COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

PROVINCIA DI GENOVA

SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO BAIUCCA IN LOCALITA' COSTA MEZZANA

RELAZIONE GEOLOGICA

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Data
0	Rapporto conclusivo	GC	AR	27/05/21

Firmato digitalmente da

GIACOMO CANEPA

CN = CANEPA GIACOMO
O = Ordine Regionale Geologi Liguria
C = IT

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA Tecnica e Ambientale
Via Nino Bixio 22D/4 - 16043 Chiavari (GE)
tel./fax 0185/313910 - e-mail: geotecam@libero.it
ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE - P.IVA n. 01046100994

SOMMARIO

PREMESSA pag. 2
1. RIFERIMENTI NORMATIVI pag. 2
2. MODELLO GEOLOGICO pag. 4
2.1. PROFILO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO pag. 4
2.2 SCHEMA IDROGRAFICO E PROFILO IDROGEOLOGICO pag. 5
3. INDAGINI IN SITO pag. 6
4. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI MEDI pag. 7
4.1 COPERTURA SCIOLTA pag. 8
4.2 ORIZZONTE ALTERATO E DECOMPRESSO DEL BASAMENTO ROCCIOSO pag. 8
4.3 SUBSTRATO ROCCIOSO pag. 9
5. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA pag. 10
6. GESTIONE ED UTILIZZO TERRE E ROCCE DA SCAVO pag. 12
7. INDICAZIONI OPERATIVE pag. 13
7.1 LINEAMENTI PROGETTUALI pag. 13
7.2 ATTIVITA' DI SCAVO pag. 14
7.3 FONDAZIONI pag. 15
7.4 REGIMAZIONE IDROGEOLOGICA pag. 15
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE pag. 15
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI pag. 17

ELENCO ALLEGATI

ALLEGATO 1 - FIGURE E TABELLE

Figura n°	Oggetto
1	Corografia dell'area
2	Estratti cartografici Piano di Bacino Stralcio (Ambito 15)
3	Carta geomorfologica
4	Planimetria dell'area
5	Sezioni stratigrafiche ipotizzate
Tabella n°	**Oggetto**
1	Classificazione geomeccanica R.M.R.
2	Valori stimati del G.S.I. per rocce tipo *Flysch*
3a-b	Inviluppo a rottura ammasso roccioso

ALLEGATO 2 – REPORT INDAGINI GEOFISICHE

PREMESSA

Su incarico della Comune di Santa Margherita Ligure, con Determina dirigenziale n.560 del 07/05/2021, sono state condotte le indagini geologiche sui terreni coinvolti dalle opere a progetto, che prevedono la sistemazione idraulica del Rio Baiucca (Fosso della Baiucca) in Località Costa Mezzana nel Comune di S.Margherita Ligure (Provincia di Genova).

L'area in oggetto è individuabile nella Carta Tecnica Regionale scala 1:5000 elemento n. 231074 Ruta, il cui stralcio è riportato in allegato (Fig. 1) ed è stato utilizzato come supporto per la redazione della cartografia tematica (Fig. 3), mentre a livello catastale è distinta con il mappale n. 173 Foglio n. 6 del N.C.T. Comune di S. Margherita Ligure.

Il progetto prevede l'esecuzione di opere di adeguamento del Fosso della Baiucca in corrispondenza dell'attraversamento della viabilità di accesso ad una serie di edifici di civile abitazione, in quanto la zona è stata oggetto, nel corso degli eventi alluvionali del 2014, di esondazione con allagamento delle aree limitrofe e conseguenti fenomeni erosivi dei terreni interessati dal deflusso della portata esondata.

La realizzazione dell'intervento comporta l'esecuzione di scavi di sbancamento in corrispondenza dell'asse di una tombinatura esistente, finalizzati alla sostituzione dei tubi già in opera (che presentano un diametro inadeguato allo smaltimento delle portate di piena) con un nuovo canale in conglomerato cementizio armato, parte a cielo aperto parte chiuso, adeguatamente dimensionato dal punto di vista idraulico (dimensioni interne 1.80 x 1.80 m – lunghezza = 18 m).

In ragione della morfologia del comparto l'inserimento dello scatolare nel profilo del pendio comporta movimenti terra di media consistenza con apertura di un fronte di sbancamento in trincea in grado di ospitare una struttura di lato 2m x 2m.

Immediatamente a monte della nuova tombinatura è prevista, in corrispondenza dell'alveo del Fosso della Baiucca, una vasca di sedimentazione in gabbioni di sviluppo pari a 10 m che va ad incidere la sponda destra del Rio e la base della sede stradale.

In considerazione dell'incidenza dell'intervento sui terreni e delle condizioni generali della zona la metodologia d'indagine adottata ha previsto:

- ricognizione preliminare necessaria per prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente;
- ricerca bibliografica e consultazione di risultati di rilevamenti e prove in sito eseguiti in occasione di incarichi professionali in settori adiacenti a quello in esame;
- esame degli studi geologici connessi al P.U.C. del Comune di S. Margherita Ligure (Canepa, 2016) e del Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico (Ambito 15);
- esame di dettaglio del terreno al fine di accertarne le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche in rapporto al grado di antropizzazione della zona;
- esecuzione di una stesa sismica a rifrazione in corrispondenza della zona di intervento;

- rielaborazione di quanto emerso dalle indagini e redazione della presente relazione tecnica con indicazioni operative.

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le presenti indagini sono redatte in conformità alle normative vigenti ed in particolare:

- Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti 17.01.2018 ("Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni");
- Circolare 21.01.2019 n. 7 C.S.LL.PP. ("Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018.

Per quanto attiene al Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico (Ambito 15), redatto ai sensi del comma 1 dell'art. 1 del D.L. 180/98 ("Decreto Sarno"), convertito in Legge 267/98, si può descrivere quanto segue:

- nella carta della rete idrografica il Fosso della Baiucca è classificato come corso d'acqua del reticolo idrografico ufficiale;
- la carta della franosità reale individua in orografica destra del Fosso una frana par scorrimento o scivolamento rotazionale classificata in stato di quiescenza;
- la carta della suscettività al dissesto classifica il territorio oggetto d'intervento in parte come Pg2 (suscettività al dissesto media) e in parte in Pg3A, relativamente al poligono corrispondente alla zona di frana quiescente, che interessa in parte la tombinatura e la vasca di sedimentazione;
- la zona non è soggetta al regime del vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. 30.12.1923 n. 3267 e della L.R. n. 4 del 22.01.1999 e s.m.i.

Nelle zone ad elevata suscettività al dissesto (Pg3A) "*gli interventi ammessi sono basati su specifici studi che dettaglino le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche che determinano la suscettività elevata e che verifichino che la realizzazione delle opere non interferisca negativamente con le condizioni di stabilità dell'intera area e, in ogni caso, non aumenti la vulnerabilità delle strutture esistenti e le condizioni di rischio*".

Nel caso di specie l'adeguamento della tombinatura è finalizzato allo smaltimento delle portate di piena e ad evitare quindi che la struttura vada in pressione o determini fuoruscite di acqua con conseguenti allagamenti e fenomeni erosivi.

Inoltre le strutture in gabbioni previste per la realizzazione della vasca di sedimentazione costituiscono di fatto un rinforzo spondale per un tratto di circa 10 m in un settore di versante ove la

sponda destra costituisce il limite di valle di una frana classificata quiescente: entrambe le opere sono indirizzate quindi a mitigare le condizioni di rischio idrogeologico.

In merito al grado di suscettività al dissesto individuato per le restanti aree (Pg2) la normativa di riferimento è rappresentata dall'art.16 comma 4 delle Norme di Attuazione che non prevede vincoli specifici in merito alla fruibilità del territorio e "*demanda ai Comuni, nell'ambito della norma geologica di attuazione degli strumenti urbanistici o in occasione dell'approvazione sotto il profilo urbanistico-edilizio di nuovi interventi insediativi e infrastrutturali, la definizione della disciplina specifica di dette aree, attraverso indagini che tengano conto del relativo grado di suscettività al dissesto. Tali indagini devono essere volte a definire gli elementi che determinano il livello di pericolosità, a individuare le modalità tecnico-esecutive dell'intervento, nonché ad attestare che gli stessi non aggravino le condizioni di stabilità del versante*".

Alla scala comunale occorre pertanto fare riferimento alla cartografia geologica del P.R.G. di S. Margherita Ligure: la carta geomorfologica riprende i limiti della zona di frana quiescente presente in sponda destra e riporta, in sponda sinistra, un corpo di frana complessa stabilizzata.

L'intero comparto è inserito in una più vasta area interessata, con elevata probabilità, da deformazioni gravitative profonde (DGPV): tale asserzione, riportata nel Piano, troverebbe conferma nel diffuso stato di disarticolazione della roccia in tutta la zona esaminata.

Quanto sopra asserito in merito alla mitigazione delle condizioni di rischio, favorita dagli interventi in progetto, è confermato dagli studi a corredo del PRG, adeguati alla cartografia del PdB.

Nella carta della zonizzazione e suscettività d'uso del territorio il sito d'interesse è identificato, relativamente alla sponda destra, dalla classe C2 (suscettività d'uso limitata – aree di frana inattiva quiescente) e per quanto concerne la sponda sinistra dalla classe prevalente C1 (suscettività d'uso limitata – accumuli di potenza significativa e frane inattiva stabilizzate).

Le classi C1 e C2 sono caratterizzate entrambe da aree con condizionamenti di ordine geologico, geotecnico e idrogeologico eliminabili, come nel caso di specie, con interventi di difficoltà ed onerosità da media ad elevata.

2. MODELLO GEOLOGICO

2.1 PROFILO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

Il terreno oggetto delle indagini è ubicato in località Costa Mezzana, nel settore centrale del territorio comunale di S. Margherita Ligure, in corrispondenza della porzione di versante che degrada da S. Siro Croce in direzione NE, nella fascia altitudinale compresa fra 80 e 90 m s.l.m.

Il settore di territorio in esame appare modificato dall'azione antropica; in particolare nelle porzioni inferiori del versante sorgono diversi complessi residenziali, mentre la porzione superiore è contraddistinta da estese zone coltive e edifici sparsi, disposti lungo le principali vie di comunicazione.

Dal punto di vista geomorfologico, il pendio investigato (Fig. 3) è caratterizzato dal basamento roccioso subaffiorante con coltri sottili in corrispondenza dei crinali secondari, mentre si rileva la presenza di coltri sciolte di natura eluvio-colluviale e detritica, di spessore più potente, nelle aree conformate ad impluvio.

Sulla base del rilevamento sul terreno ed in accordo con la cartografia ufficiale (Servizio Geologico Italiano, 1968; Regione Liguria, 2005), si è constatato che il substrato roccioso è rappresentato dai litotipi appartenenti al Flysch di M. Antola, costituito da calcari marnosi, marne calcaree, calcareniti ed argilliti, disposti in strati di potenza variabile anche nell'ordine del metro, di colore grigio scuro se freschi e grigio chiaro nelle normali condizioni di alterazione.

Alcuni affioramenti del basamento lapideo sono visibili alla base dei muri a secco e lungo l'alveo del Fosso della Baiucca che drena il fondovalle.

Il basamento lapideo si presenta in condizioni di conservazione mediocri e spesso evidenzia palesi sintomi di disarticolazione, tali da rendere difficoltosa l'individuazione della disposizione strutturale prevalente dell'ammasso roccioso.

Lo stato dell'ammasso può essere messo in relazione ad un probabile fenomeno di deformazione gravitativa profonda, già descritta a commento della cartografia geologica del P.R.G., oppure alla presenza di lineazioni tettoniche che hanno condizionato anche l'andamento dei corrivi che scendono dal versante; nel corso del rilevamento effettuato è stato riscontrato un sistema di macrofratturazione principale ad andamento prevalente SW-NE ed inclinazione subverticale.

L'area in esame è caratterizzata da modesti fenomeni di spinta della coltre sciolta soggetta a fenomeni di saturazione e da locali deformazioni dei muri a secco, osservate particolarmente in sponda destra del Fosso, ed attribuibili in misura preponderante alla mancanza totale di opere di manutenzione.

L'area di intervento può essere considerata tuttavia in discrete condizioni di stabilità globale, poiché non sono stati riscontrati elementi di franosità in atto o potenziali.

2.2 SCHEMA IDROGRAFICO E PROFILO IDROGEOLOGICO

Relativamente all'idrografia superficiale lo schema dei deflussi superficiali nell'area in oggetto fa riferimento il Rio Baiucca (fosso della Baiucca) che contribuisce a formare, con un affluente minore, il Fosso Cassanello, a sua volta affluente di sponda destra del rio San Siro.

In corrispondenza dell'area oggetto di intervento, alla confluenza con l'affluente minore di sponda sinistra, il corso d'acqua sottende un bacino complessivo di circa 0.15 km^2, dei quali 0.03 km^2 circa relativi all'affluente minore e 0.12 km al fosso principale.

L'asta principale è disposta in direzione SO-NE e presenta una lunghezza di circa 0.6 km con una pendenza media del 25% circa. Il bacino si presenta ricoperto per la maggior parte di vegetazione (bosco) senza segni evidenti di dissesti.

Il Fosso di Cassanello rappresenta l'asta drenante principale; i sentieri pedonali e le rotabili che tagliano trasversalmente il pendio rappresentano ugualmente un'efficace via di deflusso delle acque superficiali convogliate negli impluvi principali.

