INDICE

1. PREMESSA 2
2. LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI 3
3. PERICOLOSITA' GEOLOGICA DI BASE 6
4. INDAGINI CONOSCITIVE 7
5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 8
6. PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO 9
7. PROBLEMATICHE ESECUTIVE 10
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 11

1. PREMESSA

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

L'impianto in progetto va a inserirsi in corrispondenza di una traversa esistente lungo il Fiume Bormida di Spigno, in corrispondenza della confluenza con il Rio Valleggie.

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. Il modello geologico di progetto e gli elementi necessari allo sviluppo della relazione geotecnica sono stati basati sugli scavi e le indagini effettuate dagli scriventi per la costruzione di un limitrofo fabbricato commerciale.



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



Fotografia 2 – Vista a bassa quota della traversa esistente (Google Earth)

2. LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

L'area è ubicata lungo l'alveo del Fiume Bormida di Spigno a monte del centro storico di Cairo Montenotte nel tratto compreso fra la confluenza del Rio Valleggie e il Rio Valeriola. L'esistente traversa (fotografia n. 3) si colloca fra la strada comunale di Bertagalla e la zona commerciale artigianale di Cairo lungo la S.S. n. 29.

La morfologia valliva risulta particolarmente ampia, con l'alveo al centro di due vaste aree alluvionali terrazzate sopraelevate di circa 5-6 m rispetto alla quota di scorrimento delle acque (327 m s.l.m.).



Fotografia 3 – La traversa vista dalla sponda sinistra

La struttura in massi è colma di sedimenti, generalmente ben gradati, riscontrandosi alcuni punti sconnessi in superficie che costituiscono via di deflusso preferenziale durante i regimi di morbida.

Il fenomeno del sovralluvionamento è riconducibile alla traversa che garantisce all'alveo condizioni di equilibrio, non evidenziandosi, infatti, zone in erosione sia a monte sia a valle della traversa stessa.

Lungo la sponda sinistra, oltre la piana alluvionale terrazzata sulla quale corre la ferrovia Savona-Alessandria, il versante è caratterizzato da un costone roccioso con affioramenti del basamento pre-terziario.

In questo settore del bacino la cartografia geologica CARG in scala 1:50.000 (Foglio 228 *Cairo Montenotte*) riporta (Figura 1) la presenza dei litotipi attribuiti alla *Formazione delle Dolomie di M. Rossotta* (Trias) appartenenti *all'Unità di M. Sotta*; si tratta di dolomie e calcari dolomitici in bancate di spessore da decimetrico a metrico. Lungo il versante sinistro, non cartografato sulla CARG, le rocce dolomitiche sono poste in contatto tettonico con la *Formazione dei Calcescisti* (TUR) che appartengono all'Unità di Voltri. Si tratta di metasedimenti di età cretacica caratterizzati da sequenze di scisti calcarei, quarzoscisti e calcescisti con livelli calcarei.

Lungo la parte alta del versante sinistro i terreni pre-terziari sono sigillati dai depositi arenacei e conglomeratici della *Formazione di Molare* (Oligocene).

