

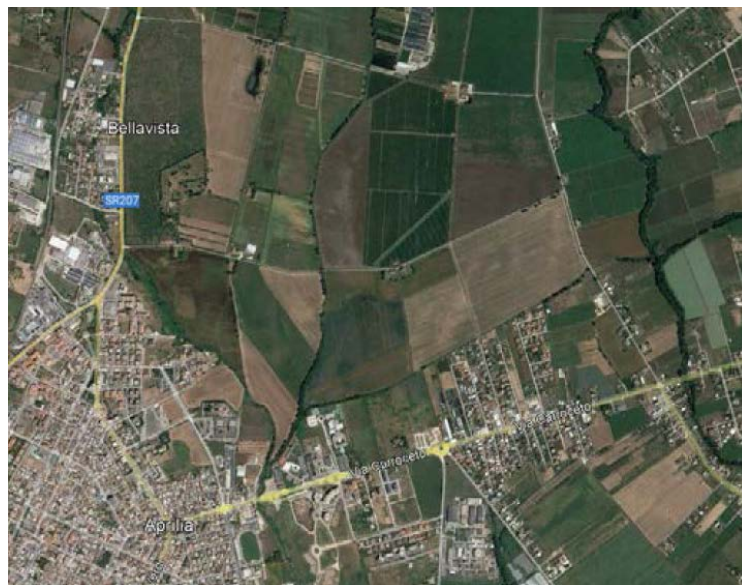
**G.EDLS.** s.r.l.

sede legale: Via Frattina, 10 - 00187 Roma



sede amministrativa:  
Via Roma, 28 – 02034 MONTOPOLI DI SABINA (RI)  
Tel 0765/441102 (St) 0765/206263 (Fax)  
329/9171242 (Cell)  
e-mail: info@gedis-srl.com

## COMUNE DI LANUVIO (RM)



Relazione geologica relativa al progetto per la realizzazione di un nuovo  
impianto fotovoltaico – RNE1 Lanuvio Solar , ai senti dell’art.12 del  
D.Lgs. n.387/2003 commissionata dalla Soc.tà EEM S.r.l.

ROMA, Febbraio 2022

Dott. Geol. David Simoncelli

E' riservata la proprietà di questo elaborato che potrà essere riprodotto, anche in parte, solo dopo autorizzazione scritta

## PREMESSE

Nel rispetto delle indicazioni espresse dalla Legge vigente, è stata effettuata una relazione geologica inerente la determinazione delle caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione in cui è previsto il progetto per la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico – RNE1 Lanuvio Solar, ai sensi dell’art. 12 del D.Lgs. n.387/2003, commissionata dalla Soc.tà EEM S.r.l..

Secondo i dati forniti dai progettisti, l’impianto fotovoltaico in oggetto sarà realizzato su due lotti di terreno adiacenti, per un’area totale di circa 61 ha ed una potenza di circa 60,90MW.

Allo scopo di ricostruire l’andamento stratigrafico del sito e di valutare le caratteristiche geotecniche e sismiche del terreno, e, tenendo conto che il sito in esame, in ottemperanza al **R.R. n.7 del 16 Aprile 20 21 della Regione Lazio– Allegato C, ricade in “Livello di Rischio Sismico Medio”**, sono state pertanto eseguite le seguenti indagini:

- un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- acquisizione dati tratti da studi effettuati dallo scrivente in aree adiacenti e limitrofe;

- n°3 prove penetrometriche dinamiche continue di tipo super-pesante (DPSH);
- n°2 prove di rumore sismico (HVSr) eseguite con tromografo digitale “*Tromino*” ed elaborazione dati mediante il software “*Grilla*” (forniti entrambe della Società Micromed spa).
- n°2 MASW, eseguite mediante sismografo “Sysmatrack” multicanale (12 canali) fornito dalla Società “MAE advanced geophysics instruments”;
- n°2 sezioni geologiche, di cui una eseguita secondo la massima pendenza del versante, indicante la successione dei litotipi fondazionali;
- misurazioni mediante strumenti portatili sugli affioramenti presenti.

### LINEAMENTI MORFOLOGICI E GEOLITOLOGICI DELL'AREA

L'area in esame è posta ad una distanza di circa 8,0 km in direzione S-SW dal centro storico di Lanuvio, ad una quota di circa 75 m s.l.m.

Dal punto di vista morfologico il sito di studio è ubicato in corrispondenza di un'area contraddistinta da blande pendenze, dell'ordine dei 5-8°, che degradano verso i quadranti nord-occidentali, in direzione del fondovalle del fosso della Ficocchia.

In relazione alle condizioni topografiche del sito in esame (Tab. 3.2.IV) si definisce la **Categoria T1 [superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ]** corrispondente ad un **Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T = 1,00$** .

L'area è descritta nel F°158 – LATINA della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, e nella sezioni 388130 e 387160 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) scala 1:10.000 e nella sezione 388133 e 387162 Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) scala 1:5.000.

#### **Geologia generale di Lanuvio**

I Colli Albani rappresentano uno strato-vulcano Quaternario facente parte della provincia magmatica romana sviluppatasi durante gli ultimi milioni di anni lungo il margine tirrenico della catena Appenninica.

L'origine del vulcanismo peri-tirrenico è legata alla subduzione della placca Adriatica al di sotto della placca Euro-Asiatica.

Tale subduzione ha dato origine alla formazione del fronte di corrugamento Appenninico in migrazione verso E ed al vulcanismo di retroarco (Toscana, Lazio e Campania) come conseguenza della fusione di un mantello metasomatizzato da fluidi provenienti dalla stessa placca in subduzione. Tale allineamento magmatico segue la direzione NW-SE ovvero la medesima della catena Appenninica.

In particolare l'edificio dei Colli Albani è sorto in corrispondenza dell'intersezione di diversi lineamenti tettonici in una zona in cui la crosta sarebbe stata meno resistente a sollecitazioni intervenute a seguito di una maggiore frammentazione.

L'evoluzione geologica dei Colli Albani è stata suddivisa in tre epoche principali: 1) Tuscolano-Artemisio, 2) Faete, 3) Fase idrogmatica finale.



L'epoca del Tuscolano-Artemisio copre un periodo compreso tra circa 600 mila anni fino a 350 mila anni fa. In tale periodo di tempo l'attività vulcanica è stata principalmente di tipo centrale e l'edificio formatosi era l'edificio omonimo (Tuscolano-Artemisio). In questa prima epoca si individuano quattro cicli eruttivi ognuno dei quali costituito da messa in posto di depositi da flusso piroclastico seguiti da depositi da ricaduta ricoperti a loro volta da colate laviche a chiusura dell'attività. Ogni ciclo eruttivo è separato dal successivo da un paleosuolo più o meno sviluppato a seconda delle condizioni morfologiche locali. Gli spessori delle varie unità eruttive della fase del Tuscolano-Artemisio decrescono da E verso W. Il primo ciclo, tra 600 e 500 mila anni, è coevo con un minimo eustatico di notevole importanza. L'attività è stata caratterizzata dal susseguirsi di quattro colate piroclastiche in rapida successione, seguite da attività effusiva concentrata nel settore SW del vulcano.

La prima di tali colate piroclastiche (Formazione di Tor de' Cenci) è stata datata a circa 560 Ka ed esprime un volume superiore a 10 km<sup>3</sup>. Ai depositi delle quattro colate piroclastiche generate da violente eruzioni freatomagmatiche si attribuiscono volumi di almeno 10 km<sup>3</sup> ad ogni deposito. L'attività in questa fase viene controllata dalla presenza di forti quantità di acqua in superficie la quale presumibilmente riempiva una vasta depressione vulcano-tettonica. E' ipotizzabile che ogni ciclo eruttivo si chiudesse con un collasso calderico. Il secondo ciclo del periodo del Tuscolano-Artemisio diede luogo alla deposizione di corpi con spessori fino a 90 m nelle paleovalli fluviali che affiorano abbondantemente nel settore E del vulcano. E' stato calcolato che il volume minimo di tale ignimbrite (Formazione delle Pozzolane Rosse o Pozzolane di S. Paolo Auct.) risulterebbe pari ad un volume di circa 34 km<sup>3</sup>. Tali depositi si trovano messi in posto fino ad una distanza di 80 km dal centro di emissione stesso raggiungendo la loro deposizione la quota di circa 400 m sui Monti Tiburtini. Il secondo ciclo termina con un'attività effusiva degna di nota, datata a circa 480 Ka, in corrispondenza con un minimo eustatico. Il terzo

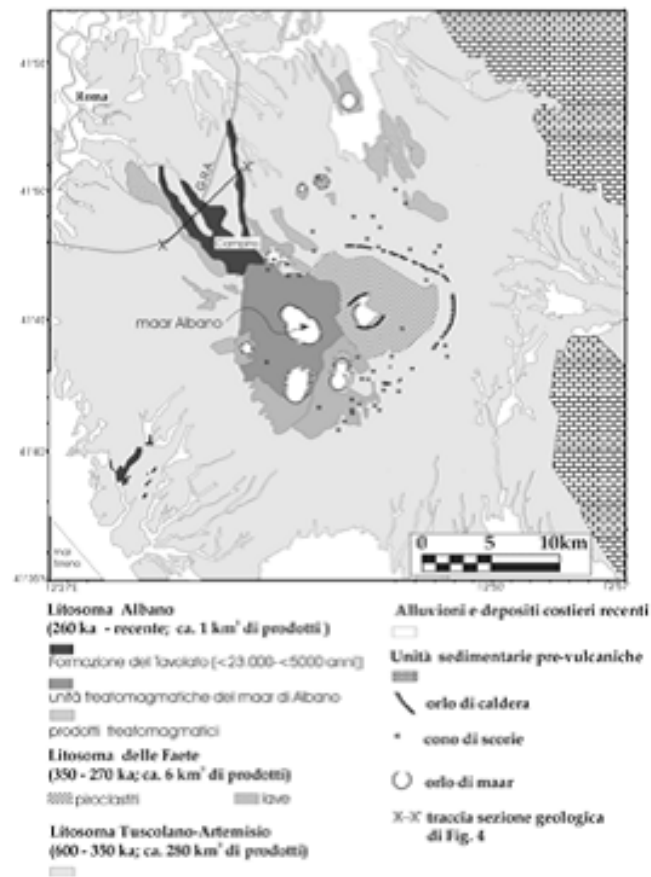
ciclo del periodo del 16 Tuscolano-Artemisio include un'altra colata piroclastica dalle dimensioni analoghe a quelle del secondo. Questi depositi sono stati oggetto di una intensa erosione per la mancanza della copertura lavica di solito concludente il ciclo di attività eruttiva. Il quarto ciclo, datato circa 350-360 Ka, è nuovamente caratterizzato dall'emissione di un'ignimbrite con due distinte unità di flusso note in letteratura come una come Tufo Lionato e l'altra Tufo di Villa Senni. Il volume complessivo eruttato è stato calcolato in circa 30 Km<sup>3</sup>. Attraverso tale evento eruttivo l'edificio Tuscolano-Artemisio cambia la sua morfologia per mezzo del suo collassamento e la formazione di un'enorme caldera detta del Tuscolano-Artemisio con un diametro pari a circa 11 km. Dopo un consistente periodo di quiescenza, l'attività riprese nella parte centrale della depressione calderica di neoformazione con prodotti che diedero luogo alla formazione di uno stratovulcano (Fase detta delle Faete o dei Campi di Annibale). Nel complesso i prodotti di tale fase sono volumetricamente molto minori rispetto a quelli della fase precedente: nel complesso vennero emessi un volume di prodotti solo di 2 km<sup>3</sup> contro i 283 km<sup>3</sup> della fase precedente del Tuscolano-Artemisio. Una delle effusioni più importanti di tale epoca è la famosa colata di Capo di Bove, morfologicamente ben riconoscibile. L'epoca delle Faete ricopre un periodo compreso tra i 277 ed i 250 Ka. L'attività più recente dei Colli Albani è stata inizialmente denominata come fase idromagmatica finale.

Successivamente essa è stata definita come epoca freatomagmatica. La fase in parola copre un lasso di tempo compreso tra 200 Ka e 20 Ka anni fa. Durante tale epoca si sono verificate diverse eruzioni idromagmatiche fuoriuscite da crateri eccentrici coalescenti (maar). La maggior parte di essi è posta nei settori a NW e SW del complesso vulcanico. Tra questi centri eruttivi sono considerati più importanti quelli di Albano, Nemi e di Ariccia nonché altre numerose depressioni minori meno conosciute. Il maar di Albano sembra essersi

formato per il susseguirsi di almeno cinque eventi eruttivi che hanno dato luogo ad altrettante depressioni coalescenti.

Il primo tra tali centri eruttivi fu attivo circa 45000 anni fa, il terzo circa 26000 anni fa, mentre il quarto circa 16000 anni fa. Il più giovane tra i crateri di Albano, che coincide con la porzione più profonda del lago, ha un'età di circa 7,5 Ka del lago di Albano (Fig. 1).

L'evento più significativo dell'epoca freatomagmatica fu la messa in posto del cosiddetto Peperino di Albano, un'ignimbrite deposta durante un'eruzione avvenuta circa 25000 anni fa.



*Fig.1 - Carta geologica del vulcano dei Colli Albani*

Dal punto di vista litologico, l'area è caratterizzata, al di sotto di spessori metrico variabili di coltre superficiale, dalla presenza di depositi piroclastici cineritici pozzolanacei marroni a granulometria limoso debolmente sabbiosa, tali materiali migliorano progressivamente le loro caratteristiche geotecniche all'aumentare della profondità e sono attribuibili ai depositi dell'Apparato dei Colli Albani, riconducibili al Pleistocene medio.

Le osservazioni e le indagini compiute hanno evidenziato le discrete condizioni geomorfologiche del terreno in esame; non si ravvisano, infatti, nel sito e nei suoi immediati dintorni, tracce di fenomeni franosi o in genere, di processi morfogenetici in atto e le acque di corrivazione non hanno prodotto dissesti o altre forme di erosione diffusa.

### INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Secondo la Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, il sito in esame ricade al limite tra il Complesso dei depositi fluvio palustri e lacustri (6) e il Complesso delle Pozzolane (10), il primo a potenzialità acquifera bassa, costituito da depositi prevalentemente limoso argillosi in facies palustri, presentano uno spessore piuttosto variabile da pochi metri ad alcune decine di metri. La componente argillosa di questo complesso impedisce una circolazione idrica significativa; mentre la presenza di ghiaie, sabbie può dar luogo a falde limitate di interesse locale. L'altro complesso presenta una potenzialità acquifera media,

composta essenzialmente da depositi da colata piroclastica, genericamente massimi e caotici, a volte litoidi. Questo complesso può essere sede di un'estesa circolazione idrica sotterranea, assumendo localmente il ruolo di limite che alimenta la falda di base dei grandi acquiferi vulcanici regionali. In prossimità della zona di studio è presente l'isopieza 40 mt, ovvero la falda idrica principale risulta essere superiore ai 30 mt dal p.c.; non si esclude però la presenza di falde superficiali sospese al contatto tra depositi meno permeabili e quelli più permeabili.

