

CONCORSO PER LA PROGETTAZIONE DEL  
**“NUOVO POLO DEI LABORATORI  
RITA LEVI MONTALCINI”**  
PER L’INMI L. SPALLANZANI IRCCS

**ALLEGATO 10.5**  
**RELAZIONE GEOLOGICA**  
**MURO DI CONFINE INMI L. SPALLANZANI IRCCS/  
A.O. SAN CAMILLO-FORLANINI**

*Relazione redatta ai sensi dell’art. 41 del D.P.R. 328/01 D.M. 17/01/2018 D.G.R. Lazio 189/21  
Modifiche alla D.G.R. 724/2020 D.G.R. Lazio 493/2019  
a cura della Società Overland Service & Consulting S.r.l.*

*Marzo 2022*

---

## ROMA CAPITALE

MUNICIPIO ROMA M12 (EX XVI)

---

### **CONSOLIDAMENTO MURO DI SOSTEGNO A CONFINE TRA L'OSPEDALE SAN CAMILLO E L'OSPEDALE SPALLANZANI**

---

#### RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

AI SENSI DELL'ART. 41 DEL D.P.R. 328/01  
D.M. 17/01/2018  
D.G.R. LAZIO 189/21 MODIFICHE ALLA DGR 724/2020  
D.G.R. LAZIO 493/2019

---

COMMITTENTE: BURLANDI SRL

---

DATA: MARZO 2022

---

IL GEOLOGO


---

OVERLAND SERVICES & CONSULTING s.r.l.  
Sede operativa: Via A. Malladra, 35 - 00157 Roma  
Tel: +39 06 210935340 - Fax: +39 06 210935340 - Cell: +39.328.9851995/6  
email: [overland.services@libero.it](mailto:overland.services@libero.it)

OPENGONIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022/0002336324-0980960410935340-0517  
Copia conforme all'originale pag.1 di 119  
La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio  
Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:  
MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)



## INDICE

<u>1</u>	<u>PREMESSA</u>	3
<u>2</u>	<u>INTERVENTO E UBICAZIONE DEL SITO</u>	4
<u>3</u>	<u>ASPETTI DELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE</u>	6
<u>4</u>	<u>PIANO DI INDAGINI E LIVELLO DI RISCHIO SISMICO</u>	8
<u>5</u>	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</u>	9
<u>6</u>	<u>GEOMORFOLOGIA</u>	10
<u>7</u>	<u>GEOLOGIA</u>	11
<u>8</u>	<u>PERICOLOSITÀ DA CAVITÀ IPOGEE</u>	13
<u>9</u>	<u>IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA</u>	16
<u>10</u>	<u>PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE</u>	17
<u>11</u>	<u>CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E TOPOGRAFICHE</u>	20
	11.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	21
	11.2 TOPOGRAFIA DEL SITO	22
	11.3 FREQUENZA AMPLIFICATE	22
<u>12</u>	<u>INDAGINI GEOLOGICHE E LITOTECNICHE</u>	23
	12.1 PROVE PENETROMETRICHE DPSH (ANNO 2022)	23
	12.2 INDAGINI DEL 2018	24
	12.3 INDAGINI DEL 1991	25
<u>13</u>	<u>CONSIDERAZIONI LITOTECNICHE</u>	25
<u>14</u>	<u>CONCLUSIONI</u>	28

## ALLEGATI

<u>ALLEGATO 1</u>	STRALCIO SEZIONE CTRN 374103
<u>ALLEGATO 2</u>	STRALCIO CARTA DELLE MOPS – MZS UAS EX ROMA XVI
<u>ALLEGATO 3</u>	STRALCIO CARTA GEOLOGICA
<u>ALLEGATO 4</u>	STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA
<u>ALLEGATO 5</u>	CARTA GEOLOGICA DI DETTAGLIO
<u>ALLEGATO 6</u>	UBICAZIONE INDAGINI NUOVE E PREGRESSE
<u>ALLEGATO 7</u>	UBICAZIONE NUOVE INDAGINI SU PLANIMETRIA ANTE E POST OPERA
<u>ALLEGATO 8</u>	INDAGINI E PROVE ESEGUITE SECONDO LE DISPOSIZIONI DELL'ALLEGATO C AL REGOLAMENTO REGIONALE N.7/21 ALLEGATO 8.1 INDAGINI 2022 - RAPPORTO TECNICO PROVE DPSH ALLEGATO 8.2 INDAGINI 2022 - RAPPORTO TECNICO INDAGINE SISMICA ALLEGATO 8.3 INDAGINI PREGRESSE 2018 ALLEGATO 8.4 INDAGINI PREGRESSE 1991
<u>ALLEGATO 9</u>	SEZIONI GEOLOGICHE
<u>ALLEGATO 10</u>	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ALLEGATO 10.1 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI 2022 ALLEGATO 10.2 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI PREGRESSE 2018
<u>ALLEGATO 11</u>	LISTA CONTENUTI MINIMI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA



## 1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dalla Burlandi Srl è stato eseguito il presente studio per la definizione del modello geologico-sismico del sottosuolo specifico, esclusivo e propedeutico agli interventi di consolidamento di una porzione di un muro di confine posto tra i complessi ospedalieri San Camillo-Forlanini e Spallanzani in prossimità del civico 6a di via Giacomo Folchi - Municipio Roma 12 (ex XVI) - Roma Capitale. La presente relazione di modellazione geologica e sismica di sito è redatta ai sensi dell'art. 41 del DPR 328/01 ed in conformità ai seguenti dispositivi:

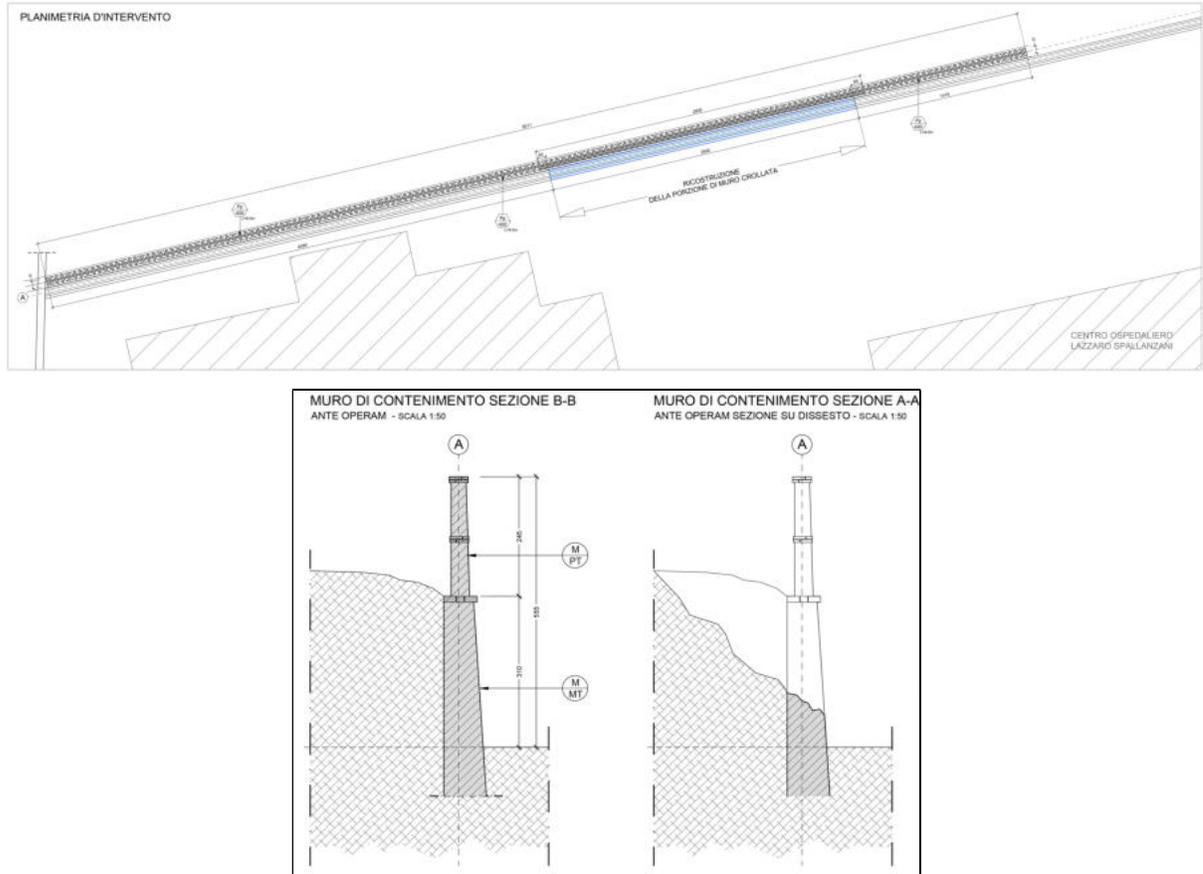
- ⇒ §6.2.1 e §3.2.2 del DM del 17/01/2018 "*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*";
- ⇒ §C6.2.1 e §C3.2.2 della Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/2019 "*Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018*";
- ⇒ Regolamento Regionale del Lazio n.7 del 2021 – *Modifiche al Regolamento Regionale n.26 del 26/10/2020 "Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n. 14 e successive modifiche*;
- ⇒ DGR Lazio n. 493 del 23/07/2019 Modifica deliberazione di Giunta regionale 22 maggio 2009 n. 387 concernente "*Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03*", come modificata dalla deliberazione di Giunta regionale 17 ottobre 2012, n. 489.

In conformità al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018 "*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*" (di seguito NTC18) il piano di indagini geotecniche, la valutazione dei modelli geotecnici, la definizione dei valori geotecnici caratteristici nonché la quantificazione dell'azione sismica rappresentano responsabilità del progettista (§§3.2.2 e 6.2.2 NTC18; §§C3.2.2, 6.2.2 e 10.1 Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/2019). In questo quadro, gli aspetti geotecnici e sismici derivati dalle indagini geognostiche, dalle analisi di laboratorio e dalle indagini sismiche, eseguite ai sensi dell'art. 41 del DPR 328/01 e rappresentate nella presente relazione, possono costituire, qualora approvate dal progettista, allegato tecnico della *relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno* (§C10.1 della Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/2019).



## 2 INTERVENTO E UBICAZIONE DEL SITO

Il progetto prevede il consolidamento di una porzione di muro a gravità in blocchetti di tufo crollato per una lunghezza di circa 25 m. Il muro, per la porzione a contatto con il terreno, è alto circa 4.5 m, è collocato in prossimità del parcheggio multipiano di via G. Folchi 6a (Roma Capitale) e separa due zone pianeggianti poste a quota di circa 43 m s.l.m. (zona di monte) e circa 39 m s.l.m. (zona di valle). L'intervento prevede la realizzazione di una paratia di pali in cemento armato lunga 80 m ed estesa parallelamente al muro in blocchetti di tufo dall'angolo in prossimità dell'accesso carrabile di via Folchi fin oltre la porzione di muro crollato.



*Planimetria dell'intervento e sezioni ante*

L'area in esame è compresa nel territorio del Municipio Roma 12 (ex XVI), è prossima al civico 6a di via Giacomo Folchi ed è rappresentata nella seguente cartografia:

- Foglio N.150 "Roma" scala 1:100.000;
- Tavoleta IGM 140 IV SO "Roma" 1:25.000;
- Sezione 374100 "Roma Sud Ovest" della CTR scala 1:10.000;
- Elemento 374103 della CTRN scala 1:5.000.

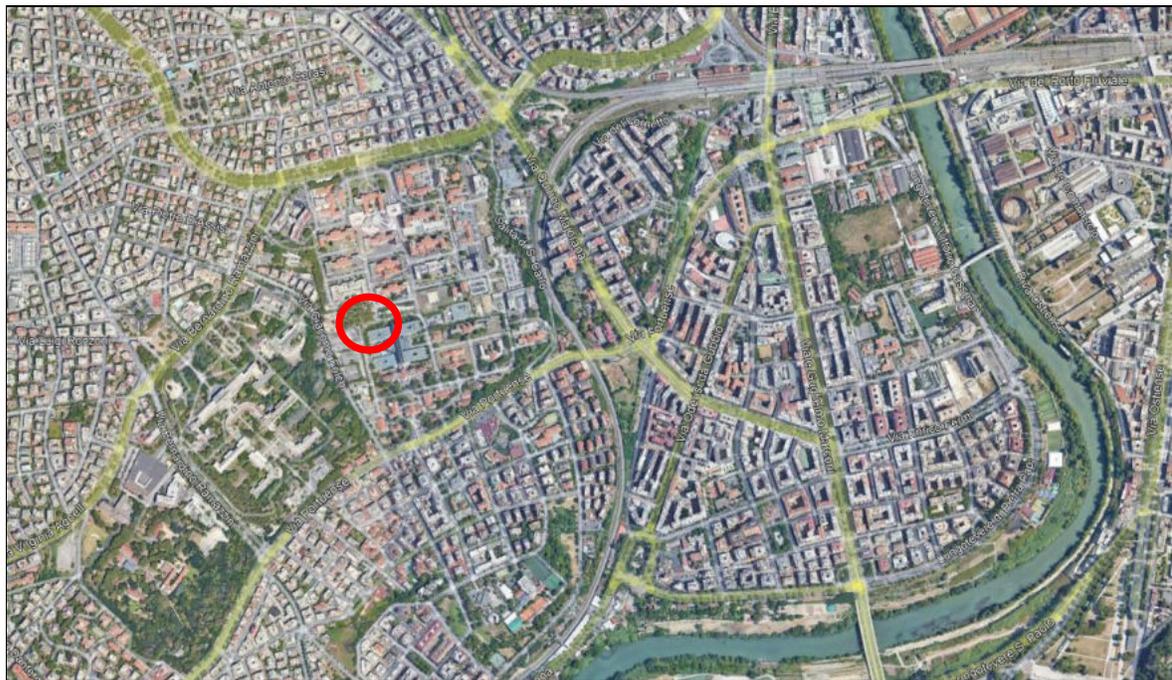
ed individuabile alle seguenti coordinate baricentrali:

- latitudine  $\phi_{ED50}$  41,867987                      longitudine  $\lambda_{ED50}$  12,456021





Ubicazione area in esame (cerchio rosso) su stralcio Tavoleta del 1949  
tratta da [http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=IGM\\_25000](http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=IGM_25000)



Ubicazione area in esame (cerchio rosso) su foto aerea

Per lo stralcio della CTRN si rimanda all'allegato 1.



### 3 ASPETTI DELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

In relazione ai principali aspetti geologici, idrogeologici e geomorfologici dell'area di sito, viene di seguito riportata una breve sintesi della pianificazione territoriale.

Secondo quanto indicato dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (ABDAC) coordinato dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Tevere, adottato dal Comitato istituzionale integrato il 17/12/2015 ed approvato il 03/03/2016, il sito non è compreso in aree a rischio idraulico (stralcio in allegato).

Sulla base di quanto indicato dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Tevere (art. 17 comma 6 ter della L 183/89 e s.m.i.), ora inclusa nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, il sito non è compreso in aree a rischio da frana (stralcio in allegato).

La DGR del Lazio n.571 del 02/08/2019 include il sito in esame nell'Unità Amministrativa Sismica (UAS) Municipio Roma 12 (ex Municipio XVI) classificata in Zona sismica 3 Sottozona sismica A.

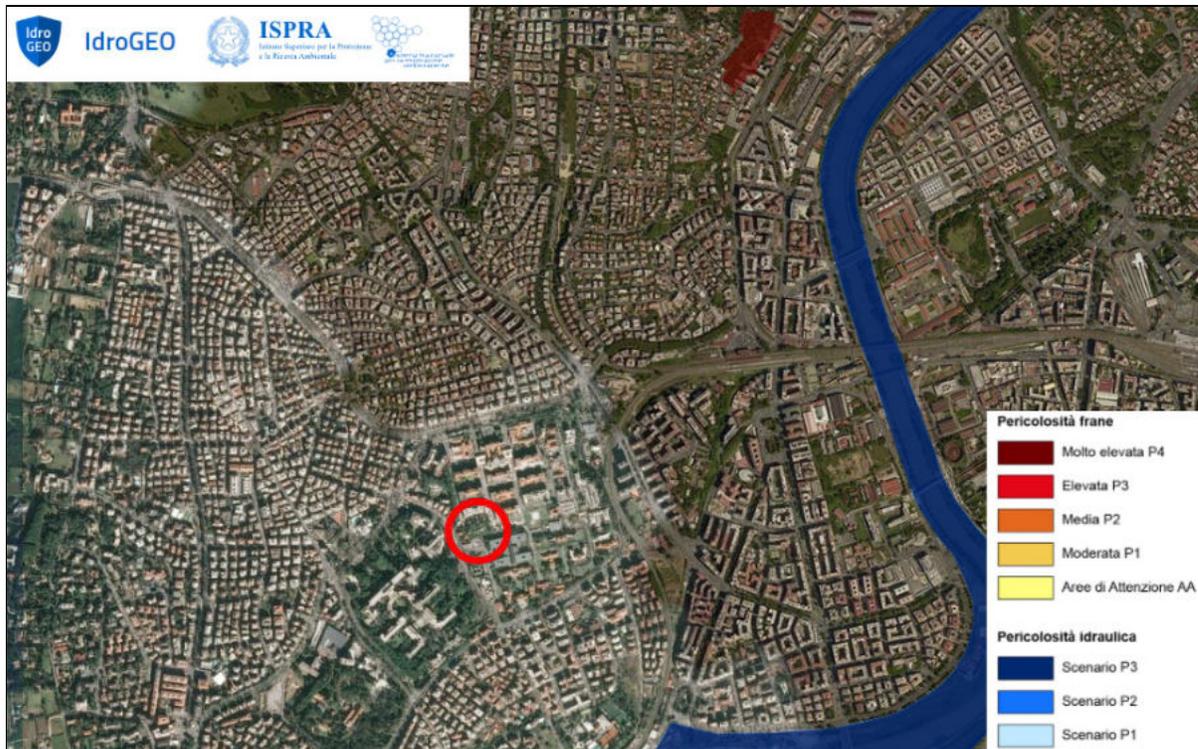
Lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1 dell'UAS ex Municipio XVI, validato con determinazione A03941 del 21/05/2013, classifica l'area in esame in Zona stabile suscettibile di amplificazione locale denominata ZAS3, collocandola in prossimità di un settore caratterizzato dalla presenza di cavità ipogee (in allegato stralcio carta delle MOPS).

Il Piano Regolatore del Comune di Roma, approvato con Deliberazione del Consiglio Comunale n.18 del 12/02/08, per l'area in esame indica:

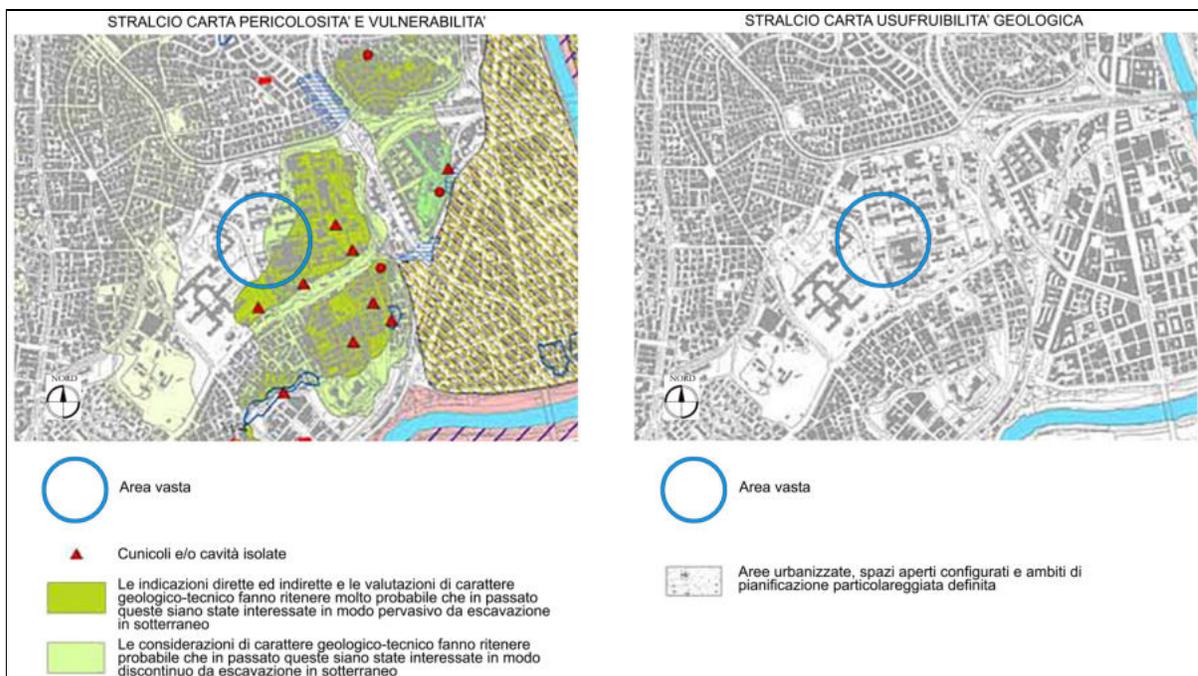
- pericolosità e vulnerabilità geologica: l'area in esame è compresa in parte in una zona in cui non è indicato nulla di specifico ed in parte in un settore in cui le considerazioni di carattere geologico-tecnico fanno ritenere probabile che in passato questo sia stato interessato in modo discontinuo da escavazione in sotterraneo;

- usufruibilità geologica: aree urbanizzate, spazi aperti configurati e ambiti a pianificazione particolareggiata definita.





Perimetrazioni pericolosità frane e pericolosità idraulica, cerchio rosso area in esame; PAI da <https://idrogeo.isprambiente.it/> e dopo consultazione <https://www.autoritadistrettoac.it/>



Stralcio PRG



**4 PIANO DI INDAGINI E LIVELLO DI RISCHIO SISMICO**

Sulla base delle finalità progettuali, delle informazioni richieste allo scrivente e dell'accessibilità dei luoghi è stato perseguito il seguente piano di indagini geologiche, sismiche e geognostiche:

- acquisizione dati bibliografici e cartografici per l'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico d'area vasta;
- acquisizione ed analisi critica di indagini geologiche, geotecniche e sismiche pregresse (anno 2018 e 1991) realizzate in prossimità della struttura in esame e consistenti in:
  - 4 prove DPSH
  - 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo due dei quali condizionati con piezometro
  - prove SPT in foro
  - prelievo ed analisi geotecniche di laboratorio di campioni di terreno prelevati durante le perforazioni
  - 2 indagini di sismica attiva MASW
  - 4 indagini di sismica passiva HVSR
- rilievo geologico e geomorfologico di superficie;
- esecuzione di 2 prove DPSH;
- esecuzione di 2 indagini di sismica passiva HVSR.

Le indagini e le prove in sito sono state condotte secondo le Raccomandazioni per la Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche (Associazione Geotecnica Italiana). Per l'ubicazione delle indagini e la trattazione delle metodologie di indagini ed analisi si rimanda ai capitoli ed allegati specifici.

Facendo riferimento all'Allegato C del Regolamento Regionale n.7/21 (DGR Lazio 189/2021) considerando la zona sismica di appartenenza del sito (Zona sismica 3A) e le indicazioni ricevute dal progettista in merito alla classificazione dell'intervento previsto (cu=II), si ottiene un Livello di Rischio Sismico dell'Opera Basso.

**TABELLA RISCHIO SISMICO**

PROGETTI	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	<b>BASSO</b>	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

*Tabella rischio sismico RR n.7/21*

Cui corrispondono le seguenti indagini minime previste sui terreni.



Livello di Rischio  
Sismico  
**BASSO**

#### TERRENI

- a) Almeno 1 Prova Penetrometrica statica (CPT, CPTE, CPTU) o dinamica (DPSH) o dilatometrica DMT che attraverso il volume significativo fondazionale e consentano di valutare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni coesivi e granulari.
- b) Almeno 1 Prova Sismica in sito attiva (MASW, SASW, MFT, FTAN, ecc.) o passiva (REMI, SPAC, ESAC, f-k, MAAM, ecc.), per la definizione del profilo di velocità dell'onda S.
- c) Analisi della Risposta Sismica Locale, per tutte le classi d'uso III e IV come previsto dalla DGR 493/2019 e successive modifiche ed in tutti i casi in cui (es. inversioni di velocità, bruschi passaggi di rigidità, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.II delle NTC2018, eseguita tramite:
  - codice di calcolo 1D unicamente per sottosuoli costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica piana;
  - codice di calcolo 2D da eseguire per sottosuoli non costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica non pianeggiante.

In relazione a quanto sopra esposto il piano di indagine geologico-sismico risulta congruente con le indagini minime obbligatorie previste dall'allegato C del Regolamento Regionale adottato con DGR del Lazio 189/21.

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame è ubicata nel territorio di Roma Capitale che si estende lungo la bassa valle del fiume Tevere e la piana costiera tirrenica. L'attuale assetto geomorfologico del territorio comunale è legato sia a processi geodinamici e climatici sia a processi antropici.

I litotipi più antichi affioranti nel territorio comunale sono rappresentati da una successione di strati argilloso-marnosi, di colore grigio-azzurro, depositatasi in ambiente marino in un intervallo compreso tra 3,4 e 1,78 milioni di anni (Pliocene; "argille azzurre" Auct., *Formazione di Monte Vaticano*). Tali depositi poggiano direttamente sui sedimenti carbonatici pre-pliocenici e costituiscono il bed-rock di tutta l'area romana.

Durante il Pleistocene inferiore il settore in esame subisce temporanee emersioni dei fondali marini ed una diminuzione generalizzata della profondità dei bacini causata dal sollevamento progressivo dell'Appennino e del suo margine tirrenico. In questo intervallo temporale si imposta una sedimentazione di tipo costiero e successivamente continentale caratterizzata dai depositi marini della *Formazione di Monte Mario* costituiti da sabbie e argille e dai depositi di ambiente litorale e continentale delle *unità di Monte Ciocchi Auctt.* e di *Monte delle Piche Auctt.*

Le variazioni paleogeografiche, che interessano il settore in esame nel Pleistocene medio, determinano l'instaurarsi di un complesso regime trasgressivo caratterizzato dall'alternanza di fasi deposizionali ed erosive. La generale emersione dell'area romana causa lo sviluppo di un ambiente continentale fluvio-palustre legato alla presenza di un grosso corso d'acqua proveniente da Nord-Ovest denominato *Paleotevere*. Dal Pleistocene medio l'area è interessata sia da una generalizzata crisi tettonica, connessa all'orogenesi appenninica, sia dallo sviluppo dei distretti vulcanici



sabatino ed albano. L'attività di questi distretti vulcanici determina la messa in posto di ingenti spessori di prodotti vulcanici effusivi ed esplosivi che causano una profonda variazione fisiografica dell'area e lo spostamento dei principali corsi d'acqua (*Paleotevere* e *Paleoaniene*) nelle posizioni occupate attualmente.

Durante l'ultima regressione würmiana l'abbassamento del livello del mare provoca un generalizzato approfondimento del reticolo idrografico, in questo periodo, il fiume Tevere ed i suoi affluenti incidono sia i depositi pleistocenici sia i sedimenti pliocenici. Alla fine della glaciazione würmiana l'ingressione marina instaura un ambiente paleogeografico continentale ad elevata sedimentazione, l'articolato reticolo idrografico inciso dal Tevere e dai suoi affluenti viene quindi colmato da depositi alluvionali.

In epoca storica l'intensa antropizzazione dell'area romana determina notevoli cambiamenti geomorfologici connessi alla progressiva sovrapposizione di edifici e monumenti, all'accumulo di terreni di riporto, all'apertura di cave di prestito a *cielo aperto* e sotterranee ecc..

## 6 GEOMORFOLOGIA

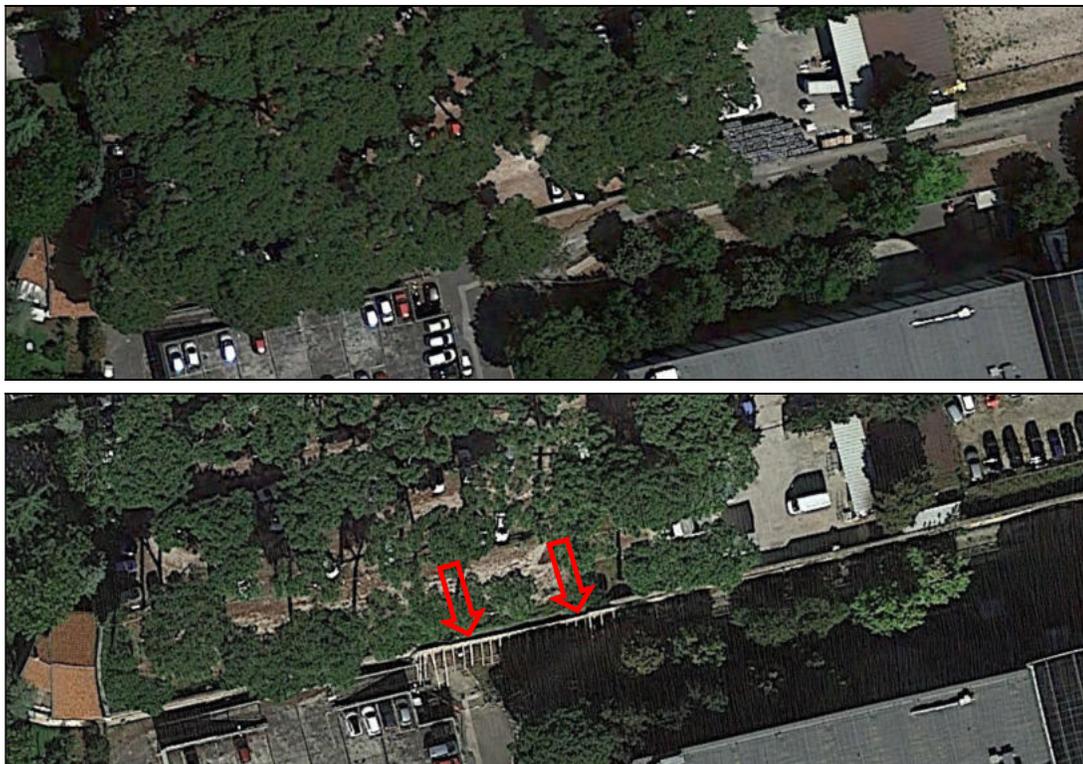
L'area vasta in esame, compresa tra le quote di 55 e 25 m s.l.m., si sviluppa in corrispondenza delle propaggini meridionali della dorsale Monteverde-Gianicolo caratterizzate da un profilo longitudinale complesso che digrada verso Sud con inclinazione media  $i_{media} < 5^\circ$ .

Prima dell'antropizzazione, il sito si sviluppava in corrispondenza del versante in riva sinistra di un fosso affluente del Fiume Tevere che scendeva con direzione NNO-SSE da villa Pamphili, lungo l'attuale percorso di via Donna Olimpia – via Majorana. Ad oggi tutti i fossi risultano tombati e/o incondottati, le aree di competenza risultano urbanizzate e la gestione delle acque superficiali è affidata al corretto funzionamento delle opere di raccolta e smaltimento delle stesse.

Il lotto in esame, collocato ad una quota di circa 43 m s.l.m. nella zona di monte e circa 39 m s.l.m. nella zona di valle, è distinto dalla presenza di una scarpata morfologica di altezza media di circa 4.5 m protetta da un muro a gravità in blocchetti di tufo interessato in passato (tra il 2015-2016) da un crollo parziale che ha coinvolto circa 25 m lineari dell'opera. Le cause che hanno determinato il dissesto sono verosimilmente connesse a molteplici fattori tra cui: spinta del terreno a tergo, spinta idrostatica, vetustà dell'opera e azioni connesse alla presenza di apparati radicali di alberi ad alto fusto.

Secondo quanto indicato dal *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico* redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (art. 17 comma 6 ter della L 183/89 e s.m.i), oggi ABDAC, il sito non è compreso in aree a rischio da frana.





*Confronto fotografie aerea, in alto fotografia aerea del 2015, in basso fotografia aerea del 2016 si notano i puntellamenti del settore di muro crollato (freccie rosse)*



*Corona del dissesto che ha determinato il crollo di parte del muro in esame*

## 7 GEOLOGIA

L'area vasta è rappresentata nella *Carta Geologica d'Italia Foglio 374 "Roma" scala 1:50.000* (stralcio in allegato) in corrispondenza di una zona caratterizzata da una eterogeneità di litotipi affioranti, in particolare è possibile distinguere tre zone principali:



- ⇒ zona delle paleovalle caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali cui si sovrappongono localmente terreni di riporto;
- ⇒ zona dei versanti dei rilievi dove affiorano depositi piroclastici e fluvio-lacustri pleistocenici cui si sovrappongono localmente terreni di riporto e depositi eluvio colluviali;
- ⇒ zona del Gianicolo nella quale affiorano i depositi fluviali prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi del Pleistocene medio-inferiore.

L'intera successione stratigrafica poggia sui sedimenti argillosi ascrivibili alla Formazione di Monte Vaticano

SUCCESIONE STRATIGRAFICA AREA VASTA	
DEPOSITO ANTROPICO	Depositi eterogenei ed eterometrici dovuti all'ammassamento ed allo spostamento di materiali per rilevati stradali, ferroviari, terrapieni e colmate ( <i>Olocene</i> ).
ALLUVIONI	Depositi alluvionali siltoso-sabbiosi e siltoso-argillosi con minerali vulcanici ed intercalazioni di torba, alla base è spesso presente un livello ghiaioso sabbioso ( <i>Olocene</i> ).
TUFI STRATIFICATI VARICOLORI DI SACROFANO	Alternanza di depositi piroclastici lapillosi e cineritici in strati contenenti scorie e litici lavici di dimensioni centimetriche, intercalati a livelli vulcanoclastici rimaneggiati, orizzonti pedogenizzati e depositi limno-palustri, spessori fino a 14 m ( <i>Pleistocene medio superiore</i> ).
UNITÀ DI TOR DE CENCI	Depositi di colata ignimbratica, generalmente litoidi per zeolitizzazione, caratterizzati da una facies con litici lavici, scorie di diametro < 3 cm, cristalli di leucite analcimizzata e lapilli accrezionari dispersi nella matrice cineritica e da una seconda litofacies con sottili livelli cineritici stratificati, a stratificazione prevalentemente piano-parallela, con livelli a concentrazione di lapilli. Spessore massimo fino a 20 m ( <i>Pleistocene medio p.p.</i> ).
FORMAZIONE DI VITINIA	Sabbie fluviali ad elementi vulcanici, ghiaie calcaree e silicee a matrice sabbiosa ad elementi vulcanici, limi con abbondanti resti di vertebrati e concrezioni travertinose. Spessore fino a 20 m ( <i>Pleistocene medio p.p.</i> ).
UNITÀ DI VILLA SENNI	<i>Membro del Tufo Lionato (VS1)</i> : deposito da colata piroclastica massivo, generalmente litoide, di colore da giallo a rosso-fulvo, a matrice cineritico-lapillosa con abbondanti pomici gialle, scorie grigie, litici lavici e olocristallini a gradazione inversa, di colore da giallo a rosso a marrone. Spessore massimo 30 m ( <i>Pleistocene medio superiore</i> ).
FORMAZIONE DI PONTE GALERIA	<i>Membro della Pisana – litofacies sabbiosa</i> : sabbie e sabbie limose, silicee con orizzonti composti da ciottoli silicei, con frequenti patine di ossidazione, rubefatte o grigiastre. Spessori compresi tra 10 e 4 m. ( <i>Pleistocene medio p.p. – inferiore p.p.</i> )
	<i>Membro della Pisana – litofacies argilloso-sabbiosa</i> : alternanze irregolari di argille grigie e limi sabbiosi, più sabbiose verso il tetto ( <i>Argille a Venerupis senescens Auctt.</i> ). Spessore 5 m ( <i>Pleistocene medio p.p. – inferiore p.p.</i> ).
	<i>Membro della Pisana – litofacies conglomeratico-sabbiosa</i> : ghiaie a stratificazione incrociata in matrice sabbioso-quarzosa, costituite da ciottoli eterometrica, arrotondati e/o appiattiti, calcarei e silicei, con intercalate lenti sabbiose. Spessore massimo 35 m ( <i>Pleistocene medio p.p. – inferiore p.p.</i> ).
FORMAZIONE DI MONTE VATICANO	<i>Conglomerati di casale dell'Infernaccio</i> : ghiaie costituite da ciottoli eterometrici, arrotondati e appiattiti, calcarei e silicei, con stratificazione incrociata (non affioranti nell'area in esame). Spessore medio compreso tra 5 e 10 m ( <i>Pleistocene inferiore p.p.</i> ).
FORMAZIONE DI MONTE VATICANO	Argille grigie stratificate da consolidate a molto consolidate alternate a sabbie fini micacee da grigie a giallo ocra (non affioranti nell'area in esame). Spessore massimo maggiore a 400 m ( <i>Pliocene superiore -inferiore</i> ).



I rilievi, le indagini condotte ad hoc e le nozioni acquisite dalle indagini pregresse permettono di ricostruire un complesso assetto geologico definito da una successione stratigrafica non uniforme per l'intero settore interessato dall'intervento in esame. Nel dettaglio sono presenti spessori molto variabili di eluvi-colluvi e terreni di riporto, sciolti, a granulometria prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa con elementi eterogenei (vulcanici, frammenti di laterizi, ghiaiosi calcarei) ed eterometrici talora prevalenti. Lo spessore di questi termini tende ad aumentare procedendo lungo il muro in esame passando da circa 3 m nella zona Ovest fino a circa 6.5 m in corrispondenza del settore di muro crollato. Tali termini poggiano su spessori non molto ingenti di sedimenti afferenti alla Formazione di Vitinia di origine vulcanoclastica, fluviale e fluvio-lacustre costituiti prevalentemente da sabbia limosa, moderatamente addensata, con elementi vulcanici e clasti tufacei derivanti dall'erosione delle piroclastiti affioranti sui versanti limitrofi, talora si intercalano livelli concrezionari travertinosi fragili. La successione stratigrafica indagata è chiusa dai depositi piroclastici del Tufo Lionato-Formazione di Villa Senni cineritico-lapillosi, da addensati a litoidi, cui si intercalano orizzonti argillificati. Il carattere litoide del Tufo Lionato dovrà essere tenuto in considerazione nella valutazione degli scavi per la realizzazione della palificata. In allegato sono riprodotte la carta geologica di sito e le sezioni geologiche.

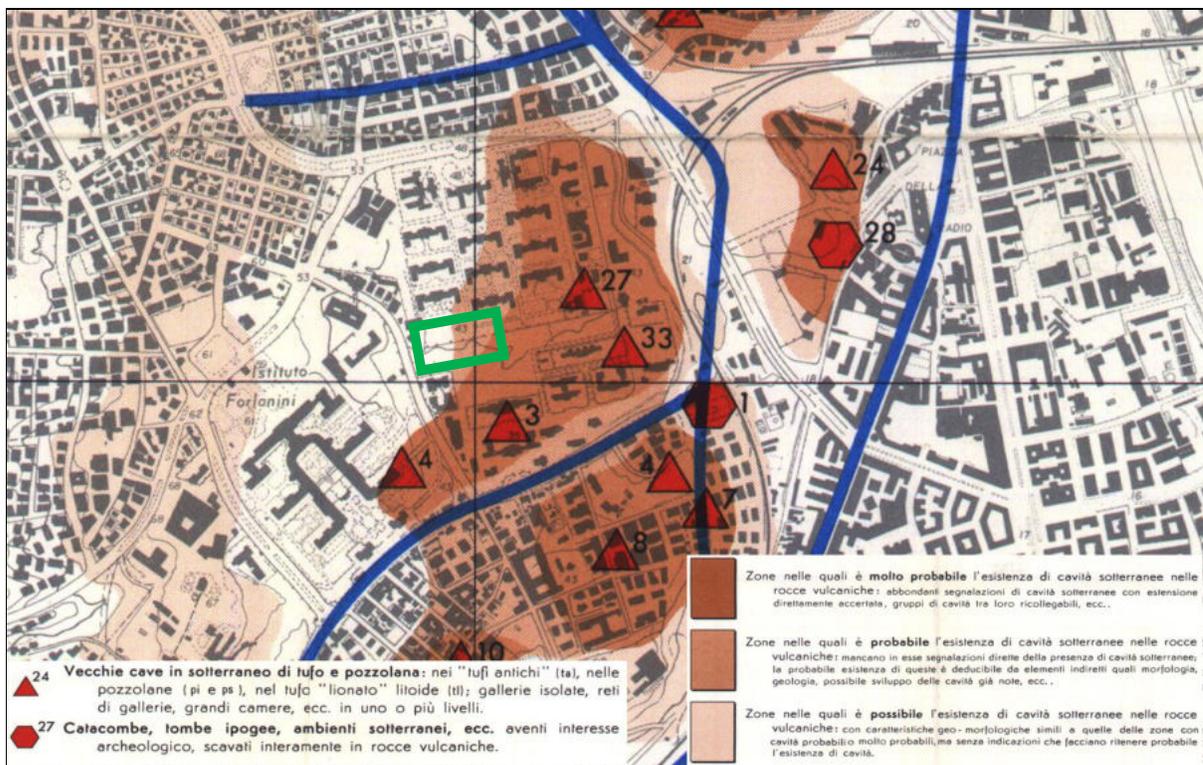
## 8 PERICOLOSITÀ DA CAVITÀ IPOGEE

Come indicato dall'allegato C del RR del Lazio n.7 del 2021 deve essere riservato un capitolo della relazione geologica a specifiche pericolosità potenzialmente incidenti sul sito in esame (cavità, emissione gas, subsidenza, liquefazione, ecc.). A tale scopo di seguito si descrive e si rappresenta la pericolosità da cavità ipogea connessa alla coltivazione in sotterraneo di termini piroclastici ovvero alla realizzazione di ambienti di culto (catacombe). Di seguito gli stralci della cartografia reperita inerenti alla pericolosità connessa alla presenza di cavità ipogee ed una relativa tabella di sintesi.

