REGIONE LAZIO

PROVINCIA DI VITERBO

COMUNE DI TESSENNANO

Oggetto

RELAZIONE GEOLOGICA E INDAGINI SPECIFICHE AI SENSI DEL D.M. 17.01.2018 E DELLE N.T.A. DEL P.A.I. ABR LAZIO, A CORREDO DELL'INTERVENTO PER IL DISSESTO IDROGEOLOGICO DELLA RUPE TUFACEA - PROGETTO ESECUTIVO. L'ELABORATO E' PRODOTTO PER OTTENERE IL NULLA OSTA AI SENSI DELL'ART. 93 DEL D.P.R 380/01, ESSENDO IL TERRITORIO COMUNALE CLASSIFICATO "ZONA SISMICA 2 - SOTTOZONA "B" DALLA O.P.C.M. 3274/03, RICLASSIFICAZIONE SISMICA OPERATA DALLA O.P.C.M. 3519/06, DALLA D.G.R. LAZIO 387/09 E D.G.R. LAZIO 835/09.

Elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA

(ai sensi del DPR 328/01 - art. 41)

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE	Data: Luglio 2018
Cod. Arch.: 263/18	Revisione:

Progettazione ed esecuzione

Dott. Geol. SANTE CAMILLI

Piazza Cavour n. 7 - 01025 GROTTE DI CASTRO (VT)
C.F. CML SNT 75A07G148R
P. IVA 01965940560

GEOCASTRUM

Consulenze e Servizi per la Geologia e l'Ambiente
Geotecnica - Geofisica - Idrogeologia - Indagini Geognostiche
Piazza Cavour 7 - 01025 Grotte di Castro (VT)
Tel./Fax 0763.797082 - Cell. +393473814229
mail: santecamilli@libero.it - info@geocastrum.it
www.geocastrum.it

ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. SANTE CAMILLI Geologo A.P. n.1810

INDICE

Premessa 3

Riferimenti cartografici 5

Inquadramento geomorfologico 6

Rischio geomorfologico 12

Rischio idraulico 12

Assetto geolitologico 13

Assetto idrogeologico locale 16

Caratterizzazione e modellizzazione geomeccanica e geofisica 18

Piano di indagini 18

Caratterizzazione dell'ammasso litoide 20

Campagna penetrometrica 23

Indagine sismica MASW 26

Sismica passiva a stazione singola 36

Modello litotecnico e moduli elastici 40

Modello sismico 43

Rischio sismico 47

Pericolosità sismica di base 55

Valutazione del potenziale di liquefazione 58

Considerazioni conclusive 60

ALLEGATI

- RILIEVI IN PARETE E SOTTO LA SEDE STRADALE, MEDIANTE ANALISI GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI E DELLE CAVITA' SOTTOSTANTI LA SP 14
- TABULATI DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE DPSH
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Premessa

Per conto dell'Amministrazione Comunale, io sottoscritto dott. Sante Camilli, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Lazio al n. 1810, ho redatto la presente relazione geologica a corredo dell'intervento per il dissesto idrogeologico della rupe tufacea, progetto esecutivo, versante Est – SP 14, Comune di Tessennano (VT).

Le indagini condotte, eseguite ai sensi del D.M. 17/01/2018 (cfr. § 6.2.1 e § 3.2), sono state finalizzate alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e all'individuazione della velocità equivalente delle onde di taglio Vs_{eq}, parametro necessario per la valutazione degli effetti di sito stratigrafici sull'azione sismica in superficie.

E' inoltre stata redatta la presente relazione geologica, ai sensi del D.M. 17.01.2018, nonché della normativa sismica regionale di recepimento, D.G.R. Lazio n. 387/09 e D.G.R. Lazio 835/09, che ha definito Tessennano, zona sismica di 2^ categoria – sottozona "B" e pertanto ha imposto l'osservanza dell'art. 93 del DPR 380/01.

Lo studio ha avuto luogo nel mese di luglio 2018 ed è stato così articolato:

- sopralluogo preliminare per l'acquisizione dello stato dei luoghi e della logistica;
- individuazione delle caratteristiche morfologiche ed idrauliche del sito;
- rilevamento geologico ed idrogeologico;
- esecuzione di una campagna geognostica mediante n. 2 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH) e un'indagine di sismica attiva in array di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW);

- esecuzione di n. 2 indagini di sismica passiva a stazione singola, con tecnica dei rapporti spettrali (metodo di Nakamura) *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR).
- esecuzione di un rilievo geomeccanico in parete lungo il settore della rupe e l'area sottostante la SP 14 interessati dall'intervento di mitigazione del dissesto idrogeologico in progetto.

La corrente relazione presenta i risultati dello studio eseguito.

Riferimenti cartografici

Per agevolare la lettura e la comprensione di quanto si riferisce ed al fine di fornire una documentazione quanto più completa possibile, sono stati acclusi alcuni allegati grafici:

-Stralcio della cartografia IGM, in scala 1:25.000, Tav. 136 II NO "Canino";

-Stralcio della Cartografia CTR (Carta Tecnica Regione Lazio), dal quale si desume come l'area interessata dagli interventi ricada nella sezione 344100 "Canino", in scala 1:10.000;

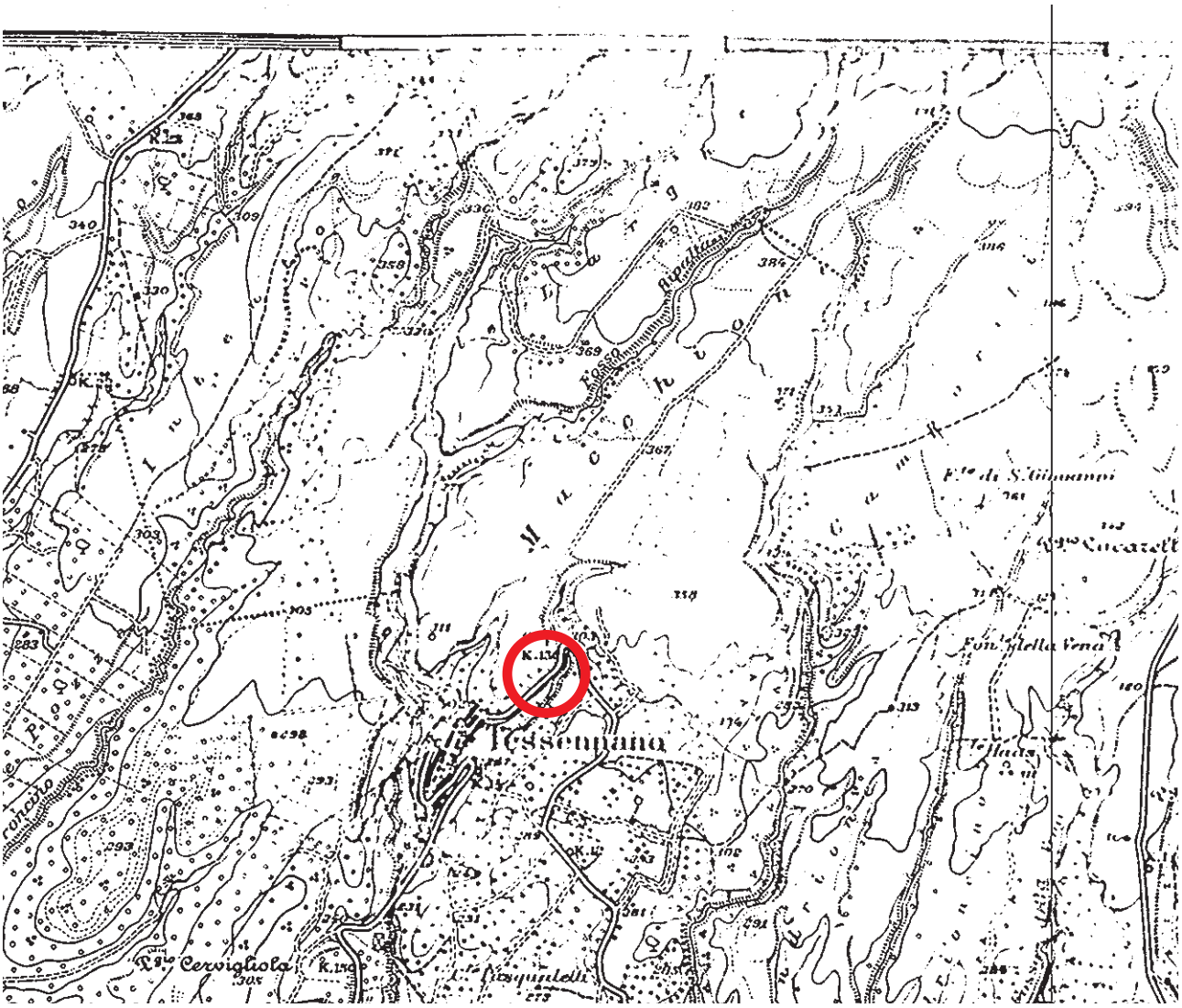
-Stralcio del PTPR – Tavola A - Sistemi ed ambiti del paesaggio, in scala 1: 10.000;

-Stralcio del PTPR – Tavola B – Beni paesaggistici, in scala 1: 10.000;

COMUNE di TESSENNANO (VT)
Versante Est - SP14

STRALCIO IGM - Tavola 136 II NO “Canino”

Scala 1:25000

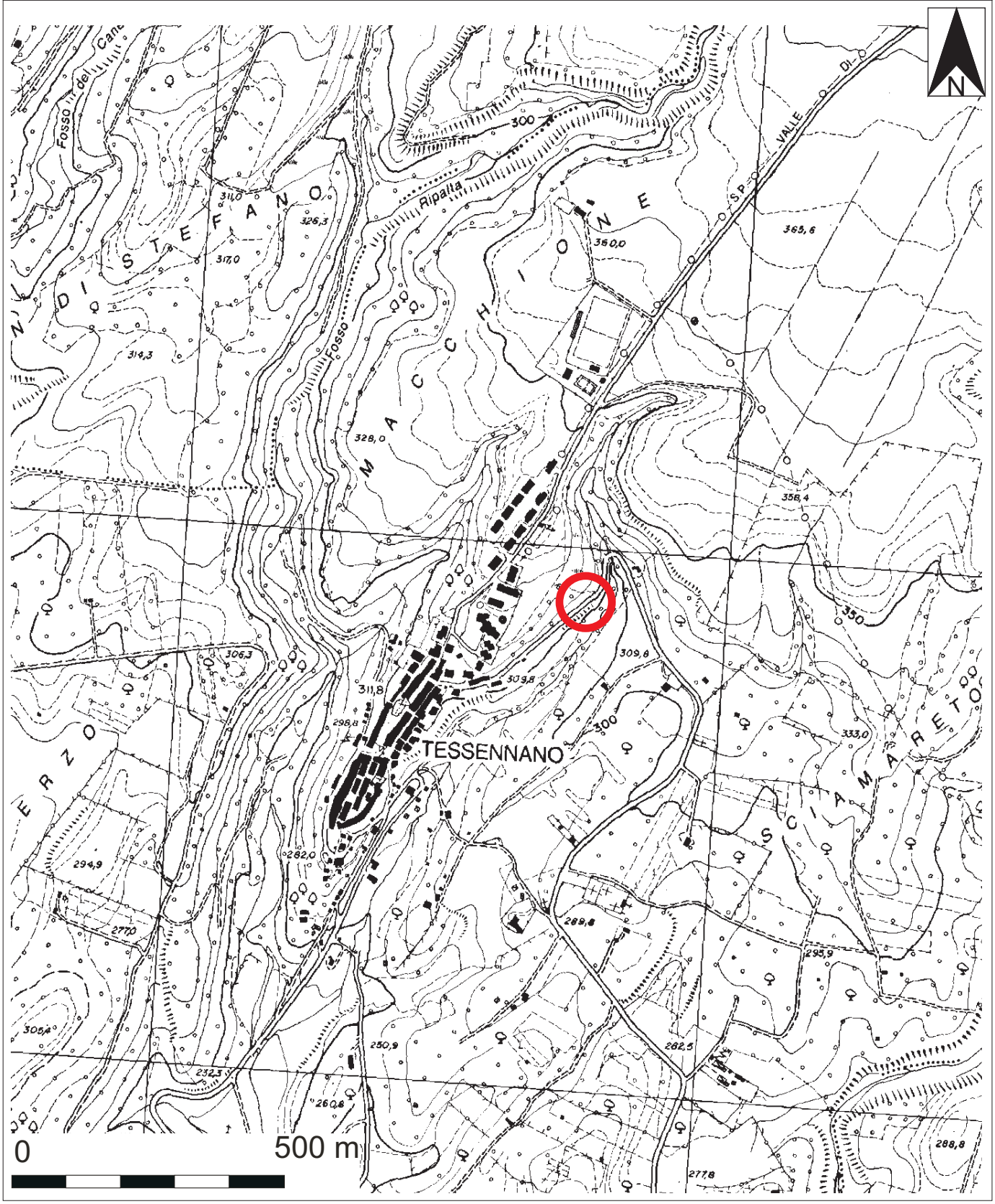


0 1000 m

COMUNE di TESSENNANO (VT)
Versante Est - SP14

Stralcio c.t.r. - Sezione n. 344100 “Canino”

Scala 1:10000



COMUNE di TESSENNANO (VT)

Versante Est - SP14

Stralcio PTPR - Tavola A - Sistemi ed ambiti del paesaggio- Scala 1:10.000

Sistemi ed Ambiti del Paesaggio

Sistema del Paesaggio Naturale

- Paesaggio Naturale
- Paesaggio Naturale di Continuità
- Paesaggio Naturale Agrario
- Coste marine, lacuali e corsi d'acqua

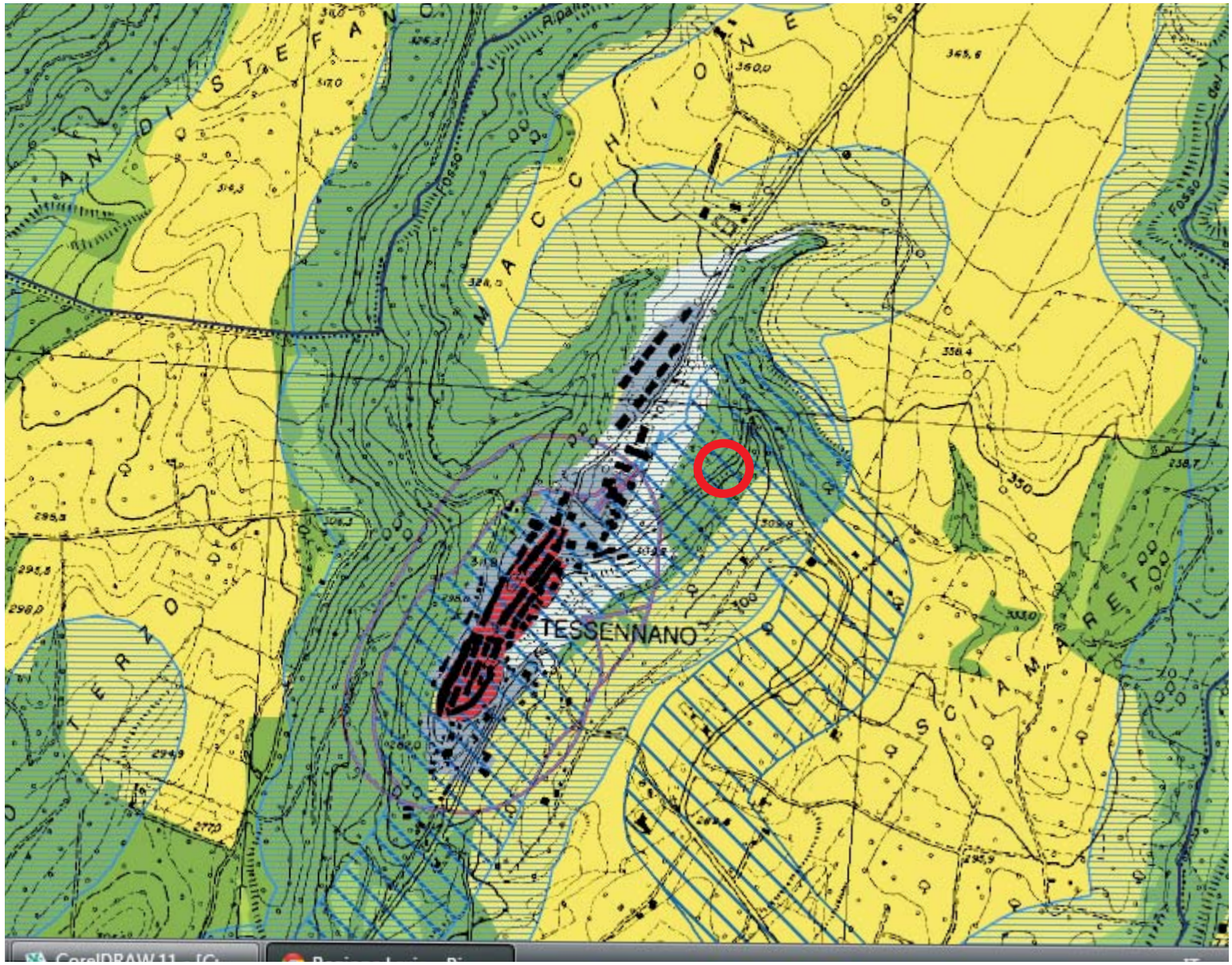
Sistema del Paesaggio Agrario

- Paesaggio Agrario di Rilevante Valore
- Paesaggio Agrario di Valore
- Paesaggio Agrario di Continuità

Sistema del Paesaggio Insediativo

- Paesaggio dei Centri e Nuclei Storici
- Parchi, ville e giardini storici
- Paesaggio degli Insediamenti Urbani
- Paesaggio degli Insediamenti in Evoluzione
- Paesaggio dell'Insediamento Storico Diffuso
- Reti, Infrastrutture e Servizi

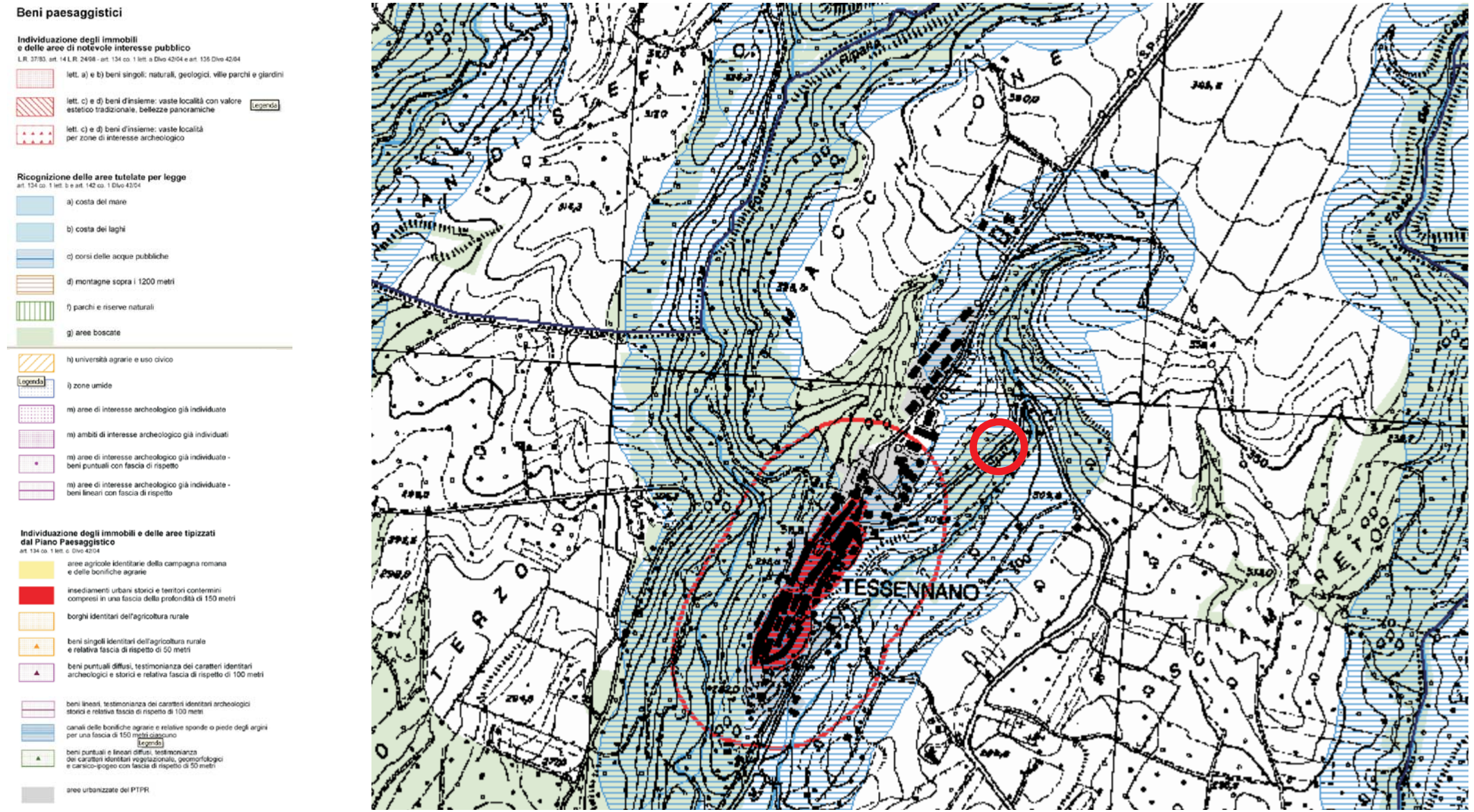
- Ambiti di recupero e valorizzazione paesistica
- Aree o Punti di Visuali
- Proposte comunali di modifica dei PTP vigenti



COMUNE di TESSENNANO (VT)

Versante Est - SP14

Stralcio PTPR - Tavola B - Beni Paesaggistici- Scala 1:10.000



Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista morfologico l'area in esame è posta sul margine orientale della rupe costituita da depositi da colata piroclastica, su cui è impostato il centro abitato di Tessennano, in particolare gli interventi in progetto interessano il settore avente ubicazione rappresentata nella seguente immagine di Google map (Foto.1).

L'area di intervento ha un estensione lineare di circa 150,0 ml.

Foto 1 - Ubicazione area interessata dagli interventi di mitigazione del dissesto idrogeologico in progetto

La morfologia si presenta progradante in direzione Est, con acclività significativa, ed è stata modificata dalle trasformazioni antropiche, associate all'attività agricola e alla successiva urbanizzazione.

La continuità del plateau piroclastico è interrotta dal reticolo idrografico ad aste sub-parallele, con andamento generalmente NE-SO, che ha intaccato la copertura vulcanica, producendo delle incisioni che hanno articolato il paesaggio in una serie di rilievi dossiformi, allungati in direzione delle aste idrografiche.

Lungo il tratto di strada della SP 14 inserito nell'area d'intervento è possibile osservare la presenza di depositi massivi da incoerenti a zeolitizzati, riferibili a diverse unità di flusso piroclastico, che presentano associati orizzonti di lapilli pomicei grigio chiaro-biancastri da caduta pliniana (Foto2).

Foto2

Gli ammassi presentano banchi massivi a matrice pomicea con livelli superficiali alterati dall'azione degli agenti atmosferici (Foto3).

Foto3

Le sequenze zeolitizzate presentano sistemi di fratture alimentati dall'azione della copertura vegetale infestante, i cui apparati radicali hanno allargato i giunti di fratturazione esistenti (Foto4).

Foto4

Parte della scarpata, a monte e a valle dell'area d'intervento, è stata interessata nel passato da interventi eseguiti dalla Provincia di Viterbo, consistiti nella messa in posto di reti paramassi ancorate agli ammassi (Foto5).

Foto5

In generale il settore orientale della rupe presenta sistemi di fratture probabilmente legati alle tensioni generate nell'ammasso a seguito di contrazione da raffreddamento della colata piroclastica originaria e fratture neogeniche nella porzione superficiale, conseguenti ad uno stato tensionale critico, determinato dallo scadimento delle caratteristiche geomeccaniche a seguito di fenomeni di alterazione e *weathering*.

L' area è inserita all' interno del bacino idrografico del Torrente Arrone, che si immette nel Mar Tirreno, su di essa si è impostato un reticolo idrografico mediamente gerarchizzato, ad aste sub-parallele, ravvicinate tra di loro, con andamento, localmente, grossomodo Nord-Sud, il quale ha inciso una serie di valli che hanno interrotto la continuità laterale dell'originario plateau e modellato la rupe su cui sorge il centro storico di Tessennano.

I corsi d'acqua principali sono costituiti da fossi a regime stagionale; al di sotto del versante est della rupe scorre il fosso Ripalta, che rappresenta un asta secondaria del Torrente Arrone.

Nello sviluppo e nell'articolazione della rete idrografica è evidente il controllo litologico che le discontinuità riscontrabili in tutto il territorio operano sulle geometrie delle aste degli impluvii, deviando frequentemente la direzione di deflusso.

L'area in esame presenta una quota media di 340 metri circa s.l.m.

La *carta geomorfologica*, alla scala 1:10000, mostra gli elementi essenziali del paesaggio, evidenziando:

a) i cigli di scarpata sia di altezza > 20 metri, che compresa tra 10 e 20 metri;

b) l'andamento preferenziale del drenaggio superficiale;

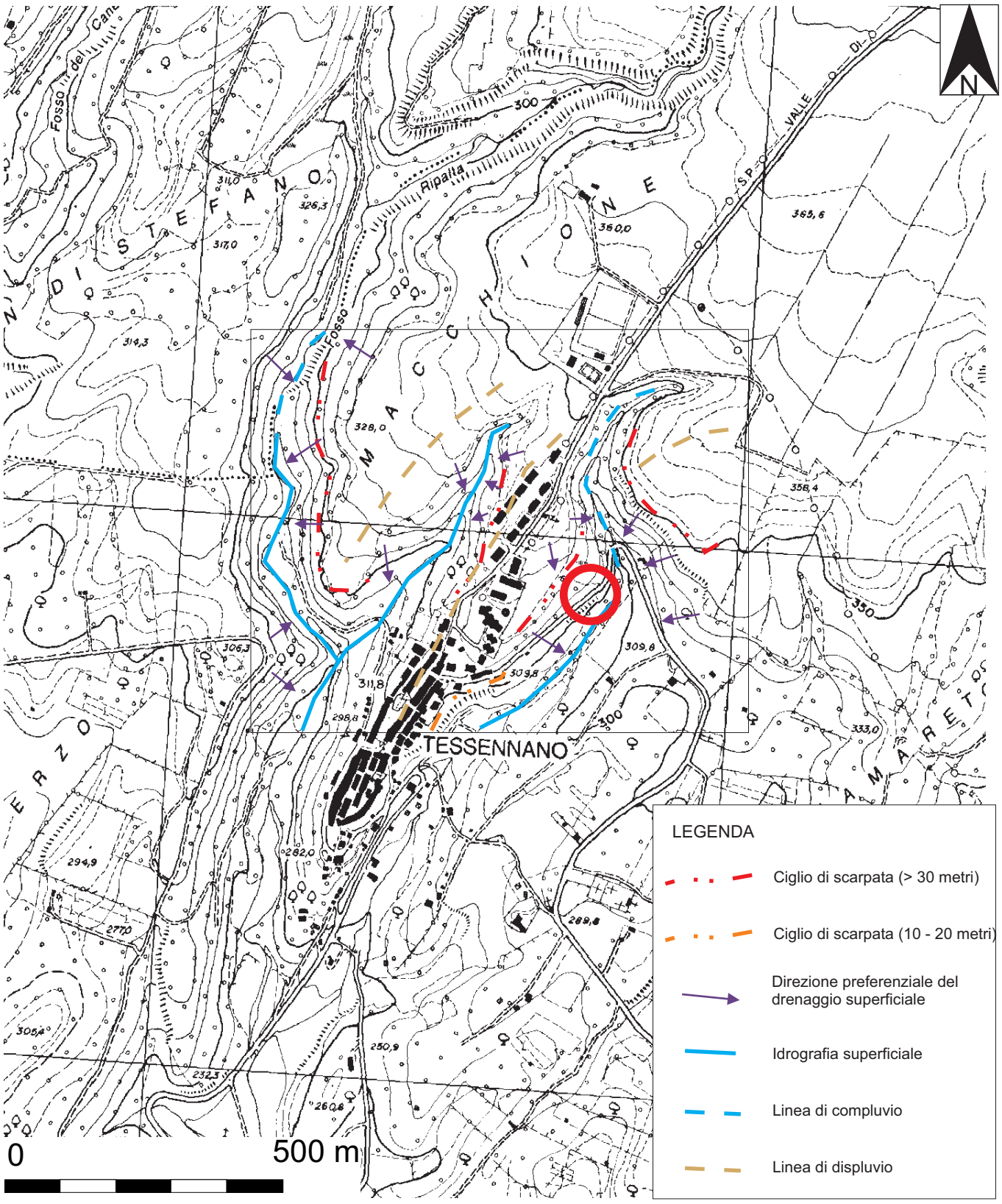
c) le linee di compluvio e displuvio;

d) l'idrografia superficiale.

COMUNE di TESSENNANO (VT)
Versante Est - SP14

CARTA GEOMORFOLOGICA

STRALCIO C.T.R. - Sezione n. 344100 “Canino”
Scala 1:10000



Rischio geomorfologico

Dai sopralluoghi effettuati si è potuto constatare che sul lotto stesso sono visibili indizi che possano suggerire la presenza di fenomeni di dissesto in atto nell'area oggetto di studio.

In seguito all'esame della *Carta Inventario Movimenti Franosi della Regione Lazio* e della *Carta Aree Sottoposte a Tutela per Dissesto Idrogeologico del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità dei Bacini Regionali* e dai rilievi effettuati dal sottoscritto, si segnala che l'area presenta predisposizione a fenomeni di dissesto idrogeologico connessi al pericolo di frana.

Il P.A.I. vigente, aggiornato al 12.02.2015, indica che l'area d'intervento è inserita all'interno di un perimetro sottoposto a tutela per pericolo frana di tipo A (comma 2, art.6 e art.16 D.C.R. Lazio 04 aprile 2012 n.17), lungo tutta la fascia che si affaccia sull'incisione del fosso Ripalta.

