



CONSULENZA GEOLOGICA - INDAGINI GEOGNOSTICHE  
MONITORAGGIO AMBIENTALE - DIAGNOSTICA STRUTTURALE

Via Arcangeli n° 6 – 98031 Capizzi (ME) – Cell. 339/8637188 – E-mail: geo\_service@inwind.it

## PROVINCIA DI BENEVENTO

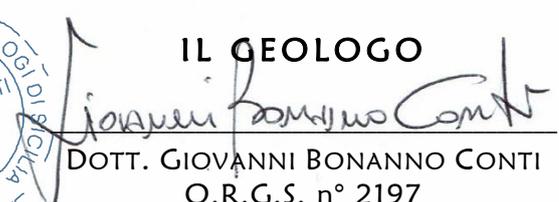
LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL MOVIMENTO  
FRANOSO E DI RIPRISTINO DEL PIANO VIARIO DELLA  
S.P. N° 60 NELLA LOCALITÀ “SANT’IGNAZIO” DEL  
COMUNE DI SAN GIORGIO LA MOLARA

# RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE  
PROVINCIA DI BENEVENTO

DATA  
01/02/2020



IL GEOLOGO  
  
DOTT. GIOVANNI BONANNO CONTI  
O.R.G.S. n° 2197

## I N D I C E

1.0	PREMESSE	PAG. 2
2.0	LINEAMENTI GEOLOGICI E CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	PAG. 4
3.0	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGIA	PAG. 9
4.0	IDROGRAFIA E CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	PAG. 13
5.0	SISMICITÀ E CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SUBSTRATO	PAG. 16
6.0	INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	PAG. 25
7.0	CONCLUSIONI	PAG. 28

## A L L E G A T I

— INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO

## **1.0 PREMESSE**

Su incarico conferito dall'Amministrazione Provinciale di Benevento con Determinazione Dirigenziale n° 2314 del 09/10/2019 del "Settore Tecnico - Servizio Viabilità 2" è stata redatta la presente relazione geologico-technica e sismica a corredo del progetto per i «Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso e di ripristino del piano viario della S.P. n° 60 nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molar». ».



Lo studio di che trattasi è stato effettuato per valutare le caratteristiche idrogeologiche e geomorfologiche locali nonché per accertare la stratigrafia e la natura geolitologica dei terreni affioranti nel tratto di strada interessato dall'intervento di messa in sicurezza allo scopo di definire le principali proprietà geofisiche ed i più importanti parametri geotecnici del substrato per fornire al progettista i dati utili per la scelta della soluzione progettuale più idonea e per il calcolo ed il dimensionamento dell'opera da realizzare.

Il presente lavoro è stato condotto attraverso:

- ✓ l'analisi della documentazione geologica esistente e dei precedenti studi geologici riguardanti la stessa area e le medesime litologie;
- ✓ il rilevamento geologico di superficie, esteso ad un intorno significativo dell'area di progetto e supportato dalla visione diretta dei terreni affioranti in corrispondenza di spaccati naturali e/o sbancamenti artificiali presenti nelle immediate vicinanze;
- ✓ la raccolta delle informazioni acquisite con la campagna di indagini geognostiche

effettuata, consistente nell'esecuzione di:

- un sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 18.00 m dal piano campagna per definire le caratteristiche litostratigrafiche locali;
- prelievo di n° 3 campioni indisturbati di cui uno “a parete”, sottoposti ad analisi e prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e dei parametri geotecnici;
- n° 2 prove penetrometriche dinamiche SPT in foro di sondaggio;
- una prova sismica attiva MASW per determinare la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  e, quindi, la categoria di suolo di fondazione;
- una prova sismica passiva HVSR per definire la frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Dall'elaborazione dei dati in possesso dello scrivente, è stato possibile fornire, per quanto di specifica competenza, le seguenti informazioni:

- inquadramento dell'area in un preciso contesto geologico-strutturale e definizione dello stato di affioramento, del grado d'alterazione e delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche della successione affiorante;
- descrizione della zona dal punto di vista geomorfologico con l'identificazione dei dislivelli e di quant'altro caratterizzante l'assetto superficiale;
- illustrazione delle caratteristiche idrogeologiche dei terreni affioranti e descrizione dello schema di circolazione idrica superficiale del contesto territoriale;
- definizione delle principali caratteristiche fisiche e dei più importanti parametri geofisici e geotecnici del sedime di fondazione.

Il presente studio è stato eseguito in ottemperanza alla legislazione di cui al D.M. LL.PP. 11/03/88 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”* nonché alla vigente normativa sismica ed alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018, approvate con D.M. del 17/01/2018.

## 2.0 LINEAMENTI GEOLOGICI E CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE

L'area oggetto del presente studio ricade nella zona nord-orientale della Provincia di Benevento e, dal punto di vista geologico-strutturale, si colloca nella parte centrale della catena dell'Appennino Meridionale che si estende dal sud dell'Abruzzo sino alle catene montuose della Sicilia e delle Maghrebidi alle quali è collegata attraverso il segmento dell'Arco Calabro-Peloritano.



Fig. 1 - Carta geologica schematica dell'Appennino meridionale con ubicazione dell'area studiata. Legenda: 1) Depositi pliocenici e quaternari; 2) Depositi sinorogenici miocenici; 3) Unità Sicilide e Liguride; 4) Unità della piattaforma carbonatica sud-appenninica; 5) Unità del Bacino Lagonegrese-Molisano; 6) Unità Apula; 7) Edifici vulcanici; 8) Limite ipogeo della catena.

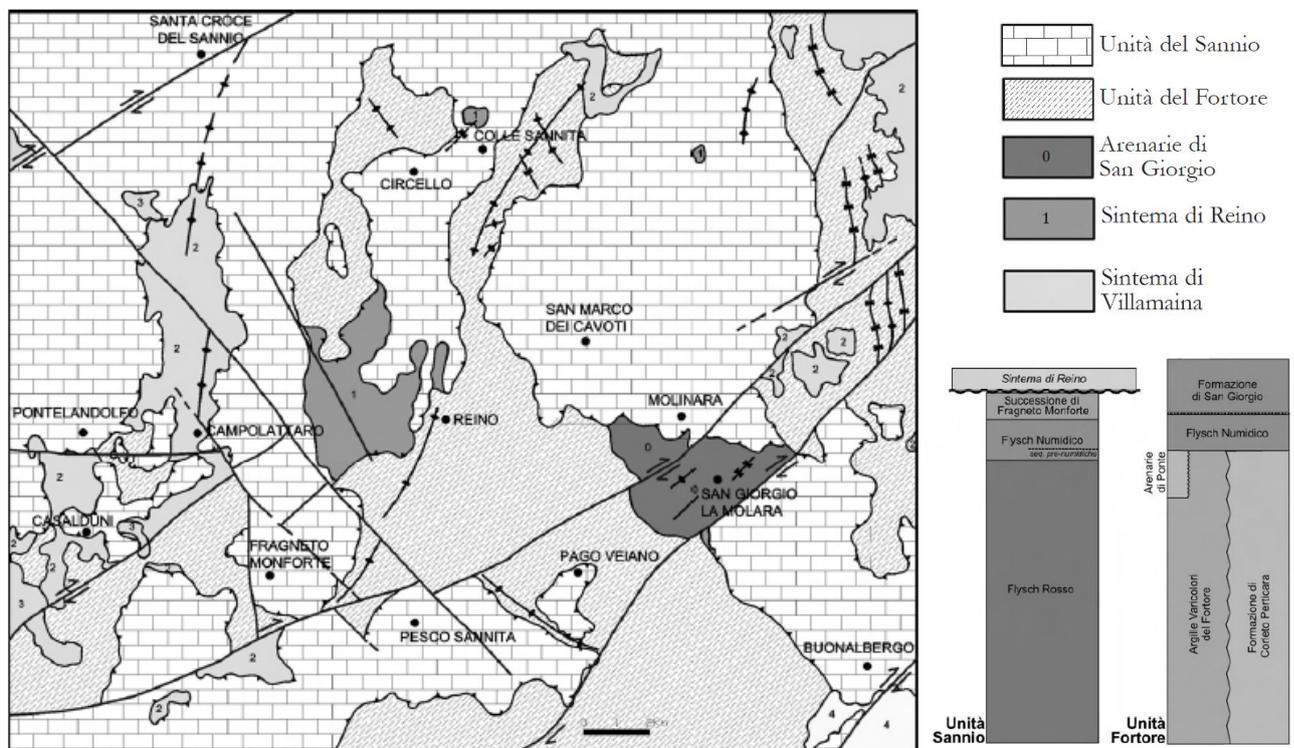
In particolare il sito di progetto si colloca nel settore centrale dei Monti del Sannio, nel segmento molisano-sannitico dell'Appennino meridionale e rientra nel dominio geologico del Bacino Lagonegrese-Molisano, che si estende dall'alto Molise fino all'estremità sud della Basilicata.

All'interno del bacino affiorano quattro unità tettoniche, derivanti dalla deformazione e dalla strutturazione di coperture sedimentarie bacinali pelagiche di età mesocenoica, che sono disposte al margine della catena e possono essere distinte, da occidente verso le aree esterne, in: Unità del Sannio (Unità di Frigento p. p.), Unità del Fortore, Unità Dauna e Unità del Vallone del Toro.

Su di esse poggiano in discordanza depositi sinorogenici, prevalentemente silico-clastici,

di età compresa tra il Serravalliano ed il Messiniano e successioni plioceniche, che risultano arealmente meno diffuse.

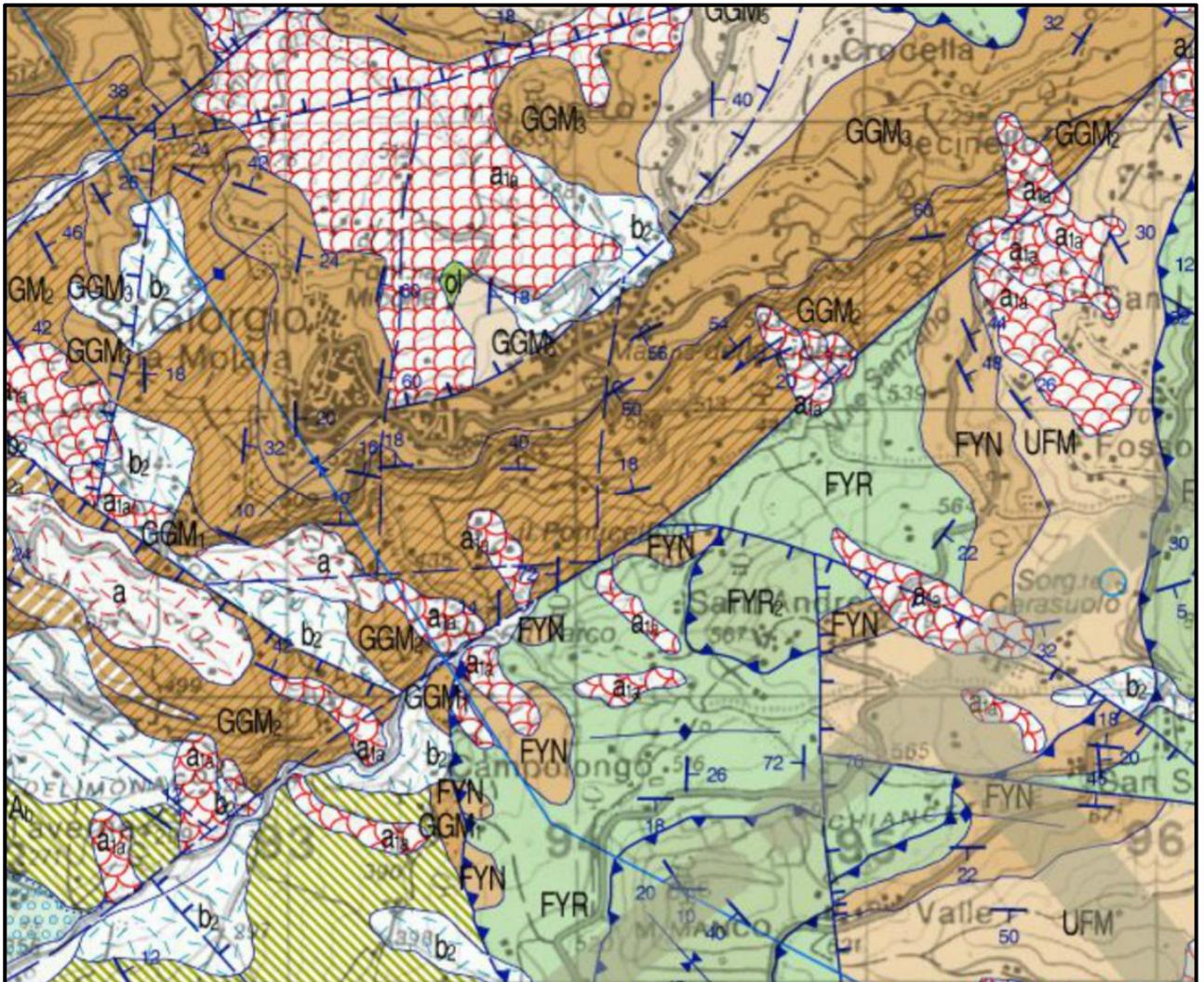
I terreni affioranti nel territorio di San Giorgio La Molara sono ascrivibili all'**Unità del Sannio**, che è considerata la porzione superiore dell'Unità di Frigento, riferibile al margine settentrionale interno del bacino lagonegrese–molisano, e all'**Unità del Fortore**, formata da unità litostratigrafiche di bacino pelagico meso–cenozoico riferita al settore assiale del bacino lagonegrese–molisano che nel Miocene medio è stato sottoposto ad una fase di passaggio da dominio di avampaese ad un settore di avanfossa subsidente. (Centamore et alii, 1970, 1971; Pescatore & Tramutoli, 1980; Dazzaro et alii, 1988; Pescatore et alii, 1996a, 2000; Di Nocera et alii, 2002, 2006;)



Nel dettaglio, l'Unità del Sannio, è formata, dal basso verso l'alto, dalle formazioni del *Flysch Rosso*, dal *Flysch Numidico* e da una successione arenacea post–numidica, denominata *Successione di Fragneto Monforte* mentre l'Unità del Fortore si compone, dal basso verso l'alto, dalle *Argille Varicolori del Fortore*, dalla *Formazione di Corleto Perticara*, dalle *Arenarie di Ponte*, dal *Flysch Numidico* e dalla *Formazione di San Giorgio* che, affiora diffusamente nel centro abitato dell'omonimo paese, in cui ricade il sito d'intervento, ed è considerata in continuità stratigrafica sui termini superiori dell'Unità del Fortore.

Per quanto riguarda le caratteristiche geolitologiche e stratigrafiche della ristretta area di progetto, dalle risultanze del rilevamento geologico di superficie e dai dati acquisiti con le

indagini geognostiche effettuate nonché dall'esame del Foglio 419 "San Giorgio La Molara" della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000, di cui si riporta sotto uno stralcio, si evince che il substrato affiorante è riconducibile alla *Formazione di San Giorgio* e risulta costituito da prevalenti arenarie quarzo-feldspatiche e quarzo-litiche a stratificazione indistinta alternati da sottili livelli argilloso-marnosi.



**formazione di Fragneto Monforte**



UFM

Arenarie quarzose e quarzolitiche-feldspatiche in strati e banchi massivi, e quarzosilti argille ed argille marnoso-siltose. Limite inferiore graduale e concordante su FYN. Depositi bacinali terrigeni da flussi torbiditici distali ed emipelagiti. Associazioni a nannoplancton della zona MNN5c alla base della formazione e della zona MNN6b nella parte superiore; associazioni a foraminiferi dalla zona MMI5a alla zona MMI8. Spessore circa 150 m.

**LANGHLANO SUPERIORE p.p. – SERRAVALLIANO p.p.**

**flysch numidico**



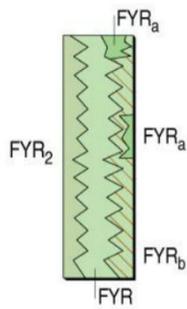
FYN

FYN<sub>c</sub>

Quarzareniti in strati e banchi, sottili intercalazioni di argille siltose e marnose; verso l'alto intercalazioni di strati sottili di arenarie quarzo-feldspatiche. Microconglomerati granulari quarzosi in banchi con dishes ed altre strutture da fluidificazione, in corpi sedimentari canalizzati. Limite inferiore concordante e graduale su FYR. Alla base localmente è presente una litofacies calcarea (FYN<sub>c</sub>), spesso fino a 50 - 100 m, costituita da alternanze di quarzoareniti, calcareniti con clasti di quarzo, argille siltose e marnose, calcareniti e brecciole calcaree con frammenti di lamellibranchi, peliti. Depositi bacinali terrigeni da flussi gravitativi ed emipelagiti. Associazioni a nannoplancton della zona MNN4a alla base ed associazioni a foraminiferi della zona MMI5a. Spessore circa 250 m.

**BURDIGALLIANO SUPERIORE – LANGHLANO SUPERIORE p.p.**

### Flysch Rosso



Calcareni gradate con alveoline, nummuliti e orbitoidi; calcilutiti in strati sottili e medi; calcari cristallini; interstrati di marne argillose ed argilliti rossastre e grigiastre. La formazione presenta due litofacies e un membro calcareo (FYR<sub>2</sub>). La litofacies calcareo-clastica (FYR<sub>a</sub>) è formata da calciruditi ad alveoline e nummuliti, calcareniti laminate e gradate, calcilutiti e calcari marnosi e subordinate marne calcaree, argille marnose e argilliti, con associazioni a nannoplancton dell'Eocene. La litofacies pelitica (FYR<sub>b</sub>) è formata da argille marnose e siltose, argilliti, con stratificazione interna piano-parallela o ondulata; calcilutiti laminate, marne e marne calcaree in strati sottili. Limite inferiore non esposto; passaggio verso l'alto a FYN. Successioni di bacino e base scarpata. Associazioni a nannoplancton del Paleocene superiore (Eocene inferiore ?), della zona MNP25b e fino alla zona MNN4a. Spessore di almeno 500 m.

**CRETACICO SUPERIORE – MIOCENE INFERIORE (dati di letteratura)**

#### membro calcareo

Calciruditi ricristallizzate, in strati e banchi massivi, brecciole calcaree e calcareniti con alveoline, nummuliti, lepidocicline e orbitoidi; calcari cristallini, stratificazione irregolare; calcareniti gradate, calcilutiti e sottili livelli di marne e marne argillose. Il membro è eteropico al resto della formazione con le sue litofacies; la base non è esposta. Successioni di base scarpata – bacino di natura prevalentemente torbiditica. Associazioni a nannoplancton del Cretacico superiore (Campaniano superiore - Maastrichtiano) e dell'Eocene, passanti ad associazioni delle zone NP24, MNP25b, MNN1d e fino alla zona MNN4a. Spessore 200 - 300 m.

**CRETACICO SUPERIORE – BURDIGALIANO SUPERIORE**

### formazione di San Giorgio

Successioni arenaceo-calcareo-pelitiche, suddivise in cinque membri, parzialmente eteropici. Areniti a composizione quarzo-feldspatica (Qm<sub>55±5</sub> F<sub>34±5</sub> Lt<sub>11±3</sub>). L'unità poggia con un contatto stratigrafico graduale su CPA ed è alla base eteropica a FYN. Depositi bacinali di avanfossa, torbiditici, silico-clastici e calci-clastici ed emipelagiti. Microassociazioni comprese tra il Burdigaliano ed il Tortoniano. Spessore circa 550 m.

**BURDIGALIANO SUPERIORE - TORTONIANO MEDIO**

#### membro arenaceo-calcareo-pelitico (GGM<sub>5</sub>)

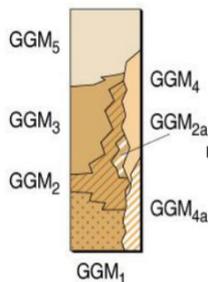
Areniti micacee e litiche, siltiti, arenarie calcaree, calcari marnosi in strati sottili, argilliti e marne argillose. Poggia con contatto parzialmente eteropico sul membro GGM<sub>3</sub>. Ambiente di conoide distale. Associazioni a nannoplancton della zona MNN8a, della zona MNN9 e della zona a *Minylitha convallis*; associazioni a foraminiferi della zona MMI5b e della zona MMI8. Spessore 70 - 100 m.

**SERRAVALLIANO SUPERIORE - TORTONIANO MEDIO**

#### membro pelitico-calcareo-arenaceo di Omo Morto (GGM<sub>4</sub>)

Argille marnose e marne con livelli di bio-calciruditi e bio-calcareniti con rodoliti e con frammenti di lamellibranchi, ostreidi, pecten, coralli, alghe; calcilutiti e calcari marnosi, calcareniti ibride, areniti quarzo-litiche. Nella parte inferiore del membro si riconosce una litofacies pelitico-calcareo (GGM<sub>4a</sub>), formata da argille e argille siltose con strati di calcilutiti e da alternanze di argilliti, marne paesiniformi; banchi di calcari marnosi. Limite inferiore concordante su CPA. Ambiente di scarpata – bacino e di scarpata prossimale. Associazioni a nannoplancton della zona MNN6b e della zona MNN8b; associazioni a foraminiferi della zona MMI5 e della zona MMI8. Spessore totale circa 200 m.

**BURDIGALIANO SUPERIORE ? - TORTONIANO INFERIORE**



#### membro arenaceo-conglomeratico (GGM<sub>3</sub>)

Arenarie da quarzo-feldspatiche a quarzo-litiche, microconglomerati granulari arenarie ciottolose a stratificazione indistinta con strutture da fluidificazione. Nella parte alta del membro banchi e strati di calcareniti bioclastiche e brecciole calcaree, olistoliti carbonatici ed un intervallo prevalentemente pelitico-calcareo in assetto caotico. Poggia sul membro GGM<sub>2</sub> con passaggio graduale e parzialmente eteropico. Ambiente riferibile ad un sistema di canali di conoide alimentati da flussi granulari e flussi torbiditici di alta densità. Spessore circa 140 m.

**SERRAVALLIANO (per posizione stratigrafica)**

#### membro arenaceo-pelitico (GGM<sub>2</sub>)

Areniti con intervalli di Bouma T<sub>bc</sub> e sottili interstrati pelitici; arenarie e microconglomerati, amalgamati, massivi o con laminazione a grossa scala. Nella parte inferiore si riconosce una litofacies calcareo-bioclastica (GGM<sub>2a</sub>), potente circa 50 m, formata da paraconglomerati a stratificazione indistinta intercalati a sottili livelli di argille siltose; i ciottoli, immersi in matrice arenaceo-siltosa sono composti da noduli algali (rodoliti) e gusci di molluschi (pettinidi). Il membro poggia su GGM<sub>1</sub> con passaggio graduale e parzialmente eteropico. Depositi torbiditici e flussi granulari di conoide interna ed emipelagiti. Associazioni a nannoplancton della zona MNN6b ed associazioni a foraminiferi della zona MMI5a. Spessore 180 m.

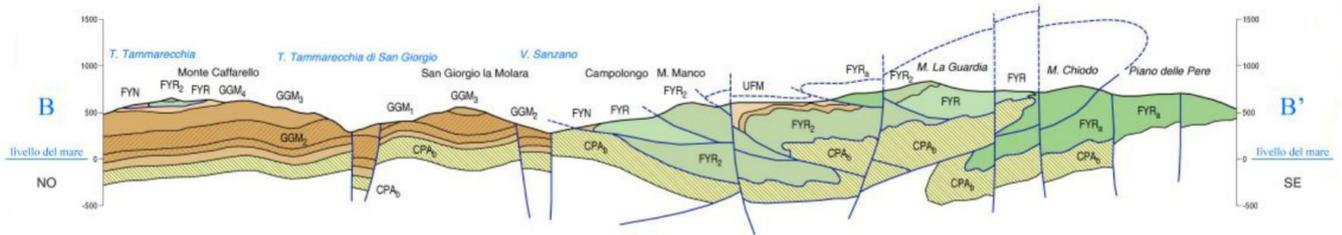
**LANGHIANO SUPERIORE - SERRAVALLIANO**

#### membro arenaceo-calcareo-marnoso (GGM<sub>1</sub>)

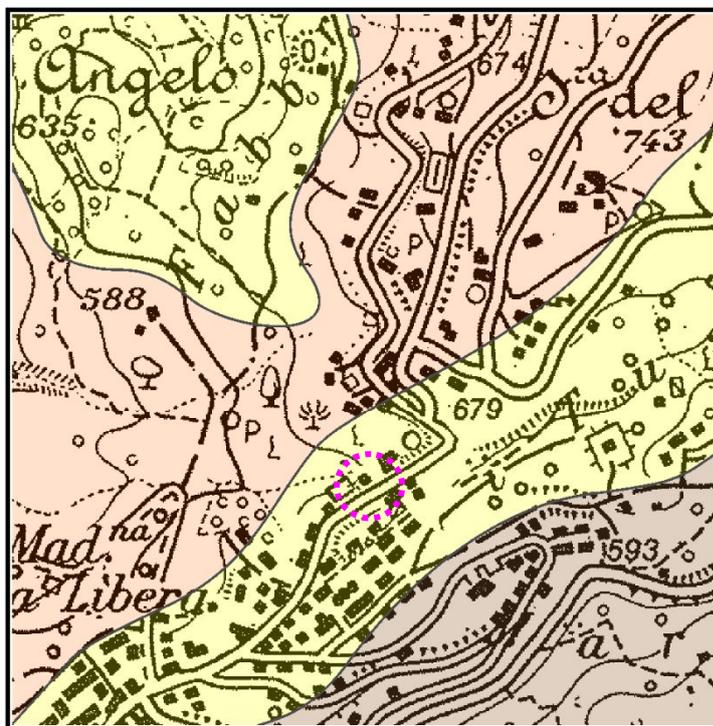
Arenarie quarzo-feldspatiche e quarzose a grana media e fine, e subordinati microconglomerati granulari in strati e banchi amalgamati, con intercalazioni di calcareniti, calcari marnosi e marne. Alla base intercalazioni di strati di quarzoareniti di tipo numidico. Poggia in continuità su FYN, con passaggio parzialmente eteropico, e su CPA e CPA<sub>b</sub>. Depositi torbiditici di conoide sottomarina ed emipelagiti. Associazioni a nannoplancton della zona MNN4a ed associazioni a foraminiferi della zona MMI5a. Spessore circa 60 - 100 m.

**BURDIGALIANO SUPERIORE - LANGHIANO SUPERIORE**

La Formazione di San Giorgio, infatti, è una successione arenaceo-calcareo-pelitica di età riferibile al *Burdigaliano superiore* – *Tortoniano medio*, suddivisibile in cinque membri parzialmente eteropici che presenta spessori massimi di oltre 500 metri.