Nella porzione di versante in studio, in condizioni di normale piovosità, avviene solo un modesto ruscellamento diffuso e le acque scorrono distribuite con regolarità grazie alla sistemazione a fasce che attenua l'acclività del pendio e alla copertura vegetale.

In termini idrogeologici, le coltri sciolte sono considerate terreni permeabili per porosità con coefficienti da medi a bassi in ragione della frazione fine, sempre presente in percentuale influente.

Il substrato roccioso è sostanzialmente impermeabile in condizioni d'integrità, ma nel caso di specie, in considerazione del grado di fratturazione acquisito, risulta permeabile e le discontinuità caratteristiche rappresentano la via di circolazione preferenziale.

Si deve ritenere, infatti, che l'acqua possa saturare le fratture in profondità e possa trovare vie di percolazione secondo i rapporti geometrici esistenti tra i giunti caratteristici dell'ammasso roccioso.

Durante lo svolgimento delle indagini non è stata riscontrata la presenza di una circolazione idrica sotterranea: in occasione d'eventi critici pluviometrici, si ritiene tuttavia possibile l'accumulo di temporanei ristagni idrici o di saturazione diffusa, localizzata lungo l'interfaccia tra la coltre di copertura ed il basamento roccioso.

3. INDAGINI IN SITO

Nella presente fase di studio si è provveduto ad integrare le informazioni acquisite dal rilevamento di superficie e dalle indagini geotecniche attraverso l'esecuzione di una campagna geofisica con l'obiettivo di fornire una ricostruzione dell'assetto stratigrafico del sito, ove è prevista la sistemazione idraulica del Rio Baiucca, e definire più in generale il tipo di suolo mediamente presente nel comparto edificatorio.

Le indagini sono consistite nell'esecuzione di una prospezione sismica superficiale a rifrazione con la tecnica delle onde di compressione della lunghezza complessiva di 42 m, ubicata lungo l'asse della tombinatura esistente.

La prospezione sismica è stata condotta utilizzando 12 geofoni a interdistanza di 2 m ed eseguendo 7 energizzazioni (shot), con le quali è stato possibile evidenziare le variazioni della morfologia dei rifrattori. In sintesi, la prospezione ha permesso di ricavare la seguente situazione sismo-stratigrafica:

- in superficie è presente un primo orizzonte di spessore compreso tra 1.0 e 1.8 m, con velocità delle onde sismiche oscillanti attorno a 500 - 600 m/s, ascrivibile a terreno sciolto talora rimaneggiato, in condizioni di naturale umidità e poco addensata;
- il livello sottostante, fino a profondità di 3,5 – 4,0 m è distinto da velocità delle onde sismiche crescenti tra 1000 e 1100 m/s; tale orizzonte costituisce il livello di transizione tra i terreni sciolti ed il basamento rigido sottostante e può essere ricondotto ad una breccia eterometrica con placche disarticolate, trovanti e scaglie;
- il livello successivo è caratterizzato da velocità più elevate delle onde sismiche, comprese tra 2000 e 2100 m/s, fino a profondità superiori a quelle d'indagine; l'orizzonte è assimilabile al substrato roccioso, mediamente fratturato e in buone condizioni di conservazione

L'indagine sismica ha permesso, inoltre, di acquisire alcune informazioni utili per definire il contenuto d'acqua nel terreno; le basse velocità sismiche registrate nei livelli superficiali (Vp = 400 m/s), inferiori alla velocità delle stesse in un mezzo saturo, consentono di valutare i terreni asciutti, in condizioni di naturale umidità.

I dettagli della stesa sismica a rifrazione, unitamente al commento dei risultati e ai grafici relativi ai tempi di arrivo letti, quote topografia e rifrattori, velocità primo strato, rifrattori e sezione interpretativa sono riportati nell'ALLEGATO 2.

4. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Il profilo stratigrafico dei terreni interessati dall'intervento a progetto è stato ipotizzato sulla base delle osservazioni di superficie e prevede la copertura sciolta di natura eluvio-colluviale, di spessore variabile in funzione della distanza dalla radice dei terrazzamenti, sovrapposta all'ossatura litologica di versante.

Tutti gli elementi emersi nel corso delle indagini hanno permesso di ricostruire alcune sezioni stratigrafiche ipotizzate, elaborate sulla base delle sezioni fornite dal Progettista e preparate al fine di fornire la comprensione dei rapporti geometrici esistenti tra i terreni descritti (Fig. 5).

Sono di seguito attribuiti ai livelli individuati i parametri geotecnici e geomeccanici, desunti dall'esperienza personale e dal confronto con prove di laboratorio condotte su materiali simili. Si precisa che tali valori, da intendersi come valori medi, dovranno essere convertiti in valori caratteristici e di progetto per le analisi di stabilità agli stati limite sui terreni di fondazione che dovranno essere contenute in un apposito elaborato di carattere geotecnico (*Relazione geotecnica*), prodotto contestualmente alla progettazione strutturale.

4.1. COPERTURA SCIOLTA

I terreni sciolti sono presenti in modo variabile sul comparto in esame in funzione delle modifiche antropiche al profilo originario, lo spessore è variabile intorno a 2.0 m.

La copertura è caratterizzata da un terreno a granulometria ben gradata, contenente tutte le classi granulometriche con percentuali significative, dalla ghiaia fino all'argilla.

Anche se di difficile definizione in funzione dell'eterogeneità granulometrica del materiale, si ritiene più corretto ascrivere tali terreni ad un comportamento geotecnico tipico dei mezzi a grana grossa stante il rimaneggiamento subito.

La densità secca è stimata di 16 kN/m^3 - 17 kN/m^3, mentre in condizioni naturali, prossime alla saturazione, il peso di volume si attesta su valori tra 18 kN/m^3 e 20 kN/m^3.

Per quanto attiene alla resistenza al taglio, da ritenersi sempre in condizioni drenate, si possono stimare valori dell'angolo di attrito efficace medi di 30°-32°, da considerarsi accettabili per un mezzo di questo tipo. Il termine di coesione drenata c' deve essere considerato nullo in quanto trattasi di terreni normal consolidati (OCR=1).

4.2. ORIZZONTE ALTERATO E DECOMPRESSO DEL BASAMENTO ROCCIOSO

L'orizzonte sottostante è rappresentato da un livello di calcari marnosi fortemente alterati e degradati fino a breccia, che precede i livelli sottostanti meglio conservati del basamento rigido.

Il comportamento meccanico di questi materiali appare particolarmente difficile da definire in quanto si tratta di rocce tenere con comportamento intermedio tra un terreno sciolto e una roccia in s.s..

Considerando il livello decompresso superficiale come un terreno sciolto, si può fare riferimento a un comportamento geotecnico tipicamente coesivo: nel caso la classificazione secondo il Sistema Unificato pone tali materiali nella classe CL-ML.

Alcune prove penetrometriche dinamiche eseguite in formazioni similari forniscono valori medio-elevati di resistenza alla penetrazione, con un valore di NSPT crescente in funzione della litostatica tra 10 e 30 colpi/piede.

Per quanto attiene alle caratteristiche di resistenza al taglio, si può indicare quindi un valore di coesione non drenata tra 20 e 40 kPa, mentre in condizioni drenate nel lungo termine, la coesione scende a valori intorno a 10 kPa con un angolo di attrito efficace di 38°-40°.

Valori equivalenti si ottengono utilizzando un approccio di tipo geomeccanico considerando l'ammasso roccioso, in particolare nei livelli meglio conservati, come un mezzo continuo-equivalente per cui l'orientazione delle discontinuità è ininfluente.

In questo caso si adotta la metodologia proposta da Hoek e Marinos (2000), che prevede l'utilizzo dell'indice G.S.I. (Geological Strength Index) ottenendo un campo valori del G.S.I. estremamente cautelativo, oscillante intorno a 20, e fortemente influenzato dai valori di resistenza alla compressione

monoassiale (R1) particolarmente bassi ($\sigma c<10$) rispetto a quelli indicati per l'ammasso roccioso strutturato.

I parametri di resistenza al taglio sono quindi calcolati con l'inviluppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown (Hoek E. et al., 2002) adottando un valore della costante mi pari a 8 ± 3 (micritic limestones), mentre per il peso di volume si adotta valore di 23.5 kN/m^3.

I risultati ottenuti sono riportati in Tab. 3A, illustrativa dei parametri d'ingresso e delle restituzioni ottenute con apposito programma di calcolo (RocLab 1.033, 2013); per bassi valori litostatici possono essere indicati valori di angolo di attrito tra 33°-36° con coesione intercetta pari a circa 10-12 kPa, valori analoghi ai parametri a lungo termine della caratterizzazione precedente.

4.3. SUBSTRATO ROCCIOSO

Rappresentato dalle sequenze torbiditiche del Flysch di M. Antola, è costituito da alternanze irregolari di calcari marnosi e marne calcaree con interlivelli argillitici.

Sulla base di quanto osservato, le condizioni di conservazione dell'ammasso sono da considerarsi scadenti, con giunti di fratturazione pervasivi alla scala dell'affioramento e caratterizzati da una discreta alterazione superficiale.

Al fine di proporre una classificazione in termini di qualità delle litologie prima descritte, è fornita una classificazione dell'ammasso roccioso adottando la classificazione tecnica R.M.R. (Rock Mass Rating – Tab. 1 - Bieniawski, 1989).

Poiché a seguito delle osservazioni condotte con le metodologie sopraesposte si evidenziano, per alcuni parametri della classificazione R.M.R., condizioni piuttosto disperse, si attribuisce a questi un doppio valore di punteggio valevole, rispettivamente per le condizioni medie rappresentative e per quelle peggiori dell'ammasso.

	Parametro	***Litologia calcare-calcare marnoso***	***Punteggio***
1.	Resistenza roccia intatta	25 - 50 MPa	4
2.	R.Q.D.	25% - 50%	8
3.	Spaziatura dei giunti	6-20 cm; 20-60 cm	8-10
4.	Condizioni dei giunti	Sup. lisce-deb.rugose, apertura tra 0,1 e 5 mm , persistenti, da moderat. a molto alterate, riempimento calcite o tenero < 5 mm	5-13
5.	Condizioni idrauliche	Asciutto	15

Assegnati i valori a ciascun parametro, si ottiene l'indice di classificazione RMR:

$$RMR_{base} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 40–50$$

Adottando la metodologia proposta da Marinos & Hoek (2000), che prevede l'utilizzo dell'indice G.S.I. (Geological Strength Index) ottenuto dalla stima dell'indice R.M.R. di Bieniawski (1989) secondo la seguente formulazione:

$$G.S.I. = R.M.R.(1989) – 5 = (R1 + R2 + R3 + R4 + 15) - 5$$

si ottiene un campo valore del G.S.I. compreso tra 35 e 45, che appare coerente con quanto riportato dagli Autori per le formazioni tipo Flysch (Tab. 2).

In riferimento alle problematiche fondazionali, valutando una direzione di carico verticale, le discontinuità si considerano mutuamente vincolate e pertanto, anche in ragione del grado di fratturazione osservato sul terreno, il substrato roccioso è stato ricondotto ad un mezzo *continuo-equivalente*.

I parametri di resistenza al taglio sono desunti quindi con l'inviluppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown (Hoek et al., 2002) adottando come dati d'ingresso i seguenti valori dell'ammasso roccioso:

- resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa (σ_c) = 30 MPa;
- G.S.I. = 35;
- costante m_i = 8±3 (*micritic limestones*);
- fattore di disturbo (D) = 0.7;
- "modulus ratio" (MR) = 900 (Hoek & Diederichs, 2005);
- peso di volume del materiale roccia (γ) = 26 kN/m^3.

I risultati analitici sono riportati nella Tab. 3B, illustrativa dei suddetti parametri e delle restituzioni ottenute con apposito programma di calcolo (RocLab 1.032, 2011); in un intervallo tensionale compreso tra 0.05 e 0.1 MPa, rappresentativo dell'orizzonte superficiale, possono essere adottati valori di angolo di resistenza al taglio pari a 46°- 49° e coesione intercetta di 45-55 kPa.

5. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA

Secondo quanto contenuto nelle Norme Tecniche sulle Costruzioni, a livello progettuale risulta necessario controllare il grado di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che si possono verificare nel sito in oggetto e valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, attraverso la definizione dell'entità e delle caratteristiche dell'azione sismica.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base espressa a sua volta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se (T) con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR .

Ai fini della presente normativa, le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri: ag = accelerazione orizzontale massima del terreno; F0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T*c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le analisi sono state effettuate per diversi stati limite secondo lo schema sotto riportato, considerando per ciascun stato limite valori di tempo di ritorno (TR) calcolati rispetto al periodo di riferimento VR.

Stato Limite		PVR
Sati limite di esercizio SLE	Operatività SLO	81%
	Danno SLD	63%
Stati limite ultimi SLU	Salvaguardia della vita SLV	10%
	Prevenzione dal collasso SLC	5%

I parametri necessari per le verifiche agli stati limite in condizioni sismiche sono stati derivati con apposito programma di calcolo, imponendo, in assenza di specificazioni da parte del Progettista, una vita nominale VN dell'opera di 50 anni (edifici ordinari) ed una classe I (presenza occasionale di persone).

Gli spettri sismici dipendono in particolare dalle coordinate geografiche del sito: al fine di ricavare i valori dei parametri a partire dai nodi del reticolo di riferimento per un assegnato periodo di ritorno, sono di seguito riportate le coordinate geografiche medie dell'area d'intervento.