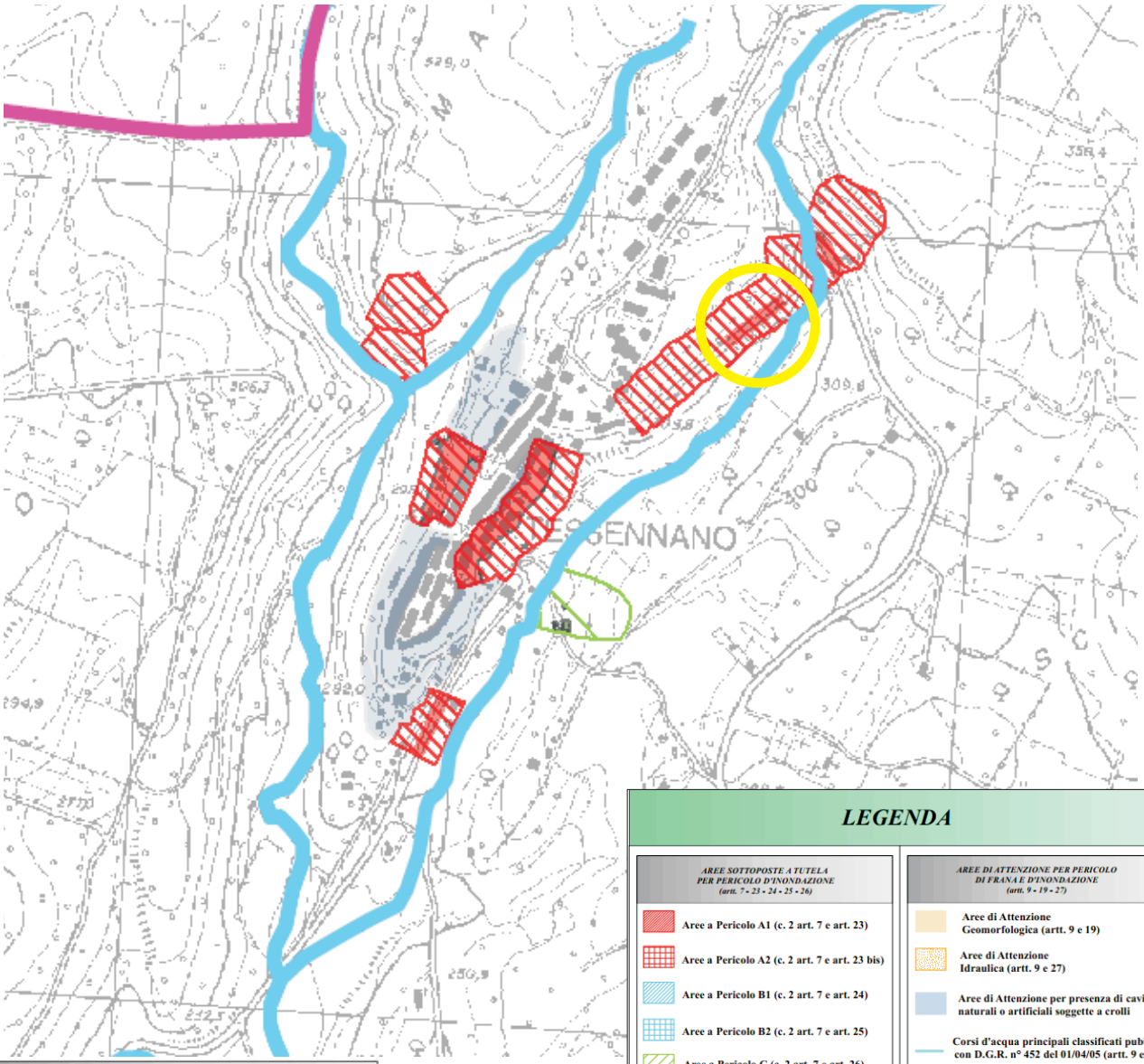
Il tratto della SP14 oggetto del presente studio è perimetrato come a rischio frana areale R4 (comma 5, art.4 D.C.R. Lazio 04 aprile 2012 n.17).

Rischio idraulico

Per quanto riguarda il Rischio idraulico, connesso al reticolo idrografico locale, è stato consultato il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali, dal quale risulta che nell' area oggetto di intervento non vi è da segnalare alcuna tipologia di rischio.

COMUNE di TESSENNANO (VT)
Versante Est - SP14

STRALCIO PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)
Autorità dei Bacini Regionali del Lazio
Aggiornamento 12.02.2015
Scala 1:5000



Assetto geolitologico

L'areale oggetto del presente studio è stato interessato dall'attività dell'apparato vulsino, distretto vulcanico più settentrionale della regione Lazio.

Da alcuni autori (Trigila et Alii, 1992), l'attività dell'apparato viene divisa in quattro fasi vulcaniche successive, localizzate in altrettante zone geografiche:

a. Complesso del Paleovulsino

Rappresenta probabilmente il primo centro di emissione, i cui prodotti più antichi (colate laviche, piroclastiti, ignimbriti) sono presenti a Est ed a Sud dell'attuale conca lacustre di Bolsena.

b. Complesso vulcanico di Montefiascone

Comprende una piccola depressione calderica di diametro pari a circa 2.5 km ed è posto al margine sud-orientale della conca lacustre; i prodotti sono di tipo ignimbritico, di ricaduta ed idromagmatico.

c. Complesso Bolsena - Orvieto

I prodotti maggiormente rappresentati sono costituiti dalla successione piroclastica ed in misura minore da lave e da ignimbriti; essi si rinvengono nel settore nord-orientale del lago di Bolsena.

d. Complesso vulcanico di Latera

Il complesso è ubicato nel settore occidentale del lago di Bolsena dove si rinviene un' ampia caldera di circa 80 Kmq all'interno della quale sono presenti manifestazioni

geotermiche; i prodotti sono di tipo lavico attribuibili ad una fase di attività di tipo stromboliano.

In affioramento durante il rilevamento e lungo le verticali investigate nelle indagini geotecniche in sito, sono state riconosciute unità riferibili a bocche distali dell' apparato di Latera, in particolare a quelle di Monte Cellere e Monte Becco; lungo l'incisione, sulla cui parete Est è ubicata l'area d' intervento, si rinvengono le seguenti unità, dall'alto verso il basso:

- *Unità di Monte Cellere*, depositi di lapilli, bombe e blocchi scoriacei rosso-arancio, in bancate massive o a gradazione multipla, da caduta stromboliana, relativi ai centri eruttivi di Monte Cellere e Monte Marano. Sono associate lave in colata grigio scure, compatte, afiriche, ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto puleverulento, la composizione è trachibasaltico-shoshonitica;
- *Formazione di Grotte di Castro:* nell'area d'intervento è presente un deposito da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente sparsi lapilli e blocchi scoriacei grigio scuri e neri a chimismo tefrifonolitico, litici vulcanici, granulari olocristallini e sedimentari;
- *Formazione di Farnese*: deposito massivo, da incoerente a debolmente coerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare o scure anche decimetriche, a gradazione inversa, intercettato nelle indagini penetrometriche al di sotto della sede stradale e in corrispondenza del piano di calpestio delle cavità sottostanti.

La sequenza vulcanica è seguita stratigraficamente da depositi marini di ambiente torbiditico del Dominio Ligure, costituiti da alternanze di calcareniti, calcari marnosi, argille e silt (*Flysch della Tolfa*).

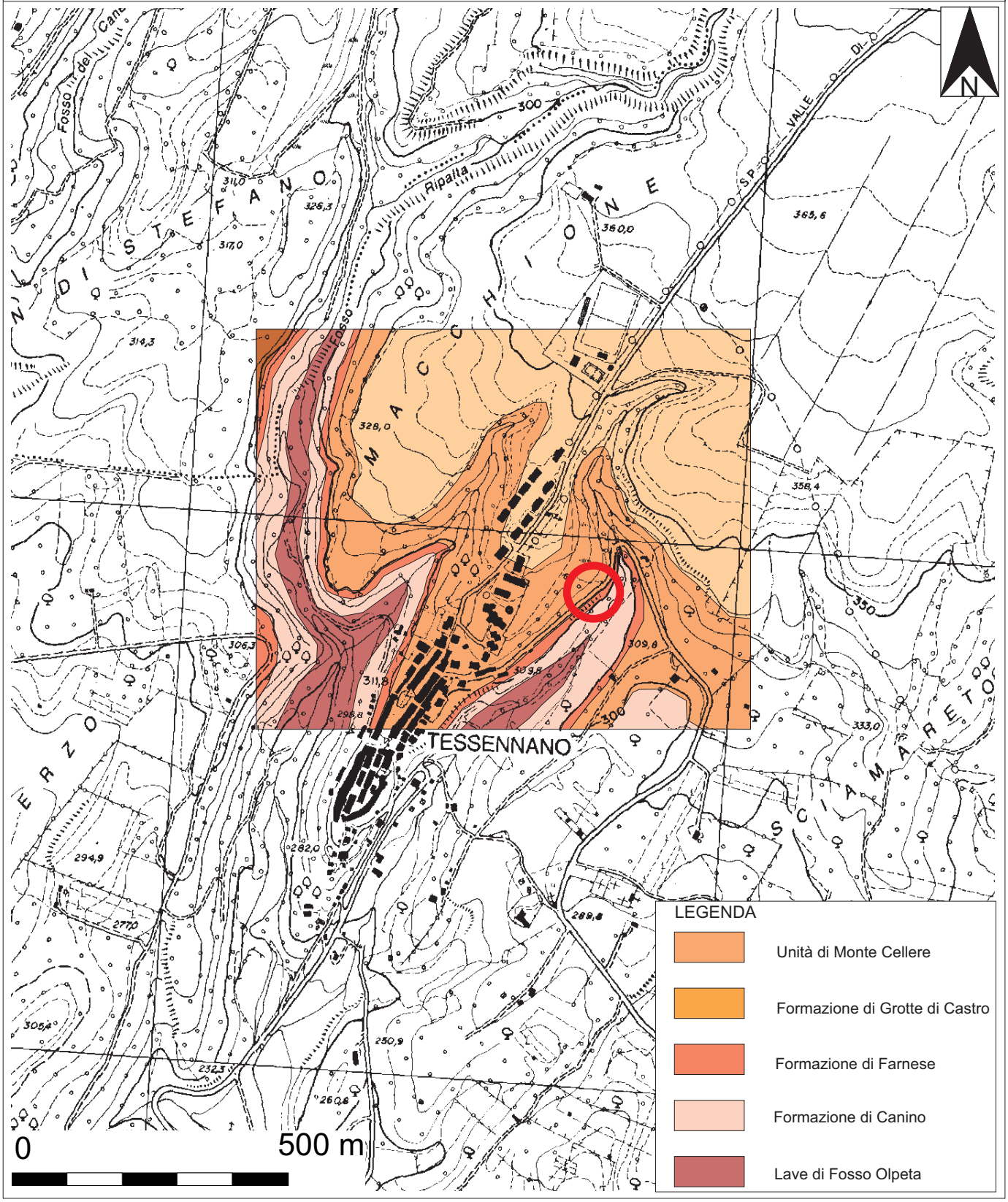
Per un maggior dettaglio delle unità litologiche affioranti nell'area in studio si veda l'allegata *carta geolitologica* in scala 1: 10000.

Allo scopo di fornire una più dettagliata ricostruzione dei rapporti stratigrafici tra le formazioni geologiche affioranti e oggetto d'intervento, sono state inoltre ricostruite n. 8 sezioni litologico-tecniche a partire dal rilievo topografico dello stato attuale, allegate nei paragrafi successivi (cfr. § *Modello litotecnico e moduli elastici*) .

COMUNE di TESSENNANO (VT)
Versante Est - SP14

CARTA GEOLITOLOGICA

STRALCIO C.T.R. - Sezione n. 344100 “Canino”
Scala 1:10000



Assetto idrogeologico locale

Dal punto di vista idrogeologico i terreni sopra descritti costituiscono il *complesso idrogeologico delle pozzolane*.

Il complesso è costituito da depositi da colata piroclastica, generalmente massivi e caotici, prevalentemente litoidi e presenta spessore variabile da pochi metri a centinaia di metri.

Il complesso è sede di una estesa ed articolata circolazione idrica sotterranea che alimenta la falda di base dei grandi acquiferi vulcanici regionali.

I valori del coefficiente di conducibilità idraulica "K" possono essere individuati nel range di 10^{-3} - 10^{-4} cm/sec.

Fonti bibliografiche attribuiscono a questi depositi un'infiltrazione efficace media di circa 300 mm/anno (Boni et al., 1986; Boni et al., 1988).

L'asse preferenziale del deflusso sotterraneo, nella zona dove ricade l'area in studio, è diretto localmente verso S-SO, laddove presente, in quanto in prossimità del contatto con il sottostante complesso idrogeologico dei flysch marnoso-argillosi, da scarsamente permeabili a impermeabili, non è sempre presente una circolazione idrica sotterranea significativa.

Dal punto di vista idrogeologico, da un'anamnesi dei punti d'acqua censiti in zona e/o in possesso dello scrivente, integrata dall'analisi dello schema idrogeologico dell'Italia centrale, risulta che, lungo la verticale media del sito in esame (340 metri circa s.l.m.), la

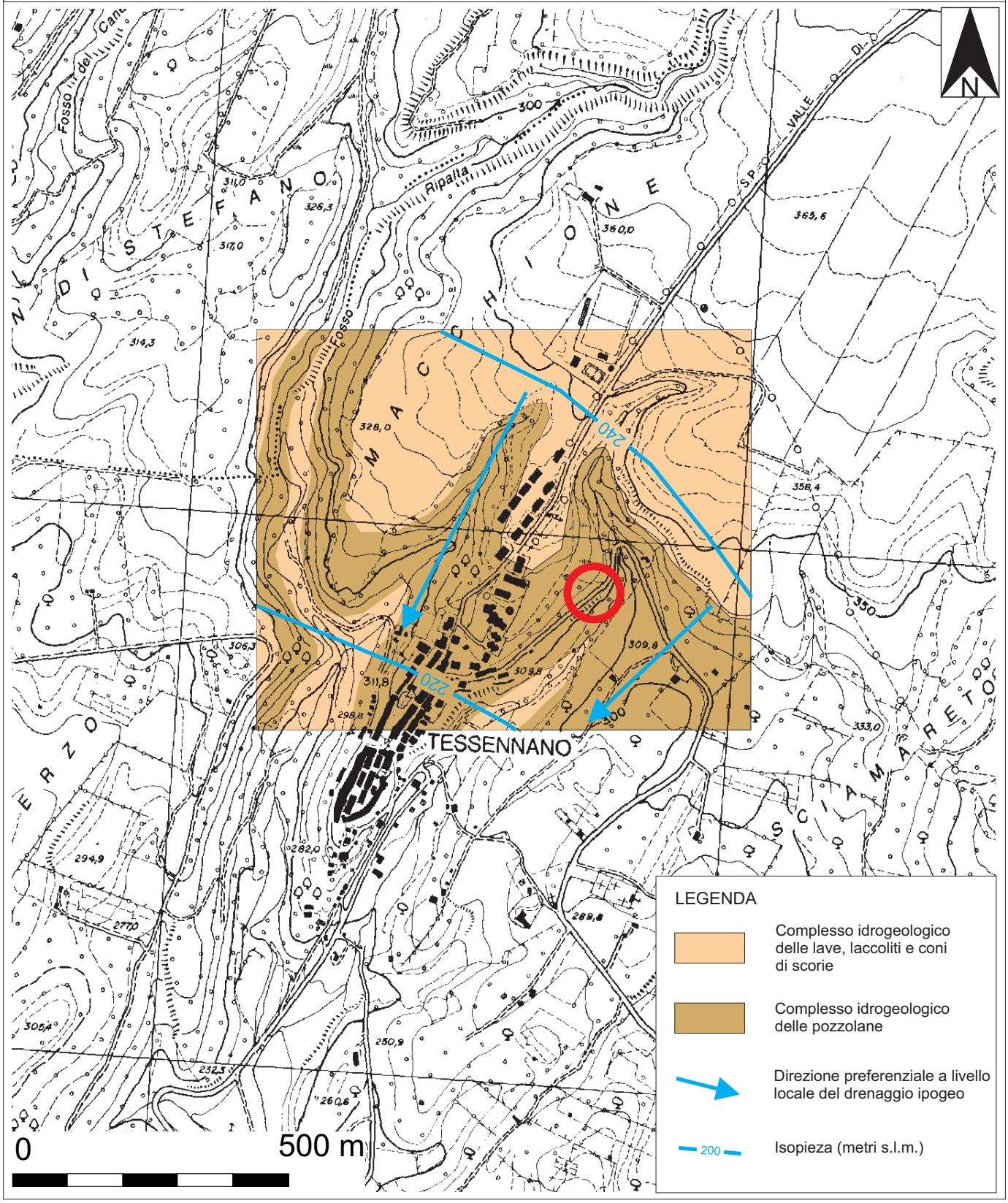
falda basale, laddove presente, giace ad una profondità di 100-120 metri dal piano di campagna.

Nella *carta idrogeologica*, in scala 1:10000, sono presenti l'andamento delle isopieze e dell'asse preferenziale del drenaggio sotterraneo nell'area in esame.

COMUNE di TESSENNANO (VT)
Versante Est - SP14

CARTA IDROGEOLOGICA

STRALCIO C.T.R. - Sezione n. 344100 “Canino”
Scala 1:10000



Caratterizzazione e modellizzazione geomeccanica e geofisica

Piano di indagini

Il piano di indagini è stato predisposto sulla base del livello di vulnerabilità dell'opera, introdotto dal Regolamento Regionale 13.07.2016 n. 14 di cui alla D.G.R. Lazio n. 375/2016.

Il livello di vulnerabilità si determina in funzione della zona sismica e della classificazione del progetto, secondo quanto riportato nell'All. C del presente regolamento.

Nella fattispecie la riclassificazione sismica della Regione Lazio, di cui alla DGR 387/09 in recepimento della OPCM 3274/03 e ss.mm.ii., ha catalogato il territorio del comune di Tessennano in categoria 2B.

La stima di eventuali fattori condizionanti dal punto di vista geologico, sulla base di tutto quanto in precedenza descritto, porta alle seguenti conclusioni:

• l'**eventuale suscettibilità a liquefazione** dell'area di sedime è stata analizzata nei paragrafi successivi del presente studio (cfr. § Valutazione del potenziale di liquefazione);

• la zona non manifesta fenomeni di subsidenza, cedimenti differenziali, dovuti alla presenza di terreni fortemente compressibili, e/o sinkhole;

• la zona presenta condizioni di dissesto e/o di frana;

• rientra in zona suscettibile di amplificazione, della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) prodotta nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1

del comune di Tessennano, e validato dall'Ufficio Geologico e Sismico Regionale ai sensi della D.G.R. Lazio 545/10 (in allegato);

• l'area di sedime dell'intervento è inserita in aree R4 del PAI dell'Autorità dei Bacini Regionali;

• la zona non si trova entro 50 metri da faglie attive e capaci segnalate dall'INGV;

• la zona presenta un settore perimetrato come Area di Attenzione per presenza cavità naturali o artificiali soggette a crolli;

Per quanto attiene la classe d'uso dell'opera interessata, la stessa ricade in classe d'uso 2 "*Stabilità dei pendii*", ai sensi del § 2.4.2. delle NTC18.

Sulla base di tutto quanto in precedenza definito, dallo schema riportato nell'Allegato "C" della DGR 375/16, è possibile affermare che l'intervento ricade nel livello di *vulnerabilità dell'opera medio*.

Il programma delle indagini è consistito nell'esecuzione di un rilievo geomeccanico in parete al fine di ottenere una caratterizzazione degli ammassi oggetto d'intervento, di una campagna geognostica mediante n. 2 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH), e di n. 3 prove geofisiche, delle quali una di sismica attiva di tipo MASW e due di sismica passiva a stazione singola di tipo HVSR, finalizzate all'individuazione del parametro Vs_{eq} e di eventuali picchi stratigrafici di frequenza dovuti a significativi contrasti d' impedenza acustica, che possono dare possibili effetti di risonanza.

Il piano d'indagini tiene conto del fatto che l'intervento in progetto riguarderà sia litologie a consistenza litoide che granulare incoerente.

In allegato è presente la carta con l'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite.

COMUNE di TESSENNANO (VT)

Versante Est - SP 14

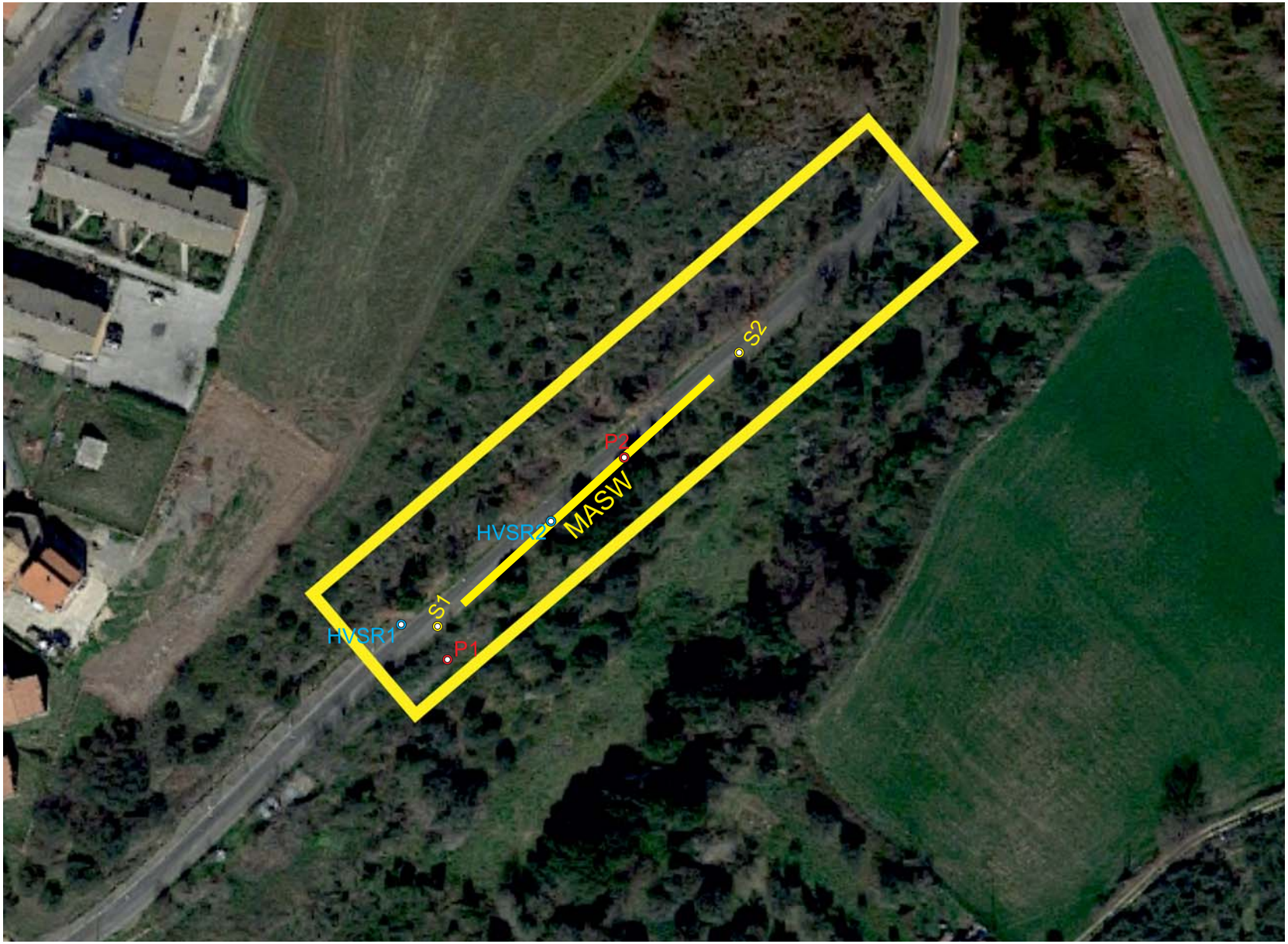
UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

LEGENDA

Indagine sismica tipo MASW

P1 Prova penetrometrica dinamica DPSH

HVSR Sismica passiva a stazione singola



Caratterizzazione dell'ammasso litoide

Allo scopo di definire le condizioni geostrutturali (spaziatura, apertura, persistenza), le condizioni idrauliche e di resistenza delle discontinuità (scabrezza, resistenza delle pareti, grado di alterazione e materiali di riempimento) dell'ammasso che costituisce la parte principale del pendio oggetto d'intervento, è stato realizzato un rilievo geomeccanico in parete, eseguito dalla società Geopro di Massimiliano Mazzocca, via Rendano, 11 -87040- Castrolibero (Cs), per conto dell'Amministrazione Comunale.

L'analisi dei dati ottenuti dal rilievo, in allegato al presente studio, ha permesso di ricavare una serie di parametri che hanno consentito di classificare l'ammasso sulla base del Rock Mass Rating (RMR) e dello Slope Mass Rating (SMR).

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
71,9	56,9	Terza	Mediocre

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
43,8	66,9	359,5	40,95	287,6	33,76

SMR	Classe	Descrizione
50,78	Terza	Mediocre

Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
Parzialmente stabile	Lungo piani o per cunei	Sistematica

Il rilievo in parete e delle cavità ha permesso inoltre di individuare 5 sets di fratture, i primi 4 sets hanno angoli medi di immersione intorno agli 80° e sono coniugati tra loro a coppie (medesima direzione e immersione opposta rispetto al orizzonte), (J1-J3) (J2-J4). Il set J5 ha direzione comparabile con J4, è più limitato nel numero di occorrenze e presenta angoli d'immersione inferiori ai precedenti.

Proseguendo lungo la SP 14 dalla direzione Canino verso Arlena di Castro, si può notare un aumento del grado di fratturazione e una tendenza delle fratture che formano angoli elevati con la direzione del versante (J1-J3) a concentrarsi in cluster limitati ad alcuni metri di estensione e spaziati tra loro 7-10 metri.

Nel suo complesso il pendio e la sua orientazione, riflettono l'orientazione dei joint sets 4 e 5, che hanno direzioni quasi parallele al pendio, persistenza anche maggiore di 20 m e spaziatura > 2m.

Da un punto di vista della stabilità queste famiglie di fratture hanno un grande significato, poiché quasi parallele al versante, sebbene presentino nella maggior parte dei casi un angolo d'immersione maggiore del pendio, in tutti quei casi in cui vengono a giorno in corrispondenza delle falesie verticali o all'interno delle cavità, sono potenzialmente responsabili di scivolamenti e crolli lungo piani che diventano critici.

Inoltre la loro spaziatura minima, stimabile in circa 3 metri, è di notevole importanza nella valutazione della lunghezza degli ancoraggi che saranno installati per la protezione del versante e per la messa in sicurezza delle cavità ubicate al di sotto della sede stradale, che dovranno essere tombate (foto 5-6).

Foto5

Foto6

Per un maggiore dettaglio si rimanda alla consultazione dell'elaborato "*Rilievi in parete e sotto la sede stradale, mediante analisi geostrutturale degli ammassi rocciosi e delle cavita' sottostanti la SP 14",* allegato al presente studio.

Campagna penetrometrica

Il penetrometro dinamico cingolato utilizzato, Modello Pagani TG 63/200, secondo la classificazione ISSMFE del 1988 appartiene al tipo Superpesante (DPSH), ovvero con massa battente di massa *M > 60 kg*.

La ditta Pagani ha sottoposto il TG 63/200 a test, eseguiti dall'ISMES (Istituto Sperimentale Modelli Geotecnici) di Seriate (Bergamo), per mezzo dei quali si è potuto quantificare il rendimento del dispositivo di battitura *n = Ea/Eh* , in cui *Ea* rappresenta l'energia trasmessa alle aste per ogni colpo del maglio ed *Eh = m x H* rappresenta l' energia potenziale associata ad un maglio di massa *m* che cade da un'altezza *H*.

Ciò ha permesso di ottenere correlazioni geotecniche affidabili tra colpi N_{20} e N_{spt}.

Il modello consente l'infissione di aste di acciaio di diametro *ø = 3,60 cm*, lunghezza 100 cm e peso 6 Kg cadauna; il maglio di battuta, del peso di 63,50 Kg, prevede un'altezza di caduta fissa di 75 cm; al termine dell'ultima asta è montata una punta conica, avente area *A = 20 cmq* ed angolo di apertura $\alpha = 90°$.

Tale penetrometro sviluppa un'energia specifica / colpo *Q = 11,91 kg/cmq* (per riferimento, una prova SPT sviluppa una Q_{spt} *= 7.83 kg/cmq*); il coefficiente teorico di energia $\beta t = Q / Q_{SPT} = 1.521$ (in teoria quindi $N_{spt} = \beta t \times N$).

Sui tabulati allegati si riportano il numero dei colpi N per ogni 20 cm di avanzamento della batteria di aste, sia in veste analitica che grafica, ed i valori delle resistenze dinamiche di rottura alla punta con la profondità in Kg/cmq, calcolate ricorrendo alla formula olandese ricordata sul prospetto riepilogativo iniziale.

Sono infine stati correlati i dati ottenuti elaborando sia un prospetto statistico, considerando Nspt-medio, ottenuto tramite una media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato, e un'interpretazione geomeccanica, applicando correlazioni geotecniche di diversi autori (cfr. *allegati prove DPSH*); ciò ha permesso di ottenere i parametri geotecnici caratteristici, ricavati dalla media dei valori ottenuti con le diverse correlazioni, sulla base dei quali è stato ricostruito il modello litotecnico, esposto nei successivi paragrafi (cfr. *pag. 41*).

Le colonne litotecniche dei test consentono un'interpretazione ed una definizione abbastanza affidabile della sequenza litologica e geomeccanica locale.

Si allega, inoltre, il Certificato di Conformità alle Direttive Europee del penetrometro Pagani mod. TG 63-200.

Durante l'esecuzione della campagna geognostica sono state scattate alcune fotografie, riportate nell' apposita sezione in allegato (rif. documentazione fotografica).

La prova P1 è stata eseguita al di sotto della sede stradale della SP14 in prossimità dell'area d'intervento ed è stata spinta fino a profondità dal locale piano di campagna di 6.00 metri, quota alla quale è stato ritenuto opportuno interrompere l' indagine.

I dati sono riepilogati in appositi certificati (v. tabulati delle prove penetrometriche) dai quali si ottengono i parametri di resistenza del terreno.

Al di sotto del terreno vegetale e di alterazione si individua, a partire da 0.40 metri di profondità, la presenza di un deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide e caratteristiche geomeccaniche buone fino alla profondità di 2.00 metri circa.

A partire da questa profondità il grado di addensamento diminuisce debolmente, per poi migliorare con l'aumentare della profondità, attestandosi su valori medio-buoni e caratteristiche geomeccaniche medio-buone fino a fine prova.

La prova P2 è stata eseguita lungo la sede stradale della SP14, 30 metri circa NE di P1, all'interno dell'area d'intervento ed è stata spinta fino alla profondità di 7.00 metri dal locale piano di campagna, quota alla quale è stato ritenuto opportuno interrompere l' indagine.

Al di sotto di terreno di alterazione e pavimentazione si individua, a partire da 0.60 metri di profondità, la presenza di un deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide e caratteristiche geomeccaniche buone fino alla profondità di 6.00 metri circa.

A partire da questa profondità il grado di addensamento diminuisce debolmente, attestandosi su valori medio-buoni e caratteristiche geomeccaniche medio-buone fino a fine prova.

Lungo le verticali investigate non è stata individuata la presenza di zone di saturazione idrica.

Indagine sismica MASW

Descrizione del metodo

In un mezzo stratificato, in cui la velocità delle onde sismiche varia con la profondità, la propagazione delle onde di superficie assume carattere dispersivo, indicativo dei moduli elastici dei materiali attraversati: differenti lunghezze d' onda hanno diversa profondità di penetrazione e si propagano con diversa velocità.

Piccole lunghezze d' onda raggiungono profondità di penetrazione più superficiali rispetto a quelle più lunghe.

La velocità di propagazione di ciascuna lunghezza d' onda, definita *velocità di fase*, è legata principalmente alla velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) con la profondità di penetrazione, e solo marginalmente con la velocità delle onde di volume (Vp), la densità e il modulo di Poisson del mezzo attraversato.

Di conseguenza la velocità di propagazione delle onde di superficie rappresenta un buon indicatore della Vs.