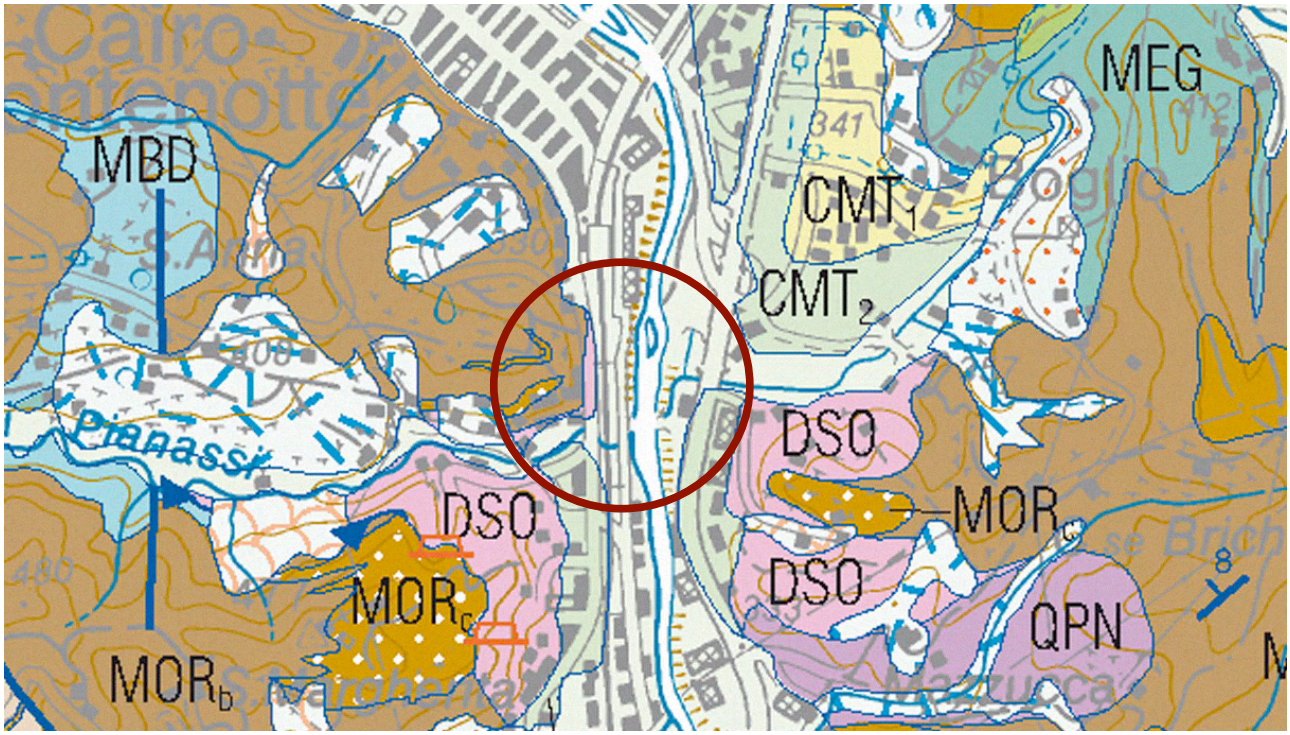


Figura 1: stralcio Carta Geologica 1:50.000 – ridisegnata al 25.000 dal CARG
Foglio 228 Cairo Montenotte

BACINO DEL FIUME BORMIDA

SINTEMA DI CAIRO MONTENOTTE

Subsintema di Rocchetta Cairo (CMT3)

Depositi essenzialmente ghiaiosi, solitamente a tessitura clasto-sostenuta, localmente contenenti rilevanti quantità di matrice sabbiosa e clasti di dimensioni anche pluridecimetriche. Alterazione pressoché nulla (2.5 Y). Costituiscono l'attuale fascia di esondazione delle Bormide e dei loro principali affluenti nonché le basse superfici terrazzate sospese a non più di 6-8 m dall'alveo, esondabili in caso di piena eccezionale (depositi fluviali).

OLOCENE – ATTUALE

Subsintema di Dego (CMT2)

Depositi, moderatamente alterati (10YR), costituiti da ghiaie grossolane arrotondate per lo più a tessitura clasto-sostenuta, con clasti di dimensioni pluricentimetriche, fino a decimetriche, localmente con abbondante matrice sabbioso-limosa. Talora le ghiaie si presentano in strutture lentiformi mal definite caratterizzate da matrice meno abbondante. Spesso sono presenti coltri di esondazione di spessore decimetrico di natura sabbiosa e caratterizzati da laminazione piano-parallela. Costituiscono superfici terrazzate rialzate al più di 20 m sull'alveo attivo (Depositi fluviali).

PLEISTOCENE SUP.-OLOCENE

Subsintema di Saliceto (CMT1)

Depositi ghiaiosi a tessitura clasto-sostenuta, con clasti sub-arrotondati o arrotondati da pluricentimetrici a decimetrici, con matrice sabbiosa, privi di strutture sedimentarie. Localmente sono presenti isolati blocchi arrotondati di dimensioni pluridecimetriche. Moderata alterazione (7.5-10YH). Costituiscono superfici terrazzate sospese di 15 - 30 m rispetto all'alveo attivo (depositi fluviali).

PLEISTOCENE SUP.