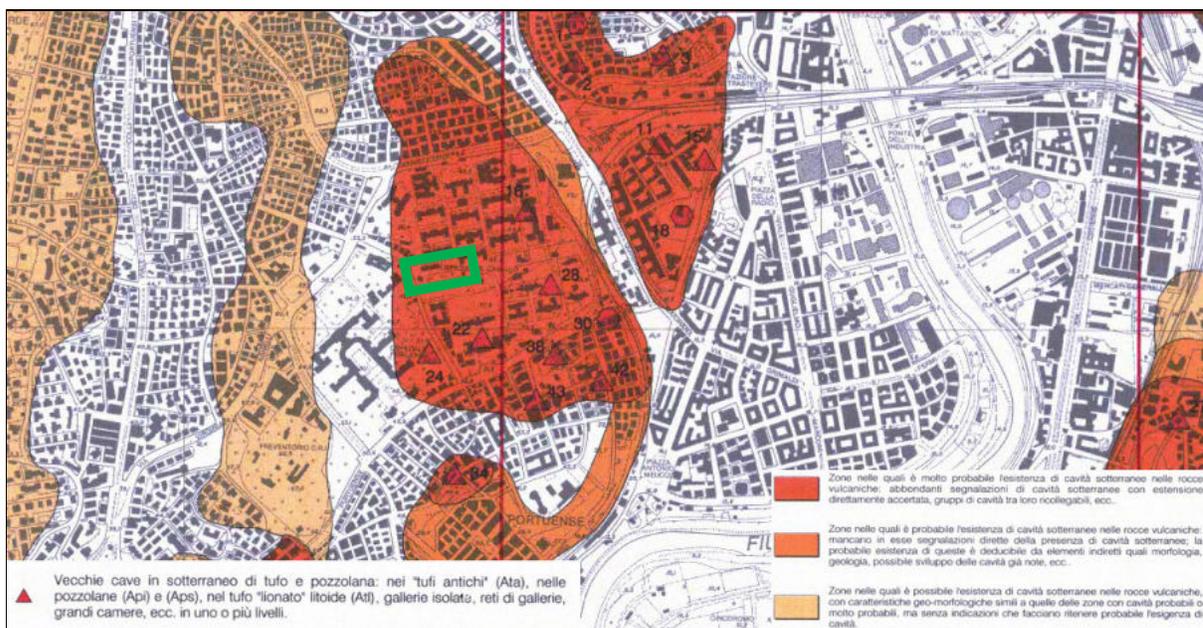
Sintesi pericolosità da cavità ipogee			
cartografia	anno	presenza di cavità ipogee	densità cavità
<i>stralcio Carta delle Cavità</i>	1971	da possibile a molto probabile	
<i>stralcio della Carta delle Cavità del territorio del Comune di Roma</i>	2002	molto probabile	
<i>stralcio Carta delle cavità sotterranee di Roma</i>	2017		50-100 punti/km <sup>2</sup>

È riportato anche lo stralcio della *Suscettibilità ai Sinkholes Antropogenici nel Centro Urbano di Roma* (Ciotoli et al., 2015) che assume particolare rilevanza poiché l'innescò di tali sinkhole è sovente riconducibile al collasso della volta di cavità ipogee legate all'attività passata di estrazione in sotterraneo di terreni ad opera dell'uomo (cave di tufo, pozzolane, sabbie, ghiaie utilizzati come materiali per l'edilizia). In merito si segnala che l'area in esame è compresa in una zona a cui è assegnata un'alta suscettibilità da sinkhole antropogenici.



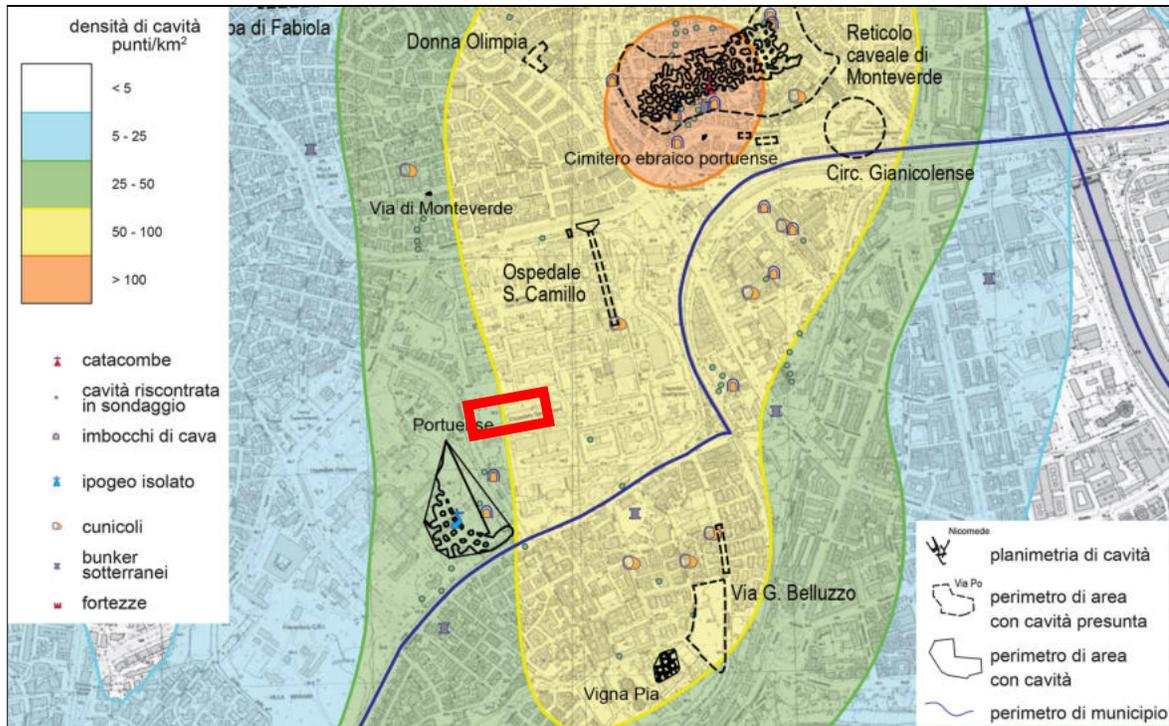


Stralcio Carta delle Cavità – U. Ventriglia – 1971; riquadro verde area in esame

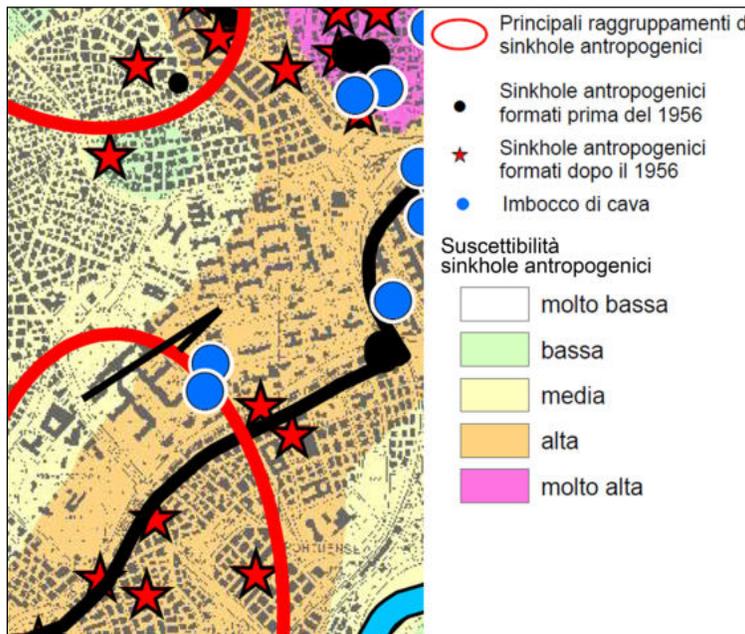


Stralcio della Carta delle Cavità del territorio del Comune di Roma – U. Ventriglia – 2002; riquadro verde area in esame





*Stralcio Carta delle cavità sotterranee di Roma - Nisio et al – 2017;  
 riquadro rosso area in esame*



*Stralcio Carta della Suscettibilità ai Sinkholes Antropogenici nel Centro Urbano di Roma - Ciotoli et al. - 2015), la freccia nera indica il settore in esame*

Si sottolinea che, nonostante l'elevata pericolosità da cavità incidenti sul sito, le indagini penetrometriche eseguite nel 2022 e le indagini pregresse reperite non hanno intercettato cavità nel sottosuolo.



## 9 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

Il sito è collocato in corrispondenza di un versante posto in riva sinistra di un fosso affluente in destra idrografica nel Fiume Tevere e che scendeva con direzione NNO-SSE da villa Pamphili, lungo l'attuale percorso di via Donna Olimpia – via Majorana. Tale fosso riceveva il contributo idrico significativo di un altro fosso che scendeva dal Gianicolo in direzione N-S lungo l'attuale percorso di viale dei Quattro Venti e poco a valle del sito in esame intercettava un impluvio minore che raccoglieva le acque di scorrimento superficiale nella parte bassa dell'attuale via Portuense, (zona incrocio con via Majorana). Attualmente tutti i fossi risultano tombati e/o incondottati, le aree di competenza risultano urbanizzate e la gestione delle acque superficiali è affidata al corretto funzionamento delle opere di raccolta e smaltimento delle stesse.

Secondo quanto indicato dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale coordinato dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, adottato dal Comitato istituzionale integrato il 17/12/2015 ed approvato il 03/03/2016, il sito non è compreso in aree a rischio idraulico.

Le diverse formazioni geologiche, che costituiscono la successione stratigrafica dell'area vasta, possono essere raggruppate in differenti "complessi idrogeologici" così distribuiti dall'alto verso il basso:

- *Complesso idrogeologico dei terreni antropici*, formato da depositi eterogenei ed eterometrici è contraddistinto da una permeabilità variabile, è sede di circolazioni idriche alimentate sia dall'infiltrazione delle acque di pioggia che si attuano in aree non impermeabilizzate dall'antropizzazione sia da locali perdite della rete idrica e fognaria cittadina;

- *Complesso idrogeologico delle alluvioni*, formato da sedimenti alluvionali eterogenei (argille, limi, sabbie, ghiaie) caratterizzati da permeabilità primaria da molto bassa a media, è sede di circolazioni idriche talora in pressione;

- *Complesso idrogeologico dei depositi clastici eterogenei*, formato da depositi sedimentari con elementi vulcanoclastici derivanti dall'erosione delle unità di entrambi gli apparati vulcanici, gli orizzonti ghiaiosi possono rappresentare vie di flusso per circolazioni idriche, permeabilità nel complesso media, variabile con le caratteristiche granulometriche dei sedimenti;

- *Complesso idrogeologico del Tufo Lionato*, costituito dal Tufo Lionato della *Formazione di Villa Senni* si tratta di depositi di colata piroclastica massivi, litoidi per zeolitizzazione, mediamente permeabili per fratturazione, rappresenta un aquitard che può sostenere la presenza di falde idriche nei sedimenti sovrastanti;

- *Complesso idrogeologico delle sabbie grossolane di Monte Mario e di Ponte Galeria*, comprende la *Formazione di Monte Mario* e la litofacies sabbiosa del membro della Pisana della *Formazione di Ponte Galeria*; è costituita da sabbie grossolane e sabbie sciolte localmente in alternanza con livelli argillosi; permeabilità media, è sede di circolazioni idriche;

- *Complesso idrogeologico dei sedimenti pliocenici*; costituito prevalentemente da sedimenti argillosi, per natura e spessore costituisce il locale aquiclud.

Il sito si sviluppa in corrispondenza del *Complesso idrogeologico dei terreni antropici* immediatamente sovrapposto al *Complesso idrogeologico dei depositi clastici eterogenei*; sulla base della cartografia consultata la falda di base presenta una direzione di deflusso sotterraneo orientata da NO verso SE e un livello piezometrico

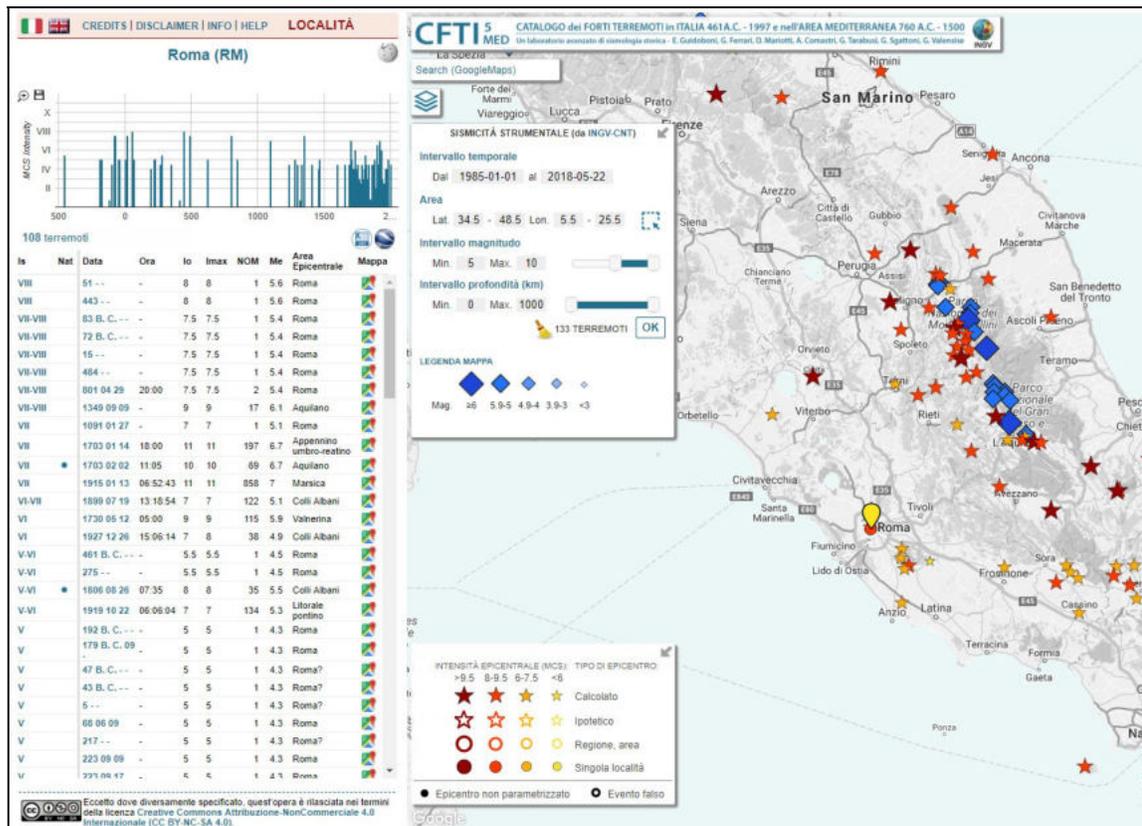


medio compreso tra 20 e 25 m s.l.m. (stralcio Carta Idrogeologica di Roma; Vigna et al. 2015 – Stralcio in allegato). Le misure piezometriche, condotte dallo scrivente durante la campagna di indagini del 2018 in corrispondenza di un foro di sondaggio condizionato con piezometro (piezometro Pz2 - per l'ubicazione si rimanda agli allegati), hanno restituito un livello idrico corrispondente a 33 m s.l.m.. Tale falda rappresenta una circolazione idrica collocata a quote maggiori rispetto alla falda di base e quindi sospesa, verosimilmente sostenuta da livelli argillificati delle formazioni vulcaniche ovvero vulcanoclastiche. Le prove condotte nel febbraio 2022 nell'area dell'intervento in esame non hanno intercettato circolazioni idriche.

## 10 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

L'area di sito ricade nell'Unità Amministrativa Sismica (UAS) Municipio Roma 12 (ex UAS XVI) classificata in *Zona sismica 3 Sottozona sismica A (D.G.R. del Lazio n.571 del 2 agosto 2019)*.

Le elaborazioni dei dati storici dei terremoti verificatisi in passato condotte dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), hanno permesso la creazione di un database relativo alle intensità macrosismiche risentite nei diversi comuni italiani. Nella seguente figura è riassunta la storia sismica del territorio di Roma Capitale (INGV – Catalogo dei forti terremoti in Italia – per la consultazione completa <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/locality.php?054180.00IT#>); in essa sono riportati i principali terremoti cui è stato sottoposto il territorio in esame.



Catalogo dei forti terremoti in Italia <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/locality.php?054180.00IT#>



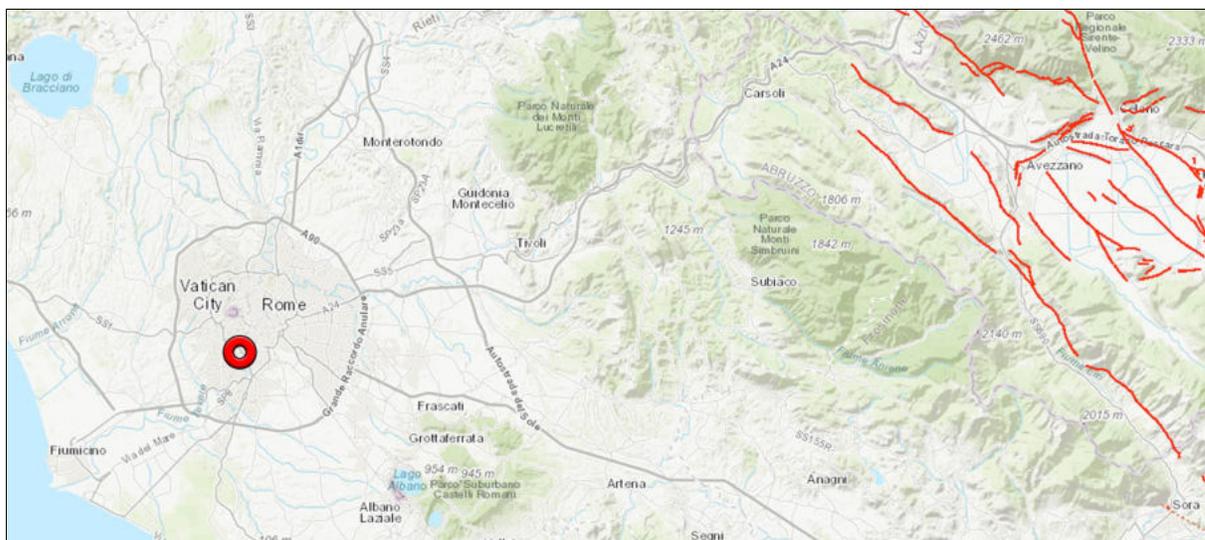
Analizzando la figura precedente è possibile notare come le maggiori intensità censite siano relative a terremoti verificatisi prevalentemente in corrispondenza delle aree sismogenetiche dell'Appennino centrale e dei Colli Albani.

In relazione alle zone sismogenetiche definite dall'INGV-Gruppo di lavoro 2004 il sito dista circa 2 Km dal perimetro nordoccidentale della zona sismogenetica ZS922 *Colli Albani*, caratterizzata da magnitudo momento massima  $M_{Wmax}=5.4$ , e circa 25 km dal perimetro sud-occidentale della zona sismogenetica ZS920 *Val Di Chiana-Ciociaria*, distinta da magnitudo momento massima  $M_{Wmax}=6.4$ .



*Zone sismiche ZS e ubicazione dell'area di sito (cerchio rosso)*

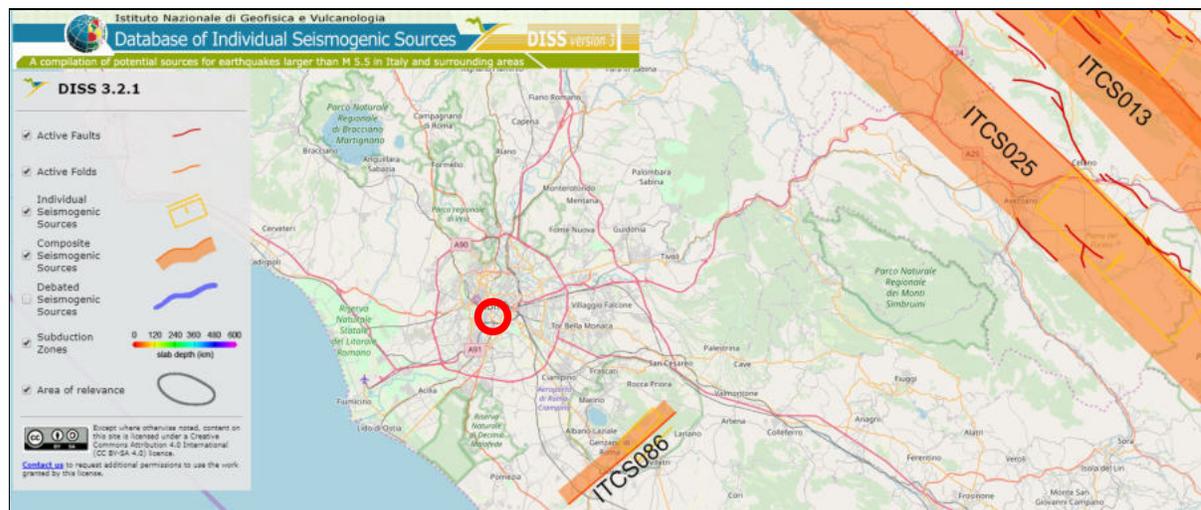
I recenti inventari non segnalano per l'area di Roma Capitale la presenza di faglie capaci. Facendo riferimento al catalogo delle faglie capaci del database ITHACA le segnalazioni più vicine, in corso di definizione, fanno riferimento a settori collocati in Val Roveto e nella zona Scurcola Marsicana e Monte Salviano.



*Progetto ITHACA – Catalogo delle faglie capaci tratto da: <http://sgi2.isprambiente.it/viewersgi2/>; il cerchio rosso indica l'area vasta in esame, le linee rosse ad est rappresentano le faglie capaci.*



Di seguito sono illustrate le sorgenti sismogenetiche composite censite dall'INGV prossime al territorio di Roma Capitale.



Sorgente sismogenetica composita	Profondità minima [km]	Profondità massima [km]	Massima magnitudo [Mw]
ITCS086 <i>Castelli Romani</i>	5.0	11.0	5.6
ITCS025 <i>Salto lake-Ovindoli-Barrea</i>	1.0	14.5	6.7
ITCS013 <i>Borbona-L'Aquila-Aremogna</i>	2.0	14.0	6.5

INGV database of individual seismogenic sources - <http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>;  
 il cerchio rosso indica l'area vasta in esame

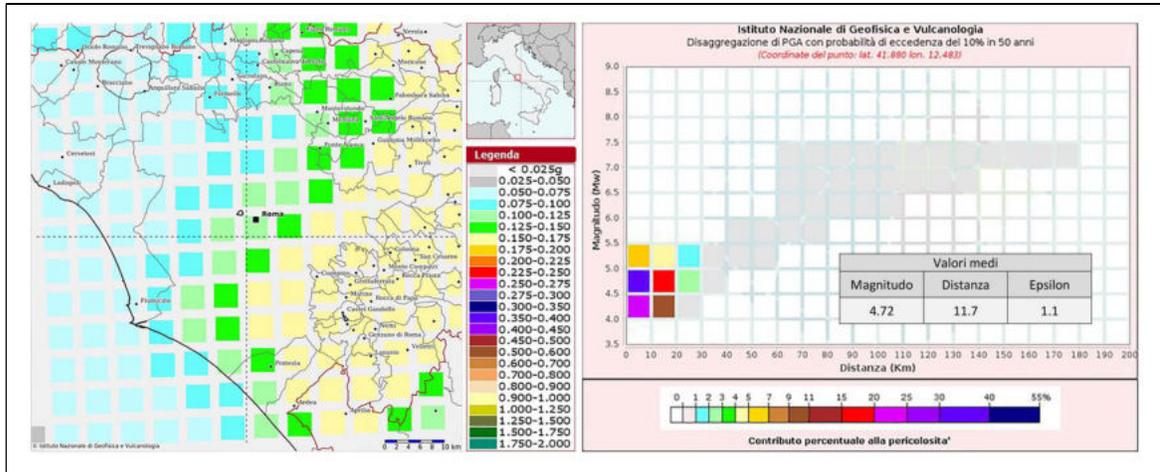
Secondo quanto indicato dalla *OPCM 3519 del 28/04/2006* la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è definita nella *Mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale*. Il sito in esame ricade all'interno di nodi del reticolo di riferimento la cui accelerazione orizzontale massima convenzionale su bedrock (ag) per un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni) è compresa tra 0.10 e 0.15 g.

ID nodo	Lat. nodo [°]	Long. nodo [°]	Distanza nodo-sito [m]
28511	41,8798	12,4158	3583
28512	41,8804	12,4829	2621
28734	41,8304	12,4837	4763
28733	41,8298	12,4166	5355

Coordinate geografiche dei quattro nodi del reticolo di riferimento più vicini al sito

Per l'eventuale definizione del terremoto di progetto di seguito si riporta la disaggregazione del valore di ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni relativa al nodo della griglia più vicino al sito in esame.





DPC-INGV-S1 (<http://esse1.mi.ingv.it/>) reticolo di riferimento a<sub>g</sub> probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni e relativa disaggregazione; il sito in esame è ubicato all’intersezione degli assi tratteggiati

Le fonti consultate evidenziano quindi una medio-bassa pericolosità sismica di base, cui debbono sommarsi eventuali effetti di sito che possono determinare amplificazione sismica locale. Si sottolinea che quanto precedentemente indicato è valido solo ed esclusivamente per periodi di ritorno corrispondenti a 475 anni ed è quindi rappresentativa, nel caso in esame, solo della pericolosità sismica di base senza nessuno scopo di definizione della pericolosità sismica ai diversi stati limite.

## 11 CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E TOPOGRAFICHE

Per definire le azioni sismiche di progetto deve essere valutata la risposta sismica locale eseguendo specifiche analisi che permettano di calcolare le modifiche del segnale sismico in ampiezza, durata e contenuto in frequenza rispetto al sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. In assenza di tali analisi, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni lo consentono, le NTC18 permettono di utilizzare un approccio semplificato che si basa sull’individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento descritte nella *tabella 3.2.II del D.M. del 17/01/2018*. La classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{S,eq}$  ed i valori di  $V_S$ , necessari alla valutazione di  $V_{S,eq}$ , devono essere ottenuti mediante specifiche prove sismiche oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità.

Per tenere conto di superfici topografiche non orizzontali è necessario realizzare analisi di risposta sismica locale per valutare le azioni sismiche. Per configurazioni semplici (geometrie prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate) le norme permettono un approccio semplificato riferito alle categorie topografiche descritte in *tabella 3.2.III del D.M. del 17/01/2018*.



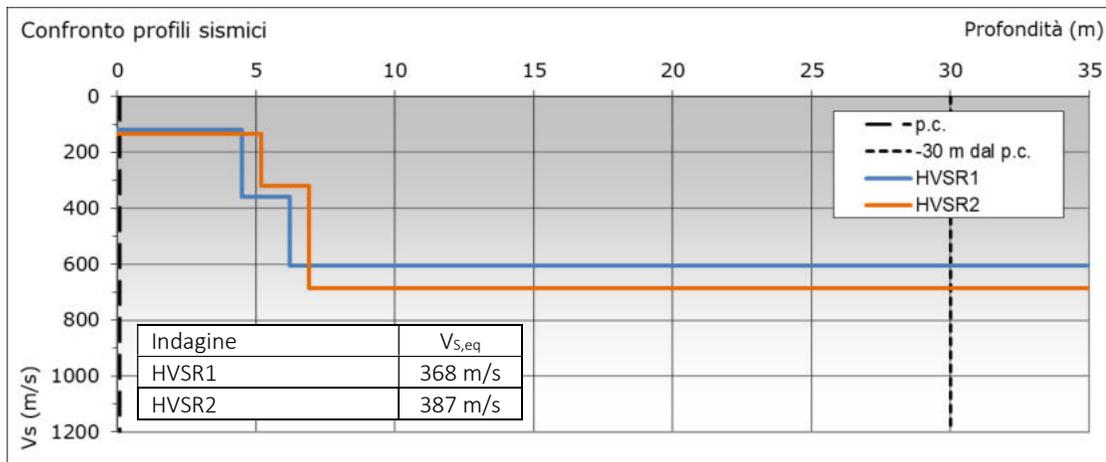
### 11.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per la stima delle velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato ( $V_{s,i}$ ) di spessore  $h_i$ , si è fatto riferimento ad indagini sismiche eseguite ad hoc e ad i risultati di indagini sismiche pregresse realizzate nel 2018 nel lotto adiacente a quello in esame (per l'ubicazione delle indagini sismiche, la metodologia utilizzata ed i risultati si rimanda agli allegati specifici). Sono state considerate le seguenti indagini sismiche:

indagine	quantità	anno esecuzione	ubicazione
HVSR	2	2022	lotto in esame
MASW	2	2018	lotto ovest adiacente a quello in esame
HVSR	4	2018	lotto sud adiacente a quello in esame

Il processo di acquisizione, elaborazione, taratura ed inversione vincolata dei dati ha consentito di ottenere un profilo verticale delle  $V_s$  calcolato fino a circa -35 m dal p.c. di prova.

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio dei terreni posti sopra il substrato di riferimento è stata definita attraverso la relazione semplificata [3.2.1] del §3.2.2 del DM 17/01/2018 e facendo riferimento alla quota del p.c. delle postazioni delle prove realizzate nel 2022 (zona di monte del muro in esame).



Considerando l'assetto sismo-stratigrafico locale, definito attraverso le indagini sismiche, al sito è assegnata, esclusivamente per l'intervento in progetto e con riferimento al piano campagna delle prove eseguite nel 2022, la **Categoria di sottosuolo B**.



Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

*D.M. 17/01/2018 - Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo*

### 11.2 TOPOGRAFIA DEL SITO

Il sito in esame, collocato a circa 43 m s.l.m., si sviluppa in corrispondenza di un'area vasta digradante verso sud con inclinazione media inferiore a 5°.

Tale configurazione non presenta caratteristiche tali da far supporre amplificazioni topografiche così come definite al §3.2.2 delle NTC18, adottando la procedura semplificata al sito è assegnata la **Categoria topografica T1** (*geometrie del rilievo con altezza inferiore a 30 m, superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$* ).

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

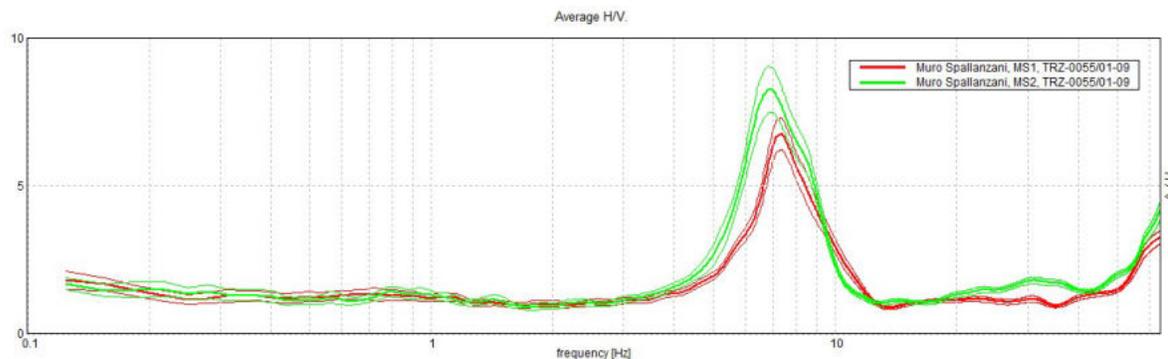
*D.M. 17/01/2018 - Tabella 3.2.III – Categorie topografiche*

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

### 11.3 FREQUENZA AMPLIFICATE

Le prove HVSR, oltre a sostenere la soluzione vincolata per la definizione del profilo sismico, hanno permesso di identificare, per il sito in esame, le frequenze maggiormente amplificate alle basse deformazioni in corrispondenza del piano di prova. I rapporti spettrali delle due prove condotte nel febbraio 2022 presentano un'ottima sovrapposizione con ellitticità massima compresa tra 6 e 8 Hz.





Confronto tra i rapporti spettrali delle prove HVSR

## 12 INDAGINI GEOLOGICHE E LITOTECNICHE

Di seguito si sintetizzano i risultati emersi dalle indagini geologico-tecniche condotte ad hoc e quelle pregresse realizzate nel 2018 e nel 1991 in lotti adiacenti a quello del sito in esame, per l'ubicazione e la descrizione dettagliata si rimanda agli allegati specifici.

indagine	quantità	anno esecuzione	ubicazione
DPSH	2	2022	lotto in esame
Sondaggi geognostici	1	1991	lotto sud adiacente a quello in esame
SPT	3	1991	lotto sud adiacente a quello in esame
Sondaggi geognostici	2	2018	lotto ovest adiacente a quello in esame
SPT	4	2018	lotto ovest adiacente a quello in esame
Analisi laboratorio	8	2018	lotto ovest adiacente a quello in esame
DPSH	4	2018	lotto ovest adiacente a quello in esame

### 12.1 PROVE PENETROMETRICHE DPSH (ANNO 2022)

Per avere indicazioni su alcune caratteristiche geotecniche dei terreni che costituiscono la locale successione stratigrafica del lotto in esame, in data 24/02/2022, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche continue superpesanti DPSH. Le prove, condotte in prossimità del tetto del muro oggetto di intervento ed all'incirca alla medesima quota del p.c., hanno registrato entrambe la presenza di termini superficiali sciolti ( $1 \leq N_{SPT} \leq 6$ ), riconducibili a terreni di riporto e/o depositi eluvio colluviali, sovrapposti a litotipi con stato di addensamento crescente con la profondità e riferibili a depositi vulcanoclastici ( $10 \leq N_{SPT} \leq 20$ ) e piroclastici ( $30 \leq N_{SPT} \leq$  rifiuto strumentale). Lo spessore dei terreni superficiali sciolti attraversati dalle due prove risulta differente, nella prova DPSH1 è di 3 m mentre nella prova DPSH2 è di 6.6 m. Il rifiuto strumentale, restituito a -7.8 m dal p.c. nella DPSH1 ed a -8.4 m dal p.c. nella DPSH2, è riconducibile alla presenza di depositi piroclastici litoidi.

Negli allegati, a cui si rimanda per una trattazione dettagliata, per ogni singola prova sono riprodotte: la tabella riassuntiva del numero di colpi e dei valori della resistenza alla punta dinamica ridotta; la stima dei parametri geotecnici; le diagrafie  $N_{dpm}$ -profondità e  $R_{pd}$ -profondità. Si sottolinea che le relazioni adottate per derivare i parametri geotecnici dai valori  $N_{SPT}$  ottenuti dalle DPSH possono essere affette da elevata dispersione dei dati.



## 12.2 INDAGINI DEL 2018

Le indagini del 2018 sono state eseguite nel lotto immediatamente ad ovest del settore oggetto dell'intervento in esame. I sondaggi geognostici, di cui uno realizzato alla base della prosecuzione del muro in esame (S2) ed uno al tetto (S1), hanno intercettato uno strato superficiale, con spessore di circa 1 m, di terreni di riporto prevalentemente sciolti costituiti da matrice piroclastica pozzolanacea con inclusi antropici, eterogenei ed eterometrici, passanti a terreno vegetale. Al di sotto si sono rinvenuti depositi vulcanoclastici (Formazione di Vitinia) da limo sabbiosi a sabbiosi moderatamente addensati, con spessore compreso tra 4 e 7.5 m, cui seguono i termini piroclastici del Tufo Lionato, da addensati a litoidi fratturati, con livelli alterati.

I fori dei sondaggi sono stati condizionati con tubi piezometrici (Pz1 e Pz2) e le relative misure realizzate nel novembre del 2018 hanno permesso di verificare la presenza di una falda superficiale.

Sondaggio	Data	Livello piezometrico in m dal p.c.
S1	26/10/2018	secco
	06/11/2018	secco
	12/11/2018	secco
	15/11/2018	secco
S2	06/11/2018	-7.80
	12/11/2018	-7.85
	15/11/2018	-7.85

Durante le fasi di perforazione sono state eseguite 4 Standard Penetration Test (S.P.T.) in foro finalizzate alla stima delle caratteristiche meccaniche dei depositi attraversati. Le S.P.T., hanno permesso di stimare, attraverso l'applicazione di correlazioni empiriche proposte in letteratura, alcune caratteristiche meccaniche dei terreni (elaborazione in allegato).

I campioni prelevati durante le perforazioni sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio, di seguito il quadro sinottico delle analisi realizzate nel 2018.

Anno		2018		
Sondaggio		1	1	2
Campione		1	1	4
da m		1.5	17.5	3.0
a m		1.85	17.7	3.5
Determinazione				
Peso di volume naturale	$\gamma_{nat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	16.3	14.7	14.2
Prova di taglio diretto CD	c [kPa]	4.9	0	0
	$\varphi'$ [°]	32.0	43.6	37.6
	$c_{res}$ [kPa]			
	$\varphi_{res}$ [°]			

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo (m)	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )
S1	SDi1	3.4	17.7
	SDi2	6.5	15.9
	SDi3	9.5	15.5
S2	SDi1	2.5	17.2
	SDi3	5.4	15.1

quadro sinottico delle analisi di laboratorio

Le prove DPSH hanno restituito diagrafie simili intercettando, al disotto dei terreni di riporto, litotipi con caratteristiche litotecniche discrete ( $10 \leq N_{SPT} \leq 30$ ), corrispondenti ai depositi vulcanoclastici, ed hanno fornito rifiuto strumentale dopo aver attraversato per alcuni decimetri lo strato di tetto terroso delle sottostanti piroclastiti. Le profondità di rifiuto strumentale, al netto delle differenze di quota del piano campagna in corrispondenza delle prove, individuano una superficie grossomodo piana per il tetto litoide del Tufo Lionato.



### 12.3 INDAGINI DEL 1991

La stratigrafia del sondaggio eseguito nel 1991 nel lotto posto immediatamente a sud dell'intervento in esame è caratterizzata da uno spessore di circa 2.6 m di terreni di riporto seguiti verso il basso da piroclastiti litoidi con intercalazioni terrose più frequenti verso il basso.

### 13 CONSIDERAZIONI LITOTECNICHE

Sulla base di quanto eseguito ed acquisito nell'ambito della presente relazione geologica, di seguito si propone un possibile modello litotecnico che potrà essere utile al progettista come approccio per le verifiche di legge e/o per la valutazione di un piano di indagini integrativo finalizzato alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del sito (§6.2.2 delle NTC18). Valutando le peculiarità granulometriche, di stato di addensamento/consistenza e la storia geologico-strutturale le singole unità stratigrafiche sono state accorpate ovvero suddivise in diverse unità litotecniche.

Nella definizione del presente modello geotecnico di primo riferimento la popolazione dei dati geotecnici nominali analizzati è costituita dai risultati congruenti emersi in fase di indagine. La rappresentazione e lo sviluppo statistico dei dati geotecnici nominali, così come l'identificazione di valori geotecnici caratteristici preliminari, è stata eseguita solo per semplicità di lettura dei dati geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove eseguite e possono non essere considerati esaustivi del modello geotecnico di sito.

Per la definizione dei parametri geotecnici caratteristici preliminari sono state assunte le seguenti ipotesi:

- i valori medi dei campioni, anche quando ottenuti da pochi dati, corrispondono alla media dei valori potenzialmente ricavabili da un numero di prove significative ovvero corrispondono alla media dei valori della popolazione;
- la popolazione dei parametri geotecnici è caratterizzata da una distribuzione normale;
- per le litologie caratterizzate da pochi dati è nota la varianza (COV) della popolazione di ogni parametro geotecnico:

parametro	COV (%)
$\gamma_{nat}$	5
$\Phi$	10
C	30

parametro	COV (%)
Su	30
UCS	30
$\Phi_r$	10

parametro	COV (%)
$C_r$	30
$E_{ed}$	40
$E_y$	40

In relazione alle possibili tipologie di intervento, di seguito vengono restituiti sia i valori caratteristici compensati preliminari  $\pm X_{k\text{-compensato}}$  che i valori caratteristici non compensati preliminari  $\pm X_{k\text{-non compensato}}$ .

I valori caratteristici preliminari  $\pm X_{k\text{-non compensato}}$  sono stati ricavati applicando la seguente relazione:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \cdot s \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot s$$

dove:  $x_k$  è il valore caratteristico considerato  
 $\bar{x}$  con barra è il valore medio della popolazione ipotizzato uguale al valore medio del campione  
 $z$  è la distribuzione normale standardizzata  
 $s$  è la deviazione standard del campione



I valori caratteristici preliminari  $\pm X_{k\text{-compensato}}$  sono stati ricavati applicando la seguente relazione:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

dove:  $x_k$  è il valore caratteristico considerato  
 $\bar{x}$  con barra è il valore medio della popolazione ipotizzato uguale al valore medio del campione  
 $z$  è la distribuzione standardizzata  
 $\sigma$  è la deviazione standard della popolazione  
 $n$  è la numerosità del campione  
 per  $n=1$  la presente relazione uguaglia la relazione proposta in precedenza

Di seguito per le unità litotecniche individuate si riportano i parametri geotecnici preliminari ed una sintesi delle principali criticità emerse in fase di indagine.

Nelle tabelle:

$\gamma_{nat}$  peso dell'unità di volume allo stato naturale;  $\Phi$  angolo d'attrito;  $S_u$  coesione non drenata,  $C$  coesione;  $E_{ed}$  modulo edometrico carico 100kPa $\Rightarrow$ 200kPa;  $E_y$  modulo di Young,  $C_r$  coesione residua,  $\Phi_r$  angolo di attrito residuo;  $X_{k\text{ compensato}}$  valore caratteristico con compensazione delle eterogeneità;  $X_{k\text{-non compensato}}$  valore caratteristico senza compensazione delle eterogeneità; COV indicata in grassetto indica l'utilizzo del metodo a varianza nota; i valori indicati in blu sono da intendersi come valori nominali; i valori indicati in rosso sono tratti da fonti bibliografiche e da precedenti lavori su termini simili a quelli del sito in esame

### LITOTIPO R

Parametro	media	pop.	min	max	COV	Valore caratteristico inferiore [-]		Valore caratteristico superiore [+]	
						$X_{k\text{-non compensato}}$	$X_{k\text{ compensato}}$	$X_{k\text{-non compensato}}$	$X_{k\text{ compensato}}$
$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	14.3	32	13.2	15.4	<b>0.05</b>	13.1	14.1	15.5	14.5
$\Phi$ (°)	27.5	32	27.0	28.0	<b>0.10</b>	23.0	26.7		
$E_y$ (MPa)	2.6	32	0.7	4.7	<b>0.40</b>	0.9	2.3	4.3	2.9

Riporto e depositi eluvio colluviali formati prevalentemente da sabbia e sabbia limosa sciolta con elementi eterogenei (laterizi, vulcanici, ghiaiosi calcarei, ecc.) ed eterometrici talora prevalenti

**Caratteristiche geotecniche scadenti**  
 ( $1 \leq N_{SPT} \leq 6$ ;  $100 \leq V_S \leq 200$  m/s)

### LITOTIPO A

Parametro	media	pop.	min	max	COV	Valore caratteristico inferiore [-]		Valore caratteristico superiore [+]	
						$X_{k\text{-non compensato}}$	$X_{k\text{ compensato}}$	$X_{k\text{-non compensato}}$	$X_{k\text{ compensato}}$
$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.8	20	14.2	20.2	<b>0.05</b>	16.3	17.5	19.3	18.1
$\Phi$ (°)	34.8	19	32.0	38.0	<b>0.10</b>	29.1	33.5		
$E_y$ (MPa)	11.5	17	4.7	18.8	<b>0.40</b>	3.9	9.7	19.1	13.3

Depositi vulcanoclastici formati prevalentemente da limo sabbioso e sabbia, moderatamente addensato, a luoghi argillificai

**Caratteristiche geotecniche buone**  
 ( $10 \leq N_{SPT} \leq 20$  -  $300 \leq V_S \leq 400$  m/s)



<b>LITOTIPO B</b>									
Parametro	media	pop.	min	max	COV	Valore caratteristico inferiore [-]		Valore caratteristico superiore [+]	
						X <sub>k_non compensato</sub>	X <sub>k_compensato</sub>	X <sub>k_non compensato</sub>	X <sub>k_compensato</sub>
$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.5	7	14.7	21.0	<b>0.05</b>	17.0	17.9	20.0	19.0
$\Phi$ (°)	41.3	5	40.0	43.6	<b>0.10</b>	34.5	38.3		
E <sub>y</sub> (MPa)	44.9	4	37.1	53.3	<b>0.40</b>	15.3	30.1	74.4	59.6
Piroclastite a granulometria sabbiosa e sabbioso ghiaiosa, da addensata a litoide fratturata, con rari orizzonti argillificati <b>Caratteristiche geotecniche molto buone</b> (30 ≤ N <sub>SPT</sub> fino a rifiuto strumentale - 600 ≤ V <sub>s</sub> ≤ 700 m/s)									

Le indagini svolte e le nozioni bibliografiche acquisite hanno fatto emergere, per l'area in esame, ai fini della modellazione e verifiche geotecniche le seguenti principali criticità:

- terreni superficiali distinti da caratteristiche litotecniche scadenti e spessori molto variabili;
- possibile presenza di cavità ipogee nei terreni piroclastici;
- possibile interazione falda complesso fondazione-terreno.

Per una valutazione dell'assetto dei litotipi identificati si rimanda alle sezioni geologico sismiche riprodotte in allegato.

Ai fini degli scavi necessari alla realizzazione della paratia di pali, oltre alla già citata possibile presenza di cavità ipogee, si dovrà tenere in considerazione come i termini piroclastici (identificati dalle indagini eseguite dalla quota di circa -7.2 m dal p.c. posto a tergo del muro) siano spesso litoidi.

In relazione a quanto descritto le verifiche di sicurezza dovranno porre attenzione alle relazioni intercorrenti tra la fondazione dell'opera e le peculiarità geotecniche incidenti sul sito. Qualora si adottasse il modello esposto si consiglia di far riferimento alle condizioni più gravose che si ottengono dalla sovrapposizione della geometria/tipologia/azioni della fondazione con l'assetto litotecnico di sito. I dati litotecnici restituiti sono validi per le profondità indagate limitatamente ai punti in cui sono state eseguite le indagini, a tale scopo sarà cura del progettista valutare se le profondità effettivamente testate siano adeguate per la caratterizzazione del volume significativo dell'opera.

Si sottolinea che i valori geotecnici caratteristici  $x_k$  consistono in una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite; secondo quanto indicato al §C6.2.2.4 della Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/2019: "Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire



*forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata. Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato." Inoltre si rammenta che le norme assegnano la responsabilità dell'interpretazione delle indagini e prove geotecniche al progettista, § C6.2.2.3 della Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/2019: "I risultati delle indagini e delle prove geotecniche, eseguite in sito e in laboratorio, sono interpretate dal progettista che, sulla base dei risultati acquisiti, della tipologia di opera e/o intervento, delle tecnologie previste e delle modalità costruttive, deve individuare i valori caratteristici dei parametri geotecnici per le analisi e le verifiche nei riguardi degli stati limite ultimi e di esercizio".*

## 14 CONCLUSIONI

Sulla base delle attività finalizzate alla definizione del modello geologico sismico propedeutico ed esclusivo agli interventi di consolidamento di una porzione di un muro di confine posto tra i complessi ospedalieri San Camillo-Forlanini e Spallanzani in prossimità del civico 6a di via Giacomo Folchi - Municipio Roma 12 (ex XVI) - Roma Capitale, è possibile concludere quanto segue.

### *GEOMORFOLOGIA*

Il muro di contenimento, crollato per una porzione lunga circa 25 m, separa due aree pianeggianti una di monte posta a circa 43 m s.l.m. ed una di valle collocata a circa 39 m s.l.m.; il sito è inserito in un versante blandamente digradante verso sud con una inclinazione media inferiore a 5°.

### *GEOLOGIA*

L'area è caratterizzata dalla presenza di spessori molto variabili di terreno eluvio-colluviale e/o di riporto, sciolto, seguito verso il basso da termini vulcanoclastici moderatamente addensati che poggiano su depositi piroclastici da addensati a litoidi. Le informazioni bibliografiche fanno emergere per il sito in esame un'elevata pericolosità per cavità ipogee, in merito si segnala come le prove penetrometriche condotte ad hoc e le indagini pregresse non hanno intercettato cavità nel sottosuolo.

### *IDROGRAFIA*

Il sito è posto su un versante a modestissima pendenza appartenente ad un vecchio impluvio il cui alveo è attualmente tombato/incondottato; in relazione all'urbanizzazione dei luoghi lo smaltimento delle acque superficiali e sub-superficiali è affidato al corretto funzionamento delle opere di raccolta, convogliamento e smaltimento delle stesse.

### *IDROGEOLOGIA*

Le fonti consultate indicano la presenza di una falda di base con quota piezometrica media collocata tra 20 e 25 m s.l.m., le misure eseguite nel novembre 2018 in un piezometro installato nel lotto adiacente all'area dell'intervento in esame hanno permesso di individuare una falda superficiale con quota piezometrica posta a 33 m s.l.m..

Di seguito si elencano le principali pericolosità incidenti sul lotto in esame.



Pericolosità	Indice	Descrizione
geomorfologica	medio	- crollo di una parte del muro di contenimento
geologica	alto	- riporto e/o terreno eluvio colluviale con scadenti caratteristiche geotecniche e con spessori ingenti e variabili anche in aree limitrofe - probabile presenza di cavità ipogee
idrologica	medio-basso	- area in cui lo scorrimento delle acque superficiali è condizionato dalle opere antropiche e dal loro corretto funzionamento
idrogeologica	medio	- falda di base posta a 20-25 m s.l.m. - falda superficiale collocata nel novembre 2018 a circa 33 m s.l.m. - possibile interazione falda complesso fondazione-terreno
sismica di base	medio-basso	- $a_g$ per $T_R=475$ anni compresa tra 0.15 e 0.10 g (cui devono sommarsi gli effetti di sito)

### ASPETTI SISMICI

Il modello sismico di sito è così riassunto:

- zona sismica 3 sottozona sismica A;
- medio-bassa pericolosità sismica di base;
- categoria di sottosuolo B;
- categoria topografica T1;
- frequenze amplificate al p.c. alle basse deformazioni comprese tra 6-8 Hz

### ASPETTI LITOTECNICI

Dal punto di vista litotecnico le indagini svolte hanno fatto emergere le seguenti principali criticità:

- terreni superficiali distinti da caratteristiche geotecniche scadenti e spessori elevati e molto variabili;
- possibile presenza di cavità ipogee nei terreni piroclastici;
- possibile interazione falda complesso fondazione-terreno.

Nella presente relazione la rappresentazione del modello litotecnico e lo sviluppo statistico dei dati geotecniche nominali, così come l'identificazione dei valori geotecniche caratteristici preliminari, sono stati eseguiti solo per semplicità di lettura dei dati geotecniche emersi dall'elaborazione delle prove ed analisi. In questo quadro il modello litotecnico proposto deve considerarsi come un modello di primo riferimento utile al progettista per valutare la necessità di eventuali ed ulteriori approfondimenti geotecniche (§6.2.2 delle NTC18). In fase di progettazione e di definizione delle verifiche di legge, dovrà essere posta particolare attenzione alle relazioni intercorrenti tra l'opera e le peculiarità geologiche, geotecniche e sismiche precedentemente descritte. Ai fini degli scavi necessari alla realizzazione della paratia di pali, oltre alla già citata possibile presenza di cavità ipogee, si dovrà tenere in considerazione come i termini piroclastici siano spesso litoidi. Per mitigare le pericolosità precedentemente



elencate e predisporre tutti gli accorgimenti necessari a garantire la funzionalità dell'opera sarà necessaria, in fase di realizzazione della paratia di pali, una puntuale e costante verifica della stratigrafia.

La presente relazione rappresentativa del modello geologico e sismico di sito è stata redatta ai sensi dell'art. 41 del DPR 328/01 ed in conformità ai § 6.2.1 e § 3.2.2 del DM 17/01/2018 ed alla DGR Lazio 189 del 13/04/2021.

*Roma, marzo 2022*

IL GEOLOGO  
  




## **ALLEGATI**

ALLEGATO 1 STRALCIO SEZIONE CTRN 374103

ALLEGATO 2 STRALCIO CARTA DELLE MOPS – MZS UAS EX ROMA XVI

ALLEGATO 3 STRALCIO CARTA GEOLOGICA

ALLEGATO 4 STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA

ALLEGATO 5 CARTA GEOLOGICA DI DETTAGLIO

ALLEGATO 6 UBICAZIONE INDAGINI NUOVE E PREGRESSE

ALLEGATO 7 UBICAZIONE NUOVE INDAGINI SU PLANIMETRIA ANTE E POST OPERA

ALLEGATO 8 INDAGINI E PROVE ESEGUITE SECONDO LE DISPOSIZIONI  
DELL'ALLEGATO C AL REGOLAMENTO REGIONALE N.7/21

ALLEGATO 8.1 INDAGINI 2022 - RAPPORTO TECNICO PROVE DPSH

ALLEGATO 8.2 INDAGINI 2022 - RAPPORTO TECNICO INDAGINE SISMICA

ALLEGATO 8.3 INDAGINI PREGRESSE 2018

ALLEGATO 8.4 INDAGINI PREGRESSE 1991

ALLEGATO 9 SEZIONI GEOLOGICHE

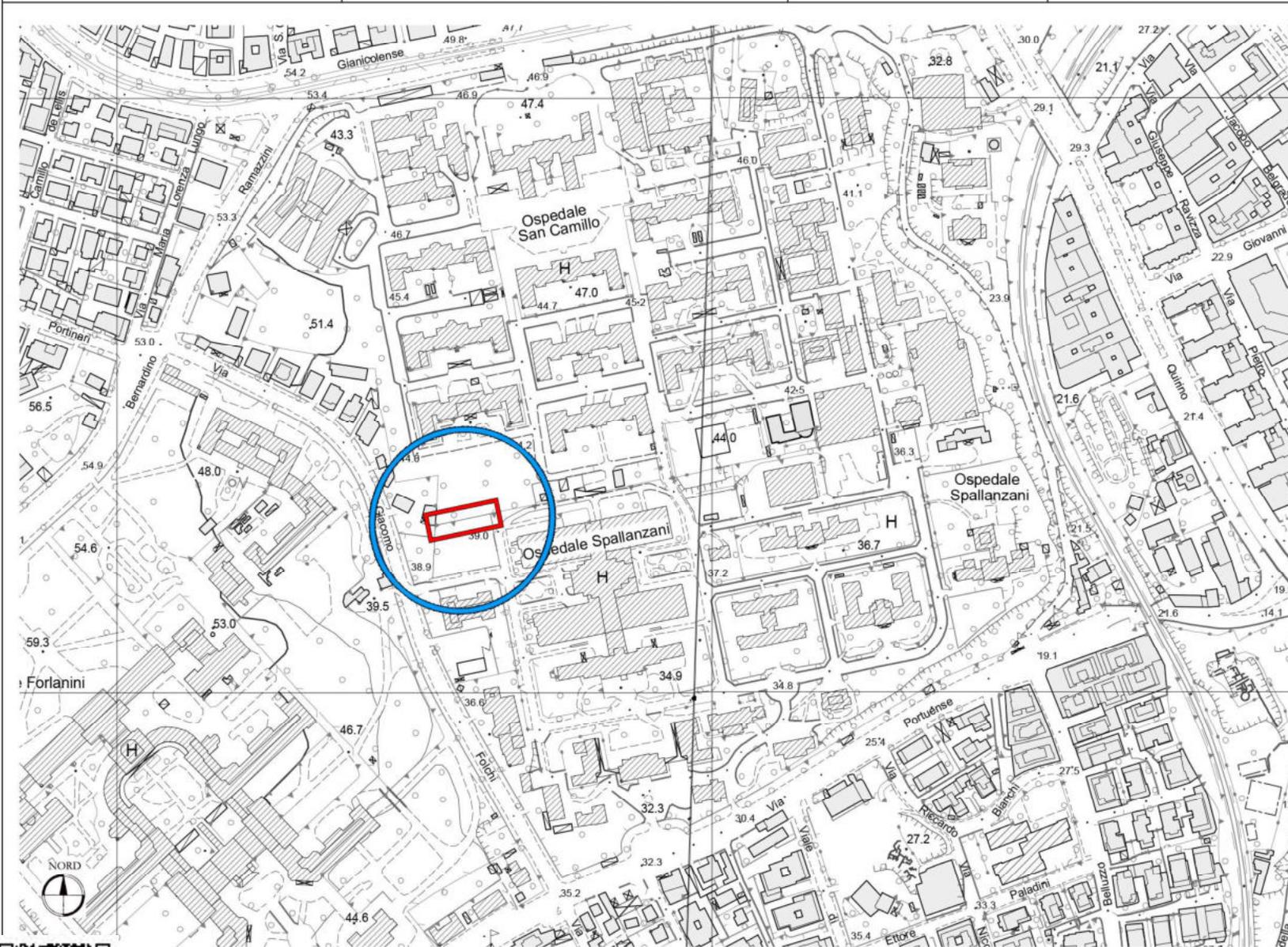
ALLEGATO 10 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

ALLEGATO 10.1 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI 2022

ALLEGATO 10.2 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI PREGRESSE 2018

ALLEGATO 11 LISTA CONTENUTI MINIMI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA





Legenda

 Area vasta

 Area di sito

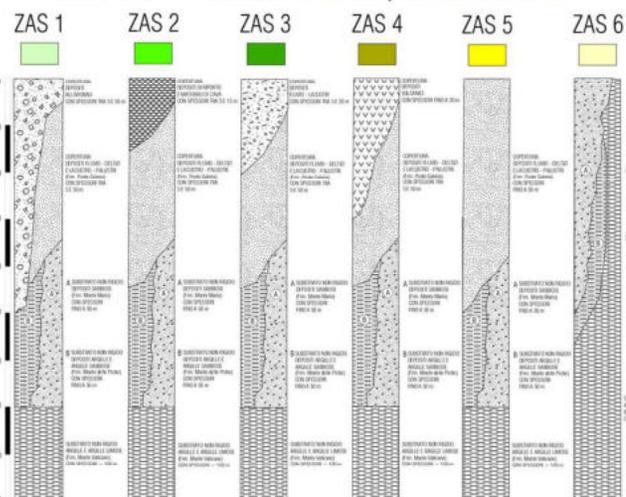




Legenda

- Area vasta
- Area di studio

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone suscettibili di instabilità

- Z1 Frane (fonti: Sciotti, PS5, Progetto I.F.F.1)
- Z2 Zona con evidenze potenziali di instabilità di versante
- Cavità sepolta isolata
- Valle sepolta stretta ( $C > 0.25$ )
- Area con cavità sepolte
- Numero identificativo
- Indagini sismiche (metodo HVSr- Horizontal to Vertical Spectral Ratio)
- Valore FO
- Confine territorio LI A.S. Municipio XVI

**LEGENDA SIMBOLI**

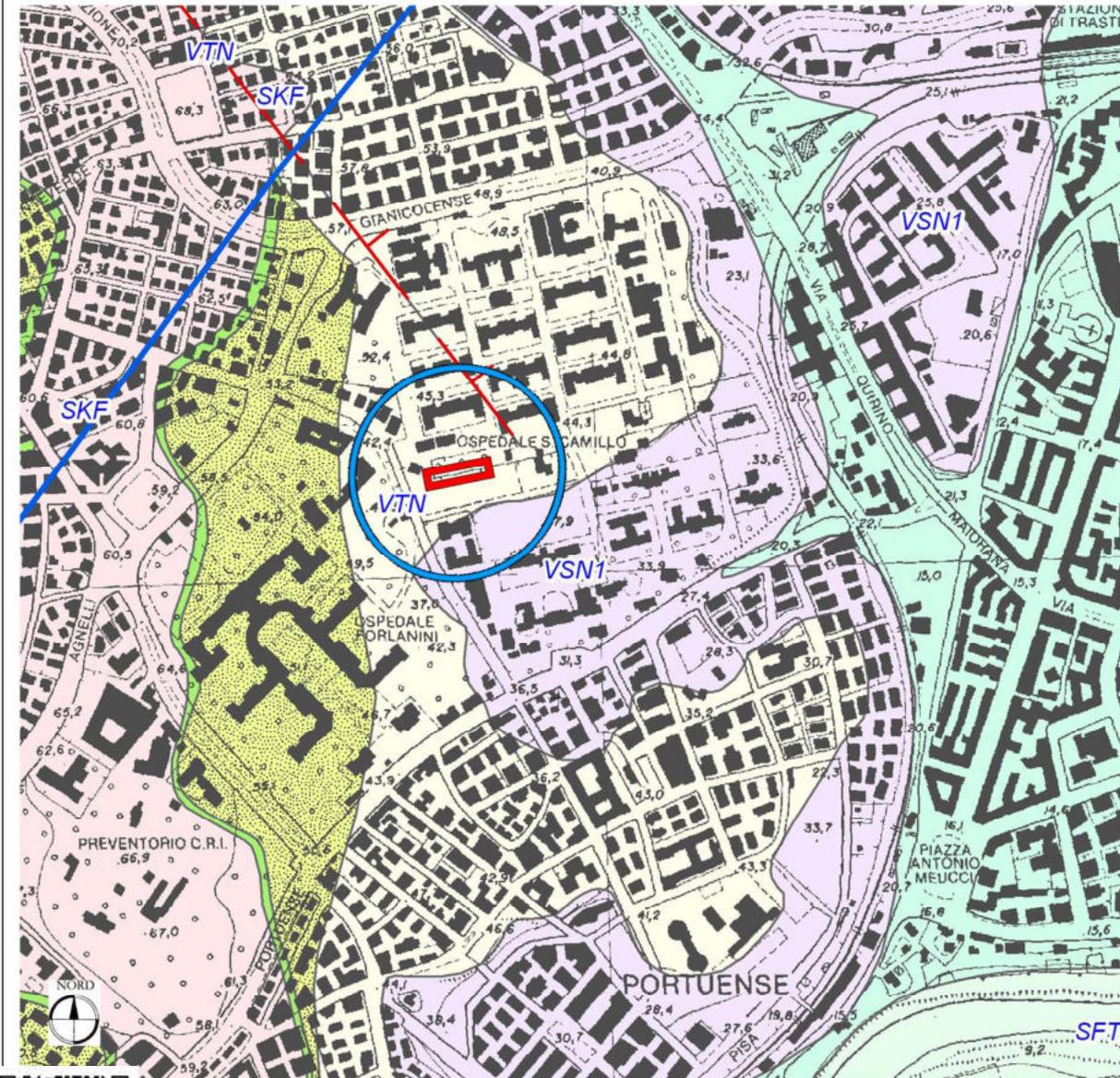
**TERRENI DI COPERTURA**

- Riforni antropici e materiali di cava
- Depositi alluvionali
- Depositi fluvio-lacustri
- Depositi Vulcanici
- Depositi fluvio-deltici e lacustro-palustri

**SUBSTRATO NON RIGIDO**

- Depositi sabbiosi
- Depositi di argille e argille sabbiose
- Depositi di argille e argille limose

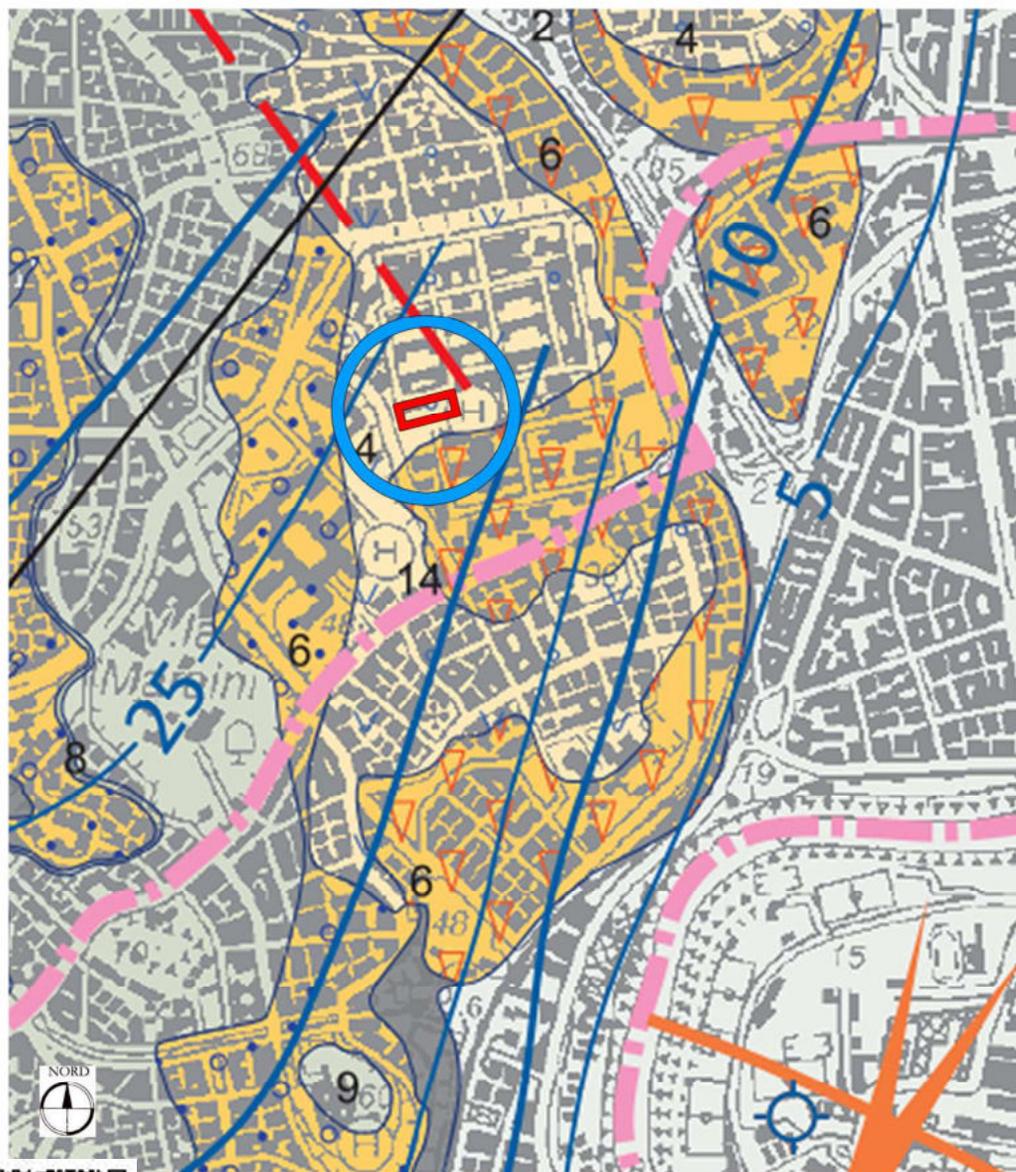




### Legenda

-  Area vasta
-  Area di sito
-  Depositi alluvionali siltoso-argillosi alternati a livelli sabbiosi e torbe con frequenti livelli ghiaiosi alla base, spessore fino a 60 m (Olocene)
-  **VTN** *FORMAZIONE DI VITINIA*  
Sabbie fluviali ad elementi vulcanici, ghiaie e limi con travertini (Pleistocene medio p.p.)
-  **VSN1** *FORMAZIONE DI VILLA SENNI*  
Membro del Tufo Lionato: deposito di colata piroclastica massivo, litoide, a matrice cineritico-lapillosa. Spessore massimo 30 m (Pleistocene medio superiore).
-  **SKF** *TUFI STRATIFICATI VARICOLORI DI SACROFANO*  
depositi piroclastici lapillosi e cineritici, in strati contenenti scorie e litici lavici centimetrici intercalati a livelli vulcanoclastici rimaneggiati, orizzonti pedogenizzati e depositi limno palustri. Nella parte intermedia della successione i livelli primari sono costituiti da pomici bianco giallastre in tre banchi (Granturchi). (Pleistocene medio p.p.)
-  **TDC** *UNITÀ DI TOR DE CENCI*  
Deposito piroclastico grigio giallastro, cineritico, da massivo a stratificato, con lapilli e scorie, abbondanti alla base (Tufi antichi e Tufi pisolitici auct.p.p.) (Pleistocene inferiore pp - medio p.p.)
-  **PGL** *FORMAZIONE DI PONTE GALERIA*  
Membro della pisana: Litofacies sabbiosa Sabbie e sabbie limose, silicee, di ambiente eolico e di piana, localmente presenza di ciottoli silicei, frequenti patine di ossidazione, rubefatte o grigiastre, spessori tra 4-5 m e 10m (Sabbie salmonate auct.pp.) (Pleistocene inferiore pp - medio p.p.)





Legenda



- 2** **Complesso delle alluvioni e dei depositi lacustri**  
Comprende depositi alluvionali dei principali corsi d'acqua e quelli in evoluzione all'interno delle arginature del Tevere e dell'Aniene; nell'insieme si tratta di depositi silteso sabbiosi con discreta componente pelitica e livelli di torbe. Lo spessore raggiunge 60-65 m nelle valli principali ed è in connessione con i corpi idrici superficiali che costituiscono il recapito della circolazione principale. Alla base dei depositi è presente uno strato di ghiaie che può raggiungere 10 m di spessore con alta permeabilità sede di una circolazione idrica confinata con buona produttività, ricaricata dalla continuità con i depositi della Formazione del Fosso della Crescenza.
- 4** **Complesso dei depositi clastici eterogenei**  
Comprende depositi sedimentari con elementi vulcanoclastici, è costituito da ghiaie sabbie e limi con elementi vulcanoclastici di ambiente fluvio lacustre. Spessori fino a 50 m. Dal punto di vista idrogeologico assume importanza solo nei settori della fascia parallela alla costa. Permeabilità variabile in funzione delle diverse caratteristiche granulometriche, nel complesso di media permeabilità-
- 6** **Complesso del Tufo Lionato**  
Costituito dal membro del Tufo Lionato della Formazione di Villa Senni; si tratta di depositi massivi e caotici, litoidi per zeolitizzazione, matrice da cineritica a grossolana. Gli spessori massimi raggiungono i 25 m. Il complesso assume funzione di aquitard e può sostenere, dove non è fratturato la falda superficiale. Nel complesso grado di permeabilità medio per fratturazione.

- 15** Isopiezometrica con quota di riferimento (m s.l.m.), presunta se tratteggiata;
- 15** Diretrice di flusso idrico sotterraneo della falda di base
- 3** Isopiezometrica della falda in pressione nelle ghiaie di base delle alluvioni recenti
- 3** Diretrice di flusso idrico sotterraneo della falda di base delle alluvioni recenti





Legenda

 Area dell'intervento

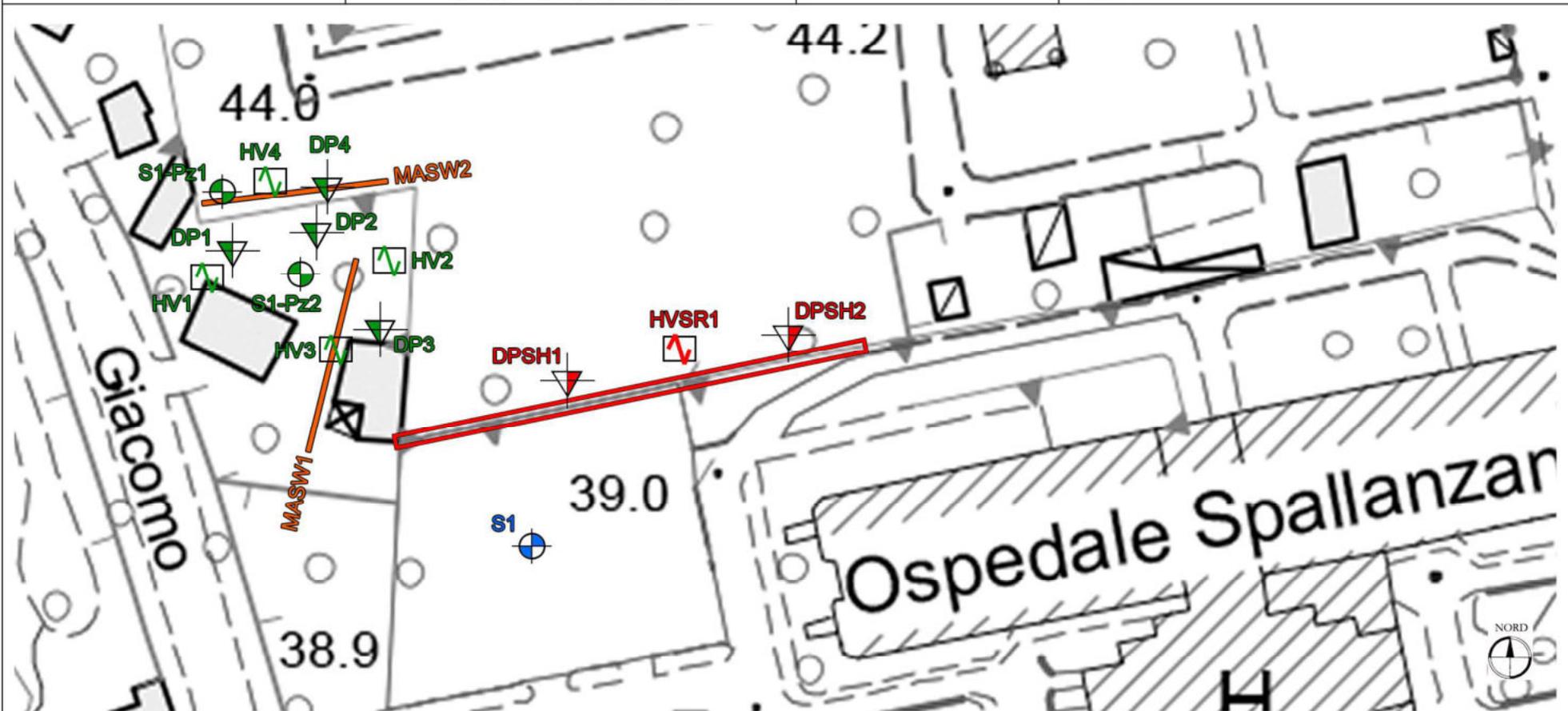
 Limo sabbioso e sabbia, policromo, moderatamente addensato, a luoghi laterato e argillificato, con scorie vulcaniche millimetriche, minerali femici e leucite analcimizzata (deposito vulcanoclastico); al tetto sono presenti spessori di terreno di riporto ed eluvi e colluvi  $\leq 3\text{m}$

 Piroclastite a granulometria sabbiosa e sabbioso ghiaiosa, da marrone bruna a rossiccia, da addensata a litoide fratturata, con rari orizzonti alterati e argillificati, scorie vulcaniche eterometriche, litici lavici e minerali femici; al tetto sono presenti spessori di terreno di riporto ed eluvi e colluvi  $\leq 3\text{m}$

 Areale in cui sono presenti spessori di terreno di riporto ed eluvi e colluvi anche maggiori di 3 m.

 **33**  
 **Pz2** Piezometro Pz2 realizzato nel 2018, il numero indica la quota piezometrica in m s.l.m. rilevata nel novembre 2018





Legenda

Area d'intervento

Indagini pregresse 1991

sondaggio geognostico  
e relativo numero d'ordine

Indagini pregresse 2018

sondaggio geognostico allestito a piezometro  
e relativo numero d'ordine

indagine DPSH  
e relativo numero d'ordine

indagine sismica HVSR  
e relativo numero d'ordine

indagine sismica MASW  
e relativo numero d'ordine

Nuove indagini 2022

indagine DPSH  
e relativo numero d'ordine

indagine sismica HVSR  
e relativo numero d'ordine



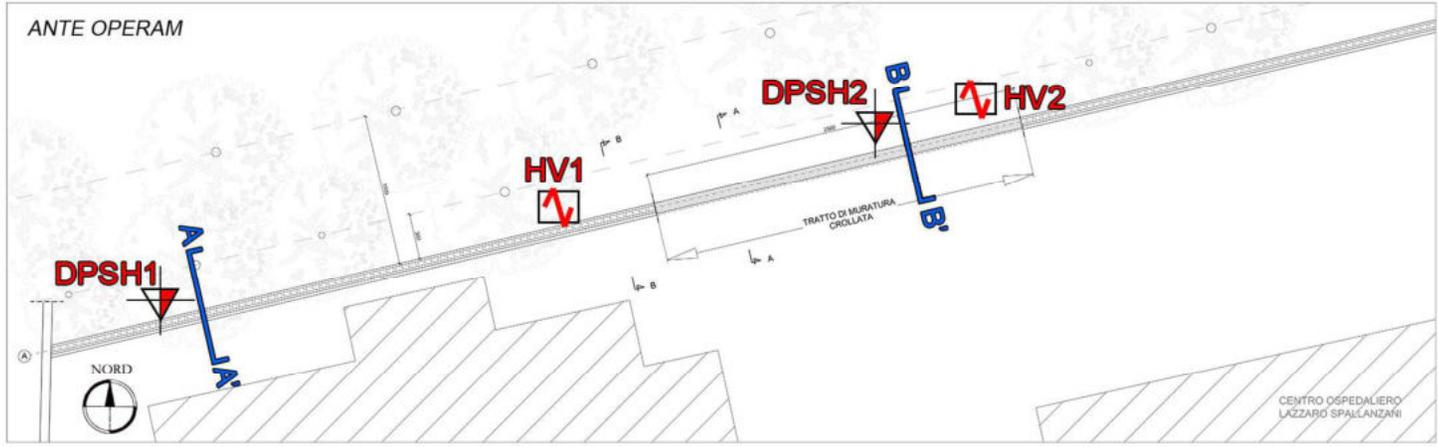
OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.37 di 119

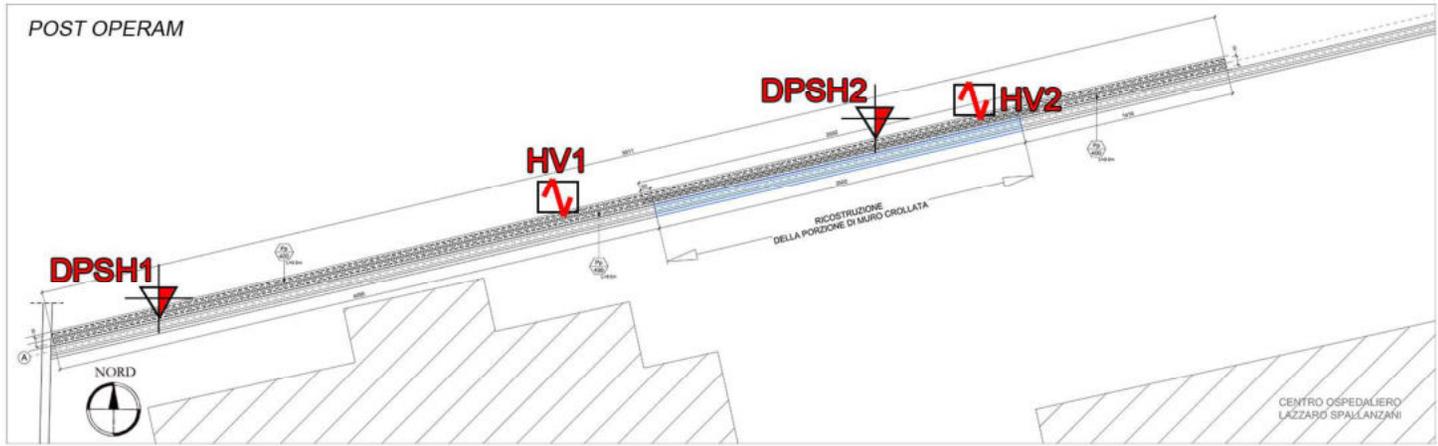
La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)



- Legenda
- Nuove indagini 2022
-  indagine DPSH e relativo numero d'ordine
  -  indagine sismica HVSR e relativo numero d'ordine
  -  sezione geologica e relative lettere di riferimento



OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.38 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

U.S.C. S.r.l. - Via A. Malladra 35 - 00157 Roma - tel.fax 0641735340 - overland.services@libero.it

---

## ALLEGATO 8

### *INDAGINI E PROVE ESEGUITE SECONDO LE DISPOSIZIONE DELL'ALLEGATO C AL REGOLAMENTO REGIONALE LAZIO 7/2021*

---

Nel presente fascicolo, allegato alla relazione geologica, sono incluse le seguenti indagini e prove condotte ai sensi dei §§6.2.1 e 3.2.2 del D.M 17/01/18:

Allegato 8.1 Indagini 2022 - Rapporto tecnico prove DPSH

Allegato 8.2 Indagini 2022 - Rapporto tecnico indagine sismica

Allegato 8.3 Indagini pregresse 2018 (stratigrafie sondaggi geognostici, rapporto tecnico indagine sismica, elaborazione prove SPT, analisi su campioni di terreno, rapporto tecnico prove DPSH)

Allegato 8.4 Indagini pregresse 1991 (stratigrafia sondaggio geognostico)



**ALLEGATO 8.1****RAPPORTO TECNICO PROVE DPSH 2022**

In data 24.02.2022, nell'ambito di un intervento di consolidamento di una porzione di un muro di confine posto tra i complessi ospedalieri San Camillo-Forlanini e Spallanzani in prossimità del civico 6a di via Giacomo Folchi - Municipio Roma 12 (ex XVI) - Roma Capitale, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH1 e DPSH2) per la stima delle caratteristiche geotecniche dei terreni che caratterizzano il sito (ubicazione in allegato).

La prova è stata effettuata mediante penetrometro super-pesante DPSH 73-75 SM – modello Deep Drill.

CARATTERISTICHE TECNICHE-STRUMENTALI PENETROMETRO DPSH		
Rif. Norme DIN 4094	Peso Massa battente 73 kg	Altezza di caduta libera 0,75 m
Peso sistema di battuta 23 kg	Diametro punta 50,46 mm	Area di base punta 20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste 0,9m	Peso aste a metro 6,3 kg/m	Profondità giunzione prima asta 90 cm
Avanzamento punta 0,30 m	Numero colpi per punta N(30)	Coeff. Correlazione 1,16
Rivestimento/fanghi No	Angolo di apertura punta 60°	

La prova penetrometrica dinamica DPSH consiste nell'infingere nel terreno una punta conica standard mediante un maglio (kg 73) lasciato cadere da un'altezza di 75 cm; il numero di colpi di maglio ( $N_{dpm}$ ), necessari a far avanzare per tratti consecutivi di 30 cm la punta conica, consente di definire alcune caratteristiche tecniche dei terreni.

Le correlazioni empiriche tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT. La comparazione tra le prove penetrometriche e le prove SPT viene fatta confrontando le energie sviluppate nella caduta del maglio e in base alle caratteristiche dei diversi componenti. Per la prova penetrometrica dinamica super-pesante è stata utilizzata la correlazioni tra  $N_{SPT}$  e  $N_{dpm}$  basata sulla uguaglianza delle energie specifiche per colpo ( $Q$ ) calcolata per le due diverse prove. Per la prova SPT l'energia specifica per colpo  $Q_{SPT}$  è uguale a 7.83 kg/cm<sup>2</sup>. Per la prova penetrometrica super-pesante l'energia specifica deriva dalla seguente relazione:

$$Q_{dpm} = M H/A \delta = 9.125 \text{ kg/cm}^2$$

dove:

avanzamento punta  $\delta=0.30$  m  
 altezza caduta libera  $H=0.75$  m

peso massa battente  $M=73$  kg  
 area base punta conica  $A=20$  cm<sup>2</sup>

Dalle precedenti relazioni è possibile ottenere il seguente coefficiente teorico di correlazione delle energie  $\beta_t = Q_{dpm}/Q_{SPT} = 1.16$  da cui  $N_{SPT \text{ EQUIVALENTE}} = 1.16 \cdot N_{dpm}$ .

Un'altra indicazione che si ricava dalle prove è la resistenza del terreno offerta all'avanzamento della punta definita attraverso la seguente relazione:

$$R_{pd} = M^2H/AE(M+P)$$

dove:  $R_{pd}$  = resistenza alla punta dinamica  
 $A$  = superficie della punta  
 $P$  = peso delle aste

$M$  = peso del maglio  
 $E$  = profondità di infissione per colpo

Mediante la definizione del coefficiente di correlazione è possibile definire il valore di  $N_{SPT \text{ EQUIVALENTE}}$  dal quale stimare, attraverso relazioni empiriche talora con elevata dispersione dei dati, alcuni parametri geotecnici. Nella presente trattazione, sono state utilizzate le seguenti correlazioni ipotizzando terreni a prevalente componente coesiva:

**CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata *Terzaghi-Peck (1948-1967)*, correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.40 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)



Angolo di attrito Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati)  
Modulo Di Young (Ey) D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate  
Stato di consistenza Classificazione A.G.I. 1977 Peso di volume Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti

**CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI**

Correzione Nspt in presenza di falda Nspt corretto =  $15 + 0.5 \times (Nspt - 15)$  applicata solo per Nspt > 15  
Angolo di attrito ( $\phi$ ) Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie (Litotipo R); Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m (Litotipo A); Owasaki & Iwasaki valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (Litotipo B).  
Densità relativa (%) Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.  
Modulo Di Young (Ey) Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici (Litotipo R, Litotipo A); Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici (Litotipo B)  
Stato di addensamento Classificazione A.G.I. 1977

Di seguito sono riportati per ogni prova penetrometrica: la tabella riassuntiva del numero di colpi e dei valori della resistenza alla punta dinamica ridotta, la stima dei parametri geotecnici e le diagrafie  $N_{dpm}$ -profondità e Rpd-profondità. Le elaborazioni sono state eseguite con software geostru® Dynamic probing V1.00.



### PROVA DPSH1

Profondità(m)	Numero colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Resistenza dinamica ridotta (Mpa)
0.3	5	0.853	2.72
0.6	6	0.847	3.25
0.9	5	0.842	2.53
1.2	6	0.836	3.02
1.5	4	0.831	2.00
1.8	3	0.826	1.41
2.1	3	0.822	1.40
2.4	3	0.817	1.39
2.7	4	0.813	1.75
3.0	6	0.809	2.62
3.3	9	0.805	3.90
3.6	10	0.801	4.10
3.9	8	0.797	3.27
4.2	10	0.794	4.07
4.5	13	0.740	4.70
4.8	11	0.787	4.23
5.1	6	0.784	2.30
5.4	12	0.781	4.37
5.7	14	0.728	4.75
6.0	12	0.775	4.34
6.3	14	0.723	4.52
6.6	18	0.720	5.79
6.9	20	0.718	6.14
7.2	21	0.666	5.98
7.5	28	0.663	7.95
7.8	rifiuto strumentale		



### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH1

Prof (m)	N <sub>SPT</sub>	Dr (%)	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	cu (kPa)	E <sub>v</sub> (MPa)	Classificazione AGI
0.3	5	20	15.1	28	--	3.9	POCO ADDENSATO
0.6	6	23	15.4	28	--	4.7	POCO ADDENSATO
0.9	5	20	15.1	28	--	3.9	POCO ADDENSATO
1.2	6	23	15.4	28	--	4.7	POCO ADDENSATO
1.5	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
1.8	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
2.1	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
2.4	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
2.7	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
3.0	6	23	15.4	28	--	4.7	POCO ADDENSATO
3.3	10	32	16.9	33	--	7.8	POCO ADDENSATO
3.6	11	35	17.2	34	--	8.6	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.9	9	30	16.6	33	--	7.0	POCO ADDENSATO
4.2	11	35	17.2	34	--	8.6	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.5	15	43	18.4	35	--	11.7	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.8	12	37	17.5	34	--	9.4	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.1	6	23	15.4	32	--	4.7	POCO ADDENSATO
5.4	13	39	17.8	34	--	10.2	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.7	16	44	18.7	35	--	12.5	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.0	13	39	17.8	34	--	10.2	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.3	16	44	18.7	35	--	12.5	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.6	20	51	19.5	37	--	15.6	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.9	23	55	20.1	37	--	18.0	MODERATAMENTE ADDENSATO
7.2	24	56	20.2	38	--	18.8	MODERATAMENTE ADDENSATO
7.5	32	65	21.0	40	--	37.1	ADDENSATO

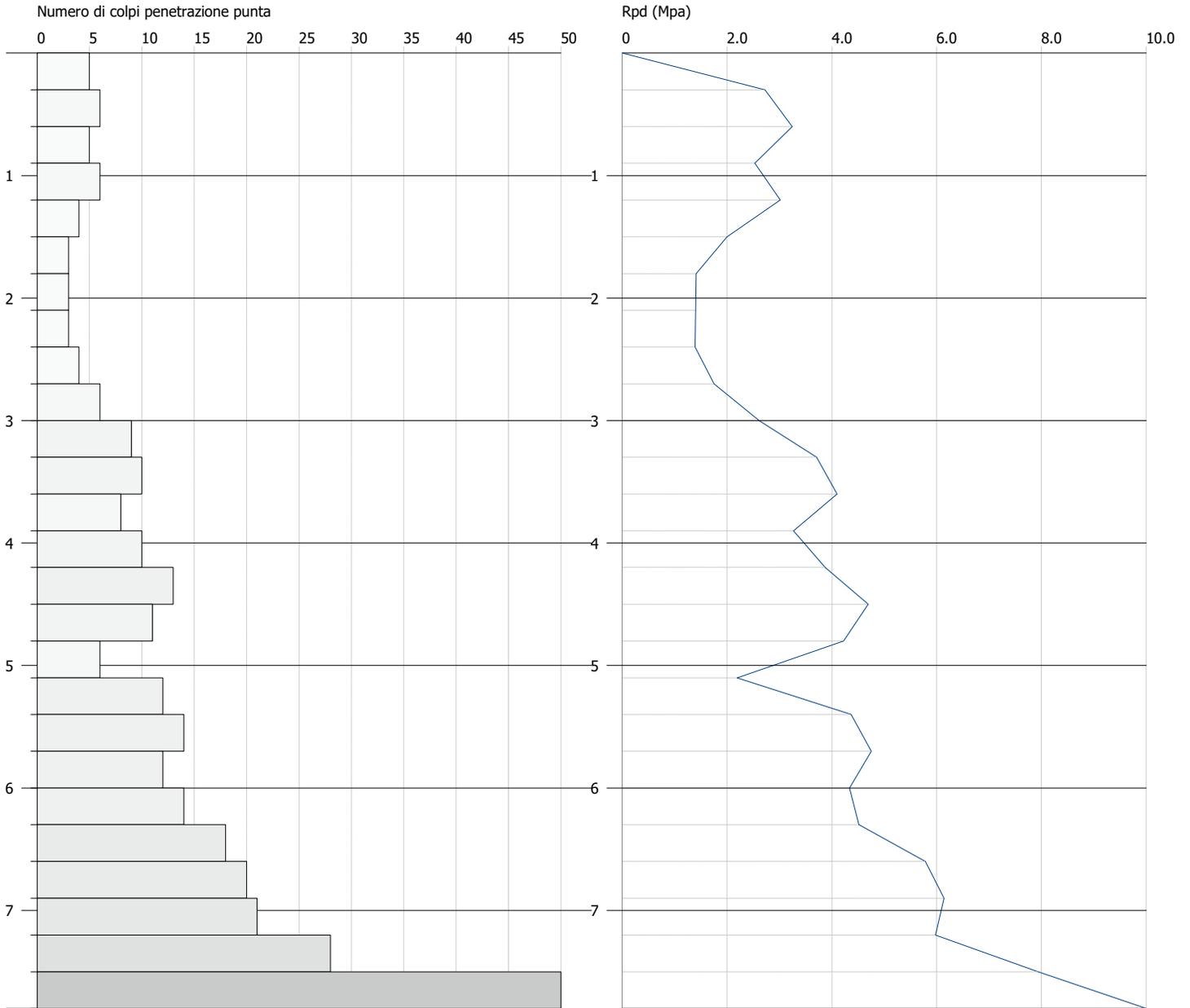


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1**  
**Strumento utilizzato... DPSH 73-75 SM DEEP DRILL**

Committente: Burlandi Srl  
Descrizione: Consolidamneto Muro  
Località: Ospedale Spallanzani - Roma

Data: 24/02/2022

Scala 1:50



OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.44 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

## PROVA DPSH2

Profondità(m)	Numero colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Resistenza dinamica ridotta (Mpa)
0.3	4	0.853	2.18
0.6	4	0.847	2.16
0.9	4	0.842	2.02
1.2	3	0.836	1.51
1.5	3	0.831	1.50
1.8	2	0.826	0.94
2.1	2	0.822	0.93
2.4	2	0.817	0.93
2.7	1	0.813	0.44
3.0	1	0.809	0.44
3.3	1	0.805	0.43
3.6	1	0.801	0.41
3.9	3	0.797	1.23
4.2	2	0.794	0.81
4.5	2	0.790	0.77
4.8	4	0.787	1.54
5.1	3	0.784	1.15
5.4	3	0.781	1.09
5.7	4	0.778	1.45
6.0	4	0.775	1.45
6.3	4	0.773	1.38
6.6	6	0.770	2.06
6.9	16	0.718	4.91
7.2	17	0.716	5.20
7.5	29	0.663	8.23
7.8	38	0.611	9.54
8.1	40	0.559	9.19
8.4	50	0.557	11.45



**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH1**

Prof (m)	N <sub>SPT</sub>	Dr (%)	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	cu (kPa)	E <sub>v</sub> (MPa)	Classificazione AGI
0.3	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
0.6	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
0.9	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
1.2	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
1.5	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
1.8	2	12	13.7	27	--	1.5	SCIOLTO
2.1	2	12	13.7	27	--	1.5	SCIOLTO
2.4	2	12	13.7	27	--	1.5	SCIOLTO
2.7	1	9	13.2	27	--	0.7	SCIOLTO
3.0	1	9	13.2	27	--	0.7	SCIOLTO
3.3	1	9	13.2	27	--	0.7	SCIOLTO
3.6	1	9	13.2	27	--	0.7	SCIOLTO
3.9	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
4.2	2	12	13.7	27	--	1.5	SCIOLTO
4.5	2	12	13.7	27	--	1.5	SCIOLTO
4.8	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
5.1	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
5.4	3	15	14.2	27	--	2.3	SCIOLTO
5.7	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
6.0	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
6.3	4	18	14.6	28	--	3.1	SCIOLTO
6.6	6	23	15.4	28	--	4.7	POCO ADDENSATO
6.9	18	48	19.1	36	--	14.1	MODERATAMENTE ADDENSATO
7.2	19	49	19.3	36	--	14.9	MODERATAMENTE ADDENSATO
7.5	33	66	21.1	40	--	38.2	ADDENSATO
7.8	44	75	21.7	41	--	50.9	ADDENSATO
8.1	46	77	21.7	42	--	53.3	ADDENSATO

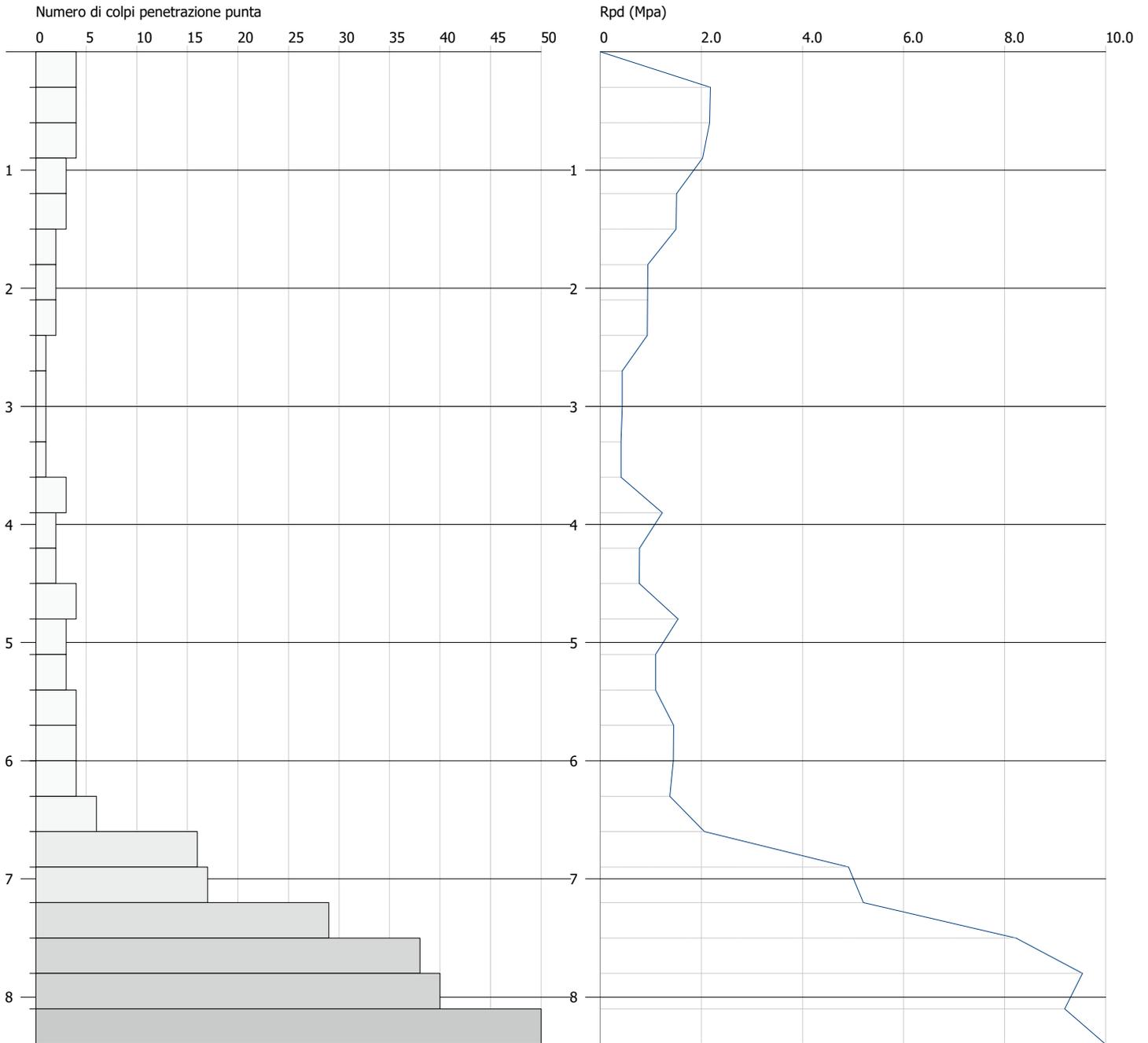


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH2**  
**Strumento utilizzato... DPSH 73-75 SM DEEP DRILL**

Committente: Burlandi Srl  
Descrizione: Consolidamneto Muro  
Località: Ospedale Spallanzani - Roma

Data: 24/02/2022

Scala 1:50



OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.47 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

## ALLEGATO 8.2

### RAPPORTO TECNICO INDAGINI SISMICHE 2022

#### PREMESSA

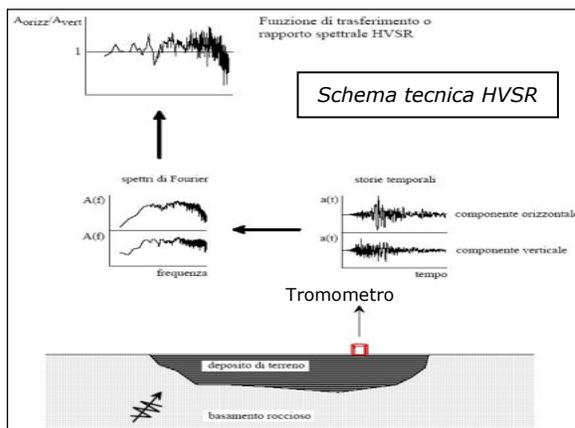
In data 24.02.2022, nell'ambito di un intervento di consolidamento di una porzione di un muro di confine posto tra i complessi ospedalieri San Camillo-Forlanini e Spallanzani in prossimità del civico 6a di via Giacomo Folchi - Municipio Roma 12 (ex XVI) - Roma Capitale, è stata eseguita un'indagine geofisica finalizzata alla stima della velocità delle onde di taglio. Alle indagini sismiche pregresse condotte nel lotto limitrofo sono state affiancate indagini sismiche a mezzo di due postazioni di indagine sismica di tipo passivo analizzata con tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio; ubicazione in allegato)

#### INDAGINE SISMICA HVSR

La tecnica utilizzata sfrutta la misura del rumore sismico, generato da sorgenti naturali e/o antropiche, per la definizione del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto del suolo (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, HVSR, H/V) mediante il metodo proposto da Nakamura. Questa procedura è in grado di determinare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo a basse deformazioni, che corrisponde al picco maggiore dei rapporti spettrali tra la componente verticale e le componenti orizzontali del rumore sismico. La natura e forma dei picchi H/V è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore sismico e dipendente, in parte, dalle caratteristiche di contrasto di impedenza sismica della locale successione stratigrafica. In questo caso un'onda riflessa dalla superficie di contrasto interagisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo l'ampiezza massima (condizione di risonanza) quando la lunghezza d'onda incidente è quattro volte (o suoi multipli dispari) la profondità H del rifrattore. Per due strati a contrasto di impedenza sismica significativa si avrà:

$$f_r = V_{S1}/4H \quad \text{dove } f_r = \text{frequenza fondamentale di risonanza;} \\ V_{S1} = \text{velocità delle onde di taglio nel sismostrato superiore} \\ H = \text{spessore del sismostrato superiore}$$

Quanto esposto non si applica in modo lineare ad un modello a più strati sovrapposti; ciò significa che la curva H/V contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (quindi alle  $V_s$  ed allo spessore) di ciascun strato ma non è interpretabile con l'equazione precedente. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici in casi reali, utilizza la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli sintetici, cioè con quelli calcolati assumendo un campo di tremore con sorgenti puntuali distanti posizionate casualmente sulla superficie ed un campo d'onde che si propagano in un mezzo stratificato 1-D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati sintetici approssimano i dati misurati. Tale procedura permette di ottenere un modello sismo-stratigrafico dell'andamento delle  $V_s$  con la profondità.



Le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con il tromografo digitale *Tromino*<sup>®</sup> prodotto e distribuito dalla *Micromed S.p.A.* Si tratta di un apparecchio compatto dotato di tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro (E-W, N-S, z) ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 512 Hz la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit. Lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse (norma DIN 4150) e memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico od elettronico.

Avendo il rumore sismico un andamento

molto irregolare e mostrando dunque una natura essenzialmente stocastica la registrazione,

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.48 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

1/8

Rapporto tecnico indagini sismiche

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)



nelle sue tre componenti, è stata protratta per un intervallo di tempo sufficientemente lungo da permettere la successiva analisi statistica delle proprietà medie del segnale acquisito.

I dati vengono convertiti in *file ASCII* mediante *software Grilla®*, fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. I singoli segnali sono corretti per la linea di base (sottraendo a ciascun punto la media effettuata sull'intera traccia) e da andamenti anomali (sottraendo la retta della regressione lineare effettuata su tutti i punti della traccia). Successivamente il software divide il tracciato acquisito in intervalli della durata di alcune decine di secondi all'interno dei quali calcola la trasformata di Fourier, la media delle componenti orizzontali (media quadratica) ed il relativo rapporto spettrale HVSR di ogni frequenza. La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra restituita rispetto le frequenze (curva H/V-f).

Per poter considerare la misura ottenuta una stima delle proprietà medie del campo del rumore sismico, i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente devono essere *stabili* (stazionarietà nel tempo dei rapporti H/V), non vi devono essere sorgenti *dominati* (assenza di direzionalità del segnale) e la misura non deve contenere errori sistematici. Un'ulteriore analisi della qualità del segnale è condotta attraverso i criteri indicati dal progetto SESAME (Linee guida Dicembre 2004)

La curva H/V-f ottenuta viene restituita con il relativo intervallo di confidenza e consente di determinare la *frequenza fondamentale di risonanza* del sottosuolo a basse deformazioni. Di seguito i risultati dell'indagine HVSR.

Per i criteri di validazione SESAME è utilizzato il seguente simbolismo.

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$				
	< 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



## HVSR1

file MURO SPALLANZANI, MS1

Strumento: TRZ-0055/01-09

Inizio registrazione: 24/02/22 10:46:30

Fine registrazione: 24/02/22 11:06:31

Nomi canali: N S; E W; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 97% tracciato

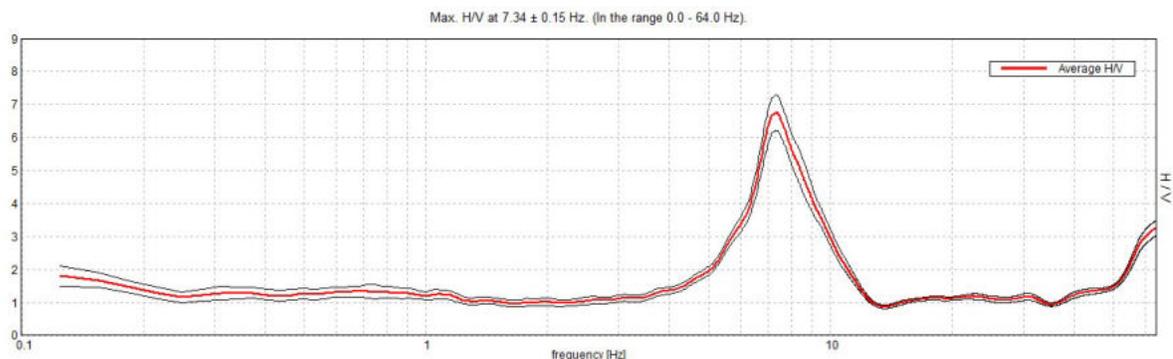
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

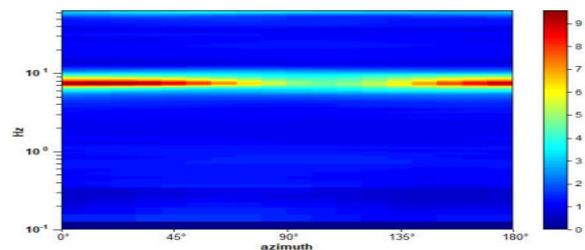
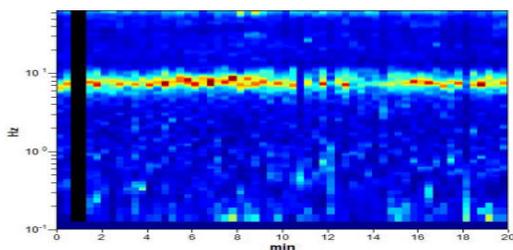
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

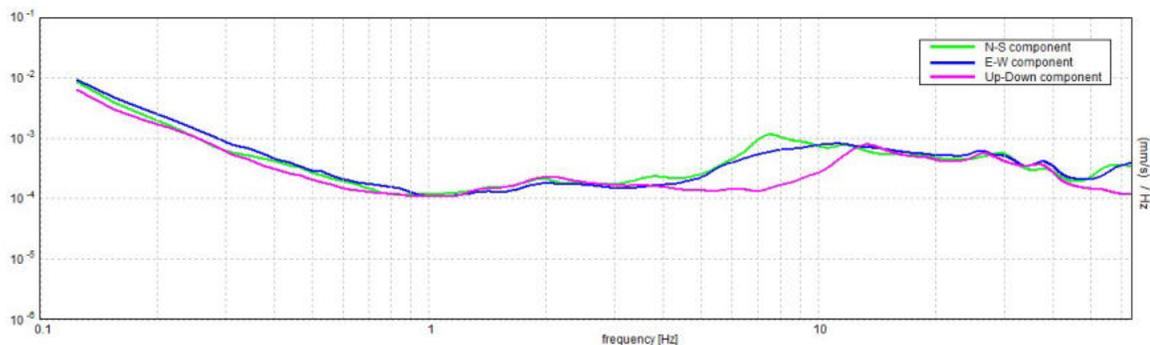


tabella criteri di validazione SESAME			
Picco H/V a 7.34 ± 0.15 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	7.34 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	8518.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 354	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	6.0 Hz	OK	
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	9.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.75 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01997  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	0.14663 < 0.36719	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.5355 < 1.58	OK	



## HVSR2

file MURO SPALLANZANI, MS2

Strumento: TRZ-0055/01-09

Inizio registrazione: 24/02/22 12:15:23

Fine registrazione: 24/02/22 12:35:24

Nomi canali: N S; E W; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato intero tracciato

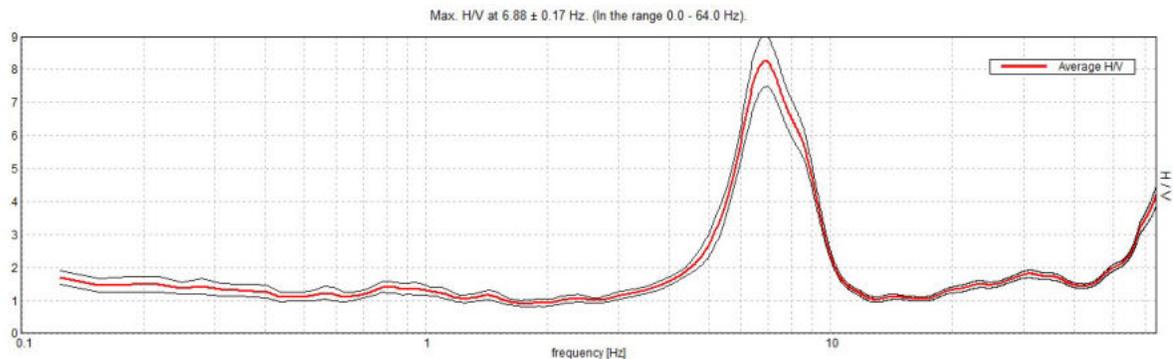
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipologia di liscio: Triangular window

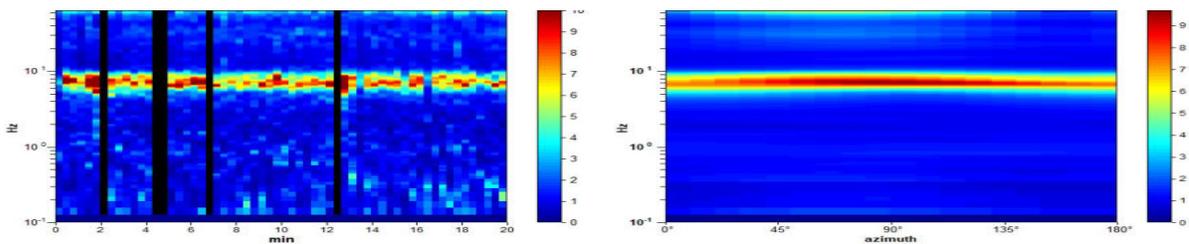
Liscio: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

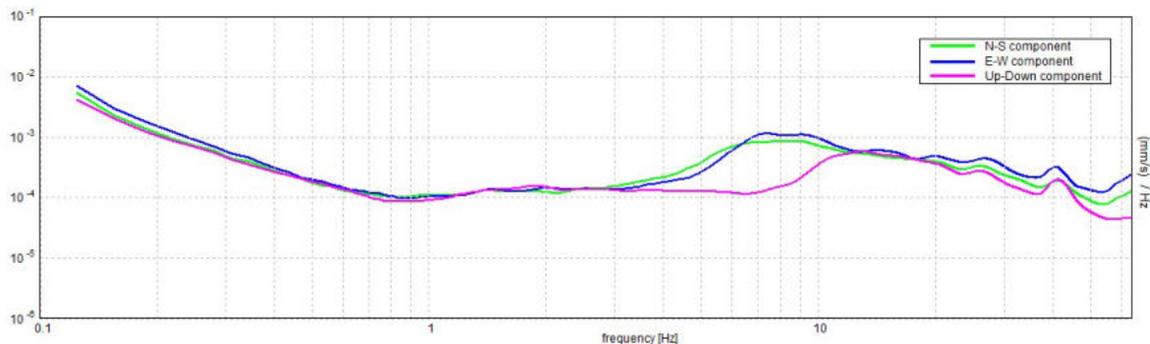
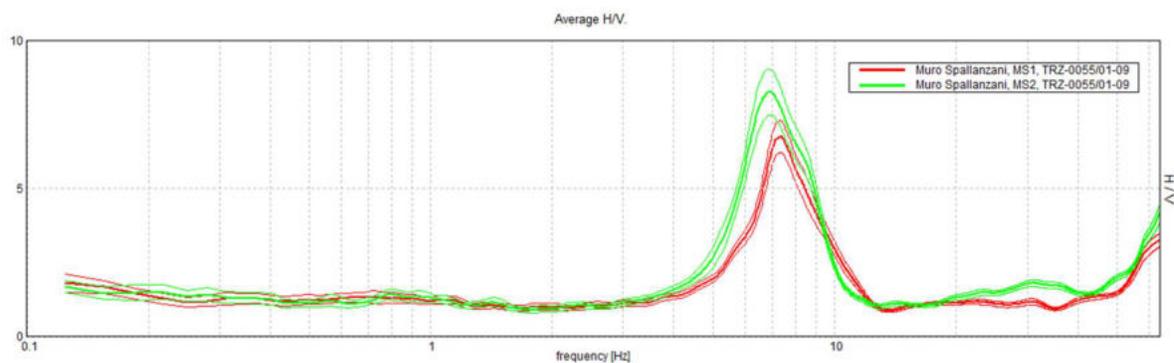


tabella criteri di validazione SESAME			
Picco H/V a 6.88 ± 0.17 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	6.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7562.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 331	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	5.563 Hz	OK	
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	9.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	8.26 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$[0.02468] < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.16965 < 0.34375	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7842 < 1.58	OK	



## CONFRONTO TRA IL RAPPORTO H/V DELLE PROVE HVSR



Le curve H/V mostrano un'ottima sovrapposizione a tutte le frequenze a testimonianza della ridondanza del dato acquisito e dell'omogeneità dell'assetto geologico sismico dei punti in cui sono state eseguite le indagini HVSR. Le maggiori frequenze amplificate al piano campagna alle basse deformazioni sono comprese tra 6 e 8 Hz; essa mostra rapporti spettrali molto elevati a testimonianza di un elevato contrasto di impedenza tra i terreni superficiali e quelli più profondi.



## INVERSIONE VINCOLATA

Il modello sismostratigrafico del sottosuolo è stato ottenuto mediante inversione vincolata dei risultati ottenuti dalle indagini sismiche eseguite nel 2022 con quelle condotte nel 2018 nell'area immediatamente adiacente al muro in esame. Il rapporto spettrale dell'indagine HVSR da implementare nell'inversione vincolata è stato ottenuto mediante processing dei dati acquisiti eseguito con il software GEOPSY (<http://www.geopsy.org/download.php>) sviluppato nell'ambito del processo SESAME.

L'inversione vincolata è stata eseguita mediante l'applicazione DINVER implementata nel software GEOPSY la quale utilizza l'algoritmo *neighbourhood* (Sambridge et al 1999; Wathelet 2005) basato sulla schematizzazione del sottosuolo attraverso l'assegnazione di campi di variazione di spessore e valore dei seguenti parametri  $V_s$ ,  $V_p$ , densità, modulo di Poisson. Successivamente l'algoritmo genera diversi modelli per ognuno dei quali è calcolata una curva di dispersione sintetica e una curva di ellitticità sintetica; le curve sintetiche ottenute vengono confrontate con quelle sperimentali e viene definita la funzione d'errore. L'algoritmo progressivamente minimizza il valore della funzione d'errore ripetendo l'analisi nel campo in cui la differenza tra il modello ed i dati sperimentali sono minori. In questo processo il *misfit* rappresenta la funzione d'errore data da:

$$\text{misfit} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_{dt} - x_{ct})^2}{\sigma_i^2 N}}$$

dove:  $x_{dt}$  velocità della curva dati alla frequenza  $f_t$ ;  $x_{ct}$  velocità della curva del modello alla frequenza  $f_t$ ;  $\sigma_i$  incertezza del campione di frequenza considerato;  $N$  numero di campioni.

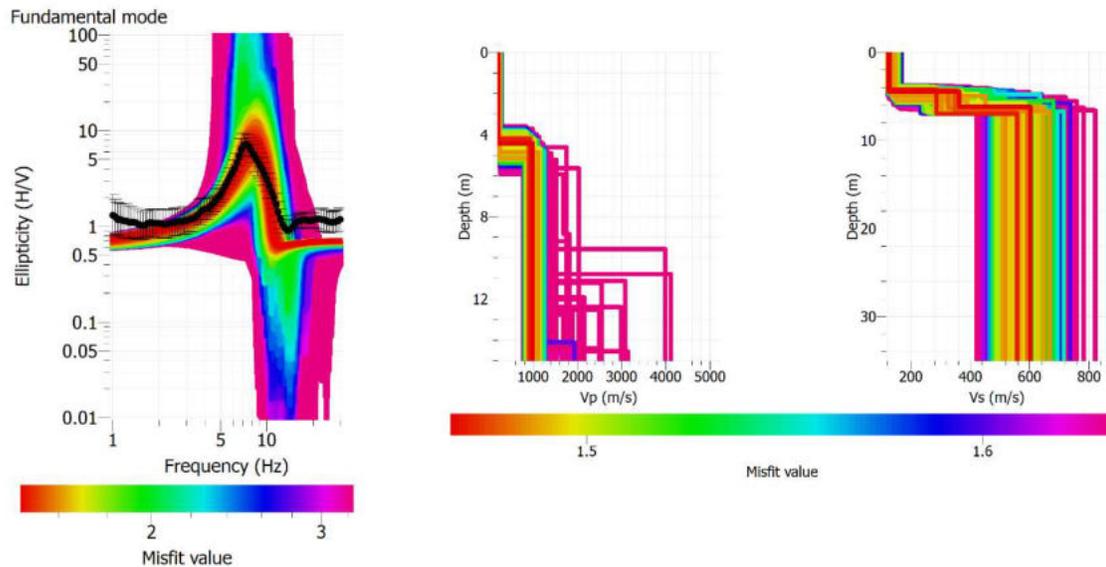
Ai diversi modelli calcolati corrispondono altrettanti profili  $V_s$ -profondità ciascuno con un suo valore di misfit; al misfit minore corrisponderà il profilo  $V_s$ -profondità che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione/ellitticità misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione/ellitticità sintetica).

Il processo precedentemente descritto è stato vincolato ai risultati delle indagini sismiche MASW eseguite nel 2018 in prossimità dell'opera oggetto di intervento ed agli esiti delle prove DPH eseguite in prossimità del muro nel 2022.

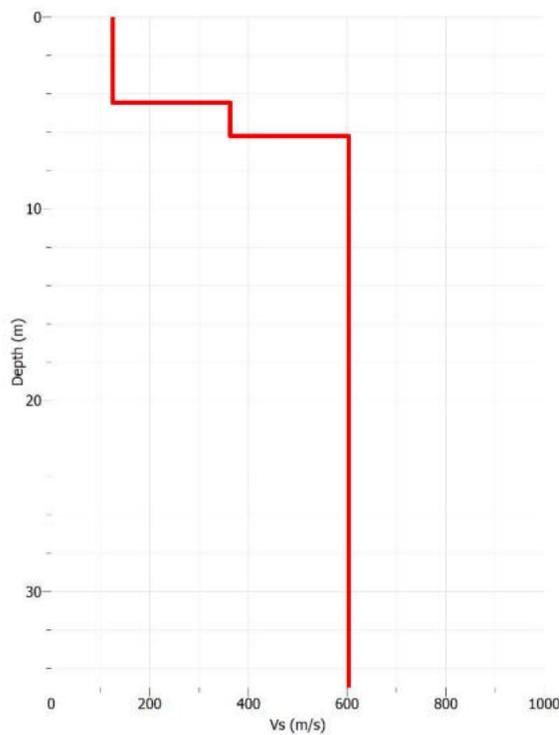
Di seguito le soluzioni proposte.



SOLUZIONE VINCOLATA HVSR1



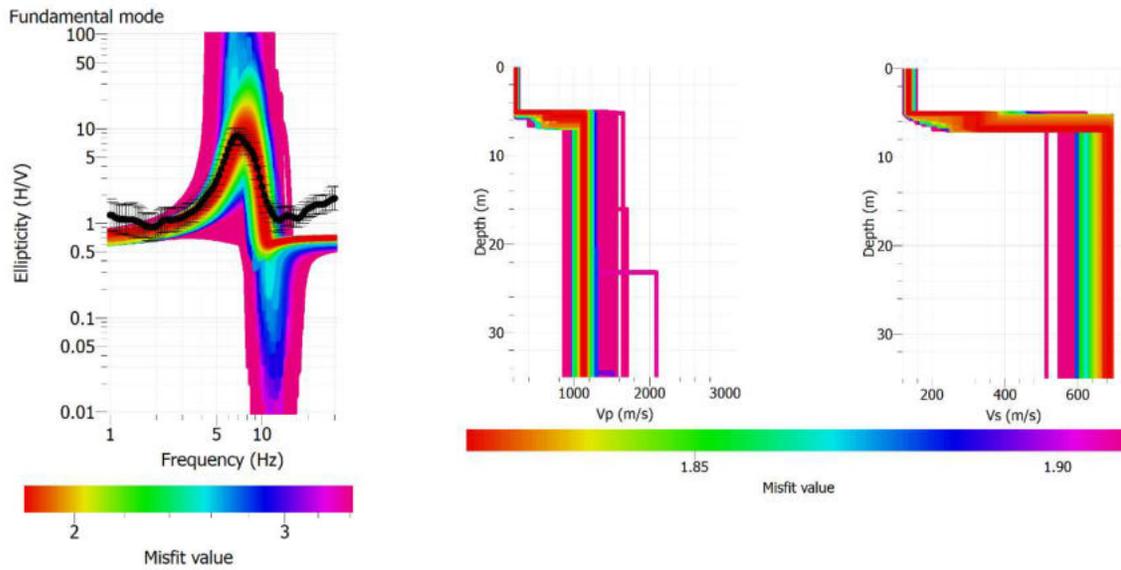
A sinistra: curve di rapporto spettrale prodotte nel processo d’inversione vincolata confrontate con la curva sperimentale (in nero); a destra risultati del processo d’inversione vincolata. La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato



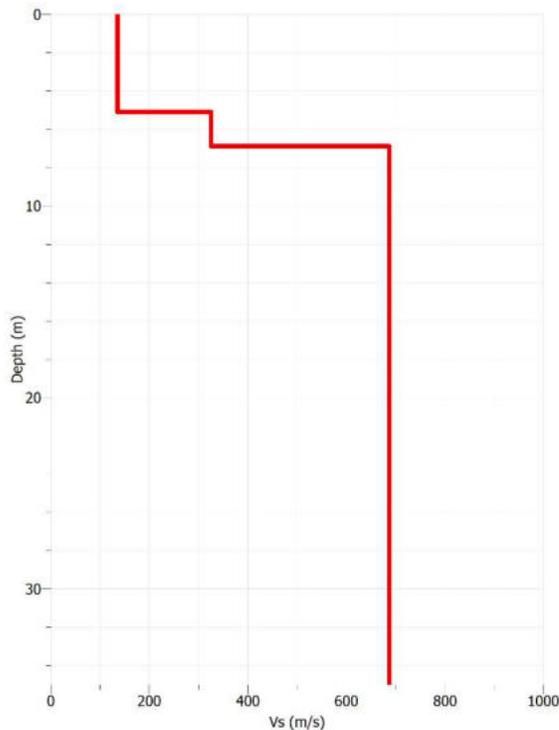
Risultati inversione vincolata HVSR1	
Profondità (m)	VS (m/s)
0.0-4.5	120
4.5-6.2	360
6.2-35.0	605



SOLUZIONE VINCOLATA HVSR2



A sinistra: curve di rapporto spettrale prodotte nel processo d’inversione vincolata confrontate con la curva sperimentale (in nero); a destra risultati del processo d’inversione vincolata. La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato



Risultati inversione vincolata HVSR2	
Profondità (m)	VS (m/s)
0.0-5.2	135
5.2-6.9	320
6.9-35.0	685



## *ALLEGATO 8.3*

### *INDAGINI PREGRESSE 2018*

- stratigrafie sondaggi geognostici
  - rapporto tecnico indagine sismica
  - elaborazione prove SPT
  - analisi su campioni di terreno
  - rapporto tecnico prove DPSH
- 

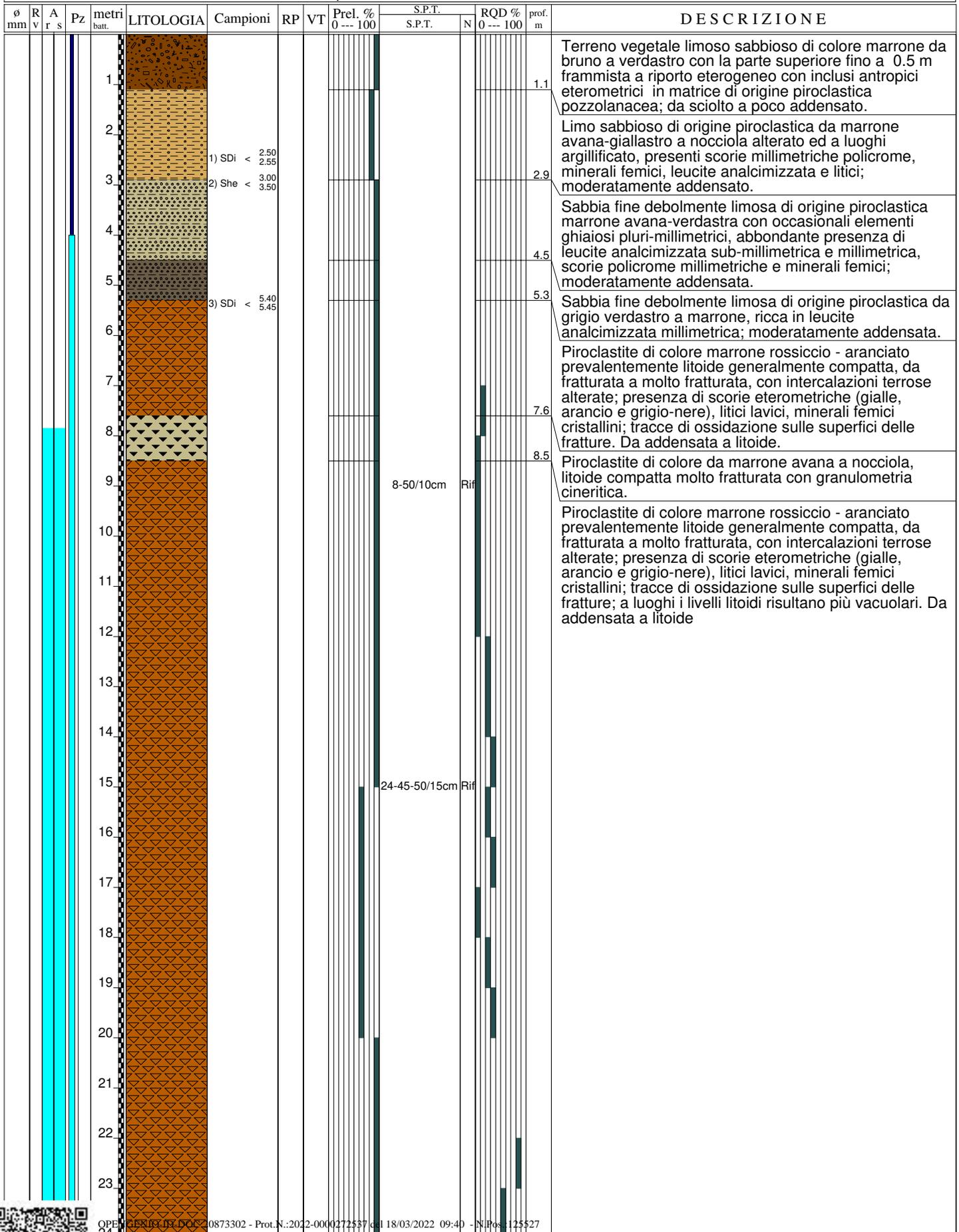


Riferimento: Stabilità del muro di confine con l'immobile in via Giacomo Folchi, n.8	Sondaggio: S1
Località: S.Camillo Forlanini - via Folchi	Quota: 44 m
Impresa esecutrice: Geotek s.r.l.	Data: 25-26/10/2018
Coordinate:	Redattore: Geol. Gianluca Paolucci
Perforazione: Rotazione aste e carotiere semplice	

Ø mm	R v	A r	Pz s	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
										S.P.T.	N			
				1									0.7	Riporto eterogeneo con inclusi antropici eterometrici (dimensioni max decimetriche) in matrice di origine piroclastica pozzolanacea; da sciolto a poco addensato.
				2		1) She < 1.50 1.85								Limo sabbioso da marrone avana-giallastro a nocciola alterato ed a luoghi argillificato, di origine piroclastica; sono presenti scorie millimetriche policrome, minerali femici, leucite analcimizzata e litici. Rinvenuti frammenti di apparati radicali. Moderatamente addensato.
				3			5							
				4		2) SDi < 3.40 3.45				5-7-7	14			
				5									4.5	Sabbia fine debolmente limosa di origine piroclastica, marrone avana-verdastra con occasionali elementi ghiaiosi pluri-millimetrici, abbondante presenza di leucite analcimizzata sub-millimetrica e millimetrica, scorie policrome millimetriche e minerali femici; moderatamente addensata.
				6										
				7		3) SDi < 6.50 6.55								
				8										
				9									8.2	Sabbia fine debolmente limosa di origine piroclastica, da grigio verdastro a marrone, ricca in leucite analcimizzata millimetrica; moderatamente addensata.
				10		4) SDi < 9.50 9.55								
				11										
				12										
				13										
				14										
				15										
				16										
				17										
				18		5) SDi < 17.50 17.70								
				19										
				20										
101													20.0	



Riferimento: Stabilità del muro di confine con l'immobile in via Giacomo Folchi, n.8	Sondaggio: S2
Località: S.Camillo Forlanini - via Folchi	Quota: 41 m
Impresa esecutrice: Geotek s.r.l.	Data: 31/10 - 06/11/2018
Coordinate:	Redattore: Geol. Gianluca Paolucci
Perforazione: Rotazione aste e carotiere semplice	



OPERA PERIGIS/DOC/20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.125527

Copia conforme all'originale pag.58 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Riferimento: Stabilità del muro di confine con l'immobile in via Giacomo Folchi, n.8	Sondaggio: S2
Località: S.Camillo Forlanini - via Folchi	Quota: 41 m
Impresa esecutrice: Geotek s.r.l.	Data: 31/10 - 06/11/2018
Coordinate:	Redattore: Geol. Gianluca Paolucci
Perforazione: Rotazione aste e carotiere semplice	

Ø mm	R v	A r	S s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	
											S.P.T.	N				
														24.1		
					25			3								Piroclastite di colore marrone rossiccio - aranciato prevalentemente litoide generalmente compatta, da fratturata a molto fratturata, con intercalazioni terrose alterate; presenza di scorie eterometriche (gialle, arancio e grigio-nere), litici lavici, minerali femici cristallini; tracce di ossidazione sulle superfici delle fratture; a luoghi i livelli litoidi risultano più vacuolari. Da addensata a litoide
					26			5								
					27			3						27.0		Sabbia fine limosa ed argillosa da avana giallastra a verdastra con concrezioni carbonatiche ed arenacee centimetriche, tracce di ossidazione rossiccia; addensata. Intercalazione limo-argillosa consistente tra 24.7 e 25.0 m dal p.c..
					28											
					29									28.5		Sabbia grossolana da grigia a marrone scuro, con occorrenza di ghiaia eterometrica ed eterogenea (anche silicea) con clasti sub centimetrici arrotondati; da addensata a molto addensata.
					30											
					31									31.0		Ghiaia e sabbia avana giallastra debolmente argillosa, clasti eterogenei ed eterometrici, mediamente evoluti, con dimensioni max anche pluricentriche; molto addensata.
					32									32.0		Sabbia fine argillosa grigia; da addensata a molto addensata.
101																



## RAPPORTO TECNICO INDAGINI SISMICHE

### PREMESSA

In data 16/10/2018 nell'area interessata dal muro di contenimento che fa da confine tra la proprietà dell'Azienda Ospedaliera S. Camillo Forlanini e la proprietà al civico n. 8 di via Giacomo Folchi, nel territorio del Municipio Roma M12 di Roma Capitale è stata eseguita un'indagine geofisica finalizzata alla stima della velocità delle onde di taglio dei terreni che costituiscono la locale successione stratigrafica. Sono state eseguite le seguenti tipologie di indagine (ubicazione in allegato):

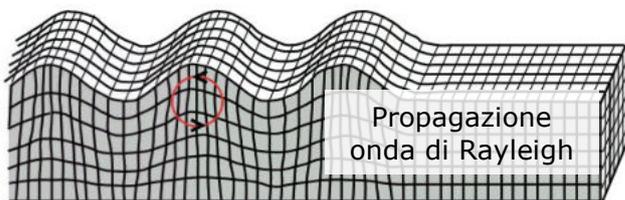
- due stendimenti di indagine di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)
- quattro stazioni di indagine di tipo HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Le prove MASW 1, HV1, HV2, HV3 sono state eseguite a valle del muro mentre le MASW 2 ed HV5 sono state eseguite a monte dello stesso, ad una quota di circa 3 m superiore.

Di seguito si illustrano i risultati delle indagini e le soluzioni proposte.

### INDAGINE SISMICA MASW

Il metodo MASW è una tecnica di indagine sismica che, attraverso la misura delle onde superficiali, consente di individuare la variazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  con la profondità. Le onde superficiali di Rayleigh sono prodotte dall'accoppiamento di un'onda di volume compressiva P con un'onda di taglio polarizzata sul piano verticale SV. Le onde di Rayleigh determinano un moto ellittico sul piano radiale delle particelle.



In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza ed il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. In questo assetto

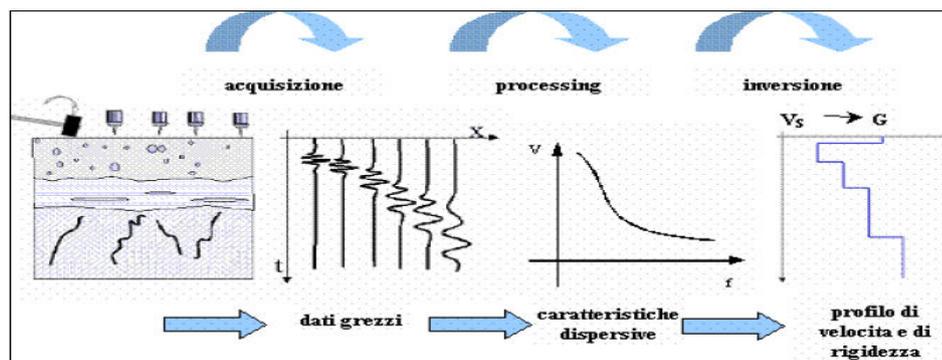
quindi la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda e a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase ( $V_R$ ). Nel caso di mezzi verticalmente eterogeneo (mezzo stratificato) e trasversalmente isotropo, la propagazione avviene in modo differente; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. Quindi la propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente. Questa dipendenza reciproca tra velocità di fase, lunghezza d'onda e frequenza rappresenta la caratteristica *dispersiva* tipica delle onde di Rayleigh e la restituzione grafica di questa relazione intrinseca è la *curva di dispersione* (tale caratteristica non è osservabile nelle onde di volume). Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali può essere suddiviso in tre fasi:



FASE 1) **Acquisizione** ⇒ registrazione e osservazione dei dati sismici grezzi acquisiti in sito in corrispondenza di uno o più array di geofoni installati sulla superficie del suolo i quali registrano il campo d'onda generato da un impulso indotto meccanicamente al suolo

FASE 2) **Processing** ⇒ i dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k (frequenza-numero d'onda). Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh ai cui massimi sono di solito associate la velocità delle onde di Rayleigh, si può dunque ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh  $V_R$ , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:  $V_R(f) = 2\pi f/k$ . Riportando le coppie di valori  $(V_R, f)$  in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione.

FASE 3) **Inversione** ⇒ precedentemente all'inversione viene ipotizzato e parametrizzato un modello del sottosuolo schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica).



Fasi dell'indagine

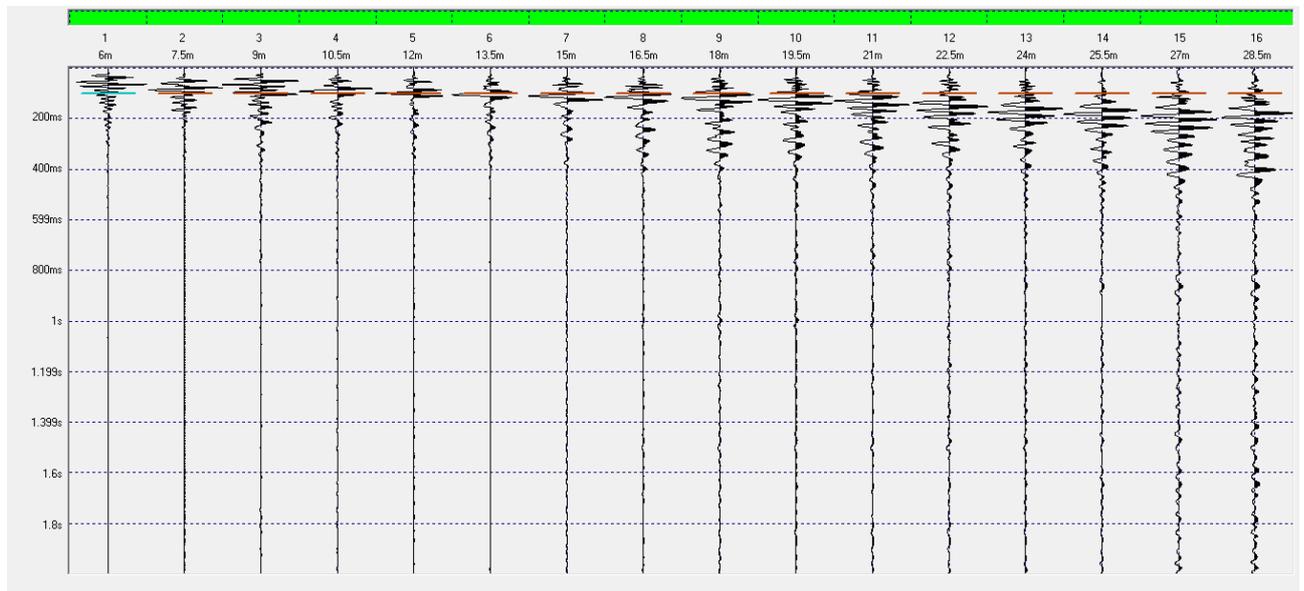
Le registrazioni sono state eseguite attraverso sismografo multicanale DoReMi della SARA Instruments SRL e dotato di 16 geofoni aventi periodo proprio di 4.5 Hz per la registrazione del campo d'onda, di un geofono starter accoppiato al circuito trigger del sismografo e di una massa di 8 kg per indurre, mediante battuta su piastra in teflon, il campo d'onda da analizzare.

Di seguito i sismogrammi di acquisizione e le curve di dispersione delle MASW.



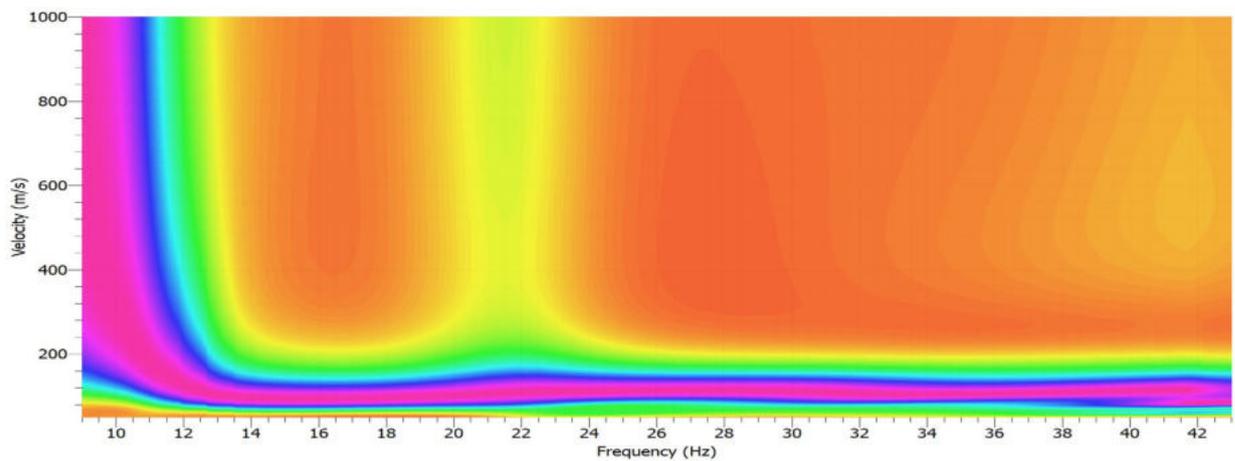
## RISULTATI MASW1

n. geofoni	Periodo proprio geofoni (Hz)	Distanza intergeofonica (m)	Offset (m)
16	4.5	1.5	6



Sismogramma d'acquisizione

Shot at (-6, 0.2, 0), time=2018-11-22 00:00:00

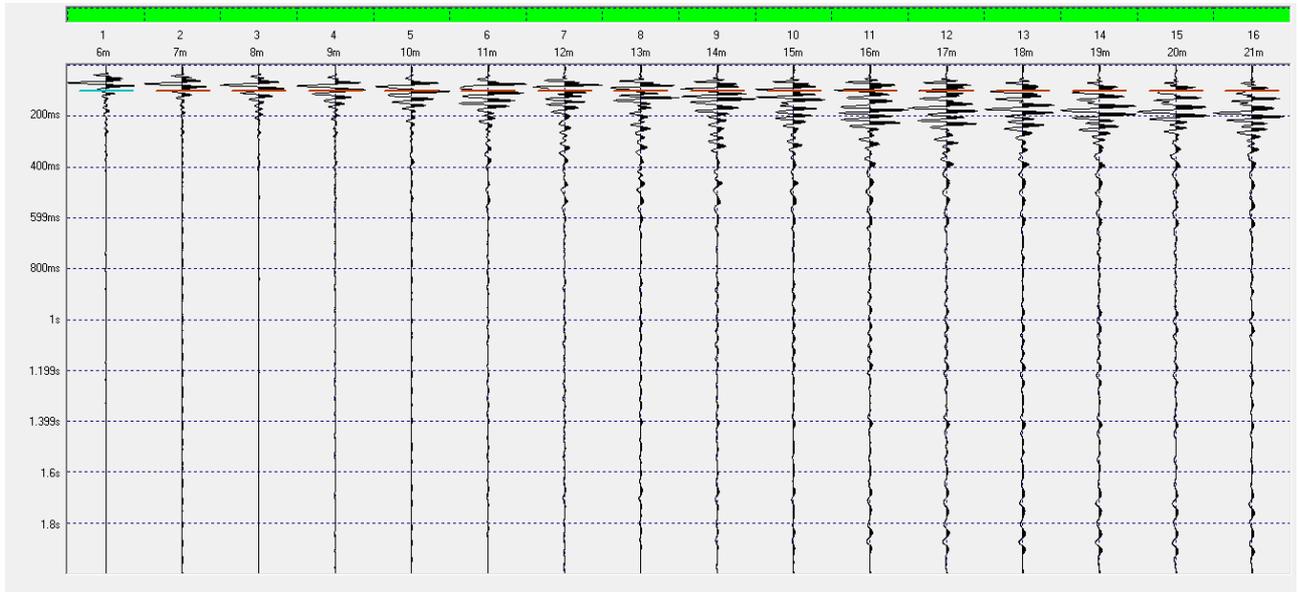


Spettro di velocità



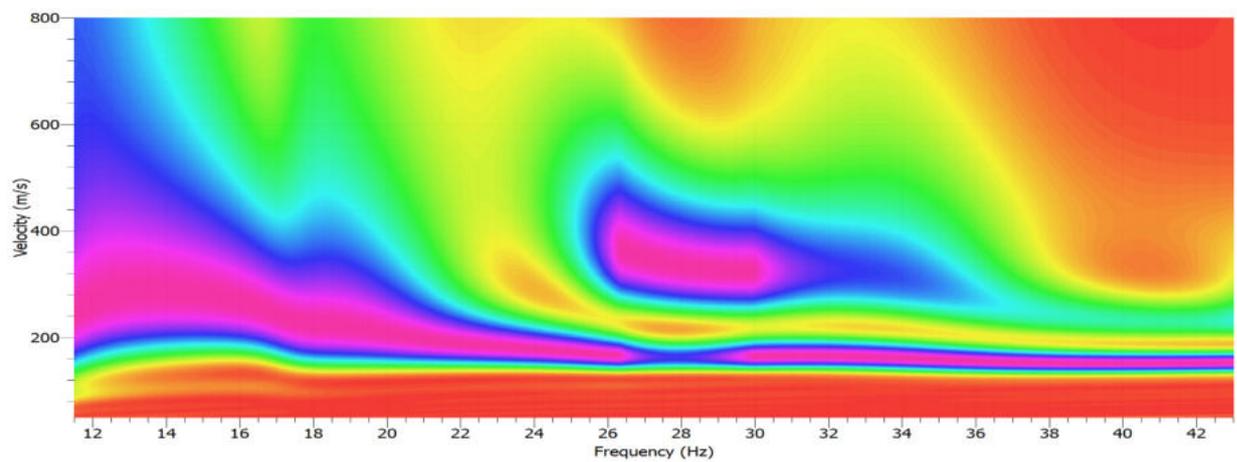
## RISULTATI MASW2

n. geofoni	Periodo proprio geofoni (Hz)	Distanza intergeofonica (m)	Offset (m)
16	4.5	1.0	6



Sismogramma d'acquisizione

Shot at (-6, 0, 0), time=2018-11-21 00:00:00



Spettro di velocità

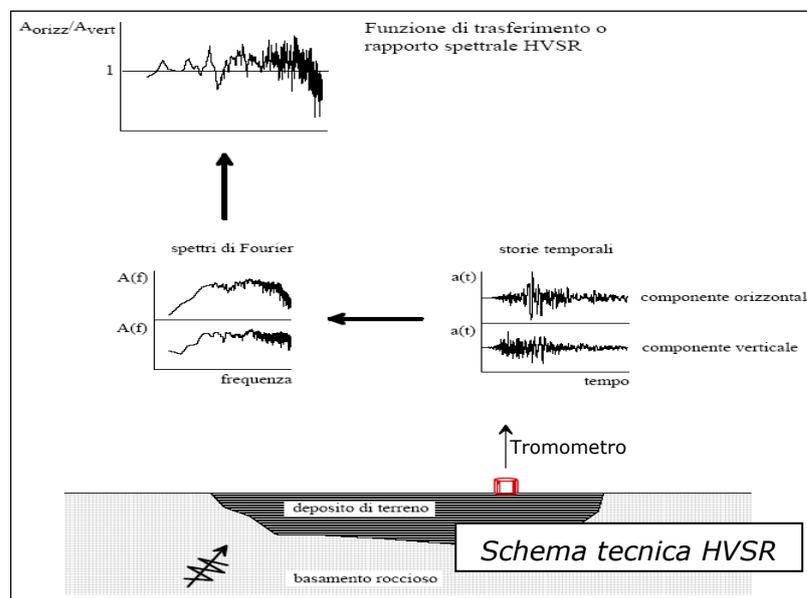


## INDAGINE SISMICA HVSR

La tecnica utilizzata sfrutta la misura del rumore sismico, generato da sorgenti naturali e/o antropiche, per la definizione del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto del suolo (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, HVSR, H/V) mediante il metodo proposto da Nakamura. Questa procedura è in grado di determinare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo a basse deformazioni, che corrisponde al picco maggiore dei rapporti spettrali tra la componente verticale e le componenti orizzontali del rumore sismico. La natura e forma dei picchi H/V è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore sismico e dipendente, in parte, dalle caratteristiche di contrasto di impedenza sismica della locale successione stratigrafica. In questo caso un'onda riflessa dalla superficie di contrasto interagisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo l'ampiezza massima (condizione di risonanza) quando la lunghezza d'onda incidente è quattro volte (o suoi multipli dispari) la profondità H del rifrattore. Per due strati a contrasto di impedenza sismica significativa si avrà:

$$f_r = V_{S1}/4H \quad \text{dove } f_r = \text{frequenza fondamentale di risonanza;} \\ V_{S1} = \text{velocità delle onde di taglio nel sismostrato superiore} \\ H = \text{spessore del sismostrato superiore}$$

Quanto esposto non si applica in modo lineare ad un modello a più strati sovrapposti; ciò significa che la curva H/V contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (quindi alle  $V_s$  ed allo spessore) di ciascun strato ma non è interpretabile con l'equazione precedente. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici in casi reali, utilizza la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli sintetici, cioè con quelli calcolati assumendo un campo di tremore con sorgenti puntuali distanti posizionate casualmente sulla superficie ed un campo d'onde che si propagano in un mezzo stratificato 1-D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati sintetici approssimano i dati misurati. Tale procedura permette di ottenere un modello sismo-stratigrafico dell'andamento delle  $V_s$  con la profondità.



Le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con il tromografo digitale *Tromino*<sup>®</sup> prodotto e distribuito dalla *Micromed S.p.A.*. Si tratta di un apparecchio compatto dotato di tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro (E-W, N-S, z) ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 512 Hz la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit. Lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse (norma DIN 4150) e memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico od elettronico.



Avendo il rumore sismico un andamento molto irregolare e mostrando dunque una natura essenzialmente stocastica la registrazione, nelle sue tre componenti, è stata protratta per un intervallo di tempo sufficientemente lungo da permettere la successiva analisi statistica delle proprietà medie del segnale acquisito.

I dati vengono convertiti in *file ASCII* mediante *software Grilla®*, fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. I singoli segnali sono corretti per la linea di base (sottraendo a ciascun punto la media effettuata sull'intera traccia) e da andamenti anomali (sottraendo la retta della regressione lineare effettuata su tutti i punti della traccia). Successivamente il software divide il tracciato acquisito in intervalli della durata di alcune decine di secondi all'interno dei quali calcola la trasformata di Fourier, la media delle componenti orizzontali (media quadratica) ed il relativo rapporto spettrale HVSR di ogni frequenza. La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra restituita rispetto le frequenze (curva H/V-f).

Per poter considerare la misura ottenuta una stima delle proprietà medie del campo del rumore sismico, i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente devono essere *stabili* (stazionarietà nel tempo dei rapporti H/V), non vi devono essere sorgenti *dominati* (assenza di direzionalità del segnale) e la misura non deve contenere errori sistematici. Un'ulteriore analisi della qualità del segnale è condotta attraverso i criteri indicati dal progetto SESAME (Linee guida Dicembre 2004)

La curva H/V-f ottenuta viene restituita con il relativo intervallo di confidenza e consente di determinare la *frequenza fondamentale di risonanza* del sottosuolo a basse deformazioni. Di seguito i risultati dell'indagine HVSR.

Per i criteri di validazione SESAME è utilizzato il seguente simbolismo.

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza 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 $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



RISULTATI HVSR1-VIA FOLCHI, F1

file VIA FOLCHI, F1

Strumento: TRZ-0055/01-09

Inizio registrazione: 16/10/18 09:01:14

Fine registrazione: 16/10/18 09:21:15

Nomi canali: N S; E W; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 97% tracciato

Freq. campionamento: 128 Hz

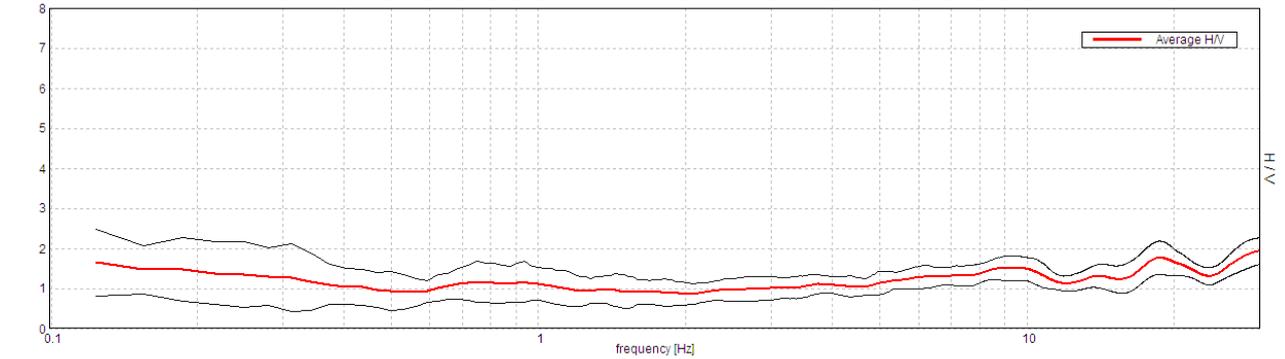
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

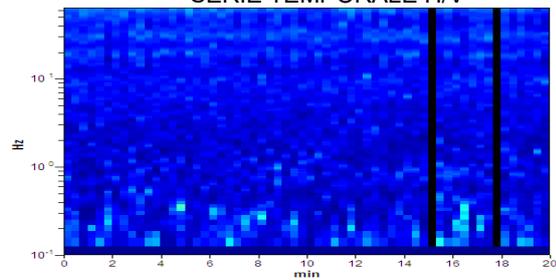
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE H/V

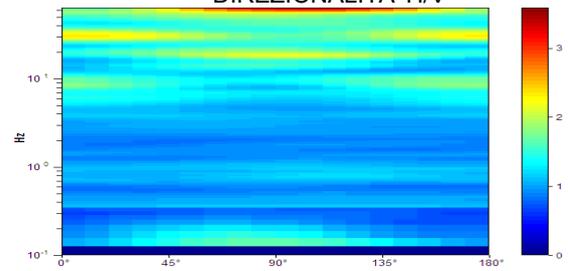
Picco H/V a 29.97 ± 2.42 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

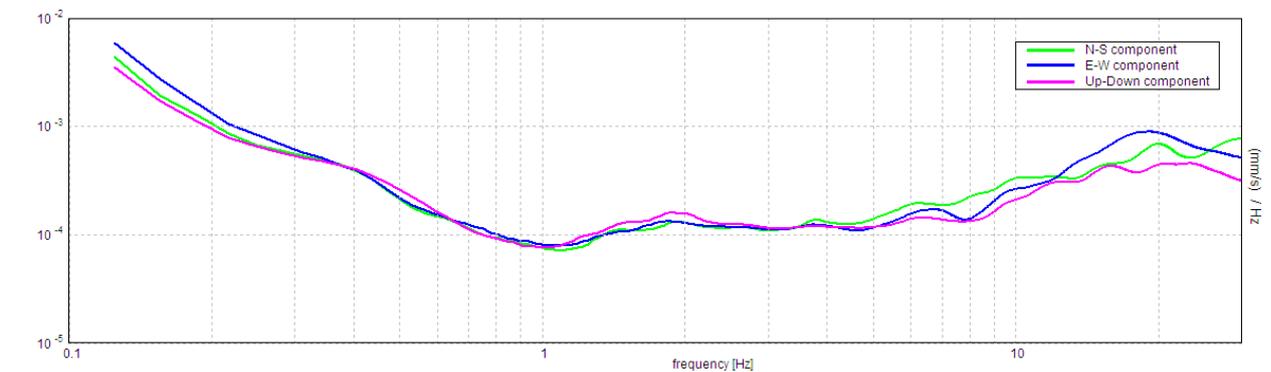


tabella criteri di validazione SESAME (2005)			
Picco H/V a 29.97 ± 2.42 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	29.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	34763.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ 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 1440	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.93 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03998  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.19824 < 1.49844	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1637 < 1.58	OK	

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.66 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)



RISULTATI HVSR2- VIA FOLCHI, F2

file VIA FOLCHI, 2

Strumento: TRZ-0055/01-09

Inizio registrazione: 16/10/18 09:33:39

Fine registrazione: 16/10/18 09:53:40

Nomi canali: N S; E W; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 93% tracciato

Freq. campionamento: 128 Hz

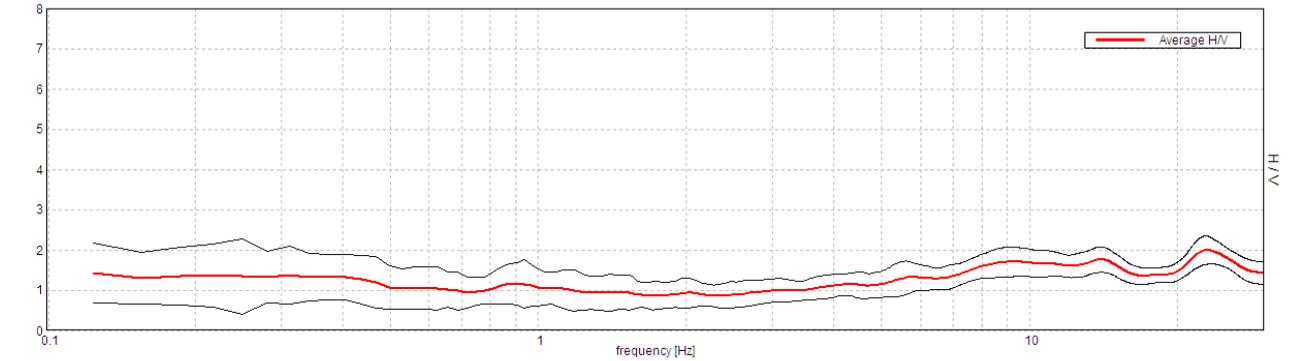
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

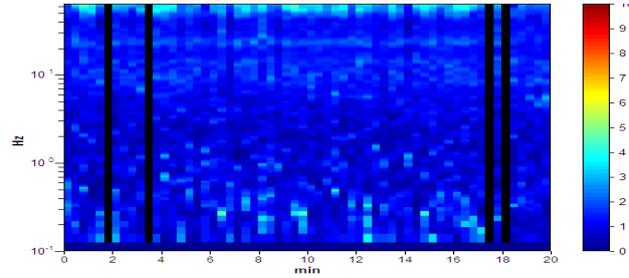
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE H/V

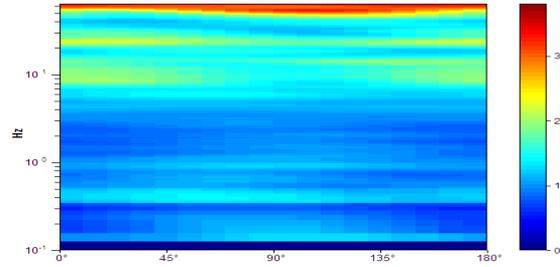
Picco H/V a 22.97 ± 1.42 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

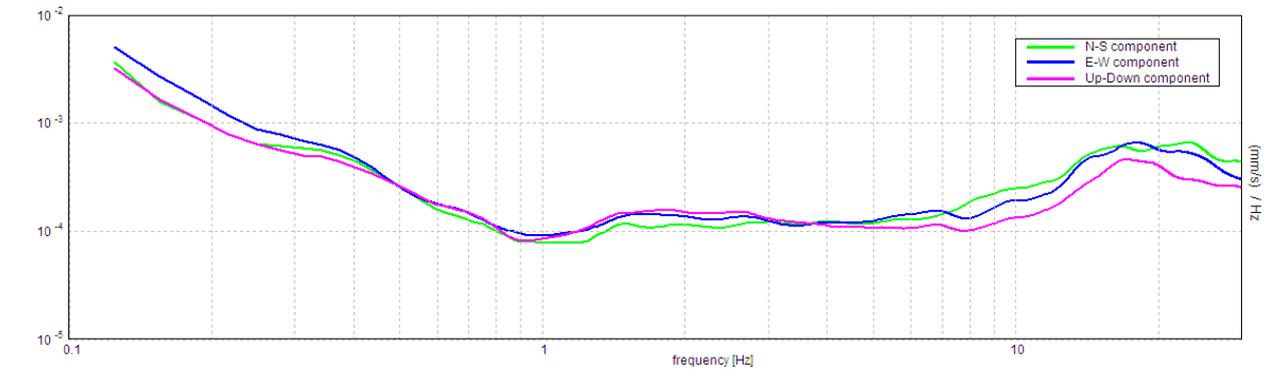


tabella criteri di validazione SESAME (2005)			
Picco H/V a 22.97 ± 1.42 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	22.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	25725.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ 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 1104	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.99 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03046  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.6996 < 1.14844	OK	
$\sigma_A(f_0) < 0(f_0)$	0.1728 < 1.58	OK	



RISULTATI HVSR3- VIA FOLCHI, F3

file VIA FOLCHI, F3

Strumento: TRZ-0055/01-09

Inizio registrazione: 16/10/18 10:15:44

Fine registrazione: 16/10/18 10:35:45

Nomi canali: N S; E W; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzata intera traccia

Freq. campionamento: 128 Hz

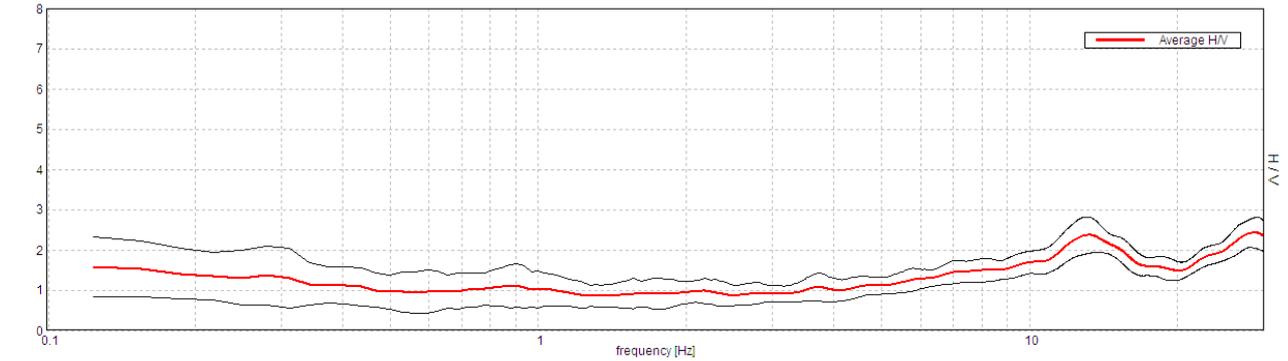
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

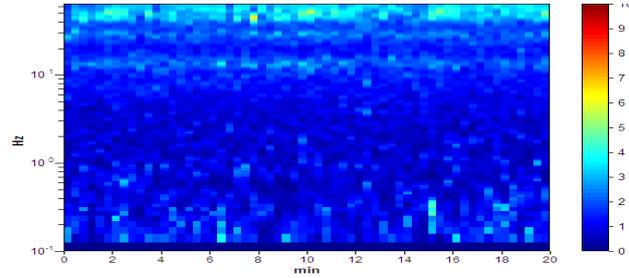
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE H/V

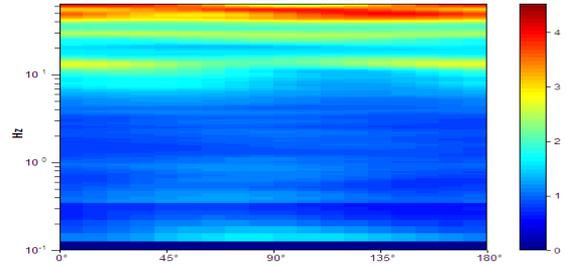
Picco H/V a 28.75 ± 1.9 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

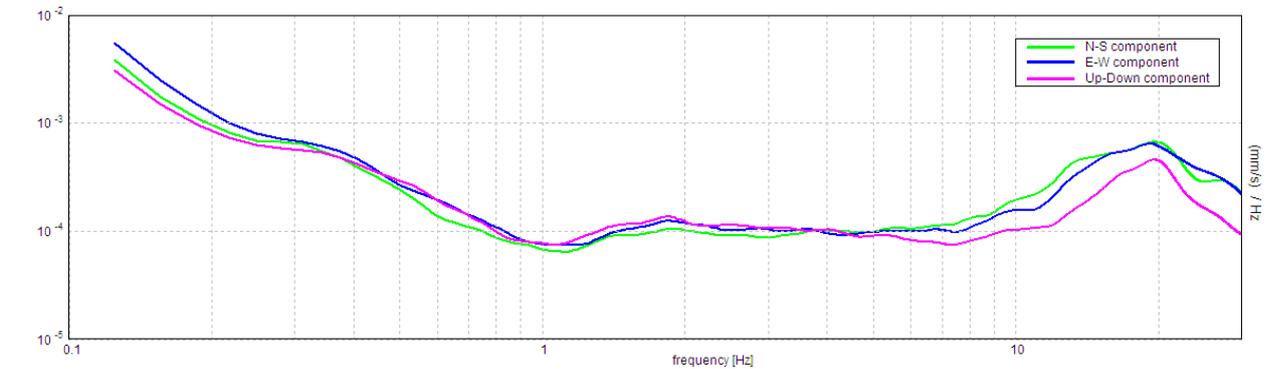


tabella criteri di validazione SESAME (2005)			
Picco H/V a 28.75 ± 1.9 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	28.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	34500.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ 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 1381	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.42 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0327  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.94014 < 1.4375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < 0(f_0)$	$0.1897 < 1.58$	OK	



RISULTATI HVSR4- VIA FOLCHI, F5

file VIA FOLCHI, F5

Strumento: TRZ-0055/01-09

Inizio registrazione: 16/10/18 12:55:04

Fine registrazione: 16/10/18 13:15:05

Nomi canali: N S; E W; UP DOWN Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 97% tracciato

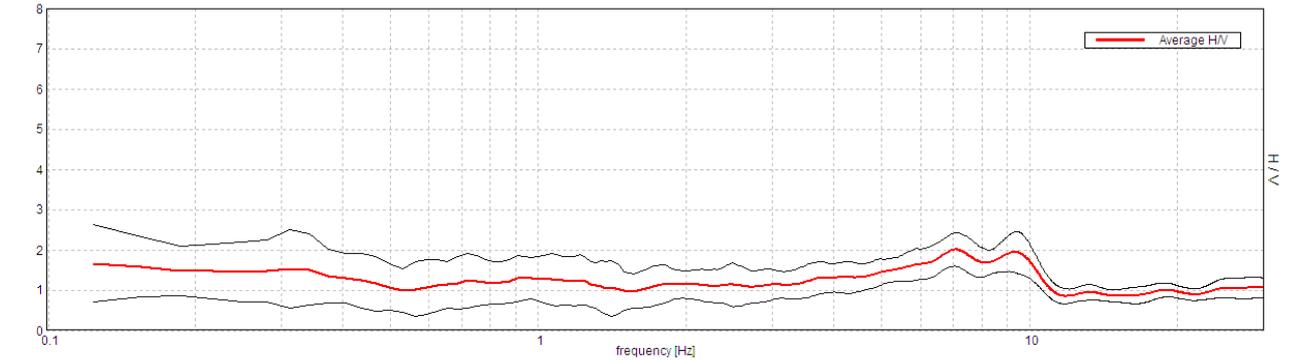
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

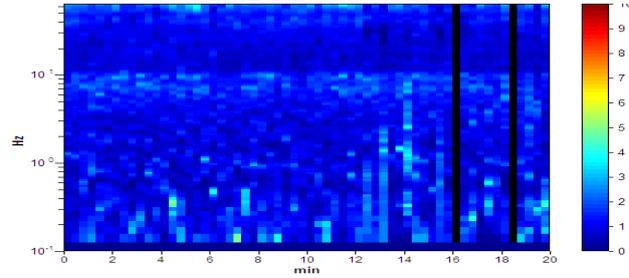
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE H/V

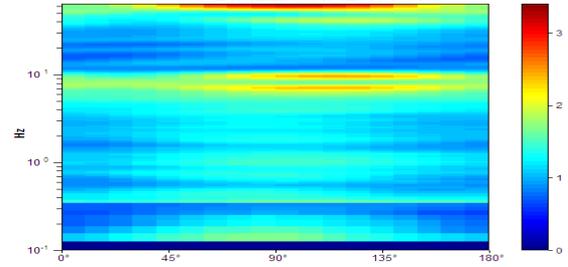
Picco H/V a 7.09 ± 0.29 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

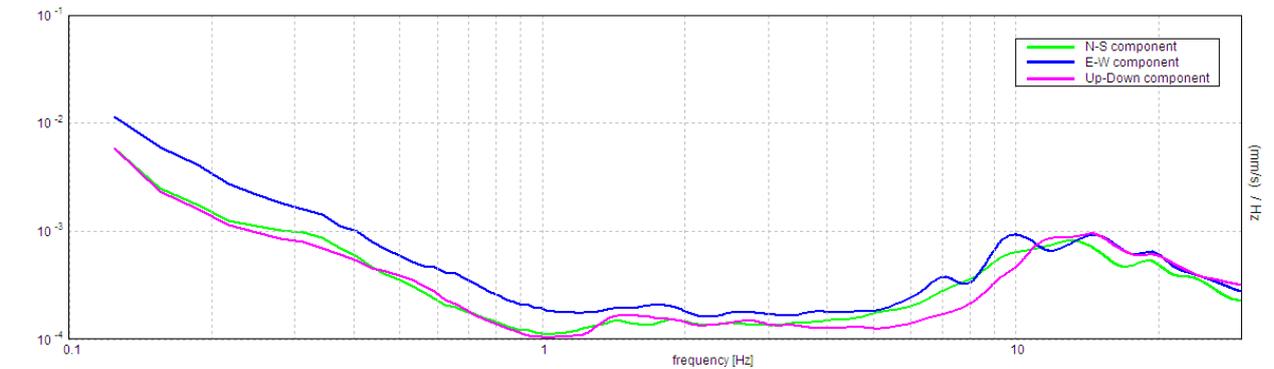
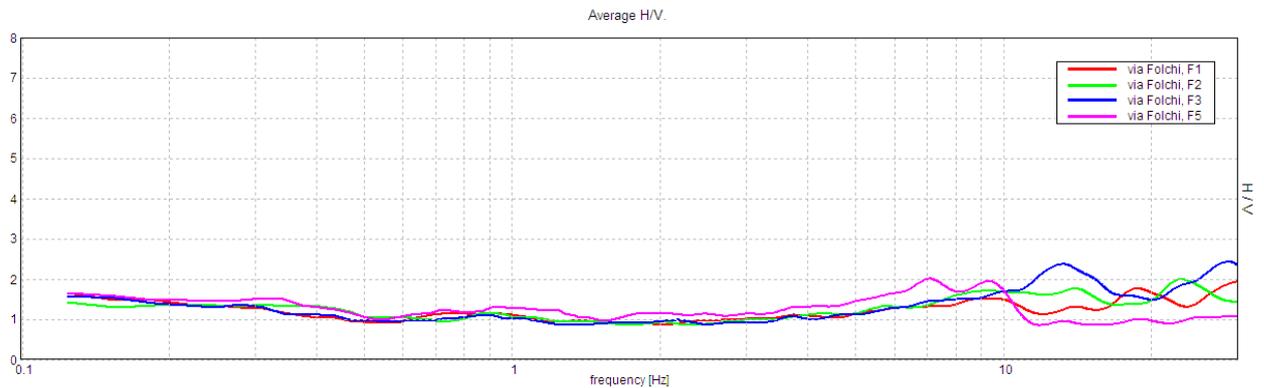


tabella criteri di validazione SESAME (2005)			
Picco H/V a 7.09 ± 0.29 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	7.09 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	8228.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 342	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	11.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.01 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.02034  < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.14429 < 0.35469	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2067 < 1.58	OK	



### CONFRONTO TRA I RAPPORTI SPETTRALI

Di seguito il confronto tra i rapporti spettrali delle prove HVSR utile alla definizione delle principali frequenze amplificate nel sito.



Le curve H/V 1, 2 e 3 (F1, F2 ed F3) si presentano sovrapponibili per frequenze inferiori ai 10 Hz, mostrando una modesta amplificazione intorno alla frequenza di 10 Hz.

La curva H/V 4 (F5), che rappresenta la curva di riferimento per il presente lavoro ed è stata registrata ad una quota superiore di circa 3 m rispetto alle altre, evidenzia un'amplificazione più marcata nell'intervallo di frequenze 6-10 Hz.

A frequenze maggiori F1 mostra un intervallo di amplificazione tra 17 e 21 Hz, la F2 si sposta a frequenze tra 21 e 25 Hz e la F3 presenta due intervalli di amplificazione negli intervalli 12-15 Hz e 25-33 Hz.

In definitiva le curve sono confrontabili evidenziando variazioni dovute a differenza di quota tra le postazioni di misura.

I campi di frequenze amplificati dal sito alle basse deformazione sono da riferire alle quote del piano campagna in corrispondenza delle postazioni delle HVSR.



## INVERSIONE CONGIUNTA

Il modello sismostratigrafico del sottosuolo è stato ottenuto mediante inversione congiunta dei risultati ottenuti dalle due indagini sismiche. Tale analisi consente di rafforzare i risultati di una singola prova e/o di estendere a profondità maggiori i dati acquisiti mediante la tecnica di indagine MASW con particolare riferimento alle circostanze in cui, per motivi di spazio disponibile, tale indagine non consente di raggiungere profondità utili allo scopo prefissato. La curva di dispersione dell'indagine MASW da implementare nell'inversione congiunta è stata ottenuta mediante processing dei dati acquisiti eseguito con il software GEOPSY (<http://www.geopsy.org/download.php>) sviluppato nell'ambito del processo SESAME. Il calcolo della curva di dispersione è effettuato mediante analisi F-V<sub>R</sub> realizzando spettri consequenziali f-v<sub>R</sub> a diversi intervalli di frequenza e reiterando il calcolo per tutti i range contenuti nei segnali acquisiti. La curva di dispersione viene ricavata dallo spettro selezionando i valori di frequenza e velocità di fase ai quali è associata l'energia maggiore. Il rapporto spettrale dell'indagine HVSR da implementare nell'inversione congiunta è stato ottenuto mediante processing dei dati acquisiti eseguito con il software GEOPSY (<http://www.geopsy.org/download.php>) sviluppato nell'ambito del processo SESAME.

L'inversione congiunta è stata eseguita mediante l'applicazione DINVER implementata nel software GEOPSY la quale utilizza l'algoritmo *neighbourhood* (Sambridge et al 1999; Wathelet 2005) basato sulla schematizzazione del sottosuolo attraverso l'assegnazione di campi di variazione di spessore e valore dei seguenti parametri V<sub>S</sub>, V<sub>P</sub>, densità, modulo di Poisson. Successivamente l'algoritmo genera diversi modelli per ognuno dei quali è calcolata una curva di dispersione sintetica e una curva di ellitticità sintetica; le curve sintetiche ottenute vengono confrontate con quelle sperimentali e viene definita la funzione d'errore. L'algoritmo progressivamente minimizza il valore della funzione d'errore ripetendo l'analisi nel campo in cui la differenza tra il modello ed i dati sperimentali sono minori. In questo processo il *misfit* rappresenta la funzione d'errore data da:

$$\text{misfit} = \sqrt{\sum_{t=1}^N \frac{(x_{dt} - x_{ct})^2}{\sigma_t^2 N}}$$

dove:  $x_{dt}$  velocità della curva dati alla frequenza  $f_t$ ;  $x_{ct}$  velocità della curva del modello alla frequenza  $f_t$ ;  $\sigma_t$  incertezza del campione di frequenza considerato;  $N$  numero di campioni.

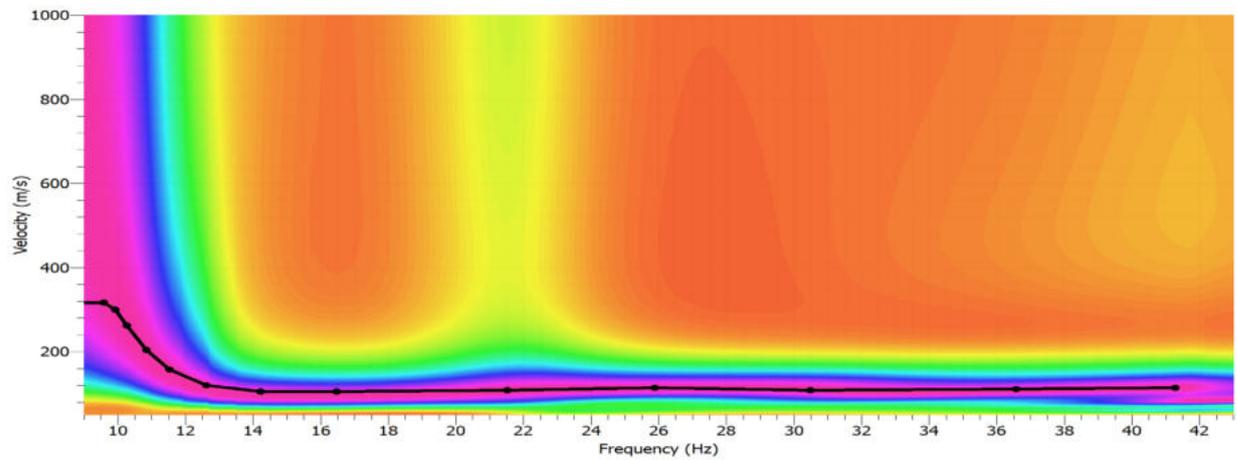
Ai diversi modelli calcolati corrispondono altrettanti profili V<sub>S</sub>-profondità ciascuno con un suo valore di misfit; al misfit minore corrisponderà il profilo V<sub>S</sub>-profondità che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione/ellitticità misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione/ellitticità sintetica).

Il processo precedentemente descritto è stato vincolato all'analisi iniziale dell'indagine MASW che ha permesso di definire un range di coppie velocità-profondità associato al misfit minore. Tale processo consente di assegnare il giusto peso alle due tipologie di indagine (MASW, HVSR) in relazione alla profondità considerata. Nell'elaborazione congiunta/vincolata è stato quindi ridotto il grado di libertà dell'analisi in corrispondenza della porzione più superficiale indagata attraverso l'indagine MASW e le indagini geognostiche. In questo quadro alle alte frequenze possono essere restituiti misfit elevati per le soluzioni delle HVSR in virtù del maggior peso assegnato alla soluzione ottenuta dalle MASW. Di seguito le soluzioni proposte. Le HVSR utilizzate nell'inversione vincolata sono quelle realizzate in corrispondenza delle rispettive prove MASW.

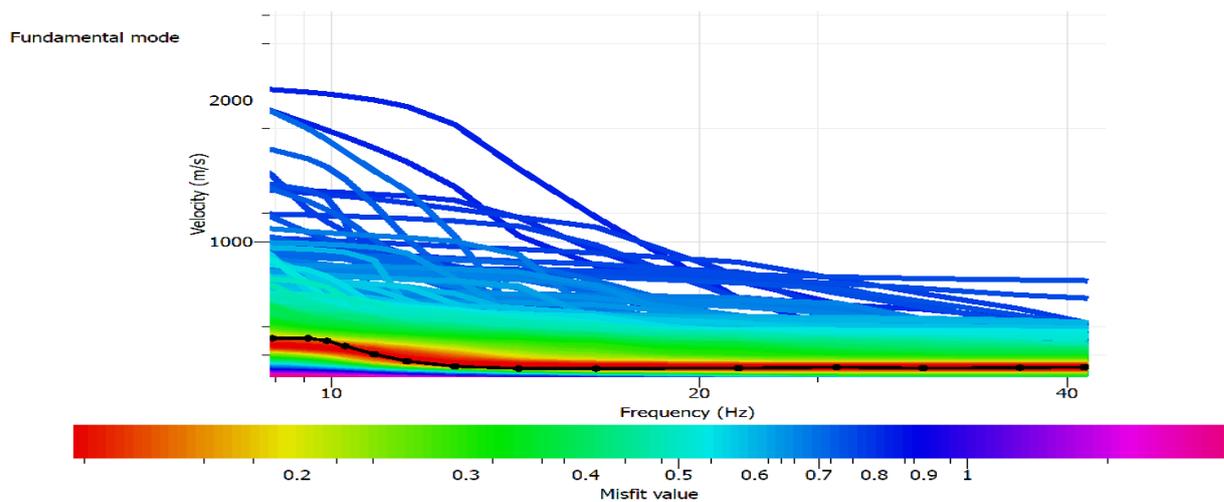


## SOLUZIONE MASW1/HV3

Shot at (-6, 0.2, 0), time=2018-11-22 00:00:00

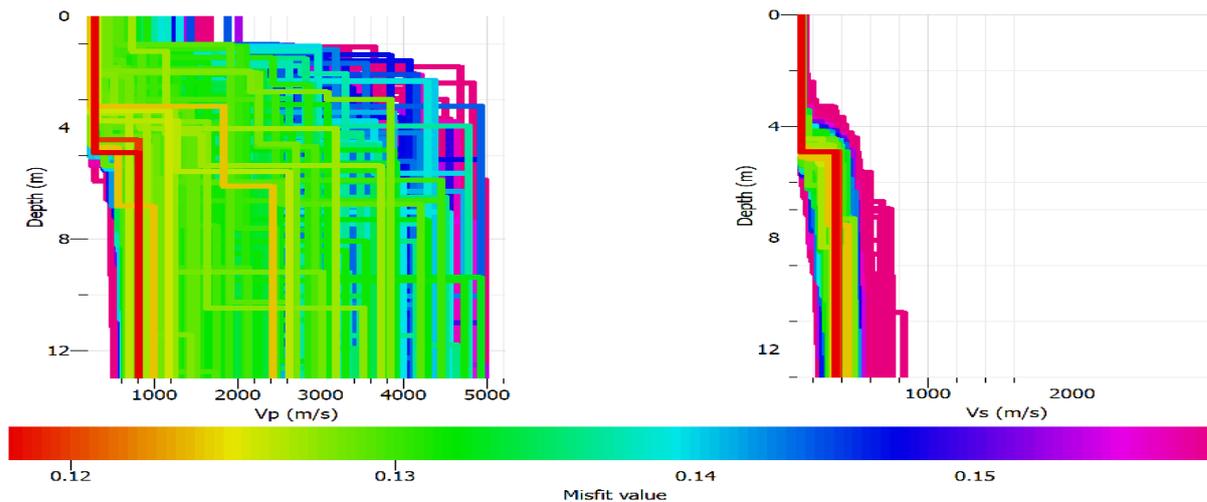


Spettro di velocità e curva di dispersione sperimentale (in nero) dell'indagine MASW

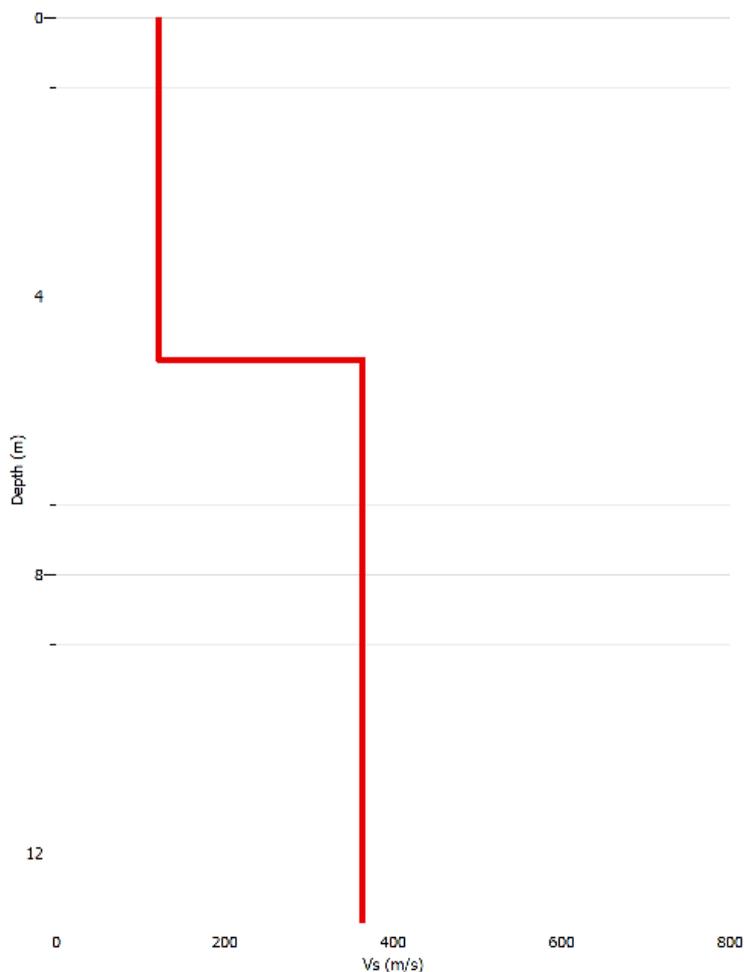


Curve di dispersione prodotte nel processo d'inversione confrontate con la curva di dispersione sperimentale (in nero). La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato





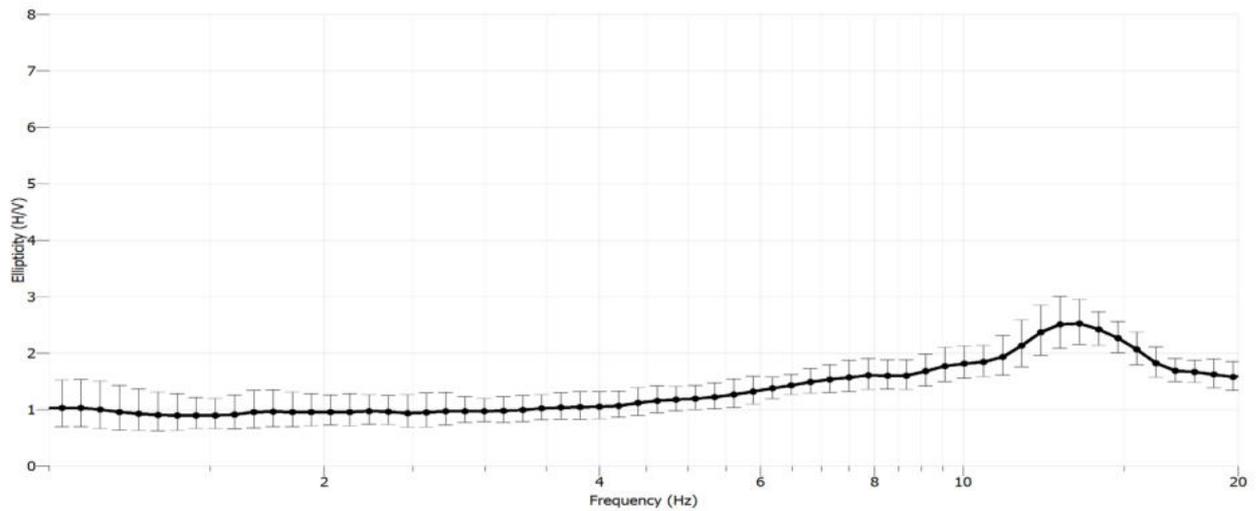
Risultati del processo d'inversione per le  $V_p$  e  $V_s$ . La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato.



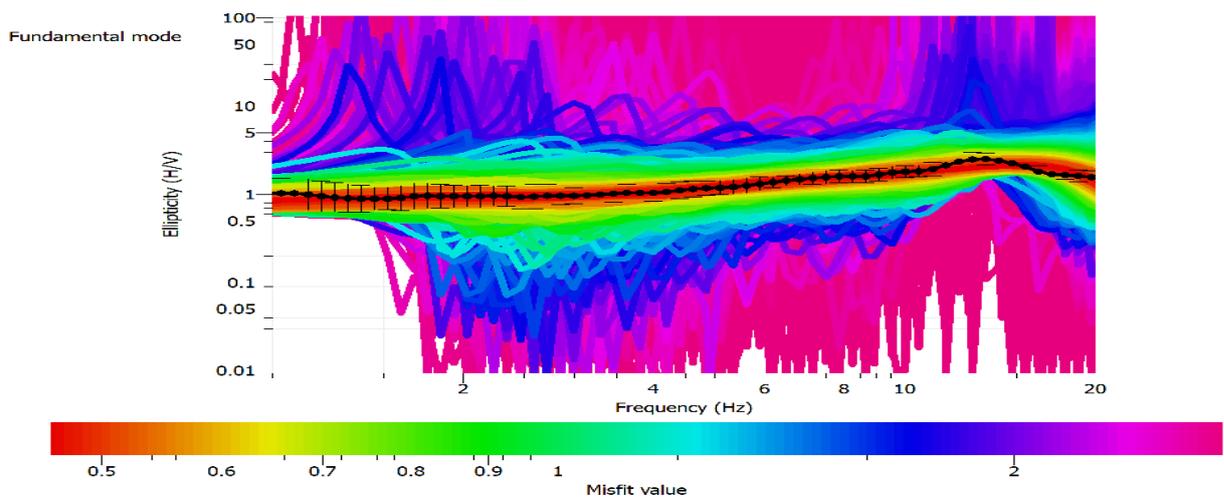
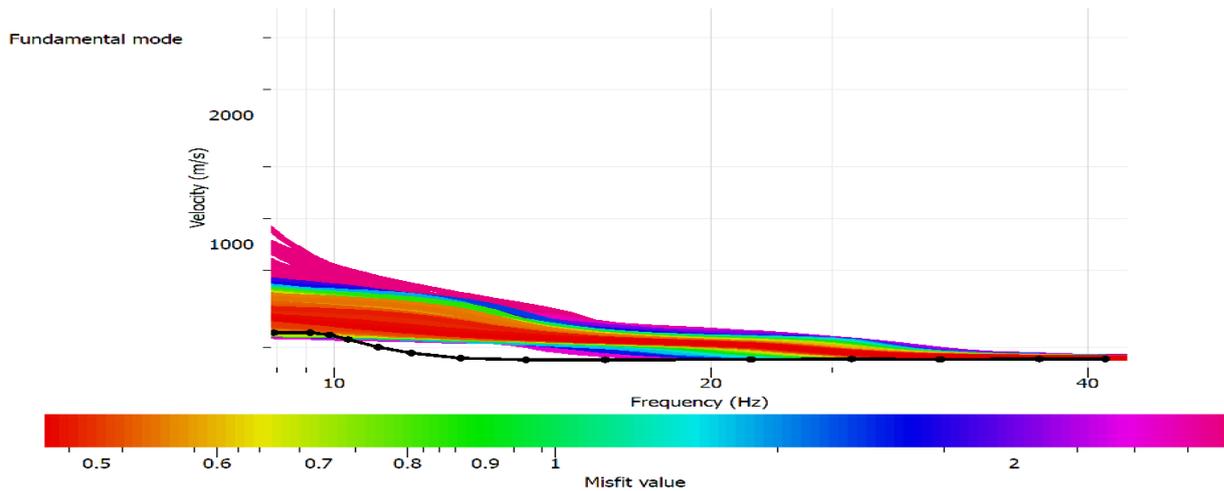
MASW1	
Profondità (m)	$V_s$ (m/s)
0.0-4.8	127
4.8-13	364

Profili di velocità con misfit minore ottenuto dai processi d'inversione.



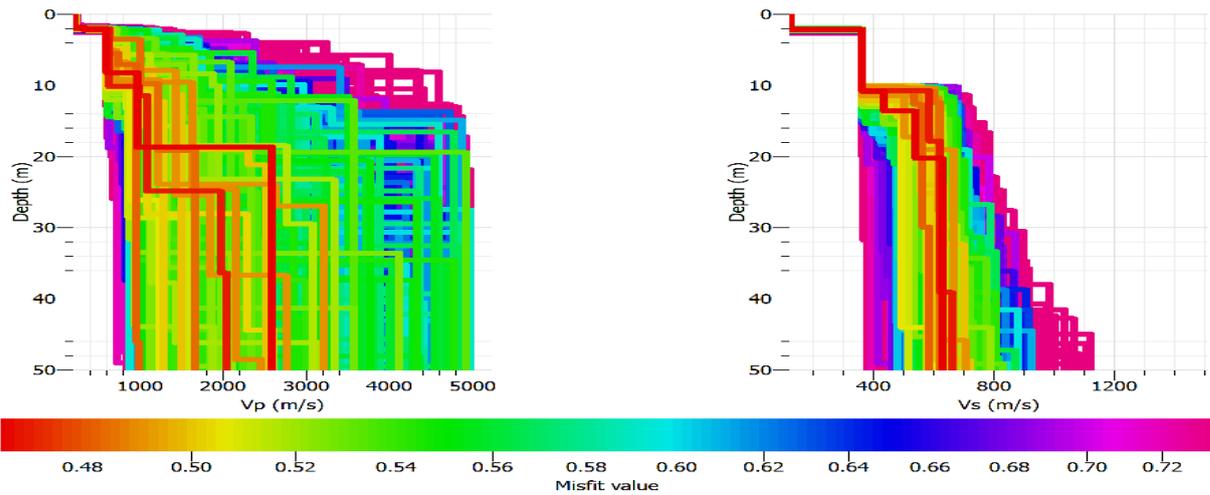


### Rapporti spettrali sperimentali della prova HVSR 5 implementati nell'analisi congiunta/vincolata

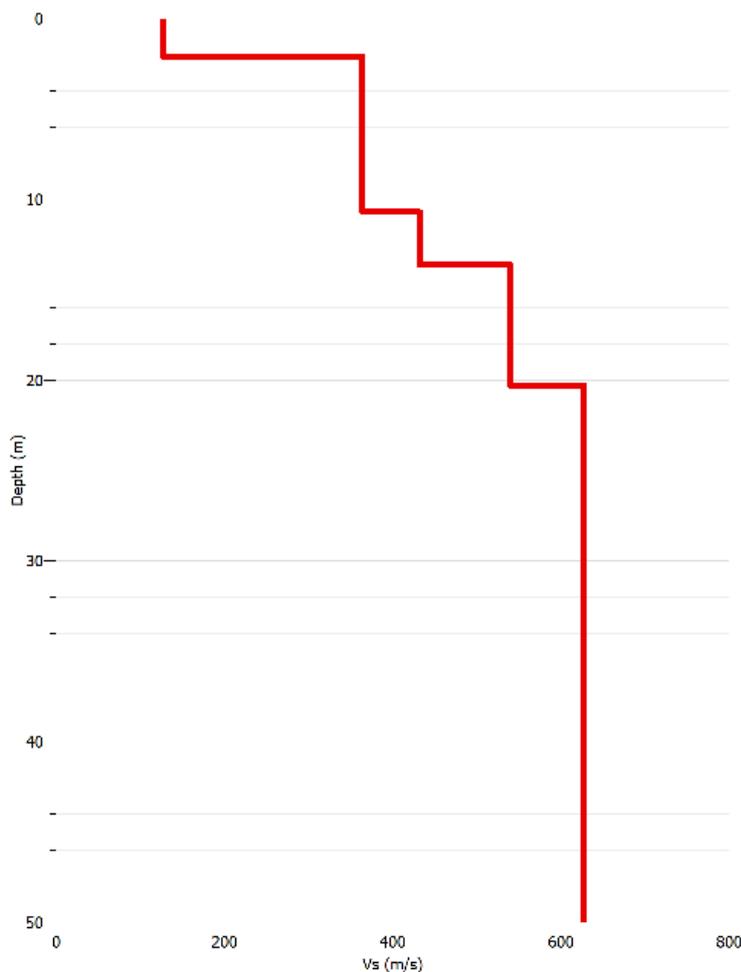


Curve di dispersione e di rapporto spettrale prodotte nel processo d'inversione congiunta/vincolata confrontate con le curve sperimentali (in nero). La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato





Risultati del processo d'inversione congiunta vincolata. La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato



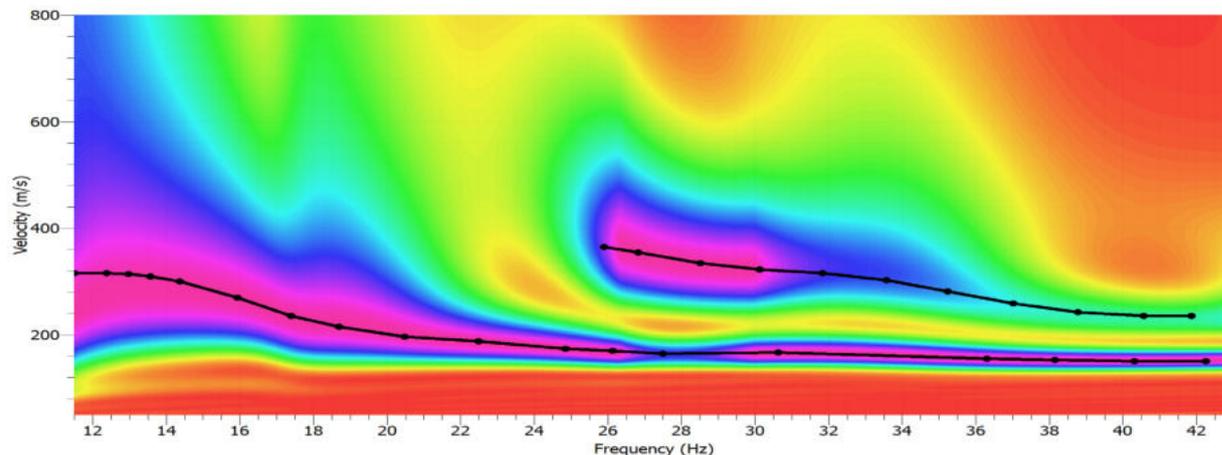
MASW1/HV3	
Profondità (m)	VS (m/s)
0.0-2.1	127
2.1-10.7	364
10.7-13.6	432
13.6-20.3	540
20.3-50.0	628

Profilo di velocità con misfit minore ottenuto dall'inversione congiunta/vincolata

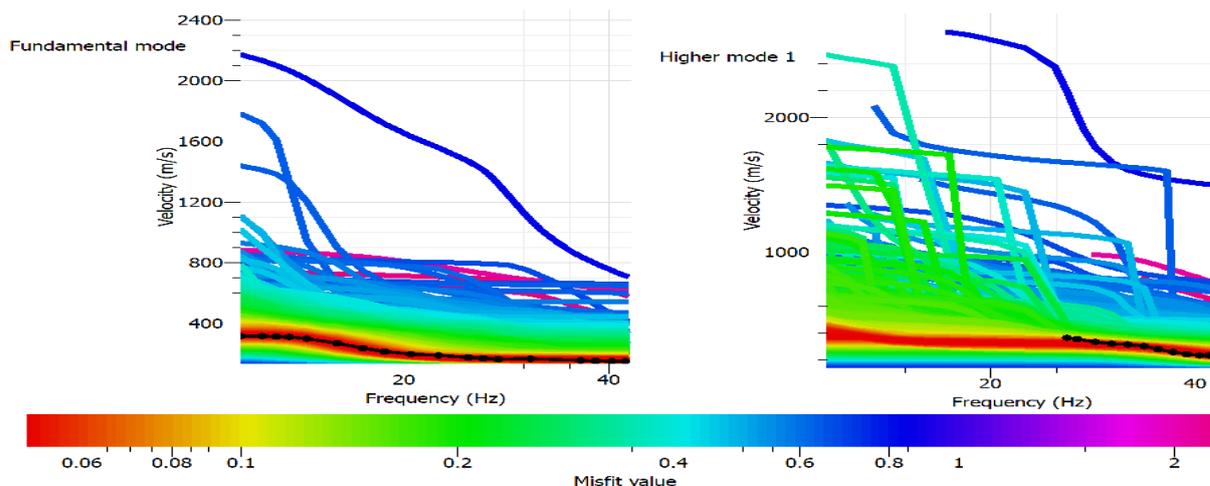


## SOLUZIONE MASW2/HV4

Shot at (-6, 0, 0), time=2018-11-21 00:00:00

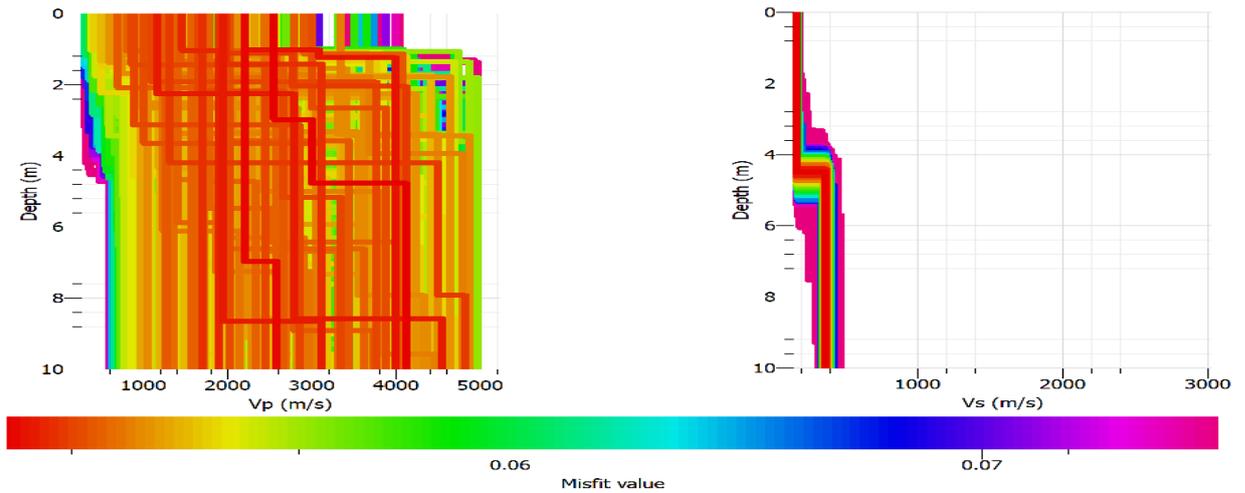


Spettro di velocità e curva di dispersione sperimentale (in nero) dell'indagine MASW

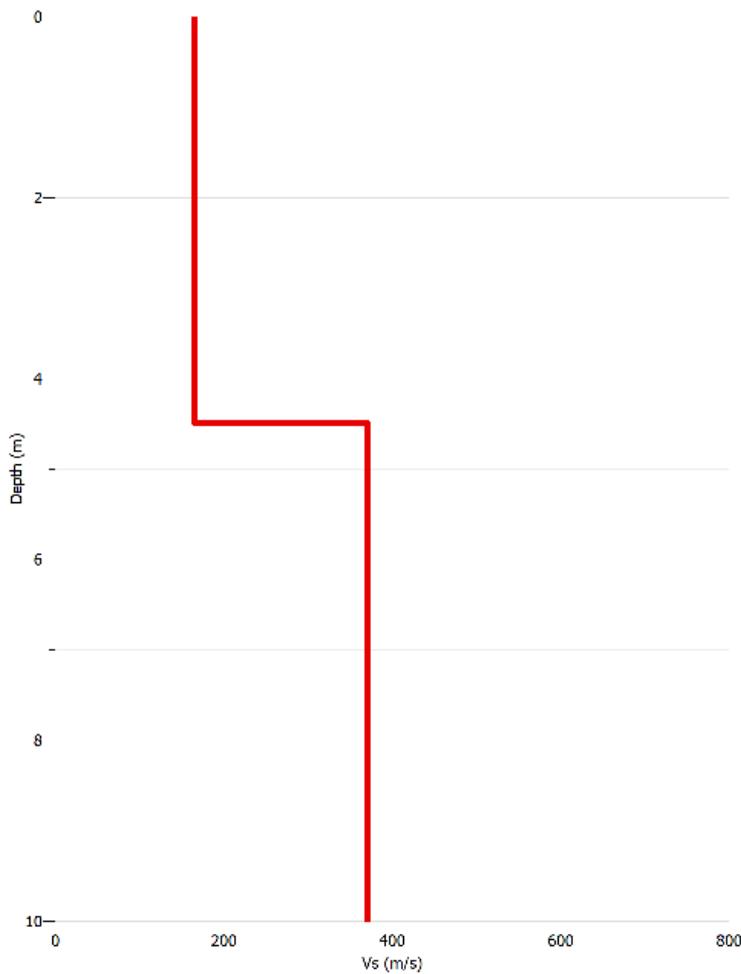


Curve di dispersione prodotte nel processo d'inversione confrontate con le curva di dispersione sperimentale (in nero). La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato





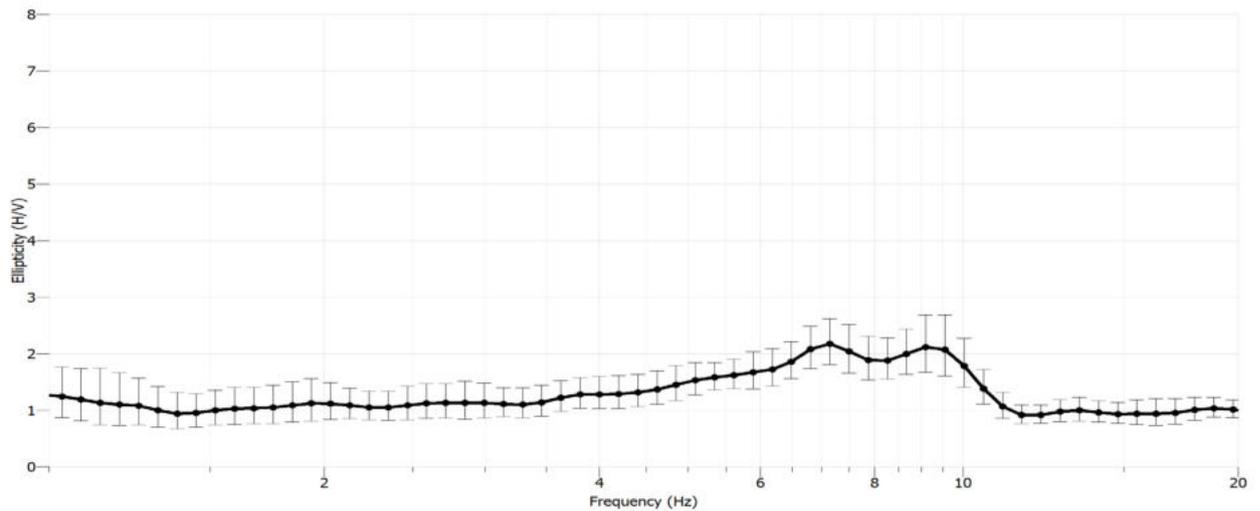
Risultati del processo d'inversione per le  $V_p$  e le  $V_s$ . La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato.



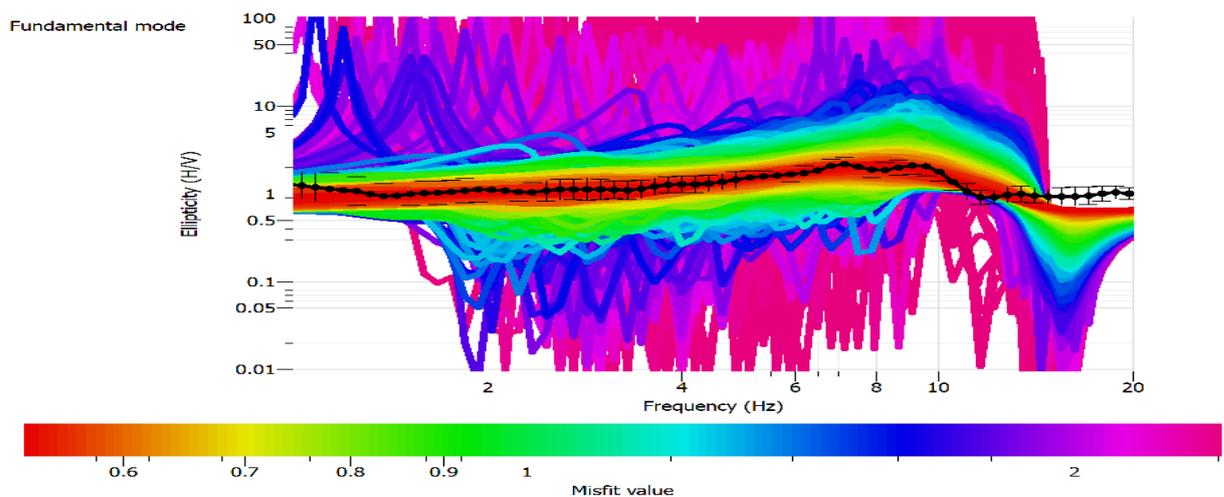
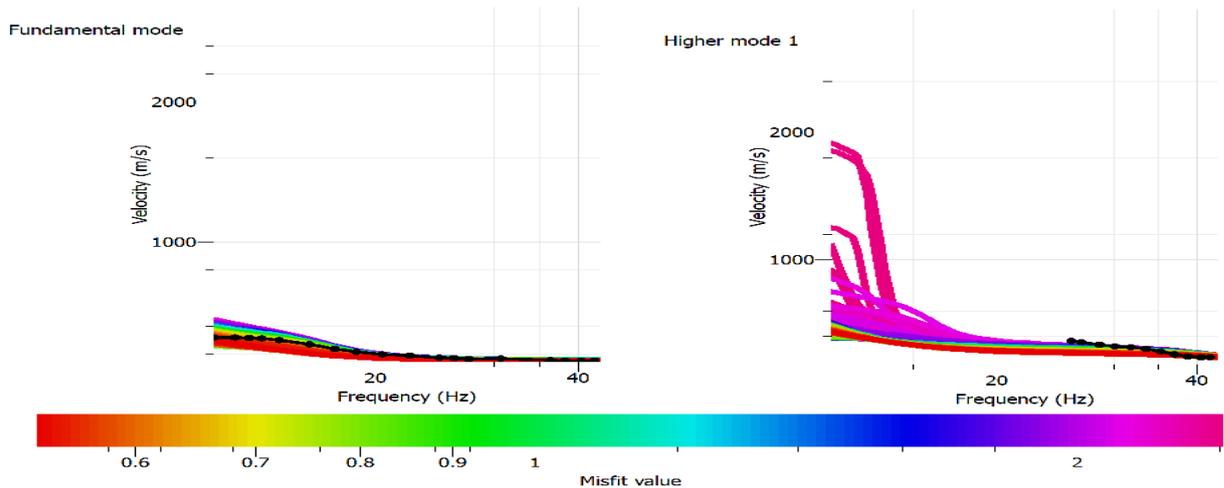
MASW2	
Profondità (m)	$V_s$ (m/s)
0.0-4.2	165
4.2-10.0	370

Profili di velocità con misfit minore ottenuto dai processi d'inversione.



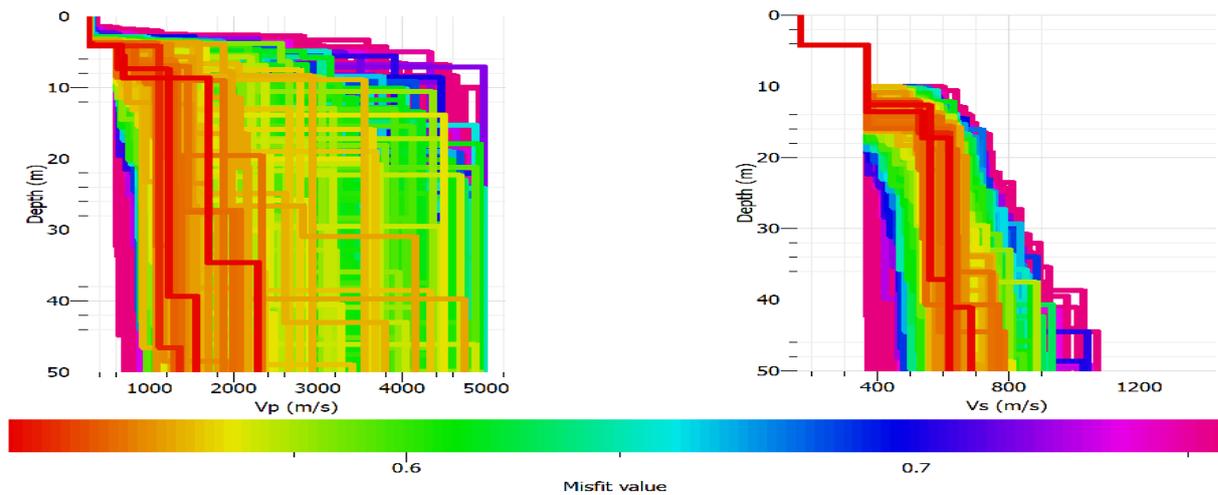


Rapporti spettrali sperimentali HVSR della prova HV4 implementati nell'analisi congiunta/vincolata

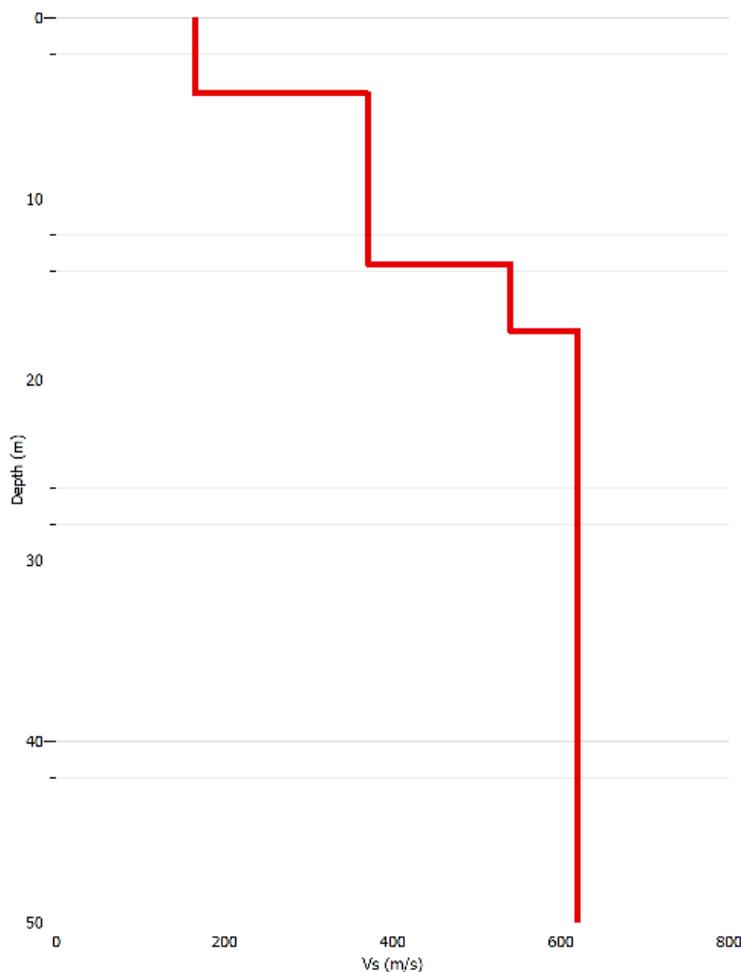


Curve di dispersione e di rapporto spettrale prodotte nel processo d'inversione congiunta/vincolata confrontate con le curve sperimentali (in nero). La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato





Risultati del processo d'inversione congiunta vincolata. La scala colorimetrica rappresenta i valori della funzione di errore (misfit) per ogni modello calcolato



MASW2/HV4	
Profondità (m)	VS (m/s)
0.0-4.2	165
4.2-13.5	370
13.5-17.2	539
17.2-50.0	616

Profilo di velocità con misfit minore ottenuto dall'inversione congiunta/vincolata



## ELABORAZIONE PROVE S.P.T.

Nei fori dei sondaggi geognostici sono state eseguite delle Standard Penetration Test (S.P.T.). La S.P.T. consiste nel misurare il numero di colpi necessari a far avanzare un tubo campionatore standard a punta aperta con diametro di 51 mm (campionatore tipo Raymond), per un tratto di prova complessiva di 45 cm. Il tubo campionatore viene infisso nel tratto di prova facendo cadere, da un'altezza standard (760 mm), un maglio del peso di 63,7 kg sul treno di aste necessario a raggiungere la base del foro di sondaggio.

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali SPT (Rif. Norme DIN 4094)

Peso Massa battente 63.5Kg	Altezza di caduta libera 0.76m	Peso sistema di battuta 4.2Kg
Diametro punta conica 50.46mm	Area di base punta 20cm <sup>2</sup>	Peso aste a metro 10 Kg/m
Avanzamento punta 0.30m	Numero colpi per punta N(30)	Coeff. Correlazione 0.926

La prova si effettua contando il numero di colpi necessari a far avanzare la punta per tratti successivi di 15 cm; vengono così rilevati N1 (n. colpi avvio prova intervallo da 0 a 15 cm), N2 (n. colpi avanzamento intervallo tra 15 e 30 cm) ed N3 (n. colpi avanzamento intervallo tra 30 e 45 cm). La prova viene sospesa qualora si raggiunga per uno degli intervalli un numero di colpi uguale a cinquanta.

I valori N<sub>SPT</sub> (N2+N3) sono stati presi come riferimento nelle elaborazioni empiriche per la valutazione delle caratteristiche geotecniche. Queste devono essere utilizzate come delle stime di primo riferimento eventualmente confermate ed integrate con analisi di laboratorio.

### CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI

#### CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI

Correzione N<sub>spt</sub> in presenza di falda N<sub>spt</sub> corretto = 15 + 0.5 × (N<sub>spt</sub> - 15) applicata solo per N<sub>spt</sub>>15  
Angolo di attrito (°) Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda (Litotipo R); Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m (Litotipo A); Owasaki & Iwasaki - valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (Litotipo B).

Densità relativa (%) Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E<sub>y</sub>) Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici (Litotipo R, Litotipo A); Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici (Litotipo B)

Stato di addensamento Classificazione A.G.I. 1977

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DA SPT

Sondaggio	SPT	da m	Nspt	Tipo	Dr (%)	Classificazione	φ (°)	Su (kPa)	Ey (MPa)
S1	1	3.5	14	Sabbie limose	41	MODERATAMENTE ADDENSATO	35	--	10.9
	2	13.0	Rif	Piroclastite		ROCCIA TENERA	--	--	--
S2	1	9.0	Rif	Piroclastite		ROCCIA TENERA	--	--	--
	2	15.0	Rif	Piroclastite		ROCCIA TENERA	--	--	--

Dr densità relativa; φ angolo d'attrito, E<sub>y</sub> Modulo di Young; Classificazione AGI 1977; γ<sub>nat</sub>; Su coesione non drenata; -- non determinabile; elaborazione con software geostru® Dynamic probing V1.0







**SOGEA srl**  
Via Casalmonferrato 2E - ROMA  
tel. 067016809 - fax 067011625

**Laboratorio geotecnico**

AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

Certificazione Ufficiale - Settore « A » - Prove di laboratorio sulle terre  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 57027/5-11-2007 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04246</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 08/11/18	Inizio analisi: 06/11/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 322 del 02/11/18		Apertura campione: 06/11/18	Fine analisi: 06/11/18

COMMITTENTE: OSC S.r.l.			
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	1.5-1.85

### **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 = 16,3 kN/m<sup>3</sup>**

Terreno di origine vulcanica a granulometria limoso argilloso sabbiosa, debolmente ghiaiosa, con radici sparse, di colore marrone (Rp > 500 kPa).

1  
32693



Laboratorio 6.1 - 2018

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022, 09:30 - Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.82 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Lo sperimentatore  
Dott. *Andrea Serepanti*

Il direttore del laboratorio  
Dott. *Sergio Rabottino*





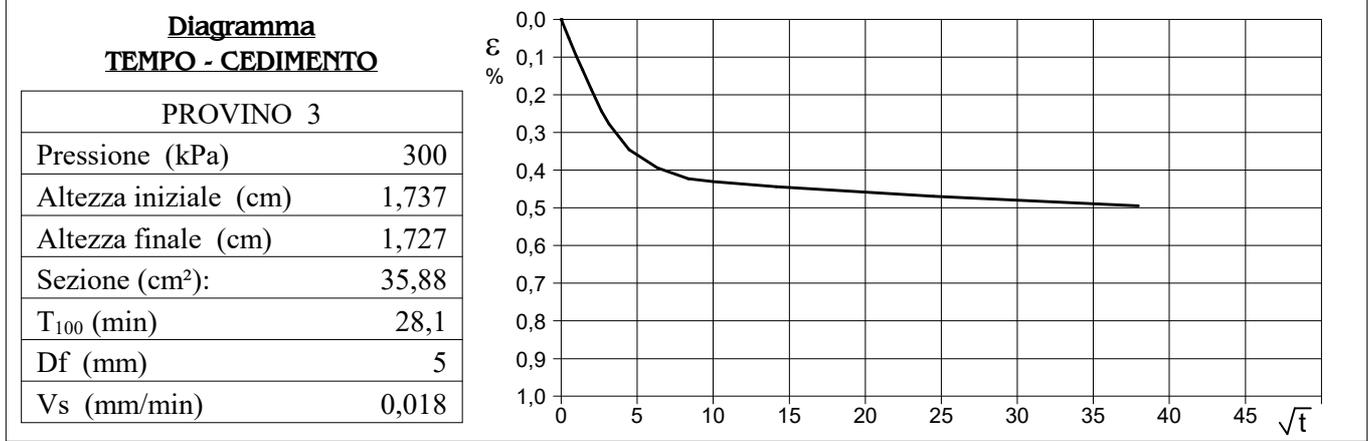
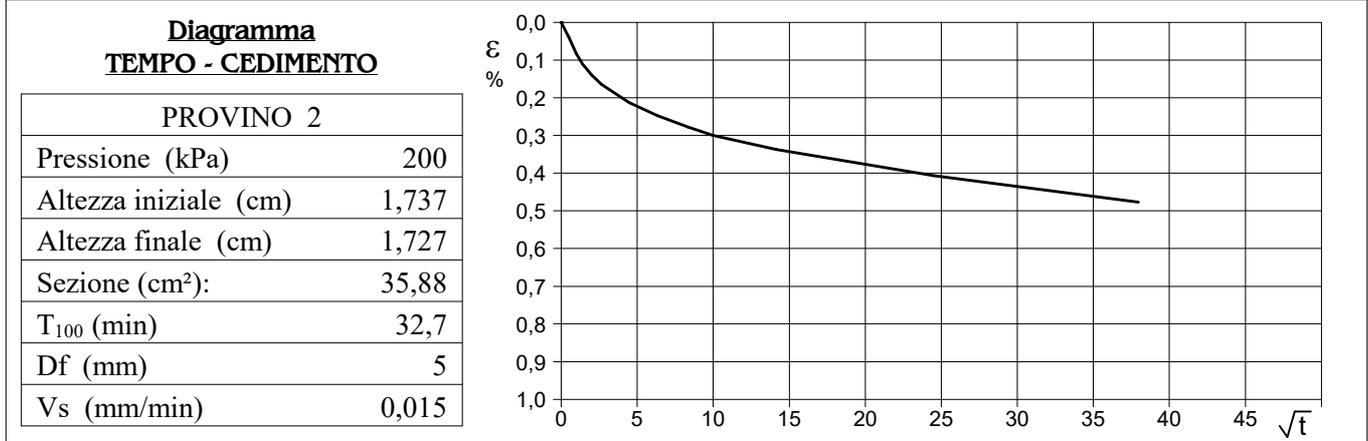
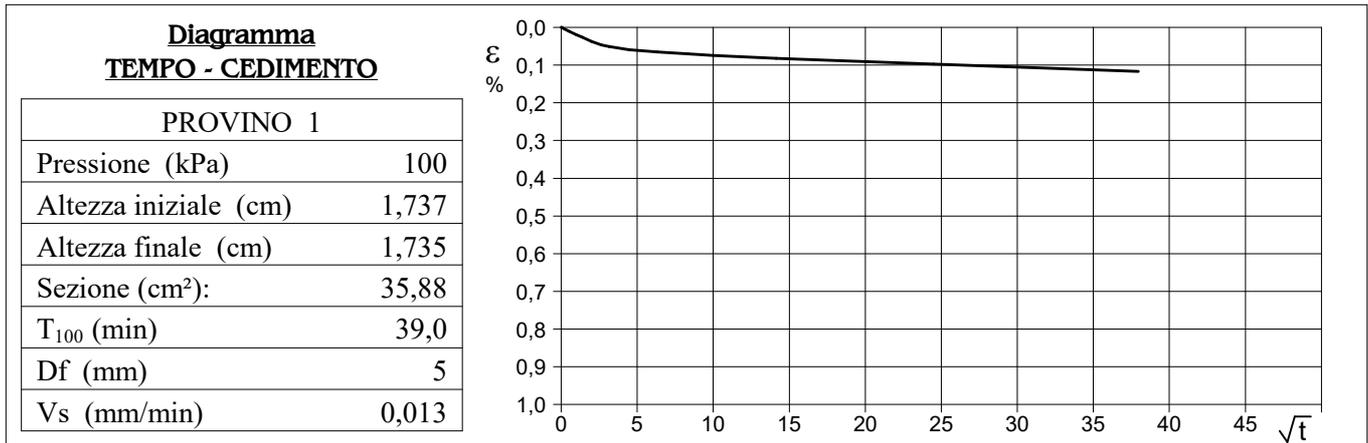


<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04245</b>	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 08/11/18	Inizio analisi: 06/11/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 322 del 02/11/18		Apertura campione: 06/11/18	Fine analisi: 07/11/18

COMMITTENTE: OSC S.r.l.			
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 1.5-1.85	

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080



1  
32693

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



Lo sperimentatore  
Dott. *Andrea Serepanti*

Il direttore del laboratorio  
Dott. *Sergio Rabottino*







**SOGEA srl**  
Via Casalmonferrato 2E - ROMA  
tel. 067016809 - fax 067011625

**Laboratorio geotecnico**

AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

Certificazione Ufficiale - Settore « A » - Prove di laboratorio sulle terre  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 57027/5-11-2007 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04244</b> Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 08/11/18	Inizio analisi: 06/11/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 322 del 02/11/18	Apertura campione: 06/11/18	Fine analisi: 06/11/18

COMMITTENTE: OSC S.r.l.		
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m 17.5-17.7

### **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 = 14,7 kN/m<sup>3</sup>**

Piroclastite a granulometria sabbioso limoso ghiaiosa, debolmente argillosa, di colore marrone.

2  
32694



Laboratorio 6.1 - 2018

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022, 09:30 - Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.88 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Lo sperimentatore  
Dott. *Andrea Serepanti*

Il direttore del laboratorio  
Dott. *Sergio Rabottino*



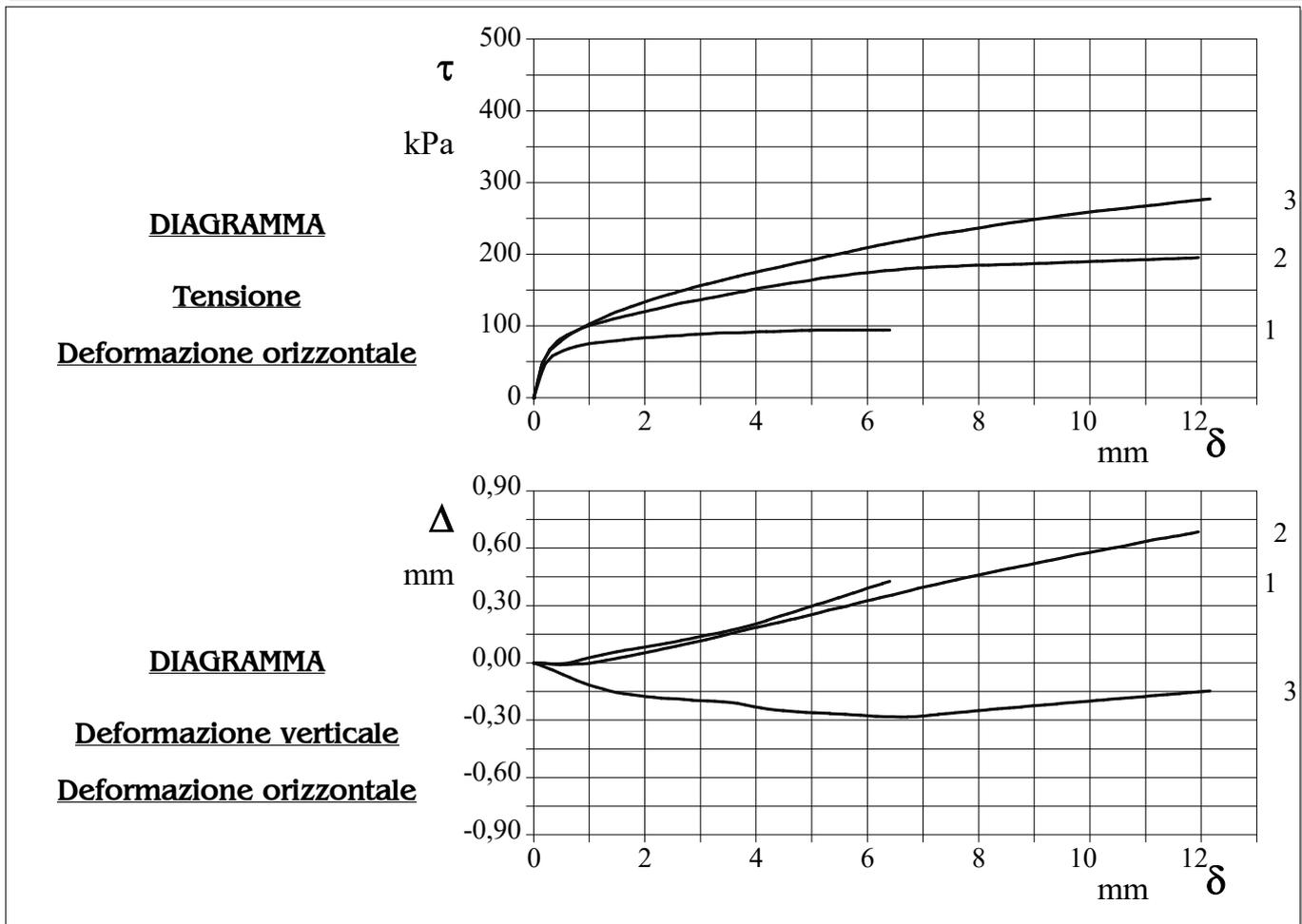
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04243</b>	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 08/11/18	Inizio analisi: 06/11/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 322 del 02/11/18		Apertura campione: 06/11/18	Fine analisi: 07/11/18

COMMITTENTE: OSC S.r.l.		
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m 17.5-17.7

**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 naturale (%):	---	---	---
Peso di volume (kN/m³):	15,4	14,3	14,2
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,027 mm / min	



Piroclastite a granulometria sabbioso limoso ghiaiosa, debolmente argillosa, di colore marrone.

2  
32694



Laboratorio 6.1 - 2018

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022, 09:40 - Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.89 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Lo sperimentatore  
Dott. *Anaëra Serepanti*

Il direttore del laboratorio  
Dott. *Sergio Rabottino*



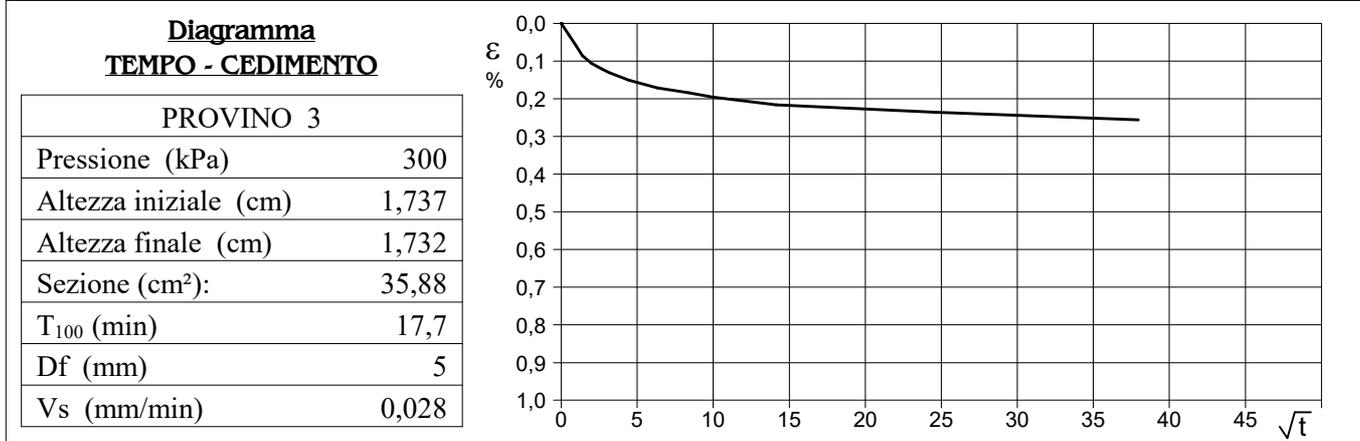
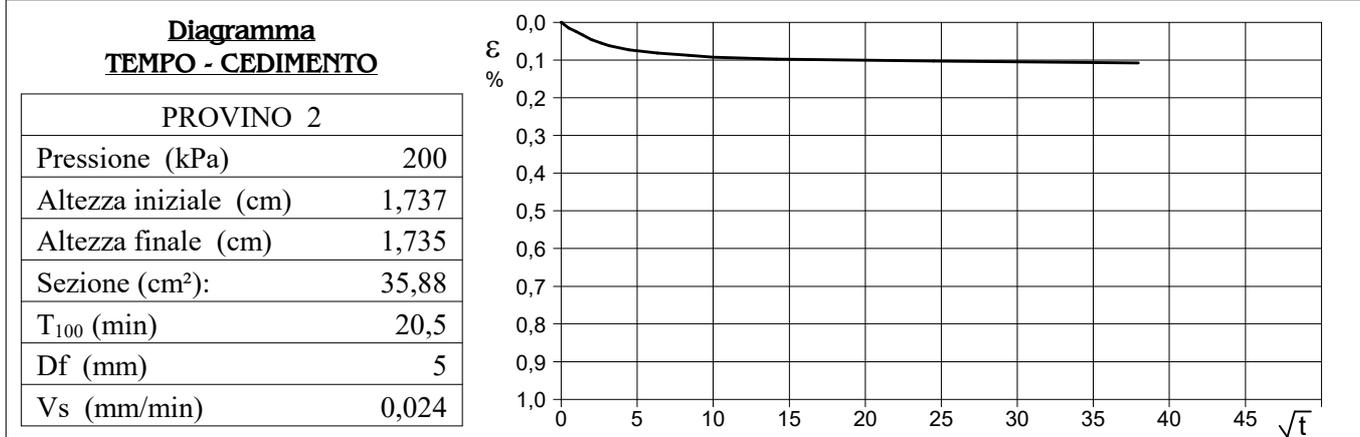
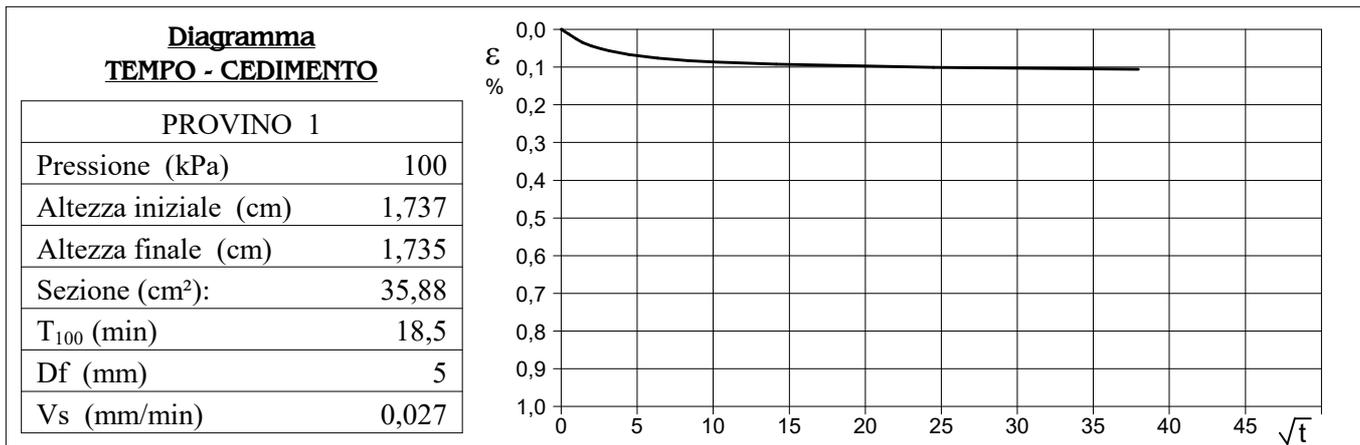


<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04243</b>	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 08/11/18	Inizio analisi: 06/11/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 322 del 02/11/18		Apertura campione: 06/11/18	Fine analisi: 07/11/18

COMMITTENTE: OSC S.r.l.			
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m 17.5-17.7	

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080



2  
32694

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



Lo sperimentatore  
**Dott. Ankeia Serepanti**

Il direttore del laboratorio  
**Dott. Sergio Rabottino**





COMMITTENTE: OSC S.r.l.		
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi		
SONDAGGIO: 2	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 3.0-3.5

### MODULO RIASSUNTIVO

#### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	%
Peso di volume	14,2 kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	
Indice dei vuoti	
Porosità	%
Grado di saturazione	%
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	%
Sabbia	%
Limo	%
Argilla	%
D 10	mm
D 50	mm
D 60	mm
D 90	mm
Passante set. 10	%
Passante set. 42	%
Passante set. 200	%

#### PERMEABILITA'

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

#### COMPRESSIONE

$\sigma$	kPa	$\sigma_{Rim}$	kPa
$c_u$	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

#### TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
$c'$	0,0	kPa	$\phi'$ 37,6 °
$c'_{Res}$		kPa	$\phi'_{Res}$ °

#### COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	$c_d$	kPa	$\phi_d$ °
C.U.	$c'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$ °
	$c_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$ °
U.U.	$c_u$	kPa	$\phi_u$ °

#### PROVA EDOMETRICA

$\sigma$ kPa	E kPa	$C_v$ cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec

Terreno di origine vulcanica, a granulometria sabbiosa, debolmente limosa, di colore grigiastro bruno.





**SOGEA srl**  
Via Casalmonferrato 2E - ROMA  
tel. 067016809 - fax 067011625

**Laboratorio geotecnico**

AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

Certificazione Ufficiale - Settore « A » - Prove di laboratorio sulle terre  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 57027/5-11-2007 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04242</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 08/11/18	Inizio analisi: 07/11/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 322 del 02/11/18		Apertura campione: 07/11/18	Fine analisi: 07/11/18

COMMITTENTE: OSC S.r.l.			
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi			
SONDAGGIO: 2	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	3.0-3.5

### **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 = 14,2 kN/m<sup>3</sup>**

Terreno di origine vulcanica, a granulometria sabbiosa, debolmente limosa, di colore grigiastro bruno.

3  
32695



Laboratorio 6.1 - 2018

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022, 09:30 - Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.94 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Lo sperimentatore  
Dott. *Andrea Serepanti*

Il direttore del laboratorio  
Dott. *Sergio Rabottino*





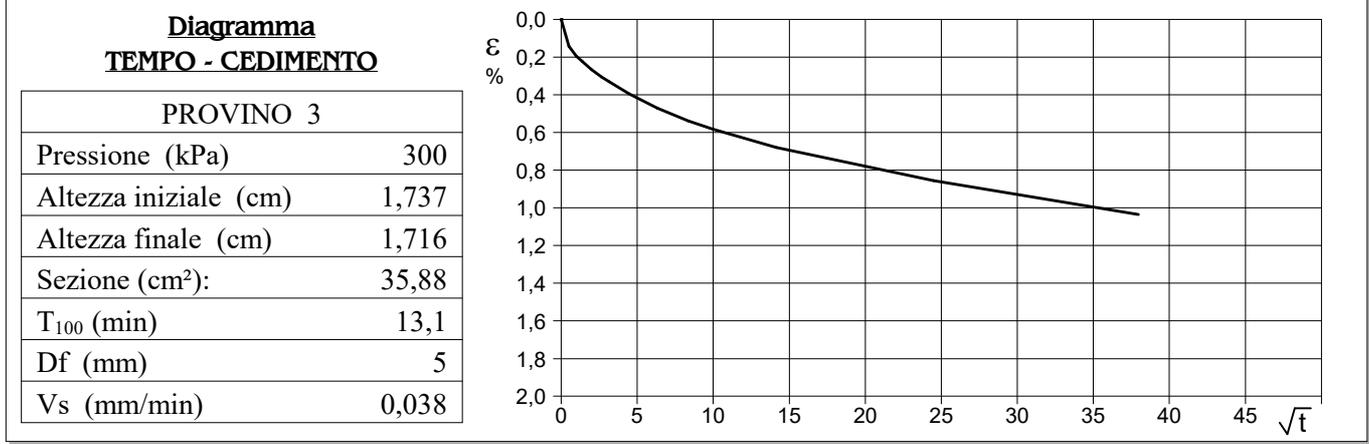
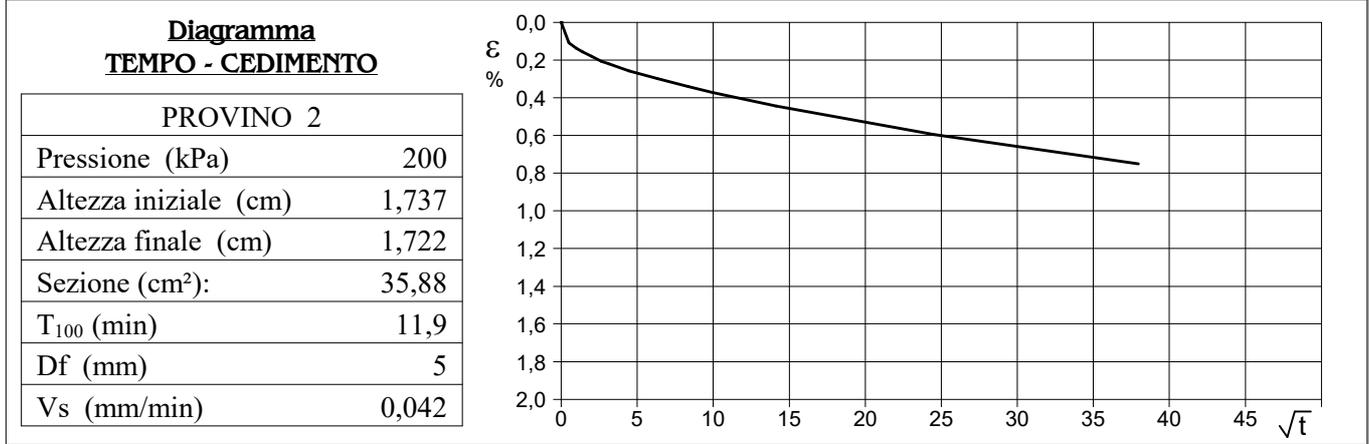
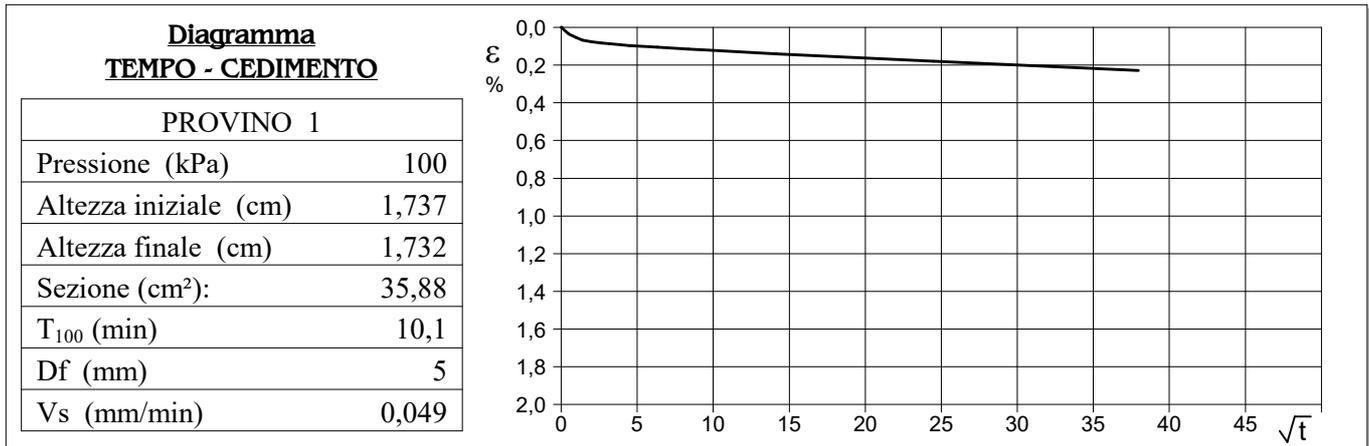


<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04241</b>	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 08/11/18	Inizio analisi: 07/11/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 322 del 02/11/18		Apertura campione: 07/11/18	Fine analisi: 08/11/18

COMMITTENTE: OSC S.r.l.			
RIFERIMENTO: San Camillo-Forlanini - Via G. Folchi			
SONDAGGIO: 2	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 3.0-3.5	

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080



3  
32695

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



Laboratorio 6.1 - 2018

OPENGIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022, 09:30 - Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.97 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Lo sperimentatore  
Dott. *Andrea Serepanti*

Il direttore del laboratorio  
Dott. *Sergio Rabottino*



## RAPPORTO TECNICO PROVE DPSH

In data 24/10/2018 nell'area interessata dal muro di contenimento che fa da confine tra la proprietà dell'Azienda Ospedaliera S. Camillo Forlanini e la proprietà al civico n. 8 di via Giacomo Folchi, nel territorio del Municipio Roma M12 di Roma Capitale sono state eseguite quattro prove penetrometriche dinamiche continue DPSH (ubicazione in allegato).

Le prove sono state effettuate mediante penetrometro super-pesante DPSH 73-75 SM - modello Deep Drill.

CARATTERISTICHE TECNICHE-STRUMENTALI PENETROMETRO DPSH		
Rif. Norme DIN 4094	Peso Massa battente 73 kg	Altezza di caduta libera 0,75 m
Peso sistema di battuta 23 kg	Diametro punta 50,46 mm	Area di base punta 20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste 0,9m	Peso aste a metro 6,3 kg/m	Profondità giunzione prima asta 90 cm
Avanzamento punta 0,30 m	Numero colpi per punta N(30)	Coeff. Correlazione 1,16
Rivestimento/fanghi No	Angolo di apertura punta 60°	

La prova penetrometrica dinamica DPSH consiste nell'infingere nel terreno una punta conica standard mediante un maglio (kg 73) lasciato cadere da un'altezza di 75 cm; il numero di colpi di maglio ( $N_{dpm}$ ), necessari a far avanzare per tratti consecutivi di 30 cm la punta conica, consente di definire alcune caratteristiche tecniche dei terreni.

Le correlazioni empiriche tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT. La comparazione tra le prove penetrometriche e le prove SPT viene fatta confrontando le energie sviluppate nella caduta del maglio e in base alle caratteristiche dei diversi componenti. Per la prova penetrometrica dinamica super-pesante è stata utilizzata la correlazioni tra  $N_{SPT}$  e  $N_{dpm}$  basata sulla uguaglianza delle energie specifiche per colpo (Q) calcolata per le due diverse prove. Per la prova SPT l'energia specifica per colpo  $Q_{SPT}$  è uguale a 7.83 kg/cm<sup>2</sup>. Per la prova penetrometrica super-pesante l'energia specifica deriva dalla seguente relazione:

$$Q_{dpm} = M H/A \delta = 9.125 \text{ kg/cm}^2$$

dove:

avanzamento punta  $\delta=0.30$  m  
altezza caduta libera  $H=0.75$  m

peso massa battente  $M=73$  kg  
area base punta conica  $A=20$  cm<sup>2</sup>

Dalle precedenti relazioni è possibile ottenere il seguente coefficiente teorico di correlazione delle energie  $\beta_t = Q_{dpm}/Q_{SPT} = 1.16$  da cui  $N_{SPT \text{ EQUIVALENTE}} = 1.16 \cdot N_{dpm}$ .

Un'altra indicazione che si ricava dalle prove è la resistenza del terreno offerta all'avanzamento della punta definita attraverso la seguente relazione:

$$R_{pd} = M^2H/AE(M+P)$$

dove:  $R_{pd}$  = resistenza alla punta dinamica  
A = superficie della punta  
P = peso delle aste

M = peso del maglio  
E = profondità di infissione per colpo

Mediante la definizione del coefficiente di correlazione è possibile definire il valore di  $N_{SPT \text{ EQUIVALENTE}}$  dal quale stimare, attraverso relazioni empiriche talora con elevata dispersione dei dati, alcuni parametri geotecnici. Nella presente trattazione, sono state utilizzate le seguenti correlazioni:

### CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI

Correzione  $N_{spt}$  in presenza di falda  $N_{spt}$  corretto =  $15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$  applicata solo per  $N_{spt} > 15$   
Angolo di attrito (°) Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda (Litotipo R); Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m (Litotipo A); Owasaki & Iwasaki

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.99 di 119

La Copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)



- valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (Litotipo B).

Densità relativa (%) Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young ( $E_y$ ) Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici (Litotipo R, Litotipo A); Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici (Litotipo B)

Stato di addensamento Classificazione A.G.I. 1977

Di seguito sono riportati per ogni prova penetrometrica: la tabella riassuntiva del numero di colpi e dei valori della resistenza alla punta dinamica ridotta, la stima dei parametri geotecnici e le diagrafie  $N_{dpm}$ -profondità e  $R_{pd}$ -profondità. Le elaborazioni sono state eseguite con software *geostru® Dynamic probing V1.00*.

*Roma Novembre 2018*



## PROVA DPSH1

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)
0.3	8	0,853	44,42	52,09
0.6	6	0,847	33,09	39,07
0.9	7	0,842	38,36	45,58
1.2	8	0,836	43,56	52,09
1.5	6	0,831	32,47	39,07
1.8	17	0,776	85,94	110,70
2.1	30	0,722	140,97	195,34
2.4	23	0,717	107,40	149,76
2.7	17	0,763	84,44	110,70
3.0	15	0,759	74,10	97,67
3.3	16	0,755	78,63	104,18
3.6	16	0,751	78,23	104,18
3.9	25	0,697	113,50	162,79
4.2	24	0,694	108,41	156,28
4.5	24	0,690	107,88	156,28
4.8	21	0,687	93,96	136,74
5.1	27	0,684	120,26	175,81
5.4	43	0,581	162,69	279,99
5.7	40	0,578	150,60	260,46
6.0	40	0,575	149,89	260,46
6.3	50	0,573	186,51	325,57

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH1

Prof (m)	NSPT	Tipo	Dr (%)	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	cu (kPa)	E <sub>Y</sub> (MPa)	Classificazione AGI
0.3	9	incoerente	31	14,6	31	--	7,2	POCO ADDENSATO
0.6	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,8	POCO ADDENSATO
0.9	8	incoerente	28	14,5	30	--	6,4	POCO ADDENSATO
1.2	9	incoerente	31	14,6	31	--	8,3	POCO ADDENSATO
1.5	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,9	POCO ADDENSATO
1.8	19	incoerente	50	15,8	37	--	15,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.1	34	incoerente	67	17,3	41	--	27,2	ADDENSATO
2.4	26	incoerente	59	16,6	39	--	20,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.7	19	incoerente	50	15,8	37	--	15,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.0	17	incoerente	47	15,6	36	--	13,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.3	18	incoerente	48	15,7	36	--	14,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.6	18	incoerente	48	15,7	36	--	14,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.9	28	incoerente	61	16,8	39	--	22,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.2	27	incoerente	60	16,7	39	--	21,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.5	27	incoerente	60	16,4	39	--	21,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.8	24	incoerente	57	17,1	38	--	19,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.1	31	incoerente	65	18,5	40	--	24,8	ADDENSATO
5.4	49	incoerente	80	18,3	46	--	57,9	ADDENSATO
5.7	46	incoerente	77	18,3	45	--	54,3	ADDENSATO
6.0	46	incoerente	77	18,3	45	--	54,3	ADDENSATO
6.3	57	incoerente						

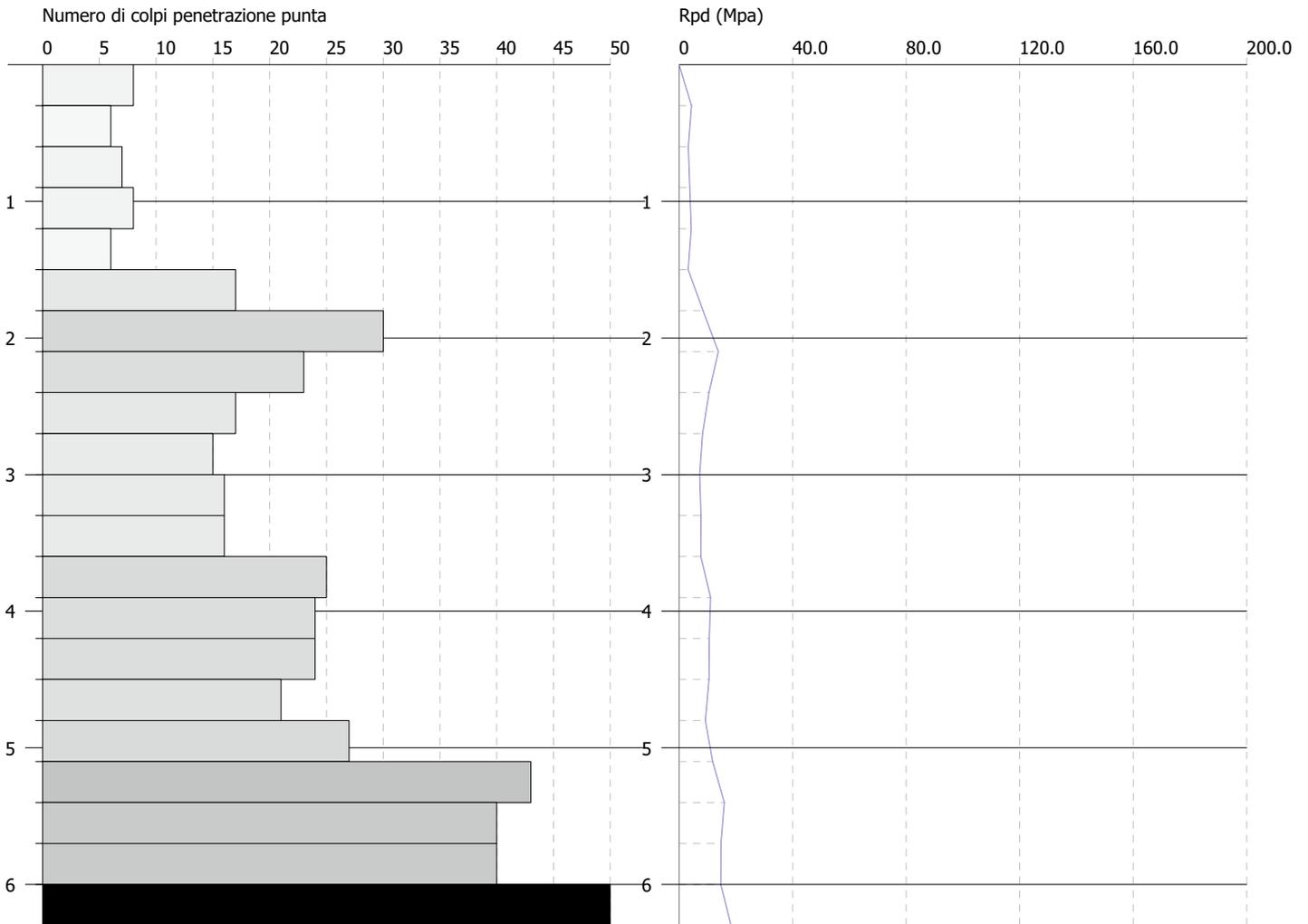


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1**  
**Strumento utilizzato... DPSH 73-75 DEEP DRILL**

Committente: U.O.C. Ufficio Tecnico Azienda Ospedaliera San Camillo Forlanini  
Descrizione: Indagini muro di confine  
Località: San Camillo Forlanini - Via Folchi

Data: 24/10/2018

Scala 1:50



OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.102 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

## PROVA DPSH2

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)
0.3	1	0,853	5,55	6,51
0.6	1	0,847	5,52	6,51
0.9	1	0,842	5,48	6,51
1.2	3	0,836	16,34	19,53
1.5	11	0,831	59,54	71,63
1.8	19	0,776	96,05	123,72
2.1	21	0,722	98,68	136,74
2.4	23	0,717	107,40	149,76
2.7	20	0,763	99,34	130,23
3.0	20	0,759	98,80	130,23
3.3	15	0,755	73,71	97,67
3.6	13	0,751	63,56	84,65
3.9	23	0,697	104,42	149,76
4.2	24	0,694	108,41	156,28
4.5	20	0,740	96,41	130,23
4.8	23	0,687	102,90	149,76
5.1	24	0,684	106,89	156,28
5.4	28	0,681	124,17	182,32
5.7	47	0,578	176,95	306,04
6.0	50	0,575	187,36	325,57

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH2

Prof (m)	NSPT	Tipo	Dr (%)	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	cu (kPa)	E <sub>Y</sub> (MPa)	Classificazione AGI
0.3	1	incoerente	9	13,6	28	--	0,8	SCIOLTO
0.6	1	incoerente	9	13,6	28	--	0,8	SCIOLTO
0.9	1	incoerente	9	13,6	28	--	0,8	SCIOLTO
1.2	3	incoerente	15	13,9	29	--	2,4	SCIOLTO
1.5	12	incoerente	37	15,0	34	--	9,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
1.8	22	incoerente	54	16,2	38	--	17,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.1	24	incoerente	57	16,4	38	--	19,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.4	26	incoerente	59	16,6	39	--	20,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.7	23	incoerente	55	16,3	38	--	18,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.0	23	incoerente	55	16,3	36	--	18,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.3	17	incoerente	47	15,6	36	--	13,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.6	15	incoerente	43	15,4	35	--	12,0	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.9	26	incoerente	59	16,6	39	--	20,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.2	27	incoerente	60	16,7	39	--	21,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.5	23	incoerente	55	16,3	38	--	18,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.8	26	incoerente	59	16,6	39	--	20,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.1	27	incoerente	60	16,7	39	--	21,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.4	32	incoerente	65	17,2	40	--	37,8	ADDENSATO
5.7	54	incoerente	84	18,8	48	--	63,8	MOLTO ADDENSATO
6.0	57	incoerente						

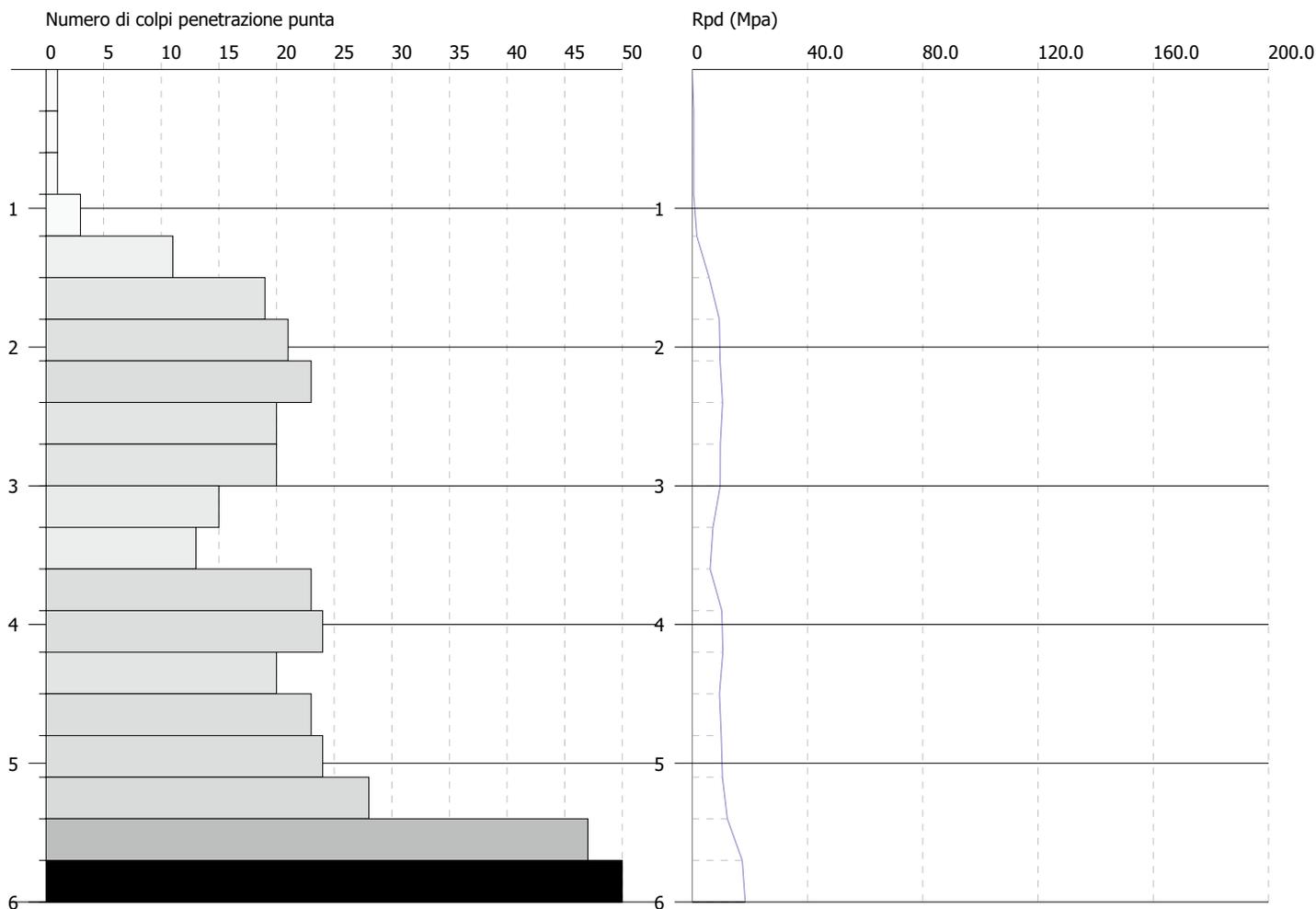


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2**  
**Strumento utilizzato... DPSH 73-75 DEEP DRILL**

Committente: U.O.C. Ufficio Tecnico Azienda Ospedaliera San Camillo Forlanini  
Descrizione: Indagini muro di confine  
Località: San Camillo Forlanini - Via Folchi

Data: 24/10/2018

Scala 1:50



## PROVA DPSH3

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)
0.3	5	0,853	27,76	32,56
0.6	6	0,847	33,09	39,07
0.9	6	0,842	32,88	39,07
1.2	8	0,836	43,56	52,09
1.5	10	0,831	54,12	65,11
1.8	13	0,776	65,72	84,65
2.1	14	0,772	70,34	91,16
2.4	17	0,767	84,92	110,70
2.7	14	0,763	69,54	91,16
3.0	13	0,759	64,22	84,65
3.3	18	0,755	88,46	117,21
3.6	20	0,751	97,79	130,23
3.9	19	0,747	92,44	123,72
4.2	24	0,694	108,41	156,28
4.5	23	0,690	103,39	149,76
4.8	49	0,587	187,32	319,06
5.1	50	0,584	190,14	325,57

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH3

Prof (m)	NSPT	Tipo	Dr (%)	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	cu (kPa)	$E_V$ (MPa)	Classificazione AGI
0.3	5	incoerente	21	14,1	29	--	4,0	POCO ADDENSATO
0.6	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,8	POCO ADDENSATO
0.9	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,8	POCO ADDENSATO
1.2	9	incoerente	31	14,6	31	--	7,2	POCO ADDENSATO
1.5	11	incoerente	35	14,9	34	--	8,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
1.8	15	incoerente	43	15,4	35	--	12,0	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.1	16	incoerente	45	15,5	36	--	12,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.4	19	incoerente	50	15,8	37	--	15,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
2.7	16	incoerente	45	15,5	36	--	12,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.0	15	incoerente	43	15,4	35	--	12,0	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.3	20	incoerente	51	16,0	37	--	16,0	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.6	23	incoerente	55	16,3	38	--	18,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
3.9	22	incoerente	54	16,2	38	--	17,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.2	27	incoerente	60	16,7	39	--	21,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.5	26	incoerente	59	16,6	39	--	20,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.8	56	incoerente	85	18,9	48	--	66,1	MOLTO ADDENSATO
5.1	57	incoerente						

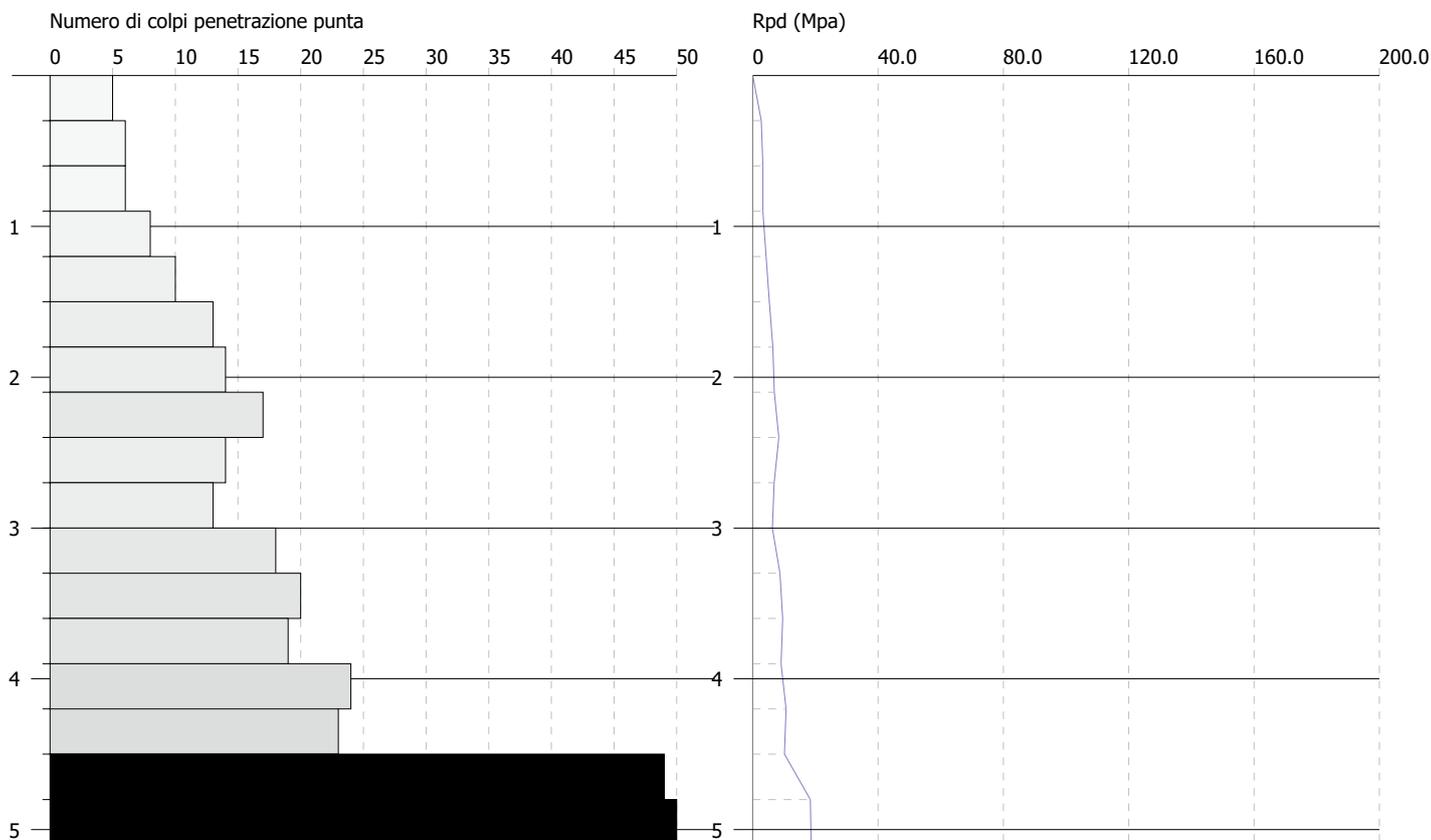


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3**  
**Strumento utilizzato... DPSH 73-75 DEEP DRILL**

Committente: U.O.C. Ufficio Tecnico Azienda Ospedaliera San Camillo Forlanini  
Descrizione: Indagini muro di confine  
Località: San Camillo Forlanini - Via Folchi

Data: 24/10/2018

Scala 1:50



## PROVA DPSH4

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)
0.3	6	0,853	33,31	39,07
0.6	1	0,847	5,52	6,51
0.9	1	0,842	5,48	6,51
1.2	5	0,836	27,23	32,56
1.5	7	0,831	37,89	45,58
1.8	7	0,826	37,66	45,58
2.1	7	0,822	37,45	45,58
2.4	9	0,817	47,89	58,60
2.7	8	0,813	42,34	52,09
3.0	7	0,809	36,86	45,58
3.3	6	0,805	31,44	39,07
3.6	6	0,801	31,29	39,07
3.9	6	0,797	31,15	39,07
4.2	17	0,744	82,32	110,70
4.5	23	0,690	103,39	149,76
4.8	25	0,687	111,85	162,79
5.1	21	0,684	93,53	136,74
5.4	22	0,681	97,56	143,25
5.7	16	0,728	75,87	104,18
6.0	17	0,725	80,31	110,70
6.3	14	0,723	65,90	91,16
6.6	18	0,720	84,43	117,21
6.9	20	0,718	93,50	130,23
7.2	23	0,666	99,69	149,76
7.5	22	0,663	95,04	143,25
7.8	24	0,661	103,34	156,28
8.1	29	0,659	124,49	188,83
8.4	30	0,657	128,39	195,34
8.7	51	0,555	184,42	332,09



### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH4

Prof (m)	NSPT	Tipo	Dr (%)	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	cu (kPa)	E <sub>Y</sub> (MPa)	Classificazione AGI
0.3	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,8	POCO ADDENSATO
0.6	1	incoerente	9	13,6	28	--	0,8	SCIOLTO
0.9	1	incoerente	9	13,6	28	--	0,8	SCIOLTO
1.2	5	incoerente	21	14,1	29	--	4,0	POCO ADDENSATO
1.5	8	incoerente	28	14,5	30	--	6,4	POCO ADDENSATO
1.8	8	incoerente	28	14,5	30	--	6,4	POCO ADDENSATO
2.1	8	incoerente	28	14,5	30	--	6,4	POCO ADDENSATO
2.4	10	incoerente	33	14,8	31	--	8,0	POCO ADDENSATO
2.7	9	incoerente	31	14,6	30	--	7,2	POCO ADDENSATO
3.0	8	incoerente	28	14,5	30	--	6,4	POCO ADDENSATO
3.3	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,8	POCO ADDENSATO
3.6	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,8	POCO ADDENSATO
3.9	6	incoerente	23	14,3	30	--	4,8	POCO ADDENSATO
4.2	19	incoerente	50	15,8	37	--	15,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.5	26	incoerente	59	16,6	39	--	20,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
4.8	28	incoerente	61	16,8	39	--	22,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.1	24	incoerente	57	16,4	38	--	19,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.4	25	incoerente	58	16,5	38	--	20,0	MODERATAMENTE ADDENSATO
5.7	18	incoerente	48	15,7	36	--	14,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.0	19	incoerente	50	15,8	37	--	15,2	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.3	16	incoerente	45	15,5	36	--	12,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.6	20	incoerente	51	16,0	37	--	16,0	MODERATAMENTE ADDENSATO
6.9	23	incoerente	55	16,3	38	--	18,4	MODERATAMENTE ADDENSATO
7.2	26	incoerente	59	16,6	39	--	20,8	MODERATAMENTE ADDENSATO
7.5	25	incoerente	58	16,5	38	--	20,0	MODERATAMENTE ADDENSATO
7.8	27	incoerente	60	16,7	39	--	21,6	MODERATAMENTE ADDENSATO
8.1	33	incoerente	66	17,3	41	--	39,0	ADDENSATO
8.4	34	incoerente	67	17,3	41	--	40,2	ADDENSATO
8.7	59	incoerente	89	18,0	49	--	69,7	MOLTO ADDENSATO

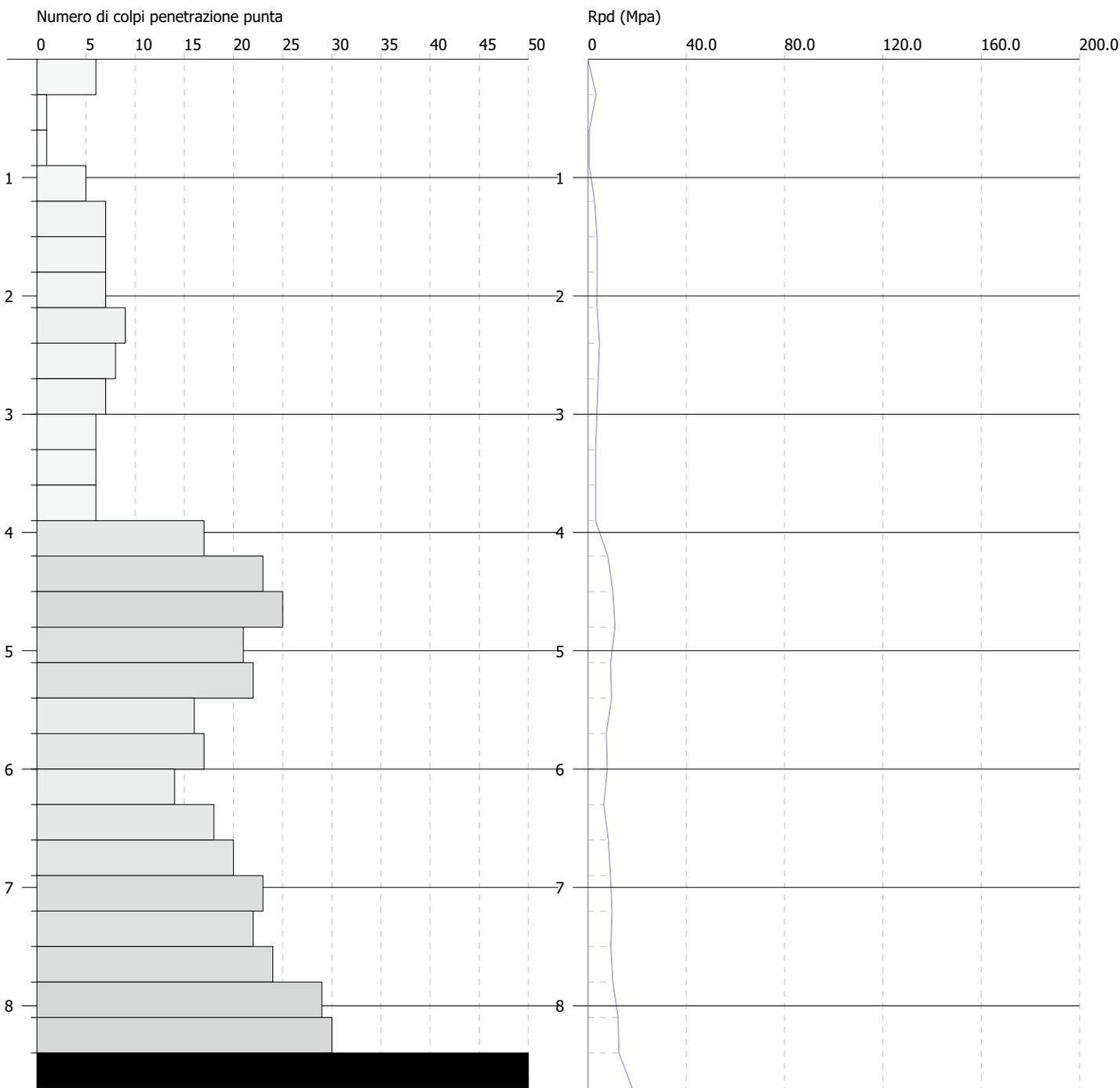


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4**  
**Strumento utilizzato... DPSH 73-75 DEEP DRILL**

Committente: U.O.C. Ufficio Tecnico Azienda Ospedaliera San Camillo Forlanini  
Descrizione: Indagini muro di confine  
Località: San Camillo Forlanini - Via Folchi

Data: 24/10/2018

Scala 1:50



OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.109 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

---

## *ALLEGATO 8.4*

### *INDAGINI PREGRESSE 1991*

- stratigrafia sondaggio geognostico
- 





Committente:	Sondaggio: 1
Riferimento: ENEL - Ufficio Cabine Primarie (SOGEUR)	Data: 29 Gennaio 1991
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1:100

## STRATIGRAFIA

Pagina 1/2

o mm	R v	A f	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
										m	S.P.T.			
101														Terreno di riporto di varia origine e natura.
				1										
				2										
				3						3,4	50/2cm	R	2,6	Tufo litoidi microcristallino di colore marrone bruno con inclusi di scorie e lapilli intervallato a livelli di tufo terroso limo argillosi di spessore variabile tra 1 e 3 cm. I tratti litoidi (carote) hanno lunghezza variabile da 2 a 20 cm.
				4		1) She <	4,00							
				5			4,50							
				6										
				7		2) She <	7,00							
				8			7,40			8,0	50/5cm	R		
				9									9,0	
				10										Tufo terroso bruno rossiccio con frequenti livelli litoidi e semilitoidi di piccolo spessore (max 2 cm) con cristalli di mica e feldspati inalterati (leucite).
				11										
				12		3) She <	12,00							
				13			12,40							
				14										
				15						15,0	28-38-50/2cm	R		
				16										
				17										
				18										
				19										
				20										



OPENGONIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 15/01/2023 - 15/01/2023 - 15/01/2023

Copia conforme all'originale pag.111 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Il Responsabile di sito

Il Direttore

**SOGEA srl**Via Casalmonferrato 2E - 00182 ROMA  
tel 067016809 - 067011625 - fax 0656561451  
www.sogea-srl.com - mail@sogea-srl.com

Committente:	Sondaggio: 1
Riferimento: ENEL - Ufficio Cabine Primarie (SOGEUR)	Data: 29 Gennaio 1991
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1:100

**STRATIGRAFIA**

Pagina 2/2

ø mm	R v	A r	Pz s	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
										S.P.T. m	N			
				21	[Lithological pattern: brownish clay with mica and feldspar crystals]									Tufo terroso bruno rossiccio con frequenti livelli litoidi e semilitoidi di piccolo spessore (max 2 cm) con cristalli di mica e feldspati inalterati (leucite).
				22										
				23										
				24										
				25										
												25.0		

Sono state utilizzate sei cassette catalogatrici. Il passaggio tufo litoide - tufo terroso non è netto ma graduale.



OPENGONIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 15/01/2022

Copia conforme all'originale pag.112 di 119

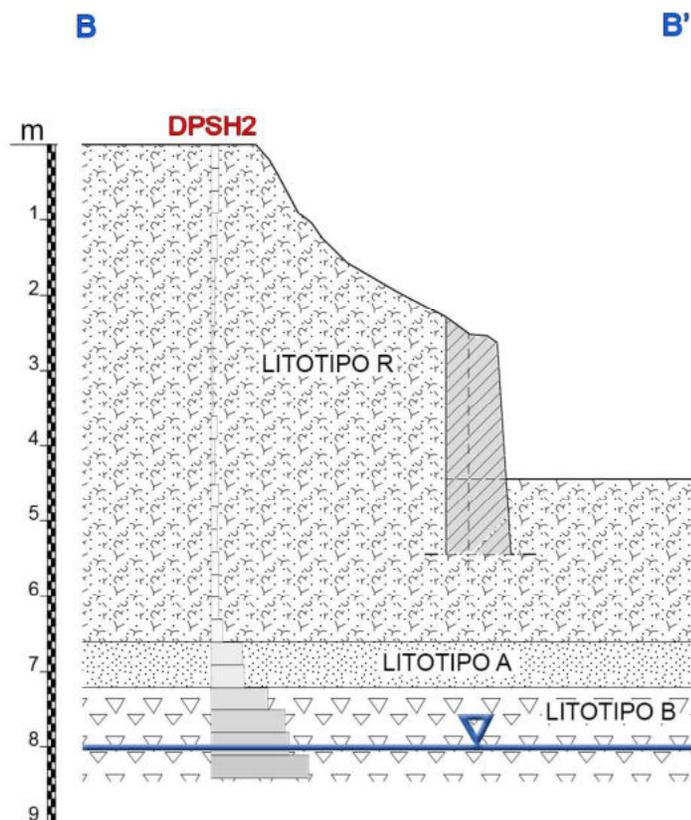
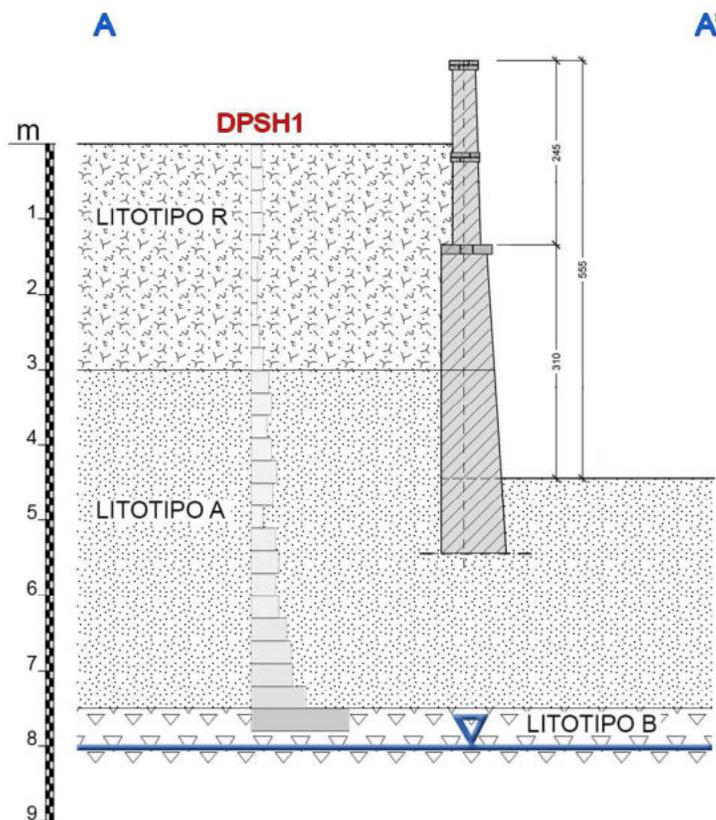
La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

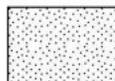
MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)

Il Responsabile di sito

Il Direttore



**LITOTIPO R**  
Ripporto e depositi eluvio colluviali formati prevalentemente da sabbia e sabbia limosa sciolta con elementi eterogenei ed eterometrici talora prevalenti  
Caratteristiche geotecniche scadenti  
( $1 \leq N_{SPT} \leq 6$ ;  $100 \leq V_s \leq 200$  m/s)



**LITOTIPO A**  
Depositi vulcanoclastici formati prevalentemente da limo sabbioso e sabbia, moderatamente addensato, a luoghi argillificati  
Caratteristiche geotecniche buone  
( $10 \leq N_{SPT} \leq 20$  -  $300 \leq V_s \leq 400$  m/s)



**LITOTIPO B**  
Piroclastite a granulometria sabbiosa e sabbioso ghiaiosa, da addensata a litoide fratturata, con rari orizzonti argillificati  
Caratteristiche geotecniche molto buone può contenere cavità ipogee antropiche  
( $30 \leq N_{SPT}$  fino a rifiuto strumentale  $600 \leq V_s \leq 700$  m/s)



– Livello piezometrico misurato nel piezometro P2 nel novembre 2018

OPENGENIO-ID-DOC:20873302 - Prot.N.:2022-0000272537 del 18/03/2022 09:40 - N.Pos.:125527

Copia conforme all'originale pag.113 di 119

La copia originale è conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MAFFEI ROCCO (Direttore dei Lavori, Progettista delle strutture, Progettista architettonico, Delegato), DONATI ALESSANDRO (Geologo)



---

## *ALLEGATO 10*

### *DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA*

---

Allegato 10.1 documentazione fotografica indagini 2022  
Allegato 10.2 documentazione fotografica indagini pregresse 2018



## ALLEGATO 10.1

### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI 2022



Postazione DPSH1



Postazione DPSH2



Postazione HVSR1



Postazione HVSR2



## ALLEGATO 10.2

### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI PREGRESSE 2018







Postazione DPSH4

Postazione MASW1

Postazione HV1

Postazione HV2

Postazione HV3

Postazione MASW2

Postazione HV4



## **ALLEGATO 11**

### **LISTA CONTENUTI MINIMI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA** (DGR LAZIO 189/2021 - ALL. C REGOLAMENTO REGIONALE N.7/21)

Contenuto	Collocazione
1) Indicazione del Livello di Rischio Sismico	§ 4
2) Carta Geologica di dettaglio in scala proporzionale alla rilevanza delle opere (1:5.000 o maggiore)	All. 5
3) Caratteristiche idrogeologiche e interazione delle opere con la falda idrica	§§ 9 e 14 All. 4 e 9
4) Caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che possono influenzare la risposta sismica locale	§ 11
5) N. 2 sezioni geologiche, di cui una tracciata lungo la massima pendenza, con indicazione delle opere di progetto e la successione dei litotipi fondazionali con il maggiore livello della falda acquifera eventualmente presente	All. 9
6) Planimetria con ubicazione delle indagini, nuove e/o pregresse. Le indagini pregresse, se contigue all'area in esame, dovranno essere comunque rappresentative del contesto geologico/geotecnico in cui insiste l'opera da realizzare	All. 6 e 7
7) Elaborati numerici e grafici, chiaramente leggibili e a colori, di tutte le indagini geognostiche e sismiche nuove e/o pregresse	All. 8
8) Stralcio della cartografia del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – P.A.I. di cui alla Legge 183/89 e D. L. 180/98	§ 3
9) Recepimento di eventuali prescrizioni previste dal parere rilasciato ai sensi dell'articolo 89 del DPR 380/2001	§ 3
10) Stralcio della carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) del Livello 1 e 3 di Microzonazione Sismica validata, se disponibili	All. 2
11) Documentazione fotografica delle indagini realizzate	All. 10
12) Indicazioni sulla fattibilità degli interventi ed eventuali prescrizioni progettuali	§ 14

