



COMUNE DI LENOLA

PROVINCIA DI LATINA

REGIMAZIONE TORRENTE PANTANO POZZAVEGLIE PER DIFESA DEL TERRITORIO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO

DECRETO M.I.T. 23.02.2021

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

CUP: D34H20001220001

R.T.P. PROGETTAZIONE E DIREZIONE LAVORI

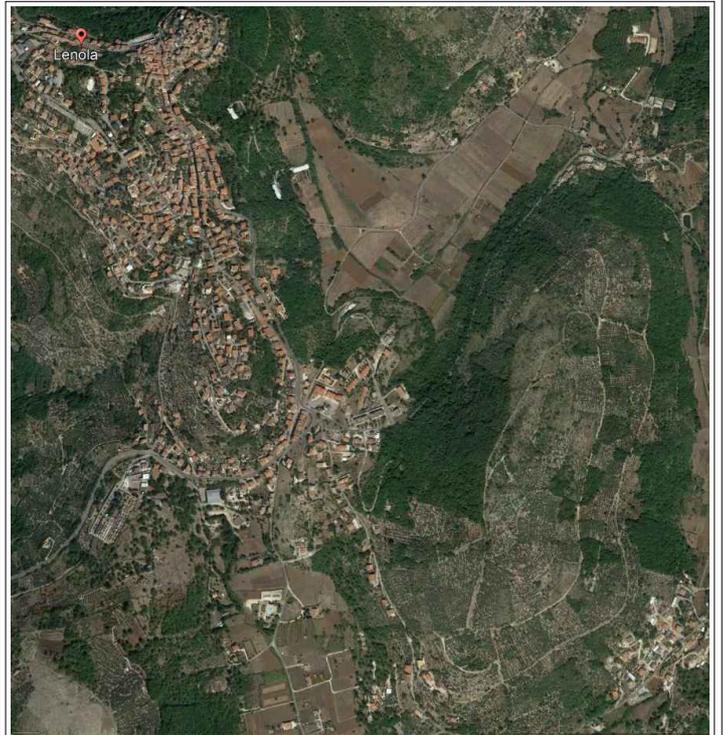
Ing. Simone Quinto

Geol. Mario Macaro



Agr. Mauro Francesconi

Geom. Carmine Terelle



IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA
IN FASE DI PROGETTAZIONE E DI ESECUZIONE
Arch. Piero Massimo Cerasoli

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Area Tecnico Urbanistica
Ing. Pietro D'Orazio

TITOLO TAVOLA

RELAZIONE GEOLOGICA

NUM.

06

SCALA

DATA

REVISIONE

Ottobre 2021

Prima emissione

VISTI

INDICE

1	PREMESSA	1
2	CARTOGRAFIA ALLEGATA	2
3	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	2
4	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	6
6	ASSETTO STRATIGRAFICO DEL SITO	8
7	IDROGEOLOGIA DELL' AREA	11
8	STATO DEI LUOGHI, CARATTERI GEOMORFOLOGICI E PUNTI DI CRITICITÀ	14
9	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI AFFIORANTI	31
9.1	LA CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKY	31
9.1.1	CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO	39
10	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INTERESSATI DAGLI INTERVENTI	42
10.1	METODO D'INDAGINE	42
10.2	PRESENTAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI	52
11	INDAGINE GEOFISICA	56
11.1	SISMICA PASSIVA: TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSr	56
12	SISMICITA' DELL'AREA E CATEGORIE DI SUOLO [Decreto 17 gennaio 2018]	58
13	CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO OGGETTO DELL'INTERVENTO	65
14	CONCLUSIONI	65

ALLEGATI

CARTE DI INQUADRAMENTO TERRITORIALE
STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA
STRALCIO CARTOGRAFIA DEL P.A.I.
STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA
STRALCIO CARTA DEI BACINI IDROGRAFICI
CARTA DELLE INDAGINI
CARTA GEOLOGICA
SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE
CARTA DELLA PERICOLOSITÀ
FASCICOLO DELLE INDAGINI E DELLE PROVE

1 PREMESSA

Nella presente relazione si illustrano i risultati di uno studio geologico di dettaglio eseguito nelle località Pantano-Pozzaveglie, nel Comune di Lenola (LT), a corredo degli interventi riguardanti la *"regimazione Torrente Pantano Pozzaveglie per difesa del territorio da dissesto idrogeologico"*.

Il Comune di Lenola (LT), nell'ambito della realizzazione di progetti per interventi relativi a opere pubbliche di messa in sicurezza degli edifici e del territorio, è risultato assegnatario di un contributo stabilito dal Decreto del M.I.T. del 23.02.2021, prevedendo, pertanto, una serie di interventi finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico relativamente ai torrenti Pozzaveglie e Pantano, interessati da diversi eventi di esondazione che hanno arrecato danni e disagio alla popolazione residente.

Tale studio è stato espletato mediante rilevamento geologico-geomorfologico, esteso ad un'area più ampia di quella interessata dal progetto, ed effettuando indagini geotecniche dirette - consistenti in n. 4 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH) - e indagini geofisiche.

E' stato così possibile accertare la reale situazione litostratigrafica, ricostruire il modello geologico-idrogeologico locale, definire le caratteristiche geotecniche dei terreni nell'immediato sottosuolo, verificare la stabilità dell'area, individuando punti critici e fenomeni di dissesto che interessano le sponde dei torrenti e le aree a potenziale vulnerabilità e pericolosità.

In sintesi, per l'espletamento dell'incarico il piano di indagini è stato così articolato:

- ricerca bibliografica;
- fotointerpretazione;
- rilevamento geologico-geomorfologico di dettaglio;
- N. 4 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH);
- N. 3 misurazioni del rumore sismico mediante la tecnica dei rapporti spettrali HVSR di Nakamura;

- elaborazione dei dati e stesura della relazione finale illustrativa.

Per la redazione della presente relazione ci si è avvalsi delle conoscenze acquisite attraverso studi analoghi eseguiti nelle aree limitrofe ed in tutto il territorio comunale.

2 CARTOGRAFIA ALLEGATA

Alla presente relazione, oltre le carte di inquadramento territoriale e la carta geologica in scala 1:100.000, si allega la seguente cartografia:

- stralcio carta idrogeologica;
- stralcio carta dei bacini idrografici;
- stralcio cartografia del P.A.I.;
- carta delle indagini;
- carta geologica di dettaglio;
- sezioni geologico-tecniche;
- carta della pericolosità.

In un fascicolo allegato alla presente relazione sono riportate, infine, in merito ad ogni indagine eseguita, gli elaborati numerici e grafici.

La documentazione fotografica relativa alle indagini è inserita all'interno della presente relazione.

3 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

La presente indagine geologica è stata redatta in ottemperanza alle norme vigenti in materia.

Di seguito si pone in evidenza quanto indicato dal Decreto 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»-MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI (G.U. del 20 febbraio 2018, n.42 Serie generale-S.O. n. 8), in merito alle finalità e ai contenuti della relazione geologica.

Decreto 17 gennaio 2018:

Paragrafo 6.1.2: PRESCRIZIONI GENERALI.

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, **devono essere esposti in una specifica relazione geologica** di cui al § 6.2.1.

...

Decreto 17 gennaio 2018:

Paragrafo 6.2: ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO.

Il progetto delle opere e degli interventi si articola nelle seguenti fasi:

- 1.caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- 2.scelta del tipo di opera o di intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
- 3.caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce presenti nel volume significativo e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo (cfr. § 3.2.2);
- 4.definizione delle fasi e delle modalità costruttive;
- 5.verifiche della sicurezza e delle prestazioni;
- 6.programmazione delle attività di controllo e monitoraggio.

Decreto 17 gennaio 2018:

Paragrafo 6.2.1: CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una **relazione geologica**, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

Sempre dal punto di vista normativo, i seguenti strumenti legislativi costituiscono la cornice di riferimento per la realizzazione del presente studio:

- Delibera di Giunta Regionale n. 387 del 22 maggio 2009 – Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28

Aprile 2006 e della DGR Lazio 766 /03 (B.U.R.L. del 27 giugno 2009, n. 24 - S.O. n. 106).

- Regolamento 26 ottobre 2020, n. 26 – Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n. 14 e successive modifiche (27/10/2020 - BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE LAZIO - N. 129).
- Regolamento regionale 16 Aprile 2021 n. 7 – Modifiche al regolamento regionale 26 ottobre 2020, n. 26 (Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n. 14 e successive modifiche (BUR 20 Aprile 2021, n. 39).

4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le aree oggetto d'intervento sono ubicate nel Comune di Lenola (LT) nelle Località Pozzavegli (SITO 1) e Pantano (SITO 2), settori pianeggianti posti, rispettivamente, a Sud e ad Est del centro abitato del Paese, a cui si accede dalla S.R. di Frosinone e Gaeta 637, proseguendo in via Pozzavegli (SITO 1) e in via Colle Pantano (SITO 2).

Le aree risultano comprese nella Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000 Foglio 160 "Cassino", ricadono nella Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 sez. nn. 415020 "Fondi" (SITO 1) e 402140 "Lenola" (SITO 2) e, più in dettaglio, nella Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1: 5.000 (CTRN) elementi nn. 415021 "Camposarianni" (SITO 1) e 402142 "Lenola" (SITO 2).

L'area è distinta in Catasto ai F. 25, 20 e 14. In merito alle particelle che si ritiene possano essere interessate dalla necessità di occupazione temporanea per

le lavorazioni del cantiere finalizzato alla manutenzione idraulica dei fossi, si rimanda al *Piano particellare di occupazione temporanea*.



Inquadramento dell'area con ubicazione dei siti oggetto d'intervento

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La regione oggetto di studio è rappresentata dal settore centrale della catena appenninica, la quale si inquadra nel complesso sistema geodinamico mediterraneo. L'area mediterranea centro-occidentale è un mosaico di frammenti litosferici e crostali formato da strutture geologiche di natura ed evoluzione assai differente: accanto alle catene montuose, l'area ha visto la nascita e la progressiva evoluzione di bacini marini di limitate dimensioni caratterizzati, come il Tirreno, dalla formazione di nuova crosta, simile a quella delle grandi strutture oceaniche. Tali bacini sono nella maggior parte il risultato di una fase distensiva recente (Eocene - attuale), mentre le catene orogeniche che li circondano, tra le quali gli Appennini, testimoniano un ciclo tettonico prima distensivo e poi compressivo cominciato all'inizio del Mesozoico.

La storia geologica dell'area in studio è, quindi, solo un dettaglio di un processo geodinamico che ha interessato, a partire dal Triassico, larga parte del Mediterraneo allorquando la zolla africana ed europea costituivano un'unica entità entro la quale si stava sviluppando un bacino aperto verso est chiamato Golfo della Tetide. Si formarono complessi di piattaforma, di margine, di scarpate e di bacino, ciascuno dei quali caratterizzati da associazioni di litotipi che si alternavano e si ripetevano in vario modo in funzione dell'evoluzione dell'area.

Nel corso del tempo le profonde trasformazioni si sono tradotte in cambiamenti sostanziali nella paleogeografia degli ambienti, con conseguente sviluppo di sequenze di facies diverse.

La complessità di questo settore della crosta terrestre è dovuta alla presenza di placche minori o "microplacche" (Iberia e Adria) che, con il loro movimento, accomodavano la convergenza, a partire dal Cretaceo Inf., tra la placca africana ed europea.

La formazione degli Appennini è dovuta all'azione contemporanea di apertura del Mar Tirreno, iniziata intorno a 10 Ma, alla rotazione antioraria

della catena e alla conseguente migrazione verso E dei fronti compressivi, le cui evidenze sono date dai numerosi thrust disposti in direzione NW – SE.

Nel Quaternario, tale assetto tettonico cambia radicalmente; lo sviluppo della catena appenninica comincia a essere dominato da un regime di estensione crostale, dovuto probabilmente all'approfondimento della litosfera adriatica al di sotto della catena e alla contemporanea migrazione del sistema fronte – avanfossa – avampaese verso NE. La conseguente tettonica estensionale influenza l'attuale assetto strutturale dell'Appennino centrale, con il riutilizzo delle vecchie strutture dei thrust e lo sviluppo di faglie a orientazione appenninica, responsabili anche della formazione di bacini intramontani con orientazione parallela alla catena, nei quali si vengono a depositare sedimenti pliocenico quaternari.

Nella nostra area le associazioni di litotipi risultano costituite da sequenze di piattaforma: litologie che testimoniano un ambiente ad energia medio-bassa, subsidente, che non risente in modo evidente della vicinanza con aree continentali.

A partire dal Mesozoico fino alla fine del Miocene inizia a determinarsi la formazione della catena dei monti Lepini-Ausoni-Aurunci, grosso sistema orografico carbonatico, con altitudini fino a circa 1500 m., e si originano, altresì, sistemi vallivi che bordano le zone più rilevate, quali la Valle Latina, la Pianura Pontina, la Piana di Fondi e del Garigliano, ricoperte da sedimenti continentali, fluvio-lacustri e piroclastici.

I monti Lepini – Ausoni - Aurunci sono caratterizzati da monoclinali, immergenti prevalentemente a NE, formate da calcari dolomitici e dolomie in facies neritica interna; tali intervalli sono riferibili all' intervallo Giurassico medio – Paleocene.

I sedimenti carbonatici dei rilievi suddetti costituiscono un esempio chiaro di piattaforma ristretta in cui la continua e regolare subsidenza compensa la sedimentazione calcarea; questo equilibrio perdura dal Lias fino al Miocene

medio e dà come risultato l'accumulo di forti spessori di sedimenti di acque poco profonde ricche in associazioni fossilifere caratteristiche.

Il sollevamento della catena fino alle quote attuali sembra essere un evento molto recente avvenuto per gran parte nel corso del quaternario, e dovuto probabilmente ad un fenomeno di natura essenzialmente isostatica legato ad un riequilibrio di masse tuttora in corso.

Dal punto di vista strutturale e tettonico, l'azione orogenetica che ha prodotto l'attuale assetto e posizionamento della dorsale carbonatica di piattaforma (monti Lepini –Ausoni –Aurunci) si è svolta prevalentemente nel periodo Neogenico (Tortoniano – Messiniano) e, come in altre aree dell'Appennino, probabilmente anche in questo settore la tettonica compressiva si è sviluppata, a partire dal settore lepino – ausono – aurunco, in diverse fasi.

I grandi rilievi carbonatici che caratterizzano l'area hanno, nel complesso, una tettonica abbastanza unitaria. Mentre i monti Lepini hanno un allineamento appenninico più spiccato, i monti Ausoni sono disposti ad anfiteatro, cioè ad emisinclinale con centro nella piana di Amaseno, con molte faglie dirette ancora in senso appenninico; gli Aurunci mostrano invece una disposizione a zolle, o a mosaico, senza direzioni preferenziali ben evidenti.

Il gruppo degli Ausoni – Aurunci è stato interessato, inoltre, da un notevole movimento traslativo in parte verso N ed in parte verso NE; testimonianza di ciò è la presenza di una piccola placca calcarea posta 8 km a S di Lenola, formata da calcari del Giurassico Sup. e del Cretaceo sovrapposti, tramite modesti lembi di argille, a materiali più giovani.

6 ASSETTO STRATIGRAFICO DEL SITO

Nell'area d'intervento il rilevamento geologico, supportato dai risultati dei prove penetrometriche e delle indagini geofisiche, ha permesso di ricostruire la serie stratigrafica locale fino alle profondità medie dal piano campagna di 10 metri (SITO 1) e di 12 metri (SITO 2).

In particolare nei siti oggetto di studio si rinviene, dall'alto verso il basso, la seguente successione stratigrafica:

- Formazione quaternaria delle terre rosse di origine eluvio-colluviale, costituita da argille sabbiose, debolmente sabbiose o limose aventi spessori che vanno da 5 m a 10 m da p.c. per il SITO 1 e da 2 m a 12 m da p.c. per il SITO 2. Tali depositi sono talora sormontati da riporti di 40-60 cm.
- Substrato costituito dalla formazione carbonatica mesozoica: trattasi, come risulta evidente dall'analisi della superficie fresca, di calcari avana chiaro micritici nei quali si riconoscono microfossili foraminiferi e giunti stilolitici; queste litologie, affioranti o sub affioranti nei settori a monte delle aree oggetto d'intervento. Si presentano stratificate, carsificate e fratturate negli strati superficiali.



Affioramenti calcarei a monte dell'Inghiottitoio del Pantano



Affioramenti rocciosi a monte del Torrente Pantano, a S-E della Chiavica Liverani



Affioramento calcareo a monte del Torrente Pozzaveglie

In tale formazione, come risulta dai rilevamenti geomeccanici effettuati in affioramenti adiacenti i siti in esame, a monte dei questi ultimi, si rileva quanto di seguito riportato.

SITO 1

I piani di strato hanno orientazione N 20°/12° con spaziatura di ~13-16 cm e la continuità di porzioni di matrice rocciosa risulta essere interrotta da superfici di discontinuità.

Le famiglie di discontinuità, sono le seguenti:

- discontinuità K1, con orientazione N 253°/84° e spaziatura di ~9-17 cm;
- discontinuità K2, con orientazione N 175°/66° e spaziatura di ~16-22;
- discontinuità K3, con orientazione N 101°/78° e spaziatura di ~31 cm.

SITO 2

I piani di strato hanno orientazione media N 190°/18° con spaziatura media di circa 27.5 cm.

Le famiglie di discontinuità che si riscontrano alla scala del rilevamento, in una stazione geomeccanica rappresentativa dell' affioramento, sono almeno tre:

- discontinuità K1, con orientazione media N 310°/82 e spaziatura media di circa 110 cm;
- discontinuità K2, con orientazione media N 178°/65° e spaziatura media di 105 cm;
- discontinuità K3, con orientazione media N 243°/68° e spaziatura media di circa 45 cm.

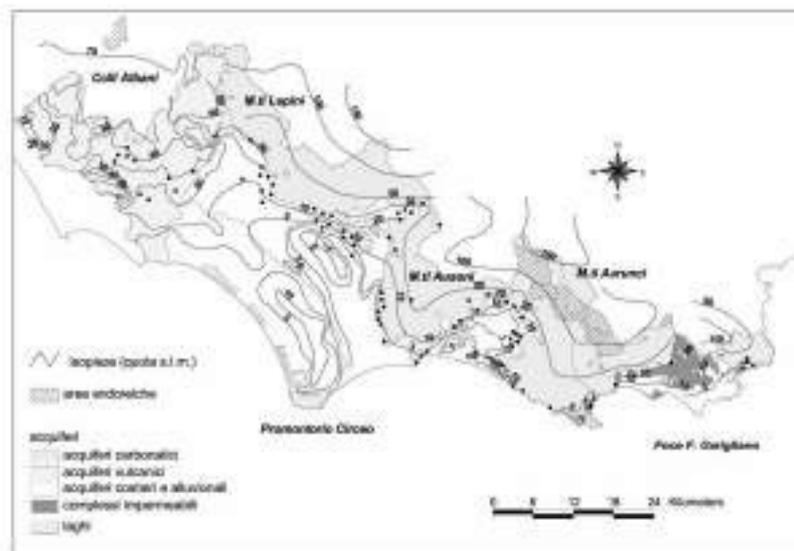
In superficie si rinvengono segni di alterazione chimica (microforme carsiche), dovuti in particolare alla capacità dissolutiva delle acque di deflusso superficiale.

7 IDROGEOLOGIA DELL' AREA

Dal punto di vista idrogeologico, l'area appartiene all'ampia idrostruttura costituita dalla catena dei monti Ausoni ed Aurunci, caratterizzata da due diversi tipi litologici che presentano, per quel che concerne le caratteristiche di permeabilità, marcate differenze: terreni a bassa permeabilità circondano rocce fortemente permeabili.

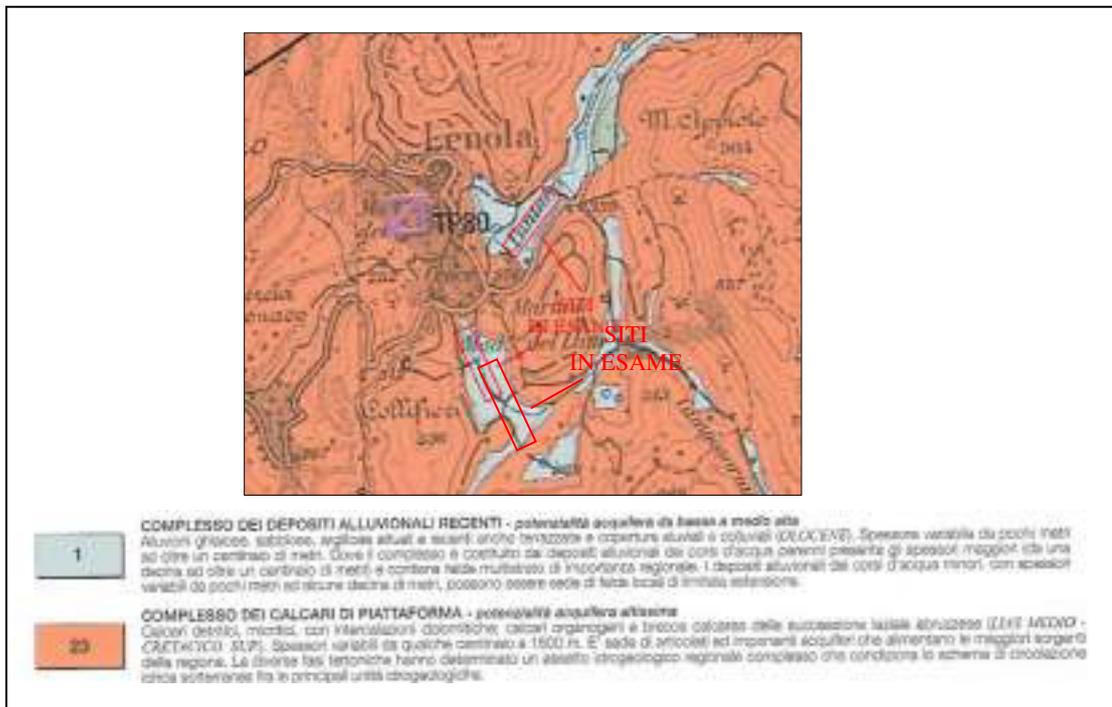
Queste ultime sono riferibili alla formazione mesozoica carbonatica, costituita da calcari e calcari dolomitici con spessori superiori ai 2000 metri; è fortemente fratturata e ciò conferisce alla formazione suddetta una permeabilità secondaria, per fatturazione e carsismo, ed una capacità di assorbire fino a 1000 mm di acqua meteorica; quest' ultima va ad alimentare l'acquifero basale di tutta la struttura carbonatica che defluisce verso la Piana di Fondi ed alimenta diverse sorgenti poste nella fascia pedemontana.

I terreni a bassa permeabilità sono caratterizzati dal complesso di copertura recente, costituito da suoli, paleosuoli, terre rosse, coperture eluviali e colluviali di spessori inferiori in genere a una decina di metri; la granulometria di tali depositi e la presenza di minerali argillosi fanno sì che la permeabilità per porosità sia scarsa.



Schema idrogeologico della Provincia di Latina (Fonte: *Alimonti et al, 2005*)

Dalla lettura della “Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio” è evidente come il settore esaminato contribuisca all'alimentazione delle sorgenti poste lungo la fascia pedemontana dei monti Ausoni nel territorio comunale di Fondi e le direttrici di flusso risultino, quindi, dirette verso di esse.



Stralcio Carta Idrogeologica del Lazio

I depositi di copertura indagati che ricoprono i calcari e che caratterizzano il sito di pertinenza, presentano in media bassa permeabilità e possono ospitare una modesta circolazione idrica solo in corrispondenza dei livelli a granulometria più grossolana e di spessore abbastanza consistente.

Non si può escludere, quindi, l'eventuale presenza di falde sospese più superficiali, vista anche la continua presenza di acqua nel letto dei torrenti, anche se di limitata entità, probabilmente riconducibili a piccole sorgenti perenni che alimentano un minimo deflusso di base nei torrenti stessi.

Localmente la falda acquifera, relativa all'acquifero basale, si rinviene ad una profondità dell'ordine dei 300 metri circa.



Schematizzazione idraulica

8 STATO DEI LUOGHI, CARATTERI GEOMORFOLOGICI E PUNTI DI CRITICITÀ

Per lo studio dell'assetto geomorfologico del territorio in esame, ad un'analisi della cartografia e delle fotografie aeree disponibili ha fatto seguito il rilevamento di campagna di dettaglio.

Attraverso una fase preliminare di analisi del territorio con immagini aeree dell'intero tratto esaminato e successivamente sulla base di un rilievo topografico di dettaglio, è stato possibile individuare le zone laddove si è ritenuto importante approfondire lo studio dei caratteri geologici e geomorfologici. Durante l'intera attività di campagna è stata raccolta un'ampia documentazione fotografica su supporto digitale, che consente di poter formulare ipotesi relative allo sviluppo di eventuali potenziali fenomeni di instabilità.

I settori di analisi si trovano alle quote di circa 338 m (SITO 1) e di circa 325 m (SITO 2) s.l.m. Sono ubicati su settori pianeggianti appartenenti e alla piana “Pozzavelli” e al bacino “Pantano” posti rispettivamente a Sud e ad Est del rilievo su cui è impostato il centro abitato di Lenola.

L’area oggetto di studio (SITO 1), su area vasta, si raccorda a Nord-Est con Monte Raparolo, a Sud-Ovest su “Collifieri” mentre a Sud-Est si sviluppa il bacino di Valle Fosca.

In merito al SITO 2 l’area si raccorda, considerando sempre un areale ampio, con Monte la Guardia a Nord, con la loc. San Martino a Sud e con Monte Appiolo ad Est. A Sud-Est si rinviene l’abitato di Liverani.

L’acclività dei versanti è talora mitigata dalla presenza di terrazzamenti, i quali connotano in modo evidente il territorio modellando le pendenze del pendio con conseguente andamento topografico a gradini. Muri a secco costituiscono un elemento integrante del paesaggio partecipando all’equilibrio dei luoghi sia sotto forma di sostegno ai terrazzamenti sia quale limite di percorsi che tagliano versanti acclivi.

Il bacino carsico di Pantano–Liverani rappresenta l’elemento morfologico più importante.

La piana di Pantano-Liverani, di origine tettono-carsica, è colma di terre rosse residuali, prodotto della dissoluzione dei calcari, e raccoglie le acque di un ampio bacino che si estende fino al confine con il territorio dei Comuni di Pico e Campodimele.

