STUDIO
ANDREA GHILINO
GEOLOGO

COMUNE DI MOCONESI

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

OGGETTO

VARIANTE PER SISTEMAZIONE DEFINITIVA STRUTTURA DI DEPOSITO DENOMINATA "VALLE DI CORNIA"
UBICAZIONE: FRAZIONE CORNIA – LOC. PROVINO

COMMITTENTE

Spett.le CONSORZIO DISCARICA PROVINO

RELAZIONE GEOLOGICA

In ottemperanza al D.M. 17 gennaio 2018

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
A.P. n. 555
ANDREA GHILINO
GEOLOGO
data iscr. 25-01-2007

Cicagna, 26 novembre 2025

dott. geol. Andrea Ghilino

Via Contrada, 15/C - Cicagna (GE)
Telefono 0185.92252 - Cellulare 347.1062253 - andrea.ghilino@yahoo.it

INDICE DEI CAPITOLI

1. *INTRODUZIONE*

2. *RIFERIMENTI NORMATIVI*

3. *MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DTM)*

   3.1 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO OMBRIZZATO (DTM SHADE)
   3.2 CARTA DELL'ACCLIVITÀ
   3.3 ANALISI IDROLOGICA

4. *MODELLO GEOLOGICO*

   4.1 GEOLOGIA
   4.2 GEOMORFOLOGIA
   4.3 IDROGEOLOGIA

5. *MODELLO GEOTECNICO*

   5.1 INDAGINE GEOFISICA
   5.2 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

6. *SISMICITA' DELL'AREA*

7. *VERIFICHE DI STABILITA'*

8. *GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO*

9. *CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE*

TAVOLE GRAFICHE ALLEGATE

TAV. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000
TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA SCALA 1:2.500
TAV. 3: PLANIMETRIA TECNICA SCALA 1:200
TAV. 4: SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 1-1 SCALA 1:200
TAV. 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1. INTRODUZIONE

L'indagine geologica commissionata dal *Consorzio Discarica Provino* è stata intrapresa a corredo del progetto di variante per sistemazione definitiva della struttura di deposito denominata "*Valle di Cornia*", sita in frazione *Cornia*, località *Provino*, nel *Comune di Moconesi (Ge).*

La presente relazione, a carattere esecutivo, esamina gli aspetti geologici (s.l.) connessi con l'intervento, finalizzato alla definitiva sistemazione ambientale della porzione di area occupata attualmente dal materiale di risulta, senza quindi procedere con il completamento del progetto autorizzato che prevedeva la creazione di una struttura di deposito sviluppata su una superficie e volumetria sensibilmente superiori.

Saranno quindi discusse le caratterizzazioni geotecniche/geomeccaniche dei materiali coinvolti, le eventuali problematiche inerenti ai sistemi fondazionali, le verifiche di stabilità della struttura di deposito nonché le modalità e prescrizioni da osservare in corso d'opera.

Al fine di definire le caratteristiche altimetriche, geomorfologiche, morfologiche, ed idrologiche dell'area di studio, è stata condotta una analisi di dettaglio in ambiente *GIS* (*Geographic Information System*), attraverso l'utilizzo dei software *open source SAGA* e *QGIS*, a partire dai dati *LiDAR* ufficiali forniti dal *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Geoportale Nazionale*, aventi accuratezza di rilievo di 1 metro. Il procedimento automatico attraverso i software *GIS* porta alla realizzazione del cosiddetto *Modello Digitalizzato del Terreno*, noto generalmente con l'abbreviazione *DTM* (*Digital Terrain Model*).

Con tali procedimenti si possono così realizzare basi cartografiche di grande dettaglio, utili per definire con maggior accuratezza l'assetto della zona, per evidenziare forme della sua superficie invisibili ad altri metodi di telerilevamento, e dunque per una corretta pianificazione territoriale.

Per acquisire maggiori indicazioni circa le caratteristiche stratigrafiche del terreno interferente con i lavori a progetto con lo scopo di affinare la profondità del substrato roccioso, sono state realizzate dal sottoscritto n°3 indagini geofisiche.

Obiettivo dello studio intrapreso è la realizzazione di un *modello geologico (s.l.) di riferimento* del sito su cui si intende intervenire, orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, geotecnici e di pericolosità geologica e sismica del territorio. Il presente lavoro ha la finalità di fornire un parere di fattibilità geologica dell'intervento nonché elementi geologico-applicativi per la sua ottimizzazione tipologica e la completa adattabilità alle caratteristiche geomorfologiche e geotecniche del sito.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'area in oggetto è individuabile nella *Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000*, elemento *n°214151 – Moconesi* (cfr. Tavola 1), il cui stralcio è riportato ed utilizzato per la redazione della carta geologico-geomorfologica (cfr. Tavola 2).

Acquisite dal Progettista *geom. Ugo Musante* copie degli elaborati di rilievo topografico e di ipotesi progettuale onde comprendere la scala e la tipologia della proposta edilizia, è stata verificata la compatibilità degli interventi in oggetto con la *Normativa del Piano di Bacino per la Tutela dal Rischio Idrogeologico (D.L. 180/'1998),* relativo al *Torrente Lavagna.*

La consultazione delle cartografie allegate al suddetto *Piano* ha fatto emergere i seguenti aspetti salienti:

- *il sito ricade in area classificata a classe speciale Tipo A: cave attive, miniere e discariche in esercizio (cfr. Carta della Suscettibilità al Dissesto);*
- *la Carta della Franosità Reale non segnala entro l'area in esame dinamicità quiescenti e/o attive;*
- *l'area in esame ricade in zona sottoposta a Vincolo Idrogeologico, ai sensi del R.D. 3267/23 e della successiva L.R. 4/99.*

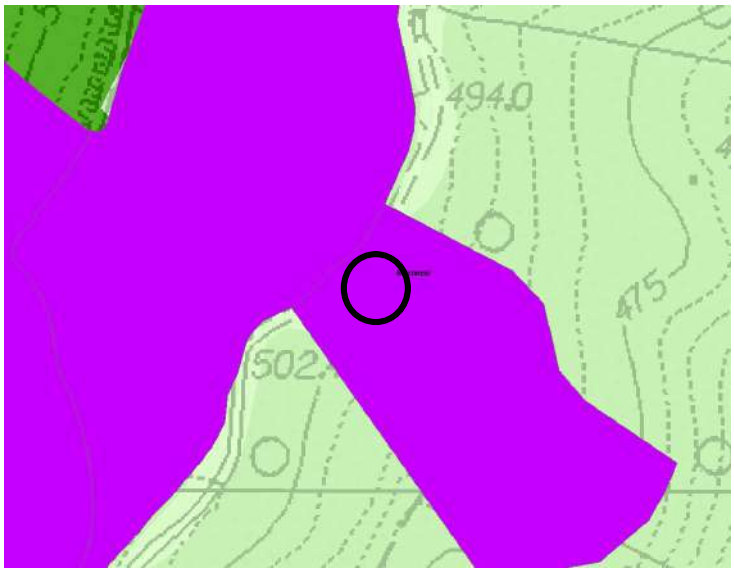
Rimandando il parere di fattibilità geologica nel capitolo conclusivo, si afferma che l'intervento a progetto è compatibili *sotto il profilo geologico, geomorfologico ed idrogeologico con quanto dettato dal Piano di Bacino del Torrente Lavagna.*

L'area in esame ricade in zona sottoposta a *Vincolo Idrogeologico*, ai sensi del *R.D. 3267/23* e della *L.R. 4/99*; poiché l'intervento a progetto comporterà movimenti di terra, la presente è anche finalizzata ad esaminare la situazione attuale dei fattori del vincolo e ad analizzare l'influenza determinata su questi dall'intervento per individuare e anche migliorare i fattori stessi; come verrà specificato nel proseguo della narrativa, l'entità dell'intervento e la sua tipologia lo rendono compatibile con le norme che regolano il *Vincolo Idrogeologico*.

ooOoo

Ai sensi del *Piano di Bacino Stralcio "Assetto Idrogeologico del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale"* per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica (*PAI dissesti*), adottato con *Delibera n. 39 del 28 marzo 2024* in via definitiva e con *Delibera n. 40 del 28 marzo 2024* e pubblicazione dell'avviso di adozione nella *Gazzetta Ufficiale n. 82 del 8 aprile 2024,* si evince quanto segue:

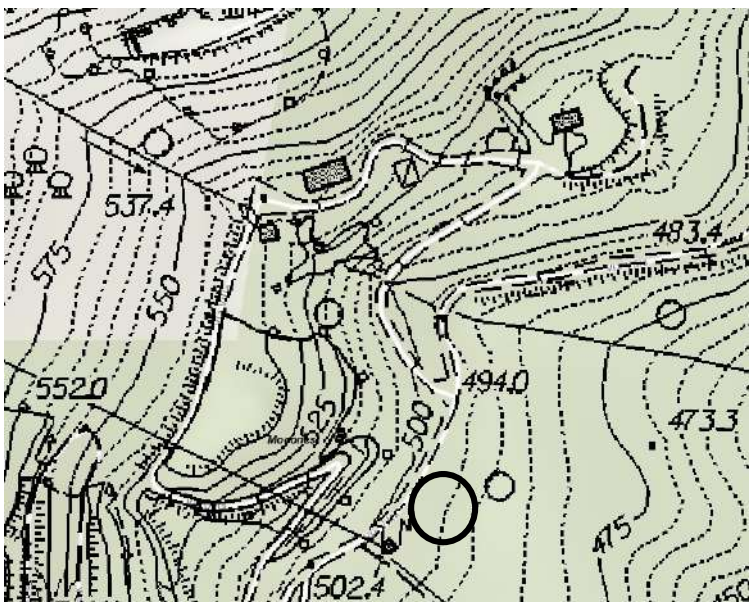
- *il sito in oggetto ricade in Area speciale – tipo A: aree regolate secondo specifica normativa regionale, interessate da attività antropiche quali cave e miniere attive, discariche in esercizio, cave e miniere inattive, discariche dismesse e depositi antropici (cfr. Carta della Pericolosità, Subsidenza – stralcio sottostante)*





Ai sensi del *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA),* strumento operativo dell'*Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale* per la mappatura delle aree a pericolosità e a rischio di alluvione e per individuare le misure da attuare per ridurre le conseguenze negative delle alluvioni nei confronti della salute umana, della salvaguardia del territorio, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali, pubblicato sulla *Gazzetta Ufficiale n. 31 del 7.02.2023*, si evince quanto segue:

- *il sito in oggetto non ricade in area classificata a Pericolosità di Dominio Fluviale e Costiero (cfr. Mappa della Pericolosità da alluvione fluviale e costiera – stralcio sottostante).*

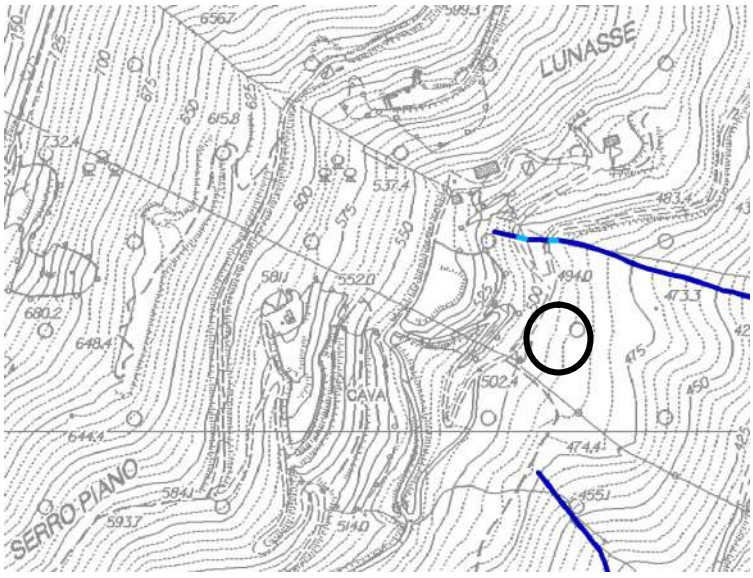


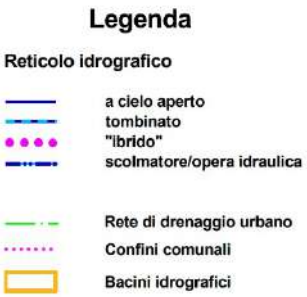


Rimandando il parere di fattibilità geologica nel capitolo conclusivo, si afferma che l'intervento a progetto risulta compatibile *sotto il profilo geologico, geomorfologico, idrogeologico con quanto dettato dalla Disciplina allegata al Piano di Bacino Stralcio "Assetto Idrogeologico del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale" e al "Piano Gestione Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale".*

ooOoo

La *Giunta Regionale* della *Liguria*, con *Deliberazione n. 1280 del 14 dicembre 2023*, ha approvato la nuova cartografia aggiornata del reticolo idrografico regionale ai sensi dell'*art. 91, c. 1bis, della l.r. 18/1999.* Tale cartografia costituisce il nuovo riferimento cartografico univoco a livello regionale, comportando il superamento della cartografia precedentemente adottata. Si riporta in seguito lo stralcio della *Carta del Reticolo Idrografico Regionale* redatta ai sensi della *D.G.R. n. 1280 del 14/12/2023.*





La *Carta del Reticolo Idrografico Regionale* segnala la presenza di un rivo di primo ordine a Nord rispetto al sito in esame, affluente di destra del principale *Torrente Cornia*; tale corso d'acqua poiché presenta un bacino idrografico pari a circa 0.095kmq, ricade nel reticolo idrografico minuto, in base al *Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n°3* (Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua) coordinato con il *Regolamento Regionale 16 marzo 2016, n°1*, il quale stabilisce che per tali corsi d'acqua (aventi bacino inferiore a 0.1kmq) è stabilita una fascia di inedificabilità assoluta pari a 3m. Il sito in oggetto è situato ad una distanza ben superiore a 3m. L'intervento a progetto è dunque compatibile dal punto di vista idraulico, ai sensi *del Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n°3 (Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua), coordinato con il Regolamento Regionale 16 marzo 2016, n°1 (Modifiche al regolamento regionale 14 luglio 2011, n°3).*

3. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DTM)

La cartografia numerica è spesso utilizzata come base informativa dalla quale estrarre dati utili alla produzione di modelli digitali del terreno (*DTM*). L'operazione è agevolata dalla natura stessa dei dati cartografici numerici: si tratta per lo più di dati di tipo vettoriale, nei quali ogni oggetto cartografico è rappresentato da una sequenza di punti georiferiti tridimensionalmente, organizzati topologicamente e classificati per categorie.