Sito in esame: Via Baiucca Santa Margherita Ligure (GE)				
Lat.: 44.331971	Long: 9.196201	Datum: WGS84		
Classe: I	Vita nominale: 50 anni	Coeff. d'uso: 0,7		
Stato Limite	**Tr [anni]**	**ag**	**Fo**	**Tc*[s]**
Operatività (SLO)	30	0.029	2.513	0.198
Danno (SLD)	35	0.031	2.525	0.203
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.071	2.566	0.280
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.093	2.542	0.290
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 35 anni				

Con riferimento al profilo stratigrafico proposto nel presente documento, in considerazione della quota fondazionale delle opere di presidio, si può ritenere valida una categoria di sottosuolo di tipo A che comprende *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

Per quanto riguarda gli effetti topografici, ovvero la modifica all'azione sismica indotta dalla geometria superficiale del terreno, la morfologia del sito di edificazione è stata associata alla categoria T_2 (inclinazione >15°).

Alla luce delle analisi sopra riportate sono stati individuati i coefficienti sismici relativi alle azioni sismiche di progetto riferite alla stabilità del sito di edificazione/fondazioni e muri di sostegno:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.007	0.017	0.022
kv	0.003	0.004	0.009	0.011
Amax [m/s²]	0.337	0.359	0.837	1.089
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Stabilità pendii/fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.017	0.032	0.000
kv	--	0.009	0.016	--
Amax [m/s²]	0.337	0.359	0.837	1.089
Beta	--	0.470	0.380	--

Muri di sostegno NTC2018

In funzione dell'assetto stratigrafico ed idrogeologico dell'area descritto in precedenza, si ritiene che, in ragione del fuso granulometrico dei terreni, del loro spessore e dell'assenza di falda permanente a livello del p.c., non sussistano le condizioni predisponenti al verificarsi di fenomeni di liquefazione dei terreni.

6. GESTIONE ED UTILIZZO TERRE E ROCCE DA SCAVO

L'intervento a progetto prevede movimentazioni terra di media entità con la produzione di materiale di risulta riconducibile a un mezzo a prevalente frazione sabbiosa con subordinati argilla, limo e scheletro lapideo. La gestione di tale terreno è sottoposta a un regime normativo differente a seconda del riutilizzo previsto.

Per la gestione delle terre e rocce da scavo è vigente dal 31 agosto 2017 il Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017 n. 120 "Riordino e semplificazione della disciplina sulla gestione delle terre e rocce da scavo – Attuazione articolo d, DL 133/2014 – Abrogazione DM 161/2012 _ Modifica articolo 184-bis del Dlgs 152/2006"

Nel caso in cui parte del materiale scavato venga riutilizzato all'interno dello stesso sito per reinterri e sistemazioni del terreno non sussiste obbligo di effettuare indagini e analisi atte a integrare le conoscenze disponibili e a supportare le valutazioni in ordine alla sussistenza dei requisiti di non contaminazione delle terre movimentate.

Nel caso in cui si volesse riutilizzare il materiale di scavo eccedente in un altro sito occorre effettuare le analisi su campioni di materiali prelevati secondo i criteri esplicitati nella Delibera del Consiglio SNPA n.54/2019 e predisporre una comunicazione ad ARPAL secondo le modalità indicate nel D.P.R. n. 120/2017 (Artt. 20-21).

In alternativa il materiale di risulta può essere trattato come rifiuto e conferito in idoneo sito di recupero o smaltimento.

7. INDICAZIONI OPERATIVE

Sono di seguito illustrate le condizioni geologiche d'intervento e alcuni criteri operativi che si suggerisce di mettere in atto.

7.1 LINEAMENTI PROGETTUALI

Si riprendono in questo paragrafo i temi esplicitati nella relazione idraulica specificamente riferiti ai criteri interventuali.

Le opere previste riguardano un tratto della lunghezza di circa 30 m dell'alveo del rio Baiucca e 10 m circa dell'affluente minore in sponda sinistra.

Gli interventi sono previsti in parte a cielo aperto e in parte in sotterraneo e consistono, procedendo da monte verso valle, nella realizzazione di:

- Vasca di sedimentazione a monte dell'imbocco della canalizzazione, della larghezza di 2.3 m, altezza 2.5 m e lunghezza 8 m;
- Briglia di inizio intervento dell'altezza di 1 m circa;
- Tratto a cielo aperto con platea di fondo, di raccordo con la sezione di imbocco della tombinatura, di larghezza variabile tra 2.3 m e 1.8 m, pendenza 8%, lunghezza 4.5 m;
- Primo tratto di tombinatura per l'attraversamento della strada di accesso ai fondi privati, di dimensioni 1.8 x 1.8 m, con pendenza 8%, lunghezza 7.6 m;
- Tratto a cielo aperto con salti, sezione 1.8 x1.8 m, pendenza 8%, lunghezza 6.8 m:
- Secondo tratto di tombinatura per l'attraversamento delle due strade vicinali esistenti, di dimensioni 1.8 x 1.8 m con pendenza 8%, lunghezza 10 m;
- Tratto terminale a cielo aperto di raccordo con il canale esistente, di dimensioni 1.8 x 1.8, pendenza 8%, lunghezza 1.6 m.

L'affluente minore in sponda sinistra viene invece riportato a cielo aperto mediante un canale di 0.8 x 1.0 m con pendenza 8%.

Lo sbocco è previsto nel tratto centrale a cielo aperto del rio Baiucca, ad una quota superiore al fondo dello stesso, con un angolo di innesto prossimo a zero.

La vasca di sedimentazione è prevista in gabbioni per un migliore inserimento ambientale; all'estremità di valle della vasca è prevista la realizzazione di un dente in c.a. dell'altezza di 0.6 m, sul quale verranno innestati una serie di profilati metallici tipo HEB 200 di altezza pari a 0.5 m disposti a pettine, al fine di trattenere eventuali corpi galleggianti (fronde o ramaglie) in caso di piena.

Il dente ha la funzione di dissipare l'energia della corrente in arrivo da monte generando un rigurgito in corrente lenta verso monte che favorisca il deposito di materiale all'interno della vasca.

Il fondo della vasca è realizzato con materassi Reno in rete metallica esagonale in doppia torsione.

7.2 ATTIVITA' DI SCAVO

Tutte le attività di scavo necessarie per la realizzazione della canalizzazione dovranno essere condotte secondo la tecnica dei campioni ristretti, di ampiezza non superiore a 3 m.

Per la realizzazione della vasca di sedimentazione si suggerisce la realizzazione di campioni più ristretti, di larghezza sufficiente a inserire le gabbie metalliche secondo la disposizione di progetto in modo da consentire il tamponamento immediato con la gabbionata finita e scongiurare l'innesco di fenomeni franosi nel corso della costruzione della struttura.

I fronti di scavo temporaneo nella copertura sciolta dovranno essere sagomati in modo da formare un angolo di scarpa non superiore a 60° rispetto all'orizzontale, per minimizzare il rischio d'instabilità e garantire la sicurezza del personale in attività a ridosso dello scavo.

Scavi temporanei da eseguirsi nel livello d'ammasso roccioso alterato e fratturato potranno essere eseguiti secondo un profilo subverticale, fatta salva la necessità di intervenire localmente con rinforzi, qualora si manifestasse il rischio di crolli di blocchi o distacchi di placche di roccia, a causa del grado di fratturazione o di quanto altro possa costituire un fattore d'insicurezza per le maestranze a ridosso della parete.

Relativamente agli scavi nella coltre è previsto l'impiego di escavatore a cucchiaio rovescio o similare: nel tratto che presenta le maggiori criticità, in corrispondenza della vasca di sedimentazione e del primo tratto plateato, gli scavi temporanei sul lato monte potrebbero rendere necessario il ricorso a dispositivi di contenimento temporaneo dei fronti di scavo, in quanto gli stessi si sviluppano lungo un fronte classificato nel Piano di Bacino in frana quiescente.

Per quanto riguarda gli scavi nel basamento roccioso alterato e fratturato, molto dipenderà dalle condizioni locali che si incontreranno nel corso delle attività; per l'abbattimento di un materiale lapideo con resistenza a compressione monoassiale superiore a 10 MPa, è in genere necessario l'impiego di un escavatore a braccio sul quale è montato un martellone. Non si può peraltro escludere che, stante lo

stato di fratturazione dell'ammasso, sia possibile utilizzare per gli scavi un semplice escavatore con benna d'adeguata potenza, avendo comunque sempre disponibile in cantiere l'opzione del martello demolitore.

7.3 FONDAZIONI

Per quanto attiene alle opere fondazionali si valuta percorribile la soluzione di attestare tutte le strutture di fondazione della nuova canalizzazione sul substrato roccioso molto fratturato.

La realizzazione di un solettone armato di tipo rigido appare la soluzione più idonea per minimizzare gli effetti di una disomogeneità dei terreni di fondazione.

Per ovviare a tale possibile situazione e preparare un fondo adeguato dovranno essere rimossi livelli di terreno sciolto, particolarmente se presenti sacche di materiali argillosi e, successivamente, riportare la quota d'imposta a livello di progetto mediante la posa in opera di uno strato di calcestruzzo magro, misto a blocchi lapidei sani, di adeguato spessore.

Qualora non emergessero palesi difformità nella composizione del fondo il piano di posa dovrà comunque essere adeguatamente protetto con una stesa di conglomerato cementizio magro in modo da uniformare il piano di appoggio della fondazione.

7.4 REGIMAZIONE IDROGEOLOGICA

Durante la fase di realizzazione degli scavi si dovrà prestare attenzione ad eventuali vene d' acqua intercettate, che dovranno essere convogliate nella nuova tombinatura.

Il sistema di canalizzazione può funzionare anche quale collettore di raccolta delle acque provenienti dalla strada esistente mediante caditoie e deviatori trasversali, in modo da minimizzare gli effetti del ruscellamento superficiale.

La nuova opera è dimensionata con franchi sufficienti per garantire una bonifica idrogeologica dell'intero settore**.**

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base di tutto quanto emerso nel corso delle indagini, in considerazione della tipologia d'intervento, il terreno esaminato è ritenuto idoneo sotto il profilo geologico ed idrogeologico ad ospitare le opere in progetto.

La criticità evidenziata nel Piano di Bacino in sponda orografica destra del Rio Baiucca, ove una porzione di versante è classificata come zona ad elevata suscettività al dissesto per la presenza di una frana quiescente, non appare in contrasto con le opere in progetto, in quanto gli interventi previsti sono mirati alla bonifica idrogeologica di un sito vulnerabile, con la finalità di evitare allagamenti e fenomeni erosivi durante gli eventi di piena.

Le opere di messa in sicurezza sono state dimensionate con franchi idonei al contenimento delle portate di piena.

I criteri da seguire nel corso della fase esecutiva devono essere orientati principalmente alla realizzazione delle opere preparatorie, ed in particolare degli scavi di sbancamento, in condizioni di sicurezza.

Alla quota di scavo prevista la situazione stratigrafica dovrebbe determinare modalità di sbancamento non proibitive. Per contro, se dovesse essere confermata la presenza di roccia allentata e localmente disarticolata, è di primaria importanza mettere in atto tutti i dispositivi per procedere in sicurezza, particolarmente quando occorre operare in sponda destra del corso d'acqua per inserire la gabbionata nel profilo del pendio.

Tenendo conto dei caratteri di pericolosità geologica del territorio, analizzati nel presente elaborato geologico-tecnico, si esprime pertanto un giudizio positivo in merito alla compatibilità degli interventi a progetto con gli strumenti di pianificazione del territorio, in quanto gli interventi stessi sono mirati alla mitigazione del rischio idraulico attraverso la messa in sicurezza di un tratto di corso d'acqua di terzo livello.

Si ribadisce che, contestualmente alle verifiche strutturali, prima dell'inizio lavori, dovrà essere redatta una *Relazione geotecnica*, contenente i risultati delle indagini previste, la definizione dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto e le verifiche agli stati limite relative alle opere strutturali interagenti con i terreni (fondazioni e opere di sostegno), con riferimento e seguito alla definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici medi e ai parametri sismici contenuti nella presente relazione geologica.

Sulla base delle normative citate in premessa, nel corso della realizzazione delle opere a progetto dovranno essere disposte e fatte osservare prescrizioni confacenti con le effettive condizioni geologiche accertate nello sviluppo dei lavori, per la loro possibile influenza sul comportamento dell'opera in progetto nel tempo.

Chiavari, 27 maggio 2021

Dott. Geol. Giacomo Canepa



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

BIENIAWSKI Z.T. (1989) - *Engineering rock mass classification*. J. Wiley & Sons

CANEPA G. (1993) - *Studi geologici connessi al P.R.G. del Comune di S.Margherita Ligure*

HOEK E., CARRANZA-TORRES C., CORKUM B. (2002) - *Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition*. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002.

HOEK E & DIEDERICHS M.S. (2005) - *Empirical estimation of rock mass modulus.* International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 (2006) 203-215

LANCELLOTTA R. (1993) – *Geotecnica*. Zanichelli ed.

MARINOS P. & HOEK E. (2000) - *GSI: a geologically friendly tool for rock mass strenght estimation.* GeoEng 2000, Melbourne.

