

COMUNE DI GAETA

(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN'AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE

ART. 8 DEL D.P.R. N. 160/2010 E S.M.I. CON VARIANTE O AL PIANO REGOLATORE GENERALE

APPROVATO CON D.G.R. LAZIO N° 1498 DEL 10/10/1973

RELAZIONE GEOLOGICA

RICHIESTA PARERE AI SENSI DELL'ART. 89 DEL DPR 380/2001

- AGGIORNAMENTO: MAGGIO 2026-

Geologo:

dr. Pierluigi Di Russo

[Ordine Geologi Lazio n. 898]



Committente:

Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

Data: marzo/maggio 2026

Tel. 0771501272 – 3282782674

C.F. DRSP LG61T23I892L - P.IVA 01748100599

PEC: pierluigi.dirusso@pec.epap.it

INDICE

<i>1. PREMESSA</i>	<i>3</i>
<i>2. MODALITA' OPERATIVE.....</i>	<i>3</i>
<i>3. UBICAZIONE DELL'AREA E VINCOLI.....</i>	<i>4</i>
<i>4. GEOLOGIA</i>	<i>6</i>
<i>5. STRATIGRAFIA DEL SITO</i>	<i>7</i>
<i>6. CARATTERI GEOMORFOLOGICI.....</i>	<i>8</i>
<i>7. IDROGEOLOGIA.....</i>	<i>8</i>
<i>8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....</i>	<i>9</i>
<i>9. PROSPEZIONI SISMICHE.....</i>	<i>9</i>
<i>9.1 Prospezione con metodo MASW.....</i>	<i>10</i>
<i>9.2 Modalità operative dell'indagine MASW.....</i>	<i>11</i>
<i>9.3 Modalità operative dell'indagine ESAC.....</i>	<i>12</i>
<i>9.4 Indagini di sismica passiva con tecnica HVSR</i>	<i>14</i>
<i>10. SISMICITA' E CATEGORIE DI SUOLO.....</i>	<i>15</i>
<i>11. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE</i>	<i>18</i>
<i>12. CARTOGRAFIA ALLEGATA</i>	<i>19</i>
<i>13. PIANO DI INDAGINI PER LA FASE ESECUTIVA</i>	<i>24</i>
<i>14. GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO.....</i>	<i>24</i>
<i>15. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI</i>	<i>25</i>

1. PREMESSA

Su incarico della Soc. PIDA Immobiliare, si redige la presente relazione che riporta i risultati di un'analisi geologica e geomorfologica di un'area, in Via Bachelet, nel Comune di Gaeta, oggetto di costruzione di un'autorimessa interrata con sovrastante parcheggio a raso con pensiline fotovoltaiche.

Per tale intervento viene richiesta una variante urbanistica in quanto si chiede una nuova destinazione d'uso, precedentemente verde pubblico e ad oggi "zona bianca".

Lo studio eseguito è quindi finalizzato alla verifica di compatibilità delle previsioni urbanistiche con le condizioni geomorfologiche del territorio; esso ha tenuto conto di quanto dettato nelle "Linee guida e documentazione per l'indagine geologica e vegetazionale" di cui alla delibera di giunta regionale n. 2694 del 18.05.1999, e nelle seguenti DGR: n. 535/2002, n. 155/2020, n. 794/2024 e n. 832/2024.

2. MODALITA' OPERATIVE

Per tale lavoro è stato eseguito un rilevamento geologico e geomorfologico; si è ritenuto opportuno, in questa prima fase, eseguire indagini dirette riferibili ad una prospezione sismica con metodo MASW, congiunta alla sismica passiva ESAC oltre alla misura dei microtremori con tecnica HVSR, rimandando alla fase esecutiva di progettazione l'approfondimento delle indagini, secondo quanto dettato in uno specifico paragrafo di seguito riportato, nel rispetto della normativa vigente. La prospezione sismica condotta ha permesso di poter eseguire una microzonazione sismica di primo livello ed elaborare la carta delle MOPS, di cui il Comune di Gaeta non dispone.

Dal lavoro sono state elaborate le seguenti carte:

Carta geologica con elementi geomorfologici, Carta Idrogeologica, Sezione geologica, Carta dell'acclività, Carta della stabilità, Carta della microzonazione di 1° livello, Carta del monitoraggio tramite interferometria Satellitare, Carta della vulnerabilità e pericolosità, Carta dell'idoneità.

Sono state inserite inoltre valutazioni circa la suscettibilità alla liquefazione e in merito agli aspetti vegetazionali del sito.

Per la stesura della presente relazione ci si è avvalsi delle conoscenze acquisite in diversi studi condotti nelle aree limitrofe ed in tutto il territorio comunale.

3. UBICAZIONE DELL'AREA E VINCOLI

L'area d'intervento ricade tra la via Bachelet e Via Gelsomino. Essa è compresa nella Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000, foglio 171 denominata "Gaeta", è meglio ubicata nella Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 sez. n° 415150 "Gaeta" e nella CTRN sez. 415152 "Gaeta". Al catasto l'area è distinta al foglio 25 p.lla 3228.



CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – F. 171 - GAETA

Ai fini della caratterizzazione delle azioni sismiche e della definizione delle forme spettrali, in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate del sito, riferito al centro dell'area interessata dalla lottizzazione, sono le seguenti (la sigla ED50 si riferisce all'ellissoide di riferimento adottato per la carta di pericolosità dell'INGV):

Latitudine: ϕ_{ED50} 41,217378

Longitudine: λ_{ED50} 13,562476

Come si evince nel successivo stralcio cartografico il sito non è stato delimitato nel PAI della Regione Lazio e non rientra in area sottoposta a Vincolo Idrogeologico.



STRALCIO PAI



STRALCIO VINCOLO IDROGEOLOGICO

4. GEOLOGIA

La storia geologica dell'area in studio è solo un dettaglio di un processo geodinamico che ha interessato larga parte del Mediterraneo a partire dal triassico allorquando la zolla africana ed europea costituivano un'unica entità entro la quale si stava sviluppando un bacino aperto verso est chiamato Golfo della Tetide. Si formarono complessi di piattaforma, di margine, di scarpate e di bacino, ciascuno di essi risultava caratterizzato da associazioni di litotipi che si alternavano e si ripetevano in vario modo in funzione dell'evoluzione dell'area che caratterizzavano.

Le profonde trasformazioni nel corso del tempo si tradussero in cambiamenti sostanziali nella paleogeografia degli ambienti con conseguente sviluppo di sequenze di facies diverse.

Nella nostra area le associazioni di litotipi risultano costituite da sequenze carbonatiche, esempio di shelf (piattaforma), in cui la continua e regolare subsidenza compensa la sedimentazione calcarea, in ambiente a medio-bassa energia che non risente in modo evidente della vicinanza di aree continentali; quest'equilibrio che perdura dal Liassico al Miocene medio dà come risultato l'accumulo di forti spessori di sedimenti di acque poco profonde. Il quadro è completato da frequenti interruzioni di sedimentazione, per lo più locali, sottolineate da episodi continentali o lagunari, da brecce, bauxiti e viceversa da brevi approfondimenti che acquistano rilievo ai bordi della facies neritica ove compaiono termini di transizione.

Quindi già a partire dal Mesozoico fino alla fine del Miocene, si determinò la formazione del grosso sistema orografico carbonatico, con altitudini fino a circa 1500 m., che è appunto la catena dei monti Lepini-Ausoni-Aurunci (Catena dei Volsci) caratterizzata da monoclinali, immergenti a NE, e la formazione di sistemi vallivi che bordano le zone più rilevate, quali la Valle Latina, la Pianura Pontina, la Piana di Fondi e del Garigliano, ricoperte da sedimenti continentali, fluvio-lacustri e piroclastici.

Il settore della catena degli Aurunci presenta i termini più antichi, in letteratura riferiti al Lias inferiore, riferibili a dolomie bianche cristalline in banchi, passanti verso l'alto a calcari con Brachiopodi e Gasteropodi. Questi affiorano con notevole potenza alla base dei

*monti Cefalo, Lauro e Carbonaro. Il Lias medio-superiore è caratterizzato dal basso verso l'alto da calcari detritici a *Paleodasycladus mediterraneus*, calcari grigi a *Lithiotis* e calcari oolitici. Il Giura superiore e il Cretaceo affiorano ad oriente della valle del Rio Itri e a sud sui monti di Gaeta.*

La copertura quaternaria, è costituita da terre rosse residuali frammiste a detriti, che ha origine dal disfacimento e dall'alterazione dei litotipi calcarei. La formazione delle terre rosse copre, quindi, la serie stratigrafica del mesozoico, i cui affioramenti sono sporadici nelle zone depresse, frequenti invece alle quote maggiori e lungo i tagli stradali. Nel territorio del comune di Gaeta frequenti sono gli affioramenti di sabbie antiche, riferibili alla duna rossa di età pleistocenica, come quelle affioranti nell'area prossima al sito d'intervento.

I calcari e le dolomie della serie carbonatica reagirono alle spinte orogenetiche come un complesso rigido, originando zolle monoclinali che rappresentano il motivo tettonico fondamentale della zona. La morfologia su grande scala è dominata dalla macrotettonica, i rilievi, infatti, sono scaglionati secondo la direttrice appenninica NW-SE che corrisponde a quella delle faglie principali.

5. STRATIGRAFIA DEL SITO

Nell'area d'intervento il rilevamento geologico supportato dai risultati di sondaggi eseguiti nelle aree limitrofe, ha permesso di ricostruire la serie stratigrafica locale.

In particolare dal rilevamento esteso ad un'area più ampia di quella interessata dall'intervento, è stata accertata la presenza in affioramento delle terre eluvio colluviali che sul lotto sono ricoperte da un livello metrico di materiale di riporto; a ovest e a sud dell'area si estende la formazione delle sabbie eoliche rosse antiche. A nord sono affioranti o subaffioranti i calcari e i calcari dolomitici cretatici; si tratta di una formazione che si presenta stratificata con orientazioni a N 110°/40°.

Sul sito le sole indagini sismiche hanno accertato la presenza dei calcari sottostanti le terre sciolte alla profondità dell'ordine dei 16 m.

6. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area d'intervento rientra in un settore intensamente urbanizzato alla quota mediamente di 17 m slm.

L'insediamento umano è prevalente in quanto interno al centro abitato di Gaeta, abbondanti sono infatti i depositi antropici di riporto

Il settore in studio rientra localmente in una unità fisiografica costituita da un'area con pendenze deboli che degrada verso il mare e termina sulla costa bassa; quest'ultima è rappresentata dalla spiaggia di Serapo a sud del centro abitato di Gaeta.

Attualmente non si evincono testimonianze di dissesti tali da far ipotizzare condizioni di instabilità del sito, non si ipotizza la formazione di sinkholes, non si prevedono fenomeni di liquefazione per la bassa sismicità del sito e per la mancanza di sabbie in falda nell'immediato sottosuolo; l'area pertanto può definirsi geomorfologicamente stabile.

7. IDROGEOLOGIA

I caratteri idrogeologici a livello regionale dipendono dai rapporti di giacitura che si sono venuti a determinare tra i complessi litologici diversi. Si può riconoscere come la più importante struttura idrogeologica, la parte emersa della serie carbonatica ausono-aurunca, interessata da un vistoso processo carsico e sede di un'imponente falda.

L'acquifero carsico ausono-aurunco viene alimentato dal processo di infiltrazione che si sviluppa in modo prevalentemente verticale, tanto da assicurare una ricarica sufficientemente omogenea sull'intera idrostruttura. Le sorgenti relative all'acquifero carbonatico, della portata di alcune o di centinaia di litri al secondo, sono ubicate alla base dei rilievi e sfiorano al di sopra di una soglia impermeabile costituita, quasi sempre, dalle formazioni argilloso-arenacee o marnose del Miocene medio-superiore, generalmente sovrapposte lateralmente per faglia ai complessi carbonatici.

Nell'area esaminata sulla base dei dati relativi alla perforazione di un pozzo a disposizione dello scrivente, si ipotizza la presenza della falda acquifera carbonatica a profondità dell'ordine dei 15 m-16 m.

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione si fa riferimento ai sondaggi a carotaggio continuo e a prove penetrometriche eseguite localmente dallo scrivente.

In sintesi le prove sulla formazione delle terre rosse, localmente sottostanti i riporti permettono di attribuire ad esse i seguenti parametri: $C_u=0.7 \text{ kg/cm}^2$, $E_d=40\text{-}50 \text{ kg/cm}^2$, peso di volume saturo $\gamma= 1.8 \text{ t/m}^3$, $E_u=222 \text{ kg/cm}^2$.

Tali dati necessitano di conferme al momento della progettazione dell'opera attraverso un approfondimento delle analisi relative alle caratteristiche geotecniche dei terreni nell'immediato sottosuolo secondo uno specifico piano di indagini di seguito riportato.

9. PROSPEZIONI SISMICHE

Al fine di determinare la risposta sismica dei terreni interessati dalla realizzazione della struttura e poter elaborare una carta della microzonazione sismica di 1° livello, è stata eseguita una prospezione sismica consistente in una stesa MASW congiunta alla sismica passiva ESAC e a due misure dei microtremiti.

In questa prima fase del lavoro le prospezioni sismiche sono state eseguite in corrispondenza dell'ingresso al lotto.

Apparecchiatura utilizzata

Sismografo DoReMi

Caratteristiche tecniche

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipoint

Lunghezza massima della rete: 1200 metri senza ripetitori (virtualmente illimitata con ripetitori)

Numero massimo di canali per tratta: 255

Campionamento

Memoria: 64 kByte (>30000 campioni)

Frequenze in Hz: 200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000, 8000,10000,20000 pari ad intervalli in ms di: 5, 3.33, 2.5, 2, 1.25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05

Esempi di utilizzo della memoria: ReMi: 500Hz, t-max 60 secondi MASW: 4000Hz, t-max 7.5 secondi

Riflessione: 20000Hz, t-max 1.5 secondi

Dinamica del sistema

Risoluzione con guadagno 10x: 7.600 μV

Risoluzione con guadagno 1000x: 0.076 μV

Dinamica di base: 96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore: 80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz: >90dB
Full range a 10x: 0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS: 0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica: 155dB
Dinamica totale senza postprocessing: > 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing: >140dB
Alimentazione
Tensione di alimentazione: 10-15VdC
Convertitore A/D
Tipologia: SAR
Risoluzione: 16 bit
Dinamica: 96 dB
Preamplificatore
Tipologia: ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri: 3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni: da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune: >80dB
Diafonia (crosstalk): non applicabile (elementi singoli a trasmissione digitale)
Impedenza d'ingresso: >100k Ω

A corredo del sismografo:

n° 16 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza caratteristica di 4.5 Hz collegabili ad un cavo per stendimenti con offset max di 5 metri, lunghezza totale 55 metri.
Sorgente energizzante costituita da mazza battente di 8 kg con geofono starter

Per l'elaborazione dei dati acquisiti in campagna

MASW di Vitantonio Roma
Rayfract – Intelligent resources inc.



MASW+ESAC

9.1 Prospezione con metodo MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali, fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh (onde Sh), che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze si propagano con diverse velocità di fase (o curva di dispersione).