Generalmente si assume che la velocità di fase delle onde di superficie sia circa il 92% di Vs, e che il rapporto tra le due velocità sia compreso tra 0.88 – 0.95 in tutto il range del modulo di Poisson (0 – 0.5).

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo superficiale di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura della

propagazione delle onde di superficie di Rayleigh generate da una sorgente verticale, registrata in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Ogni singolo geofono è collegato mediante un cavo bipolare che trasmette il segnale al sismografo, il segnale sismico viene così registrato, opportunamente amplificato, visualizzato sullo strumento e memorizzato per le successive elaborazioni ed interpretazioni.

Questa tipologia di prospezione è stata realizzata, per motivi logistici legati allo spazio a disposizione, con uno stendimento sismico da 24 geofoni allineati a distanza intergeofonica pari a 2.00 metro, che hanno registrato le onde sismiche generate in corrispondenza di due punti di energizzazione dislocati alle estremità dello stendimento e ad una distanza (offset) dal primo geofono all'esterno dello stesso pari a 4 metri, per la sorgente S1 e S2.

La distanza intergeofonica indicativamente rappresenta lo spessore minimo della discontinuità rilevabile.

La profondità massima di penetrazione, diversamente dalla sismica a rifrazione tradizionale, è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e le sue frequenze, quindi non dipende dalla geometria dello stendimento, ma dalle caratteristiche della successione litostratigrafia del terreno investigato.

Le acquisizioni sono state eseguite con diversi tempi di campionamento: 0.5 ms, 1 ms e 2 ms, ed un numero di campioni per evento pari a 2048.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale prodotto dalla MAE s.r.l., modello SYSMATRACK 24 bit, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

-Convertitore a risoluzione di 24 bit per ogni singolo canale con tecnologia sigma-delta;

-Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione;

-Intervalli di campionamento dei segnali compresi tra 66 μs e 20 ms;

-Filtro anti-alias. – 3 dB, 80% della frequenza di Nyquist, - 80 dB;

-Filtri digitali selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionamento;

-Livelli di amplificazione impostabili singolarmente per ogni canale e compresi tra 0 dB e 36 dB;

-Banda passante compresa tra 2 Hz e 30 KHz;

-Range dinamico: 144 dB (teorico);

-Distorsione massima +/- 0.0010%;

-24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;

-massa battente pesante di 8 Kg.

Per l'elaborazione del profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio), è stato utilizzato il software winMASW della ELIOSOFT srl .

Elaborazione dei dati

L'analisi MASW si sviluppa in tre operazioni svolte in successione:

-la prima prevede la selezione di una parte del sismogramma in cui sono evidenti le onde superficiali; per tale analisi è stato scelto il sismogramma ottenuto con la sorgente S1, con passo di campionamento pari a 1.0 ms ed offset pari a 4 metri di distanza dal primo geofono.

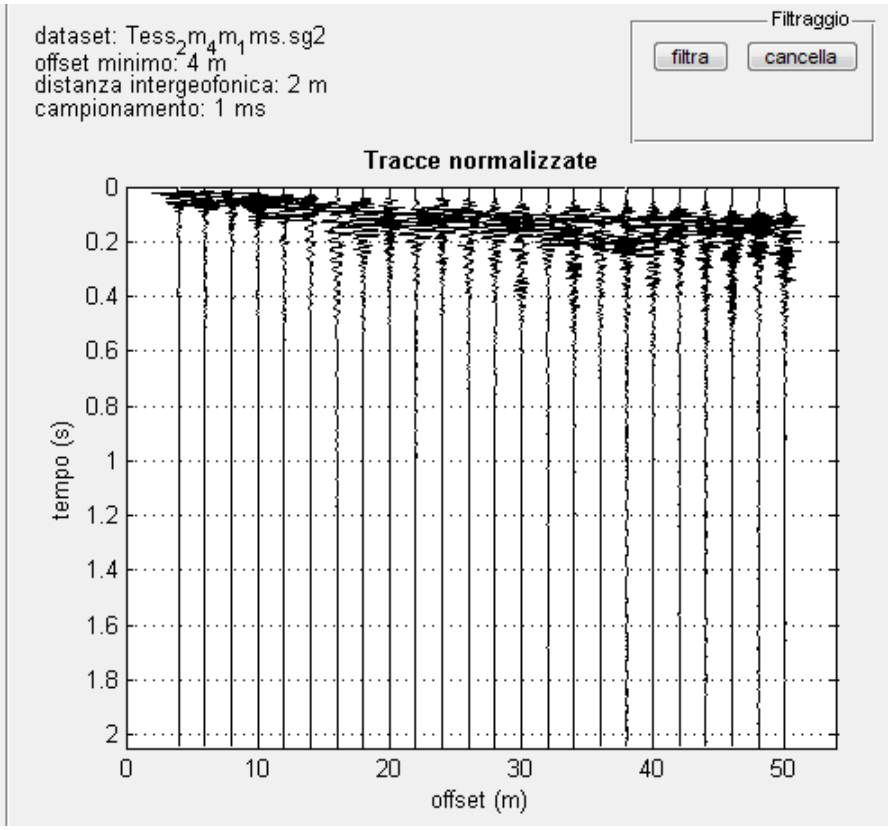


Figura n. 1- Sismogramma della MASW

-la seconda fase consiste nella trattazione spettrale del sismogramma, cioè dal sismogramma, note le caratteristiche geometriche dell' acquisizione, si ottiene lo spettro

delle velocità (diagramma velocità-frequenza) sul quale si individua la curva di dispersione (vedi fig. 2).

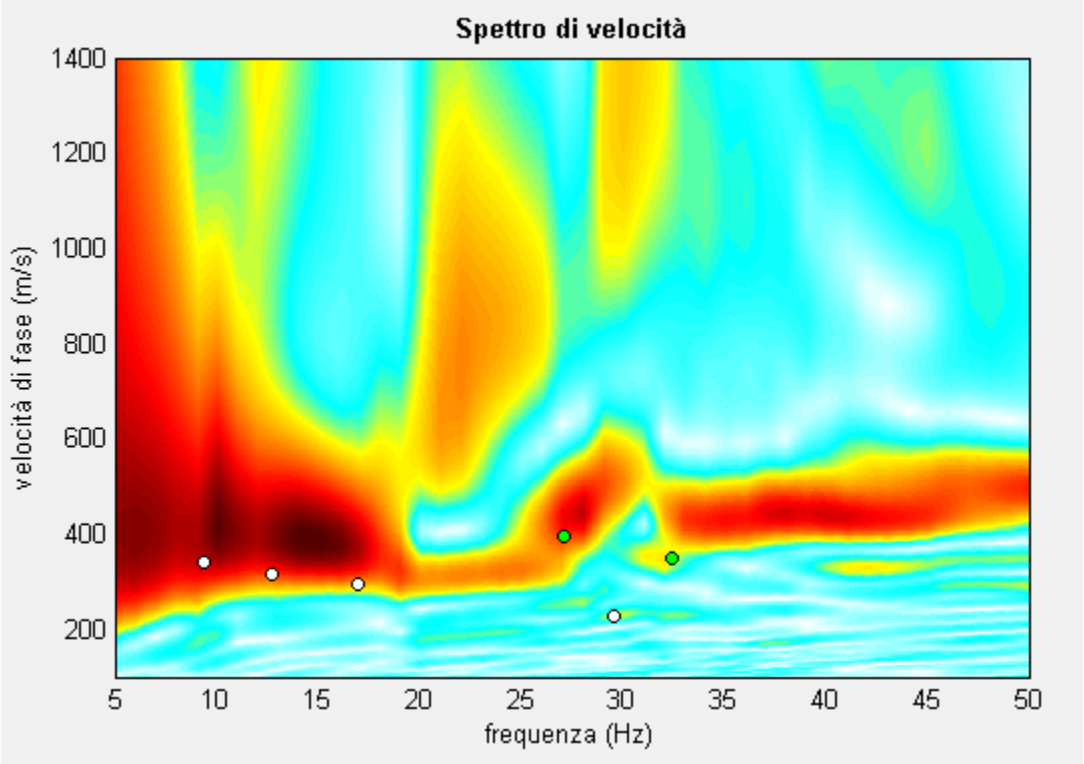


Figura n. 2. Spettro di velocità della MASW e "picking"

-la terza fase consiste nel sottoporre la curva di dispersione ad un processo di inversione basato su complessi algoritmi genetici che lavorano in un campo assegnato dall'operatore di ΔV (range di variazione della velocità) e Δp (range di variazione dello spessore di terreno a velocità "costante") che porta all'elaborazione di un modello del terreno espresso nel grafico profondità-velocità delle onde Sh con il relativo calcolo della Vs30.

L'attendibilità e l'affidabilità del modello matematico viene espressa in termini di deviazione standard del valore di velocità delle onde Sh e del rispettivo spessore

assegnato a ciascun strato, ed in termini di "misfit" indice di qualità del processo di elaborazione matematica.

Il programma WinMasw restituisce inoltre due modelli sismostratigrafici definiti "medio" e "migliore"; il primo è calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (Marginal Posterior Probability Density), mentre il modello "migliore" si caratterizza in termini di minor misfit, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata.

Si riportano nelle pagine seguenti i risultati.

Risultati

Dallo spettro di velocità (figura 2) si osserva che la velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s)-frequenza (Hz) in un intervallo di frequenze compreso tra 9 Hz e 35 Hz.

La corrispondente velocità di fase apparente è compresa tra 380 m/s e 240 m/s (Fig.2).

Nella figura n. 3 si riportano i profili di Vs e Vp calcolati e in figura n. 4 i modelli di velocità calcolati per la MASW.

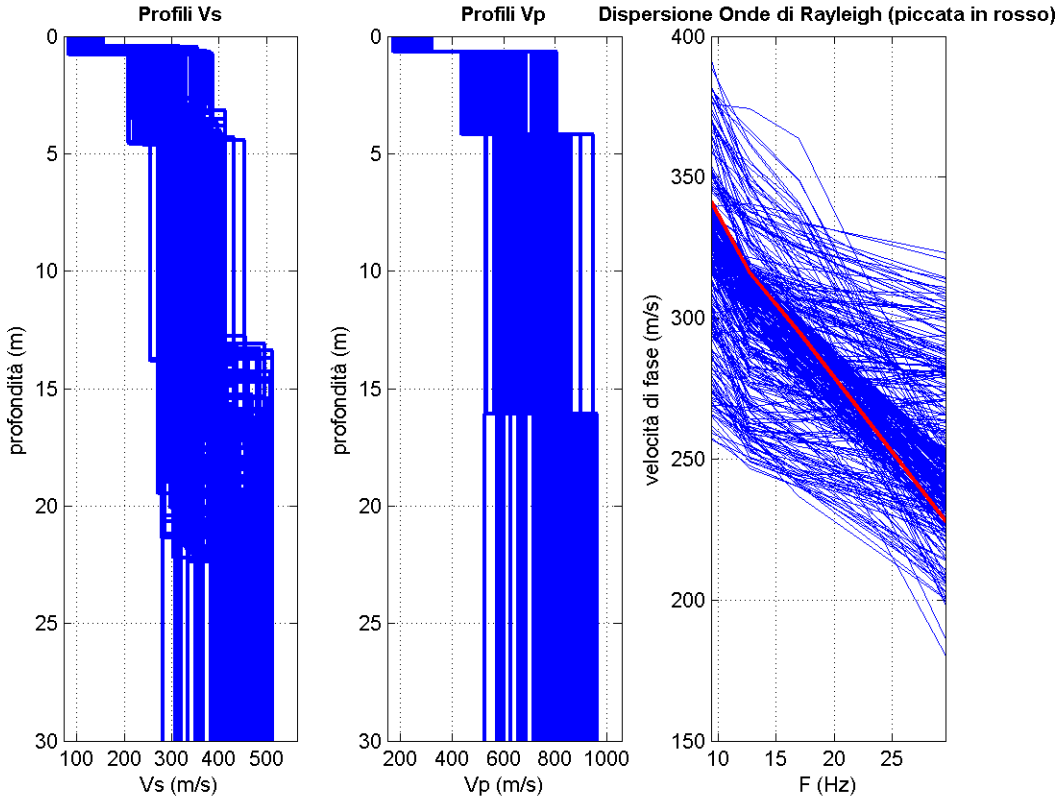


Figura n. 3 - Profili di Vs e Vp calcolati.

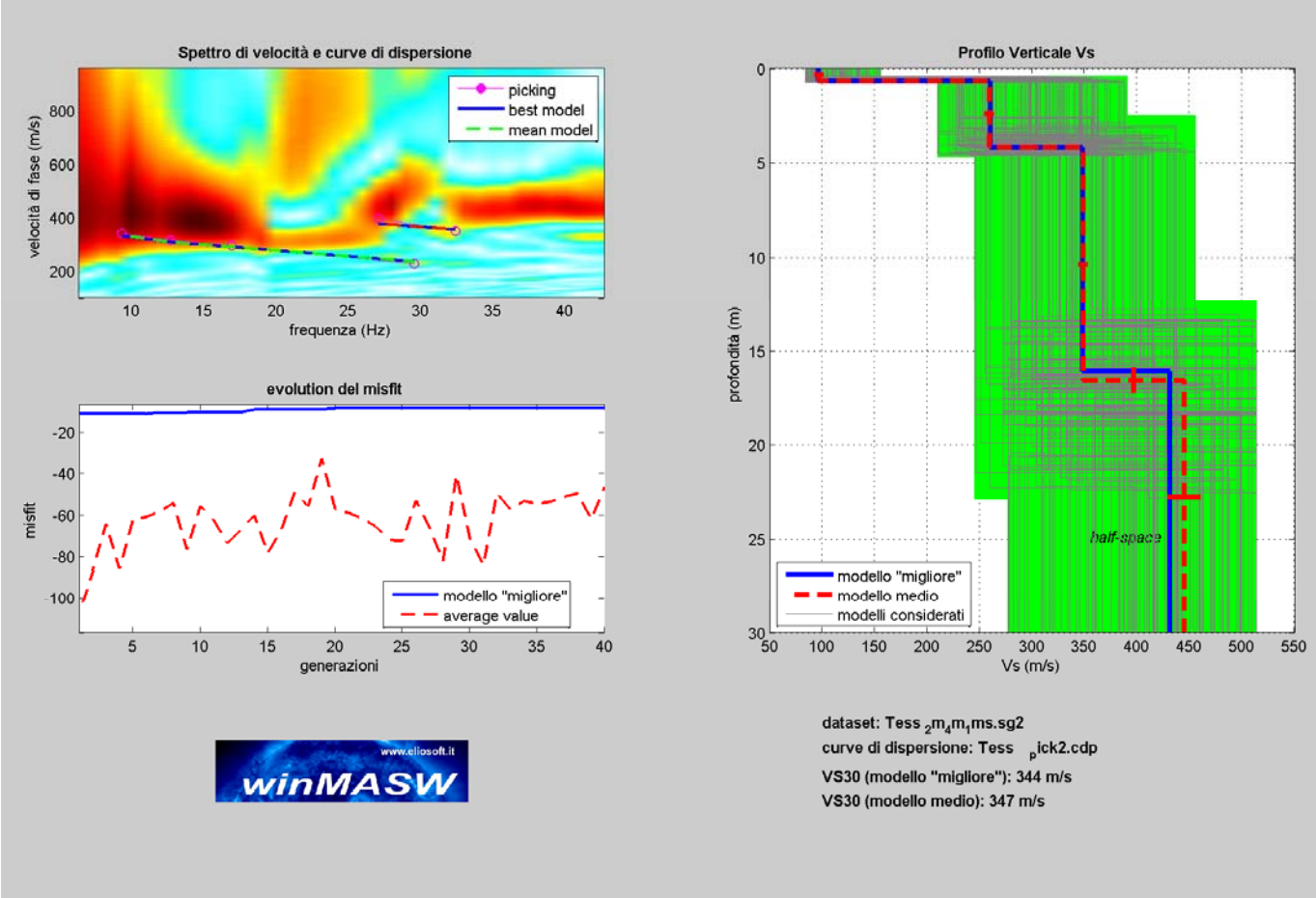


Figura n. 4 - Modelli di velocità calcolati per la MASW e "picking"

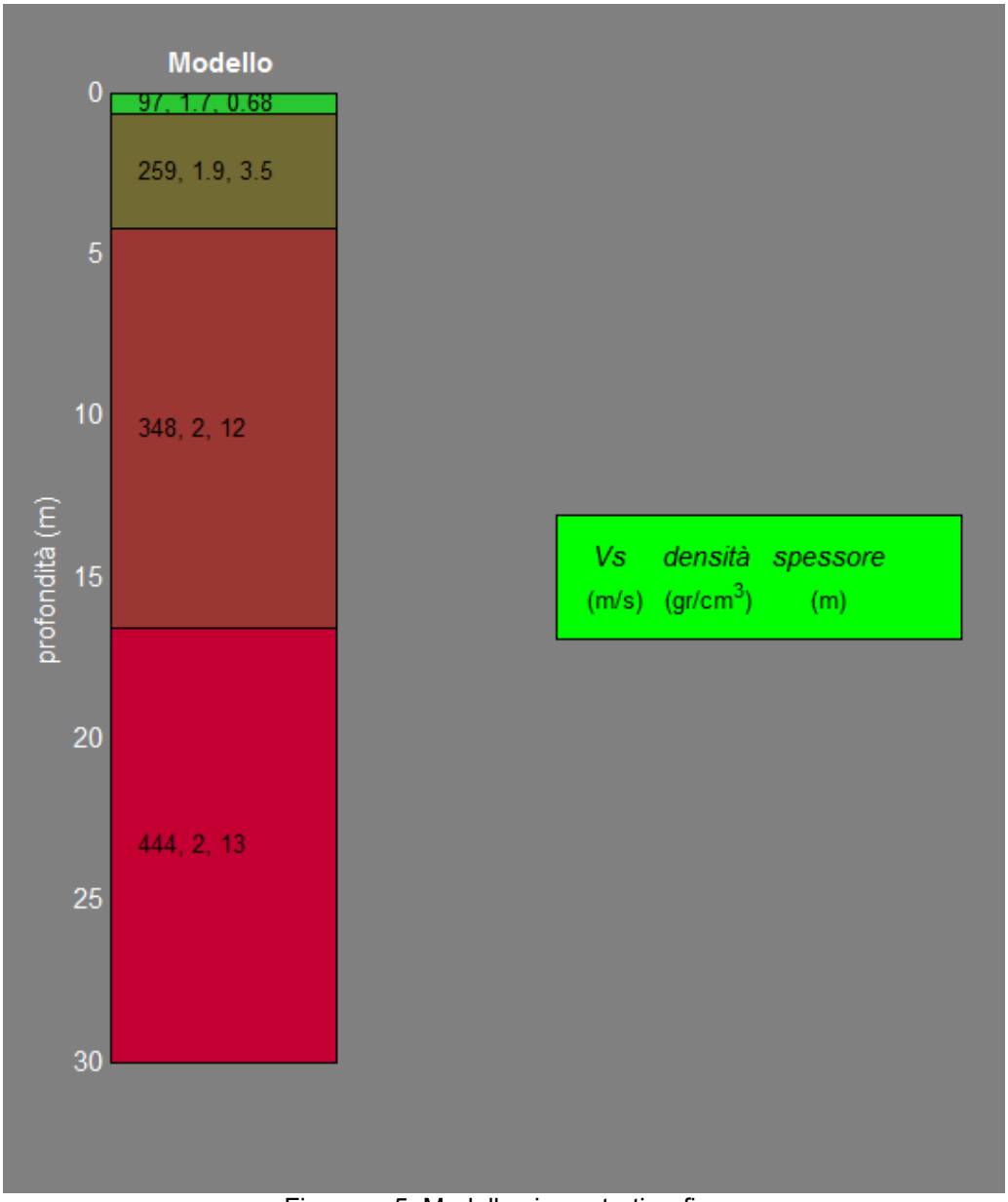


Figura n. 5. Modello sismostratigrafico

La curva che meglio approssima i dati sperimentali, come già indicato nella figura n. 4, deriva da un profilo verticale delle onde S costituito da 4 sismostrati dalle seguenti caratteristiche:

MODELLO MEDIO MASW		
Sismostrato n	**Spessore (m)**	**Vs (m/s)**
1	0.68	97
2	3.5	259
3	12	348
4	-	444
Vs30=347 m/s		

Considerando i risultati delle Vs30 del modello medio, si riporta inoltre una stima approssimativa della velocità delle onde prime (Vp), della densità e di alcuni moduli elastici.

Sismostrato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	coefficiente di Poisson μ	Modulo di taglio G (Mpa)	Modulo di Young E (Mpa)	Modulo di rigidità (Mpa)
1	202	97	0.35	14.86	40.13	44.63
2	539	259	0.35	110.65	298.72	331.67
3	724	348	0.35	205.81	555.58	616.39
3	831	444	0.30	374.43	973.70	812.38

Dallo studio della stratigrafia sismica delle Vs, (figura 5) si osserva come le velocità superino il valore di 340 m/s a partire da 4 metri circa di profondità e raggiungano valori superiori a 400 m/s, a partire da 14 metri circa di profondità.

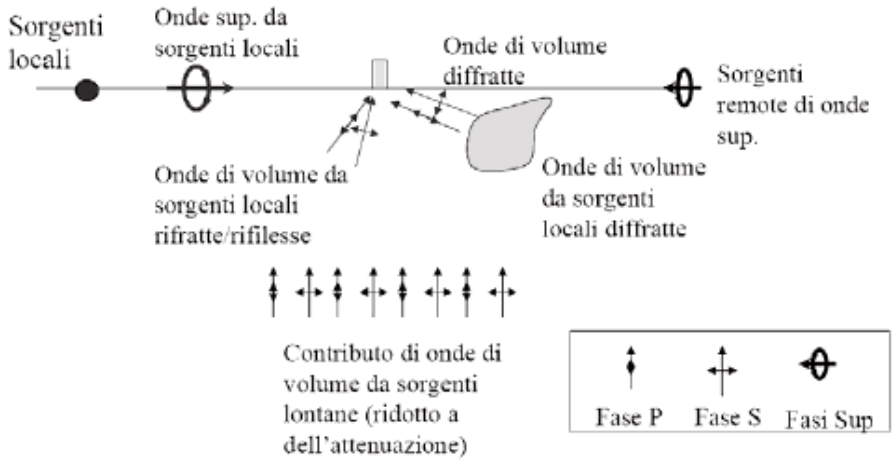
Sismica passiva a stazione singola

Questa tecnica d'indagine si basa sull'analisi dei rapporti spettrali del rumore sismico ambientale, registrato in una singola stazione o in *array*.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che dall' attività dinamica terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi, in quanto il rumore sismico non è generato appositamente per l' esecuzione della prova, come, ad esempio, le esplosioni della sismica attiva.



Durante la propagazione dalla sorgente alla stazione di misura in superficie, le onde elastiche, sia di un sisma che di microtremore, subiscono riflessioni, rifrazioni,

intrappolamenti per fenomeni di *guida d'onda*, attenuazioni che dipendono dalle caratteristiche elastiche del mezzo attraversato.

Ciò significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque nel segnale una parte debolmente correlata, che può essere estratta e che contiene le informazioni relative alla struttura locale vicino al sensore.

Di conseguenza anche il debole rumore sismico, che di solito costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni.

La tecnica che si è maggiormente consolidata in questo tipo di analisi, è quella che si basa sulla teoria dei rapporti spettrali tra la componente del moto orizzontale e quella del moto verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001).

Sono state analizzate le registrazioni del rumore di fondo effettuate nel mese di luglio 2018 nel sito interessato dagli interventi in progetto.

Lo scopo delle indagini è stato quello di verificare attraverso questo metodo, l'eventuale presenza di contrasti di impedenza acustica fra gli strati sismici investigati, tali da generare fenomeni di risonanza lungo la verticale del sito.

Risultati dell'analisi H/V

Per le misure H/V (misure di microtremori a stazione singola) è stato utilizzato un Tromino (Micromed) - strumento dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo una terna cartesiana ortogonale, ad alta definizione, con intervallo di frequenze compreso tra 0.1 e 256 Hz.

Le frequenze significative a livello stratigrafico e per la stima degli effetti di amplificazione, rientrano, generalmente, nell'intervallo 0.5 – 15 Hz.

Un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient Excitations) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array, fornendo dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

In un'apposita tabella in allegato verranno evidenziati i risultati dei criteri SESAME (2004) per le misure effettuate.

L'elaborazione delle misure H/V è consistita in un lavoro di pulizia del dato finalizzato ad eliminare segnali transienti e poter quindi procedere con il calcolo degli spettri delle componenti orizzontali (H) e verticali (V) successivamente sintetizzate appunto nel rapporto spettrale H/V (in allegato).

Lo spessore investigato ha evidenziato, in entrambe le indagini, un picco del rapporto H/V, nel *range* di frequenze significativo per eventuali effetti di risonanza, in corrispondenza della frequenza compresa tra **1.44 – 1.66 Hz** associato probabilmente al passaggio con l'unità della successione del flysch costituita da calcari e calcari marnosi.

Le deviazioni standard in ampiezza e in frequenza risultano significative per un picco attendibile, ma non chiaro.

In ogni caso il picco rientra nel trend di misure eseguite dal sottoscritto nel sito oggetto d'intervento e in aree limitrofe e va considerato *frequenza di risonanza fondamentale del sito*, e pertanto bisogna tenerne conto in fase progettuale per evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza, che possono interessare edifici aventi frequenza di risonanza confrontabile con la frequenza fondamentale di sito.

Sulla base della ricostruzione stratigrafica ottenuta dalle indagini geotecniche (prove DPSH) e geofisiche (MASW) precedentemente descritte è stato possibile utilizzare la curva H/V per realizzare un modello sintetico di Vs (Experimental vs. Synthetic H/V).

Il modello, ricavato dalle curva ottenuta dalle indagini HVSR, risulta concorde con i risultati dell'indagine MASW, fornendo un valore di **Vs30** compreso tra **350 m/s** e **352 m/s**.

I risultati dell'elaborazione delle acquisizioni MASW e HVSR permettono di inserire i terreni investigati nella **categoria di suolo C**.

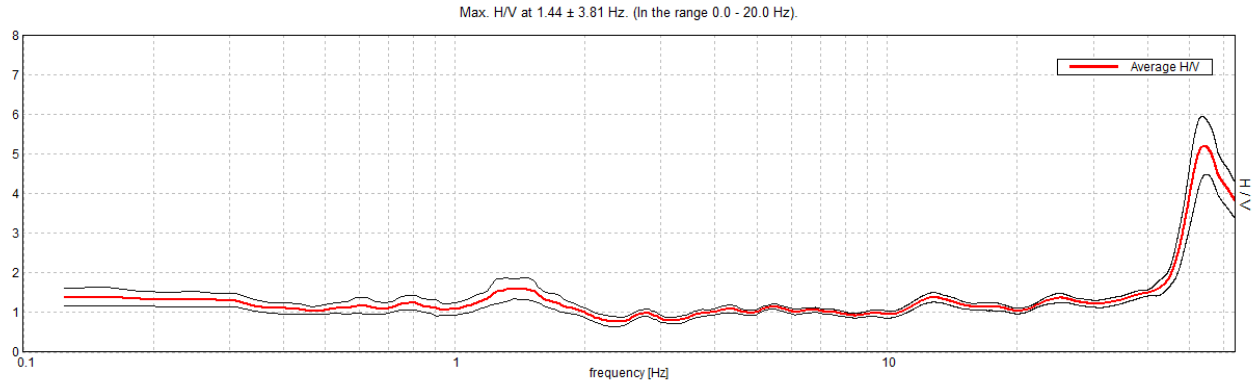
Committente: Comune di Tessennano
Cantiere: Intervento per il dissesto idrogeologico della rupe tufacea
Località: SP 14 - Comune di Tessennano (VT)

HVSR1

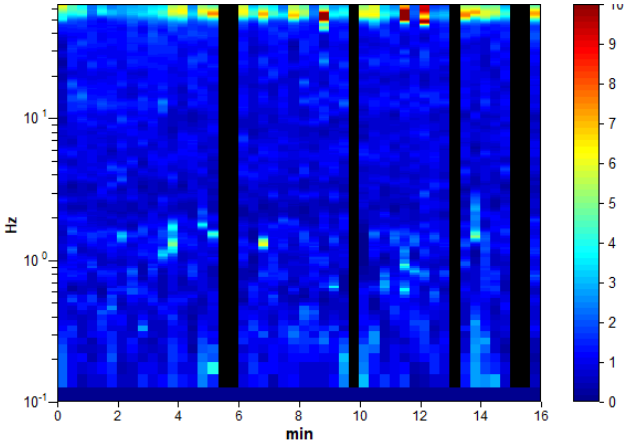
Instrument: TRZ-0142/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 13/07/18 10:45:40 End recording: 13/07/18 11:01:40
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

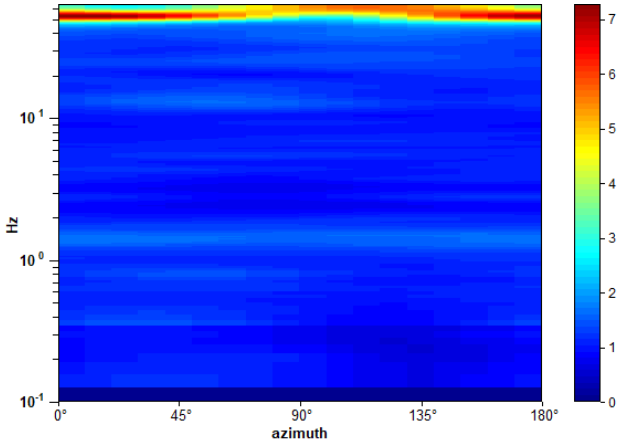
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



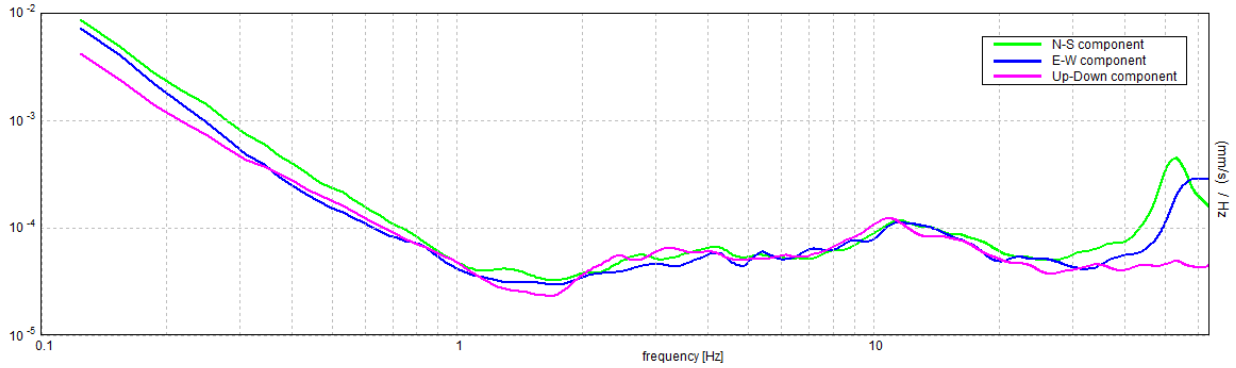
H/V TIME HISTORY



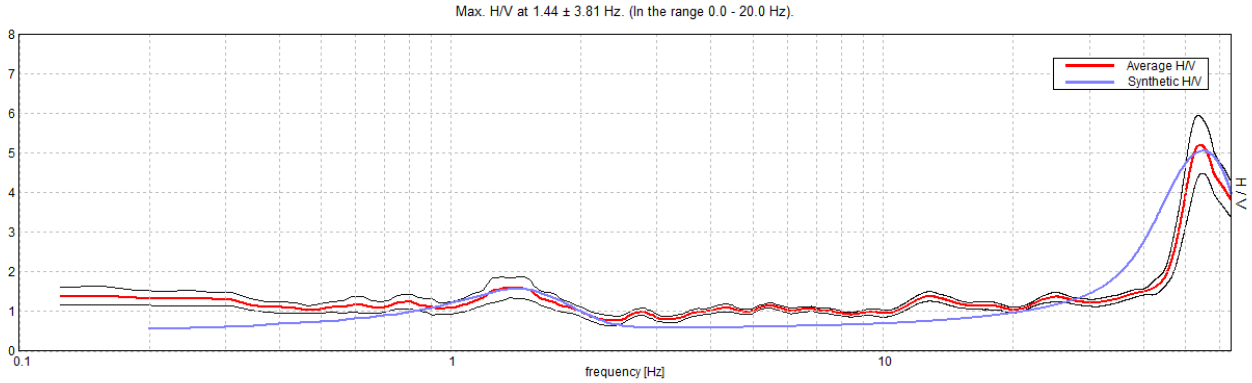
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

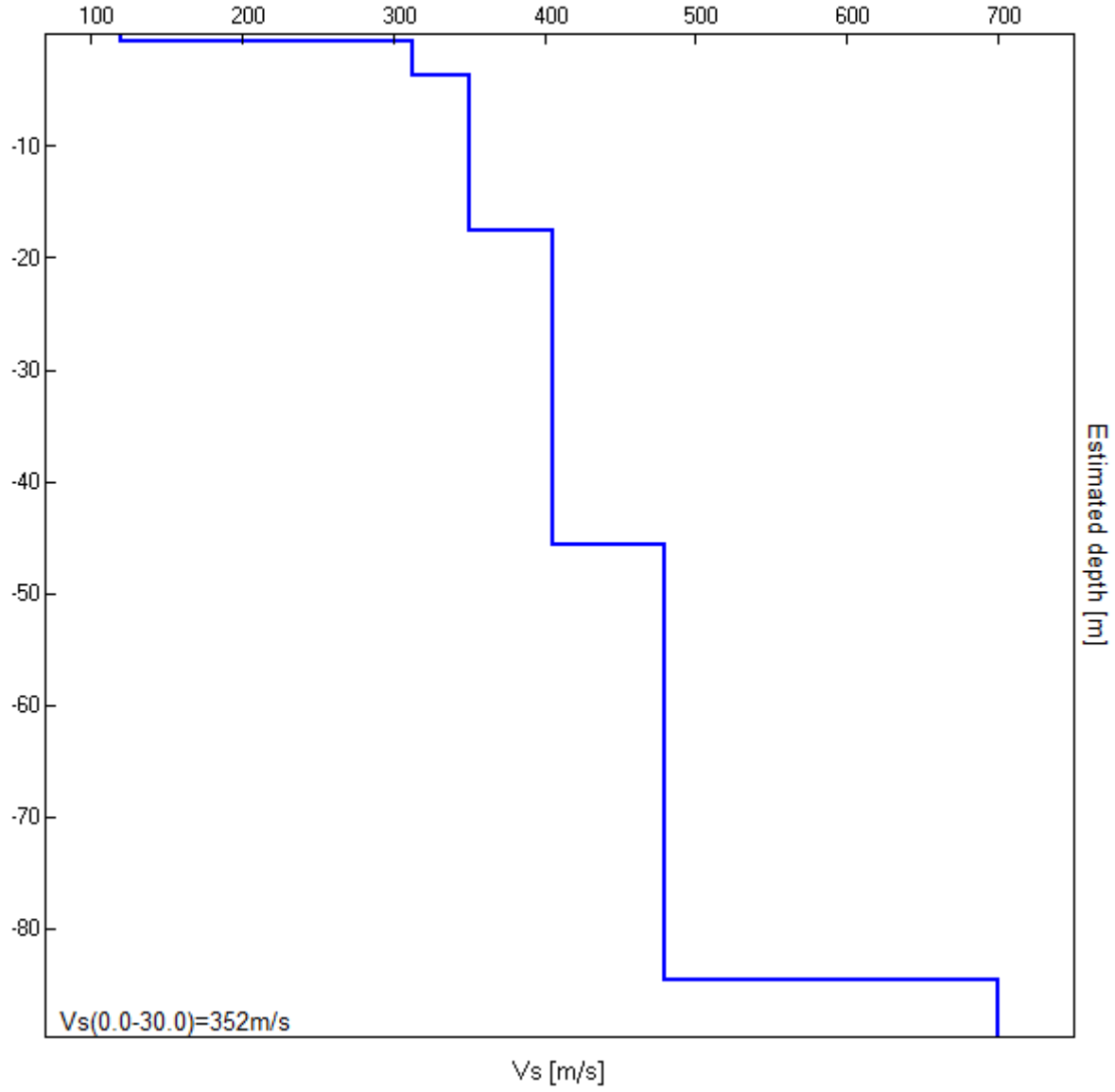


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.60	0.60	120
3.60	3.00	313
17.60	14.00	350
45.60	28.00	405
84.60	39.00	479
inf.	inf.	700

Vs(0.0-30.0)=352m/s


100
200
300
400
500
600
700
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
Vs(0.0-30.0)=352m/s
Vs [m/s]
Estimated depth [m]

[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 1.44 ± 3.81 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1207.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 70 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.60 > 2		NO
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|2.64758| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.8059 < 0.14375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.284 < 1.78	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

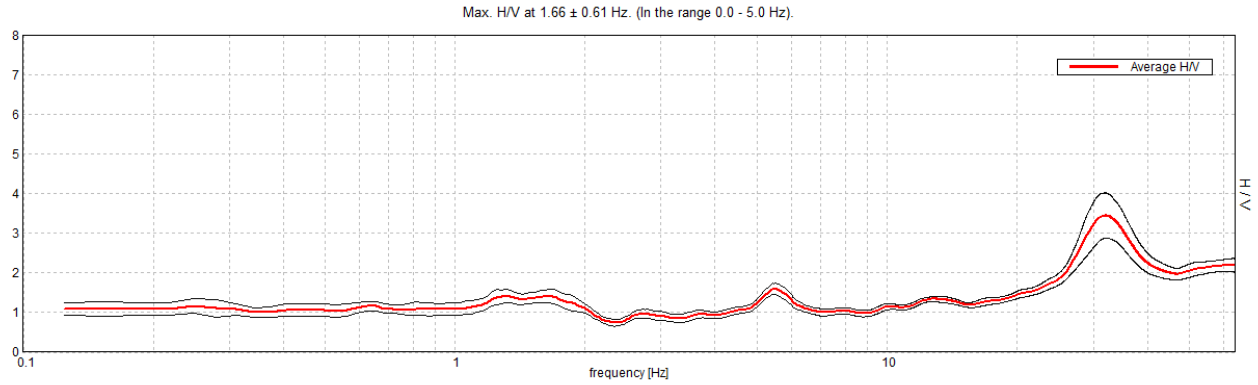
Committente: Comune di Tessennano
Cantiere: Intervento per il dissesto idrogeologico della rupe tufacea
Località: SP 14 - Comune di Tessennano (VT)

HVSR2

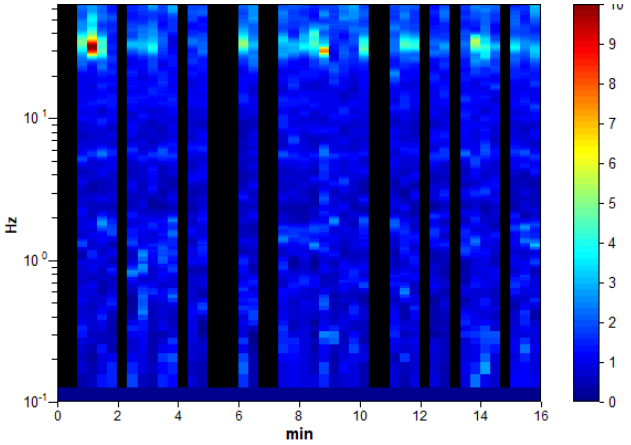
Instrument: TRZ-0142/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 13/07/18 11:38:55 End recording: 13/07/18 11:54:55
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analyzed 71% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

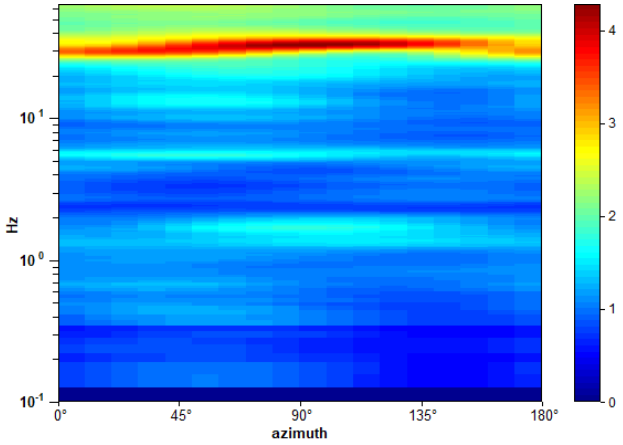
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



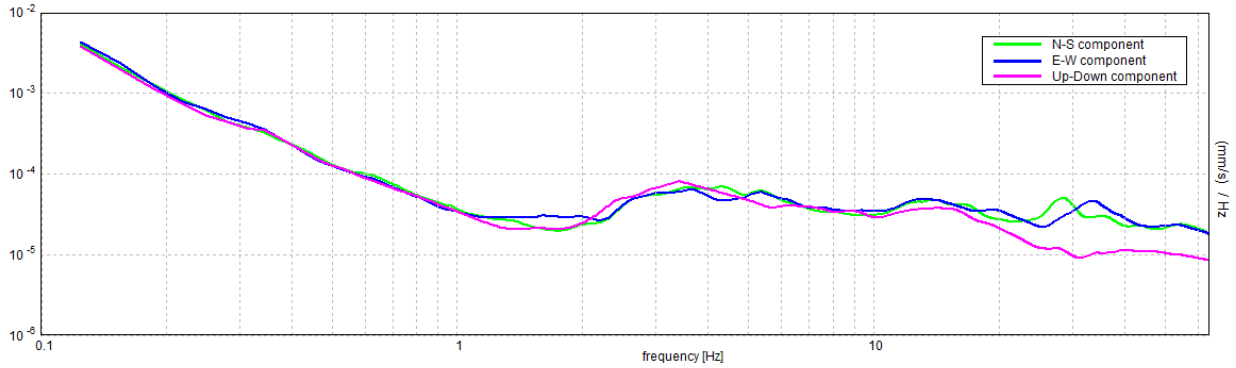
H/V TIME HISTORY



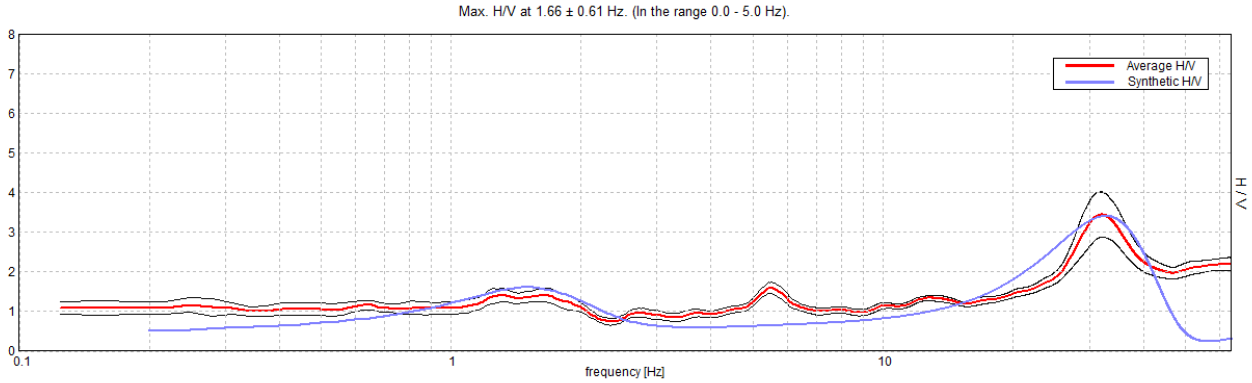
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

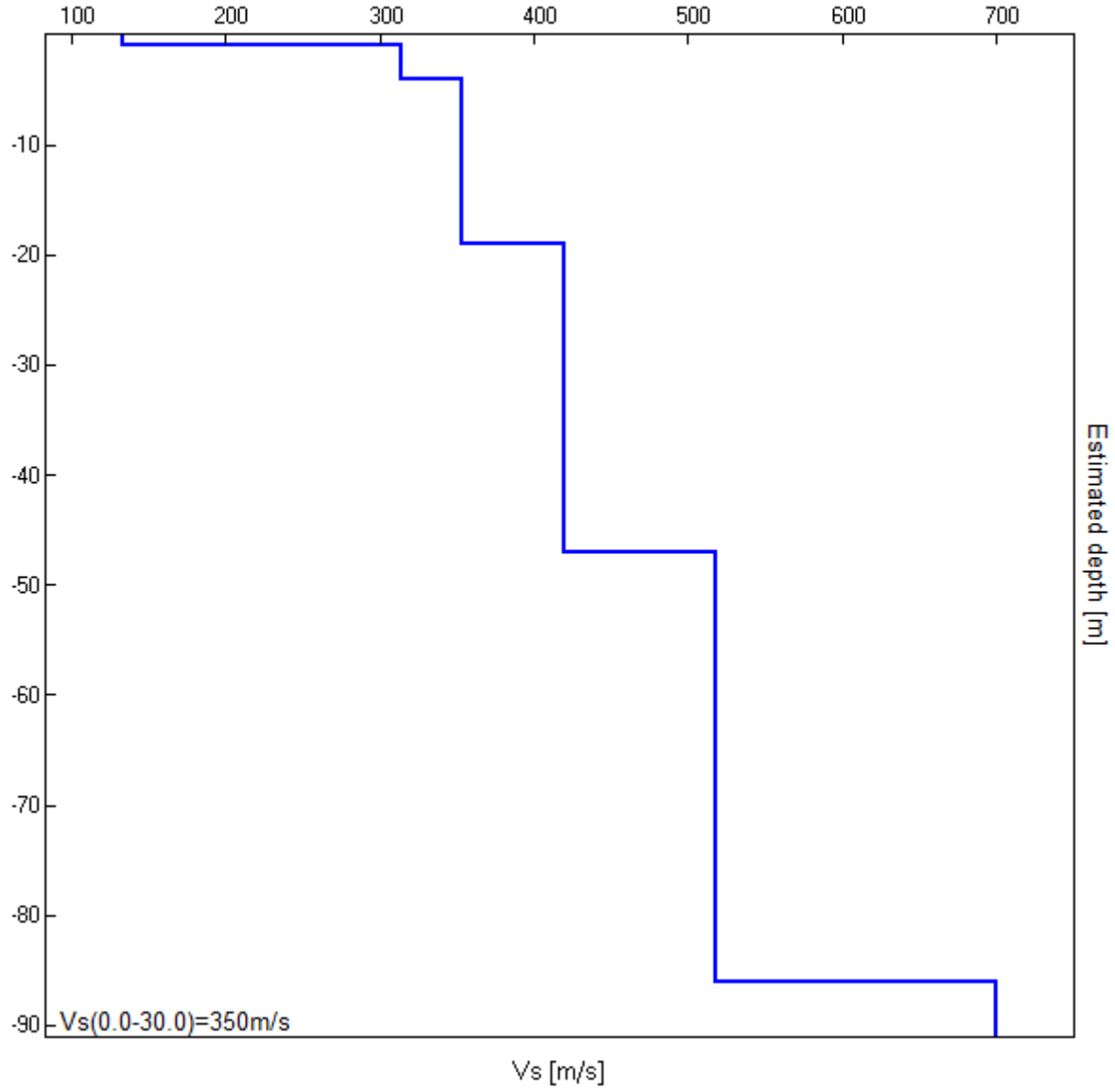


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	133
4.00	3.00	314
19.00	15.00	353
47.00	28.00	419
86.00	39.00	518
inf.	inf.	700

Vs(0.0-30.0)=350m/s


100
200
300
400
500
600
700
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
Vs(0.0-30.0)=350m/s
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 1.66 ± 0.61 Hz (in the range 0.0 - 5.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.66 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1126.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 80 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.42 > 2		NO
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.36688| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.60764 < 0.16563		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1724 < 1.78	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Modello litotecnico e moduli elastici

La sintesi dei dati rilevati ha permesso di elaborare un modello geologico-tecnico, che consiste in una parametrizzazione geotecnica del terreno di sedime dell'intervento in progetto e nella definizione di unità a caratteristiche fisico-tecniche omogenee, individuate nelle tabelle di seguito allegate.

La caratterizzazione delle unità è basata sui risultati ottenuti da indagini geotecniche eseguite nell'area d'intervento e sui dati ottenuti dai rilievi in parete e sotto la sede stradale, mediante analisi geostrutturale degli ammassi rocciosi e delle cavita' sottostanti la SP 14.

Sulla scorta di quanto fin qui esposto, si riporta nel seguito una schematizzazione del sottosuolo, a titolo cautelativo, avendo considerato opportune riduzioni per litologie piroclastiche, a causa delle eterogeneità granulometriche e delle conseguenti anisotropie del comportamento meccanico tipiche di questi depositi.

Sono state inoltre ricostruite n. 8 sezioni litologico-tecniche a partire dal rilievo topografico dello stato attuale, allegate di seguito.

- γ_k = peso di volume caratteristico;
- ϕ_k = angolo di attrito interno caratteristico del litotipo;
- ϕ_p = angolo di attrito interno di picco;
- ϕ_r = angolo di attrito interno residuo;
- C_p = coesione di picco;
- C_r = coesione residua;
- C_u = coesione non drenata caratteristica;
- Ed= modulo edometrico caratteristico;
- Dr = densità relativa caratteristica;
- JCS = resistenza a compressione delle pareti dei giunti;
- JRC = coefficiente di scabrezza dei giunti;
- RQD = Rock Quality Designation;
- RMR = Rock Mass Rating.
- SMR= Slope Mass Rating

Modellazione del versante dall'alto verso il basso:

Strato	Spessore (metri)	Descrizione	Nspt	γ_k daN/mc	$\phi'k$ (°)	C_u daN/cmq	Dr (%)	JCS daN/cmq	JRC	RQD %	RMR	SMR
1	Variabile da 2 a 4 metri	Lapilli e bombe vulcaniche associate a colate di lava (Unità di Monte Cellere)	>50	2000	38 - 40	-	85	-	-	-	-	-

Strato	Spessore (metri)	Descrizione	Nspt	γ_k daN/mc	ϕp (°)	ϕr (°)	C_p daN/cmq	C_r daN/cmq	JCS daN/cmq	JRC	RQD %	RMR	SMR
2	Variabile da 27 a 30 metri	Formazione dii Grotte di Castro	>50	1580	40.95	33.76	3.595	2.876	10 - 50	10	99.60	56.90	50.78

Strato	Spessore (metri)	Descrizione	Nspt	γ_k daN/mc	ϕ'_k (°)	Cu daN/cmq	Ed daN/cmq	Dr (%)
3	Variabile da 10 a 15 metri	Deposito da colata piroclastica mediamente addensato (Formazione di Farnese)	>25 <50	1650	32 - 34	-	>250	73

MODULI ELASTICI

- $E_{s,k}$ = modulo elastico (di Young) caratteristico;
- $G_{0,k}$ = modulo di taglio caratteristico;
- Bulk modulus = modulo di rigidità;
- μ_k = modulo di Poisson caratteristico.

Strato	Descrizione	Es,k daN/cmq	G0,k daN/cmq	Bulk modulus daN/cmq	μ_k
2	Formazione di Grotte di Castro	2987.20	1106.50	3316.70	0.35
3	Formazione di Farnese	5555.80	2058.10	6163.90	0.35

SEZIONE N. 1

LEGENDA

Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
$\gamma = 20$ kN/mc; $\phi = 38 - 40°$; Dr = 85%;

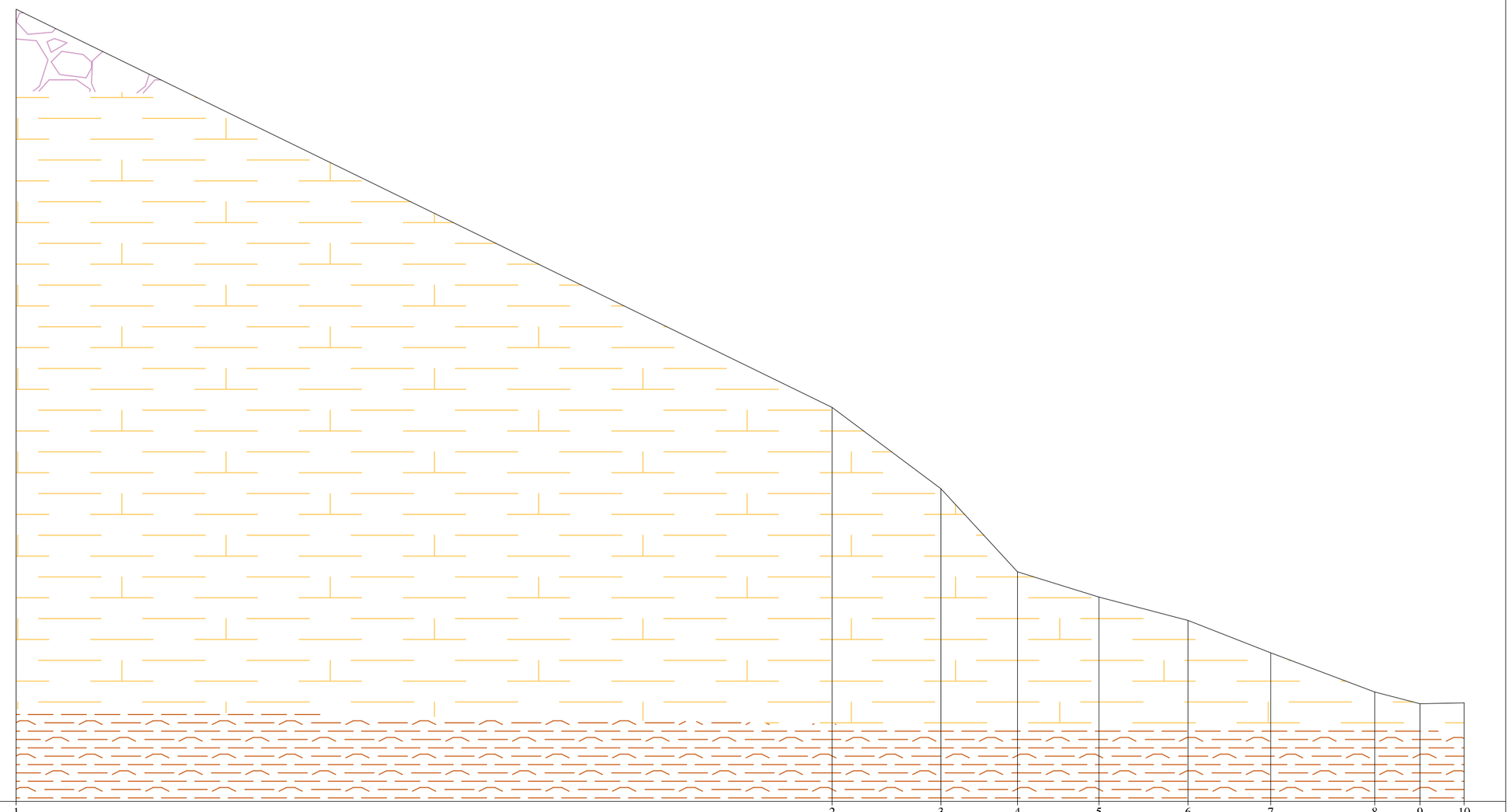
Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso									
Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione Sic (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.76	1-5	93.53211598	71.9	56.9

Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
$\gamma = 16.50$ kN/mc; $\phi = 32 - 34°$; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

CATEGORIA SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Quote Terreno	339.00	319.90	316.00	312.02	310.80	309.68	308.13	306.25	305.69	305.73	
Distanze parziali Terreno		39.15	5.21	3.68	3.91	4.27	3.97	4.99	2.17	2.12	
Distanze progressive Terreno	0.00	39.15	44.36	48.04	51.95	56.22	60.19	65.18	67.35	69.47	

SEZIONE N. 2

LEGENDA

Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
$\gamma = 20$ kN/mc; $\phi = 38 - 40°$; Dr = 85%;

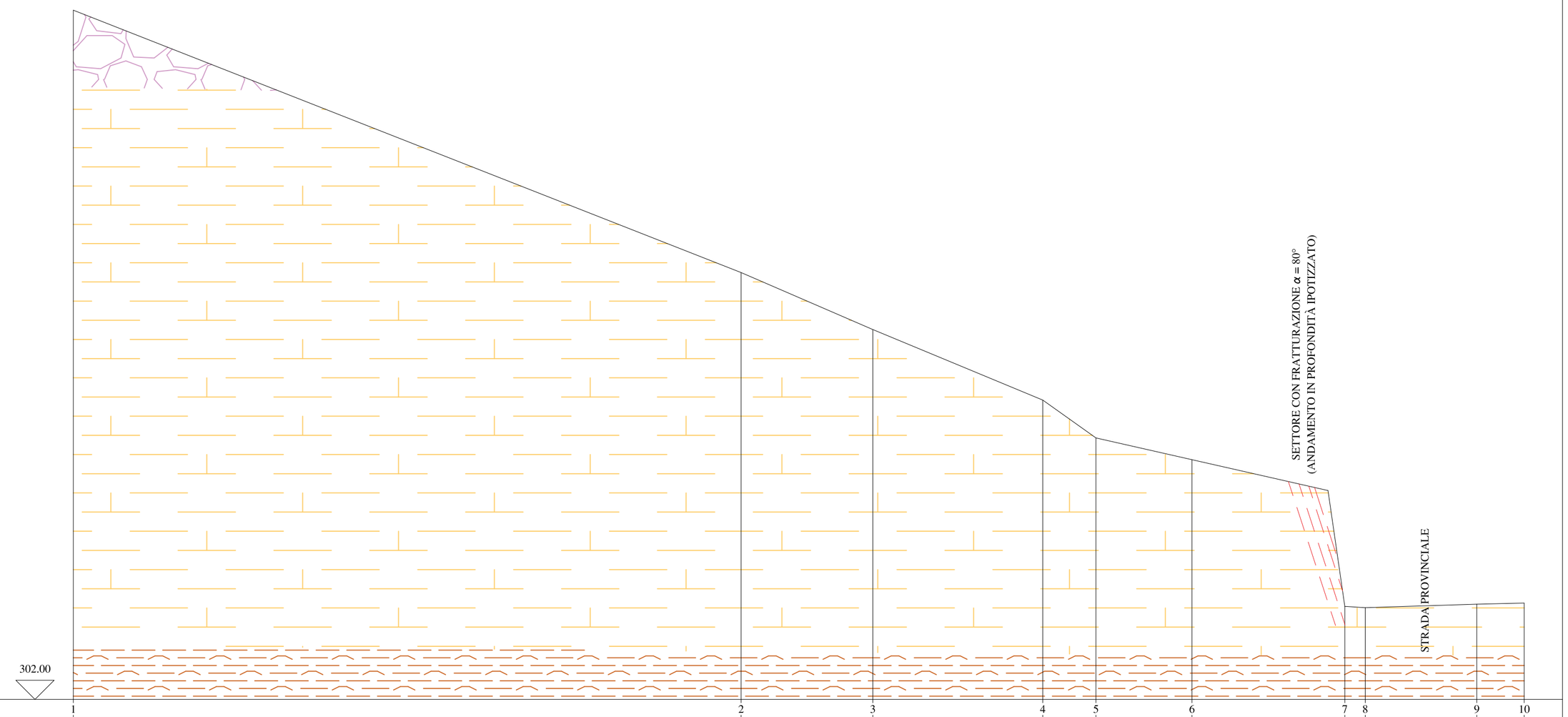
Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso									
Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.76	1-5	93.53211598	71.9	56.9

Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
$\gamma = 16.50$ kN/mc; $\phi = 32 - 34°$; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

CATEGORIA
SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quote Terreno	337.94	324.26	321.28	317.61	315.63	314.50	306.85	306.78	306.96	307.02
Distanze parziali Terreno		34.83	6.87	8.87	2.77	5.01	7.97	1.07	5.81	2.48
Distanze progressive Terreno	0.00	34.83	41.70	50.57	53.34	58.35	66.32	67.39	73.20	75.68

SEZIONE N. 3

LEGENDA

Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
γ = 20 kN/mc; ϕ = 38 - 40°; Dr = 85%;

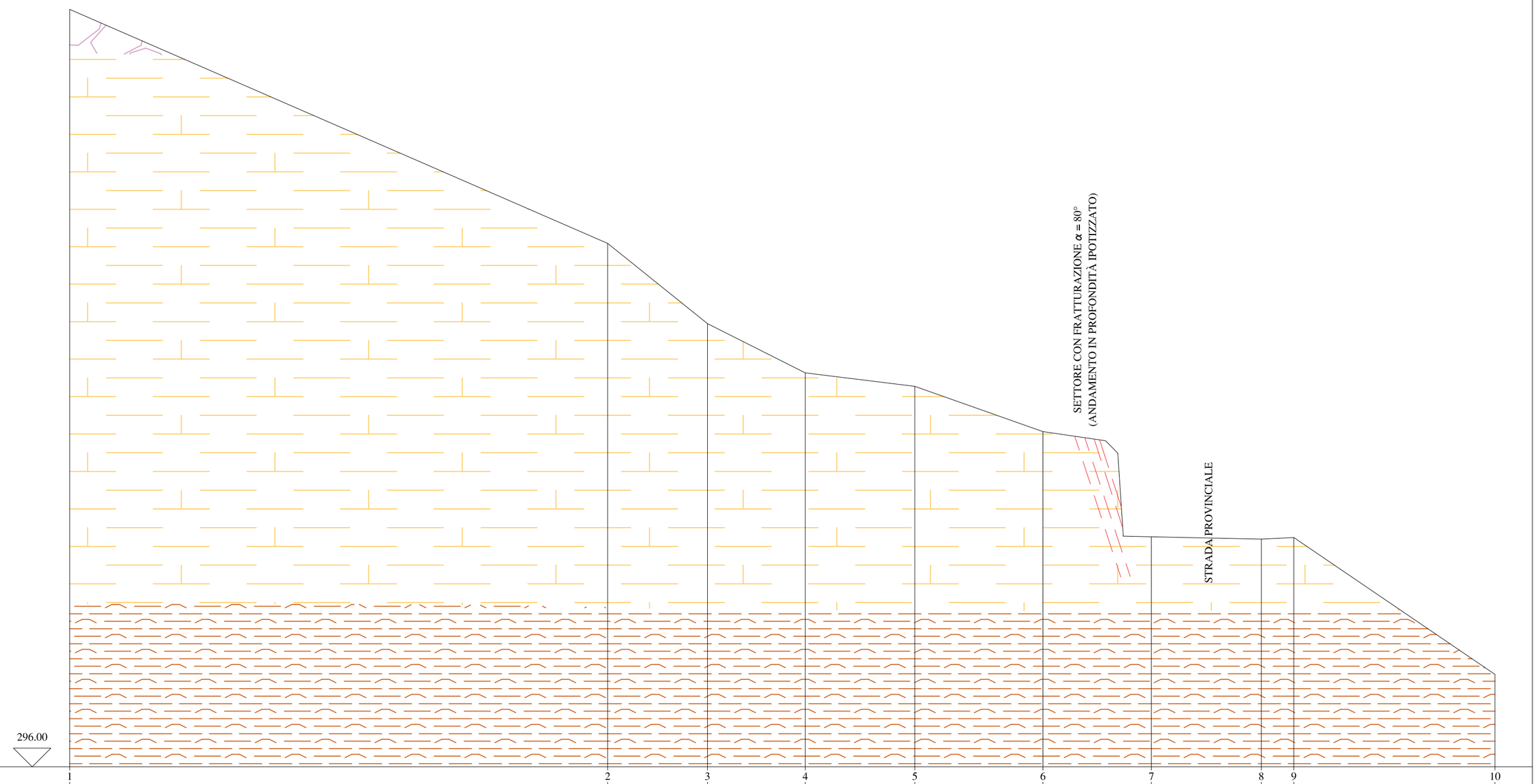
Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso									
Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione So (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.76	1-5	93.53211598	71.9	56.9

Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
γ = 16.50 kN/mc; ϕ = 32 - 34°; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

CATEGORIA
SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Quote Terreno	336.45	323.95	319.66	317.03	316.31	313.90	308.28	308.16	308.24	300.94	
Distanze parziali Terreno		28.73	5.33	5.22	5.85	6.84	5.79	5.87	1.73	10.74	
Distanze progressive Terreno	0.00	28.73	34.06	39.28	45.13	51.97	57.76	63.63	65.36	76.10	

SEZIONE N. 4

LEGENDA

Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
$\gamma = 20$ kN/mc; $\phi = 38 - 40°$; Dr = 85%;

Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

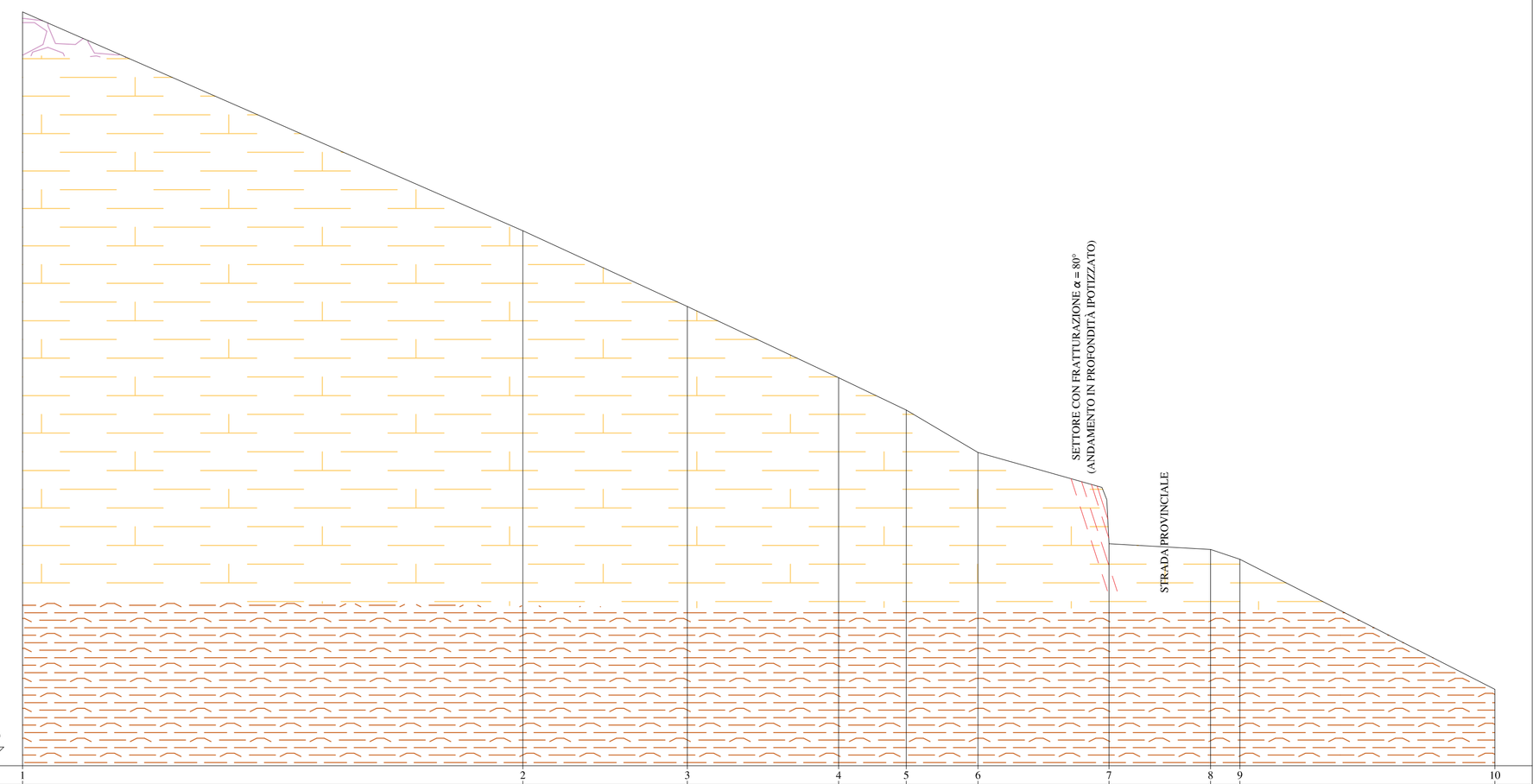
Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione Sa (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.76	1-5	913.5211598	71.9	56.9

Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
$\gamma = 16.50$ kN/mc; $\phi = 32 - 34°$; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

CATEGORIA SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Quote Terreno	336.27	324.58	320.53	316.73	315.00	312.73	307.86	307.55	307.03	300.08	
Distanze parziali Terreno		26.72		8.78	8.08	3.61	3.84	6.99	5.43	1.56	13.62
Distanze progressive Terreno	0.00	26.72	35.50	43.58	47.19	51.03	58.02	63.45	65.01	78.63	

SEZIONE N. 5

LEGENDA

Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
γ = 20 kN/mc; ϕ = 38 - 40°; Dr = 85%;

Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

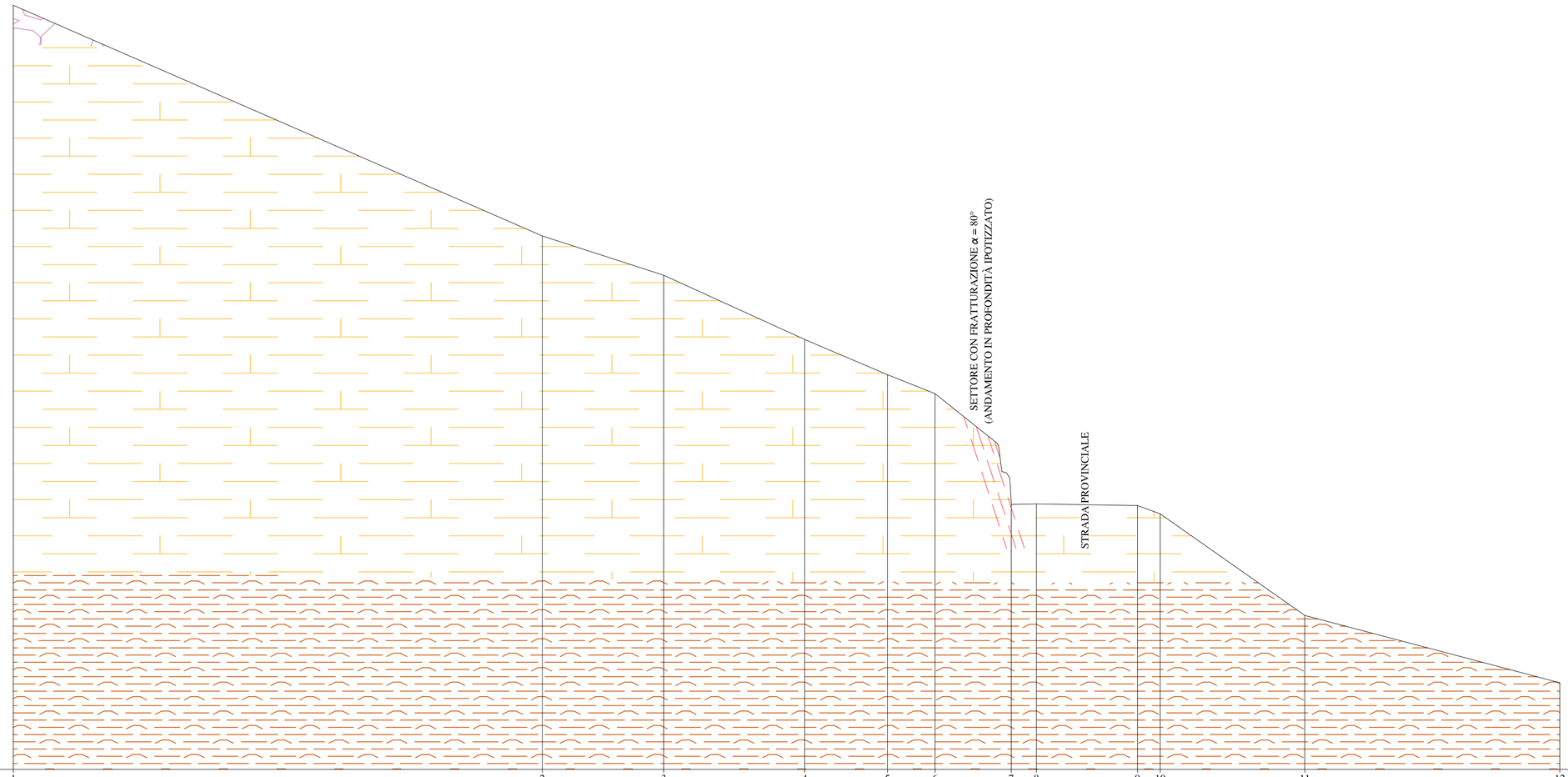
Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.36	1-5	93.53211598	71.9	56.9

Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
γ = 16.50 kN/mc; ϕ = 32 - 34°; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

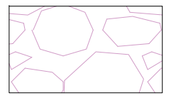
CATEGORIA SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1				2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12
Quote Terreno	336.27				323.51		321.34		317.78		315.84		314.78		308.65		308.68		308.59		308.13		302.52		298.79
Distanze parziali Terreno			29.27				6.71		7.81		4.57		2.64		4.21		1.40		5.59		1.26		7.99		14.11	
Distanze progressive Terreno	0.00				29.27		35.98		43.79		48.36		51.00		55.21		56.61		62.20		63.46		71.45		85.56

SEZIONE N. 6

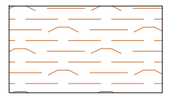
LEGENDA



Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
γ = 20 kN/mc; ϕ = 38 - 40°; Dr = 85%;

Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

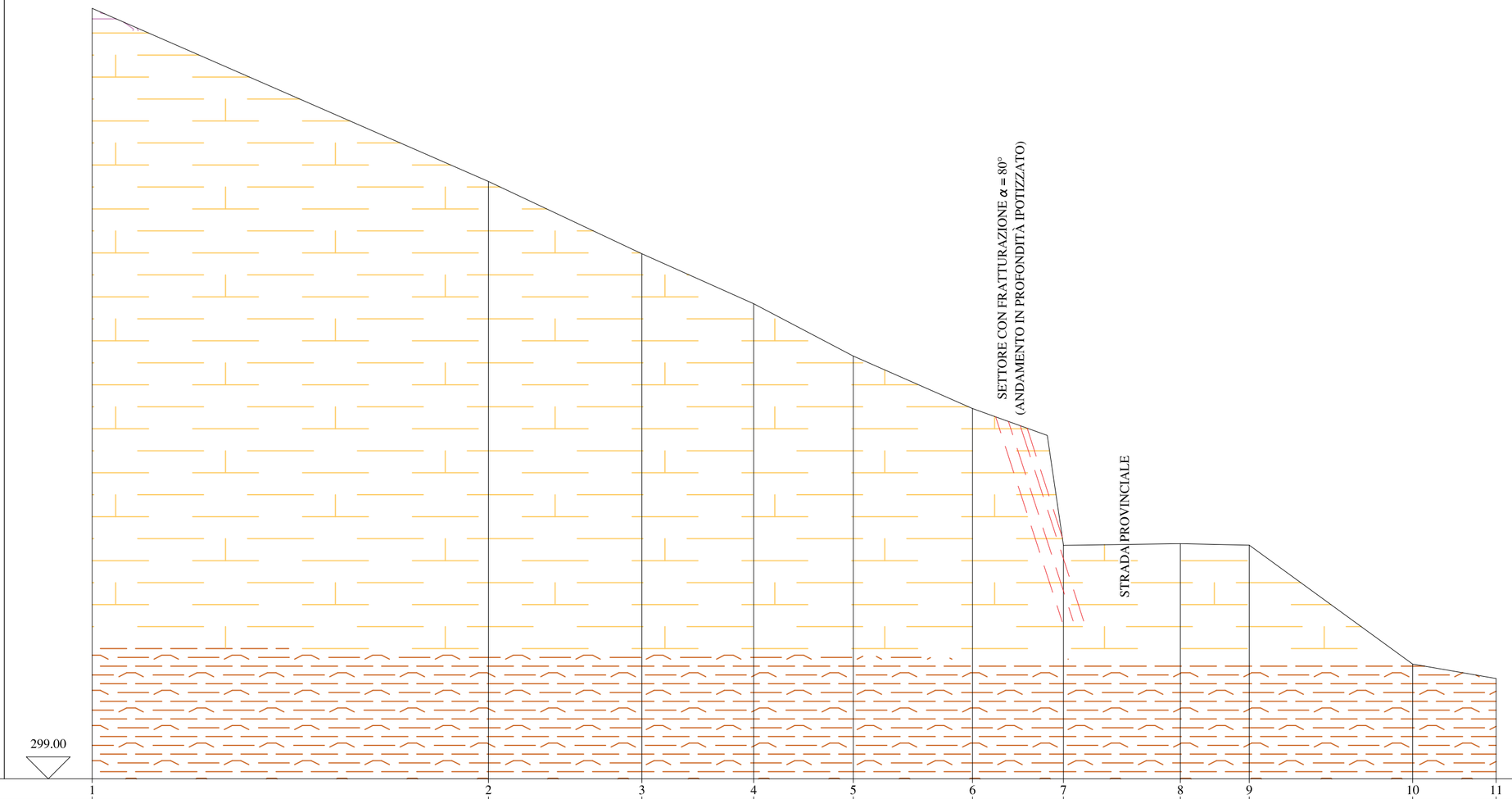
Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso									
Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione So (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.76	1-5	93.53211598	71.9	56.9



Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
γ = 16.50 kN/mc; ϕ = 32 - 34°; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

CATEGORIA SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Quote Terreno	334.05	326.17	322.88	320.61	318.23	315.85	309.62	309.70	309.63	304.22	303.56	
Distanze parziali Terreno		18.03	6.99	5.09	4.53	5.43	4.14	5.32	3.13	7.44	3.79	
Distanze progressive Terreno	0.00	18.03	25.02	30.11	34.64	40.07	44.21	49.53	52.66	60.10	63.89	

SEZIONE N. 7

LEGENDA

Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
γ = 20 kN/mc; ϕ = 38 - 40°; Dr = 85%;

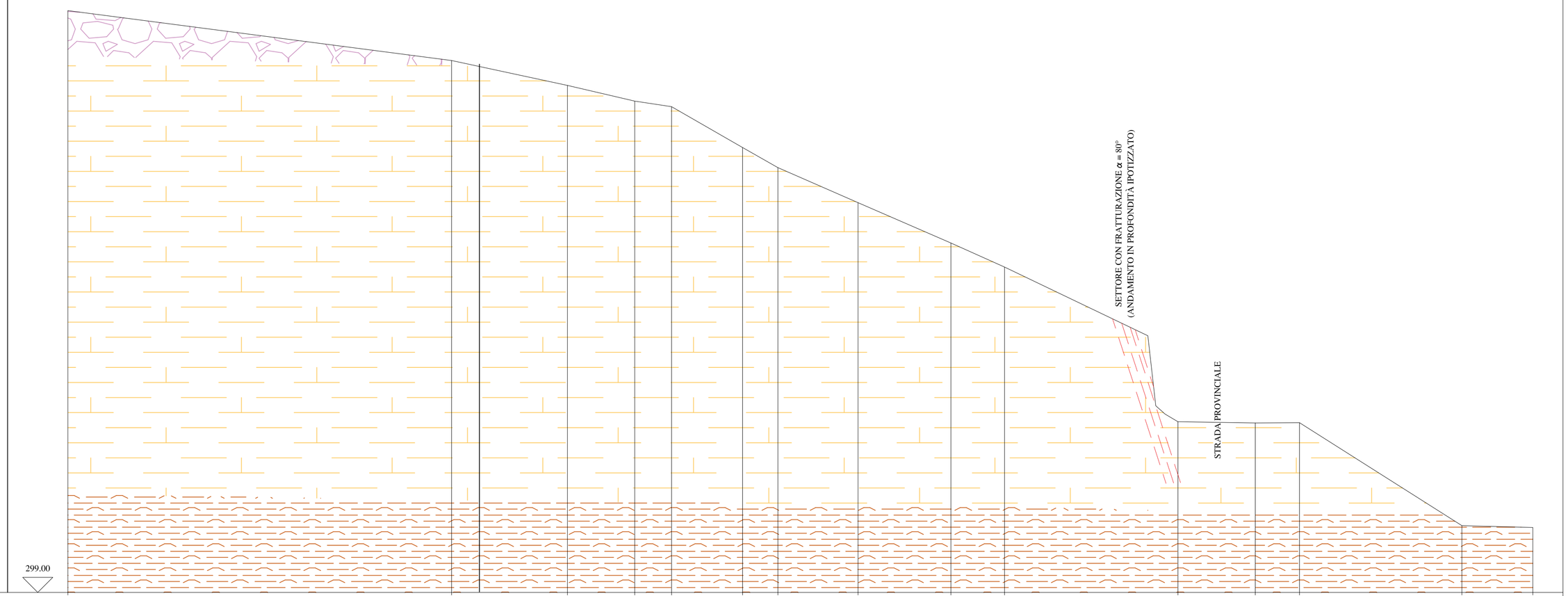
Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso									
Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione Sc (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.76	1-5	93.53211598	71.9	56.9

Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
γ = 16.50 kN/mc; ϕ = 32 - 34°; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

CATEGORIA SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Quote Terreno	337.59	334.28	332.62	331.58	331.21	328.51	327.17	324.85	322.17	320.58	310.32	310.24	310.25	303.43	303.30
Distanze parziali Terreno		25.46	7.69	4.47	2.44	4.71	2.35	5.31	6.17	3.56	11.50	5.13	2.94	10.78	4.70
Distanze progressive Terreno	0.00	25.46	33.15	37.62	40.06	44.77	47.12	52.43	58.60	62.16	73.66	78.79	81.73	92.51	97.21

SEZIONE N. 8

LEGENDA

Lave in colata grigio scure, compatte, afiriche; ove alterate assumono colore grigio chiaro, esfoliazione cipollare ed aspetto pulverulento; composizione trachibasaltico - shoshonitica; localmente l'affioramento è costituito da bombe vulcaniche e lapilli (Unità di Monte Cellere)
$\gamma = 20$ kN/mc; $\phi = 38 - 40°$; Dr = 85%;

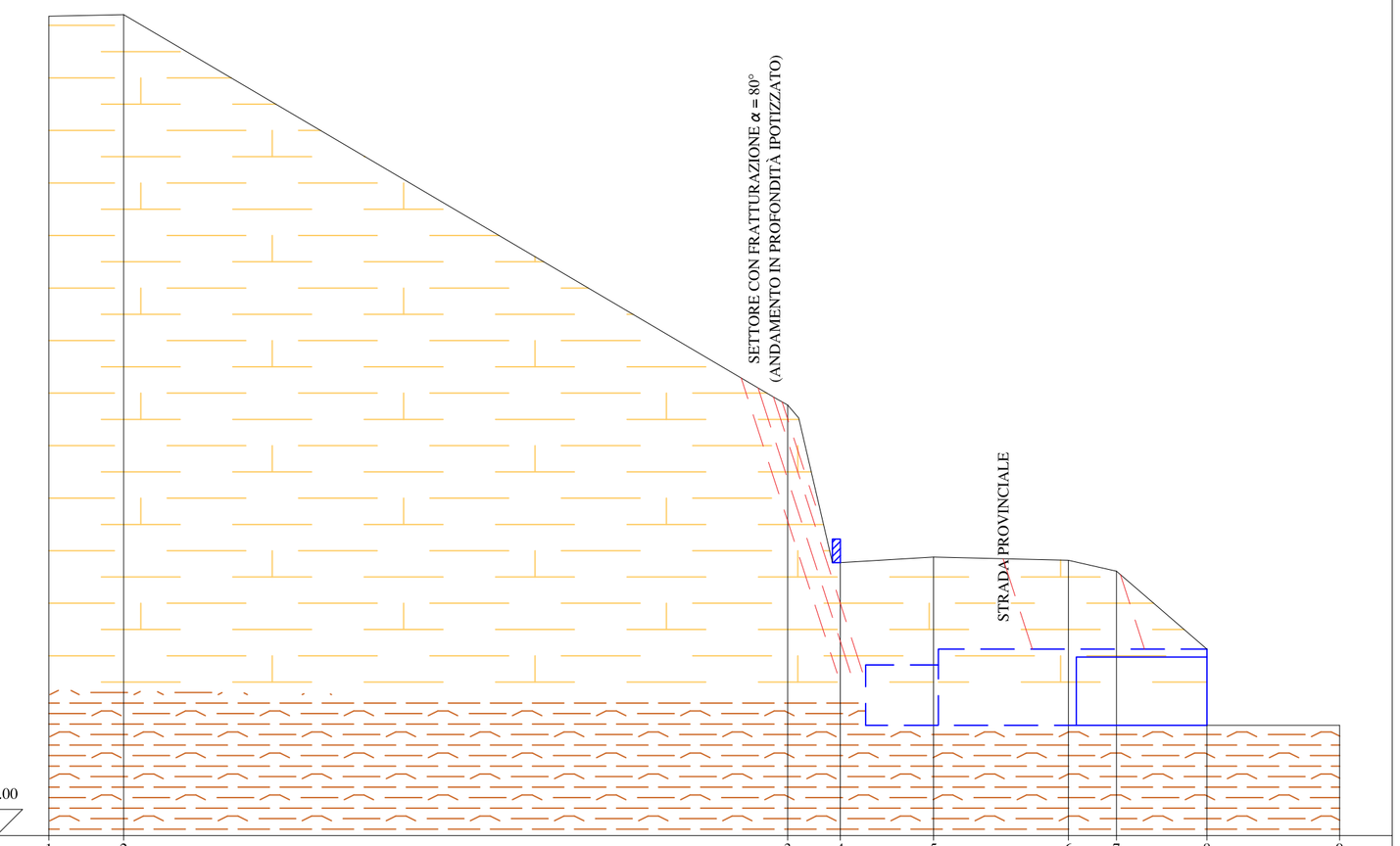
Bancate cineritiche giallo-grigiastre, più o meno zeolitizzate, da massive a laminate, da surge piroclastico, passanti superiormente ad un deposito massivo da colata piroclastica, a matrice cineritica giallo-arancione zeolitizzata, contenente litici vulcanici e blocchi scoriacei (Formazione di Grotte di Castro);

Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso									
Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Resistenza a compressione Sc (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR) base	Rock Mass Rating (RMR) corretto
43.8	66.9	359.5	40.95	287.6	33.76	1-5	93.53211598	71.9	56.9

Deposito massivo, incoerente, a matrice cineritica grigio chiara, contenente pomici grigio chiare anche decimetriche (Formazione di Farnese)
$\gamma = 16.50$ kN/mc; $\phi = 32 - 34°$; Dr = 80%;

SCALA LUNGHEZZE 1 : 200
SCALA ALTEZZE 1 : 200

CATEGORIA SOTTOSUOLO C



Punti battuti Terreno	1		2					3	4	5	6	7	8		9		
Quote Terreno	330.19		330.26					315.39	309.39	309.60	309.48	309.06	303.20		303.20		
Distanze parziali Terreno		2.85				25.26			2.00	3.55	5.13		1.83	3.44		5.05	
Distanze progressive Terreno	0.00		2.85					28.11	30.11	33.66	38.79	40.62	44.06		49.11		

Modello sismico

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs.

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità Vs per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs_{eq} (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio ottenuto dalle indagini sismiche sopradescritte, ed estendendo il calcolo fino alla profondità di 30 metri, risulta che **la velocità Vs30** ottenuta, mediata tra i valori ottenuti dalle 3 indagini sismiche eseguite, è **350 m/s**, collocando tali terreni nella classe di **tipo C**, della tabella ministeriale.

In base alla riclassificazione sismica definita dalla OPCM 3519/06, recepita da D.G.R. Lazio n. 387/09 e D.G.R. Lazio n. 835/09, il comune di Tessennano è classificato in ZONA 2, sottozona B.

Ai fini della determinazione dell'azione sismica, si definiscono le seguenti classi di litotipo con le seguenti caratteristiche:

Categoria suolo	Tipo	N_{SPT}	C_u (kPa)	Velocità onde di taglio
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			Vs > 800 m/sec
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	N > 50	C_u > 250	360 m/sec < Vs < 800 m/sec
C	**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s**	**15 < N < 50**	**70 <C_u < 250**	**180 m/sec < Vs < 360 m/sec**

D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s	N < 15	C_u<70	100 m/sec < Vs < 180 m/sec
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

Categoria suolo	S_s	C_c
C	$\mathbf{1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.50}$	$\mathbf{1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}}$

Tenendo conto delle disposizioni delle suddette normative, in base ai risultati delle indagini in situ, è possibile classificare il locale sottosuolo come **tipo C** (180 m/s < Vs_{30} < 360 m/s).

Rischio sismico

Studi recenti riguardanti la distribuzione delle Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (*Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15*) indicano, per la zona in oggetto, dei valori intorno al **sesto-settimo** grado della scala macrosismica MCS.

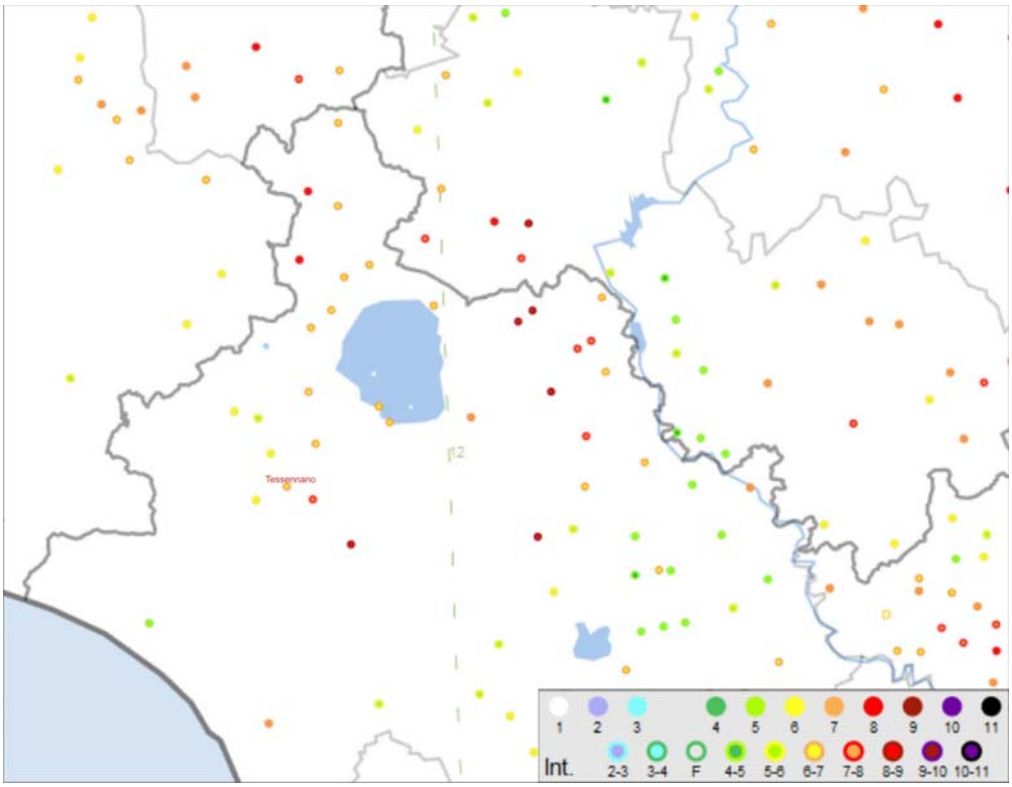


Figura n. 6 - Stralcio DBMI15 Massime intensità macrosismiche osservate (2015)

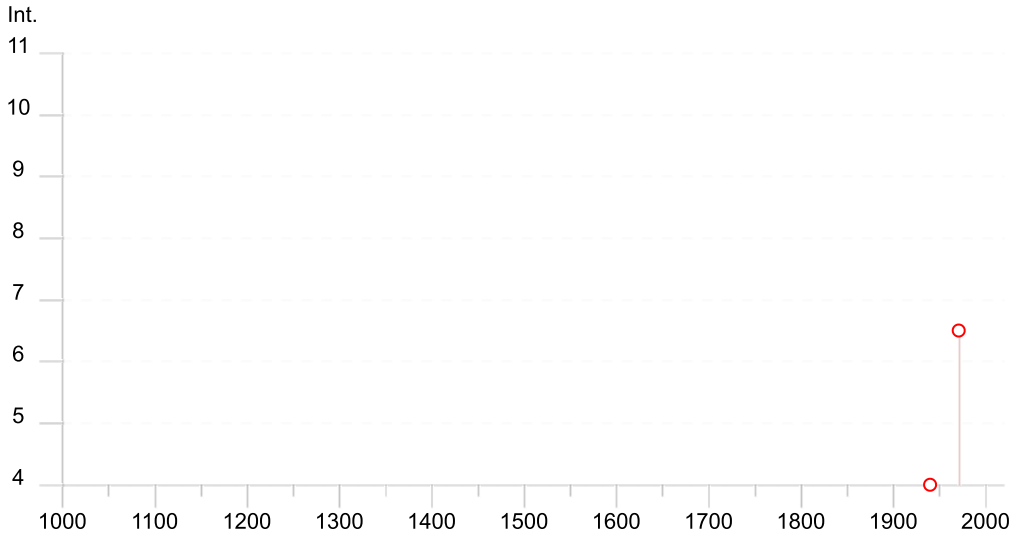
Dall'analisi del Catalogo parametrico dei terremoti italiani (*Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15*), si riportano di seguito in tab. 1 i più importanti eventi sismici avvenuti nella zona e che hanno avuto un grande risentimento nell'area in studio.

***TAB. 1** – Elenco degli eventi sismici sia storici che strumentali che hanno interessato direttamente o indirettamente l'area in studio. Int. - intensità al sito (MCS); Area Epicentrale - Denominazione dell'area dei maggiori effetti; MDP- Macroseismic Data Point; Io - Intensità epicentrale (MCS); Mw - magnitudo momento (Hanks T.C., Kanamori H., 1979).*

Tessennano

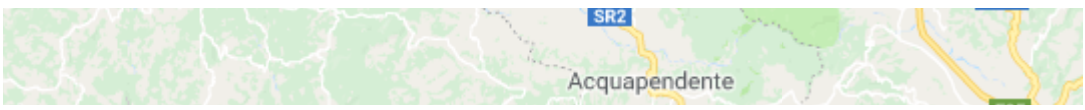
PlaceID	IT_52956
Coordinates (lat, lon)	42.477, 11.790
Municipality (ISTAT 2015)	Tessennano
Province	Viterbo
Region	Lazio
No. of reported earthquakes	7

Effects	Reported earthquakes									
Int.	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**Epicentral area**	**NMDP**	**Io**	**Mw**
4	1940	10	16	13	17		Val di Paglia	106	7-8	5.29
2	1969	07	02	07	55		Monti della Tolfa	72	7	4.77
6-7	1971	02	06	18	09		Tuscania	89	7-8	4.83
NF	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
3	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
NF	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
NF	2005	12	15	13	28	3	Val Nerina	350	5	4.14



Closest localities (within 10km) with reported macroseismic observations

Place name	EQs	Distance (km)
Arlena di Castro	7	3
Canino	12	4
Cellere	10	4
Piansano	13	5
Ischia di Castro	17	8
Tuscania [Toscanella]	28	9
Farnese	14	10

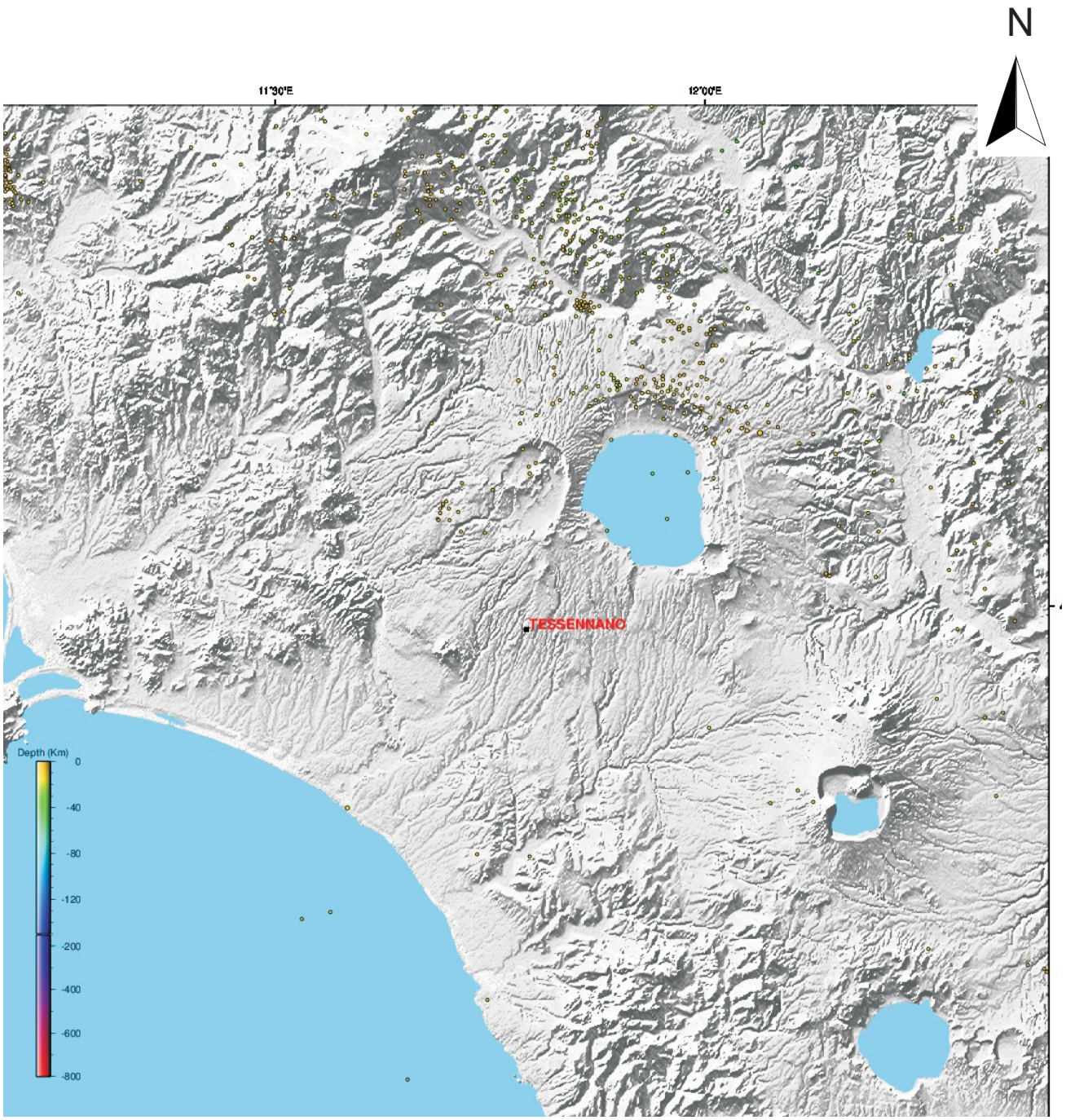


COMUNE di TESSENNANO (VT)

CARTA DELLA SISMICITA' STRUMENTALE

(Sismicità registrata nel periodo 1997-2018)

Fonte dei dati: Progetto ISIDE http://iside.rm.ingv.it/)



Dall'analisi dei recenti inventari di faglie attive, nello specifico è stato consultato il Diss 3.2.0 (*Diss Working Group, 2005 - consultabile on-line: http://www.ingv.it/DISS/) e dalla carta delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti C., Valenzise G. et al., 2004*) emerge che il comune di Tessennano è posto all'interno della zona 921 ed in prossimità della zona 920.

La zona 921 è caratterizzata da una diffusa sismicità di energia moderata, correlata ad elevato flusso di calore, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri: Bagnoregio 1695, Orciano Pisano 1846, Piancastagnaio 1919 (Mongelli e Zito, 1991).

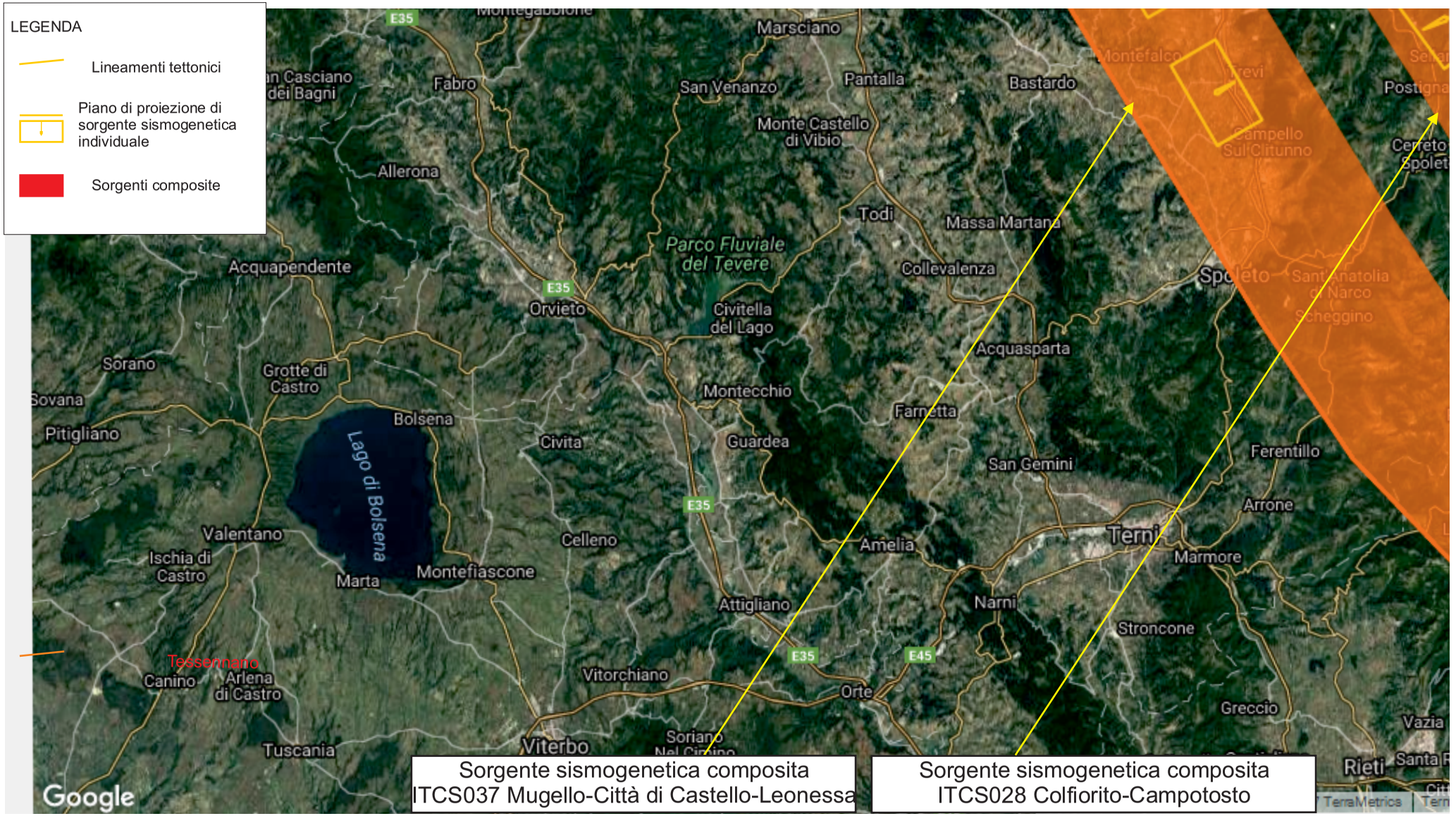
La zona 920, che coincide con la porzione inferiore del settore in distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti et al. (2000), è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.

L'area in studio inoltre può risentire degli effetti di terremoti che si verificano in settori appenninici interessati da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche, come l'Appennino Centrale, in particolar modo, i terremoti associati alle sorgenti sismogenetiche composite ITCS037 (Mugello-Città di Castello-Leonessa) e ITCS028 (Colfiorito-Campotosto) (DISS 3.2.0).

COMUNE di TESSENNANO (VT)

CARTA DELLA SISMICITA' STORICA, STRUMENTALE E DELLE STRUTTURE SISMOGENETICHE

Dati disponibili on-line:DISS 3.2.0 http://diss.rm.ingv.it/dissmap



Con l'Ordinanza PCM 3274/03, la successiva OPCM 3519/06, recepita dalla Regione Lazio nella riclassificazione sismica 2009 (DGR Lazio 387/09 e DGR 835/09) e il D.M. del 14.01.2008 si sono andati chiarendo e semplificando i rapporti fra esigenze normative e formati secondo i quali la pericolosità sismica deve essere valutata.

I dati di pericolosità sismica prodotti da INGV (MPS04 e successive integrazioni prodotte nell'ambito del progetto INGV-DPC S1, disponibili sui siti web (*http://zonesismiche.mi.ingv.it/ e http://esse1.mi.ingv.it/*) hanno fornito una prima risposta, che ha avuto un riconoscimento ufficiale nell'Ordinanza PCM 3519/06 aventi oggetto i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

L'area in studio è stata classificata appartenente alla 2^ categoria – sottozona "B" (vedi Carta Classificazione Sismica).

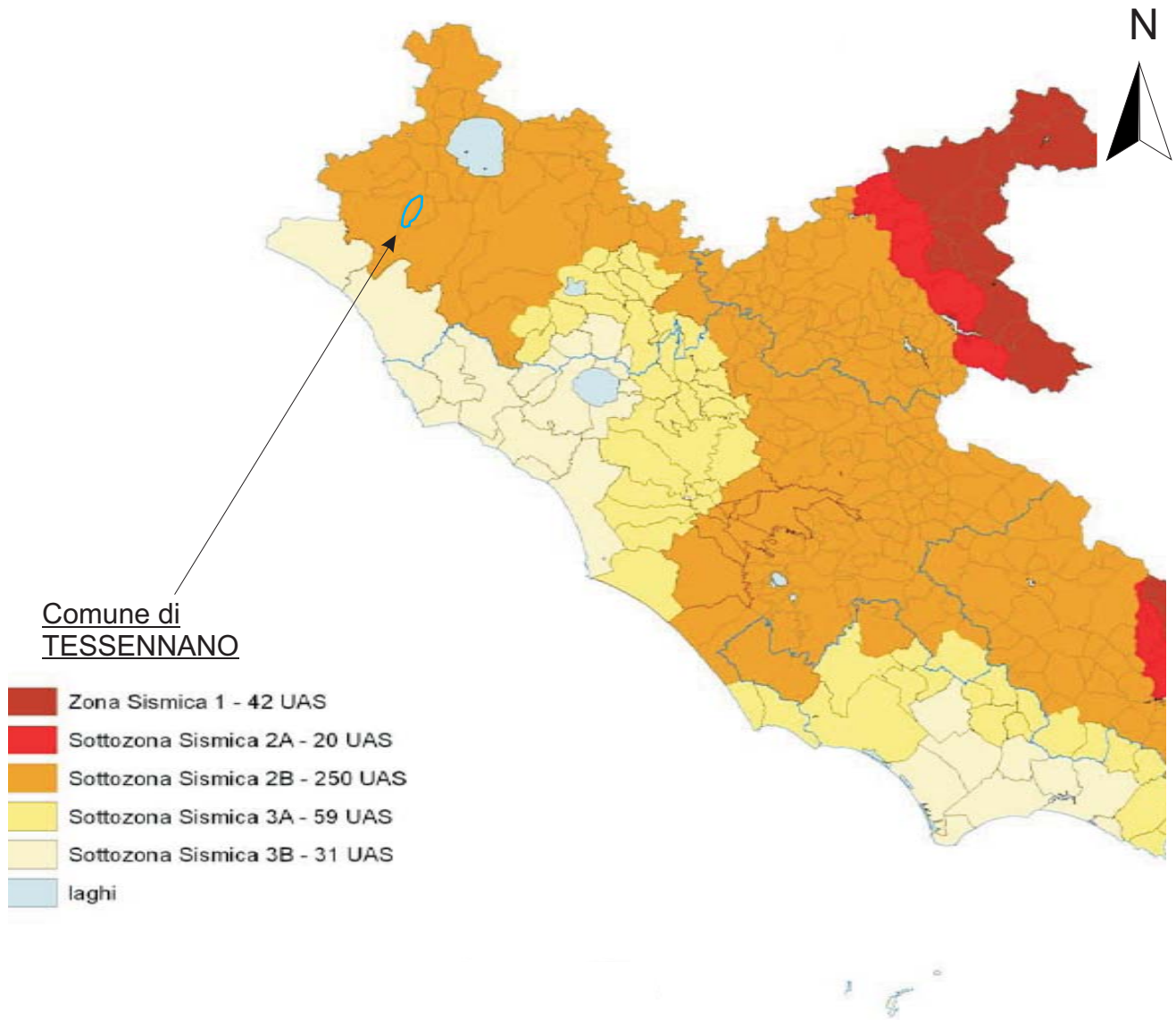
Dalla carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (in allegato), si osserva che la pericolosità sismica è stimata con una maggiore precisione; di fatto le variazioni sono continue e graduali, pertanto l'accelerazione orizzontale massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi è compresa tra **0,125-0,150** g, vale a dire lo scuotimento atteso del terreno in termini di accelerazione, cioè quanto è repentino l'aumento di movimento.

La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (es. McGuire, 1995; Bazzurro e Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

COMUNE di TESSENNANO (VT)

CARTA CLASSIFICAZIONE SISMICA

Ordinanza P.C.M. 3519 del 28/04/06 e con recepimento
delle variazioni operate dalla D.G.R. 387 del 22/05/2009

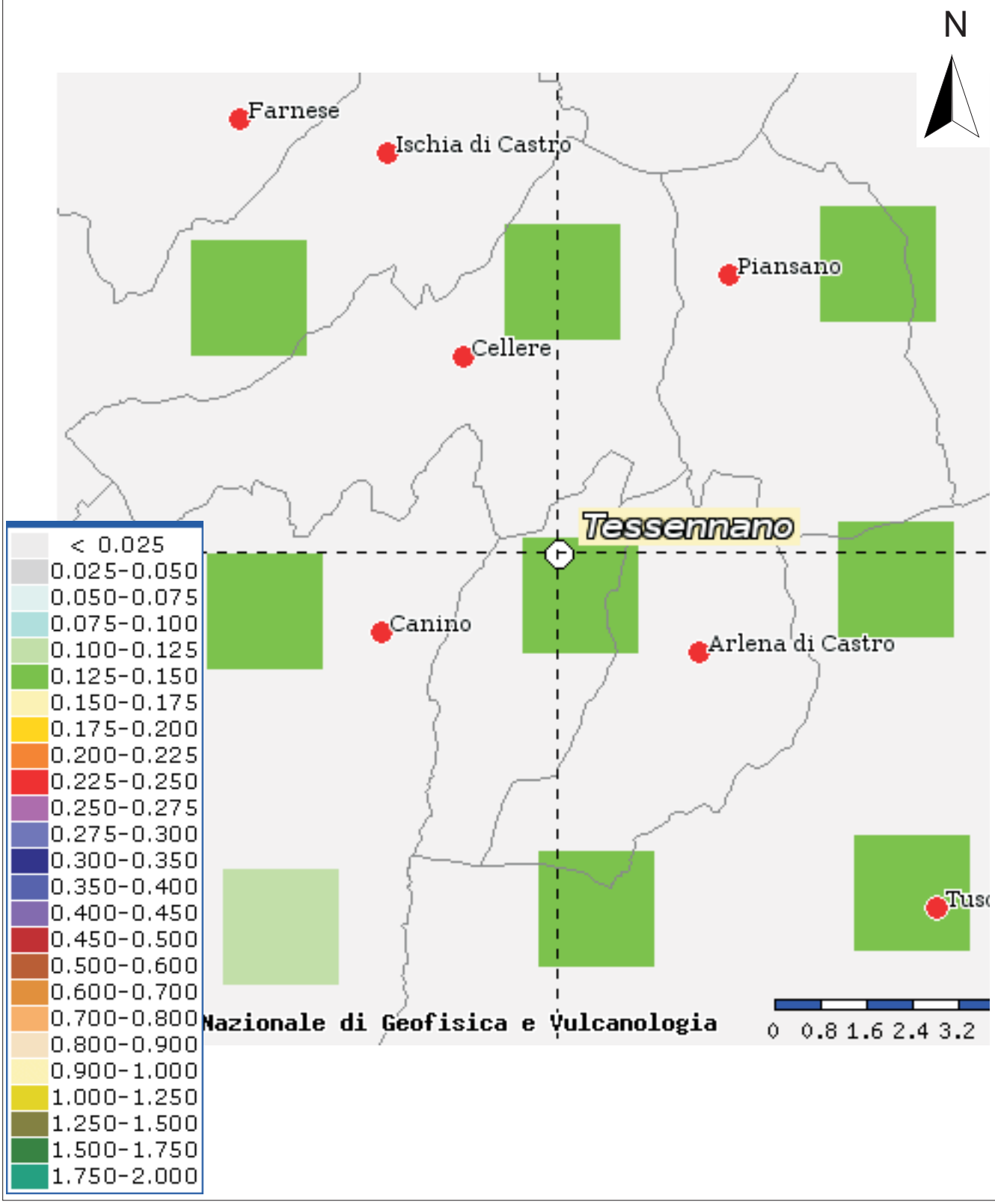


Limiti comunali dell'area in studio

COMUNE di TESSENNANO (VT)

CARTA DEI VALORI DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO

(rif. Ordinanza PCM 3519 del 28/04/06 e con recepimento
delle variazioni operate dalla D.G.R. 387 del 22/05/2009)
Espressi in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza > 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi (Vs> 800m/s)

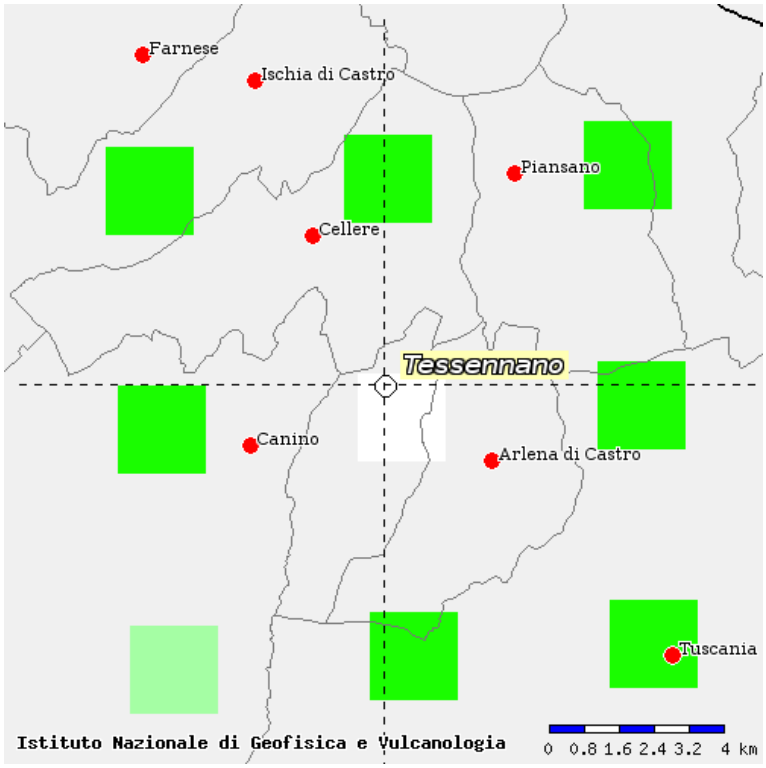


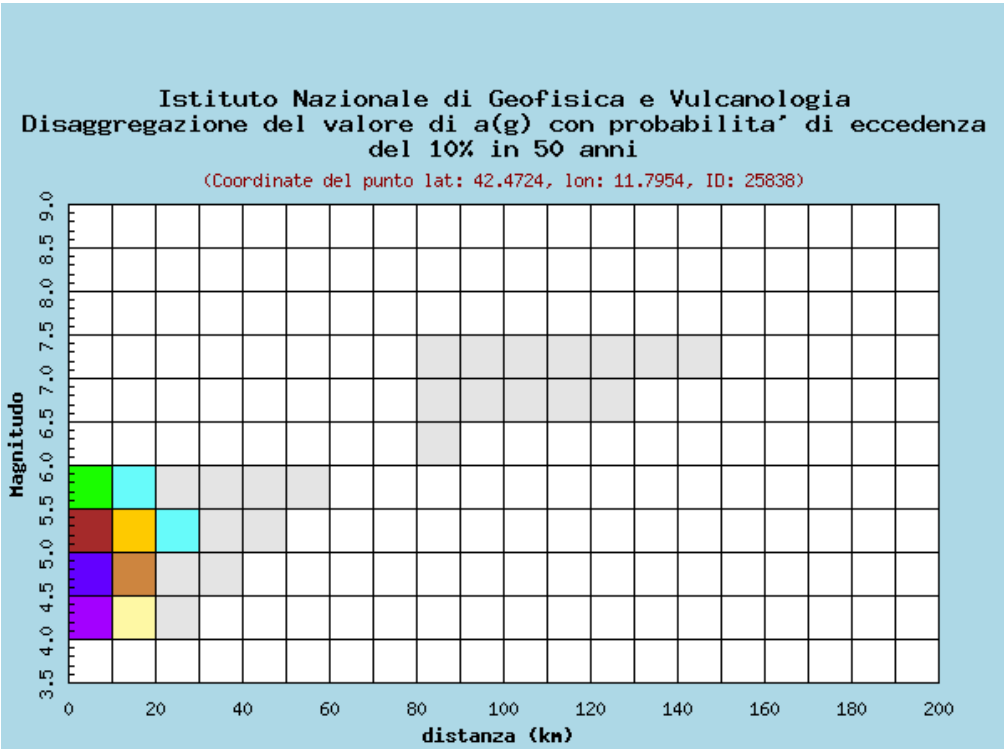
La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

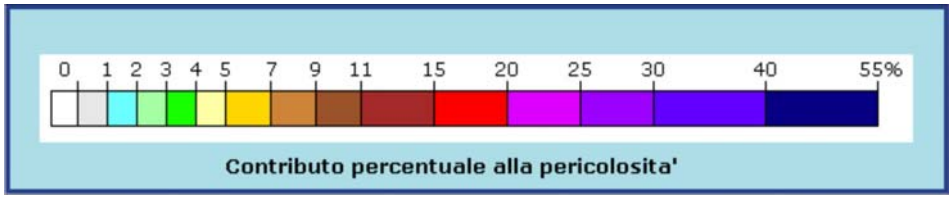
Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Analogamente alla disaggregazione in M-R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R-ε dove ε rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

Con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per una struttura in Classe d'uso 2, il valore di a(g) risulta pari a 0.138 per l'area urbana, di conseguenza risulta:


Farnese
Ischia di Castro
Piansano
Cellere
Tessennano
Canino
Arlena di Castro
Tuscania
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
0 0.8 1.6 2.4 3.2 4 km


Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni
(Coordinate del punto lat: 42.4724, lon: 11.7954, ID: 25838)
Magnitudo
3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
distanza (km)



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.4724, lon: 11.7954, ID: 25838)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	26.300	35.600	12.500	3.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	4.070	8.540	5.170	1.930	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.051	0.697	1.030	0.584	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.004	0.145	0.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.003	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.013	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.030	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.028	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.021	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.770	7.430	0.839

I parametri di disaggregazione riferiti allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) con tr = 475 anni che emergono dall' analisi dei dati ottenuti sono i seguenti:

4 < M < 5.5 0 Km < R < 30 km

La disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-□, eseguita nell' ambito della convenzione INGV-DPC 2004 – 2006/ Progetto S1, mostra che, per il territorio del Comune di Tessennano, *non è possibile escludere l'occorrenza di eventi sismici con magnitudo superiore a 5*.

Il sito rientra in zona suscettibile di amplificazione della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) prodotta nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del comune di Tessennano validato dall'Ufficio Geologico e Sismico Regionale ai sensi della D.G.R. Lazio 545/10 (in allegato).

Le misure di sismica passiva a stazione singola (HVSR) eseguite dal sottoscritto all'interno dell'area d'intervento, rientrano nei criteri SESAME (2004) per un picco affidabile.

L'analisi delle misure evidenzia la presenza di un picco H/V stratigraficamente significativo intorno a **1.44 – 1.66 Hz**, associato probabilmente al passaggio con l'unità della successione del flysch costituita da calcari e calcari marnosi.

In ogni caso il picco rientra nel trend di misure eseguite dal sottoscritto nel sito oggetto d'intervento e in aree limitrofe e va considerato *frequenza di risonanza fondamentale del sito*, e pertanto bisogna tenerne conto in fase progettuale per evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza, che possono interessare edifici aventi frequenza di risonanza confrontabile con la frequenza fondamentale di sito.

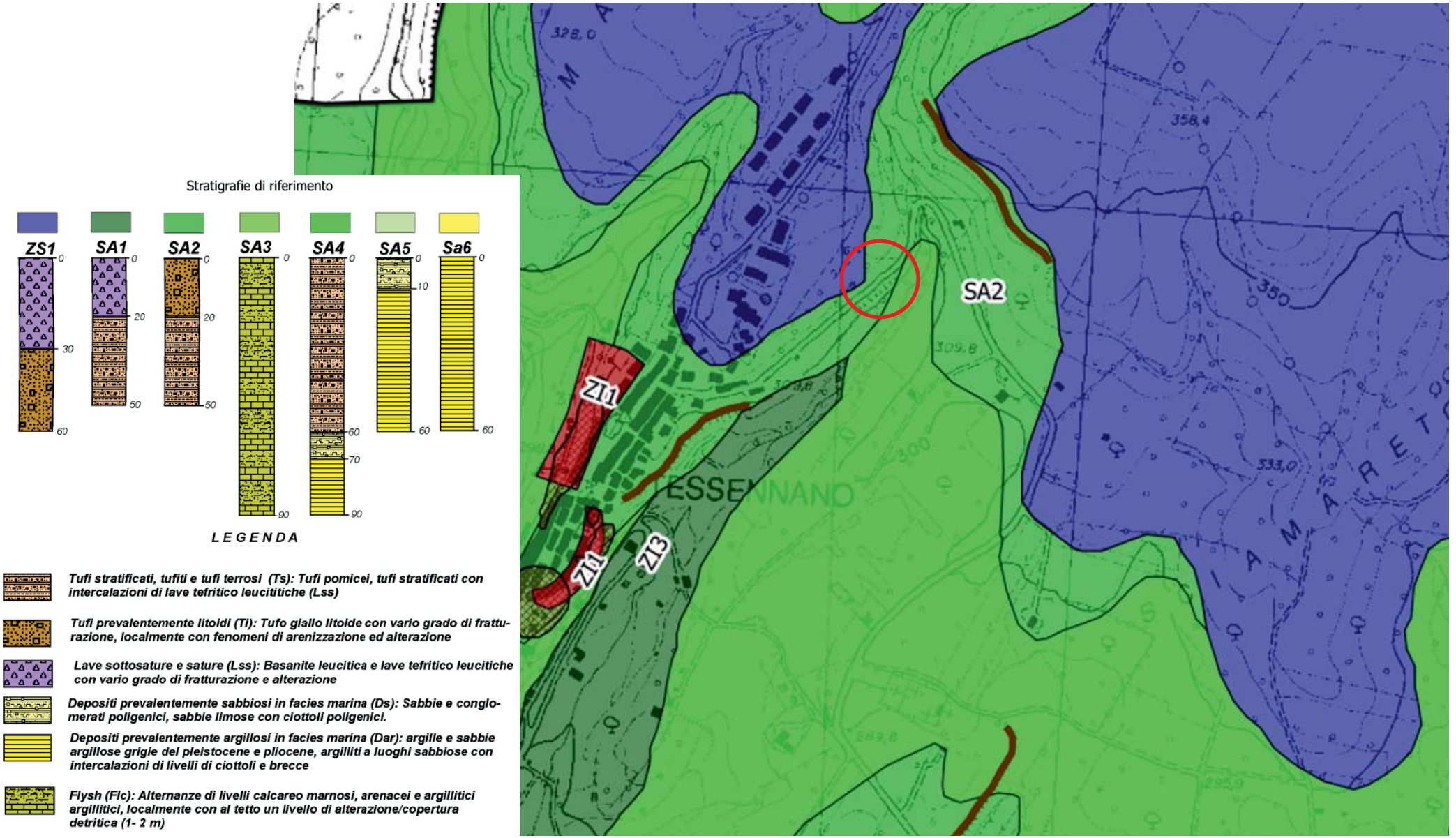
COMUNE di TESSENNANO (VT)

SP 14

STRALCIO CARTA DELLE MOPS

Microzonazione Sismica - Livello I validato

Scala 1:10000



Pericolosità sismica di base

Secondo le NTC di cui al D.M. 17/01/18 la stima della pericolosità sismica di base o locale, intesa come accelerazione orizzontale massima attesa a_g su suolo rigido e orizzontale, viene definita mediante un approccio "sito dipendente", ovvero la stima dei parametri spettrali, necessari per la definizione dell'azione sismica sia per la valutazione della sicurezza e sia per il progetto degli interventi, è calcolata direttamente per il sito in esame (in coordinate geografiche nel sistema di riferimento ED50).