PROVINCIA DI GENOVA, Area 06 Difesa del Suolo, Opere ambientali e Piani di Bacino (2002) - *Ambito 15 Piano di Bacino stralcio D.L. 180/98 e s.m.i.*

REGIONE LIGURIA (2006) - Ambiente e Territorio- *Tavoletta 1:25000- Chiavari-Recco*

REGIONE LIGURIA (2009) - Ambiente e Territorio - *Carta delle Pietre Verdi*

ROCLAB V.1.032 (2011) - *Rock mass strenght analysis.* Software freeware distribuito da Rockscience inc., Toronto (Can)

SERVIZIO GEOLOGICO ITALIANO (1968) - Carta Geologica d'Italia, in scala 1:100000, F° 83 *Rapallo* 2° ed.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE (2012) – Relazione geologica e geotecnica a supporto della realizzazione di un'autorimessa interrata in via Baiucca nel comune di S. Margherita Ligure (Provincia di Genova).

ALLEGATO 1 - FIGURE E TABELLE

Figura 1 Corografia dell'area

Figura 2 Estratti cartografici Piano di Bacino Stralcio (Ambito 15)

Figura 3 Carta geomorfologica

Figura 4 Planimetria dell'area

Figura 5 Sezioni stratigrafiche ipotizzate

Tabella 1 Classificazione geomeccanica R.M.R.

Tabella 2 Valori stimati del G.S.I. per rocce tipo *Flysch*

Tabella 3a-b Inviluppo a rottura ammasso roccioso

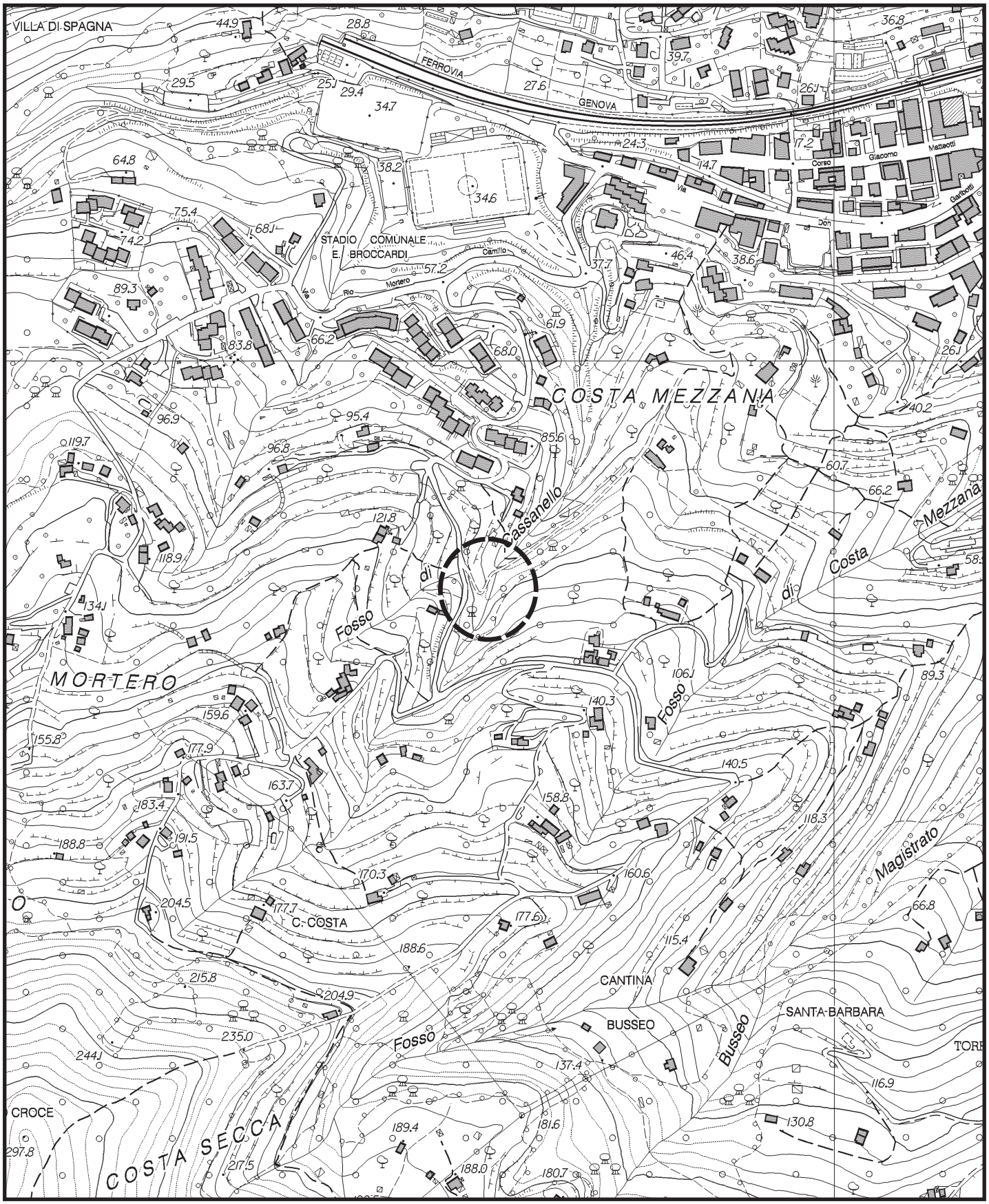
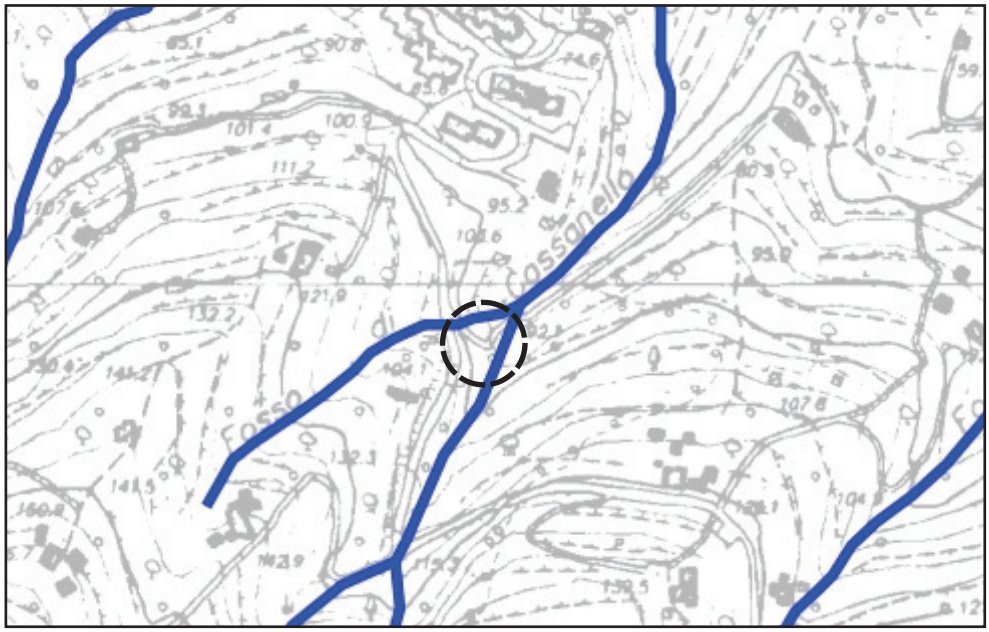


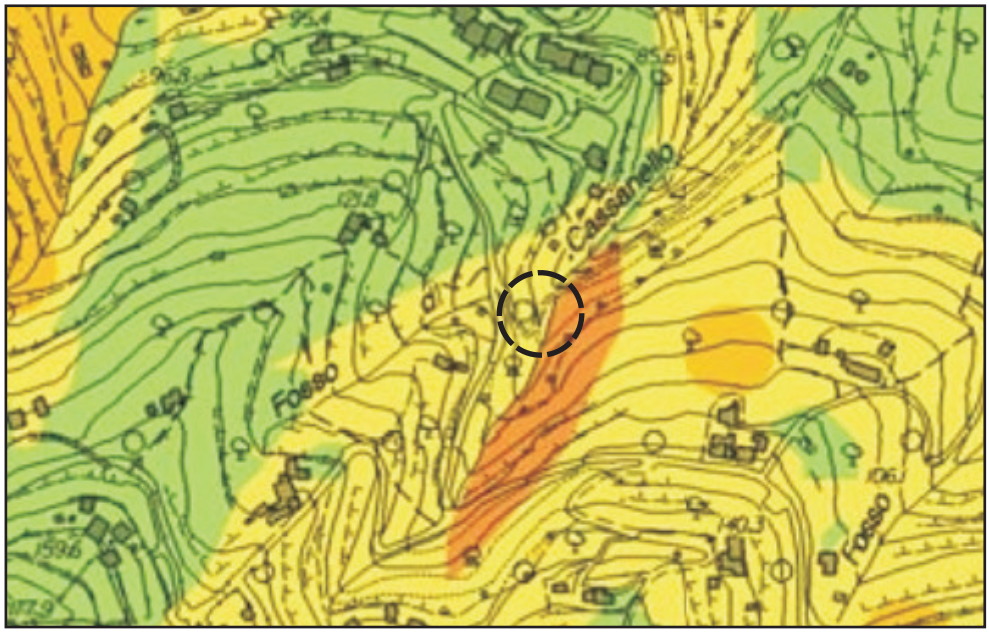
FIGURA 1
COROGRAFIA DELL'AREA
In scala 1:5000



Legenda

Corsi d'acqua di rilevanza idraulica

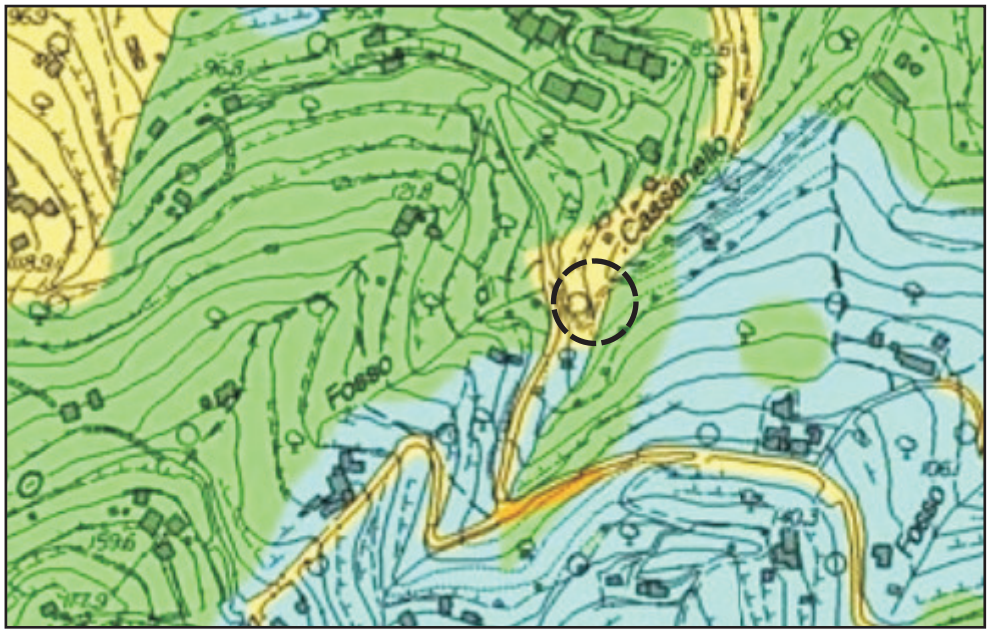
PdB - Ambito 15
Carta del reticolo idrografico



Legenda

- Pg4 - molto elevata
- Pg3a - elevata
- Pg3b - elevata
- Pg2 - media
- Pg1 - bassa