Nell'area di progetto è stata rilevata la presenza, negli orizzonti più superficiali, entro i primi 7.50 m dal piano di campagna, di una successione argilloso-limosa, a tratti sabbiosa, mediamente consistente, di colore avana con venature giallo ocre e grigio-verdastre con elementi litoidi poligenici, di natura arenacea e calcarea, eterometrici ed a spigoli vivi e sub-arrotondati e, nei livelli sottostanti, di un'alternanza non ritmica di strati arenacei grigiastri di consistenza litoide, orizzonti sabbiosi a granulometria grossolana, scarsamente addensati e sottili livelli argilloso-marnosi di media consistenza.

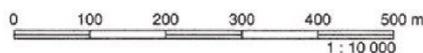


**CARTA GEOLOGICA**  
**SCALA 1:10.000**

*FORMAZIONE DI SAN GIORGIO*

- Membro arenaceo-calcareo-pelitico*  
(Serravalliano sup. – Tortoniano medio)
- Membro arenaceo-conglomeratico*  
(Serravalliano)
- Membro arenaceo-pelitico*  
(Langhiano sup. – Serravalliano)

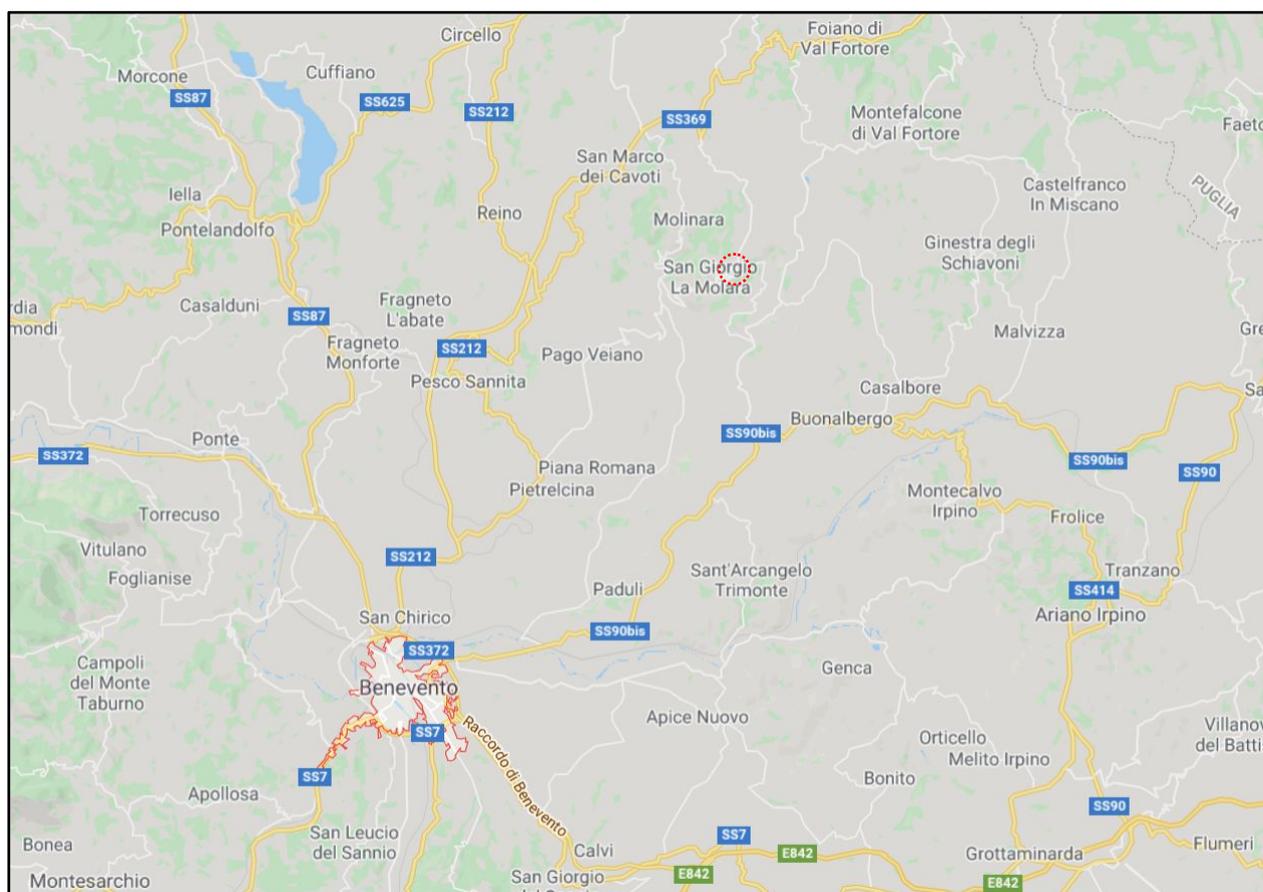
**CONTATTO STRATIGRAFICO**



### **3.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGIA**

L'area oggetto del presente studio è ubicata nel territorio del Comune di San Giorgio La Molara, nel settore N-E della Regione Campania, nella zona centro-orientale della Provincia di Benevento, ad una ventina di Km dal confine con la Provincia di Campobasso, nella Regione Molise, sita a Nord, ed a poco meno di 15 Km in direzione Est dal confine con la Provincia di Foggia, nella Regione Puglia.

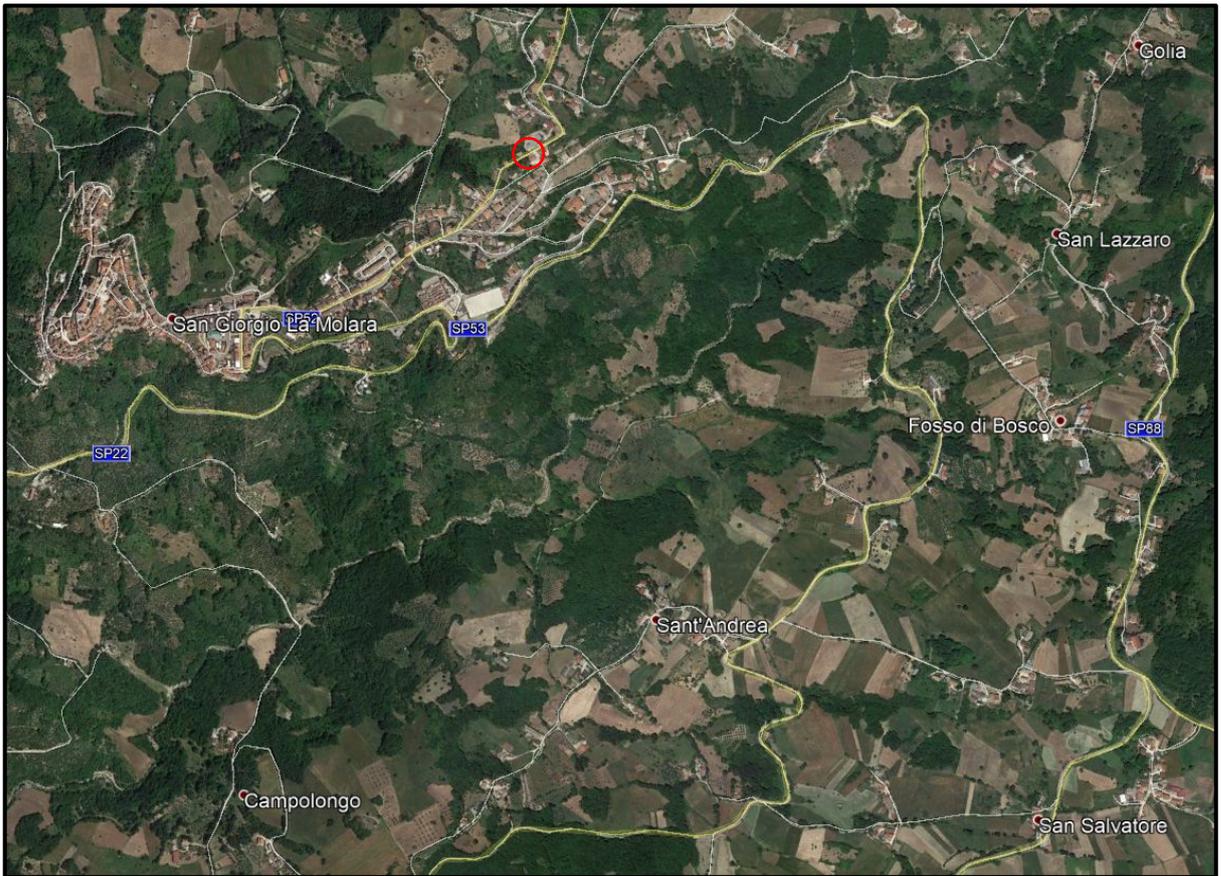
Il Comune di San Giorgio La Molara dista circa 30 Km dal Capoluogo di Provincia e sorge su un rilievo collinare alla sinistra idraulica del Fiume Tammaro.



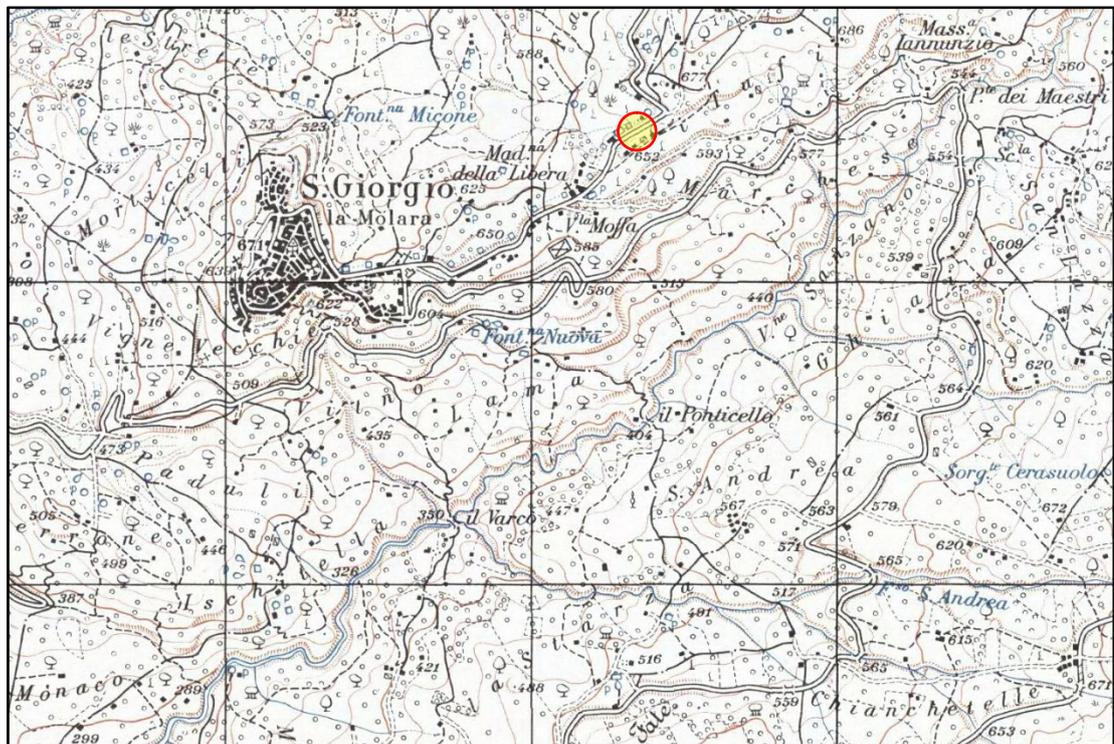
L'intervento da realizzare ricade nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara, circa 500 m a N-E in linea d'aria dal centro abitato, lungo la S.P. 60 (ex S.P. 53) che rappresenta una viabilità di notevole importanza logistica in quanto oltre a permettere di raggiungere molte contrade sud-orientali del Comune sannita, collega la S.S. 369 a Nord con la S.S. 90bis a Sud.

Le coordinate geografiche del sito di progetto, ricavate da Google Earth, e la relativa ubicazione risultano essere così definite:

LAT. 41°16'30.54"N	LONG. 14°55'53.49"E
--------------------	---------------------



Dal punto di vista cartografico, il sito di progetto ricade nel Foglio 173 – Quadrante I – Orientamento N.E. (SAN GIORGIO LA MOLARA) della Carta d'Italia I.G.M. a scala 1:25.000



Il tratto di viabilità, interessato dall'intervento di messa in sicurezza, ricade in una zona

che, seppure periferica, risulta essere abbastanza urbanizzate e si colloca ad una quota di circa 650 m s.l.m. nella parte alta del versante esposto ad ovest che degrada verso il Torrente Tammarecchia, in una zona caratterizzata da tipiche forme collinari, con sommità a debole curvatura ed ampie zone peneplanate, talvolta interrotte da sporadiche guglie litoidi ed isolati rilievi rocciosi che emergono dalla morfologia circostante con pareti quasi verticali.

La morfologia è notevolmente condizionata sia dalle interazioni tra gli elementi endogeni (*tettonica, natura litologica dei terreni, rapporti geometrici tra i versanti e le giaciture dei corpi litologici, ecc...*) che dai fattori naturali agenti dall'esterno (*clima, venti, piogge, temperatura, ecc...*), i quali nel tempo hanno prodotto un'intensa azione erosiva e modellatrice conferendo all'ambiente una fisionomia variabile e priva di significativa continuità.

Infatti, nelle aree in cui prevalgono le litologie più compatte, a causa della loro ridotta erodibilità, il pendio assume toni più bruschi ed accidentati con rilievi caratterizzati da forme più aspre e scoscese, talora a pareti molto inclinate e/o sub-verticali, frequenti rotture di pendenza e con un eterogeneo sviluppo di dossi e scarpate.

Le condizioni di stabilità di questi terreni, generalmente, sono influenzati dall'intensa tettonizzazione, dall'acclività dei versanti, dalla giacitura degli strati e dalle acque d'infiltrazione che agendo lungo pendii scoscesi e privi di vegetazione, unitamente all'azione della forza di gravità, possono causare il crollo di blocchi dalle porzioni sommitali dei versanti ed il conseguente accumulo, alle pendici, del materiale franato.

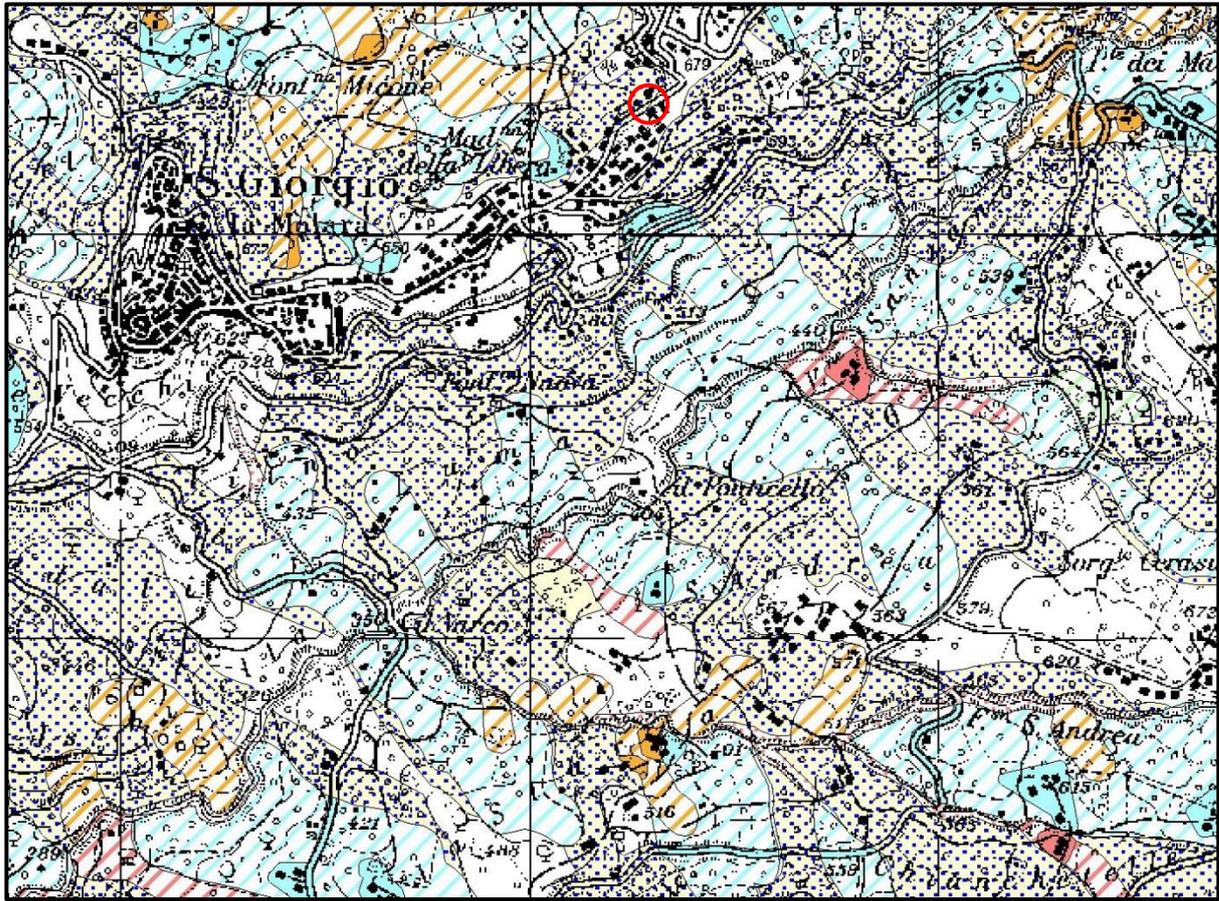
Laddove affiorano, invece, i terreni prevalentemente argillosi, la morfologia si presenta dolcemente ondulata con forme piuttosto dolci e blande, meno accidentate ed a minore acclività generale dovute sia alla natura geolitologica dei predetti terreni, che risultano più facilmente erodibili, sia all'intensa azione modellatrice operata dagli agenti esogeni.

I fenomeni di instabilità che, nei casi generali, coinvolgono questi litotipi, sono dovuti alle acque di ruscellamento superficiale ed a quelle d'imbibizione che, specialmente nei termini meno consistenti e nella coltre detritica – laddove presente – nonché lungo i versanti privi di vegetazione e con elevate pendenze, possono innescare processi di dilavamento, lente deformazioni e locali colamenti e smottamenti.

Tuttavia, considerate le caratteristiche giaciturali e litologiche dei terreni affioranti nonché la ridotta acclività dei pendii, si può affermare che la ristretta area di progetto e l'intorno ad essa immediatamente adiacente presentano un sufficiente grado di stabilità naturale.

Difatti, nella *Carta del Rischio di Frana del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri – Garigliano e Volturno*, di seguito riportata, si evince che

il sito di progetto non rientra all'interno di aree classificate a rischio frana ma di colloca al limite tra una zona non interessata da dissesti (*area bianca in cartografia*) ed un'area, identificata con la sigla *C<sub>1</sub>*, definita *Area di possibile ampliamento di fenomeni franosi ovvero di fenomeni di primo distacco*.



**AREA DI MEDIA ATTENZIONE - A<sub>2</sub>**

Area non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana quiescente, a massima intensità attesa media.



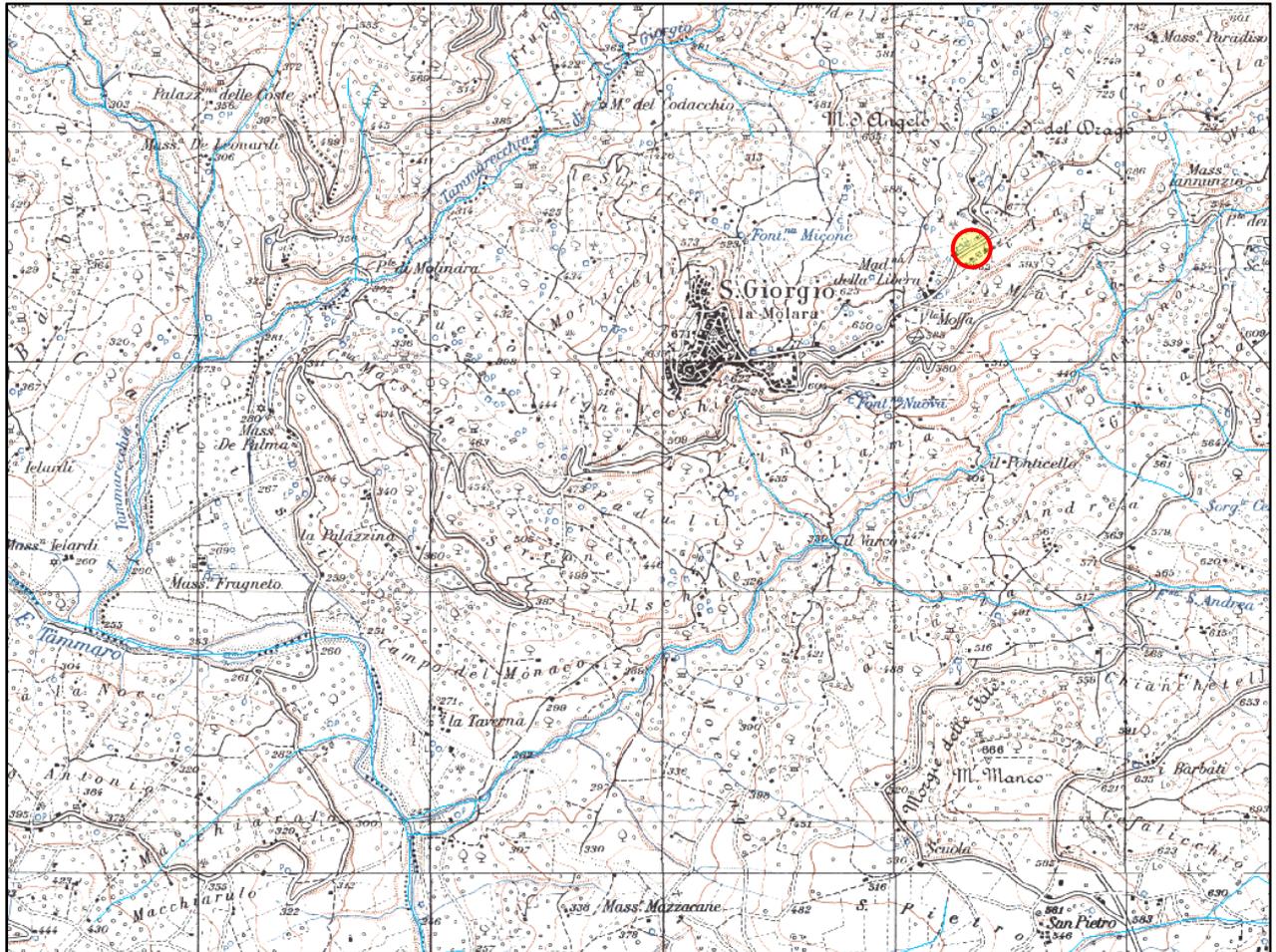
Area di possibile ampliamento dei fenomeni franosi cartografati all'interno, ovvero di fenomeni di primo distacco, per la quale si rimanda al D.M. LL.PP. 11/3/88 - C<sub>1</sub>

N.B.: Nelle aree a contorno delle frane, quando non è indicato l'ambito morfologico significativo di riferimento, l'area di possibile ampliamento deve essere estesa fino allo spartiacque principale e/o secondario, già riportati nella carta geomorfologica.

In effetti, nel ristretto tratto di viabilità oggetto del presente studio è stato riscontrato un dissesto localizzato e circoscritto, consistente nel cedimento del margine esterno della sede stradale causato dallo smottamento della scarpata, che ha messo a nudo anche la rete di sottoservizi, cui bisogna porre rimedio per evitare che il possibile arretramento della nicchia di distacco possa coinvolgere l'intera carreggiata determinando danni ben più gravi all'infrastruttura viaria e compromettendone definitivamente il transito.

#### 4.0 IDROGRAFIA E CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'area oggetto del presente studio ricade nel bacino idrografico del Torrente Tammaro ed, in particolare, il sito interessato dall'intervento di messa in sicurezza si colloca nella parte alta del versante alla sinistra idraulica del Torrente Tammarecchia di San Giorgio che scorre in direzione NE-SW nella vallata a nord del centro abitato fino immettersi, sempre in sinistra idraulica, nel Torrente Tammaro circa 3 Km a S-W di San Giorgio La Molara.



Sia il Torrente Tammaro che il Torrente Tammarecchia, che mostra un andamento quasi parallelo a quello del Vallone Sanzano, che scorre a sud del centro abitato, sono caratterizzati, soprattutto nella parte alta del bacino, da un pattern idrografico di tipo dendritico e presentano un reticolo idrografico secondario abbastanza sviluppato in quanto costituito da numerose incisioni, seppure di limitata estensione e di scarsa rilevanza idrologica, che si immettono "a pettine" nelle linee d'impluvio principali e che sono caratterizzati da un regime spiccatamente torrentizio poiché alimentati principalmente dalle piogge autunnali e invernali e spesso asciutti durante il periodo primaverile ed estivo.

In corrispondenza dei punti di confluenza con l'asta torrentizia principale, laddove la

pendenza è minima, spesso le incisioni assumono caratteristiche meandriiformi con radicale cambiamento della morfologia fluviale e con la presenza di depositi associati a processi di sedimentazione nelle parti concave dei meandri ed erosione nelle parti convesse.

Nelle aree in cui affiorano i terreni a composizione prevalentemente argillosa, le linee d'impluvio appaiono larghe e svasate, con sponde poco acclive e risultano alimentate da un intreccio capillare di solchi di ruscellamento diffuso mentre laddove prevalgono i litotipi più compatti delle successioni flyschiodi, gran parte del drenaggio superficiale avviene tramite fossi di erosione concentrata che danno luogo a corsi d'acqua più incassati, con anse strette e con profilo longitudinale caratterizzato da vari salti di pendenza.

Per quanto riguarda, invece, l'aspetto idrogeologico, i fattori che condizionano la circolazione idrica nel sottosuolo sono legati alle differenti caratteristiche idrogeologiche delle litologie a diversa permeabilità che affiorano nell'area rilevata.

In particolare, le litofacies a composizione prevalentemente argillosa, pur essendo dotate di porosità primaria medio-alta, presentano un grado di permeabilità molto scarso tanto da ritenersi praticamente impermeabili, con valori di conducibilità idraulica  $K < 10^{-9} \text{ cm/sec}$ , ed essere considerate delle superfici di scorrimento preferenziale delle acque e/o delle soglie di permeabilità.

L'elevata porosità primaria di questi litotipi, infatti, è dovuta alla presenza di pori sub-capillari e capillari, di piccolo diametro, che sono in grado di catturare le molecole di acqua per adsorbimento ma che di fatto impediscono l'accumulo al loro interno di acqua gravifica escludendo la possibilità di rinvenire falde idriche.

