



# DIGA DI SESSERA

## ADEGUAMENTO DELLA SICUREZZA IDRAULICA

### PROGETTO ESECUTIVO Rev. 1

#### RELAZIONE GEOLOGICO-GEOMECCANICA





EDISON SPA  
FORO BUONAPARTE 31  
20121 MILANO

Regione Piemonte  
Provincia di Biella  
Comune di Vallanzengo

## DIGA DI SESSERA PROGETTO DI ADEGUAMENTO DELLA SICUREZZA IDRAULICA



### RELAZIONE GEOLOGICO-GEOMECCANICA

Elaborato

**ID-17-R-001**

Data

Gennaio 2017

Identificazione elaborato

Redatto

Verificato

Approvato

ID17R001.pdf

EA

EA

EA

Revisione

Data

Redatto

Verificato

Approvato

Oggetto

Geol Enrico ARESE  
C.so P. di Piemonte, 27  
12035 Racconigi (CN)  
Tel./Fax: 0172-1916099  
e-mail:enrico.ares@gmail.com



## INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE E BIBLIOGRAFICO.....	2
3	GEOLOGIA DELLA ZONA DI IMPOSTA .....	8
3.1	Substrato.....	8
3.2	Forme e depositi quaternari .....	9
4	CONSIDERAZIONI GEOMECCANICHE .....	10
4.1	Premessa.....	10
4.1.1	Rilievi geologico strutturali.....	11
4.1.2	Famiglie di discontinuità rilevate.....	13
4.1.3	Sintesi dei risultati .....	18
4.2	Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.....	19
4.2.1	Premessa.....	19
4.2.2	Risultati .....	20
4.3	Parametri caratteristici dell'ammasso .....	21
5	CONSIDERAZIONI SULLA STABILITA' DELLE SPONDE DELL'INVASO .....	23
5.1	Premessa.....	23
5.2	Sponde dell'invaso .....	23
5.3	Progetto nuova diga .....	24
6	CONSIDERAZIONI NEI CONFRONTI DELL'OPERA.....	26

## ALLEGATI

**Appendice A** Schede del rilievo geologico strutturale

## 1 **PREMESSA**

Su incarico di EDISON S.p.A. è stato eseguito uno studio geologico-strutturale della roccia a valle della diga, in corrispondenza del getto al piede dello sfioratore di superficie della diga di Sessera (BI) e di un suo intorno significativo. Inoltre sono state elaborate delle considerazioni di tipo qualitativo sulla stabilità delle sponde dello specchio liquido, in funzione della maggior quota di invaso prevista dallo studio dell'Ing. MARCELLO (Ing. Claudio Marcello srl).

Tale studio é finalizzato alla ricostruzione del modello geologico dell'area, con particolare attenzione alla verifica dell'ammasso roccioso, in relazione agli interventi di adeguamento previsti nel progetto redatto dallo studio dell'Ing. MARCELLO, che consistono nel sovrizzo di 1,45 m della quota di coronamento, da 927,00 m s.m. a 928,45 m s.m., a seguito della decisione di aumentare di 1,15 m la quota di massimo invaso del serbatoio: da 926,00 m s.m. a 927,15 m s.m. I lavori progettati prevedono inoltre l'allargamento delle luci dello sfioratore in corpo diga, trasformandolo da 10 luci nette da circa 5 m ciascuna a 5 luci nette da circa 10 m ciascuna.

Il programma di lavoro si è sviluppato nei seguenti punti:

- esame dei dati preesistenti, riguardanti la costruzione della diga;
- rilievo geologico-strutturale di dettaglio delle pareti rocciose presenti a valle diga e di un loro intorno significativo, in accordo con le raccomandazioni ISRM (1978 - 1993) e s.m.i., indirizzato alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso;
- considerazioni di tipo qualitativo sulla stabilità delle sponde dello specchio liquido, in funzione della maggior quota di invaso;
- elaborazione dei dati raccolti;
- stesura di rapporto di sintesi.

Il lavoro di terreno è stato eseguito a dicembre 2016.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE E BIBLIOGRAFICO

Il documento cartografico di sintesi più recente è la "*Carta geologica della Zona Ivrea-Verbano nell'area della Val Sesia*", pubblicata da USGS nel 2003 (Rfi. bibliografico: Quick, J. E., Sinigoi, S., Snoke, A. W., Kalakay, T. J., Mayer, A. & Peressini, G., 2003), un cui estratto è raffigurato in figura 2.1.

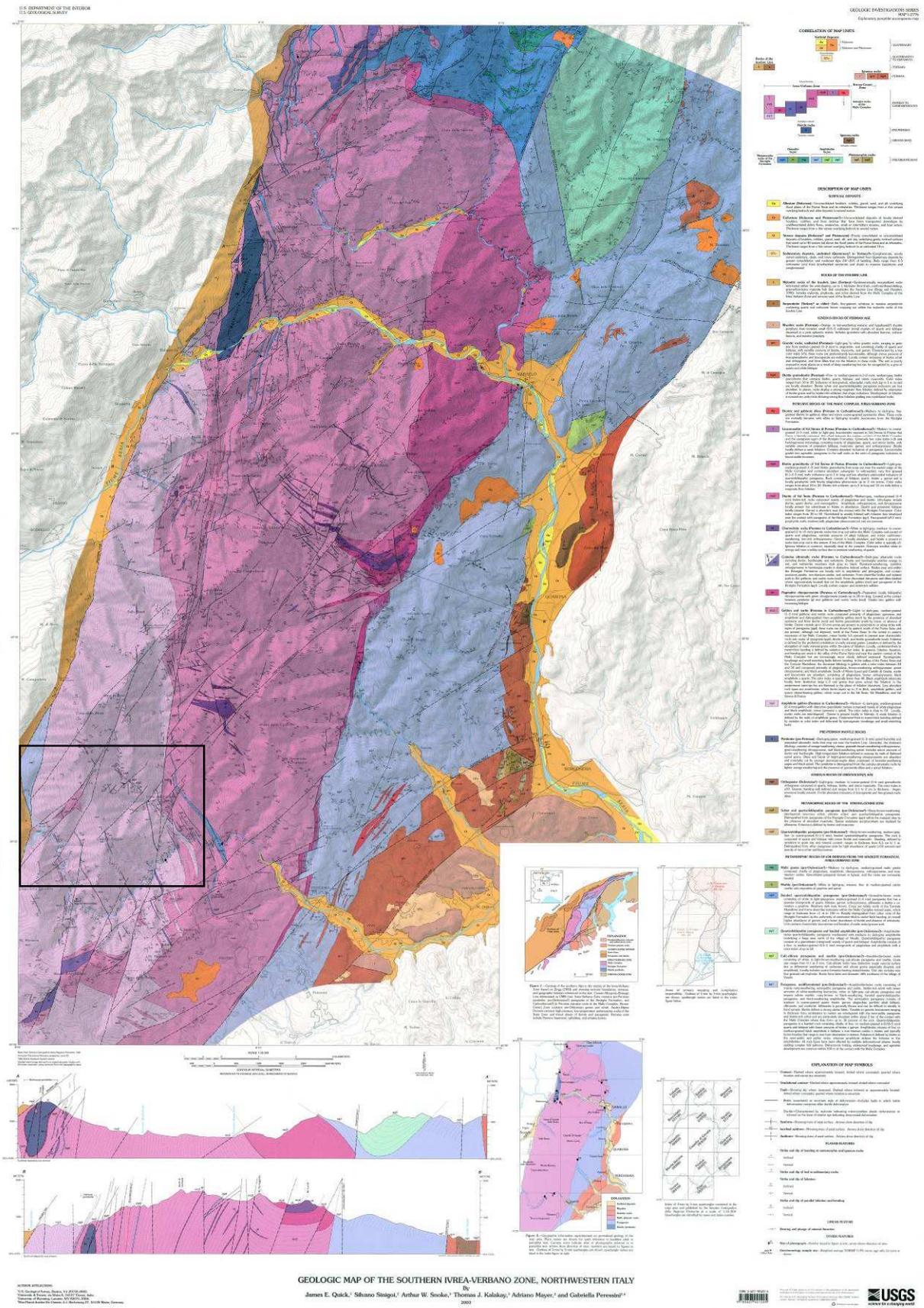
Successivamente sono stati redatti 2 studi di approfondimento della carta geologica di cui sopra, in particolare: Quick J.E. et al (2009) "*Magmatic plumbing of a large Permian caldera exposed to a depth of 25 km*" pubblicato in *Geology* 37, 7 e una tesi di dottorato redatta da Sbisà A. (2011) "*Structure and eruptive history of the Sesia Caldera*" pubblicata presso l'Università degli Studi di Trieste.