Nel metodo di indagine MASW le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Attraverso questo metodo si ottiene una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte superficiale del suolo, sui primi 30-50 m di profondità, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

- *calcolo della curva di dispersione apparente sperimentale;*
- *calcolo della curva di dispersione apparente numerica;*
- *individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.*

Mediante l'analisi delle onde di Rayleigh viene determinato il parametro V_{seq} , che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S; mediante la seguente espressione:

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;
 $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N numero di strati;
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

La classificazione del terreno di fondazione è ottenuta attraverso la stima del parametro V_{seq} , come indicato dalla normativa vigente.

9.2 Modalità operative dell'indagine MASW

Nell'area di indagine è stato eseguito un profilo sismico di tipo MASW, utilizzando 16 geofoni, distanziati di 1 m e lunghezza totale dello stendimento pari a 15 metri. Tale configurazione è stata l'unica possibile in relazione alle condizioni logistiche del sito. Al fine

di poter ricostruire un profilo delle velocità per il calcolo delle Vs equivalenti la MASW è stata integrata con una sismica passiva di tipo ESAC.

Dalle registrazioni effettuate sono stati ricavati, tramite la trasformazione p-f, la curva di dispersione e dall'inversione di questa, il profilo monodimensionale Vs. Le curve di dispersione sperimentale e le relative sezioni elaborate sono di seguito riportate.

In allegato si riportano i risultati dell'indagine da cui risulta una V_{seq} di 335 m/s fino alla profondità del tetto del bedrock calcareo. Tale velocità permette di attribuire al sito la categoria di suolo E e pertanto per la progettazione esecutiva si potrà utilizzare l'approccio semplificato mediante l'utilizzo degli spettri di normativa relativi a tale categoria di suolo, fermo restando che tale dato potrà essere verificato al momento della progettazione esecutiva.

9.3 Modalità operative dell'indagine ESAC

Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremoni), oltre che per le misure HVSr, possono essere utilizzate anche per rilievi con antenna sismica conosciuti come prove ESAC.

I movimenti del terreno che interessano queste tecniche passive sono caratterizzati da ampiezze dell'ordine di $10^{-4} - 10^{-2}$ mm; queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0,5 Hz mentre vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0,5 Hz. Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva possono trovare applicazione negli studi della risposta sismica locale e possono arrivare a determinare profili di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine anche di diverse decine di metri.

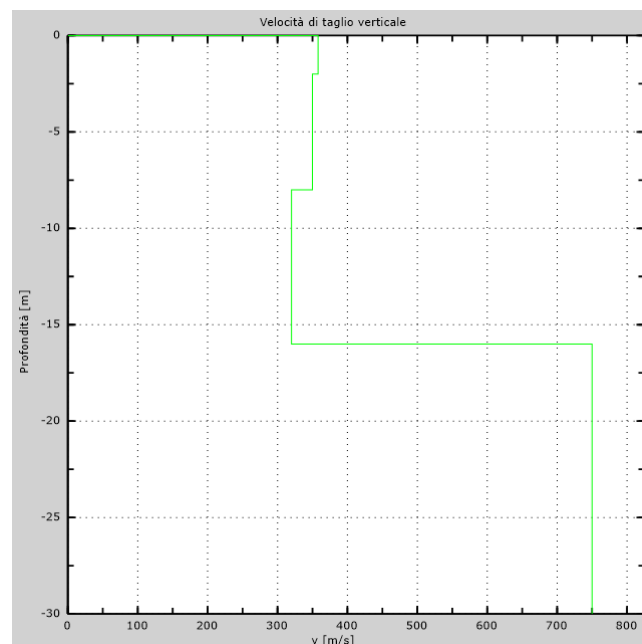
La configurazione di tale rilievo è quella definita ad antenna sismica (array) con cui vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (array) ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno (a "L", a "X", a triangolo, quadrato, cerchio ecc. secondo le possibilità operative).

Tra le configurazioni ad antenna sismica (array) è stato utilizzato il metodo d'indagine Esac (Aki 1959) che si basa sul principio secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo, effettuate su sensori verticali distribuiti in diverse direzioni a parità di distanza r da un sensore centrale, ha una forma nota (funzione di Bessel di ordine 0). La forma di questa funzione di Bessel ad una data frequenza ed una data distanza r è controllata dal valore della velocità di fase.

Il risultato finale del metodo Esac (accoppiato a Masw) è una curva di dispersione effettiva più accurata che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali “pesate” in base al loro specifico contenuto energetico del sito; il reale vantaggio deriva dalla possibilità, utilizzando più tecniche accoppiate (es. Masw-Esac come per il caso in esame), di “prolungare” la curva di dispersione e, quindi, di ottenere dati anche in profondità.

L'elaborazione dei dati accoppiati Masw-Esac è stato effettuato mediante specifico programma (Masw-Esac ver. 4.0.0.2 (c) Vitantonio Roma. All rights reserved).

Di seguito si riporta il profilo desunto dall'indagine da cui risulta evidente la presenza del substrato alla profondità di 16 m dal p.c. La categoria di suolo desunta dall'indagine è la E, avendo determinato una V_{seq} pari a 335 m/s nel primo livello fino alla profondità di 16 m.



Profilo Vs numerico

9.4 Indagini di sismica passiva con tecnica HVSR

Sono state eseguite due misure tomografiche di rumore sismico. Il rumore sismico è stato misurato con il tomografo digitale della Micromed s.r.l. (Tromino). Si tratta di un tomografo tricomponente dotato di tre velocimetri disposti secondo le tre direzioni del moto, capace di registrare i microtremori in un intervallo di frequenze tra 0.1 hz a 256 hz con una digitalizzazione del segnale pari a 24 bit.

La tecnica HVSR permette di estrarre informazioni relative al sottosuolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori (rumore sismico). Tale metodo è in grado di fornire le frequenze di risonanza dei sottosuoli, ed è per questo che è stato utilizzato per il presente lavoro. Tale tecnica permette di produrre una curva HVSR che mostra picchi di frequenza dei vari strati.

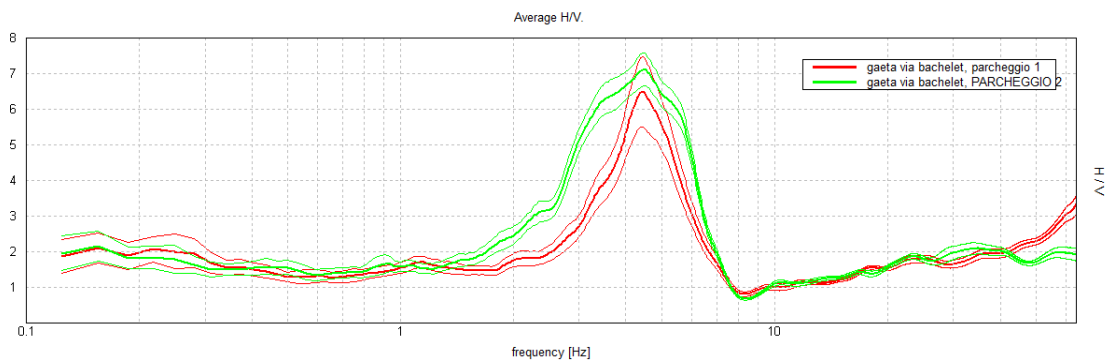
Il risultato dell'analisi è ottenuto con il software Grilla in dotazione a Tromino. In sintesi il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo t (solitamente 20 min) e digitalizzato a 24 bit.

Il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto :

- 1) divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L ;*
- 2) calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra*
- 3) calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra secondo la funzione di liscio f_t e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra.*

Le misure effettuate mostrano un picco marcato alla frequenza di 4.38 Hz, riferibile a una discontinuità presente alla profondità di 16-18 m a cui può farsi corrispondere probabilmente il tetto dei calcari, in linea con l'altra metodologia di indagine.

In allegato si riporta la scheda con i grafici ed il rapporto in riferimento ai criteri delle Linee Guida Sesame.



10. SISMICITA' E CATEGORIE DI SUOLO

L'area oggetto di studio appartenente al Comune di Gaeta, in riferimento al D.M. 16/01/96, risulta classificata sismica di II categoria, con grado di sismicità $S=9$ e coefficiente di intensità sismica, utile per le calcolazioni progettuali, pari a 0,07.

Con l'OPCM 3519/06 la pericolosità sismica viene espressa in valori di accelerazione di picco su suolo rigido (a_g), non più come classe unica, ma suddivisa in sottoclassi per ogni zona sismica con intervalli di 0,025g.

Partendo dall'elaborato di riferimento INGV-DPC all'84°percentile si è operato suddividendo il territorio regionale in fasce di accelerazione caratterizzate da intervalli di 0,05g, in quanto non si è ritenuto conveniente e utile frammentare il territorio in innumerevoli sottoclassi, anche alla luce delle nuove disposizioni normative che indicano la classificazione sismica come solo strumento di tipo amministrativo. La nuova riclassificazione si basa soltanto su 3 Zone Sismiche a differenza delle quattro della precedente classificazione del 2003, con la scomparsa della zona sismica 4. La Zona Sismica 1, quella più gravosa in termini di pericolosità sismica, non presenta sottozona in quanto il valore di a_g max previsto per il Lazio non giustifica ulteriori suddivisioni.

Pertanto la creazione di sottozona ha interessato soltanto le zone sismiche 2 e 3, con la suddivisione in 4 sottozone sismiche (dalla 2A, ovvero la maggiore sottozona della zona sismica 2, fino alla sottozona sismica 3B, corrispondente alla sottozona meno pericolosa della zona sismica 3). Nella Regione Lazio, infatti, i valori di accelerazione a_g dell'elaborato all'84°percentile dell'INGV-DPC sono compresi fra 0.278g e 0.065g, ai quali si possono correlare empiricamente soltanto tre zone sismiche e quattro sottozone, escludendo quindi totalmente la zona sismica 4.

Gran parte dei Comuni del Lazio presentano valori a_g che ricadono interamente in una determinata zona o sottozona sismica, per cui è stato assegnato direttamente il valore della zona/sottozona corrispondente (Comune a zona fissa)

Il comune di Gaeta ricade nella sottozona 3A con a_g compreso tra 0.10 e 0.15

La nuova normativa NTC 2018, prevede in dettaglio le categorie di suolo di fondazione a cui far riferimento ai fini della definizione della azione sismica di progetto; in essa si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

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.

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

L'indagine sismica ha permesso di determinare la categoria di suolo E. Per quanto riguarda le condizioni topografiche, poiché il sito è ubicato in un'area a debole pendenza, può essere classificata come appartenente alla categoria T1.

Parametri sismici:

Sito in esame.

Coordinate ED50

latitudine: 41,217378

longitudine: 13,562476

Coordinate WGS84

latitudine: 41.216381

longitudine: 13.561583

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 31414 Lat: 41,2349 Lon: 13,5568 Distanza: 2009,081

Sito 2 ID: 31415 Lat: 41,2349 Lon: 13,6233 Distanza: 5445,980

Sito 3 ID: 31637 Lat: 41,1849 Lon: 13,6232 Distanza: 6233,121

Sito 4 ID: 31636 Lat: 41,1849 Lon: 13,5568 Distanza: 3638,505

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,033 g

Fo: 2,497

Tc:* 0,265 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,039 g

Fo: 2,527

Tc:* 0,299 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,077 g

Fo: 2,764

Tc:* 0,458 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

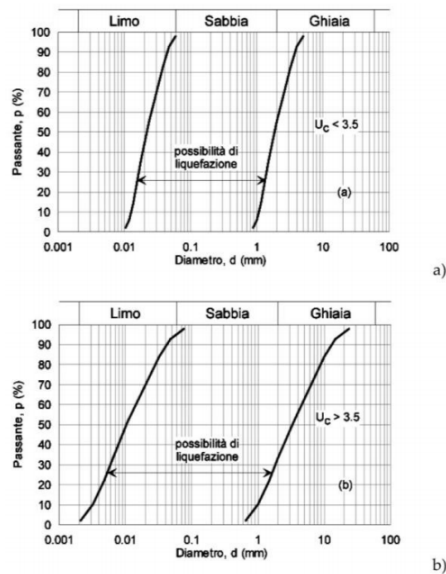
Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,093	g
Fo:	2,826	
Tc*:	0,538	[s]

11. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Sulla base dei dati diretti e indiretti a disposizione, è stato possibile valutare la possibilità di liquefazione. In particolare la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesta una delle seguenti circostanze:

- 1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;*
- 2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, per piano di campagna suborizzontale 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 seguente figura nel caso (a) di terreni con coefficiente di uniformità U_c uniformità $U_c > 3,5$.*

Figura 4-1 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Rif. Fig. 7.11.1 D.M. 17/01/2018



Nel caso specifico si fa presente che le accelerazioni massime attese al sito sono sempre ≥ 0.1 g, poiché il Comune di Gaeta ricade in zona sismica 3B. Si fa presente che la falda viene intercettata alla quota di circa 0 m slm e pertanto essa è superiore a 15 m dal piano campagna, presumibilmente all'interno dell'idrostruttura carbonatica.

Per quanto riguarda le caratteristiche granulometriche dei terreni nell'immediato sottosuolo, come già detto essi sono rappresentati litologicamente da termini di natura argilloso limosa, non mancano probabilmente orizzonti ghiaiosi.

Tali condizioni permettono di escludere la possibilità di liquefazione.

12. CARTOGRAFIA ALLEGATA

Di seguito si illustrano le cartografie prodotte allegate alla presente relazione.

12.1 CARTA GEOLOGICA CON ELEMENTI GEOMORFOLOGICI (Tav. 1)

Nella carta geologica vengono riportati i limiti delle formazioni riconosciute dal rilevamento geologico di superficie, supportato dall'analisi della cartografia disponibile e dalle foto aeree. In particolare si rinviene un settore più rilevato in cui sono prevalenti i termini litoidi subaffioranti, riferibili alla formazione dei calcari mesozoici; essi sono ubicati lungo la strada regionale Flacca e a nord del sito di analisi. Essi oltre ad essere ricoperti da una coltre di riporto, trattandosi di un'area intensamente urbanizzata, è anche sormontata da

depositi sciolti argillosi e sabbiosi, riferibili alla formazione delle sabbie eoliche antiche pleistoceniche o di natura eluvio colluviale, di spessore decimetrico.

Nel settore vallivo sono presenti spessori variabili di terreni argillosi e limosi di origine eluvio colluviale.

Dal punto di vista geomorfologico, l'elemento più significativo è rappresentato dai terrazzamenti antropici che caratterizzano il settore più rilevato e dalla presenza di muri di contenimento a difesa delle scarpate e di muretti a secco all'interno dei lotti non edificati. Essendo l'area urbanizzata sono già state realizzate le opere per la raccolta e lo smaltimento delle acque di deflusso superficiale.

12.2 CARTA IDROGEOLOGICA (Tav. 2)

Nella carta idrogeologica vengono evidenziate le caratteristiche di permeabilità. I calcari appartengono al complesso di piattaforma carbonatica permeabili per fessurazione e carsismo, i depositi sciolti di copertura sono riferibili al complesso di copertura recente a bassa permeabilità per porosità.

12.3 SEZIONE GEOLOGICA (Tav. 3)

Viene riportata la sezione geologica schematica in cui sono evidenti i rapporti stratigrafici tra le formazioni presenti nell'immediato sottosuolo.

12.4 CARTA DELL'ACCLIVITÀ (Tav. 4)

La carta evidenzia acclività sempre molto basse, mitigate anche dalla presenza di terrazzamenti antropici soprattutto nelle aree a maggior grado di urbanizzazione. Nell'area d'interesse le acclività sono inferiori al 5° (9-10%)

12.5 CARTA DELLA STABILITÀ (Tav. 5)

In questa cartografia vengono evidenziati due settori, il primo rappresentato dai terreni sciolti del settore di piana, si tratta di terreni generalmente stabili se non interessati da scavi con fronti significativi. Per quanto riguarda la formazione litoide calcarea, essa risulta stabile laddove le condizioni di giacitura e orientazione delle discontinuità, unitamente al

grado di fatturazione sono favorevoli. Nel caso specifico l'intensa antropizzazione negli anni ha determinato la realizzazione di diffuse opere di difesa delle scarpate.

Il settore a bassa acclività presenta nell'immediato sottosuolo, al di sotto dei terreni di riporto, litotipi argillosi che possono avere caratteristiche geotecniche da scarse a mediamente consistenti; in caso di realizzazione di scavi con fronti di altezza significativa questi ultimi devono essere immediatamente difesi con opere temporanee e/o definitive.

12.6 CARTA DELLE MOPS (MICROZONAZIONE SISMICA DI 1° LIVELLO) (Tav. 6)

Per il Comune di Gaeta, la Regione Lazio non ha mai validato la microzonazione sismica di primo livello. Per il presente lavoro pertanto, è stata elaborata tale cartografia per un areale ristretto che evidenzia che l'area d'intervento, per le condizioni stratigrafiche, risulta stabile con possibili fenomeni di amplificazione sismica locale. Tale dato è confortato da indagini sismiche con metodo MASW eseguite localmente che ha permesso di determinare una categoria di suolo E, riferibile alla presenza di terreni sciolti in cui la velocità delle onde S è mediamente di 335 m/s sui calcari che costituiscono il bedrock sismico.

Tale dato trova riscontro anche dalla misura dei microtremori mediante tromografo. La misura mostra un picco netto alla frequenza di 4.38 Hz a cui si fa corrispondere una brusca variazione di impedenza sismica locale. Tale picco corrisponde quindi alla presenza nel sottosuolo della formazione carbonatica, così come desunto da numerose indagini condotte localmente, posto presumibilmente ad una profondità dell'ordine dei 16-18 m dall'attuale piano campagna.

Pertanto l'area rientra in una zona con presenza del bedrock calcareo entro i 30 m di profondità sormontato da depositi sciolti di copertura.

12.7 MONITORAGGIO DEL TERRITORIO TRAMITE INTERFEROMETRIA SATELLITARE (tav. 6 bis)

Le analisi svolte hanno preso in considerazione anche i dati derivanti da monitoraggio satellitare tramite interferometria radar da satellite (tecnica dei Diffusori Permanenti - Permanent Scatterers, PS) disponibili sul portale informatico della Regione Lazio.

Tale tecnica consente di misurare gli spostamenti millimetrici del bersaglio rispetto al sensore del satellite e nel campo geologico risulta particolarmente efficace nel monitoraggio di fenomeni di deformazioni a bassa velocità quali ad esempio i fenomeni di subsidenza o le frane di scivolamento. Sul portale regionale sono disponibili i PS derivanti dai processing delle immagini dei satelliti. In generale, i PS caratterizzati da velocità medie di deformazione inferiori a $\pm 1,5$ mm/anno sono quelli che vengono considerati stabili, per cui non sono riconosciuti movimenti al suolo. La legenda indica gli spostamenti al suolo, in mm/anno. I dati negativi indicano un abbassamento del suolo, quelli positivi un innalzamento del suolo. I bersagli di tale tecnica di monitoraggio satellitare sono in genere costituiti da superfici riflettenti quali edifici, pareti rocciose esposte, elementi metallici, etc.

Si osserva una generale scarsità di punti di controllo nel settore di analisi, a causa della presenza di pochi riflettori. I dati acquisiti riferibili a tale settore indicano sostanzialmente l'assenza di anomalie significative ai fini delle opere in progetto, e quindi una sostanziale stabilità di tale ambito, confermando pertanto il generale grado di stabilità dell'area in esame.

In allegato, tav. 6 bis, vengono riportati i dati interferometrici relativi all'area in studio.

12.8 PERICOLOSITA', VULNERABILITÀ E IDONEITÀ (Tav. 7 e 8)

Per quanto riguarda la pericolosità del sito, si ribadisce che limitatamente all'area d'intervento, per le blande pendenze non si ipotizzano effetti erosivi, particolari condizioni di instabilità e/o fenomeni di subsidenza o subsidenza catastrofica (sinkhole).

Inoltre si fa presente che uno dei fenomeni di cui tener conto è l'infiltrazione di agenti inquinanti e delle acque di drenaggio superficiale dei piazzali, ciò impone l'allaccio alla rete fognaria cittadina.

L'esecuzione di scavi con un fronte dell'ordine dei 2-3 m può far ipotizzare la possibilità di crolli e cedimenti.

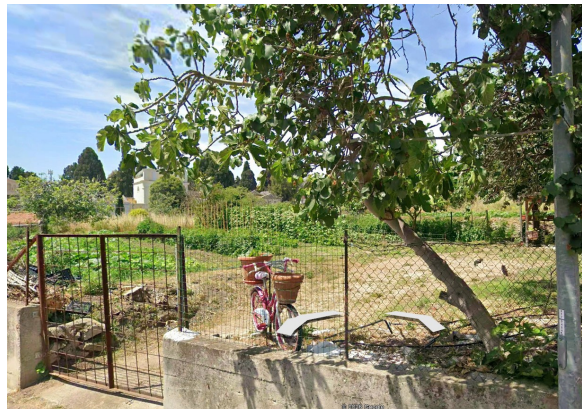
Per quanto riguarda l'idoneità geomorfologica del sito si fa presente che nella cartografia allegata si pongono prescrizioni di carattere:

- *geotecnico: relativamente alla difesa dei fronti di sbancamento e all'approfondimento delle indagini geognostiche, secondo quanto prescritto dal regolamento regionale;*

- *sismico: per la fase esecutiva si dovrà tener conto delle caratteristiche sismiche del sito e dei possibili fenomeni di amplificazione che, in presenza di un bedrock calcareo a profondità dell'ordine dei 15 metri possono anche essere significativi;*

- *idraulico: riguarda il controllo mediante opere e interventi per la raccolta e lo smaltimento delle acque di deflusso superficiale.*

In merito agli aspetti vegetazionali, si fa presente che l'intervento non interessa un'area boscata o assibilabile ad essa, nel settore di analisi sono evidenti le colture orticole e sporadici alberi da frutto, così come , ben visibile anche dalle foto di seguito riportate e nello stralcio del SIT della Provincia di Latina.



- ☒ **Uso del Suolo 2° livello**
- ☐ 11 Insediamento residenziale
 - ☐ 12 Insediamento produttivo
 - ☐ 13 Aree estrattive, cantieri, discariche
 - ☐ 14 Aree verdi urbanizzate
 - ☒ 21 Seminativi
 - ☐ 22 Colture permanenti
 - ☐ 23 Prati stabili (Foraggiere permanenti)
 - ☐ 24 Zone agricole eterogenee
 - ☐ 31 Aree boscate
 - ☐ 32 Copertura vegetale arbustiva e/o erbacea
 - ☐ 33 Zone aperte con vegetazione rada o assente
 - ☐ 41 Zone umide interne
 - ☐ 42 Zone umide marittime
 - ☐ 51 Acque continentali
 - ☐ 52 Acque marittime



STRALCIO DEL SIT DELLA PROVINCIA DI LATINA RELATIVO ALL'USO DEL SUOLO

13. PIANO DI INDAGINI PER LA FASE ESECUTIVA

Ai fini della definizione del modello geologico e sismico, si fa presente che l'area in esame, appartenente al Comune di Gaeta, rientra nella zona sismica 3A; essendo di classe d'uso II, il livello di rischio sismico è BASSO.

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

- *L'allegato C prevede, in caso di opere in classe d'uso II e rischio sismico basso le seguenti indagini:*
 - a) Almeno 1 Prova Penetrometrica statica (CPT, CPTE, CPTU) o dinamica (DPSH) o dilatometrica DMT che attraversino il volume significativo fondazionale e consentano di valutare le caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche 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.

Pertanto ai fini della progettazione esecutiva sarà necessaria almeno una prova penetrometrica .

14. GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

La realizzazione dell'intervento comporta inevitabilmente lo scavo e i movimenti di terra necessari per la realizzazione della struttura e per la sistemazione esterna dell'area.

Il D.P.R. 120/2017, entrato in vigore il 22 agosto 2017, detta nuove disposizioni in materia di riordino e semplificazione della disciplina inerente la gestione terre e rocce da scavo, abrogando le disposizioni previgenti (D.M. 161/2012; art. 184-bis, co. 2-bis, del d.lgs. 152/2006; artt. 41, co. 2 e 41-bis del D.L. 69/2013, convertito, con modificazioni, dalla L. 98/2013).

Si rende necessaria una caratterizzazione ambientale delle terre e rocce e si dovrà quindi produrre una certificazione analitica che attesti il non superamento delle

concentrazioni di soglia di contaminazione (CSC) definite in riferimento alla destinazione urbanistica del sito.

I requisiti come sottoprodotto sono autocertificati dal proponente nella Dichiarazione di Utilizzo (DU). La DU, trattandosi di autocertificazione, non deve necessariamente includere la certificazione analitica, ma quest'ultima deve essere resa disponibile all'Autorità Competente e/o all'ARPA, qualora richiesta. L'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto in conformità al PdU o alla DU è attestato mediante la Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo (DAU) ai sensi dell'art. 7 del D.P.R. 120/2017.

Ai sensi dell'art. 185 del d.lgs. 152/2006 e dell'art. 24 del D.P.R. 120/2017, per poter essere escluse dalla disciplina sui rifiuti, le terre e rocce da scavo devono essere non contaminate e utilizzate nello stesso sito nel quale sono prodotte. La non contaminazione, valutata in riferimento alle CSC o ai valori di fondo naturale, è verificata mediante caratterizzazione.

Il trasporto delle terre e rocce da scavo qualificate sottoprodotti fuori dal sito di produzione è accompagnato dal documento di trasporto di cui all'allegato 7 del D.P.R. 120/2017.

15. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Sulla base dei rilevamenti, estesi ad una zona ben più ampia di quella in oggetto, finalizzati alla valutazione dei rapporti esistenti tra le diverse unità litologiche e tesi all'individuazione dell'eventuale esistenza di fenomeni di dissesto, tenuto conto che nell'area non si sono individuati fenomeni di dissesto geomorfologico e che non esistono indizi tali da indurre particolari problemi nella progettazione edilizia, il sito si ritiene idoneo al cambio di destinazione d'uso e alla realizzazione delle strutture in progetto.

Si raccomanda l'osservanza delle prescrizioni riportate nei paragrafi precedenti e nelle tavole allegate.

Si ribadisce che per la fase esecutiva, il regolamento del n. 7 del 16.04.21 della Regione Lazio impone una serie di indagini geotecniche e sismiche, in parte già eseguite sul sito di intervento, necessarie per la progettazione strutturale dell'opera.

Fondi, MAGGIO 2026



TAVOLE

Carta Geologica con elementi geomorfologici

Carta Idrogeologica

Sezione geologica schematica

Carta dell'acclività

Carta della Stabilità

Carta della Microzonazione di 1° livello

Carta del monitoraggio del territorio tramite interferometria satellitare

Carta della vulnerabilità e pericolosità

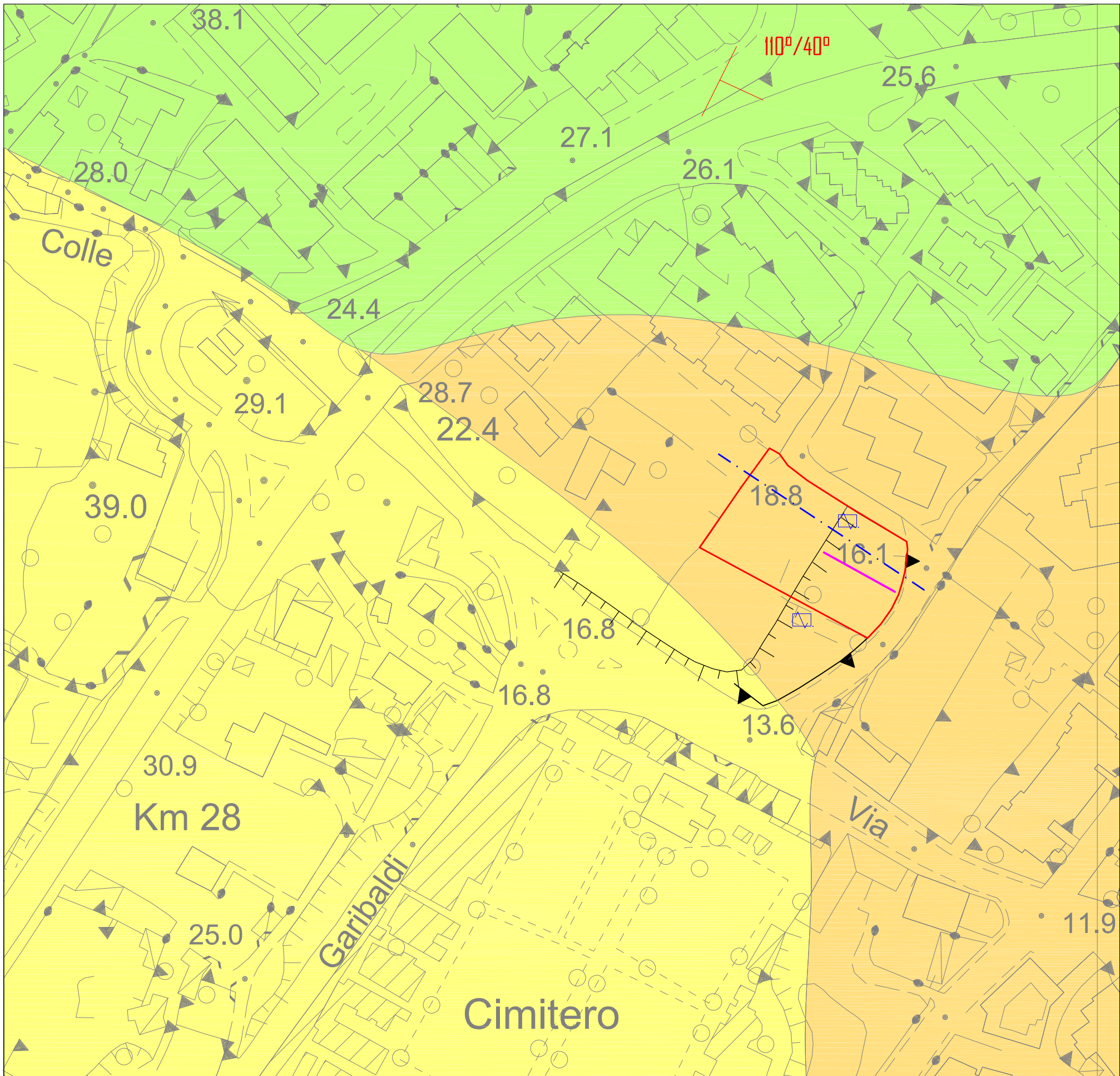
Carta della Idoneità

ALLEGATI

Report prospezioni sismiche:

MASW+ESAC

HVSR



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

CARTA GEOLOGICA CON ELEMENTI
GEOMORFOLOGICI

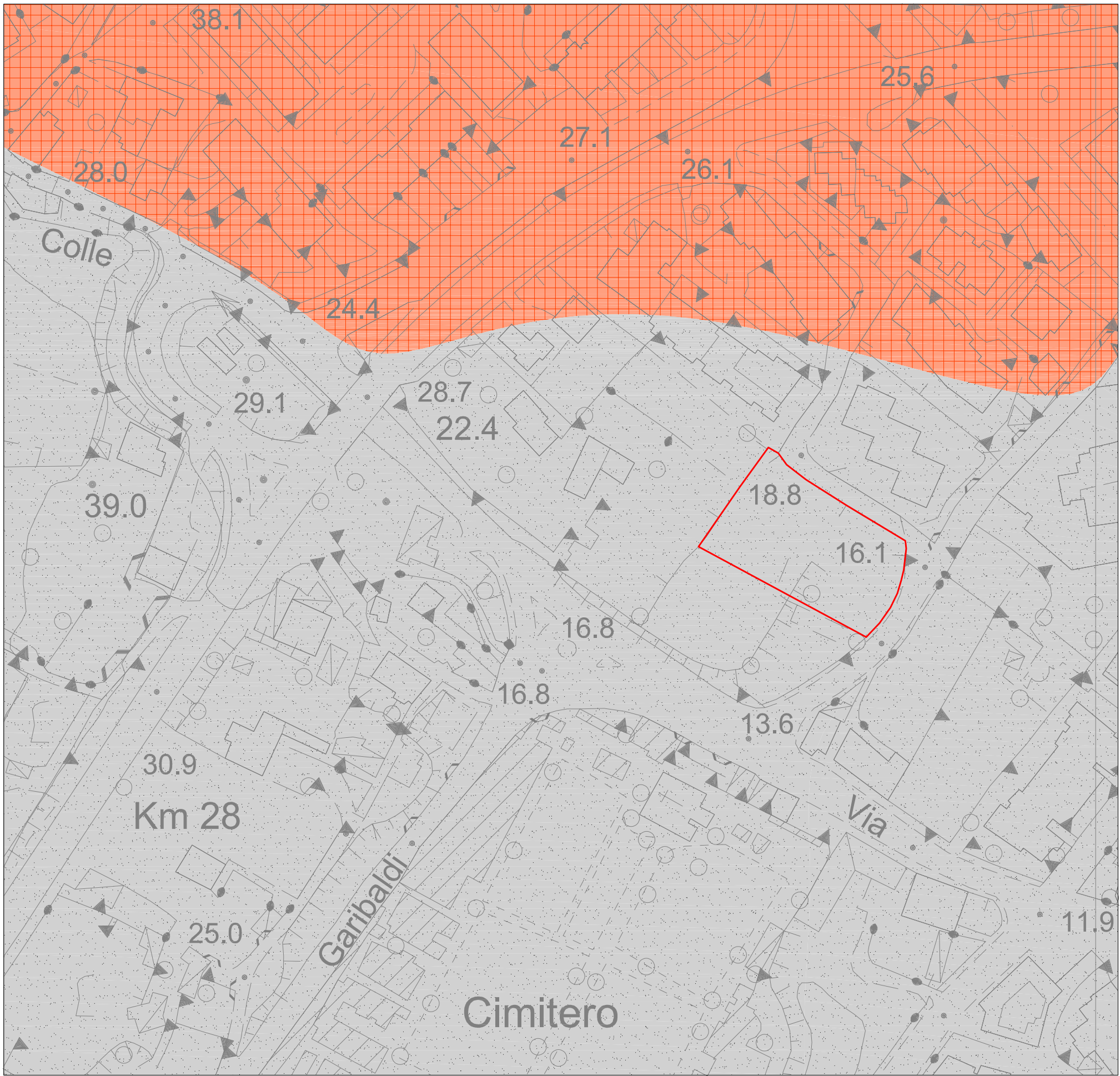
SCALA 1:2.500

LEGENDA

- Formazione delle "Terre rosse" di origine eluvio colluviale sormontate nelle aree urbanizzate da spessori variabili di riporti antropici - Olocene
- Formazione delle Sabbie rosse eoliche antiche - Pleistocene
- Calcarei e calcari dolomitici affioranti o subaffioranti - Cretacico
- Orientazione degli strati
- Muri a difesa delle scarpate
- Muretti a secco
- Prospezione sismica MASW+ESAC
- HVSR - Stazione microtremore a stazione singola
- Limite catastale lotto interessato dall'intervento
- Traccia della sezione (tav. 3)

CARTOGRAFIA DI BASE
CTRN 415152

TAVOLA
1



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

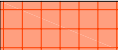
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

CARTA IDROGEOLOGICA

SCALA 1:2.500

LEGENDA

-  Complesso di copertura recente, a bassa permeabilità; può contenere falde poco produttive in corrispondenza di orizzonti sabbiosi e/o ghiaiosi
-  Complesso di piattaforma carbonatica, fratturato e stratificato, permeabile per fratturazione e carsismo
-  Limite catastale lotti interessati dall'intervento

CARTOGRAFIA DI BASE
CTRN 415152

TAVOLA
2

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

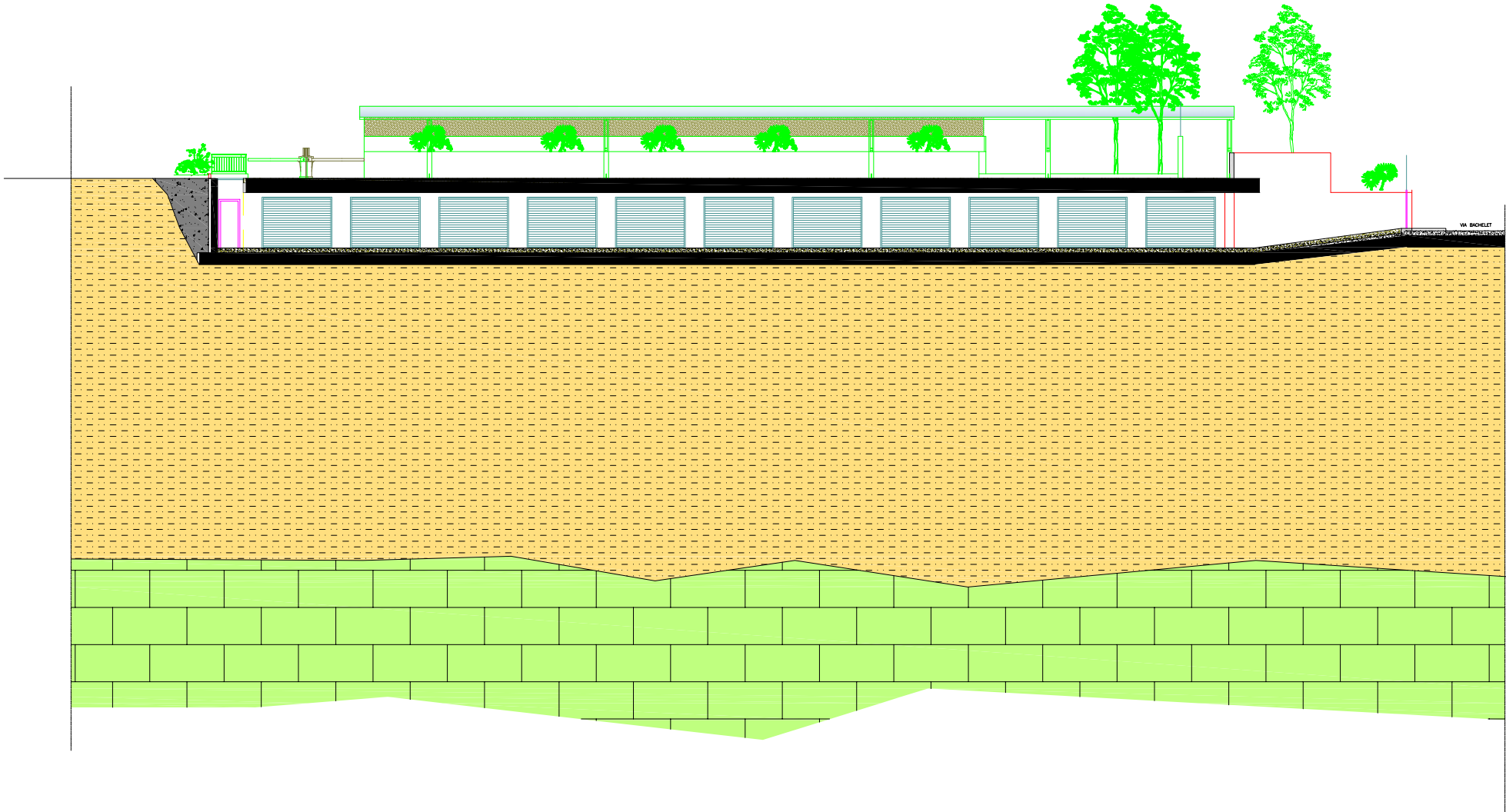
Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA

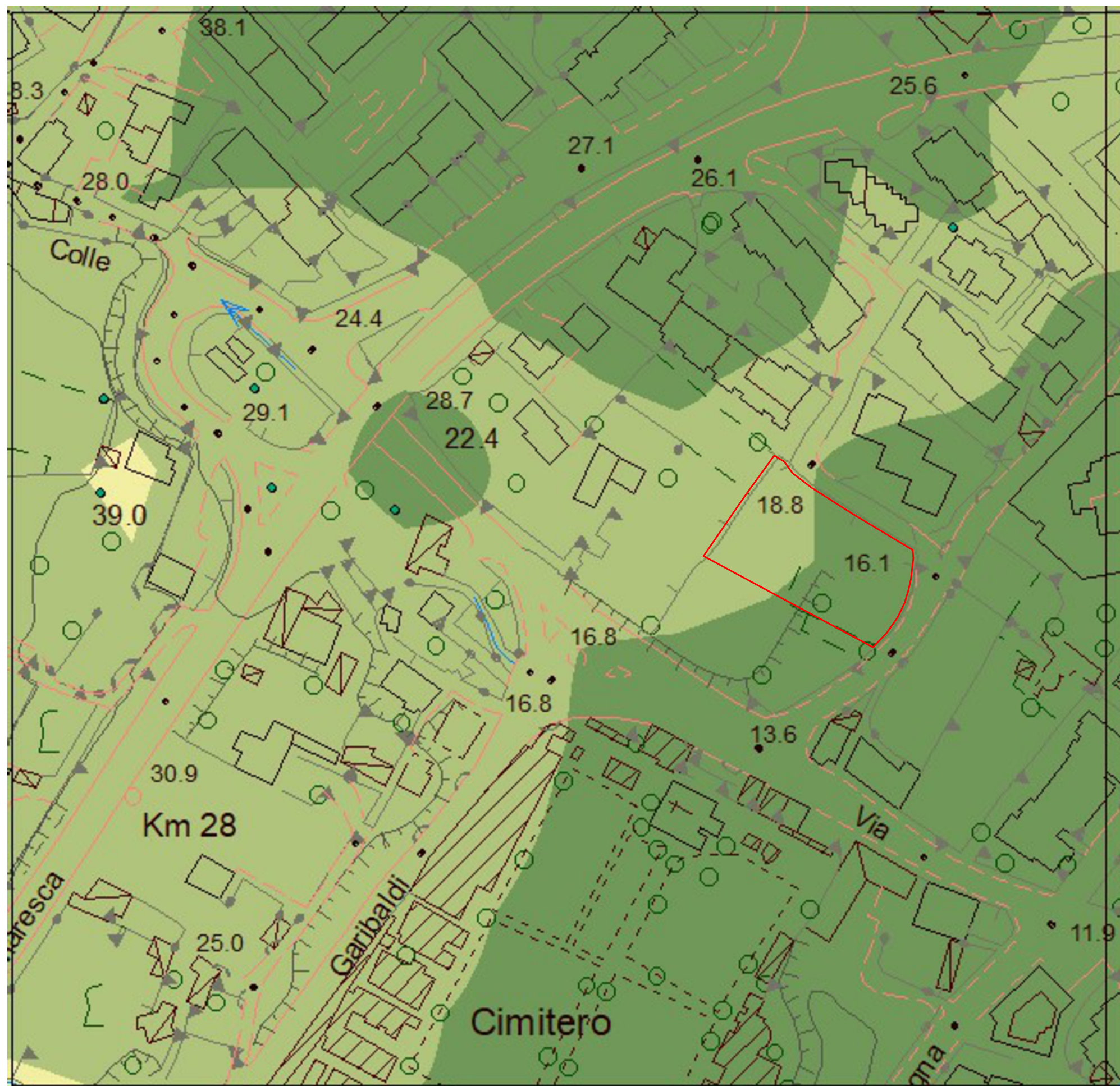
SCALA 1:2.500

LEGENDA

- Formazione delle "Terre rosse" di origine eluvio colluviale
sormontate nelle aree urbanizzate da spessori variabili di riporti
antropici - Olocene
- Calcari e calcari dolomitici - Cretacico



SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

CARTA DELL'ACCLIVITÀ

SCALA 1:2.500

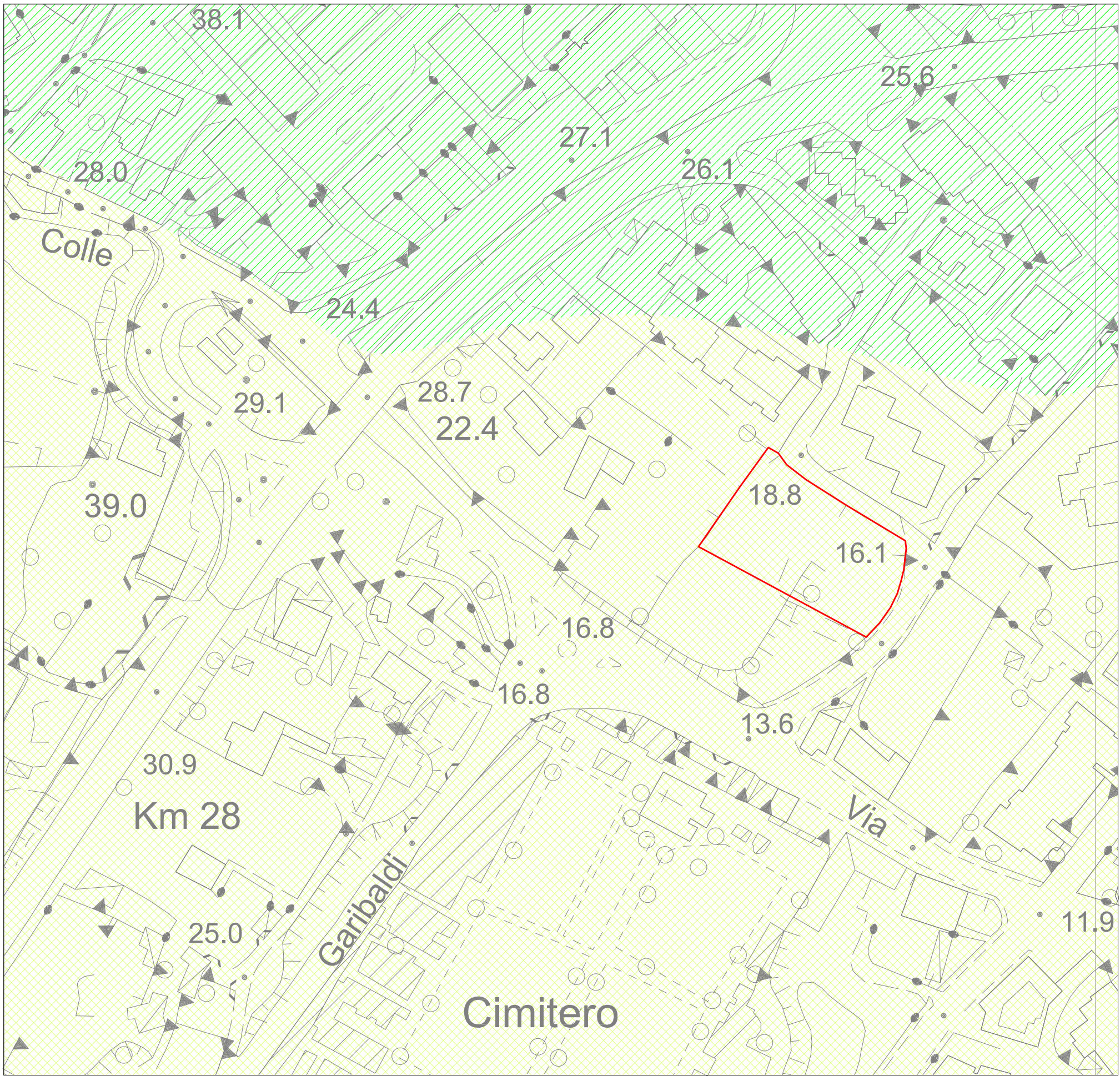
Legenda

Classi di acclività (°)

0.0 - 5
5.1 - 10
11 - 20
21 - 23
24 - 25
26 - 30
31 - 35
36 - 40
41 - 44

CARTOGRAFIA DI BASE
CTRN 415152

TAVOLA
4



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

CARTA DELLA STABILITÀ

SCALA 1:2.500

LEGENDA

 Aree su cui sono presenti terreni fortemente eterogenei, con eteropie laterali e verticali, piccole falde poco produttive superficiali, caratteristiche meccaniche da scarse a moderatamente consistenti; la stabilità è scarsa in corrispondenza di fronti di scavo.

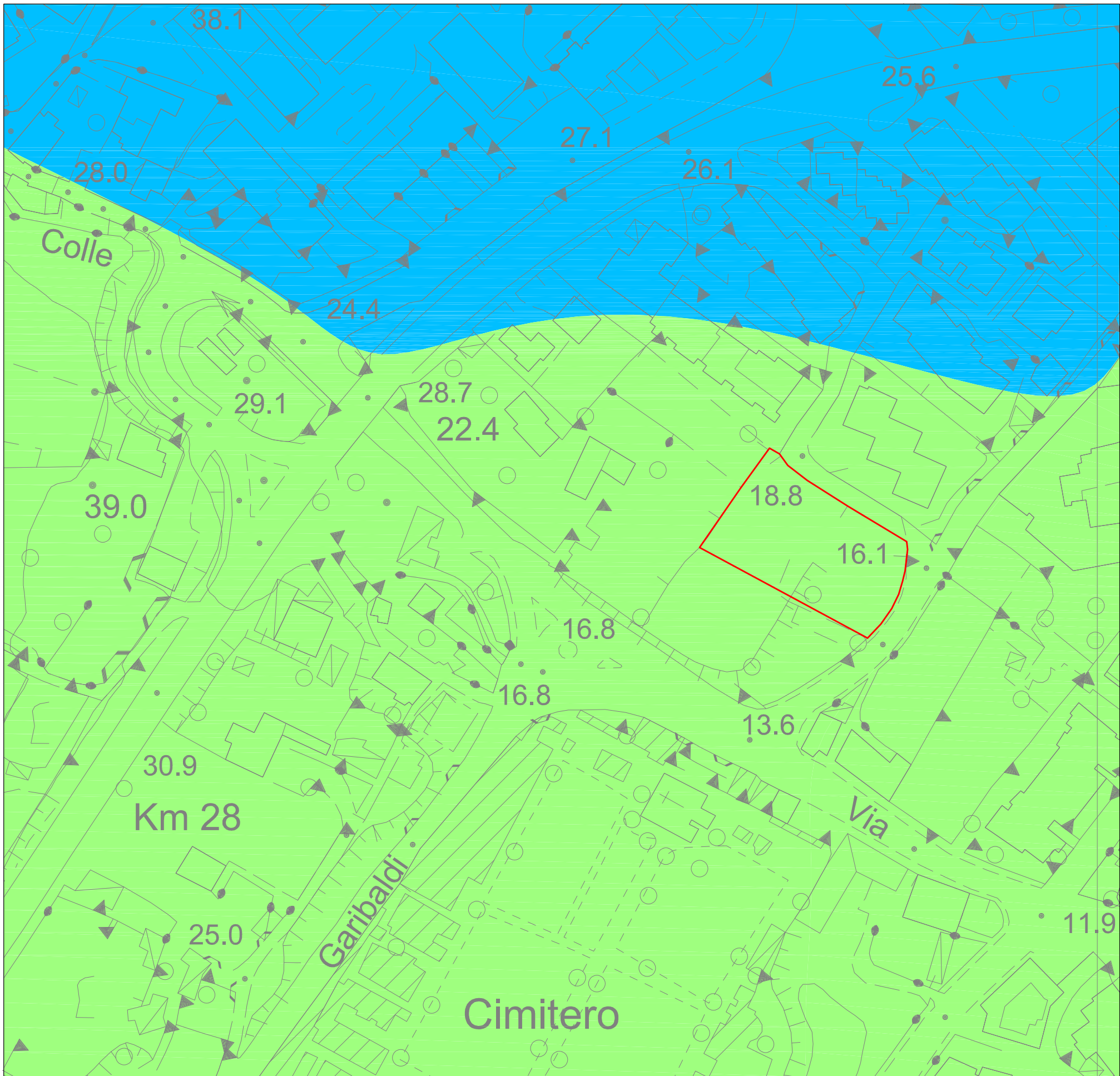
 Area con litotipo calcareo affiorante o sottoposto a coperture antropiche decimetriche, con buone caratteristiche meccaniche, falda profonda; buona stabilità laddove le scarpate sono difese e le acque sono sottoposte a controllo; bassa stabilità in presenza di scarpate nude e sfavorevoli orientazioni delle discontinuità in relazione all'esposizione del fronte; possibile presenza di cavità carsiche.

Limite catastale lotti interessati dall'intervento

 Limite catastale lotto interessato dall'intervento

CARTOGRAFIA DI BASE
CTRN 415152

TAVOLA
5



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

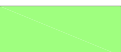
CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN
PROSPETTIVA SISMICA MOPS 1° LIVELLO
SCALA 1:2.500

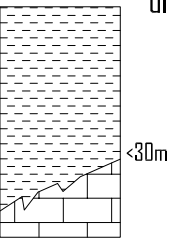
LEGENDA

ZONE STABILI

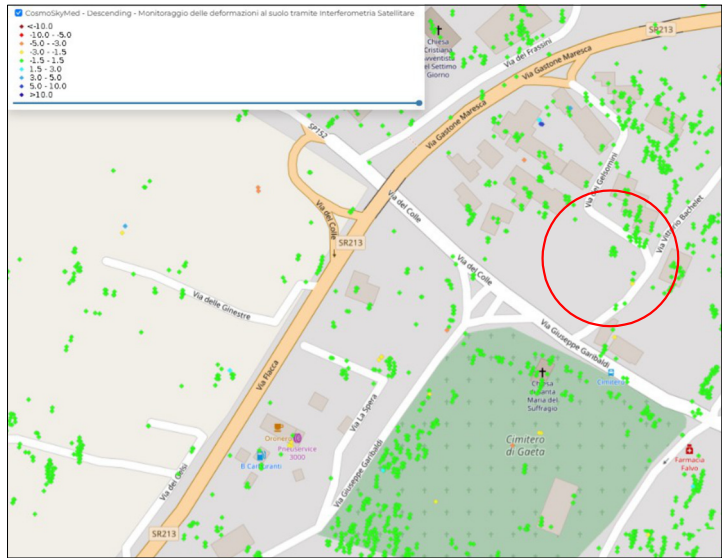
 Zona con bedrock affiorante o subaffiorante con depositi superficiali di spessore <3m

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

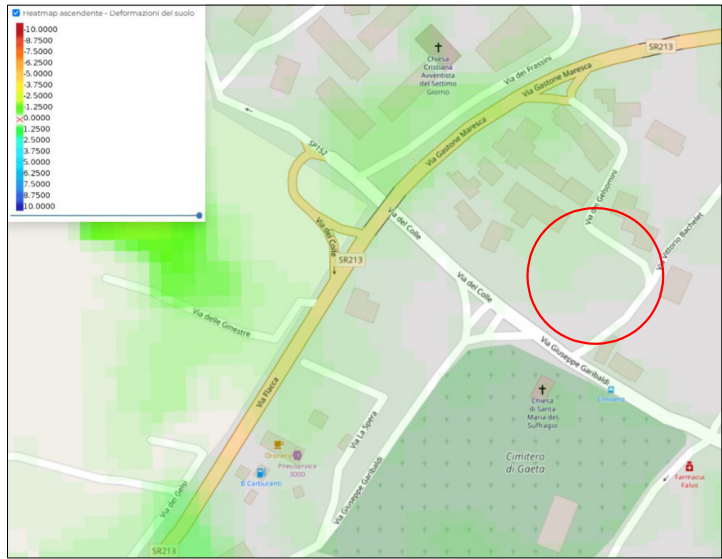
 Coperture sciolte limose, sabbiose e argillose, di spessore minore di 30 metri, su bedrock sismico calcareo



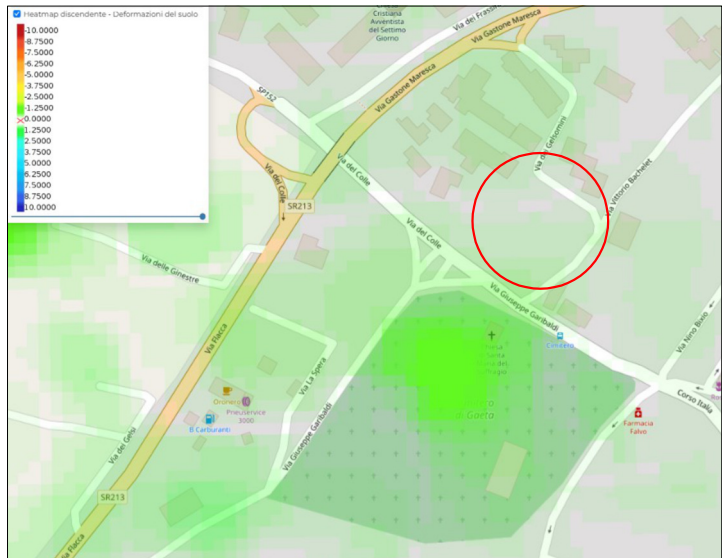
 Limite catastale lotto interessato dall'intervento



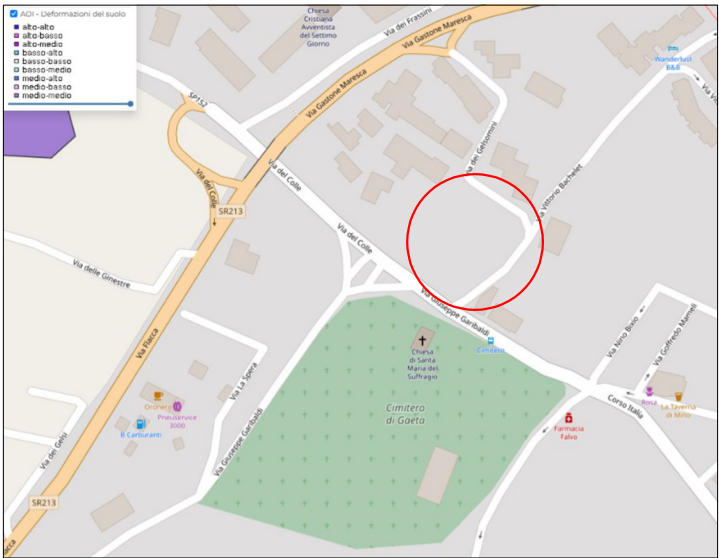
Cosmo Sky Med - Descending - Monitoraggio delle deformazioni al suolo tramite interferometria satellitare



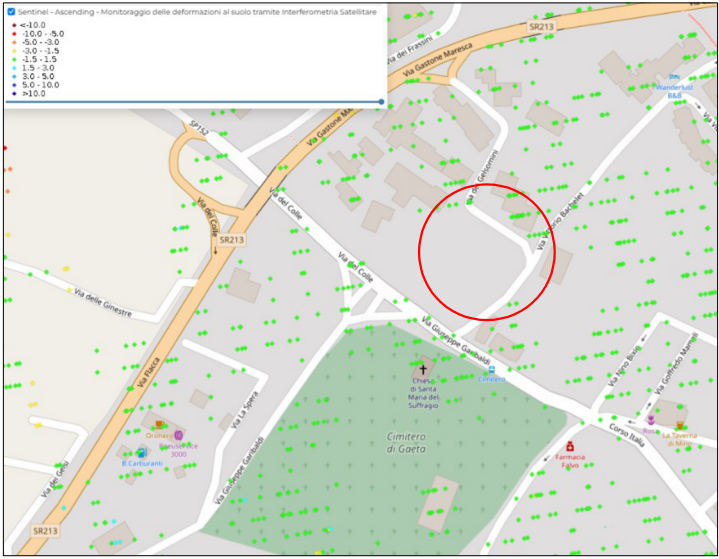
Heatmap ascendente - Deformazioni del suolo



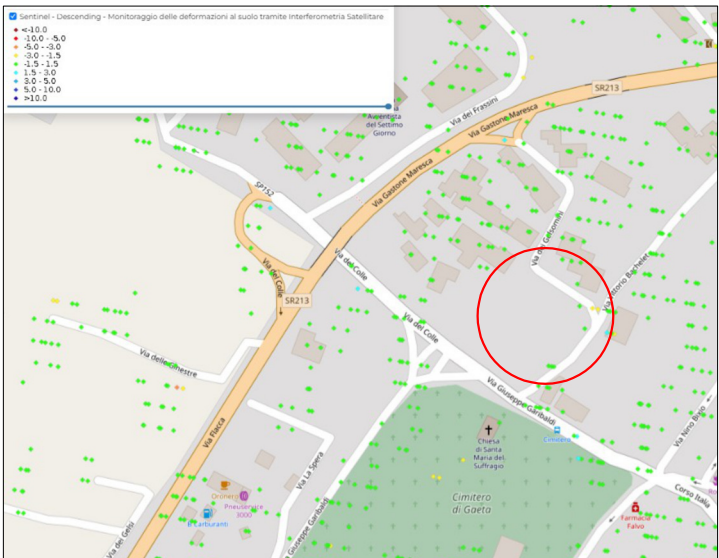
Sentinel - Ascending - Monitoraggio delle deformazioni al suolo tramite interferometria satellitare



AOI Aree di deformazione del suolo



Heatmap discendente - Deformazioni del suolo



Sentinel - Ascending - Monitoraggio delle deformazioni al suolo tramite interferometria satellitare

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

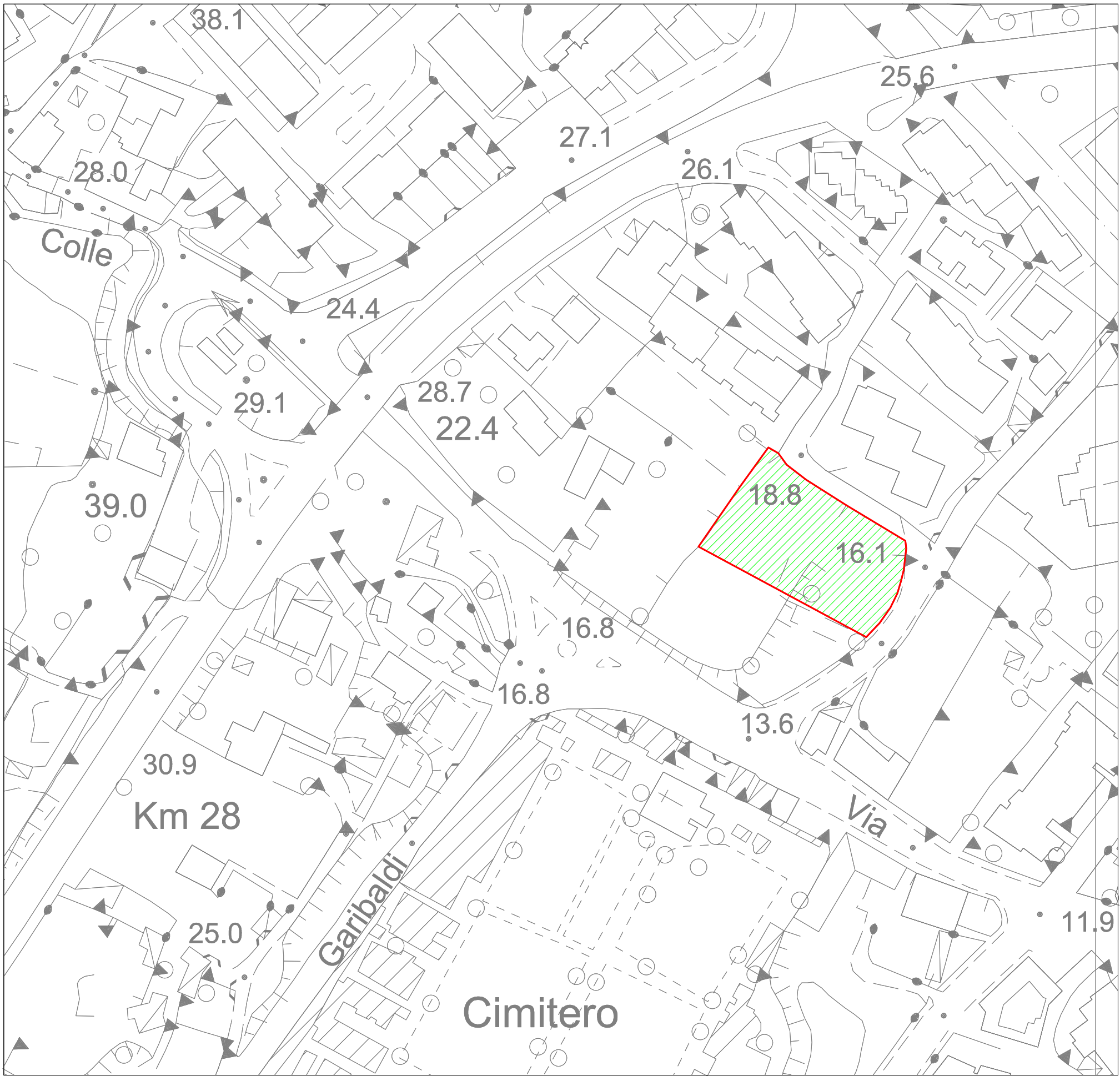
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

MONITORAGGIO DEL TERRITORIO TRAMITE
INTERFEROMETRIA SATELLITARE

Area interessata dall'intervento

TAVOLA
6 bis



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DELLA
VULNERABILITA'

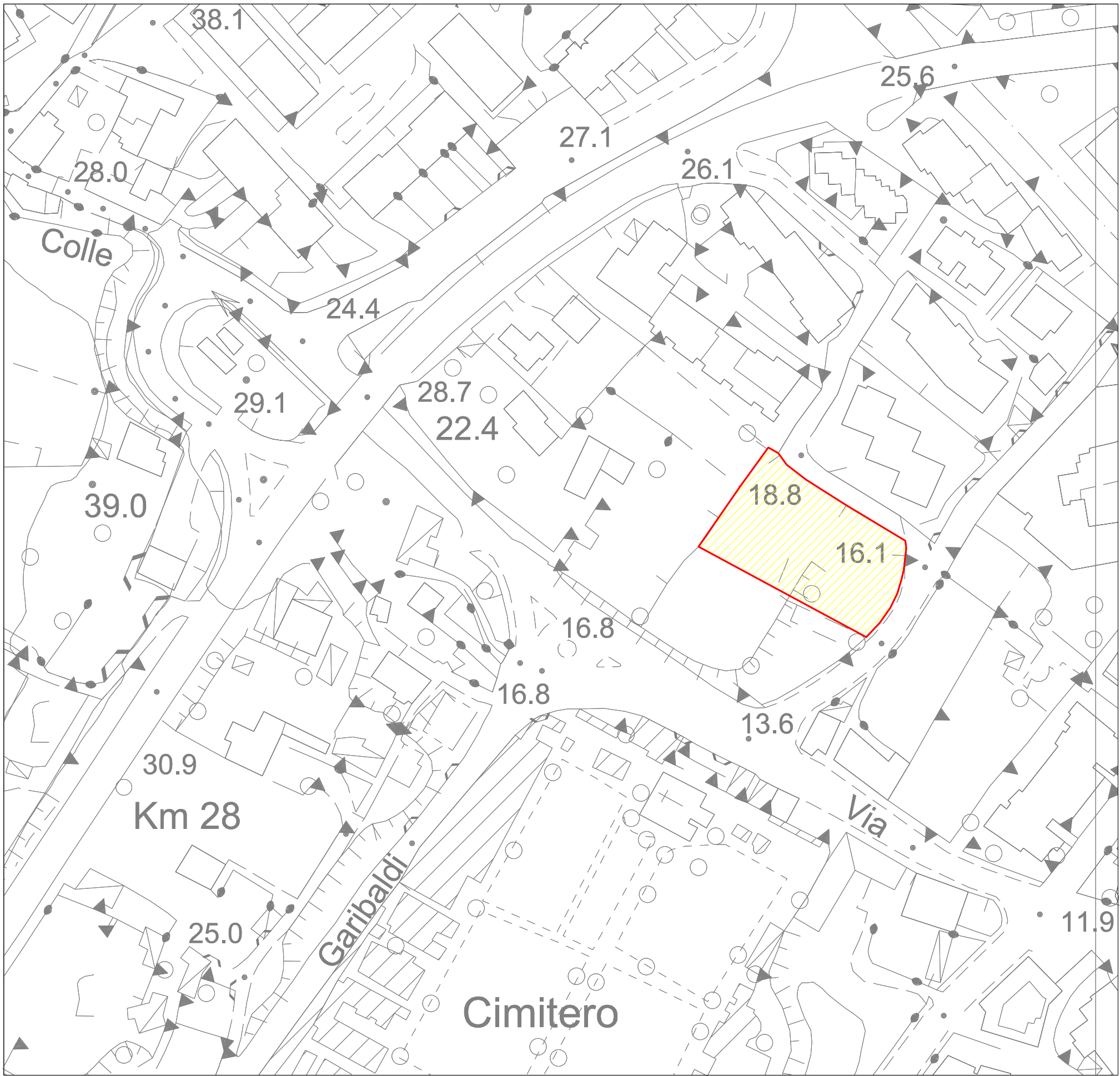
LEGENDA

- Area non soggetta a fenomeni di subsidenza o subsidenza catastrofica (sinkhole); possono generarsi locali cedimenti indotti da carichi elevati sovrastanti le strutture di fondazione;
- la modificazione del drenaggio delle acque di deflusso superficiale impone l'allaccio alla rete delle acque bianche comunali;
- area soggetta a fenomeni di amplificazione sismica locale;
- i fronti di scavo che si creeranno per la realizzazione del piano interrato della struttura possono subire crolli e cedimenti.

 Limite catastale lotto interessato dall'intervento

CARTOGRAFIA DI BASE
CTRN 415152

TAVOLA
7



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
dott. geol. PIERLUIGI DI RUSSO
Corso Italia, 31 - 04022 Fondi (LT)

COMUNE DI GAETA
(Provincia di Latina)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA AUTORIMESSA INTERRATA E DI UN
SOVRASTANTE PARCHEGGIO A RASO CON PENSILINE FOTOVOLTAICHE
Lotto distinto in catasto al foglio 25 p. 3228

Committente: Soc. PIDA Immobiliare S.r.l.

CARTA DELLA IDONEITÀ

LEGENDA

AREA IDONEA CON LE SEGUENTI PRESCRIZIONI:

- In fase esecutiva approfondire il piano di indagini per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione e prospezioni geofisiche per la definizione della risposta sismica locale, sulla base del regolamento sismico regionale;
- Realizzare opere temporanee e/o definitive per la difesa dei fronti di scavo;
- Realizzare l'allaccio alla rete fognaria cittadina per lo smaltimento dei reflui;
- Realizzare l'allaccio alla rete delle acque bianche cittadine unitamente alla creazione di una rete per lo smaltimento delle acque di deflusso superficiale con pendenze adeguate;

 Limite catastale lotto interessato dall'intervento

CARTOGRAFIA DI BASE
CTRN 415152

TAVOLA
8

MASW +ESAC

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracceC:\Users\user\Desktop\nuovi lavori da maggio 2020\1955_PIDA
IMMOBILIARE\bachelet\7_StckSm.drm
Numero di ricevitori..... 16
Distanza tra i sensori:..... 1m
Numero di campioni temporali2000
Passo temporale di acquisizione.....1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 16
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

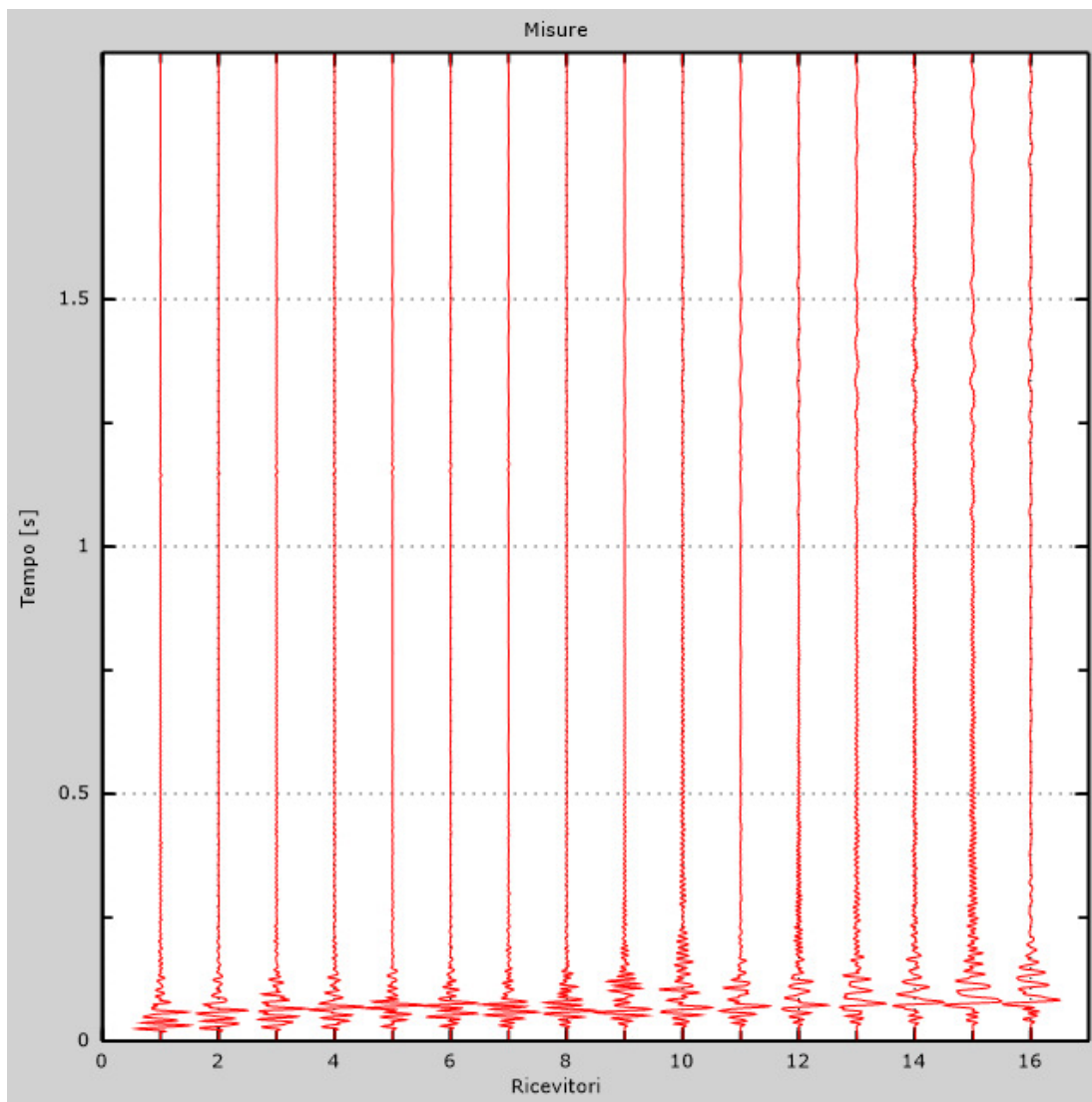


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale.....50Hz

Frequenza iniziale.....2Hz

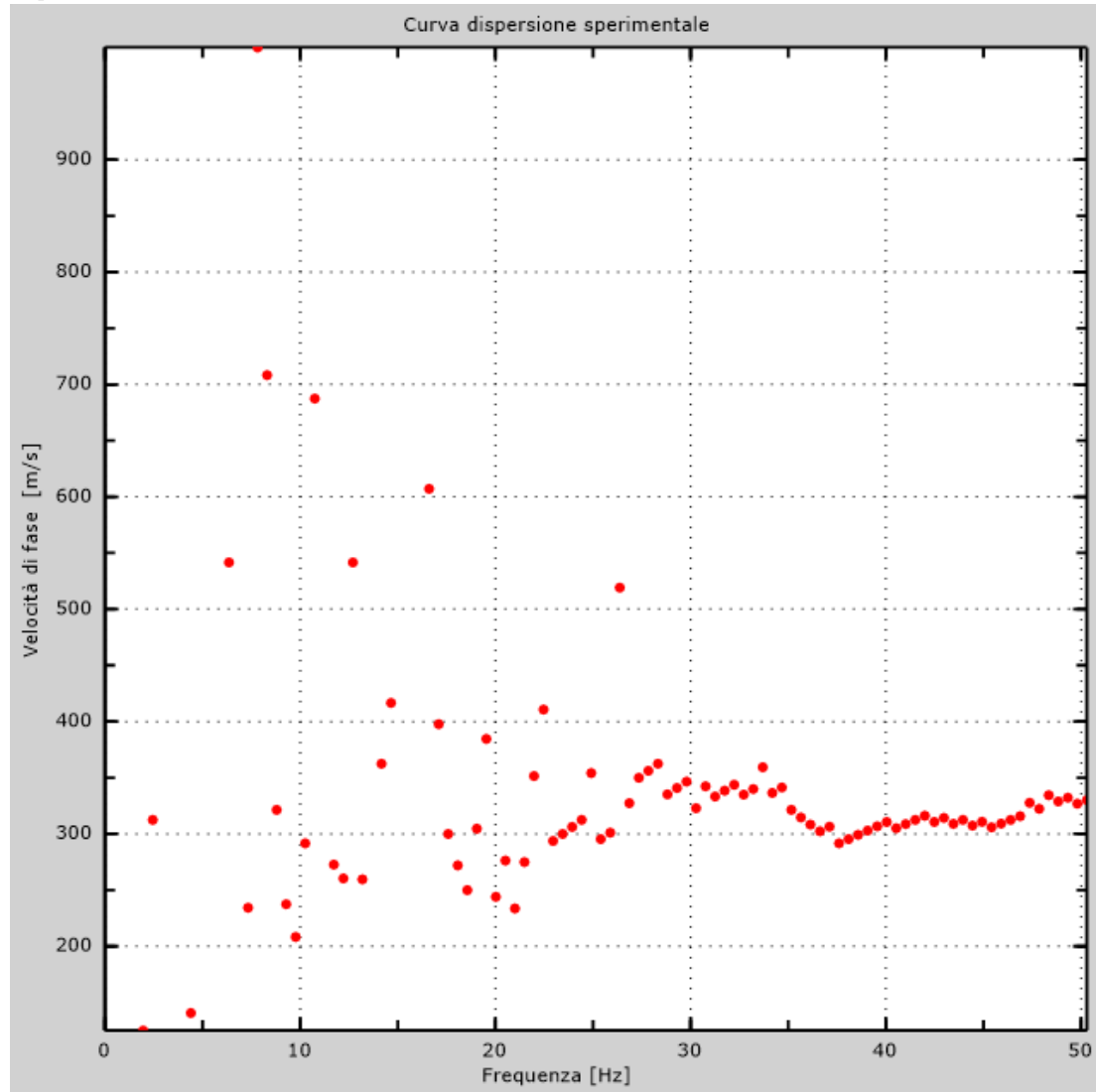


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Analisi ESAC

Nome del file delle tracceC:\Users\user\Desktop\nuovi lavori da maggio 2020\1955_PIDA IMMOBILIARE\bachelet\ESAC\2023-10-31_16-35-10_00200_12000_016_StckSm.drm

Numero di ricevitori..... 16

Numero di campioni temporali24000

Passo temporale di acquisizione.....5ms

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a0ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a 119995ms

Durata finestra 20s

Sovrapposizione..... 0s

Lisciamento..... 0.1

Soglia pulitura.....0sqm

Numero di iterazioni 2

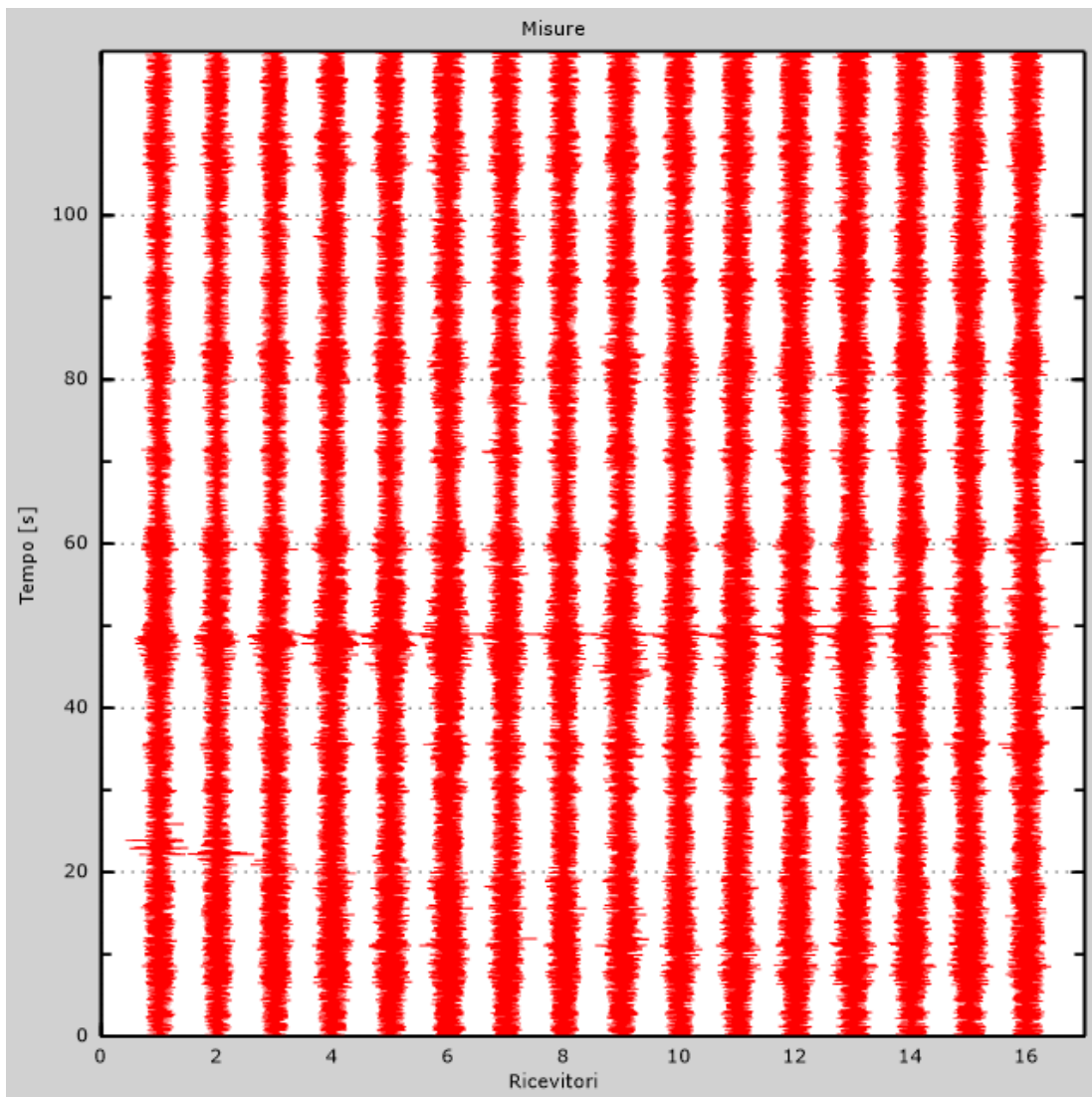


Figura 3: Tracce sperimentali

Tabella 1: Posizioni dei geofoni

X [m]	Y [m]
0	0
0	1
0	2
0	3
0	4
0	5
0	6
0	7
0	8
0	9
0	10
0	11
0	12
0	13
0	14

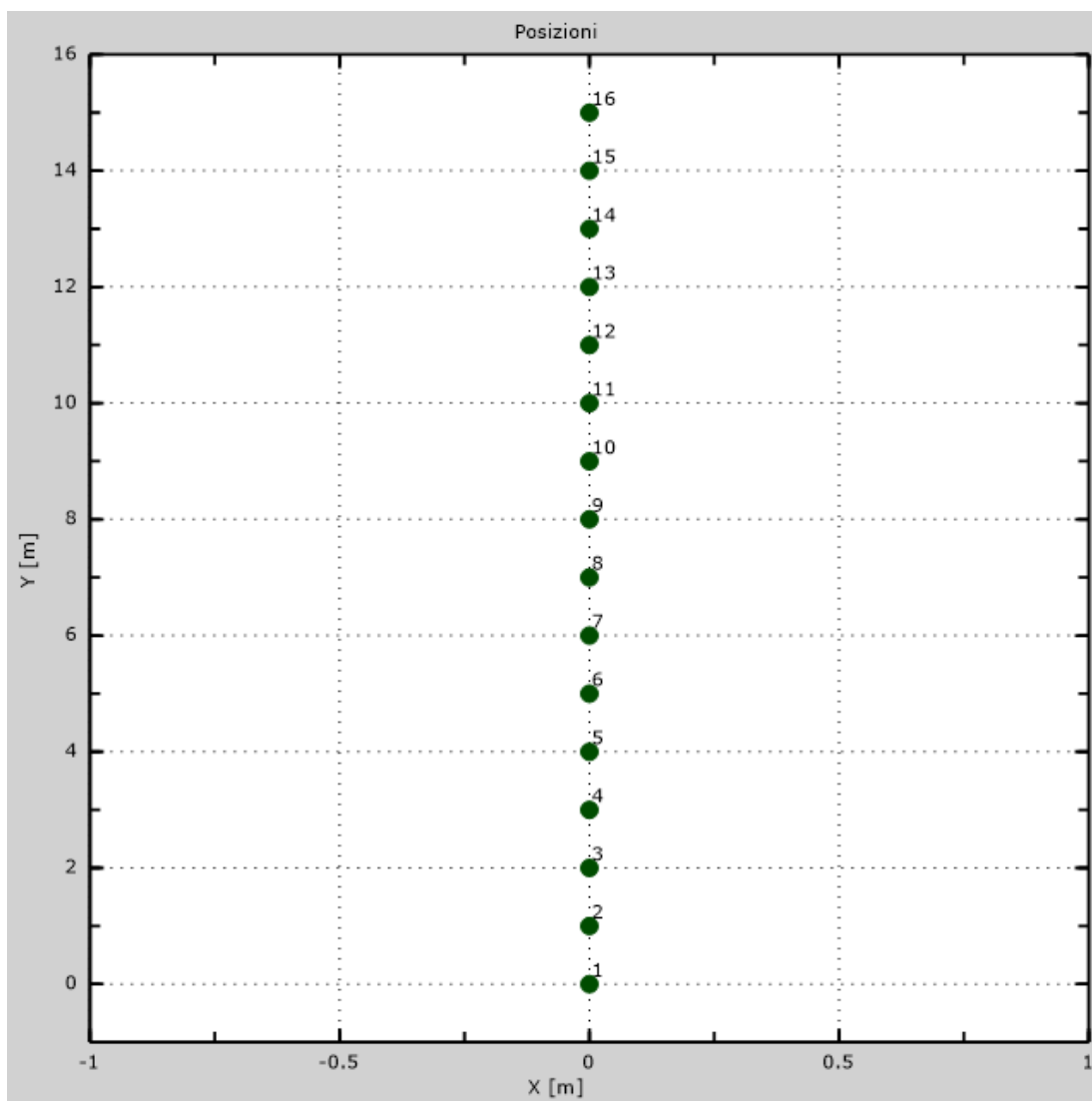


Figura 4: Posizioni dei geofoni

4 - Curva di dispersione

Tabella 2: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.9086	410.833	367.714	453.951
9.1249	381.265	339.379	423.152
9.30514	361.554	323.363	399.745
13.1624	331.987	296.26	367.714
15.5417	322.131	295.028	349.234
19.0024	307.348	277.781	336.915
26.8972	333.219	304.884	361.554
31.2952	335.683	303.652	367.714
36.1258	311.044	282.708	339.379
40.0192	311.044	293.796	328.291
44.9219	313.508	286.404	340.611
47.8419	322.131	302.42	341.843

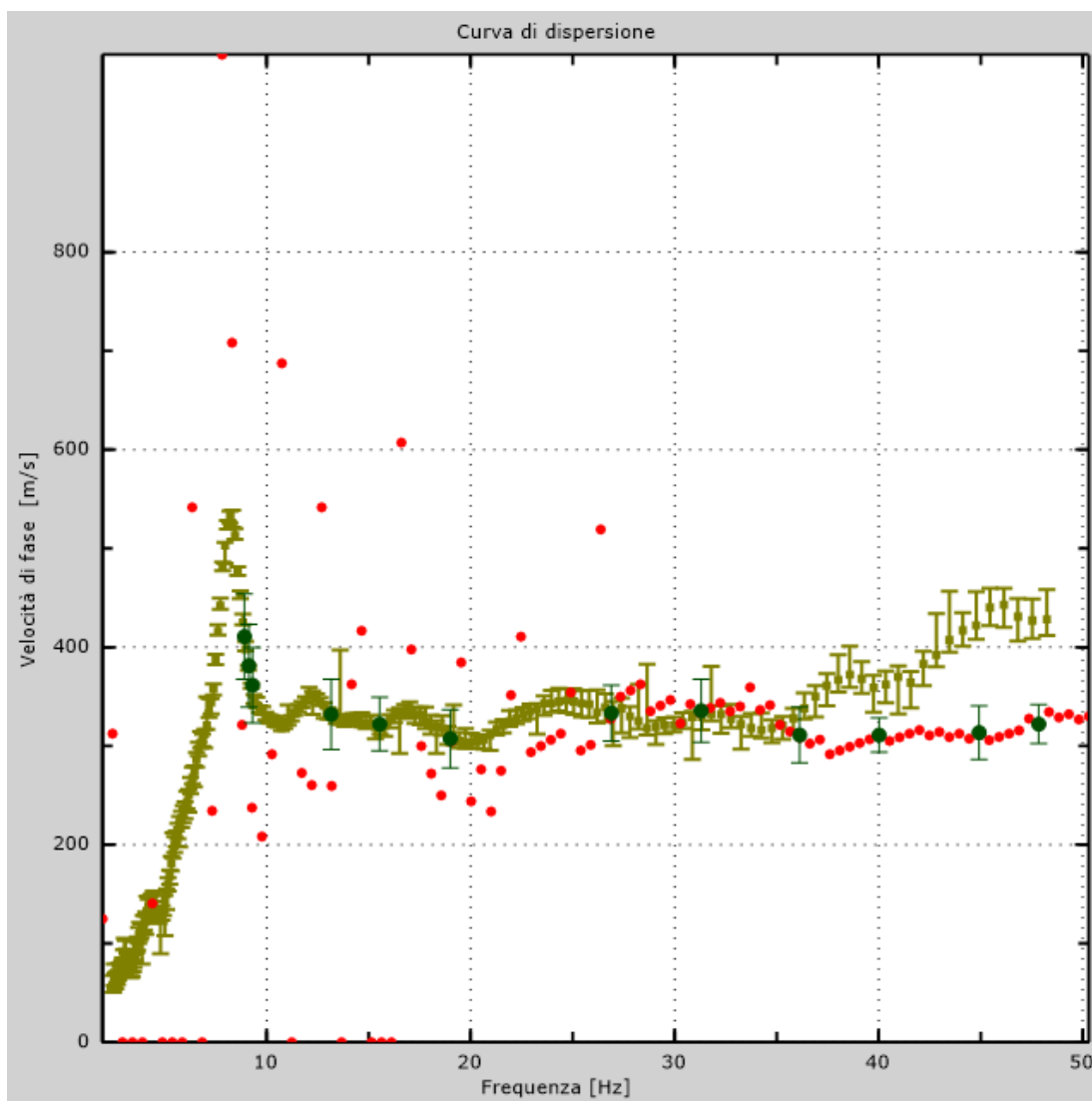


Figura 5: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	5
Spaziatura ricevitori	1m
Numero ricevitori	16
Numero modi	1

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	.3
Vs [m/s]	358
Vp [m/s]	670
Vs min [m/s]	179
Vs max [m/s]	716
Vs fin.[m/s]	358

Strato 2

h [m]	3
z [m]	-5
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	.3
Vs [m/s]	350
Vp [m/s]	655
Vs min [m/s]	173
Vs max [m/s]	525
Vs fin.[m/s]	350