### CARATTERISTICHE DEL TERRENO

Allo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico del sito e di valutare le caratteristiche geotecniche e sismiche del terreno, e, tenendo conto che il sito in esame, in ottemperanza al **R.R. n.7 del 16 Aprile 20 21 della Regione Lazio– Allegato C, ricade in “Livello di Rischio Sismico Medio”**, sono state pertanto eseguite le seguenti indagini:

- un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- acquisizione dati tratti da studi effettuati dallo scrivente in aree adiacenti e limitrofe;
- n°3 prove penetrometriche dinamiche continue di tipo superpesante (DPSH);

- n°2 prove di rumore sismico (HVSR) eseguite con tromografo digitale “*Tromino*” ed elaborazione dati mediante il software “*Grilla*” (forniti entrambe della Società Micromed spa).
- n°2 MASW, eseguite mediante sismografo “*Sysmatrack*” multicanale (12 canali) fornito dalla Società “*MAE advanced geophysics instruments*”;
- n°2 sezioni geologiche, di cui una eseguita secondo la massima pendenza del versante, indicante la successione dei litotipi fondazionali;
- misurazioni mediante strumenti portatili sugli affioramenti presenti.

I dati ottenuti hanno evidenziato, dall’alto verso il basso, una situazione stratigrafica caratterizzata a larga scala da una successione dei terreni pressoché omogenea, evidenziata nelle sezioni geologiche interpretative in allegato, caratterizzata dalla presenza di:

### PROVA DPSH 1 (CORRELATA CON HVSR1)

dal P.C. a -1.2 m = COLTRE SUPERFICIALE

da -1.2 m a - 5.0 m (\*) = DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO  
DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA  
MODERATAMENTE A MEDIAMENTE  
ADDENSATI

da -5.0 m (\*) a - 23.0 m (\*) = DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO  
DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA  
MEDIAMENTE ADDENSATI AD  
ADDENSATI

da -23.0 m (\*) a - 30.0 m (\*) = POZZOLANE INFERIORI CON  
ABBONDANTI MATERIALI SCORIACEI  
ROSSASTRI E SPARSI PICCOLI FRAMMENTI  
DI CALCARI MARNOSI

### PROVA DPSH 2 (CORRELATA CON HVSR2)

dal P.C. a -1.5 m = COLTRE SUPERFICIALE

da -1.5 m a - 5.0 m (\*) = DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO  
DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA  
MODERATAMENTE A MEDIAMENTE  
ADDENSATI

da -5.0 m (\*) a - 25.0 m (\*) = DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO  
DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA  
MEDIAMENTE ADDENSATI AD  
ADDENSATI

da -25.0 m (\*) a - 30.0 m (\*) = POZZOLANE INFERIORI CON  
ABBONDANTI MATERIALI SCORIANI  
ROSSASTRI E SPARSI PICCOLI FRAMMENTI  
DI CALCARI MARNOSI

### PROVA DPSH 3



dal P.C. a -1.5 m = COLTRE SUPERFICIALE

da -1.5 m a - 3.9 m = DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO  
DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA  
MODERATAMENTE A MEDIAMENTE  
ADDENSATI

(\*) tali profondità sono state estrapolate sulla base dei dati provenienti dalle indagini sismiche e dalle stratigrafie dei sondaggi acquisite.

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche, i valori di  $N_{spt}$  forniti dalle prove penetrometriche effettuate, correlati con teorie di vari autori (come riportato integralmente negli elaborati prove penetrometriche allegati alla relazione), unitamente a misurazioni mediante strumenti portatili e all'acquisizione dati da prove di laboratorio effettuate su analoghi litotipi, hanno permesso di determinare la seguente tabella dei parametri minimi dei litotipi rinvenuti:



LITOTIPI	Peso di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Angolo di attrito $\varphi$ (°)	Coesione drenata C (t/m <sup>2</sup> )	Nspt	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
COLTRE SUPERFICIALE	1.75	22	0.5	3.14	---	190.56
DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	1.85	29	0.5	19.96	174.80	1084.09

### LIQUEFAZIONE

Le **NTC 2018** prevedono che il sito presso il quale è in progetto una nuova opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della resistenza di progetto e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali. Per ciò che concerne la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione, questa è connessa alla presenza di terreni sabbiosi saturi a profondità inferiori a 15 m e alla eventualità di terremoti con magnitudo superiore a 5. Lo scuotimento indotto dal moto sismico genera un incremento della pressione dell'acqua contenuta nei pori del

terreno che può arrivare ad uguagliare la tensione efficace del terreno. In questa condizione si ha l'annullamento della resistenza al taglio del terreno e, di conseguenza, la sua liquefazione. Ai sensi delle N.T.C. di cui al D.M. 17/01/18 (paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiori a 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

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

## CARATTERIZZAZIONE SISMICA

**Coordinate WGS84 del sito Lat. 41.604128° - Long. 12.669980°**

Il Comune di **Lanuvio** è stato classificato come **Seconda Categoria Sismica** sulla base della classificazione sismica fino ai Decreti del 198 N.C.. Successivamente in base alle proposte del Gruppo di Lavoro del Servizio Sismico Nazionale (Ord. P.C.M. n.2788 del 12.06.1998) è stato confermato in **Seconda Categoria Sismica** e poi inserito in **Zona 2** ai sensi dell'Ord. P.C.M. n°3274 del 20.03.2003. Successivamente è stato nuovamente confermato, in ottemperanza alla Delib. Giunta Reg. Lazio n°766 del 01.08.2003 che aggiorna in senso restrittivo l'Ord. P.C.M. n°3274, in **Zona 2**, equiparata alla precedente Terza Categoria Sismica.

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

## ANALISI SISMICA TRAMITE MICROTREMORI

Il rumore sismico è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico viene prodotto principalmente dal vento e dalle onde del mare. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che vengono attenuate piuttosto rapidamente.

A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono gli effetti locali, dovuti a sorgenti antropiche e/o naturali.

Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche sia degli edifici che del sottosuolo, un po' come una luce bianca che illumina gli oggetti, eccitando le lunghezze d'onda del loro stesso colore. Ad esempio, se ci si trova all'interno di un edificio con frequenze di risonanza a 6 e 100 Hz, il rumore di fondo ecciterà queste frequenze, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore. Allo stesso modo compariranno anche le frequenze di risonanza del sottosuolo. Ad esempio, se il sottosuolo su cui lo strumento è posto ha una stratificazione con frequenze proprie a 0.8 Hz e 20 Hz, queste frequenze appariranno nello spettro come picchi facilmente individuabili rispetto alla traccia di sottofondo.

Durante un terremoto che si può assimilare ad una traccia di rumore con ampiezze sino a  $10^{10}$  volte maggiori del rumore di fondo, se la frequenza di risonanza del suolo e quella dell'edificio che si trova su di esso sono uguali, viene indotta un'oscillazione risonante accoppiata, detta *amplificazione sismica*, che accresce enormemente le sollecitazioni sull'edificio.

L'amplificazione sismica è la prima causa dei danni agli edifici durante un terremoto, molto più della grandezza stessa del terremoto. Un esempio notevole di amplificazione sismica si è avuto in anni recenti, il 19 settembre 1985, quando un terremoto "medio" ( $M=6.6$ ) colpì il Messico Centrale producendo danni modesti vicino all'epicentro, ma provocando il crollo di 400 palazzi a Città del Messico, distante 240 km dall'epicentro. Analisi successive hanno mostrato come Città del Messico sia costruita su di un bacino sedimentario la cui frequenza, circa 1 Hz, è identica a quella dei palazzi di 10 piani che risultarono essere i più danneggiati dal terremoto. Allo stesso modo, il terremoto calabro-messinese del 28 dicembre 1908 ( $M=7.2$ ) distrusse il 95% delle case di Messina ma lasciò praticamente intatte tutte quelle costruite su roccia e quindi non soggette a amplificazione sismica.

La tecnica qui applicata è detta HVSR (Horizontal/Vertical Spectral Ratio) con registrazione su singola stazione. Alla curva sperimentale HVSR (rossa, in Fig. 1, riferita ad un caso generico) viene sovrapposta una curva teorica (blu) usando il vincolo geologico-

stratigrafico ottenuto per via indipendente dalle indagini di campagna sullo strato più superficiale.

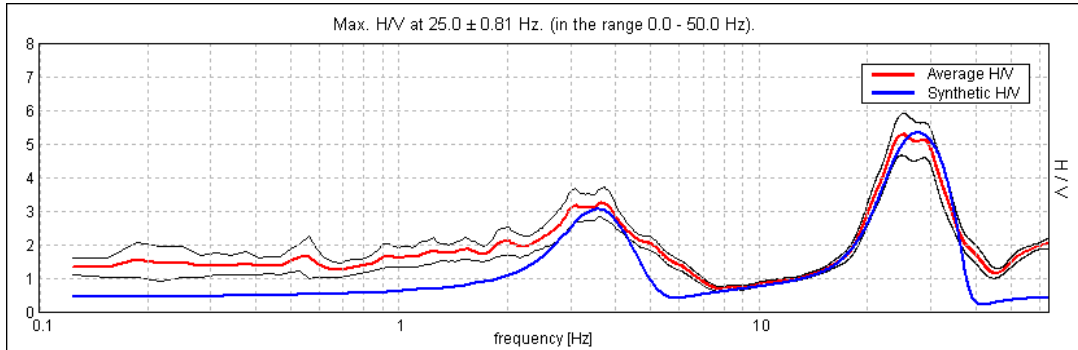
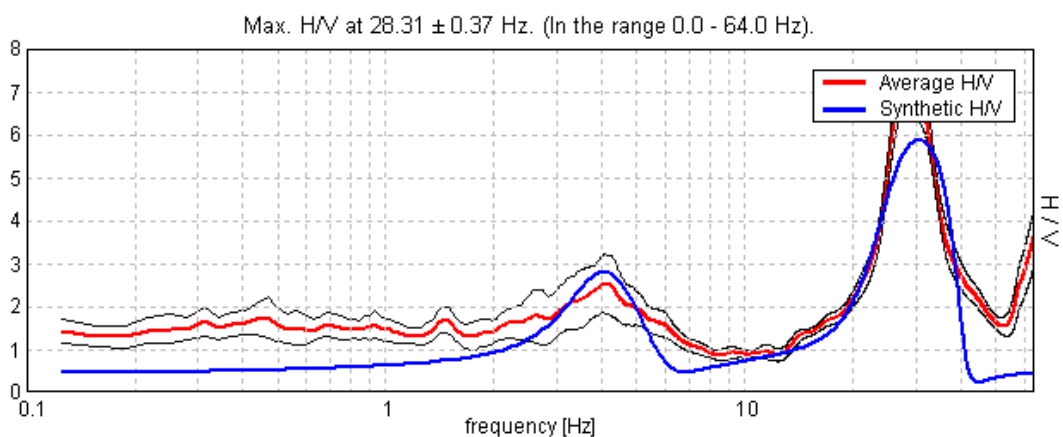


Figura 1

I picchi evidenziati corrispondono ad orizzonti stratigrafici dotati di una particolare frequenza di risonanza (espressa in Hertz) e caratterizzati da differenze di impedenza sismica, direttamente correlabili alla velocità di propagazione delle onde sismiche, tanto più evidenti quanto maggiore è il contrasto di impedenza/velocità.

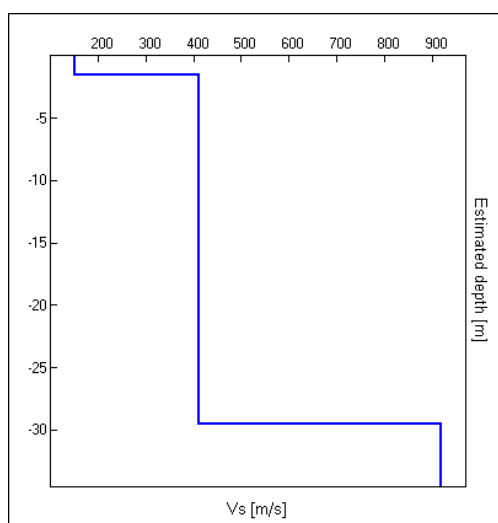
La procedura dunque comprende:

- Identificazione diretta di uno strato superficiale (posto solitamente entro i primi metri dal p.c.);
- Identificazione del picco ad esso riferito sulla curva sperimentale;
- Costruzione del *best fit* della curva teorica su quella sperimentale, usando i vincoli dei punti precedenti (Figura 2);



*Figura 2*

– Costruzione di una sequenza sismica monodimensionale fondata sulle Vs, i cui orizzonti stratigrafici corrispondono ai picchi della sovrapposizione curva sperimentale vs. curva teorica, come nella figura che segue (Figura 3), anch'essa riferita ad un caso generico.



*Figura 3*

L'acquisizione dei dati di campagna viene effettuata mediante tromografo digitale *Tromino* della Micromed spa, mentre l'elaborazione dei dati si serve del software *Grilla* fornito dalla stessa ditta.

Nei grafici in allegato sono inoltre rappresentati:

- Diagramma rappresentativo della stabilità del rapporto H/V, durante la registrazione, indice della pulizia della traccia acquisita (Figura 4);

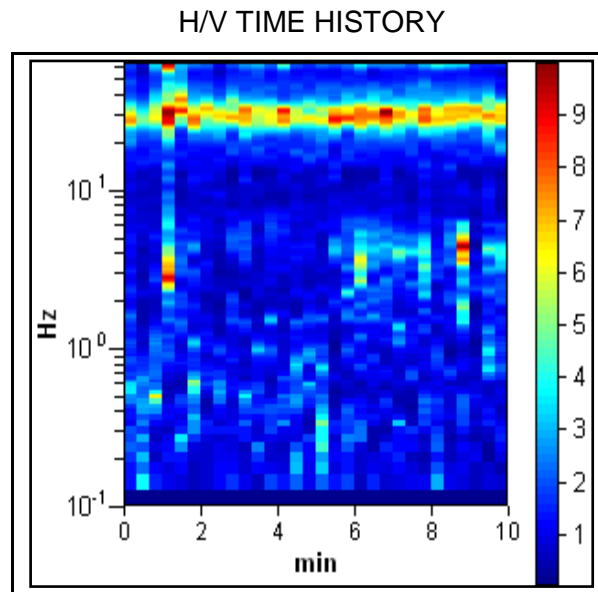


Figura 4

➤ Diagramma delle singole componenti spettrali, misurate dal tromografo (Figura 5).