PdB - Ambito 15
Carta della suscettività al dissesto

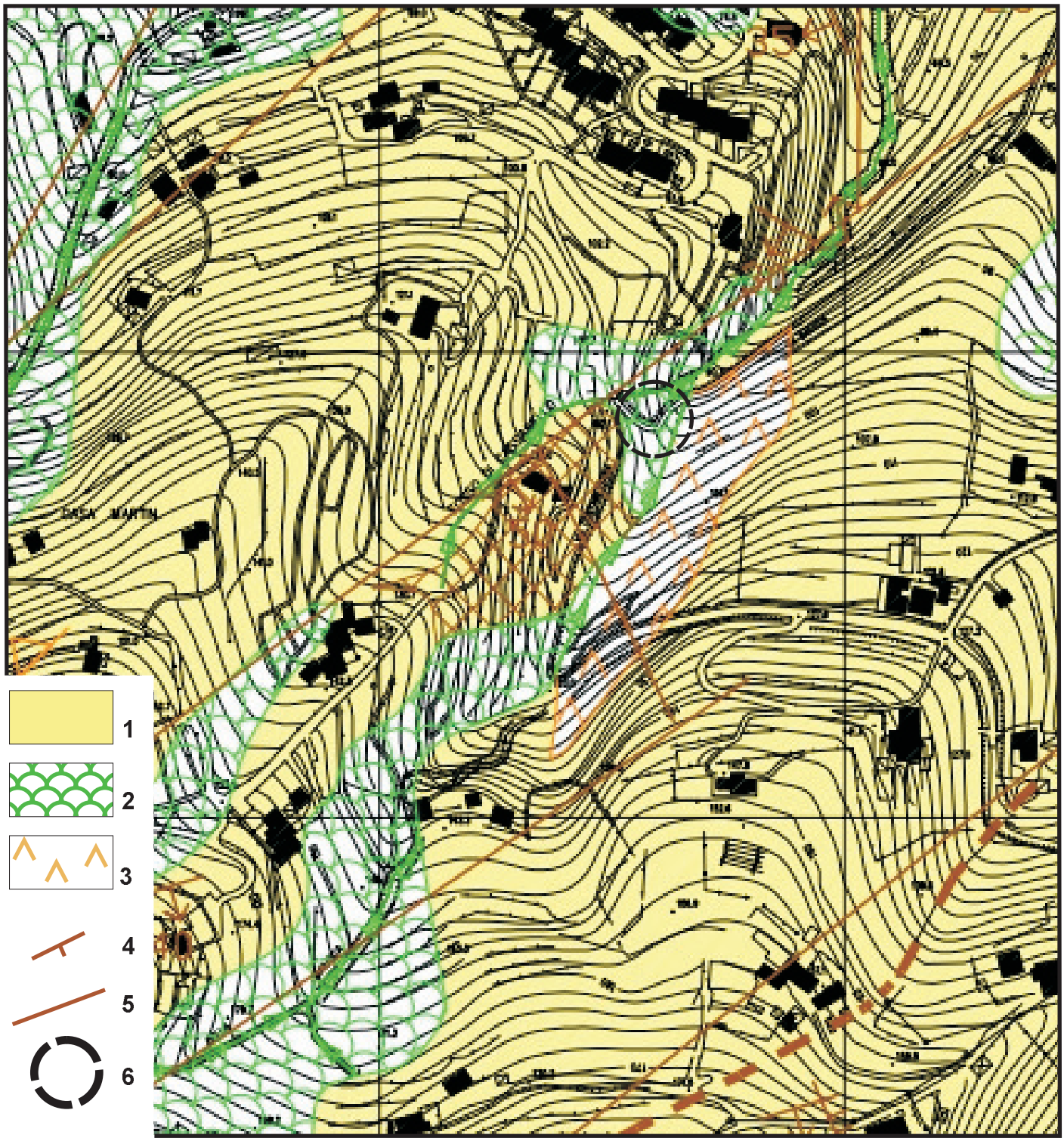


Legenda

- R3 - elevato
- R2 - medio
- R1 - moderato
- R0 - lieve o trascurabile

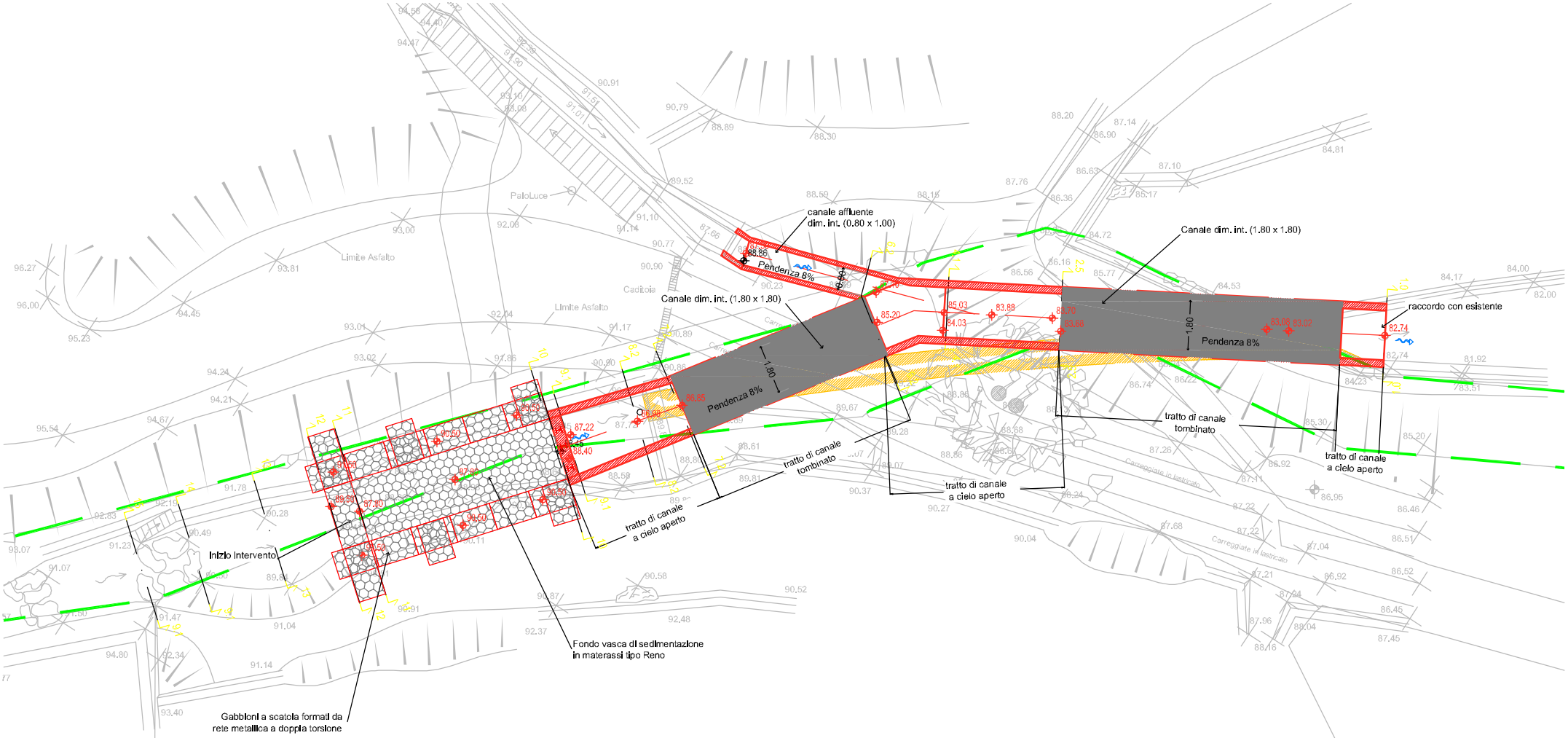
PdB - Ambito 15
Carta del rischio geologico

FIGURA 2
ESTRATTI CARTOGRAFICI
Non in scala



1. Roccia affiorante o subaffiorante con coperture eluviali di spessore compreso tra 1 e 3 m, sovrassegno per zone di roccia particolarmente fratturata fino a disarticolata - **2.** Corpo di frana complessa stabilizzata con genesi legata anche al dilavamento dei versanti - **3.** Corpo di frana per scorrimento o scivolamento inattivo - **4.** Giacitura di strato - **5.** Discontinuità tettonica - **6.** Area d'intervento.

FIGURA 3
CARTA GEOMORFOLOGICA
Estratto PUC geologico - in scala 1:2500



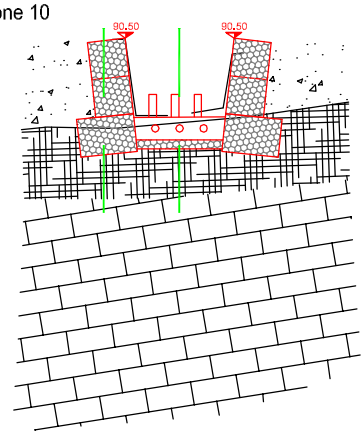
LEGENDA

LIMITI DEMANIALI

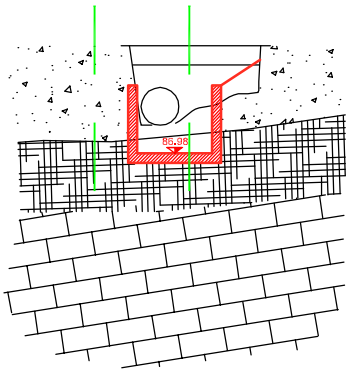
TOMBINATURA ESISTENTE DA DEMOLIRE

FIGURA 4
PLANIMETRIA DELL'AREA
in scala 1:200

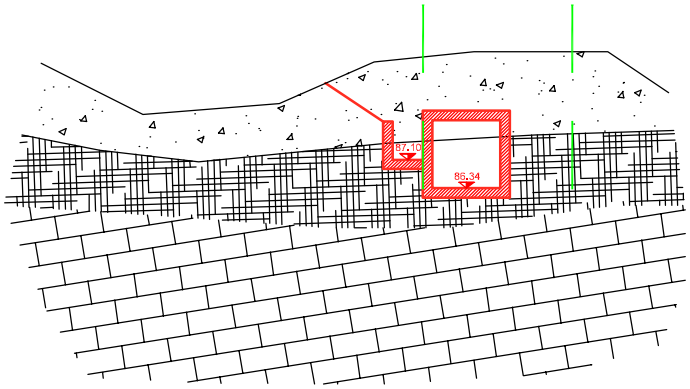
Sezione 10



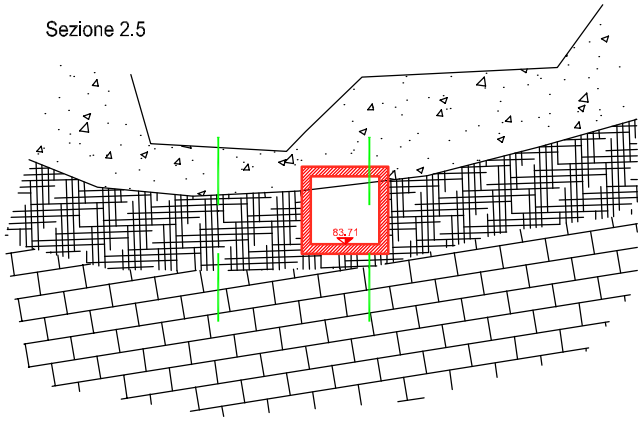
Sezione 8.2



Sezione 6.2

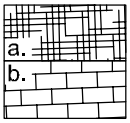


Sezione 2.5





Terreno sciolto rimaneggiato in superficie a prevalente composizione sabbioso - ghiaiosa



Substrato roccioso, di natura calcareo-marnosa - F. di M. Antola: a) molto alterato e fratturato (cappellaccio d'alterazione); b) con struttura tipicamente litoide e grado di fratturazione medio

Opere a progetto

Limite demaniale

FIGURA 5
SEZIONI STRATIGRAFICHE IPOTIZZATE
in scala 1:200

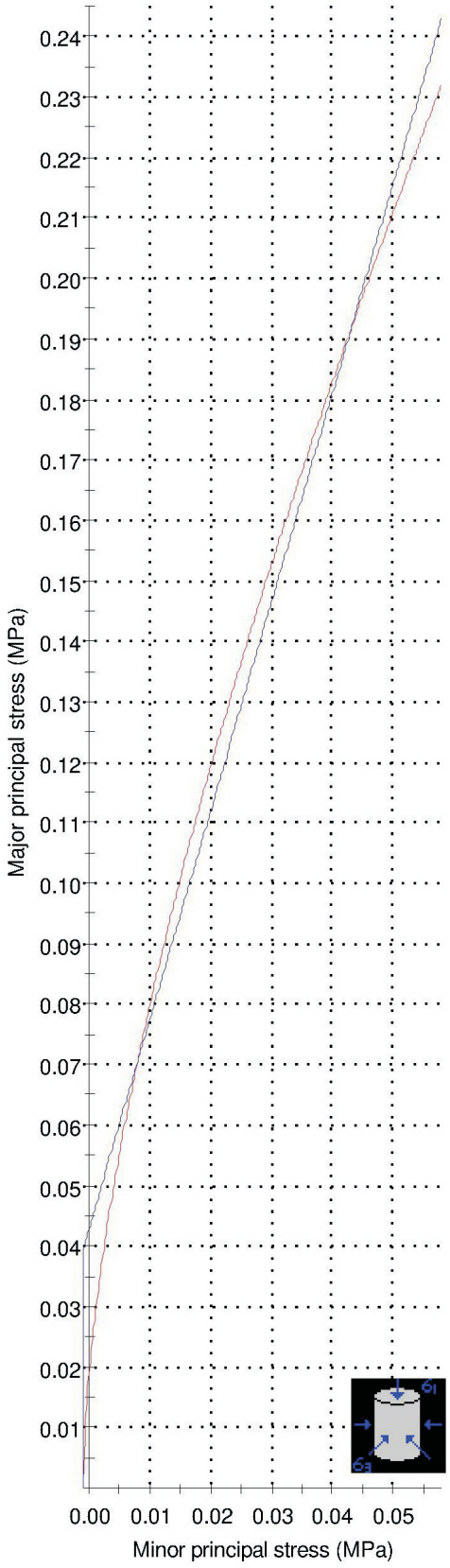
A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI									
PARAMETRI									
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Per tale intervallo è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI (vedi F.)		Superfici molto scabre non continue pareti roccia dura	Superfici scabre apertura <1 mm pareti roccia dura	Superfici scabre apertura < 1 mm	Superfici lisce o laminate riempimento <5mm apertura 1-5 mm giunti continui	Riempimento tenero spessore >5 mm giunti aperti >5 mm giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel [l/m]	assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti/soll. Nat. In sito	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	completamente asciutto	umido	molto umido	stillicidio	severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		
B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI									
6	Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavoreole	Molto sfavorevole		
	INDICE	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12		
		Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25		
		Pendii	0	-5	-25	-50			
C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI									
Indice RMR			100-81	80-61	60-41	40-21	<21		
Classe			I	II	III	IV	V		
Descrizione			Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente		
D.SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO									
Classe			I	II	III	IV	V		
Tempo di autosostegno (L=lunghezza libera dello scavo)			20 anni per L=15m	1 anno per L=10 m	1 settim. Per L=5 m	10 ore per L=2.5 m	30 min per L=1 m		
Coesione dell'ammasso roccioso [kPa]			>400	300-400	200-300	100-200	<100		
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso [°]			>45	35-45	25-35	15-25	<15		
E: LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITA'									
Lunghezza delle discontinuità (persistenza)			<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
Indice			6	4	2	1	0		
Separazione (apertura)			nessuno	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5 mm		
Indice			6	5	4	1	0		
Scabrezza			Molto scabro	Scabro	Leggerm. Scabro	Lisce	Lisce o laminate		
Indice			6	5	3	1	0		
Riempimento			nessuno	duro <5 mm	duro >5 mm	tenero <5 mm	tenero >5 mm		
Indice			6	4	2	2	0		
Alterazione			Non alterato	Leggerm. alterato	Moderatm. alterato	Altam. alterato	Decomposto		
Indice			6	5	3	1	0		
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITA' SULLA STABILITA' DI UNA GALLERIA									
	Perpendicolare all'asse della galleria				Parallelo all'asse della galleria				
	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°		Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°		Inclinazione 45°-90°		Inclinazione 20°-45°		
	Molto favorevole		Favorevole		Molto favorevole		Discreta		
	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°		Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°		Inclinazione 0°-20° a prescindere dallo strike				
	Discreto		Sfavorevole		Discreta				

Sistema di classificazione degli ammassi rocciosi di Bieniawski, versione 1989

TABELLA 1
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA R.M.R.