FORMAZIONE DI MOLARE

Siltiti grigio azzurrognole con locale presenza di lenti microconglomeratiche. Stratificazione difficilmente riconoscibile e scarsa organizzazione ad eccezione di intervalli con accenni di laminazione a basso angolo. Bioturbazione pervasiva, abbondante materia organica e fossili: macroforaminiferi (*Eulepidina dilatata, E. roberti, Operculina complanata, Heterostegina papirata var. gigantea, Nephrolepidina tournoueri, Nummulites intermedius, N. fichteli*), microforaminiferi (*Tritaxia szaboi, Uvigerina mexicana, Heterolepa mexicana, H. cushmani, H. perlucida, Spiroplectammina carinata*), echinodermi (*Echinolampas*), gasteropodi (*Cerithium, Turritella*), lamellibranchi (*Pecten, Chlamys, Meretrix, Pectunculus, Lucina, Ostrea, Cardium*), coralli, briozoi. Depositi di mare sottile che evidenziano un graduale approfondimento al limite transizionale con i termini pelitici della formazione sovrastante.

OLIGOCENE INF.- OLIGOCENE SUP.

Calcari biancastri fortemente ricristallizzati che presentano un assortimento bioclastico ben diversificato. Calcareniti e biocalcareniti da medie a grossolane talora con abbondante componente terrigena. Localmente presenti facies biocostruite a coralli associati ad alghe corallinacee, briozoi echinodermi, macroforaminiferi, lamellibranchi. Depositi riconducibili a piattaforme carbonatiche di modeste dimensioni (fino a 500 metri) sviluppatesi in ambiente costiero. Potenza totale contenuta entro i 15-20 metri.

OLIGOCENE INF.- OLIGOCENE SUP.

Conglomerati mal selezionati con dimensioni molto varie (blocchi fino a 2 metri,) in rozze bancate, a clasti poligenici e matrice arenacea grossolana. Alternanze di arenarie medie e grossolane in strati da centimetrici a metrici. I conglomerati rappresentano la litologia prevalente nella porzione inferiore dell'unità. Verso l'alto aumenta la componente arenacea sino a diventare esclusiva in prossimità del limite superiore. Spessore molto variabile (da pochi metri fino a 80-100 mt) in relazione alla paleotopografia del bacino. Spesso si rinviene a diretto contatto con il substrato pre-oligocenico con limite erosivo. Depositi di ambiente variabile tra il continentale al marino costiero con prevalenza di facies di conoide.

Oligocene (MOR4, MORc, MORb)

DOMINIO PREPIEMONTESE

UNITÀ TETTONOSTRATIGRAFICA DI MONTE SOTTA

Calcari di Monte Sotta - Membro dei calcari silicei (SOT2)

Calcari cristallini grigio scuri, nerastri e nocciola, ben stratificati e calcari saccaroidi biancastri, in strati mal evidenti, con frequenti lamine e liste di selce da millimetriche a centimetriche. Lo spessore complessivo del membro si aggira sui 150 metri (SOT2).

LIASSICO

Calcari di Monte Sotta - Membro dei calcari a lumachelle (SOT1)

Calcari scuri, cristallini, a grana grossa, in strati da decimetrici a metrici, contenenti *Rhaetavicula contorta* (PORTL.), frequenti Involutinae, embrioni di ammoniti, bivalvi, gasteropodi e radiolari; presenti, nella porzione inferiore, rari strati di calcari dolomitici a patina giallo-ocra. Lo spessore, ove massimo, raggiunge i 30 metri (SOT1).

RETICO-LIASSICO INF. ?

DOLOMIE DI MONTE ROSSOTTA (DSO)

Dolomie grigio chiare e scure a patina bianca in banchi da decimetrici a sub- metrici a Dasicladacee (*Diplopora* sp.), con intercalazioni di calcari, calcari dolomitici, di brecce intraformazionali, calcari marmorei e brecce dolomitiche vacuolari (Anisico-Ladinico). Localmente presenti facies arenaceo-argillose nerastre (*"schistes et grés a Equisetum"*: Bloch, 1958) del Carnico a cui seguono talora dolomie grigio-scure a patina bianca in strati e banchi pluridecimetrici del Norico. Lo spessore della formazione si aggira sui 250 metri.

ANISICO-NORICO

QUARZITI DI PONTE DI NAVA (QPN)

Quarziti biancastre e verdine, fengitiche, raramente scistose, a grana medio-grossa, in strati e banchi, a luoghi con concentrazioni ematitiche e sottili intercalazioni di peliti verdi e violacee, più frequenti verso la sommità. Lo spessore è stato valutato nell'ordine di 50 metri.

SCITICO

BASAMENTO PRE-TERZIARIO

DOMINIO PIEMONTESE-LIGURE

UNITÀ TETTONOSTRATIGRAFICA DI VOLTRI

CALCESCISTI DEL TURCHINO (TUR)

Scisti e quarzoscisti con calcite, fengite, quarzo, clorite, epidoti e albite; calcescisti a bande calcaree, quarzose e pelitiche.

CRETACICO SUP.?

UNITÀ TETTONOSTRATIGRAFICA DI MONTENOTTE

SCISTI FILLADICI (SFD)

Scisti filladici grigi e nerastri, molto micacei; argilloscisti di colore grigio chiaro e calcescisti scuri, molto alterati con patine rosso-brunastre.

CRETACICO SUP.?

ARGILLOSCISTI (AIP)

Argilloscisti grigi e filladi con intercalazioni sia di calcari cristallini scuri a grana fine, sia di brecce carbonatiche. Alla base, rari strati di calcari scuri cristallini "picchiettati", a grana grossa, caratterizzati dalla presenza di anfibolo sodico.

TITONIANO?-CRETACICO INF. ?

QUARZITI E QUARZOSCISTI (QRA)

Scisti silicei grigi e marroncini con rari livelli di quarzoscisti bianchi, verdini e talora rosati, a grana fine, con tessitura a bande, a quarzo e fengite.

OXFORDIANO SUP.-KIMMERIDGIANO?

METABASALTI (MDB)

Metabasalti derivati da originarie lave e filoni, associati ai gabbri, con tessitura ofitica di plagioclasio e clinopirosseno a grana medio-fine. Le paragenesi alpine sono rappresentate da albite, lawsonite, miche bianche su plagioclasio e anfibolo sodico su pirosseno primario, in pasta di fondo a glaucofane, lawsonite, egirina-augite e clorite.

DOGGER SUP. ?-MALM INF. ?

METAGABBRI (MEG)

Metagabbri a ossidi di Fe e Ti, a grana grossa, a relitti di clinopirosseno, con paragenesi metamorfica alpina ad anfibolo sodico (crossite-riebeckite), pirosseno sodico (giadeite-egirina), lawsonite, albite e pumpellyite, localmente retrocesse in facies Scisti Verdi.

DOGGER?

SERPENTINITI (TIG)

Serpentiniti antigoritiche massicce, con foliazione talora evidente, a relitti mineralogici e tessiturali di lherzoliti e filoncelli rodingitici, con clorite, e frequenti vene a riempimento di crisotilo.

DOGGER?

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 di seguito riportata in Figura 2 riguarda il rischio idraulico della zona.

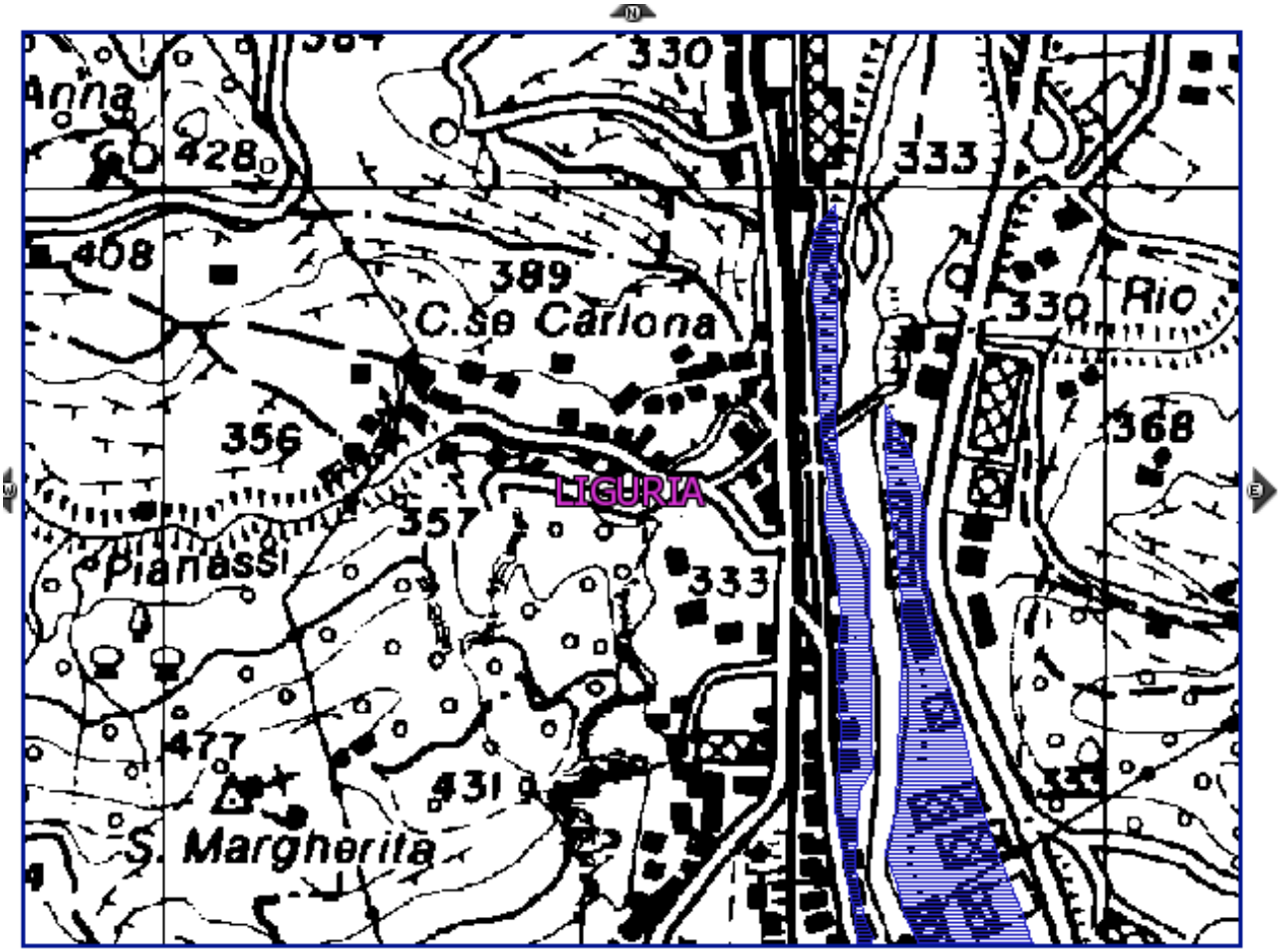


Figura 2: quadro di pericolosità idraulica della zona (fonte PAI AdB Po)

Si può osservare che la sponda idrografica destra risulta interessata da fasce di esondazione con tempo di ritorno duecentennale.

La pericolosità sismica a scala regionale (Figura 3), 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 5,37, ad una distanza di 51 km dal sito di progetto.

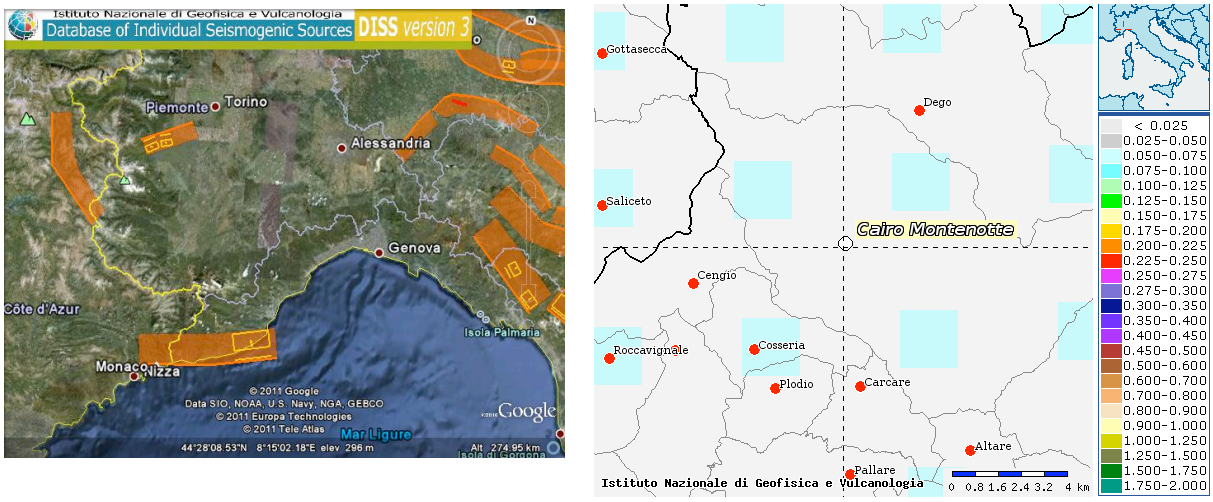


Figura 3: quadro di sintesi della pericolosità sismica della zona (fonte I.N.G.V.)

4. INDAGINI CONOSCITIVE

Come accennato, gli scriventi hanno effettuato una campagna di indagini geognostiche nell'aprile1989 nell'ambito della progettazione dell'edificio adibito a sede commerciale del Concessionario FIAT Pedrazzani, ubicato in Corso Brigate Partigiane, in adiacenza all'area in oggetto.

L'indagine consisteva nello scavo di sei pozzetti geognostici che avevano consentito di verificare la presenza di un substrato roccioso (Calcescisti del Passo del Turchino) a profondità variabili da 3,60 a 4,25 m dal piano campagna (quota 330 m s.l.m.).

Riportando i dati relativi alle indagini eseguite, si può verificare che il basamento dell'opera idraulica esistente è intestato sul substrato roccioso, costituito da calcescisti, mentre a monte della traversa è presente un orizzonte di alluvioni da medio-grossolane a grossolane per spessori compresi fra 2,50-3,00 m.

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 indice "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.

In Tabella 1 si riportano gli indici di classificazione relativi ai rilievi eseguiti nel comparto in esame.

Rilievo strutturale RS1 (Calcescisti cso. Marconi)

Stazione RS1 (Metodo RMR – Bieniawski)	
Parametro	**Rating**
C0	2-4
RQD	13
Spaziatura giunti	10
Condizioni giunti.	9-11
Acqua	10
B.M.R. (classe)	**44-46** **III** **Discreta**

Tabella 1: rilievo strutturale RS1 - indice BRM

5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Sulla base delle indagini eseguite è possibile, secondo la procedura semplificata prevista dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, 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 2 e assumendo quali coordinate WGS84 del sito 44°,3919 – 8°,2808.

Identificativo	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza dal sito di progetto (*m*)
16908	44,368950	8,244189	3.874,5
16909	44,372020	8,313964	3.437,6
16687	44,421920	8,309665	4.045,9
16686	44,418850	8,239877	4.423,4

Tabella 2: 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 3 sono riportati i parametri sismici di riferimento.

- Coordinate geografiche: 44,391915 N – 8,280855 E
- Coefficiente topografico S_T: *T1* corrispondente a situazione di pianura;
- Probabilità di superamento (SLV): 10%;
- Tr: 475 anni;
- ag = 0,055 g;
- F_0 = 2,621;
- T_C^* = 0,306 s.

Periodo di riferimento (anni)	Coeff. d'uso C_u	Coeff. sismici allo SLV						
		S_s	C_c	S_t	kh	kv	$Amax$ (m/s^2)	β
50	1,0	1,00	1,00	1,00	0,011	0,005	0,538	0,20

Tabella 3: 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;
- prove di laboratorio su litologie analoghe a quelle affioranti.

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 4: 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 massi cementati con malta. 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 e la mancanza di alcun intervento manutentivo comporta un intervento di protezione e consolidamento preventivo alle operazioni di scavo.

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 rimozione dei massi, scavo e getto dei condotti di scarico in calcestruzzo armato e ricostruzione del paramento 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 savanella 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., (1989) “Indagine geologica per realizzazione nuovo edificio concessionaria FIAT Pedrazzani in Comune di Cairo Montenotte”.