Una permeabilità maggiore può essere attribuita agli orizzonti litoidi delle successioni flyschiodi che, essendo caratterizzati da discreta porosità secondaria dovuta a fessurazione e fratturazione, presentano un grado di permeabilità medio, con valori di conducibilità idraulica  $10^{-7} < K < 10^{-5} \text{ cm/sec}$  e possono consentire l'instaurarsi di un discreto deflusso idrico che viene a giorno lungo i giunti di stratificazione e/o al contatto con i livelli argillosi.

Decisamente più permeabili risultano essere, invece, i livelli limoso-sabbiosi superficiali che presentano un grado di permeabilità medio-alto, con valori di conducibilità idraulica di circa  $10^{-4} < K < 10^{-2} \text{ cm/sec}$ , derivante dall'elevata porosità primaria di questi terreni che, spesso, sono sede di una circolazione idrica, seppure poco significativa dal punto di vista idrogeologico in quanto irregolare e, comunque, legata in maniera determinante all'andamento delle precipitazioni.

Questi litotipi, infatti, possono essere definiti come "rocce sciolte" in quanto, a causa della

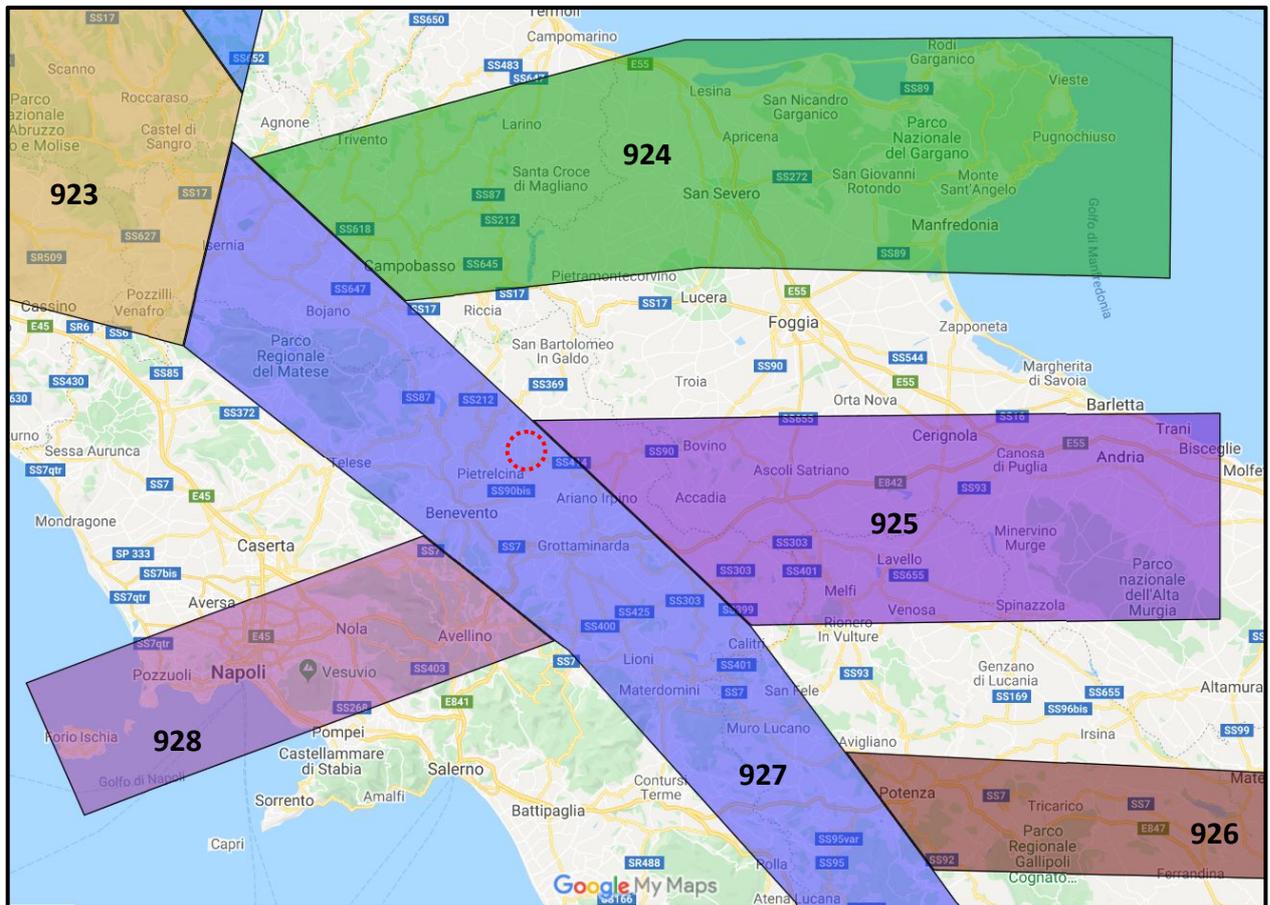
disposizione spaziale e della variabilità granulometrica degli elementi che li costituiscono, presentano al loro interno degli spazi tali da consentire l'accumulo di significativi quantitativi di acqua.

Nel corso della perforazione geognostica effettuata non è stata rilevata circolazione idrica sub-superficiale e lo smottamento può essere imputato ad una cattiva regimentazione delle acque che defluiscono sulla carreggiata le quali, riversandosi incontrollate sulla scarpata, l'hanno erosa ed hanno determinato lo scivolamento del terreno.

Inoltre, fino alla profondità di investigazione raggiunta non sono state rinvenute falde acquifere profonde che possano interferire con le fondazioni della struttura di contenimento in progetto.

## **5.0 SISMICITÀ E CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SUBSTRATO**

Dal punto di vista sismico, l'area di progetto ricade all'interno nella Zona 927 (*Sannio – Irpinia – Basilicata*) della Zonizzazione Sismogenetica ZS9 e risulta caratterizzata da notevole potenzialità sismogenetica ed elevata pericolosità sismica.

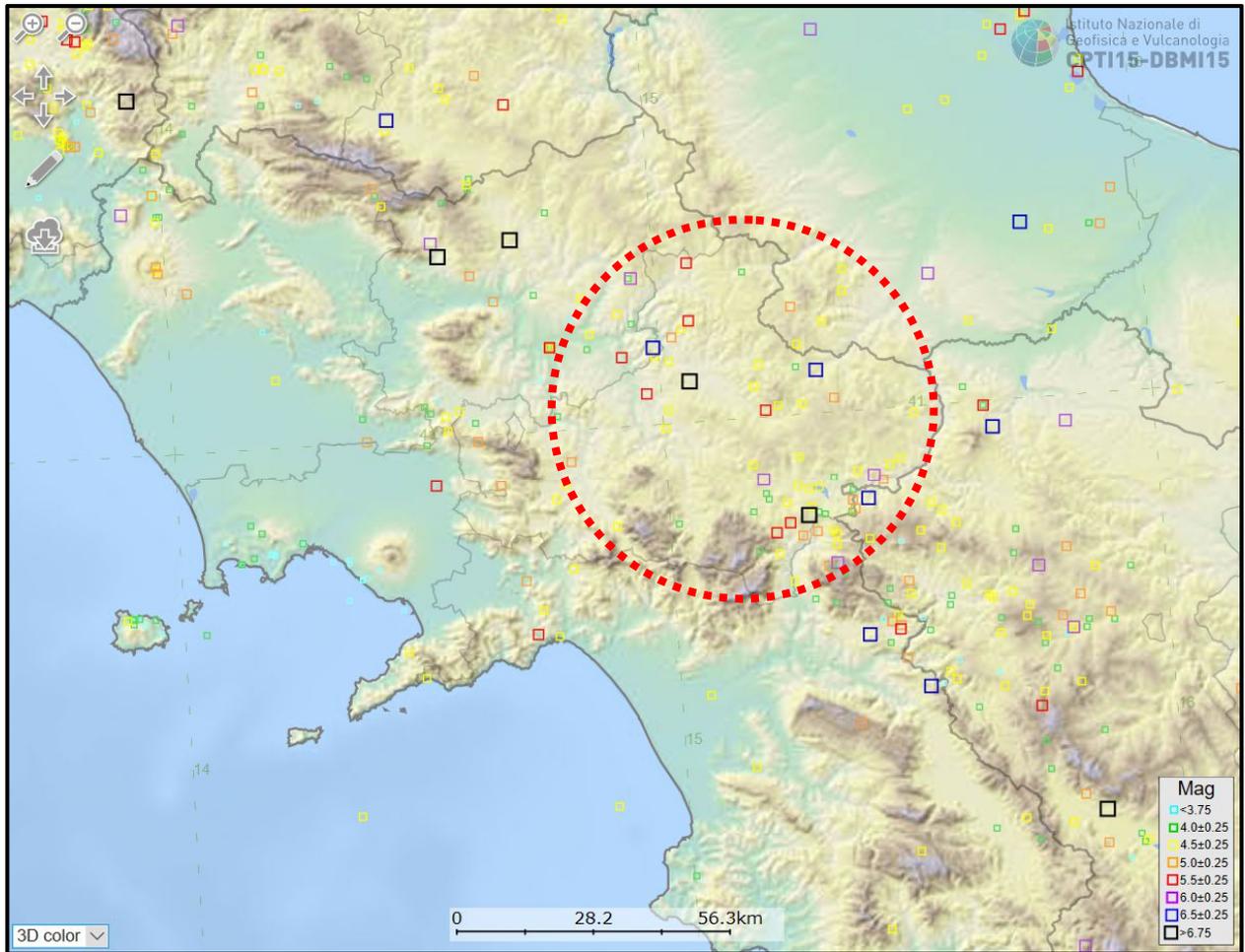


La Zona 927 comprende tutte le precedenti zone localizzate lungo l'asse della catena, fino al massiccio del Pollino, caratterizzate dal massimo rilascio di energia legata alla tettonica distensiva che da circa 0,7 milioni di anni interessa l'Appennino meridionale con meccanismo di fagliazione diretto e profondità ipocentrali comprese tra 8 e 12 km.

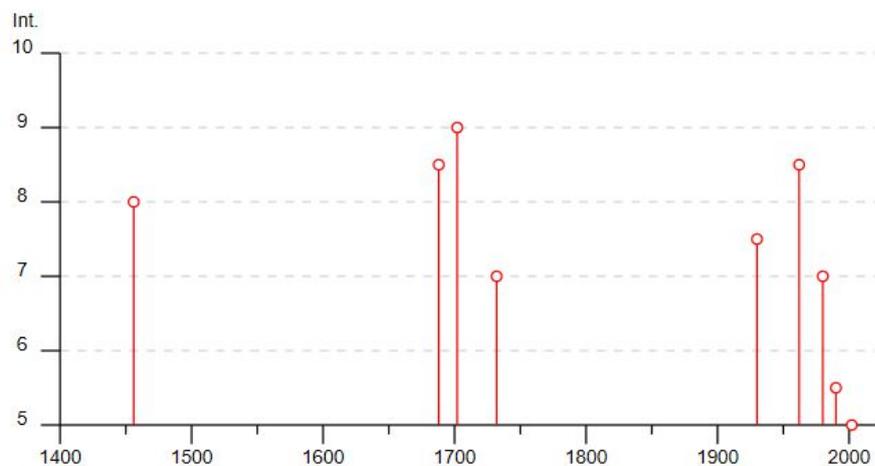
L'area di progetto si colloca in prossimità di alcune delle principali strutture distensive e in particolare nelle vicinanze delle faglie presumibilmente responsabili della generazione degli eventi più distruttivi registrati in epoca storica nell'area del Sannio e del Matese.

Prendendo in considerazione le informazioni presenti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15-DBMI15 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che fornisce localizzazioni e stime di magnitudo dei terremoti avvenuti dall'anno 1000 alla fine del 2017 in Italia si evince che la maggior parte degli eventi è localizzata lungo il tratto meridionale dell'Appennino ed in particolare, nelle immediate vicinanze dell'area oggetto del

presente studio, laddove si sono verificati, in epoca storica, numerosi eventi sismici anche di dimensioni rilevanti.



In particolare, si riporta sotto la distribuzione temporale degli eventi sismici con intensità compresa tra 5 e 10 che hanno avuto ripercussioni nel Comune di San Giorgio La Molara dal 1400 ad oggi.



e di seguito, nella pagina successiva, l'elenco completo dei terremoti che hanno interessato il

centro beneventano nello stesso periodo di riferimento.

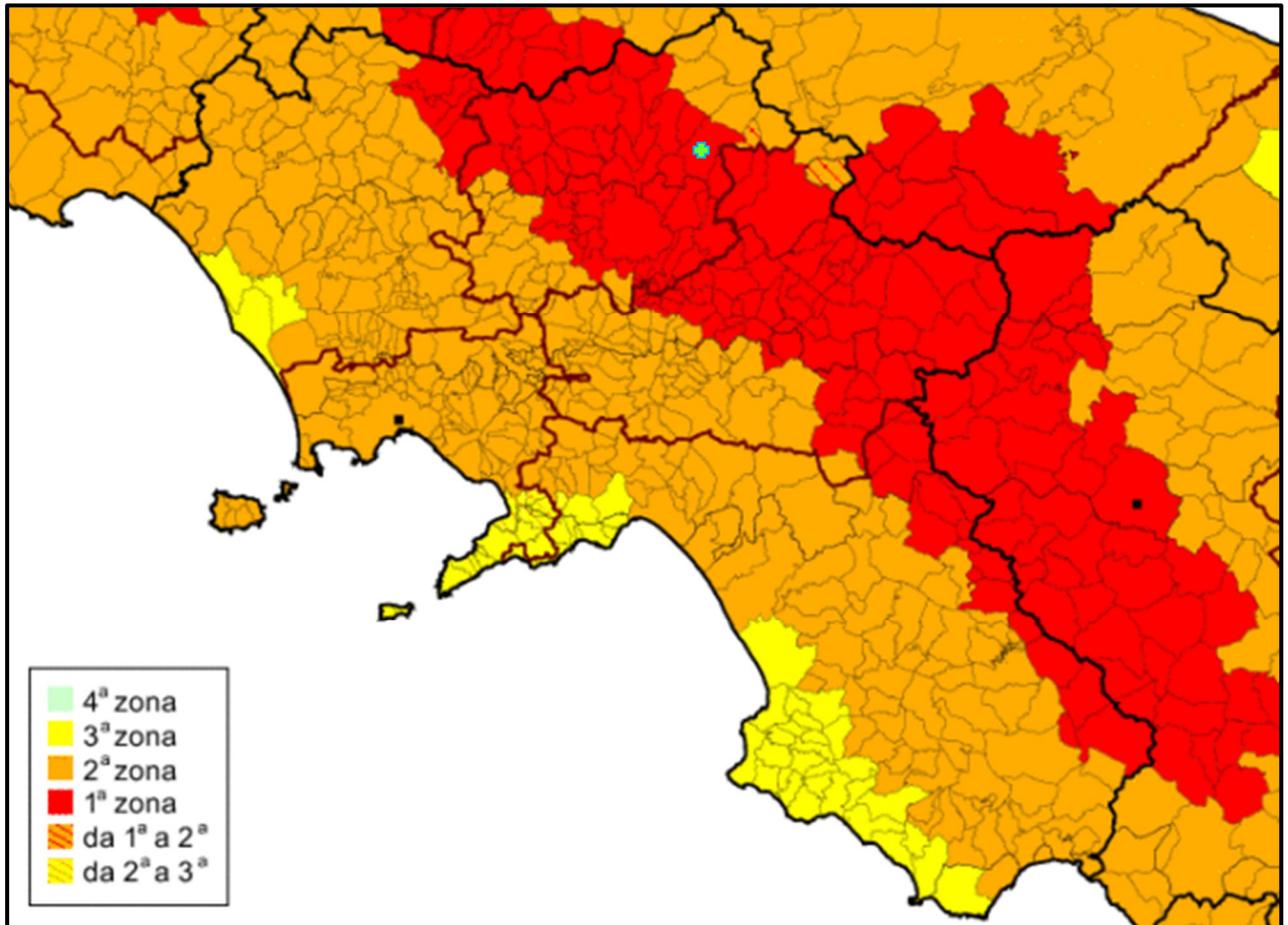
Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1456	12	05				Appennino centro-meridionale	199	11	7.19
8-9	1688	06	05	15	30		Sannio	215	11	7.06
9	1702	03	14	05			Sannio-Irpinia	37	10	6.56
7	1732	11	29	07	40		Irpinia	183	10-11	6.75
4-5	1805	07	26	21			Molise	220	10	6.68
4	1898	11	24	23	37		Casalbore	25	5	4.21
NF	1903	05	04	03	44		Valle Caudina	78	7	4.69
7-8	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
NF	1958	06	24	06	07		Aquilano	222	7	5.04
8-9	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
4-5	1971	05	06	03	45	0	Irpinia	68	6	4.83
4-5	1975	06	19	10	11		Gargano	61	6	5.02
3	1977	07	24	09	55	2	Irpinia	85	5-6	4.37
4	1978	02	08	04	10	2	Irpinia	100	5-6	4.44
7	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4-5	1981	02	14	17	27	4	Monti di Avella	85	7-8	4.88
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
4	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
NF	1990	04	22	09	45	0	Sannio	74	6	3.98
5-6	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
4	1990	08	30	14	54		Beneventano	39	5-6	3.20
NF	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
NF	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
3	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
3	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
5	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
4-5	2002	11	12	09	27	4	Molise	174	5-6	4.57
NF	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
NF	2003	12	30	05	31	3	Molise	326	4-5	4.53

Nella classificazione sismica della Regione Campania di cui alla Delibera di Giunta Regionale n° 5447 del 07/11/2002 nonché nella classificazione sismica nazionale, di cui all'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 ed al D.M. 14/09/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", aggiornato con il D.M. 14/01/2008 ed integrato con la Circolare C.S.LL.PP. n° 617 del 02/02/2009 e ss.mm.ii., il territorio interessato dalla realizzazione dell'intervento in

progetto rientrava in **Zona Sismica 1** contraddistinta da:

**Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ ) > 0,25**

**Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g/g$ ) = 0,35 g.**



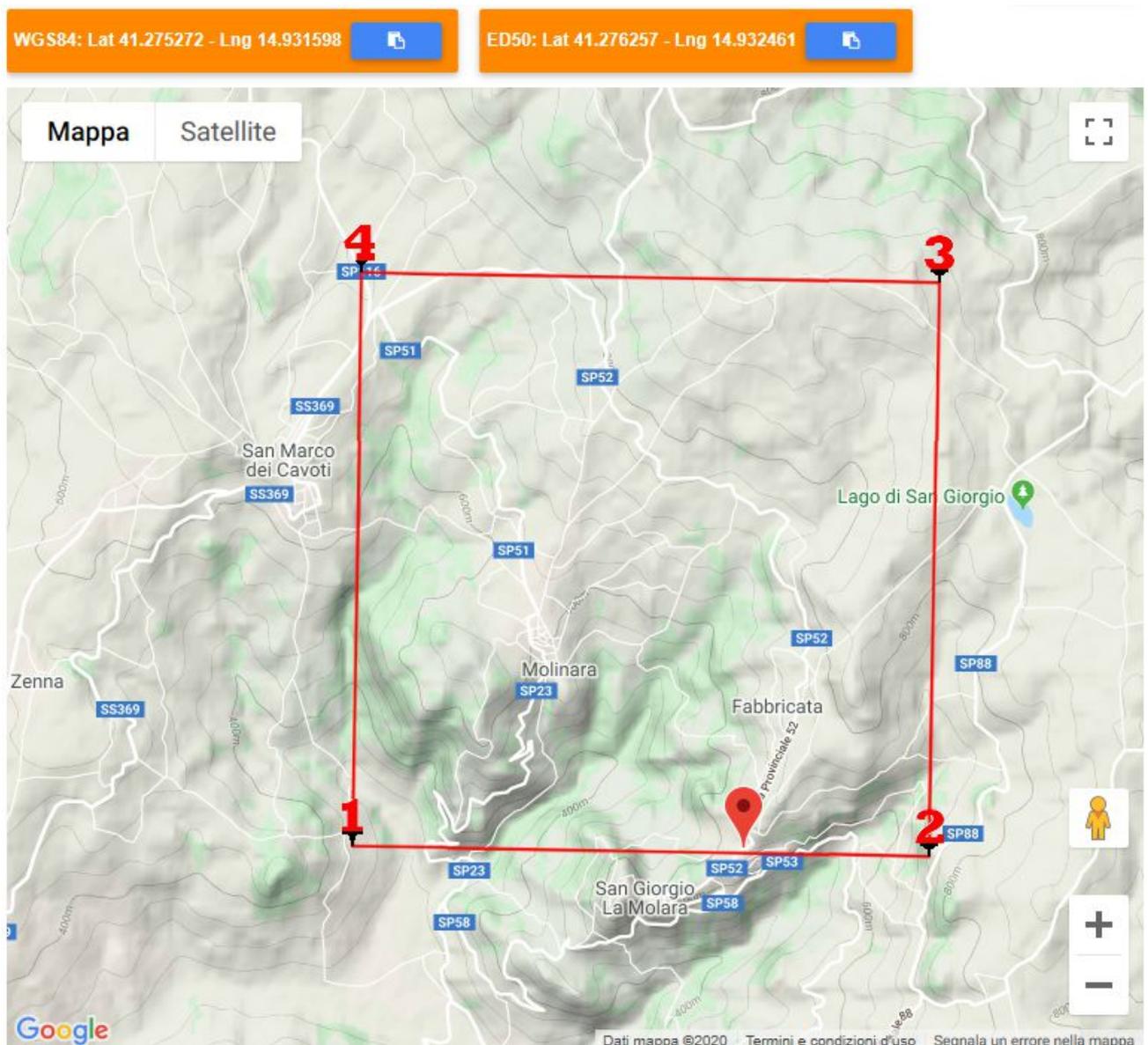
La suddetta normativa, infatti, prevedeva la classificazione sismica del territorio nazionale in 4 zone definite su base comunale e caratterizzate ognuna da un predeterminato valore dell'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico nonché dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni, definite secondo la seguente tabella:

<b>Zona</b>	<b>Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (<math>a_g/g</math>)</b>	<b>Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (<math>a_g/g</math>)</b>
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Dal 01/07/2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2008,

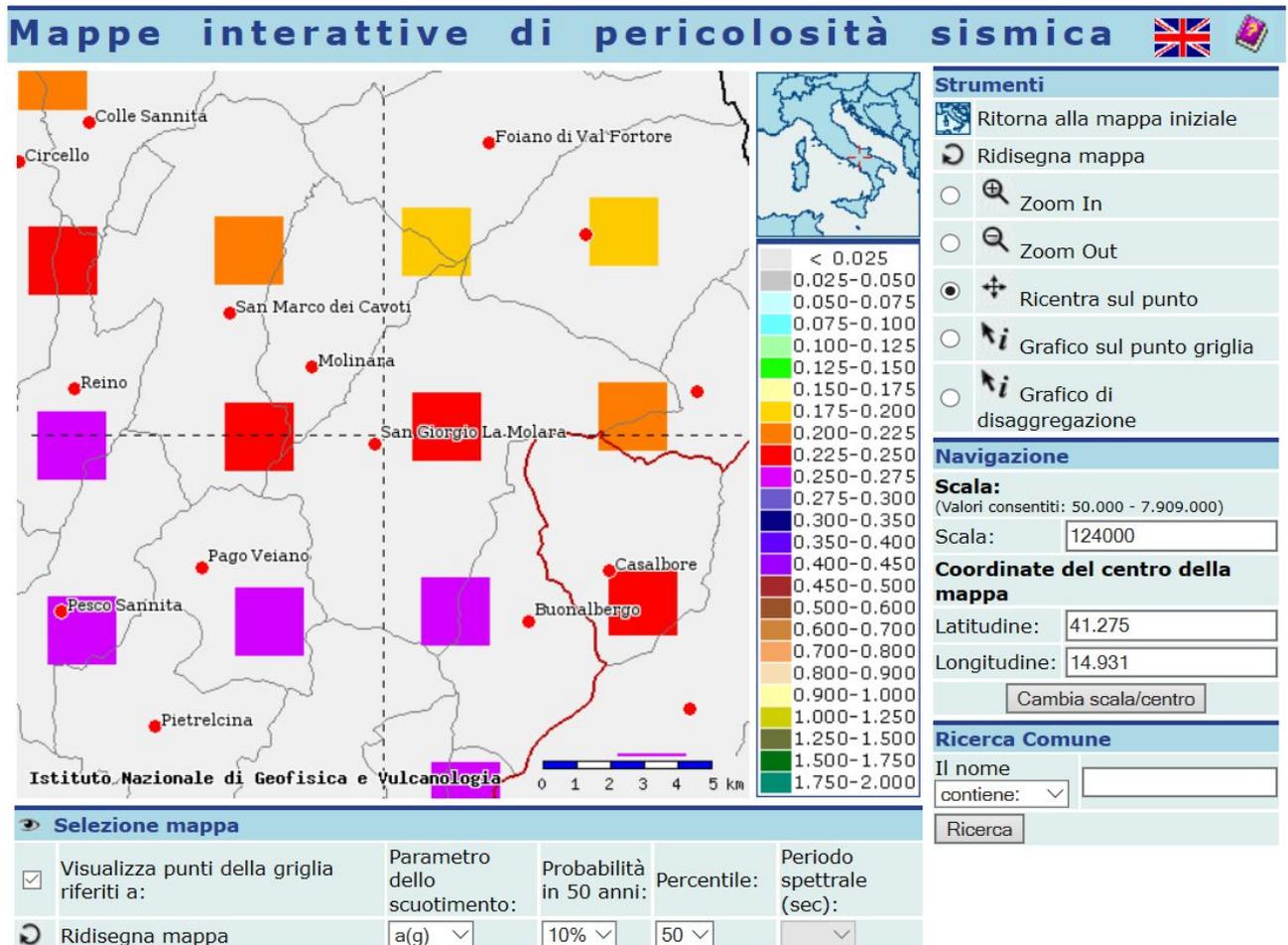
ed attualmente con le NTC2018, approvate con D.M. del 17/01/2018, è stata introdotta, invece, "l'accelerazione propria" del sito definita, indipendentemente dai confini comunali, per ogni punto del territorio, su una maglia quadrata di 5 Km di lato, considerando le coordinate dell'area di progetto.

Nel caso specifico, le coordinate geografiche del sito di progetto, nei due sistemi di riferimento WGS84 (*World Geodetic System 1984*) e ED50 (*European Datum 1950*) nonché i vertici della maglia quadrata in cui ricade il punto sono stati determinati con il software *GEOSTRU PS* e sono di seguito riportati:



La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008)*, indica che il territorio in esame rientra nelle celle contraddistinte da valori di  $a_g$  di riferimento

compresi tra 0.225 e 0.250 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



Per quanto concerne, invece, le caratteristiche della superficie topografica, in presenza di configurazioni semplici – cui può essere riconducibile l'andamento morfologico-topografico dell'area di progetto – è possibile adottare una classificazione semplificata che tiene conto del valore dell'inclinazione media del pendio, definito secondo la tabella di seguito riportata:

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

Considerato l'andamento plano-altimetrico del versante nel tratto di strada interessato dalla realizzazione dell'intervento che in corrispondenza della sezione "monte-valle" più sfavorevole presenta una inclinazione di circa  $12^\circ$ , facendo riferimento alla tabella sopra

riportata, si può definire per la zona in esame la **Categoria Topografica T1** (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ).



Per la caratterizzazione geofisica del substrato, le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, propongono un sistema di classificazione basato su 5 tipologie di suoli (A-B-C-D-E) da individuare in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:  $h_i$  = spessore, in metri, dello strato  $i$ -esimo;

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

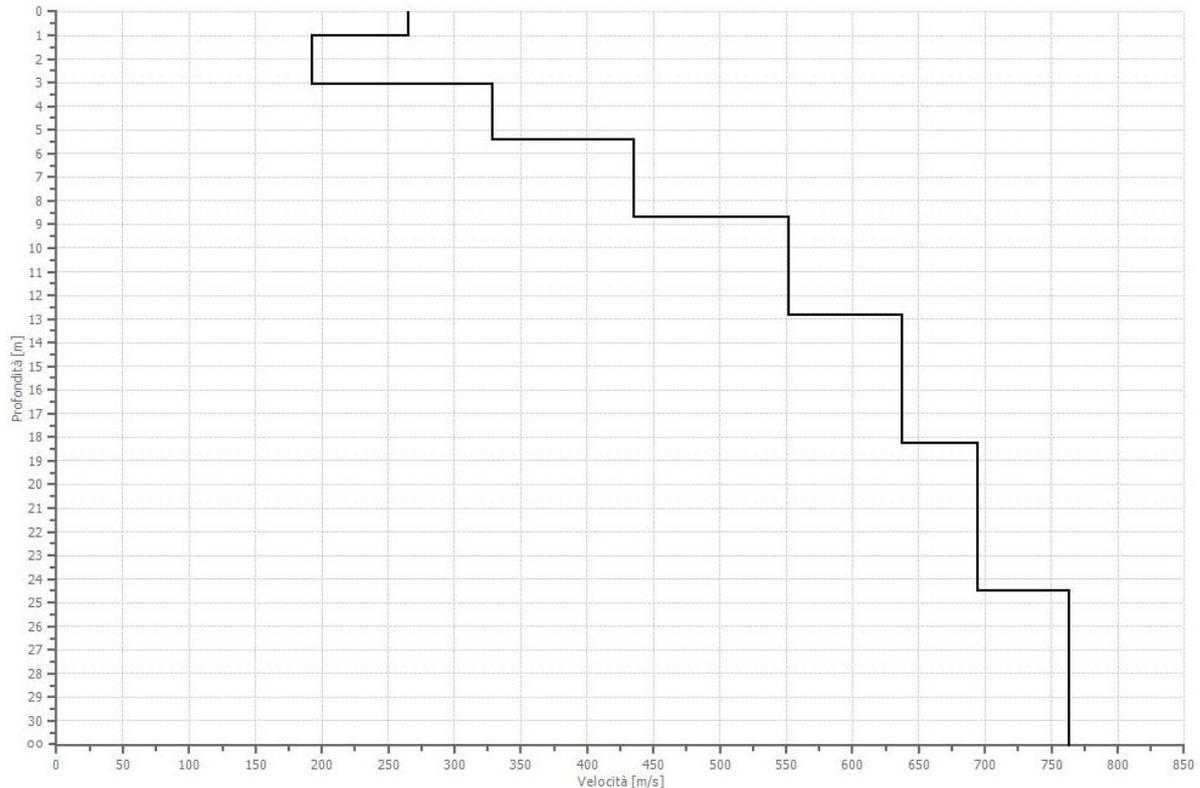
$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/sec;

$N$  = numero di strati;

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  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per determinare la velocità delle onde di taglio e la  $V_{S,eq}$  necessaria per definire la categoria

del suolo di fondazione ai sensi della vigente normativa sismica è stata effettuata una prova sismica M.A.S.W. lungo il tratto di strada interessato dall'intervento in progetto che ha rilevato a partire dal p.c. e fino alla profondità di 30.00 m le seguenti velocità delle onde di taglio:



Considerata la variazione delle velocità delle onde di taglio con la profondità e tenuto conto del mancato rinvenimento del substrato con  $V_s > 800$  m/sec entro i primi 30 m dal piano di campagna è stato possibile definire un valore di  $V_{s,eq} = 489,34$  m/sec con  $H = 30.00$  m.

PROFONDITÀ (m)	SPESSORE (m)	VELOCITÀ ONDE DI TAGLIO ( $V_s$ )	FORMULA	$V_{s30}$ (m/sec)
0.00 – 1.04	1.04	265.14	$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$	<b>489,34</b> con <b>H = 30.00 m</b>
1.04 – 3.06	2.02	192.58		
3.06 – 5.40	2.34	328.25		
5.40 – 8.68	3.28	435.25		
8.68 – 12.83	4.15	552.25		
12.83 – 18.27	5.44	637.12		
18.27 – 24.50	6.23	694.59		
oltre 24.50	indefinito	762.96		

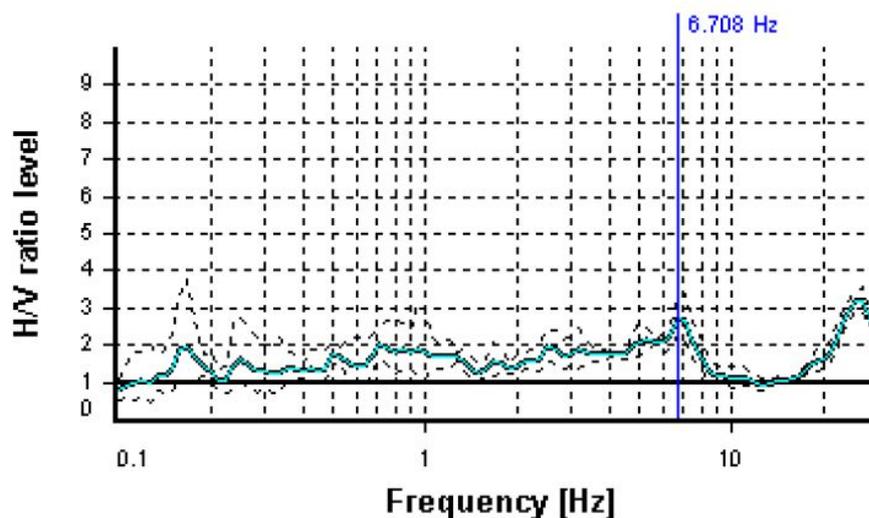
Facendo, quindi, riferimento alla tabella di seguito riportata, in funzione del valore di  $V_{s,eq}$

ottenuto, il substrato di fondazione può essere classificato come "**Suolo di tipo B**".

#### CATEGORIE SUOLO DI FONDAZIONE

<b>A</b>	<i>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</i>
<b>B</b>	<i>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</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s</i>
<b>E</b>	<i>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</i>

Infine, per definire la frequenza di risonanza del sito è stata effettuata una prova sismica passiva HVSR che ha evidenziato la presenza di un picco ad una frequenza  $f_0 = 6,708 \text{ Hz}$  con ampiezza  $A_0 = 2,732$ .

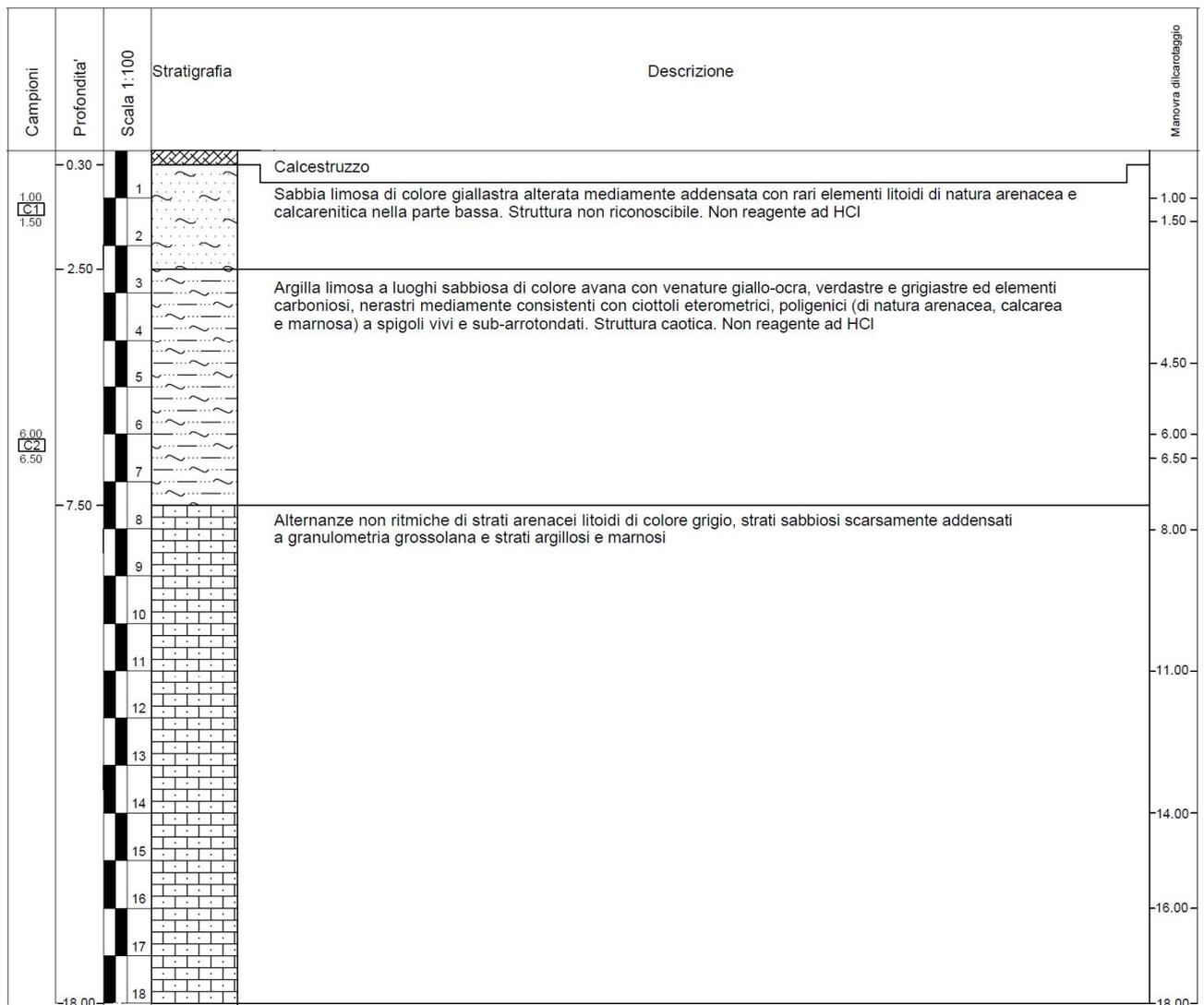


Si riportano in allegato alla presente le elaborazioni delle indagini sismiche (prova MASW e prova HVSR) effettuate.

## 6.0 INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dalle osservazioni di superficie e dai dati desunti dalla letteratura geologica è emerso che i terreni affioranti nell'area oggetto del presente studio sono riconducibili alla *Formazione di San Giorgio* che risulta costituita da prevalenti arenarie quarzo-feldspatiche e quarzo-litiche a stratificazione indistinta alternati da sottili livelli argilloso-marnosi.

Per ricostruire con maggiore dettaglio, rispetto al rilevamento geologico di superficie, le caratteristiche litostratigrafiche del substrato presente nel tratto di strada interessato dalla realizzazione dell'intervento di messa in sicurezza è stato effettuato un sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S.1) spinto fino alla profondità di 18.00 m dal piano di campagna che ha permesso di definire la seguente successione:



Le risultanze della perforazione, realizzata alla base della scarpata interessata dallo smottamento che ha coinvolto la carreggiata, hanno permesso di rilevare la presenza, negli orizzonti più superficiali, entro i primi 7.50 m dal piano di campagna, di una successione

argilloso-limosa, a tratti sabbiosa, mediamente consistente, di colore avana con venature giallo ocra e grigio-verdastre con elementi litoidi poligenici, di natura arenacea e calcarea, eterometrici ed a spigoli vivi e sub-arrotondati e, nei livelli sottostanti, di un'alternanza non ritmica di strati arenacei grigiastri di consistenza litoide, orizzonti sabbiosi a granulometria grossolana, scarsamente addensati e sottili livelli argilloso-marnosi di media consistenza.

Per definire le proprietà fisiche ed i parametri geotecnici del terreno sono stati prelevati dei campioni sottoposti ad analisi volte a definirne il quadro fisico e ad una prova di taglio diretto CD per determinare le caratteristiche di resistenza a taglio i cui risultati sono riportati dettagliatamente nei certificati allegati alla presente relazione.

Le prove effettuate sul *Campione S<sub>1</sub>C<sub>1</sub>P* prelevato a parete, nella scarpata messa a nudo dallo smottamento, hanno permesso di definire le seguenti caratteristiche fisiche:

<b>Peso di volume</b>	<b><math>\gamma = 19,87 \text{ kN/m}^3</math></b>
<b>Contenuto d'acqua</b>	<b><math>W = 15,03 \%</math></b>
<b>Indice dei vuoti</b>	<b><math>e = 0,51</math></b>
<b>Porosità</b>	<b><math>n = 33,6 \%</math></b>
<b>Grado di saturazione</b>	<b><math>S_R = 78,90 \%</math></b>

ed i seguenti parametri geotecnici:

<b>Angolo di attrito</b>	<b><math>\phi' = 24,88^\circ</math></b>
<b>Coesione efficace</b>	<b><math>C' = 11,70 \text{ kN/m}^2</math></b>

Le analisi del *Campione S<sub>1</sub>C<sub>1</sub> (1.00 m - 1.50 m)* prelevato, nel corso della perforazione, dai livelli più superficiali della formazione, in corrispondenza dei quali si prevede di impostare la fondazione del muro su pali hanno permesso di definire le seguenti caratteristiche fisiche:

<b>Peso di volume</b>	<b><math>\gamma = 19,31 \text{ kN/m}^3</math></b>
<b>Contenuto d'acqua</b>	<b><math>W = 14,63 \%</math></b>
<b>Indice dei vuoti</b>	<b><math>e = 0,54</math></b>
<b>Porosità</b>	<b><math>n = 35,1 \%</math></b>
<b>Grado di saturazione</b>	<b><math>S_R = 71,60 \%</math></b>

ed i seguenti parametri geotecnici:

<b>Angolo di attrito</b>	<b><math>\phi' = 25,64^\circ</math></b>
<b>Coesione efficace</b>	<b><math>C' = 12,62 \text{ kN/m}^2</math></b>

Infine, per la caratterizzazione geotecnica dei livelli profondi della formazione affiorante,

rinvenuti oltre i 7.50 m dal bocca foro e costituiti da un'alternanza arenaceo-argilloso-sabbiosa con prevalenza di strati arenacei di consistenza litoide, su cui saranno attestati i pali della struttura di contenimento in progetto, si può fare riferimento, in favore della sicurezza, alle risultanze della prova penetrometrica dinamica  $SPT_2$  effettuata in foro di sondaggio alla profondità di 8.00 m in corrispondenza di un orizzonte sabbioso della successione affiorante che ha dato i seguenti valori:

<b>Identificativo</b>	<b>Profondità</b>	<b>Numero di colpi</b>
$S_1 - SPT_2$	8.00 m	$N_1 = 9 - N_2 = 11 - N_3 = 13$

Considerato il numero di colpi necessari per l'avanzamento del secondo ( $N_2 = 12$ ) e del terzo ( $N_3 = 13$ ) tratto del campionatore è stato determinato un valore di  $N_{SPT} = 24$  in funzione del quale, facendo riferimento alla relazione di *Yukitake Shioi* e *Jiro Kukuni*, valida per la stima dell'angolo d'attrito  $\phi$  in terreni limoso-sabbiosi:

$$\phi = \sqrt{15 \times N_{SPT}} + 15$$

e all'espressione sotto riportata che permette di definire, con buona approssimazione, il peso di volume dei limi-sabbiosi:

$$\gamma = 1,393650 + 0,091865 \times N_{SPT} - 0,004067 \times N_{SPT}^2 + 0,000062 \times N_{SPT}^3$$

è possibile attribuire, in via cautelativa, a questo orizzonte litostratigrafico, i seguenti parametri geotecnici:

<b>Peso di volume</b>	$\gamma = 2,00 \text{ t/m}^3$
<b>Angolo di attrito</b>	$\phi = 34^\circ$
<b>Coesione efficace</b>	$C' = 0$

Si invita il progettista a tenere conto della successione litostratigrafica e dei parametri geotecnici sopra riportati per valutare la soluzione progettuale più idonea e per il calcolo e il dimensionamento dell'opera da realizzare.

## 7.0 CONCLUSIONI

In base alle osservazioni di superficie, ai rilievi ed alle indagini effettuate, è stato possibile formulare, per quanto di specifica competenza, le seguenti considerazioni:

- l'area di progetto non rientra nel perimetro di aree classificate a rischio frana di cui alla *Carta del Rischio di Frana del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri – Garigliano e Volturno*, tuttavia nel ristretto tratto di viabilità in oggetto è stato riscontrato un dissesto localizzato e circoscritto, consistente nel cedimento del margine esterno della sede stradale causato dallo smottamento della scarpata sottostante, cui bisogna porre rimedio per evitare che il possibile arretramento della nicchia di distacco possa coinvolgere l'intera carreggiata determinando gravi danni alla rete di sottoservizi e all'infrastruttura viaria e compromettendone definitivamente il transito;
- sebbene i terreni del substrato presentino discrete doti di permeabilità, per porosità primaria negli orizzonti superficiali limoso-sabbiosi e per fratturazione nei livelli profondi di consistenza prevalentemente arenacea, non è stata rilevata alcuna forma di circolazione idrica sub-superficiale e non sono state rinvenute falde acquifere profonde che possano interferire con le fondazioni della struttura in progetto;
- l'area di studio ricade nella ex **Zona Sismica 1** ed insiste su un versante con **Categoria Topografica T1** (*superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ) mentre il substrato affiorante, avendo determinato un valore di  $V_{s,eq} = 489,34 \text{ m/sec}$  con  $H = 30.00 \text{ m}$ , può essere classificato come "**Suolo di tipo 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*) e presenta una frequenza di risonanza di sito con picco  $f_0 = 6,708 \text{ Hz}$  ed ampiezza  $A_0 = 2,732$ ;
- i terreni affioranti nell'area di studio, sono riconducibili alla *Formazione di San Giorgio* che risulta costituita da prevalenti arenarie quarzo-feldspatiche e quarzo-litiche a stratificazione indistinta alternati da sottili livelli argilloso-marnosi ed, in particolare, la successione rilevata nel sito interessato dai lavori in progetto presenta negli orizzonti più superficiali, entro i primi 7.50 m dal piano di campagna, livelli argilloso-limosi, a tratti sabbiosi, mediamente consistenti, di colorazione avana con venature giallo ocra e grigio-verdastre con elementi litoidi poligenici, di natura

arenacea e calcarea, eterometrici ed a spigoli vivi e sub-arrotondati e, nelle porzioni sottostanti, un'alternanza non ritmica di strati arenacei grigiastri di consistenza litoide, orizzonti sabbiosi a granulometria grossolana, scarsamente addensati e sottili livelli argilloso-marnosi di media consistenza;

- i parametri geotecnici dei livelli più superficiali, in cui sarà impostata la fondazione del muro di sostegno, sono:

<b>Peso di volume</b>	$\gamma = 19,31 \text{ kN/m}^3$
<b>Angolo di attrito</b>	$\phi' = 25,64^\circ$
<b>Coesione efficace</b>	$C' = 12,62 \text{ kN/m}^2$

- i parametri geotecnici che, invece, si possono attribuire all'alternanza arenaceo-argilloso-sabbiosa del substrato (oltre i 7.50 m dal p.c.), su cui saranno infissi i pali di fondazione, sono:

<b>Peso di volume</b>	$\gamma = 2,00 \text{ t/m}^3$
<b>Angolo di attrito</b>	$\phi' = 34^\circ$
<b>Coesione efficace</b>	$C' = 0$

- infine, i parametri geotecnici che si possono attribuire alla porzione di terreno che costituisce la scarpata e che eserciterà la sua spinta sul muro di sostegno, sono:

<b>Peso di volume</b>	$\gamma = 19,87 \text{ kN/m}^3$
<b>Angolo di attrito</b>	$\phi' = 24,88^\circ$
<b>Coesione efficace</b>	$C' = 11,70 \text{ kN/m}^2$

- le coordinate geografiche del sito di progetto, nei due sistemi di riferimento WGS84 (*World Geodetic System 1984*) e ED50 (*European Datum 1950*) sono:

WGS84	Lat 41.275272	Long. 14.931598	ED50	Lat. 41.276257	Long. 14.932461
-------	---------------	-----------------	------	----------------	-----------------

Pertanto, alla luce di quanto emerso dal presente studio, si può affermare che il sito di progetto presenta caratteristiche idrogeologiche, geomorfologiche, geotecniche e sismiche compatibili con le opere da realizzare.

Tuttavia, si consiglia di infiggere i pali di fondazione nell'orizzonte profondo nonché di prevedere apposite opere di raccolta e di canalizzazione delle acque di ruscellamento superficiali che dovranno essere accompagnate fino alla linea d'impluvio naturale più vicina.

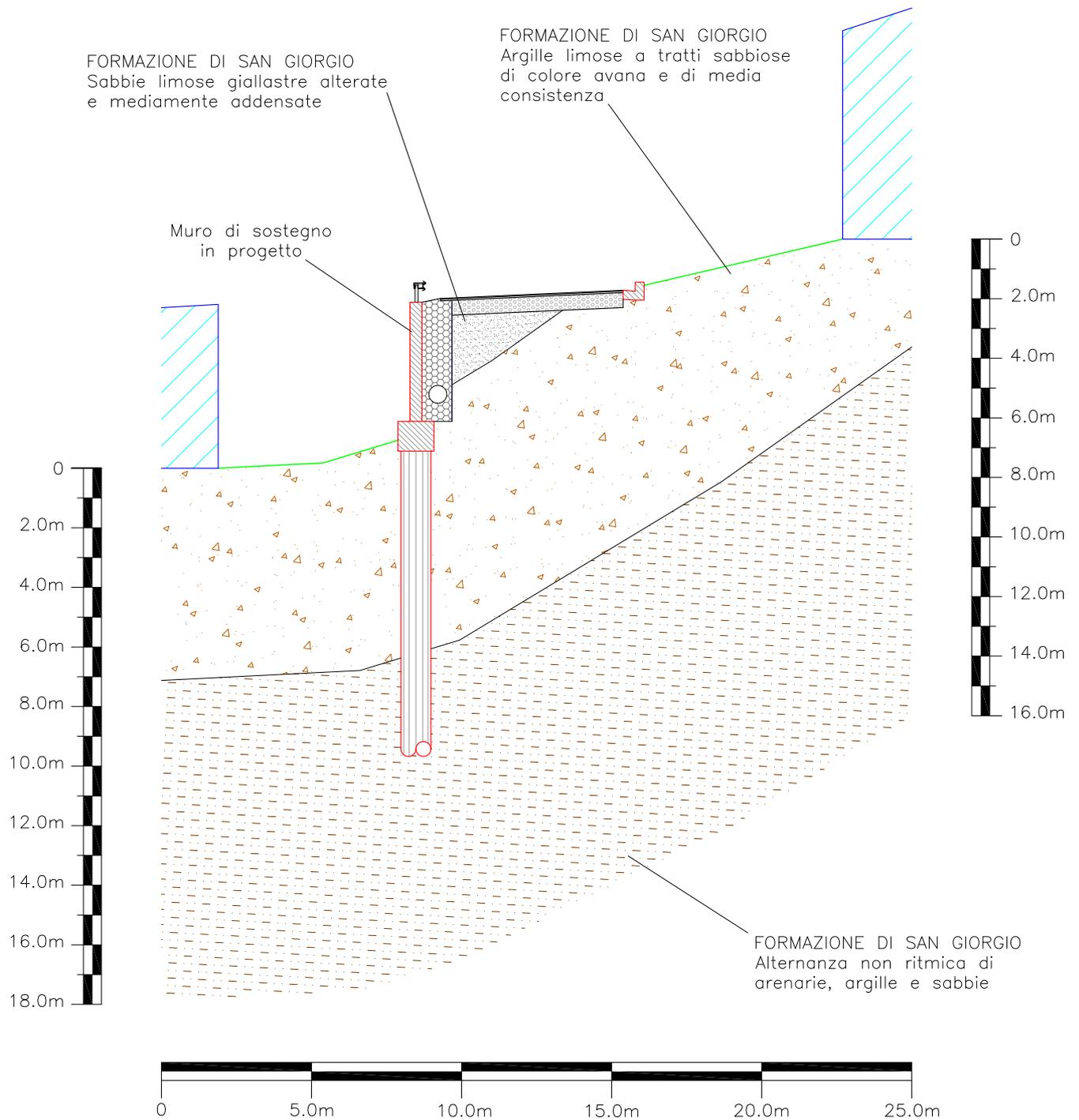
Capizzi, 01/02/2020



IL GEOLOGO

DR. GIOVANNI BONANNO CONTI  
O.R.G.S. n° 2197

# SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA SCALA 1:200





CONSULENZA GEOLOGICA - INDAGINI GEOGNOSTICHE  
MONITORAGGIO AMBIENTALE - DIAGNOSTICA STRUTTURALE

Via Arcangeli n° 6 – 98031 Capizzi (ME) – Cell. 339/8637188 – E-mail: geo\_service@inwind.it

## PROVINCIA DI BENEVENTO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL MOVIMENTO FRANOSO E  
DI RIPRISTINO DEL PIANO VIARIO DELLA S.P. N° 60 NELLA  
LOCALITÀ “SANT’IGNAZIO” DEL COMUNE DI SAN GIORGIO LA  
MOLARA

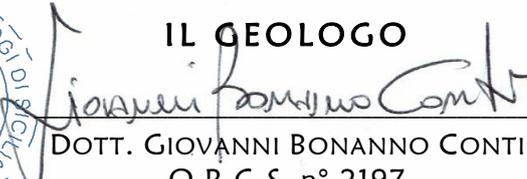
# INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

COMMITTENTE  
PROVINCIA DI BENEVENTO

DATA  
20/01/2020



IL GEOLOGO

  
DOTT. GIOVANNI BONANNO CONTI  
O.R.G.S. n° 2197

Su incarico conferito dalla *Provincia di Benevento – Settore Tecnico – Servizio Viabilità 2*, con *Determinazione Dirigenziale n° 2314 del 09/10/2019* è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche a supporto dello studio geologico relativo al progetto per i «*Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso e di ripristino del piano viario della S.P. n° 60 nella località “Sant’Ignazio” del Comune di San Giorgio La Molara*».