TABELLA 2
VALORI STIMATI DEL G.S.I. PER ROCCE TIPO FLYSCH

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (sigci) = 10 MPa
GSI = 20 mi = 8 Disturbance factor (D) = 0.7
intact modulus (Ei) = 9000 MPa
modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

mb = 0.099 s = 9.22e-6 a = 0.544

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.012 MPa friction angle = 33.43 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.001 MPa
uniaxial compressive strength = 0.018 MPa
global strength = 0.311 MPa
deformation modulus = 238.74 MPa

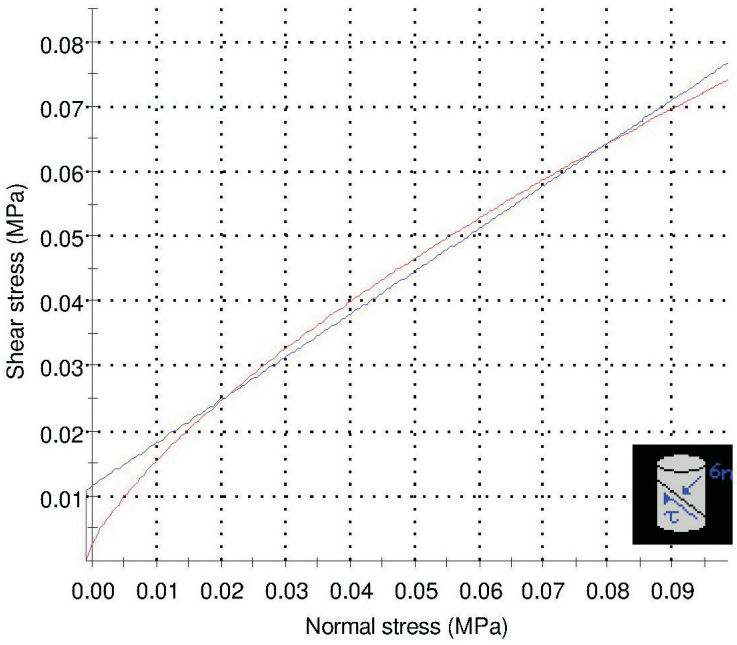


TABELLA 3a
INVILUPPO A ROTTURA A.R.
ORIZZONTE DECOMPRESSO E ALTERATO

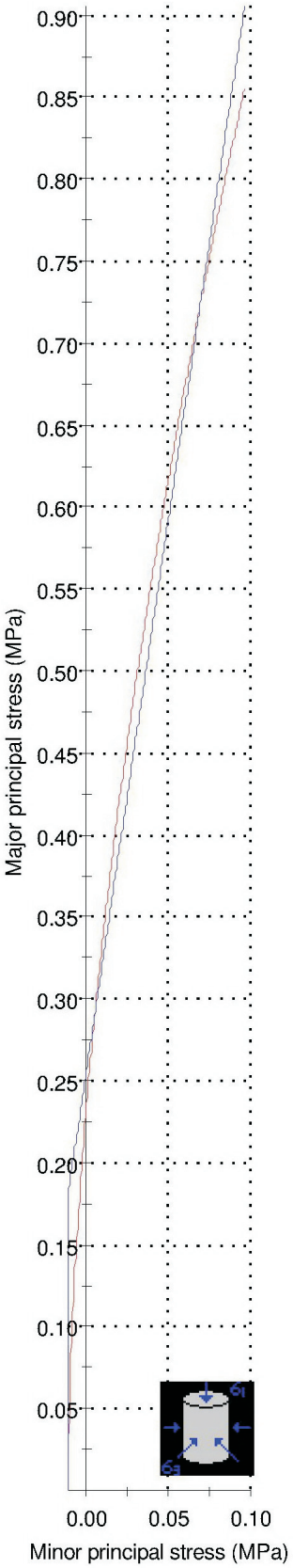
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
intact uniaxial comp. strength (sigci) = 30 MPa
GSI = 35 mi = 8 Disturbance factor (D) = 0.7
intact modulus (Ei) = 27000 MPa
modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion
mb = 0.225 s = 0.0001 a = 0.516

Mohr-Coulomb Fit
cohesion = 0.049 MPa friction angle = 47.88 deg

Rock Mass Parameters
tensile strength = -0.011 MPa
uniaxial compressive strength = 0.232 MPa
global strength = 1.734 MPa
deformation modulus = 1209.57 MPa



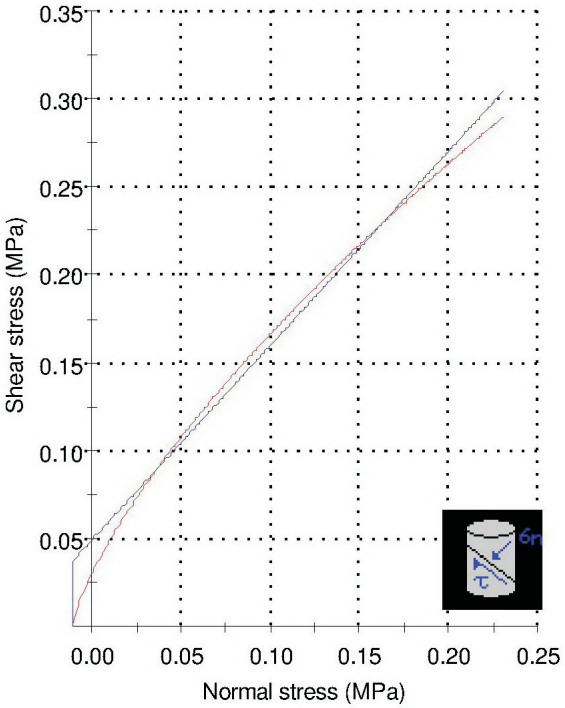


TABELLA 3b
INVILUPPO A ROTTURA A.R.
ORIZZONTE SANO E STRUTTURATO

ALLEGATO 2 – INDAGINI IN SITO

Report indagini geofisiche

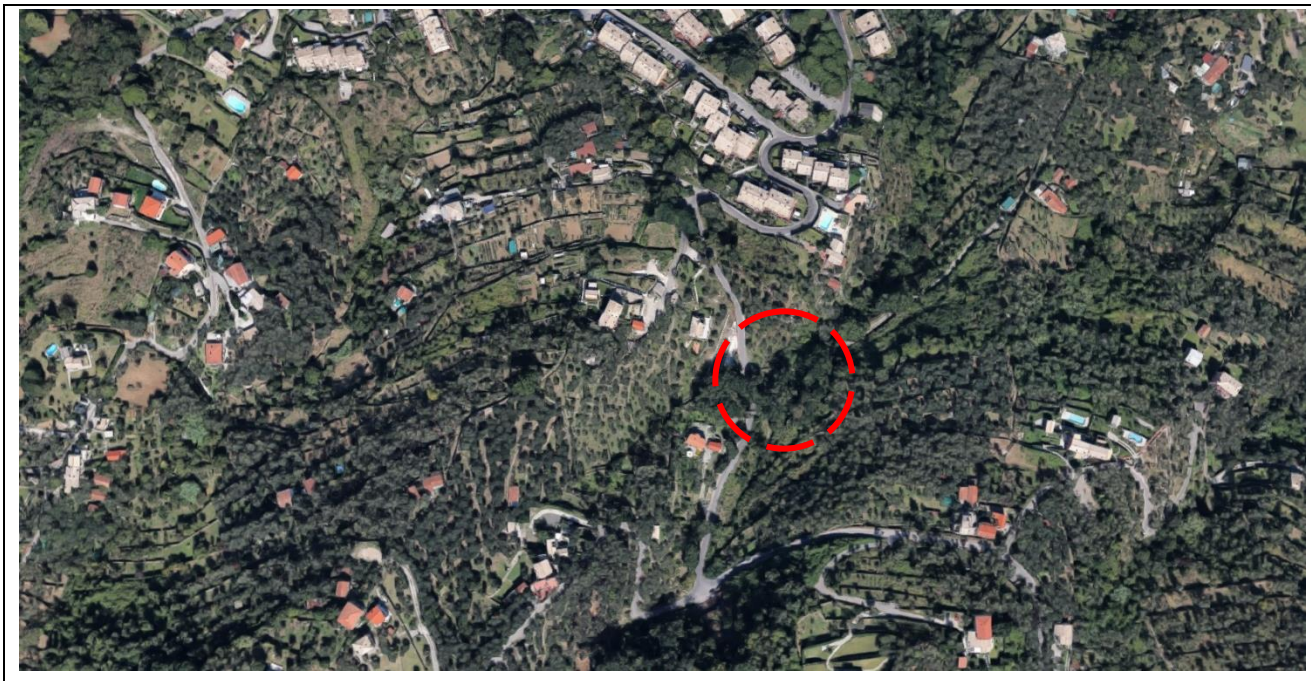
Studio Associato di Geologia tecnica e ambientale
Via Nino Bixio, 22D/4 - 16043 Chiavari (GE)
Telefono: 0185313910 - E_mail: geotecam@libero.it

Geol. Andrea Benedettini
Via Mameli, 138/1 - 16035 Rapallo (GE)
Cell.328.2132896 - E-mail: ab_geo@libero.i

INDAGINE GEOFISICA

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GENOVA)

LOCALITA' COSTA MEZZANA – RIO BAIUCCA



Progetto:

Sistemazione idraulica del Rio Baiucca in località Costa Mezzana nel comune di Santa Margherita L.

Oggetto:

Rapporto indagini eseguite – n.1 prospezione sismica a rifrazione

Revisione: 0
Descrizione: Prima Emissione
Data: **19/05/2021**

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi,
per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto dell'Autore.

1.0. Premessa *pag.1*

2.0. Modalità d'indagine *pag.1*

2.1. Strumentazione utilizzata *pag.1*

2.2. Indagine di sismica a rifrazione – metodologia di acquisizione *pag.2*

3.0. Modello sismostratigrafico *pag.3*

3.1. Trattamento del segnale *pag.4*

3.2. Interpretazione dei dati *pag.5*

4.0. Conclusioni *pag.6*

1.0. Premessa

A corredo del progetto di sistemazione idraulica del Rio Baiucca di cui all'oggetto è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche in località Costa Mezzana nel Comune di Santa Margherita Ligure (Genova).

In particolare, in corrispondenza della tombinatura esistente, lungo la sede carrabile, è stato eseguito n.1 stendimento sismico a rifrazione con l'obiettivo di determinare la risposta dinamica del sottosuolo e individuare le principali unità sismostratigrafiche con le relative proprietà meccanico elastiche.

2.0. Modalità d'indagine

Verificati gli spazi disponibili e le condizioni dell'area, in funzione degli obiettivi richiesti per la ricostruzione del modello geofisico del sito in esame è stata eseguita una prospezione sismica a rifrazione con la tecnica delle onde di compressione V_p come di seguito descritto.

2.1. Strumentazione utilizzata

Il sistema di energizzazione del terreno per il rilievo delle onde P è rappresentato da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su una piastra circolare del diametro di 25 cm posta a diretto contatto con la superficie del terreno; tale sistema di energizzazione consente di generare prevalentemente onde di compressione P e

secondariamente onde trasversali SV, in grado di produrre treni di onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.

Il sistema di ricezione è costituito da n.12 geofoni verticali monocomponente di tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa con frequenza propria di 4.5 Hz, adatti sia per indagini a rifrazione sia per indagini di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves). I geofoni sono dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo registra il passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte dalla sorgente.

Il sistema di acquisizione del segnale è rappresentato da un sismografo multicanale Doremi che incorpora e distribuisce nel cavo sismico tutto l'hardware e la strumentazione necessaria per l'acquisizione dati sia per sismica attiva sia passiva.

Le specifiche tecniche sono descritte in allegato, il sistema di acquisizione consente fino a 155 dB di dinamica (con uso del PGA) a qualsiasi frequenza di campionamento, riduzione massima del disturbo con registrazione dei dati in digitale, zero diafonia (crosstalk), profondità di memoria fino 30 mila campioni, campionamenti da 2 millisecondi fino a 50 microsecondi (da 500Hz a 20000Hz), connessione fino a 255 canali per singolo cavo.

La strumentazione in uso consente inoltre l'esecuzione di indagini di superficie tipo MASW, REMI, rifrazione, riflessione e prove in foro.