Nel Comune di Lenola l’assetto morfologico dei bacini imbriferi è condizionato da un fenomeno carsico fortemente sviluppato: ne sono testimonianza le micro e macro forme epigee caratteristiche del paesaggio carsico, come scannellature, impronte, solchi e, negli anfratti rocciosi, depositi di terre rosse residuali.

Il carsismo, nel territorio comunale, gioca un ruolo fondamentale per quanto riguarda il deflusso delle acque superficiali e delle acque sotterranee. In

particolare, la presenza di inghiottitoi carsici rende possibile scambi idrici tra i tre bacini principali del territorio comunale:

- il bacino che raccoglie le acque provenienti dal Colle Pirovennitto e Monte Trelle e che presenta al suo interno, in corrispondenza della piana tettono-carsica del Pantano-Liverani, due inghiottitoi;
- quello più vicino all’abitato di Lenola, che riversa parte delle proprie acque nel bacino di Valle Vignolo;
- il bacino di Valle Fosca, il quale riversa le proprie acque nella Piana di Pozzavelli laddove un inghiottitoio comunica con il bacino di Valle Vignolo.

A causa del ruscellamento superficiale delle acque meteoriche, altro fenomeno frequente è il dilavamento di piccoli volumi di materiali di copertura che si accumulano in corrispondenza dei settori meno inclinati.

La vegetazione è costituita da seminativi, i quali caratterizzano tutta l’area oggetto di studio.

L’attività carsica

L’inizio del processo carsico nell’area dei Monti Ausoni, analogamente a quanto avviene per tutta la catena dei Volsci, si può far risalire probabilmente alla prima emersione di alcuni settori della piattaforma carbonatica alla fine del Cretacico o all’inizio del Paleocene; seguirono successive fasi tettoniche di compressione e dislocazione della catena, con parziali sommersioni di settori di catena e successiva emersione; ne risultano accavallamenti e frammentazioni delle varie placche, e quindi modifiche e frammentazioni del reticolo carsico ipogeo in corso di strutturazione; a volte le unità già carsificate si trovarono, a seguito dei successivi accavallamenti delle placche, sepolte al di sotto delle unità sovrascorse (Centamore et alii, 2002; Centamore et alii, 2007).

Questo assetto tettonico determina anche la formazione, all'interno della catena, di aree di altopiano ribassate rispetto ai rilievi circostanti, che costituiscono antiche superfici di erosione; in queste conche intermontane si formano bacini endoreici colmati da sedimenti recenti, nei quali i corsi d'acqua, non trovando sbocco all'esterno della conca, vengono drenati da inghiottitoi. Nel settore più interno dell'area si apre, infatti, un allineamento di ampie depressioni carsiche.

Una testimonianza del carsismo è la conca endoreica di Lenola, che è drenata in parte dall'Inghiottitoio del Pantano, il cui imbocco è stato regolarizzato e modificato al fine di facilitare il drenaggio della valle, e in parte da varie cavità, fra cui l'inghiottitoio Liverani, una spaccatura di grandi dimensioni ma di non grande sviluppo, e il pozzo Liverani, il cui imbocco è circondato da un pozzo artificiale in muratura.



Polje del Pantano; sullo sfondo la piana di Fondi - Foto di Giovanni Mecchia (Fonte: "Atlante dei fenomeni carsici dei Monti Ausoni Meridionali", Marzo 2020 – Speleo Club Roma, Notiziario 17)

È stato constatato che, in occasione di precipitazioni particolarmente intense, gli inghiottitoi non riescono a smaltire completamente gli afflussi idrici,

con il conseguente allagamento della depressione, come evidenziato nella figura seguente.



Il polje del Pantano allagato a seguito di un periodo di precipitazioni intense (Dicembre 2019) Foto di Lucio De Filippis (Fonte: “Atlante dei fenomeni carsici dei Monti Ausoni Meridionali”, Marzo 2020 – Speleo Club Roma, Notiziario 17)

A quota poco più alta si estende la piana di Ambrifi, nella quale si aprono varie doline e inghiottitoi che presentano imbocchi di dimensioni notevoli, ma senza prosecuzioni percorribili.

Sempre presso Lenola, il bacino di Valle Fosca alimenta l’Inghiottitoio di Pozzavello, una cavità con sviluppo di circa 300 metri che nel suo percorso riceverebbe anche apporti da altri inghiottitoi; le sue acque verrebbero alla luce, in parte, nella Risorgenza dell’Arnale (Segre, 1948).

Si riportano, di seguito, le informazioni relative agli inghiottitoi presenti nelle aree interessate dal Progetto, sempre riportate nell’ ”*Atlante dei fenomeni carsici dei Monti Ausoni Meridionali*”.

Inghiottitoio di Pozzavello

Coordinate UTM (GPS): 33 T 371605 - 4583877- Quota: 328 m slm

Dislivello: -50 m – Sviluppo planimetrico: 300 m circa

Note catastali: la cavità non viene percorsa da moltissimi anni, poiché negli anni '90 vi confluivano scarichi di acque inquinate, e attualmente si trova nell'area di pertinenza del depuratore comunale di Lenola, la cui costruzione ha profondamente modificato tutta la zona circostante. La descrizione si basa sul rilievo esistente e su informazioni bibliografiche.

Fonte: *Mecchia et alii, 2003*

Le acque di un bacino chiuso esteso circa 9 km² vengono convogliate nell'inghiottitoio, il cui ingresso è una fessura d'interstrato bassa (meno di 1 m) e larga (1,5-2 m). La cavità smaltisce le acque anche in occasione di piene eccezionali. Caratteristica della grotta è l'alternanza di gallerie di interstrato (inclinate di 15°-20° verso 200°) strette e quasi prive di concrezioni con pozzi cilindrici ampi e con pareti lisce, che si allargano in salette.

Dopo un breve tratto di galleria piuttosto ampia, un saltino di 3,00 m, immette in una condotta meandreggiante piuttosto bassa e scomoda, lunga circa 50 m seguita da due saltini di 2 m e 5 m. Al di sopra del P2, probabilmente per l'intersezione con una frattura trasversale, confluiscono vari rami: da sinistra la galleria del ramo "Misto"; da destra un ramo fossile superiore (ramo "Bello", punto 6). Alla base del P5 confluisce una galleria sottostante il ramo "Misto" ed un condotto attivo dal quale, secondo Segre (1948a), affluirebbe l'acqua dell'Inghiottitoio del Pantano (19 La/LT).

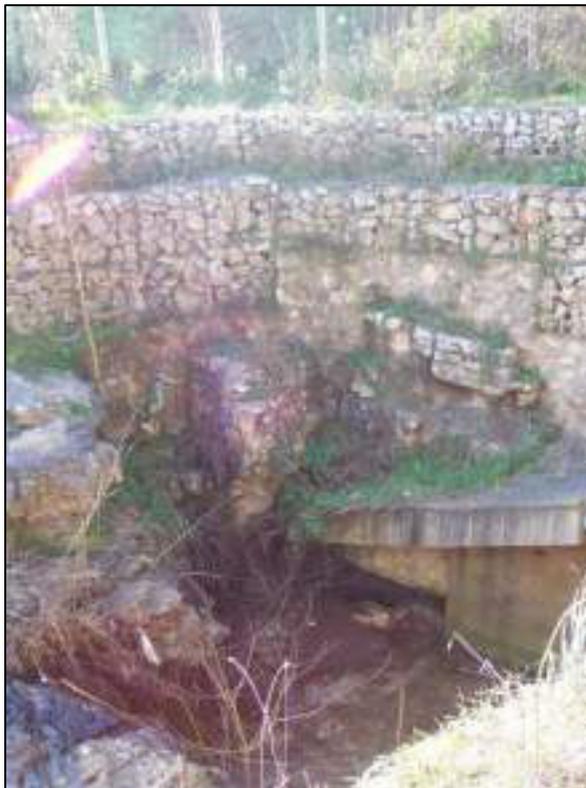
Da qui la grotta prosegue ancora per circa 25 m con uno stretto "meandro", che scende con saltini e marmitte fin a sbucare in un altro pozzo di 6 m, alla cui base si notano, lateralmente, un sifone ed una breve diramazione fangosa. Si prosegue in un breve tratto di "meandro", poi la grotta intercetta un'altra frattura trasversale (punto 9): a monte prosegue con una galleria in salita, il ramo "dei Saltini", mentre a valle scende con due salti di 7 e 6 m in una sala molto alta (punto 11). Oltre la sala il meandro continua fin ad un ulteriore saltino di 3 m seguito da un pozzo di cui non si conosce la profondità (punto 13). Alla base del pozzo la grotta continua con una galleria con il fondo allagato lunga 80 m e sifonante; di quest'ultimo tratto non esiste rilievo. Si ipotizza che le acque che percorrono la grotta vengano a giorno, almeno in parte, nella Risorgenza dell'Arnale (10 La).

Dato che la cavità è stata per molto tempo il punto di assorbimento di acque fortemente inquinate, si può immaginare che l'inquinamento degli ambienti interni sia

della massima rilevanza; ciò è confermato anche dalla presenza di rifiuti di ogni genere nella risorgenza dell'Arnale



Rilievo Inghiottitotio di Pozzavello



Le opere dell'area intorno all'ingresso
(Foto di Giovanni Mecchia)



**Le acque del fosso della Valle Fosca che
si gettano nell'Inghiottitotio di Pozzavello
in un momento di piena** *(Foto di Lucio
De Filippis)*

Inghiottitoio del Pantano

Comune: Lenola (LT) - Località: Pantano

Coordinate UTM (GPS): 33 T 372093 - 4584564 - Quota: 320 m slm

Dislivello: -17 m – Sviluppo planimetrico: 20 m

Si apre nella valle chiusa del Pantano, del quale costituisce l'inghiottitoio principale, che raccoglie anche le acque del torrente Trella proveniente dalla piana di Ambrifi. Secondo Segre (1948a) le acque alimenterebbero le gallerie interne dell'inghiottitoio di Pozzavello (9 La) per poi raggiungere la Risorgenza dell'Arnale (10 La).

Il primo pozzo, profondo 8 m, circondato per la prima parte da una muratura circolare di 1 m di diametro, un tempo era chiuso da una grata ancora visibile sul posto. Il pozzo si allarga alla base in una sala di 7 m x 3, ingombra di massi e fango. Dalla sala parte una galleria lunga 8 m, che giunge al bordo di un pozzo a sezione allungata (4x3 m) che scende verticale per 9 m. Alla base, colmata da fango, un piccolo foro intransitabile smaltisce le acque.

Sul fondo è presente un accumulo di rifiuti e detriti.

Venne esplorato dal CSR nel giugno 1927 per 7 m di profondità e 9 di sviluppo fino ad un tratto ostruito da massi definito "in parte franato, impenetrabile". Successivamente con la bonifica della valle (anni '30 – 40) è stato costruito il pozzo in muratura, che ha consentito di regolarizzare il deflusso delle acque del torrente Trella e del Pantano, e probabilmente in tale occasione l'inghiottitoio è stato disostruito; queste opere hanno consentito, quindi, l'accesso alla cavità. Da allora le alluvioni nella valle sono state sporadiche.

La prima percorrenza completa conosciuta della cavità è ad opera di Lucio De Filippis.



Rilievo Inghiottitoio del Pantano

Chiavica Liverani

Comune: Lenola (LT) - Località: Liverani

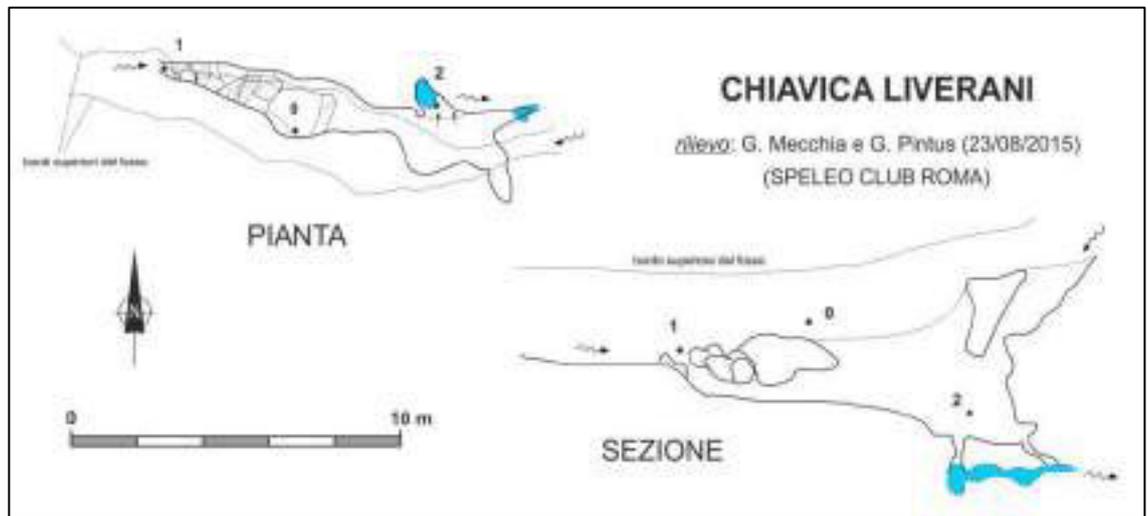
Coordinate UTM (GPS): 33 T 372737 - 4585253 - Quota: 328 m slm

Dislivello: -3 m – Sviluppo planimetrico: 13 m

Inghiottitoio nel quale confluiscono due torrenti, attivi solo nei periodi piovosi, provenienti rispettivamente dalla Valle Cimara e dalla valle del Pantano.

È una larga frattura a cielo aperto, con pareti sub verticali, orientata circa E-O, lunga 15 m e larga da 2 a 4 m. Sul lato Ovest, dove confluiscono i due torrenti (punto 1), la frattura è parzialmente coperta da un ponte di roccia, sotto il quale passa un cunicolo stretto ma transitabile, lungo 6 m, che parte dall'alveo e sbuca sul fondo della cavità. Sul lato Est la cavità chiude con una parete alta 5 m sulla quale si notano segni di una cascata probabilmente attiva in periodi piovosi; sotto la parete (punto 2) il fondo scende con un saltino di 1 m fino ad un piccolo cunicolo allagato.

La grotta era colma di rifiuti di ogni genere, che sono in parte stati asportati durante un intervento di pulizia organizzato da Legambiente e SCR nel 2017. Esplorata speleologicamente da Lucio De Filippis.



Rilievo Chiavica Liverani

Pozzo Liverani

Comune: Lenola (LT) - Località: Liverani
Coordinate UTM (GPS): 33 T 372760 - 4585266
Quota: 317 m slm
Dislivello: -10 m – Sviluppo planimetrico: 13 m

Pozzo probabilmente di origine naturale ma parzialmente modificato, e rivestito all'interno con un muro in blocchi di calcare. Si apre a poca distanza dalla Chiavica Liverani con cui è in probabile collegamento; è di forma tondeggiante, profondo una decina di metri e largo 8-10 m. Alla base, raggiungibile anche senza l'ausilio di corde, è presente un cumulo di massi. Nel punto più profondo si apre una galleria in discesa; l'esplorazione, avvenuta in periodo di magra, ha raggiunto dopo tre metri uno specchio d'acqua, oltre il quale si intravede la partenza di una galleria allagata con il soffitto appena fuori dall'acqua.



La prima discesa del Pozzo Liverani nel 1991 (Foto Giovanni Mecchia)



Pozzo e Chiavica Liverani oggi

Punti di criticita'

Il rilevamento geomorfologico di dettaglio ha permesso di determinare la presenza di elementi di criticità e rilevare settori soggetti a fenomeni di dissesto idrogeologico, reperendo altresì informazioni relative a eventi di allagamento ricorrenti, come riportato nella relazione tecnica.

Di seguito sono riportate alcune foto relative ai sopralluoghi eseguiti, per completezza si faccia comunque riferimento all'elaborato grafico "Tav. 05 - Documentazione fotografica", per le indicazioni delle criticità rilevate.



Nicchia di distacco relativa ad un pregresso fenomeno franoso

In particolare, lungo le sponde del fosso sono stati rilevati diversi punti in cui sono presenti fenomeni franosi in atto o potenziali, perlopiù di tipologia connessa a scorrimenti rotazionali o smottamenti superficiali.



Potenziali fenomeni franosi in Loc. Pozzaveglie

Nell'esecuzione del rilevamento geomorfologico, sono stati rilevati dei punti critici relativi a problematiche per lo più idrogeologiche, ossia riconducibili ad un elevato accumulo di materiale litoide e terriccio sul fondo dell'alveo, nei tratti di minor pendenza, zone soggette a ricorrenti allagamenti che si verificano in corrispondenza di eventi piovosi cospicui.

È stata rilevata, inoltre, una limitata erosione di parti di sponde ed in molti tratti, di entrambi i torrenti, una riduzione della sezione dei fossi, dovuta all'accumulo di materiale detritico vegetale ed antropico.

*REGIMAZIONE TORRENTE PANTANO POZZAVEGLIE
PER DIFESA DEL TERRITORIO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO*

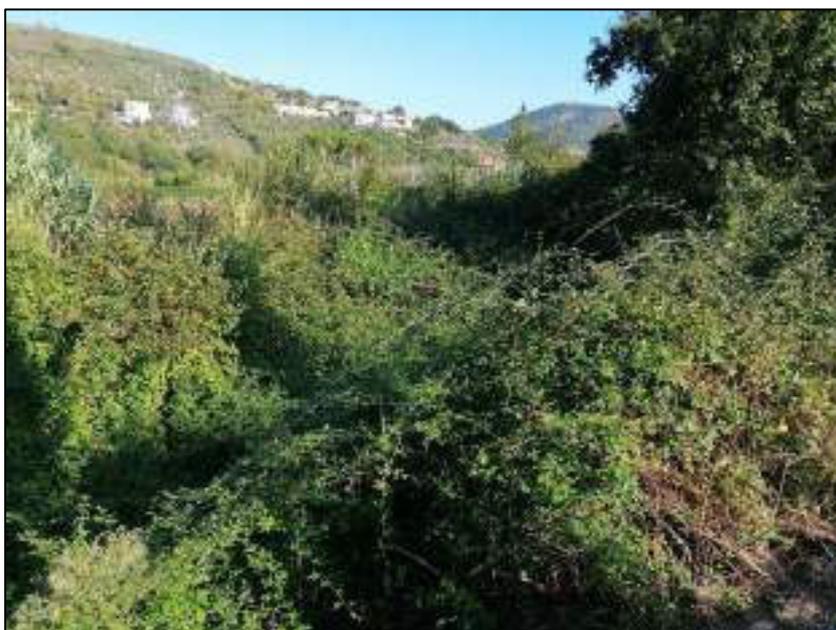


Accumulo di materiale detritico vegetale ed antropico in loc. Pozzaveglie

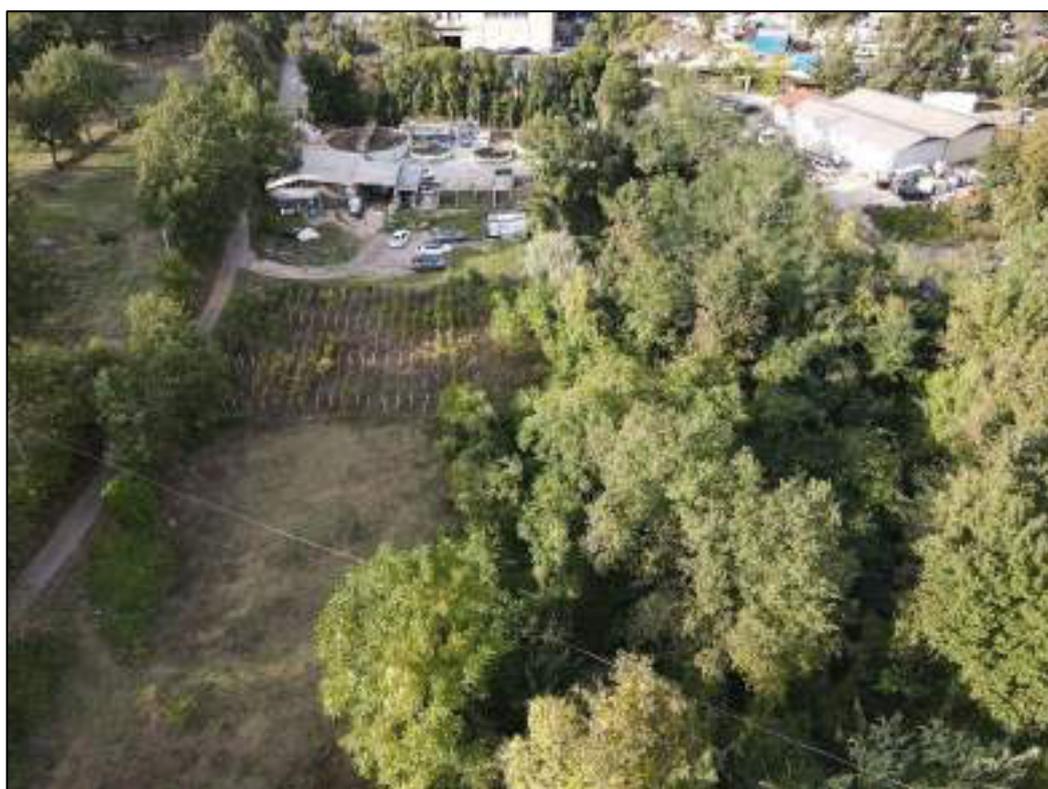


Accumulo di materiale detritico vegetale ed antropico in Loc. Pantano

Una delle maggiori criticità rilevate durante le operazioni di rilievo e sopralluogo è l'elevato stato di degrado in cui versano gli inghiottitoi di Pantano e di Pozzaveglie. Dato che le cavità sono state per molto tempo il punto di assorbimento di acque fortemente inquinate, si può immaginare che l'inquinamento degli ambienti interni sia della massima rilevanza; ciò è confermato anche dalla presenza di rifiuti di ogni genere e dalla folta vegetazione creatasi all'interno delle cavità e nelle immediate vicinanze, che impediscono il regolare deflusso delle acque, con conseguente intasamento degli inghiottitoi e allagamento delle aree limitrofe.



Vegetazione infestante nell'inghiottitoio del Pozzavello



Vegetazione infestante nell'inghiottitoio del Pozzavello vista dall'alto



Vegetazione infestante nella Chiavica Liverani

Nelle foto seguenti sono mostrate due aree soggette a frequenti allagamenti, causati sia dalla ridotta sezione nonché dalla morfologia dei fossi stessi, sia dalla cattiva o assente manutenzione, che crea delle zone di accumulo di materiale detritico, vegetale e antropico con conseguente parziale occlusione al normale deflusso durante gli eventi di piena.



Aree soggette ad allagamenti - Pozzaveglie (a sinistra) e Pantano (a destra)

La maggiore, dunque, è dovuta all'assenza di manutenzione di entrambi i fossi, che nel tempo hanno sviluppato una fitta vegetazione sia sull'alveo che sulle sponde. La problematica connessa con la cattiva o assente manutenzione e pulizia del fosso si riscontra in più punti, e si candida come il problema principale da risolvere per la messa in sicurezza degli elementi idrografici in oggetto.

Criticità idraulica e geomorfologica dell'area di studio

Le principali criticità idrogeologiche che si manifestano nell'area d'interesse sono generalmente legate ai seguenti elementi:

- fenomeni alluvionali in grado di interessare le aree perifluviali, mettendo così a rischio anche la viabilità e le zone agricole coltivate;
- intasamento degli inghiottitoi con perdita dell'originaria funzione idraulica;
- azione erosiva del torrente che si esplica sulle sponde, con ripercussioni su alcuni punti delle sedi stradali prossime alle stesse ed in corrispondenza delle opere di attraversamento;
- allagamenti causati dalla presenza di folta vegetazione sulle sponde e sul fondo.

I torrenti in esame, ricadono, all'interno delle "Aree di attenzione per pericolo di frana e d'inondazione", in *Corsi d'acqua classificati pubblici con D.G.R. N. 452 del 01/04/05 (ARTT. 9 e 27 delle N.T.A. P.A.I.)*. Ricadono nelle suddette aree di attenzione anche i siti ove sono ubicati gli inghiottitoi Pantano e Pozzavello, classificati come *Aree di attenzione per presenza di cavità naturali o artificiali soggette a crolli*.

Nel sito 2 si rileva, all'interno delle "Aree sottoposte a tutela per pericolo di frana" un'Area a Pericolo A (c. 2 artt. 6 e 16 delle N.T.A.P.A.I), ubicata, come si evince dalla carta della pericolosità allegata, in seno all'area carsica con sviluppo ipogeo di Liverani potenzialmente soggetta a rischio sinkhole; rischi

potenziali di sinkhole si rilevano, per le stesse caratteristiche geomorfologiche, anche nell'area in cui ricade l'Inghiottitoio Pozzavello.

9 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE AFFIORANTI

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni affioranti o sub affioranti nei settori montuosi circostanti i torrenti in esame, è stato eseguito un rilevamento geomeccanico in corrispondenza di affioramenti rocciosi ritenuti rappresentativo delle aree indagate.

A tal fine sono stati individuati:

- piani di discontinuità principali;
- resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa, mediante il Martello di Schmidt (mod.L);
- descrizione delle discontinuità (giacitura, spaziatura, scabrezza, apertura, materiale di riempimento, alterazioni delle pareti);
- indice RQD (Rock Quality Designation);
- condizioni idrauliche.

Ciascuno dei parametri determinati dal rilievo geomeccanico è stato valutato quantitativamente sul terreno e ad essi è stato attribuito il relativo indice numerico; la somma di tali indici parziali ha fornito il valore dell'indice di qualità cosiddetto RMR (Rock Mass Rating), il quale permette di classificare la roccia in una delle cinque classi di qualità previste da Bieniawsky.

9.1 LA CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKY

La classificazione di Bieniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, dei sei parametri suddetti:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Bieniawsky).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMR}_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = \text{RMR}_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

Valore di A1

A1 si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale S_u .

La prova Point Load Test

La prova Point Load ha il vantaggio di essere portatile; da essa si deriva l'indice di carico puntuale I_s che viene correlato alla resistenza alla compressione uniassiale S_u mediante la relazione:

$$S_u = K I_s$$

dove K è un coefficiente moltiplicativo per il quale l'ISRM consiglia il valore 24, ma nella pratica si è evidenziato come tale valore non è univoco ma largamente variabile. Palmström suggerisce di variare K in funzione di I_s secondo lo schema seguente:

$I_s(\text{MPa})$	K
< 3,5	14
3,5 – 6,0	16
6,0 – 1,0	20
> 6,0	25

Le prove sclerometriche

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la “durezza di rimbalzo” della roccia. Dalla prova si ricava l’indice di rimbalzo R che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978):

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

Standard ISRM

In una fase preliminare delle indagini, mancando prove di campagna o di laboratorio, il valore di Su può essere stimato osservando la risposta della roccia alla sua percussione con il martello da geologo.

Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

La roccia si incide con l’unghia o si sbriciola con le mani	0,25 – 1 MPa
Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani	1 – 5 MPa
La punta lascia deboli buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani	5 – 25 MPa
La roccia si frattura con un colpo	25 – 50 MPa
Si frattura dopo due-tre colpi	50 – 100 MPa
Si frattura solo dopo molti colpi	100 – 200 MPa
Si scheggia solamente	> 200 MPa

Definita la resistenza a compressione Su è possibile ricavare il valore del primo parametro A1.

Se si utilizzano prove Point Load o prove sclerometriche risulta più agevole, rispetto alle tabelle e ai grafici proposte da Bieniawsky, ricavare il valore di A1 trasformando i grafici in forma di equazioni:

VALORE DI Su (MPa)	EQUAZIONE
< = 44,5	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$
44,5 ÷ 93,75	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$
93,75 ÷ 140	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$
140 ÷ 180	$A1 = 0,0375S_u + 6,75$
180 ÷ 240	$A1 = 0,025S_u + 9$
> 240	A1 = 15

Qualora si utilizzi lo Standard ISRM si usa la tabella proposta da Bieniawsky nell'ultima versione del sistema (1989):

Su (MPa)	> 200	100-200	50-100	25-50	5-25	1-5	< 1
Coefficiente A1	15	12	7	4	2	1	0

Valore di A2

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente A2, dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = \frac{\sum L_c}{L_t} \times 100$$

dove:

Lc = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm

Lt = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata Lc.

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa, RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

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

con n numero medio di giunti per metro.

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A_2 mediante le equazioni, che derivano sempre dai grafici di Bieniawsky:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
$\leq 26,5$	$A_2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$
$26,5 \div 39$	$A_2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$
$39 \div 76,6$	$A_2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$
$> 76,6$	$A_2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$

Valore di A3

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A_3 , mediante le seguenti relazioni:

SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
$\leq 0,2$	$A_3 = 15s + 5$
$0,2 \div 0,4$	$A_3 = 10s + 6$
$0,4 \div 0,66$	$A_3 = 7,752s + 5,9$
$0,66 \div 0,94$	$A_3 = 7,067s + 7,35$
$0,94 \div 1,6$	$A_3 = 6,07s + 8,288$
$1,6 \div 2,0$	$A_3 = 5s + 10$
$> 2,0$	$A_3 = 20$

Valore di A4

Determinare dalle tavole di classificazione di Bieniawsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

I valori da assegnare sono:

V1 – Persistenza del giunto

PERSISTENZA (m)	V1
< 1	6
1 ÷ 3	4
3 ÷ 10	2
10 ÷ 20	1
> 20	0

V2 – Apertura del giunto

APERTURA (mm)	V2
Completamente chiuso	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4
1 ÷ 5	1
> 5	0

V3 – Rugosità del giunto

RUGOSITA'	V3
Molto Rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

V4 – Alterazione delle pareti

ALTERAZIONE	V4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

V5 – Riempimento delle discontinuità

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	V5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0

Valore di A5

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Bieniawsky si ottiene:

Venute d'acqua su 10 m di lunghezza	Nessuna	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min
Condizione	Asciutta	Umida	Bagnata	Deboli venute	Forti venute
Coefficiente A5	15	10	7	4	0

Valore di A6

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni.

APPLICAZIONE	Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25

Valore di RMR e parametri caratteristici dell'ammasso

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMR_c calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMR _c	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< = 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di RMR_b si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Bieniawsky assumono il valore:

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

$$\text{angolo di attrito di picco } \varphi_p = 0,5 \text{ RMR}_b + 5$$

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

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

$$\text{RMR}_b = \text{RMR}_b(\text{originario}) - [0,2 \times \text{RMR}_b(\text{originario})] \text{ (Priest, 1983)}$$

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

$$E \text{ (GPa)} = 10^{(\text{RMR}_b - 10 / 40)}$$

Il valore di GSI (Geological Strength Index) viene ricavato dalla:

$$GSI = RMR - 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte ($A5 = 15$). Tale relazione è da ritenersi valida per $RMR > 23$.

9.1.1 CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

Si riporta di seguito la classificazione dell'ammasso roccioso desunta dal rilevamento geomeccanico.

SITO 1-POZZAVEGLI

Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)

Standard ISRM = La roccia si frattura solo dopo molti colpi di martello
 Numero di fratture per mc di roccia (J_v)=28.23
 Spaziatura delle discontinuità (s)=0.20 m
 Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m
 Apertura del giunto = 0,1 - 1 mm
 Giunto leggermente rugoso
 Pareti mediamente alterate
 Riempimento compatto < 5 mm
 Roccia asciutta
 Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni
 Orientamento mediocre

Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione S_u (MPa)		Rock Quality Designation (RQD)		
100		21.80		
V1	V2	V3	V4	V5
2	4	3	3	4

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto
 V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto
 V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto
 V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti
 V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
12.00	5.45	8.00	16.00	15.00	-7.00

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta
 A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD
 A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità
 A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità
 A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche
 A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
56.46	49.46	Terza	Mediocre

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
12.92	51.46	282.30	33.23	225.84	27.58

SITO 2-PANTANO

Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)

Standard ISRM = La roccia si frattura dopo 2-3 colpi di martello
 Numero di fratture per mc di roccia (Jv)=7.7
 Spaziatura delle discontinuità (s)=0.76 m
 Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m
 Apertura del giunto = 1 - 5 mm
 Giunto leggermente rugoso
 Pareti mediamente alterate
 Riempimento compatto > 5 mm
 Roccia asciutta
 Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni
 Orientamento mediocre

Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
50	89.59

V1	V2	V3	V4	V5
2	1	3	3	2

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
7.00	17.77	12.72	11.00	15.00	-7.00

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un va

lore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
63.50	56.50	Terza	Mediocre

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
27.00	58.50	317.50	36.75	254.00	30.40

La classe desunta dalla classificazione di Bieniawsky è risultata, per entrambi i siti, la III ,a cui corrispondono condizioni dell'ammasso roccioso mediocri.

Sulla base dei dati di orientazione, spaziatura e continuità, gli ammassi rocciosi studiati possono essere descritti come caratterizzati da volumi unitari di tipo prismatico e irregolare; i blocchi calcarei risultano di dimensioni da decimetriche a metriche.

10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INTERESSATI DAGLI INTERVENTI

I parametri geotecnici, necessari per il dimensionamento delle opere strutturali, sono stati desunti da n. 4 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH) eseguite nei siti in esame, la cui ubicazione è riportata nella cartografia allegata. L'elaborazione dei dati ha permesso di caratterizzare i terreni nell'immediato sottosuolo.

I risultati delle prove sono sintetizzati negli allegati alla presente relazione.

10.1 METODO D'INDAGINE

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di dato peso. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita. La resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita.

Lo strumento utilizzato rientra nella categoria dei penetrometri dinamici superpesanti DPSH, con maglio di 63.5 Kg. La prova eseguita con questo strumento consiste nel misurare il numero dei colpi necessari per infiggere una punta conica del \varnothing 51.00, $\beta=90^\circ$ e $A=20.43$ cmq, ogni 20 centimetri di

profondità, mediante un maglio con caduta libera di 0.75 m., azionato da una pompa idraulica.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) d ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento d=30 cm, punta conica (a = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento d=20-30 cm, punta conica conica (a = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt}. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
d	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd}	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (d/N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma_{vo}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) s > 5 t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) s > 15 t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) s > 15 t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
-

Modulo Di Young (Ey)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.
-

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio t e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.

- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche
< 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
-

- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

10.2 PRESENTAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI

Il numero dei colpi relativi ad ogni livello di profondità è stato rappresentato in un diagramma in cui all'asse delle ascisse si è fatto corrispondere il numero dei colpi, all'asse delle ordinate la profondità.

I risultati elaborati successivamente, sono frutto di correlazioni con la prova SPT (Standard Penetration Test) e di verifiche eseguite su terreni con caratteristiche geotecniche note.

Di seguito si espongono in sintesi i risultati delle elaborazioni dei dati acquisiti:

SITO 1

DPSH 1

- 0.0–0.40 m: riporti
- 0.40–1.40 m: argille sabbiose poco consistenti
Cu= 0.7 Kg/cmq; $\gamma=1.8$ t/mc; Ed=38 Kg/cmq
- 1.40 m – 5.00 m: argille debolmente sabbiose moderatamente consistenti
Cu= 0.9 Kg/cmq; $\gamma=1.8$ t/mc; Ed=60.13 Kg/cmq



DPSH 1

DPSH 2

- 0.0–5.00 m: argille sabbiose moderatamente consistenti
Cu= 0.8 Kg/cmq; $\gamma=1.8$ t/mc; Ed= 54 Kg/cmq
- 5.00–10.00 m: argille debolmente sabbiose consistenti
Cu= 1 Kg/cmq; $\gamma=1.8$ t/mc; Ed=93 Kg/cmq.



DPSH 2



DPSH 2

SITO 2

DPSH 3

- 0.0–1.20 m: argille sabbiose moderatamente consistenti
Cu= 0.8 Kg/cmq; $\gamma=1.8$ t/mc; Ed= 47 Kg/cmq
- 1.20–2.00 m: argille debolmente sabbiose molto consistente
Cu= 1.7 Kg/cmq; $\gamma=1.8$ t/mc; Ed=163 Kg/cmq-
- 2.00 – 2.20 : calcari
C=3.1 Kg/cmq; $\gamma=2.2$ t/mc; $\varphi = 34^\circ$



DPSH 3

DPSH 4

- 0.0–0.60 m: riporti
- 0.60–7.00 m: argille debolmente sabbiose moderatamente consistenti
 $Cu = 0.9 \text{ Kg/cmq}$; $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$; $Ed = 62 \text{ Kg/cmq}$.
- 7.00–12.00 m :argille limose moderatamente consistenti
 $Cu = 0.75 \text{ Kg/cmq}$; $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$; $Ed = 45 \text{ Kg/cmq}$.



DPSH 4

11 INDAGINE GEOFISICA

A completamento delle indagini geognostiche e dei rilevamenti eseguiti sono state eseguite misurazioni del rumore sismico mediante la tecnica dei rapporti spettrali HVSR di Nakamura;

11.1 SISMICA PASSIVA: TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR

La tecnica HVSR permette di estrarre informazioni relative al sottosuolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori (rumore sismico). Tale metodo è in grado di fornire le frequenze di risonanza dei sottosuoli, ed è per questo che è stato utilizzato per il presente lavoro. Tale tecnica permette di produrre una curva HVSR che mostra picchi di frequenza dei vari strati.

Il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo t (solitamente 20 min) e digitalizzato a 24 bit.

In allegato si riportano le schede con i grafici ed il rapporto in riferimento ai criteri delle Linee Guida Sesame.



HVSR1

*REGIMAZIONE TORRENTE PANTANO POZZAVEGLIE
PER DIFESA DEL TERRITORIO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO*



HVSR 2



HVSR 3

Le misure tomografiche eseguite confermano il modello stratigrafico desunto dalle indagini geotecniche effettuate nei siti.

12 SISMICITA' DELL'AREA E CATEGORIE DI SUOLO

[Decreto 17 gennaio 2018]

Con le “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche” del 1996 (D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996) il territorio nazionale veniva suddiviso, considerando il “grado di sismicità S”, nelle seguenti zone sismiche:

- zona di I categoria (S=12);
- zona di II categoria (S=9);
- zona di III categoria (S=6);
- zona non classificata.

In riferimento al suddetto decreto, l'area di studio appartenente al Comune di Lenola risulta classificata sismica di II categoria con grado di sismicità S=9 e coefficiente di intensità sismica, utile per le calcolazioni progettuali, pari a 0,07.

Con l' O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, aggiornata al 16/01/2006 con le indicazioni delle regioni, venivano delegati gli enti locali ad effettuare la classificazione sismica di ogni singolo comune in modo molto dettagliato; il provvedimento legislativo del 2003 attribuisce i comuni italiani ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale:

- Zona 1 - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti;
- Zona 2 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti;
- Zona 3 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari;
- Zona 4 - E' la zona meno pericolosa con terremoti rari.

Di fatto sparisce il territorio “non classificato” e viene introdotta la zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione

antisismica. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

Nel 2006, l'O.P.C.M. 3519 ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC; gli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'O.P.C.M. 3519/06:

- Zona 1: $a_g > 0,25$;
- Zona 2: $0,15 < a_g < 0,25$;
- Zona 3: $0,05 < a_g < 0,15$;
- Zona 4: $a_g < 0,05$.

Partendo dall'elaborato di riferimento INGV-DPC all'84° percentile, il territorio regionale è stato suddiviso, quindi, in fasce di accelerazione caratterizzate da intervalli di 0,05 g, in quanto non si è ritenuto conveniente e utile frammentare il territorio in innumerevoli sottoclassi, anche alla luce delle nuove disposizioni normative che indicano la classificazione sismica come solo strumento di tipo amministrativo.

La nuova riclassificazione si basa soltanto su 3 Zone Sismiche, con la scomparsa della zona sismica 4. La Zona Sismica 1, quella più gravosa in termini di pericolosità sismica, non presenta sottozona in quanto il valore di a_g max previsto per il Lazio non giustifica ulteriori suddivisioni.

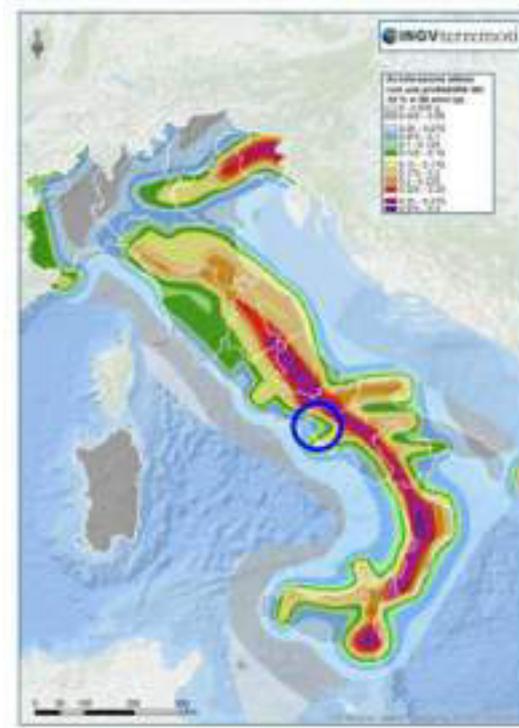
La creazione di sottozona ha interessato pertanto soltanto le zone sismiche 2 e 3, con la suddivisione in 4 sottozone sismiche (dalla 2 A, ovvero la maggiore sottozona della zona sismica 2, fino alla sottozona sismica 3 B, corrispondente alla sottozona meno pericolosa della zona sismica 3). Nella Regione Lazio, infatti, i valori di accelerazione a_g dell'elaborato all'84° percentile dell'INGV-DPC sono compresi fra 0.278 g e 0.065 g, ai quali si possono correlare

empiricamente soltanto tre zone sismiche e quattro sottozone, escludendo quindi totalmente la zona sismica 4.

Gran parte dei Comuni del Lazio presentano valori a_g che ricadono interamente in una determinata zona o sottozona sismica, per cui è stato assegnato direttamente il valore della zona/sottozona corrispondente (Comune a zona fissa).

Il comune di Lenola ricade, in base alla D.G.R. 387/09, nella sottozona 3A con a_g compreso tra 0.10 e 0.15.

Tale assegnazione alla sottozona suddetta è stata effettuata in base ai valori di a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ovvero con tempo di ritorno di 475 anni).

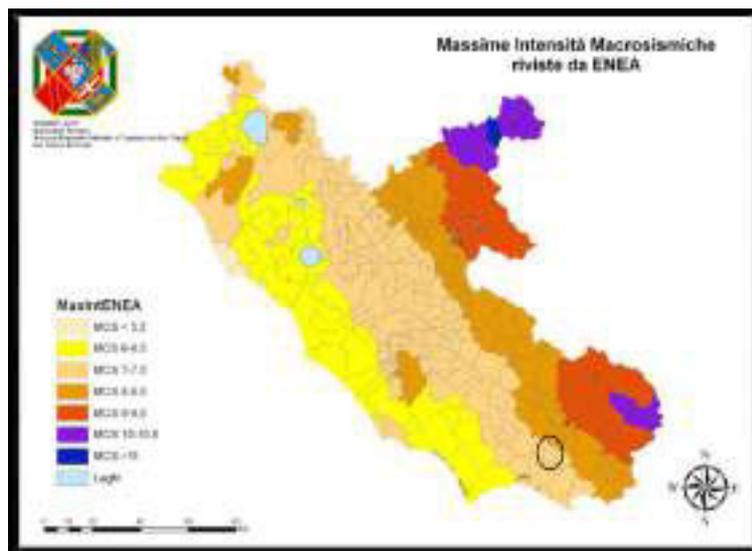
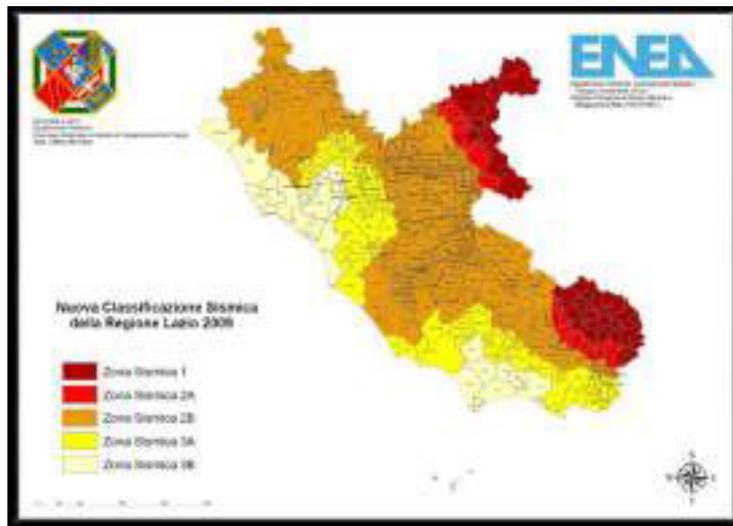


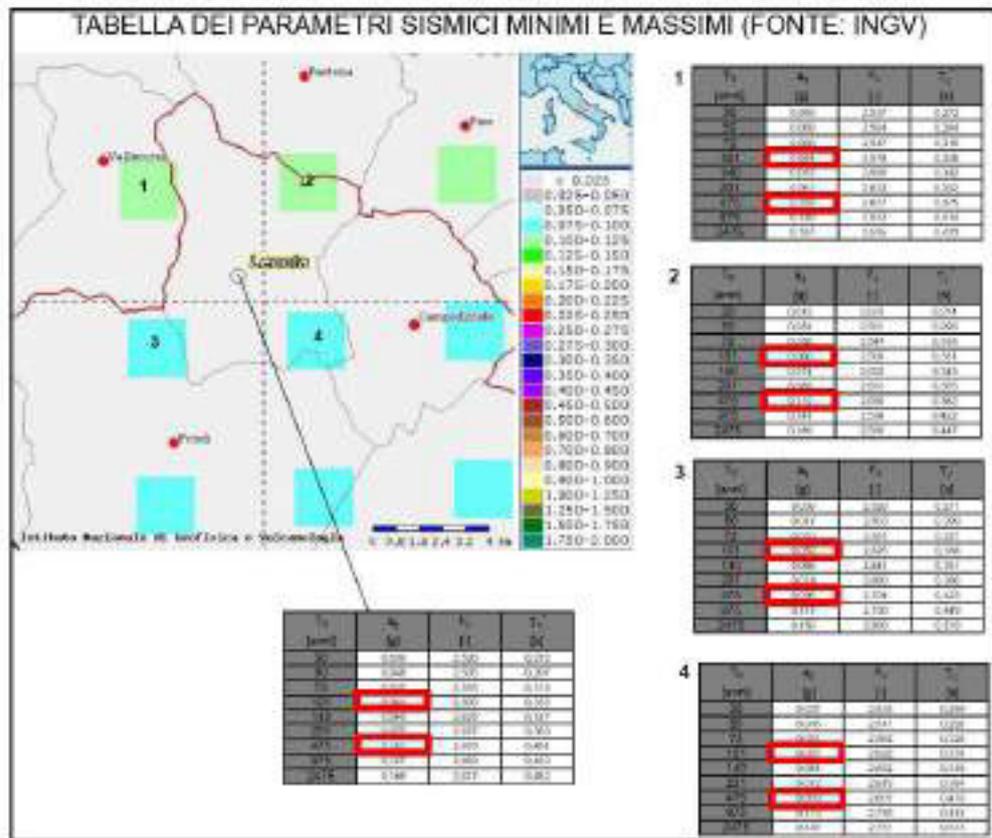
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

La sismicità di tale area è dovuta principalmente all'attività dei Vulcani Laziali e di Roccamonfina, all'assestamento tettonico dell'Appennino, e in

misura minore alla subduzione litosferica al di sotto del Tirreno meridionale, che provoca i terremoti tra i più profondi del Mediterraneo.

In seguito è riportata la “Nuova Classificazione sismica della Regione Lazio” con le “Massime intensità Macrosismiche” e la tabella dei parametri sismici massimi e minimi:





In relazione alle caratteristiche geomorfologiche del territorio comunale, i settori a maggiore densità abitativa ricadono in zone stabili, talora soggette ad amplificazione topografica dei settori con pendenza > 15° e delle aree di cresta (centro storico).

Le zone stabili potenzialmente soggette ad amplificazione sismica stratigrafica sono quelle aree caratterizzate da depositi quaternari sormontanti il substrato carbonatico, come nella Piana di Pozzavelli e di Pantano-Liverani: *come desunto dalle indagini effettuate, in considerazione della stratigrafia dei siti, caratterizzati da depositi quaternari sormontanti il substrato carbonatico, sono quindi ipotizzabili fenomeni di amplificazione sismica stratigrafica.*

Dagli studi prodotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si osserva che il territorio comunale si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da intensità bassa (fonte dati: INGV – Database Macrosismico Italiano 2015 - <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>).

L'areale in cui ricade il Comune di Lenola non risulta sismogenetico, ma risente di terremoti che avvengono in aree relativamente distanti (Frusinate, Irpinia-Basilicata, Molise). In seguito a terremoti avvenuti nella suddette aree, nel territorio comunale non si sono comunque rilevati danni di alcun genere.

Eventi sismici che hanno interessato l'area comunale di Lenola (Fonte CPTI15-DBMI15)										
Effetti	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	MDCP (n° di Macrosismico Data Points)	I ₀ (intensità epicentrale)	M _w (magnitudo momento)
NF	1988	10	1	0	57	3	Frusinate	41	5	4.25
4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	5.61
2	2002	11	1	15	9	0	Molise	636	7	5.72

La nuova normativa, di cui al Decreto 17 gennaio 2018 - cfr. § 3.2.2 , prevede in dettaglio le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato e a cui far riferimento ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. La classificazione si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

h_i : spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N: numero di strati;

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato 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.

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

In tale classificazione si definiscono cinque categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II delle NTC 2018):

- *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 – Depositati 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 – Depositati 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.

13 CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO OGGETTO DELL'INTERVENTO

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La determinazione è stata eseguita secondo l'approccio semplificato previsto dal § 3.2.2 delle NTC 2018, con i seguenti risultati:

- **Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC 2018.** nel caso specifico, tenendo conto delle prove effettuate - anche in relazione ai numeri di colpi non molto elevato - e quindi delle condizioni morfologiche dei siti, caratterizzati dalla presenza di terreni poco consolidati su substrato calcareo affiorante localmente, è plausibile assegnare ai siti d'intervento una categoria di sottosuolo 'E'.
- **Classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nelle tabelle 3.2.III delle NTC 2018:** la superficie topografica, poiché il sito è ubicato in un'area con pendenza inferiore ai 15°, rientra in categoria 'T1': "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

14 CONCLUSIONI

Sulla base dei dati raccolti, dei rilevamenti in situ estesi ad una zona più ampia di quella in oggetto e di indagini specifiche eseguite in corrispondenza dei siti in esame, è stato ricostruito il modello geologico dei terreni nell'immediato sottosuolo.

Lo studio geologico di dettaglio svolto nei siti oggetto d'intervento e nelle aree circostanti ha permesso di individuare le aree a potenziale vulnerabilità e pericolosità idrogeologica.

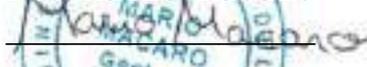
Dopo aver considerato gli elementi geologici e geomorfologici caratterizzanti l'area, presupposti fondamentali per una corretta modellazione geotecnica del sito, sono stati riportati i dati desunti dal rilievo geomeccanico,

che hanno permesso di caratterizzare la formazione calcarea affiorante nei settori a monte dei siti in esame.

I dati geotecnici desunti dalle prove in situ, unitamente agli elaborati grafici, completano il presente lavoro: nella seguente relazione sono stati riportati, infatti, i risultati desunti dalle prove in situ finalizzate alla definizione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni affioranti.

Al momento della realizzazione degli interventi, lo scrivente resta a completa disposizione.

Lenola (LT), 13/11/2021

Geologo
Dr. Mario Macaro



ALLEGATI

CARTE DI INQUADRAMENTO TERRITORIALE

STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

STRALCIO CARTOGRAFIA DEL P.A.I.

STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA

STRALCIO CARTA DEI BACINI IDROGRAFICI

CARTA DELLE INDAGINI

CARTA GEOLOGICA

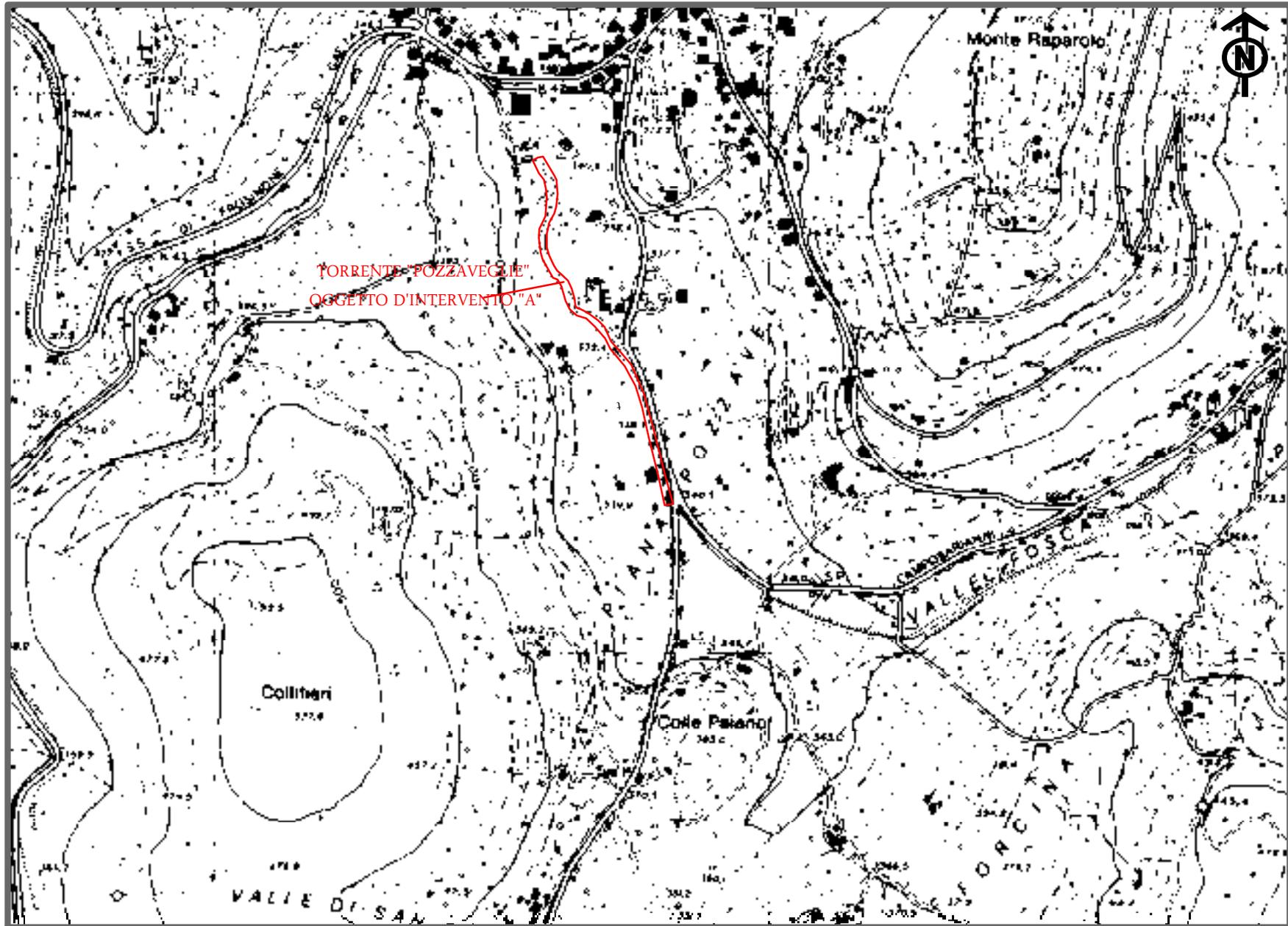
SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ

FASCICOLO DELLE INDAGINI E DELLE PROVE

C ARTA TECNICA REGIONALE in scala 1:10.000 (CTR)

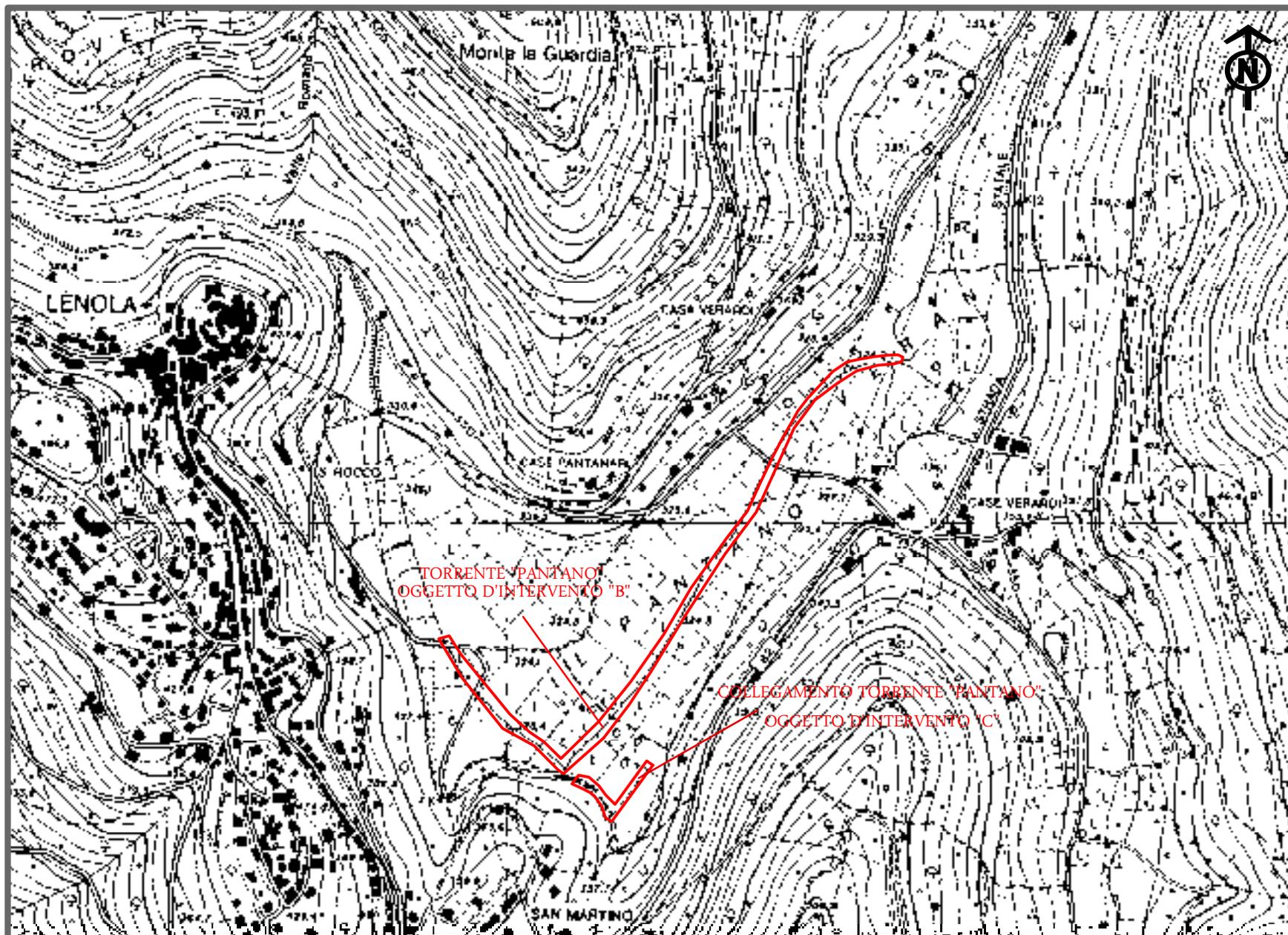
Stralcio della CTR n° 415020 "FONDI"



0 100 200
Meters

C ARTA TECNICA REGIONALE in scala 1:10.000 (CTR)

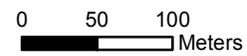
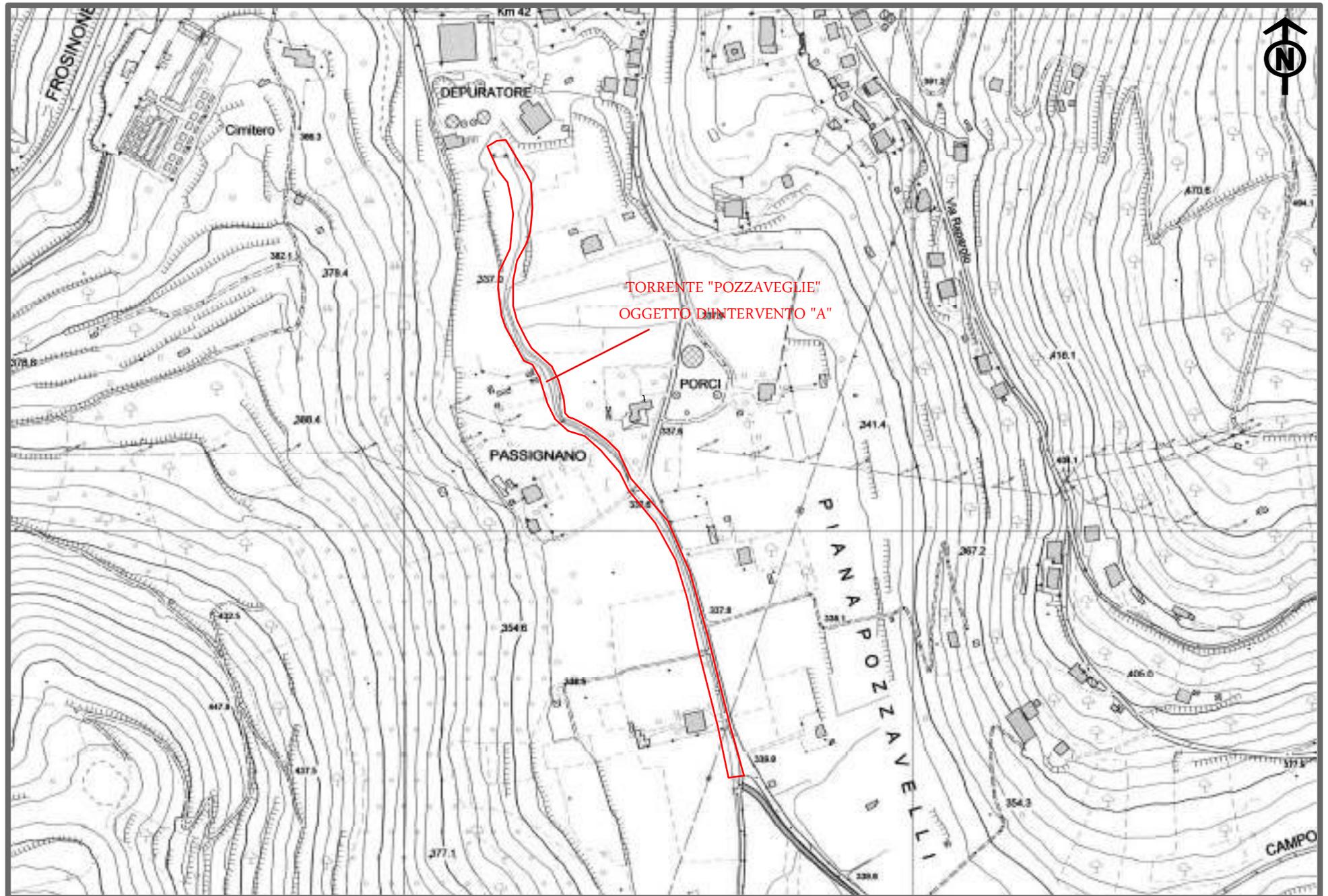
Stralcio della CTR n° 402140 "LENOLA"



0 100 200
Meters

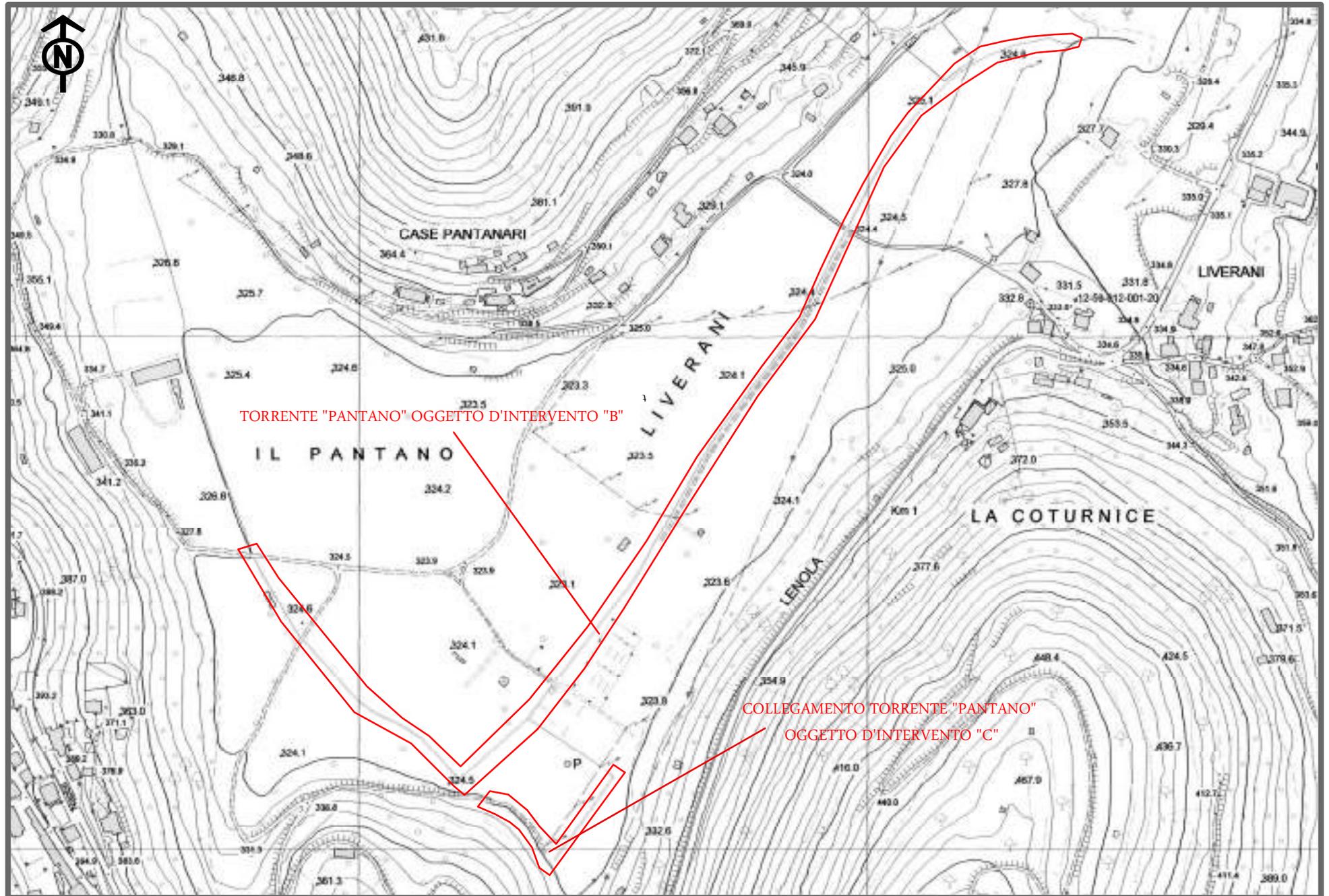
CARTA TECNICA REGIONALE in scala 1:5.000 (CTRn)

Stralcio della CTRn n° 415021 "CAMPOSARIANNI"



CARTA TECNICA REGIONALE in scala 1:5.000 (CTRN)

Stralcio della CTRN n° 402142 "LENOLA"



TORRENTE "PANTANO" OGGETTO D'INTERVENTO "B"

COLLEGAMENTO TORRENTE "PANTANO"
OGGETTO D'INTERVENTO "C"

0 50 100
Meters

CARTA GEOLOGICA

Ingrandimento del Foglio 160 "Cassino" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000



LEGENDA

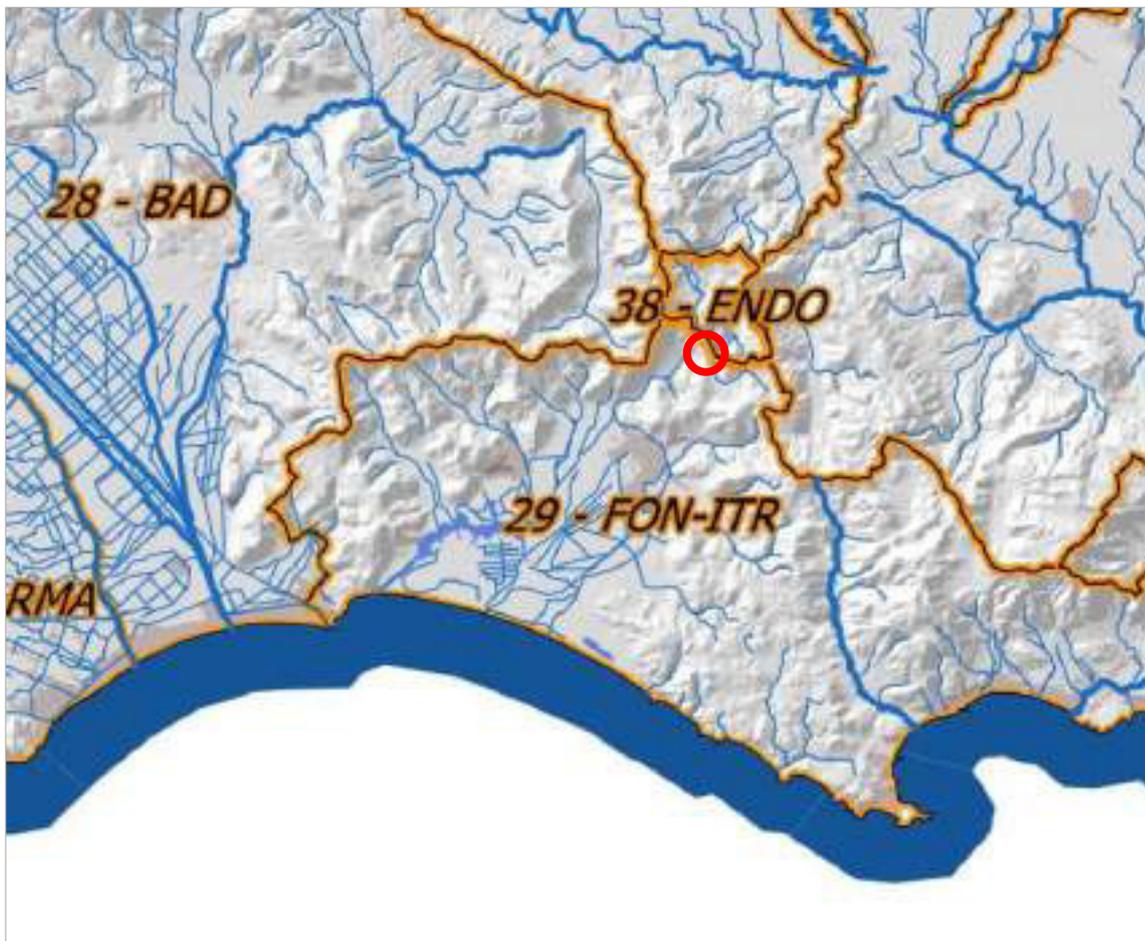
 Ubicazione dell'area

DATI LITOLOGICI

qr – Terre rosse sul fondo di doline e depressioni carsiche o lievemente terrazzate sul fondovalle (Olocene);

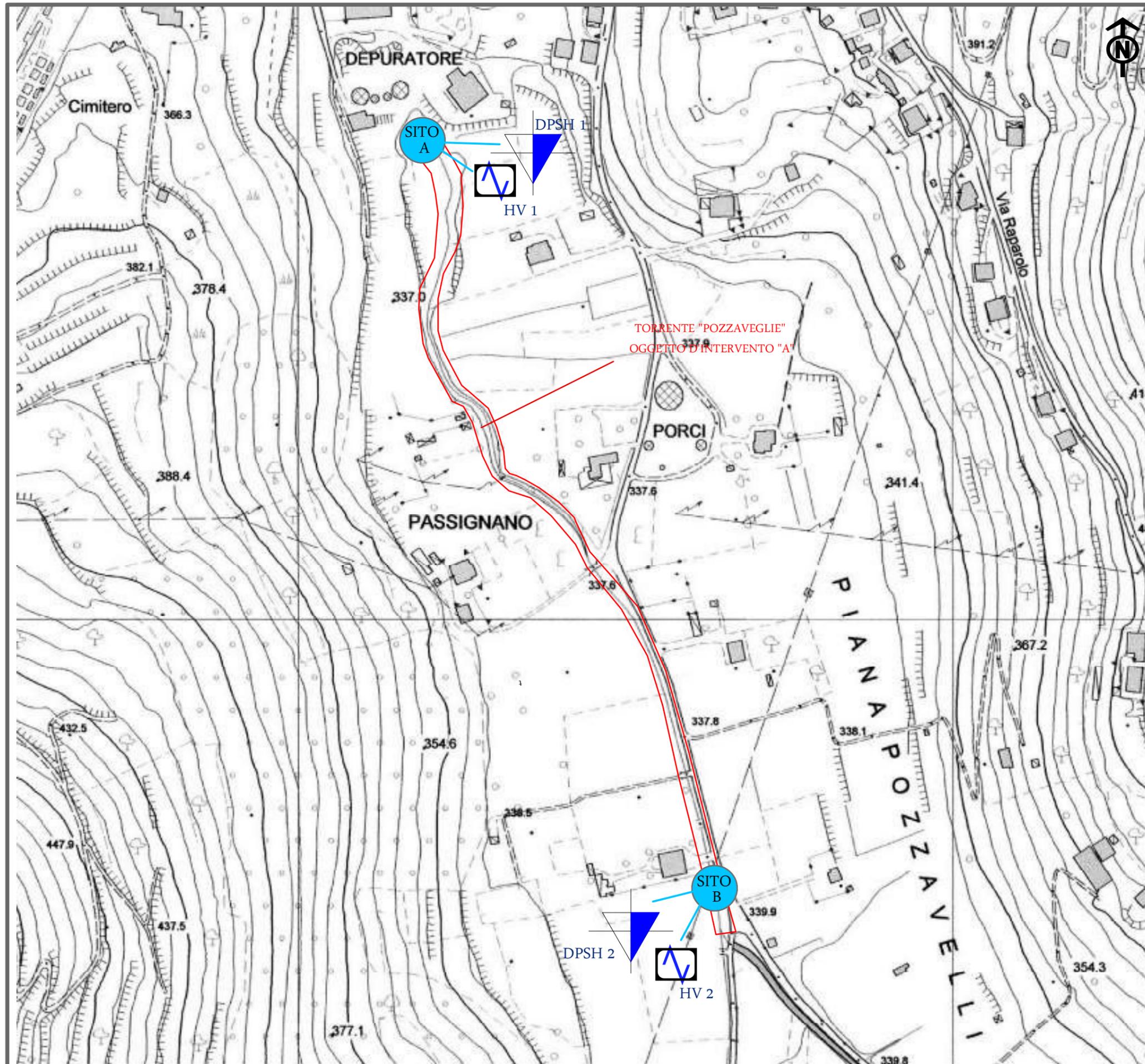
PC²⁻¹-C⁶ – Calcari bianchi ed avana, microgranulari o a pasta fine, a luoghi dolomitici, ben stratificati (Montiano/Daniano - Cenomaniano Sup.).

