMINARE													
Sond	Camp.	Prof.	Peso di volume	Peso specifico	Porosità	Point Load	I _{s(50)}	UCS	Vp	Vs	Poisson	E _{tang}	E _{sec}
		(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(%)	(kN)	(MPa)	(MPa)	(m/s)	(m/s)	(-)	(GPa)	(GPa)
S2 - 1	1	13.60-13.80	30.4					82.5	7062				
S2 - 1	1	17.50-17.70	30.0					109.1	7022				
S2 - 1	1	33.00-33.25	28.5					74.0	6364				
S2 - 2	2	33.00-33.25	28.7					75.3	7000				
S2 - 1	1	45.20-45.55	30.1					113.9	5570				
S2 - 2	2	45.20-45.55	30.4					62.7	5438				
S2-11(ax)	11 (ax)	2.50-2.67				11.9	4.43						
S2-12(ax)	12 (ax)	7.66-7.82				16.7	5.74						
S2-13 (d)	13 (d)	13.47-13.61				36.6	10.23						
S2-13(ax)	13 (ax)	13.47-13.61				23.4	7.04						
S2-14(ax)	14 (ax)	18.36-18.46				22.8	8.52						
S2-15(ax)	15 (ax)	22.62-22.79				16.8	6.92						
S2-16(ax)	16 (ax)	28.45-28.61				16.1	8.15						
S2-17(ax)	17 (ax)	32.81-32.96				13.4	5.25						
S2-18(ax)	18 (ax)	39.17-39.30				15.3	7.49						
S2-19(ax)	19 (ax)	45.10-45.21				17.9	6.85						
S2-20 (d)	20 (d)	46.75-46.85				29.2	8.16						
S2-20(ax)	20 (ax)	46.75-46.85				23.4	7.04						
S3 - 1	1	3.20	29.8					95.3					
S3 - 2	2	3.20	30.0					86.8					
S3 - 1	1	15.80	30.8					146.4					
S3 - 1	1	25.70	31.4					88.9					
S3 - 2	2	25.70	31.3					130.7					
S3 - 1	1	31.20	30.4					121.0					
S3 - 2	2	31.20	30.0					30.7					
S3 - 1	1	37.50	30.7					156.2					
S3 - 2	2	37.50	30.8					113.3					

Il peso di volume è risultato molto elevato, ma in linea con i dati di letteratura e in accordo con la prevalenza di minerali fessicci (molto pesanti). I valori del peso di volume sono risultati variabili con valori più frequenti tra 28.4 e 30.6 kN/m³ con una media di 29.5 kN/m³.

I valori della resistenza a compressione variano nel campo dei valori più frequenti 50÷120 MPa, con una media di circa 85 MPa. L'estrema variabilità dei valori è legata alle caratteristiche insite dei singoli campioni (presenza di fessure latenti) piuttosto che ad effettive differenze di resistenza.

Le prove point load hanno fornito risultati molto dispersi e necessitano di una specifica taratura con le prove di compressione eseguite nel sito poiché le correlazioni usuali di letteratura porterebbero a valori molto elevati.

Considerazioni di maggiore dettaglio sulle prove di laboratorio sono riportate nella Relazione Geotecnica.

6.3. Caratteristiche strutturali delle discontinuità

L'analisi degli elementi meso-strutturali, condotta sui fronti di affioramento, naturali o artificiali, presenti nell'ambito dell'area esaminata (vedi carta strutturale dell'elaborato RD7.8), ha permesso di riconoscere alcuni sistemi di discontinuità principali.

I rilievi sono stati concentrati soprattutto in sponda sinistra, a causa della facilità di accesso; alcune stazioni sono state eseguite anche nella zona d'alveo e al piede della sponda destra; in queste zone tuttavia le difficoltà di accesso e la scarsa estensione degli affioramenti raggiungibili non hanno permesso di effettuare stazioni con un elevato numero di punti di misura (come si evince anche dalle proiezioni stereografiche).

Particolare dettaglio è stato dato ai **rilievi all'interno del cunicolo** che passa al di sotto della spalla sinistra della diga, sia per la possibilità di avere superfici di roccia molto estesa, sia per la posizione del cunicolo stesso, proprio sulla verticale della spalla della futura diga.

Nell'ambito delle stazioni ubicate in **sponda sinistra** sono state evidenziate 2-3 o più famiglie di fratture, alcune delle quali si ripetono (con lievi variazioni di giacitura) su varie stazioni di misura.

Alcune di queste famiglie, con inclinazione molto accentuata fino a sub-verticale, sono associabili ai principali allineamenti tettonici commentati nei paragrafi precedenti. Si tratta delle famiglie con direzione dei piani NNW-SSE e quelle con giacitura all'incirca ortogonale alle precedenti, con direzione SW-NE.

Altre famiglie di giunti hanno inclinazioni minori (tra 30° e 60°) e presentano immersione generalmente verso Sud (in genere nel quadrante SW).

Alcune di queste famiglie sono peraltro riconoscibili sul terreno perché formano evidenze morfologiche che si ripetono con regolarità (v. foto 6.1 della sponda sinistra).



Foto 6.1– Versante sinistro con evidenziati i principali sistemi di discontinuità

Queste ultime superfici, associate ad altre possono delimitare localmente, in relazione all'andamento del pendio o della superficie di scavo, cunei o diedri di roccia aventi la possibilità cinematica di scivolamento.

A tale meccanismo di formazione di cunei o diedri instabili è da attribuire il fenomeno di scivolamento che è avvenuto in passato sulla stradina di accesso alla diga (v. foto 6.2). In corrispondenza di tale scivolamento è stata eseguita una stazione di misura (*stazione n. 6*) che ha consentito di ricostruire l'andamento delle superfici di frattura e di conseguenza il cinematiso dello scivolamento. Dall'esame delle ciclografiche si delinea in effetti una possibilità di scivolamento con un meccanismo del tutto simile a quello realmente avvenuto.



Foto 6.2 – Scivolamento di un cuneo di roccia sulla stradina di accesso alla diga

Al piede della sponda destra, oltre agli allineamenti sub-verticali, si riconoscono alcune superfici meno inclinate, simili a quelle della sponda sinistra ma leggermente ruotate con immersione verso Ovest.

I rilievi in cunicolo hanno confermato la presenza delle discontinuità principali rilevate in affioramento sulla sponda sinistra. In particolare sono state riconosciute le famiglie con immersione a S e SW con inclinazioni di 40-50°.

6.4. Caratteristiche a livello di ammasso

A scala più grande, o in particolari condizioni geometriche e di sollecitazione, il comportamento meccanico dell'ammasso è ancora condizionato dallo stato di fratturazione, ma le superfici di potenziale rottura cui riferire i coefficienti di sicurezza possono utilizzare solo in parte e indifferentemente le discontinuità precostituite.

Allo scopo di ottenere una classificazione geomeccanica dell'ammasso che consenta di sfruttare, per la stima dei parametri fisico-meccanici che interessano, il patrimonio di conoscenze empiriche raccolte nella letteratura tecnica specifica, può essere utile riferire l'ammasso stesso a un modello di mezzo continuo pseudo-omogeneo, dotato di caratteristiche di resistenza a rottura e di deformabilità che tengano conto solo implicitamente della presenza, dell'orientamento e degli altri caratteri delle discontinuità effettivamente presenti nell'ammasso reale.

Al riguardo si è fatto riferimento al modello proposto da Hoek & Brown (1998-2002), ricavando l'indice GSI (Geological Strength Index) dallo schema riprodotto nella fig. 3.