In ultimo il sistema di trigger (geofono starter) che consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa energizzante colpisce la base di battuta, scaricando la carica elettrica accumulata precedentemente da un condensatore e aprendo quindi la finestra di acquisizione dati, in questo modo è possibile individuare con precisione l'istante esatto in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

2.2. Metodologia di acquisizione

In dettaglio è stato svolto n.1 stendimento della lunghezza complessiva di 42 m, ubicato in corrispondenza della tombinatura esistente, lungo la sede stradale, come specificato nella seguente tabella:

Profilo	Tipo	Lg [m]	Lt [m]	Geof.	Int.g [m]	Shot
SS1	Rifrazione	22	42	12	2	7

dove $\boldsymbol{L_g}$ lunghezza della stesa coperta dai geofoni - $\boldsymbol{L_t}$ lunghezza complessiva della stesa compresi gli shot esterni - ***Geof.*** numero di canali (geofoni) utilizzati - $\boldsymbol{Int_g}$ spaziatura tra i geofoni - ***Shot*** numero delle energizzazioni effettuate.

La prospezione sismica è stata svolta con n.12 geofoni ed interdistanza di 2.0 m; il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una mazza battente di 10 Kg su piastra metallica, posizionata in punti precisi rispetto alla geometria dei ricevitori:

- n.2 scoppi simmetrici (off-shots) esterni allo stendimento ad una distanza di 10 m;
- n.2 scoppi simmetrici (end-shots) esterni allo stendimento ad una distanza di 2 m;
- n.3 scoppi (mid-shot) interni alla stesa alle progressive 15.0, 21.0 e 27.0 m.

Al fine di ridurre l'influenza del rumore antropico e ambientale, ovvero allo scopo di aumentare il rapporto segnale-disturbo, sono state effettuate 2 energizzazioni per ciascuna base (shot point) ed i segnali corrispondenti sono stati sommati (tecnica di stacking), ottenendo così un'unica storia temporale per ciascun ricevitore.

La geometria della stesa ed i parametri di acquisizione sono stati scelti tenendo conto dei seguenti fattori:

- buon dettaglio nella definizione degli orizzonti superficiali;
- adeguata lunghezza per indagare a sufficiente profondità;
- spazio realmente a disposizione.

L'ubicazione del profilo sismico è riportata in forma schematica in allegato; la traccia della stesa è rappresentativa della lunghezza complessiva dello stendimento sismico (L_t) orientata secondo le progressive metriche crescenti, sono inoltre indicati gli shot eseguiti e la distanza coperta con i geofoni di acquisizione (L_g).

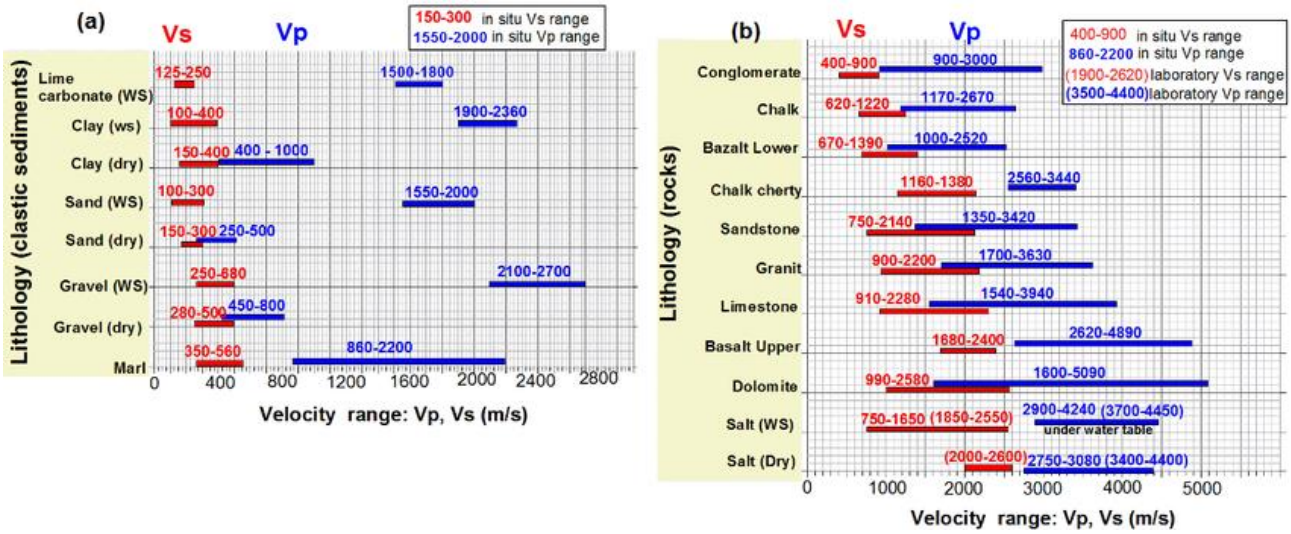
3.0. Modello sismostratigrafico

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo, giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (head wave).

Le onde analizzate sono quelle birifratte, cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico secondo la Legge di Snell e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallellamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo d'incidenza.

In un materiale poroso o fratturato la velocità delle onde P dipende sia dalla velocità nella matrice solida sia dalla velocità nel fluido. Il fronte d'onda avanza quindi ad una velocità media tra quella della matrice e quella del fluido, pesata dalla frazione porosa.

Nella seguente tabella sono riportate le velocità delle onde P e onde S di alcuni materiali e rocce più comuni. La velocità delle onde sismiche dipende da vari fattori: dalla composizione mineralogica, dalla tessitura, dalla porosità, dal fluido che pervade i pori, dallo stato di alterazione e fratturazione del materiale, oltre ad altri fattori minori.



I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche; il modello interpretativo del mezzo investigato e di tipo elastico, omogeneo, continuo ed isotropo, mentre la profondità d'indagine (Z_{max}) varia in funzione della rigidezza del suolo, della lunghezza della stesa e dell'energizzatore impiegato. Una stima approssimativa può essere ottenuta come:

$$Z_{max} = L_g/m$$

dove $\boldsymbol{L_g}$ indica la lunghezza della linea dei geofoni - $\boldsymbol{m}$ è una variabile compresa tra 2 e 4.

3.1. Trattamento del segnale

L'elaborazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante software dedicato (SeisImager 2D) che consente la rappresentazione dei tempi di arrivo relativi ad ogni shot (dromocrone) e l'individuazione delle variazioni verticali di velocità dei diversi sismostrati.

L'interpretazione dei segnali sismici acquisiti e la conseguente stima del profilo sismostratigrafico di velocità delle onde P è stata articolata nelle seguenti fasi:

- applicazione in fase di acquisizione di filtri high pass, band pass e band reject utili per depurare il segnale sismico da frequenza spurie contaminanti (eventuali rumori di fondo) e filtri di guadagno automatico per amplificare o deamplificare in modo corretto ogni singolo canale di riferimento geofonico;

- individuazione dei primi arrivi attraverso procedure di picking automatico e osservazione diretta dei sismogrammi con confronto tra le diverse tracce acquisite;
- ricostruzione delle dromocrone delle onde P e scelta del modello stratigrafico di riferimento (due, tre o più strati);
- linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta;
- ricostruzione del modello sismostratigrafico con calcolo degli spessori e delle profondità dei singoli orizzonti omogenei, continui ed isotropi.

È importante sottolineare che il passaggio da un'unità sismica all'altra ha un significato strettamente sismico, essendo il passaggio stesso una superficie di rifrazione separante verticalmente zone caratterizzate da diverse velocità di propagazione dell'impulso sismico.

3.2. Interpretazione dei dati

Le tracce sono risultate di buona qualità, con tempi di arrivo delle onde sismiche in prevalenza ben leggibili.

In alcuni casi tuttavia il segnale sismico è stato di difficile riconoscimento a causa della presenza sui sismogrammi di un picco di primo arrivo poco energetico.

Grazie alla sovrabbondanza di dati e basandosi sulle regole fisiche che intercorrono fra le dromocrone dei vari shot, è stato comunque possibile riconoscere ed eliminare eventuali dati anomali, ottenendo alla fine un insieme coerente di tempi letti.

Le dromocrone mostrano in generale un andamento irregolare, che indica la presenza di variazioni laterali delle caratteristiche (velocità e/o profondità) degli strati sismici. In tali situazioni, l'individuazione dei punti di cambio strato sulle dromocrone risulta non immediata e deve basarsi prevalentemente sul confronto fra le dromocrone relative ai vari shot.

Da un'attenta analisi delle dromocrone è possibile riconoscere una situazione a tre strati, con due cambi di pendenza principali sulle dromocrone stesse:

Stesa SS1

- in superficie è presente un primo orizzonte di spessore tra 1.0 e 1.8 m, con velocità delle onde sismiche oscillanti tra 500 m/s e 600 m/s, ascrivibile a terreno sciolto, riporti e detrito in condizioni di naturale umidità;
- il livello sottostante, fino a profondità intorno a 3.5-4.0 m, è distinto da velocità delle onde sismiche crescenti tra 1000 m/s e 1100 m/s, tale orizzonte costituisce il livello

di transizione tra i terreni sciolti e il basamento rigido sottostante e può essere ricondotto a una breccia eterometrica con placche disarticolate, trovanti e scaglie;
- il livello successivo è caratterizzato da velocità più elevate delle onde sismiche, comprese tra 2000 m/s e 2100 m/s, fino a profondità superiori a quelle d'indagine; l'orizzonte è assimilabile al substrato roccioso, mediamente fratturato e in buone condizioni di conservazione.

Le indagini sismiche hanno permesso inoltre di acquisire alcune informazioni utili per definire il contenuto d'acqua nel terreno; le basse velocità sismiche registrate nei livelli più superficiali, inferiori alla velocità delle stesse in un mezzo saturo, consentono di valutare i terreni asciutti in condizioni di naturale umidità.

I dati identificativi ed i parametri di acquisizione, oltre ai risultati in forma grafica delle prospezioni geofisiche eseguite, sono raccolti in allegato.

4.0. Conclusioni

Il report presenta i risultati delle indagini condotte per la determinazione della sismo-stratigrafia a corredo delle indagini geologiche per il progetto di sistemazione idraulica del Rio Baiucca in località Costa Mezzana nel comune di Santa Margherita Ligure.

A tal scopo, è stato eseguito n.1 profilo sismico investigativo impiegando la tecnica della sismica a rifrazione.

A seguito dei risultati ottenuti è possibile definire per l'area d'indagine un modello geofisico interpretativo costituito da n.3 unità sismo-stratigrafiche principali che dall'alto verso il basso possono essere cosi sinteticamente schematizzate:

- Unità 1 – terreni sciolti e riporto con velocità delle onde sismiche oscillanti tra 500 m/s e 600 m/s fino a profondità intorno a 1.8 m da p.c.;
- Unità 2 – breccia eterometrica con placche disarticolate, trovanti e scaglie con velocità delle onde sismiche oscillanti tra 1000 m/s e 1100 m/s fino a profondità intorno a 4.0 m da p.c.;
- Unità 3 - basamento rigido con velocità delle onde sismiche oscillanti tra 2000 m/s e 2100 m/s fino a profondità superiori a quelle d'indagine.