CARTA DEI BACINI IDROGRAFICI – TAV. 2.1 PTAR

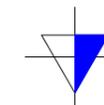


○ Sito in esame

CARTA DELLE INDAGINI - SITO1



Legenda



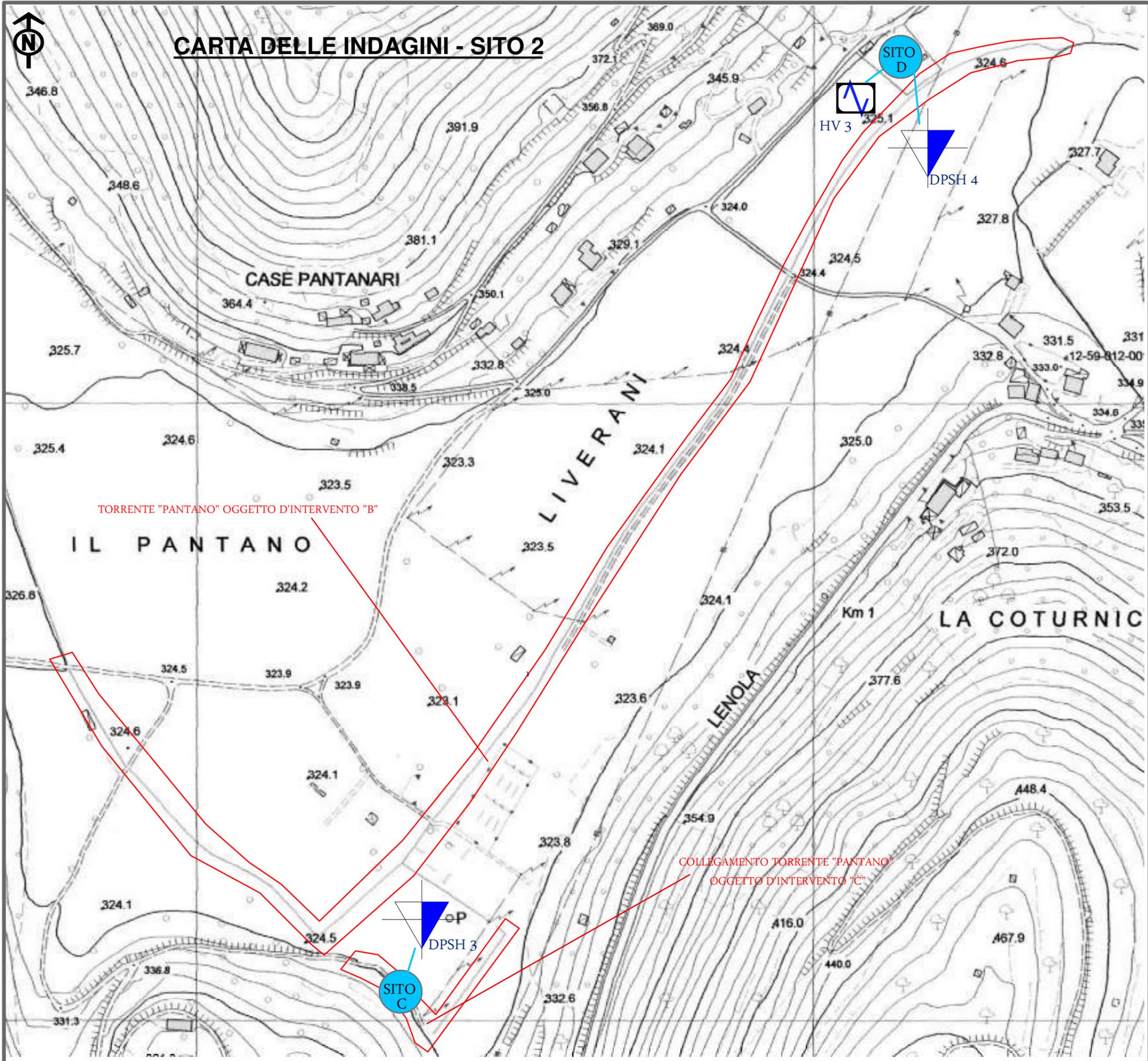
Prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH



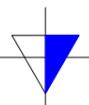
HVSR-Stazione microtremore a stazione singola

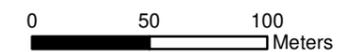
0 50 100 Meters

CARTA DELLE INDAGINI - SITO 2

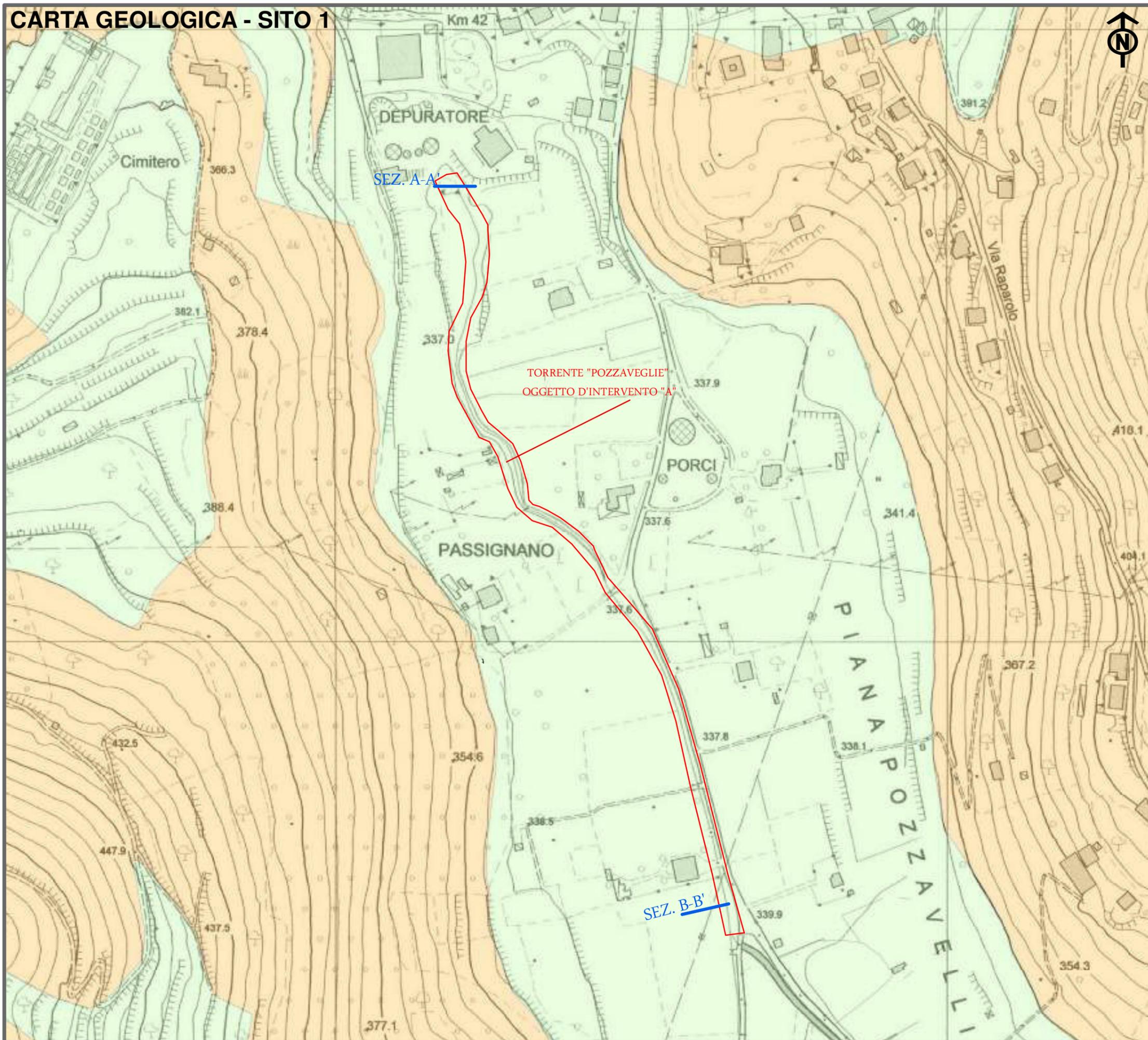


Legenda

-  Prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH
-  HVSR-Stazione microtremore a stazione singola



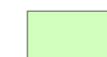
CARTA GEOLOGICA - SITO 1



Legenda



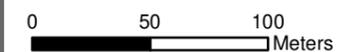
Terre rosse di origine eluvio-colluviale di natura argilloso-sabbiosa o argilloso-limosa con spessori che vanno da 2 m (nelle zone adiacenti i settori montuosi) a circa 10 m, talora frammiste a riporti, sormontanti il substrato calcareo. Olocene



Calcarei avana chiaro micritici nei quali si riconoscono microfossili foraminiferi e giunti stilolitici. Risultano stratificati, carsificati e fratturati negli strati superficiali. Cretaceo



Traccia di sezione



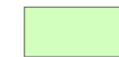
CARTA GEOLOGICA - SITO 2



Legenda



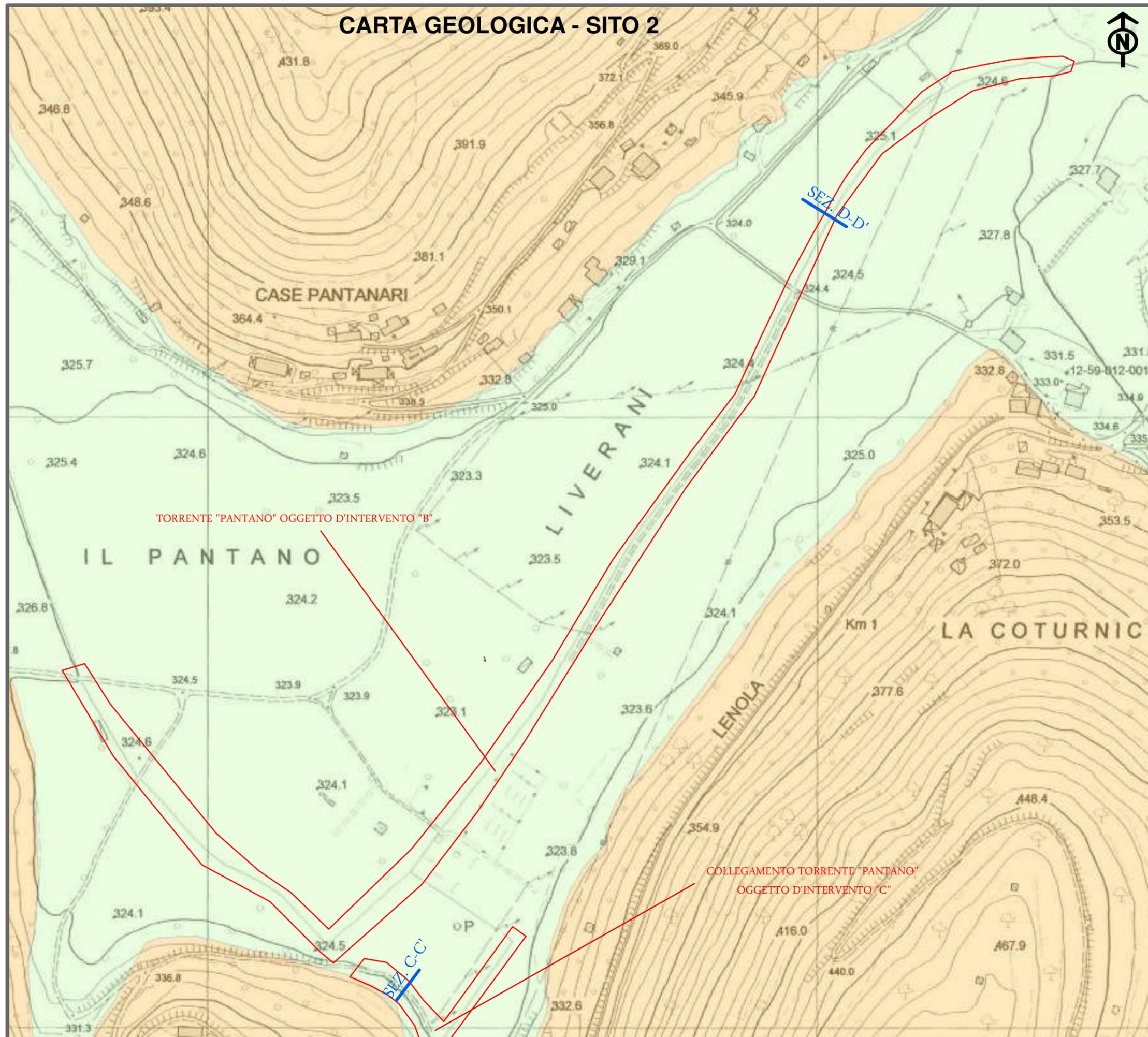
Terre rosse di origine eluvio-colluviale di natura argilloso-sabbiosa o argilloso-limosa con spessori che vanno da 2 m (nelle zone adiacenti i settori montuosi) a circa 12 m, talora frammiste a riporti, sormontanti il substrato calcareo. Olocene



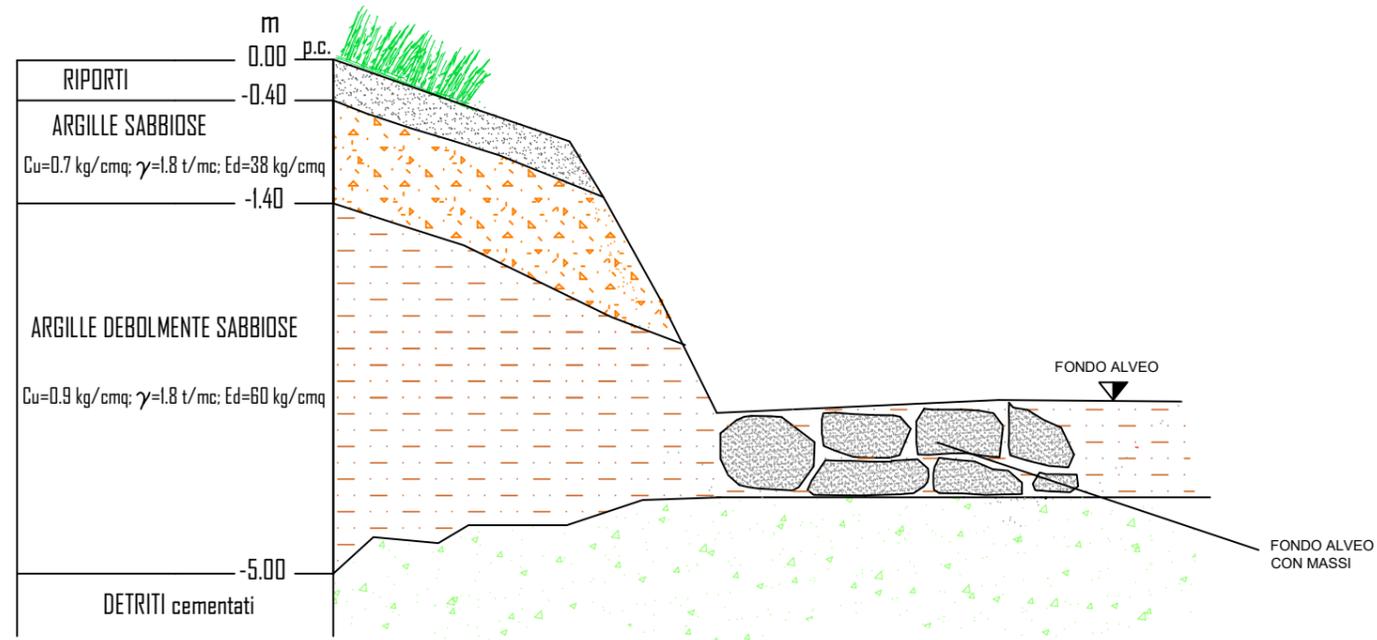
Calcarei avana chiaro micritici nei quali si riconoscono microfossili foraminiferi e giunti stilolitici. Risultano stratificati, carsificati e fratturati negli strati superficiali. Cretaceo



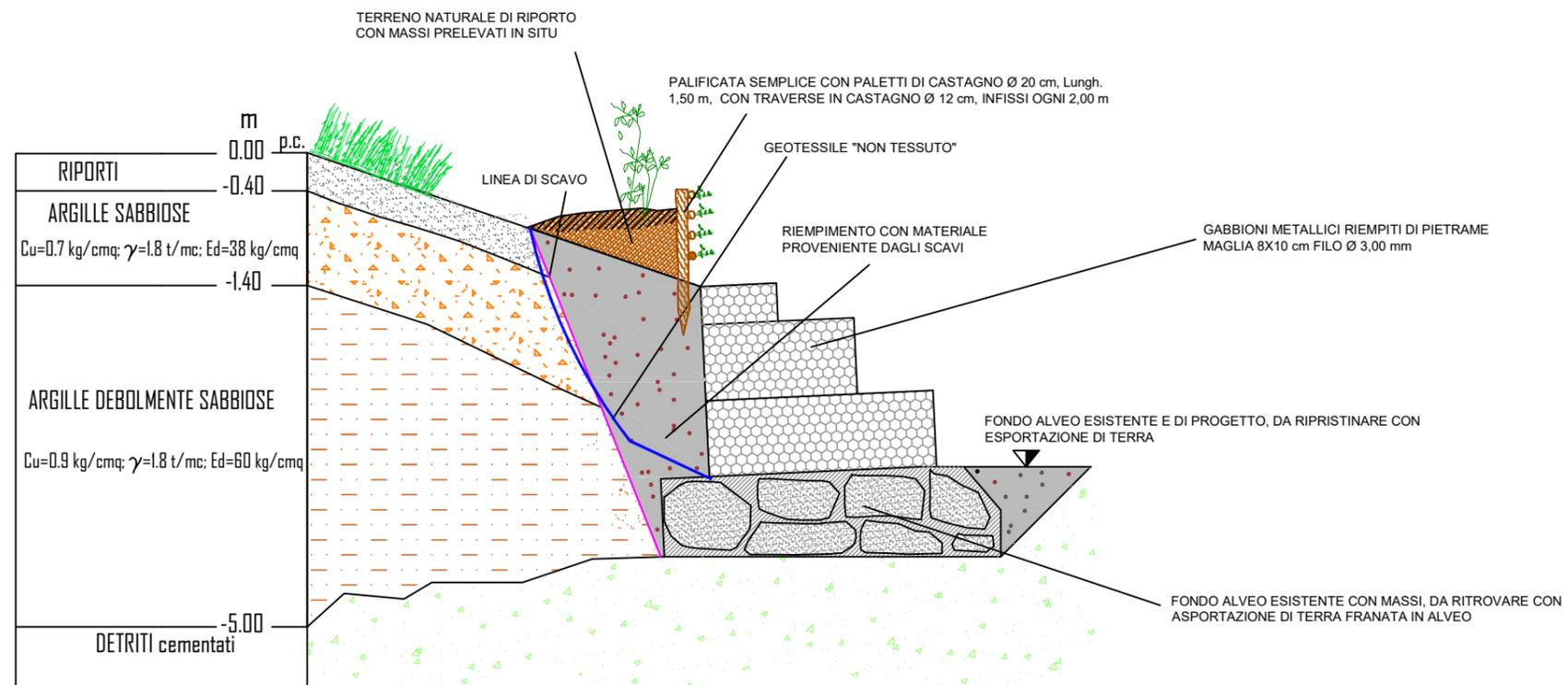
Traccia di sezione



SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA A-A'

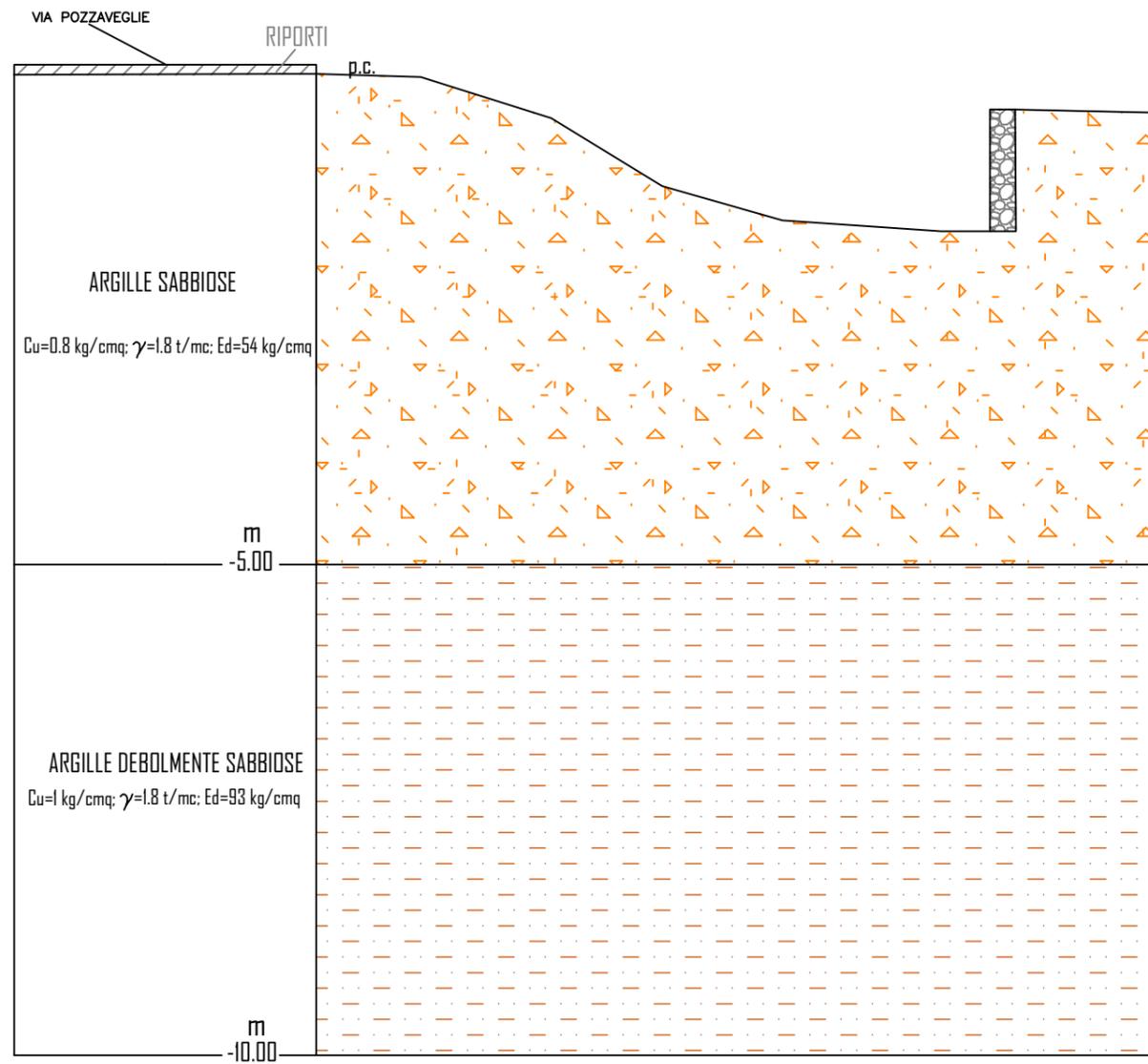


ante operam

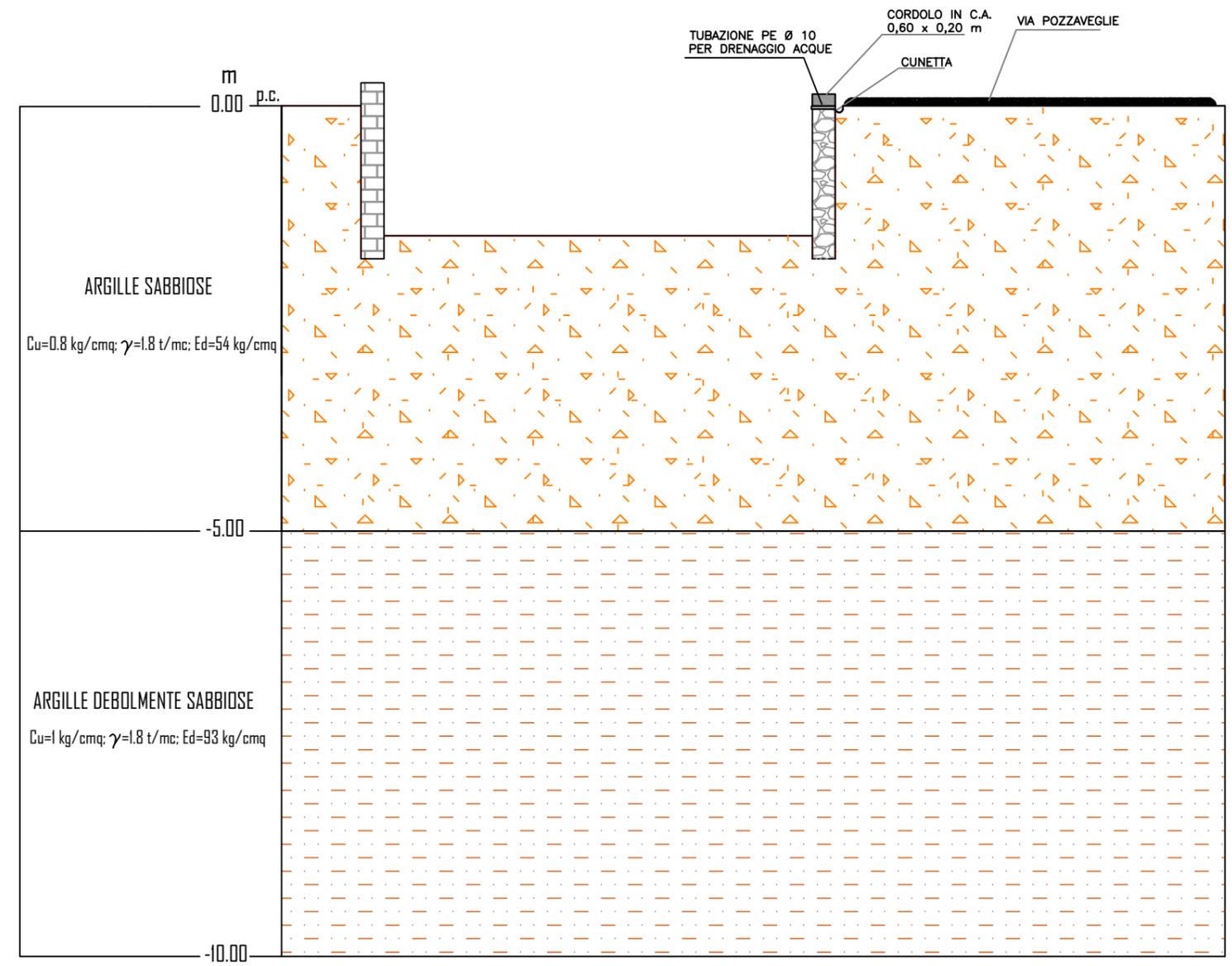


post operam

SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA B-B'

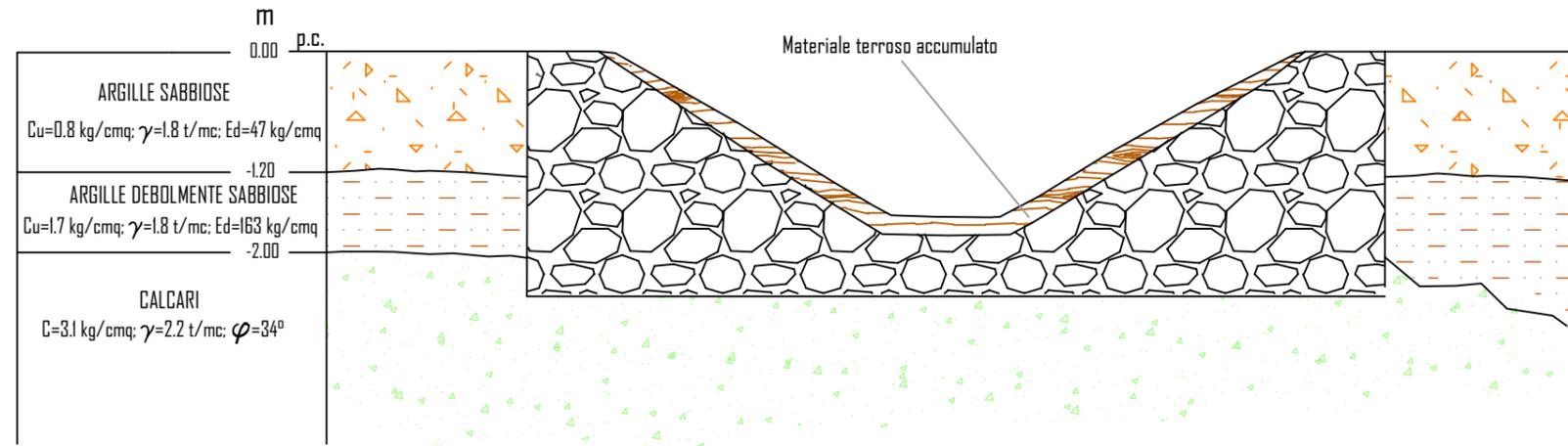


ante operam

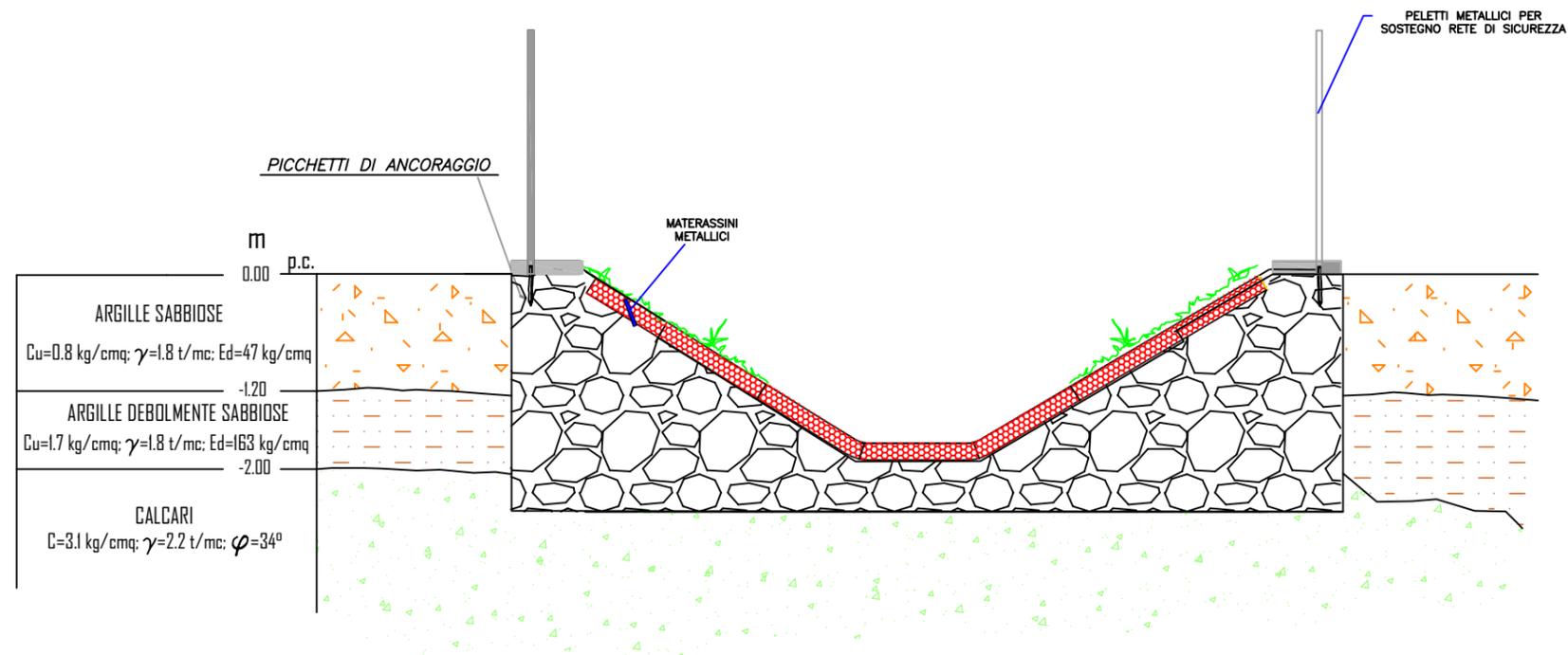


post operam

SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA C-C'