In particolare, per definire delle caratteristiche litostratigrafiche locali, è stato realizzato un sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 18.00 m dal piano di campagna nel corso del quale sono state effettuate n. 2 prove penetrometriche SPT e prelevati n. 2 campioni indisturbati, oltre ad un terzo campione preso “*a parete*”, sottoposti ad analisi e prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e dei parametri geotecnici.

Inoltre, sono state eseguite delle indagini sismiche consistenti nella realizzazione di n° 1 Prova MASW e n° 1 Prova HVSR per definire le caratteristiche geofisiche del substrato, con particolare riguardo alla categoria del suolo di fondazione secondo le NTC 2018 e, nel contempo, individuare la frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Si riportano di seguito i report delle indagini eseguite.

*Capizzi, 20/01/2020*



IL GEOLOGO

*Giovanni Bonanno Conti*  
DR. GIOVANNI BONANNO CONTI  
O.R.G.S. n° 2197



# MARY

# GEO



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti



Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture n. 5027 del 25.05.2011 per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito - ART. 59 d.p.r. 380/2001

## RAPPORTO DI PROVA N°1

Del 20/01/2020

## VERBALE DI ACCETTAZIONE INTERNA N°30

Del 20/12/2019

## COMMITTENTE:

DOTT. GEOL. GIOVANNI BONANNO CONTI

## LOCALITA':

S.P. N° 60 - C.DA "SANT'IGNAZIO" – COMUNE DI S.GIORGIO LA MOLARA

## OGGETTO:

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL MOVIMENTO FRANOSO NELLA LOCALITA' "SANT'IGNAZIO" DEL COMUNE DI SAN GIORGIO LA MOLARA E DI RIPRISTINO DEL PIANO VIARIO DELLA S.P. N°60

### IL RESPONSABILE TECNICO

Dott. Geol. Pasquale D'Ambrosio

### La ditta esecutrice



MARYGEO S.A.S. di Iadanza Elvira & C.  
Via San Nicola Vecchio 10 - 82030 Campoli M.T. (BN) - Italy  
C.F./P.IVA 01319180624  
Cell: 347.1944445 - Telefax: 0824.873538  
E-Mail: marygeo@virgilio.it - Web: www.marygeo.com

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020</b>	
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019</b>	
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti	
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara	
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60	

## INDICE

### 1. INDAGINE GEOGNOSTICA

- a) Sondaggi a carotaggio continuo

### 2. INDAGINE GEOTECNICA

- b) Prove penetrometriche dinamiche in foro (S.P.T.)
- c) Prelievo di campioni indisturbati

### ALLEGATI

- Documentazione fotografica
- Certificato stratigrafico

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020</b>	
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019</b>	
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti	
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara	
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60	

## PREMESSA

In seguito ad incarico conferitoci dal Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti, sono state eseguite indagini geognostiche nel comune di San Giorgio La Molara (Bn), in località S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio".

In particolare i lavori eseguiti sono consistiti in:

1. Realizzazione di n°1 nuovo sondaggio a carotaggio continuo per un totale di 18,00 mt complessivi di perforazione;
2. Esecuzione di n° 2 prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
3. Prelievo di n° 2 campioni indisturbati;
4. Fornitura di n°4 cassette catalogatrici;
5. Assistenza geologica durante il corso di tutte le operazioni richieste e redazione del report finale sui sondaggi.

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1</b> del 20/01/2020	
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30</b> del 20/12/2019	
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti	
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara	
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60	

## 1. INDAGINE GEOGNOSTICA

### a) Sondaggio a carotaggio continuo

**ATTREZZATURA USATA:** sonda idraulica cingolata a rotazione modello MKD della CMV, con coppia 600kgm, velocità massima di rotazione 660giri/min, forza di tiro e spinta 1000Kg.

**TECNICA DI PERFORAZIONE:** carotaggio continuo con avanzamento con la minima quantità di acqua necessaria alle perforazioni per consentire il massimo carotaggio possibile e la più completa composizione granulometrica del materiale prelevato.

**UTENSILI:** carotieri semplici diametro ( $\Phi$  101mm) con corona a widia e tubi di rivestimento provvisori di diametro ( $\Phi$  127mm). Doppio carotiere T6S ( $\Phi$  101mm).

**LAVORO ESEGUITO:** è stato eseguito n°1 nuovo sondaggio a carotaggio continuo per un totale di 18,00 mt complessivi di perforazione, nel comune di San Giorgio La Molara (Bn), in località S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio".

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020</b>	
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019</b>	
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti	
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara	
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60	

Il sondaggio geognostico eseguito è stato siglato e approfondito secondo lo schema seguente:

Sigla Sondaggio	Profondità (m dal p.c.)
<b>S1</b>	<b>18.00</b>

Le carote estratte durante la perforazione sono state conservate in apposite cassette catalogatrici in PVC e la stratigrafia osservata è riportata su n°1 certificato stratigrafico allegato alla presente.

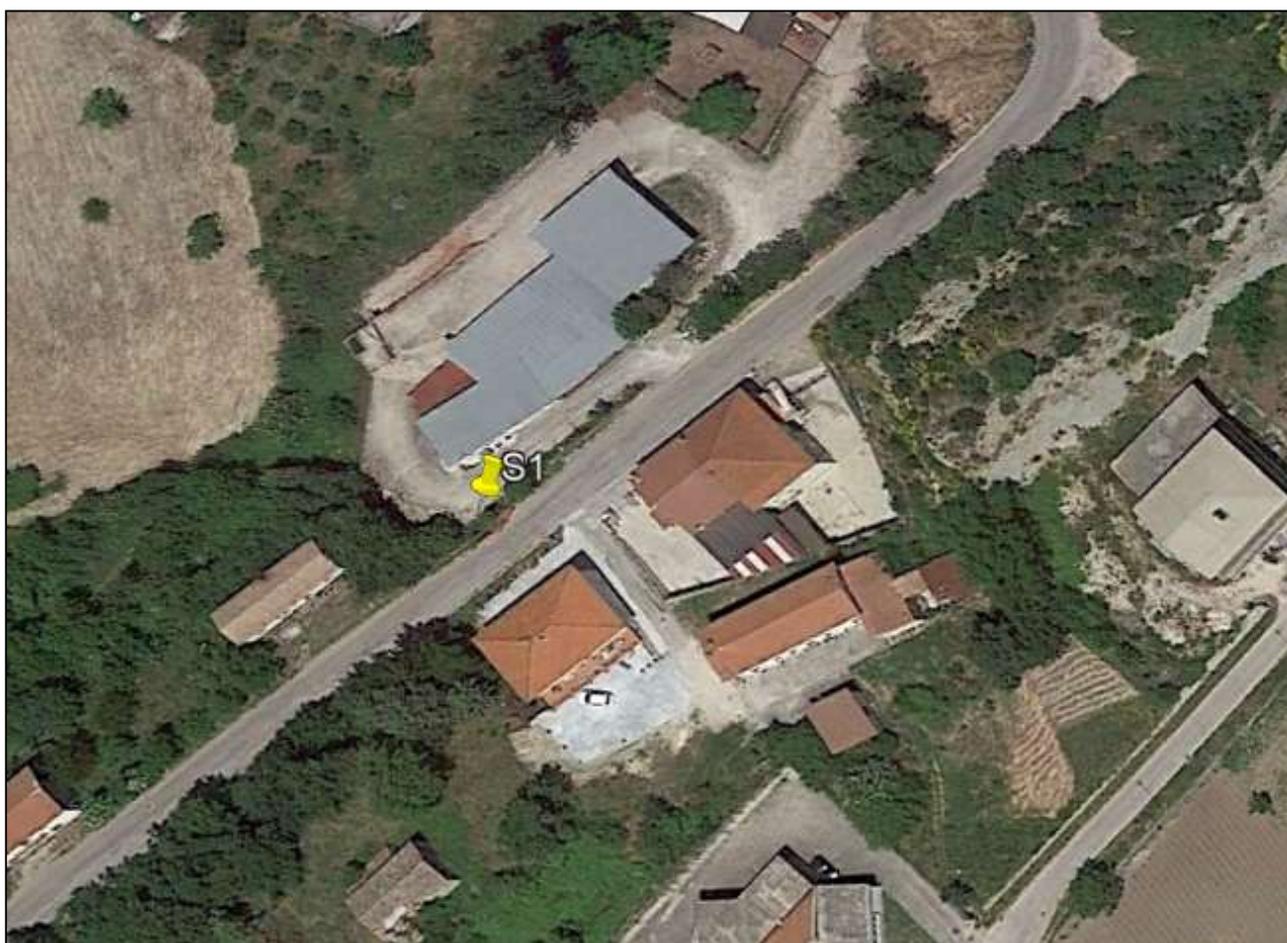
RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020	
VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019	
COMMITTENTE: Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti	
LOCALITÀ: S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara	
OGGETTO: Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60	

**Comune di San Giorgio La Molara (Bn)**

**"C/da Sant'Ignazio"**

**Ubicazione indagine geognostica**

<u>Sondaggio</u>	<u>Metri</u>	<u>Coordinate Geografiche</u>
S1	18.00	LAT. 41°16'31.05"N LONG. 14°55'53.61"E



**Foto n.°1: Panoramica sondaggio geognostico**

RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020	
VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019	
COMMITTENTE: Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti	
LOCALITÀ: S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara	
OGGETTO: Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60	

## 2. INDAGINE GEOTECNICA

### b) Prove Penetrometriche Dinamiche In Foro (S.P.T.)

Nel corso del sondaggio sono state eseguite complessivamente n°2 prove penetrometriche dinamiche in foro del tipo S.P.T.

Attrezzatura standard avente le seguenti caratteristiche:

- Tubo campionatore con diametro est. 51mm e spessore 8,00mm;
- Lunghezza complessiva di scarpa e raccordo delle aste di 813 mm;
- Massa battente 63.5 Kg;
- Altezza di caduta 76.2 cm.

Vengono di seguito riportati, nella tabella riepilogativa dei dati, i risultati della prova:

<u>Sondaggio</u>	<u>Prova</u>	<u>Profondità</u>	<u>N ° colpi</u>
S1	S.P.T. 1	m 1,50	N (7-6-8)
	S.P.T. 2	m 8,00	N (9-11-13)

### c) Prelievo di campioni indisturbati

Nel corso del sondaggio a carotaggio continuo, sono stati prelevati in totale n°2 campioni di terreno indisturbato, come di seguito indicato:

<u>Sondaggio</u>	<u>Campione</u>	<u>Profondità (mt)</u>
S1	C1	1,00 – 1,50
	C2	6,00 – 6,50

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020</b>	
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019</b>	
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti	
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara	
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60	

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

### Sondaggio S1 - Data esecuzione: 07/01/2020



Foto n.°2: Postazione sondaggio S1

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020</b>
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019</b>
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60



Foto n.°3: S1 cassetta n°1 (da m 0.00 a m 5.00)

RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020
VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019
COMMITTENTE: Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti
LOCALITÀ: S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara
OGGETTO: Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60



Foto n.°4: S1 cassetta n°2 (da m 5.00 a m 10.00)

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1 del 20/01/2020</b>
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30 del 20/12/2019</b>
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60



Foto n.°5: S1 cassetta n°3 (da m 10.00 a m 15.00)

<b>RAPPORTO DI PROVA n°1</b> del 20/01/2020
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE n°30</b> del 20/12/2019
<b>COMMITTENTE:</b> Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti
<b>LOCALITÀ:</b> S.P. n° 60 - C.da "Sant'Ignazio" - Comune di S.Giorgio La Molara
<b>OGGETTO:</b> Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n°60



Foto n.°6: S1 cassetta n°4 (da m 15.00 a m 18.00)

Committente: Dott. Geol. Giovanni Bonanno Conti  
 Coordinate X = 41°16'31.05"N Y = 14°55'53.61"E  
 Data inizio: 07/01/2020  
 Operatore: Zampelli Costanzo

Località: C.da "Sant'ignazio"  
 Comune di San Giorgio La Molara (Bn)  
 Data ultimazione: 07/01/2020

Perforazione: S1  
 Quota inizio = p.c.  
 Tipo di attrezzatura: Sonda CMW-MK600D  
 Oggetto: Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'ignazio" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n° 60

LEGENDA:  
 C1,C2,C3 ... camp. indisturbati  
 C1R,C2R,C3R ... camp. rimanegegiati

Responsabile della prova: Dr. Geol. D'Ambrosio Pasquale  
 s = Shelby  
 m = Mazier  
 p = percussione  
 d = Danson  
 o = Osterberg  
 DM: corona diamantata  
 W: corona Widia  
 DW: corona Widia diamantata

Decreto Ministeriale n. 5034  
 D.P.R. n. 380/2001 Art. 59

Certificato n.  
 pag. 1 di 1

PROFONDITA'		RILEVOLI/LEVELLO PIEZOMETRICO	
		FORO	RIVEST.
18,00 mt		DATA	LEVELLO FALDA
revisione	00	data emiss.	20/01/2020
redatto		Dr. Geol. D'Ambrosio Pasquale	
approvato		Dr. Geol. D'Ambrosio Pasquale	

Attrezzo di perforazione	Tipo di corona	Rivestimento	Campioni	Profondita'	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Manovra dilcarotaggio	Carotaggio	R.Q.D.	Pocket Penetrometer	Prof. SPT	N° colpi SPT	Livello falda	Condizionamento con tubo piezometrico
CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm	W	Ø 127 mm	1,00 C1 1,50	-0,30	1	Calcestruzzo	Sabbia limosa di colore giallastro alterata mediamente addensata con rari elementi litoidi di natura arenacea e calcarenitica nella parte bassa. Struttura non riconoscibile. Non reagente ad HCl	1,00 - 1,50 -	20 40 60 80	20 40 60 80		-1,50 - 7/6/8			
	W		6,00 C2 6,50	-7,50	2-8		Argilla limosa a luoghi sabbiosa di colore avana con venature giallo-ocra, verdastre e grigiastre ed elementi carboniosi, nerastri mediamente consistenti con ciottoli eterometrici, poligenici (di natura arenacea, calcarea e marnosa) a spigoli vivi e sub-arrotondati. Struttura caotica. Non reagente ad HCl	6,00 - 6,50 - 8,00 -	20 40 60 80	20 40 60 80		-8,00 - 9/11/13			
	W			-18,00	9-20		Alternanze non ritmiche di strati arenacei litoidi di colore grigio, strati sabbiosi scarsamente addensati a granulometria grossolana e strati argillosi e marnosi	8,00 - 11,00 - 14,00 - 16,00 - 18,00 -	20 40 60 80	20 40 60 80					

**MARY GEO**

# Soil Project s.a.s

Viale Europa snc, loc. Cubante, 82018 Calvi (BN)  
Tel: 0824 1816668; info: [www.soilprojectsas.it](http://www.soilprojectsas.it);  
email: [info@soilprojectsas.it](mailto:info@soilprojectsas.it); P.I. 01515280624

Codice Qualità : 0001/20/L del 10/01/2020

Numero Accettazione : 001/20 del 10/01/2020

Committente:

**Dr. Geologo Giovanni Bonanno Conti**

Opera:

**Lavori di Messa in sicurezza del movimento franoso  
nella località "Sant'Ignazio" del comune di San Giorgio  
La Molara e ripristino del piano viario della S.P. n°60**

Data Emissione Certificati: 24/01/2020



Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 del 10/07/2019

# Soil Project s.a.s

Viale Europa snc, loc. Cubante, 82018 Calvi (BN)  
Tel: 0824 1816668; info: [www.soilprojectsas.it](http://www.soilprojectsas.it);  
email: [info@soilprojectsas.it](mailto:info@soilprojectsas.it); P.I. 01515280624

Codice Qualità : 0001/20/L del 10/01/2020

Numero Accettazione : 001/20 del 10/01/2020

Il laboratorio geotecnico prove su terre Soil Project, per conto del Dr. Geol. Giovanni Bonanno Conti, ha effettuato sui campioni S1 C1 e S1 C1P le seguenti prove:

- Apertura campione
- Caratteristiche fisico – volumetriche
- Prova di taglio diretto (su tre provini)



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
email: info@soilprojectsas.it P.I.: 01515280624

pag. 1/1

Rev. 1  
del 07/01/2013

## APERTURA CAMPIONE

MOD L7.05/1c

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 010/01/2020

Data Emissione  
24/01/2020

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

### DATI GENERALI

Richiedente	Geol. Giovanni Bonanno Conti
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°60.
Località	Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)
Impresa	
Tecnico	

### PROVE ESEGUITE

N. Cod.	Prova	
A	Apertura campione	X
B	Caratteristiche fisico-volumetriche	X
C	Analisi granulometrica	
D	Limiti di Atterberg	
E	Prova di permeabilità	
F	Prova edometrica	
G	Prova di taglio diretto	X
H	Prova di taglio residuo	
I	Prova triassiale CID	
L	Prova triassiale CIU	
M	Prova triassiale UU	
N	Prova espansione laterale libera	
O	Prova di compattazione	

### RIFERIMENTI E MODALITA' DI PRELIEVO

IN FORO		IN TRINCEA		SUPERFICIE		Mod. sondaggio:	
X						Rotaz. - carotiere	X
						Rotaz. doppio carot.	
						Percussione	
						Spirale	
						Campionatore:	
Data Prelievo						Shelby	X
N. Sondaggio						S1	Osterberg
Prof. Sondaggio (m)							Mazier
N. Campione						C1	Carotiere rotativo
Prof. Campione (m)						1,00-1,50	Carotiere doppio rot.
Diametro campione (mm)						80	Cucchiaio
Altezza campione (mm)						500	Altro

### Classe campione in base al prelievo

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Infissione in foro in fustella				
Da taglio in superficie in fustella				
Rotazione in fustella				
Sciolto				

### IDENTIFICAZIONE VISIVA ALL'ESTRUSIONE

Granulare grosso/no	Granulare medio	Granulare/coesivo	Coesivo						
X				X					
CONSISTENZA		Colore	Bruno olivastro	Classe campione sfustellato					
		Struttura	Omogenea	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	
		Tessitura	Fina						
PRESENZA MAT. ORG.		DISGREGATO		FESSURAZIONE			ALLUNGAMENTO		
	X			PERSISTENTE		ASSENTE	ACCENTUATO	MODESTO	SCARSO
BUONA	MEDIO-BUONA	MEDIA	MODESTA	SCARSA	ALTA	MEDIA	SCARSA		

### Note:

Il campione si presenta come una sabbia limosa

### Documentazione fotografica:



Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
email: info@soilprojectsas.it P.I.: 01515280624

pag. 1/1

Rev. 1 del 07/01/2013

## CARATTERISTICHE FISICO VOLUMETRICHE (ASTM D2216-D2974-D854-D4372-C128; UNI 8520; BS 1327)

MOD L7.05/2c

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 01/01/2020

N° Certificato  
9559

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	Geol. Giovanni Bonanno Conti	N. Sondaggio	S1
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°60.	Prof. Sondaggio (m)	18,00
Località	Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)	N. Campione	C1
Impresa		Prof. Campione (m)	1,00-1,50
Tecnico		Note	

### PESO DI VOLUME $\gamma$ (BS 1377 T15/e)

Metodo campione	Provino			
	1	2	3	
Peso contenitore (g)	72,42	54,96	71,50	
Peso contenitore+campione umido (g)	214,42	196,24	213,54	
Peso campione umido (g)	142,0	141,3	142,0	
Volume contenitore (cm <sup>3</sup> )	72,00	72,00	72,00	
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,341	19,243	19,346	
	MEDIA 19,31			
C.Q. $\Delta\gamma < 2\%$	$\Delta\gamma$ (%)	0.16	0.35	0.19

### CONTENUTO IN SOLFATI (UNI EN 1744-1:1999)

Determinazioni	1	2	3
Peso campione (g)			
Peso precipitazione (g)			
Peso acqua utilizzata (g)			
Contenuto in solfati (%)			
	MEDIA		

### PESO SPECIFICO DEI GRANI $\gamma_s$ (ASTM D854)

Picnometro	Campione			
	1	2	3	
Peso campione secco(g)	26,14	26,22	26,85	
Temperatura di prova (°C)	20,00	20,00	20,00	
Peso specifico acqua $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	9,80665	9,80665	9,80665	
Peso pic. + acqua + camp. secco (g)	150,56	163,18	180,16	
Peso picnometro + acqua (g)	134,3	146,9	163,5	
Peso specifico dei grani $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	25,95	25,97	25,94	
	MEDIA 25,95			
C.Q. $\Delta\gamma < 1\%$	$\Delta\gamma$ (%)	0.03	0.07	0.05

### DETERMINAZIONE PESO DI VOLUME $\gamma$ (ASTM D1188)

Metodo volumometro	Provino		
	1	2	3
Volumometro			
Peso volumometro + acqua (g)			
Peso campione umido (g)			
Peso volumometro + camp. umido (g)			
Differenza volume volumometro (cm <sup>3</sup> )			
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )			
	MEDIA		

### PARAMETRI DI STATO DERIVATI

Peso vol. secco $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	16,8
Indice dei vuoti $e$	0,54
Porosità $n$ (%)	35,1
Grado di saturazione (Sr) %	71,6
$\gamma_{sat} = \gamma_d + \gamma_w n$	
Peso volume saturo $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20,3
$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$	
Peso volume immerso $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	10,5

### DETERMINAZIONE CONTENUTO D'ACQUA W (ASTM D2216)

Contenitore n°	Provino			
	1	2	3	
Peso contenitore (g)	A 2,18	B 2,12	C 2,14	
Peso cont. + peso camp. umido (g)	69,30	80,02	176,40	
Peso cont. + peso camp. secco (g)	60,80	70,00	154,15	
Peso campione secco (g)	58,62	67,88	152,01	
Contenuto d'acqua w (%)	14,50	14,76	14,64	
	MEDIA 14,63			
C.Q. $\Delta\gamma < 1,5\%$	$\Delta\gamma$ (%)	0.91	0.88	0.03

### CONTENUTO SOSTANZE ORGANICHE (UNI EN 8520/14)

Determinazioni n.	Provini	
	1	2
Peso tara (g)		
Peso campione (g)		
Peso campione calcinato + tara (g)		
Contenuto in sostanze organiche (%)		
	MEDIA	

### DETERMINAZIONE CONTENUTO IN CaCO<sub>3</sub> (ASTM D4373)

	Provino	
	1	2
Pressione atmosferica (bar)		
Temperatura atmosferica (°C)		
Quantità campione secco (g)		
Svolgimento reazione (cm <sup>3</sup> )		
Absorbimento reazione (cm <sup>3</sup> )		
Contenuto carbonato di calcio (%)		
	MEDIA	

Note

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
 Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
 email: info@soilprojectsas.it P.I.:01515280624

pag.1/3

Rev. 1  
 del 07/01/2013

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(ASTM D3080)

MOD L7.05/6C

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
 Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 010/01/2020

N° Certificato  
 9560

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	<b>Geol. Giovanni Bonanno Conti</b>	N. Sondaggio	<b>S1</b>
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°60.	Prof. Sondaggio (m)	<b>18,00</b>
Località	<b>Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)</b>	N. Campione	<b>C1</b>
Impresa		Prof. Campione (m)	<b>1,00-1,50</b>
Tecnico		Note	

### Caratteristiche scatola di taglio

Lunghezza scatola (mm)	60,00	Sezione scatola A (cm <sup>2</sup> )	36,00	Altezza scatola H (mm)	22,00	Volume scatola V (cm <sup>3</sup> )	79,20
------------------------	-------	--------------------------------------	-------	------------------------	-------	-------------------------------------	-------

### Consolidazione

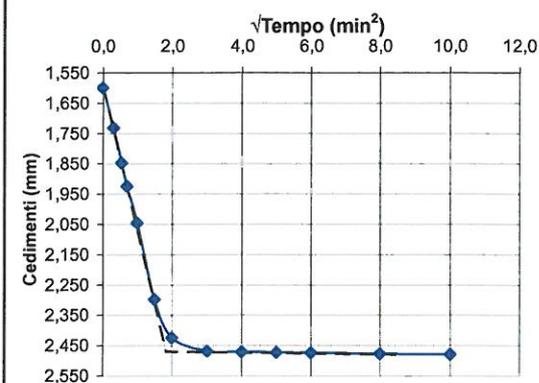
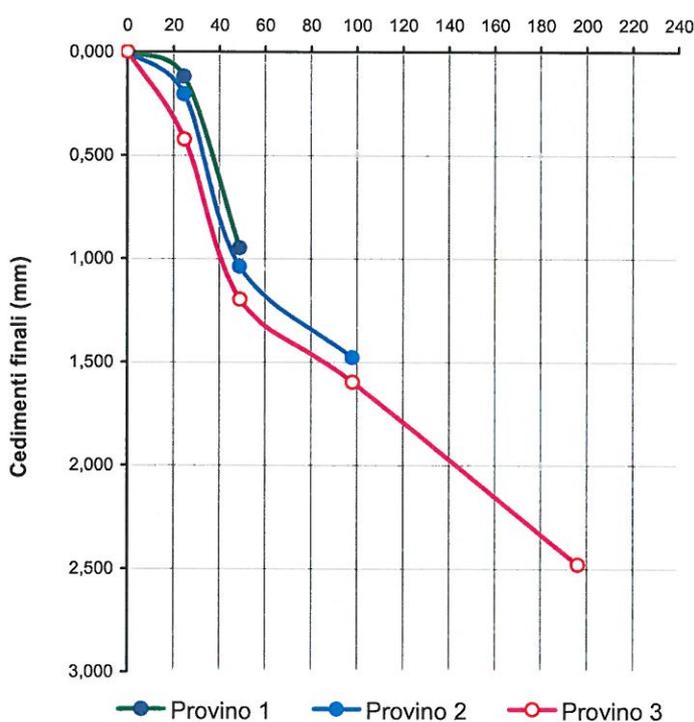
	Carico verticale
Provino 1	49,03 kN/m <sup>2</sup>
Provino 2	98,07 kN/m <sup>2</sup>
Provino 3	196,13 kN/m <sup>2</sup>

Carico verticale kN/m <sup>2</sup>	Provino 1	Provino 2	Provino 3
	Cedim. Fin. mm	Cedim. Fin. mm	Cedim. Fin. mm
0,00	0,000	0,000	0,000
24,52	0,120	0,205	0,425
49,03	0,950	1,040	1,200
98,07		1,480	1,600
196,13			2,480
294,21			

#### Curva di consolidazione di Taylor

Determinata per provino n.		3	
Gradino di carico verticale	da	98,07 kN/m <sup>2</sup>	
	a	196,13 kN/m <sup>2</sup>	
Cedimento mm	Tempo min	√Tempo min <sup>2</sup>	√t <sub>100</sub> min <sup>2</sup>
1,600	0,00	0,00	1,83
1,732	0,10	0,32	
1,848	0,30	0,55	t <sub>100</sub>
1,926	0,50	0,71	min
2,047	1,00	1,00	3,35
2,299	2,25	1,50	
2,426	4,00	2,00	k (Racc. AGI)
2,470	9,00	3,00	10
2,472	16,00	4,00	
2,474	25,00	5,00	Spost. Rott. mm
2,475	36,00	6,00	4,00
2,478	64,00	8,00	
2,480	100,00	10,00	

Carico verticale (kN/m<sup>2</sup>)



Velocità di avanz. MAX 0,12 mm/min

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
email: info@soilprojectsas.it P.I.:01515280624

pag 2/3

Rev. 1  
del 07/01/2013

## PROVA DI TAGLIO

(ASTM D3080)

MOD L7.05/6C

Data accettazione: **10/01/2020** Cod. Qualità: **0001/20/L del 10/01/20**  
Data apertura: **16/01/2020** N° ACC.: **001/20 del 01/01/2020**

N° Certificato  
**9561**

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	<b>Geol. Giovanni Bonanno Conti</b>	N. Sondaggio	<b>S1</b>
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°68.	Prof. Sondaggio (m)	<b>18,00</b>
Località	<b>Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)</b>	N. Campione	<b>C1</b>
Impresa		Prof. Campione (m)	<b>1,00-1,50</b>
Tecnico		Note	

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo di taglio	Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo di taglio	Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo di taglio
(mm)	(mm)	(kN/m <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(kN/m <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(kN/m <sup>2</sup> )
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,01	3,25	0,03	0,02	5,94	0,03	0,05	14,14
0,05	0,03	7,49	0,05	0,07	14,70	0,05	0,15	24,07
0,08	0,04	11,24	0,08	0,12	19,70	0,08	0,23	31,33
0,10	0,06	14,49	0,10	0,17	24,40	0,10	0,29	38,97
0,13	0,07	17,23	0,13	0,21	27,21	0,13	0,35	43,56
0,15	0,09	18,73	0,15	0,26	30,96	0,15	0,41	50,82
0,18	0,10	20,73	0,18	0,29	33,15	0,18	0,46	53,87
0,20	0,11	22,73	0,20	0,33	35,65	0,20	0,51	61,13
0,23	0,12	24,23	0,23	0,36	39,72	0,23	0,55	64,19
0,25	0,13	25,22	0,25	0,38	40,66	0,25	0,59	68,01
0,28	0,15	26,47	0,28	0,40	43,47	0,28	0,63	71,07
0,30	0,16	27,72	0,30	0,41	45,98	0,30	0,65	73,74
0,33	0,17	28,97	0,33	0,43	46,91	0,33	0,67	76,39
0,35	0,17	29,72	0,35	0,44	48,17	0,35	0,69	79,17
0,38	0,18	30,47	0,38	0,45	50,04	0,38	0,71	81,39
0,40	0,19	30,97	0,40	0,47	51,92	0,40	0,72	83,89
0,43	0,20	31,83	0,43	0,48	52,86	0,43	0,73	85,83
0,45	0,21	32,47	0,45	0,48	53,17	0,45	0,73	87,49
0,48	0,21	32,97	0,48	0,49	54,42	0,48	0,73	89,72
0,50	0,22	33,72	0,50	0,49	54,73	0,50	0,74	91,70
0,53	0,22	33,97	0,53	0,49	55,98	0,53	0,74	92,84
0,55	0,23	34,47	0,55	0,49	56,61	0,55	0,75	94,37
0,58	0,24	34,58	0,58	0,50	56,92	0,58	0,75	96,33
0,60	0,24	35,00	0,60	0,50	57,55	0,60	0,75	97,78
0,63	0,25	35,22	0,63	0,50	58,17	0,63	0,75	99,72
0,65	0,26	35,50	0,65	0,51	58,49	0,65	0,75	101,63
0,68	0,26	35,96	0,68	0,51	58,80	0,68	0,75	103,54
0,70	0,27	36,17	0,70	0,51	58,80	0,70	0,74	105,00
0,73	0,28	36,46	0,73	0,51	57,66	0,73	0,73	106,39
0,75	0,29	36,46	0,75	0,51	55,17	0,75	0,72	106,98
0,78	0,29	36,71				0,78	0,71	106,98
0,80	0,30	36,71				0,80	0,71	105,56
0,83	0,31	36,36				0,83	0,71	104,17
0,85	0,33	35,31						

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
email: info@soilprojectsas.it P.I.:01515280624

pag 3/3

RLV 1 del 07/01/2013

## PROVA DI TAGLIO

(ASTM D3080)

MOD L7.05/6C

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 010/01/2020

N° Certificato  
9562

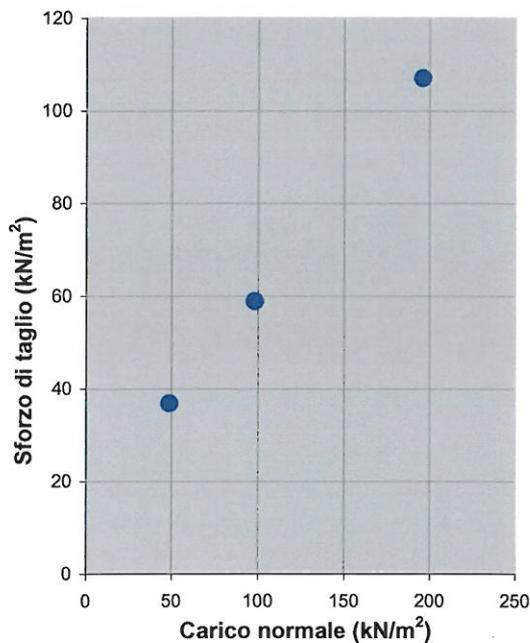
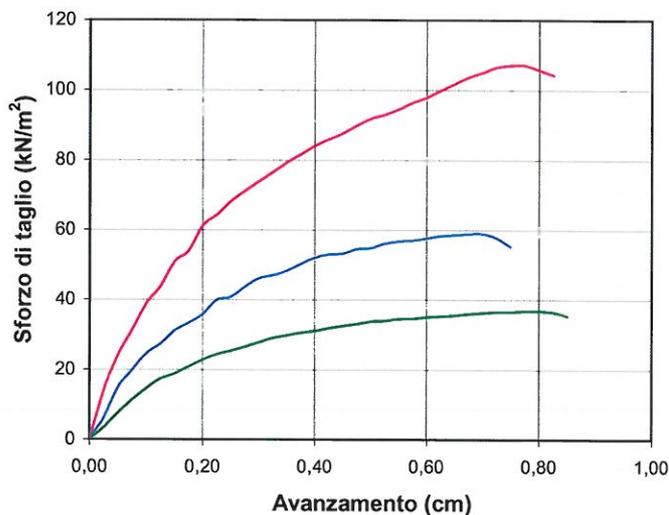
Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	Geol. Giovanni Bonanno Conti	N. Sondaggio	S1
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°60.	Prof. Sondaggio (m)	18,00
Località	Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)	N. Campione	C1
Impresa		Prof. Campione (m)	1,00-1,50
Tecnico		Note	

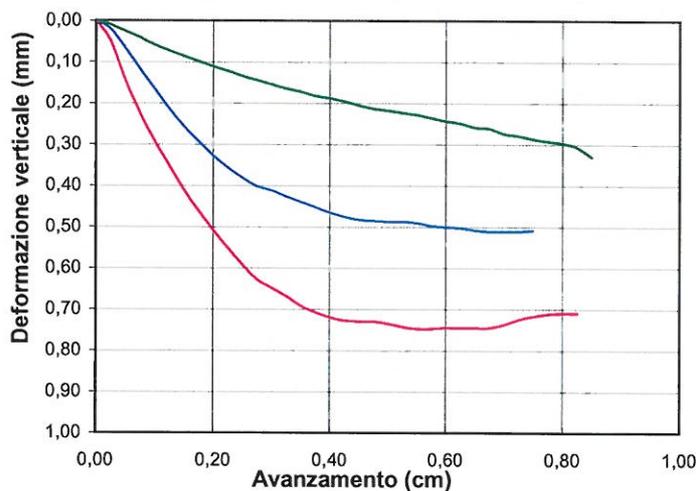
Contenuto d'acqua naturale (%)	14,63
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19,31
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	16,85
Indice dei vuoti	0,54
Porosità (%)	35,10
Peso specifico (kN/m <sup>3</sup> )	25,95
Grado di saturazione (%)	72
Sezione scatola di taglio (cm <sup>2</sup> )	36
Velocità di avanzamento (mm/min)	0,025

	Carico verticale
Provino 1	49,03 kN/m <sup>2</sup>
Provino 2	98,07 kN/m <sup>2</sup>
Provino 3	196,13 kN/m <sup>2</sup>

### SFORZO DI TAGLIO



### DEFORMAZIONE



Parametri di regressione lineare	Intercetta (kN/m <sup>2</sup> )	12,62
	Valore angolare (°)	25,64

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
email: info@soilprojectsas.it P.I.:01515280624

pag. 1/1

Rev. 1  
del 07/01/2013

## APERTURA CAMPIONE

MOD L7.05/1c

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 010/01/2020

Data Emissione  
24/01/2020

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

### DATI GENERALI

Richiedente	Geol. Giovanni Bonanno Conti
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°60.
Località	Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)
Impresa	
Tecnico	

### PROVE ESEGUITE

N. Cod.	Prova	
A	Apertura campione	X
B	Caratteristiche fisico-volumetriche	X
C	Analisi granulometrica	
D	Limiti di Atterberg	
E	Prova di permeabilità	
F	Prova edometrica	
G	Prova di taglio diretto	X
H	Prova di taglio residuo	
I	Prova triassiale CID	
L	Prova triassiale CIU	
M	Prova triassiale UU	
N	Prova espansione laterale libera	
O	Prova di compattazione	

### RIFERIMENTI E MODALITA' DI PRELIEVO

IN FORO	IN TRINCEA	SUPERFICIE	Mod. sondaggio:	
X			Rotaz. - carotiere	X
			Rotaz. doppio carot.	
			Percussione	
			Spirale	
			Campionatore:	
			Shelby	X
			N. Sondaggio	S1
			Prof. Sondaggio (m)	Mazier
			N. Campione	C1 P
			Prof. Campione (m)	1,00-1,5
			Diametro campione (mm)	80
			Altezza campione (mm)	500
				Altro

### Classe campione in base al prelievo

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Infissione in foro in fustella				
Da taglio in superficie in fustella				
Rotazione in fustella				
Sciolto				

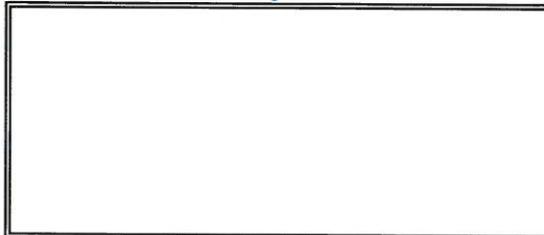
### IDENTIFICAZIONE VISIVA ALL'ESTRUSIONE

Granulare grosso/no		Granulare medio		Granulare/coesivo		Coesivo						
				X								
CONSISTENZA		Colore		Giallo verdastro		Classe campione sfustellato						
X						Q1	Q2	Q3	Q4	Q5		
		Struttura		Omogenea								
		Tessitura		Fina								
PRESENZA MAT. ORG		FESSURAZIONE		ALLUNGAMENTO								
	X			X								
BUONA	MEDIO-BUONA	ALTA	MEDIA	SCARSA	DISGREGATO	NON DISGREGATO	PERSISTENTE	MEDIA	ASSENTE	ACCENTUATO	MODESTO	SCARSO
												X

### Note:

Il campione si presenta come una sabbia limosa

### Documentazione fotografica:



Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
email: info@soilprojectsas.it P.I.: 01515280624

pag. 1/1

Rev. 1 del 07/01/2013

## CARATTERISTICHE FISICO VOLUMETRICHE (ASTM D2216-D2974-D854-D4372-C128; UNI 8520; BS 1327)

MOD L7.05/2c

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 01/01/2020

N° Certificato  
9563

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	Geol. Giovanni Bonanno Conti	N. Sondaggio	S1
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°60.	Prof. Sondaggio (m)	
Località	Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)	N. Campione	C1 P
Impresa		Prof. Campione (m)	1,00-1,5
Tecnico		Note	

### PESO DI VOLUME $\gamma$ (BS 1377 T15/e)

Metodo campione	Provino			
	1	2	3	
Peso contenitore (g)	54,96	72,54	54,96	
Peso contenitore+campione umido (g)	200,84	218,00	201,34	
Peso campione umido (g)	145,9	145,5	146,4	
Volume contenitore (cm <sup>3</sup> )	72,00	72,00	72,00	
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,869	19,812	19,937	
	MEDIA 19,87			
C.Q. $\Delta\gamma < 2\%$	$\Delta\gamma$ (%)	0,02	0,31	0,32

### CONTENUTO IN SOLFATI (UNI EN 1744-1:1999)

Determinazioni	1	2	3
Peso campione (g)			
Peso precipitazione (g)			
Peso acqua utilizzata (g)			
Contenuto in solfati (%)			
	MEDIA		

### PESO SPECIFICO DEI GRANI $\gamma_s$ (ASTM D854)

	Campione			
	1	2	3	
Picnometro	A	B	C	
Peso campione secco (g)	26,14	26,26	26,40	
Temperatura di prova (°C)	20,00	20,00	20,00	
Peso specifico acqua $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	9,80665	9,80665	9,80665	
Peso pic. + acqua + camp. secco (g)	165,76	158,58	150,76	
Peso picnometro + acqua (g)	149,5	142,2	134,3	
Peso specifico dei grani $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	25,95	26,01	26,05	
	MEDIA 26,00			
C.Q. $\Delta\gamma < 1\%$	$\Delta\gamma$ (%)	0,21	0,04	0,17

### DETERMINAZIONE PESO DI VOLUME $\gamma$ (ASTM D1188)

Metodo volumometro	Provino		
	1	2	3
Volumometro			
Peso volumometro + acqua (g)			
Peso campione umido (g)			
Peso volumometro + camp. umido (g)			
Differenza volume volumometro (cm <sup>3</sup> )			
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )			
	MEDIA		

### PARAMETRI DI STATO DERIVATI

Peso vol. secco $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,3
Indice dei vuoti $e$	0,51
Porosità $n$ (%)	33,6
Grado di saturazione (Sr) %	78,9
$\gamma_{sat} = \gamma_d + \gamma_w n$	
Peso volume saturo $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20,6
$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$	
Peso volume immerso $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	10,8

### DETERMINAZIONE CONTENUTO D'ACQUA W (ASTM D2216)

	Provino			
	1	2	3	
Contenitore n°	A	B	C	
Peso contenitore (g)	2,18	2,14	2,16	
Peso cont. + peso camp. umido (g)	115,36	78,44	84,54	
Peso cont. + peso camp. secco (g)	100,64	68,40	73,80	
Peso campione secco (g)	98,46	66,26	71,64	
Contenuto d'acqua w (%)	14,95	15,15	14,99	
	MEDIA 15,03			
C.Q. $\Delta\gamma < 1,5\%$	$\Delta\gamma$ (%)	0,54	0,80	0,26

### CONTENUTO SOSTANZE ORGANICHE (UNI EN 8520/14)

Determinazioni n.	Provini	
	1	2
Peso tara (g)		
Peso campione (g)		
Peso campione calcinato + tara (g)		
Contenuto in sostanze organiche (%)		
	MEDIA	

### DETERMINAZIONE CONTENUTO IN CaCO<sub>3</sub> (ASTM D4373)

	Provino	
	1	2
Pressione atmosferica (bar)		
Temperatura atmosferica (°C)		
Quantità campione secco (g)		
Svolgimento reazione (cm <sup>3</sup> )		
Absorbimento reazione (cm <sup>3</sup> )		
Contenuto carbonato di calcio (%)		
	MEDIA	

Note

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
 Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
 email: info@soilprojectsas.it P.I.:01515280624

pag.1/3

Rev. 1  
 del 07/01/2013

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(ASTM D3080)

MOD L7.05/6C

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
 Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 010/01/2020

N° Certificato  
 9564

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	<b>Geol. Giovanni Bonanno Conti</b>	N. Sondaggio	<b>S1</b>
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°50.	Prof. Sondaggio (m)	
Località	<b>Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)</b>	N. Campione	<b>C1 P</b>
Impresa		Prof. Campione (m)	<b>1,00-1,5</b>
Tecnico		Note	

### Caratteristiche scatola di taglio

Lunghezza scatola (mm)	60,00	Sezione scatola A (cm <sup>2</sup> )	36,00	Altezza scatola H (mm)	22,00	Volume scatola V (cm <sup>3</sup> )	79,20
------------------------	-------	--------------------------------------	-------	------------------------	-------	-------------------------------------	-------

### Consolidazione

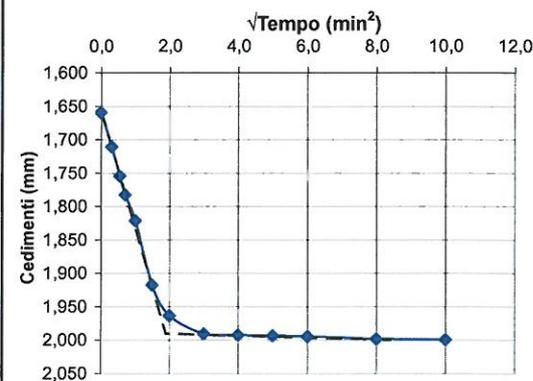
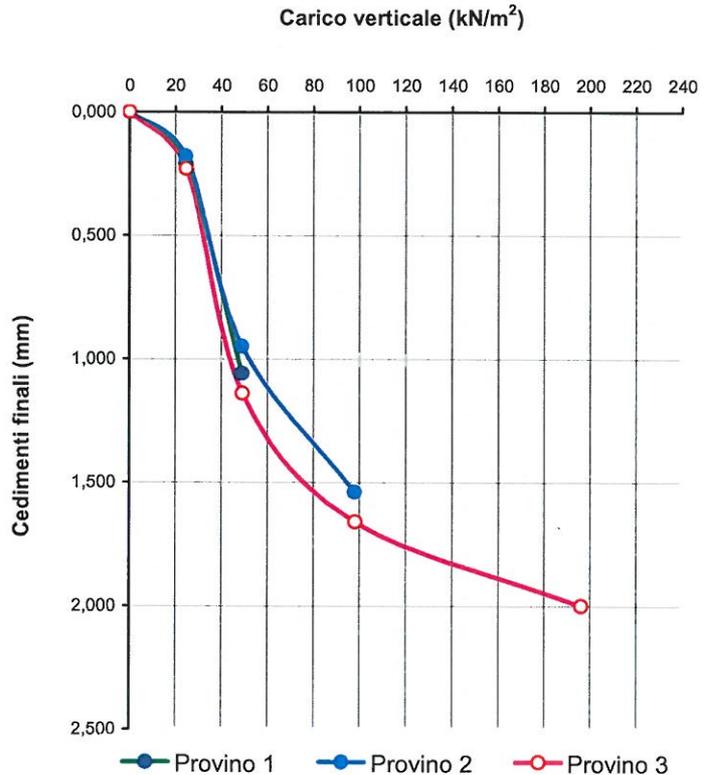
	Carico verticale
Provino 1	49,03 kN/m <sup>2</sup>
Provino 2	98,07 kN/m <sup>2</sup>
Provino 3	196,13 kN/m <sup>2</sup>

Carico verticale kN/m <sup>2</sup>	Provino 1	Provino 2	Provino 3
	Cedim. Fin. mm	Cedim. Fin. mm	Cedim. Fin. mm
0,00	0,000	0,000	0,000
24,52	0,210	0,180	0,230
49,03	1,060	0,950	1,140
98,07		1,540	1,660
196,13			2,000
294,21			

#### Curva di consolidazione di Taylor

Determinata per provino n.		3	
Gradino di carico verticale	da	98,07 kN/m <sup>2</sup>	
	a	196,13 kN/m <sup>2</sup>	
Cedimento mm	Tempo min	√Tempo min <sup>2</sup>	√t <sub>100</sub> min <sup>2</sup>
1,660	0,00	0,00	1,89
1,711	0,10	0,32	
1,755	0,30	0,55	t <sub>100</sub>
1,783	0,50	0,71	min
1,822	1,00	1,00	3,57
1,918	2,25	1,50	
1,964	4,00	2,00	k (Racc. AGI)
1,991	9,00	3,00	10
1,993	16,00	4,00	
1,994	25,00	5,00	Spost. Rott.
1,995	36,00	6,00	mm
1,999	64,00	8,00	4,00
2,000	100,00	10,00	

Carico verticale (kN/m<sup>2</sup>)



Velocità di avanz. MAX 0,11 mm/min

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
email: info@soilprojectsas.it P.I.:01515280624

pag 2/3

Rev. 1  
del 07/01/2013

## PROVA DI TAGLIO

(ASTM D3080)

MOD L7.05/6C

Data accettazione: **10/01/2020** Cod. Qualità: **0001/20/L del 10/01/20**  
Data apertura: **16/01/2020** N° ACC. : **001/20 del 01/01/2020**

N° Certificato  
**9565**

Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	<b>Geol. Giovanni Bonanno Conti</b>	N. Sondaggio	<b>S1</b>
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°69.	Prof. Sondaggio (m)	
Località	<b>Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)</b>	N. Campione	<b>C1 P</b>
Impresa		Prof. Campione (m)	<b>1,00-1,5</b>
Tecnico		Note	

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo di taglio	Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo di taglio	Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo di taglio
(mm)	(mm)	(kN/m <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(kN/m <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(kN/m <sup>2</sup> )
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,06	4,31	0,02	0,04	7,98	0,03	0,07	14,22
0,05	0,10	9,44	0,04	0,07	17,89	0,05	0,23	28,45
0,08	0,15	12,41	0,06	0,10	22,35	0,08	0,35	39,82
0,10	0,18	17,00	0,08	0,13	27,94	0,10	0,43	49,78
0,13	0,21	19,35	0,10	0,15	32,73	0,13	0,48	58,31
0,15	0,24	21,11	0,12	0,19	36,72	0,15	0,53	65,42
0,18	0,26	23,46	0,14	0,22	39,92	0,18	0,56	71,11
0,20	0,28	25,22	0,16	0,24	42,31	0,20	0,58	75,38
0,23	0,29	26,18	0,18	0,26	43,91	0,23	0,60	78,22
0,25	0,30	27,17	0,20	0,28	46,30	0,25	0,62	80,55
0,28	0,31	27,74	0,22	0,30	47,10	0,28	0,62	82,24
0,30	0,32	28,33	0,24	0,32	48,86	0,30	0,62	83,91
0,33	0,33	29,13	0,26	0,34	49,65	0,33	0,62	85,42
0,35	0,34	29,69	0,28	0,35	50,74	0,35	0,62	86,54
0,38	0,35	30,33	0,30	0,36	50,74	0,38	0,61	89,60
0,40	0,36	31,08	0,32	0,37	51,89	0,40	0,61	92,45
0,43	0,36	31,72	0,34	0,38	52,69	0,43	0,60	93,87
0,45	0,36	32,69	0,36	0,38	54,29	0,45	0,60	96,71
0,48	0,37	33,50	0,38	0,39	55,08	0,48	0,60	98,14
0,50	0,37	33,97	0,40	0,40	55,88	0,50	0,60	99,56
0,53	0,37	34,07	0,42	0,41	56,68	0,53	0,59	100,98
0,55	0,38	34,07	0,44	0,41	57,66	0,55	0,59	100,98
0,58	0,39	33,72	0,46	0,42	57,48	0,58	0,59	102,40
0,60	0,39	33,00	0,48	0,42	57,48	0,60	0,59	102,40
0,63	0,39	32,47	0,50	0,42	57,48	0,63	0,59	100,98
			0,52	0,42	56,94	0,65	0,59	99,56
			0,54	0,43	55,89	0,68	0,59	98,14

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



# SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)  
 Tel: 0824 1816668; cell: 340 6867752 - 333 1153056; info: www.soilprojectsas.it;  
 email: info@soilprojectsas.it P.I.:01515280624

pag 3/3

REV 1 del 07/01/2013

## PROVA DI TAGLIO (ASTM D3080)

MOD L7.05/6C

Data accettazione: 10/01/2020 Cod. Qualità: 0001/20/L del 10/01/20  
 Data apertura: 16/01/2020 N° ACC.: 001/20 del 010/01/2020

N° Certificato  
9566

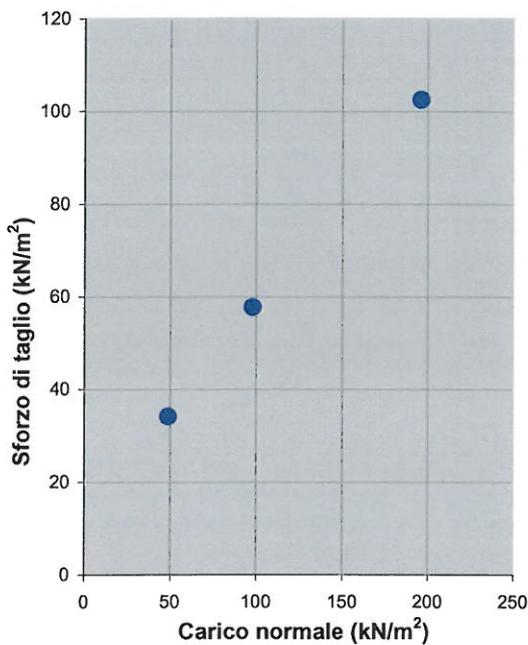
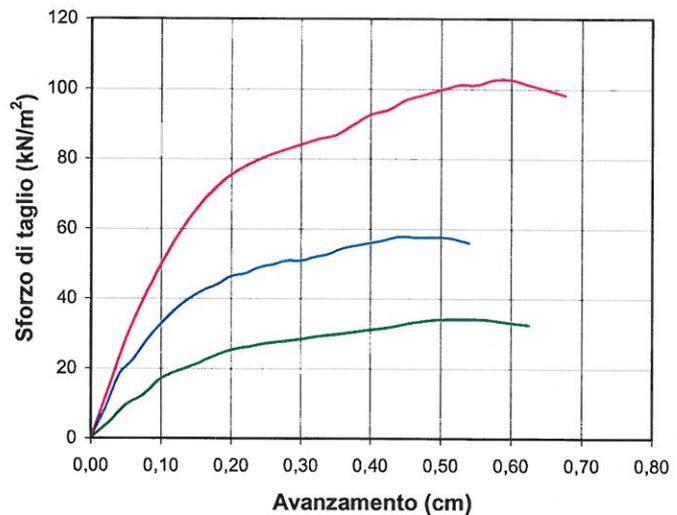
Autorizzazione Ministero dei Lavori Pubblici n 342 Del 10/07/2019