La creazione di una base per un *DTM* avviene estraendo dal file cartografico tutti gli elementi che descrivono l'altimetria, quali i punti singoli quotati e i vertici delle poligonali delle curve di livello, e interpolandoli con opportuno algoritmo (*TIN* o altro).

Lo sviluppo della tecnologia *LiDAR* offre la possibilità di ottenere informazioni sulla morfologia del terreno anche nel caso vi sia la presenza di fitta copertura arborea. Da questo tipo di rilievo, il *DTM* è derivabile attraverso tecniche di filtraggio numerico e classificazione dei dati grezzi (coordinate di punti) che costituiscono il cosiddetto *DSM* (*Modello Digitale della Superficie*) di partenza. L'estrazione del *DTM* dal *DSM Lidar* è stata effettuata con il software *SAGA*.

Il *DTM* così ottenuto ha consentito una riproduzione ad elevata risoluzione della morfologia del terreno in grado di evidenziare forme della sua superficie invisibili ad altri metodi di telerilevamento. Sulla base delle informazioni geoscientifiche ottenute, integrate dal rilevamento geologico di superficie e dalle indagini in situ, è stata ricavata ed affinata l'allegata carta geologico-geomorfologica (cfr. Tavola 2).

3.1 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO OMBRIZZATO (DTM SHADE)

Il *Modello Digitale del Terreno Ombrizzato* è stato realizzato a partire dal *DTM* in formato raster. Applicando una funzione cosiddetta di "*shading*" si determina il valore di illuminazione ipotetica di ciascuna cella del *DTM* rispetto alle celle vicine. Si calcolano dunque nuovi valori per ogni cella impostando una fonte luminosa ad un'altezza e ad un angolo opportuno rispetto alla superficie di partenza. Questo nuovo modello "*shade*" è molto utile perché enfatizza la morfologia del modello del terreno ed in questo modo ne agevola l'interpretazione visiva. I modelli raster consentono dunque efficaci visualizzazioni del territorio.

Si riporta in seguito uno stralcio del *Modello Digitale del Terreno Ombrizzato* ottenuto (cfr. Figura 1), sul quale è stato inserito il reticolo idrografico in formato shape (*.shp*) fornito dal *Geoportale Cartografico della Regione Liguria;* dal modello, successivamente elaborato con l'algoritmo della pendenza, sono state inoltre estratte le curve di livello con intervallo di 5m, attraverso il software *QGIS* (cfr. Figura 2).

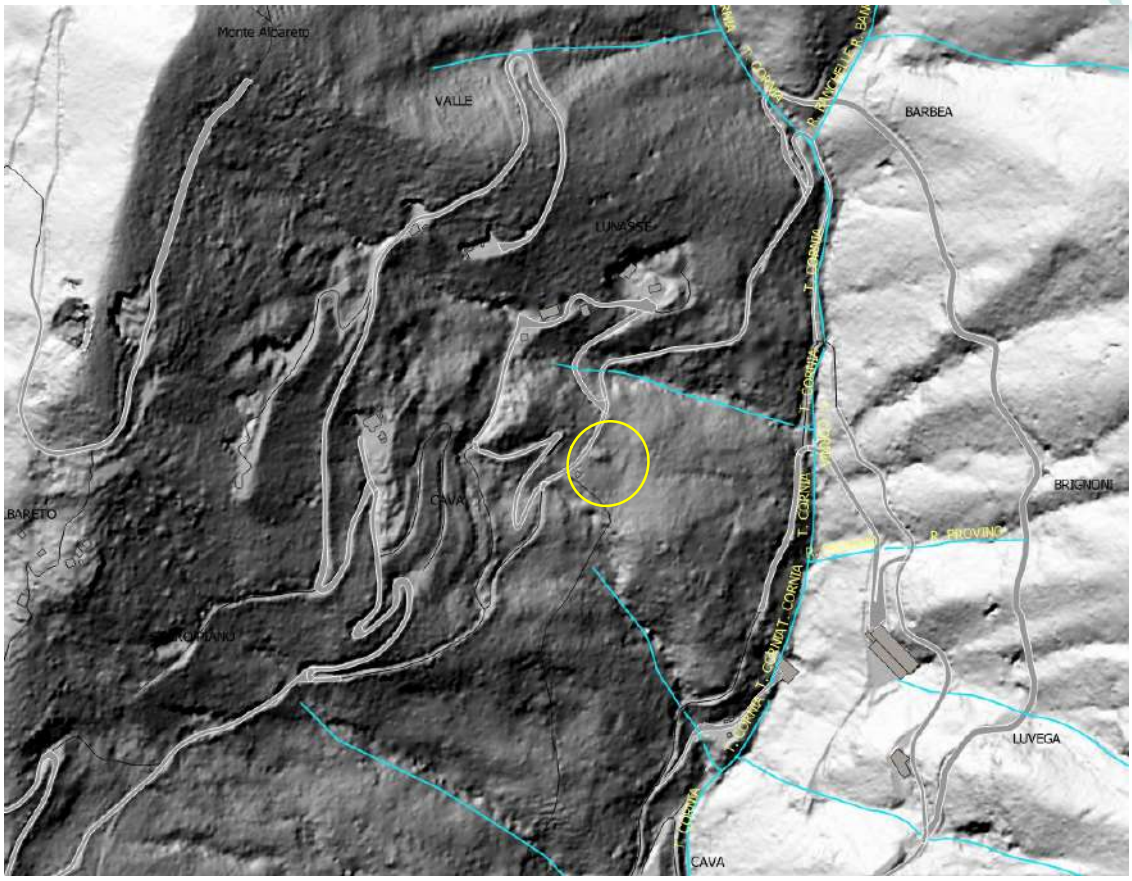


Figura 1: Modello Digitale del Terreno Ombrizzato, con reticolo idrografico.

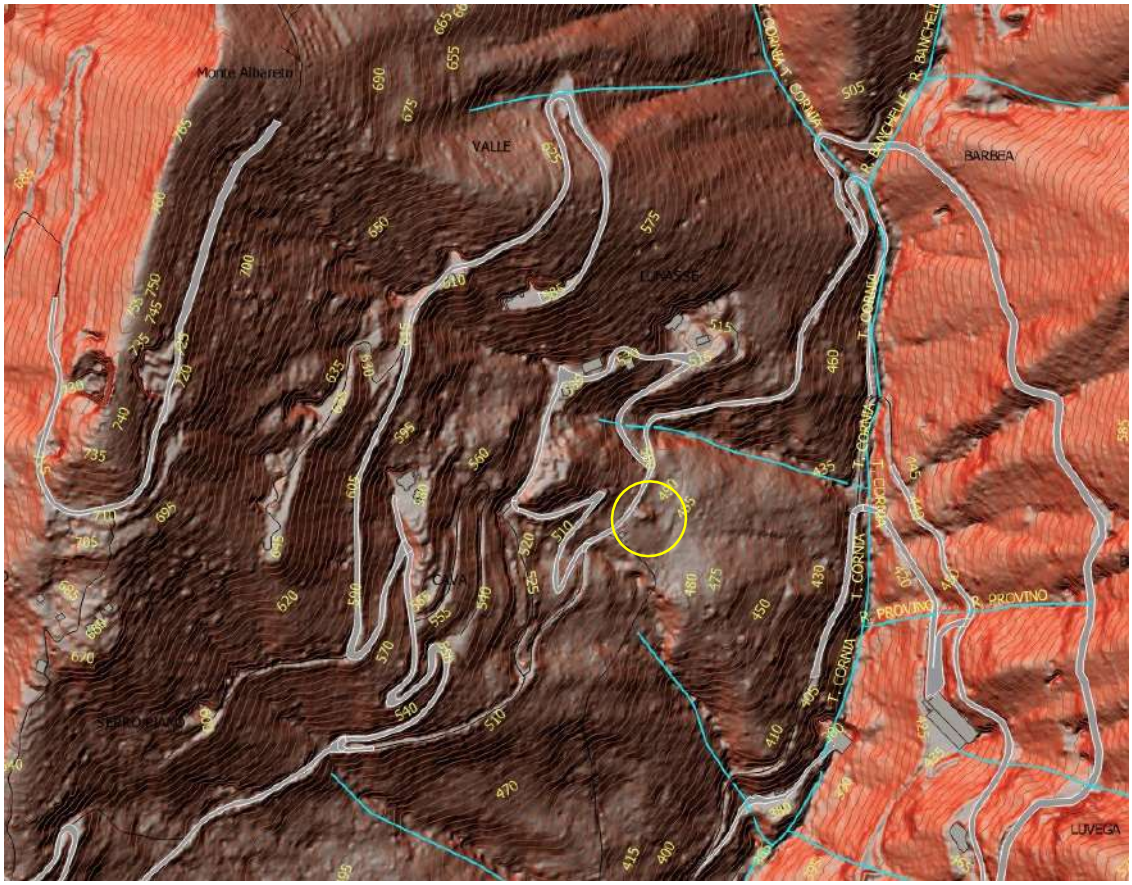


Figura 2: Modello Digitale del Terreno Ombrizzato con curve di livello.

3.2 CARTA DELL'ACCLIVITÀ

Poiché nelle indagini territoriali la pendenza topografica o acclività risulta uno dei parametri principali per l'influenza sul modellamento della superficie terrestre, e in quanto a parità di condizioni litotecniche e strutturali, esiste in genere proporzionalità fra acclività di un versante e grado d'instabilità dello stesso, è stata eseguita l'analisi clivometrica della porzione di territorio in esame, i cui esiti sono stati riassunti nello stralcio sotto riportato (cfr. Figura 3). Per la redazione di tale carta tematica è stato utilizzato il software *SAGA*, dotato di un apposito modulo di calcolo della pendenza partendo dai valori altimetrici e da una rappresentazione digitale della morfologia del territorio (*DTM*).

Il logaritmo utilizzato calcola il tasso massimo di variazione tra ogni cella e i suoi vicini (la variazione massima di quota in base alla distanza tra la cella e le otto vicine); in questo modo si riesce a conoscere il rapporto tra la distanza orizzontale e variazione di quota. La pendenza, quindi, è data dal rapporto tra massima differenza di quota e distanza tra i centri delle celle. La carta della pendenza dei versanti è stata ottenuta calcolando, a partire dal *DTM*, l'acclività in percentuale per ogni cella e categorizzando il risultato in 5 classi o intervalli.

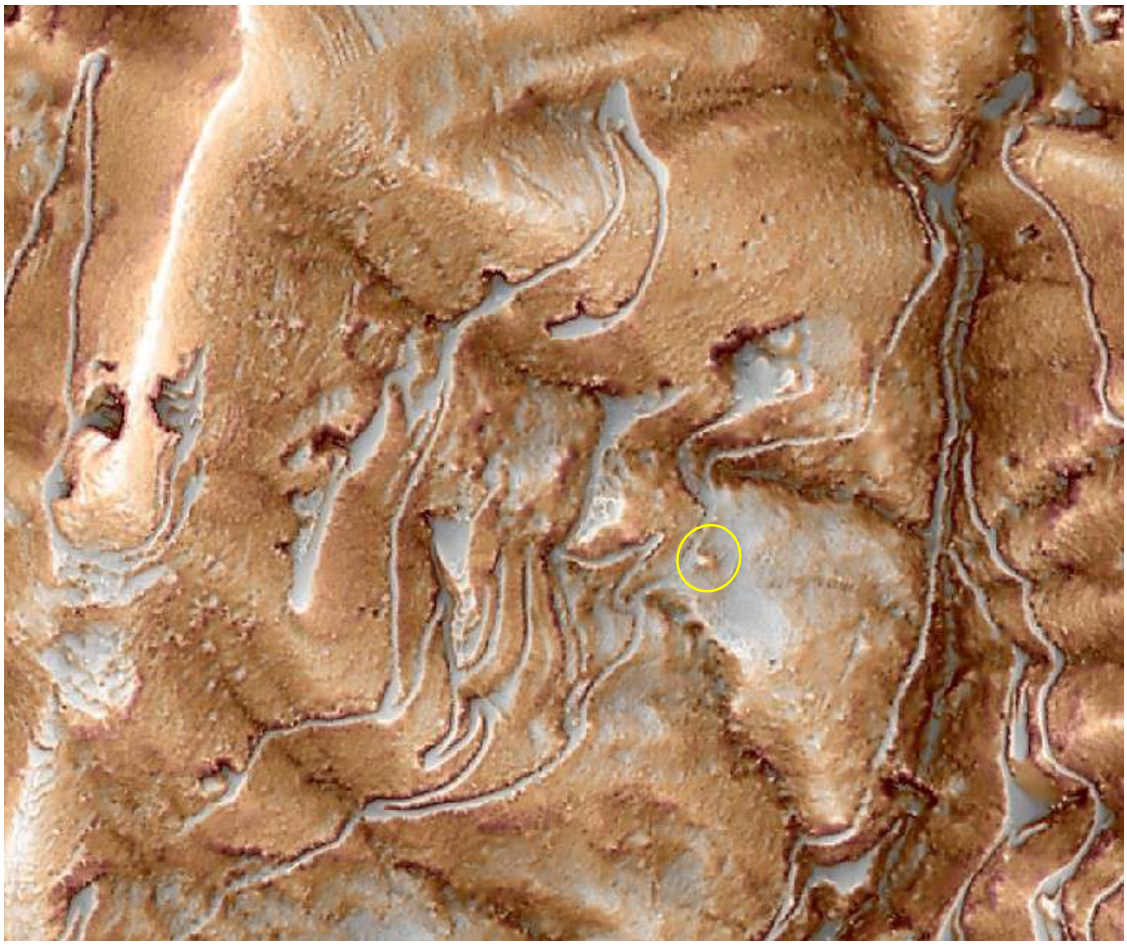


Figura 3: Carta dell'acclività.

3.3 ANALISI IDROLOGICA

Attraverso il software *SAGA*, applicando l'algoritmo "*Flow Tracing*", è stato valutato l'accumulo di flusso idrico ottenendo un modello di flusso sul pendio e dunque una rete di drenaggio; questo algoritmo traccia il flusso di ogni cella in un *DTM*.

Tale modello, del quale viene riportato in seguito uno stralcio (cfr. Figura 4), ha consentito di valutare le direzioni di flusso idrico, l'entità, l'identificazione cartografica del bacino di alimentazione delle sorgenti e la via preferenziale di raccolta e drenaggio delle acque superficiali.

In generale, data la morfologia dell'areale, con acclività mediamente accentuate, sono da ritenere possibili, in occasione di periodi caratterizzati da precipitazioni intense e/o prolungate, fenomeni di ruscellamento superficiale diffuso, o localmente concentrato, lungo le porzioni di versante più acclivi.

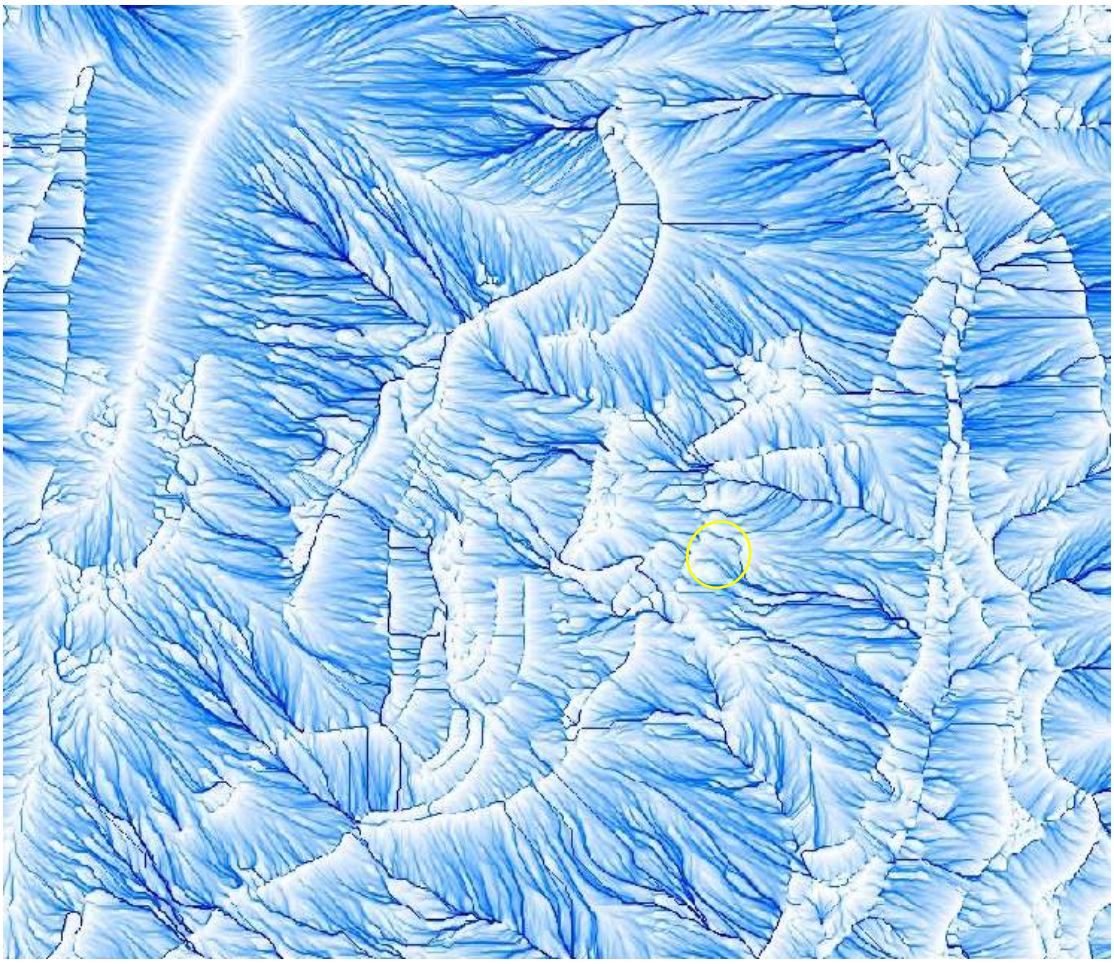


Figura 4: Carta idrologica

4. MODELLO GEOLOGICO

4.1 GEOLOGIA

Con riferimento alla *Carta Geologica d'Italia*, il bacino del *Torrente Lavagna* risulta caratterizzato dalle seguenti litologie, appartenenti alla successione sedimentaria costituente l'*Unità di M.te Gottero*:

- *Gruppo della Val Lavagna* (*Formazione degli Argilloscisti di Val Lavagna* e *Formazione delle Ardesie di M.te Verzi*), che occupa sostanzialmente il settore medio-inferiore di entrambi i versanti orografici della *Valfontanabuona*;
- *Formazione delle Arenarie di M.te Gottero,* costituente le cime più elevate dello spartiacque sinistro (*M.te Ramaceto, M.te Caucaso, ecc.);*
- *Formazione delle Argilliti di Giaiette,* reperibile nella parte bassa della vallata.

Nello specifico, la porzione di versante considerata, è geologicamente caratterizzata dalla presenza della *Formazione delle Ardesie di M.te Verzi* (età Campaniano; ~ 83ma), i cui lineamenti litologici essenziali possono essere così riassunti:

- *Scisti marnosi, scisti ardesiaci ed ardesie* sensu strictu più o meno massiccie, di colore grigio-plumbeo fino a nero, imputabile alla presenza di grafite (carbonio), e grigio-biancastro sulle superfici esposte, dotate di debole scistosità (*"Slaty Cleavage"*) per cui è possibile sfaldarle ottenendo lastre piane e sottili fino a pochi millimetri (le *"ciappe"*); i cosiddetti "filoni" di ardesia presentano potenza variabile da un minimo di pochi decimetri ad un massimo di 10-12 m;
- *Arenarie*, generalmente quarzo-micacee, a cemento siliceo-argilloso, di colore grigio-biancastro, con frequenti vene di calcite e quarzo, lettini e veli di argilliti e spesso "ciottoli molli" di argilla; formano strati variabili da pochi centimetri a qualche metro;
- *Calcareniti compatte*, grigie, con frequenti vene di calcite; si sostituiscono alle arenarie negli affioramenti in versante destro della *Val Lavagna*;
- *Scisti argillosi* finemente arenaceo-micacei, grigio-verdastri o plumbei tipo ardesia, dalla quale si distinguono per la scistosità obliqua rispetto al piano di stratificazione che risulta frequentemente esasperata fino alla fissilità.

La *Formazione delle Ardesie di M.te Verzi* è presente nella *Liguria Orientale* da *Uscio-Tribogna-Moconesi* fino alla falesia si *S. Anna (Cavi di Lavagna)* secondo un affioramento continuo ed allineato lungo la direttrice NW-SE.

In *Val Fontanabuona* la formazione suddetta è presente lungo i due versanti vallivi con andamento sub-concordante al corso dell'omonimo torrente ed all'asse della struttura geologica principale ossia una grande piega anticlinale, coricata a NE, con asse NW-SE.

Nel corso del sopralluogo si è proceduto ad una serie di ricognizioni lungo la strada sterrata che risale verso il sito, ove il taglio a mezza costa consente l'osservazione dell'ammasso roccioso in buona esposizione.

Negli affioramenti rocciosi reperiti sono state effettuate misure giaciturali in più postazioni ed è stata riscontrato un andamento geostrutturale concorde degli strati. Essi hanno consentito di correlare il bedrock alla *Formazione delle Ardesie di M.te Verzi*

Gli strati presentano un assetto geostrutturale ad immersione Nord-Est, con direzione di circa 120° ed inclinazione di circa 18°. Tale disposizione geometrica degli strati, rapportata all'orientazione della porzione di versante considerato determina, ai fini della stabilità, componenti indifferenti degli strati (situazione di "traverpoggio").

L'area boschiva nell'immediato intorno della struttura di deposito in oggetto è interessata da ispessimenti delle coltri sciolte di copertura che determinano un generale mascheramento del substrato roccioso; la natura e l'origine delle coperture sciolte verrà discussa nell'ambito del successivo capitolo.

Riguardo la situazione strutturale a scala di versante, occorre riferire dell'esistenza di un sistema di faglie pseudoparallele, spesso impostate spesso lungo i corsi d'acqua; l'ammasso roccioso appare attraversato da numerose famiglie di fratture, immergenti con varie angolazioni, intersecate dalle superfici di scistosità. Le fratture con spaziatura da decimetria a pluridecimetrica determinano un medio-alto grado di frammentazione a piccola-media scala.

4.2 GEOMORFOLOGIA

La struttura di deposito in esame ricade in una porzione di territorio localizzata nella zona medio-basale del *M.te Albareto*, sul suo versante orientale prospiciente la *Valle di Cornia*, ad una quota di circa 485-500m s.l.m.

Il comparto si raggiunge risalendo la strada privata al servizio di più cave la quale, dopo l'attraversamento dell'incisione del *Torrente Cornia*, risale il pendio secondo una direttrice NW-SE; l'area di discarica è situata immediatamente sotto strada.

Tale settore di versante è caratterizzato prevalentemente da area boschiva costituita primariamente da essenza arborea di castagno, con andamento del terreno sia a natural declivio che a piccole fasce.

Il versante propone, in generale, una regolare alternanza di modeste dorsali secondarie ove il substrato affiora generalmente con buona continuità, di morfologie ad "impluvio", generalmente coincidenti con incisioni secondarie del versante e di versanti intermedi ove talvolta si riscontrano fasce detritico-colluviali con ispessimenti delle coperture (sito di interesse).

Lo spessore delle coltri, da come si evince dall'allegata Tavola 4, sulla scorta del rilievo geologico di superficie e dell'indagine geofisica, risulta avere una potenza variabile fra 2m e 3m.

La stratigrafia del sito può essere ricondotta ad un primo sottile livello, definibile "terreno agricolo" (30-40cm), cui segue in profondità un secondo orizzonte costituito da coltri detritico-colluviali talvolta rimaneggiate nell'ambito delle riprofilature del pendio.

Si tratta di terreni di tessitura limoso-argillosa subordinatamente sabbiosa, con abbondante scheletro solido costituito da frammenti lapidei di dimensioni eterometriche, da medio-minute a grossolane. Sottostante il livello delle coltri sciolte, si rinviene un "cappellaccio" dislocato da ampie fratture talvolta riempite da materiali eluviali, il cui profilo risulta sempre molto estremamente irregolare, passante al substrato "sano" nel quale la rete di discontinuità tende al progressivo serraggio.

In generale la zona non propone alcun sintomo di squilibrio in grande; dai rilevamenti compiuti si afferma che l'assetto geomorfologico è parso in buone condizioni di stabilità, in quanto il versante risulta al momento privo di segni tangibili di dissesto attivo (in atto) e quiescente (potenziali), in accordo con la classificazione del *Piano di Bacino Stralcio del Torrente Lavagna* e del *Piano di Bacino Stralcio "Assetto Idrogeologico del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale"*.

4.3 IDROGEOLOGIA

Il reticolo idrografico principale è impostato secondo delle direttrici circa NW-SE che solcano il versante e rappresentano le aste tributarie di sinistra del *Torrente Cornia*, il quale scorre lungo la base del versante in oggetto; inoltre, la presenza del tracciato stradale sterrato, le rotabili ed i sentieri pedonali che tagliano trasversalmente il pendio si pongono come linee di intercettazione per il libero scorrimento superficiale delle acque piovane e rappresentano vie di deflusso delle acque superficiali convogliandole nei corsi d'acqua principali.

Nei periodi di normale piovosità avviene solo un modesto ruscellamento diffuso e le acque scorrono distribuite con regolarità anche grazie alla sistemazione del terreno ed alla copertura vegetale; l'azione erosiva da parte delle acque incanalate è ridotta e limitata ai periodi caratterizzati da precipitazioni intense o prolungate.

L'idrogeologia generale è condizionata dal contrasto tra le coltri porose, nelle quali si instaura un deflusso ipodermico, ed il substrato che, seppur fratturato e dunque semipermeabile, determina un orizzonte di minor pervietà sul quale si attivano infiltrazioni proporzionate alla scala degli eventi meteorologici. Per tale ragione al passaggio tra i due orizzonti possono manifestarsi fasce di intensa impregnazione (o localmente vere e proprie falde) intensificate in occasione di piogge persistenti.

I deflussi sotterranei, benché influenzati dagli apporti meteorici, sono condizionati dalla capacità di smaltimento e assorbimento dei terreni, dall'eterogeneità delle coperture e dalla profondità del substrato roccioso che, dotato di scarsa permeabilità può costituire un'interfaccia in corrispondenza della quale possono instaurarsi deflussi sottosuperficiali. In fase di progettazione occorrerà tenere in conto tali considerazioni, individuando gli elementi necessari alla gestione delle acque e al loro allontanamento.

La filtrazione e il flusso di acqua attraverso la matrice rocciosa si determina nei pori e lungo le fratture e dipende dall'interconnessione tra questi e da altri fattori come il grado di alterazione e l'anisotropia a cui è sottoposto il materiale. La presenza di famiglie di giunti, di discontinuità singolari come le faglie, di zone alterate, costituiscono le vie preferenziali di circolazione idrica nel sottosuolo e delimitano zone a maggiore conducibilità idraulica. Il moto dell'acqua all'interno della matrice rocciosa è appunto fortemente influenzato dalle caratteristiche fisiche e geometriche delle discontinuità; in particolare, il moto dell'acqua all'interno di una singola discontinuità è governato, dal punto di vista idraulico, dall'apertura e dalla rugosità, mentre la permeabilità dipende anche dalla frequenza e dalla persistenza delle fratture.

In riferimento a quanto esposto nell'allegata Tavola 2 si possono suddividere e definire almeno tre differenti gradi di permeabilità dei terreni: i detriti ardesiaci di origine antropica (strutture di deposito) hanno un'elevata permeabilità; le coperture detritico-colluviali sono mediamente permeabili per porosità; la porzione di territorio a roccia affiorante e/o subaffiorante ha bassa permeabilità per fessurazione e/o fratturazione.

Durante sopralluoghi effettuati non sono state individuate scaturigini idriche e/o sorgenti presso l'area e all'immediato contorno. Considerata l'ubicazione del sito, nonché la morfologia al suo contorno, è lecito ipotizzare drenaggi poco significativi lungo il crinale e gradualmente più marcati in corrispondenza dei suoi fianchi ed entro gli impluvi; come si evince dalla Figura 4, entro l'area in esame si ha una confluenza delle vie di scorrimento preferenziali dei flussi orientate lungo la linea di massima pendenza del versante.

5. MODELLO GEOTECNICO

5.1 INDAGINE GEOFISICA

Il report seguente presenta i risultati dell'indagine geofisica (sismo-stratigrafica) condotta per la determinazione della categoria di sottosuolo e della stratigrafia per il sito in oggetto, ai sensi delle *Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC18* (*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2018*).

Al fine della determinazione della classe di sito e della stratigrafia è stata condotta un'indagine geofisica consistente in tre misure di rumore ambientale (microtremore), poi elaborate mediante la tecnica *Nakamura* (*Nakamura, 1989*).

Le misure sono state effettuate al fine di determinare la frequenza fondamentale (*f0*) del sito di studio e per ottenere una stima della velocità di propagazione delle onde di taglio negli strati di terreno (*VS*). Il calcolo del profilo di *VS* è stato realizzato mediante un processo noto come "inversione numerica" o, più precisamente, mediante l'applicazione di un metodo numerico di tipo diretto (*forward modeling*).

L'ubicazione delle misure geofisiche effettuate (denominate *G1, G2* e *G3*) è mostrata nell'allegata Tavola 3 e la strumentazione utilizzata è riportata nelle Foto 1, 2 e 3. Nei paragrafi seguenti sono presentate le metodologie impiegate ed i risultati ottenuti.

L'indagine *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) o metodo di *Nakamura* è un'indagine sismica passiva, sul terreno si rilevano i dati di velocità delle onde sismiche acquisiti da una terna geofonica orientata nelle tre direzioni che vengono poi elaborate e interpretate tramite software per l'ottenimento di alcuni parametri specifici; tramite questa indagine è possibile effettuare delle stime per l'individuazione dei seguenti parametri:

- *Classificazione del terreno di fondazione in base alle attuali NTC.*
- *Frequenza propria di risonanza del sito.*
- *Ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.*

All'interno dell'area di studio è stato dunque condotto dal sottoscritto il rilievo dei microtremori con il tromografo modello *Gemini 2Hz* della ditta *PASI S.r.l.* di *Torino*, per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno. Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s^2), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione ed altri. Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza).

La frequenza di risonanza è legata allo spessore (h) ed alla velocità delle onde di taglio *Vs* del primo strato (*Vs1*) dalla seguente relazione: $f_0 = Vs/4H$. La frequenza di risonanza corrisponde al primo picco di amplificazione individuabile sulla curva *H/V* e, nel caso di terreno a comportamento lineare, può essere messa in relazione allo spessore dei sedimenti, *h*, e alla velocità media di propagazione delle onde di taglio, *VS*, nei sedimenti stessi.

Utilizzando la formula sopra esposta è possibile risalire alla velocità delle onde *S* del terreno. Una volta ricavato il valore di *Vs*, è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

L'indagine *HVSR* permette l'individuazione delle frequenze di risonanza caratteristiche del sito, oltre alla ricostruzione dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo; durante la procedura di elaborazione è stato possibile verificare che sono stati rispettati i "*Criteri Sesame*". I segnali acquisiti, come visualizzabile nei grafici frequenze su rapporto *H/V*, sono qualitativamente accettabili e permettono la chiara visualizzazione dei picchi caratteristici. L'analisi globale di questa tipologia d'indagine permette quindi di avvalorare la ripetitività a breve distanza, con una debole variazione dei picchi, corrispondente al variare del passaggio del sismostrato in ogni posizione indagata.

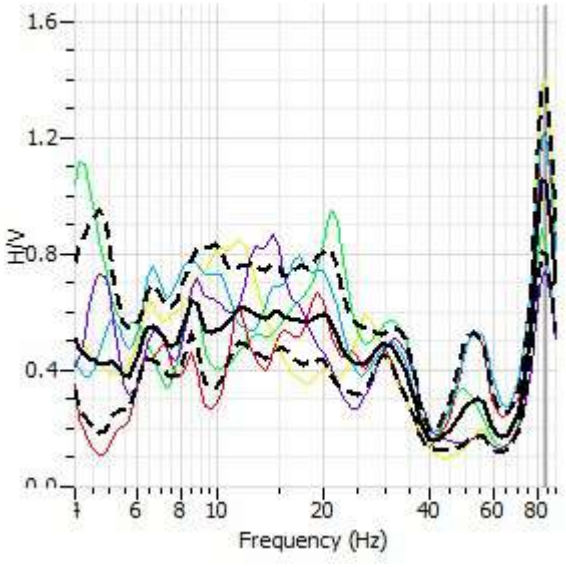


Figura 1: Curva H/V per il sito G1

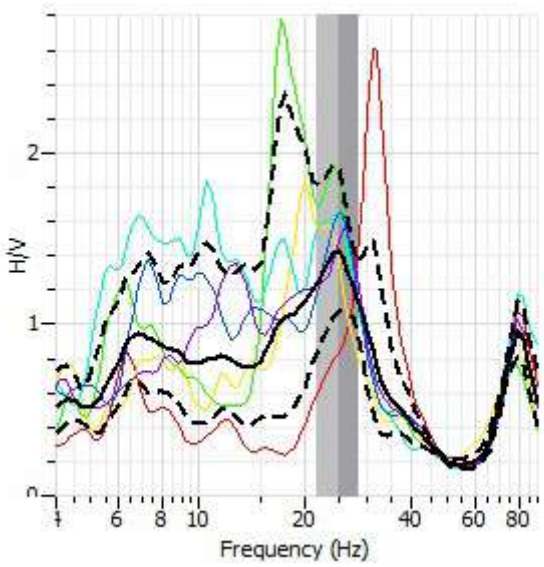


Figura 2: Curva H/V per il sito G2

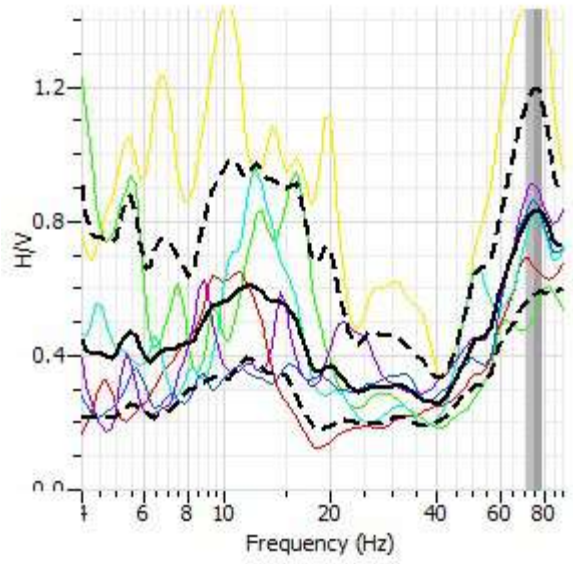


Figura 3: Curva H/V per il sito G3

Il dato acquisito è stato utilizzato per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio *VS* necessario per la valutazione della velocità media di propagazione delle onde di taglio.

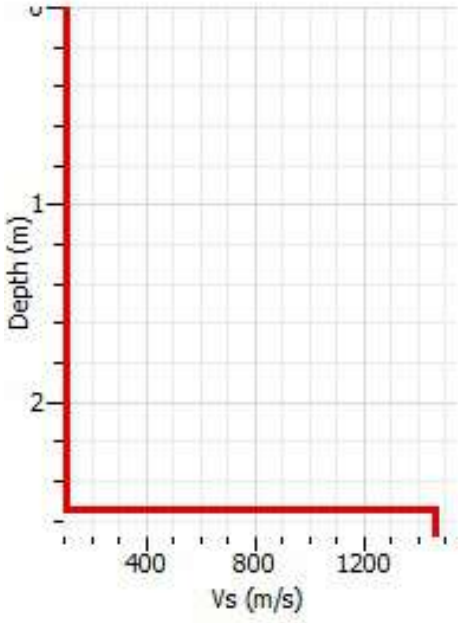


Figura 4: Profilo di velocità (VS) per il sito G1

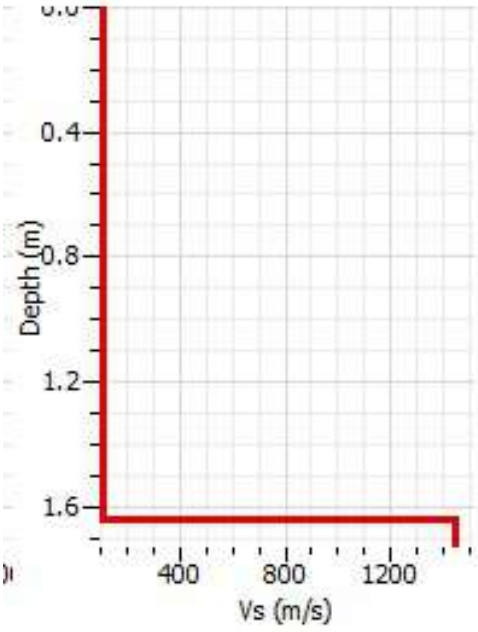


Figura 5: Profilo di velocità (VS) per il sito G2

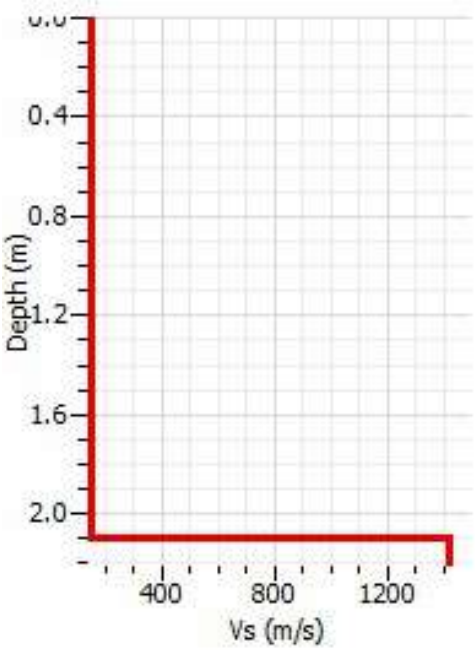


Figura 6: Profilo di velocità (VS) per il sito G3

Tabella 1: Valori numerici del profilo di VS per il sito G1.

Profondità (m)	***VS* (m/s)**
Da 0.0 a 2.6	110
a partire da 2.6	1460

Tabella 2: Valori numerici del profilo di VS per il sito G2.

Profondità (m)	***VS* (m/s)**
Da 0.0 a 1.6	155
a partire da 1.6	1450

Tabella 2: Valori numerici del profilo di VS per il sito G3.

Profondità (m)	***VS* (m/s)**
Da 0.0 a 2.1	140
a partire da 2.1	1430

Sulla base di quanto riportato dalle Tabella 1, 2 e 3, è evidente il netto incremento della velocità delle onde sismiche a partire da profondità rispettivamente di 2.6m, 1.6m e 2.1m, profondità alle quali corrisponderebbe l'interfaccia tra la coltre naturale ed il sottostante substrato roccioso.

5.3 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

Per quanto riguarda la *Ricostruzione Stratigrafica* del comparto, sulla base dei rilievi geologici di superficie e delle osservazioni dirette lungo sezioni di terreno presenti nel versante, possono essere distinti i seguenti orizzonti di interesse:

Orizzonte A – detriti ardesiaci, il cui comportamento meccanico dei materiali ardesiaci è in linea di massima assimilabile a quello di un materiale granulare; comparando tali materiali alla classificazione dei terreni proposta dal *Sistema Unificato di Classificazione dei Terreni (U.S.C.S.)*, gli stessi possono essere identificati al gruppo *GW* ed in subordine al gruppo *GM*. Nel primo gruppo (*GW*) rientrano le ghiaie ben classate mentre nel secondo (*GM*) le ghiaie limose: è spesso presente infatti una minima percentuale di frazione fine. Il peso di volume unitario di tali materiali ardesiaci è valutato intorno a 2.1-2.3t/mc e, in relazione all'elevato coefficiente di permeabilità (*k≥1cm/sec*), si devono ritenere sostanzialmente sempre in condizioni aride (asciutti). Per quanto attiene circa le caratteristiche di resistenza al taglio, si evidenzia che si tratta di terreni granulari e, considerate le notevoli dimensioni medie di pezzatura, si giustifica un grado di grado di addensamento da medio ad elevato: si ritiene dunque corretto associare a tali materiali un angolo di attrito pari a 42°/43° e coesione nulla. Si evidenzia che i detriti ardesiaci presentano un contenuto di carbonati oscillante tra il 20% ed il 40% (*Pandolfi D. e O., 1991, "La Cava", Ed. Sagno*) e pertanto si verifica un discreto grado di cementazione secondaria fra i frammenti lapidei.

Orizzonte B – orizzonte sciolto detritico-colluviale a medio-basso grado di addensamento della frazione granulare, costituito da scheletro eterometrico da medio a grossolano in matrice prevalentemente argillosa e limosa, talvolta con significative frazioni argillose derivanti dall'alterazione e/o disfacimento dei componenti argilloscistosi. Si tratta di una breccia in matrice argillosa a resistenza dinamica variabile in relazione alla presenza di un alto contenuto in pietre di dimensioni medie 2-6cm aventi forma subangolare, la struttura è di tipo poliedrica subangolare. La colorazione di tale orizzonte è marroncina-giallastra con screziature brunastre. Caratteristica intrinseca è l'elevata consistenza: le osservazioni effettuate direttamente su sezioni di terreno ivi presenti evidenziano un'elevata solidità dovuta alla notevole adesività e plasticità (frazione argillosa) del materiale.

Orizzonte C – zona di alterazione superficiale del substrato roccioso ("cappellaccio"), orizzonte litologico individuabile al tetto del substrato avente spessore generalmente variabile da 1m a 2m, configurabile come un *"cappellaccio"* di alterazione del substrato roccioso. E' caratterizzato da strati fratturati e talvolta disarticolati da fenditure riempite da materiali residuali.

Orizzonte D - substrato roccioso sano disposto a netto traverpoggio: roccia relativamente compatta, caratterizzata da fratture, vene calcitiche e superfici di dissoluzione. Con questo termine si intende l'ammasso roccioso sottostante il cappellaccio nel quale il reticolo delle discontinuità o fratture tende a chiudersi verso il basso fino a giungere a condizioni di sostanziale integrità.

Per quanto attiene la distribuzione stratigrafica dei vari orizzonti individuati, si rimanda alla sezione geologica interpretativa (cfr. Tavola 4). Sotto il profilo geotecnico è possibile proporre i seguenti parametri geotecnici <u>*medi*</u>:

Orizzonte A – detriti ardesiaci

- *peso dell'unità di volume: γ = 2.1-2.3 t/mc*
- *coesione non drenata: c_u = 0 Kg/cmq*
- *coesione drenata: c' = 0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito efficace: φ'_{Medio} = 42-43°*

Orizzonte B – coltre detritico-colluviale

- *peso dell'unità di volume "secco": γ = 1.70 t/mc*
- *peso dell'unità di volume "saturo": γ = 1.80 t/mc*
- *coesione non drenata: c_u = 0.20 Kg/cmq*
- *coesione drenata: c' = 0.05 Kg/cmq*
- *angolo di attrito efficace: φ'_{Medio} = 28°*

Per la caratterizzazione del materiale roccia (*Orizzonte C*) e degli ammassi rocciosi affioranti nell'area di studio (*Orizzonte B)* sono stati realizzati rilievi geomeccanici secondo gli standard *ISRM* (1981). L'esecuzione di un rilievo geomeccanico di dettaglio comporta la stima di una serie di parametri la cui valutazione/misurazione consente:

- ✓ l'attribuzione di un indice di qualità dell'ammasso roccioso;
- ✓ la valutazione speditiva delle proprietà fisiche e meccaniche del materiale roccia;
- ✓ la verifica della possibilità cinematica di movimento in riferimento a fenomeni di instabilità coinvolgenti le singole porzioni di ammasso roccioso isolate dalle famiglie di discontinuità identificate.

I parametri descritti/misurati alla scala dell'affioramento riguardano:

- caratteristiche del materiale roccia (litologia, grado di alterazione, resistenza delle pareti delle discontinuità);
- caratteristiche delle discontinuità (tipo, orientazione, rugosità, apertura);
- caratteristiche del riempimento (se presente);
- caratteristiche dell'ammasso roccioso (insieme materiale roccia/discontinuità);
- valutazione numero di famiglie di discontinuità e della loro spaziatura e persistenza;
- dimensioni e forma dei blocchi isolati dalle famiglie di discontinuità;
- circolazione idrica (se presente).

Si ricorda che la presenza di discontinuità riduce le caratteristiche di resistenza del materiale roccia ed e il fattore che più condiziona il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso e le sue caratteristiche di resistenza e di deformabilità; le particolarità delle discontinuità influiscono poi sui possibili cinematismi di movimento dei blocchi.

L'ammasso roccioso è stato classificato con il metodo proposto da *Bieniawski*: questa classificazione si basa sul rilievo di cinque parametri che determinano un valore base dell'indice *RMR (Rock Mass Rating*). Il rilievo e l'analisi dei principali parametri da inserire nella classificazione sono stati effettuati in corrispondenza dei più significativi affioramenti rocciosi reperiti lungo la rotabile sterrata che conduce al sito ove la messa a "nudo" dell'ammasso roccioso, risulta sufficientemente estesa e rappresentativa per ricavare i dati necessari che vengono elencati di seguito:

❖ *R1: resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta*

La resistenza a compressione uniassiale della roccia è stata valutata basandosi su alcune serie di prove condotte con lo sclerometro per cls. i cui indici di rimbalzo sono stati poi opportunamente correlati a quelli del martello di *Schmidt* secondo la relazione (*Bagalà,1998*): $R_N = 22,1 + 0,7\ R_L$

con:

R_N = lettura del rimbalzo allo sclerometro per calcestruzzi

R_L = lettura del rimbalzo al martello di *Schmidt*

I risultati così ottenuti hanno permesso di ricavare: σ_c = 280-600 Kg/cm^2

INDICE R1 = 4

❖ *R2: indice RQD*

E' stato valutato indirettamente attraverso la relazione *Priest-Udson* nella forma:

RQD= 100 x e $^{-0,1n}$ x (0,1 n + 1) = 50%

N = numero di fratture a metro = 3

INDICE R2 = 13

❖ *R3: Spaziatura dei giunti*
Valutata sulla base dell'osservazione diretta dell'ammasso roccioso e delle sue caratteristiche strutturali: s = 30cm-1m

INDICE R3 = 20

❖ *R4: Condizione di giunti*
Superfici lisce o laminate o riempimento < 5mm o apertura 1-5mm
Riempimento terreno spessore >5mm o giunti aperti >5mm. Giunti continui
INDICE R4 = 6

❖ *R5: Condizione idrauliche*
Umidità e acqua in debole pressione
INDICE R5 = 4

Dalla somma algebrica dei coefficienti numerici dei primi cinque parametri si ottiene:

RMRbase = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 = 47 Considerando R6 = - 15 (orientazione scavo sfavorevole rispetto alla disposizione dei giunti principali).

RMRcorretto = *RMRbase + R6 =* ***32*** *(IV classe – ammasso scadente -)*

Dal valore *RMR* è possibile ricavare i parametri di resistenza al taglio (coesione e angolo di attrito), che vengono di seguito riportati:

Orizzonte C – ammasso roccioso

- *peso dell'unità di volume:* γ *= 2.20-2.30 t/mc*
- *coesione residua:* c_R *= 0 Kg/cmq*
- *coesione di picco:* c_P *= 0.5 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ'_{Medio} *= 35°*

Orizzonte D – materiale roccia

- *peso dell'unità di volume:* γ *= 2.70-2.80 t/mc*
- *coesione residua:* c_R *= 0.5 Kg/cmq*
- *coesione di picco:* c_P *= 1.5 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ'_{Medio} *= 40°*

6. SISMICITA' DELL'AREA

Ai sensi dell'*Ordinanza* della *Presidenza* del *Consiglio* dei *Ministri n°3519/2006*, ed alla *D.G.R. n°216 del 17/03/2017*, il territorio comunale di *Moconesi (Ge) è stato classificato sismico ed inserito in zona **3** (p.g.a. = 0.150g)* e contrassegnato con il *Numero Identificativo 36 nella mappa sismica*.

In particolare in *Zona 3* il valore dell'accelerazione sismica orizzontale è pari a *ag = 0.150g*, tale valore rappresenta l'accelerazione massima orizzontale attesa nel caso in cui la struttura in progetto sia fondata su substrato roccioso di buone caratteristiche geomeccaniche o in prossimità dello stesso ed in condizioni geomorfologiche favorevoli.

La normativa *(D.M. 17 gennaio 2018)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica.

DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Come esplicitamente richiesto dalle *N.T.C. 2018*, per l'assegnazione della categoria di sottosuolo è stato stimato il valore del parametro *Vs equivalente* che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S in profondità fino al raggiungimento del substrato (dal punto di appoggio piano di fondazione) ed è calcolato mediante la s

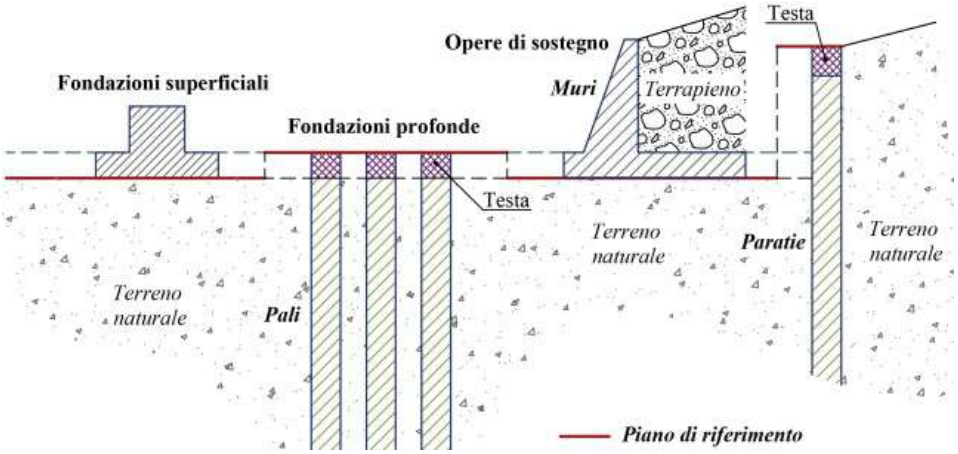
$$Vs,eq = \frac{H}{\sum_{strato=1}^{N} \frac{h(strato)}{Vs(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h (strato) e dalla velocità delle onde S Vs (strato). Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VSeq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (inteso come la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione (cfr. schema sottostante).



La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) NSPT,30 nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente cu, 30 nei terreni prevalentemente a grana fina.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (*N.T.C. 2018*):

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*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.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Nel caso in questione, in base a quanto ottenuto dalle indagini effettuate, si afferma che il sito in esame è compatibile con quanto previsto dalle *NTC18* per la Categoria di suolo ***E***, che comprende depositi di terreni a grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori non superiori a 30m, posti sul substrato di riferimento caratterizzato da valori di *Vs30* superiori a 800 m/s.

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

La normativa *(D.M. 17 gennaio 2018)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (*Tab. 3.2.III* delle *N.T.C. 2018*):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30m.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche del sito, essendo localizzato entro un versante, ad altezza maggiore di 30m, avente acclività maggiore di 15° (cfr. figura sottostante), si ritiene necessario considerare l'effetto d'amplificazione topografica dell'onda sismica: si assegna una categoria topografica *T2*, con fattore di amplificazione *ST = 1.20.*

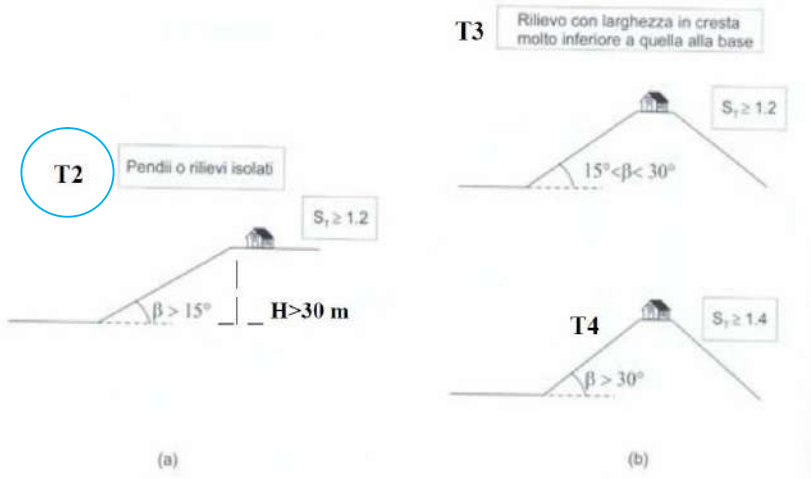


Fig.1 – Valori del fattore di amplificazione topografica S_T secondo l'EC8 per (a) pendii e rilievi isolati e (b) rilievi con larghezza in cresta molto minore di quella alla base.

PARAMETRI SISMICI PER LE OPERE IN PROGETTO

Sulla base delle disposizioni previste dalle *"Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018),* le tabelle seguenti riepilogano le considerazioni sismiche, le caratteristiche sismiche del sito, l'analisi dei parametri e dei coefficienti sismici, calcolati con il programma *"Geostru PS"*:

COORDINATE GEOGRAFICHE DELLA LOCALITA' IN ESAME (WGS84)				
Longitudine:			9.232081	
Latitudine:			44.433504	
COORDINATE GEOGRAFICHE DEI 4 PUNTI DEL RETICOLO (SITI DI RIFERIMENTO)				
	ID	LON	LAT	DIST m
Sito 1	16700	9,2180	44,4581	2885,311
Sito 2	16701	9,2879	44,4605	5224,485
Sito 3	16923	9,2914	44,4106	5332,091
Sito 4	16922	9,2215	44,4081	3072,505

VITA DELLA STRUTTURA	
Vita nominale delle opere:	$V_N \geq 50$ anni
Classe d'uso:	II (Costruzioni il cui uso preveda presenza normale di persone)
Coefficiente d'uso:	$C_U = 1$
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:	$V_R = V_N \times C_U = 50$
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	
Topografia:	T2
Coefficiente Topografico:	$S_T = 1.20$
Categoria Suolo:	E

	PARAMETRI SISMICI						COEFFICIENTI SISMICI			
	SL	P_{vr}	T_r	a_g	F_o	T_c*	Kh	Kv	Amax	Beta
sle	*Operatività(SLO)*	81%	30	0,032g	2.498	0.204	0.012	0.006	0.607	0.200
sle	*Danno (SLD)*	63%	50	0.040g	2.539	0.222	0.015	0.008	0.749	0.200
slu	*Salv.Vita (SLV)*	10%	475	0.097g	2.508	0.284	0.037	0.019	1.825	0.200
slu	*Collasso (SLC)*	5%	975	0.126g	2.487	0.290	0.058	0.029	2.378	0.240

SL = Stato Limite Considerato (sle = stato limite di esercizio; slu = stato limite ultimo); **P_{vr}** = Probabilità di superamento dello Stato Limite Considerato**; T_r** = Tempo di Ritorno (anni); **a_g** = Accelerazione massima al sito; **F_o** = 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 (sec); **Kh** = coefficiente sismico orizzontale; **Kv** = coefficiente sismico verticale; **Amax** = accelerazione massima attesa al sito.

7. VERIFICHE DI STABILITA'

Onde verificare la stabilità del versante dopo l'interventi a progetto, è stata eseguita un'analisi sulla sezione geologica interpretativa *1-1* (cfr. Tavola 4), allo stato di progetto. Le verifiche sono state eseguite con il cosiddetto metodo *"dell'equilibrio limite"*, che consiste nell'individuare diverse possibili superfici di scivolamento coinvolgenti uno o più materiali e nell'analizzare, per ciascuna di esse, l'equilibrio allo scivolamento del cuneo di materiali soprastanti, considerato come se fosse rigido. I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura, si basano tutti sulle ipotesi seguenti:

- il coefficiente di sicurezza (*FS*) è definito come rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato lungo la ipotetica superficie di scorrimento;
- il coefficiente di sicurezza è assunto costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;
- la rottura avviene per il raggiungimento, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento, della resistenza al taglio limite.

Le analisi sono condotte con il metodo di *Jambu*, implementato all'interno di un programma di calcolo specifico per tale tipo di analisi: è stato utilizzato il programma di calcolo "*Slope 2018"* della *Geostru Software.* Il calcolo è stato svolto seguendo le indicazioni delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (*D.M. 17 Gennaio 2018*). Secondo queste ultime norme le analisi di stabilità dei rilevati in terreni sciolti o granulari devono essere effettuate verificando che sia soddisfatta la condizione: *Ed* ≤ *Rd* avendo indicato con *Ed* il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e *Rd* il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno).

In tal senso, in campo statico i valori caratteristici dei parametri geotecnici dei materiali e delle azioni vengono, rispettivamente, divisi e moltiplicati per i coefficienti parziali previsti dalla combinazione di carico *A2+M2+R2 (dimensionamento GEOtecnico)*, con l'impiego di un coefficiente parziale della resistenza del sistema geotecnico *gR* (corrispondente ad *FS* precedentemente definito) pari ad 1.1.

- *PARAMETRI DI PROGETTO DEI MATERIALI*

Le simulazioni di stabilità, sono state eseguite utilizzando le parametrizzazioni fornite nella presente relazione geologica, sulla base dei parametri caratteristici (ossia quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento), divisi per i rispettivi coefficienti parziali definiti nelle *Norme Tecniche* (*D.M. 17 gennaio 2018).* Si ottengono così i parametri di progetto, in modo che, ai fini della situazione schematizzata, i parametri utilizzati nelle verifiche di stabilità siano, oltre che rappresentativi, adeguatamente cautelativi. Le analisi di stabilità vengono condotte considerando i valori dei parametri riportati nella tabella seguente:

Parametro	***u.m.***	***Valore Caratteristico***	***Valore di Progetto***
Orizzonte A (detriti ardesiaci)			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m³*	*2200-2300*	*2200-2300*
coesione (c')	*Kg/cm²*	*0*	*0*
angolo di attrito (φ')	°	*38 (condizione più cautelativa)*	*32*
Orizzonte B			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m³*	*1700-1800*	*1700-1800*
coesione (cp)	*Kg/cm²*	*0.05*	*0.03*
angolo di attrito (φ)	°	*28*	*23*
Orizzonte C			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m³*	*2200-2300*	*2200-2300*
coesione (cp)	*Kg/cm²*	*0.5*	*0.3*
angolo di attrito (φ)	°	*35*	*29.2*
Orizzonte D			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m³*	*2700-2800*	*2700-2800*
coesione (cp)	*Kg/cm²*	*1.0*	*0.71*
angolo di attrito (φ)	°	*40*	*33.9*

- *STABILITÀ ALLO STATO DI PROGETTO*

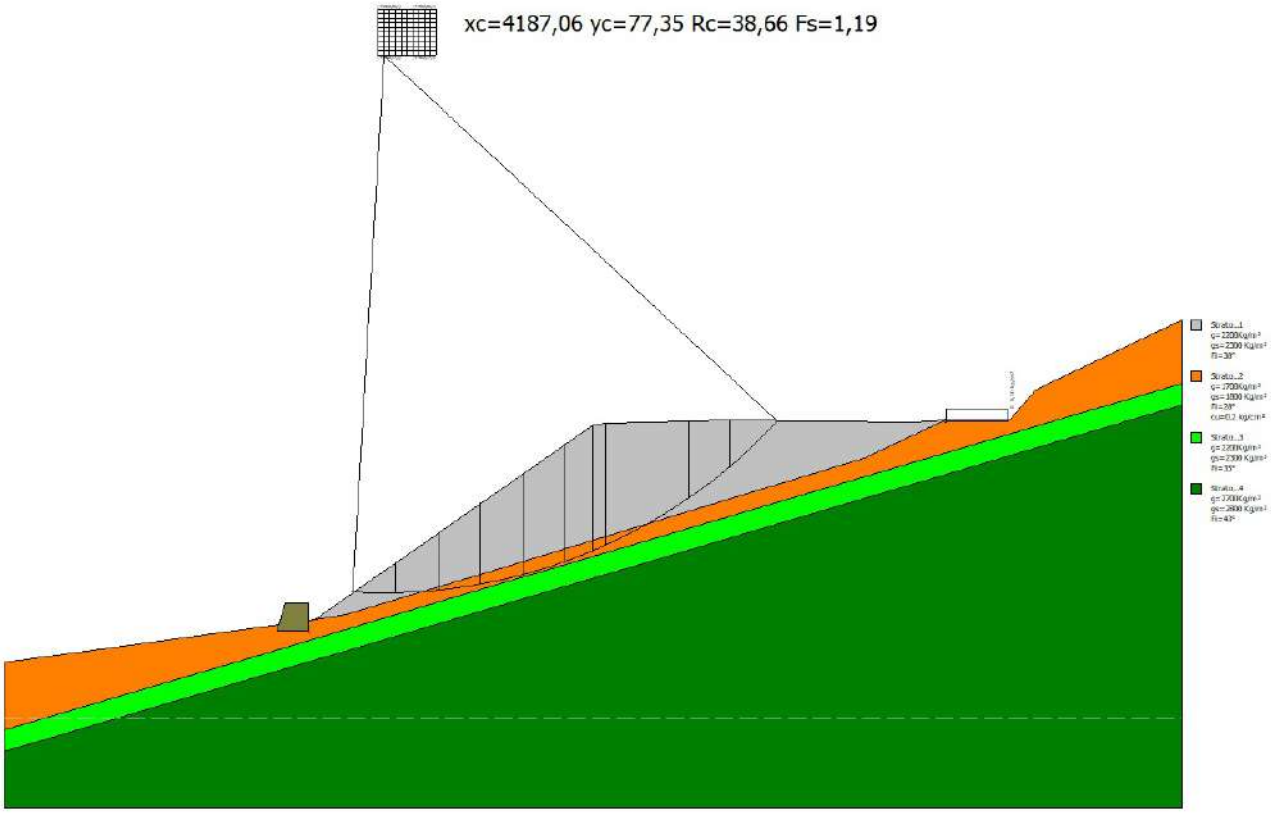
Le verifiche di stabilità allo stato di progetto sono state eseguite in condizioni sismiche valutate mediante il metodo pseudo-statico, allo stato limite ultimo di danno (*S.L.U.-S.L.D.*). I parametri geotecnici utilizzati sono quelli di progetto.

Mediante il metodo pseudo-statico (in condizioni sismiche) occorre considerare il coefficiente sismico *kh*, che viene così calcolato (cfr. par. 7.11.3.5 delle Norme Tecniche):

$kh = \beta_S * amax/g$ con: $\beta_S = 0.240$ (coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito); amax = accelerazione massima attesa al sito S_S*S_T*ag;

Si ottiene quindi: *kh = 0.058*; *kv = 0.029*

Si sono dunque effettuate verifiche di stabilità considerando la presenza dei carichi connessi dalla rotabile sterrata a cui stati assegnati rispettivamente 0.3kg/cmq. Viene riportato in seguito la schematizzazione grafica della verifica effettuata.



(l'orizzonte A è rappresentato con il colore grigio, l'orizzonte B con il colore marrone, l'orizzonte C con verde chiaro e l'orizzonte D con verde scuro).

Nella sezione i detriti ardesiaci (Orizzonte A) sono rappresentati con il colore grigio, l'orizzonte sciolto detritico-colluviale con il colore marrone (Orizzonte B), il "cappellaccio" con il colore verde chiaro (Orizzonte C) ed il basamento roccioso "sano" con verde scuro (Orizzonte D); il semicerchio nero evidenzia la superficie di scorrimento a coefficiente minore.

La verifica di stabilità globale della sezione *1-1* ha mostrato, come superficie di scorrimento più critica (semicerchio nero), quella passante da circa metà della struttura di deposito, fino a circa la fine del corpo di deposito stesso, con un coefficiente minimo *Fs di 1.19*, comprendente sia i detriti ardesiaci sia le coltri sciolte di copertura; tale condizione di coefficiente minimo *Fs* superiore all'unità, delinea una *situazione di completa stabilità* (cfr. schema soprastante).

Le analisi di stabilità hanno evidenziato come la realizzazione dell'intervento a progetto, non presenta particolari condizioni di criticità. I fattori di sicurezza ottenuti in tale situazione sono risultati in linea con le prescrizioni dettate dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018).*

Viene riportato in seguito il report di calcolo:

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	44,433504/9,232081
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4186,64 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	77,35 m
Ascissa vertice destro superiore xs	4190,83 m
Ordinata vertice destro superiore ys	80,65 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
Classe d'uso: Classe II
Vita nominale: 50,0 [anni]
Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: E
Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,31	2,5	0,2
S.L.D.	50,0	0,39	2,54	0,22
S.L.V.	475,0	0,95	2,51	0,28
S.L.C.	975,0	1,24	2,49	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,5952	0,2	0,0121	0,0061
S.L.D.	0,7488	0,2	0,0153	0,0076
S.L.V.	1,824	0,2	0,0372	0,0186
S.L.C.	2,3808	0,24	0,0583	0,0291

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0153
Coefficiente azione sismica verticale 0,0076

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	4159,75	33,73
2	4179,5	36,47
3	4179,36	35,97
4	4181,63	35,97
5	4181,63	36,77
6	4182,09	36,83
7	4202,03	50,77
8	4203,05	50,94
9	4208,94	51,04
10	4211,87	51,1
11	4225,1	51,0
12	4227,4	51,1
13	4232,02	51,1
14	4233,95	53,3
15	4244,41	58,3

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	4159,75	33,73
2	4179,5	36,47
3	4179,36	35,97
4	4181,63	35,97
5	4181,63	36,77
6	4184,36	37,15
7	4189,48	38,7
8	4192,51	39,61
9	4221,62	48,41
10	4227,4	51,1
11	4232,02	51,1
12	4233,95	53,3
13	4244,41	58,3

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	4159,75	28,86
2	4167,51	31,14
3	4176,36	33,73
4	4192,14	38,39
5	4244,41	53,76

Vertici strato 3

N	X (m)	y (m)
1	4159,75	27,31
2	4244,41	52,24

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 0,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0		38	2200	2300		
2	0.05	0.2	28	1700	1800		
3	0.5		35	2200	2300		
4	1		43	2700	2800		

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m³)
1	4181,64	36	0	0	2	1,7	2,3	2800

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm²)
1	4227,44	51,09	4231,94	51,09	0,3

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,19
Ascissa centro superficie	4187,06 m
Ordinata centro superficie	77,35 m
Raggio superficie	38,66 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 4187,058 yc = 77,346 Rc = 38,657 Fs=1,189

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,06	-1,2	3,06	7591,08	116,14	57,69	0,0	32,0	0,0	7674,4	4034,1
2	3,06	3,4	3,06	21419,48	327,72	162,79	0,0	32,0	0,0	20807,7	10954,8
3	3,06	8,3	3,09	32880,16	503,07	249,89	0,04	23,0	0,0	31439,8	12412,9
4	3,06	12,7	3,13	42806,45	654,94	325,33	0,04	23,0	0,0	40384,8	15888,1
5	3,06	17,7	3,21	51706,33	791,11	392,97	0,04	23,0	0,0	48404,7	19308,7
6	1,92	20,6	2,05	36282,45	555,12	275,75	0,04	23,0	0,0	33938,6	13705,1
7	1,01	24,0	1,11	19585,58	299,66	148,85	0,04	23,0	0,0	18351,1	7594,6
8	5,89	29,6	6,77	95193,59	1456,46	723,47	0,04	23,0	0,0	89906,0	39584,8
9	2,93	36,6	3,65	29177,52	446,42	221,75	0,0	32,0	0,0	26140,1	17109,6
10	3,52	44,0	4,89	14045,94	214,9	106,75	0,0	32,0	0,0	12952,6	9463,

8. GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

Presa visione del progetto, si può riferire della presenza di movimenti terra e sbancamenti in corrispondenza dello stesso, per la realizzazione delle opere a progetto (pista di accesso e realizzazione muro di contenimento al piede). Per quanto riguarda gli aspetti tecnico-realizzativi delle opere, di essi si parlerà nel capitolo conclusivo mentre per ciò che attiene alla gestione dei materiali di scavo, gli stessi saranno totalmente riutilizzati all'interno del sito.

In riferimento all'*Art. 185 del Decreto 152 del 2006* sul riutilizzo delle terre e rocce da scavo all'interno dello stesso sito e all'*art. 24* del *D.P.R. n°120* del 13 giugno 2017, si specifica che si intende riutilizzare totalmente il materiale di scavo all'interno del sito per riporti nel corpo del rilevato necessario per le previste operazioni di ripristino vegetazionale (utilizzo materiale sciolto).

La non contaminazione dei materiali prodotti dagli scavi, va comunque verificata ai sensi dell'*Allegato 4* del *D.P.R. 120/2017* mediante verifica del rispetto dei limiti di cui alla tabella *1 All. 5 Tit. V p. IV* del *T.U.A.* (*Decreto Legislativo n°152 del 2006*) e quindi con un prelievo ed analisi dei materiali. Il materiale riutilizzato non deve essere contaminato e riutilizzato allo stato naturale; l'analisi del campione di terreno deve essere tenuta in cantiere.

9. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE

Il complesso di dati ottenuti attraverso le indagini permette di esprimere un *positivo parere di fattibilità geologica circa la proposta edilizia*, in quanto quest'ultima è adattabile alle condizioni generali (geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche ed idrauliche) riscontrate in sito.

Nonostante il positivo parere di fattibilità, sarà comunque necessario rispettare alcune prescrizioni, per l'ottimizzazione dell'intervento nonché per la sicurezza del cantiere e delle maestranze. Si riportano in seguito i vari scenari di interesse geologico-geotecnico connessi con gli interventi a progetto.

Per la sistemazione definitiva della struttura di deposito, è prevista la realizzazione di un muro di contenimento al piede, in blocchi di ardesia, partendo dal lato Sud del rilevato e procedendo verso Nord; tale muro avrà un'altezza compresa fra 1.50 e 2.0 metri.

Per l'imposta del muro sono previsti scavi che interesseranno esclusivamente le coltri detritico-colluviali (*Orizzonte B*), i quali dovranno avvenire a campioni di ampiezza e lunghezza contenuta, per evitare cedimenti di porzioni di pendio a monte, riprofilando le coltri alla sommità degli sbancamenti in modo da evitare smottamenti dei materiali sciolti.

Relativamente alle fondazioni del muro, come si evince dall'allegata sezione geologica interpretativa (cfr. Tavola 4), le stesse insisteranno sulle coltri sciolte (*Orizzonte B*), geotecnicamente scadenti: a basso angolo di attrito e coesione bassissima, a capacità di autosostegno molto bassa, quindi molto spingenti.

La progettazione esecutiva dovrà evitare eterogeneità del terreno fondazionale, responsabile di pericolosi cedimenti differenziali: dovranno essere rimossi i livelli più alterati e scadenti delle coltri sciolte. Il piano di fondazione, che sarà approfondito di almeno 70-80cm da p.c., dovrà essere adeguatamente compattato con energica azione meccanica, al fine di garantire una maggiore compatibilità tra i carichi statici e le proprietà geotecniche del terreno.

Il muro sarà costituito mediante massi o blocchi rocciosi ardesiaci con peso unitario minimo di 4-5ton. La posa dei massi avverrà a secco mediante escavatore assicurando il massimo interblocco, ossia disponendoli in modo che ogni elemento si incastri bene con quelli adiacenti aumentando la stabilità del muro. I blocchi di ardesia saranno posati disponendo gli elementi maggiori alla base, con piani di sfaldamento orientati orizzontalmente. Ogni corso sarà realizzato inserendo periodicamente elementi di testata più lunghi per garantire la connessione tra il paramento esterno e il corpo interno della muratura. Il paramento sarà inclinato leggermente verso monte per migliorare la stabilità, mentre il retro del muro, nella parte a contatto con il terreno, verrà riempito con pietrame minuto per favorire il drenaggio e l'assestamento dell'opera.

L'intervento dovrà essere ottimizzato mediante realizzazione di opere di regimazione delle acque superficiali, consistenti nella costruzione di una canaletta di raccolta e convogliamento, opportunamente impermeabilizzata, posizionata lungo tutto il perimetro di valle, a ridosso del muro di contenimento, con scarico defluente nel vicino *Rio Provino*. Sarà inoltre ripristinata idonea cunetta lungo il lato monte della strada sterrata che fiancheggia il piazzale, in modo tale da impedire eventuali ruscellamenti di acque provenienti da monte all'interno dell'area occupata dalla struttura di deposito.

Come azione di difesa idraulica si raccomanda, di provvedere alla pulizia sistematica della cunetta stradale, della canaletta di racconta e del canale aperto o della tubazione al rio, con rimozione del materiale solido e vegetazionale, almeno due volte all'anno e qualvolta se ne presenti la necessità, onde favorire il deflusso idrico e contrastare il dissesto idrogeologico.

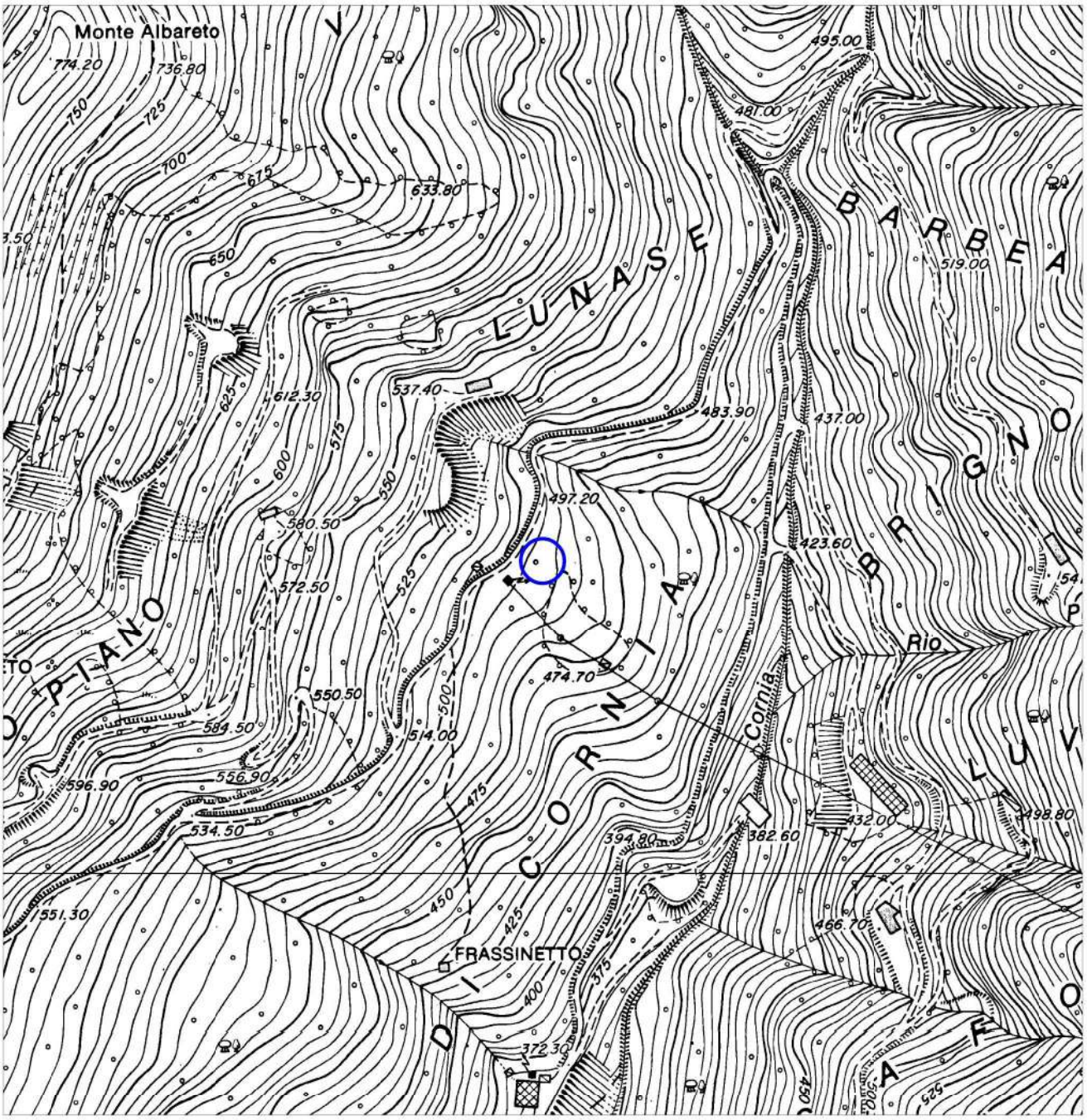
Visto la delicatezza dell'intervento, nel corso dei lavori sarà necessaria l'assistenza del geologo per valutare le condizioni del terreno, verificare le quote di ammorsamento delle fondazioni ed accertare l'idrogeologia subsuperficiale, onde ottimizzare i sistemi di captazione e drenaggio disciplinato delle eventuali zone di impregnazione idrica.

È dunque necessario affiancare alla *Direzione Lavori delle Opere* la figura professionale di un Geologo, in modo tale da preparare al termine del cantiere un rapporto conclusivo tecnico "*di fine lavori*" a firme congiunte.



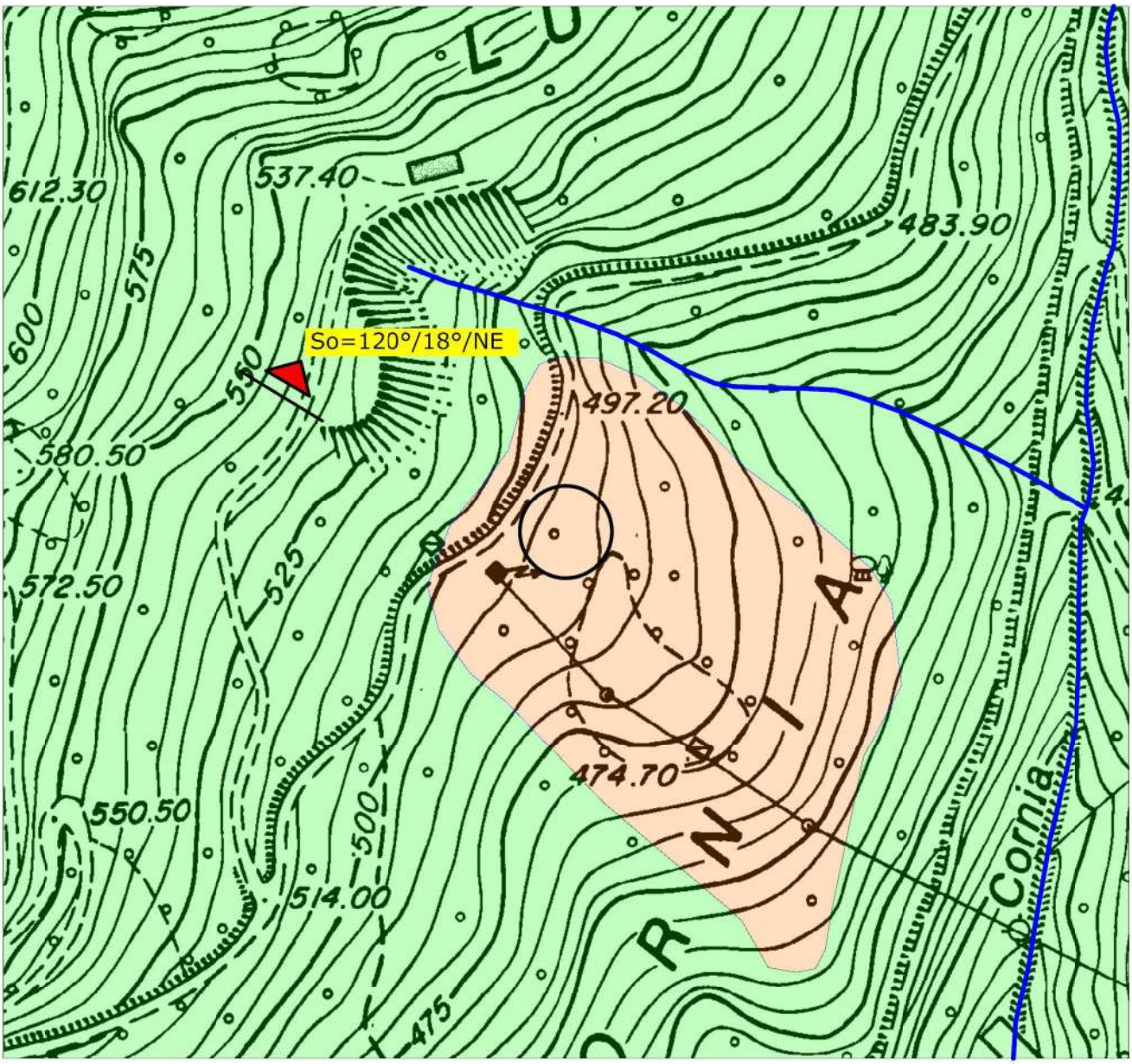
Cicagna, 26 novembre 2025 ***dott. geol. Andrea Ghilino***

TAV. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000



UBICAZIONE AREA DI INTERESSE
ELEMENTO DELLA C.T.R. n°214151 - Moconesi

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA SCALA 1:2.500



LEGENDA

AREA DI INTERVENTO

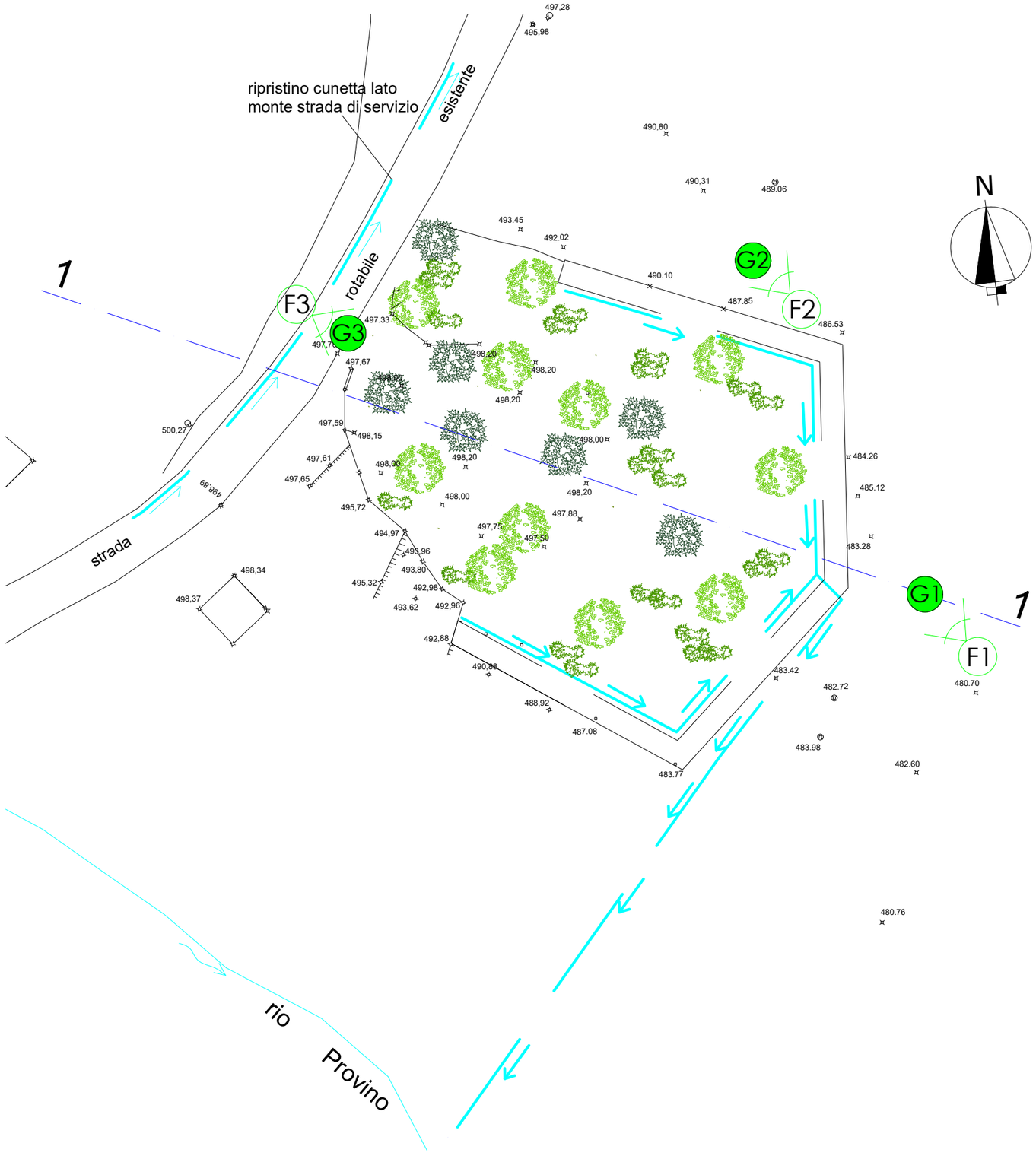
FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI AFFIORANTE E/O SUBAFFIORANTE
CON COPERTURE ELUVIO-COLLUVIALI DI SPESSORE GENERALMENTE COMPRESO FRA 1 E 3M

GIACITURA DI STRATO (So)

COLTRI SCIOLTE DI COPERTURA DI NATURA DETRITICO-COLLUVIALE
DI SPESSORE GENERALMENTE COMPRESO FRA 2 E 5M

PRINCIPALI VIE DI DEFLUSSO IDRICO SUPERFICIALE

TAVOLA 3: PLANIMETRIA TECNICA SCALA 1:200



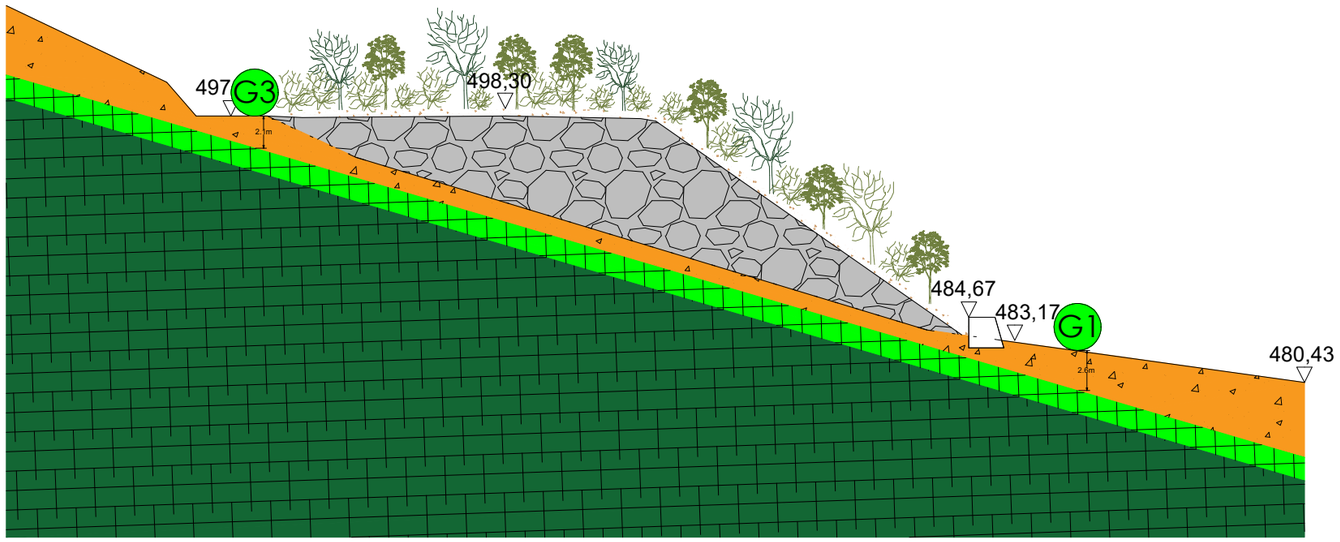
LEGENDA

F1 — UBICAZIONE SCATTI FOTOGRAFICI

TRACCIA DI SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

G1 — UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE REALIZZATE

TAVOLA 4: SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 1-1 STATO FINALE SCALA 1:200



LEGENDA

STRATIGRAFIA

- DETRITI ARDESIACI (Orizzonte A)
- COLTRI SCIOLTE DETRITICO-COLLUVIALI (Orizzonte B)
- AMMASSO ROCCIOSO ALTERATO E CON SACCHE DETRITICHE: "CAPPELLACCIO" (Orizzonte C)
- BASAMENTO ROCCIOSO "SANO": FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI (Orizzonte D)

G1 UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE REALIZZATE

TAVOLA 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Postazione indagine geofisica G1

Strumentazione utilizzata per la registrazione di microtremore: sismometro tricomponente *Gemini 2* prodotto dalla ditta *Pasi* di *Torino* utilizzato per l'acquisizione delle vibrazioni ambientali per la prova *H/V*. Si nota il sismometro (colore arancione) ed il computer portatile. Il sismometro è accoppiato con il terreno a mezzo di piedini appuntiti infissi a terra.



Foto 2: Postazione indagine geofisica G2



Foto 3: Postazione indagine geofisica G3