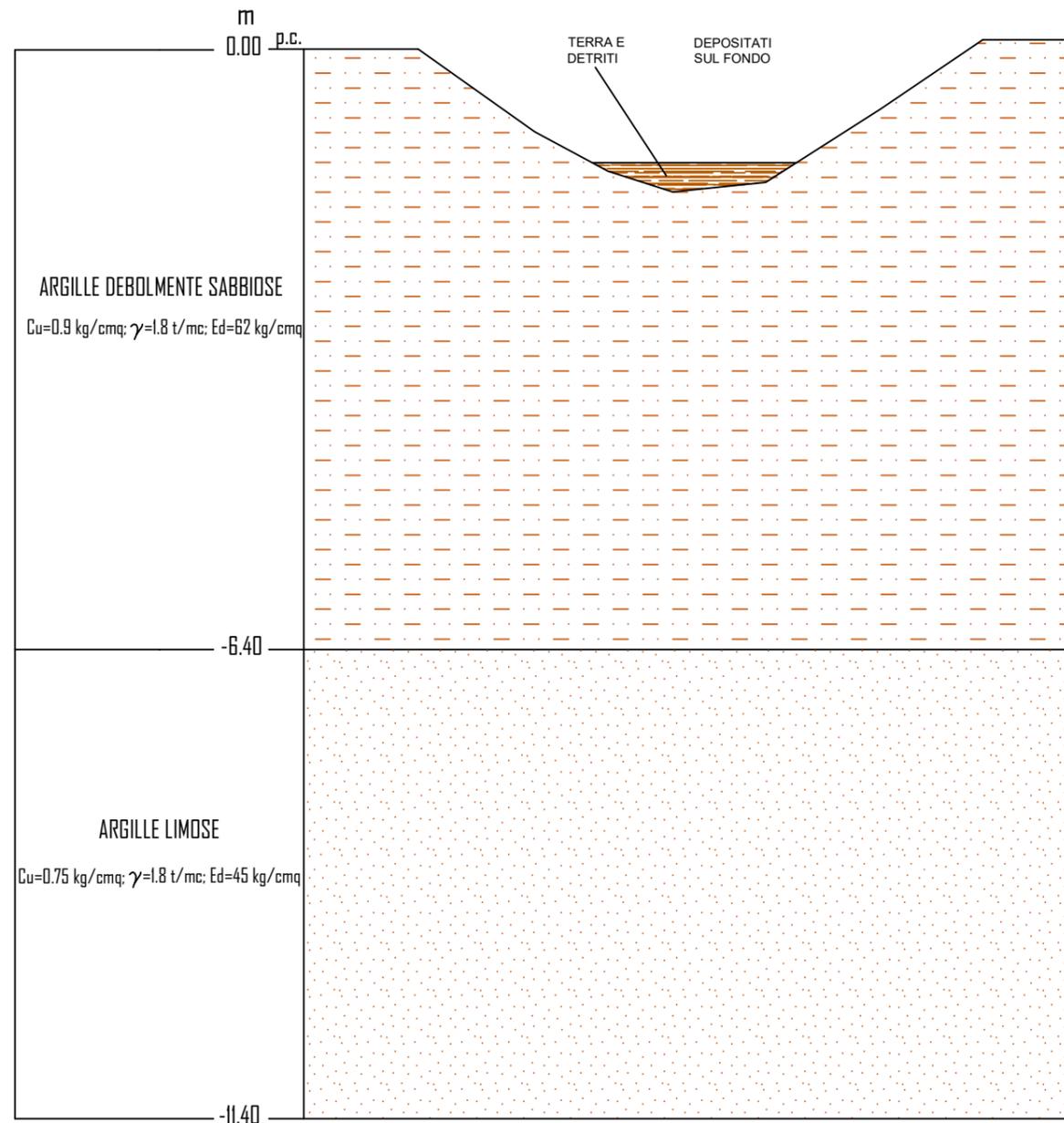


ante operam

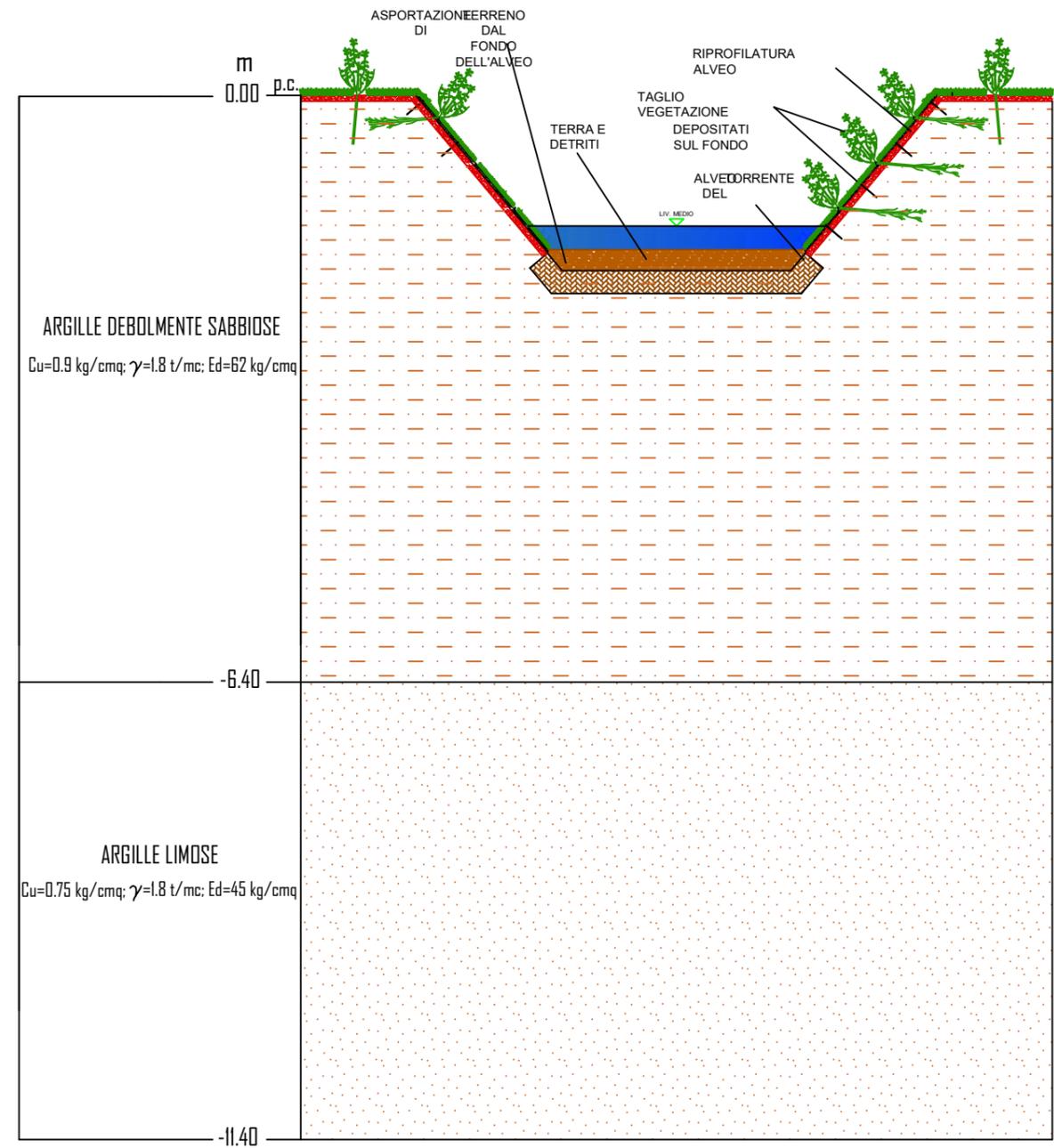


post operam

SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA D-D'



ante operam



post operam

CARTA DELLA PERICOLOSITA' - SITO 1



Legenda

FORME CARSICHE

Forme di erosione

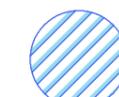
 Area carsica con sviluppo ipogeo, potenziamente soggetta a rischio sinkhole

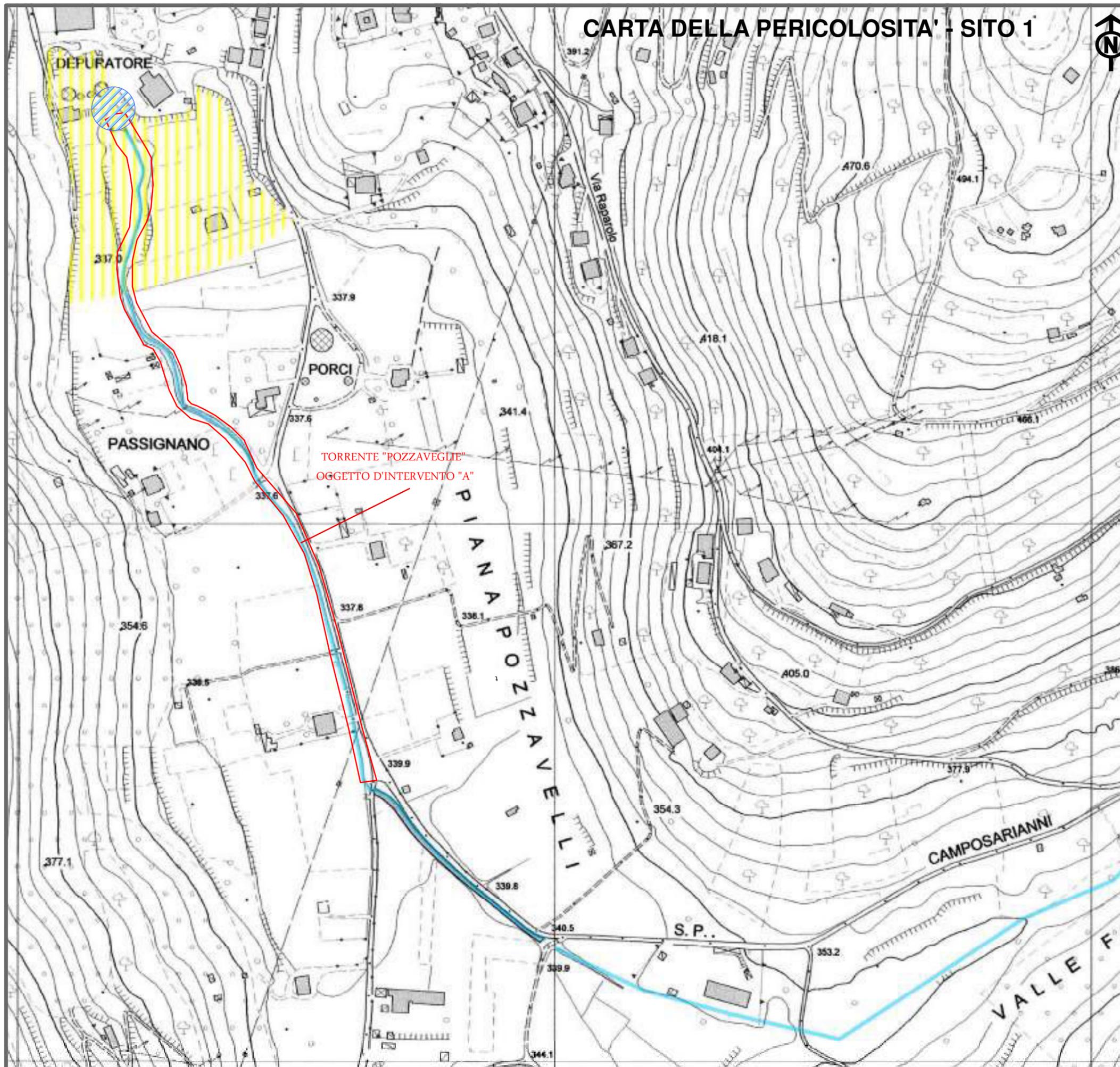
AREE ASOTTOPOSTE A TUTELA - P.A.I.

Autorità dei Bacini Regionali del Lazio (ora Autorità del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale per effetto del D.Lgs. 152/2006)

Arete di attenzione per pericolo di frana e d' inondazione

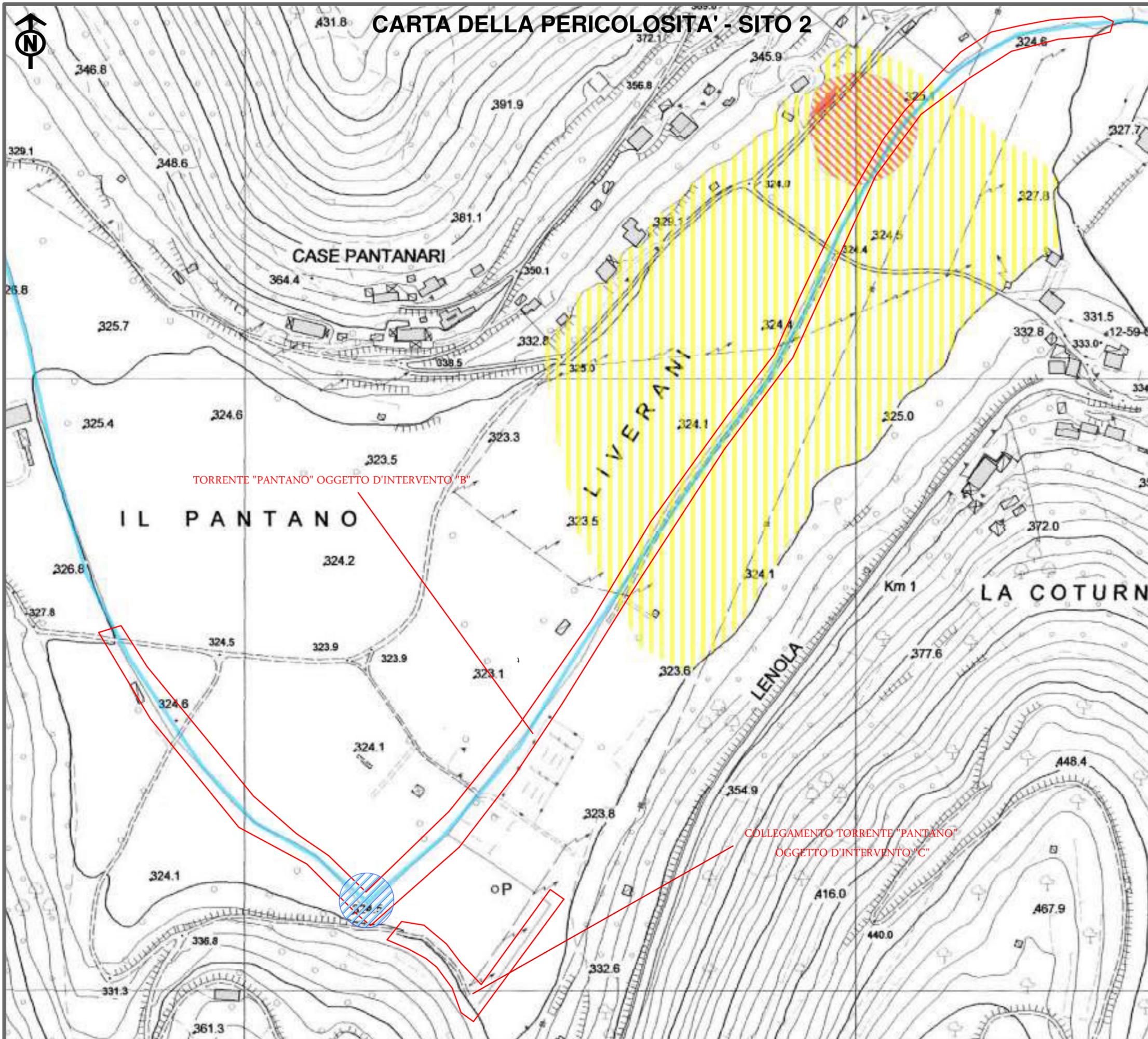
 Corsi d'acqua principali classificati pubblici con D.G.R. n. 452 del 01/04/05 (art. 9 e 27 delle N.T.A. P.A.I.)

 Aree di attenzione per presenza di cavità naturali o artificiali soggette a crolli



0 50 100 Meters

CARTA DELLA PERICOLOSITA' - SITO 2



Legenda

FORME CARSICHE

Forme di erosione

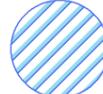
 Area carsica con sviluppo ipogeo, potenzialmente soggetta a rischio sinkhole

AREE ASOTTOPOSTE A TUTELA - P.A.I.

Autorità dei Bacini Regionali del Lazio (ora Autorità del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale per effetto del D.Lgs. 152/2006)

Aree di attenzione per pericolo di frana e d' inondazione

 Corsi d'acqua principali classificati pubblici con D.G.R. n. 452 del 01/04/05 (art. 9 e 27 delle N.T.A. P.A.I.)

 Aree di attenzione per presenza di cavità naturali o artificiali soggette a crolli

Aree sottoposte a tutela per pericolo di frana

 Aree a Pericolo A (c. 2 artt. 6 e 16 delle N.T.A. P.A.I.)

0 50 100 Meters

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Lenola Descrizione: Regimazione torrente Pantano Pozzaveglie Località: Pantano- Pozzavegli - Lenola

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA DPSH 1 - Lenola

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 11-11-2021

Profondità prova 5.20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	5	0.855	44.90	52.54	2.24	2.63
0.40	4	0.851	35.76	42.03	1.79	2.10
0.60	2	0.847	16.34	19.29	0.82	0.96

0.80	2	0.843	16.27	19.29	0.81	0.96
1.00	3	0.840	24.29	28.93	1.21	1.45
1.20	2	0.836	16.13	19.29	0.81	0.96
1.40	3	0.833	24.10	28.93	1.20	1.45
1.60	4	0.830	29.57	35.64	1.48	1.78
1.80	4	0.826	29.45	35.64	1.47	1.78
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	5	0.820	36.54	44.55	1.83	2.23
2.40	4	0.817	29.13	35.64	1.46	1.78
2.60	4	0.814	26.97	33.13	1.35	1.66
2.80	4	0.811	26.88	33.13	1.34	1.66
3.00	5	0.809	33.49	41.41	1.67	2.07
3.20	4	0.806	26.70	33.13	1.34	1.66
3.40	4	0.803	26.61	33.13	1.33	1.66
3.60	4	0.801	24.78	30.94	1.24	1.55
3.80	4	0.798	24.70	30.94	1.24	1.55
4.00	4	0.796	24.63	30.94	1.23	1.55
4.20	4	0.794	24.56	30.94	1.23	1.55
4.40	4	0.791	24.49	30.94	1.22	1.55
4.60	4	0.789	22.91	29.03	1.15	1.45
4.80	3	0.787	17.14	21.77	0.86	1.09
5.00	2	0.785	11.39	14.51	0.57	0.73
5.20	13	0.733	69.15	94.34	3.46	4.72

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.4	4.5	47.28	Coesivo	0	1.84	1.89	0.04	1.47	6.62	riporto
1.4	2.4	23.15	Coesivo	0	1.67	1.87	0.16	1.47	3.53	argilla sabbiosa
5	3.89	31.79	Coesivo	0	1.8	1.88	0.56	1.47	5.72	argilla debolmente sabbiosa
5.2	13	94.34	Coesivo	0	2.1	2.31	0.91	1.47	19.11	detriti

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Lenola 1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	Houston (1960)	0.93
Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	Houston (1960)	0.70

Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	Houston (1960)	0.86
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	Houston (1960)	2.00

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	Robertson (1983)	13.24
Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	Robertson (1983)	7.06
Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	Robertson (1983)	11.44
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	Robertson (1983)	38.22

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	69.31
Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	37.80
Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	60.13
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	196.70

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	Apollonia	66.20
Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	Apollonia	35.30
Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	Apollonia	57.20
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	Apollonia	191.10

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	Meyerhof	1.84
Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	Meyerhof	1.67
Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	Meyerhof	1.80
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	Meyerhof	2.10

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	Meyerhof	1.89
Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	Meyerhof	1.87
Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	Meyerhof	1.88
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	Meyerhof	2.31

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) riporto	6.62	0.00-0.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	69.54
Strato (2) argilla sabbiosa	3.53	0.40-1.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	83.38

Strato (3) argilla debolmente sabbiosa	5.72	1.40-5.00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	115.78
Strato (4) detriti	19.11	5.00-5.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	156.08

PROVA DPSH 2 - Lenola

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 11-11-2021

Profondità prova 10.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	3	0.855	26.94	31.52	1.35	1.58
0.40	3	0.851	26.82	31.52	1.34	1.58
0.60	4	0.847	32.67	38.57	1.63	1.93
0.80	2	0.843	16.27	19.29	0.81	0.96
1.00	3	0.840	24.29	28.93	1.21	1.45
1.20	5	0.836	40.32	48.22	2.02	2.41
1.40	5	0.833	40.16	48.22	2.01	2.41
1.60	4	0.830	29.57	35.64	1.48	1.78
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	3	0.820	21.92	26.73	1.10	1.34
2.40	4	0.817	29.13	35.64	1.46	1.78
2.60	2	0.814	13.49	16.56	0.67	0.83
2.80	2	0.811	13.44	16.56	0.67	0.83
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	2	0.806	13.35	16.56	0.67	0.83
3.40	4	0.803	26.61	33.13	1.33	1.66
3.60	3	0.801	18.59	23.21	0.93	1.16
3.80	4	0.798	24.70	30.94	1.24	1.55
4.00	4	0.796	24.63	30.94	1.23	1.55
4.20	4	0.794	24.56	30.94	1.23	1.55
4.40	5	0.791	30.61	38.68	1.53	1.93
4.60	4	0.789	22.91	29.03	1.15	1.45

4.80	4	0.787	22.85	29.03	1.14	1.45
5.00	5	0.785	28.48	36.28	1.42	1.81
5.20	6	0.783	34.09	43.54	1.70	2.18
5.40	5	0.781	28.34	36.28	1.42	1.81
5.60	5	0.779	26.62	34.17	1.33	1.71
5.80	5	0.777	26.56	34.17	1.33	1.71
6.00	6	0.775	31.80	41.00	1.59	2.05
6.20	7	0.774	37.01	47.84	1.85	2.39
6.40	5	0.772	26.38	34.17	1.32	1.71
6.60	6	0.770	29.85	38.75	1.49	1.94
6.80	6	0.769	29.79	38.75	1.49	1.94
7.00	5	0.767	24.77	32.29	1.24	1.61
7.20	6	0.766	29.67	38.75	1.48	1.94
7.40	5	0.764	24.67	32.29	1.23	1.61
7.60	6	0.763	28.01	36.73	1.40	1.84
7.80	5	0.761	23.30	30.60	1.16	1.53
8.00	4	0.760	18.61	24.48	0.93	1.22
8.20	6	0.759	27.86	36.73	1.39	1.84
8.40	6	0.757	27.81	36.73	1.39	1.84
8.60	7	0.756	30.78	40.72	1.54	2.04
8.80	6	0.755	26.34	34.90	1.32	1.75
9.00	7	0.753	30.68	40.72	1.53	2.04
9.20	7	0.752	30.63	40.72	1.53	2.04
9.40	7	0.751	30.59	40.72	1.53	2.04
9.60	8	0.750	33.25	44.34	1.66	2.22
9.80	8	0.749	33.20	44.34	1.66	2.22
10.00	8	0.748	33.15	44.34	1.66	2.22

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
5	3.48	29.85	Coesivo	0	1.77	1.88	0.44	1.47	5.12	argilla sabbiosa
10	6.08	37.92	Coesivo	0	1.93	2.12	1.37	1.47	8.94	argilla debolmente sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Lenola 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	Houston (1960)	0.82

Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	Houston (1960)	1.11
--	------	------------	----------------	------

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	Robertson (1983)	10.24
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	Robertson (1983)	17.88

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	54.01
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	92.98

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	Apollonia	51.20
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	Apollonia	89.40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	Meyerhof	1.77
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	Meyerhof	1.93

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)

Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	Meyerhof	1.88
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	Meyerhof	2.12

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) argilla sabbiosa	5.12	0.00-5.00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	108.3
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	8.94	5.00-10.00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	147.43

PROVA DPSH 3 - Lenola

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 11-11-2021

Profondità prova 2.20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	3	0.855	26.94	31.52	1.35	1.58
0.40	2	0.851	17.88	21.01	0.89	1.05
0.60	3	0.847	24.50	28.93	1.23	1.45
0.80	3	0.843	24.40	28.93	1.22	1.45
1.00	3	0.840	24.29	28.93	1.21	1.45
1.20	4	0.836	32.26	38.57	1.61	1.93
1.40	12	0.833	96.38	115.72	4.82	5.79
1.60	11	0.830	81.31	98.02	4.07	4.90
1.80	9	0.826	66.27	80.20	3.31	4.01
2.00	11	0.823	80.69	98.02	4.03	4.90
2.20	19	0.770	130.39	169.31	6.52	8.47