Richiedente	<b>Geol. Giovanni Bonanno Conti</b>	N. Sondaggio	<b>S1</b>
Opera/cant.	Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso nella località "Sant'Ignazio" del Comune di San Giorgio la Molara e di ripristino del piano viario della S.P.n°60.	Prof. Sondaggio (m)	
Località	<b>Sant'Ignazio - S.Giorgio la Molara (BN)</b>	N. Campione	<b>C1 P</b>
Impresa		Prof. Campione (m)	<b>1,00-1,5</b>
Tecnico		Note	

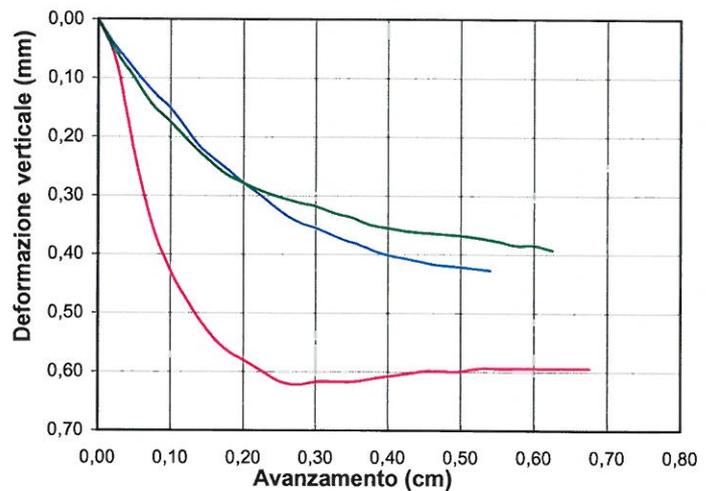
Contenuto d'acqua naturale (%)	15,03
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19,87
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	17,28
Indice dei vuoti	0,51
Porosità (%)	33,56
Peso specifico (kN/m <sup>3</sup> )	26,00
Grado di saturazione (%)	79
Sezione scatola di taglio (cm <sup>2</sup> )	36
Velocità di avanzamento (mm/min)	0,025

	Carico verticale
Provino 1	49,03 kN/m <sup>2</sup>
Provino 2	98,07 kN/m <sup>2</sup>
Provino 3	196,13 kN/m <sup>2</sup>

### SFORZO DI TAGLIO



### DEFORMAZIONE



Parametri di regressione lineare	Intercetta (kN/m <sup>2</sup> )	11,70
	Valore angolare (°)	24,88

Lo Sperimentatore



Il Direttore del laboratorio



CONSULENZA GEOLOGICA - INDAGINI GEOGNOSTICHE  
MONITORAGGIO AMBIENTALE - DIAGNOSTICA STRUTTURALE

Via Arcangeli n° 6 – 98031 Capizzi (ME) – Cell. 339/8637188 – E-mail: geo\_service@inwind.it

## PROVINCIA DI BENEVENTO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL MOVIMENTO  
FRANOSO E DI RIPRISTINO DEL PIANO VIARIO DELLA  
S.P. N° 60 NELLA LOCALITÀ “SANT’IGNAZIO” DEL  
COMUNE DI SAN GIORGIO LA MOLARA

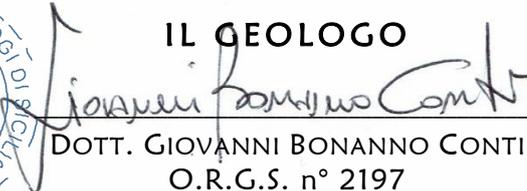
# INDAGINI SISMICHE

COMMITTENTE  
PROVINCIA DI BENEVENTO

DATA  
20/01/2020



IL GEOLOGO

  
DOTT. GIOVANNI BONANNO CONTI  
O.R.G.S. n° 2197

## I N D I C E

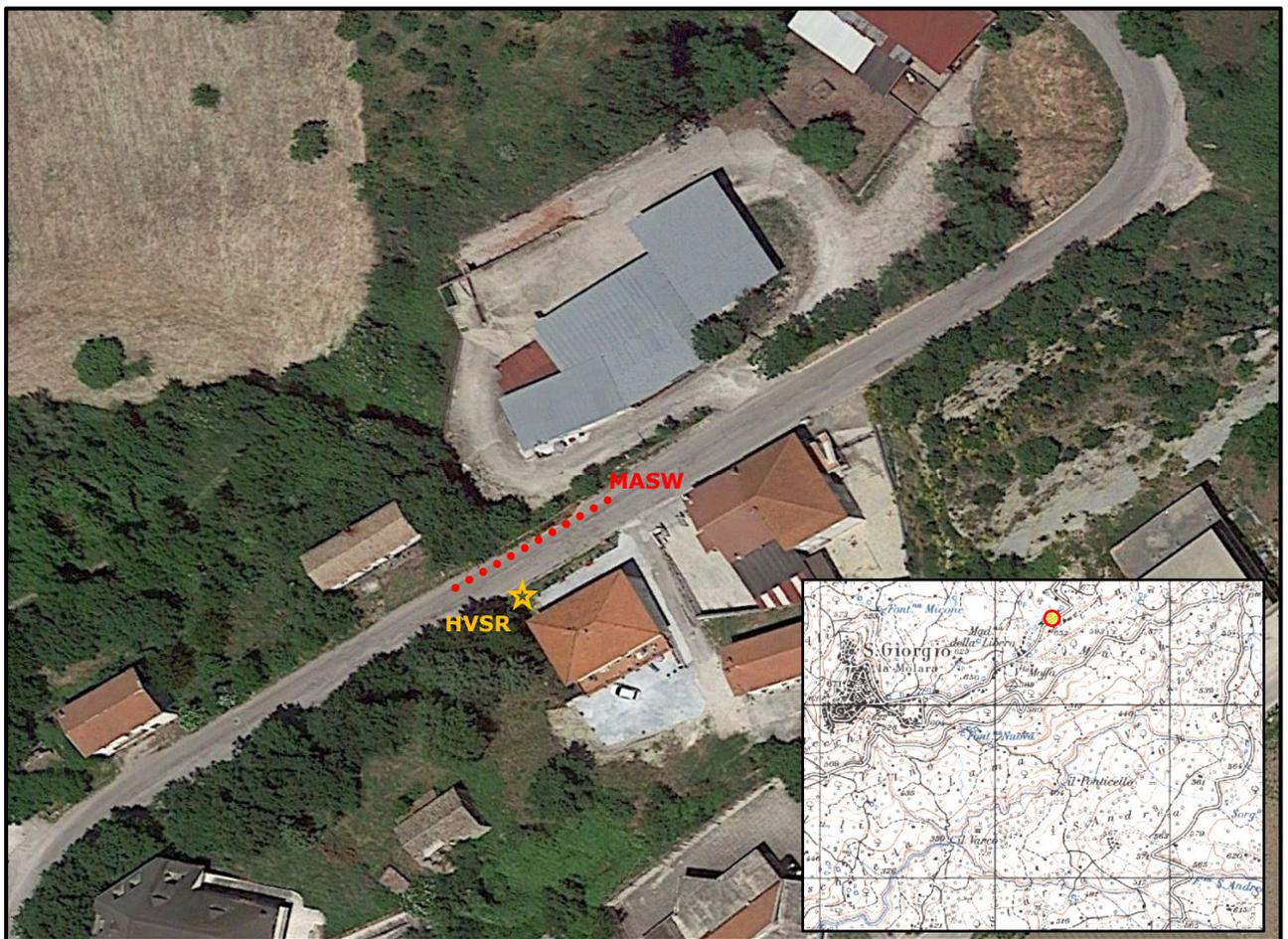
1.0	<i>PREMESSE</i>	<i>PAG. 2</i>
2.0	<i>PROVA MASW</i>	<i>PAG. 3</i>
3.0	<i>PROVA HVSR</i>	<i>PAG. 8</i>

## A L L E G A T I

- *ELABORAZIONE PROVA HVSR*
- *DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA*

## 1.0 PREMESSE

Su incarico conferito dalla *Provincia di Benevento – Settore Tecnico – Servizio Viabilità 2*, con *Determinazione Dirigenziale n° 2314 del 09/10/2019* sono state effettuate delle indagini sismiche consistenti nella realizzazione di una prova MASW ed una prova HVSR a supporto dello studio geologico relativo al progetto per i «*Lavori di messa in sicurezza del movimento franoso e di ripristino del piano viario della S.P. n° 60 nella località “Sant’Ignazio” del Comune di San Giorgio La Molarata*».



Le suddette indagini hanno permesso di determinare la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ , necessaria per definire la categoria del suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018, approvate con D.M. del 17/01/2018 e, nel contempo, di individuare la frequenza fondamentale di risonanza del sito.

## 2.0 PROVA MASW

La prova sismica attiva M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) è un'indagine di superficie, non invasiva, che non risente di eventuali inversioni di velocità con la profondità e che consente di determinare l'andamento della velocità delle onde di taglio (*Onde S*) nel sottosuolo mediante l'analisi della dispersione delle onde superficiali o Onde di Rayleigh nel dominio del tempo.

Le predette onde presentano un elevato contenuto energetico, corrispondente a circa il 70% dell'energia complessiva prodotta dall'evento di energizzazione sismica e si generano sulla superficie libera del terreno (*ossia lungo l'interfaccia di un semispazio omogeneo*) attraverso l'interazione tra le onde di compressione (*onde P*) e la componente verticale delle onde di taglio (*onde S*).

Le particelle di tali onde si muovono con moto ellittico, in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde, con l'asse maggiore dell'ellisse normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione e con ampiezza che decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

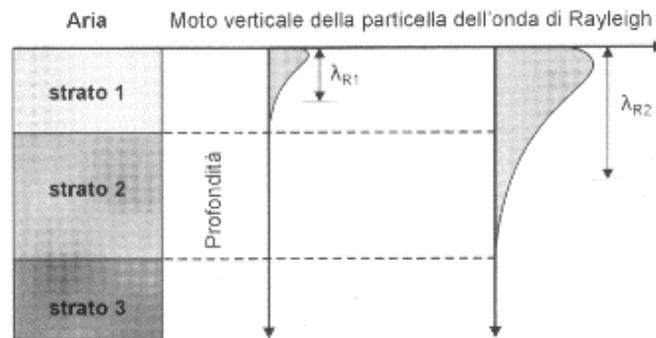


La velocità di propagazione delle Onde di Rayleigh ( $V_R$ ), anche se influenzata dalla velocità delle onde longitudinali ( $V_P$ ), dalla densità del mezzo attraversato e dal *Coefficiente di Poisson*, è funzione, soprattutto, della velocità delle onde trasversali ( $V_S$ ) rispetto alla quale risulta essere leggermente inferiore essendo  $V_R \approx 0,90 \times V_S$ .

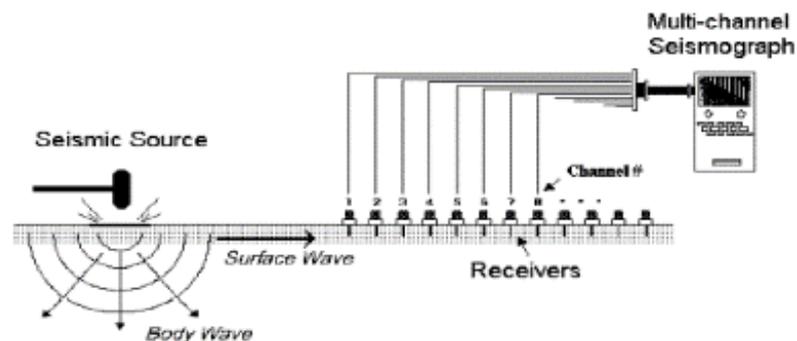
In un mezzo verticalmente eterogeneo quale, ad esempio, il substrato geologico, costituito da una successione più o meno regolare di strati aventi caratteristiche fisiche e proprietà

meccaniche differenti, le Onde di Rayleigh presentano un comportamento dispersivo.

Infatti, le onde caratterizzate da alta frequenza (*e quindi bassi valori di lunghezza d'onda*) interessano gli strati più superficiali mentre quelle con bassa frequenza (*e di conseguenza maggiore lunghezza d'onda*) riguardano gli strati più profondi.



Il metodo MASW consiste nel registrare, con dei geofoni disposti lungo uno stendimento lineare e collegati ad un sismografo multicanale, le onde prodotte da una sorgente impulsiva che sbatte su un piattello metallico posto ad una certa distanza dal primo geofono.



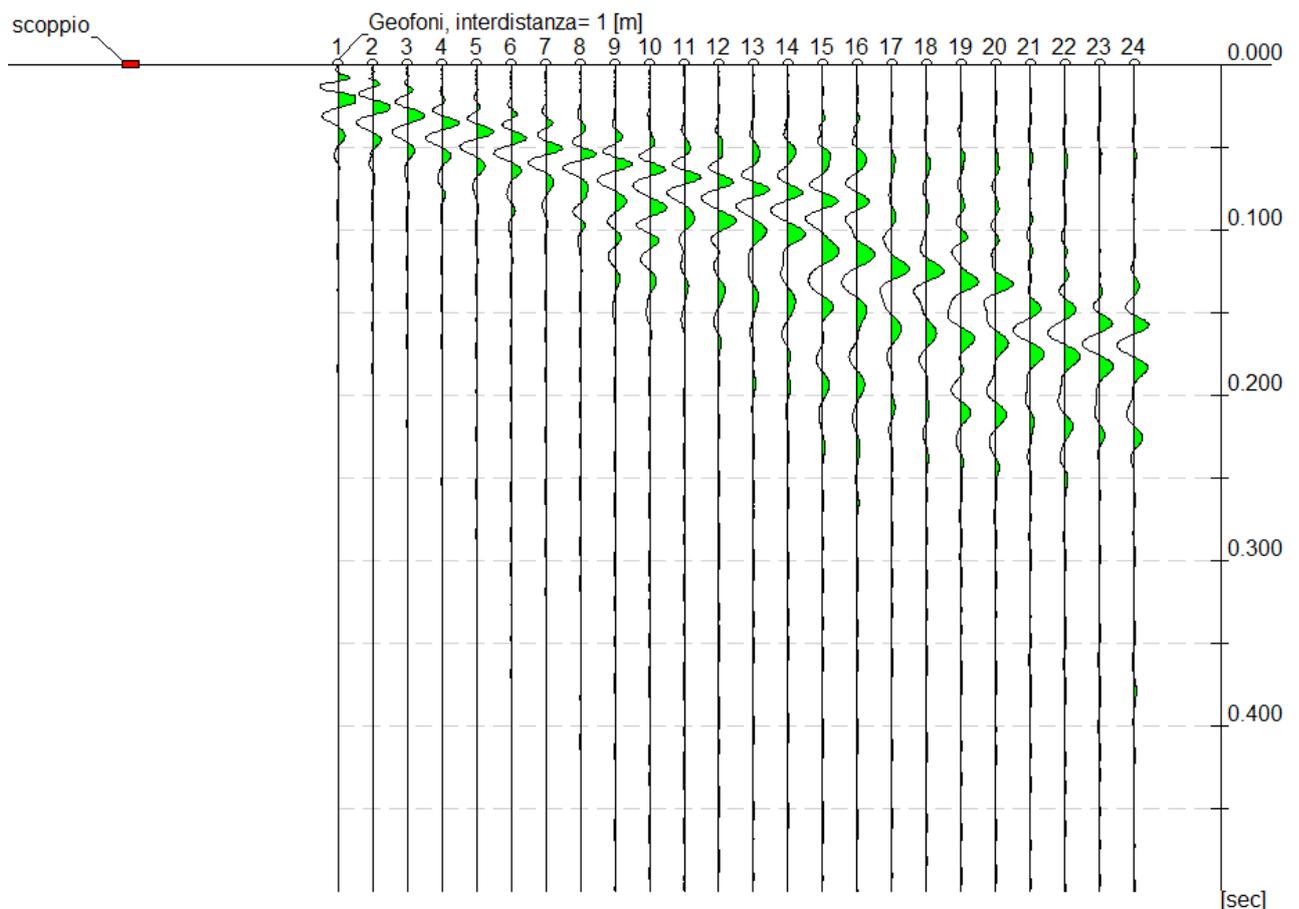
Tale metodologia, definita attiva, consente di ottenere una velocità di fase (*o curva di dispersione*) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra circa 1 Hz e 60 Hz e, nel contempo, fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa entro i primi 30 m di profondità.

Nel caso specifico, l'indagine di che trattasi è stata effettuata utilizzando un sismografo collegato a n° 12 geofoni verticali da 4.5 Hz ed impostando un periodo di campionamento di 1.0 msec nonché un'amplificazione uniforme per tutti i canali al fine di evitare eventuali

saturazioni del segnale.

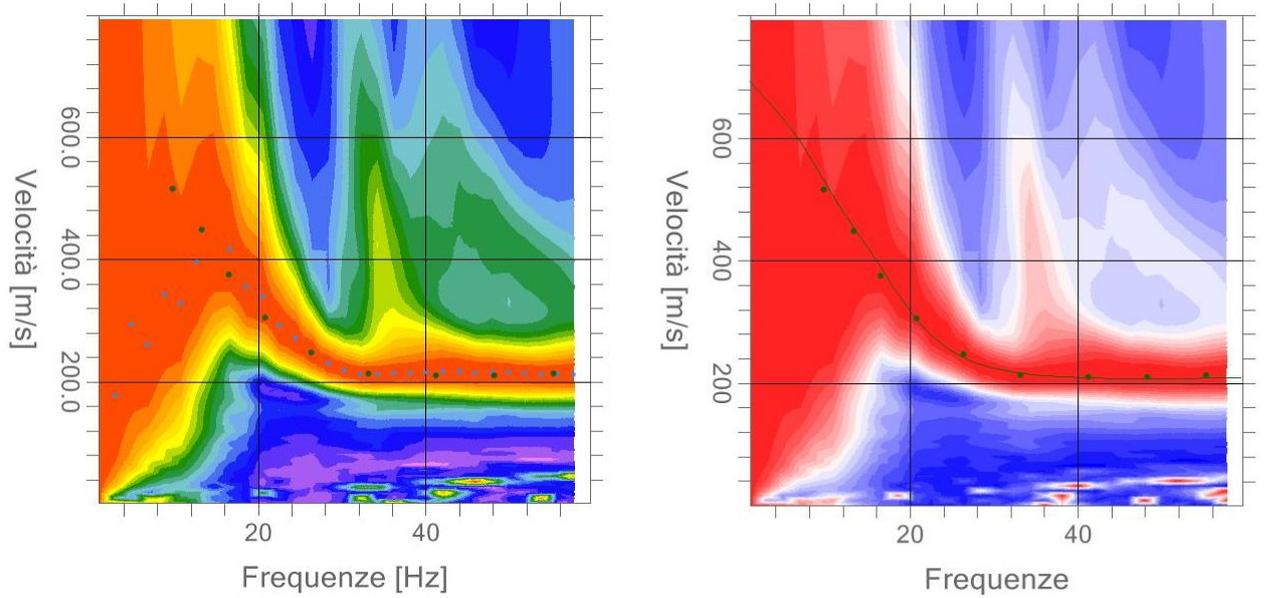
È stata, quindi, effettuata una prima energizzazione percuotendo con una mazza battente di 8 Kg una piastra metallica posta a lato del geofono starter, sito alla distanza di 3.00 m dal primo geofono G<sub>1</sub> e dopo aver acquisito la prima traccia sismica con i 12 geofoni disposti in linea con interspazio di 2.00 m, lo stendimento è stato traslato nella sua interezza di 1.00 m lungo lo stesso allineamento provvedendo, previa ulteriore energizzazione, alla registrazione della seconda acquisizione.

Utilizzando un'applicazione del software in uso alla strumentazione, le due acquisizioni sono state "interlacciate" ed è stata ottenuta la seguente traccia sismica con 24 canali aventi un interspazio di 1.00 m.

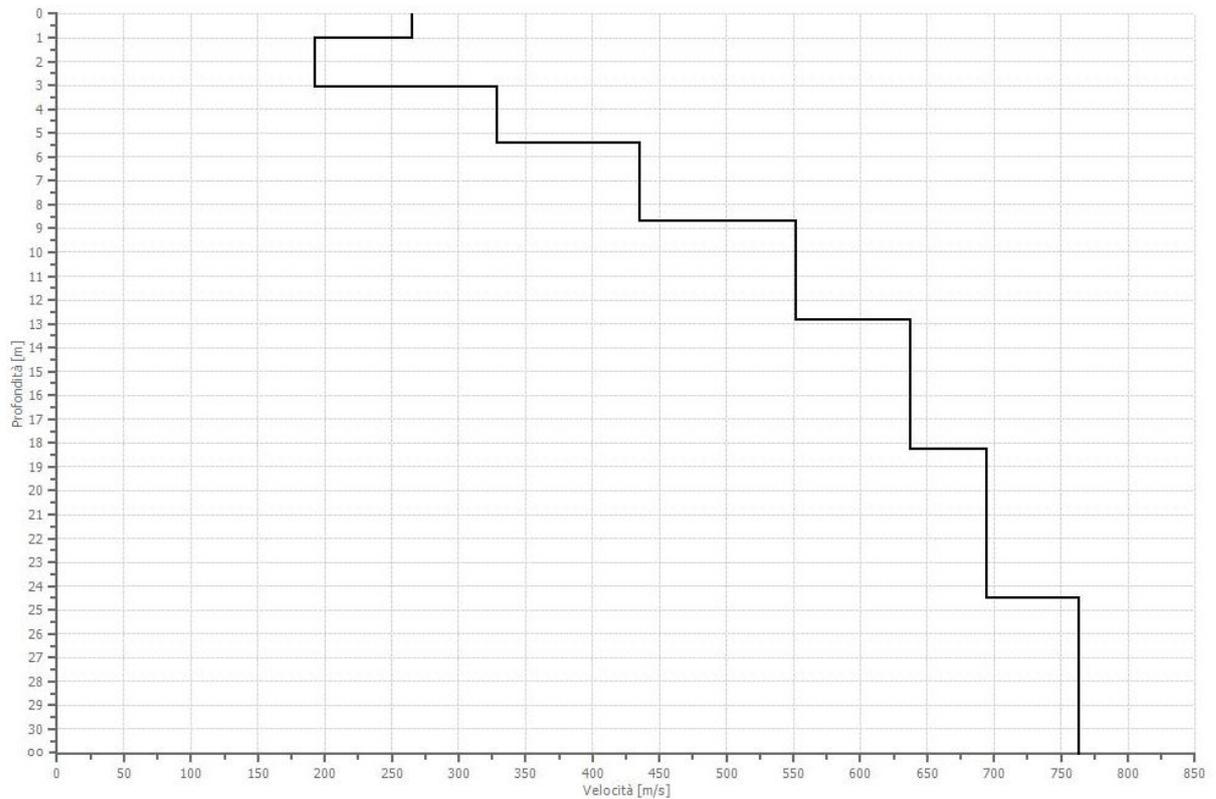


L'analisi spettrale del sismogramma sopra ottenuto, effettuata con l'ausilio del software specialistico *EasyMASW*, ha quindi consentito di trasformare il moto misurato dal dominio

“spazio – tempo” al domino “velocità di fase – frequenza”.



Effettuato il picking dei punti di dispersione, è stata eseguita l’inversione con il modo fondamentale ed è stato ricostruito il modello “velocità  $V_s$  – profondità” che ha permesso di definire fino a 30 m di profondità le seguenti velocità delle onde di taglio:



Considerata la variazione delle velocità delle onde di taglio con la profondità e tenuto conto

del mancato rinvenimento del substrato con  $V_s > 800 \text{ m/sec}$  entro i primi  $30.00 \text{ m}$  dal piano di campagna è stato possibile definire un valore di  $V_{s,eq} = 489,34 \text{ m/sec}$  con  $H = 30.00 \text{ m}$ .

PROFONDITÀ (m)	SPESSORE (m)	VELOCITÀ ONDE DI TAGLIO ( $V_s$ )	FORMULA	$V_{s,eq}$ (m/sec)
0.00 – 1.04	1.04	265.14	$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$	<b>489,34</b> con <b>H = 30.00 m</b>
1.04 – 3.06	2.02	192.58		
3.06 – 5.40	2.34	328.25		
5.40 – 8.68	3.28	435.25		
8.68 – 12.83	4.15	552.25		
12.83 – 18.27	5.44	637.12		
18.27 – 24.50	6.23	694.59		
oltre 24.50	indefinito	762.96		

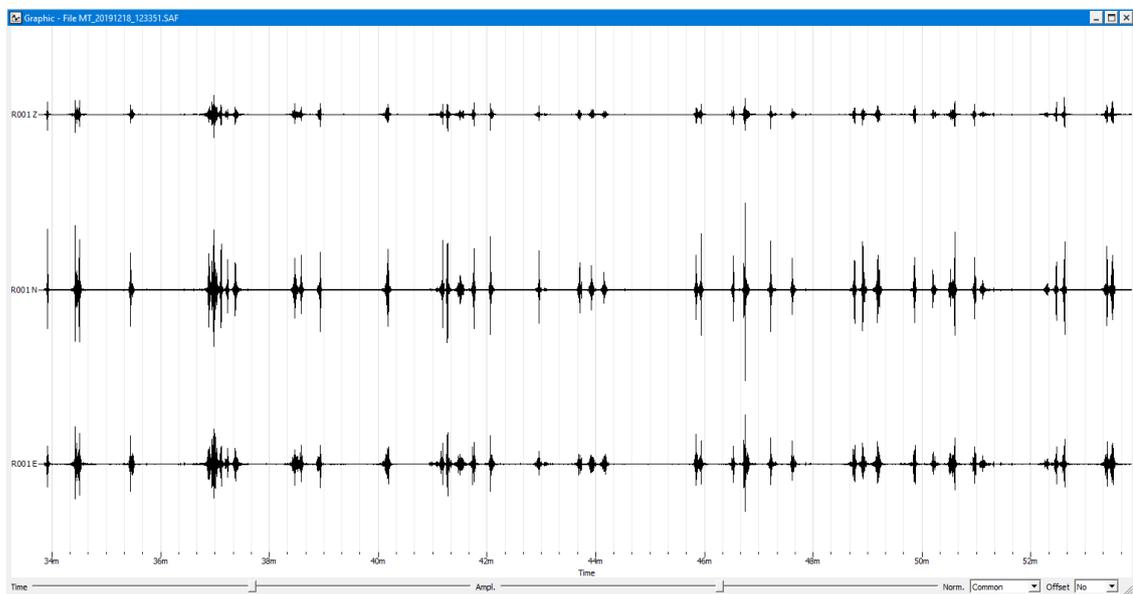
Facendo, quindi, riferimento alla tabella sotto riportata, in funzione del valore di  $V_{s,eq}$  ottenuto, il substrato di fondazione può essere classificato come "**Suolo di tipo B**".