Rapallo, 19 maggio 2021
Geol. Andrea Benedettini



Elenco allegati

Figura 1: inquadramento cartografico

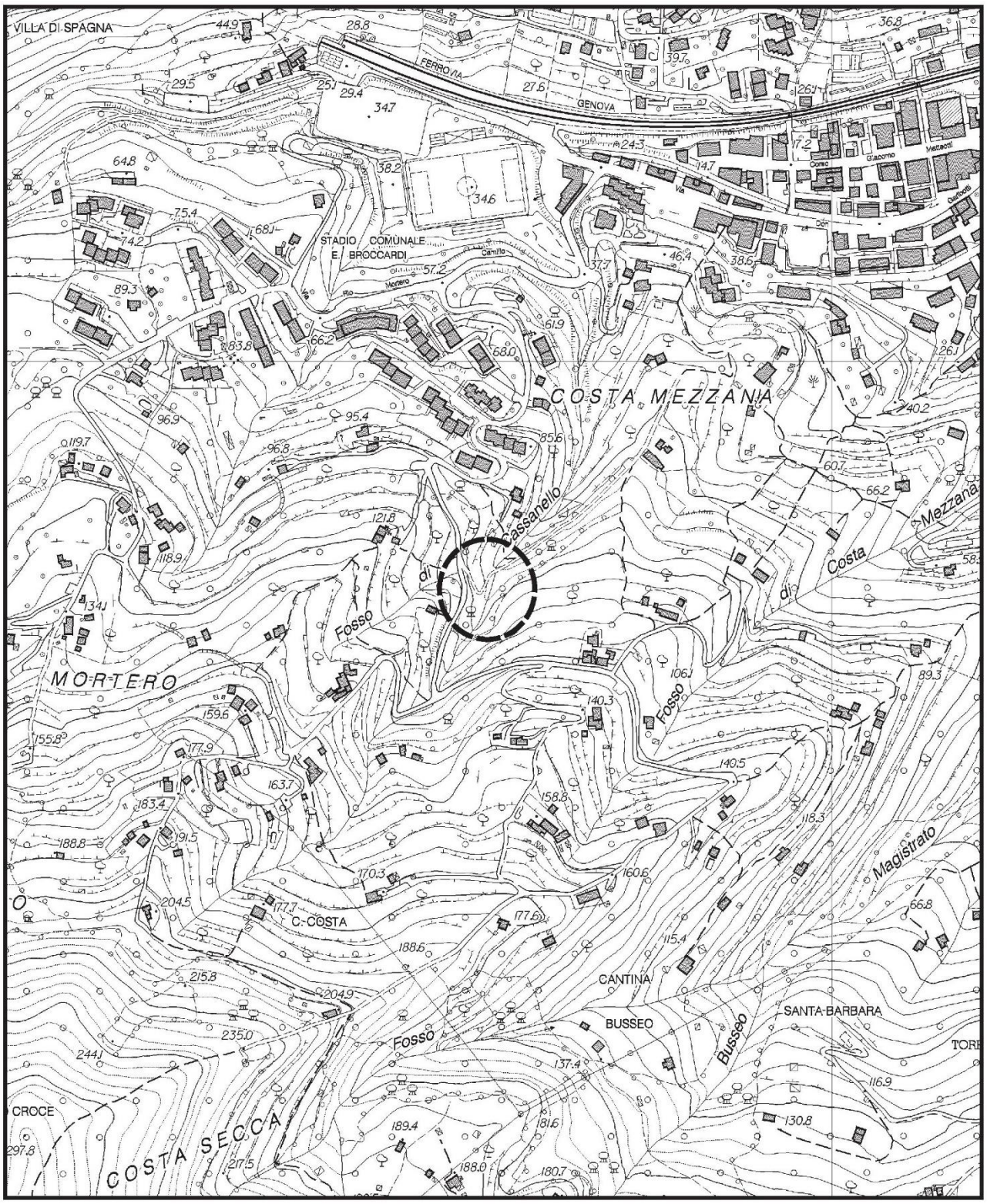
Figura 2: carta delle prospezioni

Figura 3: caratteristiche strumentazione

Figura 4: dati generali stesa SS1

Figura 5: dromocrone e sezione sismostratigrafica SS1

Figura 6: documentazione fotografica

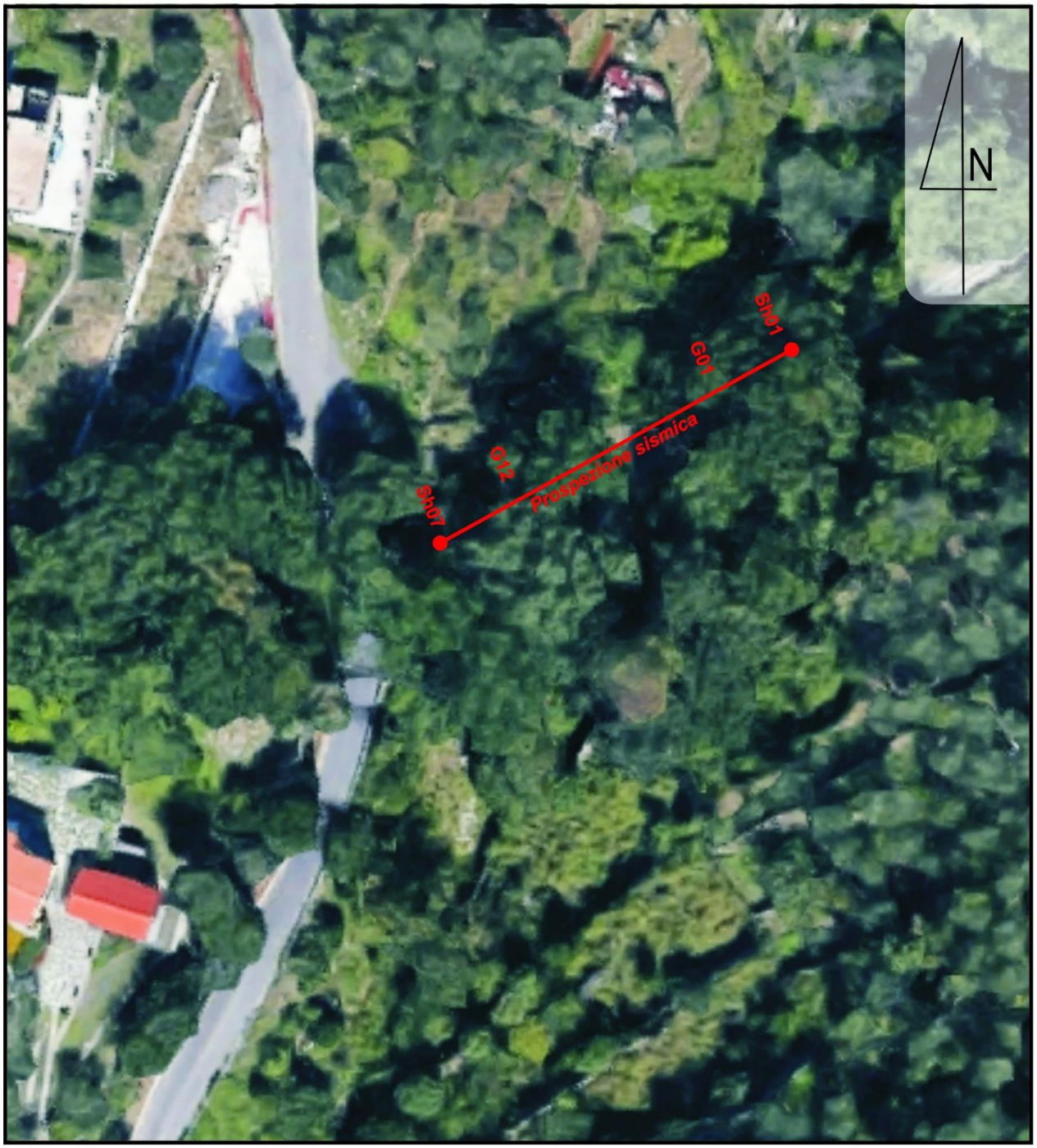


1 | Inquadramento cartografico

n. | figura

5000

scala



2	Carta delle prospezioni
n.	figura
500	
scala	

Sismografo DoReMi
Caratteristiche tecniche

Architettura
Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica
Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipoint
Lunghezza massima della rete: 1200 metri senza ripetitori (virtualmente illimitata con ripetitori)
Numero massimo di canali per tratta: 255
Dimensioni dell'elemento (esculso il cavo): 80x55x18 mm
Peso: 250 g (un elemento con lunghezza cavo 5 metri)
Cavo: 4 conduttori, 2 coppie ritorte, robotico resistente a torsioni,
flesso-torsioni, abrasioni ed agenti chimici

Campionamento
Memoria: 64 kByte (>30000 campioni)
Frequenze in *Hz*: 200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000, 8000,10000,20000
pari ad intervalli in *ms* di: 5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05
Esempi di utilizzo della memoria: ReMi: 500Hz, t-max 60 secondi
MASW: 4000Hz, t-max 7.5 secondi
Riflessione: 20000Hz, t-max 1.5 secondi

Dinamica del sistema
Risoluzione con guadagno 10x: 7.600 µV
Risoluzione con guadagno 1000x: 0.076 µV
Dinamica di base: 96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore: 80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz: >90dB
Full range a 10x: 0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS: 0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica: 155dB
Dinamica totale senza postprocessing: > 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing: >140dB

Convertitore A/D
Tipologia: SAR - Risoluzione: 16 bit - Dinamica: 96 dB

Preamplificatore
Tipologia: ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri: 3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni: da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune: >80dB
Diafonia (crosstalk): non applicabile (elementi singoli a trasmissione digitale)
Impedenza d'ingresso: >100kΩ•

3	Caratt. della strumentazione
n.	figura
//	
scala	

SISMICA A RIFRAZIONE: STESA SS01

DATI GENERALI DELLA STESA

Data:	19/05/2021
Località:	Costa Mezzana
Comune:	Santa Margherita L. GE
Lunghezza della stesa:	22,0
Lunghezza complessiva:	42,0
Numero geofoni:	12
Distanza intergeofonica:	2,0
Numero energizzazioni:	7

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

Strumentazione:	DOREMI
Passo di campionamento:	0.1 ms
Durata di una traccia:	100 ms
Delay time:	0 ms
Sorgente:	mazza 10 kg

ELEMENTI DELLA STESA

SHOT= posizione in m

nome	y	x
shot 01	0,0	0,0
shot 02	0,0	8,0
shot 03	0,0	15,0
shot 04	0,0	21,0
shot 05	0,0	27,0
shot 06	0,0	34,0
shot 07	0,0	42,0

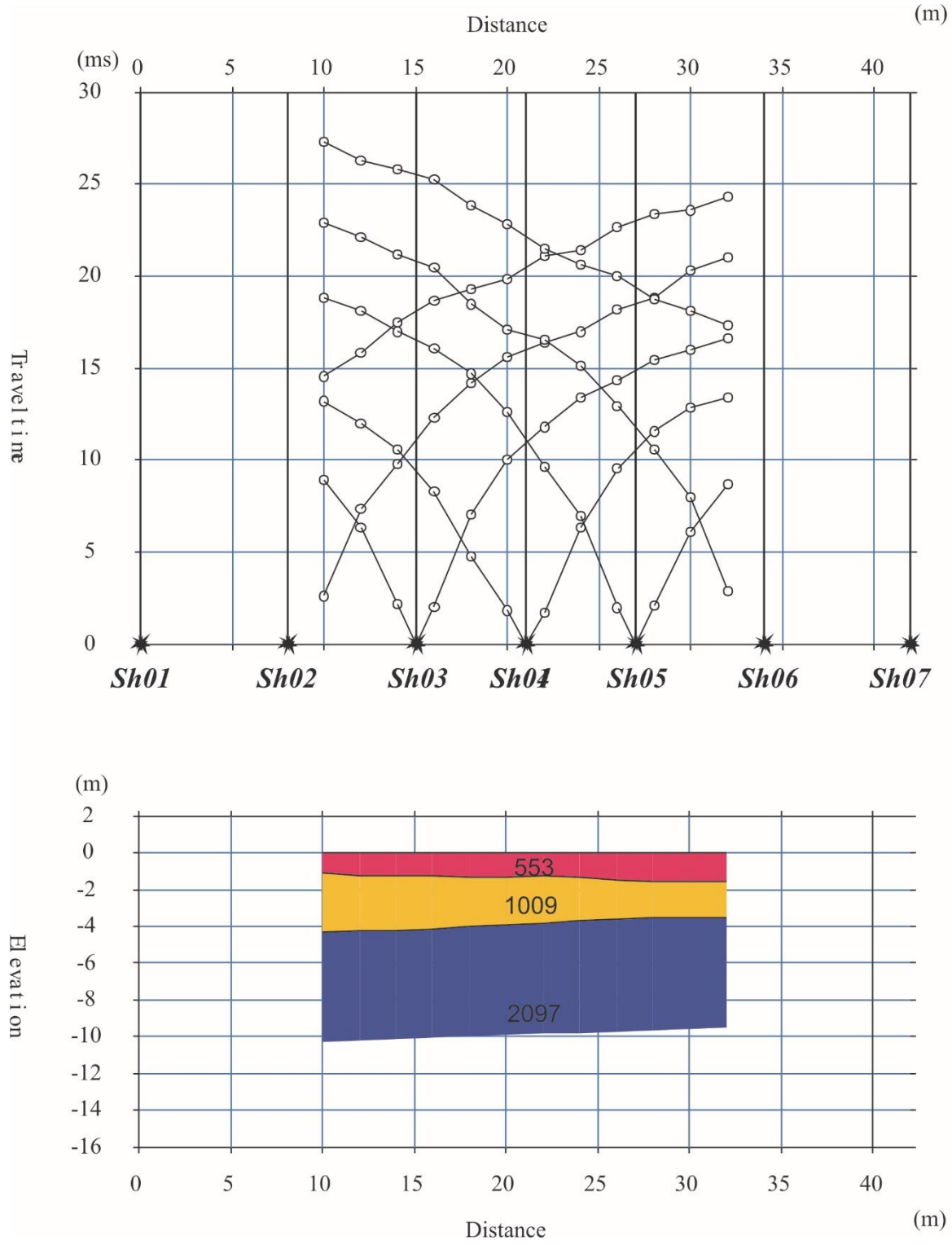
GEOFONI=posizione in m - tempi di arrivo in ms

nome	y	x	shot 01	shot 02	shot 03	shot 04	shot 05	shot 06	shot 07
G1	0,0	10,0	14,6	2,6	8,9	13,2	18,8	22,9	27,3
G2	0,0	12,0	15,8	7,3	6,3	12,0	18,1	22,1	26,3
G3	0,0	14,0	17,5	9,8	2,2	10,6	17,0	21,2	25,8
G4	0,0	16,0	18,7	12,3	2,0	8,3	16,1	20,5	25,3
G5	0,0	18,0	19,3	14,2	7,0	4,8	14,7	18,5	23,8
G6	0,0	20,0	19,8	15,6	10,0	1,8	12,6	17,1	22,8
G7	0,0	22,0	21,1	16,4	11,8	1,7	9,6	16,5	21,5
G8	0,0	24,0	21,4	17,0	13,4	6,4	7,0	15,1	20,6
G9	0,0	26,0	22,7	18,2	14,3	9,6	2,0	12,9	20,0
G10	0,0	28,0	23,4	18,8	15,4	11,6	2,1	10,6	18,8
G11	0,0	30,0	23,6	20,3	16,0	12,8	6,1	8,0	18,1
G12	0,0	32,0	24,3	21,0	16,6	13,4	8,7	2,9	17,3

4 — n.

Dati generali della stesa SS1 — figura

// — scala



5	Dromocrone e sez. sism. SS1
n.	figura
//	
scala	



Foto 01 - Prospezione sismica SS1



Foto 02 - Prospezione sismica SS1

6	Doc. fotografica
n.	figura
//	
scala	