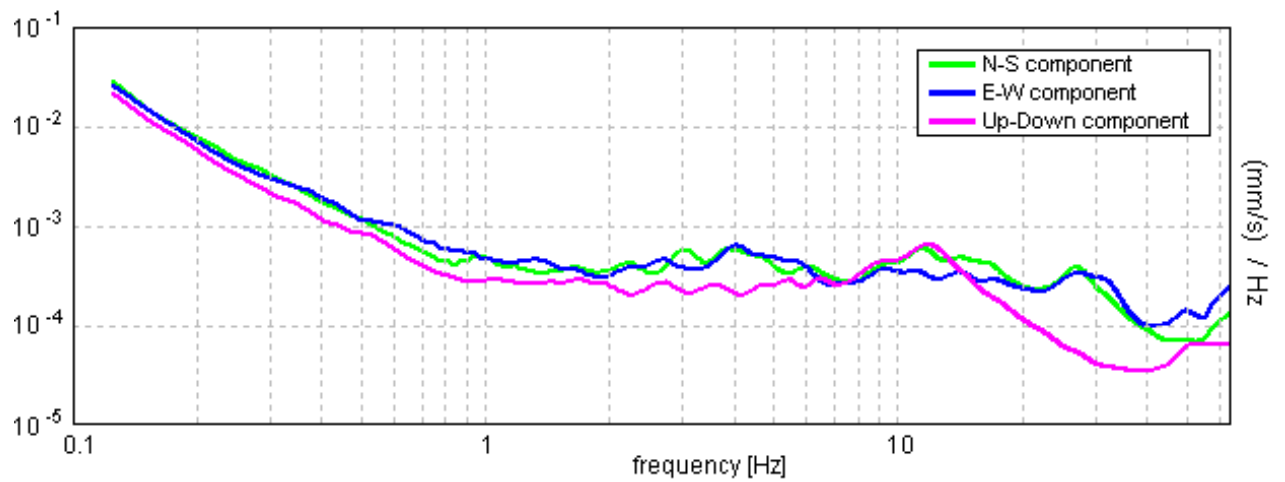


Figura 5

ANALISI SISMICA TRAMITE MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali, eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiale è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiando con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e di velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10Hz e 70-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 metri, in funzione della rigidezza del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori ai  $20^\circ$ , sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:



1. calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento, energizzando alternativamente ai due estremi dello stendimento;
2. calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo Roma (2001);
3. calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998);
4. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_{sv}$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_{sv}$  e di compressione  $V_p$  (o in alternativa il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità  $V_s$  trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software “*Grilla*” fornito dalla Società Micromed S.p.A.

Pertanto, sulla base dei dati pervenuti e dall'acquisizione dei dati stratigrafici tratti da altre indagini geognostiche (prove penetrometriche dinamiche), effettuate in siti limitrofi e da cui è stato possibile delineare anche la stratigrafia del sito in oggetto fino alla profondità di oltre 30,0 mt, si è tarata l'elaborazione dell'indagine effettuata, ottenendo valori delle velocità di  $V_{S,eq(0-30m)}$  **di 401 m/s (HVSR 1), di 383 m/s (HVSR2), di 383,68 m/s (MASW 1) e di 377,56 m/s (MASW 2).**

Ai sensi del D.M. 17.01.2018 (“Norme Tecniche per le Costruzioni”, Tab. 3.2.II), per la progettazione di manufatti soggetti ad azioni sismiche, il terreno in esame può essere riferito alla **Categoria di Suolo di Fondazione B – [ Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.]**.

## PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA

Nell'ipotesi, da verificare in fase progettuale, di un edificio ricadente in **Classe I** (par. 2.4.2 NTC) e di una **vita nominale pari a 50 anni** e un **periodo di riferimento pari a 35 anni**, si definiscono i seguenti parametri di pericolosità sismica ai sensi della normativa vigente:

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.045	2.527	0.256
Danno (SLD)	35	0.049	2.498	0.259
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.139	2.549	0.270
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.178	2.569	0.273
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,44	1,44	1,43	1,43
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ]				0.6
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.012	0.040	0.051
kv	0.005	0.006	0.020	0.026
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.529	0.582	1.633	2.089
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

## CONCLUSIONI

L'area interessata dal progetto ricade in zona già nota e, considerando le caratteristiche morfologiche e geolitologiche del terreno descritto, non si ravvisano difficoltà di ordine geologico realizzazione di quanto in progetto, a patto che:

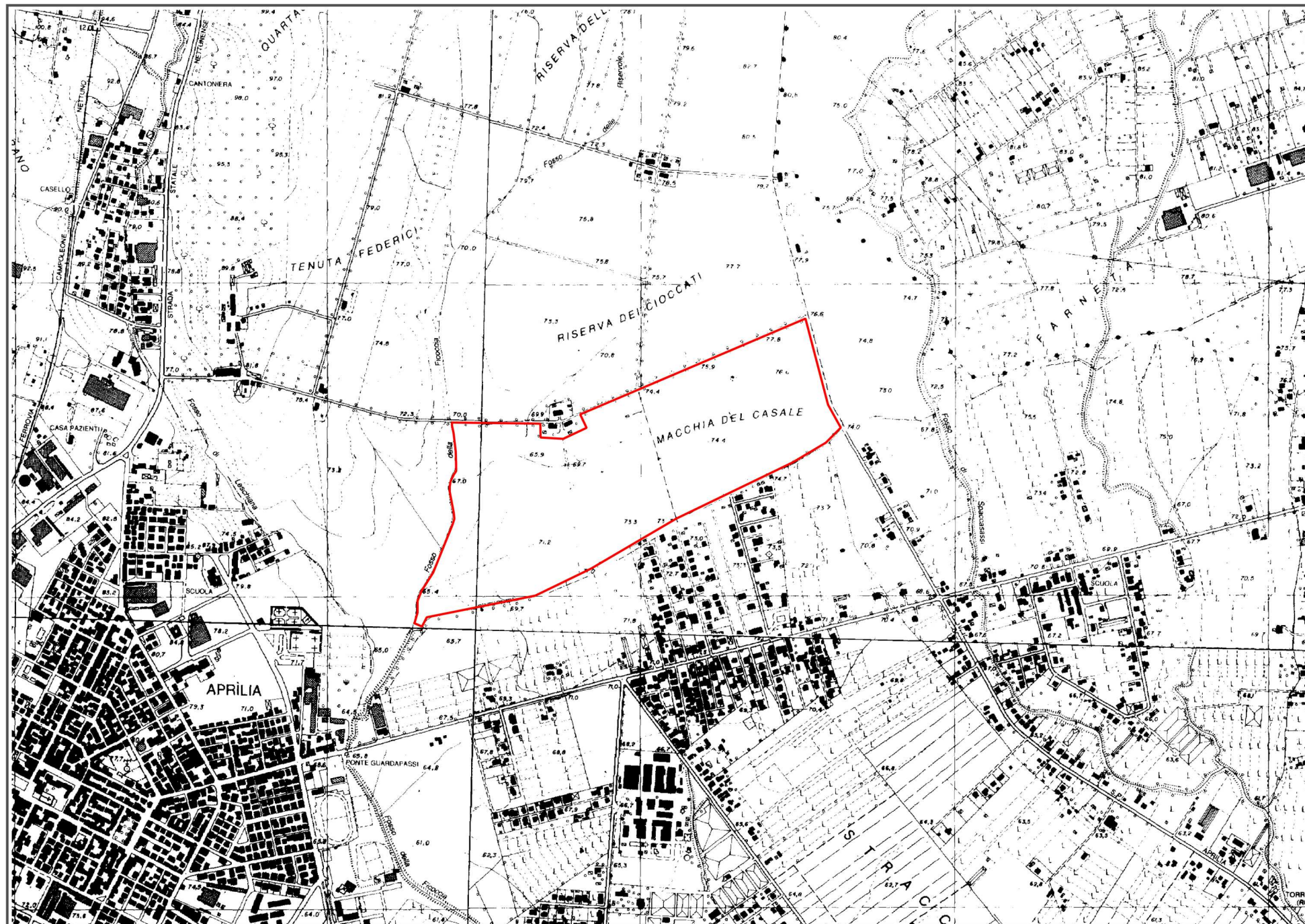
- in virtù delle possibili variazioni laterali dei terreni presenti, le operazioni di scavo vengano eseguite anche in presenza dello scrivente;
- eseguire un'adeguata regimazione delle acque meteoriche nell'intorno delle strutture da realizzare anche alla luce di possibili ristagni idrici legati alla modesta permeabilità e le blande pendenze esistenti.