#### CATEGORIE SUOLO DI FONDAZIONE

<b>A</b>	<i>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</i>
<b>B</b>	<i>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</i>
<b>C</b>	<i>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</i>
<b>D</b>	<i>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</i>
<b>E</b>	<i>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</i>

### **3.0 PROVA HVSR**

La prova sismica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) a stazione singola è un tipo di indagine di superficie, non invasiva, che consiste nella misura passiva del rumore sismico ambientale (microtremore), ovvero delle oscillazioni continue e di piccola ampiezza del terreno (dell'ordine di  $10^{-2} - 10^{-6}$  mm) originate dalla sovrapposizione di effetti generati sia da sorgenti naturali (*perturbazioni meteorologiche a larga scala, vento, onde oceaniche, ecc...*) che da sorgenti antropiche (*traffico, attività industriali, ecc...*).



Il microtremore ambientale (noise sismico), presente in qualsiasi punto della superficie terrestre è dovuto prevalentemente alle onde di superficie (Rayleigh e Love) prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e S negli strati superficiali.

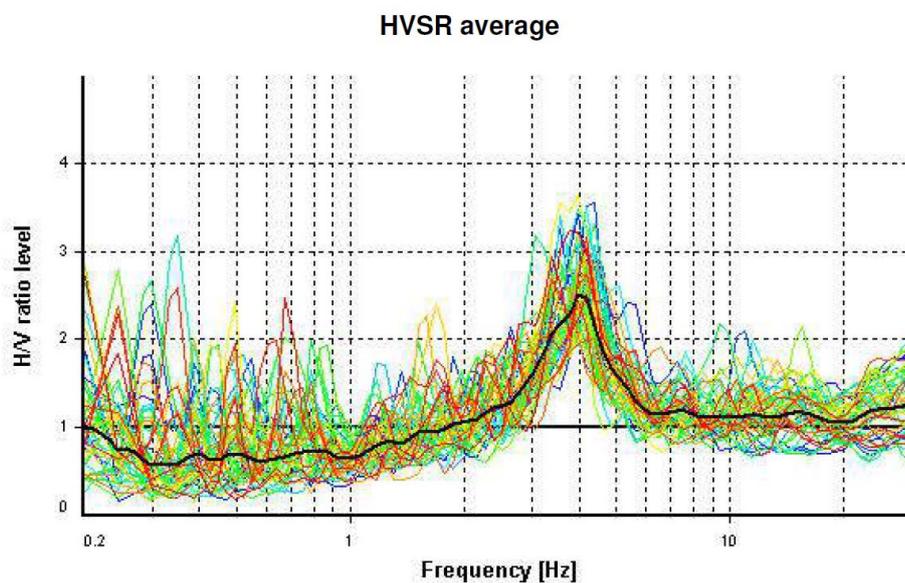
Il metodo è definito passivo in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio avviene nelle prospezioni sismiche attive (MASW e/o Rifrazione).

La metodologia di indagine, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka (1961) e permette di determinare il rapporto spettrale H/V del rumore ambientale (seismic noise) fornendo informazioni sui terreni investigati relativamente alle frequenze naturali e di

risonanza utili per valutare gli effetti (sismici) locali di sito.

La prova HVSR a stazione singola, consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato della prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione.



Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno e l'ampiezza di questi massimi è proporzionale (*anche se non linearmente*) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In presenza di forti variazioni della velocità delle onde S nel sottosuolo, la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza (*fr*) relativa alla configurazione stratigrafica del sito con *fr* uguale al rapporto fra la velocità delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità:

$$f_r = V_s / (4h)$$

Le linee guida della tecnica HVSR, illustrate dal progetto SESAME (*Site EffectS assessment*

using **AMbient Excitation**) raccomandano, nell'effettuare la misura, di:

- *verificare il buon accoppiamento tra il sensore e il terreno e la sufficiente distanza da edifici, alberi, strutture in elevazione;*
- *accertare l'assenza di sorgenti dominanti di rumore o sorgenti ad elevata intensità ed alta frequenza in prossimità del sito di misura;*
- *tenere conto del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz).*

Soddisfatte le condizioni sopra riportate, si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z) con una singola stazione per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Successivamente si effettua un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata (*secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari a 20 secondi*) così da ottenere un insieme di finestre "long", sincronizzate fra le tracce.

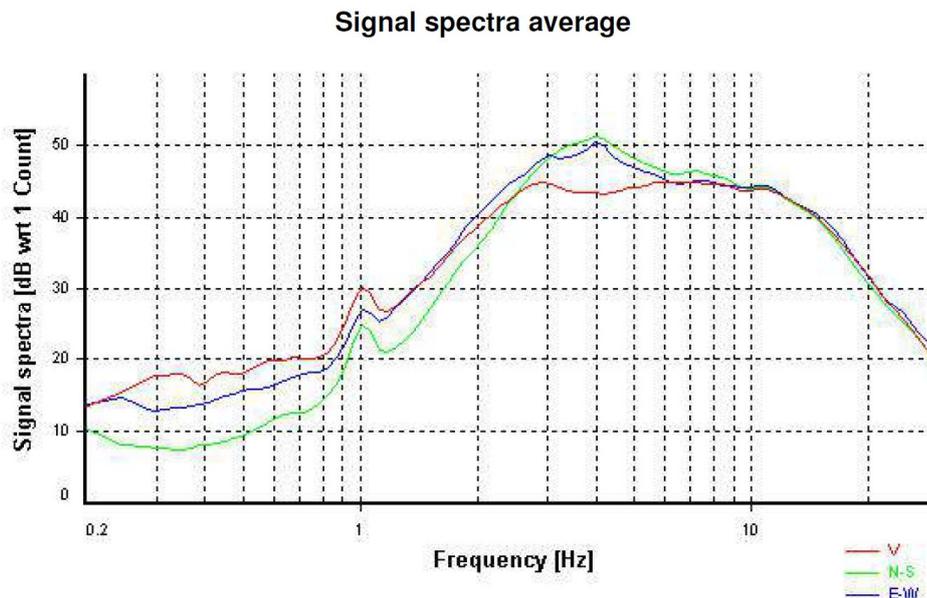
Queste finestre vengono, quindi, filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, e pertanto ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier che viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia e per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, la semplice media aritmetica o la somma euclidea.

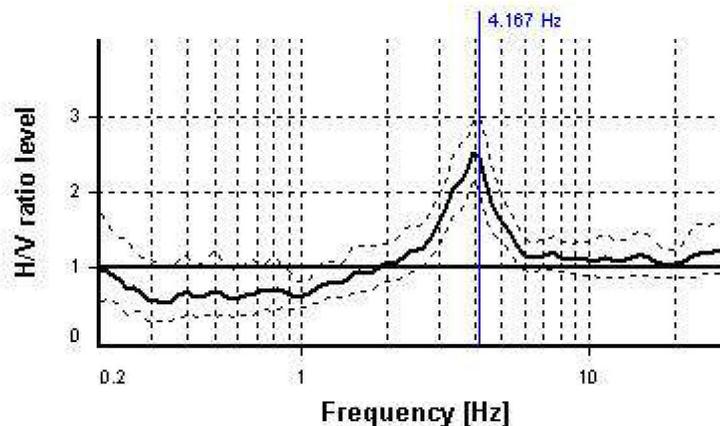
Per ciascuna coppia esiste lo spettro nella direzione verticale Z, relativo alla finestra

temporale sincrona a quelle della coppia stessa. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia.

Questo permette di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.



Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (*frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso*) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito (*frequenza di risonanza*).



Si fa presente che possono esistere anche picchi HVSR di natura antropica ma questi sono solitamente molto stretti e si presentano come picchi positivi, di diversa ampiezza, su tutte e

tre le componenti (verticale, N-S ed E-W) del moto mentre generalmente il picco HVSR di origine naturale è determinato da una depressione nello spettro di ampiezza della componente verticale.

Dopo aver calcolato la curva HVSR media occorre eseguire le verifiche di attendibilità del risultato in termini di affidabilità e di chiarezza del picco massimo in frequenza.

Al riguardo, i ricercatori del progetto SESAME suggeriscono di ritenere affidabile una curva HVSR che soddisfi tutti e 3 i criteri di affidabilità (*criteria for a reliable H/V curve*) e di ammettere come chiaro un picco che soddisfi almeno 5 su 6 dei criteri di chiarezza (*criteria for a clear H/V peak*) riportati nella tabella seguente:

<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]	$f_0 > 10 / L_w$ $n_c(f_0) > 200$ $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]	Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$ $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza media della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza media della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Il grafico HVSR è generalmente un grafico "frequenza - ampiezza" del rapporto H/V in cui ciascun picco corrisponde ad un livello stratigrafico che presenta un contrasto di impedenza rispetto al livello sottostante.

Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

Nel caso specifico, la prova HVSR è stata effettuata utilizzando un GEOBOX a 24 bit prodotto dalla *SARA Electronic Instruments* e costituito da n. 3 sensori elettrodinamici (velocimetri) integrati da 4.5 Hz orientati secondo le direzioni N-S, E-W e verticale.

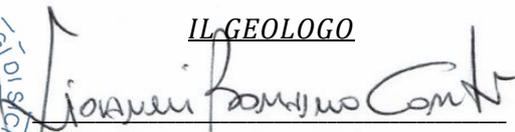
Lo strumento è stato posizionato in asse con la direzione del Nord impostando una frequenza di campionamento di 300 Hz ed una durata di registrazione di 20 minuti.

L'elaborazione dei dati raccolti, effettuata con il software Geoplotter HVSR utilizzando finestre temporali di ampiezza compresa tra 20 sec e 120 sec, ha evidenziato la presenza di un picco ad una frequenza  $f_0 = 6,708 \text{ Hz}$  di ampiezza  $A_0 = 2,732$  che può essere considerato affidabile in quanto rispetta i criteri del progetto SESAME.

Si riporta di seguito il report completo con l'elaborazione della prova HVSR ed i relativi grafici ricavati.

Capizzi, 20/01/2020



IL GEOLOGO  
  
DR. GIOVANNI BONANNO CONTI  
O.R.G.S. n° 2197



***DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA***



PROVA SISMICA MASW



PROVA SISMICA HVSR



***ELABORAZIONE***

***PROVA HVSR***

**STATION INFORMATION**

*Station code:* S4/619

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* Operatore: Dr. Geol. Giovanni Bonanno Conti

**PLACE INFORMATION**

*Place ID:* HVSR

*Address:* C.da Sant'Ignazio

*Latitude:* 41.275149°

*Longitude:* 14.931526°

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 0 m s.l.m.

*Weather:* Sereno

*Notes:* Studio geologico a corredo del progetto per i lavori di messa in sicurezza dei movimenti franosi nella località "Sant'Andrea - Sant'Ignazio - Roselli" del Comune di San Giorgio La Molara e di ripristino del piano viario della S.P. n° 60

## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

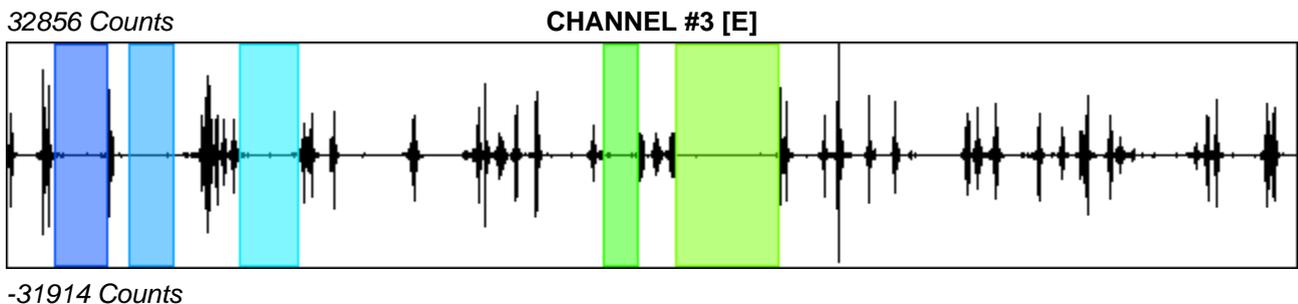
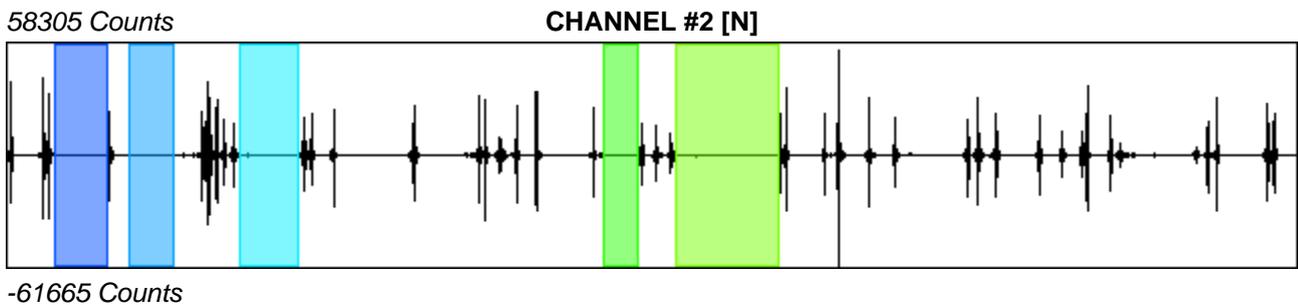
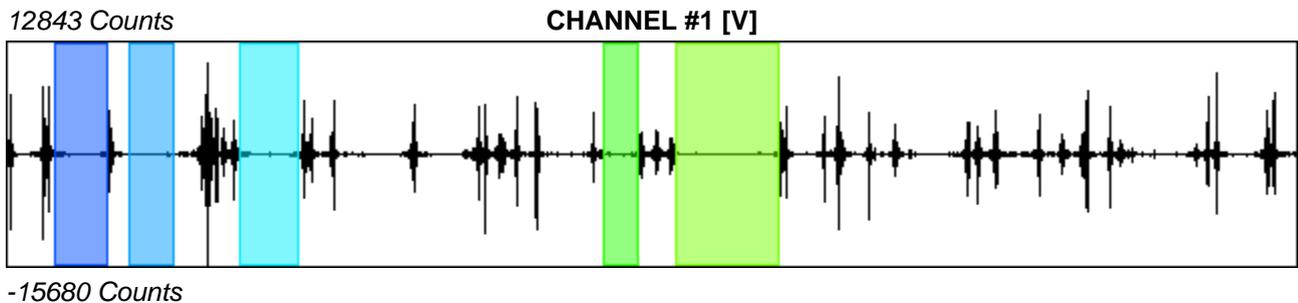
Recording start time: 2019/12/18 12:33:51

Recording length: 20 min

Windows count: 5

Average windows length: 54.68

Signal coverage: 22.78%



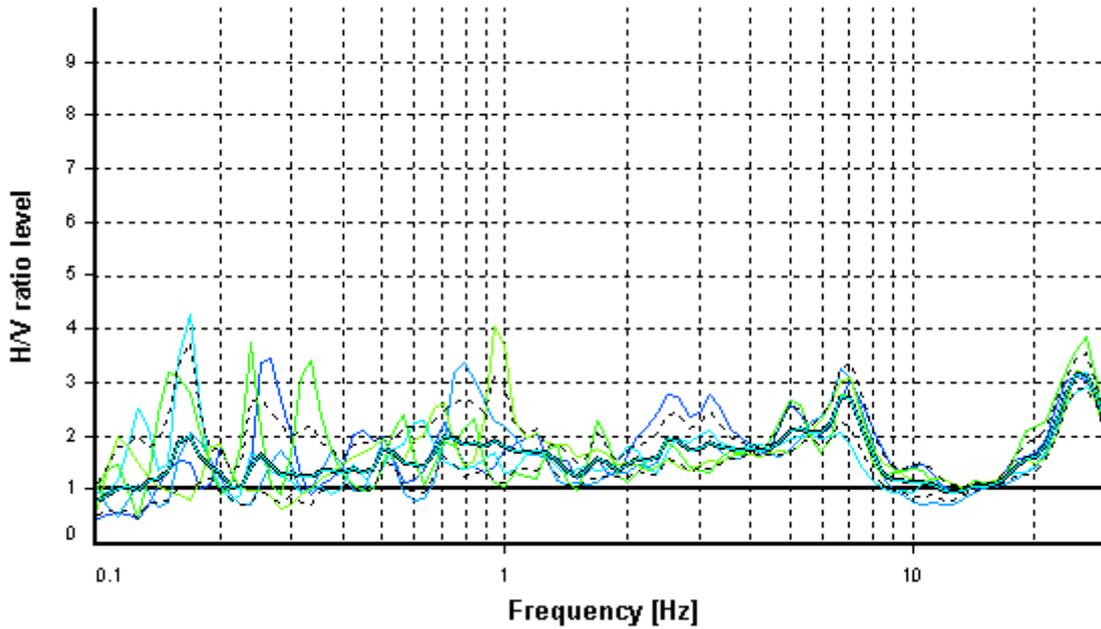
### HVSr ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

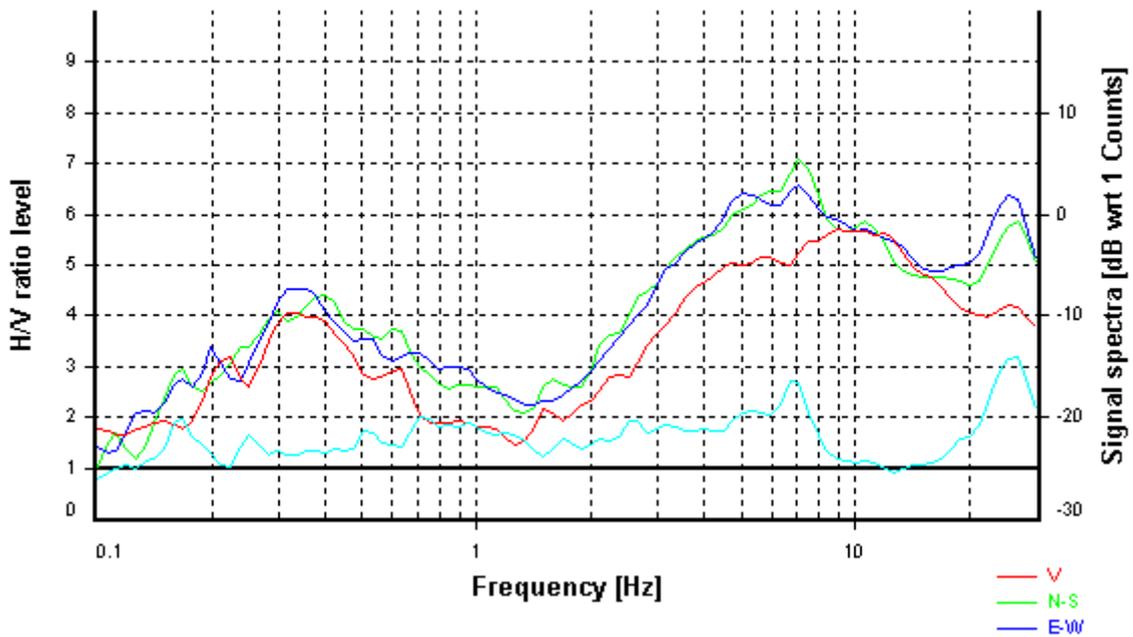
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

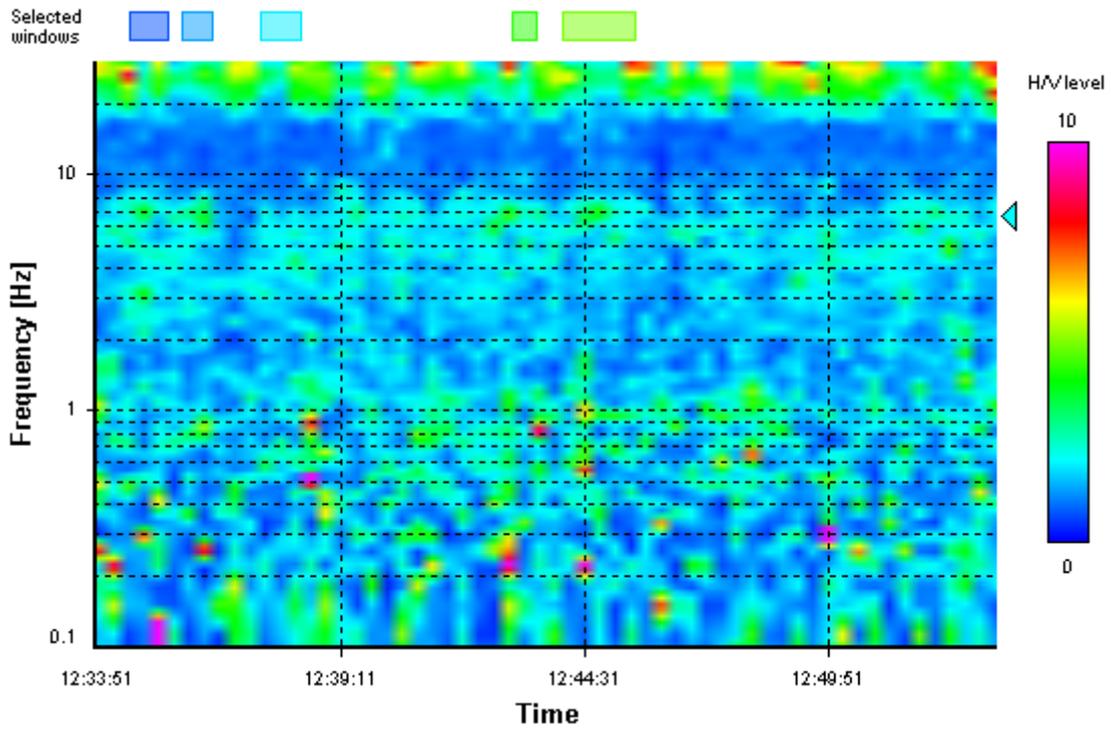
#### HVSr average



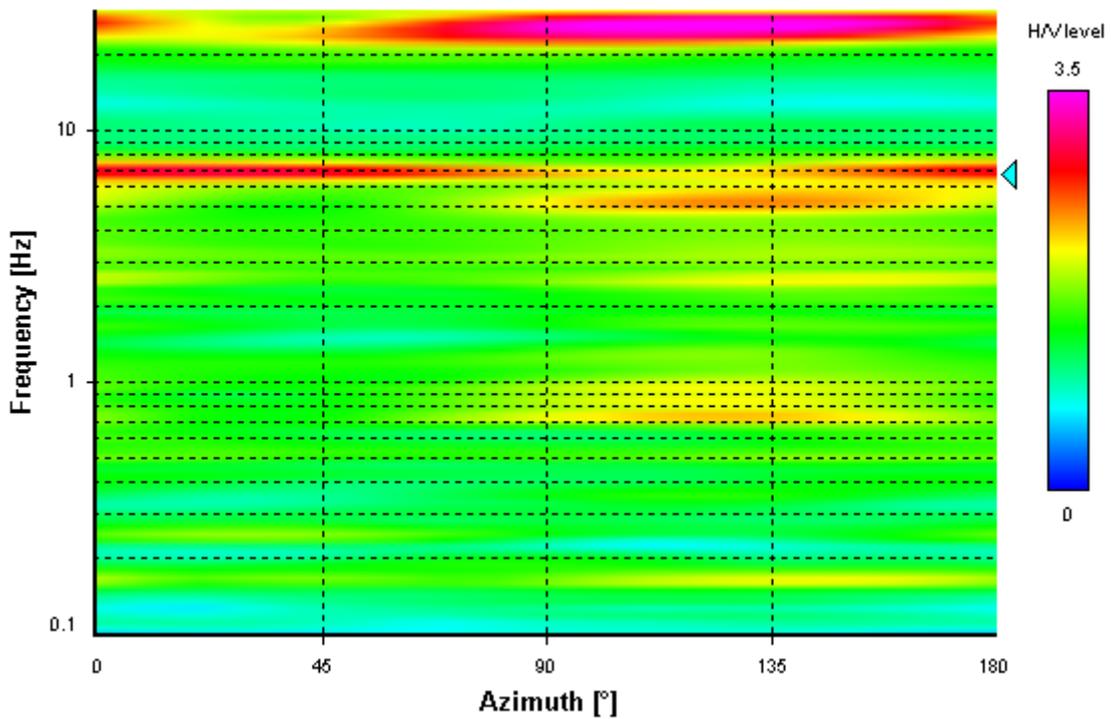
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (20 seconds windows)



### HVSR directional analysis



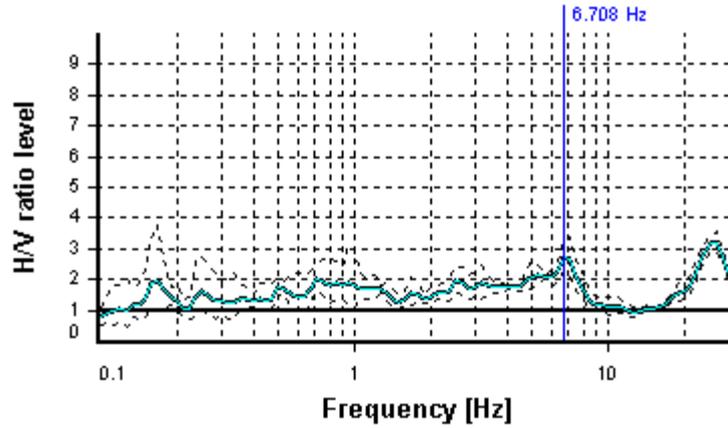
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

6.708 Hz

**$A_0$  amplitude = 2.732**

**Average  $f_0$  =  $6.867 \pm 0.218$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	5 valid windows (length > 1.49 s) out of 5	OK
$n_c(f_0) > 200$	1833.71 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 25	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.88839 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	8.44598 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.73 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	5.93% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.21788 < 0.33538	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.18926 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK