



CITTA' METROPOLITANA DI ROMA CAPITALE
DIPARTIMENTO II – MOBILITA' E VIABILITA'
SERVIZIO 2 - VIABILITA' ZONA NORD

PROGETTO ESECUTIVO

NEROLA ED ALTRI - S.P. 636 PER PALOMBARA PAVIMENTAZIONE, RIPRISTINO PRESIDI IDRAULICI, BARRIERE DI SICUREZZA E SEGNALETICA DAL KM 0+000 AL KM 31+000 A TRATTI - S.P. GUIDONIA MENTANA LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA, RIPRISTINO PRESIDI IDRAULICI, BARRIERE DI SICUREZZA E SEGNALETICA DAL KM 1+700 AL KM 5+200 A TRATTI S.P. NEROLA MONTORIO - LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL MANTO STRADALE A TRATTI - S.P. QUINTILIOLO -LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DEL CORPO STRADALE AL KM 0+500.

CUP: F47H18001870001



RESPONSABILE PROGETTAZIONE



Ing. Raffaele Abbate

Via Genova 6L, 00065 Fiano Romano (RM)
 email: ing.raffaeleabbate@gmail.com



PROGETTISTA DEI CALCOLI STRUTTURALI

Ing. Raffaele Abbate

Via Genova 6L, 00065 Fiano Romano (RM)
 email: ing.raffaeleabbate@gmail.com

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Raffaele Abbate

GEOLOGIA

Dott. Geol. Patrizio Conte



DIREZIONE LAVORI

COMMITTENTE

CITTA' METROPOLITANA DI ROMA CAPITALE

RUP: Arch. Nohemy QUINTERO

OGGETTO

RELAZIONE GEOLOGICA SP QUINTILIOLO

ELABORATO N°

REL	08
-----	----

REV.	DATA EMISSIONE	NOTA DI REVISIONE
00	21/01/2022	PRIMA EMISSIONE
01	02/02/2022	VARIAZIONE TRATTI PAVIMENTAZIONE
02	01/04/2022	AGGIORNAMENTO PREZZI



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

SOMMARIO

PREMESSA	3
1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
2.1 LINEAMENTI GEOLOITOLOGICI	7
3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
4 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	11
4.1 IDROGEOLOGIA DELL'AREA	13
5 GEOLOGIA DI DETTAGLIO	13
5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE	13
5.2 VERIFICA DI STABILITÀ DEL PENDIO	16
6 CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	18
6.1 INDAGINI GEOFISICHE	19
CONCLUSIONI	21



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

PREMESSA

La presente relazione, commissionata dalla Città Metropolitana di Roma Capitale, in ottemperanza ai criteri di Legge, è redatta a supporto del progetto per i lavori di consolidamento stradale al Km 0+500 della S.P.31/a, nel territorio del Comune di Tivoli.

L'intervento, secondo quanto indicato dal progettista, consiste nella realizzazione di una paratia di micropali, profondi 14 m disposta, in doppia fila a quinconce collegata da un cordolo per una lunghezza di circa 35 m.

Il sito in esame in ottemperanza al **al R.R. n.7 del 16 Aprile 2021 della Regione Lazio (D.G.R. 189/2021) – Allegato C, ricade in “Livello di Rischio Sismico Medio” e in Classe d'uso II.**

Allo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico del sito e di valutare le caratteristiche geotecniche e sismiche locali del terreno sono state eseguite le seguenti indagini:

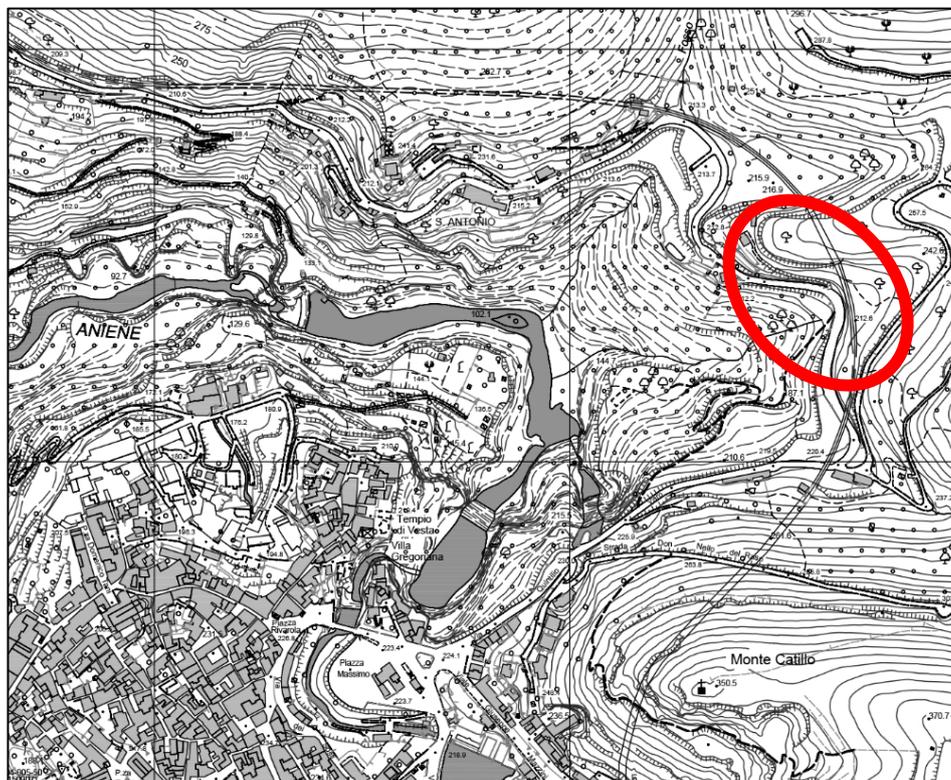
- un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- acquisizione indagini realizzate tra Marzo e Novembre del 2021 dalla SONDEDILE S.r.l., in particolare:
 - a. n°1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 20 m da p.c., attrezzato con tubazione piezometrica (S1);
 - b. n°1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 35 m da p.c., attrezzato con tubo in PVC per esecuzione di prova geofisica di tipo Down-hole (S2);
 - c. n°2 SPT in foro (1 per sondaggio);
 - d. n°2 campioni indisturbati (1 per sondaggio);
 - e. n°4 campioni rimaneggiati (1 nel S1 e 3 nel S2);
 - f. analisi di laboratorio sui campioni prelevati;
 - g. n°2 prove penetrometriche dinamiche di tipo superpesante DPSH;
 - h. n°1 prova sismica in foro Down-Hole;

- i. n°2 misure dei microtremori HVSR;
- j. n°2 misure sismiche di tipo MASW;
- verifica di stabilità ante operam in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

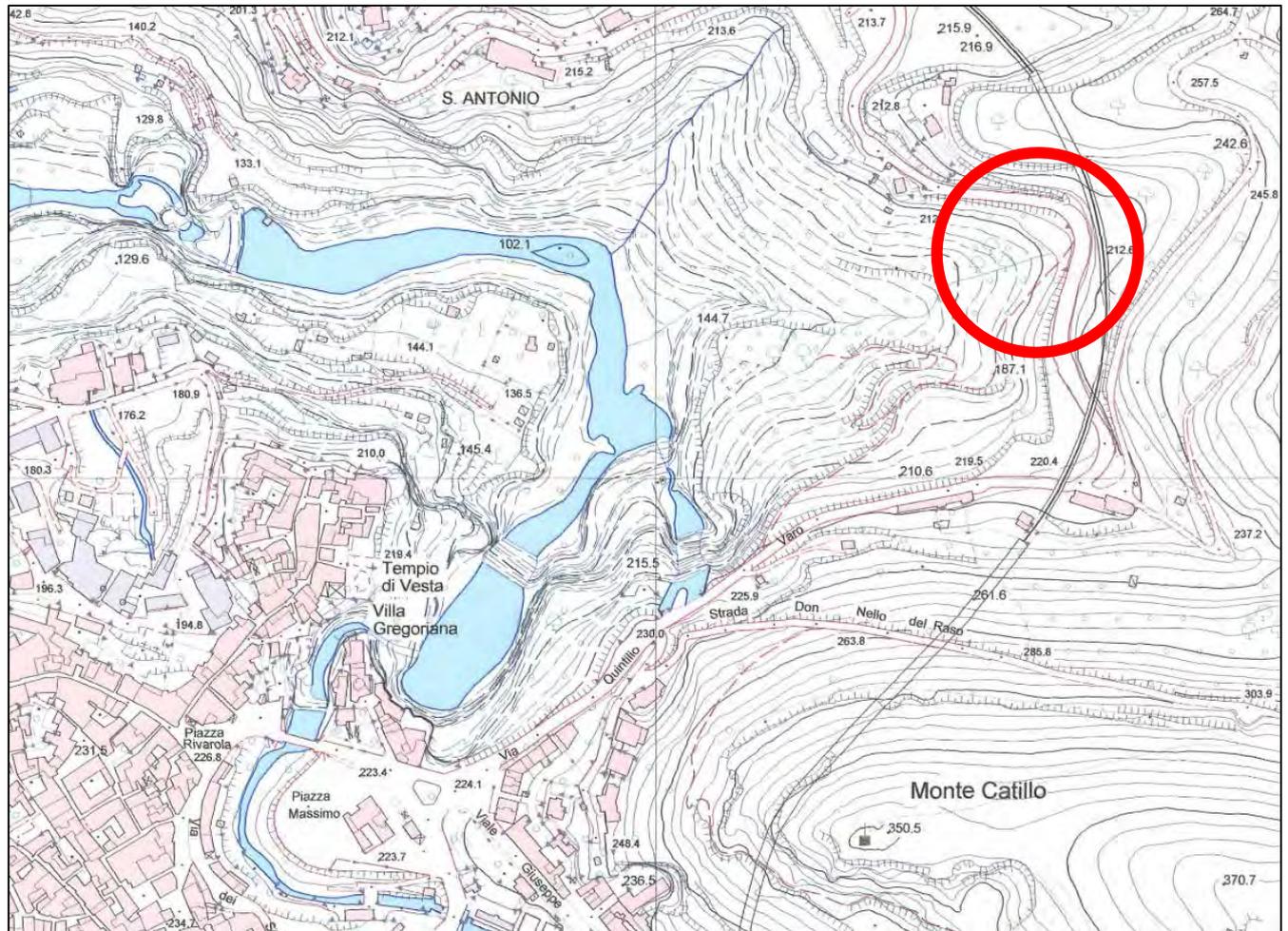
L'area in esame è posta ad una distanza di circa 1,0 km in direzione NE dal Centro Storico di Tivoli, ad una ad una quota di circa 212 m s.l.m..

Il settore in esame è descritto nella sezione 375020 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) scala 1:10.000 e nella sezione 375022 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 edite dalla Regione Lazio.



 Ubicazione del sito

Figura 1 Stralcio CTR 375020, scala 1 : 10 000

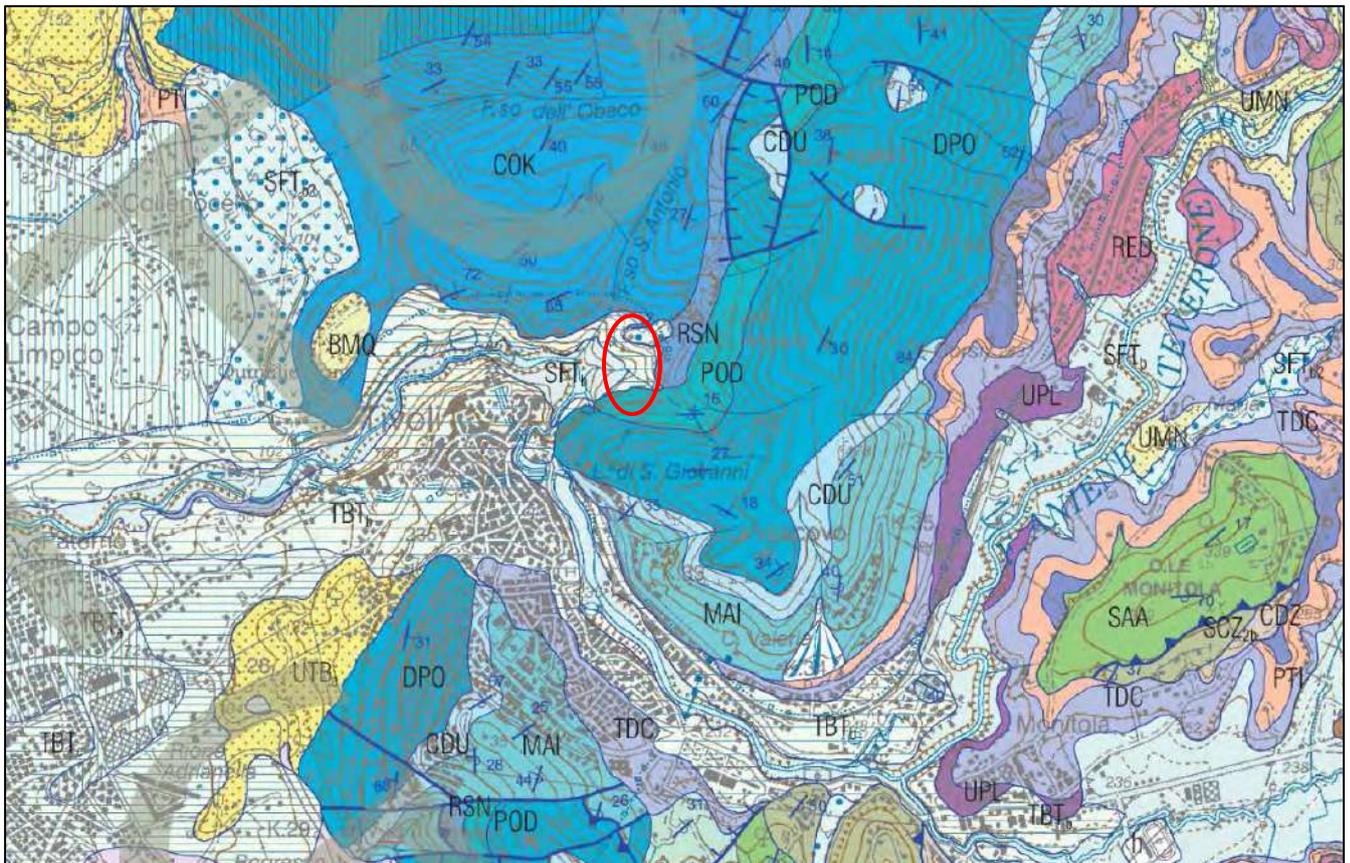


Ubicazione del sito

Figura 2 Stralcio CTR 375022 scala 1 :5 000

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il quadro geologico generale è stato definito sulla base di informazioni derivanti da ricerche bibliografiche e cartografiche.



 Ubicazione del sito

TRAVERTINO DI BAGNI DI TIVOLI

L'età radiometrica ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) è compresa tra 115 ka e 30 ka¹⁹, rispettivamente per la parte bassa del travertino litoide e per il travertino tipo "testina". In alcuni settori dell'area (es. Lago delle Colonnelle e Lago della Regina) la deposizione del travertino è ancora in atto.

Litofacies argilloso-sabbiosa (TBT_a), Argille rosse e ocracee, ricche in elementi vulcanici, talvolta alternate a sabbie travertinosi. Ambiente palustre-lacustre. Spessore 3-15 m.

Travertino vacuolare (TBT_b), Depositi travertinosi da acque a temperatura ambiente, porosi, da scarsamente cementati a cementati. Sono irregolarmente stratificati con fitostrutture prevalentemente inclinate verso valle o in giacitura sub-verticale ("drappeggi"). Ambiente di rapida o cascata. Spessore 30-40 m.

Travertino tipo "Testina" (TBT_c), Depositi travertinosi da acque termali, porosi e più o meno friabili, di colore biancastro, giallognolo o rossiccio, con stratificazione orizzontale, spesso indistinta. Affiorano al tetto dei depositi di travertino litoide (TBT_d) nell'area di Bagni di Tivoli. Ambiente lacustre poco profondo. Spessore variabile, compreso tra 5 e 10 m.

Travertino litoide (TBT_d), Depositi travertinosi scarsamente porosi e litoidei, di colore dal bianco-avorio al marrone-nerastro, frequentemente in lamine più o meno distinte. Affiorano in strati e banchi, separati da superfici di erosione talvolta associate a carsismo. Ambiente di pendio poco acclive che evolve verso l'alto a gradinata di vasche. Lo spessore nella parte centrale del bacino supera i 70 m.

PLEISTOCENE SUPERIORE p. p. - OLOCENE

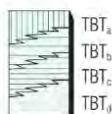


Figura 3 Stralcio foglio n.°375 - "Tivoli" della Carta Geologica d'Italia scala 1 : 50 000



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

L'area viene censita in legenda nel domino del Travertino di Bagni di Tivoli, talvolta concrezionate con livelli conglomeratici, attribuibile cronologicamente al Pleistocene Superiore.

2.1 LINEAMENTI GEOLOGICI

La geologia di Tivoli

Dal punto di vista geologico generale i terreni affioranti nel territorio comunale possono essere distinti in quattro tipologie principali:

- ❖ unità carbonatiche;
- ❖ unità neogenico-quadernarie;
- ❖ vulcaniti;
- ❖ sedimenti continentali.

Le unità prevalentemente calcaree affioranti nel territorio comunale appartengono alle estremità meridionali della dorsale morfologica dei Monti Lucretili, sui cui versanti sorge il centro storico residenziale del comune capoluogo e che rappresentano l'ossatura principale di tutta l'area.

La successione stratigrafica calcareo-silico-marnosa corrisponde alla serie tipica in facies umbro-sabina i cui termini più antichi sono attribuibili al Triassico superiore. Dal basso verso l'alto la serie completa mostra infatti dolomie farinose grigie e biancastre, calcari bianchi farinosi (Formazione del "Calcare Massiccio"), calcari e calcari marnosi con megabrecce ("Corniola"), Calcari marnosi nodulari arrossati ("Rosso Ammonitico"), Calcari micritici con gusci di bivalvi ("Calcari Granulari"), calcari e calcari selciferi ("Diaspri"), marne e marne argillose ("Marne ad Aptici"), calcari micritici biancastri con livelli detritici e lenti di selce ("Maiolica"), marne argillose e calcaree ("Marne a Fucoidi"), calcari e calcari marnosi bianco-rosati fittamente stratificati ("Scaglia"), marne e marne argillose grigio-verdaste ("Marne e Brecciole a Macroforaminiferi"), calcari detritici avana (Calcareniti a briozoi e litotamni). L'intervallo temporale coperto dall'intera sequenza va dal Triassico superiore, circa 280 milioni di anni fa, al Miocene medio, circa 10 milioni di anni fa.



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

L'assetto strutturale della dorsale carbonatica è riferibile, come del resto quello dei Monti Lucretili, ad una serie di "scaglie tettoniche", con sovrapposizione dei terreni più antichi su quelli più recenti e laminazione dei termini cretaceo-paleogenici, che avrebbero agito da superficie di scivolamento. Questo fenomeno di raccorciamento crostale è il risultato di spinte tangenziali con direzione circa orientale, avvenute in più fasi, la più intensa delle quali è collocabile nell'Oligocene. Tutto ciò è riconoscibile nelle giaciture anomale e nei contatti tettonici fra i diversi termini della sequenza che rimandano ad una serie di piani di sovrascorrimento immergenti verso sud-ovest, attraverso i quali le diverse unità tettoniche nelle quali l'intera serie appare smembrata, risultano variamente accavallate le une sulle altre.

Il ciclo sedimentario Plio-Pleistocenico inizia in seguito alla tettonica distensiva della fine del Miocene, in corrispondenza della quale il substrato carbonatico è stato disarticolato in una serie di cosiddetti horst e graben, cioè allineamenti di zone depresse e rilevate topograficamente, interessate tra la fine del Pliocene e il Pleistocene da un importante episodio di ingressione marina.

I terreni legati a questa fase compaiono come sabbie, livelli conglomeratici più o meno cementati, sabbie argillose, limi, argille grigie più o meno sabbiose, queste ultime prevalenti verso la base della formazione, di spessore complessivo difficilmente valutabile ma non inferiore alle parecchie decine di metri, al di sotto dei quali si incontra un substrato pre-miocenico calcareo-silico-marnoso ribassato per motivi tettonici.

I prodotti vulcanici risultano arealmente subordinati rispetto ad altri domini sedimentari e sono legati alle emissioni dei distretti eruttivi laziali, principalmente a quello del Distretto Albano e subordinatamente a quello del distretto sabatino; essi si collocano stratigraficamente in contatto superiore con i vari terreni sedimentari del ciclo plio-pleistocenico.

Nel corso dell'ultimo milione di anni il Mar Tirreno ha conosciuto numerose fasi di ingressione e regressione, che hanno portato da una parte alla modellazione delle coste e del delta tiberino attuali, dall'altra alla sovrapposizione dei terreni alluvionali del Tevere sulle sequenze argilloso-sabbioso-conglomeratiche del Pliocene e del Pleistocene inferiore e medio. La valle tiberina, quella del fiume Aniene e con esse i fondovalle dei tributari principali, sono caratterizzate da ghiaie, conglomerati, sabbie, limi ed argille, attribuibili cronologicamente all'Olocene, ed è stata incisa via via che i sedimenti della campagna romana emergevano: l'erosione arrivò a scendere, durante l'ultima glaciazione (circa 11.000 anni fa), di oltre 100 metri rispetto allo zero attuale. Poi con la risalita post-glaciale del livello marino, la valle è



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

stata in gran parte colmata da alluvioni sabbiose e ghiaiose, che hanno così ricostituito una pianura a quote mediamente inferiori rispetto alle colline circostanti. In tempi più recenti, l'intero sistema idrografico ha di nuovo inciso le sue stesse alluvioni, creando almeno tre ordini di terrazzi, sempre in relazioni alle oscillazioni di quota del livello marino.

Sempre in epoche recenti ed in connessione con le attività vulcaniche periferiche terminali del distretto albano vanno segnalati i vasti affioramenti di travertino, tipici dell'intero comprensorio e principalmente distribuiti a ridosso del corso del F. Aniene. Essi sono il prodotto di un'attività idrotermale che provoca la risalita di acque calde sovrassature in carbonato di calcio (CaCO_3) con rilevante presenza di anidride carbonica (CO_2) e, subordinatamente, di acido solfidrico (H_2S).

3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in esame è posta in prossimità del margine orientale di un rilievo, ad una ad una quota di circa 212 m s.l.m.. Il tratto di strada in oggetto corre a mezzacosta su un versante che degrada a valle della strada con pendenze acclivi che possono localmente raggiungere i 45° in direzione dei quadranti occidentali, verso il Fiume Aniene che scorre a circa 300 m più ad ovest ad una quota di circa 100 m s.l.m..

In relazione alle condizioni topografiche del sito in esame (Tab. 3.2.IV) si definisce la **Categoria T2 [pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$]** corrispondente ad un **Coefficiente di Amplificazione Topografica $S_T = 1,20$** .

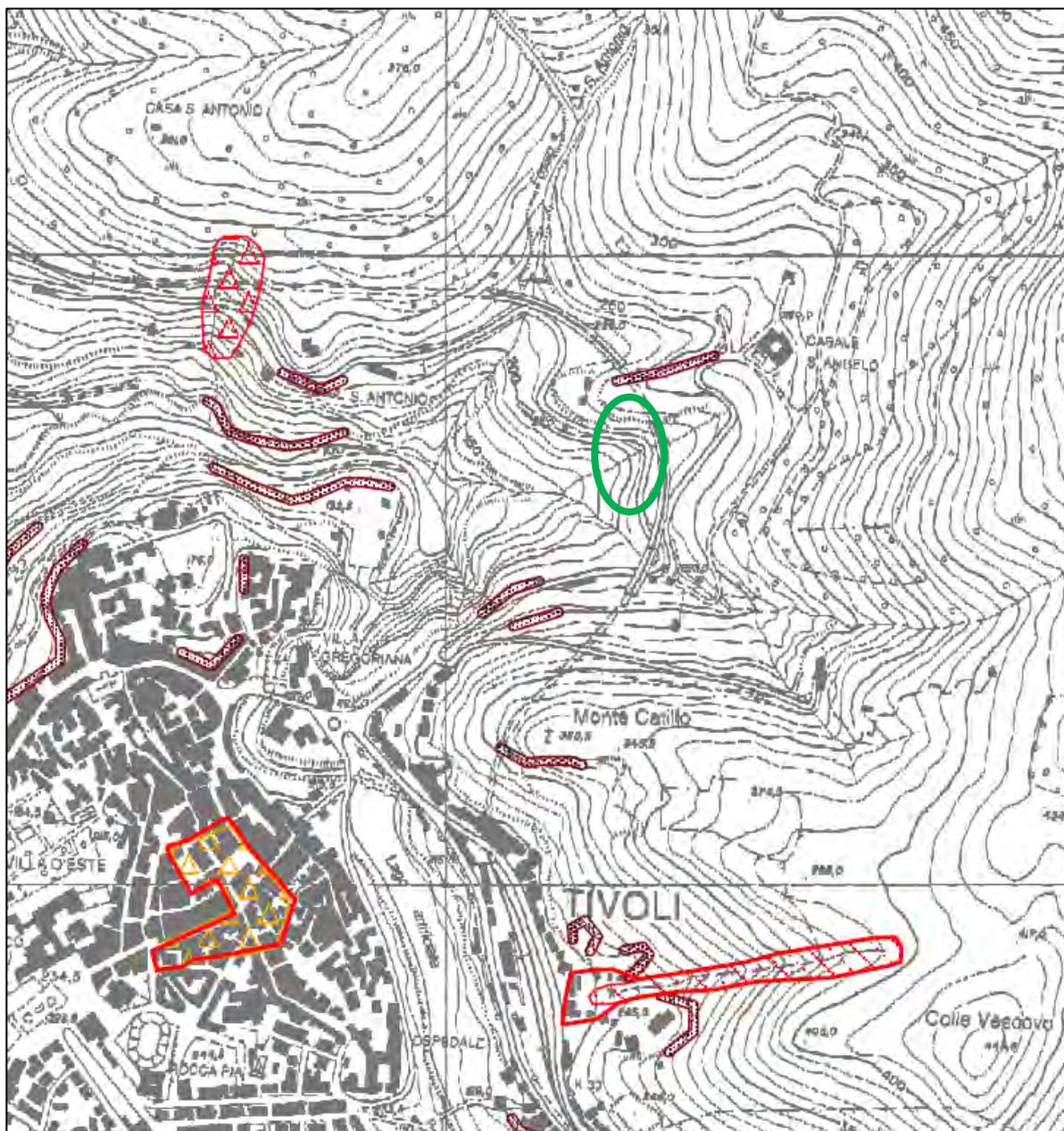


Figura 4 Stralcio tavola n.°39 – Inventario dei fenomeni franosi e situazione a rischio frana (PAI)



Ubicazione del sito

Le osservazioni compiute hanno evidenziato le mediocri condizioni geomorfologiche dell'area in esame, si riscontrano infatti tracce di corrugamenti sul manto stradale, indicanti un dissesto franoso che coinvolge la carreggiata stradale.

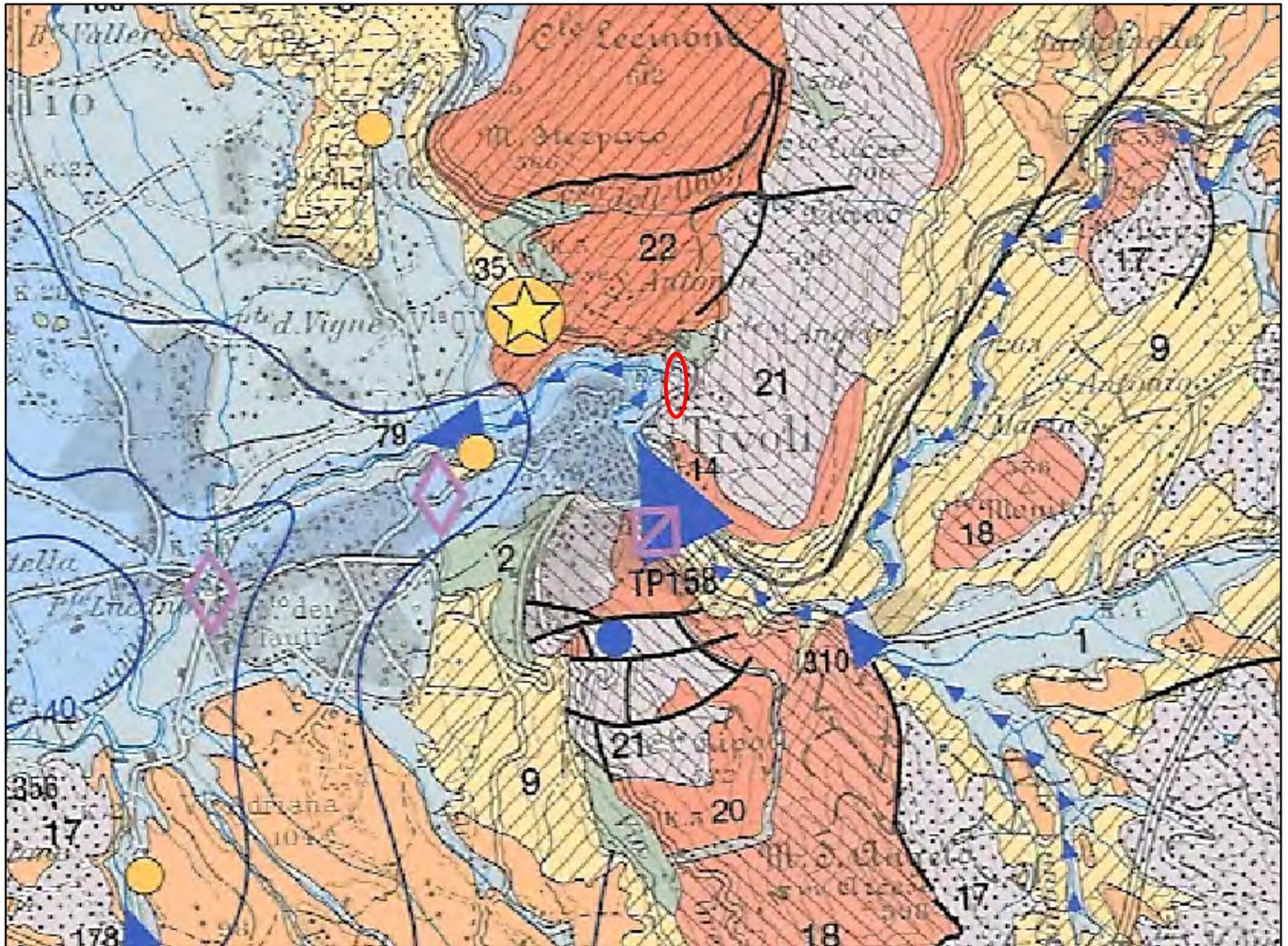


Foto. 1

4 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista idrogeologico l'area in esame fa parte dell'Unità Carbonatiche – C11 – Monti Ruffi – Lucretili - Cornicolani (Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio, scala 1:250.000, Capelli G. et alii, 2012). Questa unità corrisponde ad un sistema idraulicamente definito, in cui la presenza di limiti idraulici delimita le aree di ricarica di questo serbatoio regionale. E' stata distinta in base alla prevalente natura litologica degli acquiferi in essa contenuti ed è caratterizzata da un'estensione areale regionale di 288 Km².

Inoltre è inserita all'interno del complesso calcareo silico marnoso (Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, scala 1:100.000, Capelli G. et alii, 2012).



21 **COMPLESSO CALCAREO-SILICO-MARNOSO - potenzialità acquifera medio bassa**
 Calcari sottilmente stratificati intercalati a diaspri, marne e argille in varia proporzione (*GIURASSICO SUP.*) caratteristici del dominio pelagico e di transizione. Spessore complessivo variabile tra 100 e 200 m. Per la bassa permeabilità d'insieme il complesso assume il ruolo di acquiclud che sostiene la circolazione idrica del complesso della Maiolica; dove dislocato o di spessore ridotto assume il ruolo di acquifera.

Figura 5- Stralcio Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, scala 1:100000

 Ubicazione del sito



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

4.1 IDROGEOLOGIA DELL'AREA

La permeabilità è da considerarsi da medio bassa. La falda idrica è stata riscontrata nel piezometro installato nel sondaggio S1 ad una profondità di circa 18,80 m da p.c. anche se non è da escludere l'eventuale presenza di modeste falde superficiali sostenute da livelli meno permeabili.

5 GEOLOGIA DI DETTAGLIO

L'area in oggetto è caratterizzata, al di sotto di uno spessore metrico dei materiali costituenti il pacchetto stradale, dalla presenza di piroclastiti, passanti in profondità a calcilutite e calcareniti sostenute da argille marnose.

5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico del sito e di valutare le caratteristiche geotecniche e sismiche locali del terreno sono state eseguite le seguenti indagini:

- un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- acquisizione indagini realizzate tra Marzo e Novembre del 2021 dalla SONDEDILE S.r.l., in particolare:
 - a. n°1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 20 m da p.c., attrezzato con tubazione piezometrica (S1);
 - b. n°1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 35 m da p.c., attrezzato con tubo in PVC per esecuzione di prova geofisica di tipo Down-hole (S2);
 - c. n°2 SPT in foro (1 per sondaggio);
 - d. n°2 campioni indisturbati (1 per sondaggio);
 - e. n°4 campioni rimaneggiati (1 nel S1 e 3 nel S2);
 - f. analisi di laboratorio sui campioni prelevati;



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

- g. n°2 prove penetrometriche dinamiche di tipo superpesante DPSH;
- h. n°1 prova sismica in foro Down-Hole;
- i. n°2 misure dei microtremori HVSR;
- j. n°2 misure sismiche di tipo MASW;
- verifica di stabilità ante operam in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

Tali indagini, ubicate come in planimetria allegata, hanno permesso la ricostruzione stratigrafica dall'alto verso il basso del sito caratterizzata dalla presenza dei seguenti litotipi (Vedi colonna stratigrafica e sezioni geologiche interpretative allegate):

- A. RIPORTO, costituito da asfalto avente uno spessore di circa 0,20 m e ghiaia con sabbia avente spessore di circa 0,60 m;
- B. PIROCLASTITE, a granulometria da limo sabbiosa con livelli ghiaiosi a sabbia limoso ghiaiosa poco addensata di colore marrone rossastro. Mostra uno spessore di circa 6,70 m;
- C. CALCARENITE E CALCILUTITE, alterate in alternanza, a livelli fratturate di colore bianco grigio. Mostrano uno spessore minimo di circa 22,50 m;

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche, i valori acquisiti di N_{spt} forniti dalle prove penetrometriche e dalle SPT, correlati con teorie di vari autori, unitamente alle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevato, hanno permesso di determinare la seguente tabella dei parametri minimi dei litotipi rinvenuti:

LITOTIPI	Peso di volume γ (t/m ³)	Angolo d'attrito (°)	Coesione drenata C (t/m ²)
A) <u>MATERIALE DI RIPORTO</u>	1.78	24	0.2
B) <u>PIROCLASTITE</u>	1.88	24	0.5
C) <u>CALCARENITE E</u> <u>CALCILUTITE</u>	2.10	35	2

Nel rispetto del § 7.11.3.4.2 delle N.T.C./18, va precisato che si esclude la verifica a liquefazione in quanto la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 metri dal piano campagna.

5.2 VERIFICA DI STABILITÀ DEL PENDIO

Il **D.M. 17.01.2018-Norme Tecniche per le Costruzioni § 6.3.4** afferma che le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento dell'assetto strutturale, dei parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali. Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini. Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso. Quando sussistano condizioni tali da non consentire un'agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.

Quindi per valutare la stabilità del pendio è stato utilizzato il metodo di Bell, mediante il quale è possibile determinare il fattore di sicurezza di una superficie di scorrimento circolare, tenendo conto delle azioni sismiche.

Nel caso in esame di pendio finito le variabili che concorrono alla localizzazione del cerchio di scorrimento sono due: il raggio R e le coordinate del centro di rotazione $O(x,y)$.

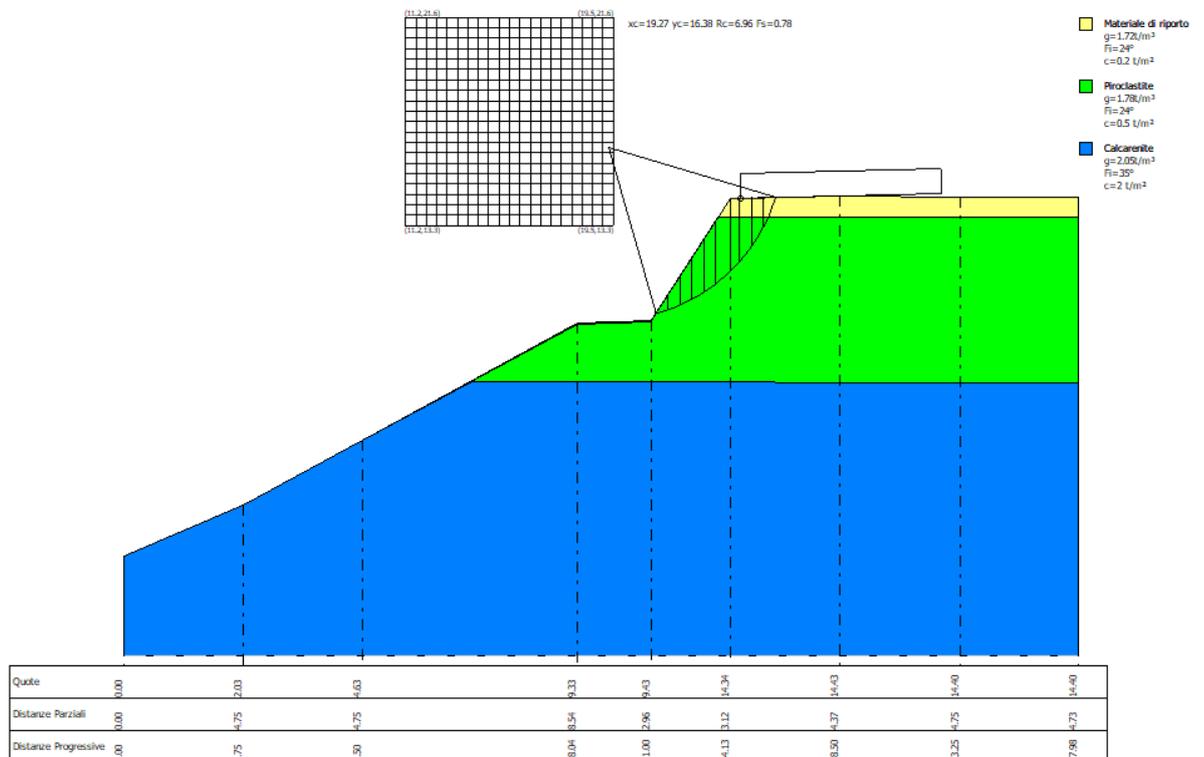
Ciò comporta un numero infinito di soluzioni possibili quindi si è operato nel seguente modo:

- a) Si è immesso il profilo del pendio nel computer e costruito una griglia di punti sulla verticale del pendio;
- b) Questa costituisce una matrice di coordinate di centri $O_i(x_i,y_i)$ di possibili cerchi di scivolamento;
- c) Si è calcolato quindi per ogni cerchio relativo a ciascun nodo della griglia, il corrispondente fattore di sicurezza F_i ;
- d) Si è ottenuto quindi un piano quotato del fattore di sicurezza F (vedere elaborato grafico).

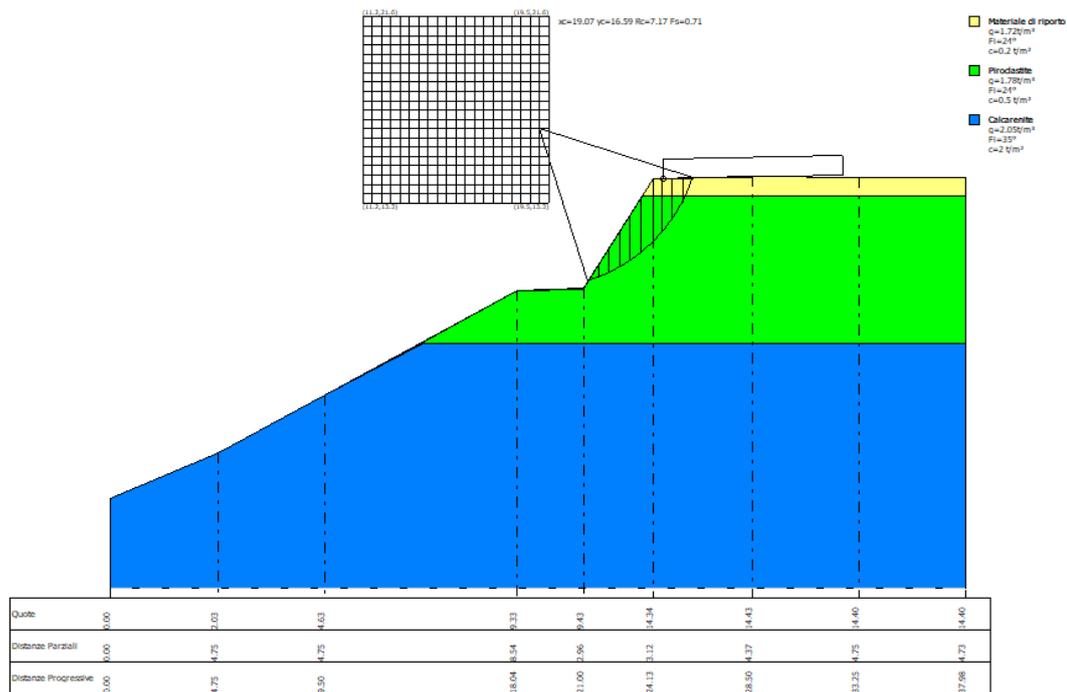
Sulla base dei dati stratigrafici acquisiti mediante la realizzazione del sondaggio, della prova penetrometrica e utilizzando il profilo estratto dal DTM della Regione Lazio, è stata calcolata una sezione litotecnica rappresentativa.

Su tale sezione sono state effettuate delle valutazioni sullo stato di equilibrio del versante allo stato attuale, in condizioni sismiche e statiche, da cui si ottengono valori minimi del coefficiente di sicurezza inferiore a 1.0 (valore limite di collasso), stando ad indicare una situazione di instabilità del versante in studio.

VERIFICA DI STABILITA' IN CONDIZIONI SISMICHE



VERIFICA DI STABILITA' IN CONDIZIONI STATICHE



6 CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

Coordinate del sito WGS84 Lat. 41.969158° Long. 12.807345°

Il comune di **Tivoli** è stato classificato come località non sismica sulla base delle proposte del Gruppo di Lavoro del Servizio Sismico Nazionale (Ord. P.C.M. n.2788 del 12.06.1998). E' stato poi classificato in **Zona 2** ai sensi dell'Ord. P.C.M. n°3274 del 20.03.2003 e successivamente confermato, in ottemperanza alla Delib. Giunta Reg. Lazio n°766 del 01.08.2003 che aggiorna in senso restrittivo l'Ord. P.C.M. n°3274, in Zona 3, equiparata alla precedente **Seconda Categoria Sismica**.



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

Con la DGR Lazio n°387 del 22.05.2009 (Bur Lazio 24/2009; S.O. 106) attualmente vigente, che rivede globalmente i criteri di valutazione della pericolosità sismica del territorio regionale, il Comune di **Tivoli** è stato inserito nella **sottozona 2B**.

6.1 INDAGINI GEOFISICHE

Allo scopo di caratterizzare sismicamente il sottosuolo dell'area sono state eseguite, dalla SONDEDILE S.r.l. le seguenti indagini geofisiche (vedere Planimetria in allegato):

- a. N°2 prove sismiche MASW;
- b. n°2 misure di rumore strumentale HVSR;
- c. n°1 prospezione sismica Down-Hole

Le indagini sismiche acquisite hanno ottenuto valori delle velocità di V_{Seq} di **420 m/s (MASW 1)**, di V_s eq di **449 m/s (MASW 2)** e di V_s eq di **446,74 m/s (DOWN-HOLE)**.

Ai sensi delle NTC18 (“Norme Tecniche per le Costruzioni”, Tab. 3.2.II), per la progettazione di manufatti soggetti ad azioni sismiche, il terreno in esame può essere riferito alla **Categoria di Suolo di Fondazione 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.**

PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Nell'ipotesi, da verificare in fase progettuale, di un edificio ricadente in **Classe II** (par. 2.4.2 NTC) e di una **vita nominale pari a 50 anni** e un **periodo di riferimento pari a 50 anni**, si definiscono i seguenti parametri di pericolosità sismica ai sensi della normativa vigente:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.054	2.488	0.259
Danno (SLD)	50	0.067	2.464	0.274
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.155	2.462	0.304
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.193	2.473	0.314
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,44	1,43	1,40	1,39
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]				0.6
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.019	0.053	0.067
kv	0.008	0.010	0.027	0.033
Amax [m/s ²]	0.765	0.952	2.183	2.725
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240



Dottor Geologo Patrizio Conte

via Chiari n 1

00182 - Roma

Tel. 329/0642128

E mail: geol.patrizio.conte@gmail.com

Pec: patrizio.conte@pec.geologilazio.it

CONCLUSIONI

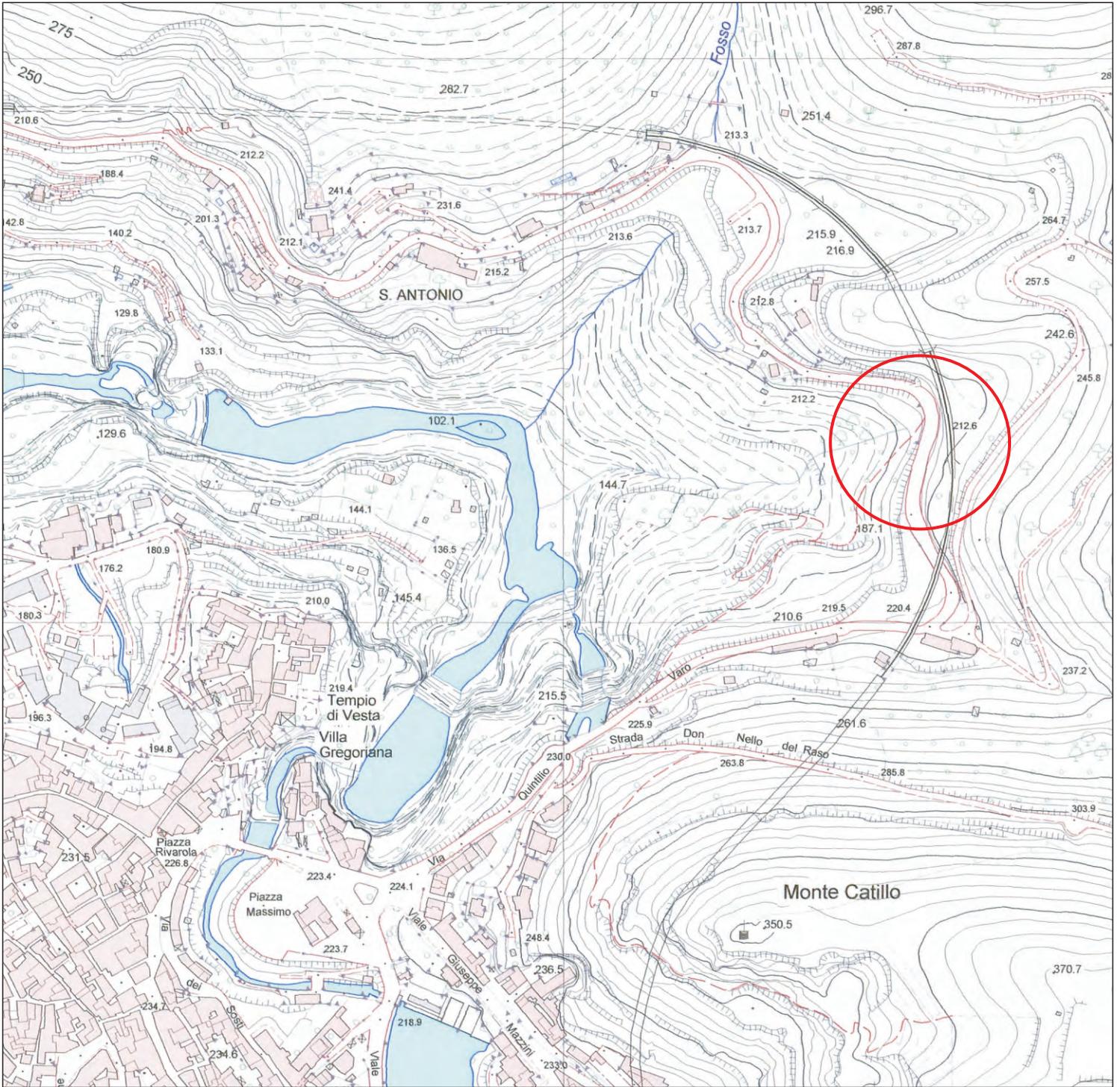
Alla luce delle indagini e delle verifiche effettuate si ritiene necessario, allo scopo di impedire l'eventuale evoluzione retrograda del dissesto in atto che, comporterebbe l'arretramento del fronte di frana con interessamento dell'intera carreggiata, procedere all'esecuzione di interventi di consolidamento in progetto.

Roma, Maggio 2022

Dottor Geologo Patrizio Conte

COROGRAFIA GENERALE

Scala 1:10.000



Ubicazione del sito

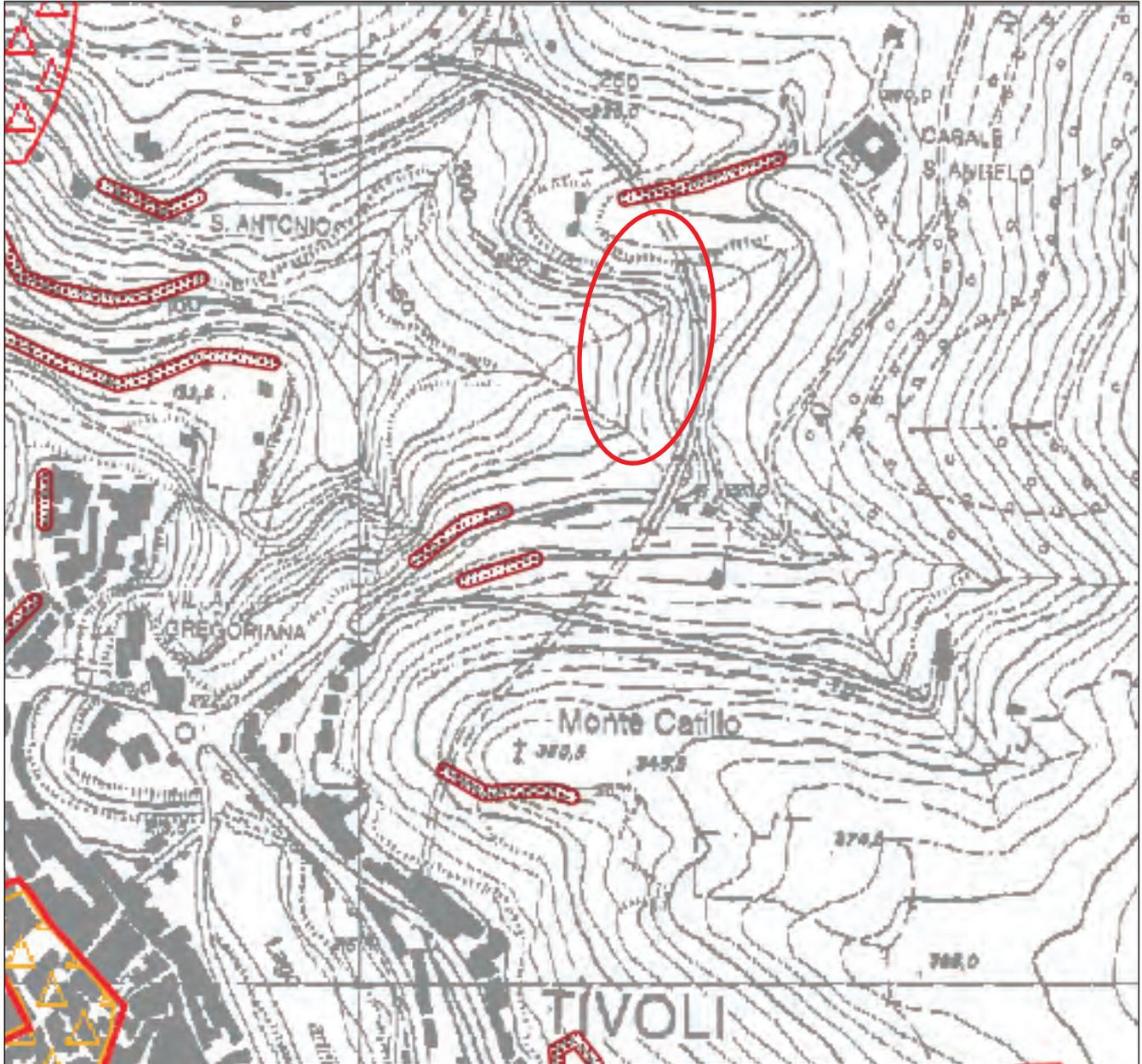
PLANIMETRIA INDAGINI E SEZIONI

Legenda

- Prova DPSH
- Sondaggio geognostico
- TRACCIA SEZ 1
- TRACCIA SEZ 2



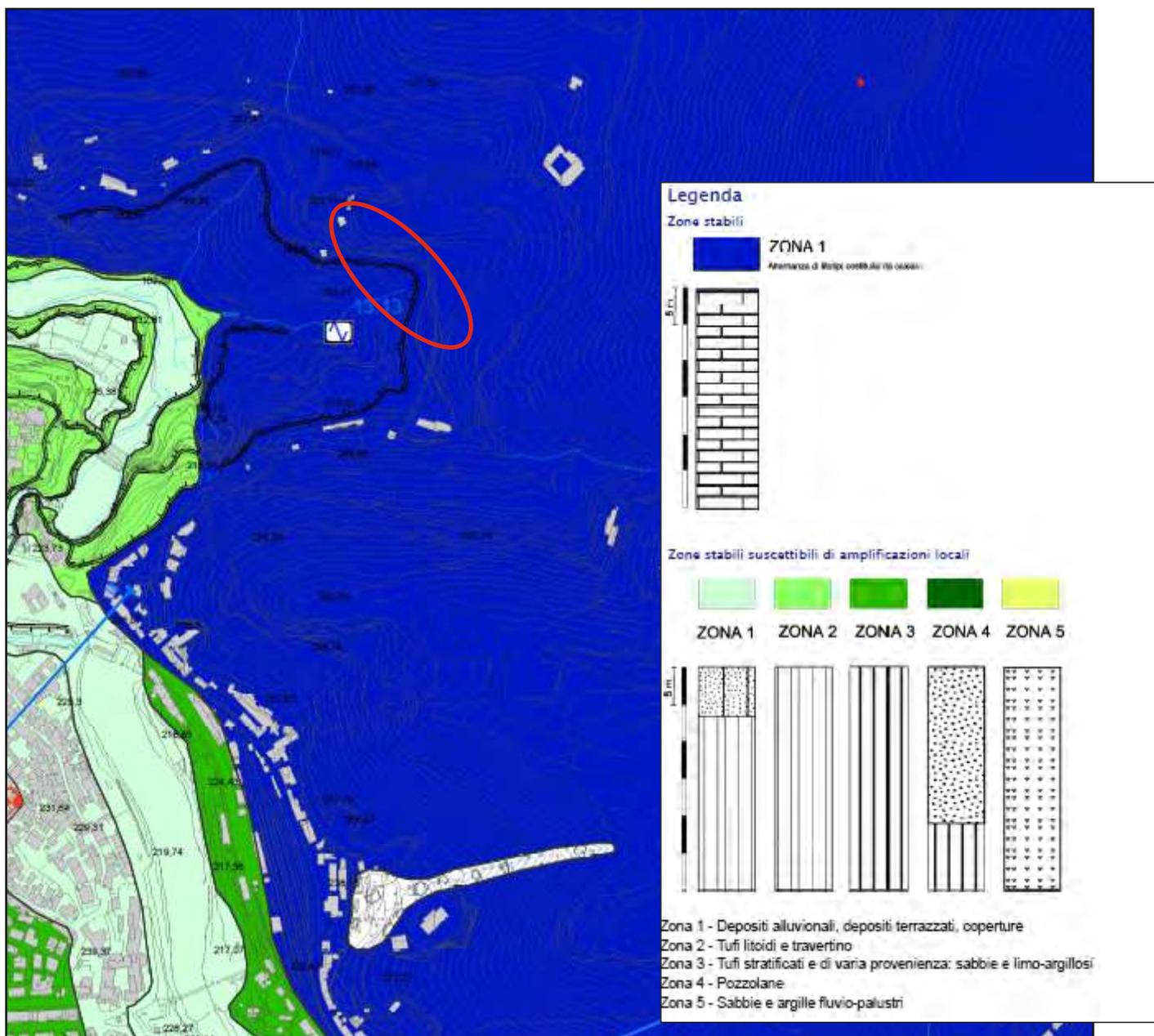
Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico



 <p>Autorità di Bacino del Fiume Tevere via Badmel 12 - 00185 - ROMA - 06/50261 - www.abtevere.it</p>																																					
<p>Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico</p> <p>Inventario dei fenomeni franosi e situazioni di rischio da frana</p> <p>scala 1:10.000</p>																																					
<p>Tavola 39 di 304</p>	<p>Roma, 1 agosto 2002</p> <p><small>Ultimo Stato di Documentazione con il Sistema Informativo di Assetto Idrogeologico Info: sito: area: Piano: Tavola: - p: info: frausi@abtevere.it</small></p>																																				
<p>Legenda</p> <p>Inventario dei fenomeni franosi</p> <table border="0"><tr><td></td><td>frana per colto inibimento</td><td></td><td>area a rischio di frana</td></tr><tr><td></td><td>frana per scivolamento</td><td></td><td>frana presente</td></tr><tr><td></td><td>frana per colamento</td><td></td><td>oro di scarpata di frana</td></tr><tr><td></td><td>frana complessa</td><td></td><td>frana non cartografabile</td></tr><tr><td></td><td>area con fenomeni di frana</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>area interessata da deformazioni gradative profonde (DGP)</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>area interessata da deformazioni superficiali (SDF)</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>frana tipo crollo di detrito</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>debris flow (colata di detrito)</td><td></td><td></td></tr></table> <p><small>* - Rimangono in questa categoria i fenomeni stabilizzati con interventi di bonifica.</small></p>			frana per colto inibimento		area a rischio di frana		frana per scivolamento		frana presente		frana per colamento		oro di scarpata di frana		frana complessa		frana non cartografabile		area con fenomeni di frana				area interessata da deformazioni gradative profonde (DGP)				area interessata da deformazioni superficiali (SDF)				frana tipo crollo di detrito				debris flow (colata di detrito)		
	frana per colto inibimento		area a rischio di frana																																		
	frana per scivolamento		frana presente																																		
	frana per colamento		oro di scarpata di frana																																		
	frana complessa		frana non cartografabile																																		
	area con fenomeni di frana																																				
	area interessata da deformazioni gradative profonde (DGP)																																				
	area interessata da deformazioni superficiali (SDF)																																				
	frana tipo crollo di detrito																																				
	debris flow (colata di detrito)																																				

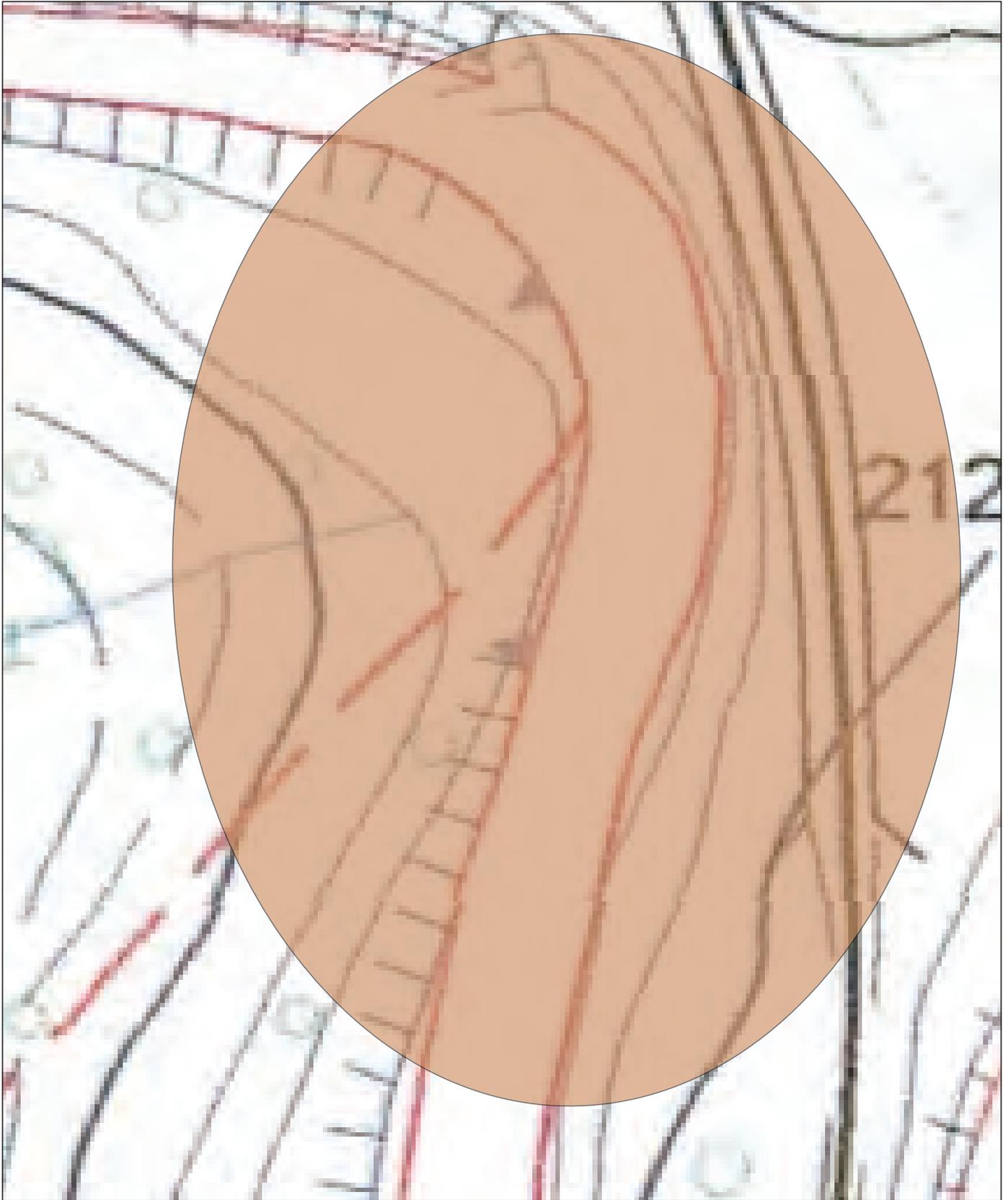
 Ubicazione del sito

Stralcio Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)



 Ubicazione del sito

CARTA GEOLOGICA
Scala 1:1.000



Legenda

 Piroclastiti

SEZIONE GEOLOGICA 1 SCALA 1:200

EST

S.P.

S2

OVEST

metri da p.c.

0

-5

-10

-15

-20

-25

-30

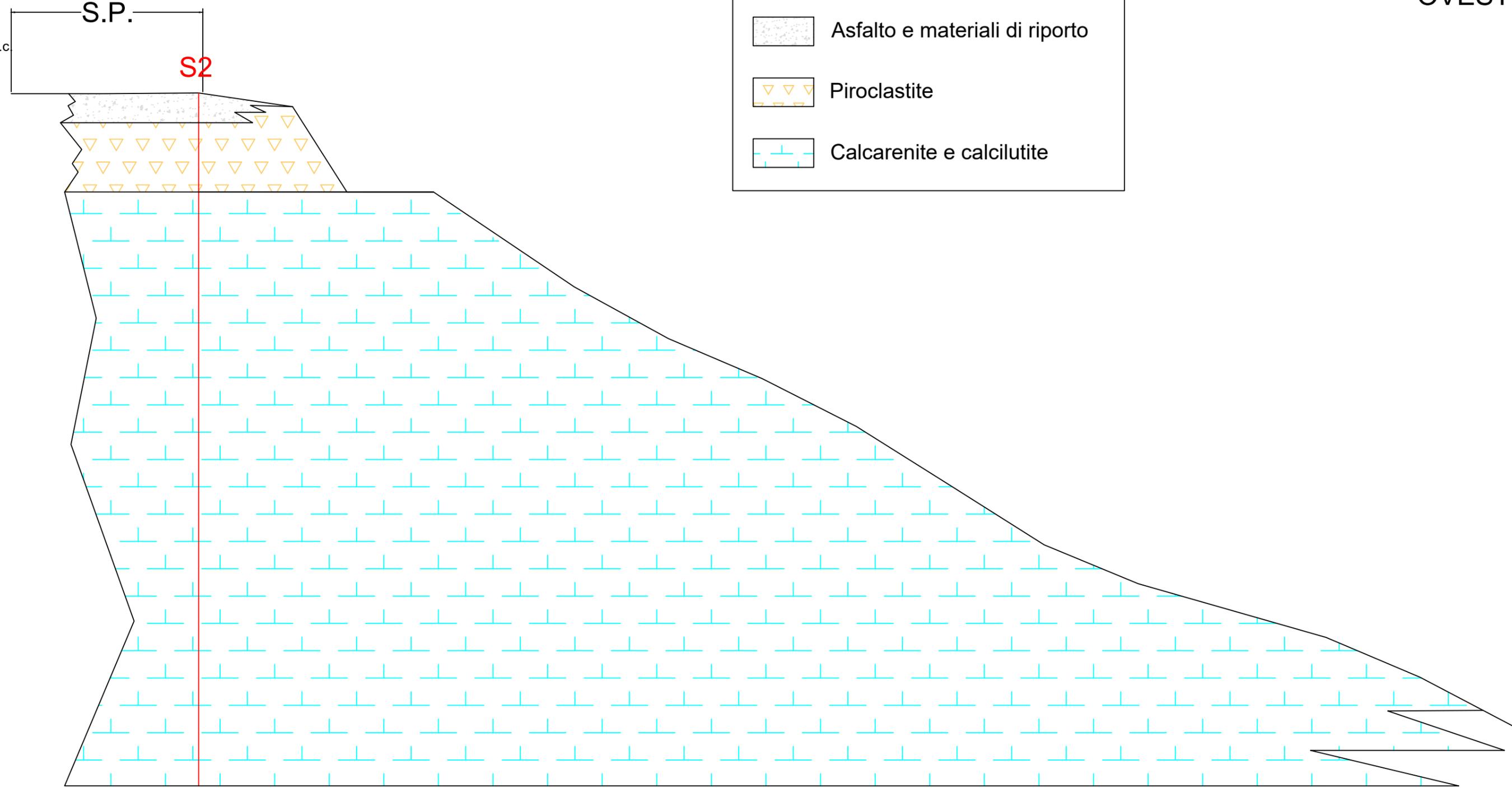
-35

LEGENDA

 Asfalto e materiali di riporto

 Piroclastite

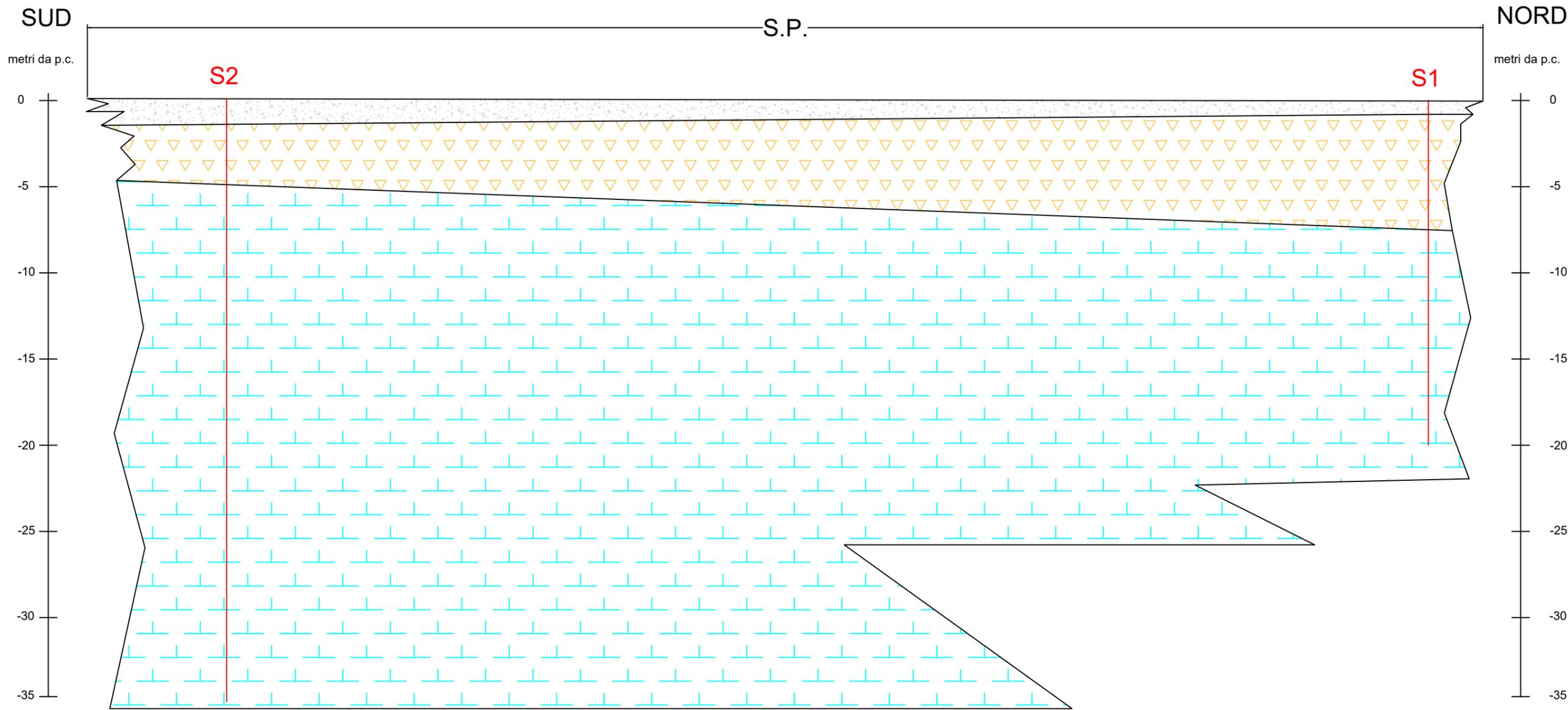
 Calcarenite e calcilutite



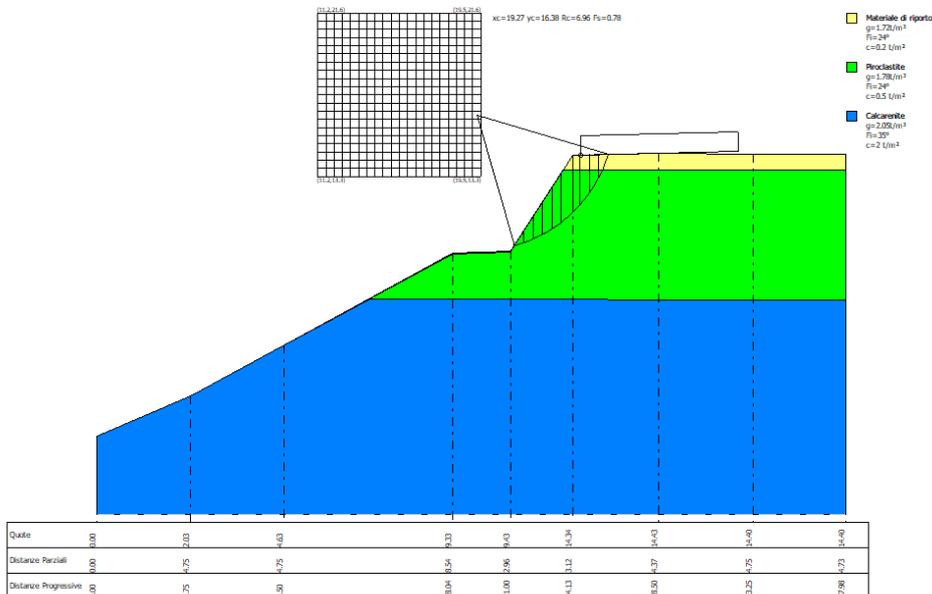
SEZIONE GEOLOGICA 2 SCALA 1:250

LEGENDA

-  Asfalto e materiali di riporto
-  Piroclastite
-  Calcarenite e calcilutite



VERIFICA DI STABILITA' IN CONDIZIONI SISMICHE



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	41.969158/12.807345
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	11.22 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	13.25 m
Ascissa vertice destro superiore xs	19.48 m
Ordinata vertice destro superiore ys	21.59 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II

Vita nominale: 50.0 [anni]
 Vita di riferimento: 50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.53	2.49	0.26
S.L.D.	50.0	0.66	2.46	0.27
S.L.V.	475.0	1.52	2.46	0.3
S.L.C.	975.0	1.89	2.47	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.7632	0.2	0.0156	0.0078
S.L.D.	0.9504	0.2	0.0194	0.0097
S.L.V.	2.1888	0.24	0.0536	0.0268
S.L.C.	2.7216	0.24	0.0666	0.0333

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0536
 Coefficiente azione sismica verticale 0.0268

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.75	2.03
3	9.5	4.63
4	18.04	9.33
5	21.01	9.43
6	24.13	14.34
7	28.5	14.43
8	33.25	14.4
9	37.98	14.4

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.75	2.03
3	9.5	4.63
4	13.99	7.08
5	18.04	9.3
6	20.96	9.38
7	23.64	13.58
8	37.98	13.58

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	4.75	2.03

5	9.5	4.63
6	13.86	6.97
7	37.98	6.93

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (t/m ²)	Coesione non drenata (t/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso saturo (t/m ³)	Litologia
1	0.2		24	1.72	1.80	Materiale di riporto
2	0.5		24	1.78	2.00	Piroclastite
3	2		35	2.05	2.05	Calcarenite

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (t/m ²)
1	24.55	14.34	32.55	14.5107	0

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	0.78
Ascissa centro superficie	19.27 m
Ordinata centro superficie	16.38 m
Raggio superficie	6.96 m

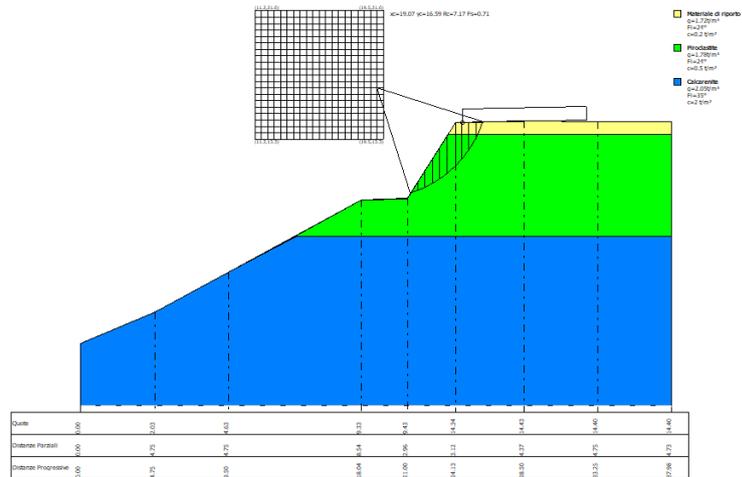
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;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

$$x_c = 19.274 \quad y_c = 16.378 \quad R_c = 6.955 \quad F_s = 0.779$$

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	0.48	17.9	0.5	0.26	0.01	0.01	0.5	24.0	0.0	0.1	0.4
2	0.48	22.1	0.51	0.75	0.04	0.02	0.5	24.0	0.0	0.5	0.6
3	0.48	26.4	0.53	1.2	0.06	0.03	0.5	24.0	0.0	0.9	0.9
4	0.48	30.9	0.56	1.61	0.09	0.04	0.5	24.0	0.0	1.2	1.1
5	0.48	35.6	0.59	1.98	0.11	0.05	0.5	24.0	0.0	1.5	1.3
6	0.58	41.1	0.77	2.83	0.15	0.08	0.5	24.0	0.0	2.2	1.8
7	0.37	46.5	0.54	1.82	0.1	0.05	0.5	24.0	0.0	1.4	1.2

8	0.48	52.0	0.77	1.9	0.1	0.05	0.5	24.0	0.0	1.4	1.3
9	0.48	59.0	0.92	1.33	0.07	0.04	0.5	24.0	0.0	0.8	1.1
10	0.48	68.0	1.27	0.54	0.03	0.01	0.2	24.0	0.0	0.3	0.5

VERIFICA DI STABILITA' IN CONDIZIONI STATICHE



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	41.970817/12.805486
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	11.22 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	13.25 m
Ascissa vertice destro superiore xs	19.48 m
Ordinata vertice destro superiore ys	21.59 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:
 Categoria topografica:

C
 T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.53	2.49	0.26
S.L.D.	50.0	0.66	2.46	0.27
S.L.V.	475.0	1.52	2.46	0.3
S.L.C.	975.0	1.89	2.47	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.954	0.2	0.0195	0.0097
S.L.D.	1.188	0.2	0.0242	0.0121
S.L.V.	2.6835	0.24	0.0657	0.0328
S.L.C.	3.2078	0.24	0.0785	0.0393

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.75	2.03
3	9.5	4.63
4	18.04	9.33
5	21.01	9.43
6	24.13	14.34
7	28.5	14.43
8	33.25	14.4
9	37.98	14.4

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.75	2.03
3	9.5	4.63
4	13.99	7.08
5	18.04	9.3
6	20.96	9.38
7	23.64	13.58
8	37.98	13.58

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	4.75	2.03
5	9.5	4.63
6	13.86	6.97
7	37.98	6.93

Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (t/m ²)	Coesione non drenata (t/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso saturo (t/m ³)	Litologia
1	0.2		24	1.72	1.80	Materiale di riporto
2	0.5		24	1.78	2.00	Piroclastite
3	2		35	2.05	2.05	Calcarenite

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (t/m ²)
1	24.55	14.34	32.55	14.5107	0

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	0.71
Ascissa centro superficie	19.07 m
Ordinata centro superficie	16.59 m
Raggio superficie	7.17 m

xc = 19.067 yc = 16.586 Rc = 7.169 Fs=0.705

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	0.47	19.4	0.5	0.24	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	0.1	0.3
2	0.47	23.4	0.51	0.7	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	0.5	0.6
3	0.47	27.5	0.53	1.13	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	0.9	0.7
4	0.47	31.8	0.55	1.52	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	1.2	0.9
5	0.47	36.4	0.58	1.87	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	1.5	1.1
6	0.58	41.8	0.78	2.74	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	2.3	1.6
7	0.35	47.0	0.52	1.64	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	1.4	1.0
8	0.47	52.1	0.76	1.79	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	1.4	1.2
9	0.47	58.8	0.9	1.24	0.0	0.0	0.4	19.6	0.0	0.8	0.9
10	0.47	67.2	1.21	0.5	0.0	0.0	0.16	19.6	0.0	0.3	0.4



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonedile s.r.l. unipersonale

Viale Francesco Crispi, 17
64100 Teramo (TE) - ITALY
Tel. +39 0861 411432
Fax. +39 0861 411442

www.sonedile.com

info@sondedile.com

PEC: sondedilesrl@legalmail.it

C.C.I.A.A. di Teramo

P.IVA e C.F. 00075830679

ISO 9001

BUREAU VERITAS
Certification



Città metropolitana di Roma Capitale

“Roma ed altri – Indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche da effettuarsi nel territorio metropolitano”

Ordine di servizio n. 4

“Progettazione di interventi per la messa in sicurezza del tratto della s.p. Quintiliolo al km 0+750 circa nel comune di Tivoli, soggetto a fenomeni di dissesto”

SONDEDILE SRL



INDICE

PREMESSA	4
INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	5
1.1 NORMATIVA APPLICATA	5
1.2 SONDAGGI	6
1.3 ATTREZZATURE IMPIEGATE	7
1.4 MODALITÀ ESECUTIVE	8
1.5 DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	8
1.6 PRELIEVO DI CAMPIONI	8
1.6.1 PRELIEVO DI CAMPIONI INDISTURBATI.....	9
1.6.2 PRELIEVO CAMPIONI RIMANEGGIATI.....	9
1.6.3 PRELIEVO DI CAMPIONI RAYMOND – SPT.....	9
1.7 PROVE IN FORO.....	10
1.7.1 STANDARD PENETRATION TEST (SPT).....	10
1.8 STRUMENTAZIONE NEI FORI DI SONDAGGIO	12
1.8.1 PIEZOMETRO A TUBO APERTO.....	12
1.8.2 TUBO IN PVC PROVA DOWN-HOLE.....	12
2 INDAGINE GEOFISICA HVSR	13
2.1 GENERALITÀ.....	13
2.2 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA.....	14
2.3 INTERPRETAZIONE DELLA MISURA ESEGUITA.....	15
2.3.1 FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO.....	15
2.4 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI DOPPIA RISONANZA.....	16
3 INDAGINE GEOFISICA DOWN-HOLE	17
3.1 GENERALITÀ.....	17
3.2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	18
4 PROVE PENETROMETRICHE.....	21
4.1 MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI	22



SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52

Sonedile s.r.l. unipersonale

www.sonedile.com

Viale Francesco Crispi, 17

64100 Teramo (TE) - ITALY

Tel. +39 0861 411432

Fax. +39 0861 411442

info@sondedile.com

PEC:sondedilesri@legalmail.it

C.C.I.A.A. di Teramo

P.IVA e C.F. 00075830679



ALLEGATO A – INDAGINI GEOGNOSTICHE	23
<i>ALLEGATO A1 – REPORT STRATIGRAFICI E RELATIVA DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</i>	<i>23</i>
<i>ALLEGATO A2 – LETTURE PIEZOMETRICHE</i>	<i>39</i>
ALLEGATO B – INDAGINI GEOFISICHE	41
<i>ALLEGATO B1 – INDAGINE GEOFISICA TIPO HVSR</i>	<i>41</i>
<i>ALLEGATO B2 – INDAGINE GEOFISICA DOWN-HOLE</i>	<i>44</i>
ALLEGATO C – PROVE PENETROMETRICHE	48
ALLEGATO D – PROVE DI LABORATORIO	51

PREMESSA

Nella presente relazione si espongono in maniera descrittiva i risultati delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche eseguite su incarico della Città metropolitana di Roma Capitale nell'ambito del progetto denominato "Progettazione di interventi per la messa in sicurezza del tratto della s.p. Quintiliolo al km 0+750 circa nel comune di Tivoli, soggetto a fenomeni di dissesto".

In particolare sono stati eseguiti:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo;
- n°1 prova geofisica tipo Down-Hole;
- n°1 prova geofisica tipo HVSR;
- n°2 prove penetrometriche tipo DPSH;
- Prove di laboratorio geotecnico.

Tutte le fasi lavorative sono state svolte in accordo con la D.L.

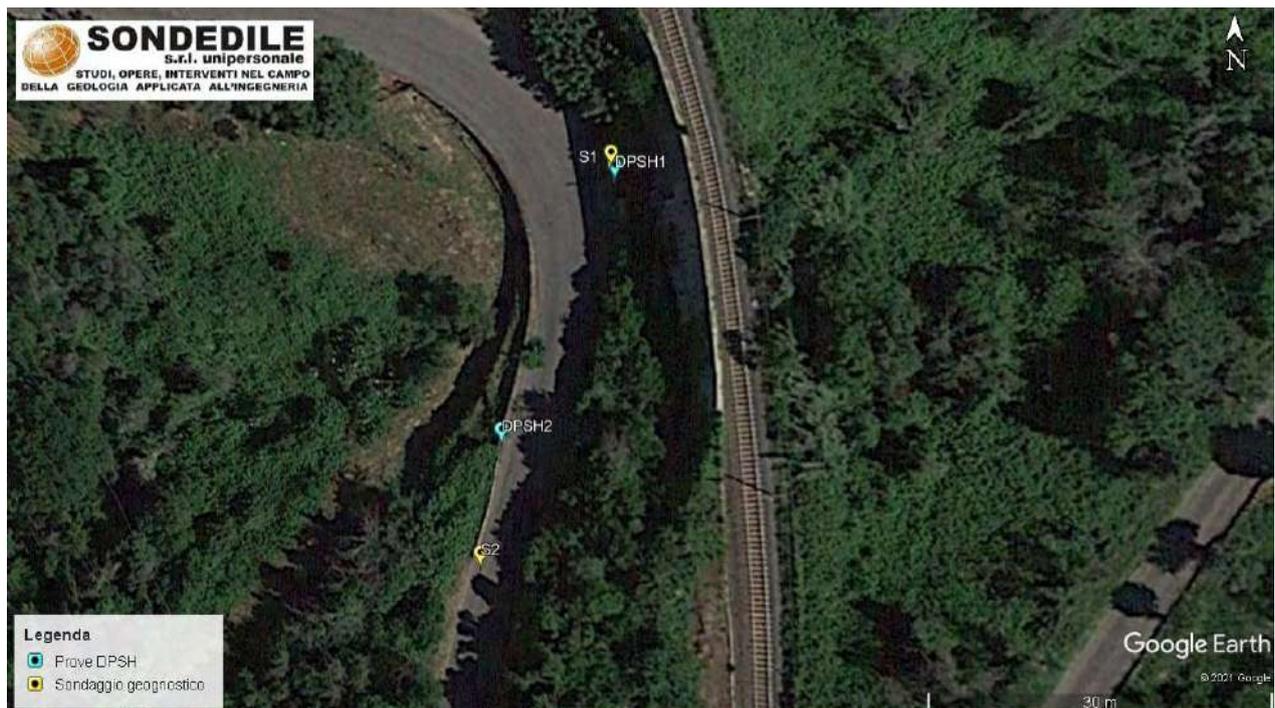


Figura 1 - Ubicazione indagini (Google Earth).



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonedile s.r.l. unipersonale www.sonedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sondedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sondedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



INDAGINI GEOGNOSTICHE

1.1 NORMATIVA APPLICATA

Il carotaggio, l'installazione dell'attrezzatura e l'esecuzione delle prove in situ, sono state eseguite in ottemperanza alle normative di riferimento elencate di seguito:

- AGI: "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche". Giugno 1977;
- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" D.M. 11.03.1988;
- Norme standard previste per l'esecuzione delle prove in situ e in laboratorio (ASTM, AASHO, AASHTO);
- UNI EN 1997-2:2007: "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo".



1.2 SONDAGGI

All'interno della campagna di indagine, sono stati eseguiti in totale **n°2 sondaggi geognostici (carotaggio continuo)**, spinti fino ad una profondità di 35,00 metri dal piano campagna.

Sondaggio	Perforazione	Profondità (m)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Prove SPT	Strumentazione (m)
S1	Carotaggio	20.00	1	1	1	Piezometro T.A. 2'' (20.00)
S2	Carotaggio	35.00	-	3	1	Tubo PVC per prova Down-Hole (35.00)

1.3 ATTREZZATURE IMPIEGATE

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata impiegata una sonda cingolata tipo **GM 600**, avente le caratteristiche idonee al tipo di lavorazione prevista. La sonda è stata dotata dei normali attrezzi di perforazione: aste, carotieri ambientali, rivestimenti metallici.

Gli utensili di perforazione hanno permesso il carotaggio integrale del terreno attraversato senza procurare frantumazioni o dilavamenti. È stato utilizzato, per la perforazione dei terreni, un carotiere semplice ambientale di lunghezza pari a 1.0 m e diametro pari a 101 mm con corone in widia.

Il rivestimento del foro è stato effettuato con batterie di tubazioni metalliche di spessore e resistenza atte a sostenere le pareti e con diametro massimo di 127 mm.

I grassi utilizzati per la corretta manutenzione della sonda e degli utensili di perforazione, tenuto conto della finalità delle indagini, sono di natura vegetale.

GEOMARC Srl					
DATI TECNICI		GM 600 C	MATR. 13/2006		
CARRO CINGOLATO		A 5 - 17			
MOTORE		DEUTZ F4L914			
Potenza		56	KW		
Capacità serbatoio gasolio		80	lt.		
Capacità serbatoio olio idr.		150	lt.		
SLITTA		GM 600			
Lunghezza		5500	mm		
Corsa testa di rotazione		3400	mm		
Forza max di estrazione		4000	Kg		
Spinta max		2600	Kg		
Velocità rapida spinta		32	m/min.		
Velocità rapida risalita		22	m/min.		
GRUPPO MORSE					
Freno max capacità		220	mm		
Svitatore max capacità		220	mm		
Freno forza serraggio		88	kN		
Svitatore coppia		21	kNm		
ARGANO		S 19			
Tiro		2000	Kg		
Diametro fune		12	mm		
Velocità		36	m/min		
TESTA DI ROTAZIONE					
Coppia	Nm	lenta RPM	rapida RPM	Coppia Nm	
I	6050	28	75	2300	
II	2400	68	180	940	
III	1490	114	339	498	
IV	800	215	550	310	
POMPA TRIPLEX 200		MATR. 725.06			
Portata		200	lt/min		
Pressione massima		35	Bar		
IMPIANTO IDRAULICO					
Pompa pistoni	Q ₁ =	44	l /min	240 Bar	
Pompa ingranaggi Doppia	Q ₂ =	67	l /min	175 Bar	
	Q ₃ =	50	l /min	175 Bar	
DIMENSIONI					
Lunghezza	5.600 mm	Larghezza	1.800 mm	Altezza	2.460 mm
PESO TOTALE MACCHINA		6.800 Kg			

Figura 2 - Scheda tecnica GM 600.

1.4 MODALITÀ ESECUTIVE

Durante la perforazione a carotaggio continuo, si è provveduto al sostegno delle pareti del foro mediante infissione di rivestimenti metallici provvisori, di diametro 127 mm con circolazione di acqua pulita.

Nei terreni coesivi e granulari, la perforazione a carotaggio continuo è stata realizzata a secco, senza impiego di acqua di circolazione, utilizzando il carotiere semplice di diametro 101mm e lunghezza di 1500/3000 mm, munito di corona in widia. Per i terreni lapidei, invece, è stato utilizzato il carotiere doppio tipo T6 di diametro 101 mm e lunghezza di 3000 mm.

Tale metodologia, evitando di dilavare il materiale, ha consentito di ottenere la percentuale di carotaggio ottimale e di recuperare le varie frazioni costituenti il terreno e la roccia.

Inoltre l'estrazione delle carote dall'utensile di perforazione è stata eseguita utilizzando l'estrusore idraulico.

1.5 DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in plastica, con cinque e tre scomparti di lunghezza interna utile pari ad 1 metro ciascuno e successivamente fotografate.

L'esame delle carote recuperate dai sondaggi ha permesso l'identificazione di intervalli della successione stratigrafica macroscopicamente omogenei (strati), costituiti cioè o da un tipo di terreno predominante o da alternanze più o meno regolari di terreni differenti.

Definita la successione degli strati è stata redatta la descrizione geotecnica in accordo con le Specifiche Tecniche e le Raccomandazioni A.G.I. (1977).

Il geologo responsabile di cantiere è stato dotato dei seguenti strumenti portatili:

- Sonda freaticometrica elettrica per la misura del livello d'acqua nel foro e negli eventuali piezometri;
- Penetrometro tascabile (pocket penetrometer) con fondo scala di 0.5 e 1 MPa (5 e 10 kg/cm²).

1.6 PRELIEVO DI CAMPIONI

Nel corso dei lavori sono stati prelevati:

- n° 1 campione indisturbato;
- n° 4 campioni rimaneggiati
- n° 2 campioni SPT;

le cui modalità e caratteristiche di prelievo sono di seguito illustrate.

1.6.1 PRELIEVO DI CAMPIONI INDISTURBATI

È stato prelevato, nel corso della campagna di indagini, **n° 1 campione indisturbato** di terreno, all'interno dei litotipi coesivi e semicoesivi.

Per il prelievo dei campioni indisturbati sono stati utilizzati campionatori a pressione tipo “SHELBY”

CAMPIONATORE SHELBY

I campionatori a parete sottile a tubo aperto (e.g.: Shelby) sono costituiti da un cilindro di acciaio Inox ad alta resistenza con parete di spessore molto ridotto (2 mm) dotato di bordo inferiore tagliente. L'estremità inferiore del tubo è aperta per permettere l'ingresso del campione mentre all'estremità superiore il campionatore è collegato alle aste di manovra mediante una testa a vite dotata di una valvola di ritenuta a sfera.

Per ridurre al minimo lo spessore della parete del campionatore, il cilindro metallico costituisce il contenitore nel quale il campione viene conservato. Il cilindro campionatore deve pertanto essere particolarmente resistente alla corrosione.

Il diametro caratteristico è 100 mm, lunghezza 400-800 mm. Sono adatti al prelievo di campioni Q4-Q5 in terreni coesivi da teneri a mediamente consistenti.

È uno dei campionatori più semplici, essendo costituito solamente da due elementi:

- 1) raccordo asta/fustella
- 2) tubo con scarpa tagliente (fustella).

Il raccordo asta fustella è munito di una valvola a sfera e di un serbatoio per contenere la parte rimossa di campione. Tale raccordo può essere utilizzato sia con fustelle a tre fori che con fustelle a quattro fori.

Il campionatore Shelby viene infisso mediante un avanzamento a pressione e, essendo caratterizzato da un basso coefficiente di parete, è particolarmente indicato in terreni di limitata consistenza e a grana fine.

1.6.2 PRELIEVO CAMPIONI RIMANEGGIATI

Nel corso della campagna d'indagini, al termine delle perforazioni e successivamente allo scatto delle foto delle cassette catalogatrici, sono stati prelevati dalle suddette cassette, un totale di **n°4 campioni rimaneggiati** di terreno. Tali campioni sono stati conservati in appositi contenitori in PVC e buste di plastica, catalogati con etichette specifiche, e consegnati al laboratorio designato dalla Committenza.

1.6.3 PRELIEVO DI CAMPIONI RAYMOND – SPT

Nel corso delle indagini sono stati prelevati un totale di **n°2 campioni SPT** utilizzando il campionatore Raymond.

L'esecuzione delle prove SPT è avvenuta utilizzando tale campionatore, il quale, dotato di una apposita scarpa terminale, consente il prelievo a fine prova di un campione rimaneggiato.

1.7 PROVE IN FORO

1.7.1 STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

Nel corso dei sondaggi a carotaggio sono state eseguite **n°2** prove SPT in corrispondenza dei terreni granulari e semicoesivi.

La procedura seguita per l'esecuzione della prova e per la registrazione dei dati di avanzamento è quella contenuta nella normativa europea EN 1997-2:2007 e nelle "SPECIFICHE TECNICHE" redatte da Italferr S.p.A.

L'esecuzione della prova è avvenuta, dove possibile, utilizzando il campionatore Raymond, dotato di una scarpa terminale che consente il prelievo, a fine prova, di un campione rimaneggiato.

L'attrezzatura impiegata, in accordo alle Raccomandazioni AGI e alle norme EN 1997-2:2007, è costituita da un maglio del peso di 63.5kg, predisposto per la caduta da un'altezza di 76cm. Le aste di collegamento del maglio al campionatore terminale hanno un diametro di 50 mm ed un peso proprio pari a 7.2 kg/m.

L'esecuzione della prova è avvenuta secondo le seguenti modalità:

- perforazione a carotaggio;
- estrazione della batteria di perforazione;
- stabilizzazione delle pareti del foro con tubi di rivestimento metallico, con arresto della corona ad una quota superiore di circa 10 cm rispetto a quella prevista, di inizio prova;
- discesa nel foro della batteria di aste con annesso campionatore;
- controllo della quota di arresto della batteria di prova;
- identificazione di 3 tratti contigui, di 15cm ciascuno, lungo la porzione di batteria sporgente in superficie;
- collegamento del dispositivo di percussione (maglio) alla batteria di prova;
- inizio della prova vera e propria: il campionatore viene infisso nel terreno per mezzo di colpi impressi con la massa battente, ad un ritmo di percussione prossimo a 25 colpi al minuto.
- I colpi vengono contati in successione, avendo cura di separare il numero di colpi necessari per l'avanzamento del campionatore per i tre tratti consecutivi di 15 cm.

Il valore di NSPT è dato dalla somma dei colpi ottenuti nel 2° e 3° tratto (ultimi 30 cm), che vengono annotati nel rapporto di prova.

Il raggiungimento del "rifiuto" e, quindi, la fine della prova si determinano nei seguenti casi:

- un numero di colpi superiore a 50 per l'infissione nel primo tratto di 15 cm;
- un numero di colpi superiore a 100 per l'infissione nel secondo e nel terzo tratto (ultimi 30cm).
- Al termine della prova, il campionatore a scarpa è stato estratto ed aperto; il materiale recuperato è stato catalogato e conservato in apposito contenitore.

- Nelle tabelle seguenti vengono schematizzati i rapporti tra le qualità meccaniche dei terreni ed il numero N_{SPT} per orizzonti granulari e coesivi.

TERRENI GRANULARI	
SCHEMA DELLE RELAZIONI NSPT/ ADDENSAMENTO	
N_{SPT}	Stato di addensamento
0 – 4	Sciolto
4 – 10	Poco addensato
10 – 30	Moderatamente addensato
30 – 50	Addensato
> 50	Molto addensato
TERRENI COESIVI	
SCHEMA DELLE RELAZIONI NSPT/ CONSISTENZA	
N_{SPT}	Consistenza
< 2	Privo di consistenza
2 – 4	Poco consistente
4 – 8	Moderatamente consistente
8 – 15	Consistente
15 – 30	Molto consistente
> 30	Estremamente consistente



1.8 STRUMENTAZIONE NEI FORI DI SONDAGGIO

1.8.1 PIEZOMETRO A TUBO APERTO

Questo tipo di piezometro è stato posizionato nel foro di perforazione dopo averlo accuratamente pulito da eventuali detriti di perforazione.

Il piezometro è costituito da una batteria di tubi in PVC filettati alle estremità m/f, di diametro interno pari a 2'' finestrato nel tratto in falda.

Il tratto di tubo chiuso è stato installato fino a profondità variabili da p.c., sia superficialmente che a fondo foro, mentre il tratto finestrato è stato installato nel mezzo dei due, come richiesto dalla D.L.

L'intercapedine fra tubo e parete del foro è stata riempita con ghiaietto arrotondato siliceo lavato (\varnothing 1-4 mm); il restante tratto è stato colmato con sabbia, bentonite e acqua.

La sommità del boccaforo è stata impermeabilizzata con malta cementizia per impedire l'infiltrazione d'acque superficiali.

1.8.2 TUBO IN PVC PROVA DOWN-HOLE

Si tratta di tubi in PVC rigido, installati a fondo foro al termine della perforazione, aventi una sezione interna pari a 80mm ed uno spessore pari a 9mm, costituiti da una filettatura M/F alle estremità, senza l'uso del "bicchiere", in modo da mantenere inalterato lo spessore per tutta la lunghezza.

Una volta inseriti all'interno del foro, i tubi sono stati resi solidali al terreno circostante tramite cementazione a bassa pressione, realizzata con l'ausilio di un doppio tubicino di PVC semirigido calato insieme ai tubi in PVC fino a fondo foro.

La cementazione è stata eseguita pompando una miscela ternaria costituita da acqua/cemento/bentonite, dal basso verso l'alto in modo da eliminare la presenza d'acqua dall'intercapedine tubazione-terreno.

2 INDAGINE GEOFISICA HVSR

Nella presete campagna di indagini è stata eseguita n. 1 prova HVSR le cui modalità vengono illustrate di seguito.



Figura 3 - Acquisizione misura HVSR.

2.1 GENERALITÀ

L'indagine sismica passiva a stazione singola è stata condotta con la tecnica dei rapporti spettrali H/V o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) di Nakamura, utilizzando un tromografo digitale ad alta risoluzione. Il metodo si basa sulla registrazione del “rumore sismico ambientale” (microtremore), che è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine e esiste ovunque sulla superficie della Terra; è costituito principalmente da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali; l'indagine non è invasiva e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale, che in natura esiste ovunque.

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche, nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico).

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza fondamentale di risonanza del terreno (f_0) in ciascun sito di misura in campo libero: rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle costruzioni in termini di risposta sismica locale; si dovranno adottare adeguate precauzioni per le strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare il fenomeno di accoppiamento fra le due modalità di vibrazione (“doppia risonanza”), che rappresenta una delle cause principali dei danni indotti dal terremoto, anche più importante della dimensione del terremoto stesso;
- l'individuazione dei principali modi di vibrazione di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso; in seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la struttura potrà essere o meno a rischio di “doppia risonanza”;

- la velocità media delle onde di taglio V_s , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È possibile calcolare la $V_{s,eq}$ e la relativa categoria di sottosuolo, come specificato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0,5 ed oltre 100 m di profondità. Il principio su cui si basa questa tecnica è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle soprastanti e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

2.2 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromografo digitale modello Micromed "Tromino", che rappresenta la nuova generazione di strumenti leggeri e compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione, con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 256 Hz.

I dati sono stati memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico, quindi elaborati mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa sono state eseguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 30 minuti;
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di 20 secondi ciascuno;
3. per ogni segmento è stata eseguita un'analisi spettrale nelle sue tre componenti e sono stati calcolati i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
4. sono stati calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima attendibile è stata posta particolare attenzione ai seguenti aspetti:

1. rapporti H/V sperimentalmente "stabili", ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
2. effetti di sorgente effettivamente mediati, ovvero senza sorgenti "dominanti";
3. misura non contenente errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Il prospetto seguente riassume gli elementi utilizzati per l'elaborazione della misura HVSR.

- Frequenza di campionamento: 128 Hz
- Lunghezza finestre: 20 s
- Tipo di lisciamiento: Triangular window
- Lisciamiento: 10%

2.3 INTERPRETAZIONE DELLA MISURA ESEGUITA

I risultati ottenuti sono illustrati nel report generato dal software di interpretazione utilizzato (*Grilla*).

2.3.1 FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO

L'analisi dei microtremori in campo libero attraverso la tecnica *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) ha consentito di mettere in luce eventuali fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato (frequenza fondamentale di risonanza del terreno f_0). Il metodo consente tra l'altro di valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione A_0 , cioè l'ampiezza del picco HVSR alla frequenza f_0 e di fornire stime di massima circa la profondità del contrasto di impedenza che causa la risonanza sismica (utilizzo in associazione con altre informazioni sismostratigrafiche).

Come si rileva in Figura 6 dei rapporti spettrali H/V di seguito riportato, nel range di frequenze di interesse ingegneristico (0.0 - 20.0 Hz) il rilievo eseguito evidenzia il picco di massima ampiezza ($A_0 = 4,08$) alla frequenza f_0 di $10,16 \pm 0,44$ Hz.

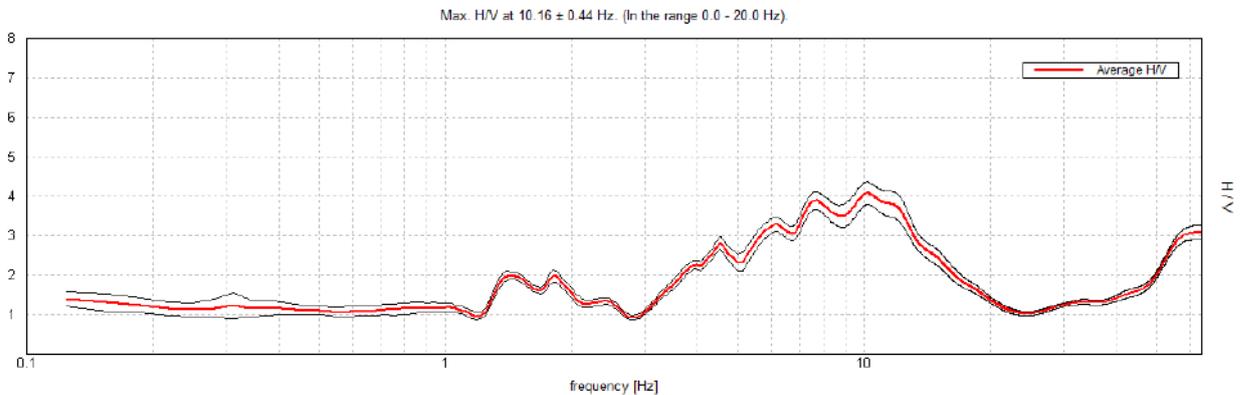


Figura 4 - Grafico dei rapporti spettrale H/V.

La qualità dei segnali è stata valutata in base al progetto SESAME (Linee guida 2005); per l'affidabilità delle curve HVSR devono essere positivi i primi tre parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi. Come si osserva dai risultati delle verifiche eseguite in accordo con il progetto SESAME, riportati nel report generato con il software "*Grilla*", sono soddisfatti i criteri per una curva H/V affidabile e per un picco H/V chiaro.

2.4 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI DOPPIA RISONANZA

È necessario porre grande attenzione ai fenomeni di “doppia risonanza”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati, poiché rappresentano la prima causa dei danni indotti dal terremoto. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall’altezza e può essere calcolata, in prima approssimazione, secondo gli schemi seguenti, che riportano le frequenze tipiche dei modi di vibrare di edifici in muratura e in c.a. in funzione della loro altezza.

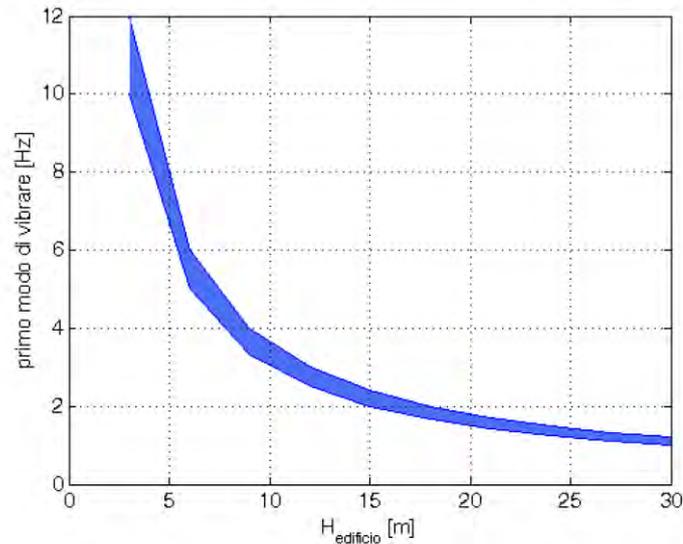


Figura 5 - Edifici in muratura.

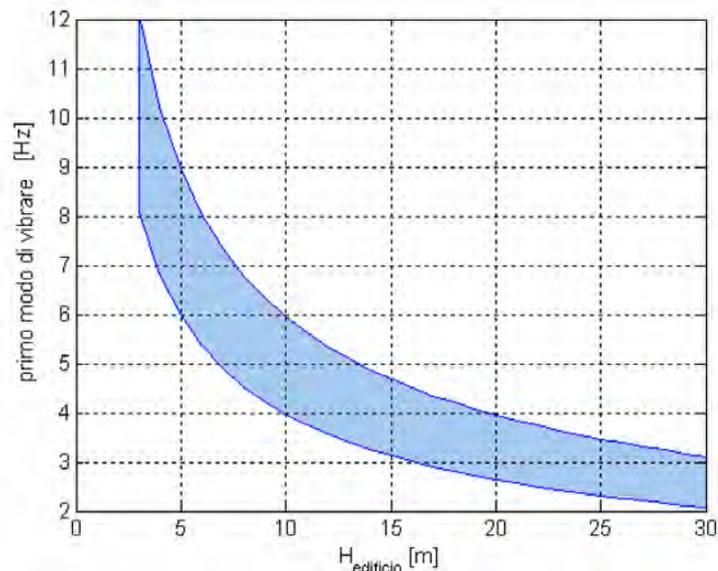


Figura 6 - Edifici in c.a..

Nota la frequenza caratteristica di risonanza di sito, nel caso in esame si può stimare, in via preliminare, che il rischio della doppia risonanza potrebbe interessare edifici in muratura o in c.a. di altezza minore di 5 metri.



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sondedile s.r.l. unipersonale www.sondedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sondedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sondedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



3 INDAGINE GEOFISICA DOWN-HOLE

3.1 GENERALITÀ

Il metodo Down-Hole rappresenta una delle più accurate misure in foro per la determinazione delle proprietà fisico-meccaniche dinamiche dei terreni ed è utilizzato per una corretta valutazione della risposta di un mezzo soggetto a carichi dinamici; è particolarmente indicato per la determinazione in sito dello stato di consistenza dei terreni.

La metodologia si basa sui principi della sismica a rifrazione di superficie ma, rispetto a quest'ultima, permette di rilevare un orizzonte a minor velocità (orizzonte muto) sottostante ad orizzonti a maggior velocità, superando così i limiti della sismica a rifrazione di superficie che necessita, invece, di un aumento progressivo della velocità di propagazione delle onde sismiche con la profondità. È possibile individuare, inoltre, la presenza di strati sottili (nell'ordine del metro, comunque a seconda del grado di dettaglio del rilievo), non riconoscibili dal metodo sismico a rifrazione di superficie.

La prova Down-Hole è stata eseguita nel foro di un sondaggio della lunghezza di 30 metri, previa strumentazione con un tubo in PVC cementato alle pareti del foro per garantire un contatto ottimale con i terreni circostanti; è stato utilizzato un apparato di ricezione (geofono da foro a 5 canali) che è stato fatto aderire saldamente alle pareti del tubo ad intervalli regolari di un metro; per ciascuno step di lettura si è indotta una perturbazione meccanica in superficie, in senso verticale per generare onde di compressione P e lateralmente (da entrambi i lati della trave) per generare onde di taglio S_H .

3.2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

È stata utilizzata la seguente strumentazione:

- sistema energizzante per le onde P: mazza da 6 kg battente su una piastra posta sul piano campagna, opportunamente ripulito al fine di garantire un migliore accoppiamento;
- sistema energizzante per le onde S_H: trave di legno con direttrice ortogonale all'asse del foro, sovraccaricata dal peso di un mezzo cingolato;
- sensore starter per le onde S, fissato nel punto mediano dell'asse di battuta e sensore starter per le onde P, posto vicino alla piastra di battuta. Servono a definire il tempo iniziale di generazione dell'onda; il superamento dell'ampiezza dell'onda generata rispetto ad un valore di soglia opportunamente scelto permette di avviare la registrazione dei tempi di arrivo al geofono da foro;
- sistema ricevente: il geofono da foro utilizzato è il modello SSBH a 5 canali della SARA S.r.l., con un sensore verticale per le onde P e quattro sensori sul piano orizzontale per le onde S_H. I quattro sensori orizzontali sono assemblati con un orientamento di 45° l'uno rispetto all'altro; in questo modo le onde SH artificialmente provocate secondo una direttrice arbitraria incidono in almeno uno dei sensori con un angolo $\leq 45^\circ$, garantendo una sufficiente intensità del segnale in qualsiasi condizione. L'intero sistema comprende un motorino elettrico comandato dall'operatore, con il quale si sposta un pistone all'interno della sonda per renderla solidale al foro alla profondità prescelta;
- unità di acquisizione: sistema sismico digitale multicanale Micromed SoilSpy Rosina con risoluzione 24 bit, a cui è stato collegato il geofono da foro.



Figura 7 - Esecuzione prova Down-Hole.

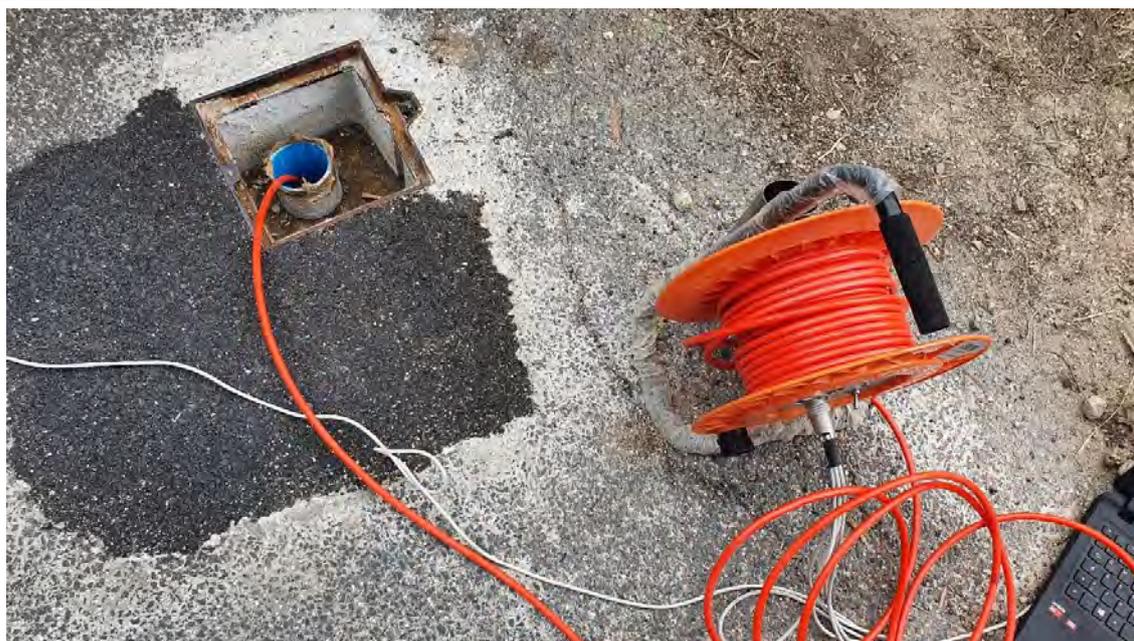


Figura 8 - Esecuzione prova Down-Hole.

In fase di processing sono stati identificati i primi arrivi delle onde al geofono da foro, che corrispondono ai tempi necessari all'onda a percorrere lo spazio compreso tra il punto superficiale di energizzazione (*shot point*) e quello in profondità dove è posto il geofono. Tali tempi, sottoposti ad una fase di processing matematico (filtraggi, amplificazioni ed equalizzazioni) e di interpolazione lineare e inseriti in un diagramma spazio-tempo (dromocrona), sono stati utilizzati per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde nei litotipi investigati.

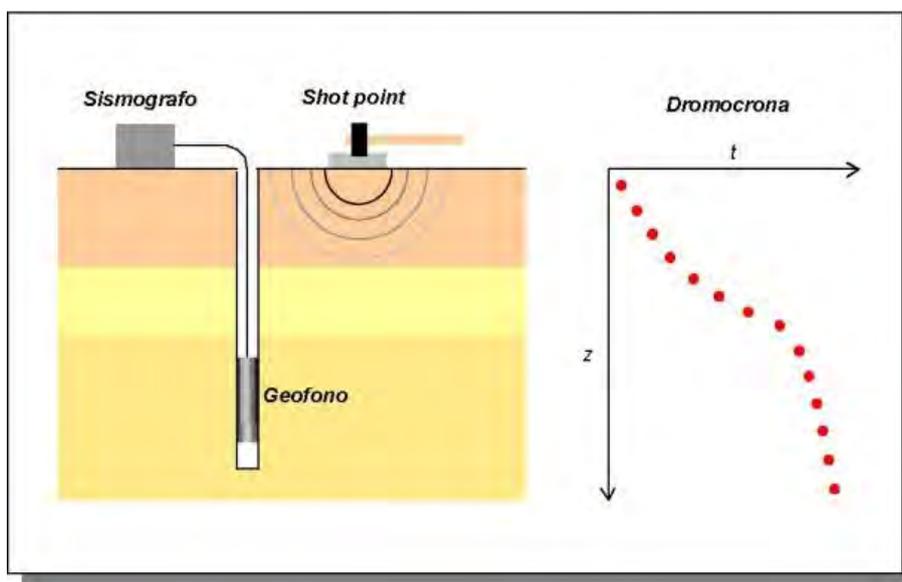


Figura 9 – Rappresentazione schematica della prova Down-Hole e relativa dromocrona.

Per l'interpretazione della prova Down-Hole sono stati corretti i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore, per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e i sensori, z la profondità di misura, è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

$$t_{\text{corr}} = \frac{z}{r} t$$

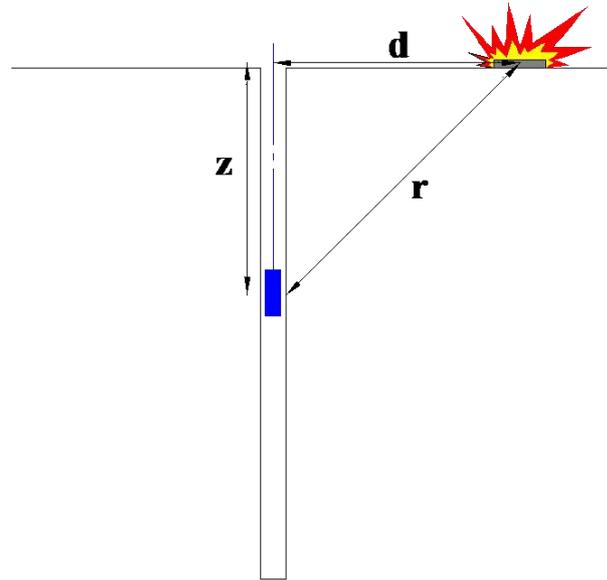


Figura 10 - Rappresentazione grafica di z, r e d.

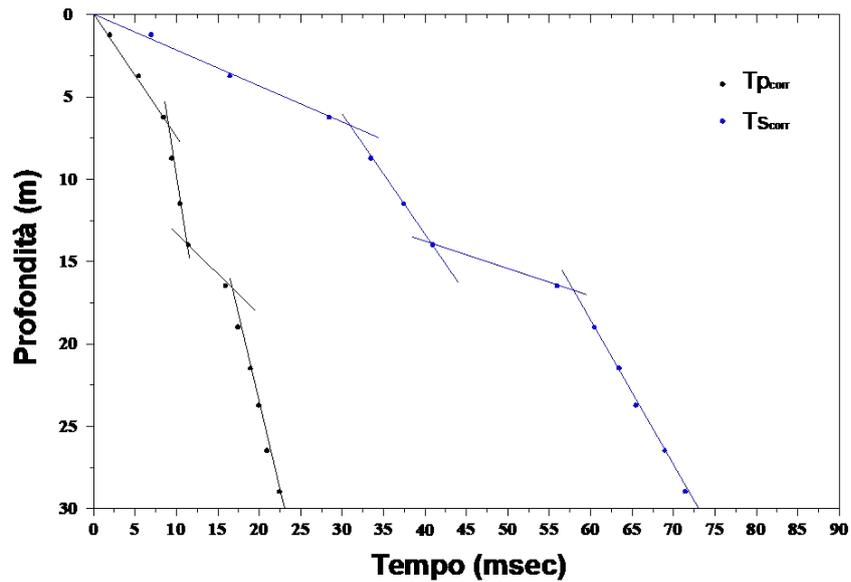


Figura 11 - Grafico $t_{\text{corr}} - z$.

Calcolati i tempi corretti si realizza il grafico $t_{\text{corr}} - z$; la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

4 PROVE PENETROMETRICHE

Nel corso delle indagini sono state eseguite **n° 2** prove penetrometriche tipo **DPSH**.

La strumentazione utilizzata, date le sue caratteristiche tecniche e in riferimento alla Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 “Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing” (Table 1, pag. 9), rientra tra i Penetrometri Dinamici Super Pesanti (D.P.S.H.).

PENETROMETRO DINAMICO IN USO: DPSH 73-75		
Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M \leq 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE: DPSH 73-75	
MASSA BATTENTE	M = 73.00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0.75 m
MASSA SISTEMA BATTUTA	Ms = 25.00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50.40 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20.0000 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	A = 60°
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 0.90m
MASSA ASTE PER METRO	Ma = 6.30 kg
PROF. GIUNZIONE 1° ASTA	$\delta = 0.30$ m
AVANZAMENTO PUNTA	P1 = 0.60 m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(30) → Relativo ad un avanzamento di 30 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO

RENDIMENTO SPECIFICO PER COLPO $Q = MH/A\delta = 9.13 \text{ kg/cm}^2$

COEFF. TEORICO RENDIMENTO $\beta^t = Q/Q_{spt} = 1.165$

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE):

$$Rpd = M^2H/[Ae(M + P)] = M^2HN/A\delta(M + P)$$

Rpd=resistenza dinamica punta [area A] M=massa battente (altezza caduta H)

E= infissione per colpo = δ/N

P=massa totale aste e sistema di battuta

UNITÀ DI MISURA (conversioni)

1kg/cm² = 0.098067 Mpa ≈ 0.1 Mpa

1Mpa = 1MN/m² = 10.197 kg/cm²

1bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1Mpa

1kN = 0.001 MN = 101.97 kg

4.1 MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI

Date le caratteristiche tecniche, il Penetrometro Pagani TG63-200kN rientra tra i Penetrometri Dinamici Super Pesanti normalizzati dalle seguenti norme:

- Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 “Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (Tabella 1, pagina 9)” (DPSH-B);
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) (oggi IMSSGE) "Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure. Proc. ISOPT-I, Orlando (USA)" (DPSH);
- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) “Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche” (DPSH).

PREPARAZIONE DELLA PROVA

Le prove penetrometriche continue vengono eseguite, in generale, a partire dal piano di campagna. Il penetrometro ha una posizione verticale tale da impedire il verificarsi di movimenti durante la battitura. L'inclinazione del dispositivo di battitura e delle aste, proiettato al piano di campagna non deve superare il 2% rispetto alla verticale.

ESECUZIONE DELLA PROVA

di campagna. Nessun carico viene applicato alla testa di battuta o alle aste durante il sollevamento del maglio. La prova è continua e la velocità di battuta viene mantenuta entro i limiti di 15 ÷ 30 colpi al minuto primo; il numero di colpi viene annotato dopo la penetrazione di ciascun tratto di 200 mm.

Nei certificati sono riportati il numero di colpi necessari per un avanzamento di 20 cm nonché la resistenza alla penetrazione dinamica q_d calcolata con la seguente formula:

$$q_d = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{A \cdot e \cdot (M + P + M')} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Con:

M = massa del maglio [kg]

M' = massa del sistema di battuta [kg]

H = altezza di caduta del maglio [cm]

N = numero di colpi per infissione

A = area di base della punta [cm²]

e = passo di avanzamento [cm]

P = peso delle aste [kg]



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonnedile s.r.l. unipersonale www.sonnedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sonnedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sonnedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



ALLEGATO A – INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO A1 – REPORT STRATIGRAFICI E RELATIVA DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Certificato n° 299 del 06/04/2021

Verbale di accettazione n° 22 del 06/04/2021

Committente: Città Metropolitana di Roma Capitale

Sondaggio: S1

Riferimento: SP Santa Severa - Tolfa

Data: 24/03/2021-26/03/2021

Coordinate:

Quota:

Perforazione: Carotaggio continuo

SCALA 1 :40

STRATIGRAFIA - S1

Pagina 1/3

Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			prove in foro	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.
									m	S.P.T.	N					
														0.2	Asfalto.	
														0.8	Ghiaia con sabbia eterometrica debolmente limosa, asciutta, avana-grigiastra. La frazione ghiaiosa si presenta poligenica, eterometrica, angolare (Ømax 6cm) con ciottoli (Ømax >10cm).	
				1											Piroclastite costituita da sabbia eterometrica limoso ghiaiosa, da asciutta ad umida, poco addensata, marrone-rossastra. La frazione ghiaiosa si presenta eterometrica, da sub-angolare a sub-arrotolata (Ømax 6cm) con rari ciottoli (Ømax 8cm). Presenti cristalli di leucite analcimizzata.	1
				2												
				3												
						C11) Ost <		3,00 3,40								
						1) SPT <		3,40 3,85	3,4	3-4-5	9	A				
				4										4.0	Piroclastite costituita da limo sabbioso ghiaioso, da umido a molto umido, marrone-rossastro. La frazione ghiaiosa si presenta eterometrica, da sub-angolare a sub-arrotolata (Ømax 3cm).	
				5										4.5	Piroclastite costituita da sabbia eterometrica limoso ghiaiosa, da asciutta ad umida, marrone-rossastra. La frazione ghiaiosa si presenta eterometrica, da sub-angolare a sub-arrotolata (Ømax 6cm) con rari ciottoli (Ømax 8cm). Presenti cristalli di leucite analcimizzata.	
				6											Livello di alterazione del substrato costituito da alternanze da centimetriche a decimetriche di: - calcilutite biancastra, a struttura compatta, elevatamente alterata, da medio-dura a dura, fratturata, con fratture poli-orientate, irregolari, aperte, con patine di ossidazione rossastre lungo le superfici di rottura, limo sabbioso rossastro e/o calcite di riempimento; - calcarenite biancastra a struttura granulare medio-fine, elevatamente alterata, da medio-dura a dura, fratturata, con fratture poli-orientate, irregolari, aperte, con patine di ossidazione rossastre e limo sabbioso rossastro di riempimento;	2
				7											- ghiaia limoso sabbiosa, umida, marrone-rossastra e marrone-verdastra. La frazione ghiaiosa si presenta poligenica, eterometrica, sub-angolare (Ømax 6cm).	
				8										7.5		

Il Direttore
Dott. Geol. Davide Cosentino

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Pierluigi De Luca



Certificato n° 299 del 06/04/2021	Verbale di accettazione n° 22 del 06/04/2021
Committente: Città Metropolitana di Roma Capitale	Sondaggio: S1
Riferimento: SP Santa Severa - Tolfa	Data: 24/03/2021-26/03/2021
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :40	STRATIGRAFIA - S1	Pagina 2/3
-------------	--------------------------	------------

Ø mm	R v	A r s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			prove in foro	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.
									m	S.P.T.	N Pt					
				9												2
				10										10.4		
				11												
				12												
				13										13.2		3
				14												
				15												
				16												4

CR1) Rim 14,60
15,00

Il Direttore
Dott. Geol. Davide Cosentino

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Pierluigi De Luca



Certificato n° 299 del 06/04/2021	Verbale di accettazione n° 22 del 06/04/2021
-----------------------------------	--

Committente: Città Metropolitana di Roma Capitale	Sondaggio: S1
Riferimento: SP Santa Severa - Tolfa	Data: 24/03/2021-26/03/2021
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :40

STRATIGRAFIA - S1

Pagina 3/3

Ø mm	R v	A r s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			prove in foro	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.
									m	S.P.T.	N Pt					
101				17											Calclutite biancastra con patine di ossidazione rossastre, a struttura compatta, da debolmente a moderatamente alterata, da medio-dura a dura, fratturata, con fratture poli-orientate, da piane ad irregolari, aperte, con patine di ossidazione rossastre lungo le superfici di rottura e calcite di riempimento. Presenti livelli decimetrici di argilla marnosa, debolmente umida, grigio chiara con patine di ossidazione ocracee.	4
			18													
			19													
			20													

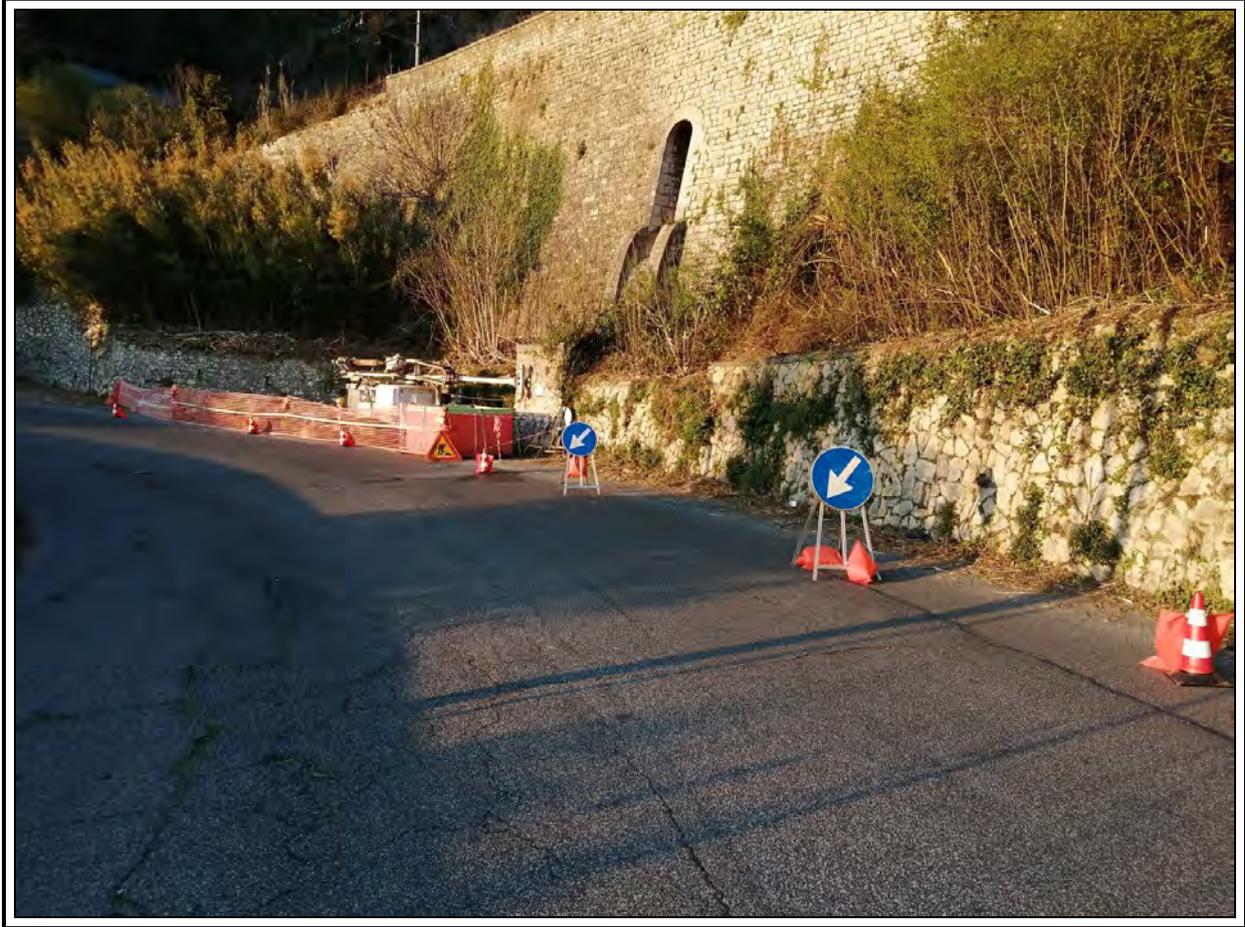
Utilizzata sonda perforatrice tipo GM600.
Eseguito prescavo a mano da 0,00 m a 1,50 m da p.c..
Prelevato n. 1 campione indisturbato.
Prelevato n. 1 campione rimaneggiato.
Eseguita n. 1 prova S.P.T..
Installato piezometro T.A. da 2" fino a 20,00m (0,00m - 3,00m cieco; 3,00m - 20,00m microfessurato).
Installato chiusino carrabile.
*Ind: Campionatore triplo.
Normativa: A.G.I. 1977

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	24/03/21	25/03/21	25/03/21	26/03/21	26/03/21				
Ora	sera	mattina	sera	mattina	sera				
Livello dell'acqua (m)	assente	assente	5,53	12,30	17,61				
Prof. perforazione(m)	1,50	1,50	14,50	14,50	20,00				
Prof. rivestimento(m)	1,50	1,50	14,50	14,50	20,00				

Il Direttore
Dott. Geol. Davide Cosentino

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Pierluigi De Luca



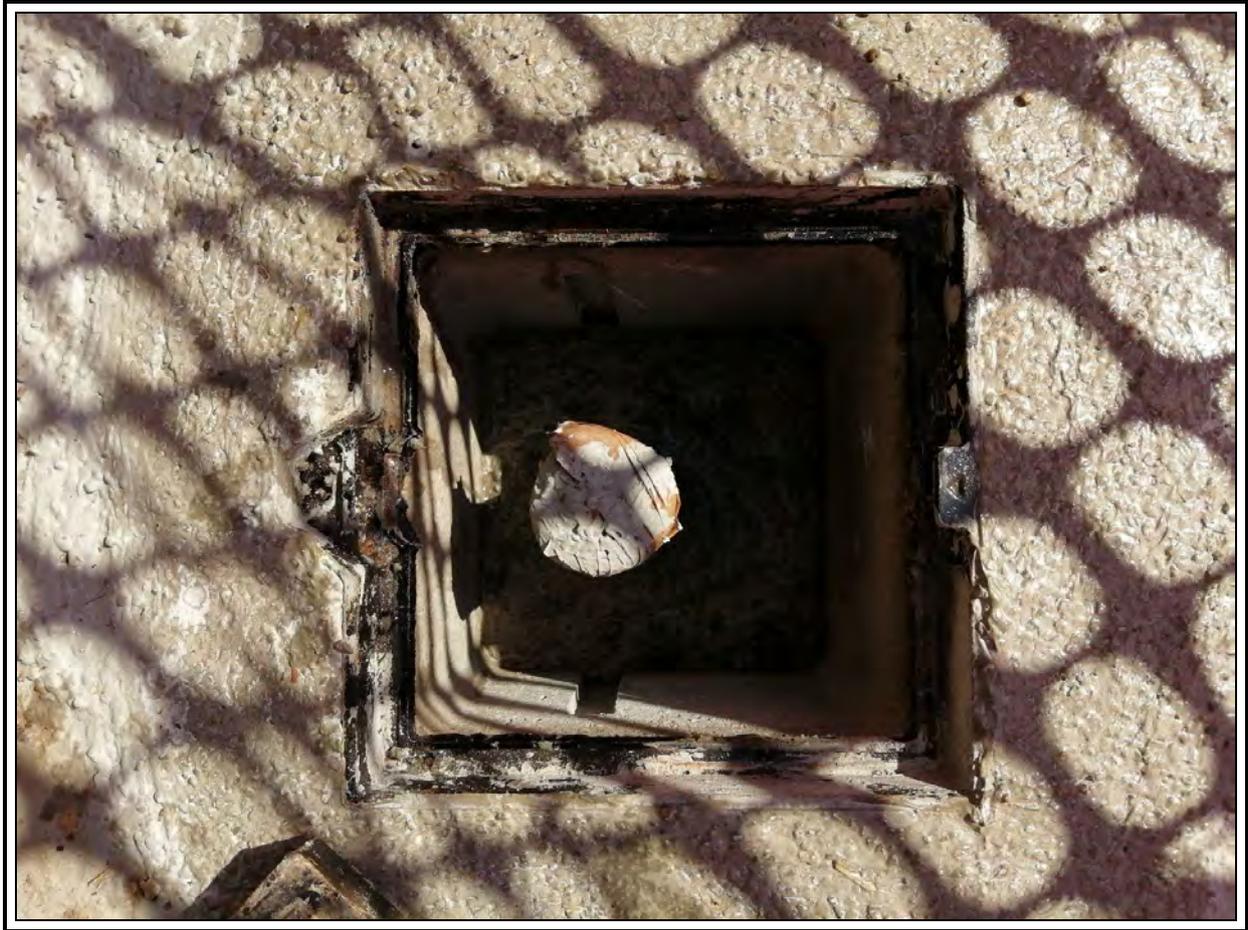
Sondaggio S1



Sondaggio S1



Sondaggio S1



Sondaggio S1



Certificato n° 300 del 06/04/2021	Verbale di accettazione n° 22 del 06/04/2021
Committente: Città Metropolitana di Roma Capitale	Sondaggio: S2
Riferimento: SP Santa Severa - Tolfa	Data: 27/03/2021-02/04/2021
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

Ø mm	R v	A r s	Pz	DH	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	Standard Penetration Test				prove in foro	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.
									Prel. % 0 --- 100	m	S.P.T.	N					
					0.2										Asfalto.		
					1.5										Terreno di riporto costituito da ghiaia con sabbia eterometrica limosa, asciutta, avana-biancastra passante ad avana-grigiastra da 1.00m. La frazione ghiaiosa si presenta poligenica, eterometrica, da angolare a sub-angolare (Ømax 6cm) con rari ciottoli (Ømax >10cm).	1	
					3.0		1) SPT < 3.00 3.35			3.0	30-45-55/5cm	Rif A					
					4.0		CR1) Rim 3.60 4.00										
					5.0										Piroclastite costituita da sabbia eterometrica limoso ghiaiosa, umida, marrone-brunastra. La frazione ghiaiosa si presenta eterometrica, da angolare a sub-angolare (Ømax 6cm) con rari ciottoli (Ømax 10cm). Presenti cristalli di leucite analcimizzata.		
					7.0										Sabbia eterometrica con limo argilloso ghiaioso, umida, molto addensata avana con patine di ossidazione ocree e concrezioni carbonatiche millimetriche, biancastre. La frazione ghiaiosa si presenta poligenica, eterometrica, da angolare a sub-angolare (Ømax 6cm) con ciottoli (Ømax 8cm). Da 4.00m+4.50m aumenta la frazione limoso argillosa.	2	
					11.0										Alternanze da decimetriche a metriche di: - calcilutite biancastra, a struttura compatta, da moderatamente ad elevatamente alterata, da medio-dura a dura, fratturata, con fratture poli-orientate, irregolari, aperte, con patine di ossidazione rossastre lungo le superfici di rottura e calcite di riempimento; - calcarenite biancastra a struttura granulare medio-fine, moderatamente alterata, da medio-dura a dura, fratturata, con fratture poli-orientate, irregolari, aperte, con patine di ossidazione rossastre lungo le superfici di rottura; - argilla marnosa, debolmente umida, grigio chiara. Presenti livelli da centimetrici a decimetrici completamente frantumati a causa dell'elevata fratturazione.	3	
					13.30		CR2) Rim 13.30 13.65										
					14.0										Da 9.20m+9.80 e da 17.40+18.40m travertino avana-biancastro, a struttura vacuolare, mediamente alterato, fratturato, con fratture poli-orientate, irregolari, aperte, con patine di ossidazione rossastre lungo le superfici di rottura.	4	
					20.0										Da 25.80m+26.00m e da 26.50m+26.80m presenti cavità.	5	

Il Direttore
Dott. Geol. Davide Cosentino

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Pierluigi De Luca



Certificato n° 300 del 06/04/2021	Verbale di accettazione n° 22 del 06/04/2021
Committente: Città Metropolitana di Roma Capitale	Sondaggio: S2
Riferimento: SP Santa Severa - Tolfa	Data: 27/03/2021-02/04/2021
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

Ø mm	R v	A r s	Pz	DH	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			prove in foro	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	
										m	S.P.T.	N Pt						
							CR3) Rim 22,50 22,85											
					23													5
					24													
					25													
					26													
					27													
					28													6
					29													
					30													
					31													
					32													
					33													
					34													
101					35										35,0			7

Utilizzata sonda perforatrice tipo GM600.
Eseguito pescavo a mano da 0,00 m a 1,50 m da p.c..
Prelevati n. 3 campioni rimaneggiati.
Eseguita n. 1 prova S.P.T..
Installato tubo in PVC da 3" per prova geofisica tipo Down-Hole fino a 35,00m da p.c..
Installato chiusino carrabile.
*Ind: Campionatore triplo.
Normativa: A.G.I. 1977

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	27/03/21	28/03/21	28/03/21	29/03/21	29/03/21	30/03/21	30/03/21	31/03/21		
Ora	sera	mattina	sera	mattina	sera	mattina	sera	mattina		
Livello dell'acqua (m)	7,71	assente	10,22	13,41	17,72	assente	assente	assente		
Prof. perforazione(m)	8,00	8,00	16,00	16,00	18,50	18,50	29,00	29,00		
Prof. rivestimento(m)	7,50	7,50	9,00	9,00	18,00	18,00	27,00	27,00		



Sondaggio S2



Sondaggio S2



Sondaggio S2



Sondaggio S2



Sondaggio S2



Sondaggio S2



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonedile s.r.l. unipersonale www.sonedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sondedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sondedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



ALLEGATO A – INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO A2 – LETTURE PIEZOMETRICHE

 <p>SONDEDILE s.r.l. unipersonale Decreto di concessione, n.57211 del 05-11-2007 per il rilascio dei certificati relativi alle prove geotecniche sui terreni (settore C) ai sensi dell'art. 8 D.P.R. 246</p>	Committente: Città Metropolitana di Roma Capitale	MINUTA DI PROVA	Osservazioni:
	Cantiere: SP Quintiliolo km 0+750	Verbale n.: 22 del 06/04/2021	
	Direttore del laboratorio: Dott. Geol. Davide Cosentino		
	Sperimentatore: Dott. Geol. Pierluigi De Luca	Certificato n.: 13 del 18/01/2021	
	Normativa: A.G.I. 1977		
pag.: 1 di 1			

LETTURE PIEZOMETRICHE (m da p.c.; valori negativi per falda in pressione)

SONDAGGIO	TIPO DI PIEZOMETRO	PROF. (m da pc)	TRATTO MICROFES.	DATA DI INSTALLAZ.	28/03/2021	01/04/2021	data:	data:	data:	data:	data:
S1	Piezometro T.A. 2"	20.00	3.00 - 20.00	26/03/2021	17.77	18.85					



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonedile s.r.l. unipersonale www.sonedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sondedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sondedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



ALLEGATO B – INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO B1 – INDAGINE GEOFISICA TIPO HVSR



SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonnedile s.r.l. unipersonale
Viale Francesco Crispi, 17
64100 Teramo (TE) - ITALY
Tel. +39 0861 411432
Fax. +39 0861 411442

www.sonnedile.com
info@sonnedile.com
PEC: sonnedilesrl@legalmail.it
C.C.I.A.A. di Teramo
P.IVA e C.F. 00075830679



SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Misura HVSR 1

Strumento: TRZ-0036/01-09

Formato dati: 16 bit

Inizio registrazione: 26/04/2021 18:31:23 Fine registrazione: 26/04/2021 19:01:23

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

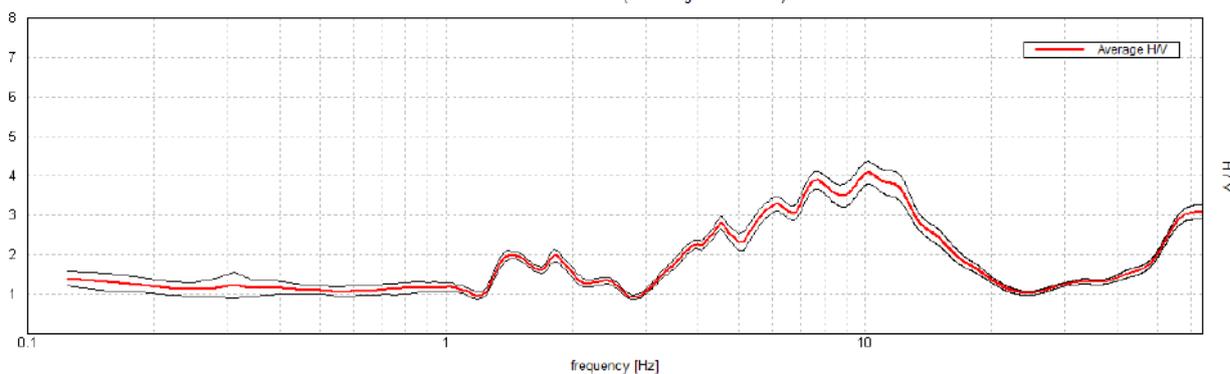
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

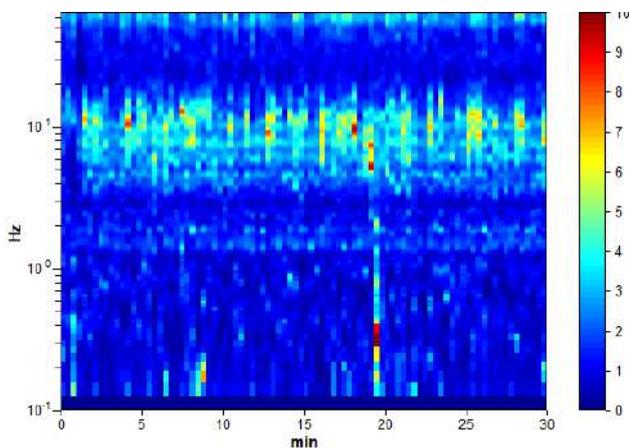
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

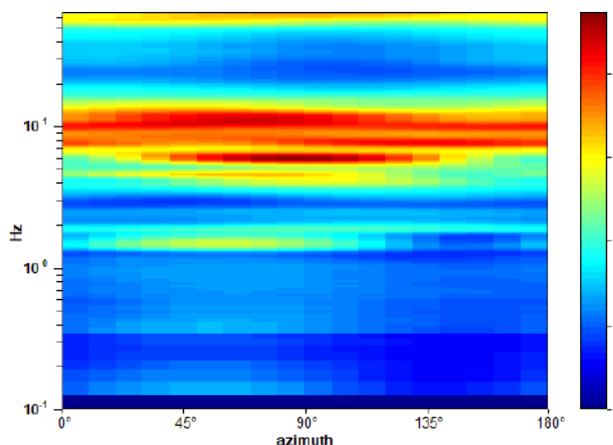
Max. H/V at 10.16 ± 0.44 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz)



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V





SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

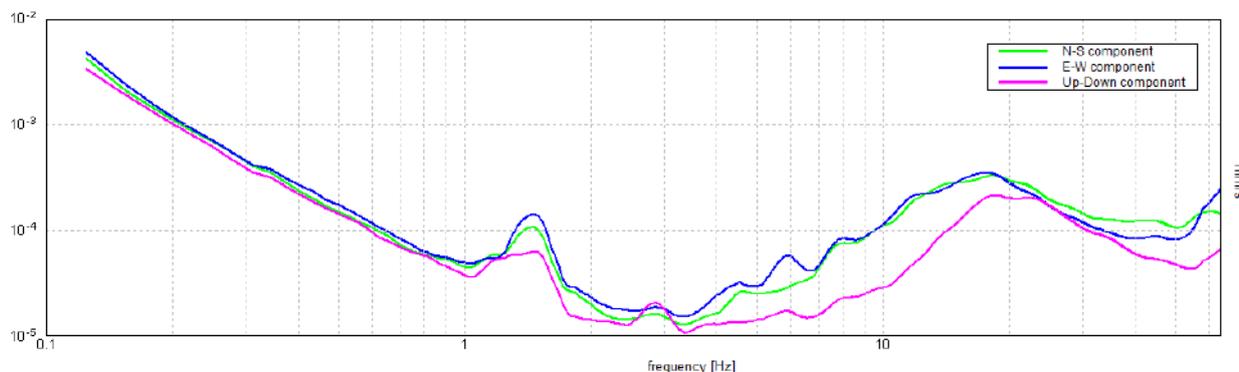
1971 - 2021

Sonnedile s.r.l. unipersonale
Viale Francesco Crispi, 17
64100 Teramo (TE) - ITALY
Tel. +39 0861 411432
Fax. +39 0861 411442

www.sonnedile.com
info@sonnedile.com
PEC: sonnedilesrl@legalmail.it
C.C.I.A.A. di Teramo
P.IVA e C.F. 00075830679



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005]

Picco H/V a 10.16 ± 0.44 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz)

Criteri per una curva H/V affidabile			
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	10.16 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	18281.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 488	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro			
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.688 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	16.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.08 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04319 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.4386 < 0.50781	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.281 < 1.58	OK	

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

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



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonedile s.r.l. unipersonale www.sonedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sonedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sonedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



LLEGATO B – INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO B2 – INDAGINE GEOFISICA DOWN-HOLE

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

Dati iniziali

Offset shot [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
1.5	34	1	1

Dati misure Down Hole

Registrazione n°	Profondità [m]	T _p [msec]	T _s [msec]
1	1.00	7.32	9.80
2	2.00	9.60	11.00
3	3.00	11.72	13.67
4	4.00	12.69	16.00
5	5.00	13.67	17.57
6	6.00	0.00	18.55
7	7.00	0.00	18.80
8	8.00	17.40	20.00
9	9.00	18.55	22.46
10	10.00	19.53	25.39
11	11.00	20.51	27.60
12	12.00	21.48	28.32
13	13.00	22.46	29.29
14	14.00	22.46	30.27
15	15.00	22.46	32.22
16	16.00	23.44	32.22
17	17.00	24.41	34.17
18	18.00	0.00	35.10
19	19.00	0.00	36.13
20	20.00	0.00	36.13
21	21.00	0.00	38.50
22	22.00	25.60	39.06
23	23.00	26.00	39.98
24	24.00	26.36	40.77
25	25.00	27.00	40.59
26	26.00	27.34	41.43
27	27.00	0.00	43.00
28	28.00	28.04	43.94
29	29.00	29.30	45.85
30	30.00	31.20	46.33
31	31.00	31.72	46.99
32	32.00	33.20	47.87
33	33.00	33.70	49.85
34	34.00	34.20	51.99

Risultati

Distanza sorgente – ricevitore [m]	Tempo tragitto corretto onde P T_p corretto [msec]	Tempo tragitto corretto onde S T_s corretto [msec]
1.8028	4.0604	5.4361
2.5000	7.6800	8.8000
3.3541	10.4827	12.2268
4.2720	11.8820	14.9813
5.2202	13.0935	16.8290
6.1847	--	17.9961
7.1589	--	18.3827
8.1394	17.1020	19.6574
9.1241	18.2976	22.1544
10.1119	19.3139	25.1091
11.1018	20.3219	27.3469
12.0934	21.3141	28.1013
13.0863	22.3120	29.0970
14.0801	22.3322	30.0977
15.0748	22.3485	32.0601
16.0702	23.3377	32.0793
17.0661	24.3155	34.0378
18.0624	--	34.9788
19.0591	--	36.0179
20.0562	--	36.0288
21.0535	--	38.4022
22.0511	25.5407	38.9695
23.0489	25.9449	39.8953
24.0468	26.3087	40.6906
25.0450	26.9515	40.5171
26.0432	27.2946	41.3612
27.0416	--	42.9338
28.0402	27.9999	43.8771
29.0388	29.2609	45.7888
30.0375	31.1611	46.2722
31.0363	31.6829	46.9351
32.0351	33.1636	47.8175
33.0341	33.6652	49.7986
34.0331	34.1668	51.9395

Valori medi

Profondità [m]	V _p medio [m/s]	V _s medio [m/s]	γ medio [kN/mc]	v medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
3	286.26	245.3	19.71	--	120.94	164.7	--	3.45
13	845.31	592.77	21.74	0.02	779.12	1584.39	1583.54	545.57
28	2636.2	1014.89	23.59	0.41	2477.27	16714.64	7000.76	13411.62
34	972.45	744.42	22.68	--	1281.68	2187.15	--	478.25

V_p: velocità onde P

V_s: velocità onde S

γ: peso di volume

v: coefficiente di Poisson

G: Modulo di deformazione al taglio

Ed: Modulo edometrico

E: modulo di Young

Ev: Modulo di compressibilità volumetrica

Categoria di sottosuolo

Piano di riferimento z=0 [m]0

Profondità bedrock sismico H [m] 13

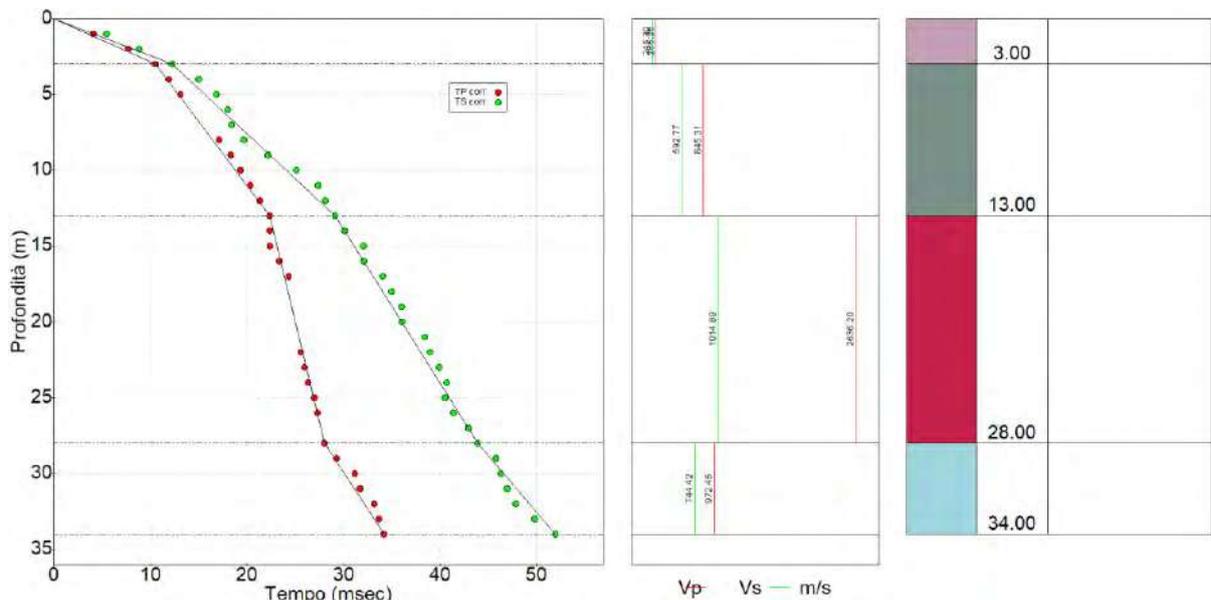
V_{S,eq} [m/s] 446,74

La normativa applicata è il D.M. 17 gennaio 2018

Categoria di sottosuolo B

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.

Dromocrone





Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonedile s.r.l. unipersonale www.sonedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sondedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sondedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



ALLEGATO C – PROVE PENETROMETRICHE



SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

Sonedile s.r.l. unipersonale
Viale Francesco Crispi, 17
64100 Teramo (TE)
ITALY
Tel: +39 0861 411432
Fax: +39 0861 411442

C.C.I.A.A. di Teramo
P.IVA e C.F.: 00075830679
Capitale Sociale: € 52.000,00 i.v.



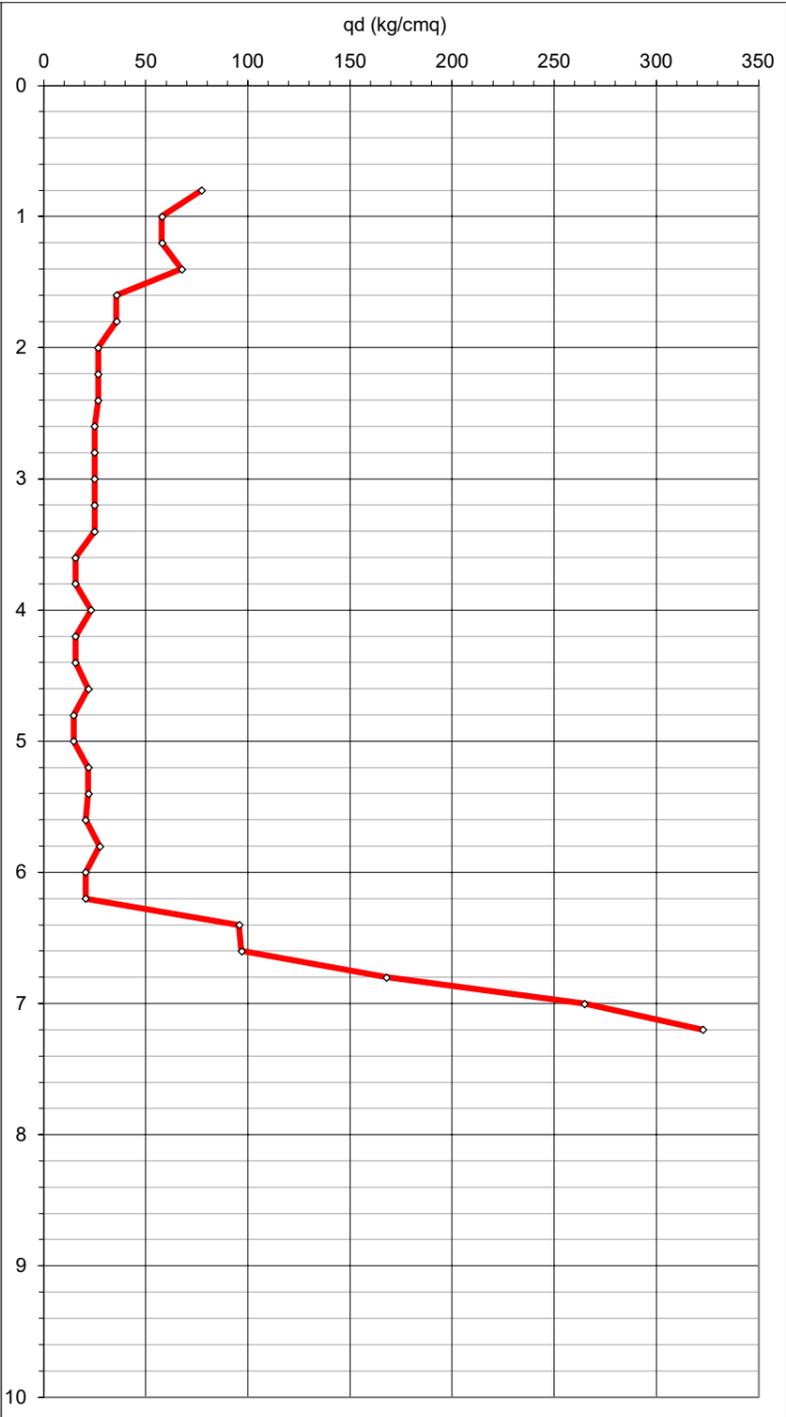
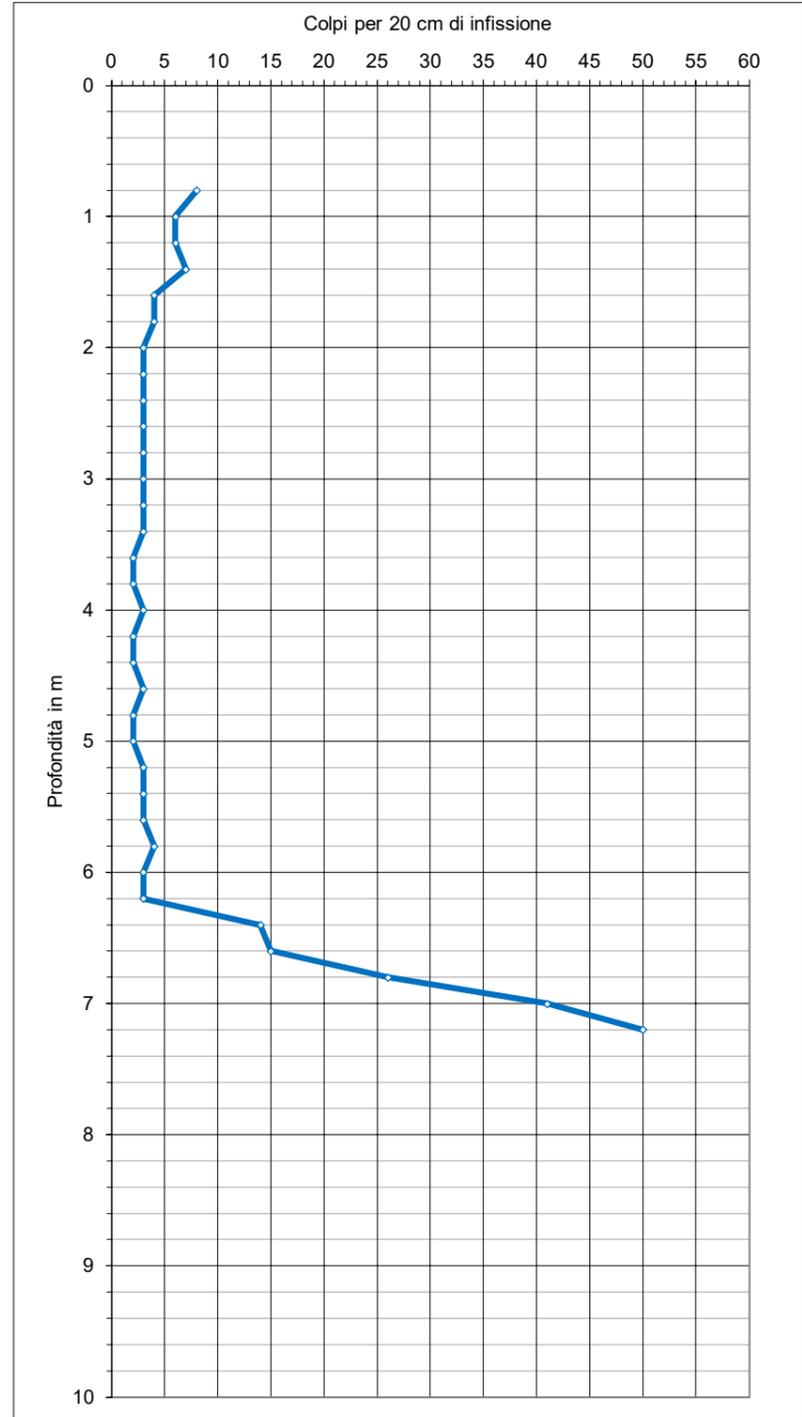
Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH

Committente	Città Metropolitana di Roma Capitale	Cantiere	SP Quintiliolo	ID TEST	DPSH1	Prof. (m)	7.20	Località	Data	29/03/2021	Verbale di accettazione n°	22	del	06/04/2021
											Certificato n°	365	del	05/04/2021

Dati Prova
Profondità falda:
Profondità preforo: 0.60m

Profondità	N° colpi	qd	Profondità	N° colpi	qd	Profondità	N° colpi	qd
0.00			9.20			18.40		
0.20			9.40			18.60		
0.40			9.60			18.80		
0.60			9.80			19.00		
0.80	8	77.15	10.00			19.20		
1.00	6	57.86	10.20			19.40		
1.20	6	57.86	10.40			19.60		
1.40	7	67.50	10.60			19.80		
1.60	4	35.64	10.80			20.00		
1.80	4	35.64	11.00			20.20		
2.00	3	26.73	11.20			20.40		
2.20	3	26.73	11.40			20.60		
2.40	3	26.73	11.60			20.80		
2.60	3	24.85	11.80			21.00		
2.80	3	24.85	12.00			21.20		
3.00	3	24.85	12.20			21.40		
3.20	3	24.85	12.40			21.60		
3.40	3	24.85	12.60			21.80		
3.60	2	15.47	12.80			22.00		
3.80	2	15.47	13.00			22.20		
4.00	3	23.21	13.20			22.40		
4.20	2	15.47	13.40			22.60		
4.40	2	15.47	13.60			22.80		
4.60	3	21.77	13.80			23.00		
4.80	2	14.51	14.00			23.20		
5.00	2	14.51	14.20			23.40		
5.20	3	21.77	14.40			23.60		
5.40	3	21.77	14.60			23.80		
5.60	3	20.50	14.80			24.00		
5.80	4	27.34	15.00			24.20		
6.00	3	20.50	15.20			24.40		
6.20	3	20.50	15.40			24.60		
6.40	14	95.68	15.60			24.80		
6.60	15	96.87	15.80			25.00		
6.80	26	167.90	16.00			25.20		
7.00	41	264.77	16.20			25.40		
7.20	50	322.89	16.40			25.60		
7.40			16.60			25.80		
7.60			16.80			26.00		
7.80			17.00			26.20		
8.00			17.20			26.40		
8.20			17.40			26.60		
8.40			17.60			26.80		
8.60			17.80			27.00		
8.80			18.00			27.20		
9.00			18.20			27.40		



Caratteristiche del Penetrometro PAGANI - TG 63/200	
Maglio (kg)	63.5
Volata (cm)	75
Passo (cm)	20
Peso sistema battuta (kg)	0.63
Diametro punta (mm)	51
Angolo (°)	90
Area di base (cm²)	20.43
Lunghezza unitaria (m)	1
Massa unitaria (kg)	6.31
Prof. Giunzione 1a asta (m)	0.4



SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

Sonedile s.r.l. unipersonale
Viale Francesco Crispi, 17
64100 Teramo (TE)
ITALY
Tel: +39 0861 411432
Fax: +39 0861 411442

www.sonedile.com
info@sondedile.com
C.C.I.A.A. di Teramo
P.IVA e C.F.: 00075830679
Capitale Sociale: € 52.000,00 i.v.



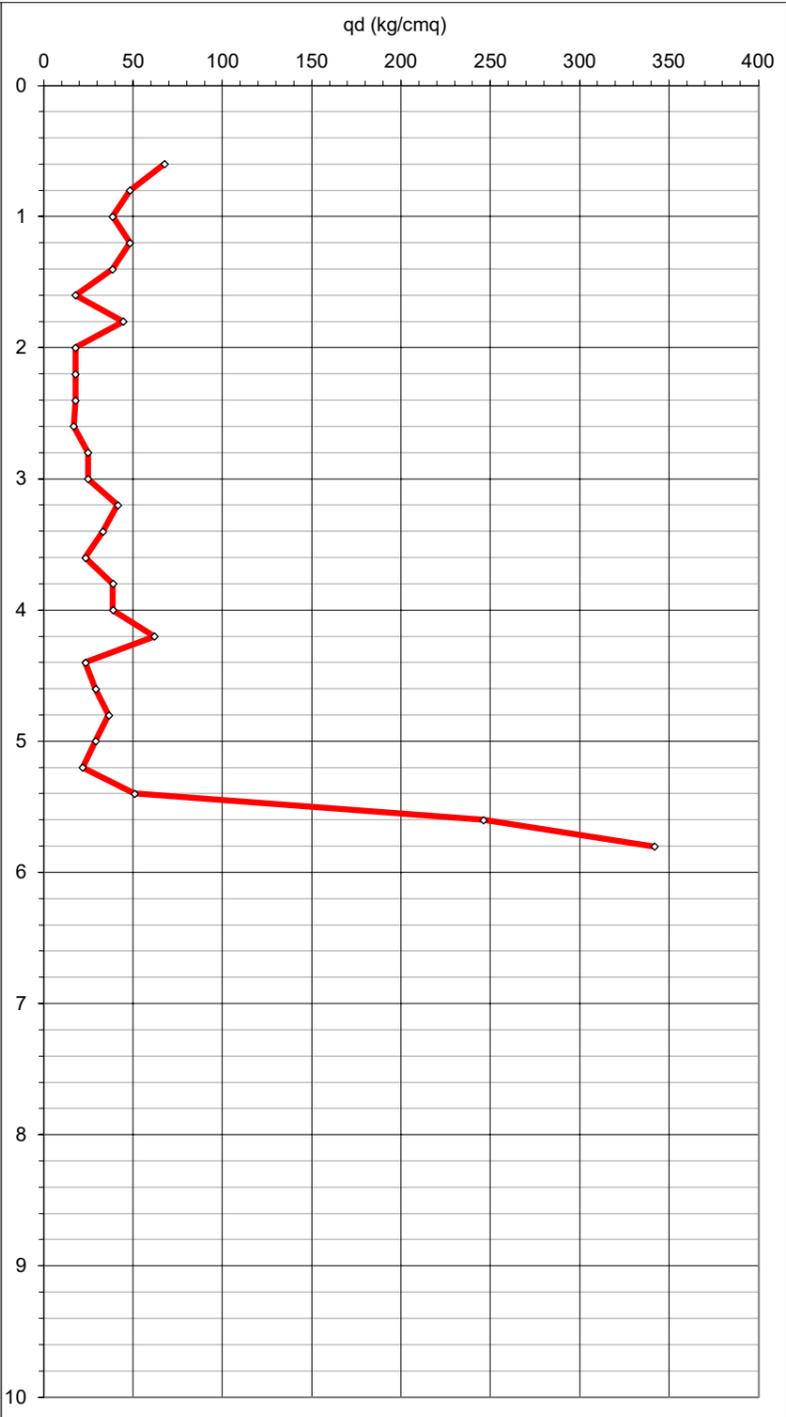
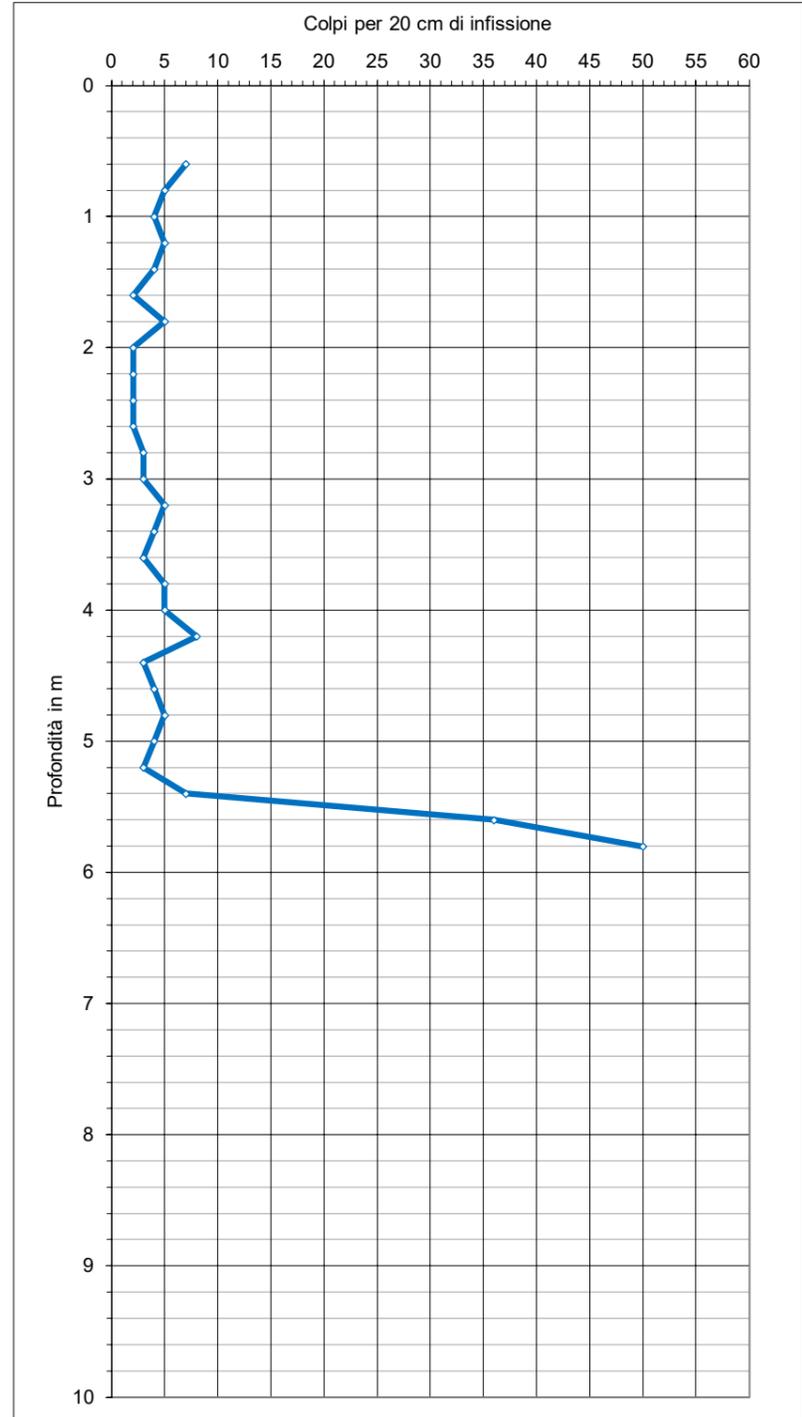
Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH

Committente	Città Metropolitana di Roma Capitale	Cantiere	SP Quintiliolo	ID TEST	DPSH2	Prof. (m)	5.80	Località	Data	29/03/2021	Verbale di accettazione n°	22	del	06/04/2021
											Certificato n°	366	del	04/05/2021

Dati Prova
Profondità falda:
Profondità preforo: 0.40m

Profondità	N° colpi	qd	Profondità	N° colpi	qd	Profondità	N° colpi	qd
0.00			9.20			18.40		
0.20			9.40			18.60		
0.40			9.60			18.80		
0.60	7	67.50	9.80			19.00		
0.80	5	48.22	10.00			19.20		
1.00	4	38.57	10.20			19.40		
1.20	5	48.22	10.40			19.60		
1.40	4	38.57	10.60			19.80		
1.60	2	17.82	10.80			20.00		
1.80	5	44.55	11.00			20.20		
2.00	2	17.82	11.20			20.40		
2.20	2	17.82	11.40			20.60		
2.40	2	17.82	11.60			20.80		
2.60	2	16.56	11.80			21.00		
2.80	3	24.85	12.00			21.20		
3.00	3	24.85	12.20			21.40		
3.20	5	41.41	12.40			21.60		
3.40	4	33.13	12.60			21.80		
3.60	3	23.21	12.80			22.00		
3.80	5	38.68	13.00			22.20		
4.00	5	38.68	13.20			22.40		
4.20	8	61.88	13.40			22.60		
4.40	3	23.21	13.60			22.80		
4.60	4	29.03	13.80			23.00		
4.80	5	36.28	14.00			23.20		
5.00	4	29.03	14.20			23.40		
5.20	3	21.77	14.40			23.60		
5.40	7	50.80	14.60			23.80		
5.60	36	246.03	14.80			24.00		
5.80	50	341.71	15.00			24.20		
6.00			15.20			24.40		
6.20			15.40			24.60		
6.40			15.60			24.80		
6.60			15.80			25.00		
6.80			16.00			25.20		
7.00			16.20			25.40		
7.20			16.40			25.60		
7.40			16.60			25.80		
7.60			16.80			26.00		
7.80			17.00			26.20		
8.00			17.20			26.40		
8.20			17.40			26.60		
8.40			17.60			26.80		
8.60			17.80			27.00		
8.80			18.00			27.20		
9.00			18.20			27.40		



Caratteristiche del Penetrometro PAGANI - TG 63/200	
Maglio (kg)	63.5
Volata (cm)	75
Passo (cm)	20
Peso sistema battuta (kg)	0.63
Diametro punta (mm)	51
Angolo (°)	90
Area di base (cm²)	20.43
Lunghezza unitaria (m)	1
Massa unitaria (kg)	6.31
Prof. Giunzione 1a asta (m)	0.4



Protocollo: CMRC-2021-0118012 - 03-08-2021 07:30:52
SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sonedile s.r.l. unipersonale www.sonedile.com
Viale Francesco Crispi, 17 info@sondedile.com
64100 Teramo (TE) - ITALY PEC: sondedilesri@legalmail.it
Tel. +39 0861 411432 C.C.I.A.A. di Teramo
Fax. +39 0861 411442 P.IVA e C.F. 00075830679



ALLEGATO D – PROVE DI LABORATORIO

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: CI1	PROFONDITA': m	3.00-3.40

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	20,7	%
Peso di volume	17,2	kN/m ³
Peso di volume secco	14,2	kN/m ³
Peso di volume saturo	18,5	kN/m ³
Peso specifico	2,55	
Indice dei vuoti	0,757	
Porosità	43,1	%
Grado di saturazione	69,6	%
Limite di liquidità	Non determinabile	
Limite di plasticità	Non plastico	
Indice di plasticità	Non determinabile	
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	8,1	%
Sabbia	58,6	%
Limo	20,6	%
Argilla	12,7	%
D 10	0,002339	mm
D 50	0,182498	mm
D 60	0,260335	mm
D 90	3,397399	mm
Passante set. 10	87,1	%
Passante set. 42	71,4	%
Passante set. 200	33,3	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	kPa	σ_{Rim}	kPa
c_u	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	0,0	kPa	ϕ' 35,9 °
c'_{Res}		kPa	ϕ'_{Res} °

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d °
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu} °
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu} °
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u °

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

Sabbia limosa, debolmente argilloso ghiaiosa, di colore marrone ($R_p = 220-230$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02368	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 15/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 16/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C11	PROFONDITA': m	3.00-3.40

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale = 20,7 %

Struttura del materiale:

Omogeneo
 Stratificato
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Sabbia limosa, debolmente argilloso ghiaiosa, di colore marrone (R_p = 220-230 kPa).

1
35732

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02367 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 15/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 15/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C11	PROFONDITA': m 3.00-3.40

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 17,2 kN/m³

Sabbia limosa, debolmente argilloso ghiaiosa, di colore marrone (Rp = 220-230 kPa).

1
35732

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02366 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 16/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 16/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C11	PROFONDITA': m 3.00-3.40

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,55**

γ_{sc} = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,55**

Metodo: A B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 18,9 °C

Disaerazione eseguita per bollitura

Sabbia limosa, debolmente argilloso ghiaiosa, di colore marrone ($R_p = 220-230$ kPa).

1
35732

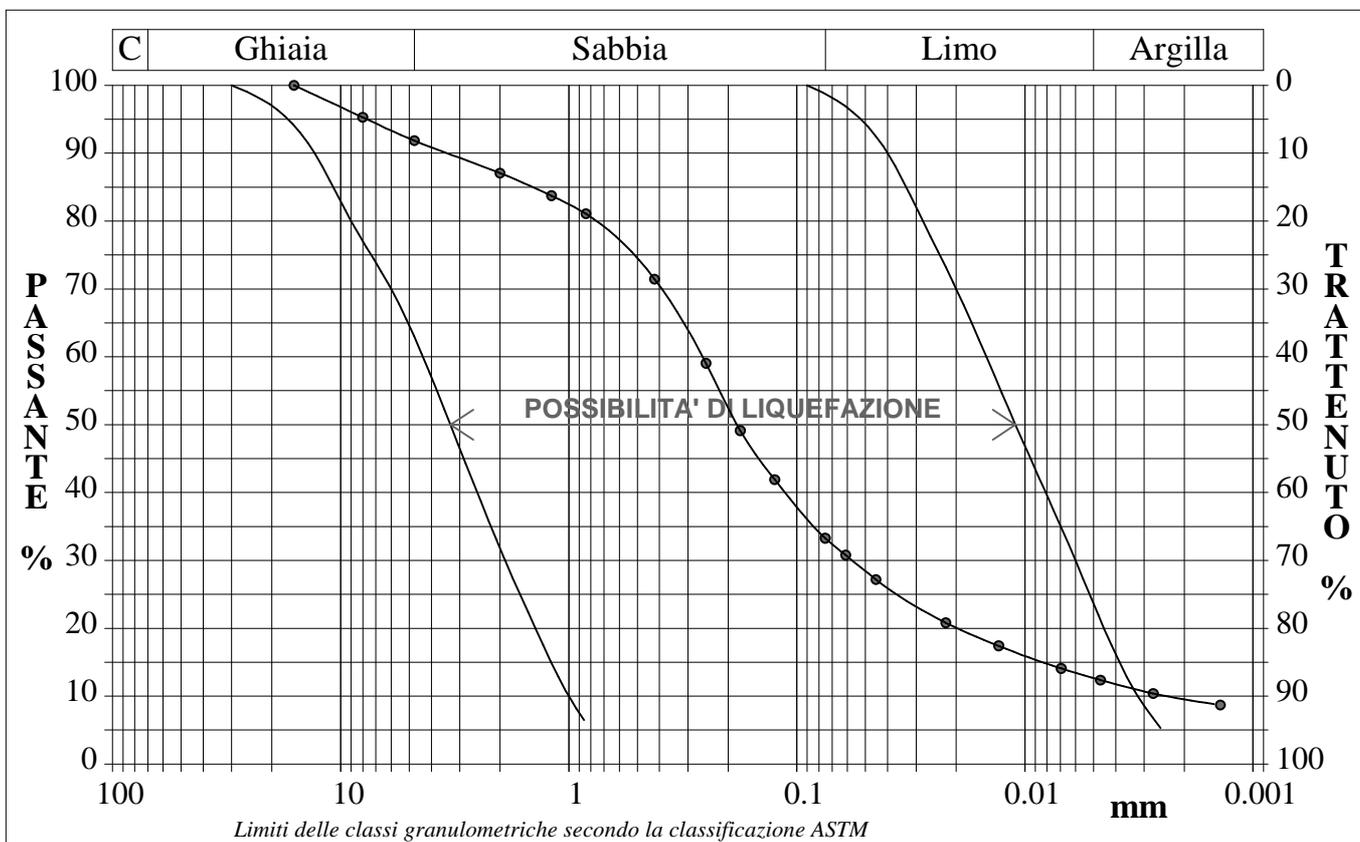
CERTIFICATO DI PROVA N°: 02365	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 17/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C11	PROFONDITA': m	3.00-3.40

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	8,1 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	87,1 %	D10	0,00234 mm	
Sabbia	58,6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	71,4 %	D30	0,05715 mm	
Limo	20,6 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	33,3 %	D50	0,18250 mm	
Argilla	12,7 %			D60	0,26034 mm	
Coefficiente di uniformità		111,32	Coefficiente di curvatura		5,36	
					D90	3,39740 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %						
16,0000	100,00	0,8410	81,07	0,0750	33,27	0,0069	14,08		
8,0000	95,28	0,4200	71,44	0,0611	30,78	0,0047	12,38		
4,7500	91,85	0,2500	59,03	0,0450	27,17	0,0027	10,40		
2,0000	87,07	0,1770	49,12	0,0222	20,80	0,0014	8,70	Setacci	10
1,1900	83,73	0,1250	41,91	0,0130	17,40			Punti sediment.	8

Sabbia limosa, debolmente argilloso ghiaiosa, di colore marrone ($R_p = 220-230$ kPa).

1
35732

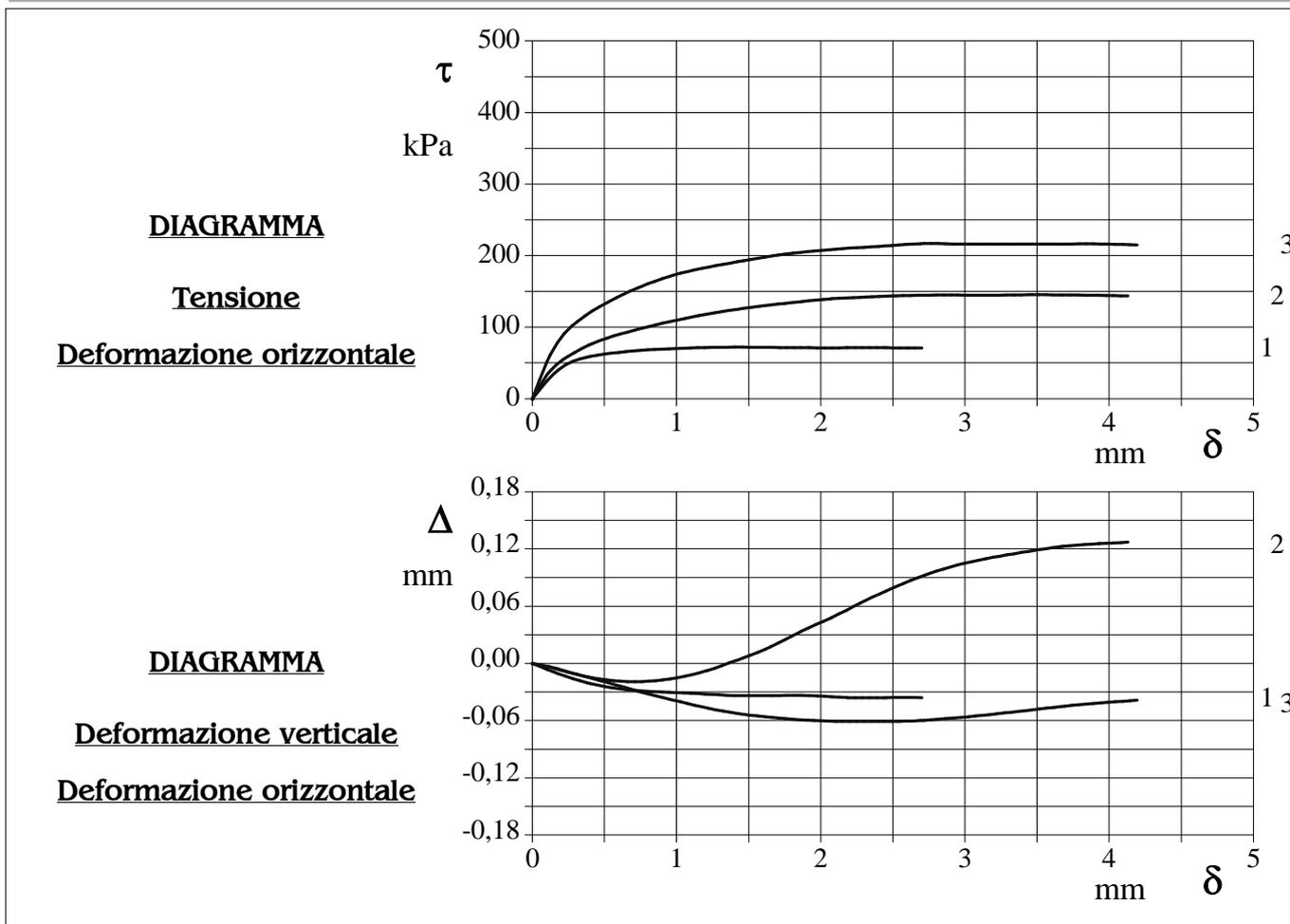
CERTIFICATO DI PROVA N°: 02364	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 15/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 16/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C11	PROFONDITA': m	3.00-3.40

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	18,8 14,6	22,8 22,4	20,4 16,6
Peso di volume (kN/m³):	17,4	16,8	17,3
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,062 mm / min	



Sabbia limosa, debolmente argilloso ghiaiosa, di colore marrone ($R_p = 220-230$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02364	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 15/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 16/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C11	PROFONDITA': m	3.00-3.40

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,987
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	8,5
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,059

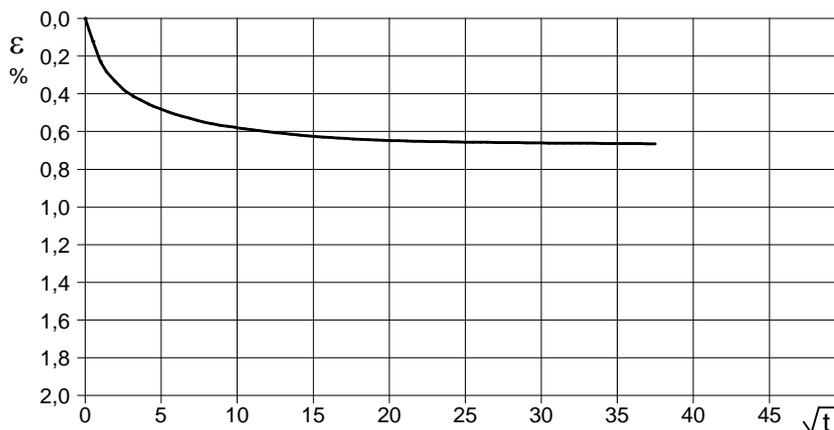


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,982
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	7,7
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,065

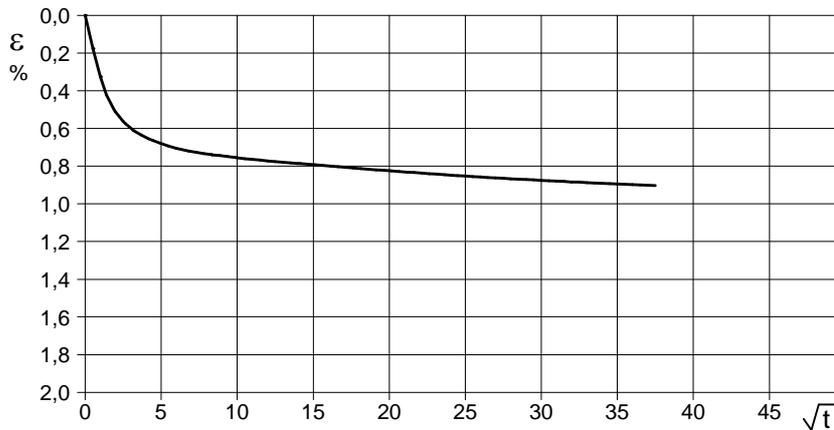
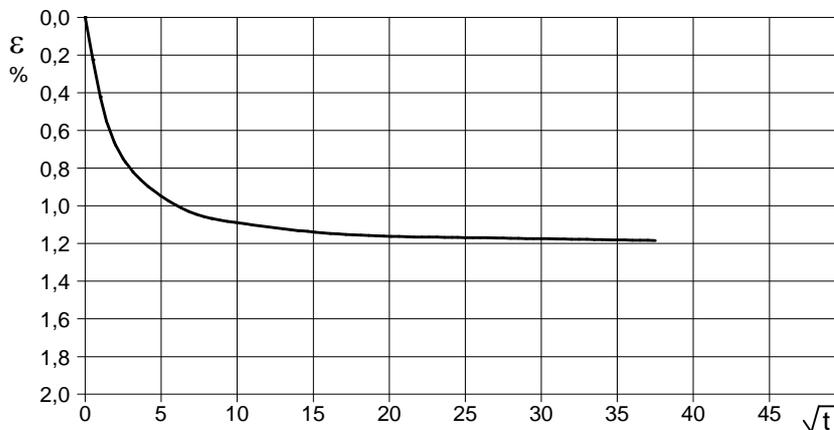


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,976
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	7,9
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,064



1
35732

V_s = Velocità stimata di prova D_f = Deformazione a rottura stimata $t_f = 10 \times T_{100}$ $V_s = D_f / t_f$

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m	3.60-4.00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	9,2	%
Peso di volume	20,4	kN/m ³
Peso di volume secco	18,7	kN/m ³
Peso di volume saturo	21,4	kN/m ³
Peso specifico	2,65	
Indice dei vuoti	0,393	
Porosità	28,2	%
Grado di saturazione	61,8	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	17,6	%
Sabbia	40,1	%
Limo	24,8	%
Argilla	17,5	%
D 10	0,000868	mm
D 50	0,167301	mm
D 60	0,519210	mm
D 90	6,722065	mm
Passante set. 10	73,2	%
Passante set. 42	58,0	%
Passante set. 200	42,3	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	kPa	σ_{Rim}	kPa
c_u	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	27,4	kPa	ϕ' 32,3 °
c'_{Res}		kPa	ϕ'_{Res} °

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d °
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu} °
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu} °
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u °

PROVA EDMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro; sono presenti frequenti elementi ghiaiosi di natura calcarea ($R_p > 500$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02363 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 15/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m 3.60-4.00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale = 9,2 %

Struttura del materiale:

Omogeneo
 Stratificato
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro; sono presenti frequenti elementi ghiaiosi di natura calcarea (R_p > 500 kPa).

2
35733

Lo sperimentatore
Dott.  Serepanti

Il direttore del laboratorio
Dott.  Rabottino

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02362 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 14/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m 3.60-4.00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 20,4 kN/m³

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro; sono presenti frequenti elementi ghiaiosi di natura calcarea (Rp > 500 kPa).

2
35733

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02361 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 16/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 16/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m 3.60-4.00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,65**

γ_{sc} = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,65**

Metodo: A B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,3 °C

Disaerazione eseguita per bollitura

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro; sono presenti frequenti elementi ghiaiosi di natura calcarea (Rp > 500 kPa).

2
35733

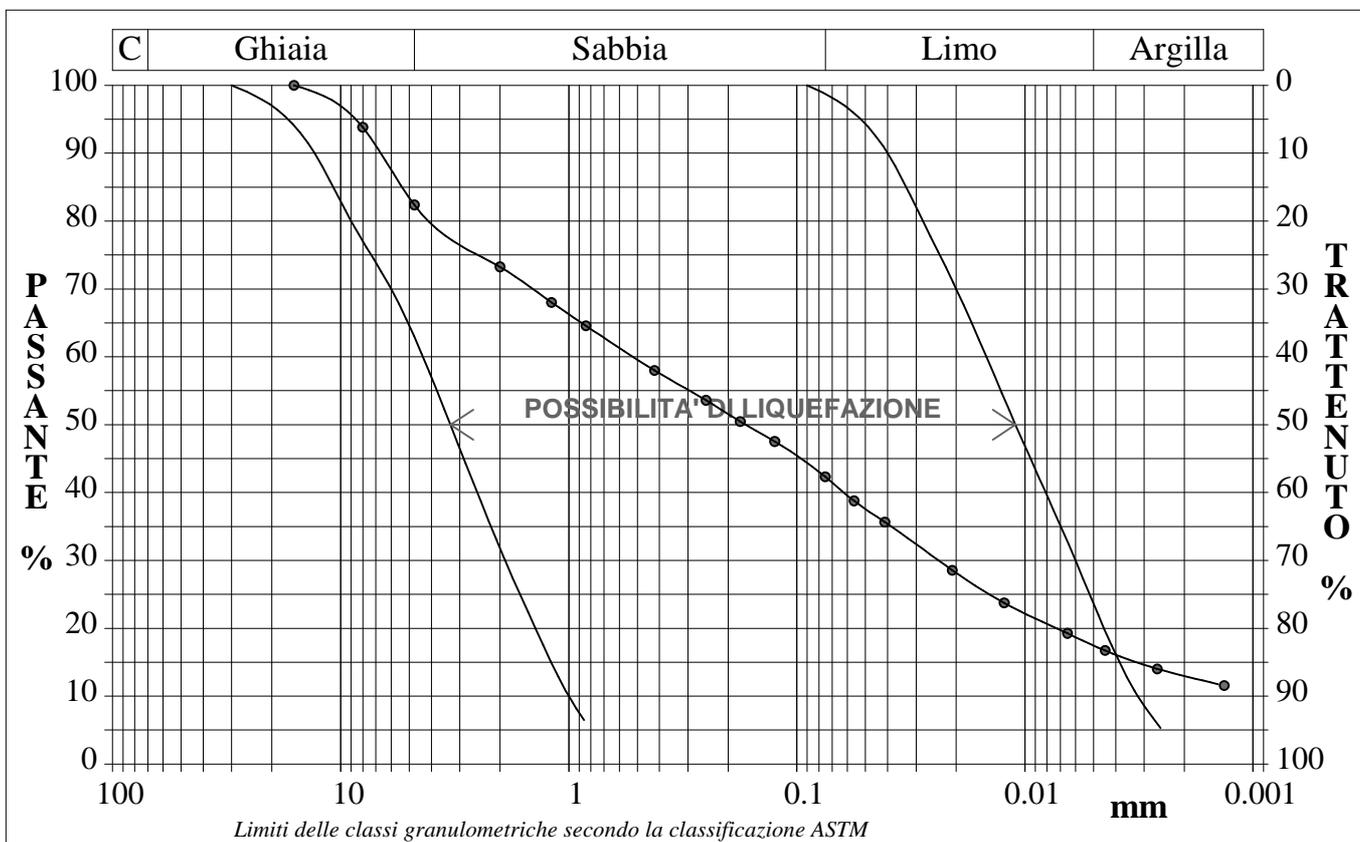
CERTIFICATO DI PROVA N°: 02360	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 17/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m	3.60-4.00

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	17,6 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	73,2 %	D10	0,00087 mm	
Sabbia	40,1 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	58,0 %	D30	0,02392 mm	
Limo	24,8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	42,3 %	D50	0,16730 mm	
Argilla	17,5 %			D60	0,51921 mm	
Coefficiente di uniformità		598,35	Coefficiente di curvatura	1,27	D90	6,72207 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %						
16,0000	100,00	0,8410	64,59	0,0750	42,32	0,0065	19,25		
8,0000	93,82	0,4200	57,98	0,0561	38,77	0,0045	16,72		
4,7500	82,38	0,2500	53,59	0,0411	35,65	0,0026	14,02		
2,0000	73,24	0,1770	50,48	0,0208	28,55	0,0013	11,57	Setacci	10
1,1900	68,02	0,1250	47,52	0,0123	23,73			Punti sediment.	8

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro; sono presenti frequenti elementi ghiaiosi di natura calcarea ($R_p > 500$ kPa).

2
35733

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02359	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 15/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m	3.60-4.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	9,4 17,1	9,6 17,6	8,5 17,2
Peso di volume (kN/m³):	20,5	20,4	20,2
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,048 mm / min	

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

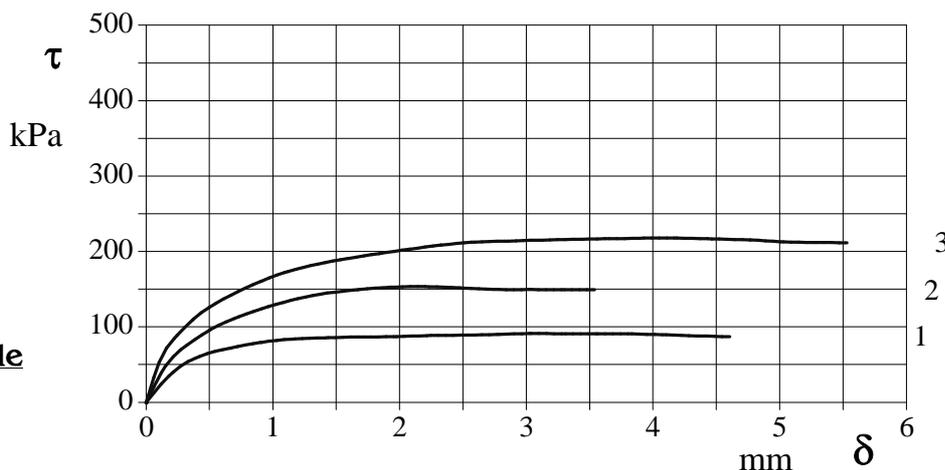
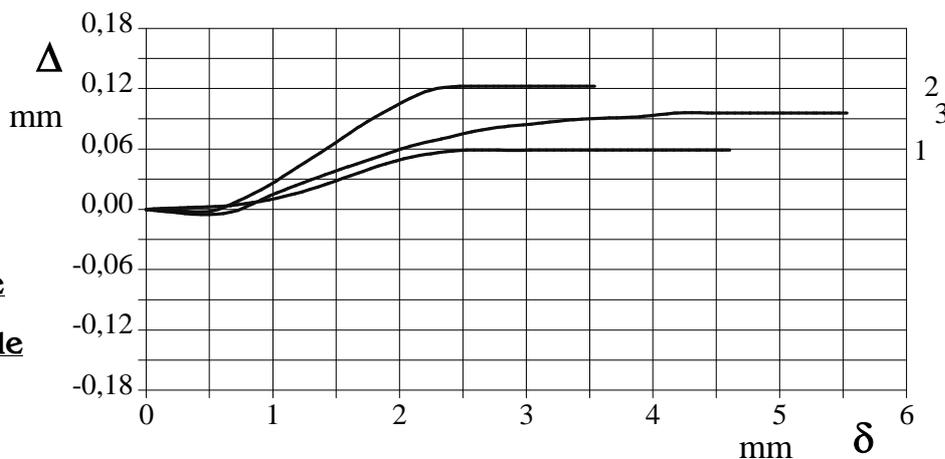


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro; sono presenti frequenti elementi ghiaiosi di natura calcarea ($R_p > 500$ kPa).

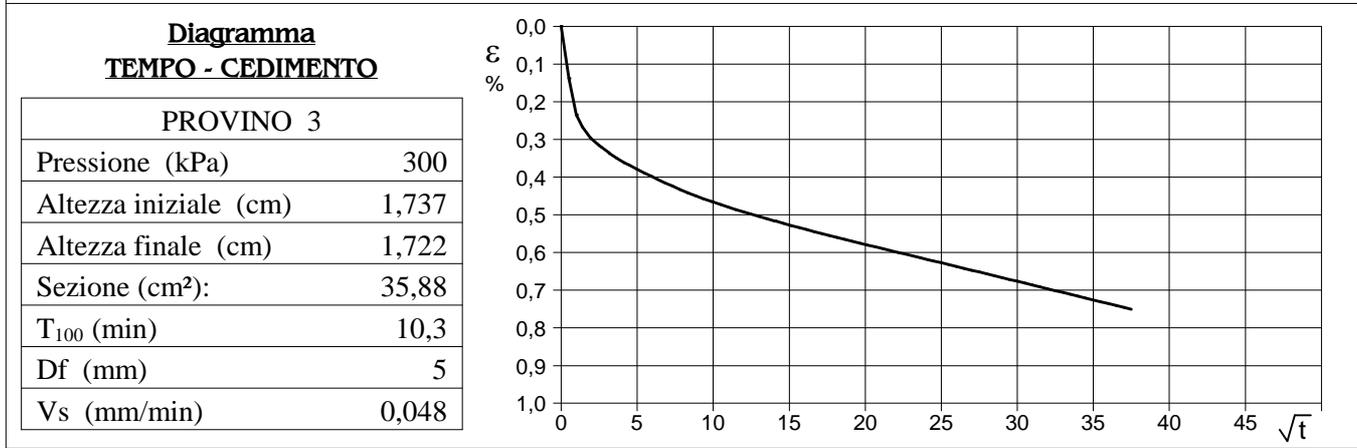
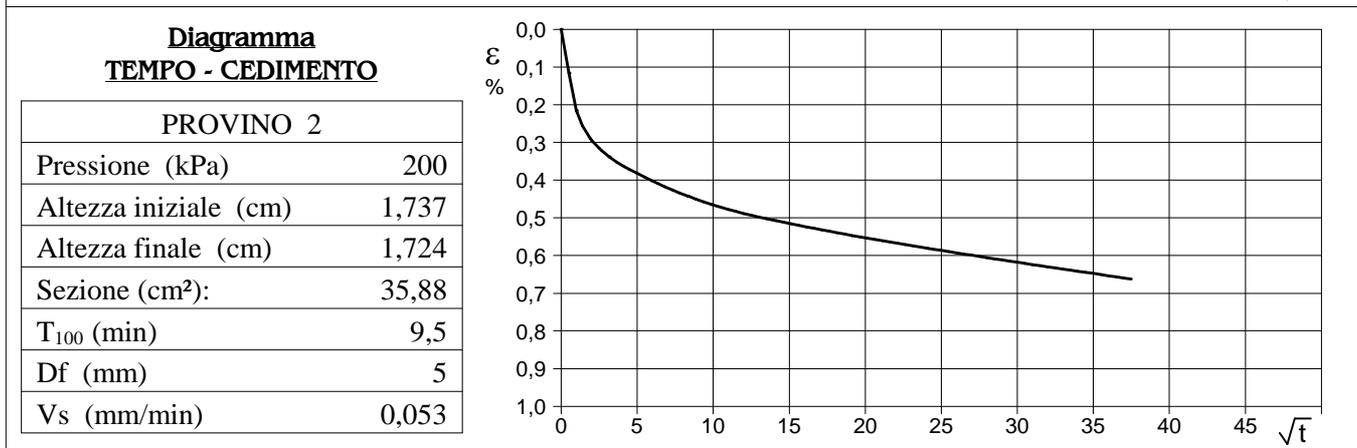
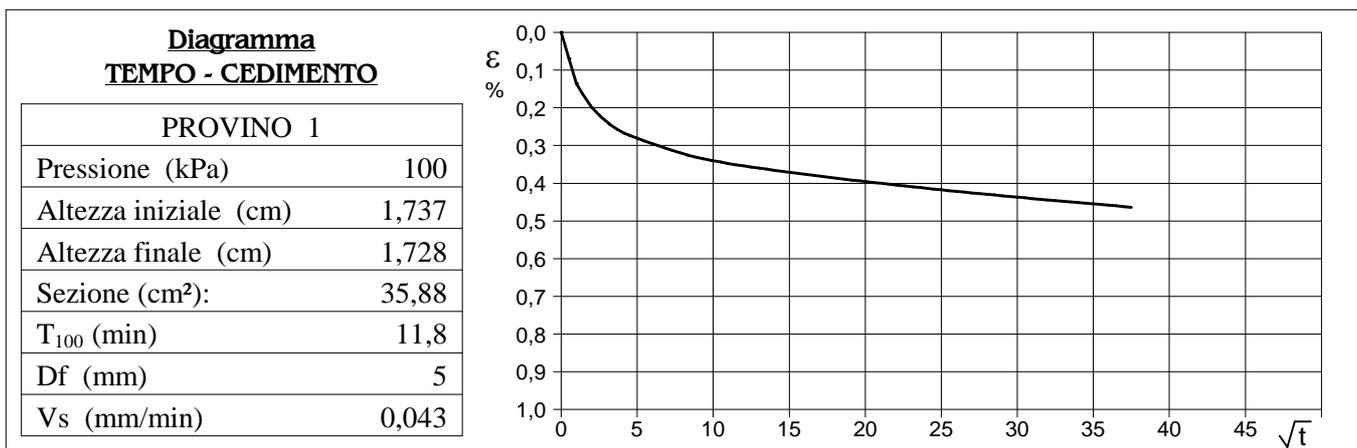
2
35733

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02359	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 108 del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 15/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m	3.60-4.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080



2
35733

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

Lo sperimentatore
Dott. Anacleto Scarpanti

Il direttore del laboratorio
Dott. Sergio Rabottino

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m 14.60-15.00

MODULO RIASSUNTIVO

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Peso di volume (kN/m³): 25,7

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa): 71,29

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Calcare di colore biancastro.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00075R Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 14R del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 14/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m 14.60-15.00

MASSA VOLUMICA NATURALE

Modalità di prova: Norma ISRM

Peso di volume allo stato naturale = 25,7 kN/m³

Calcare di colore biancastro.

1
35734

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00074R Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 14R del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 14/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m 14.60-15.00

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 7012 C-D

Provino n°:	1
Velocità di deformazione (MPa/sec):	0,20
Altezza (cm):	11,98
Diametro (cm):	7,86
Sezione (cm ²):	48,52
Peso di volume (kN/m ³):	25,7
Resistenza a compressione (MPa):	71,29

Calcare di colore biancastro.

1
35734

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR2	PROFONDITA': m 13.30-13.65

MODULO RIASSUNTIVO

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Peso di volume (kN/m³): 25,9

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa): 101,36

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Calcare di colore biancastro.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00073R Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 14R del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 14/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR2	PROFONDITA': m 13.30-13.65

MASSA VOLUMICA NATURALE

Modalità di prova: Norma ISRM

Peso di volume allo stato naturale = 25,9 kN/m³

Calcare di colore biancastro.

2
35735

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00072R	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 14R del 09/04/21		Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 14/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR2	PROFONDITA': m 13.30-13.65	

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 7012 C-D

Provino n°:	1
Velocità di deformazione (MPa/sec):	0,20
Altezza (cm):	13,16
Diametro (cm):	7,86
Sezione (cm ²):	48,52
Peso di volume (kN/m ³):	25,9
Resistenza a compressione (MPa):	101,36

Calcare di colore biancastro.

2
35735

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale			
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR3	PROFONDITA': m	22.50-22.85

MODULO RIASSUNTIVO

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Peso di volume (kN/m ³):	25,8
--------------------------------------	------

POINT LOAD TEST

Resistenza a compressione - Valore medio (MPa):	29,55
---	-------

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Calcere di colore biancastro, intensamente fratturato, con fratture riempite di calcite secondaria

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00071R Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 17/04/21	Inizio analisi: 14/04/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 14R del 09/04/21	Apertura campione: 14/04/21	Fine analisi: 14/04/21

COMMITTENTE: Città Metropolitana Roma Capitale		
RIFERIMENTO: SP Quintiliolo		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: CR3	PROFONDITA': m 22.50-22.85

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma C.N.R. B.U. XII n° 63

Determinazione eseguita mediante pesata idrostatica

Peso di volume allo stato naturale = 25,8 kN/m³

Calcare di colore biancastro, intensamente fratturato, con fratture riempite di calcite secondaria



Città metropolitana di Roma Capitale

Roma ed altri – indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche da effettuarsi
nel territorio metropolitano

ORDINATIVO n° 9

PROGETTAZIONE DI INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA

**TRATTO S.P. QUINTILIOLO AL KM 0+750 CIRCA NEL COMUNE DI
TIVOLI, SOGGETTO A FENOMENI DI DISSESTO**

Relazione tecnica indagini geofisiche

Formato: A4	
Redatto:	Sonedile S.r.l.
Data:	Novembre 2021
CUP: F34J18000150003	CIG: 8463869DA4



SONDEDILE
s.r.l. unipersonale

1971 - 2021

Sondedile s.r.l. unipersonale

Viale Francesco Crispi, 17
64100 Teramo (TE) - ITALY
Tel. +39 0861 411432
Fax. +39 0861 411442

www.sondedile.com

info@sondedile.com

PEC: sondedilesrl@legalmail.it

C.C.I.A.A. di Teramo

P.IVA e C.F. 00075830679



INDICE

1 - INTRODUZIONE	3
2 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	4
3 - ELABORAZIONE	5
4 - ANALISI DEI RISULTATI	6

1 - INTRODUZIONE

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni (decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul supplemento ordinario n°8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018).

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della VsEq che corrisponde alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio intesa come la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}} \quad \text{eq. (1)}$$

dove N, è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h (strato) e dalla velocità delle onde S Vs (strato). Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VsE è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

2 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Hardware

L'acquisizione è avvenuta, come richiesto dalla committenza, tramite sismografo a 24 canali (geode Geometrics) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2.5 m, 1s di acquisizione, offset minimi di 7.5, 10 e 12.5m). I rilievi sono stati eseguiti il giorno 27-10-2021.

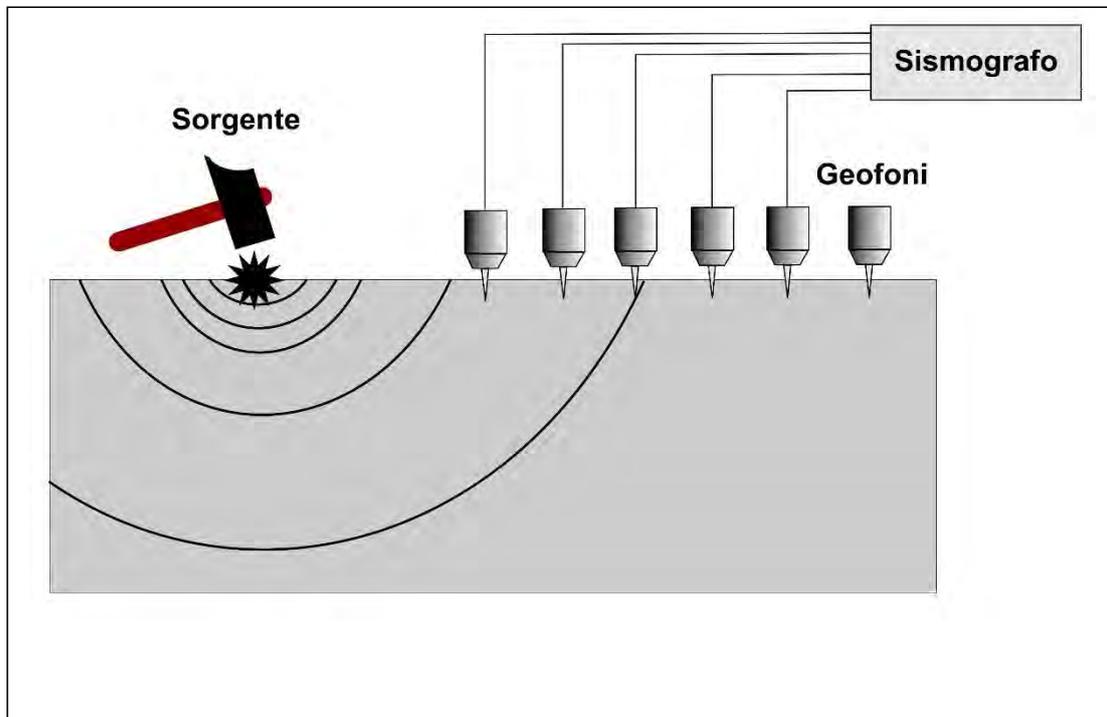


FIGURA 1: Schema di acquisizione

Software

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software **winMASW® Academy 2019** (www.eliosoft.it).

3 - ELABORAZIONE

I dati acquisiti (Figura 2) sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS).

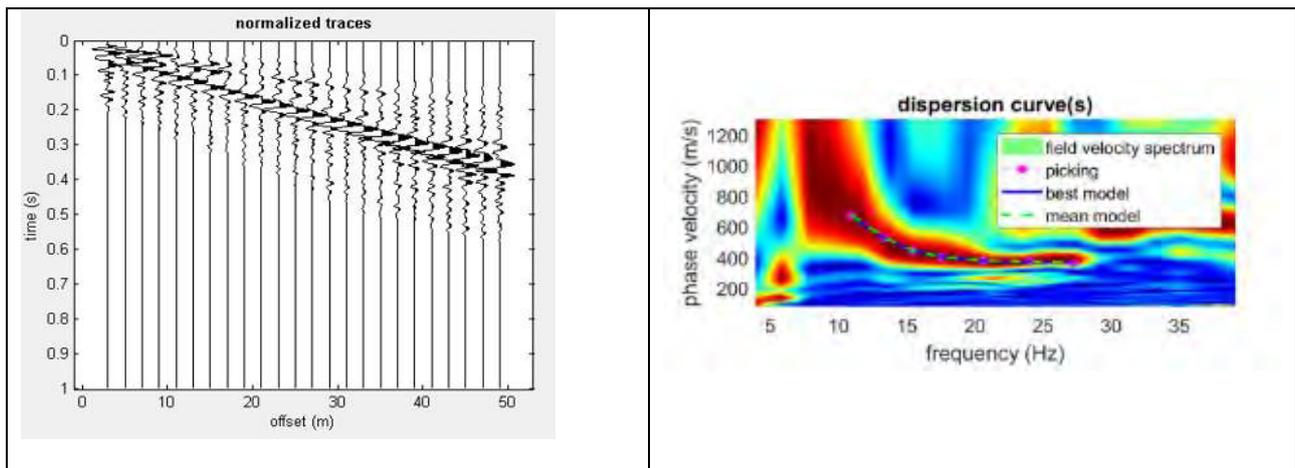


Fig. 3.1: esempio risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW. In alto a sinistra: dataset di campagna. Sulla destra spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione.

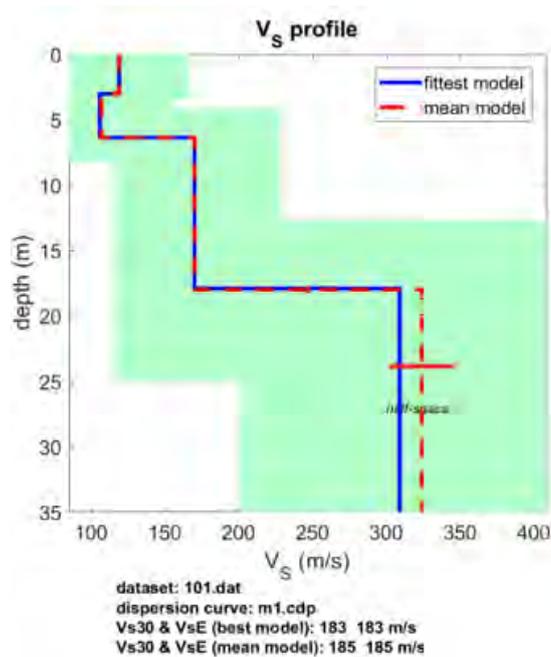
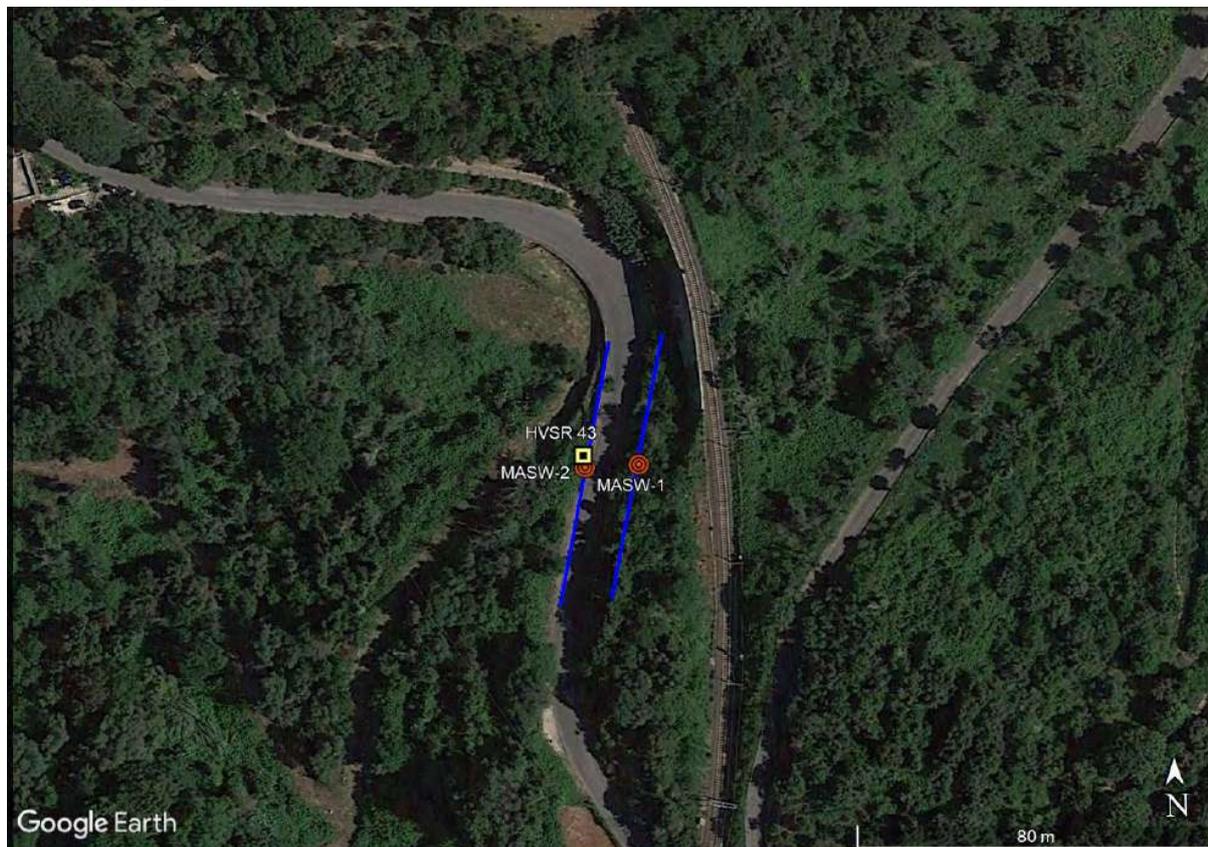


Fig. 3.2: esempio profilo verticale VS identificato con il processo di inversione

4 - ANALISI DEI RISULTATI

Per l'interpretazione delle analisi MASW si è tenuto conto delle informazioni derivate dai sondaggi stratigrafici, quando presenti.

MASW 1



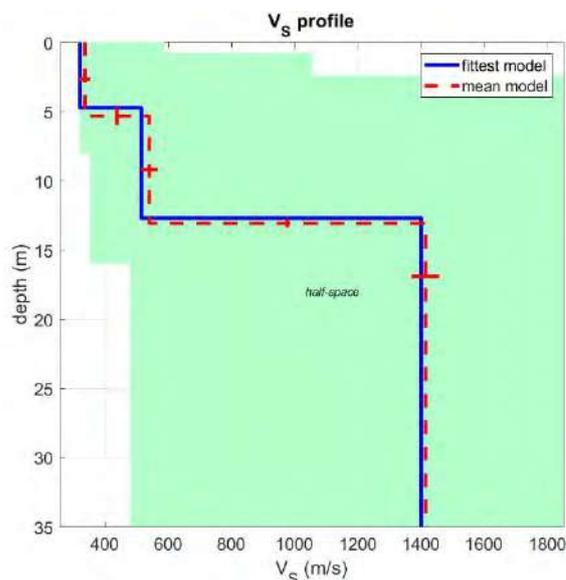
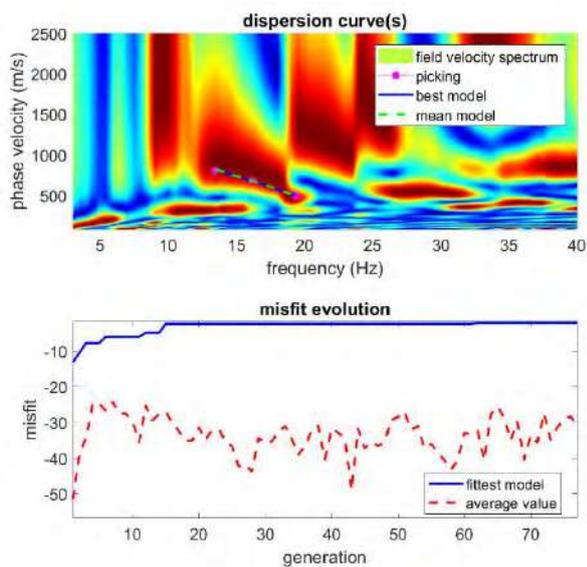
Ubicazione analisi MASW 1 (in blu stendimento, in arancione centro dell'analisi) e fase di acquisizione

Prospezione sismica di superficie

S.P. QUINTILIOLO AL KM 0+750

RAPPORTO TECNICO

Il modello di VS calcolato tramite l'analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh è il seguente:



dataset: 303.dat-CLEAN.sgy
dispersion curve: pick_masw1.cdp
Vs30 & VsE (best model): 705 420 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 712 433 m/s

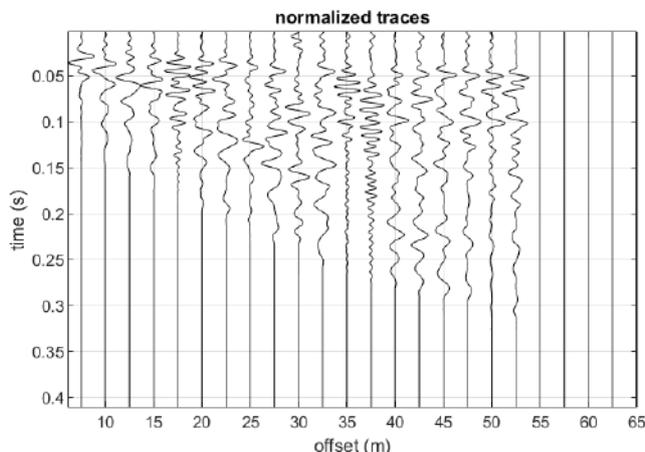


Spettro di velocità con sovrapposta la curva di dispersione, misfit e modello di VS. Sotto dataset di campagna.

BEST MODEL

Vs (m/s): 320, 516, 1402

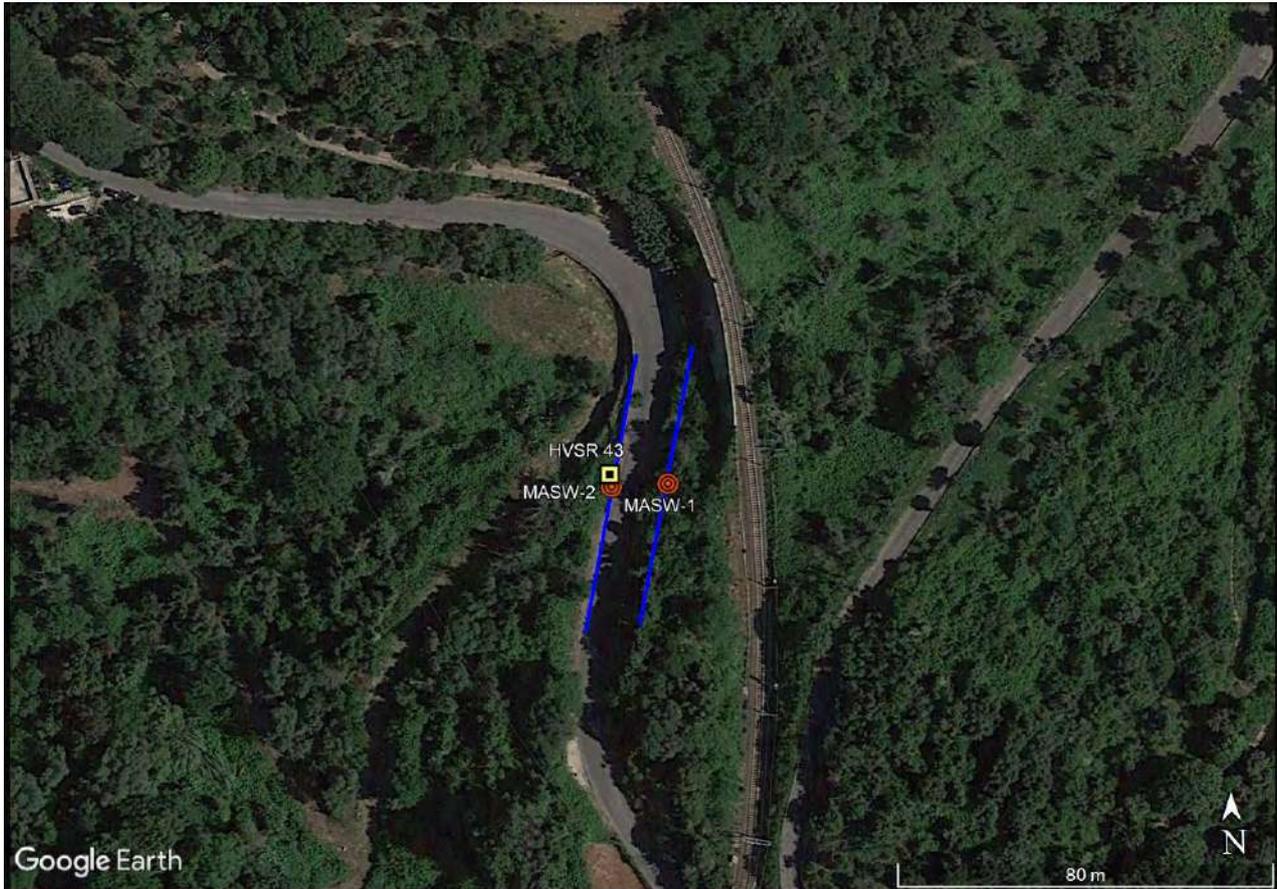
thickness (m): 4.7187, 7.9821



Coordinate ubicative (WGS84 UTM) :	Est	Nord
	318318.64	4648644.05

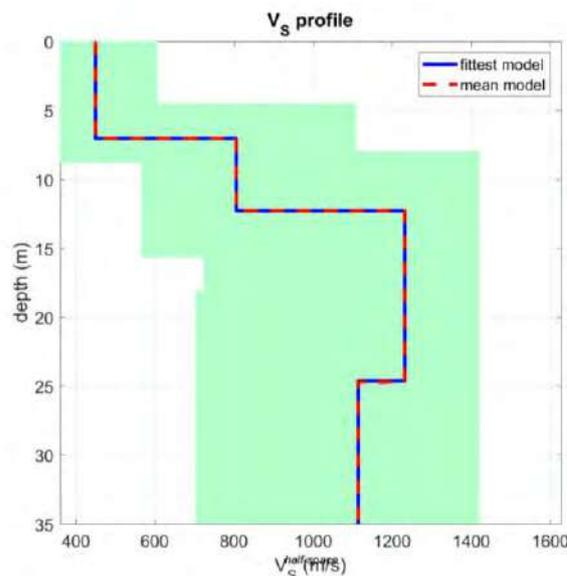
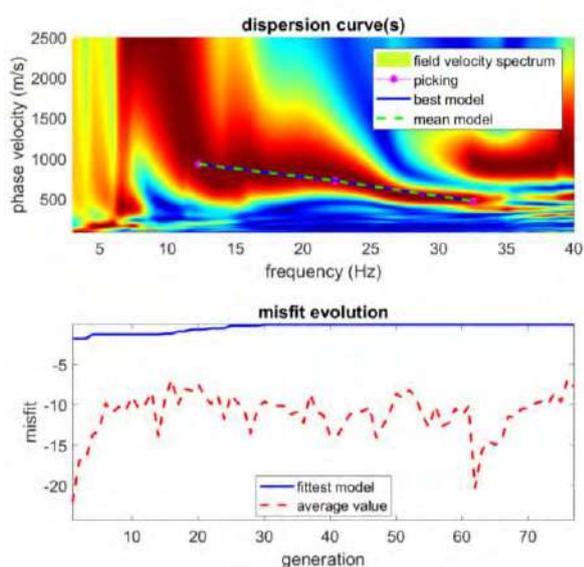
L'area oggetto della prospezione geofisica con tecnica di sismica attiva MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), fornisce un valore di VsE convergente a 420 m/s (Vs30=705 m/s), e può quindi essere collocata, secondo la normativa italiana vigente (decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul supplemento ordinario n°8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018), in classe B.

MASW 2



Ubicazione analisi MASW 2 (in blu stendimento, in arancione centro dell'analisi), HVSr (in giallo) e fase di acquisizione

Il modello di VS calcolato tramite l'analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh è il seguente:



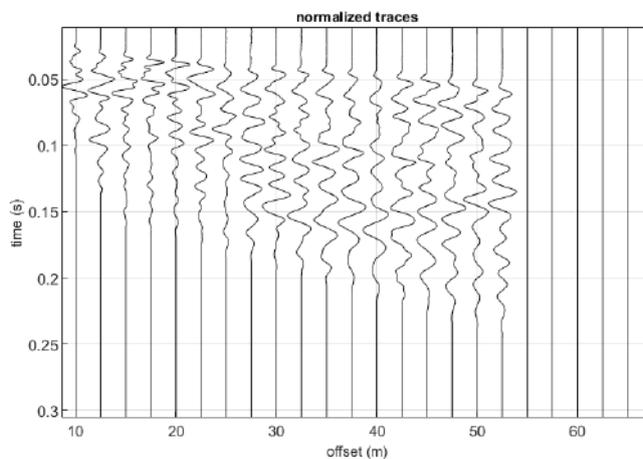
dataset: 324.dat
dispersion curve: PICK_MASW2.cdp
Vs30 & VsE (best model): 810 449 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 810 449 m/s



Spettro di velocità con sovrapposta la curva di dispersione, misfit e modello di VS. Sotto dataset di campagna.

BEST MODEL

Vs (m/s): 449 806 1232 1114
thickness (m): 7.05267 5.23687 12.3448



Coordinate ubicative (WGS84 UTM) :	Est	Nord
	318307.01	4648643.91

L'area oggetto della prospezione geofisica con tecnica di sismica attiva MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), fornisce un valore di VsE convergente a 449 m/s (Vs30=810 m/s), e può quindi essere collocata, secondo la normativa italiana vigente (decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul supplemento ordinario n°8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018), in classe B.

MISURE HVSR

Le curve H/V ottenute dalle misure di sismica passiva a stazione singola eseguite in corrispondenza del centro del MASW 2.

[si ricorda nuovamente che la frequenza di risonanza v_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento (V_s) e 4 volte lo spessore H secondo la relazione ($v_0 = V_s/4H$)].

Andando ad analizzare le curve HVSR eseguite possono essere fatte le seguenti considerazioni:

HVSR

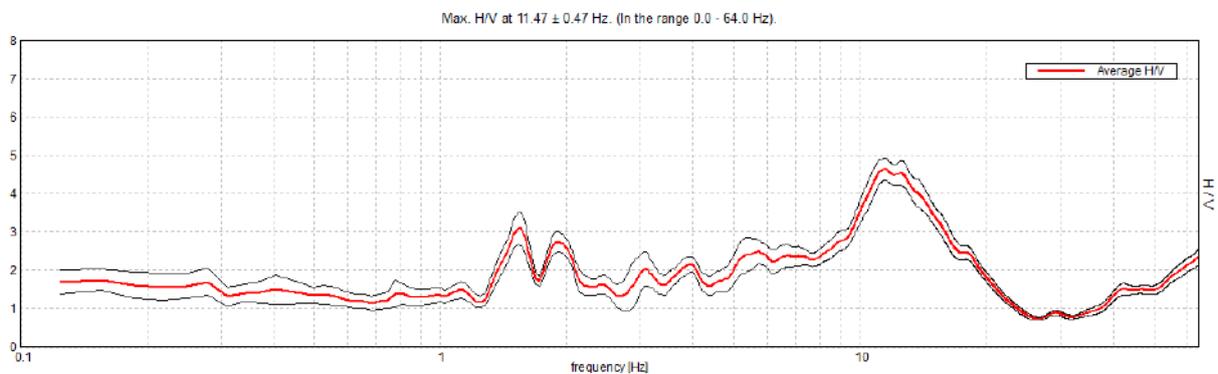


Figura 6.4: curva HVSR

La curva HVSR presenta un picco di ampiezza 5 alla frequenza di 11.47 Hz, che sta ad indicare la presenza di un passaggio litostratigrafico costituito da litotipi caratterizzati da un comportamento fisico-meccanico diverso (forte contrasto di impedenza).

HVSR elenco picchi:

f_0 Hz	Ampiezza
1.83	3.1
1.96	2.8
11.47	5.0

TIVOLI HVSR 43

Strumento: TEP-0026/01-09

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 27/10/21 08:23:34 Fine registrazione: 27/10/21 08:43:34

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 63% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

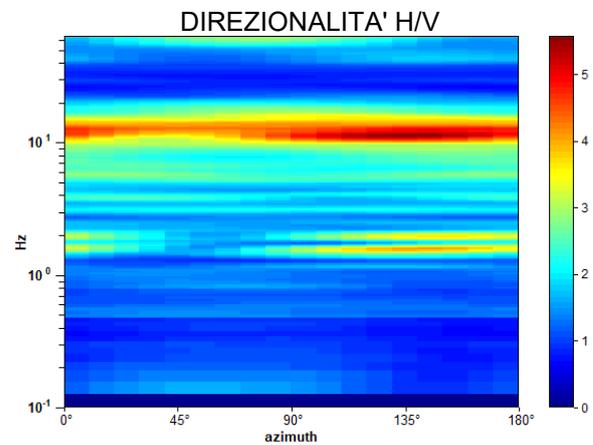
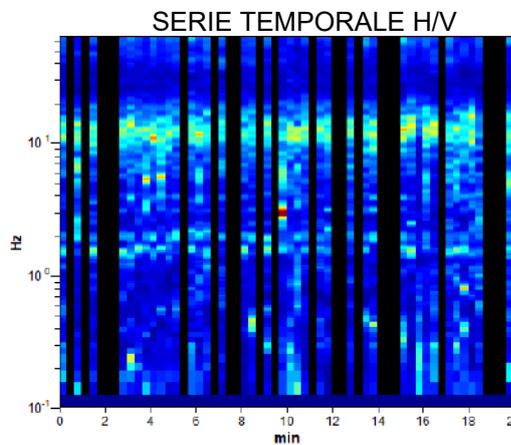
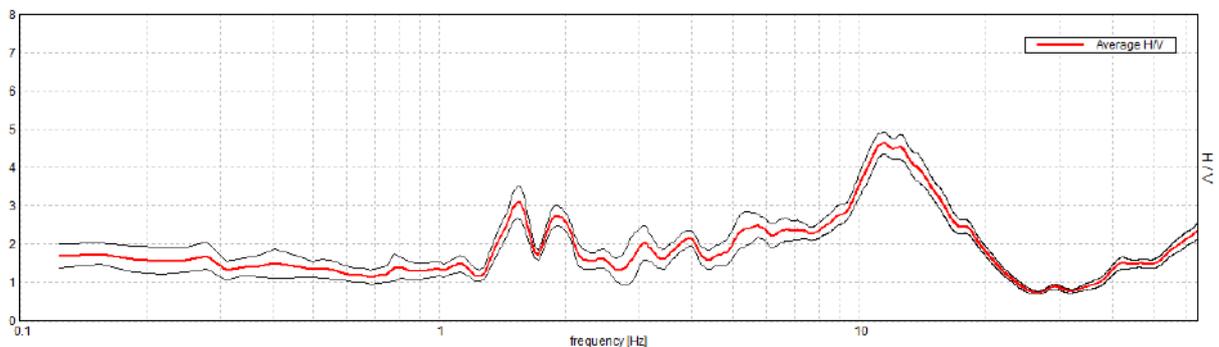
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

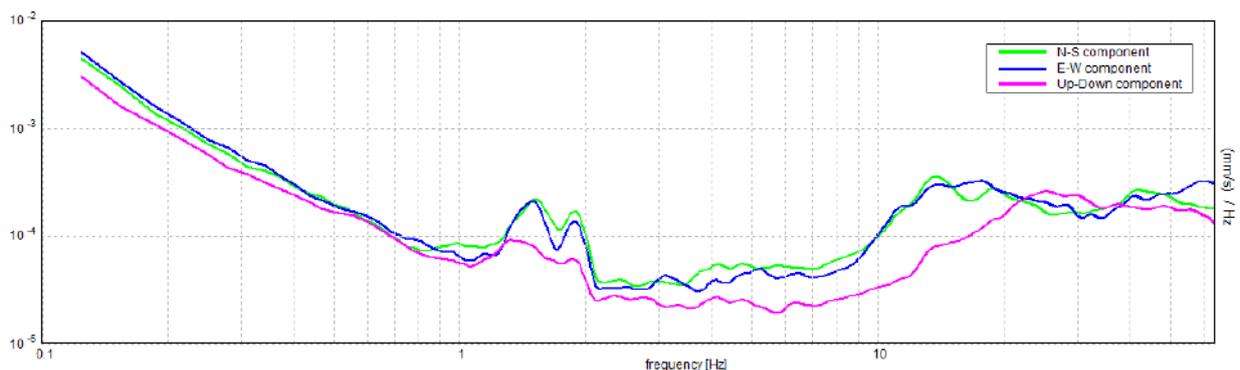
Lisciamento: 7%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at 11.47 ± 0.47 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Prospezione sismica di superficie

S.P. QUINTILIOLO AL KM 0+750

RAPPORTO TECNICO

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente.**]

Picco H/V a 11.47 ± 0.47 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$11.47 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$8716.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 552	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.906 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.64 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04116 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.47203 < 0.57344$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2889 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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