Roma, Febbraio 2022

Dott. Geol. David Simoncelli

# COROGRAFIA GENERALE

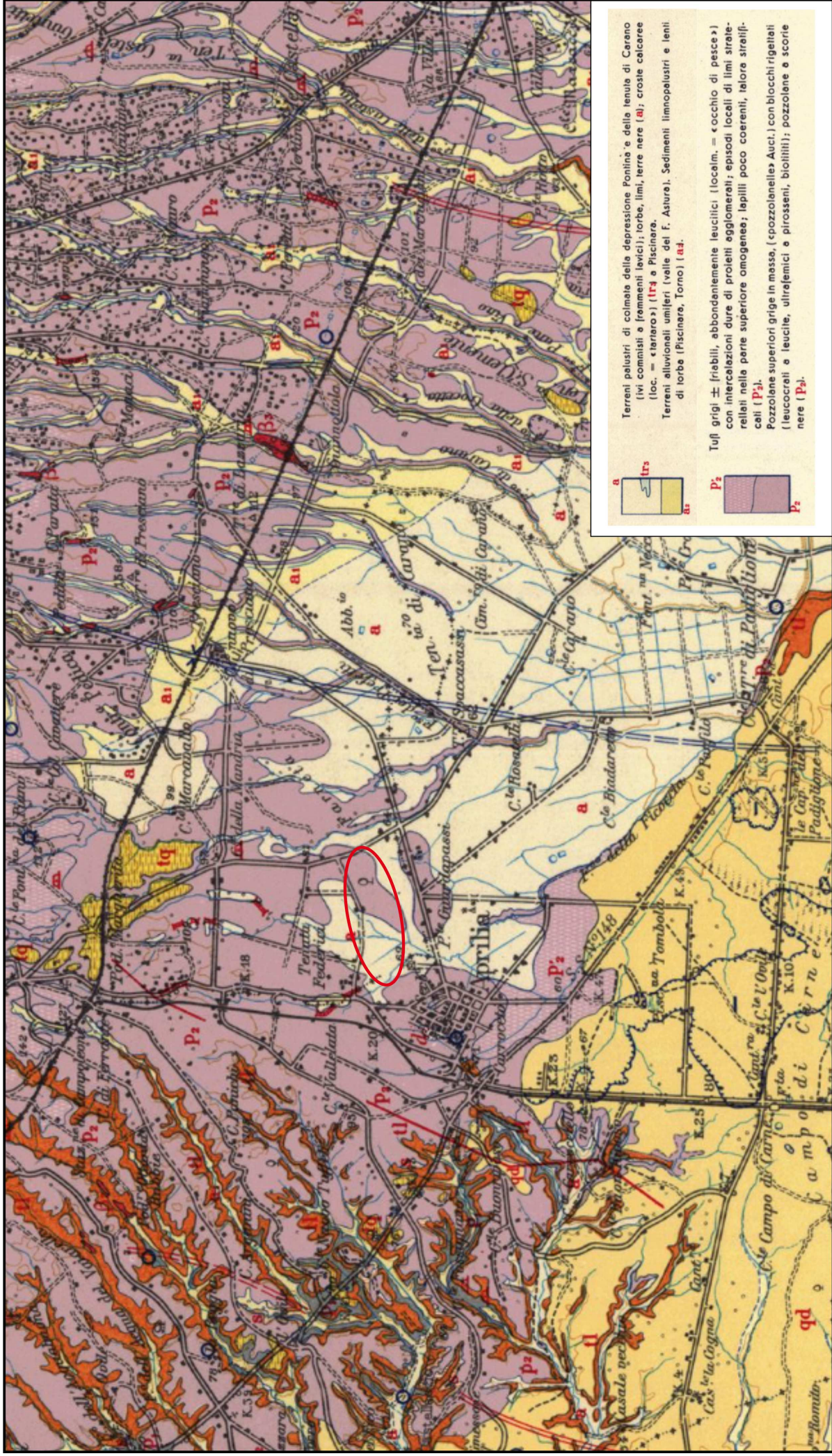
Scala 1:10.000



○ Ubicazione del sito



STRALCIO CARTA GEOLOGICA  
 foglio 158-Latina

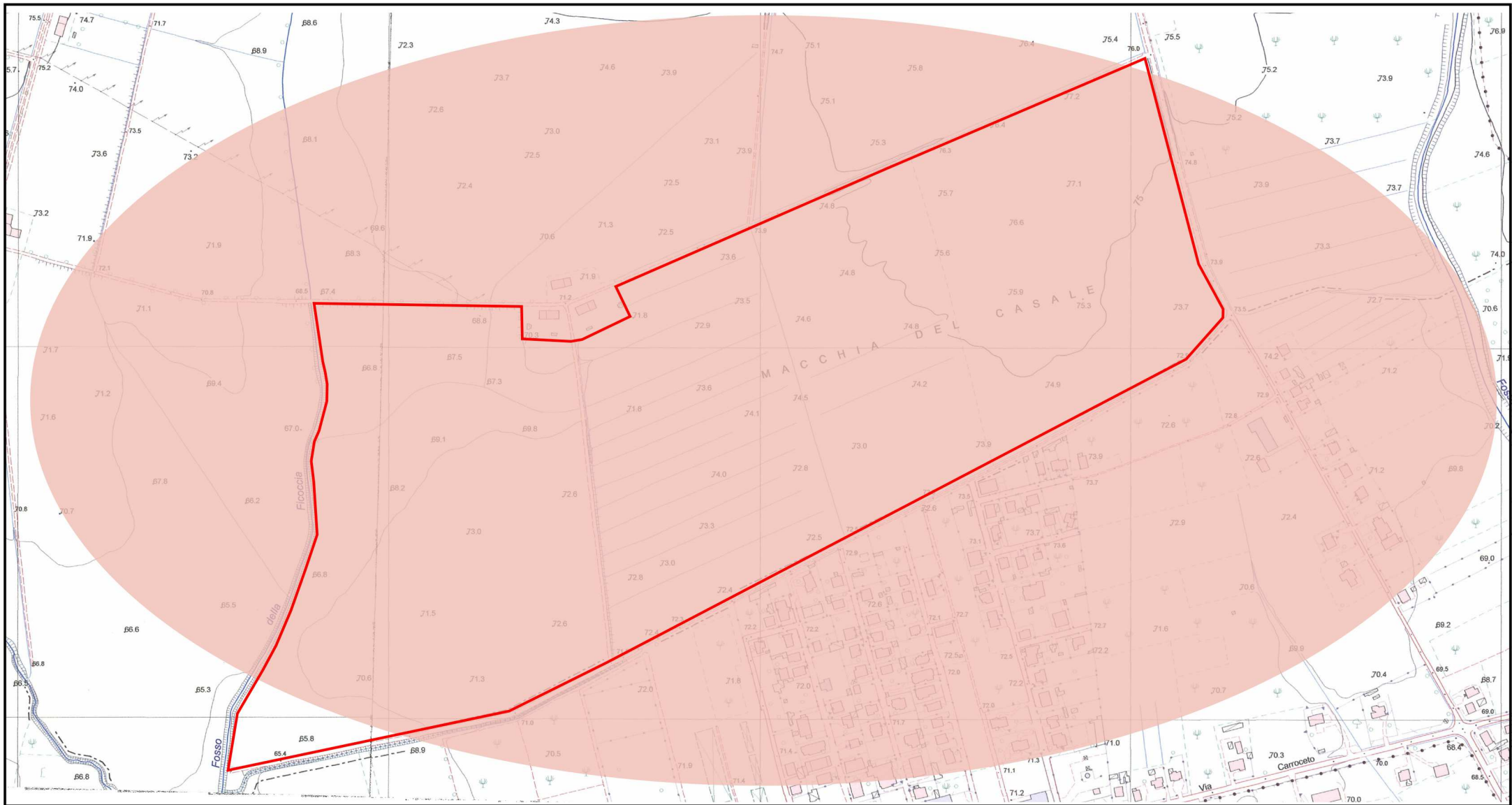


○ Ubicazione del sito



# CARTA GEOLOGICA

Scala 1:1.000



Ubicazione del sito



Depositi piroclastici limoso debolmente sabbiosi marroni



IdroGEO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



### Pericolosità e rischio

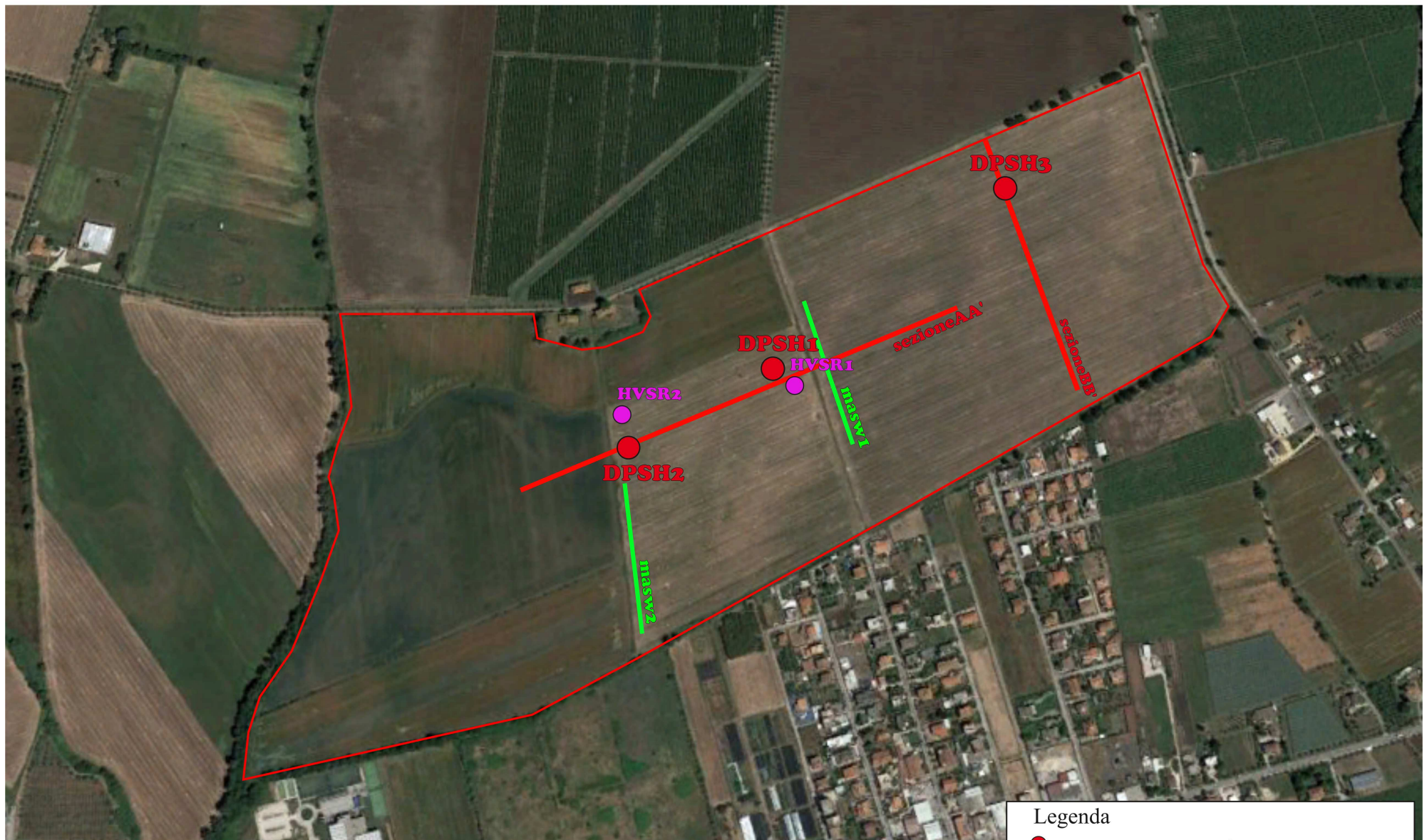
Frane	Territorio	Popolazione	Famiglie	Edifici	Imprese	Beni culturali
Molto Elevata P4	0,01 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Elevata P3	0,65 (0,4%)	98 (0,1%)	38 (0,1%)	47 (0,3%)	5 (0,1%)	0 (0%)
Media P2	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Moderata P1	0,07 (0%)	3 (0%)	1 (0%)	2 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Area Attenzione AA	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
P4 + P3	0,66 (0,4%)	98 (0,1%)	38 (0,1%)	47 (0,3%)	5 (0,1%)	0 (0%)
Alluvioni	Territorio	Popolazione	Famiglie	Edifici	Imprese	Beni culturali
Scenario P3 Tr. 20-50 anni	0,39 (0,2%)	57 (0,1%)	22 (0,1%)	16 (0,1%)	2 (0%)	0 (0%)
Scenario P2 Tr. 100-200 anni	0,39 (0,2%)	57 (0,1%)	22 (0,1%)	16 (0,1%)	2 (0%)	0 (0%)
Scenario P1 Tr. 300-500 anni	0,39 (0,2%)	57 (0,1%)	22 (0,1%)	16 (0,1%)	2 (0%)	0 (0%)