Le azioni sismiche nei confronti degli stati limite sono individuate riferendosi alle prestazioni delle opere da realizzare e valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r con la seguente relazione:

$V_r = V_n$ (vita nominale della struttura) x C_u (coefficiente d'uso).

Le forme spettrali relative a ciascuno degli stati limite, cui corrispondono determinate probabilità di superamento P_{Vr} nel periodo di riferimento, sono definite in condizioni di campo libero a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido e orizzontale:

- a_g (o P_{ga}) accelerazione massima al sito determinata su un reticolo a maglia inferiore a 10 Km (corrispondente all'ordinata spettrale per t = 0);
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c periodo di inizio di tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su suolo rigido.

- T_o L'azione tellurica è caratterizzata da tre componenti, due orizzontali (x,y) ed una verticale (z), cui corrispondono due distinti spettri di risposta.

Tramite il *software sperimentale SPETTRI 1.03* del *Ministero delle Infrastrutture e Trasporti*, è possibile stimare i parametri per la definizione dell' azione sismica per i vari stati limite considerati e per il sito, tenendo conto delle seguenti condizioni:

- Coordinate ED50 del sito: Lat 42.481319 e Long 11.795650;
- Vita nominale V_N: ≥ 50 anni;
- Classe d'uso: II (*costruzioni con normali affollamenti di persone, stabilità pendii*), coefficiente Cu= 1.0;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N \times C_u$= 50 anni

Ai quattro stati limite, Stato limite di immediata operatività (SLO), Stato limite di danno (SLD), Stato limite di salvaguardia della Vita (SLV) e Stato limite di prevenzione del Collasso (SLC) sono stati attribuiti (v. Tabella 3.2.1 delle NTC) i valori della probabilità di superamento P_{Vr} nel periodo di riferimento pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, cui corrispondono periodi di ritorno di anni 30, 50, 475, 975.

I parametri di azione sismica per i diversi stati limite sono riportati in tabella:

Stato limite	T_r (anni)	a_g/g	F_o	T^*_c (sec)
SLO	30	0.044	2.477	0.241
SLD	50	0.056	2.492	0.252
SLV	475	0.138	2.472	0.279
SLC	975	0.174	2.504	0.284

L'azione di progetto deve essere determinata considerando la categoria di sottosuolo, nella fattispecie tipo **C**, e la categoria topografica, nella fattispecie **T2** (*pendio con altezza maggiore di 30 m*).

Valutazione del potenziale di liquefazione

La liquefazione è un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi sciolti e saturi, per effetto di un rapido e significativo aumento della pressione interstiziale (u).

E' uno dei fenomeni più evidenti che possono essere causati da un terremoto.

L'oscillazione del terreno prodotta dallo scuotimento sismico favorisce la costipazione dei granuli, che, in condizioni non drenate induce un aumento della pressione dei fluidi.

Questa avrà come effetto una riduzione della pressione efficace e quindi della resistenza meccanica del materiale.

Maggiore è la durata del terremoto, più alta è la possibilità che si arrivi a liquefazione.

La verifica alla suscettibilità di liquefazione, in ottemperanza alle prescrizioni contenute nel 7.11.3.4.2 delle NTC2018, può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 a(g);
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60}$ > 30 oppure q_{ciN} > 180, dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{ciN} è il valore della resistenza determinata in prove

penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (fig. 7.11.1 a,b, NTC 2018) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

Nella fattispecie, è stato possibile omettere la verifica a liquefazione in quanto, dall'esame dei dati ottenuti dalle indagini, si è potuto escludere sia la presenza di depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} < 30$ oppure $q_{ciN} < 180$, sia una profondità media stagionale della falda inferiore a 15 metri dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.

Considerazioni conclusive

Il presente studio è stato sviluppato prevedendo una fase di rilevamento in campagna dei caratteri geologico – geomorfologici dell'area, seguita dall'esecuzione di rilievo geomeccanico e analisi geostrutturale degli ammassi rocciosi e delle cavita' sottostanti la SP 14.

Questa fase è stata seguita da indagini dirette in situ consistite in due prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH, da cui sono stati ricavati i parametri geotecnici che, unitamente ai dati ottenuti dalla caratterizzazione geomeccanica dei litoitipi a consistenza litoide desunta dai rilievi in parete, hanno permesso di ricostruire un modello geologico e geotecnico del volume di terreno interessato dall'intervento in progetto.

Sono state inoltre eseguite un'indagine geofisica di tipo MASW e due indagini di sismica passiva a stazione singola di tipo HVSR, e dall'elaborazione dei dati ottenuti è stato possibile considerare Vs_{eq} = Vs30 e stimarne il valore, necessario per la valutazione degli effetti di sito stratigrafici sull'azione sismica in superficie.

Il settore esaminato presenta alcune criticità e una pericolosità da crollo ritenuta media, tendente a medio-elevata, che suggeriscono un intervento di consolidamento in quanto la posizione della rupe rocciosa, che è sottostante un abitato e soprastante una strada provinciale, ne incrementa il livello di rischio.

L'intervento che si consiglia è costituito dalla messa in opera di reti paramassi, da una maglia di chiodature che potrà anche essere irregolare in modo da assecondare la

morfologia delle roccia posizionando le chiodature nei punti di massima efficacia e dall'eventuale disgaggio di blocchi pericolanti.

Dall'esame delle spaziature e dalla disposizione delle fratture rilevate si ritiene che le eventuali chiodature possano avere una lunghezza non inferiore a 6 metri.

Laddove sono presenti litotipi granulari incoerenti si consiglia di realizzare opere di sostegno compatibilmente con i criteri minimi ambientali (CAM) introdotti con il Piano d'azione nazionale sul Green Public Procurement (PANGPP).

E' inoltre necessario procedere con la messa in sicurezza delle cavità presenti al di sotto della sede stradale, eseguendo il tombamento delle stesse.

I risultati dei rilievi e delle indagini rimandano la valutazione della compatibilità geotecnica del sedime ad un'analisi delle tensioni indotte dalle opere in progetto.

Il sottoscritto resta a disposizione per ogni chiarimento ed approfondimento.

Grotte di Castro (VT), lì 21 luglio 2018

Geol. Sante Camilli

-

PROVINCIA DI VITERBO

COMUNE DI TESSENNANO

Oggetto:
RILIEVI IN PARETE E SOTTO LA SEDE STRADALE, MEDIANTE ANALISI GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSIE DELLE CAVITA' SOTTOSTANTI LA SP 14

Committente:
Amministrazione comunale di Tessennano.

RILIEVO GEOMECCANICO

Geopro di Massimiliano Mazzocca

Via Rendano, 11 -87040- Castrolibero (Cs)
Cf. MZZMSM70T03D086L P.Iva 02745420782
Mail: info.geopro@gmail.com

Castrolibero 12/08/18

Premessa

A seguito dell'incarico ricevuto dalla amministrazione comunale di Tessennano (VT), ho ispezionato un tratto di circa 170m a ridosso della SP 14, effettuando un rilievo geo-strutturale lungo le scarpate a monte della stessa, per un dislivello di circa 30 m e ispezionato le cavità antropiche presenti al di sotto della sede stradale.

Il sopralluogo ha avuto come obiettivo la valutazione d'insieme dello stato dell'ammasso roccioso e il rilievo delle discontinuità principali, caratterizzanti lo stesso dal punto di vista della stabilità.

il rilievo è stato eseguito con il metodo della bussola e del clinometro, secondo le raccomandazioni ISRM, annotando su opportune schede i valori delle grandezze necessarie alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso nel suo complesso (spaziatura, apertura, persistenza) e condizioni idrauliche e di resistenza delle discontinuità (scabrezza, resistenza delle pareti, grado di alterazione, materiali di riempimento).

I dati sono stati acquisiti lungo tutti gli affioramenti presenti nell'areale coinvolto dal progetto e sono stati elaborati da un punto di vista statistico e rappresentati su un diagramma stereonet, ricavando la distribuzione spaziale delle fratture e l'addensamento in 5 famiglie principali di joins, di seguito sets. Parallelamente si sono valutate condizioni di instabilità secondo cinematismi di ribaltamento, scivolamento lungo piani preferenziali e crollo in corrispondenza dell'incrocio di più fratture. Infine si sono ricavati i parametri caratteristici tramite la classificazione dell'ammasso roccioso secondo la metodologia di Beniawsky e Romana, ottenendo una caratterizzazione geotecnica che potrà essere utilizzata dal progettista nella definizione e nel dimensionamento degli interventi di stabilizzazione del versante.

Osservazioni morfologiche

Il fronte osservato ha una lunghezza di circa 170 m e un'altezza di circa 30 m. Il tratto a monte del piano strada presenta una prima scarpata quasi verticale che si estende lungo un dislivello di circa 5 - 7 m per poi proseguire con una pendenza media di 25°/30°. Alcuni tratti del versante sopra la strada presentano delle piccole falesie verticali di poche decine di metri quadri di sviluppo, caratterizzate da limitati affioramenti. La scarpata sotto il piano stradale ha una pendenza leggermente superiore e si sviluppa per circa 5 m per poi proseguire con un tratto verticale, in corrispondenza degli ingressi delle cavità antropiche scavate nei depositi piroclastici.

L'assetto generale del versante, sembra essere il risultato dell'interazione tra le modificazioni antropiche e la morfologia preesistente. I tratti maggiormente acclivi corrispondono agli affioramenti maggiormente competenti e l'andamento delle falesie e la

loro orientazione corrisponde all'orientazione ed alla distribuzione delle fratture principali che risultano di conseguenza quasi parallele alla direzione del fronte stesso, causandone una intrinseca instabilità per la formazione di cunei e per lo scivolamento di porzioni lapidee lungo piani a franapoggio.

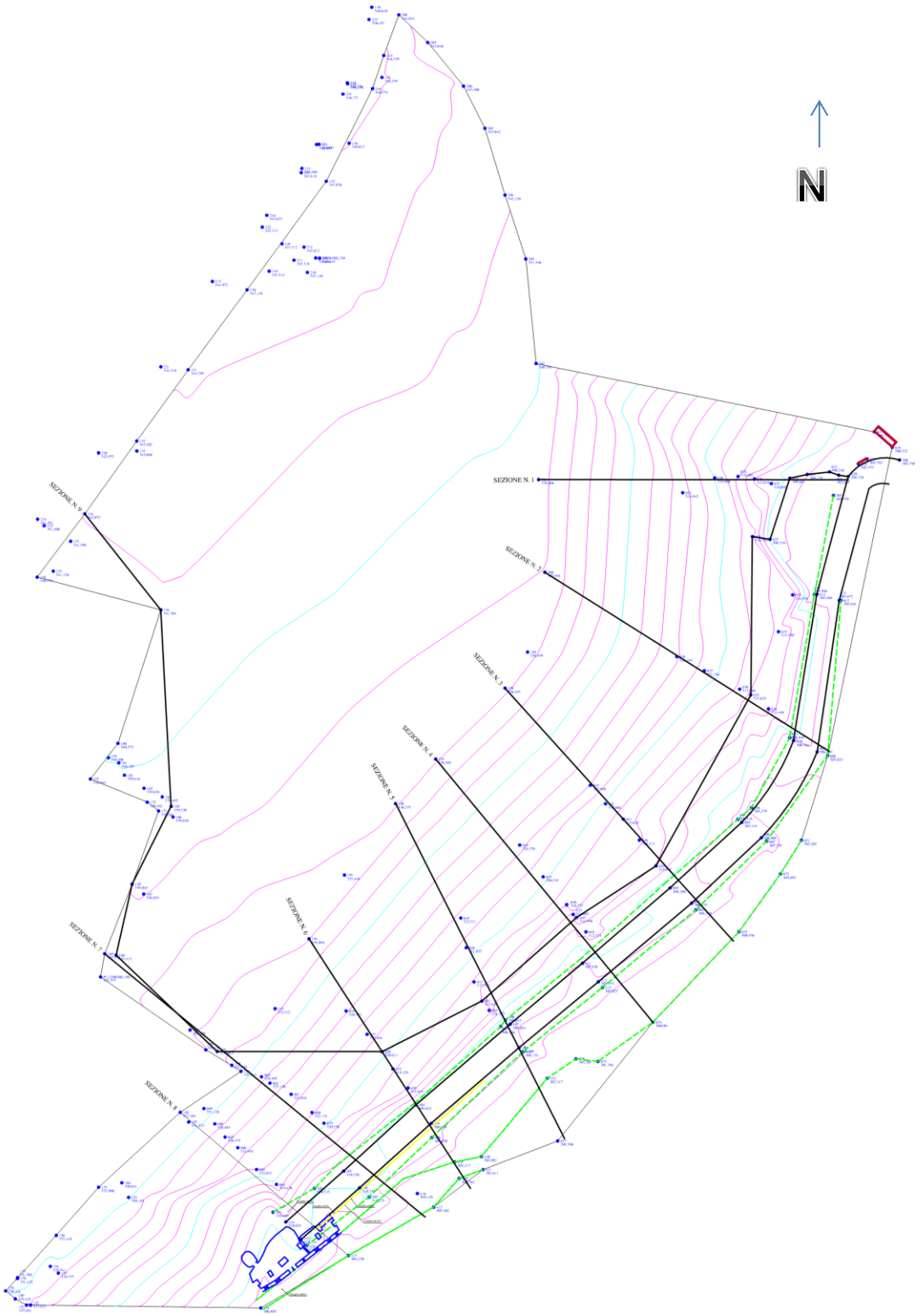


Figura 1 visione di insieme del fronte ispezionato e indicazione delle tracce di sezione. (non in scala)

Cenni teorici sul rilievo geostrutturale

Le discontinuità in un ammasso roccioso condizionano il comportamento meccanico dell'ammasso stesso e conseguentemente la loro definizione geometrica e morfologica sono il punto di partenza per la creazione di un modello geotecnico e cinematico. E' quindi importante, al fine di una corretta valutazione delle condizioni di stabilità, una precisa descrizione della struttura della roccia e delle discontinuità sia in termini qualitativi che quantitativi.

Per la determinazione del modello geotecnico dell'ammasso verranno illustrate le fasi di rilievo delle giaciture da un punto di vista geometrico, (spaziatura, apertura, persistenza) e alle condizioni idrauliche e di resistenza delle discontinuità (scabrezza, resistenza delle pareti, grado di alterazione, materiali di riempimento).

Il procedimento utilizzato per l'esecuzione del rilievo è quello descritto nelle raccomandazioni ISRM, tradotte in italiano da O. Del Greco nella Rivista Italiana di Geotecnica - R.I.G. 2/93; il titolo originale delle raccomandazioni è "Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses".

Rilievo delle discontinuità.

Discontinuità (Discontinuity). È il termine generale per qualsiasi interruzione di continuità in un ammasso. È il termine collettivo per la maggior parte delle fratture e discontinuità, dei piani di stratificazione, dei piani di scistosità, delle zone di debolezza e delle faglie.

I dieci parametri definiti dalle Raccomandazioni ISRM per descrivere le discontinuità sono definiti come segue:

1) Orientazione

Posizione della discontinuità nello spazio. Le superfici di discontinuità possono essere rappresentate come un piano la cui giacitura è individuata da una coppia di angoli (α, β) o (α, γ) dove α è l'inclinazione, γ la direzione e β l'azimut della discontinuità (nella terminologia anglosassone rispettivamente dip, strike e dip direction riferita ad un piano).

La strumentazione utilizzata è una bussola munita di livella a bolla d'aria e di un coperchio piano, che viene poggiato sulla superficie della discontinuità facendolo ruotare attorno ad un asse orizzontale (clinometro).

La massima inclinazione del piano medio della discontinuità α (dip) è misurata con il clinometro ed è espressa in gradi con numeri di due cifre, da 00° a 90°.

L'azimut dell'immersione β (dip dierction) è misurato in gradi contati in senso orario rispetto al Nord ed è espresso con un numero di tre cifre da 000° a 360°. La copia (dip, dip direction) rappresenta il vettore immersione.

2) Spaziatura:

Distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse. Normalmente ci si riferisce alla spaziatura media o modale di un sistema di fessure. Essa, unitamente all'orientazione ed alla persistenza, determina la forma e le dimensioni dei blocchi in cui si divide l'ammasso roccioso. Di seguito si riporta la tabella delle indicazioni ISRM.

Descrizione Spaziatura

- Sp. estremamente stretta < 2 cm
- Spaziatura molto stretta 2÷6 cm
- Spaziatura stretta 6÷20 cm
- Spaziatura moderata 20÷60 cm
- Spaziatura larga 60÷200 cm
- Spaziatura molto larga 200÷600 cm
- Sp. estremamente larga > 600 cm

Tab.1: Classificazione ISRM in base alla spaziatura.

2) Continuità o Persistenza:

Lunghezza della traccia della discontinuità osservata in un affioramento. Può dare una misura grossolana dell'estensione areale o della profondità di penetrazione di una discontinuità. Il fatto che il piano di discontinuità termini in roccia massiccia o contro altre discontinuità, riduce la persistenza. Nella Tab.2 è riportata la classificazione ISRM in funzione della persistenza. Nel caso in esame abbiamo persistenza media/alta che unitamente al parametro di spaziatura fornisce indicazione sulla dimensione dei blocchi che costituiscono l'ammasso roccioso.

Descrizione Persistenza

- Persistenza molto bassa <1 m
- Persistenza bassa 1÷3 m
- Persistenza media 3÷10 m
- Persistenza alta 10÷20 m
- Persistenza molto alta >20 m
-

Tab.2: Classificazione ISRM in base alla persistenza.

3) Rugosità

Rugosità delle superfici di una discontinuità e ondulazione relativamente al piano medio delle discontinuità. Sia la rugosità che il suo andamento morfologico contribuiscono alla resistenza di taglio, specialmente nel caso di strutture interconnesse e senza spostamenti relativi. L'importanza della rugosità diminuisce con l'aumentare dell'apertura della discontinuità stessa. In termini generali la rugosità può essere caratterizzata da un ondulazione e da una rugosità vera e propria; nel primo caso la forma della ondulazione provoca la dilatanza in caso di scorrimento trasversale, nel secondo caso, in particolare quando le superfici della frattura sono debolmente coese come nel caso in oggetto, la forma della rugosità tende ad essere rotta in caso di scorrimento.

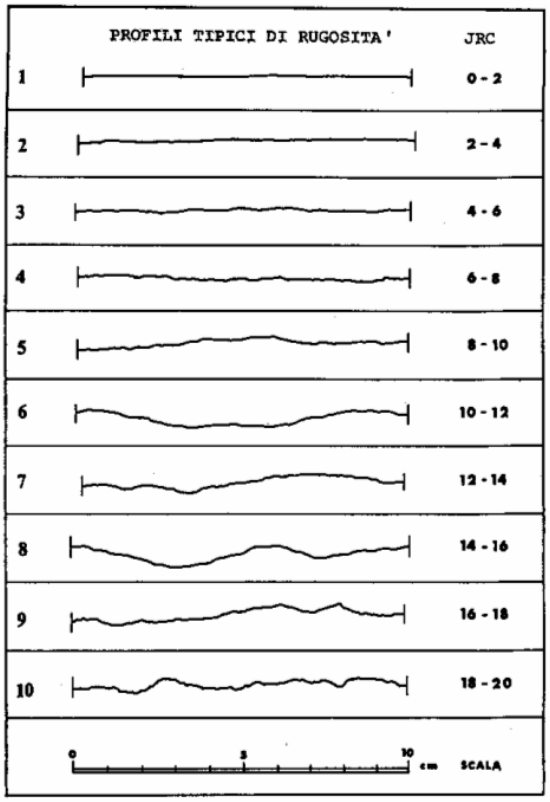


Figura 2 profili tipici di rugosità e valori di riferimento del coefficiente Jrc.

Rilievo geostrutturale Tessennano

L'area a monte della strada SP 14 presenta un affioramento discontinuo di piroclastiti in corrispondenza del taglio stradale e alcune falesie di piccole dimensioni, una decina di metri a monte. Le caratteristiche delle discontinuità e la loro distribuzione suggeriscono una probabile origine a seguito della creazione di un campo di stress da contrazione termica, si intuisce inoltre un probabile effetto locale dovuto alla morfologia deposizionale dei depositi ed alla conseguente disposizione spaziale delle superfici di separazione tra i successivi eventi piroclastici. Il grado di fratturazione di queste rocce è molto variabile, sebbene si possano riconoscere localmente dei trend e delle strutture caratteristiche. L'elaborazione statistica consente di individuare 5 sets di fratture, i primi 4 sets hanno angoli medi di immersione intorno agli 80° e sono coniugati tra loro a coppie (medesima direzione e immersione opposta rispetto al orizzonte), (J1-J3) (J2-J4). Il set J5 ha direzione comparabile con J4, è più limitato nel numero di occorrenze e presenta angoli d'immersione inferiori ai precedenti.

Proseguendo lungo la SP 14 dalla direzione Canino verso grotte di Castro, si può notare un aumento del grado di fratturazione e una tendenza delle fratture che formano angoli elevati con la direzione del versante (J1-J3) a concentrarsi in cluster limitati ad alcuni metri di estensione e spaziati tra loro 7-10 metri.

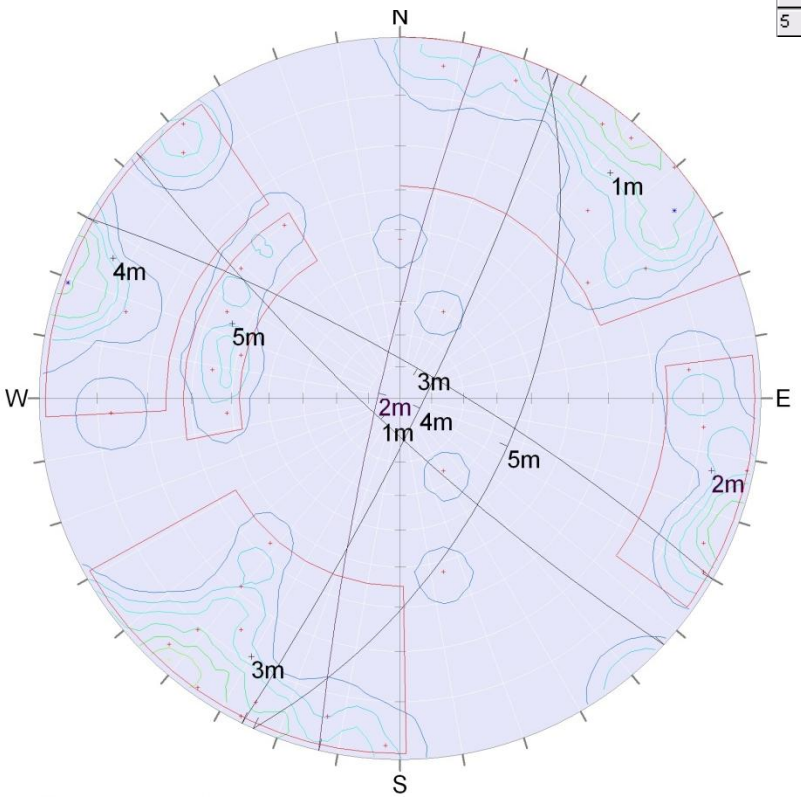
Nel suo complesso il pendio e la sua orientazione, riflettono l'orientazione dei joint sets 4 e 5, che hanno direzioni quasi parallele al pendio, persistenza anche maggiore di 20 m e spaziatura > 2m. Da un punto di vista della stabilità queste famiglie di fratture hanno un grande significato, poiché quasi parallele al versante, sebbene presentino nella maggior parte dei casi un angolo d'immersione maggiore del pendio, in tutti quei casi in cui vengono a giorno in corrispondenza delle falesie verticali o all'interno delle cavità, sono potenzialmente responsabili di scivolamenti e crolli lungo piani che diventano critici. Inoltre la loro spaziatura minima, stimabile in circa 3 metri, è di notevole importanza nella valutazione della lunghezza degli ancoraggi che saranno installati per la protezione del versante e per la messa in sicurezza delle cavità.

La restante parte del pendio ispezionato ha pendenze prossime ai 25° e l'ammasso roccioso è obliterato da una copertura di suolo di limitato spessore. Alla sommità del pendio, in corrispondenza del campo di calcio affiora un orizzonte di lave, caratterizzate da una struttura caotica e da un punto di vista strutturale l'ammasso può essere definito come disgregato.

No.	Date & time		Type	Direction	Dip	Latitude	Longitude
1	2018-08-04	09.00.32 AM	Plane	39	68	42,48035142	11,79453738
2	2018-08-04	09.00.41 AM	Plane	43	57	42,48032812	11,79453855
3	2018-08-04	09.01.21 AM	Plane	264	78	42,48032916	11,79456856
4	2018-08-04	09.01.30 AM	Plane	180	47	42,48032296	11,79458373
5	2018-08-04	09.02.20 AM	Plane	217	86	42,48029061	11,79462682
6	2018-08-04	09.02.25 AM	Plane	238	64	42,48029274	11,79463469
7	2018-08-04	09.03.01 AM	Plane	221	87	42,48029086	11,79460678
8	2018-08-04	09.03.20 AM	Plane	205	29	42,48030888	11,79452254
9	2018-08-04	09.03.42 AM	Plane	85	52	42,48036248	11,7946305
10	2018-08-04	09.03.56 AM	Plane	3	88	42,48030121	11,79466663
11	2018-08-04	09.04.37 AM	Plane	236	84	42,48020976	11,79473352
12	2018-08-04	09.04.44 AM	Plane	329	28	42,48020934	11,79465171
13	2018-08-04	09.04.56 AM	Plane	100	56	42,48039676	11,79444484
14	2018-08-04	09.05.04 AM	Plane	103	49	42,4804287	11,79440092
15	2018-08-04	09.13.40 AM	Plane	241	76	42,48134216	11,79490669
16	2018-08-04	09.13.52 AM	Plane	41	81	42,48114162	11,79483159
17	2018-08-04	09.13.57 AM	Plane	110	88	42,48110751	11,79483024
18	2018-08-04	09.15.36 AM	Plane	225	74	42,48096577	11,79485313
19	2018-08-04	09.15.44 AM	Plane	35	90	42,48103651	11,79494692
20	2018-08-04	09.15.51 AM	Plane	139	85	42,48108316	11,79491515
21	2018-08-04	09.15.58 AM	Plane	229	89	42,48109137	11,7948828
22	2018-08-04	09.17.00 AM	Plane	13	84	42,48106748	11,79494005
23	2018-08-04	09.17.21 AM	Plane	299	87	42,48121241	11,79486369
24	2018-08-04	09.17.31 AM	Plane	26	87	42,48117339	11,79482094
25	2018-08-04	09.17.51 AM	Plane	27	88	42,48122402	11,79489654
26	2018-08-04	09.17.59 AM	Plane	282	90	42,48119216	11,79492077
27	2018-08-04	09.18.48 AM	Plane	44	87	42,4809459	11,79456588
28	2018-08-04	09.18.53 AM	Plane	295	86	42,48099733	11,79469639
29	2018-08-04	09.19.06 AM	Plane	35	77	42,48125725	11,79484583
30	2018-08-04	09.19.18 AM	Plane	199	86	42,4812754	11,79480569
31	2018-08-04	09.19.27 AM	Plane	87	77	42,48130209	11,79482195
32	2018-08-04	09.19.37 AM	Plane	187	85	42,48133042	11,79487542
33	2018-08-04	09.19.42 AM	Plane	275	80	42,48132942	11,79488976
34	2018-08-04	09.40.15 AM	Plane	110	88	42,47940711	11,79353918
35	2018-08-04	09.45.12 AM	Plane	130	58	42,47969947	11,79379583
36	2018-08-04	09.53.52 AM	Plane	141	88	42,48016333	11,7947113
37	2018-08-04	09.56.42 AM	Plane	116	56	42,47977072	11,7942135
38	2018-08-04	09.58.48 AM	Plane	109	77	42,47996099	11,79409255
39	2018-08-04	09.58.53 AM	Plane	236	84	42,47996346	11,7940778
40	2018-08-04	09.59.08 AM	Plane	346	53	42,47994619	11,79408669
41	2018-08-04	09.59.28 AM	Plane	145	61	42,47993115	11,79411845

Tab 3 giacitura delle discontinuità rilevate e relativa posizione assoluta

	ID	Type	Dip	DipDir	Color
1	1	Set (unweighted)	81	223	
2	2	Set (unweighted)	83	283	
3	3	Set (unweighted)	79	30	
4	4	Set (unweighted)	83	116	
5	5	Set (unweighted)	54	114	



Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

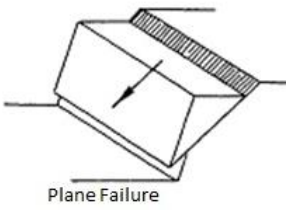
0.00 %
1.50 %
3.00 %
4.50 %
6.00 %
7.50 %
9.00 %
10.50 %
12.00 %
13.50 %

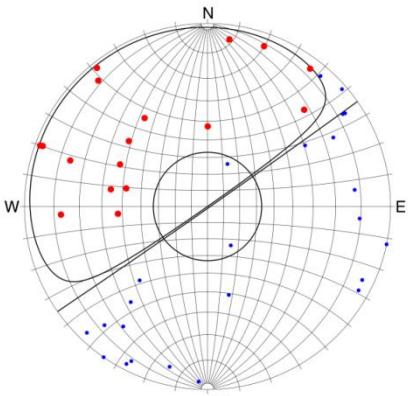
No Bias Correction
Max. Conc. = 10.7806%

Equal Angle
Lower Hemisphere
41 Poles
41 Entries

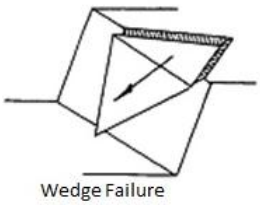
Figura 3 rappresentazione stereografica dei dati acquisiti e elaborazione statistica con suddivisione delle famiglie principali di Joints

A)





B)



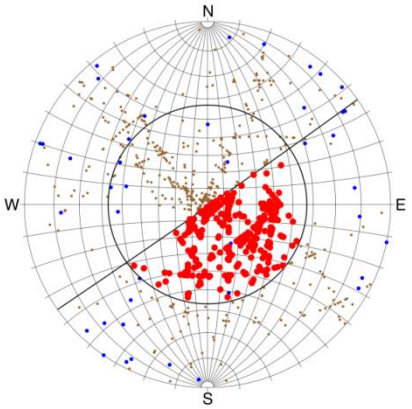


Figura 4 analisi di stabilita A) joints caratterizzati da immersioni simili a quella del fronte J1-J4, che rendono possibile lo scivolamento lungo superfici critiche, B) formazione di cunei tra fratture, rispetto alla orientazione media del versante

GeoID Plotting & Analysis Report
Created : 2018-08-10 19:01:02
Note : The notation of all data is the <Direction,Dip> notation without adding 0 before them.

Project : Tessennano
Total data : 41
Plane : 41 (100%)
Lineation : 0 (0%)
Intersection : 820

Failure analysis result
==========
Analysis type : Plane failure analysis
Analysis criteria
- Dip of slope : 89
- Dip direction of slope : 145
- Friction angle : 33
Data in envelope : 17 (41.5% of total joints)

GeoID Plotting & Analysis Report
Created : 2018-08-10 19:01:52
Note : The notation of all data is the <Direction,Dip> notation without adding 0 before them.

Project : Tessennano
Total data : 41
Plane : 41 (100%)
Lineation : 0 (0%)
Intersection : 820

Failure analysis result
==========
Analysis type : Wedge failure analysis
Analysis criteria
- Dip of slope : 89
- Dip direction of slope : 145
- Friction angle : 33
Data in envelope : 360 (43.9% of total intersections)

Parametri di analisi per le precedenti elaborazioni sulla stabilità

Classificazione dell'ammasso roccioso secondo Beniawsky e Romana

Nel campo della progettazione di infrastrutture di ingegneria civile, siano esse legate alla stabilità di un versante o alla stabilità di un opera in sotterraneo, difficilmente si possono avere informazioni dettagliate sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso interessato alla progettazione. Allora diventa importante poter utilizzare uno schema che possa soddisfare le richieste, un metodo empirico che permetta di risolvere i problemi dovuti alla scarsa conoscenza o esperienza di una determinata area.
Le classificazioni di Beniawsky e Romana (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano.
La classificazione di Beniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;
A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
A3 = spaziatura delle discontinuità;
A4 = condizioni delle discontinuità;
A5 = condizioni idrauliche;
A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky) e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo Slope Mass Rating (SMR).
L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

RMR di base = RMRb = A1 + A2 + A3 + A4 + A5
RMR corretto = RMRc = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6

2.0 VALORE DI A1

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

2.0.1 La prova Point Load Test

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

Su = K Is

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

I_S (MPa)	K
< 3,5	14
3,5 – 6,0	16
6,0 – 1,0	20
> 6,0	25

2.0.2 Le prove sclerometriche

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

Su = 0,775 R + 21,3

2.0.3 Standard ISRM

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

Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

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

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

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

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

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

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

3.0 VALORE DI A2

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

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

dove:

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

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

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

RQD = 115 – 3,3 Jv

dove Jv è il numero di fratture per metro cubo di roccia.
In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

RQD = 100 e(0,1 n) (0,1 n + 1)

con n numero medio di giunti per metro.
Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A2 mediante le equazioni, che derivano sempre dai grafici di Beniawsky:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
<= 26,5	$A2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$
26,5 ÷ 39	$A2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$
39 ÷ 76,6	$A2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$
> 76,6	$A2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$

4.0 VALORE DI A3

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante le seguenti relazioni:

SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
<= 0,2	$A3 = 15s + 5$
0,2 ÷ 0,4	$A3 = 10s + 6$
0,4 ÷ 0,66	$A3 = 7,752s + 5,9$
0,66 ÷ 0,94	$A3 = 7,067s + 7,35$
0,94 ÷ 1,6	$A3 = 6,07s + 8,288$
1,6 ÷ 2,0	$A3 = 5s + 10$
> 2,0	A3 = 20

5.0 VALORE DI A4

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniawsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.
Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5

I valori da assegnare sono:

V1 – Persistenza del giunto

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

V2 – Apertura del giunto

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

V3 – Rugosità del giunto

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

V4 – Alterazione delle pareti

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

V5 – Riempimento delle discontinuità

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

6.0 VALORE DI A5

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

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

7.0 VALORE DI A6

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

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

Per quanto riguarda i versanti il coefficiente A6 proposto da Beniawsky risulta troppo "conservativo" e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana.

8.0 VALORE DI RMR (ROCK MASS RATING) E PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

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

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

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

coesione di picco cp (kPA) = 5 RMRb
angolo di attrito di picco □p = 0,5 RMRb + 5
modulo di deformazione E (GPa) = 2 RMRb – 100

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMRb modificato secondo la:
RMRb = RMRb(originario) – [0,2 □ RMRb(originario)] (Priest, 1983)

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

E (GPa) = 10(RMRb – 10 / 40)

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

GSI = RMR – 5

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

9.0 SLOPE MASS RATING (SMR, Romana 1985)

Romana propone di aggiungere al valore di RMR (di base), alcuni fattori di aggiustamento sulla base dell'orientamento relativo fra discontinuità e fronte del versante e aggiungere un ulteriore fattore che tiene conto del metodo di scavo:

SMR = RMRb + (F1 x F2 x F3) + F4

Il primo fattore di aggiustamento è il prodotto di tre fattori:
F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti.
F2 è riferito all'inclinazione del giunto nell'ipotesi di rottura planare.
F3 mantiene le relazioni proposte da Beniawsky per l'inclinazione fra fronte e giunti.
F4 rappresenta un fattore di correzione legato al metodo di scavo ed è stato fissato empiricamente.
Le condizioni di stabilità verificate sono relative rotture planari e per ribaltamento (toppling); il metodo è stato esteso anche alle rotture a cuneo di recente da Anbalagan et al..
Sulla base della tabella che segue si attribuiscono i valori ai fattori:

CASO		Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Planare Toppling Cuneo	$\alpha j - \alpha f$ $\alpha j - \alpha f - 180°$ $\alpha i - \alpha f$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Planare Cuneo	βj βi	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Toppling	F2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Planare Cuneo	$\beta j - \beta f$ $\beta i - \beta f$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (- 10°)	< - 10°
Toppling	$\beta j - \beta f$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-	-
	F3	0	- 6	- 25	- 50	- 60

dove:

dove:
αj = immersione del giunto
αi = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo
αf = immersione del fronte del versante
βj = inclinazione del giunto
βi = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo
βf = inclinazione del fronte

Il fattore F4 vale invece:

METODO DI SCAVO	F4
Scarpata naturale	15
Abbattimento con pretaglio	10
Abbattimento controllato	8
Abbattimento normale	0
Abbattimento non controllato	-8

Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione:

SMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
STABILITA'	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
MODO DI ROTTURA	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

10.0 CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

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

Standard ISRM = La roccia si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani
Numero medio di giunti per metro (n) =1
Spaziatura delle discontinuità (s)=3 m
Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m
Apertura del giunto > 5 mm
Giunto rugoso
Pareti mediamente alterate
Riempimento assente
Roccia asciutta
Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni Orientamento sfavorevole

Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
1 - 5	99,53211598

V1	V2	V3	V4	V5
2	0	5	3	6

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

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

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

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	19,90054615	20	16	15	-15

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
71,9	56,9	Terza	Mediocre

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
43,8	66,9	359,5	40,95	287,6	33,76

Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)

Rottura: planare o a cuneo

Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio:condizione sfavorevole (10°-5°)

Inclinazione dei giunti:condizione sfavorevole (35°-45°)

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti:condizione sfavorevole (0°-(-10°))

Metodo di scavo:Scarpata naturale

Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)

Fattori di aggiustamento

F1	F2	F3	F4
0,85	0,85	-50	15

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti

F4 è legato al metodo di scavo

Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

SMR	Classe	Descrizione
50,78	Terza	Mediocre

Grado di stabilità, tipo di cinematismo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione

Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
Parzialmente stabile	Lungo piani o per cunei	Sistematica

Dott. Geol. Sante Camilli

Consulenze e Servizi per la Geologia e l'Ambiente

Indagini Geognostiche Geotecnica Geofisica Idrogeologia

TABULATI DELLE INDAGINI

PENETROMETRICHE

DPSH
(NORMA EN ISO – ISSMFE)

Dott. Geol. Sante CAMILLI – Ordine dei Geologi del Lazio n. 1810 – Piazza Cavour 7 – 01025 Grotte di Castro (VT)
Tel 347/3814229 – C.F. CMLSNT75A07G148R - P. IVA 01965940560 – santecamilli@libero.it – info@geocastrum.it
www.geocastrum.it

PAGANI *Geotechnical Equipment*
di PAGANI ERMANNO
C.F. PGNRNN50H08B025P P.IVA 00309180339
C.C.I.A.A. PC97486 Reg. Impr. PC1996/21142
Sede legale : Loc. Santimento, 44
Sede Amministrativa e Stabilimento: Loc. Campogrande
Telefono: +39 0523 771535
Fax: +39 0523 773449
29010 CALENDASCO (PIACENZA) - ITALIA

Calendasco, lì 30.09.2010

DICHIARAZIONE DI CONFORMITA'

Numero documento: CON000296

Oggetto: Penetrometro

	TG63-100KN
■	TG63-200KN

■	statico-dinamico
	statico
	dinamico

con matricola P001120

IL COSTRUTTORE: PAGANI GEOTECHNICAL EQUIPMENT di PAGANI ERMANNO
SEDE: LOCALITA' SANTIMENTO, 44
STABILIMENTO: LOC. CAMPOGRANDE
29010 - CALENDASCO - PIACENZA

dichiara sotto la sua esclusiva responsabilità che l'apparecchiatura in oggetto

- è uno strumento volto a sondare la struttura e la resistenza dei terreni;
- è conforme alle disposizioni della direttiva macchine 2006/42/CE;
- è conforme alle disposizioni della direttiva 2004/108/CE sulla compatibilità elettromagnetica;
- è conforme alle disposizioni della direttiva 2006/95/CE sulla bassa tensione;
- è conforme alle disposizioni delle direttive 97/68/CE e 2002/88/CE sulle emissioni in atmosfera dei motori a combustione;
- è conforme alle disposizioni della direttiva 2000/14/CE e successive modifiche ed integrazioni sull'emissione acustica (rif. art. 13 con classificazione "perforatrici");
- il fascicolo tecnico è redatto direttamente dal Costruttore e rimane a disposizione delle Autorità competenti degli stati Membri c/o la sede sopraccitata;
- ogni modifica, effettuata dall'utilizzatore, alla macchina qui certificata, fa decadere la validità della presente Dichiarazione. Eventuali responsabilità, conseguenti alla manomissione, saranno a carico dell'utilizzatore.

Dichiara inoltre che la persona autorizzata *protempore* a costituire il fascicolo tecnico è: Sig. Pagani Ermanno, Località Campogrande, Calendasco – Italia. Il Sig. Pagani Ermanno potrà essere sostituito a seguito di avvicendamento aziendale dalla persona che verrà a ricoprire il suo ruolo all'interno della Pagani Geotechnical Equipment.

In fede

PAGANI Geotechnical Equipmen
di PAGANI ERMANNO

…..……

Pagani Ermanno, Titolare
(timbro e firma)

BUREAU VERITAS

BUREAU VERITAS ITALIA S.p.A. Via Miramare, 15 – 20126 Milano

ATTESTATO DI ESAME DELLA CONFORMITA'
Direttiva Macchine 2006/42/CE

CONFORMITY EXAMINATION CERTIFICATE
Machinery Directive 2006/42/EC

N° CV 005-07-2015

BUREAU VERITAS ITALIA a seguito di verifica volontaria, attesta che il modello di seguito identificato, è stato esaminato secondo quanto previsto dalla Direttiva Macchine 2006/42/CE, e ne risulta conforme

Following the voluntary examination, Bureau Veritas Italia attests that type identified hereunder has been examined against the provisions of the Machinery Directive 2006/42/EC, and found to satisfy the provisions of the directive

Macchina/*Machine*: PENETROMETRO / PENETROMETER

Fabbricante
manufacturer

PAGANI GEOTECHNICAL EQUIPMENT S.r.l.

Modello
type

TG63

Caratteristiche della macchina */Machinery parameters*: Penetrometro serie TG63

Questo certificato perde la sua validità, in caso di modifiche alla macchina che possano influire sulla conformità ai requisiti essenziali di sicurezza o sulle condizioni d'uso previste,dalla Direttiva 2006/42/CE del 9 giugno 2006 così come trasposto nelle leggi nazionali applicabili.
This certificate shall be deemed to be void, in case of modification to the machinery where this may affect conformity with the essential safety requirements or the prescribed conditions of use of the machinery directive nr 2006/42/EC of 9 June 2006 as transposed in the applicable law(s)

Luogo: Milano *Place* Data: 31/08/2015 *Date*	Firmato da: Felice Cammarano *Signed by* Firma: *Signature*

© BUREAU VERITAS ITALIA S.p.A. Via Miramare, 15 – 20126 Milano,

Declaration of Compliance

TUVIT16MAC273501_TG63-200_00

Name and andress of th manufacturer
Nome e indirizzo del costruttore:
Pagani Geotechnical Equipment
Loc. Campogrande
29010 Calendasco - Piacenza
Italy

Product designation
Genere prodotto:
PENETROMETRO

Series/Type
Serie/Tipo:
TG63-200

Legislative Reference Compliance
Riferimento legislativo soddisfatto:
2006/42/CE

- Reference harmonized standard
- *Norme armonizzate di riferimento:*
- UNI EN ISO 12100:2010;
- UNI EN ISO 13849-1:2008;
- CEI EN 60204-1:2006;
- UNI EN 16228-1:2014;
- UNI EN 16228-2:2014.

Reference Techinical Report of Compliance (TRoC)
Technical Report of Compliance di riferimento:
TRoC_MAC_273501_TG63_200_00

The product is not referred to Annex IV of the Directive 2006/42/EC.
Il prodotto non è contemplato dall'Allegato IV della Direttiva 2006/42/CE

Place: Sesto San Giovanni
Luogo

Data emissione / *Issue date:* **30/05/2016**
Data 1° emissione / *First issue date:* **30/05/2016**
Data scadenza / *Expiry date:* **29/05/2021**

Ispettore verificatore *Tested by*

30-05-16
Signature & name / *Firma e nome* **Date** / *data*
Tested by / *Ispettore verificatore*

TÜV Italia S.r.l. - TÜV SÜD Group
via G. Carducci, 125 pal 23
20099 Sesto S. Giovanni (MI)- Italy
T. +39 02 24130 1 F. +39 02 24130 0399
Web: www.tuv.it – @-mail: tuv.isi@tuv.it

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DI TIPO DPSH (NORMA EN – ISO ISSMFE)

Committente: Comune di Tessennano Cantiere: Intervento per il dissesto idrogeologico della rupe tufacea Località: Versante Est - SP 14	

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

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente	63.5	Kg
Altezza di caduta libera	0.75	m
Peso sistema di battuta	0.63	Kg
Diametro punta conica	51.00	mm
Area di base punta	20.43	cm²
Lunghezza delle aste	1	m
Peso aste a metro	6.31	Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40	m
Avanzamento punta	0.20	m
Numero colpi per punta	N(20)	
Rivestimento/fanghi	No	
Angolo di apertura punta	90	°

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

NOTE ILLUSTRATIVE - DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

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

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

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

PENETROMETRI IN USO IN ITALIA

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
  massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica (α=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm^2 rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

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

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento δ=30 cm, punta conica (α = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm^2 rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento δ=20-30 cm, punta conica conica (α = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm^2, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

CORRELAZIONE CON NSPT

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

$$Nspt = \beta_t N$$

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA RPD

Formula Olandesi

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

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);
e = infissione media per colpo (δ/ N);
M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

CALCOLO DI $(N_1)_{60}$

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

$(N_1)_{60}=C_N \times N_{60}$ con $C_N=\sqrt{(Pa/\sigma'_{vo})}$ $C_N<1.7$ Pa=101.32 kPa *(Liao e Whitman 1986)*

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

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

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

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

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

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

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI

Elaborazione Statistica

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

Media
Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media minima
Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Massimo
Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Minimo
Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Scarto quadratico medio
Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media deviata
Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media + s
Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media - s
Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Distribuzione normale R.C.

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

$$Nspt,_k = Nspt,_{medio} - 1.645 \cdot \left(\sigma_{Nspt}\right)$$

dove sNspt è la deviazione standard di Nspt

Distribuzione normale R.N.C.

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

$$Nspt,_k = Nspt,_{medio} - 1.645 \cdot \left(\sigma_{Nspt}\right) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

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

CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI

Correzione Nspt in presenza di falda

Nspt corretto = 15 + 0.5 × (Nspt - 15)

Nspt è il valore medio nello strato

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

Angolo di Attrito

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

Densità relativa (%)

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

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

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

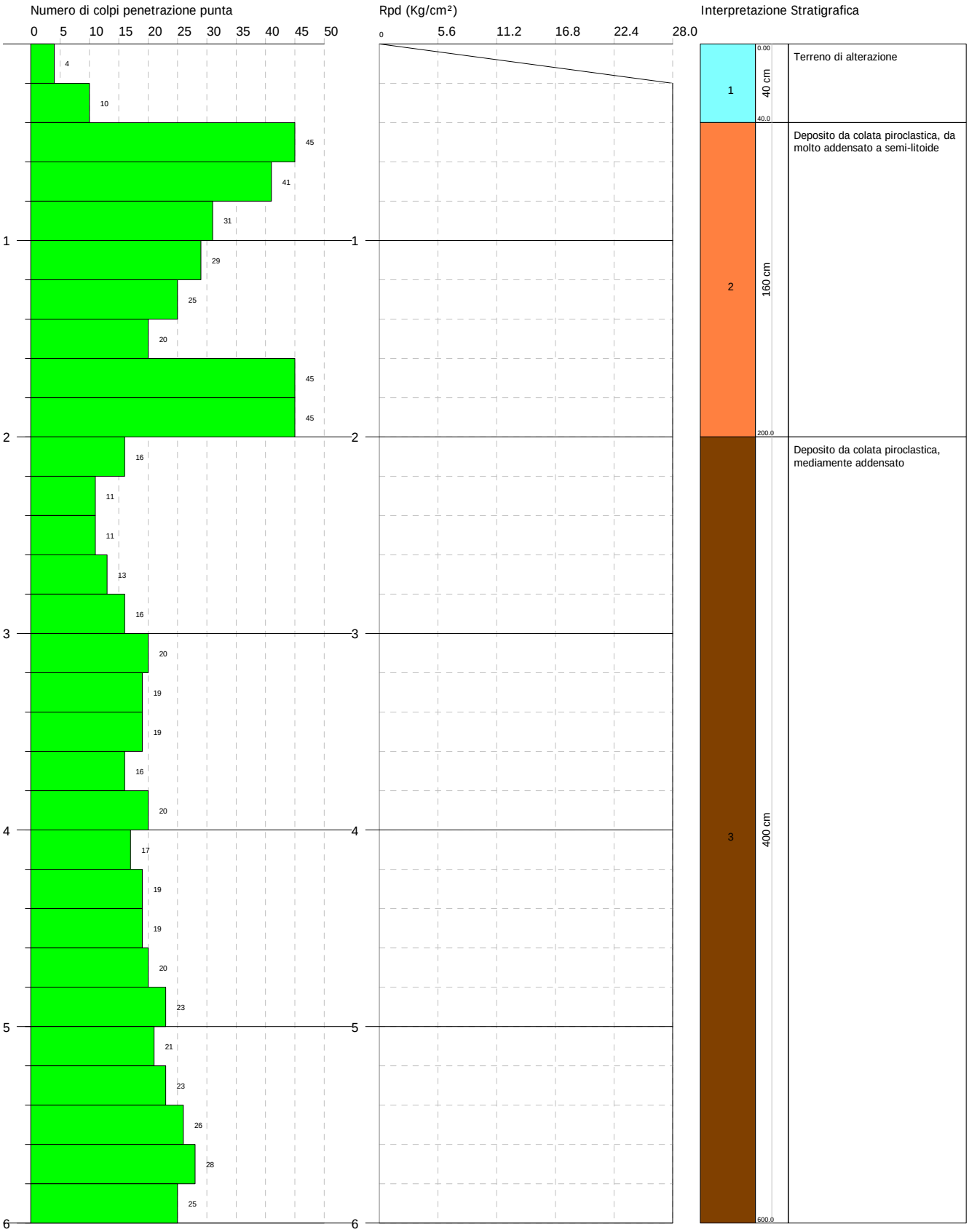
Dott. Geol. Sante Camilli
Consulenze e Servizi per la Geologia e l'Ambiente
Piazza Cavour 7 - 01025 Grotte di Castro (VT)
Tel./Fax 0763797082 - Cell. 3473814229 - www.geocastrum.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Tessennano
Cantiere: Intervento per il dissesto idrogeologico della rupe tufacea
Località: Versante Est - SP 14

Data: 12/07/2018

Scala 1:28



PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 12/07/2018
Profondità prova 6.00 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	10	0.851	89.39	105.07	4.47	5.25
0.60	45	0.647	280.77	433.95	14.04	21.70
0.80	41	0.643	254.36	395.38	12.72	19.77
1.00	31	0.690	206.20	298.95	10.31	14.95
1.20	29	0.736	205.90	279.66	10.30	13.98
1.40	25	0.733	176.68	241.09	8.83	12.05
1.60	20	0.780	138.93	178.22	6.95	8.91
1.80	45	0.626	251.15	400.99	12.56	20.05
2.00	45	0.623	249.89	400.99	12.49	20.05
2.20	16	0.770	109.80	142.57	5.49	7.13
2.40	11	0.817	80.10	98.02	4.00	4.90
2.60	11	0.814	74.18	91.10	3.71	4.55
2.80	13	0.761	81.98	107.66	4.10	5.38
3.00	16	0.759	100.53	132.51	5.03	6.63
3.20	20	0.756	125.22	165.63	6.26	8.28
3.40	19	0.753	118.55	157.35	5.93	7.87
3.60	19	0.751	110.36	146.97	5.52	7.35
3.80	16	0.748	92.63	123.77	4.63	6.19
4.00	20	0.746	115.42	154.71	5.77	7.74
4.20	17	0.744	97.80	131.50	4.89	6.58
4.40	19	0.741	108.97	146.97	5.45	7.35
4.60	19	0.739	101.93	137.88	5.10	6.89
4.80	20	0.737	106.98	145.14	5.35	7.26
5.00	23	0.685	114.34	166.91	5.72	8.35
5.20	21	0.683	104.09	152.40	5.20	7.62
5.40	23	0.681	113.67	166.91	5.68	8.35
5.60	26	0.679	120.67	177.69	6.03	8.88
5.80	28	0.677	129.60	191.36	6.48	9.57
6.00	25	0.675	115.41	170.85	5.77	8.54

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0.4	7	73.55		0	0.0	0.0	0.0	1.46	10	Terreno di alterazione
2	35.12	328.65	Incoerente	0	2.24	2.5	0.18	1.47	51	Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide
6	19.1	145.4	Incoerente	0	2.11	2.5	0.78	1.49	28	Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	IntestazioneNSPT$	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	51	2.00	79.58	100	100	81.21
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	28	6.00	49.85	91.33	89.82	61.41

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	51	2.00	51	41.57	34.57	42.28	35.1	42.53	42	>38	42.66	42.3	52.64	46.94
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	28	6.00	28	35	28	35.84	30.94	39.21	40.79	32-35	35.49	35.4	45.12	38.66

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	51	2.00	51	306.00	132.22	362.10	265.46
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	28	6.00	28	168.00	84.98	198.80	162.88

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	51	2.00	51	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	28	6.00	28	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	51	2.00	51	Meyerhof ed altri	2.24
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	28	6.00	28	Meyerhof ed altri	2.11

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	51	2.00	51	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	28	6.00	28	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

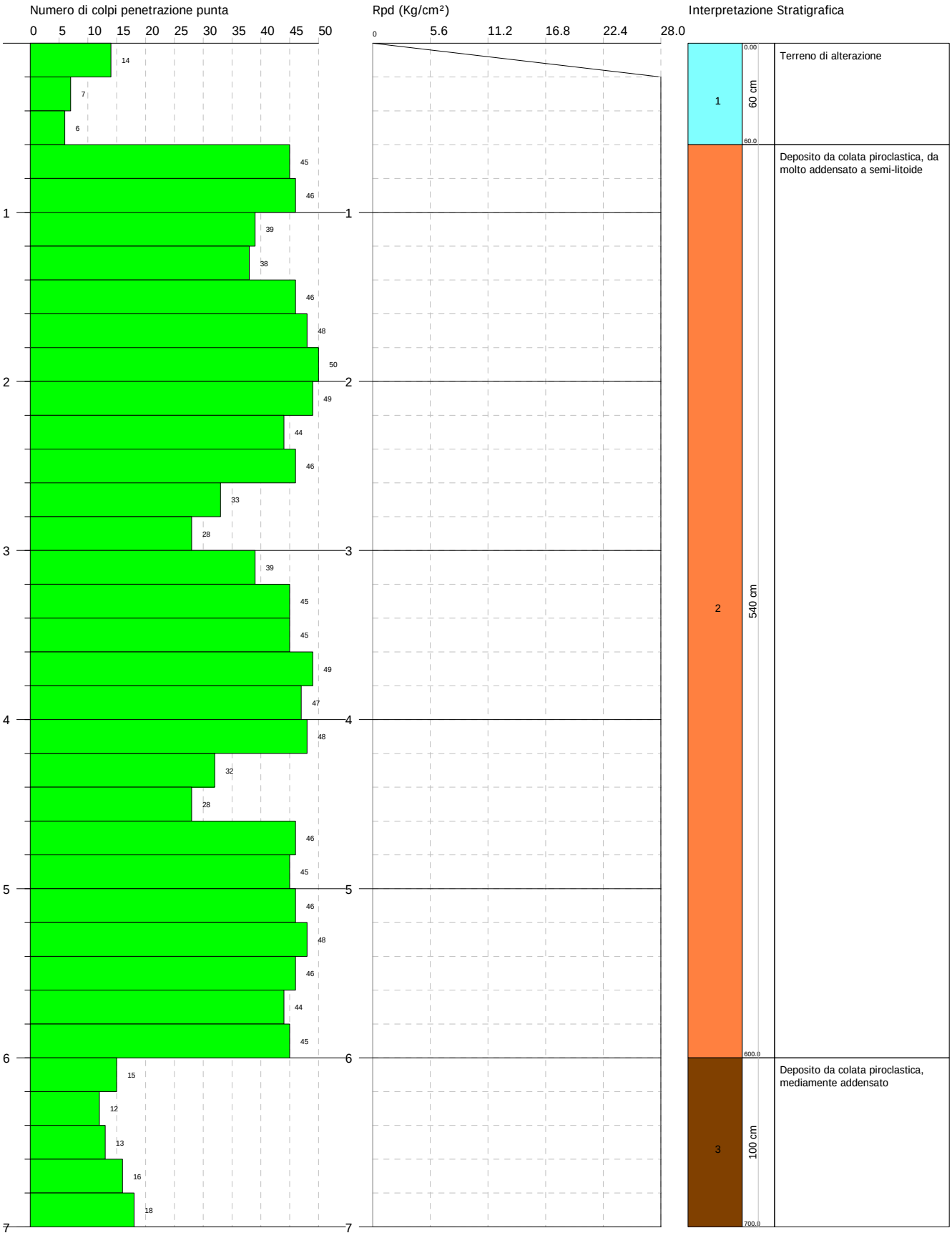
Dott. Geol. Sante Camilli
Consulenze e Servizi per la Geologia e l'Ambiente
Piazza Cavour 7 - 01025 Grotte di Castro (VT)
Tel./Fax 0763797082 - Cell. 3473814229 - www.geocastrum.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Tessennano
Cantiere: Intervento per il dissesto idrogeologico della rupe tufacea
Località: Versante Est - SP 14

Data: 12/07/2018

Scala 1:32



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 12/07/2018
Profondità prova 7.00 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	14	0.805	118.36	147.10	5.92	7.36
0.40	7	0.851	62.58	73.55	3.13	3.68
0.60	6	0.847	49.01	57.86	2.45	2.89
0.80	45	0.643	279.18	433.95	13.96	21.70
1.00	46	0.640	283.79	443.60	14.19	22.18
1.20	39	0.636	239.30	376.09	11.96	18.80
1.40	38	0.683	250.24	366.45	12.51	18.32
1.60	46	0.630	258.05	409.90	12.90	20.49
1.80	48	0.626	267.89	427.72	13.39	21.39
2.00	52	0.623	288.76	463.36	14.44	23.17
2.20	49	0.620	270.77	436.63	13.54	21.83
2.40	44	0.617	241.97	392.08	12.10	19.60
2.60	46	0.614	234.00	380.96	11.70	19.05
2.80	33	0.661	180.76	273.30	9.04	13.66
3.00	28	0.709	164.33	231.89	8.22	11.59
3.20	39	0.606	195.73	322.99	9.79	16.15
3.40	45	0.603	224.87	372.68	11.24	18.63
3.60	45	0.601	209.16	348.10	10.46	17.40
3.80	49	0.598	226.82	379.04	11.34	18.95
4.00	47	0.596	216.70	363.57	10.83	18.18
4.20	48	0.594	220.44	371.30	11.02	18.57
4.40	32	0.641	158.78	247.54	7.94	12.38
4.60	28	0.689	140.05	203.19	7.00	10.16
4.80	46	0.587	195.99	333.82	9.80	16.69
5.00	45	0.585	191.05	326.56	9.55	16.33
5.20	46	0.583	194.62	333.82	9.73	16.69
5.40	48	0.581	202.40	348.33	10.12	17.42
5.60	46	0.579	182.06	314.37	9.10	15.72
5.80	44	0.577	173.59	300.70	8.68	15.04
6.00	45	0.575	176.98	307.53	8.85	15.38
6.20	15	0.724	74.19	102.51	3.71	5.13
6.40	12	0.772	63.31	82.01	3.17	4.10
6.60	13	0.720	60.48	83.95	3.02	4.20
6.80	16	0.719	74.26	103.33	3.71	5.17
7.00	18	0.717	83.37	116.24	4.17	5.81

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0.6	9	92.84		0	0.0	0.0	0.0	1.46	13	Terreno di alterazione
6	43.22	352.2	Incoerente	0	2.32	2.5	0.63	1.49	64	Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide
7	14.8	97.61	Incoerente	0	2.03	2.44	1.35	1.51	22	Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	IntestazioneNSPT$	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	64	6.00	75.08	100	100	94.97
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	22	7.00	36.95	68.72	69.27	54.08

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	64	6.00	64	45.29	38.29	45.92	32.75	42.53	42	>38	45.98	46.2	52.93	50.78
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	22	7.00	22	33.29	26.29	34.16	29.35	37.65	37.62	30-32	33.17	33.6	40.84	35.98

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	64	6.00	64	384.00	158.92	454.40	323.44
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	22	7.00	22	132.00	72.65	156.20	136.12

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	64	6.00	64	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	22	7.00	22	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	64	6.00	64	Meyerhof ed altri	2.32
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	22	7.00	22	Meyerhof ed altri	2.03

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[2] - Deposito da colata piroclastica, da molto addensato a semi-litoide	64	6.00	64	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50
[3] - Deposito da colata piroclastica, mediamente addensato	22	7.00	22	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.44

Dott. Geol. Sante Camilli

Consulenze e Servizi per la Geologia e l'Ambiente

Indagini Geognostiche Geotecnica Geofisica Idrogeologia

DOCUMENTAZIONE

FOTOGRAFICA

Dott. Geol. Sante CAMILLI – Ordine dei Geologi del Lazio n. 1810 – Piazza Cavour 7 – 01025 Grotte di Castro (VT)
Tel 347/3814229 – C.F. CMLSNT75A07G148R - P. IVA 01965940560 – santecamilli@libero.it – info@geocastrum.it
www.geocastrum.it

Foto n. 1-2 – Prova penetrometrica dinamica DPSH (P1)

Foto n. 3-4 – Prova penetrometrica dinamica DPSH (P2)

Foto n. 5-6 – Stendimento indagine di sismica attiva in array (MASW)

Foto n. 7 – Indagine di sismica passiva (HVSR1)

Foto n. 8 – Indagine di sismica passiva (HVSR2)