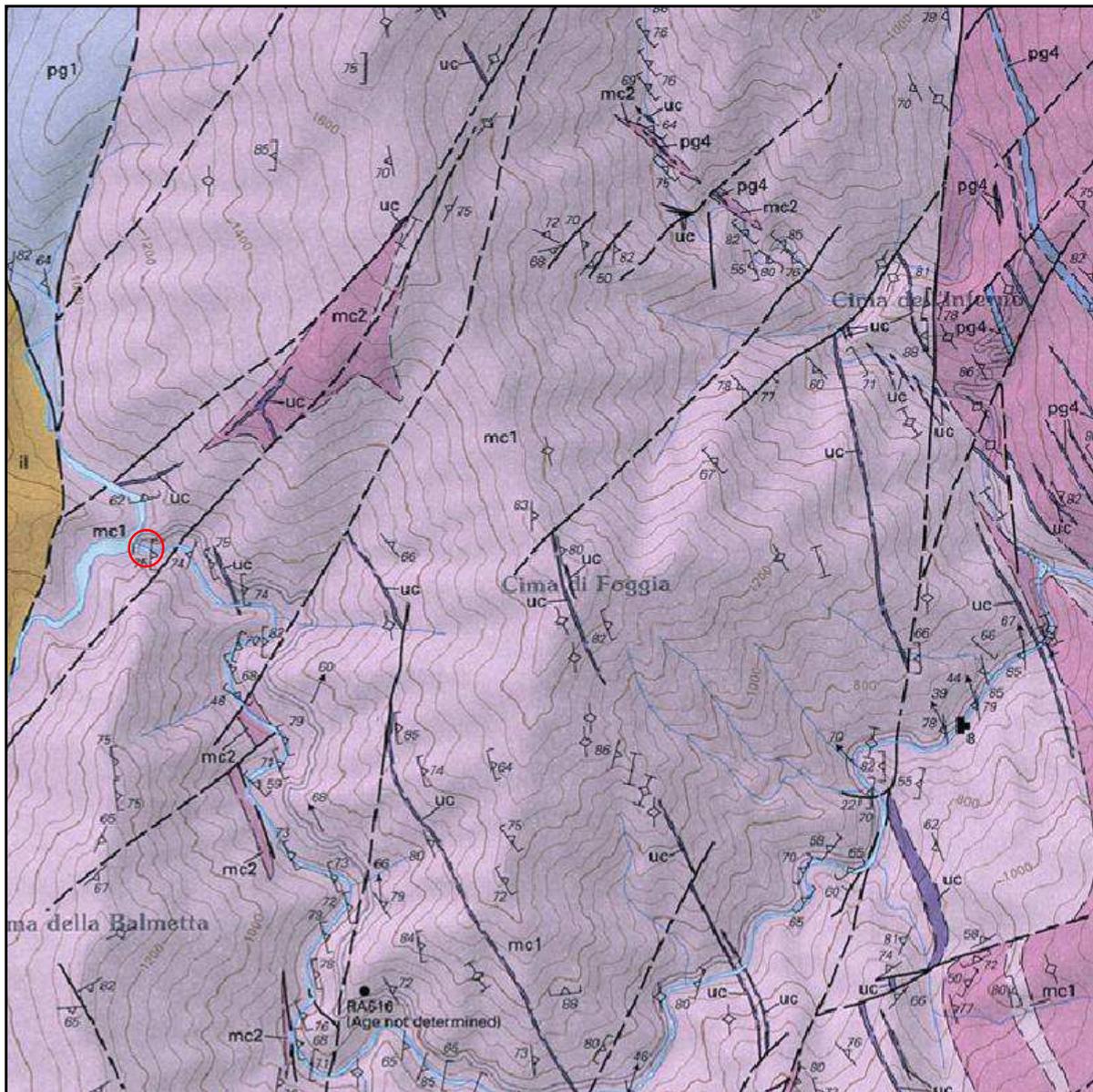
Infine, in occasione del Goldschmidt Conference - Florence, 2013 ISPRA e SGI hanno presentato l'escursione "*Igneous evolutions across the Ivrea crustal section: the Permian Sesia Magmatic System and the Triassic Finero intrusion and mantle*" che rappresenta il più recente studio a riguardo della zona "Ivrea-Verbano" nella quale ricade l'area in esame.

In tale studio emerge che la sezione di crosta profonda della Zona Ivrea-Verbano (Alpi occidentali) è uno dei migliori esempi di "magmatic underplating" continentale. Recenti studi hanno evidenziato la presenza di una "Zona tipo-Sesia" (l'area centrale) e una "Zona tipo-Finero" (l'area settentrionale), che hanno subito evoluzioni magmatiche e tettoniche diverse.

Nella Zona tipo-Sesia, l'enorme plutone gabbroico (Complesso Basico), si è intruso in età Permiana all'interno della crosta profonda del Sudalpino formata da una sequenza di paragneiss e di corpi intercalati di peridotiti di mantello fertile (Iherzoliti). Il contesto magmatico dell'intrusione è rimasto poco chiaro fino a quando è stato dimostrato che la messa in posto del Complesso Basico era coeva con un vulcanismo acido superficiale, comprendente estesi depositi di caldera, e con la crescita di plutoni acidi nella crosta superiore dell'adiacente "Serie dei Laghi". Il Sistema Magmatico del Sesia costituisce un'esposizione senza precedenti del sistema di alimentazione di una caldera dalla superficie ad una profondità di circa 25 km. In questo quadro, il Complesso Basico registra i processi che avvengono nella crosta profonda al di sotto della caldera.

La Zona tipo-Finero è caratterizzata dalla presenza dell'unico esempio al mondo di un corpo di mantello metasomatizzato costituito da rocce ultramafiche contenenti flogopite. L'unità di mantello è circondata da un'intrusione stratiforme femica-ultrafemica ricca in anfibolo, il Complesso Basico di Finero, che mostra caratteristiche litologiche, geochemiche, strutturali e geocronologiche diverse da quello della Val Sesia.





**Figura. 2.1** Estratto della "Carta geologica della Zona Ivrea-Verbania nell'area della Val Sesia". Il quadrato nero indica l'ingrandimento dell'area di esame; il cerchio rosso la diga di Sessera.

L'area ricade interamente in:

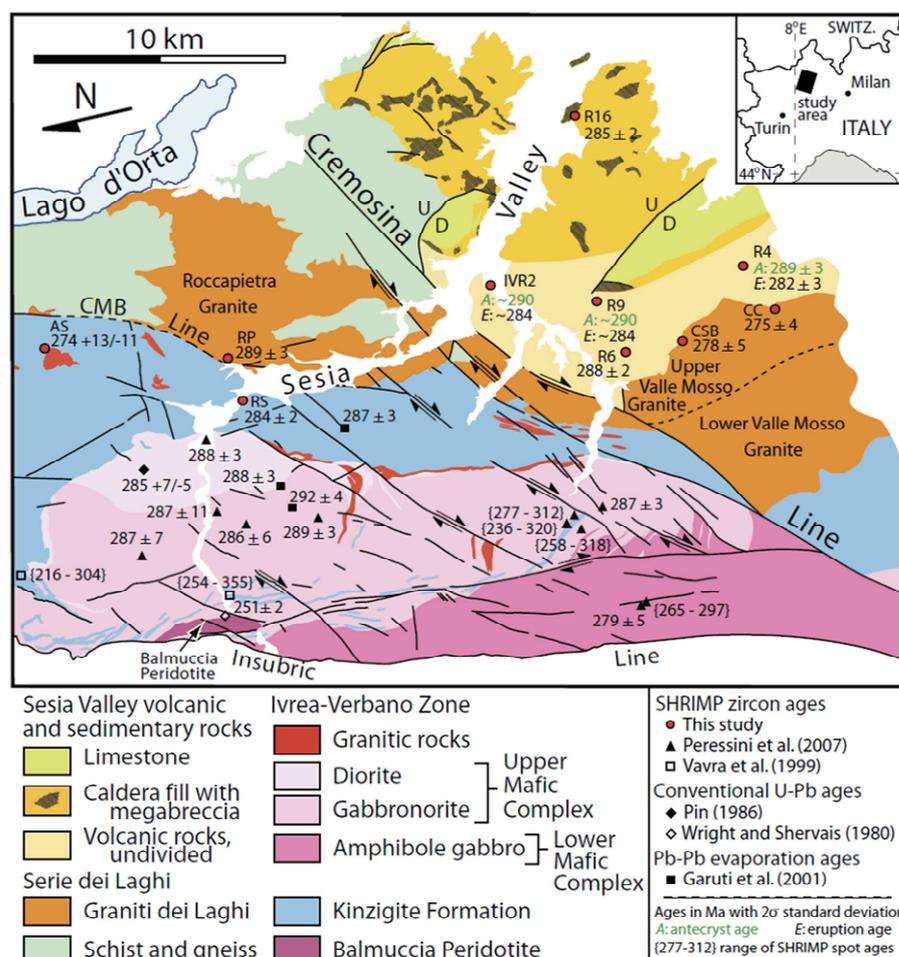


**mc1** Amphibole gabbro (Permian to Carboniferous?)—Medium- to dark-gray, medium-grained (2–4 mm) gabbro with distinctive granoblastic texture composed mainly of white plagioclase and black amphibole, minor pyroxene ± spinel. The color index is close to 50. Locally, noritic rocks are interfingered. Garnet is present locally in Valmala. A weak foliation is defined by the trails of amphibole grains. Centimeter-thick to meter-thick banding defined by variation in color index and deformed by synmagmatic boudinage and small stretching faults

Recenti datazioni U-Pb su zirconi indicano un'età di intrusione Medio-Triassica per il Complesso Basico di Finero, che quindi non può essere più considerato come parte del Complesso Basico Permiano affiorante nell'area della Val Sesia. Diversamente, zirconi di orizzonti cromititici del corpo peridotitico di mantello forniscono età U-Pb del Giurassico Inferiore. Questa marcata differenza di età suggerisce che il Complesso

Basico di Finero e il corpo di mantello associato hanno subito una diversa evoluzione geodinamica almeno fino al Giurassico Inferiore.