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	3	29.65	Coesivo	0	1.72	1.87	0.1	1.47	4.41	argilla sabbiosa
2	10.75	97.99	Coesivo	0	2.07	2.28	0.29	1.47	15.8	argilla debolmente sabbiosa
2.2	19	169.31	Coesivo	0	2.14	2.31	0.39	1.47	27.93	calcare

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Lenola 3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	Houston (1960)	0.76
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	Houston (1960)	1.70
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	Houston (1960)	2.87

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	Robertson (1983)	8.82
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	Robertson (1983)	31.60
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	Robertson (1983)	55.86

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	46.77
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	162.94
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	286.66

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	Apollonia	44.10
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	Apollonia	158.00
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	Apollonia	279.30

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	Meyerhof	1.72
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	Meyerhof	2.07
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	Meyerhof	2.14

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	Meyerhof	1.87
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	Meyerhof	2.28
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	Meyerhof	2.31

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
-------------	------	------------------	--------------	-------------------------------

Strato (1) argilla sabbiosa	4.41	0.00-1.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	80.13
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	15.80	1.20-2.00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	120.75
Strato (3) calcare	27.93	2.00-2.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	140.44

PROVA DPSH 4 - Lenola

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 11-11-2021

Profondità prova 12.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	8	0.855	71.84	84.06	3.59	4.20
0.40	9	0.851	80.45	94.57	4.02	4.73
0.60	7	0.847	57.18	67.50	2.86	3.38
0.80	5	0.843	40.66	48.22	2.03	2.41
1.00	4	0.840	32.39	38.57	1.62	1.93
1.20	4	0.836	32.26	38.57	1.61	1.93
1.40	2	0.833	16.06	19.29	0.80	0.96
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	4	0.823	29.34	35.64	1.47	1.78
2.20	3	0.820	21.92	26.73	1.10	1.34
2.40	4	0.817	29.13	35.64	1.46	1.78
2.60	5	0.814	33.72	41.41	1.69	2.07
2.80	4	0.811	26.88	33.13	1.34	1.66
3.00	5	0.809	33.49	41.41	1.67	2.07
3.20	4	0.806	26.70	33.13	1.34	1.66
3.40	5	0.803	33.27	41.41	1.66	2.07
3.60	5	0.801	30.98	38.68	1.55	1.93
3.80	5	0.798	30.88	38.68	1.54	1.93
4.00	4	0.796	24.63	30.94	1.23	1.55

4.20	4	0.794	24.56	30.94	1.23	1.55
4.40	4	0.791	24.49	30.94	1.22	1.55
4.60	4	0.789	22.91	29.03	1.15	1.45
4.80	4	0.787	22.85	29.03	1.14	1.45
5.00	5	0.785	28.48	36.28	1.42	1.81
5.20	4	0.783	22.73	29.03	1.14	1.45
5.40	5	0.781	28.34	36.28	1.42	1.81
5.60	4	0.779	21.30	27.34	1.06	1.37
5.80	4	0.777	21.25	27.34	1.06	1.37
6.00	3	0.775	15.90	20.50	0.79	1.03
6.20	4	0.774	21.15	27.34	1.06	1.37
6.40	4	0.772	21.10	27.34	1.06	1.37
6.60	3	0.770	14.92	19.37	0.75	0.97
6.80	4	0.769	19.86	25.83	0.99	1.29
7.00	4	0.767	19.82	25.83	0.99	1.29
7.20	3	0.766	14.83	19.37	0.74	0.97
7.40	3	0.764	14.80	19.37	0.74	0.97
7.60	3	0.763	14.01	18.36	0.70	0.92
7.80	3	0.761	13.98	18.36	0.70	0.92
8.00	3	0.760	13.95	18.36	0.70	0.92
8.20	3	0.759	13.93	18.36	0.70	0.92
8.40	3	0.757	13.91	18.36	0.70	0.92
8.60	3	0.756	13.19	17.45	0.66	0.87
8.80	3	0.755	13.17	17.45	0.66	0.87
9.00	3	0.753	13.15	17.45	0.66	0.87
9.20	3	0.752	13.13	17.45	0.66	0.87
9.40	4	0.751	17.48	23.27	0.87	1.16
9.60	3	0.750	12.47	16.63	0.62	0.83
9.80	3	0.749	12.45	16.63	0.62	0.83
10.00	4	0.748	16.58	22.17	0.83	1.11
10.20	3	0.747	12.41	16.63	0.62	0.83
10.40	3	0.746	12.40	16.63	0.62	0.83
10.60	2	0.744	7.88	10.58	0.39	0.53
10.80	2	0.743	7.87	10.58	0.39	0.53
11.00	2	0.742	7.86	10.58	0.39	0.53
11.20	2	0.741	7.85	10.58	0.39	0.53
11.40	3	0.740	11.75	15.88	0.59	0.79
11.60	3	0.739	11.23	15.19	0.56	0.76
11.80	2	0.738	7.48	10.13	0.37	0.51
12.00	3	0.737	11.20	15.19	0.56	0.76

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tension e efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.6	8	82.04	Coesivo	0	2.01	2.21	0.06	1.47	11.76	riporto

7	4.03	31.79	Coesivo	0	1.81	1.89	0.7	1.47	5.92	argilla debolmente sabbiosa
12	2.88	16.44	Coesivo	0	1.71	1.87	1.71	1.47	4.23	argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Lenola 4

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	Houston (1960)	1.35
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	Houston (1960)	0.88
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	Houston (1960)	0.75

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	Robertson (1983)	23.52
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	Robertson (1983)	11.84
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	Robertson (1983)	8.46

Modulo Edometrico

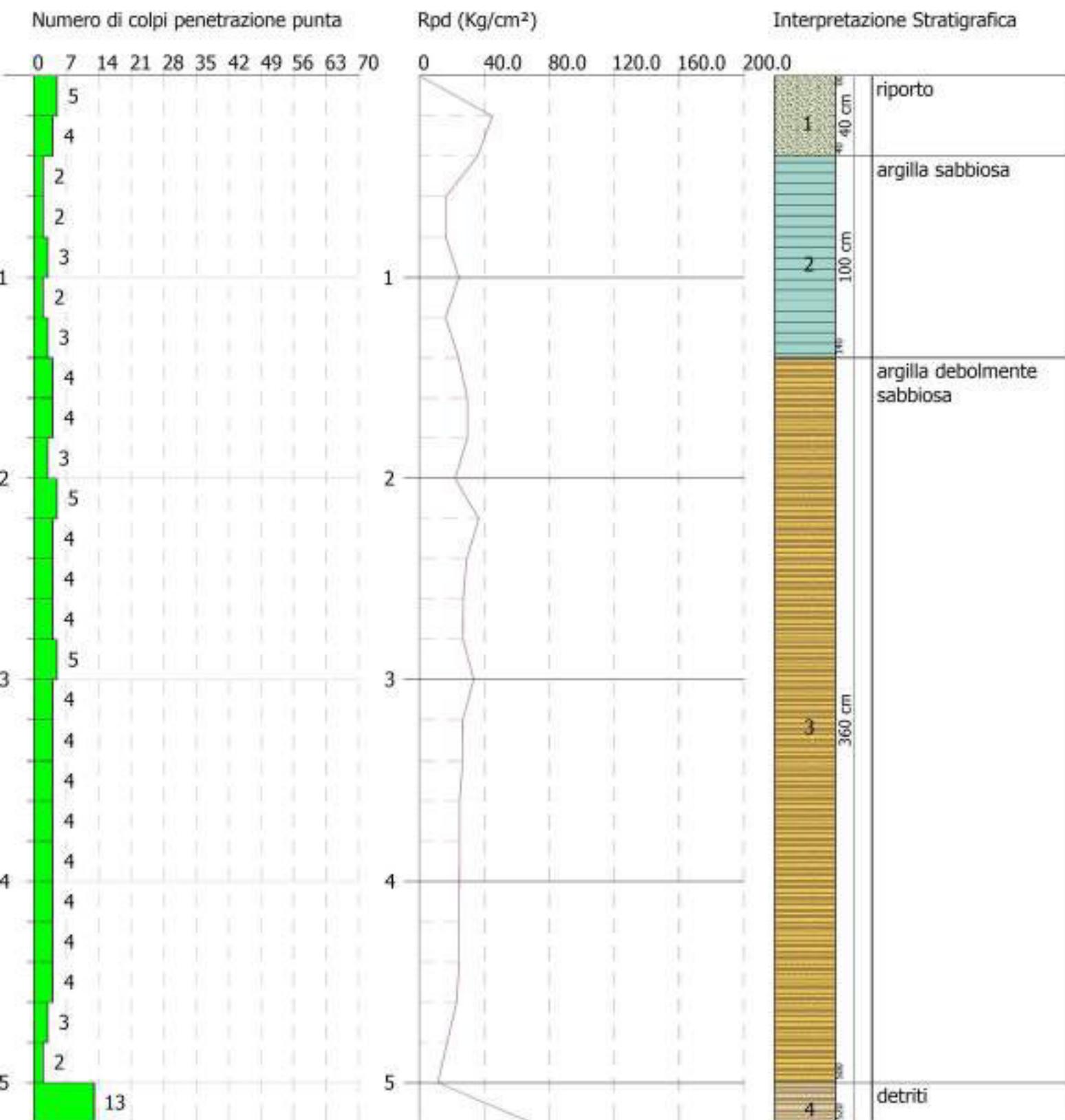
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	121.74
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	62.17
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	44.94

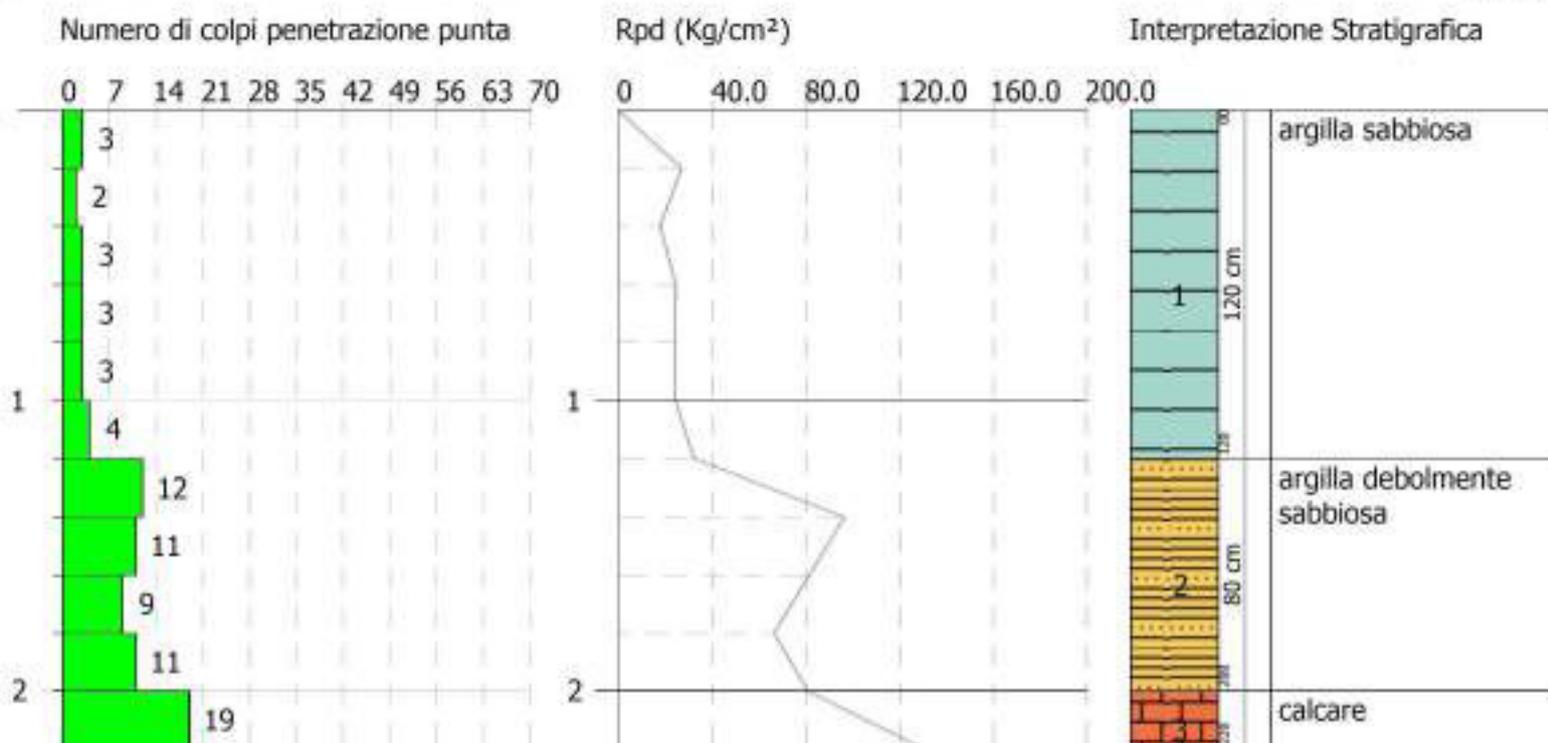
Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	Apollonia	117.60

Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	Apollonia	59.20
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	Apollonia	42.30
Classificazione AGI				
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Peso unità di volume				
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	Meyerhof	2.01
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	Meyerhof	1.81
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	Meyerhof	1.71
Peso unità di volume saturo				
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	Meyerhof	2.21
Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	Meyerhof	1.89
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	Meyerhof	1.87
Velocità onde di taglio				
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) riporto	11.76	0.00-0.60	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	83.06

Strato (2) argilla debolmente sabbiosa	5.92	0.60-7.00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	120.4
Strato (3) argilla limosa	4.23	7.00-12.00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	135.57





SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2021/11/11 08:17:20

Recording length: 10 min

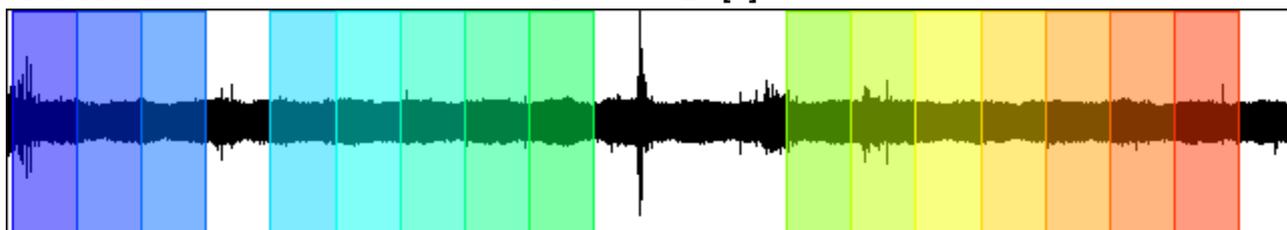
Windows count: 15

Average windows length: 30

Signal coverage: 75%

7679 Counts

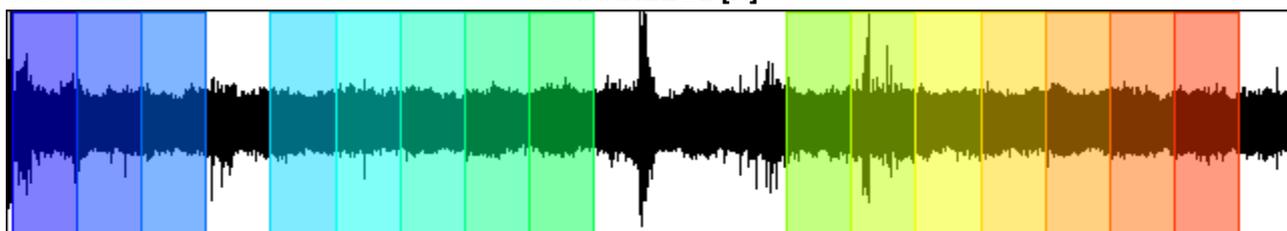
CHANNEL #1 [V]



-6445 Counts

3963 Counts

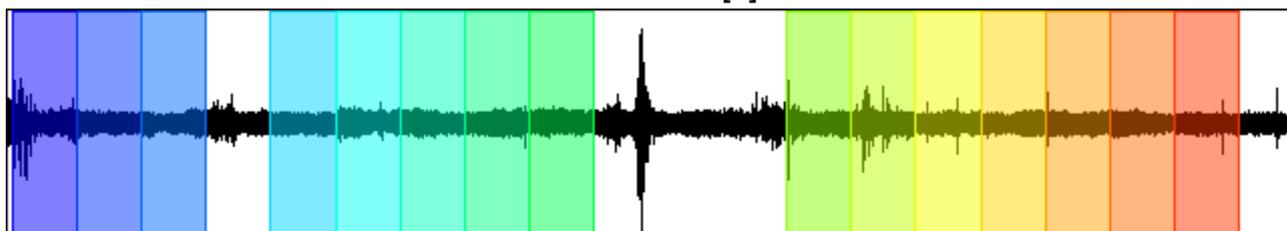
CHANNEL #2 [N]



-3654 Counts

6890 Counts

CHANNEL #3 [E]



-8237 CountsHV

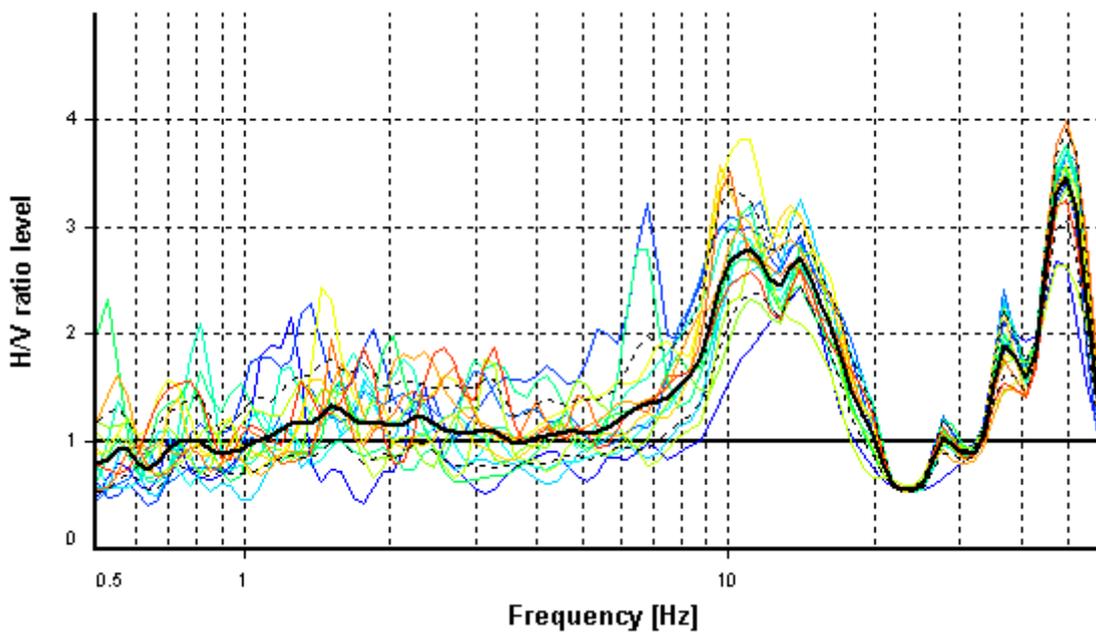
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

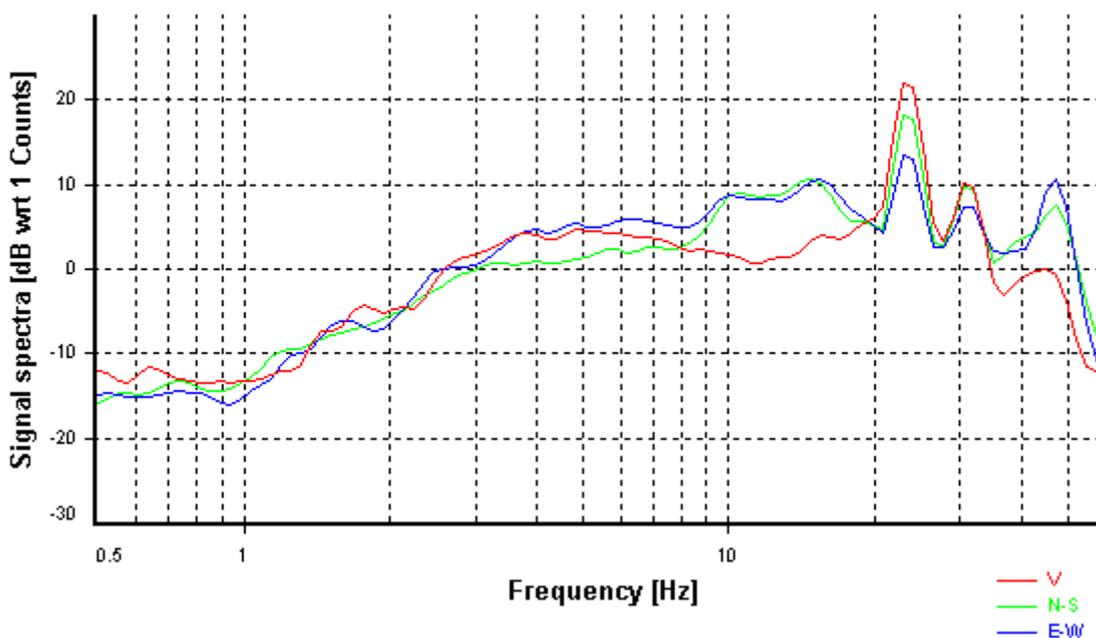
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

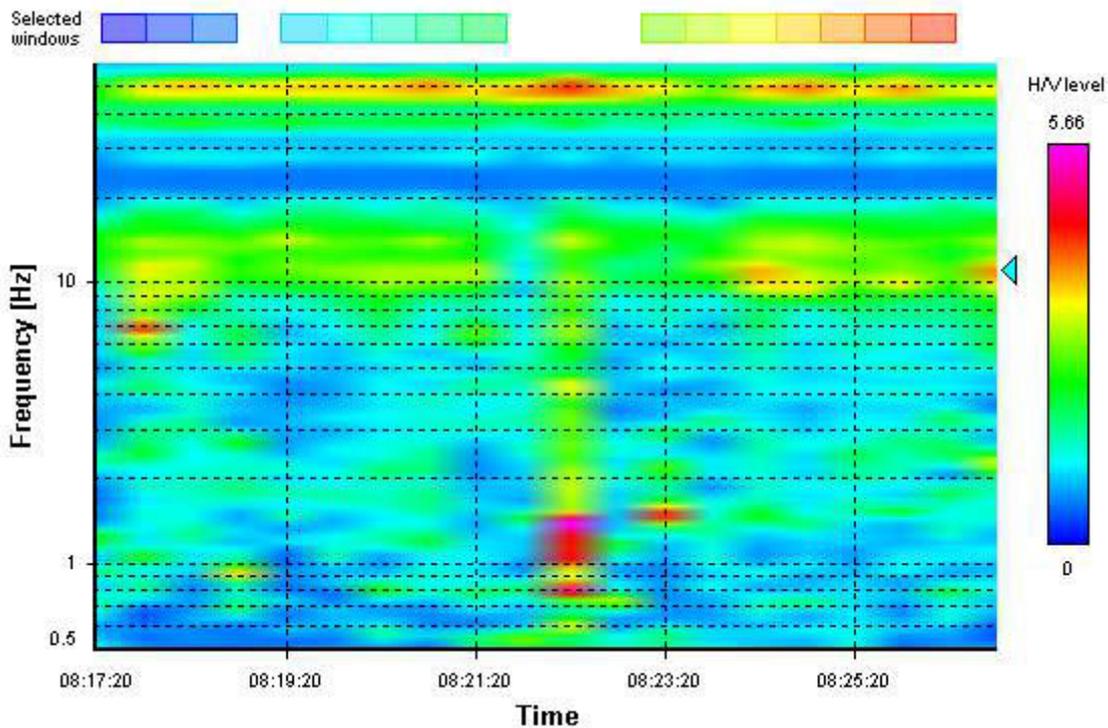
HVSR average



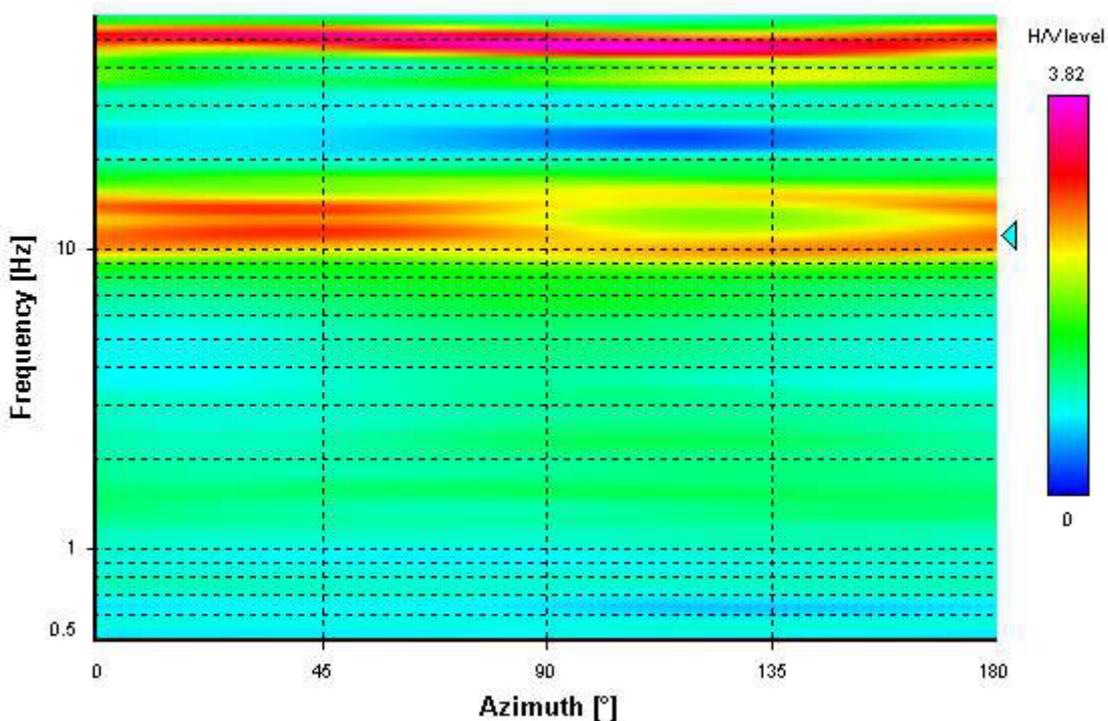
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