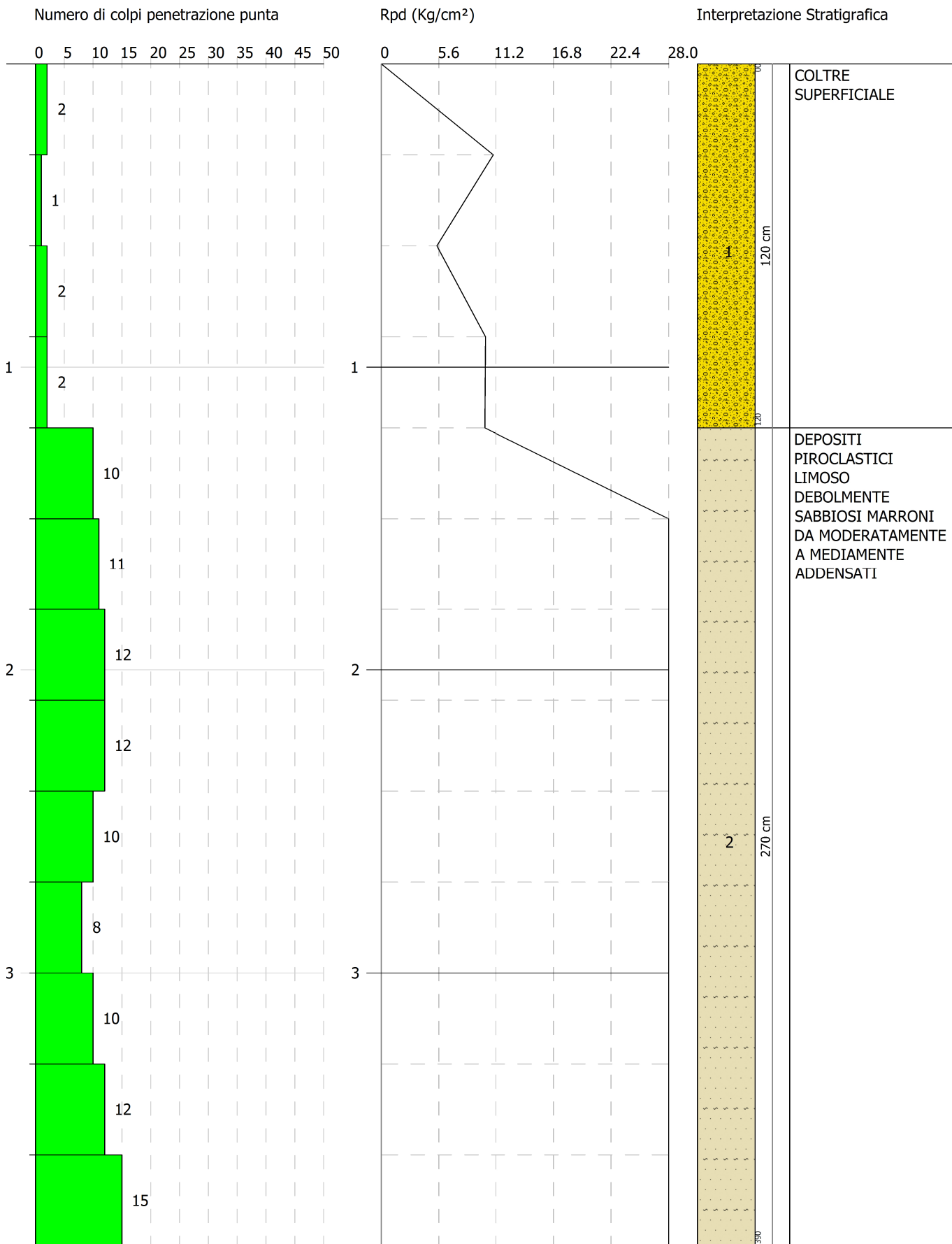
Ubicazione del sito

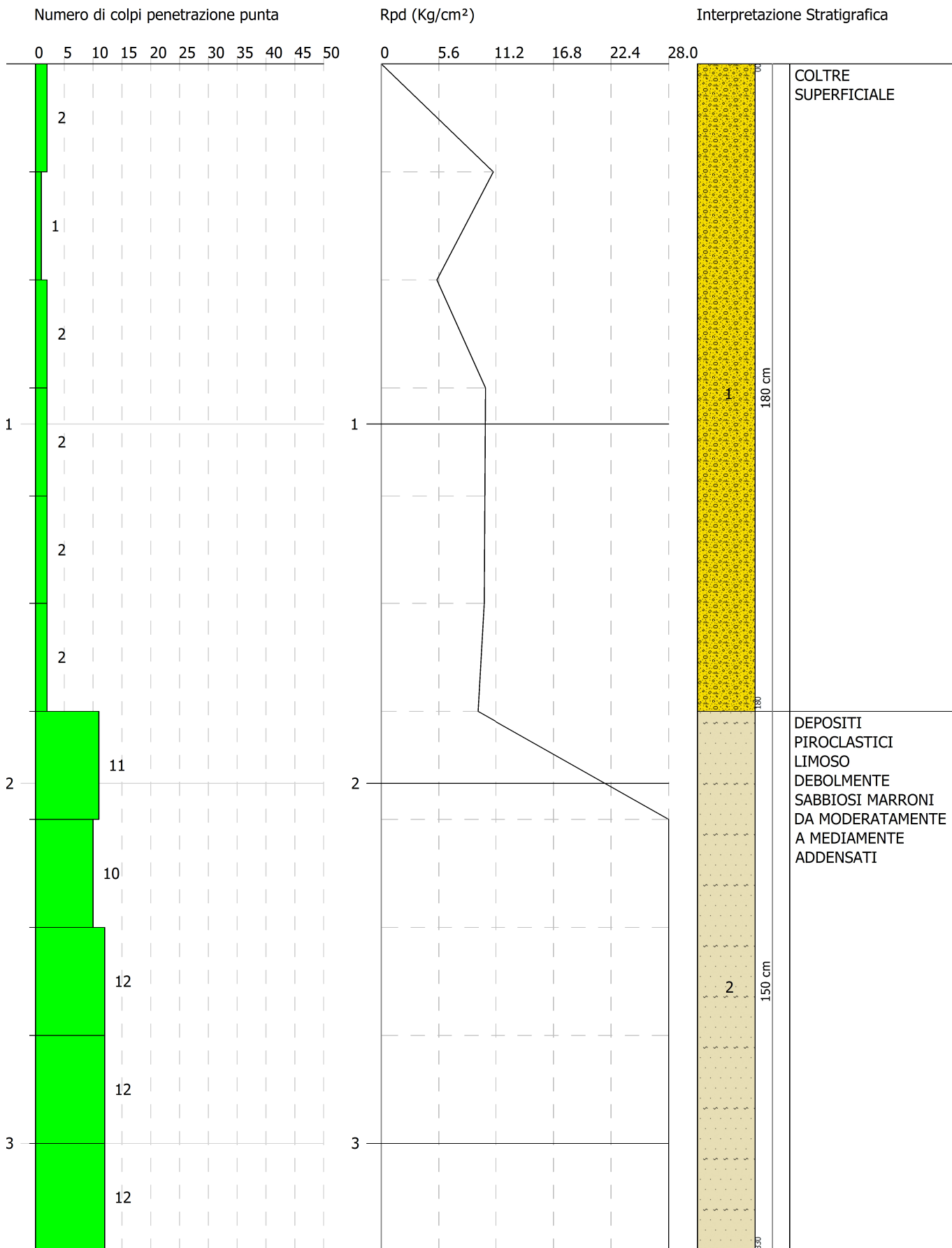


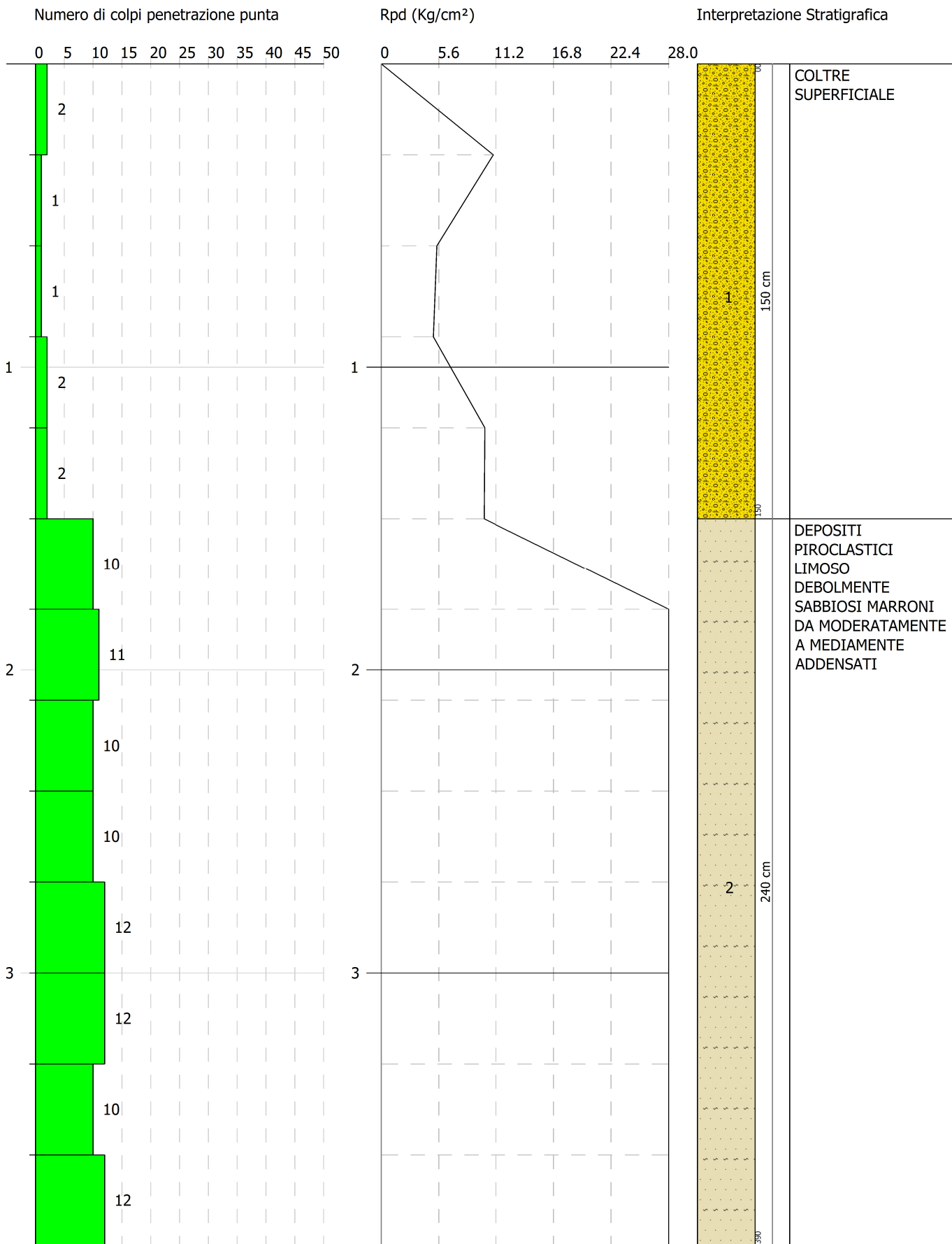
# Planimentria Ubicativa



- Legenda
- Prova penetrometrica super-pesante
  - Misura di rumore sismico HVSR
  - Prove geofisiche MASW
  - Sezioni geologiche
  - ▭ AREA DI STUDIO







## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: EEM S.R.L.  
Descrizione:  
Localita': Comune di Lanuvio (RM)

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.4 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0.783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH GEDIS

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	25 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	0.9 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.90 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1.797
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °



**PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato... DPSH GEDIS  
 Prova eseguita in data 16-12-2021  
 Profondita' prova 3.90 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.30	2	0.853	10.89	12.77	1.09	1.28
0.60	1	0.847	5.41	6.39	0.54	0.64
0.90	2	0.842	10.75	12.77	1.07	1.28
1.20	2	0.836	10.07	12.05	1.01	1.20
1.50	10	0.831	50.06	60.23	5.01	6.02
1.80	11	0.826	54.75	66.25	5.47	6.63
2.10	12	0.822	56.18	68.38	5.62	6.84
2.40	12	0.817	55.88	68.38	5.59	6.84
2.70	10	0.813	43.95	54.07	4.39	5.41
3.00	8	0.809	34.98	43.25	3.50	4.33
3.30	10	0.805	43.51	54.07	4.35	5.41
3.60	12	0.801	51.96	64.88	5.20	6.49
3.90	15	0.747	57.65	77.16	5.77	7.72

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	1.75	10.99	Incoerente	0	1.46	1.88	0.09	1.8	3.14	COLTRE SUPERFICIALE
3.9	11.11	61.85	Incoerente	0	1.99	1.98	0.44	1.8	19.96	DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00-1.20	3.14	Meyerhof 1957	41.93
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.96	1.20-3.90	19.96	Meyerhof 1957	87.72

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00-1.20	3.14	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	21.86
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.96	1.20-3.90	19.96	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	32.3

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00-1.20	3.14	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.96	1.20-3.90	19.96	Bowles (1982) Sabbia Media	174.80

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00-1.20	3.14	Begemann 1974 (Ghiaia con	33.91

					sabbia)	
Strato (2)	19.96	1.20-	19.96	Begemann 1974		68.46
DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI		3.90		(Ghiaia con sabbia)		

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00- 1.20	3.14	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.96	1.20- 3.90	19.96	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00- 1.20	3.14	Terzaghi-Peck 1948	1.39
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.96	1.20- 3.90	19.96	Terzaghi-Peck 1948	1.60

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00- 1.20	3.14	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.96	1.20- 3.90	19.96	(A.G.I.)	0.31



## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.14	0.00-1.20	3.14	Ohsaki (Sabbie pulite)	190.56
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.96	1.20-3.90	19.96	Ohsaki (Sabbie pulite)	1084.09

## PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH GEDIS  
 Prova eseguita in data 16-12-2021  
 Profondita' prova 3.30 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.30	2	0.853	10.89	12.77	1.09	1.28
0.60	1	0.847	5.41	6.39	0.54	0.64
0.90	2	0.842	10.75	12.77	1.07	1.28
1.20	2	0.836	10.07	12.05	1.01	1.20
1.50	2	0.831	10.01	12.05	1.00	1.20
1.80	2	0.826	9.95	12.05	1.00	1.20
2.10	11	0.822	51.50	62.68	5.15	6.27
2.40	10	0.817	46.56	56.98	4.66	5.70
2.70	12	0.813	52.74	64.88	5.27	6.49
3.00	12	0.809	52.47	64.88	5.25	6.49
3.30	12	0.805	52.21	64.88	5.22	6.49

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.8	1.83	11.35	Incoerente	0	1.46	1.88	0.13	1.8	3.29	COLTRE SUPERFICIALE

3.3	11.4	62.86	Incoerente	0	2.0	1.98	0.41	1.8	20.49	DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI
-----	------	-------	------------	---	-----	------	------	-----	-------	--

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

## TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00-1.80	3.29	Meyerhof 1957	41.77
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	20.49	1.80-3.30	20.49	Meyerhof 1957	90.11

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00-1.80	3.29	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	22.02
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	20.49	1.80-3.30	20.49	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	32.53

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00-1.80	3.29	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA	20.49	1.80-3.30	20.49	Bowles (1982) Sabbia Media	177.45

MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI					
---	--	--	--	--	--

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00-1.80	3.29	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	34.22
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	20.49	1.80-3.30	20.49	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	69.55

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00-1.80	3.29	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	20.49	1.80-3.30	20.49	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00-1.80	3.29	Terzaghi-Peck 1948	1.39
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	20.49	1.80-3.30	20.49	Terzaghi-Peck 1948	1.60

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00-1.80	3.29	(A.G.I.)	0.35
Strato (2)	20.49	1.80-	20.49	(A.G.I.)	0.31

DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI		3.30			
--	--	------	--	--	--

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	3.29	0.00- 1.80	3.29	Ohsaki (Sabbie pulite)	199.10
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	20.49	1.80- 3.30	20.49	Ohsaki (Sabbie pulite)	1111.12

### PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH GEDIS  
 Prova eseguita in data 16-12-2021  
 Profondita' prova 3.90 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.30	2	0.853	10.89	12.77	1.09	1.28
0.60	1	0.847	5.41	6.39	0.54	0.64
0.90	1	0.842	5.37	6.39	0.54	0.64
1.20	2	0.836	10.07	12.05	1.01	1.20
1.50	2	0.831	10.01	12.05	1.00	1.20
1.80	10	0.826	49.77	60.23	4.98	6.02
2.10	11	0.822	51.50	62.68	5.15	6.27
2.40	10	0.817	46.56	56.98	4.66	5.70
2.70	10	0.813	43.95	54.07	4.39	5.41
3.00	12	0.809	52.47	64.88	5.25	6.49
3.30	12	0.805	52.21	64.88	5.22	6.49
3.60	10	0.801	43.30	54.07	4.33	5.41
3.90	12	0.797	49.21	61.73	4.92	6.17

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.5	1.6	9.93	Incoerente	0	1.44	1.87	0.11	1.8	2.88	COLTRE SUPERFICIALE
3.9	10.88	59.94	Incoerente	0	1.98	1.98	0.45	1.8	19.55	DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

## TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	Meyerhof 1957	39.65
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.55	1.50-3.90	19.55	Meyerhof 1957	86.45

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	21.57
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.55	1.50-3.90	19.55	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	32.12

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.55	1.50-3.90	19.55	Bowles (1982) Sabbia Media	172.75

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33.38
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.55	1.50-3.90	19.55	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	67.62

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.55	1.50-3.90	19.55	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	Terzaghi-Peck 1948	1.38
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE	19.55	1.50-3.90	19.55	Terzaghi-Peck 1948	1.59

## ADDENSATI

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.55	1.50-3.90	19.55	(A.G.I.)	0.32

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) COLTRE SUPERFICIALE	2.88	0.00-1.50	2.88	Ohsaki (Sabbie pulite)	175.69
Strato (2) DEPOSITI PIROCLASTICI LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSI MARRONI DA MODERATAMENTE A MEDIAMENTE ADDENSATI	19.55	1.50-3.90	19.55	Ohsaki (Sabbie pulite)	1063.14

## REPORT HVSR 1

### LANUVIO, E.E.M. S.r.l.

Instrument: TEP-0032/01-09

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 16/12/2021 12:18:55 End recording: 16/12/2021 12:30:55

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analyzed 92% trace (manual window selection)

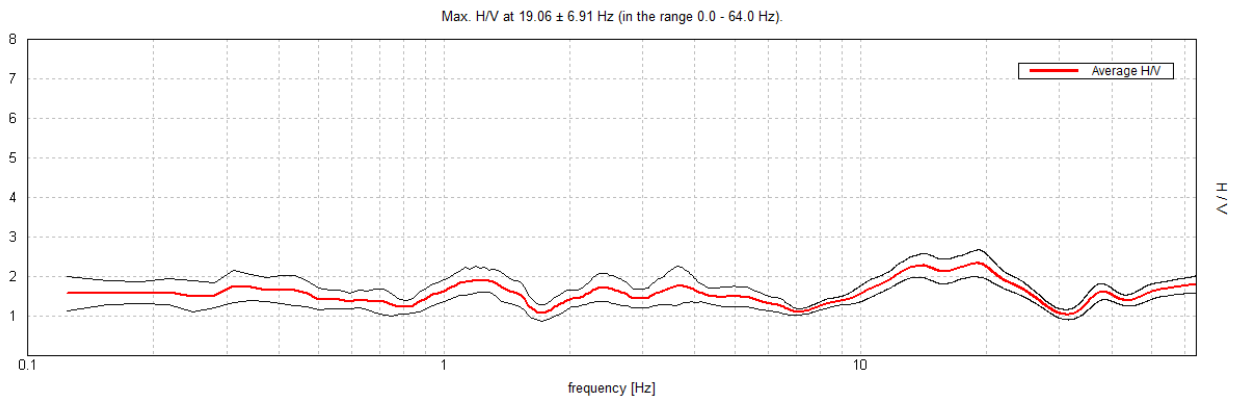
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

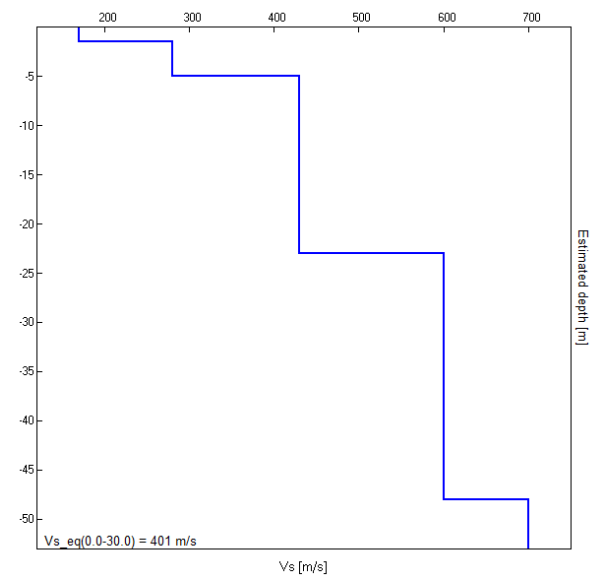
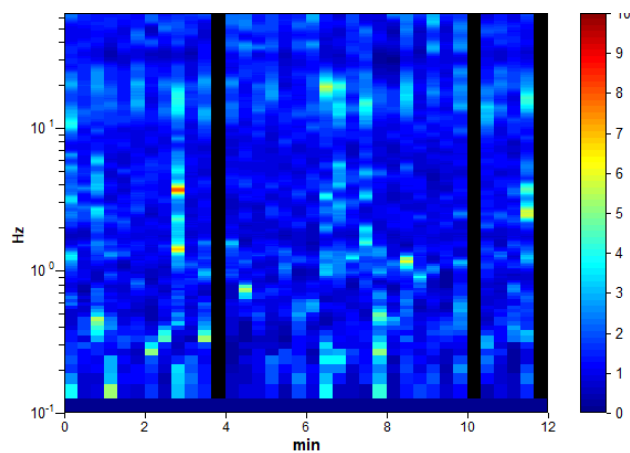
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

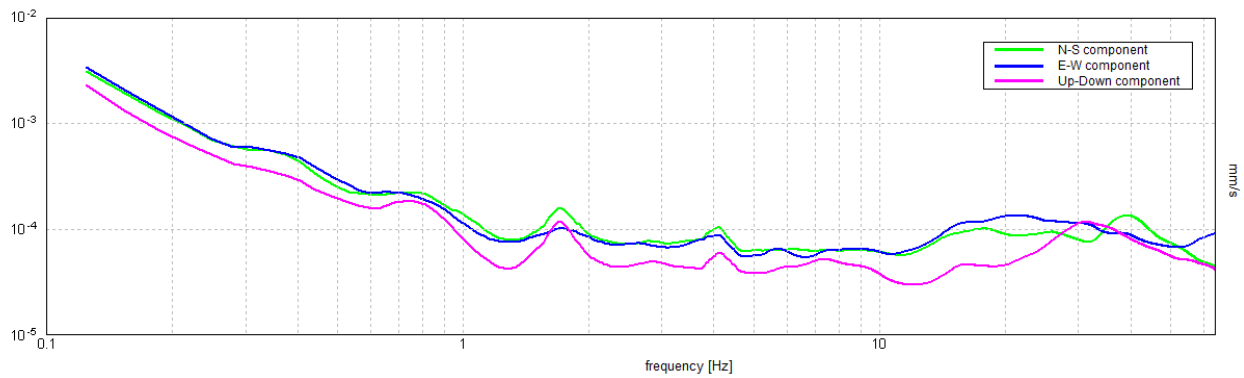


### H/V TIME HISTORY

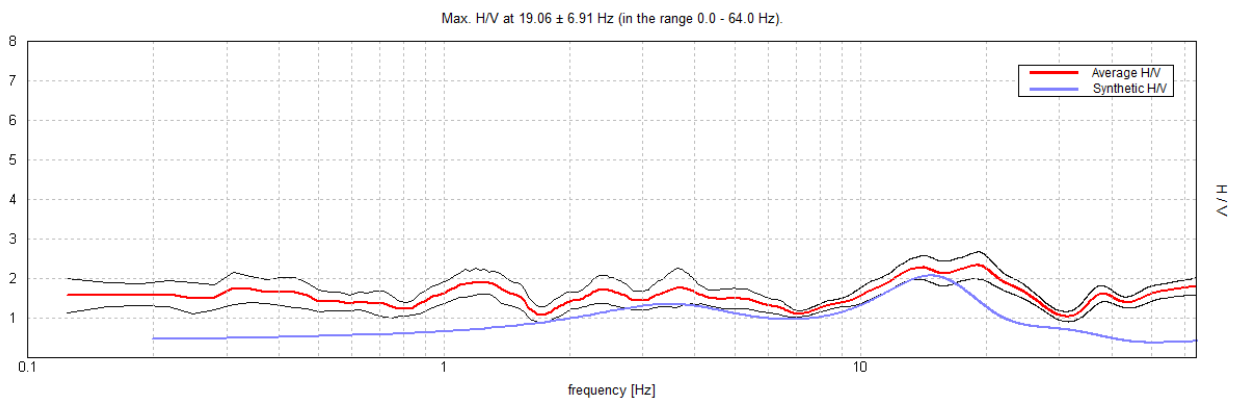




### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.50	1.50	170	0.42
5.00	3.50	280	0.42
23.00	18.00	430	0.38
48.00	25.00	600	0.36
inf.	inf.	700	0.35

**Vs<sub>eq</sub>(0.0-30.0) = 401 m/s**

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

**Max. H/V at 19.06 ± 6.91 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

$f_0 > 10 / L_w$	19.06 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	12581.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 916 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.531 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	28.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.34 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.36246  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	6.90944 < 0.95313		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3412 < 1.58	OK	

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

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

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

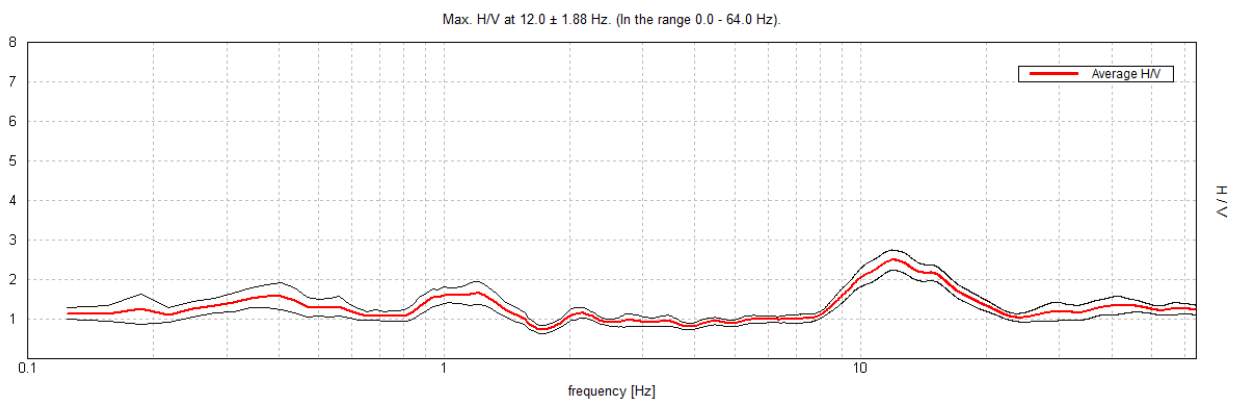
## REPORT HVSR 2

### LANUVIO, E.E.M. S.r.l.

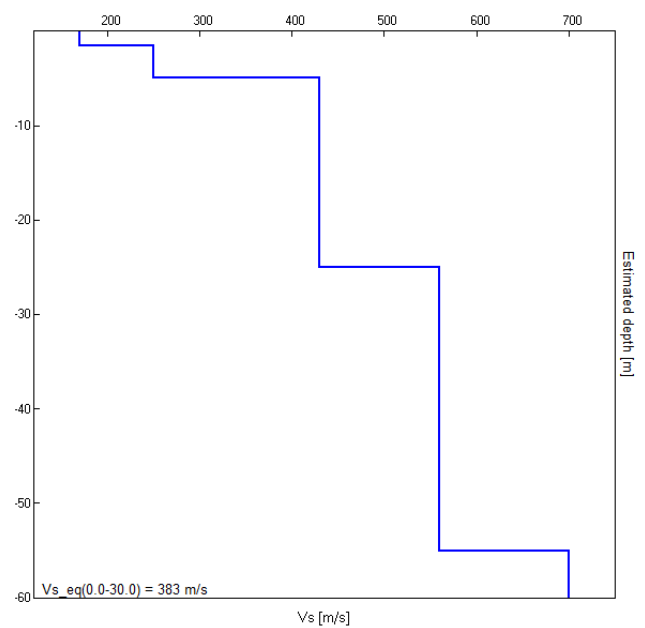
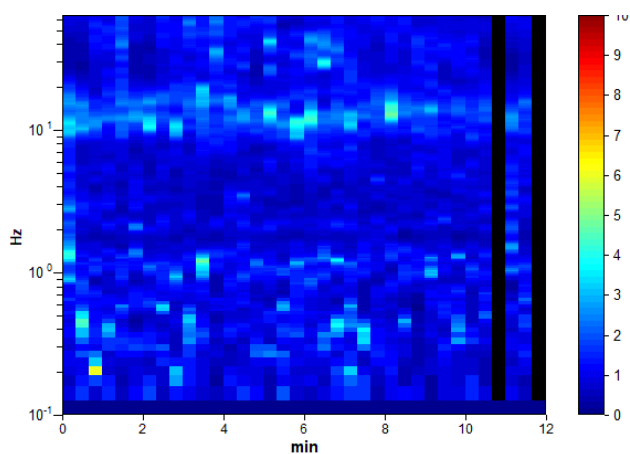
Instrument: TEP-0032/01-09  
 Data format: 16 bit  
 Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 16/12/2021 13:07:39 End recording: 16/12/2021 13:19:39  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analyzed 94% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

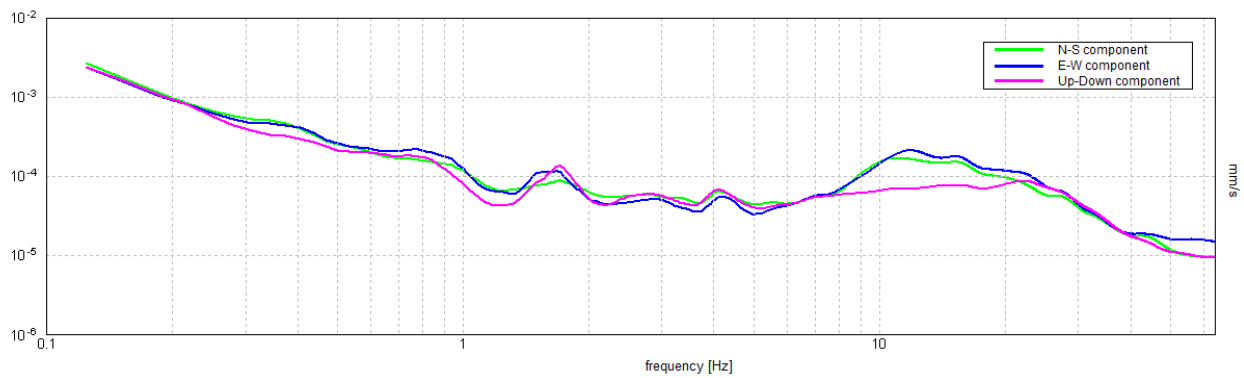
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



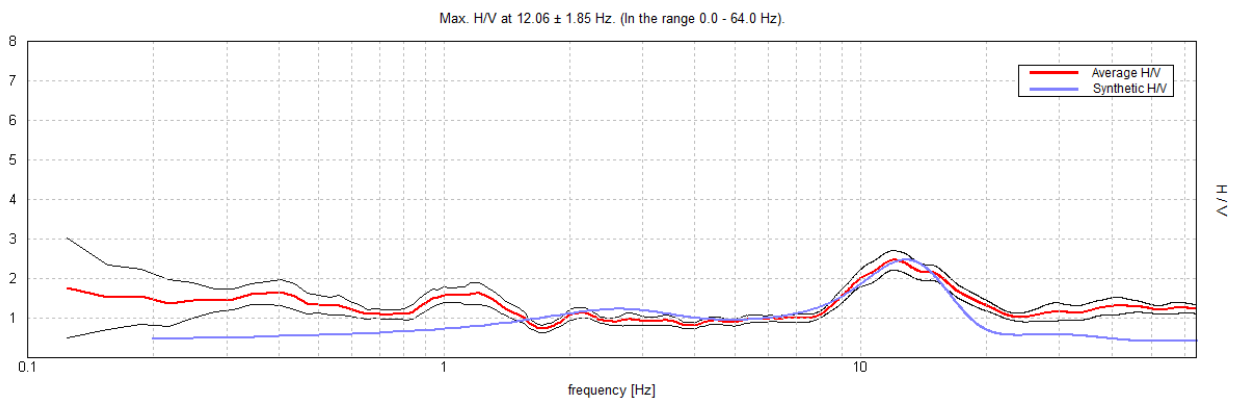
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.50	1.50	170	0.42
5.00	3.50	250	0.42
25.00	20.00	430	0.38
55.00	30.00	560	0.36
inf.	inf.	700	0.35

**Vs<sub>eq</sub>(0.0-30.0) = 383 m/s**

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

**Max. H/V at 12.0 ± 1.88 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

$f_0 > 10 / L_w$	12.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	8160.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 577 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	8.313 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.50 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15679  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.88151 < 0.6		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.251 < 1.58	OK	

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

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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

# REPORT MASW 1

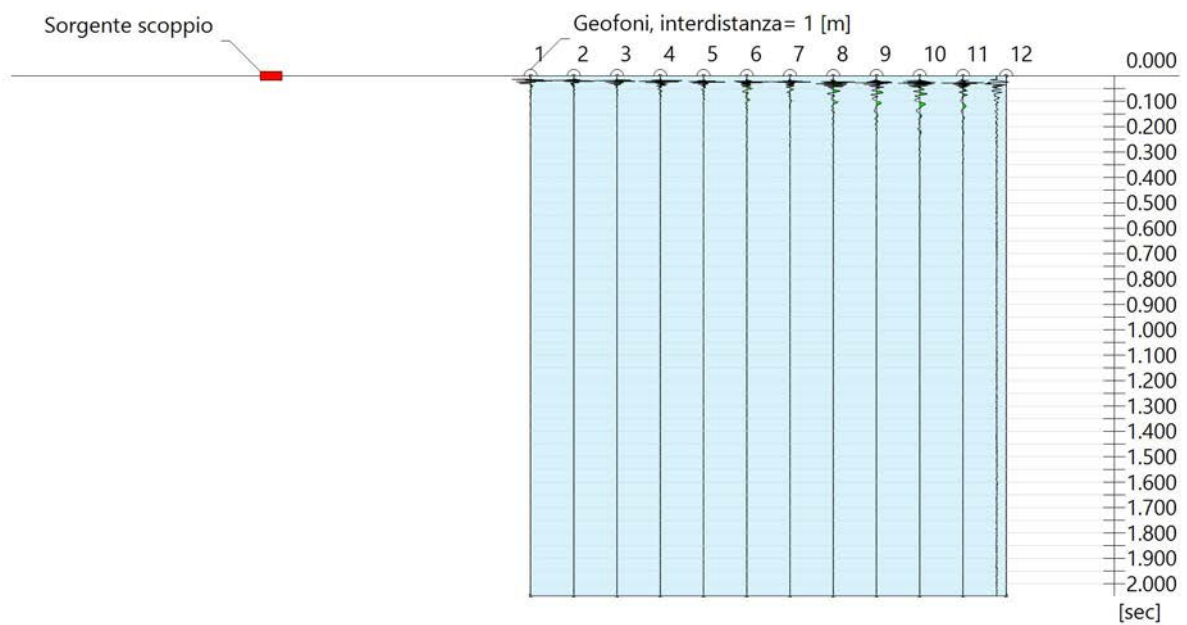


## Dati generali

Data | 04/01/2022 03:10

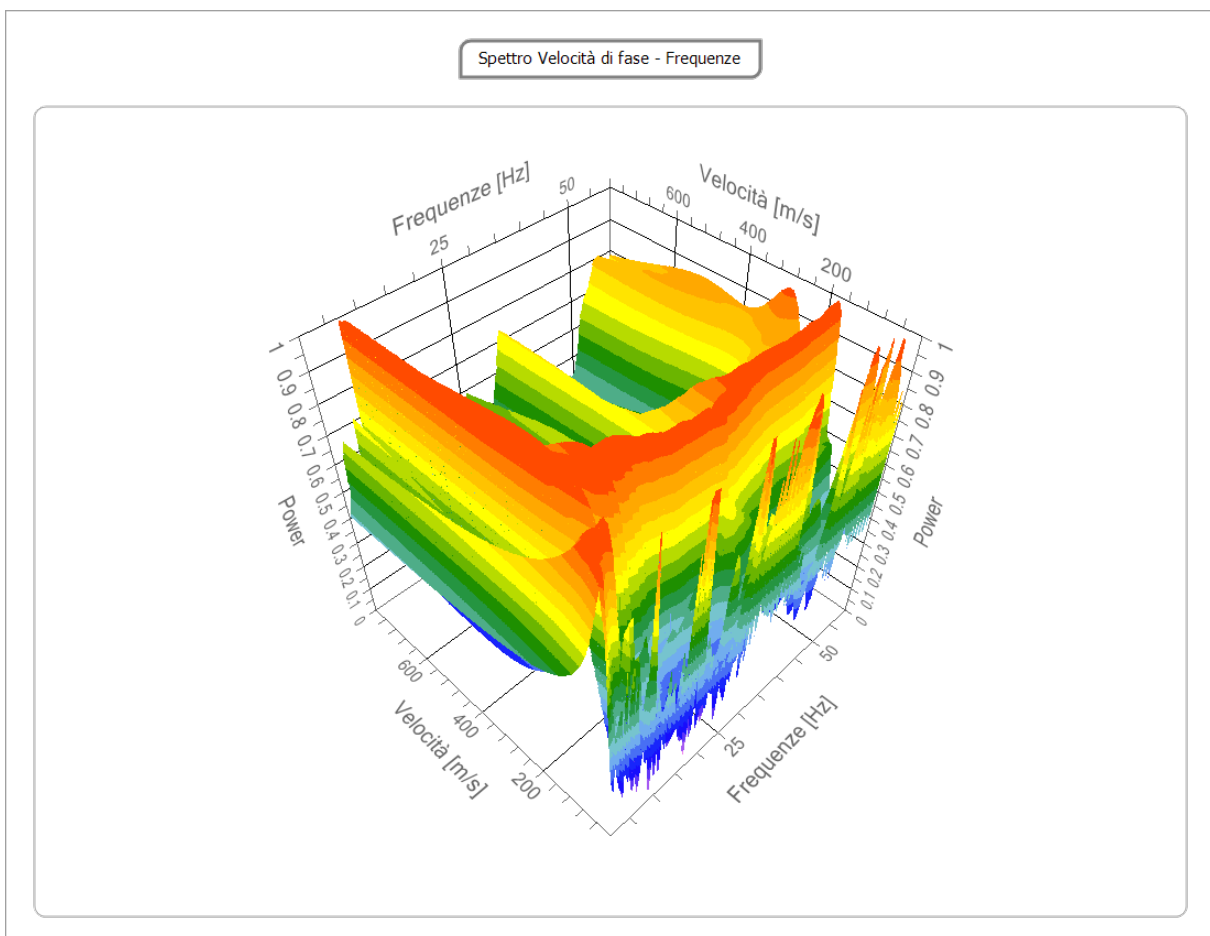
## Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



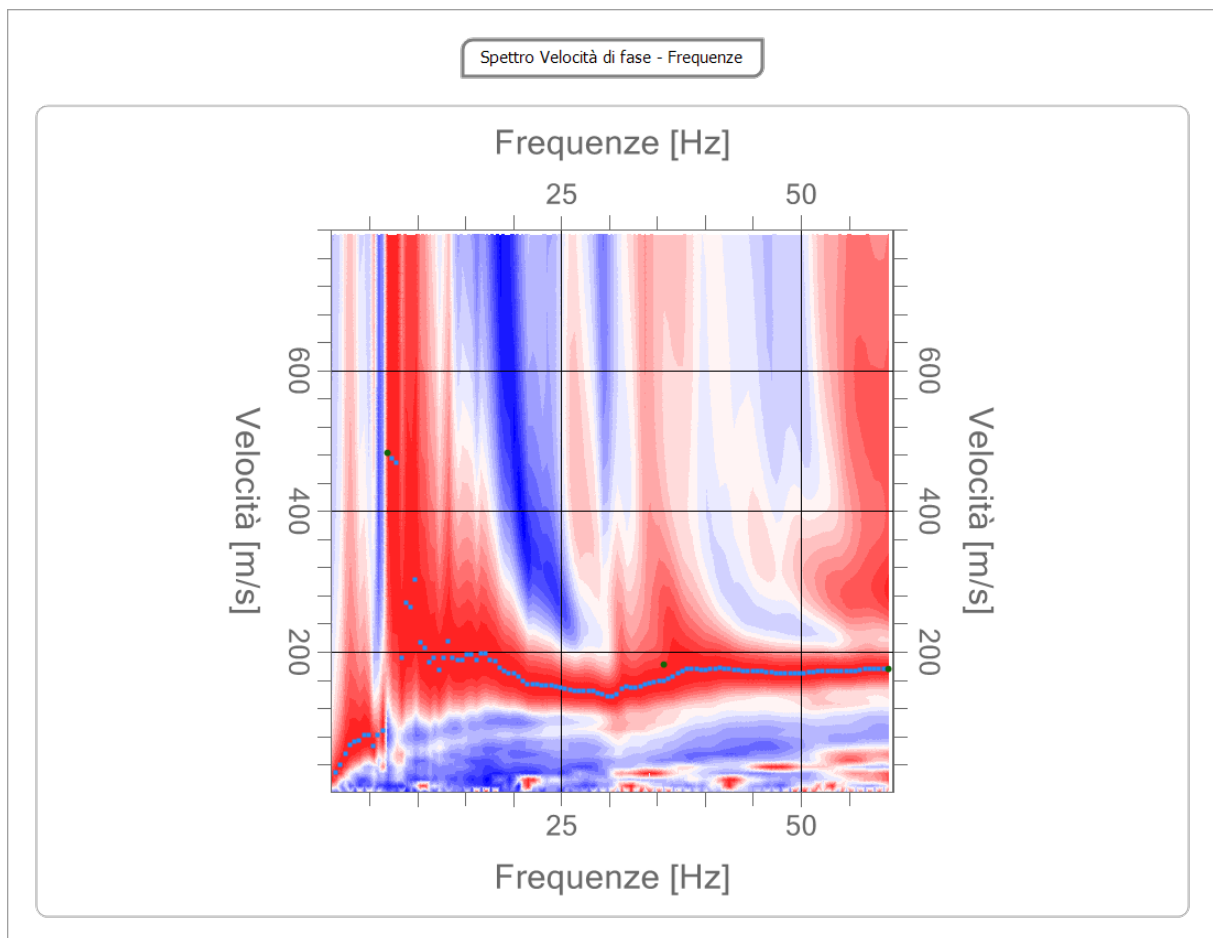
## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	6.9	483.0	0
2	35.7	182.4	0
3	59.1	175.8	0





## Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.20	1.20	1750.0	0.42	No	444.3	165.0
2		5.20	4.00	1800.0	0.41	No	571.0	223.0
3		23.20	18.00	1850.0	0.38	No	966.0	425.0
4		50.34	27.14	1900.0	0.36	No	1368.2	639.9
5		oo	oo	2000.0	0.35	No	1561.2	750.0

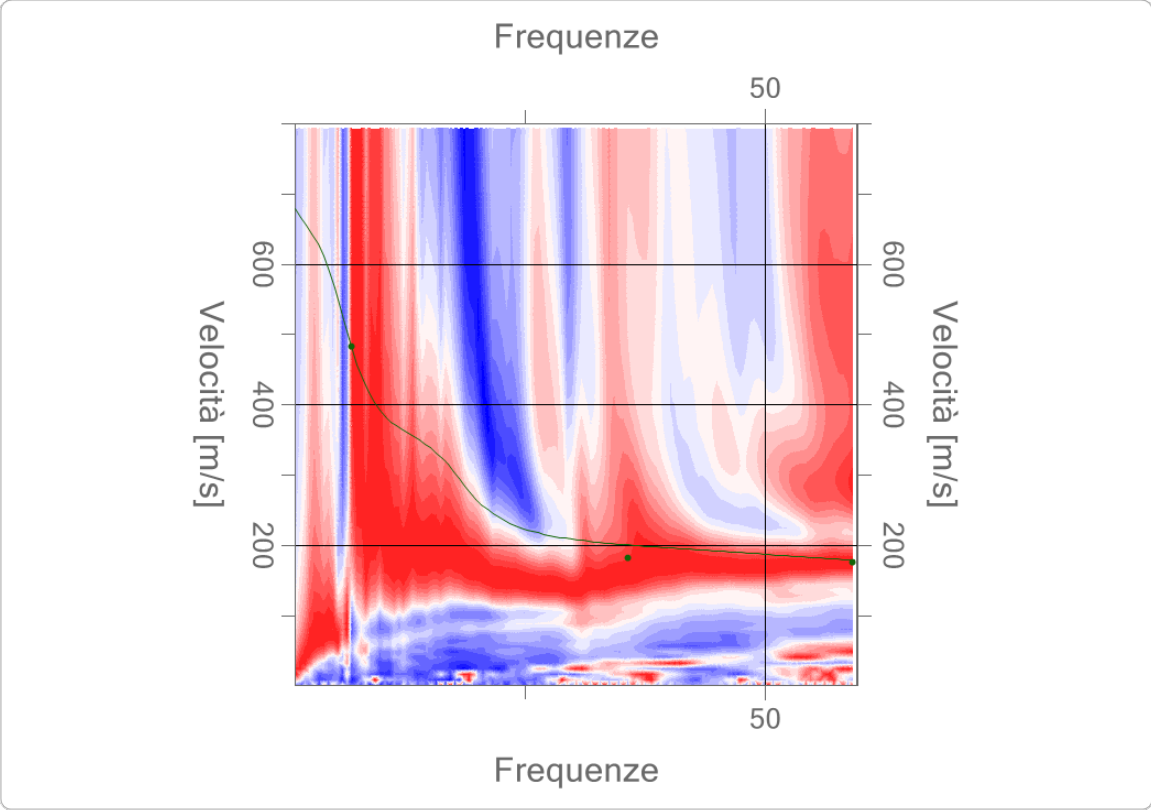
Percentuale di errore

0.110 %

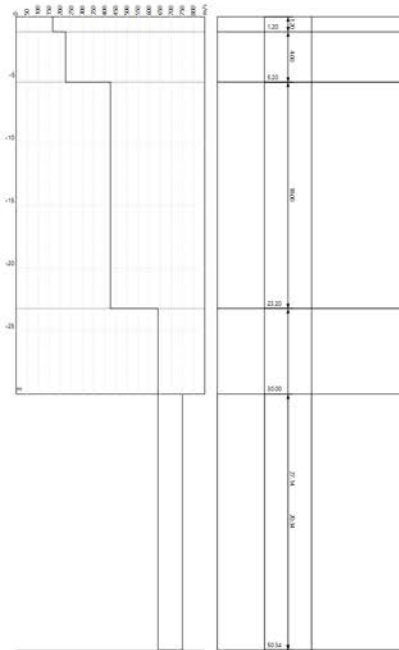
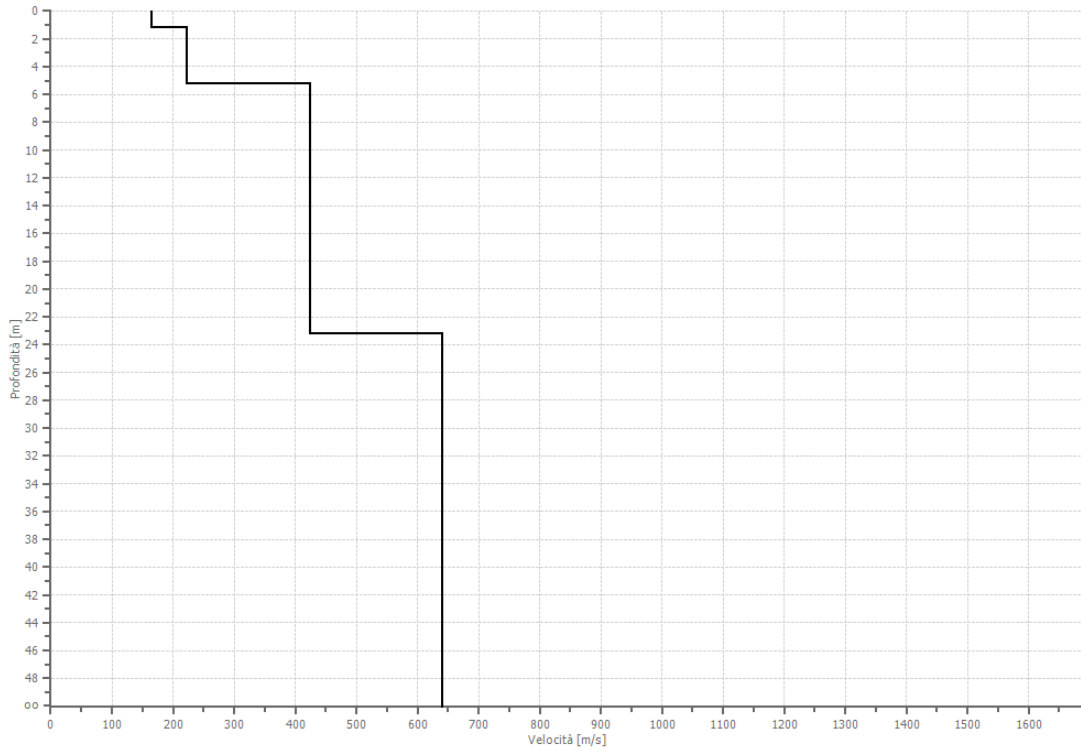
Fattore di disadattamento della soluzione

0.057

Inversione



Profilo di velocità



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	383.68
Categoria del suolo	B

**Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

# REPORT MASW 2

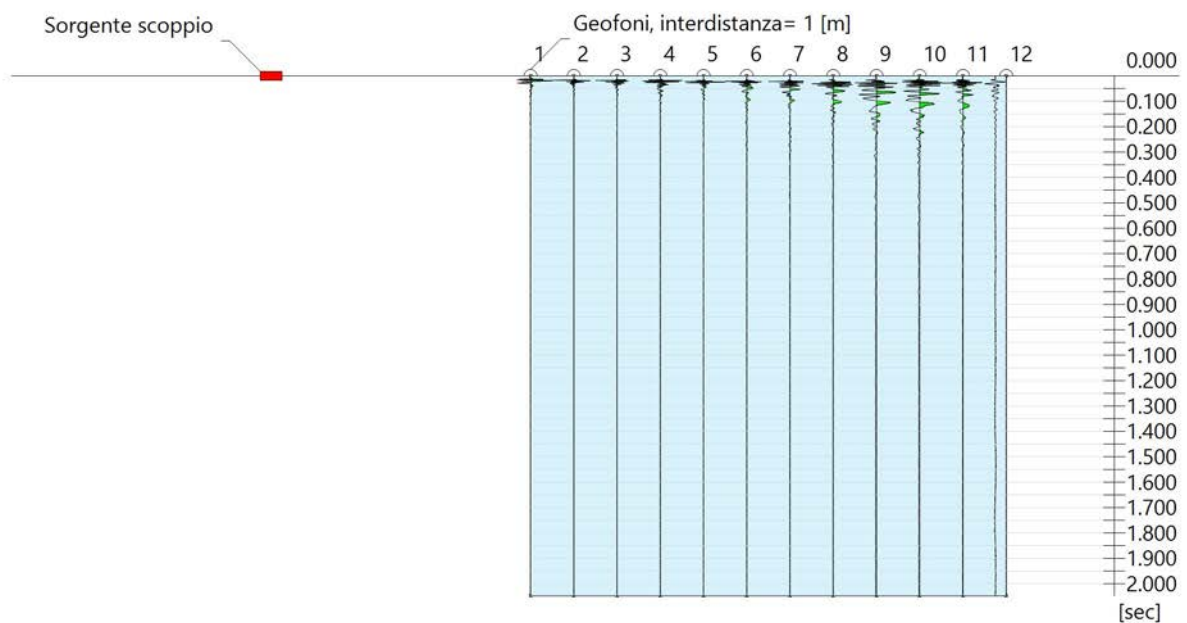


## Dati generali

Data | 04/01/2022 05:14

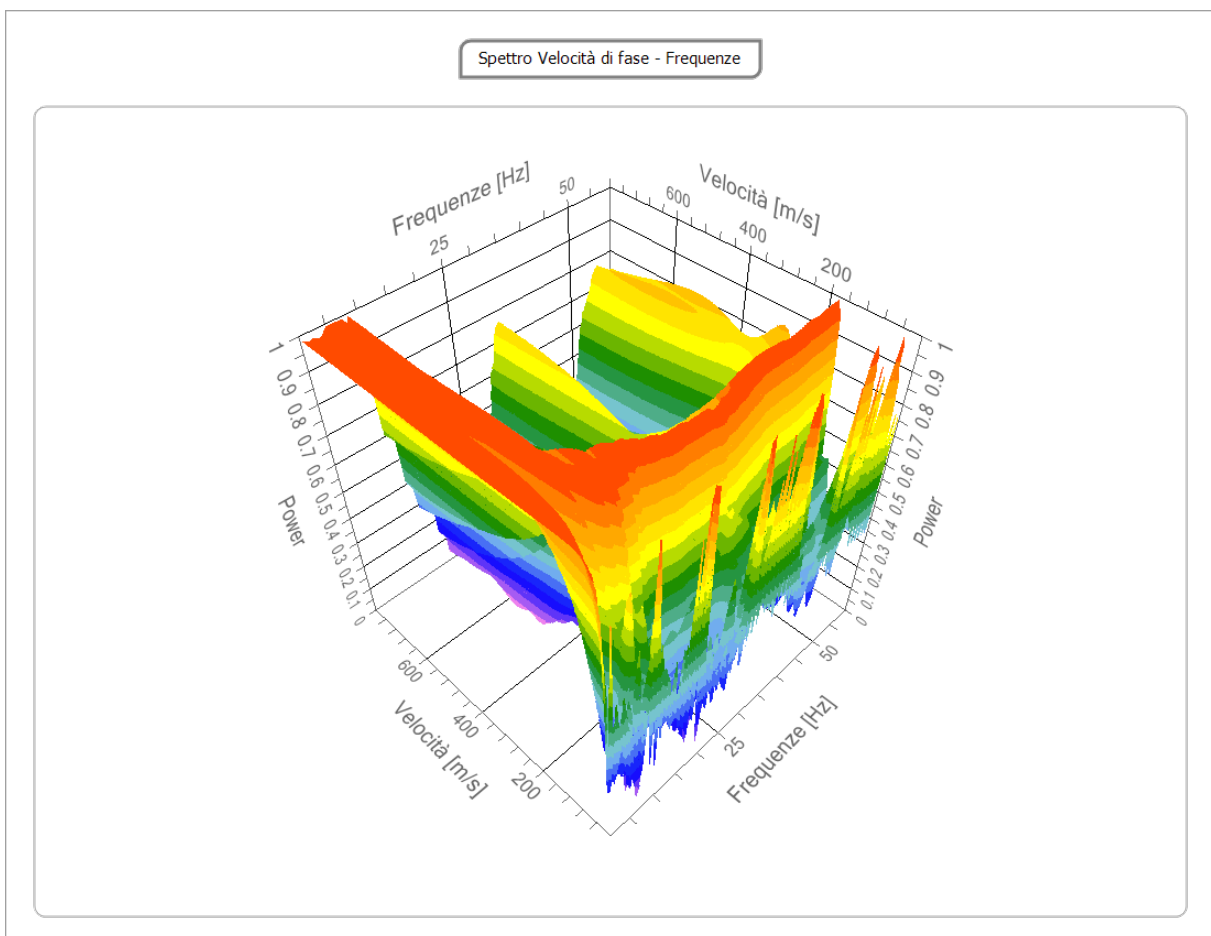
## Tracce

<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione</b> [msec]	2048.0
<b>Interdistanza geofoni</b> [m]	1.0
<b>Periodo di campionamento</b> [msec]	1.00



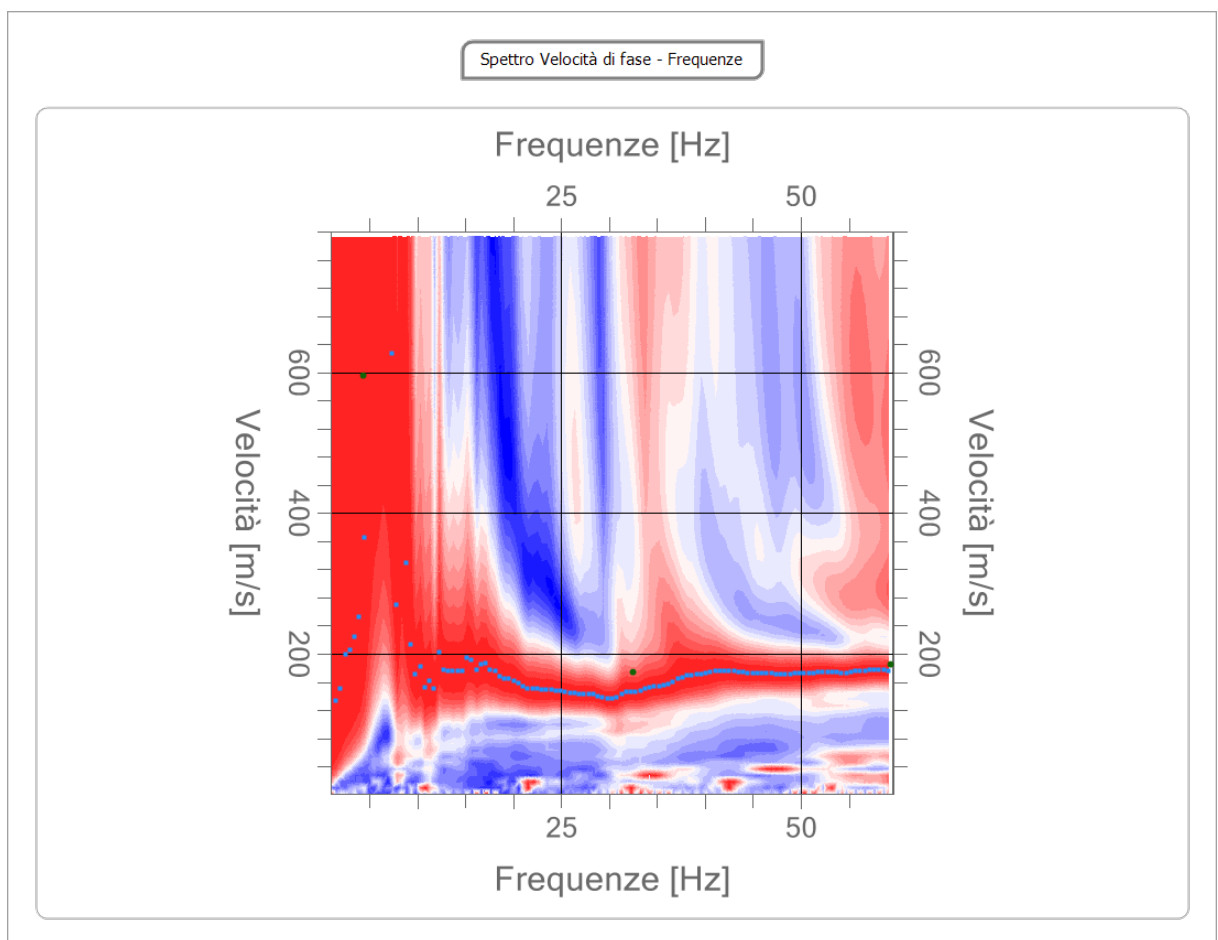
## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.4	595.8	0
2	32.5	174.2	0
3	59.4	185.6	0



## Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.50	1.50	1750.0	0.42	No	464.9	172.7
2		6.44	4.94	1800.0	0.42	No	682.4	253.4
3		26.44	20.00	1850.0	0.38	No	977.4	430.0
4		56.44	30.00	1900.0	0.36	No	1595.7	746.3
5		oo	oo	2000.0	0.35	No	1602.4	769.8

Percentuale di errore

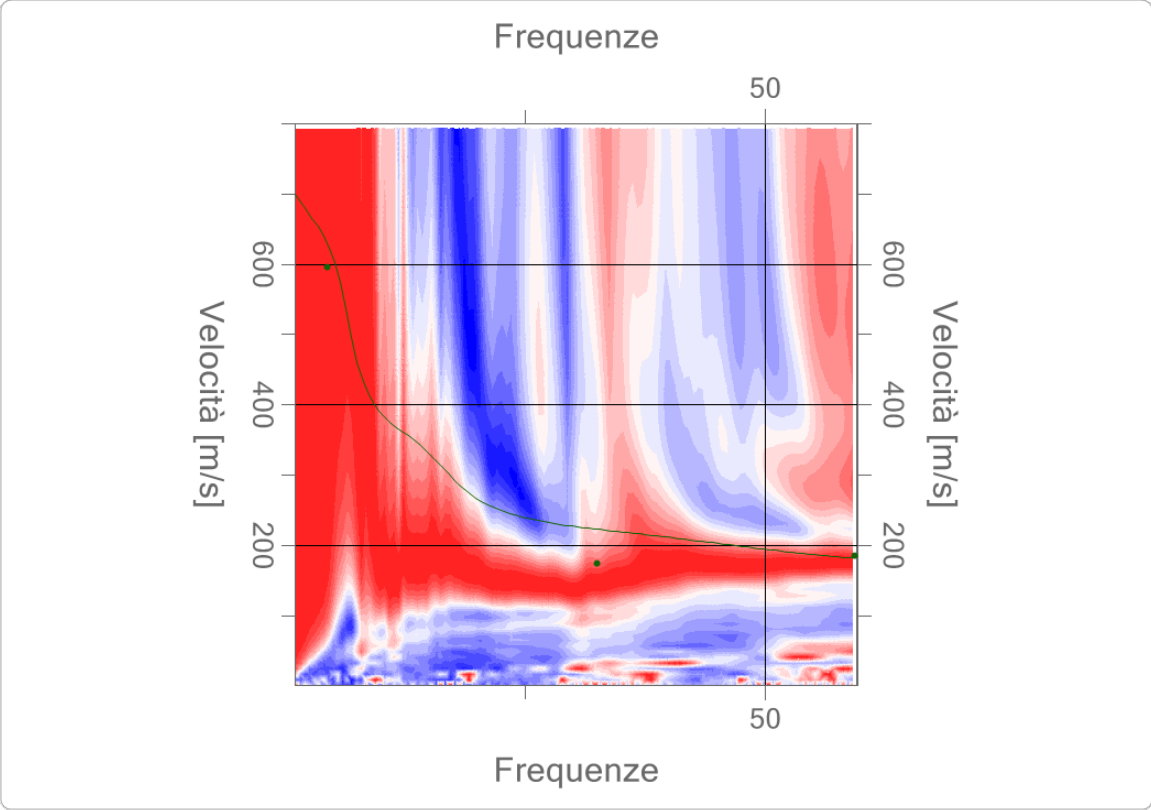
0.814 %

Fattore di disadattamento della soluzione

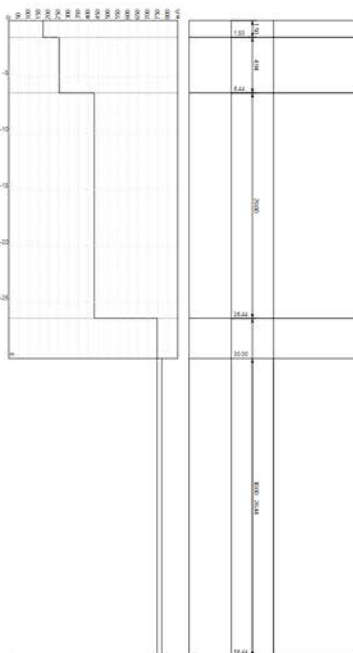
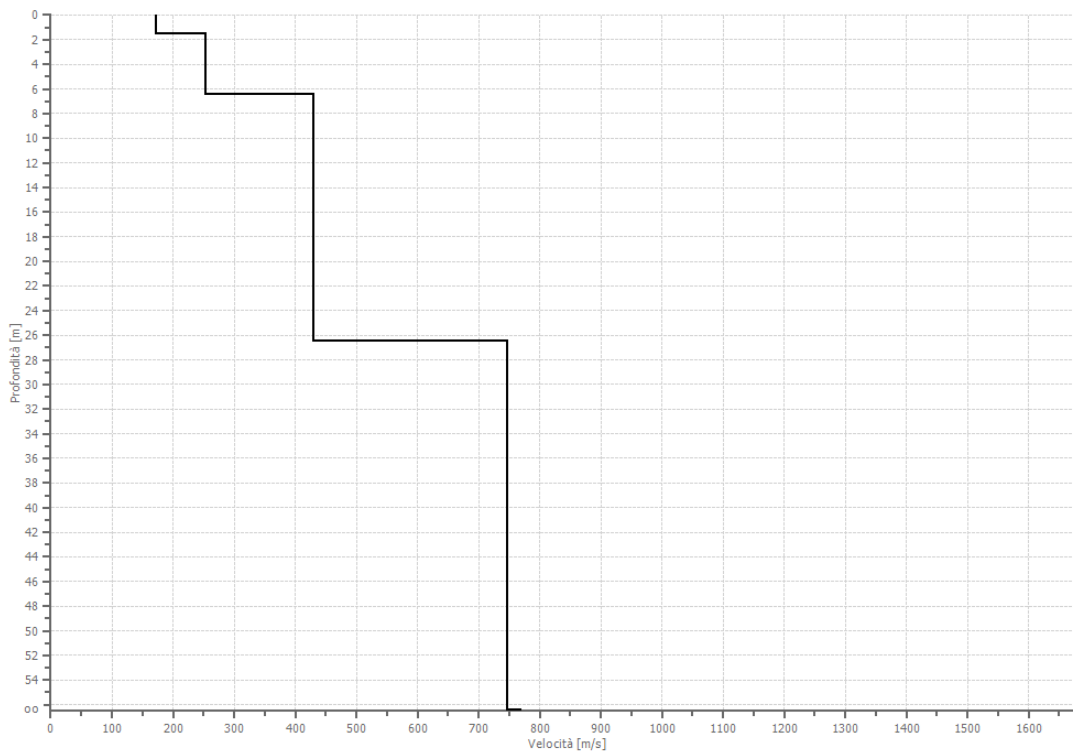
0.164



Inversione



Profilo di velocità



## Risultati

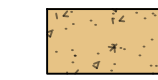
Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	377.56
Categoria del suolo	B

**Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

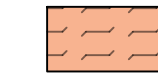
# Sezione geologica interpretativa AA'

Scala 1:1000

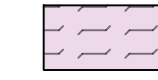
## Legenda



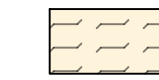
Coltre superficiale



Depositi piroclastici limoso debolmente sabbiosi marroni da moderatamente a mediamente addensati (\*\*)



Depositi piroclastici limoso debolmente sabbiosi marroni da mediamente addensati ad addensati (\*\*)

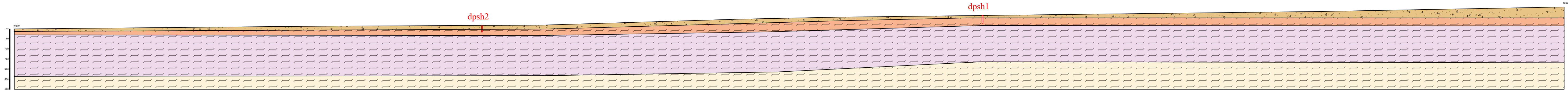


Pozzolane inferiori con abbondanti materiali scoriacei rossastri e sparsi piccoli frammenti di calcari marnosi



P1 Prove penetrometriche superpesanti DPSH

(\*\*) Litologia tenendo in considerazione gli elaborati delle prove geofisiche (HVSr)



# Sezione geologica interpretativa BB'

Scala 1:500

dps3