Più in dettaglio, la sezione crostale sopra esposta rappresenta un'eccezionale area di studio poiché permette di osservare in successione continua da Ovest verso Est tutti i livelli crostali, dai più profondi rappresentati dalla zona Ivrea-Verbanò a quelli intermedi della zona Strona-Ceneri (anche definita "Serie dei Laghi") e Val Colla, fino alle coperture sedimentarie della crosta superiore (Zingg et al., 1990; Handy et al., 1999; Quick et al., 1994). La porzione di crosta profonda Paleozoica costituita dalle rocce intrusive e metamorfiche della zona Ivrea-Verbanò, esumate e ruotate di circa 90° nell'attuale posizione dalla tettonica Alpina (Cenozoico), è separata dalle unità del basamento Austro-Alpino poste a Nord e a Ovest dalla Linea Insubrica, mentre ad Est è delimitata dal lineamento Cossato-Mergozzo-Brissago (CMB) e dalla zona di taglio di Pogallo e a Sud dalla linea di Cremosina (Boriani et al.; 1990; Zingg et al., 1990; Mulch et al., 2002; Rutter et al., 2007).



**Figura. 2.2** Estratto dello schema geologico della Zona Ivrea-Verbanò e della Serie dei Laghi, da Quick J.E. et al (2009) "Magmatic plumbing of a large Permian caldera exposed to a depth of 25 km".

All'interno dell'area così definita sono riconosciute due unità principali: il Complesso Mafico Intrusivo, costituito da rocce ignee basiche come gabbri, dioriti e noriti (Voshage et al., 1990; Sinigoi et al., 1994; Barboza e Bergantz, 2000), e la formazione Kinzigitica, che comprende rocce di grado metamorfico da anfibolitico (Kinzigiti s.s) a granulitico (Stronaliti) (Schmid e Wood, 1976; Zingg, 1980; Quick et al., 2003) (Fig. 2.2).

Il Complesso Mafico Intrusivo, che interessa l'area in esame, mostra (Fig. 2.2) un andamento arcuato, con concavità rivolta verso Nord e nucleo in prossimità del fiume Sesia (Quick et al., 1994; Sinigoi et al., 1995). La porzione più profonda del complesso è oggi esposta ad Ovest, vicino al lineamento insubrico; diversi autori identificano nella peridotite di Balmuccia il livello inferiore dell'intrusione e la testimonianza di un contatto crosta-mantello.

Dal limite con la peridotite di Balmuccia procedendo da Ovest verso Est vengono riconosciute diverse unità all'interno del Complesso Mafico (Fig. 2.3):

- Zona Basale (Basal Zone) e Zona Intermedia (Intermediate Zone), consistono in circa 700 m di rocce mafiche ed ultramafiche stratificate e foliate, con evidenza di deformazione sinmagmatica, intercalate da septa, ovvero porzioni di rocce cristalline separate dal materiale incassante (formazione Kinzigitica) e incorporate nel complesso magmatico.
- Zona Superiore (Upper Zone), costituita da 1÷1.2 Km di noriti stratificate, gabbri (a olivina e a granato), anortositi e minori quantità di cumuliti ultramafiche. La transizione alle rocce sovrastanti avviene per progressiva diminuzione e perdita del layering.
- Gabbri (Main Gabbro), zona caratterizzata da gabbronoriti massive relativamente omogenee per 5-7 Km di spessore.
- Dioriti ("Diorites"), in cui si osserva la presenza di rocce ricche in biotite, prima assente. Il gruppo delle dioriti comprende rocce eterogenee, tuttavia la componente dominante è costituita da dioriti a orneblenda e biotite. Localmente nella parte superiore del complesso si possono incontrare rocce più evolute, fino a granitiche (Monte Luvot, Quick et al., 1994). Il contatto tra il corpo intrusivo e le rocce circostanti ha inoltre causato la fusione parziale delle Kinzigiti, con conseguente sviluppo di migmatiti e migrazione del fuso prodotto (Sinigoi et al., 1995).

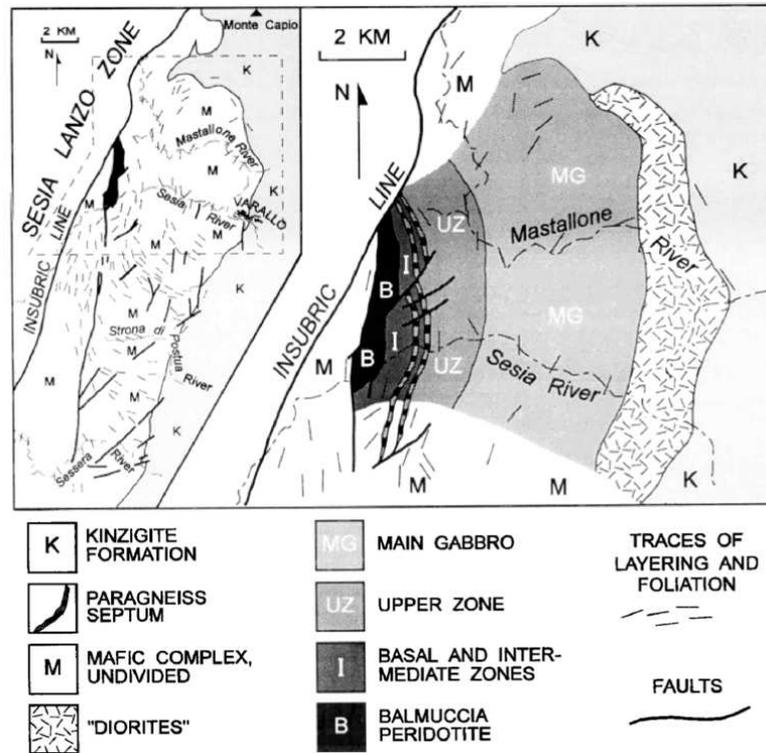


Figura. 2.3 Estratto della carta geologica del Complesso Mafico Intrusivo (Singoi et al., 1994).

### 3 GEOLOGIA DELLA ZONA DI IMPOSTA

Il bacino idrografico dell'area in esame è costituito da due aste torrentizie principali, il Sessera e il Dolca, che confluiscono poco a monte della diga oggetto del presente studio.

#### 3.1 Substrato

Dal punto di vista geologico, l'area in esame è interessata dalla presenza di rocce gabbro-dioritiche del Complesso Basico (Zona Ivrea-Verbano), come precedentemente evidenziato.



**Figura. 3.1** Panoramica della zona in corrispondenza del getto al piede dello sfioratore di superficie.

In questo settore il substrato roccioso, come visibile in figura 3.1, presenta un'elevata percentuale di affioramento e totale assenza di copertura.

La roccia si presenta massiccia, di colore generalmente verde passante localmente a nero.



**Figura. 3.2** Dettaglio della roccia affiorante nella zona in corrispondenza del getto al piede dello sfioratore di superficie.

L'ammasso roccioso, come ampiamente esposto nel capitolo 4, è suddiviso dai sistemi di discontinuità presenti in blocchi, spesso di forma prismatica, di dimensioni variabili, ma generalmente  $> m^3$ .

L'assetto strutturale è definito da 2 sistemi di discontinuità principali ad alto angolo e da un sistema poco pervasivo a basso angolo.

Nell'area indagata compaiono anche, con un numero limitato di fratture *random* non associate in famiglie di discontinuità.

Per quanto riguarda l'apertura, a parte alcune porzioni d'ammasso soggette a rilascio superficiale che interessano principalmente il sistema più pervasivo, la maggior parte delle discontinuità presenti sono chiuse o presentano aperture submillimetriche.

Per quanto riguarda le condizioni idrauliche, nella porzione di versante considerata, l'ammasso investigato si può considerare praticamente asciutto.

### **3.2 Forme e depositi quaternari**

La diga è impostata in una valle di origine glaciale e torrentizia.

Il fondo dell'incisione è colmato da depositi torrentizi, rappresentati da blocchi, ghiaie, sabbie e limi. La profondità originaria del loro appoggio sul substrato roccioso sepolto era di pochi metri.

I versanti rocciosi presentano alla loro base rari depositi detritici costituiti da blocchi angolosi di varia taglia.

Nei tratti terminali dell'invaso, sia in corrispondenza del T. Dolca, sia in corrispondenza del T. Sessera, sono presenti due piccoli conoidi recenti del fiume, costituiti da sedimenti ghiaiosi debolmente terrazzati.

## 4 CONSIDERAZIONI GEOMECCANICHE

### 4.1 Premessa

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso è stata realizzata attraverso il rilevamento delle principali discontinuità, in accordo con le raccomandazioni ISRM (1978)<sup>1</sup> e s.m.i., lungo 5 traverse (stendimenti), di seguito sintetizzate ed integralmente esposte nell'appendice A.

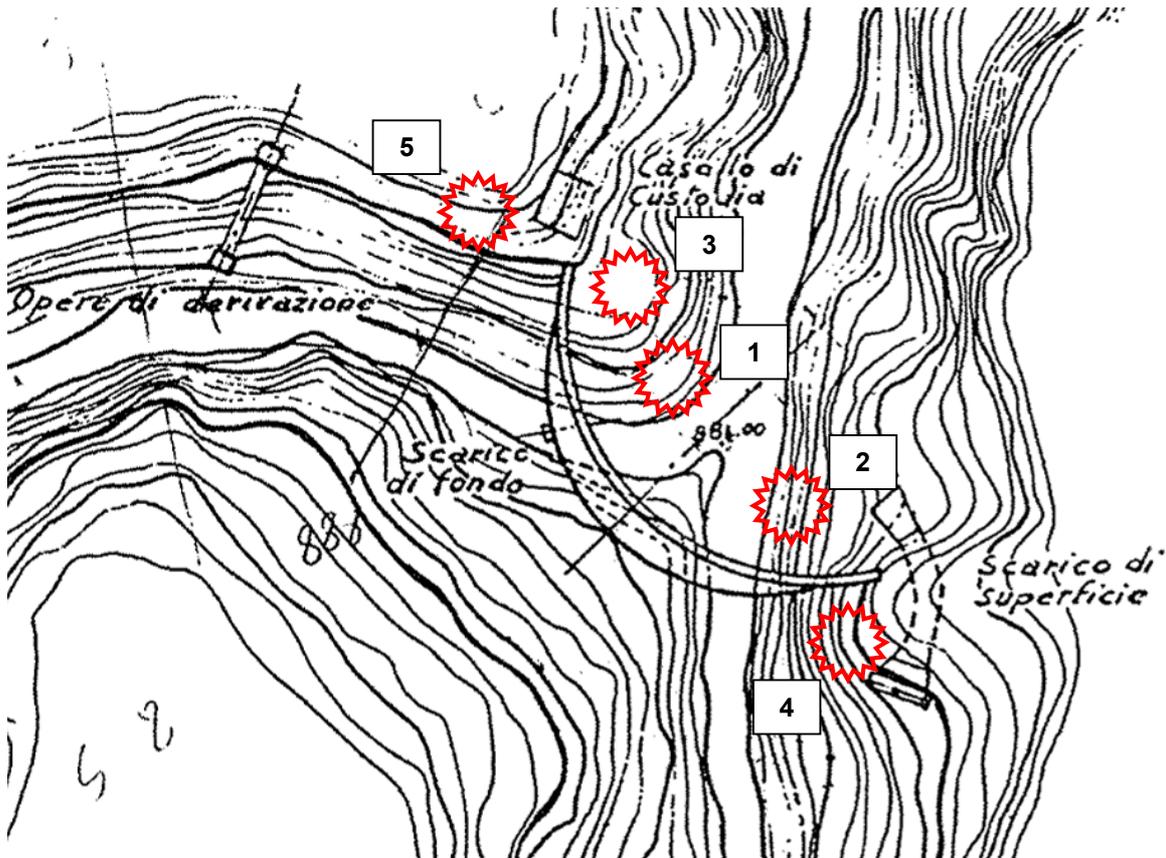


Fig. 4.1 – Planimetria del serbatoio (Progetto esecutivo - anno 1958) con ubicazione delle 5 traverse effettuate.

Sulla base delle informazioni dedotte dal rilievo geologico-strutturale e dalla sua successiva elaborazione si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, al fine di ottenere il valore dell'indice di classificazione RMR (Rock Mass Rating - Bieniawski, 1989).

<sup>1</sup> Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15(6), 319-368.

#### 4.1.1 Rilievi geologico strutturali

Le "Raccomandazioni ISRM (1978)" sulle metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità delle masse rocciose individuano come modalità "oggettiva" della campionatura, il rilevamento lungo uno stendimento lineare di lunghezza opportuna delle caratteristiche salienti di tutte le discontinuità individuate. Questo modo di procedere, basato sulla descrizione sistematica di ogni singola discontinuità e dei dati ad essa pertinenti, comporta lo svantaggio operativo di richiedere tempi rilevanti ed oltre a ciò si basa sull'implicita assunzione che l'area di applicazione delle osservazioni sia di fatto una limitata fascia nell'intorno dello stendimento lineare. Risulta quindi evidente che per ottenere un'adeguata rappresentazione dell'ammasso roccioso sia indispensabile disporre di un elevato numero di "stendimenti" accessibili diversamente orientati.

In relazione alla limitata accessibilità delle spalle e della fondazione della diga, la metodologia adottata per queste verifiche, si è basata, invece, sulla preventiva analisi del quadro strutturale complessivo, finalizzata all'individuazione delle grandi unità geometriche, per poi procedere alla caratterizzazione dello stato di fratturazione, dei principali sistemi di discontinuità ed al riconoscimento e descrizione delle eventuali singolarità strutturali. In tal modo, viene ricavata a priori una suddivisione dell'ammasso roccioso in famiglie di sistemi di fratturazione basata su di un approccio che richiede un processo preliminare di tipo interpretativo; durante tale processo, viene effettuato il riconoscimento delle superfici misurate e, laddove sia possibile, il loro raggruppamento in un numero limitato di famiglie. Il criterio di raggruppamento delle discontinuità in famiglie è di tipo essenzialmente geometrico.

I parametri utilizzati per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso nella sua totalità sono stati:

- litologia del litotipo costituente l'ammasso roccioso;
- orientazione, estensione del fronte.

I parametri utilizzati per caratterizzare compiutamente i singoli sistemi di discontinuità sono stati:

- tipologia della discontinuità (stratificazione **St**, giunto **Jn**, faglia **F**, ecc.);
- immersione ed inclinazione delle discontinuità;
- persistenza, ovvero la lunghezza della traccia della discontinuità osservata in un affioramento misurata lungo la direzione, l'immersione o lungo una traccia generica della discontinuità, espressa in m;
- spaziatura delle discontinuità, ovvero la distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse, espressa in m; tale parametro controlla le dimensioni dei singoli blocchi di roccia integra: se la spaziatura è molto piccola, si avranno condizioni di bassa coesione dell'ammasso roccioso;

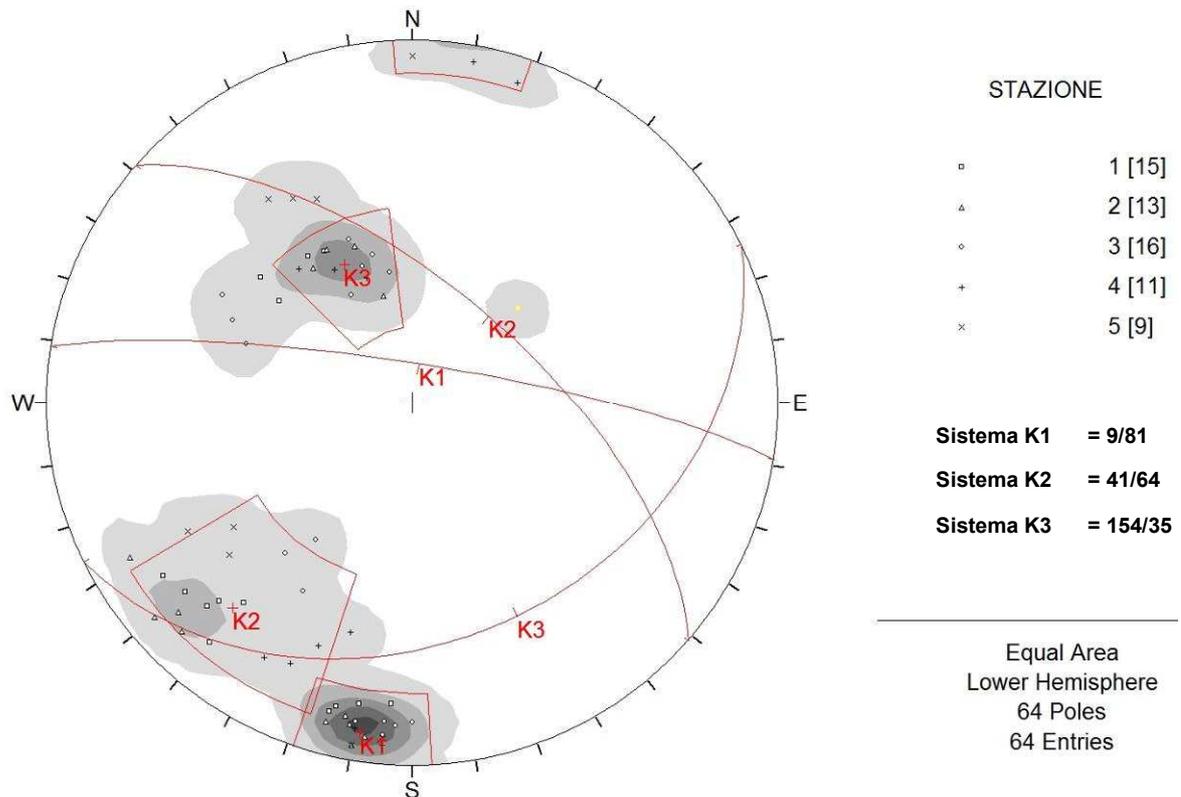
- apertura, ovvero la distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità, espressa in mm;
- tipo di riempimento;
- JRC (Joint Roughness Coefficient), indice di scabrosità dei giunti;
- resistenza delle superfici di discontinuità (prove eseguite con il martello di Schmidt modello RL);
- condizioni idriche;
- eventuale presenza di indicatori cinematici.

Le schede riportate nell'Appendice A contengono tutte le informazioni relative ai parametri sopraelencati.

Infine sono stati sommati i dati raccolti dalle traverse 1, 2, 3, 4, 5, per caratterizzare l'ammasso roccioso in esame.

Attraverso la *clustering analysis* si sono poi trattati i dati fino all'individuazione dei set delle diverse discontinuità, calcolando per ogni famiglia, così definita, il centroide.

L'elaborazione statistica dei dati, ha permesso di definire e caratterizzare le famiglie di discontinuità presenti, di seguito descritte.



**Fig. 4.2** – Proiezioni equiareali di Schmidt (emisfero inferiore) delle discontinuità totali rilevate, e delle suddivisioni in famiglie adottate.

Le curve di densità sono curve di probabilità ricavate utilizzando il metodo di Fisher.

#### 4.1.2 Famiglie di discontinuità rilevate

##### **Famiglia di discontinuità K1 (9/81)**

Sistema di discontinuità a maggior pervasività tra quelli rilevati. E' stato osservato in tutti e 5 gli stendimenti e presenta poca variabilità tra spalla destra, sinistra e fondazione, come visibile in figura 4.2.

E' diretto prevalentemente E-W, da verticale a sub-verticale, con immersione principalmente a S.

E' caratterizzato dalla presenza di giunti con superfici a piccola scala da lisce a poco scabre, mentre a grande scala sono generalmente piane, raramente ondulate.

Presenta aperture variabili anche nell'ordine di alcuni mm ma generalmente comprese tra 0.1 ÷ 1 mm, con riempimento assente.



**Fig. 4.3** – Panoramica della stazione 1. In tratteggio verde le discontinuità associate al sistema K1.

Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza superiore a 20 m ma generalmente sono comprese tra 3 ÷ 10 m, con una spaziatura compresa tra i 60 ÷ 200 cm, con valor medio di circa 1 m.



**Fig. 4.4** – Panoramica della stazione 2. In tratteggio verde le discontinuità associate al sistema K1.

Tale sistema è associato a lineamenti tettonici a grande scala con orientazione E-W e WNW-ESE, che hanno condizionato l'andamento di questo tratto del corso d'acqua Sessera.



**Fig. 4.5** – Stazione 1. Dettaglio del sistema K1 (in primo piano) e panoramico (sullo sfondo) (tratteggio verde).

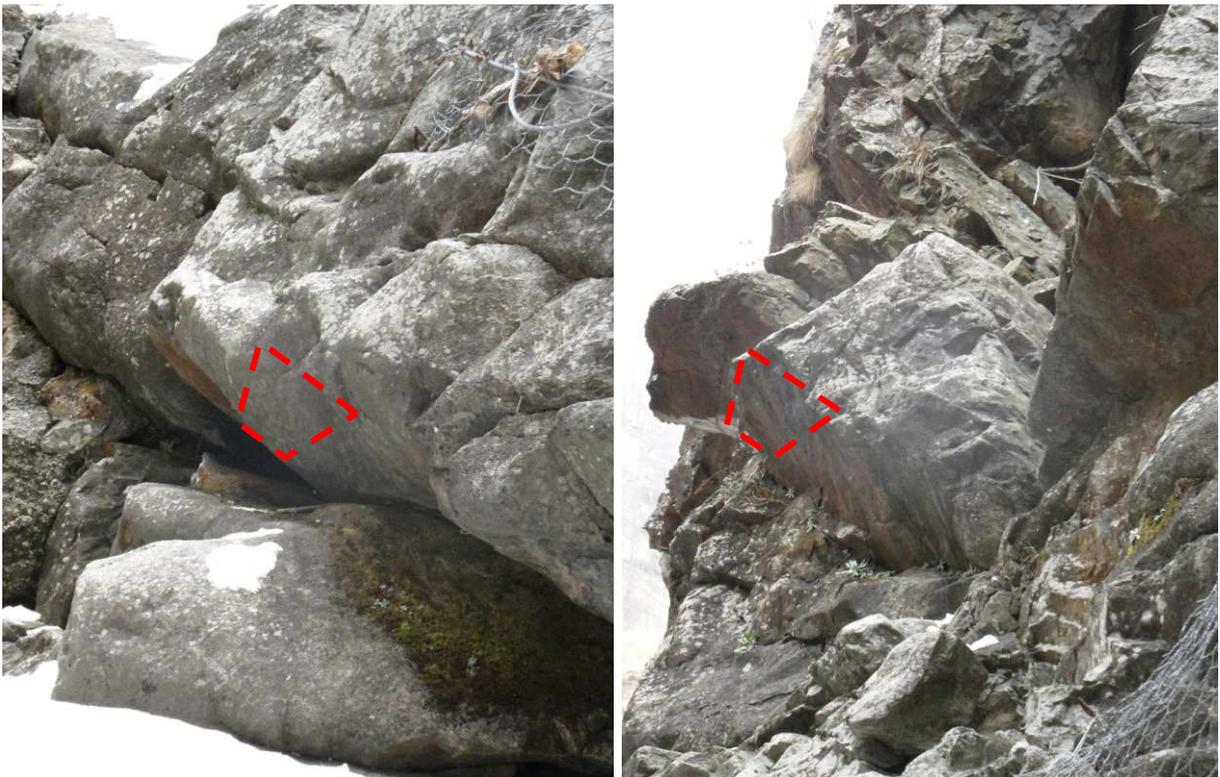
#### **Famiglia di discontinuità K2 (41/64)**

Sistema di discontinuità diretto NW-SE e immergente a SW con inclinazioni variabili da 55° a 75°. E' stato osservato in tutti e 5 gli stendimenti, seppur presenta una discreta dispersione dei valori medi misurati.

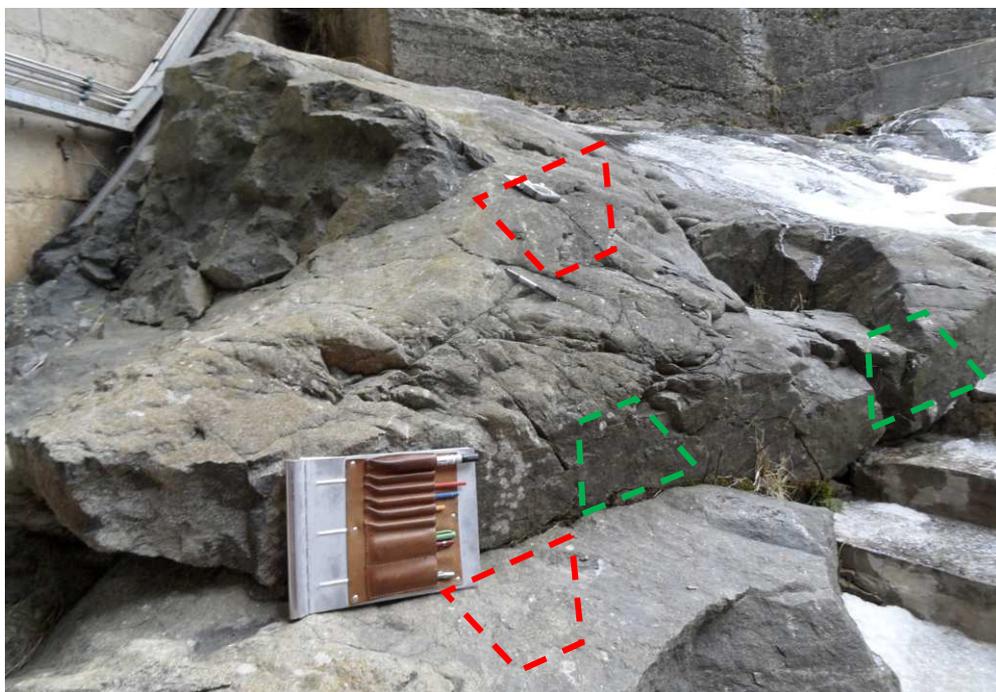
E' caratterizzato dalla presenza di giunti con superfici a piccola scala mediamente lisce, mentre a grande scala sono generalmente piane, raramente ondulate.

Presenta aperture variabili anche nell'ordine di alcuni mm ma generalmente inferiori a 0.1 mm, con riempimento assente.

Le discontinuità hanno una lunghezza compresa tra 1 e 3 m talora tra 3 e 10 m, con una spaziatura compresa tra 10 ÷ 100 cm, con valor medio di circa 0.3 m.



**Fig. 4.6** – Particolare del sistema K2 (linea rossa) di estensione compreso tra 3 ÷ 10 m, a valle della spalla destra (Stazione strutturale 1).



**Fig. 4.7** – Particolare del sistema K1 (linea verde) e del sistema K2 (linea rossa) a valle della spalla destra (Stazione strutturale 2 e 3).

### Famiglia di discontinuità K3 (154/35)

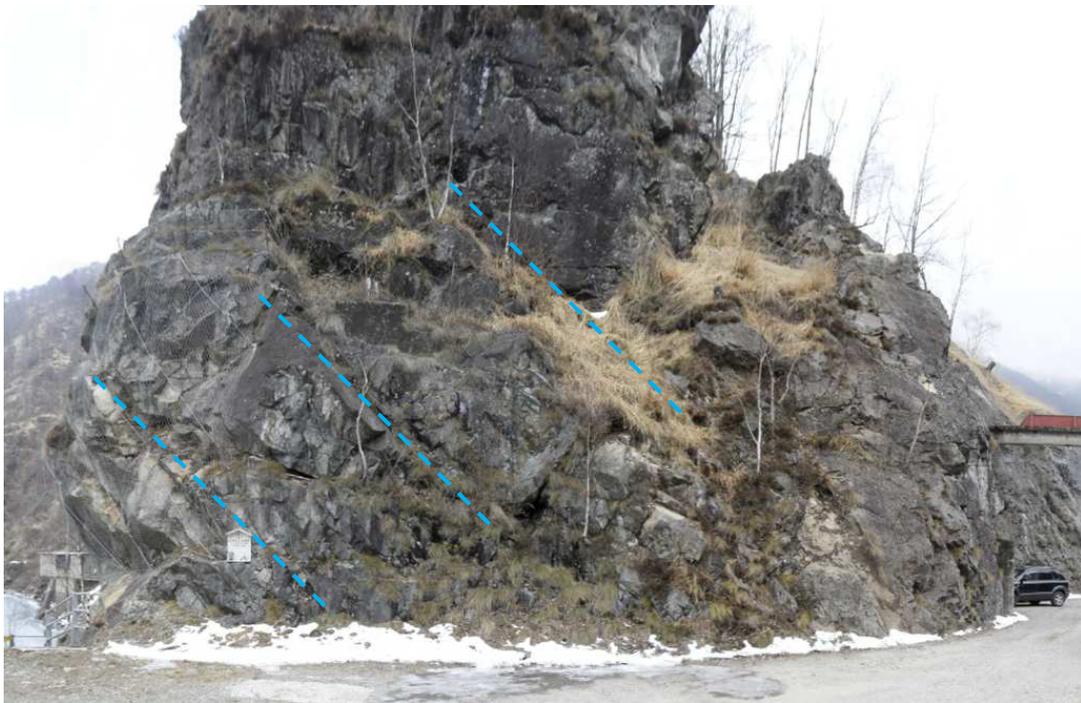
Sistema di discontinuità a basso angolo, diretto NE-SW e immergente a SE.

E' il sistema meno pervasivo tra quelli rilevati e presenta una discreta dispersione dei valori medi misurati.

E' caratterizzato dalla presenza di giunti con superfici a piccola scala mediamente lisce, mentre a grande scala sono generalmente piane, raramente ondulate.

Presenta aperture variabili anche nell'ordine di alcuni mm ma generalmente inferiori a 0.1 mm, con riempimento assente.

Le discontinuità hanno una lunghezza compresa tra 1 e 3 m talora tra 3 e 10 m, con una spaziatura compresa tra 60 ÷ 200 cm, con valor medio di circa 1.3 m.



**Fig. 4.8** – Particolare del sistema K3 (linea azzurra), a monte della spalla sinistra (Stazione strutturale 5).

#### 4.1.3 Sintesi dei risultati

Per la caratterizzazione delle famiglie di discontinuità rilevate, si è proceduto ad una elaborazione statistica congiunta di tutti i dati strutturali e geomeccanici raccolti.

L'ammasso roccioso è ben esposto in tutti gli stendimenti realizzati ed è costituito da una roccia a composizione gabbro - dioritica.

L'ammasso roccioso è suddiviso dai sistemi di discontinuità presenti in blocchi, spesso di forma prismatica, di dimensioni variabili, ma generalmente  $> m^3$ ; infatti, i valori di  $J_v$  si attestano tra 3 e 7 giunti/ $m^3$ , nelle porzioni più "sane" sino a valori di  $J_v > 10$  giunti/ $m^3$ , a ridosso delle discontinuità principali.

L'assetto strutturale è definito da 2 sistemi di discontinuità principali ad alto angolo (**K1**) e (**K2**) e da un sistema poco pervasivo a basso angolo (**K3**).

Nell'area indagata compaiono anche, con un numero limitato di fratture *random* non associate in famiglie di discontinuità.

Per quanto riguarda l'apertura, a parte alcune porzioni d'ammasso soggette a rilascio superficiale, che interessano principalmente il sistema **K1**, la maggior parte delle discontinuità presenti sono chiuse o presentano aperture submillimetriche.

Le discontinuità associate al sistema **K1** sono quelle più persistenti, mentre gli altri sistemi hanno persistenza da bassa a molto bassa.

Per quanto riguarda le condizioni idrauliche, nella porzione di versante considerata, l'ammasso investigato si può considerare praticamente asciutto.

Di seguito si espone uno schema riassuntivo delle caratteristiche mediate e pesate delle varie famiglie rilevate.

Famiglie	Orientazione	Persistenza (Continuità)	Apertura	Rugosità (Scabrezza)	Alterazione delle pareti	Riempimento	Spaziatura
<b>K1</b>	9/81	3÷10 m	0,1 ÷ 1 mm	Poco scabra	Non alterate	Assente	60 ÷ 200 cm
<b>K2</b>	41/64	3÷10 m	< 0,1 mm	Poco scabra	Non alterate	Assente	10 ÷ 100 cm
<b>K3</b>	154/35	1÷3 m	< 0,1 mm	Poco scabra	Non alterate	Assente	60 ÷ 2000 cm

**Tabella. 4.1.** Schema riassuntivo delle caratteristiche mediate e pesate delle varie famiglie rilevate.

## 4.2 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

### 4.2.1 Premessa

Sulla base delle informazioni dedotte dal rilievo geologico-strutturale, dalla sua successiva elaborazione si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, al fine di ottenere il valore dell'indice di classificazione RMR (Rock Mass Rating - Bieniawski, 1989), come di seguito descritto.

La classificazione di BIENIAWSKI (1989) si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'**Rock Mass Rating (RMR, BENIAWSKY)**.  
L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\begin{aligned} \text{RMR di base} &= \text{RMR}_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \\ \text{RMR corretto} &= \text{RMR}_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6 \end{aligned}$$

Di seguito si riportano sinteticamente le descrizioni dei sei parametri e la metodica di calcolo utilizzata:

#### **VALORE DI A1**

E' stato ricavato da prove di campagna mediante sclerometro (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale  $S_u$ .

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è infatti ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la "durezza di rimbalzo" della roccia. Dalla prova si ricava l'indice di rimbalzo (R) che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale ( $S_u$ ) mediante la relazione di IRFAN e DEARMAN (1978):

$$S_u = 0,775 R + 21,3$$

Per l'ammasso in esame è stato ricavato il valore di  $S_u = 90$  MPa.

Valore cautelativo ma rientrante nel range di variabilità della diorite che caratterizza l'ammasso roccioso oggetto di studio, che si attesta tra  $90 < Su < 190 \text{ MPa}^2$ .

### **VALORE DI A2**

Non avendo a disposizione sondaggi da cui ricavare il valore di RQD, si è ricorsi alla formula di Priest e Hudson (1981):

$$\text{RQD} = 100 e^{(0,1 n) (0,1 n + 1)}$$

con n numero medio di giunti per metro.

Tale valore ovviamente dipende dalla qualità dell'ammasso roccioso e pertanto sono stati determinati i valori minimi/medi/massimi.

### **VALORE DI A3**

La spaziatura dipende dalla qualità dell'ammasso roccioso e pertanto sono stati determinati i valori minimi/medi/massimi.

### **VALORE DI A4**

Per valutare correttamente A4 si sommano alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti e al materiale di riempimento, pertanto anche in questo caso sono stati determinati i valori minimi/medi/massimi.

### **VALORE DI A5**

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Nel caso in esame l'intero ammasso roccioso si presentava "asciutto".

#### **4.2.2 Risultati**

In relazione a quanto sopra evidenziato è stato calcolato il relativo RMRb (RMR base) e il GSI ottenuto mediante la formula:

$$\text{GSI} = \text{RMRb} - 5^3$$

---

<sup>2</sup> Bruschi, 2004

<sup>3</sup> Valore valido per RMRb > 23 e GSI > 18

DATA:29-12-2016  
 STAZIONI N.:1-2-3-4 5  
 UBICAZIONE: Diga Sessera  
 FORMAZIONE GEOLOGICA: Gabbro-Diorite

RILEVATORE: E. Arese  
 LOCALITA': Diga Sessera  
 ORIENTAMENTO: vedi planimetria  
 LITOLOGIA: Gabbro-Diorite

**CLASSIFICAZIONE DI BENIAWSKI (1989) - ROCK MASS RATING**

PARAMETRI	VALORI	COEFF.	VALORI	COEFF.	VALORI	COEFF.	VALORI	COEFF.	
Res. compressione monoassiale (MPa)							90,0	9	
RQD (%)	70		85		90		85	17	
	Porzione dell'ammasso più fratturato (valori minimi)		Porzione dell'ammasso con caratteristiche medie (valori medi)		Porzione dell'ammasso meno fratturato (valori massimi)				
Spaziatura giunti (m)	0,10	7	0,60	12	1,20	16			
Condizioni giunti	Persistenza (m)	1-3	4	3-10	2	3-10	2		
	Apertura (mm)	1-5	1	0,1-1,0	4	<0,1	5		
	Scabrezza	Lisce	1	Lisce	1	Poco scabre	3		
	Riempimento (mm)	Assente	6	Assente	6	Assente	6		
	Alterazione	Assente	6	Assente	6	Assente	6		
Venute d'acqua	Condiz. generali							Asciutto	15
	Su 10 m (l/min)							0	
Orientamento giunti	Molto favorevole	0	Molto favorevole	0	Molto favorevole	0			
Somma parziale	<b>66</b>		<b>72</b>		<b>79</b>				
Peso	10,0%		70,0%		20,0%				
Parziale	6,6		50,4		15,8				
							<b>BRMR</b>	<b>73</b>	

**GEOLOGICAL STRENGTH INDEX**

<b>GSI</b>	<b>68</b>
------------	-----------

**4.3 Parametri caratteristici dell'ammasso**

Dal valore di  $RMR_b$  (BRMR) e GSI di cui sopra, si possono derivare i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo BENIAWSKY (1989) assumono il valore:

$$\text{coesione di picco } c_p \text{ (kPa)} = 5 RMR_b$$

$$\text{angolo di attrito di picco } \phi_p = 0,5 RMR_b + 5$$

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di  $RMR_b$  modificato secondo la:

$$RMR_b = RMR_b(\text{originario}) - [0,2 \phi RMR_b(\text{originario})] \text{ (Priest, 1983)}$$

$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 RMR_b - 100$$

La formula di E è però da considerarsi valida per valori di  $RMR_b$  superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E \text{ (GPa)} = 10(RMR_b - 10 / 40)$$

Hoek et al., 1995 propongono per il modulo di deformazione  $E_m$  le seguenti formule:

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$$

valida per:

$$\sigma_{ci} \leq 100MPa$$

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$$

valida per:

$$\sigma_{ci} > 100MPa$$

con D (fattore di disturbo) che tiene conto degli effetti dei danni dell'esplosione e del rilassamento della tensione.

Nella tabella seguente vengono riassunti i parametri caratteristici dell'ammasso roccioso in esame.

DATI INPUT	DIGA
	RMRb = 73
	GSI = 68
	D = 0
PARAMETRI GEOMECCANNICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO	
Coesione di picco (Beniawsky) (KPa)	365
Angolo di attrito di picco (Beniawsky) (°)	31,5
Modulo di deformabilità (Beniawsky) (GPa)	46
Modulo di deformabilità (Serafim e Pereira) (GPa)	37,58
Modulo di deformabilità (Hoek et al.) (GPa)	28,18

## 5 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITA' DELLE SPONDE DELL'INVASO

### 5.1 Premessa

Sono state elaborate delle considerazioni di tipo qualitativo sulla stabilità delle sponde dello specchio liquido, in funzione della maggior quota di massimo invaso prevista dal progetto dell'Ing. MARCELLO.

La portata di piena rivalutata, associata ad un tempo di ritorno di 1000 anni, è pari a  $817 \text{ m}^3/\text{s}$ , a fronte di una capacità degli scarichi della diga indicata dal FCEM vigente, di  $287,5 \text{ m}^3/\text{s}$  per quanto riguarda lo scarico a superficie libera sul corpo diga, e di  $235 \text{ m}^3/\text{s}$  per quanto riguarda lo scarico di superficie supplementare e di alleggerimento.

In relazione a quanto detto il progetto redatto dallo studio dell'Ing. MARCELLO consiste nel sovrizzo di 1,45 m della quota di coronamento, da 927,00 m s.m. a 928,45 m s.m., a seguito della decisione di aumentare di 1,15 m la quota di massimo invaso del serbatoio: da 926,00 m s.m. a 927,15 m s.m..

### 5.2 Sponde dell'invaso

Come visibile in figura 5.1, l'invaso è impostato in una valle di origine glaciale e torrentizia, con versanti rocciosi costituiti da rocce gabbro-dioritiche del Complesso Basico (Zona Ivrea-Verbanò), che presentano alla loro base rari depositi detritici costituiti da blocchi angolosi di varia taglia.



**Fig. 5.1** – Panoramica dell'invaso. A sinistra il T. Sessera, a destra il T. Dolca.

L'osservazione diretta delle sponde, avvenuta nel mese di dicembre 2016, ha permesso di evidenziare i seguenti aspetti:

- la zona interessata dall'aumento di livello di 1,15 m (nuova quota di massimo invaso del serbatoio) è interessata dalle medesime rocce e dai medesimi depositi quaternari che affiorano sino alla quota di massimo invaso attuale (Fig. 5.2);

- non sono presenti elementi morfologici che possono presentare evidenze di instabilità connesse all'aumento di 1,15 m dell'invaso (Fig. 5.2);
- l'aumento di 1,15 m dell'invaso non è comunque permanente ma connesso ad un evento potenziale con tempo di ritorno di 1000 anni;
- ad oggi, la diga e il serbatoio non hanno mai evidenziato nessuna criticità, connesse agli eventi meteo occorsi negli ultimi 50 anni.



**Fig. 5.2** – Panoramica dell'invaso interessante il T. Sessera. La linea blu rappresenta la quota di massimo invaso attuale (926,00 m s.m.), la linea gialla all'incirca la quota di massimo invaso da progetto (927,15 m s.m.), l'invaso è a quota 921,30 m s.m..

### 5.3 Progetto nuova diga

Occorre infine ricordare che il progetto concernente il "*Rifacimento dell'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 Ravasanello ed Ostola e la valorizzazione ambientale del comprensorio*", proposto dal Consorzio di Bonifica della Baraggia Biellese e Vercellese, prevedeva: "*la realizzazione di un nuovo invaso sul torrente Sessera di capacità utile pari a 12.000.000 m<sup>3</sup> per fini potabili, idroelettrici ed irrigui; il nuovo invaso sommergerà quello esistente in località Mischie e si estenderà per 44 ettari nei territori dei Comuni di Trivero, Vallanzengo, Mosso e Camandona in provincia di Biella*". Il Progetto definitivo (ottobre 2010) prevede la realizzazione di una nuova diga sul torrente Sessera di altezza pari a 94,4 m con quota di massima regolazione pari a 951,00 m s.l.m. e quota di massimo invaso a 957,40 m s.l.m..

Tale progetto ha ottenuto parere positivo da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con Decreto DM-0000286 del 1/12/2014 .

Tale decreto autorizza la realizzazione della nuova diga ma prescrive che il livello di massimo invaso sia limitato alla quota di 936 m s.m..

Pure con la limitazione di cui sopra la nuova diga sarebbe autorizzata con un livello di massimo invaso superiore di quasi 9 m rispetto alla quota di massimo invaso evidenziata nel progetto redatto dallo studio dell'Ing. MARCELLO (927,15 m s.m.).

## 6 CONSIDERAZIONI NEI CONFRONTI DELL'OPERA

L'intervento in progetto, redatto dallo studio dell'Ing. MARCELLO, consiste nel sovrizzo di 1,45 m della quota di coronamento, da 927,00 m s.m. a 928,45 m s.m., a seguito della decisione di aumentare di 1,15 m la quota di massimo invaso del serbatoio: da 926,00 m s.m. a 927,15 m s.m. I lavori progettati prevedono inoltre l'allargamento delle luci dello sfioratore in corpo diga, trasformandolo da 10 luci nette da circa 5 m ciascuna a 5 luci nette da circa 10 m ciascuna.

Il presente studio geologico e geomeccanico, basato su rilievi di superficie e sulla elaborazione dei dati pregressi, ha permesso di valutare le caratteristiche degli ammassi rocciosi e le condizioni di stabilità in corrispondenza del getto al piede dello sfioratore di superficie della diga di Sessera.

L'ammasso roccioso in esame presenta generalmente caratteristiche geomeccaniche buone, con valori di RMR > 70, è suddiviso dai sistemi di discontinuità che isolano rari blocchi, spesso di forma prismatica, di dimensioni variabili, ma generalmente > m<sup>3</sup>. L'assetto strutturale è definito da 2 sistemi di discontinuità principali ad alto angolo e da un sistema poco pervasivo a basso angolo.

Nell'area indagata compaiono anche, con un numero limitato di fratture *random* non associate in famiglie di discontinuità.

Per quanto riguarda l'apertura, a parte alcune porzioni d'ammasso soggette a rilascio superficiale, che interessano principalmente il sistema più pervasivo, viceversa la maggior parte delle discontinuità presenti sono chiuse o presentano aperture submillimetriche.

L'invaso è impostato in una valle di origine glaciale e torrentizia, con versanti rocciosi costituiti da rocce gabbro-dioritiche del Complesso Basico (Zona Ivrea-Verbanò), che presentano alla loro base rari depositi detritici costituiti da blocchi angolosi di varia taglia.

L'osservazione diretta delle sponde, avvenuta nel mese di dicembre 2016, ha permesso di evidenziare che la zona interessata dall'aumento di livello 1,15 m (nuova quota di massimo invaso del serbatoio) è interessata dalle medesime rocce e dai medesimi depositi quaternari che affiorano sino alla quota di massimo invaso attuale, inoltre non sono presenti elementi morfologici che possono presentare evidenze di instabilità connesse all'aumento di 1,15 m dell'invaso.

L'aumento di 1,15 m dell'invaso non è comunque permanente ma connesso ad un evento potenziale con tempo di ritorno di 1000 anni.

Infine, occorre ricordare che il progetto concernente il "*Rifacimento dell'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 Rava-*

*sanella ed Ostola e la valorizzazione ambientale del comprensorio"*, proposto dal Consorzio di Bonifica della Baraggia Biellese e Vercellese, è autorizzato per un livello di massima regolazione alla quota di 936 m s.m., superiore di quasi 9 m rispetto alla quota di massimo invaso del progetto redatto dallo studio dell'Ing. MARCELLO (927,15 m s.m.).

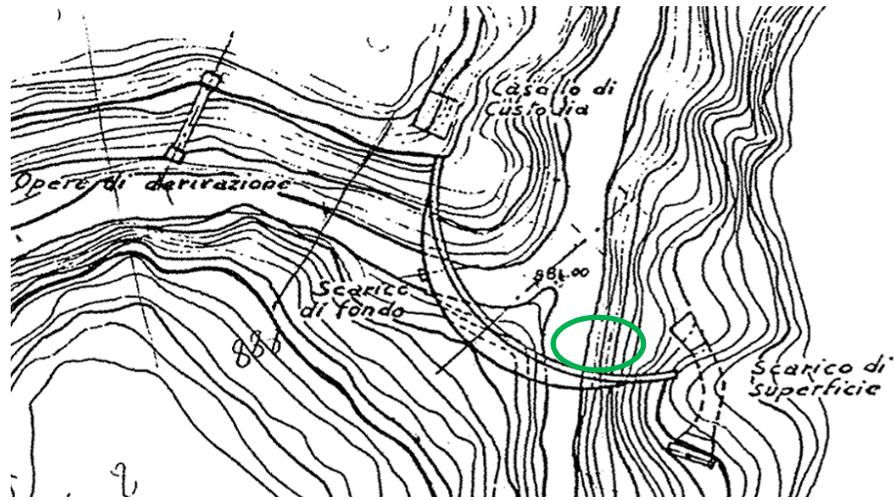
Da quanto sopra esposto si può concludere che il progetto, proposto dallo studio dell'Ing. MARCELLO, non presenta indicazioni negative nei confronti della roccia a valle della diga, in corrispondenza del getto al piede dello sfioratore di superficie e che le sponde dello specchio liquido, in funzione della maggior quota di massimo invaso prevista non evidenziano criticità di alcun tipo e si presentano in condizioni stabili e conservative come dimostrato da osservazioni su un periodo di circa 50 anni.

# **APPENDICE A**

## **Schede del rilievo geologico strutturale**



Disegno:



Note:

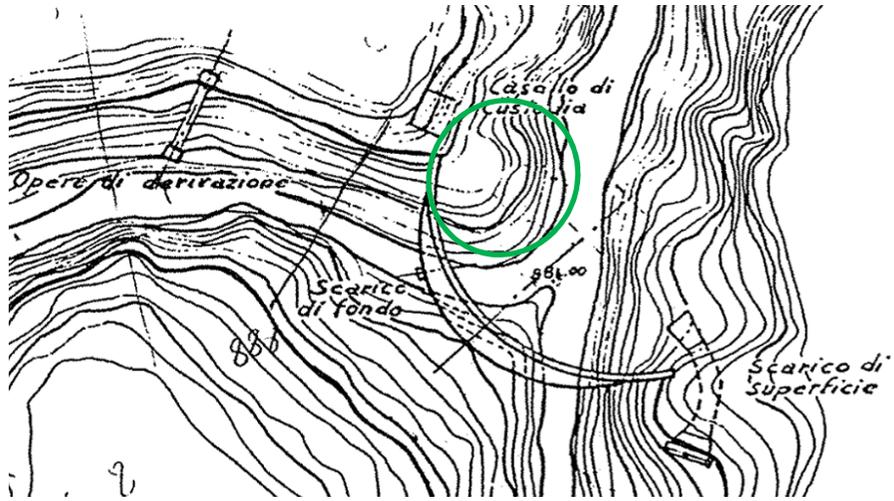
-  Set K1
-  Set K2



Disegno:



Stazioni strutturali 2 e 3



Note:

Set K1



Set K2



Set K3

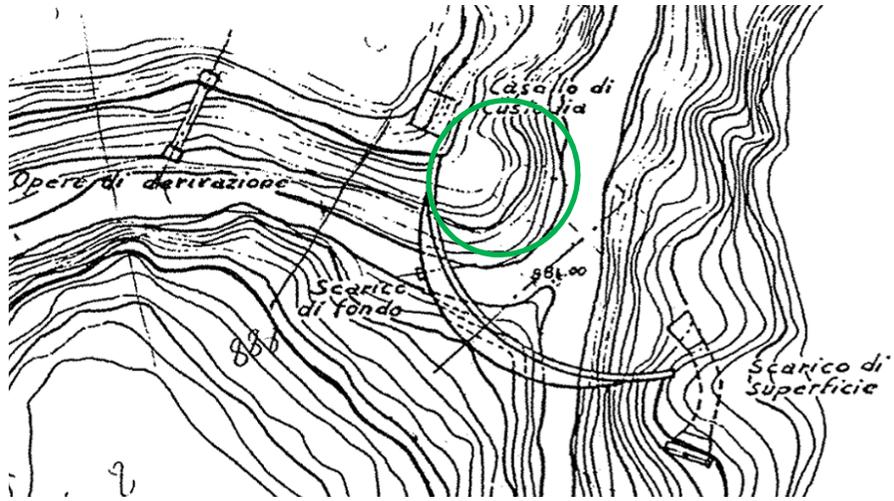


Set		Giacitura		Tipo	Spaziatura (m)			Persistenza		Scabrezza		Apertura (mm)			Riempimento			Alterazione		Cond. Idr.	Note	
DipDir	Dip	min	max	medio	Lungh. (m)	Terminazione	P. Scala - JRC	Grande scala	min	max	medio	Tipo	Spess. (mm)	Composizione	Tipo	Martello di Schmidt (disc + roccia intatta)						
																	Rimbalzi	Orientaz.				
K1	5	78	G	0,4	2	1,6	3-10	X-X	10-12	P	0,1	2	1	A				81		A		
K2	40	51	G	0,2	0,8	0,4	3-10	R-X	8-10	P	0,1	0,8	0,2	A				79		A		
K3	162	42	G	0,5	2	0,9	3-10	R-X	10-12	P	0,1	1	0,1	A				80		A		
	115	45	G				3-10	R-R	10-12	P								76		A	Famiglia di discontinuità isolata.	
<b>Giacitura</b>		<b>Tipo</b>		<b>Persistenza</b>			<b>Scabrezza/Planarità</b>			<b>Apertura/Spessore</b>		<b>Riempimento</b>		<b>Alterazione</b>				<b>Condizioni idrauliche</b>				
<b>DD=Dip Dir</b>		<b>Stratificazioni</b>		<b>Lunghezza</b>			<b>Piccola Scala (JRC)</b>			<b>Grande Scala</b>		<b>Tipo Spessore</b>		<b>Tipo</b>		<b>Martello di Schmidt</b>				<b>Venute d'acqua su 10 m di galleria</b>		
Immersione (dal Nord in senso orario)		Scistosità		< 1 m	<b>Molto bassa</b>		0 - 2	Levigati		Piana		0 mm	Assente		Assente		<b>Rimbalzi</b>		Asciutto 0			
Dip		Clivaggio		1 - 3 m	<b>Bassa</b>		2 - 4			Ondulata		< 0.1 mm	< 5 mm		Debolm. alterata		n. rimbalzi martello di Schmidt		Umido < 10 l/min			
Inclinazione		Giunto		3 - 10 m	<b>Media</b>		4 - 6	Liscia		Segmentata		0.1 - 1.0 mm	> 5 mm		<b>Mod. alterata</b>		direzione applicazione martello (perpendicolare alla superficie della discontinuità)		Bagnato 10 -25 l/min			
		Vena		10 - 20 m	<b>Alta</b>		6 - 8					1-5 mm	< 5 mm		<b>Molto alterata</b>				Stillicidi 25 - 125 l/min			
		Faglia		> 20 m	<b>Molto alta</b>		8 - 10	Poco Scabra				> 5 mm	> 5 mm		<b>Decomposta</b>				Venute > 125 l/min			
				<b>Terminazione</b>			10 - 12	Scabra				<b>Composizione</b>		Argilla Limo Sabbia Ghiaia Calcite Quarzo		<b>Altro</b>						
				<b>R - roccia</b>			12 - 14	Scabra														
				<b>D - contro altra discontinuità</b>			14 - 16	Molto Scabra														
				<b>X - fuori affioramento</b>			16 - 18															
				<b>Valore compreso tra 0.0 e 20.0 m</b>			18 - 20															

Disegno:



Stazioni strutturali 2 e 3



Note:

Set K1



Set K2

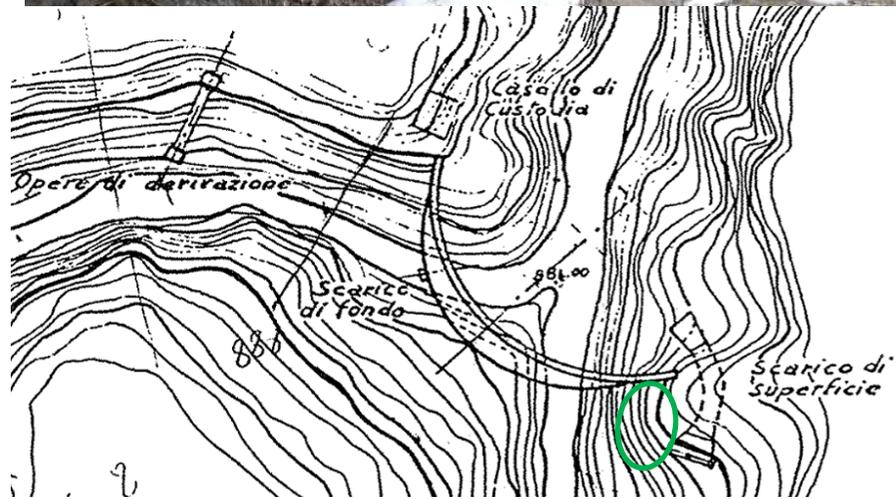


Set K3





Disegno:

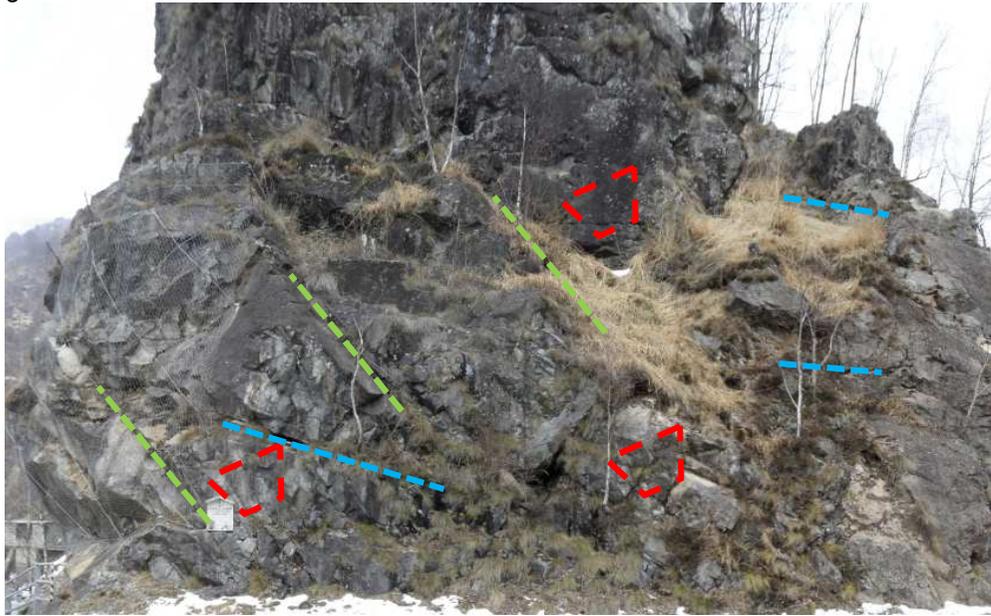


Note:

-  Set K1
-  Set K2
-  Set K3



Disegno:



Note:

-  Set K1
-  Set K2
-  Set K3