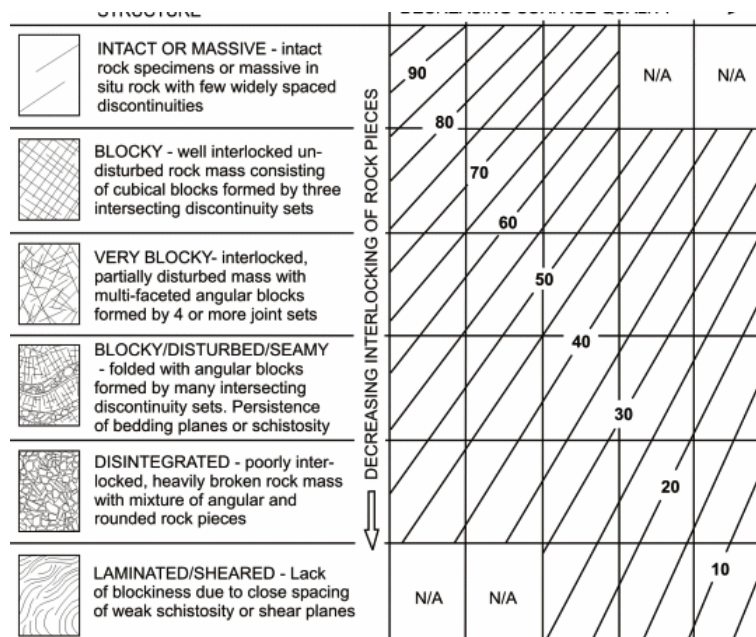


Fig. 3 – Indice GSI (Geological Strength Index) da Hoek & Brown (1998-2002)

Rimandando alla relazione geotecnica per gli aspetti di dettaglio si riassumono i campi di valori di GSI stimati sulla base dei risultati delle indagini e dei rilievi in sito.

Per le porzioni di ammasso alterate e fratturate più o meno superficiali

GSI 50

Per le porzioni di ammasso relativamente profonde, poco alterate e fratturate

GSI 55

Per le porzioni di ammasso profonde, relativamente integre

GSI 60

6.5. Parametri di deformabilità dell'ammasso (prova in cunicolo)

Per una valutazione delle caratteristiche di deformabilità, espresse come modulo di Young, si può fare riferimento alle varie relazioni di letteratura che tengono conto delle caratteristiche meccaniche del litotipo (resistenza a compressione) e del grado di fratturazione (GSI o RMR). Si rimanda alla Relazione Geotecnica per le valutazioni quantitative.

Per una misura diretta del modulo di deformabilità è stata eseguita una prova su piastra in cunicolo con le metodologie previste dal I.S.R.M.. Poiché la prova è stata eseguita sulla verticale della futura spalla sinistra della diga, ad una profondità di circa 40m dal p.c., questa può essere considerata rappresentativa della porzione di ammasso roccioso integro. In effetti dai rilievi della roccia effettuati in cunicolo, escludendo i fenomeni di alterazione e decoazione provocati dall'esposizione della superficie della roccia dopo lo scavo e dai fenomeni di disturbo provocati dallo scavo stesso (effettuato con esplosivo), è emerso che l'ammasso roccioso è molto chiuso e il reticolo delle fratture si presenta generalmente molto serrato.



Foto 6.3 – Alcune foto della prova su piastra in cunicolo

I carotaggi eseguiti per l'installazione degli estensimetri hanno confermato tali osservazioni; soprattutto il carotaggio lato monte ha evidenziato un RQD quasi sempre 100%; il sondaggio lato valle ha dei passaggi più fratturati ma con valori di RQD sempre molto elevati.



Foto 6.4– Carotaggi per installazione estensimetri. Sin: lato valle. Destra: lato monte

Le caratteristiche di resistenza della roccia stimati con sclerometro si confermano molto elevati, dell'ordine di 50MPa. Questi valori, tenuto conto dell'approssimazione del metodo di misura, possono considerarsi rappresentativi delle resistenze su giunti.

Le prove di resistenza a compressione sui campioni prelevati dai carotaggi hanno evidenziato valori leggermente inferiori a quelli delle altre prove (tra 30 e 50MPa) a conferma dell'estrema variabilità dei valori (legati a fattori locali insiti nei provini più che a differenze effettive).

Per questo ammasso può stimarsi un valore di GSI sicuramente spostato verso i valori più elevati tra quelli indicati in precedenza e forse anche leggermente superiore (60-65).

Con i rilievi geostrutturali eseguiti in cunicolo sono state misurate giacitura delle principali discontinuità che corrispondono con buona approssimazione a quelle della stazione 6 in superficie.

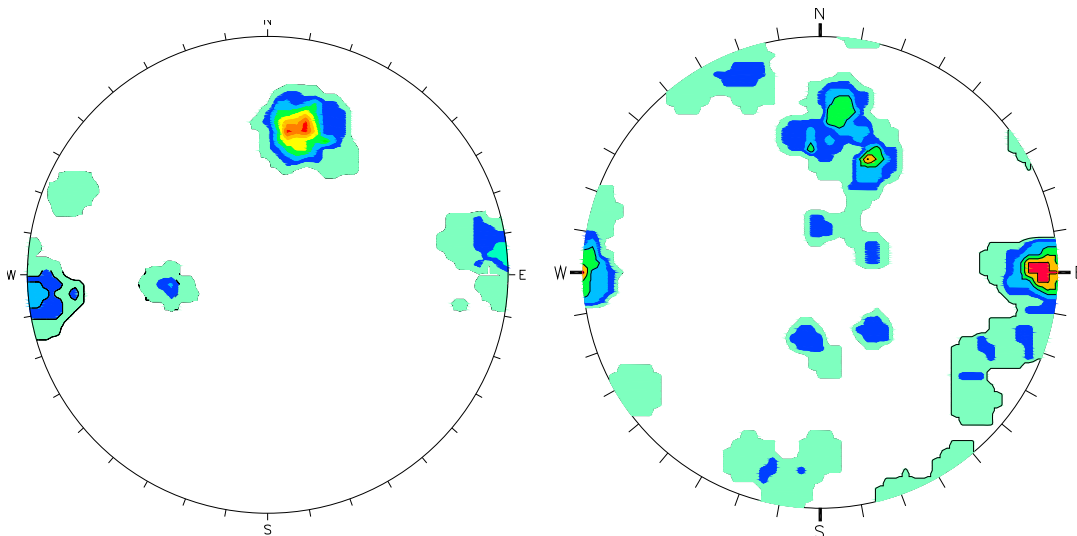


Fig. 4 – Proiezioni stereografiche (isodense dei poli) per la stazione in cunicolo (sinistra) e la stazione 6 in superficie

Si rimanda alla documentazione sui rilievi geostrukturali per ulteriori dettagli delle condizioni di ammasso nel cunicolo.

Con la prova su piastra sono stati misurati valori del modulo E , nel campo 60-80GPa; questi valori sono analoghi a quelli ricavati dalle prove su campioni, rappresentativi quindi del litotipo intatto o attraversati solo da microfessure. Questa circostanza può essere attribuita allo scarso grado di fratturazione dell'ammasso a queste profondità e/o dal grado di serraggio delle fessure comunque presenti o anche ad un effetto scala. E' possibile cioè che anche la prova effettuata su piastra di 50cm, che coinvolge volumi di roccia dell'ordine di 3 volte il diametro, non prenda in considerazione l'insieme delle fessure presenti in un volume molto più ampio. Le osservazioni effettuate portano tuttavia a ritenere che anche aumentando il volume rappresentativo, l'effetto delle discontinuità eventualmente più fitte e più ampie presenti su volumi maggiori non condizioni in maniera significativa il comportamento globale dell'ammasso.

Si rimanda allo specifico documento sulla prova su piastra in cunicolo e alla Relazione Geotecnica per ulteriori dettagli.

7. PROBLEMI GEOLOGICO-TECNICI CONNESSI CON IL PROGETTO DELLA DIGA

Le problematiche geologico-tecniche di maggiore interesse, che influenzano gli aspetti progettuali della diga, possono riassumersi nei seguenti tre punti:

- ✓ Ubicazione del sito diga e condizioni geomorfologiche e tettonico-strutturali
- ✓ Fondazioni della diga
- ✓ Tenuta idraulica

Gli aspetti geotecnici e le valutazioni quantitative, anche dei suddetti argomenti, sono trattati nella Relazione Geotecnica allegata al progetto.

7.1. Ubicazione del sito diga e condizioni geomorfologiche e tettonico-strutturali

La scelta del sito della nuova diga è stata condizionata dalla presenza della diga esistente: il posizionamento del nuovo sbarramento in un sito troppo vicino alla sezione di imposta attuale avrebbe creato infatti interazioni tra le due strutture, anche con riferimento alle operazioni di scavo e costruzione del nuovo sbarramento e alle presumibili fasi di dismissione della diga esistente.

Poiché già a poca distanza dalla sezione di imposta attuale l'incisione valliva si allarga notevolmente, non consentendo una adeguata imposta di una diga ad arco o arco-gravità, la ricerca del sito-diga è stata inevitabilmente spostata nel tratto più a valle.

Una zona morfologicamente idonea è sembrata quella ubicata circa 200 m oltre la diga esistente, in una sezione in cui la valle si restringe bruscamente per la presenza di uno sperone roccioso che si protende dalla sponda destra e che provoca uno stretto gomito del corso d'acqua.

Come precedentemente detto, i motivi morfologici della valle sono legati alla tettonica antica che ha portato alla formazione di speroni e costoloni rocciosi. Uno di questi è proprio lo sperone in destra sul quale si imposta la diga.

Per problemi geometrici tuttavia, la spalla destra della diga non si imposta direttamente su questo sperone (altrimenti sulla sponda opposta la diga avrebbe interessato un allargamento del versamento sinistro con conseguente impossibilità di realizzare una struttura ad arco).

La diga è stata quindi traslata di poco verso valle in modo da incassarsi adeguatamente sulla sponda sinistra (in corrispondenza di una protuberanza del versante che riduce la larghezza della valle) e di interessare in sponda destra il fianco meridionale del citato sperone roccioso.

Questa posizione permette peraltro di ridurre le problematiche connesse alla presenza dei lineamenti tettonici che hanno creato la formazione proprio dello sperone in sinistra. Gli studi eseguiti hanno evidenziato infatti la presenza di dislocazioni e sistemi di fratture che da un lato hanno portato alla formazione del citato sperone, dall'altro hanno provocato una sua disarticolazione interna. La presumibile posizione dell'allineamento tettonico principale sulla sponda destra è illustrata nella foto seguente.



Foto 7.1– Lo sperone roccioso in sponda destra con i probabili allineamenti tettonici individuati

Si specifica, come già detto in precedenza, che i disturbi tettonici suddetti sono legati a fenomeni tettonico-strutturali molto antichi, legati all'orogenesi alpina, e sono da considerare del tutto inattivi, essendo stata esclusa una neo-tettonica attiva in questa area.

Come già detto in precedenza, alcuni di questi disturbi tettonici si ritrovano anche nel sito della diga esistente, senza che questi abbiano provocato problemi o disfunzioni durante i circa 50 anni di esercizio della diga stessa. La presenza di queste faglie nella diga esistente è illustrata nelle successive foto.

Le osservazioni di superficie e i sondaggi eseguiti hanno peraltro verificato che queste zone tettonizzate sono generalmente di spessore ridotto e non sono accompagnate da materiale fagliato e triturato molto spinto (sono assenti in particolare miloniti e brecce di frizione con matrice fina, che generalmente possono creare problemi di dilavamento se sottoposti a carichi idraulici elevati). La presenza di queste zone di faglia vanno quindi interpretate come zone di intensa fratturazione dell'ammasso, che possono essere affrontate con gli usuali accorgimenti e interventi che vengono generalmente adottati per ammassi rocciosi fratturati (sempre presenti nelle normali condizioni della geologia del territorio italiano).

La spalla destra della diga si imposta poco a valle di questo sperone evitando quindi di interessare la parte più disarticolata di esso. Del resto la caratteristica morfologia di questo sito consente di ottimizzare la forma e le dimensioni della diga. Lo spostamento della sezione di sbarramento più a valle avrebbe comportato un aumento delle dimensioni e dell'altezza della diga che è stato considerato non accettabile in un'ottica di costi-benefici.

Inoltre, da un esame delle diverse problematiche da affrontare per l'individuazione del piano di fondazione è emersa la necessità di profondi scavi di fondazione, superiori a quelli che, in condizioni morfologiche normali, sarebbero stati considerati sufficienti per motivi geomeccanici.