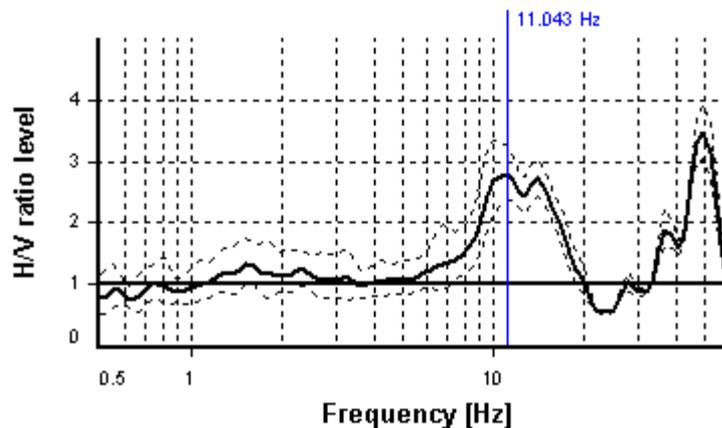
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

11.043 Hz

A_0 amplitude = 2.782

Average $f_0 = 11.628 \pm 1.727$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	15 valid windows (length > 0.91 s) out of 15	OK
$n_0(f_0) > 200$	4969.35 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	7.14613 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	18.79781 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.78 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	27.35% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.72709 >= 0.55215	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.17287 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

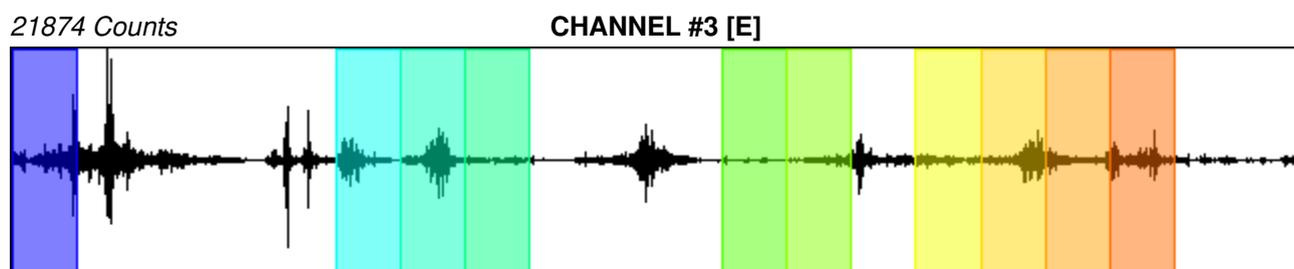
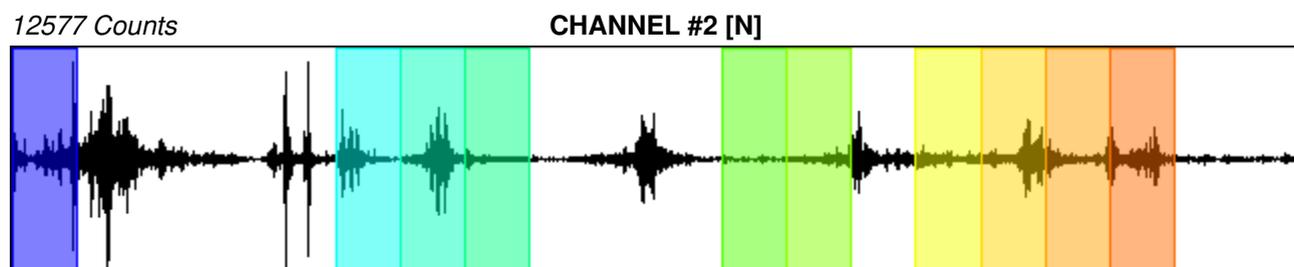
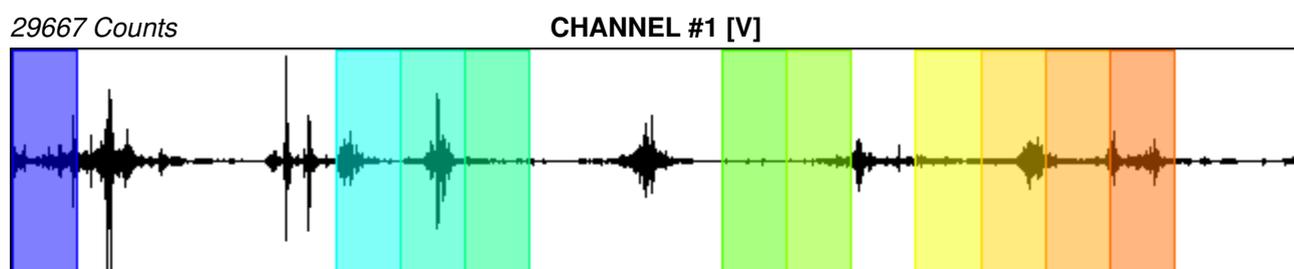
Recording start time: 2021/11/11 09:27:48

Recording length: 10 min

Windows count: 10

Average windows length: 30

Signal coverage: 50%



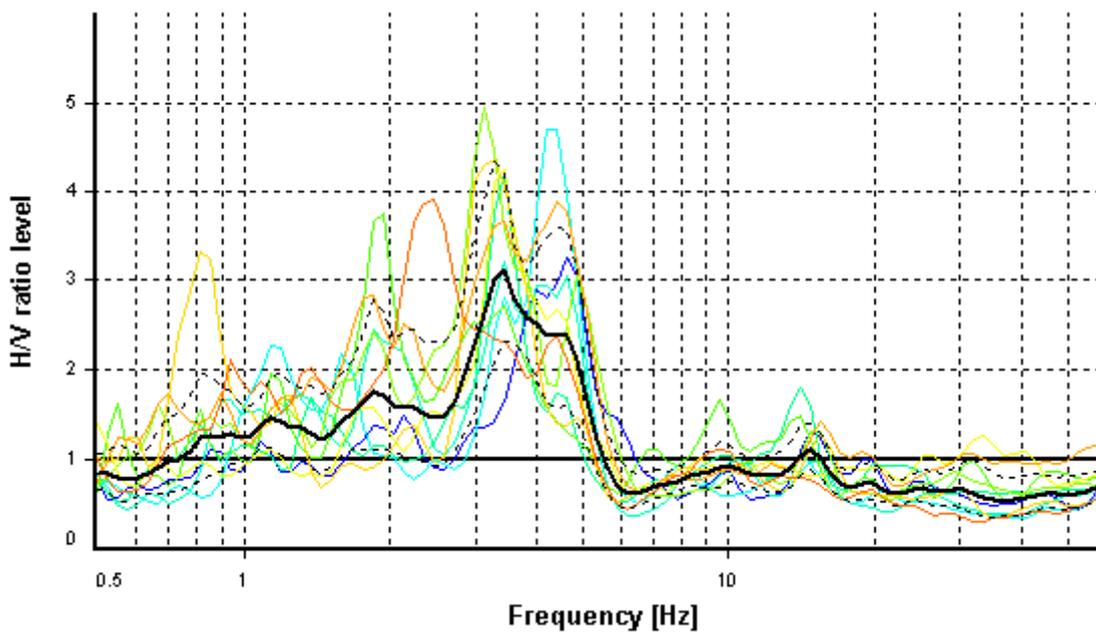
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

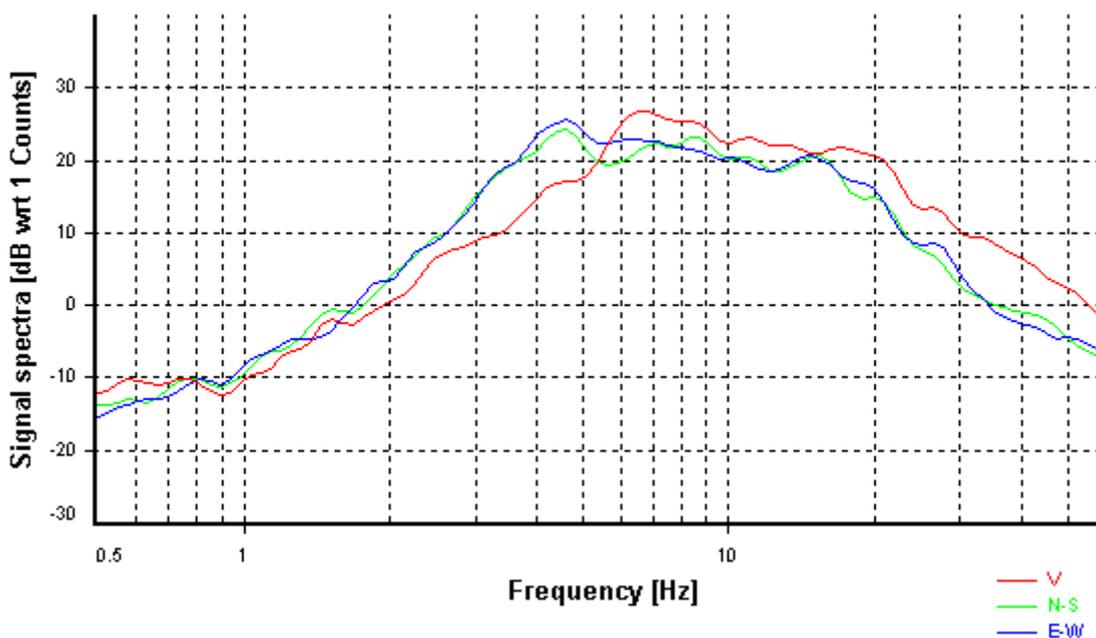
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

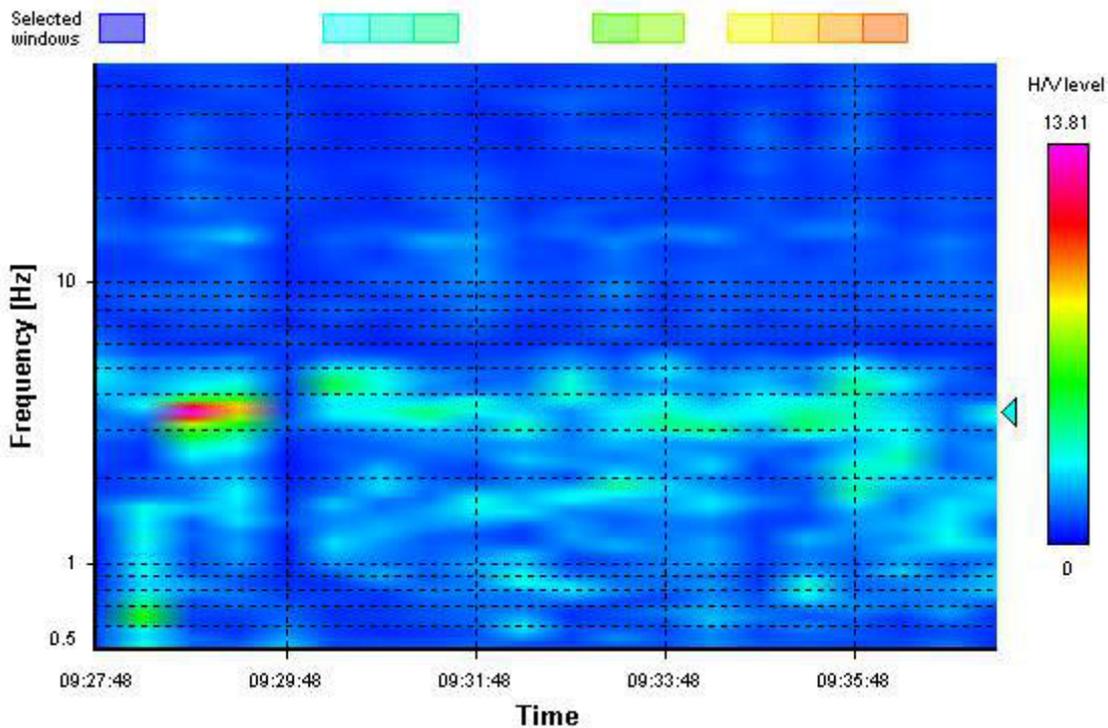
HVSR average



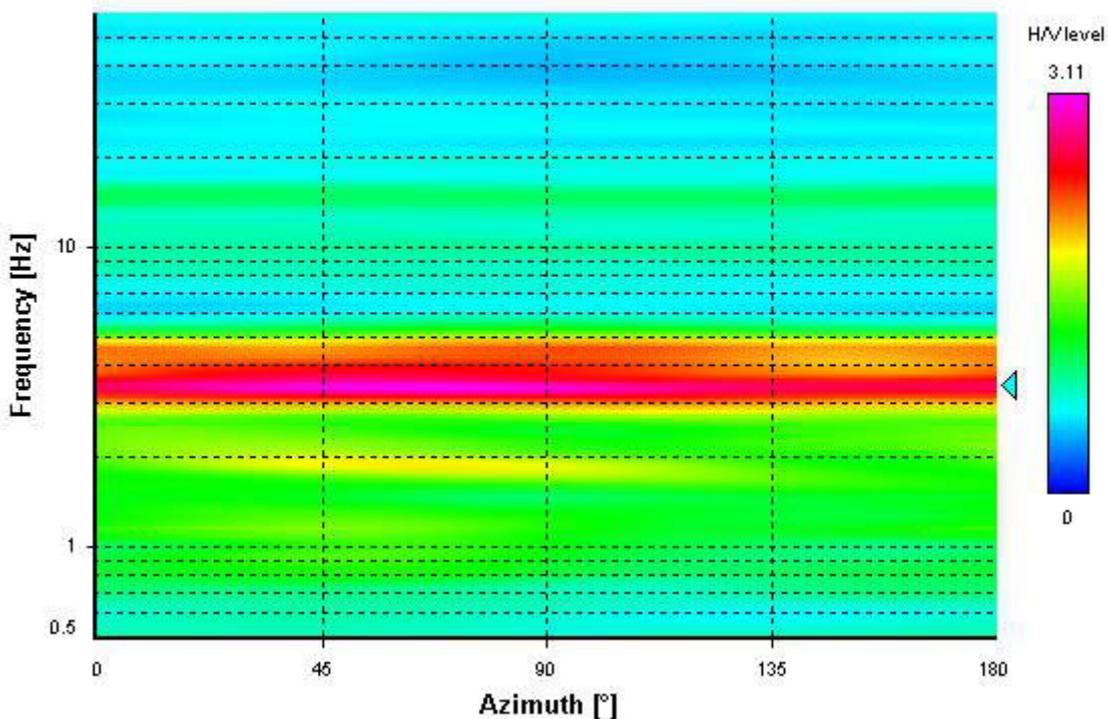
Signal spectra averageGH



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



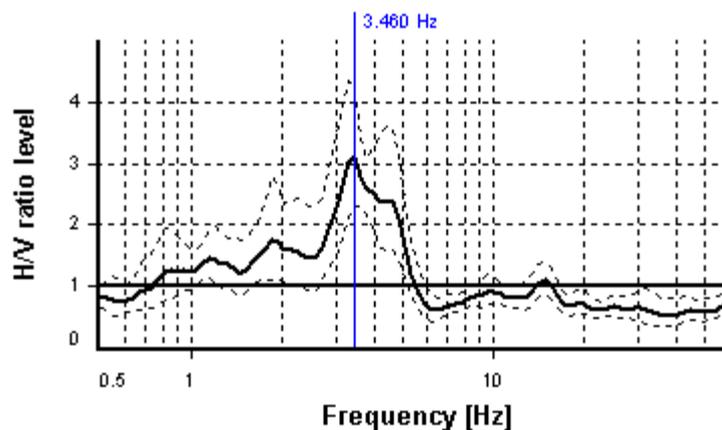
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

3.460 Hz

A_0 amplitude = 3.127

Average $f_0 = 3.618 \pm 0.668$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	10 valid windows (length > 2.89 s) out of 10	OK
$n_0(f_0) > 200$	1037.92 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	2.58841 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	5.34638 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.13 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.72% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.66774 >= 0.17299	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.3534 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

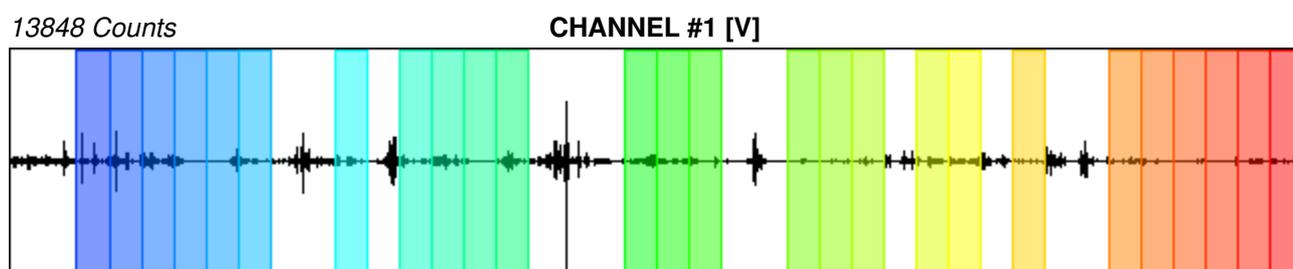
Recording start time: 2021/11/11 11:31:42

Recording length: 20 min

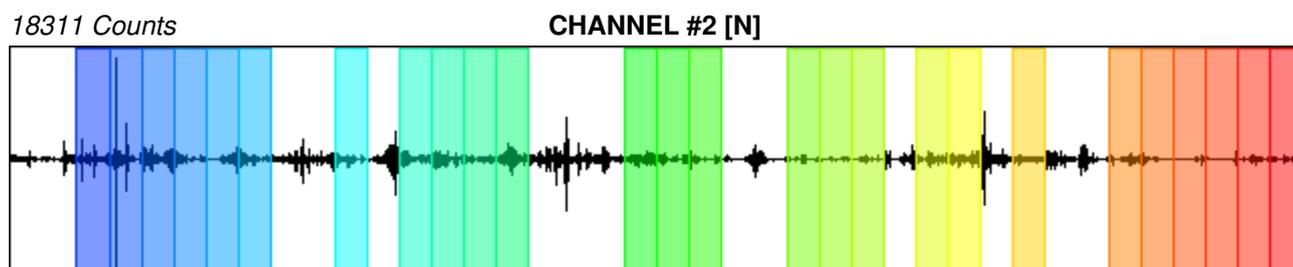
Windows count: 26

Average windows length: 29.88

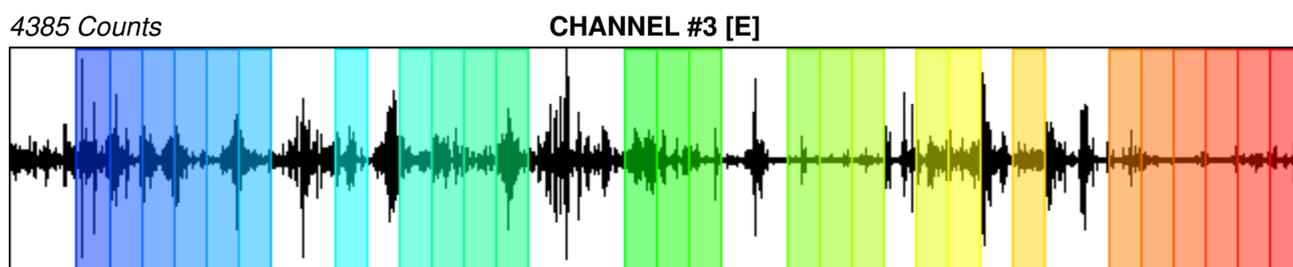
Signal coverage: 64.74%



-25686 Counts



-20160 Counts



-3887 CountsHV

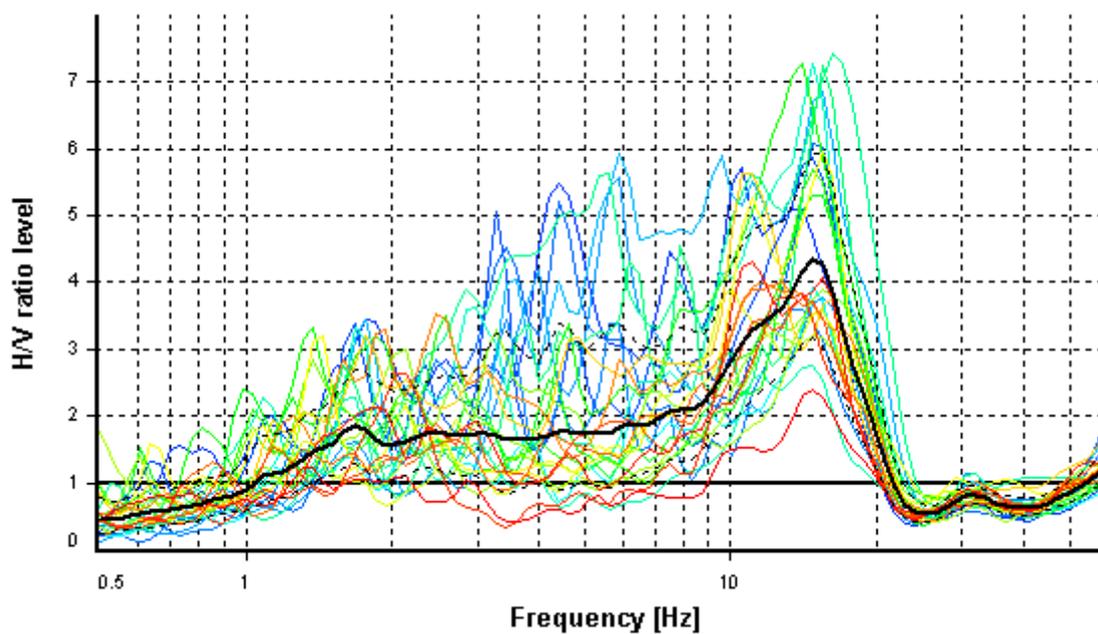
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

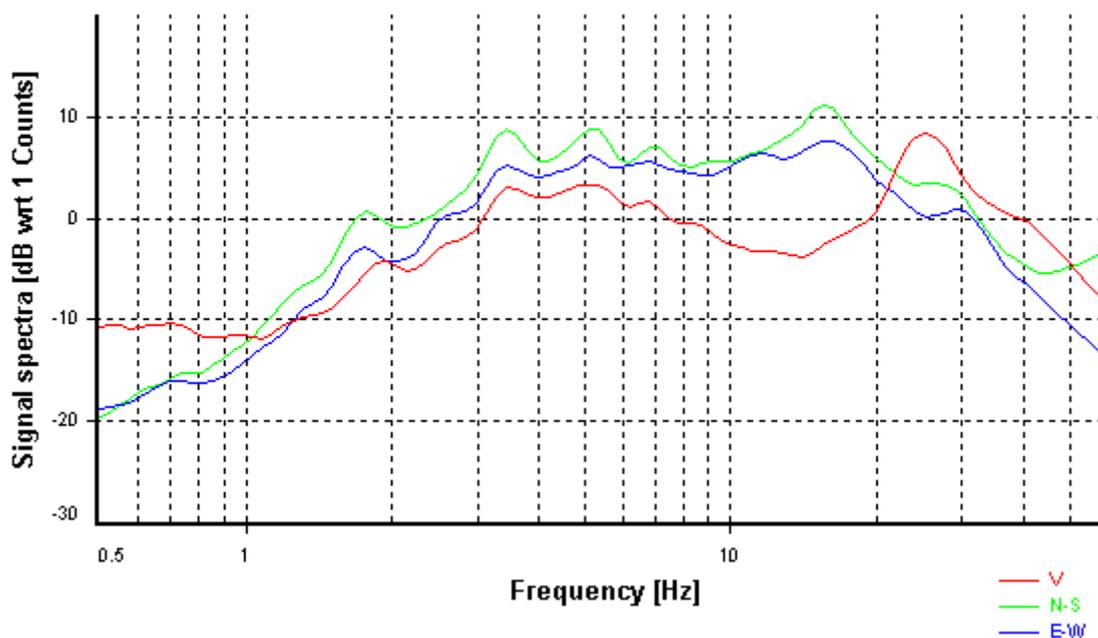
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

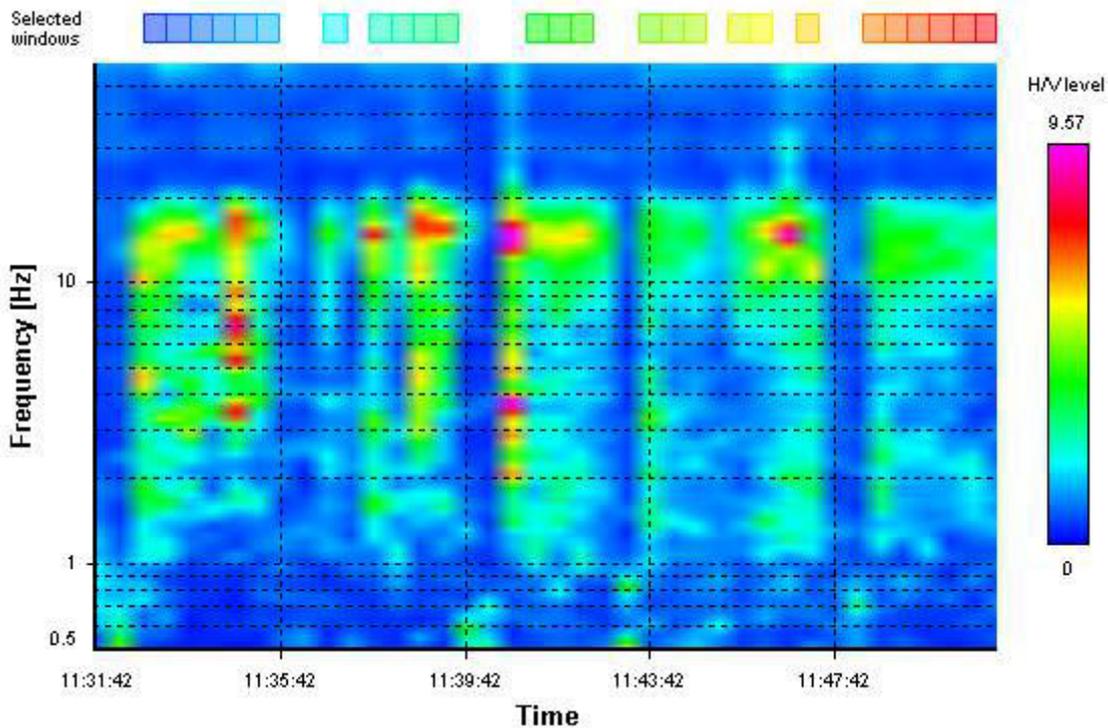
HVSR average



Signal spectra averageHV



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis

