INDICE

1. PREMESSA....2
2. LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI....3
3. PERICOLOSITA' GEOLOGICA DI BASE....7
4. INDAGINI CONOSCITIVE....8
5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE....12
6. PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO....13
7. PROBLEMATICHE ESECUTIVE....13
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI....15

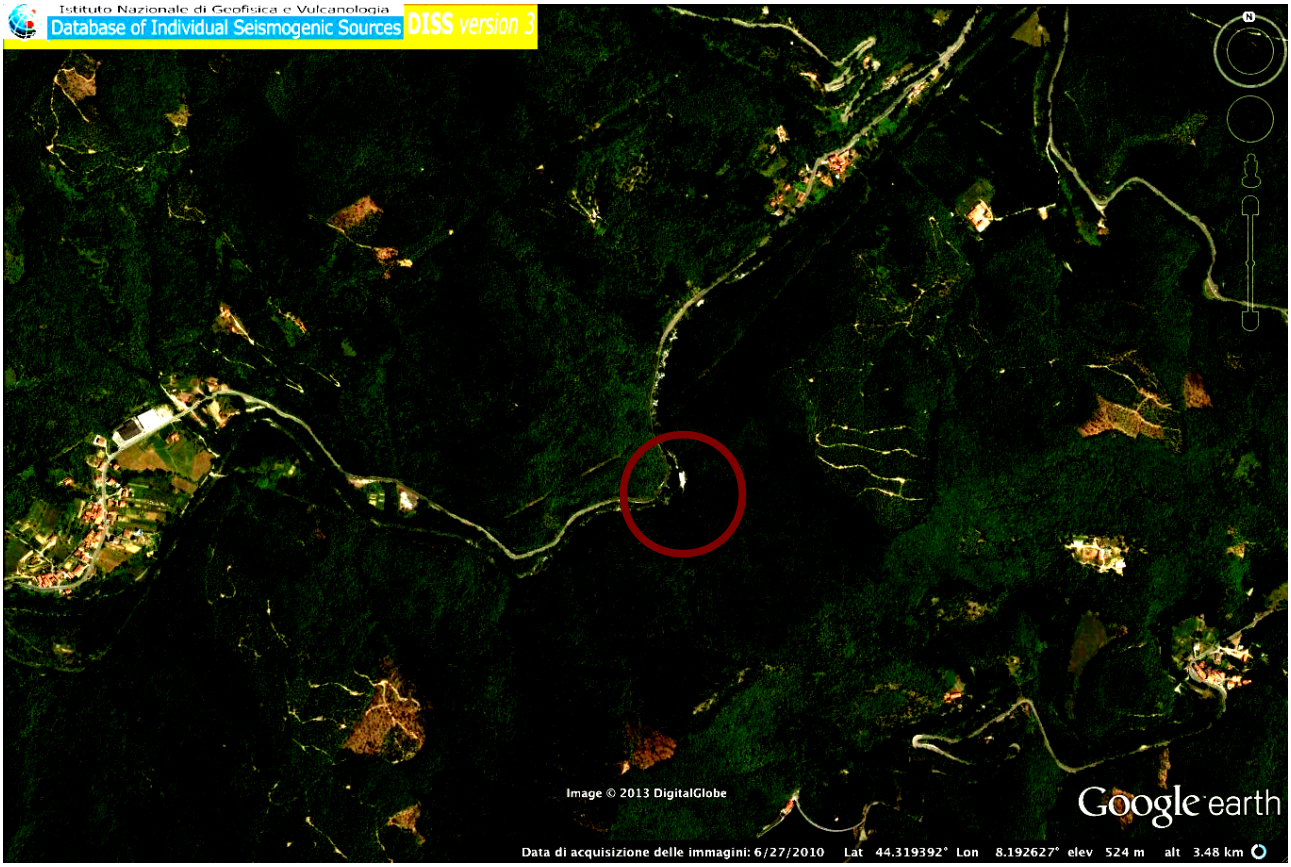
Allegati fuori testo
Tav. G01 Modello Geologico

1. PREMESSA

La società 2diLuglio srl è la promotrice di un'iniziativa privata tesa alla realizzazione di un impianto mini-idroelettrico in località Isiré nel Comune di Murialdo.

L'impianto in progetto va a inserirsi in corrispondenza di una traversa esistente lungo il Fiume Bormida di Millesimo, in prossimità del confine con il Comune di Millesimo.

La relazione geologica è stata finalizzata alla definizione delle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito nonché alla definizione del modello geologico, verificando inoltre i possibili scenari di pericolosità geologica. In virtù delle condizioni di affioramento del substrato roccioso e del limitato impatto delle opere previste sull'ambiente, per la costruzione del modello geologico di progetto e per l'acquisizione dei parametri necessari allo sviluppo della relazione geotecnica, è stata realizzata una tomografia sismica a rifrazione.



Fotografia 1 – Ubicazione dell'area d'intervento (Google Earth)



Fotografia 2 – Particolare briglia, canale e platea cementata (Google Earth)

2. LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

L'area in esame è ubicata lungo l'alveo del Fiume Bormida di Millesimo. L'esistente traversa (fotografia n. 3) si trova poco a valle di un'ansa sinistrorsa. Lungo la sponda sinistra si riconosce una struttura residua che aveva in passato funzioni di idrometro. Immediatamente a monte della briglia il fondo risulta cementato e separato in due settori che delimitano il canale di scarico della traversa grazie al quale avvenivano le misurazioni idrometriche.



Fotografia 3 – La traversa e il canale

La platea cementata è quasi sempre priva di sedimenti, asportati periodicamente dal flusso delle acque (fotografia n. 4), mentre a monte della platea stessa si evidenzia un'area di

sovralluvionamento (fotografia n. 5) che si estende fino a uno sperone roccioso che s'insinua in alveo in sponda destra. Tali depositi si presentano generalmente ben gradati.



Fotografia 4 – Il canale e la platea



Fotografia 5 – Lo sperone roccioso e la zona di sedimentazione

Il fenomeno del sovralluvionamento può essere correlato con la presenza dell'ansa e della traversa che garantisce all'alveo condizioni di equilibrio non evidenziandosi, infatti, zone in

erosione sia a monte sia a valle della traversa stessa. Immediatamente a valle dello sperone roccioso, come intuibile nella porzione centrale della fotografia n. 6, s'individua una zona di calma che dà origine a un laghetto di estensione limitata con depositi sabbiosi sul fondo.



Fotografia 6 – Lo sperone roccioso e il laghetto

A monte dello sperone roccioso si rileva in alveo una sedimentazione più grossolana, caratterizzata da ciottoli e massi, situazione che si riscontra con caratteristiche simili anche a valle della traversa.

Lungo la sponda sinistra il versante è caratterizzato da bassa acclività, parzialmente coperto da alluvioni terrazzate dalle quali fuoriescono locali affioramenti del substrato roccioso. Nel settore immediatamente a valle e a monte della S.P. n. 51 il pendio, che costituisce la propaggine SE del Bric Campi, è caratterizzato da un'acclività medio alta, in relazione alla presenza diffusa del substrato roccioso affiorante o subaffiorante.

In questo settore del bacino la cartografia geologica CARG in scala 1:50.000 - Foglio 228 *Cairo Montenotte* - (Figura 1) riporta la presenza dei litotipi attribuiti alla Formazione di Murialdo (Permiano inferiore).

Si tratta di metasedimenti che raggruppano rocce di natura differente, quali quarzoscisti, scisti quarzoso – micacei, scisti cloritico albitici, filladi grafitiche nerastre. Sono caratterizzati da calcite secondaria e da abbondante vene di quarzo.

Lo spessore della formazione si aggira intorno ai 150 m.

Nella parte alta del versante sinistro, a NE di Bric Campi, affiorano lenti della Formazione di Eze (Permiano inferiore) costituite da lave da andesitiche a trachiandesitiche, andesiti basaltiche,

brecce vulcaniche, anche grossolane, intercalate negli Scisti di Gorra, caratterizzate da fenocristalli di plagioclasio, clino e ortopirosseno, biotite e orneblenda.

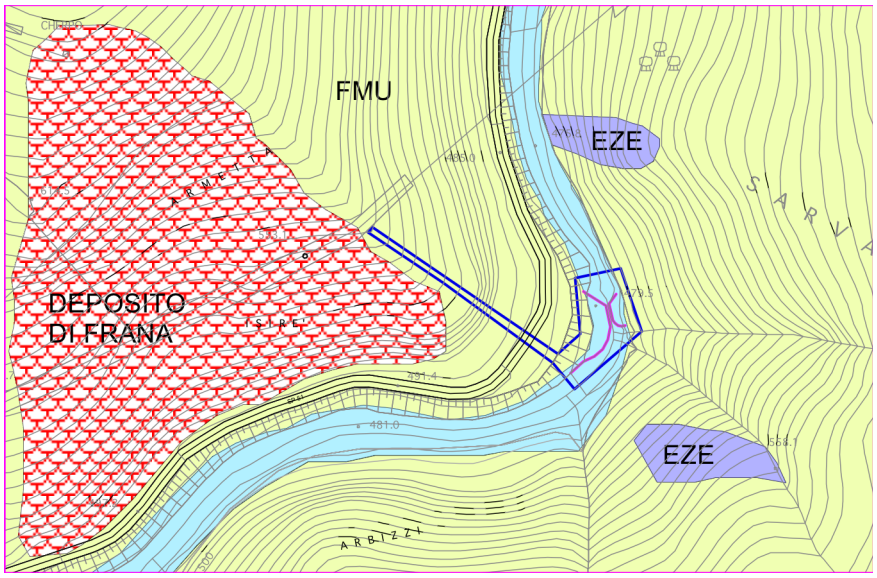


Figura 1: stralcio Carta Geologica 1:50.000 – ridisegnata dal CARG
Foglio 228 Cairo Montenotte

3. PERICOLOSITA' GEOLOGICA DI BASE

L'esame della cartografia di analisi del PAI (Autorità di Bacino del Po) redatta per il rischio geomorfologico e idraulico evidenzia che la zona non è interessata da fenomeni franosi pregressi o in atto. La cartografia riportata in Figura 2 riguarda il rischio geomorfologico e idraulico della zona.

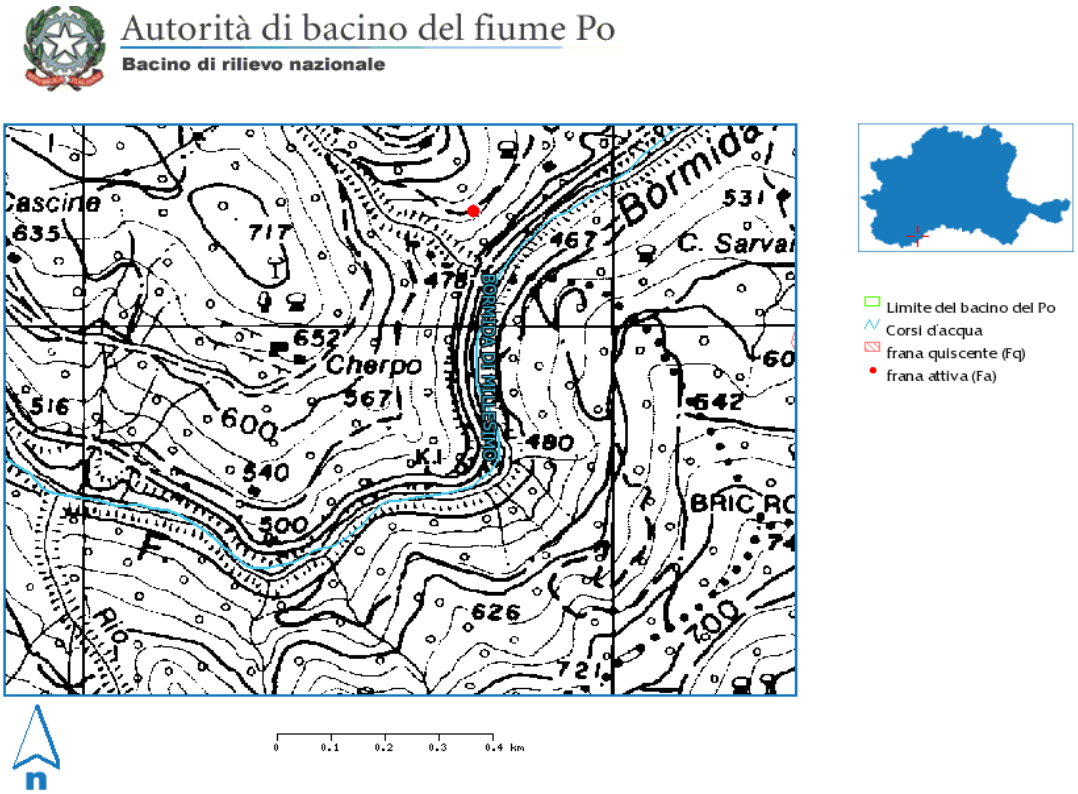


Figura 2: quadro di pericolosità geomorfologica della zona (fonte PAI AdB Po)

In Figura 3 si riporta un estratto delle fasce fluviali eseguite dalla Provincia di Savona nell'ambito dell'aggiornamento del PAI (Studio Hydrodata, 2004).

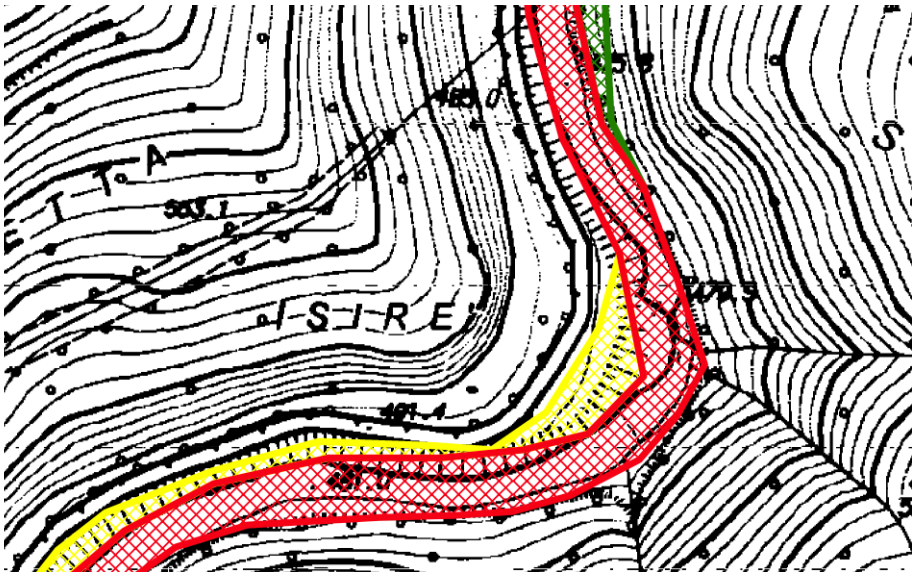


Figura 3: estratto fasce di inondabilità della zona (fonte Provincia Savona – Studio Hydrodata)

Si può osservare che la sponda idrografica destra non è interessata dalle fasce di esondazione risultando più elevata rispetto al terrazzo alluvionale di fondovalle.

La pericolosità sismica a scala regionale (Figura 4), condizionata dalla presenza di zone sismogenetiche nel ponente ligure, nel Mar Ligure e nelle Alpi occidentali, è definita da un campo di accelerazioni di base (su substrato rigido) variabili da 0,05 a 0,075g con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 475 anni (Eurocodice 8 - D.M. 14.01.2008). La magnitudo massima attesa risulta pari a 5,3, ad una distanza di 36 km dal sito di progetto.

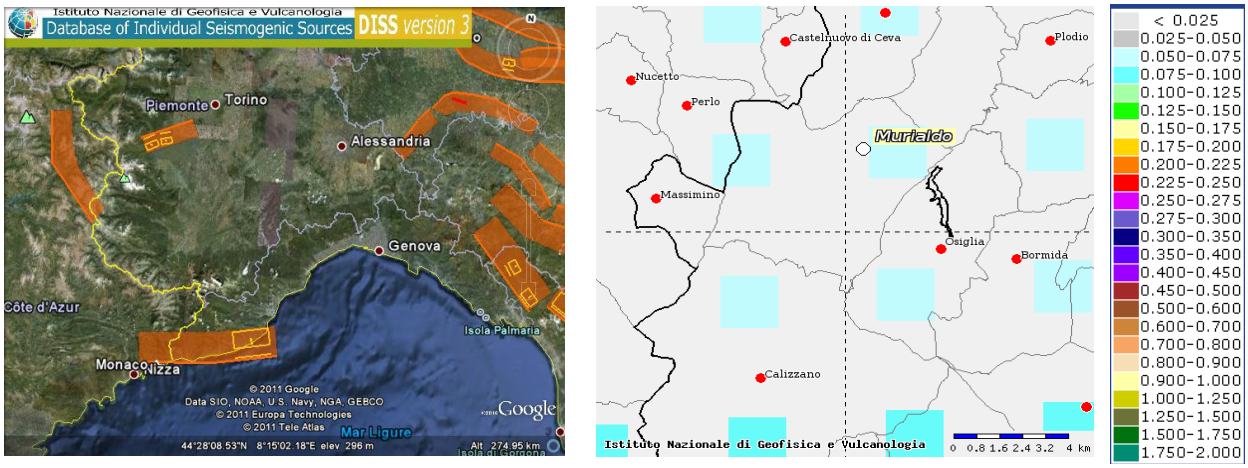


Figura 4: quadro di sintesi della pericolosità sismica della zona (fonte I.N.G.V.)

4. INDAGINI CONOSCITIVE

Come accennato, gli scriventi hanno effettuato una campagna di indagini, comprendente l'esecuzione di una stesa sismica a rifrazione con elaborazione tomografica e alcuni rilievi geomeccanici sull'ammasso roccioso.

4.1 Prospezione sismica a rifrazione

Le caratteristiche della stesa sono indicate in Tabella 1, mentre l'ubicazione è riportata nella Tavola G01 fuori testo.

Stesa	*Lunghezza complessiva (m)*	*Spaziatura Intergeofonica (m)*	*Stazioni di energizzazione*
SS1	50	3	7

Tabella 1: Caratteristiche geometriche della stesa sismica

Nel metodo sismico a rifrazione viene registrata la propagazione di onde elastiche, generate artificialmente all'interfaccia atmosfera – terreno e rifratte lungo superfici di discontinuità sepolte.

In superficie vengono disposti trasduttori elettromagnetici, chiamati geofoni, in grado di rilevare la perturbazione prodotta propagatasi nel terreno.

I geofoni sono collegati, attraverso un cavo multipolare, ad un sismografo multicanale che misura e registra i tempi di percorrenza dell'impulso elastico, generato artificialmente, nei tragitti compresi tra il punto sorgente ed ogni singolo geofono.

La prima perturbazione elastica ricevuta da ogni geofono può seguire un percorso "diretto" (tragitto più breve tra sorgente e ricevitore), oppure subire una o più rifrazioni in corrispondenza di superfici di discontinuità tra materiali caratterizzati da differenti stati di addensamento.

La configurazione ottimale dei parametri di acquisizione (distanza intergeofonica, numero di energizzazioni, geometria dello stendimento, lunghezza della registrazione) è definita in sito in funzione delle condizioni logistiche, della presenza o meno di fonti di disturbo e delle finalità dell'indagine.

Il metodo sismico a rifrazione da superficie permette di caratterizzare i terreni presenti al di sotto dello stendimento di geofoni fino ad una profondità pari, in condizioni ideali, a circa 1/3 dello sviluppo lineare dello stesso.

I tempi di percorso diretto e rifratto tra i punti in cui viene energizzato il terreno ed i singoli geofoni, costituiscono le *dromocrone* e sono riportati su diagrammi nei quali sono leggibili, in ascissa, le posizioni dei singoli geofoni (proiettate sul piano orizzontale) e in ordinata i tempi in secondi.

Dalle dromocrone possono essere ricavate analiticamente le velocità reali di propagazione dei fronti d'onda degli impulsi sismici alle varie profondità. Tali velocità sono proporzionali al grado di addensamento dei terreni entro i quali la perturbazione elastica si propaga e, nel caso di ammassi rocciosi, possono essere indicative delle condizioni geomeccaniche degli stessi.

I valori delle velocità così ottenuti, unitamente ai tempi-intercetta e pendenza delle dromocrone, sono utilizzati per il calcolo dello spessore dei singoli livelli rifrangenti, fino alla massima profondità consentita dalla geometria dei rispettivi sviluppi.

Note le velocità sismiche delle onde di compressione entro i singoli livelli rifrangenti e la variazione dei loro spessori al di sotto dello sviluppo della stesa, può essere ricostruita la sezione sismostratigrafica.

Sono state effettuate energizzazioni all'interno ed all'esterno dello stendimento secondo gli usuali schemi di acquisizione.

Quest'ultima è stata effettuata mediante un sismografo *GEODE Geometrics* a 24 canali con memorizzazione incrementale dei segnali per ogni traccia; i canali utilizzati sono 12. I segnali di ciascun canale sono stati digitalizzati tramite un convertitore A/D a 16 *bit* in 2.048 campioni per una lunghezza di registrazione pari a 512 millesimi di secondo, visualizzati a video in tempo reale e quindi memorizzati su supporto magnetico mediante il programma di acquisizione *Geometrics SGOS*.

Le energizzazioni del terreno, per la generazione delle onde di compressione, sono state effettuate mediante percussione con massa battente (mazza con testa da 5 kg) su piastra di

acciaio. La lettura di tutti i tempi relativi ai primi arrivi é stata effettuata con routine automatica e controllo manuale da tastiera utilizzando il programma *SeisOpt Picker v 1.5.* Per la ricezione delle onde sono stati utilizzati, rispettivamente, gruppi di geofoni verticali *Oyo Geospace* con frequenza naturale di 14 Hz.

L'interpretazione dei dati è stata condotta con il supporto della tecnica di modellazione mediante il programma di tomografia sismica *SeisOpt 2D v.3.5* che consente di interpretare il sottosuolo attraverso un potente algoritmo di inversione della velocità, denominato *RIOTS* (*Refraction Inversion OpTimization System*), capace di fornire una sezione tomografica del sottosuolo in funzione della velocità sismica di propagazione.

Analisi dei dati

La sequenza degli strati sismici, definiti da intervalli di velocità, è stata tarata e ricondotta alle tipologie di materiali e formazioni presenti nell'area in esame anche sulla base degli affioramenti disponibili. E' quindi possibile ipotizzare la seguente sequenza:

- ≅ livello A: terreno di riporto frammisto ad alluvioni medio grossolane con velocità sismica compresa fra 300 – 1000 m/s (strato A);
- ≅ livello B: alluvioni passanti al cappellaccio di alterazione del substrato roccioso con velocità sismica compresa fra 1000 – 1500 m/s (strato B);
- ≅ substrato roccioso da alterato a sano con velocità sismica > 1500 m/s (strato C).

Stesa sismica SS1

La stesa è stata realizzata lungo un tracciato monte (g12) – valle (g1) che costeggia la sponda sinistra e la sua interpretazione risente delle differenze di quota fra i due estremi.

A tale proposito, lo strato A presenta uno spessore pari a circa 1,50 m in corrispondenza al geofono g1, mentre si approfondisce di almeno 6,00 m in corrispondenza del geofono g12, tenendo comunque conto di un andamento irregolare del contatto con il sottostante livello B.

Quest'ultimo presenta uno spessore fra 0,50 -1,50 m per quasi tutta la stesa, con ispessimento fino a circa 3,00 m poo prima del geofono g12.

Anche il tetto dello strato C presenta un andamento ondulato e si rinviene alla profondità di circa 3,00 m in prossimità del geofono g1, approfondendosi fino a 8,00-9,00 m in prossimità del geofono 10.

Per maggior comprensione della sezione sismostratigrafica interpretativa si rimanda alla tavola G01 fuori testo.

4.2 Rilievi geomeccanici

Per definizione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso, in relazione alle condizioni di prossimità alla superficie in prossimità della zona di fondazione delle opere in progetto, sono stati

effettuati alcuni rilievi geomeccanici che consentono di elaborare una valutazione della qualità dell'ammasso stesso mediante opportune classificazioni.

La valutazione della qualità dell'ammasso è stata eseguita, in prima approssimazione, applicando la classificazione proposta da Bieniawski (1989) nella versione più recente.

Come noto, la metodologia proposta da Bieniawski è basata su un indic, definito “RMR”, ottenuto dalla sommatoria di diversi parametri quali:

- C_0: resistenza a compressione uniassiale della roccia (ricavabile sia attraverso misure sclerometriche in sito, che sulla base dell’indice “Is” ricavato dai *Point Load* in laboratorio);
- RQD : (*Rock Quality Designation*);
- Sp. Giunti: spaziatura dei giunti;
- Cond. Giunti: condizioni dei giunti fornite dalla somma di indici che tengono conto di parametri riferiti ai giunti quali: continuità, apertura, grado di scabrezza, alterazione e riempimento;
- Acqua: le condizioni idrauliche presenti.

Ogni parametro viene valutato in modo quantitativo assegnando un indice parziale, la cui somma fornisce il valore di RMR di base (BMR), dal quale si ricava la classe di qualità dell’ammass0.

Stazione di rilievo	**Litologia**	***Set* 1** (SC)	***Set* 2** (FR)	***Set* 3** (FR)	***Set* 4** (FR)
RS1	Scisti quarzoso micacei	40°/30°	240°/65°	310°/65°	120°/60°
RS2	Scisti quarzoso micacei	60°/40°	210°/65°	350°/55°	160°/50°

(SC: scistosità; FR: frattura)

Tabella 2: valori medi giaciture famiglie di discontinuità

Nelle Tabelle 3.1-3.2 vengono riportati gli indici di classificazione relativi ai rilievi eseguiti nel comparto in esame.

Rilievo strutturale RS1 (Formazione di Murialdo)

Stazione RS1 (Metodo RMR – Bieniawski)	
Parametro	**Rating**
C0	2
RQD	13
Spaziatura giunti	10
Condizioni giunti.	9-11
Acqua	10
B.M.R. (classe)	**44-46 III Discreta**

Tabella 3.1: rilievo strutturale RS1 - indice BRM

Rilievo strutturale RS2 (Metarioliti di Case Lisetto)

Stazione RS2 (Metodo RMR – Bieniawski)	
Parametro	**Rating**

C0	2-4
RQD	6
Spaziatura giunti	8
Condizioni giunti.	13-17
Acqua	10
B.M.R. (classe)	**39 - 45 IV-III Scadente- Discreta**

Tabella 3.2: rilievo strutturale RS2 - indice BMR

5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Secondo la procedura semplificata prevista dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, sulla base delle indagini eseguite è possibile assegnare, per quanto riguarda l'area interessata dalla traversa, una categoria di suolo di fondazione A, valida per "*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3,00 m.*".

I dati di sismicità regionale sono stati ricavati dal reticolo INGV facendo riferimento ai punti indicati in Tabella 4 e assumendo quali coordinate WGS84 del sito 44°,319278 – 8°,194758.

Identificativo	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza dal sito di progetto (*m*)
17129	44,315940	8,178770	1.325,0
17130	44,319040	8,238499	4.275,5
16908	44,368950	8,244189	6.779,2
16907	44,365840	8,174447	5.423,6

Tabella 4: vertici reticolo INGV di riferimento per le azioni sismiche

In applicazione alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, sono state ricavate le accelerazioni sismiche di base dal reticolo georeferenziato, utilizzato dall'INGV per lo studio della Mappa di Pericolosità Sismica Italiana (Gruppo di lavoro MPS-2004).

In tabella 5 sono riportati i parametri sismici di riferimento.

- Coordinate geografiche: 44,319278 N – 8,194758 E
- Coefficiente topografico S_T: *T1* corrispondente a situazione di pianura;
- Probabilità di superamento (SLV): 10%;
- *Tr*: 332 anni;
- ag = 0,054 g;
- F_0 = 2,599;
- T_C^* = 0,288 s.

Periodo di riferimento (anni)	Coeff. d'uso C_u	Coefficienti sismici allo SLV						
		S_s	C_c	S_t	*kh*	*kv*	*Amax* (m/s^2)	β
75	1,5	1,00	1,00	1,00	0,011	0,005	0,529	0,20

Tabella 5: Parametri sismici allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

6. PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

I rilievi e le prove eseguite permettono di ricavare i parametri geotecnici di resistenza al taglio per i terreni che interessano le opere a progetto; l'analisi parametrica è stata eseguita sulla base dei risultati delle seguenti indagini in sito e prove:

- rilievi strutturali e classificazioni geomeccaniche;
- prospezione sismica a rifrazione con elaborazione tomografica.

Nella tabella seguente vengono riportati i parametri di riferimento per l'ammasso roccioso sano.

Indice RMR	Indice GSI	Angolo di attrito (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito (picco) da prove lab. (°)	Coesione (picco) da prove lab. (kPa)
44	39	28	225	36	294

Tabella 6: parametri di riferimento per l'ammasso roccioso sano

7. PROBLEMATICHE ESECUTIVE

Le opere previste comportano limitate modifiche alla struttura della traversa che costituisce un'opera a gravità in pietra squadrata cementata con malta, la cui sommità è rivestita da calcestruzzo debolmente armato. Le operazioni di costruzione interferiranno con i depositi alluvionali sabbioso ghiaiosi (*Alluvioni attuali)*, di spessore stimato inferiore a 3 m e con il substrato roccioso in corrispondenza del locale turbina e del canale di restituzione.

La sismicità della zona, peraltro modesta, non ha provocato nella struttura della traversa alcun tipo di lesione, potendosi ritenere la stessa adeguata al contesto di pericolosità individuato per la zona.

La vetustà del manufatto potrà rendere opportuno, previo verifiche in fase di progettazione esecutiva, un intervento di rivestimento della traversa in blocchi allo scopo di consolidarne la struttura.

Le operazioni più impegnative sono quelle legate alla realizzazione del condotto di scarico, che comportano l'esecuzione di un "taglio" nel corpo della traversa con smontaggio dei blocchi, scavo e getto dei condotti di scarico in calcestruzzo armato e ricostruzione della traversa. Dette operazioni saranno comunque eseguite dopo aver realizzato il bacino di carico ed il locale di produzione elettrica a monte della traversa che determineranno condizioni di tenuta stagna nel settore d'intervento.

Poiché la traversa risulta in larga parte interrata, le operazioni di scavo per la costruzione del bacino di carico e della camera di produzione saranno precedute da un intervento di consolidamento mediante due paratie di micropali eseguiti per una profondità di 10 m dal piano di coronamento della traversa. In tal modo verranno contrastati i rischi di sifonamento senza

modificare l'attuale battente idraulico. La costruzione del canale di scarico a valle della traversa, in relazione alla presumibile presenza del substrato roccioso in prossimità della superficie, potrà essere effettuata mediante la realizzazione di una berma per la deviazione delle acque, adottando condizioni di scavo a pareti abbattute e conseguente aggottamento mediante idrovore di adeguata portata.

Su tali basi le opere previste si possono considerare eseguibili senza pregiudizio dello stato dei luoghi.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bieniawski Z.T. (1979) “The geomechanics classification in rock engineering applications” Proc. 4th International Conference on Rock Mechanics. Montreaux. Balkema vol.2

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Circolare 2 febbraio 2009. “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008”. D. Min. Infrastrutture e Trasporti 14.01.2008 “Testo Unitario delle Norme Tecniche per le costruzioni” Suppl. Ord. n. 30 alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4.02.2008.

- D. Min. Infrastrutture e Trasporti 14.01.2008 “Testo Unitario delle Norme Tecniche per le costruzioni” Suppl. Ord. n. 30 alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4.02.2008.

- ISPRA - Regione Liguria (2010) Carta Geologica CARG 1:50.000 Fg. 228 “Cairo Montenotte”.

- Restagno S., Trimboli M., (2011) “Indagine geologica, interventi di somma urgenza e Studio di Fattibilità per sistemazione fenomeno franoso alla progressiva 14+900 della S.P. n. 51 in Comune di Murialdo” Provincia di Savona.