Per consentire un adeguato incasso geometrico della diga sulla sponda A8 (anche nella parte alta) e vista la forte acclività di questo sperone nella parte bassa, si è dovuto prevedere la quasi totale asportazione dello sperone stesso (anche per motivi legati alla cantierizzazione e alla creazione della zona di betonaggio, ubicata proprio in questa zona). Questa geometria degli scavi consente di rimuovere proprio la parte superficiale dello sperone, più allentata e detensionata (in realtà anche oltre quella più superficiale essendo stati previsti scavi fino ad oltre 20m), riducendo di molto le problematiche prima descritte.

Gli elevati volumi di sbancamento previsti per lo sbancamento dello sperone potranno tuttavia essere utilizzati per l'approvvigionamento di materiali da costruzione. Le caratteristiche petrografiche e di resistenza della roccia proveniente dagli scavi sono tali da far considerare tale materiale idoneo per la formazione di inerti per calcestruzzi.

Una situazione molto più congeniale all'inserimento della struttura si delinea per il fondovalle e la sponda sinistra dove sono presenti sempre rocce affioranti o sub-affioranti e quindi la pianta degli scavi risponde più a motivi di geometria che a problemi geomeccanici.

poco presenza dello stretto sperone in sponda destra, poco a monte del sito-diga, fornisce un problema di inserimento della struttura, anche nell'ottica di una razionalizzazione degli scavi di fondazione. Tale sperone è stato di fatto quasi del tutto sbancato anche per facilitare la cantierizzazione dell'area.

7.2. Scavi di fondazione della diga

Come esposto nei capitoli precedenti, le caratteristiche meccaniche della roccia di fondazione sono risultate molto buone già a poca profondità dal p.c.: i fenomeni di alterazione risultano pressoché assenti a partire da circa 5 m dal p.c., mentre lo stato di fratturazione è risultato molto basso già a poca profondità dal p.c. tanto che le misure sismiche in foro indicano valori della velocità della roccia superiori a 2500 m/s a partire da circa 5-6 m dal p.c..

Con tali dati è stato deciso di garantire uno scavo di fondazione di profondità minima 5 m, assicurando in tal modo un appoggio uniforme della diga sulla roccia di fondazione.

Di fatto la necessità di regolarizzare gli scavi in modo da garantire una geometria omogenea del piano di imposta ha costretto a prevedere volumi di sbancamento superiori a quelli strettamente necessari a causa della presenza di irregolarità e risalti morfologici.

Gli scavi di fondazione sono stati profilati con pendenza $h/b=5/1$, con altezze delle singole scarpate non superiori a 10 m, interrotte da banche orizzontali di larghezza variabile.

Viste le ottime caratteristiche meccaniche degli ammassi rocciosi non sono da prevedere problemi tecnici di particolare rilievo nei riguardi della stabilità dei fronti di scavo.

Le verifiche di stabilità degli scavi oggetto di specifiche analisi riportate nella relazione Geotecnica, hanno individuato le situazioni più critiche e di conseguenza sono stati deciso i relativi interventi di stabilizzazione.

7.3. Tenuta idraulica

I risultati delle prove di assorbimento hanno indicato che l'ammasso roccioso è caratterizzato da un grado di permeabilità scarso, ma apprezzabile (per la presenza di fessure più o meno aperte) nell'ambito dei primi 10-20 m dal p.c. attuale. A profondità maggiori gli assorbimenti sono stati generalmente molto scarsi. L'ammasso è praticamente impermeabile a profondità superiori a 40 m (dove le prove Lugeon hanno riscontrato assorbimenti nulli anche con pressioni elevate di iniezione).

In tale situazione è stato previsto uno schermo di tenuta con iniezioni di miscele cementizie in foro. Per i dettagli di tale schermo si rimanda alla relazione Geotecnica.

Nei riguardi della tenuta idraulica generale del bacino, non sono stati individuati motivi stratigrafici e/o tettonici che forniscano indizi circa la possibilità di aggiramenti e perdite del serbatoio. La buona tenuta d'insieme del bacino è del resto testimoniata dal comportamento dell'attuale invaso, che non ha fornito problemi di alcun tipo indicando un grado di permeabilità delle rocce di imposta del serbatoio molto scarso. L'aumento di circa 35m del futuro livello di invaso rispetto a quello attuale non dovrebbe fornire problemi aggiuntivi rispetto a quelli finora affrontati.