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-8
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	.3
Vs [m/s]	350
Vp [m/s]	655
Vs min [m/s]	171
Vs max [m/s]	525
Vs fin.[m/s]	350

Strato 4

h [m]	8
z [m]	-16
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	.3
Vs [m/s]	320
Vp [m/s]	599
Vs min [m/s]	184
Vs max [m/s]	480
Vs fin.[m/s]	320

Strato 5

h [m]	0
z [m]	-∞
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2

V_s [m/s] 750
 V_p [m/s] 1225
 $V_{s \text{ min}}$ [m/s] 293
 $V_{s \text{ max}}$ [m/s] 1125
 $V_{s \text{ fin.}}$ [m/s] 750

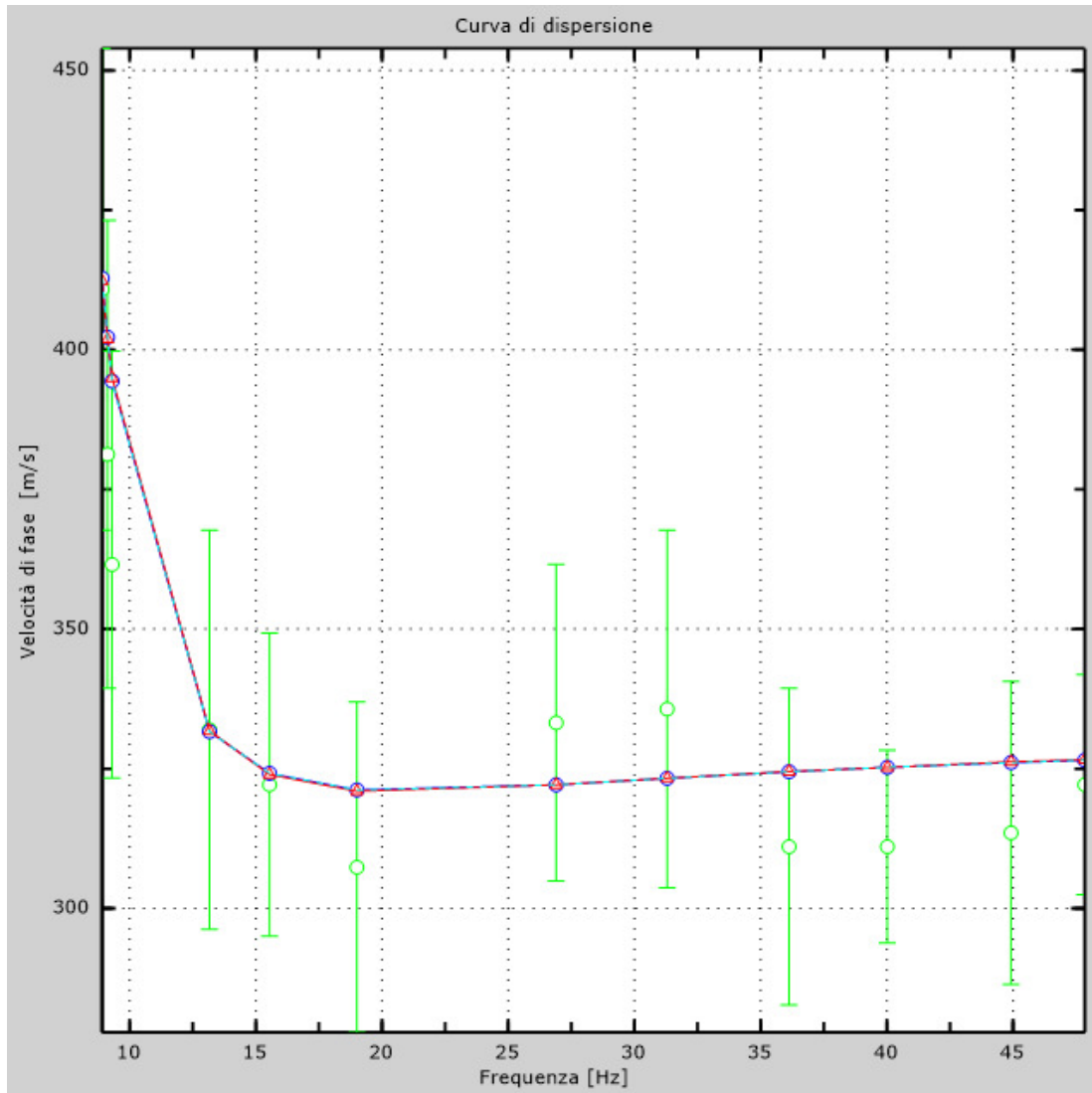


Figura 6: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

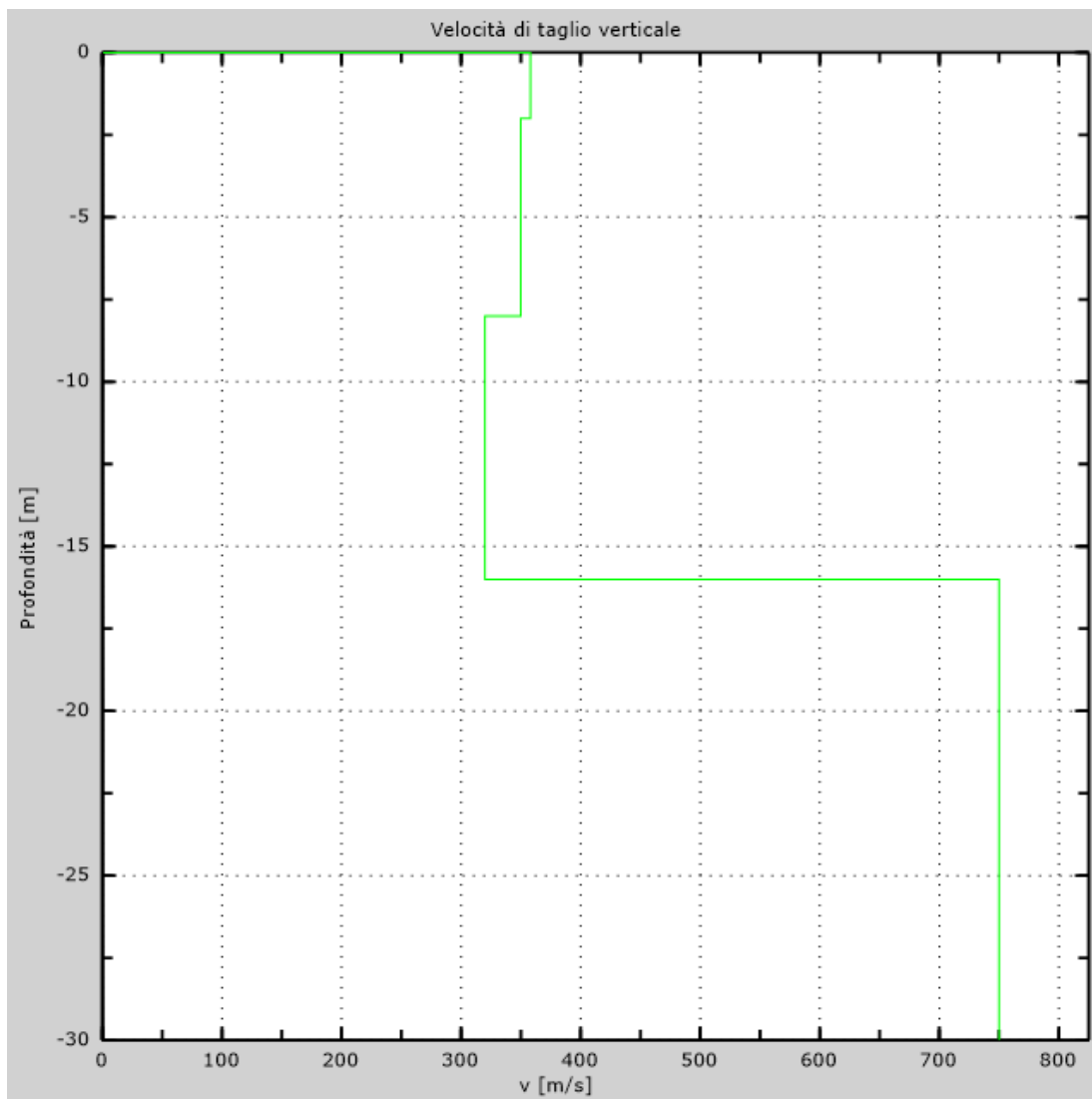


Figura 7: Profilo Vs numerico

6 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m] 0
 Vseq [m/s] (0-16 m) 335 m/s
 L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 4
Tipo di suolo **E**

GAETA VIA BACHELET, PARCHEGGIO 1

Instrument: TZ3-0025/01-14

Data format: 32 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 31/10/23 15:47:37 End recording: 31/10/23 16:07:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

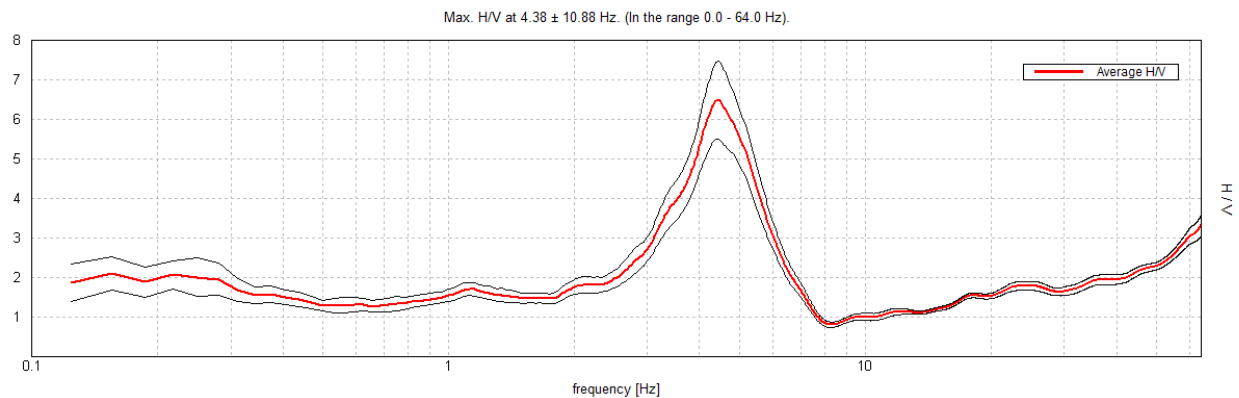
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

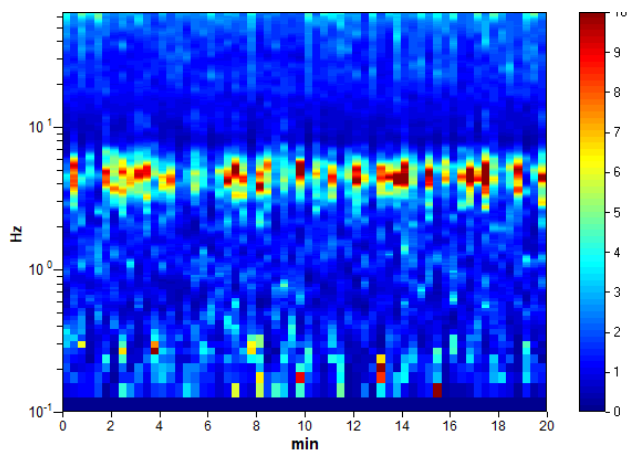
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

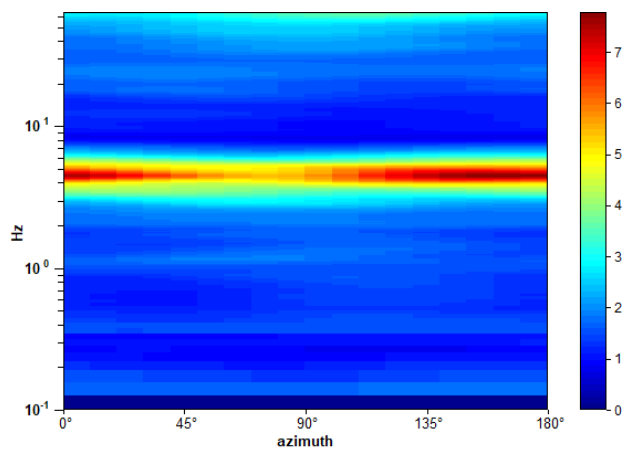
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



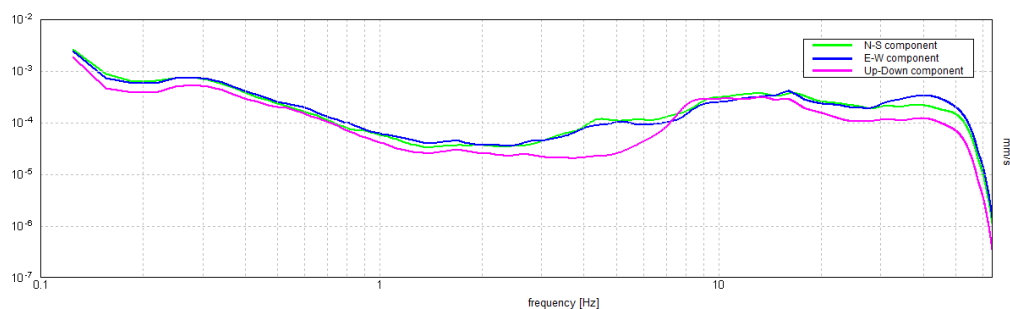
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 4.38 ± 10.88 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.38 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5250.0 > 200$	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 211 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$6.47 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 2.48706 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$10.8809 < 0.21875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.968 < 1.58$	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
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

GAETA VIA BACHELET, PARCHEGGIO 2

Instrument: TZ3-0025/01-14

Data format: 32 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 31/10/23 16:16:39 End recording: 31/10/23 16:36:39

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

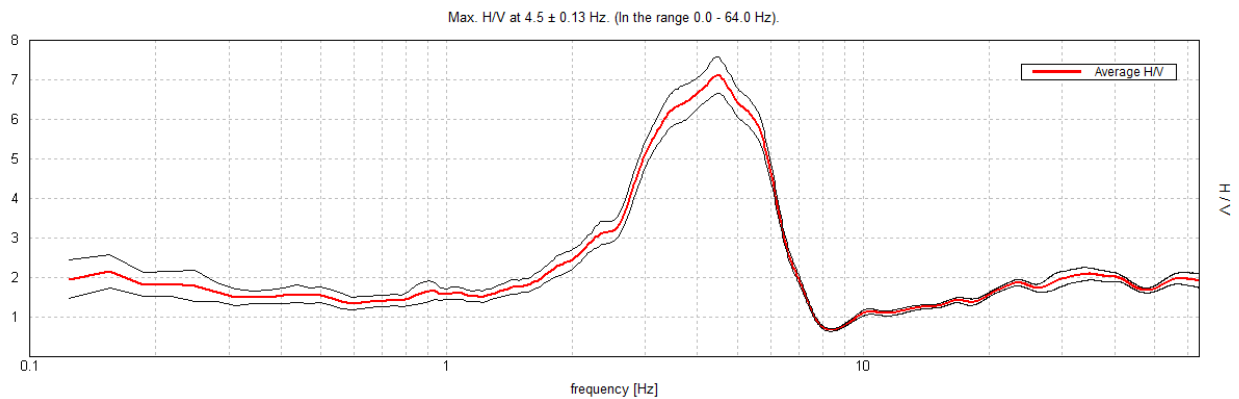
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

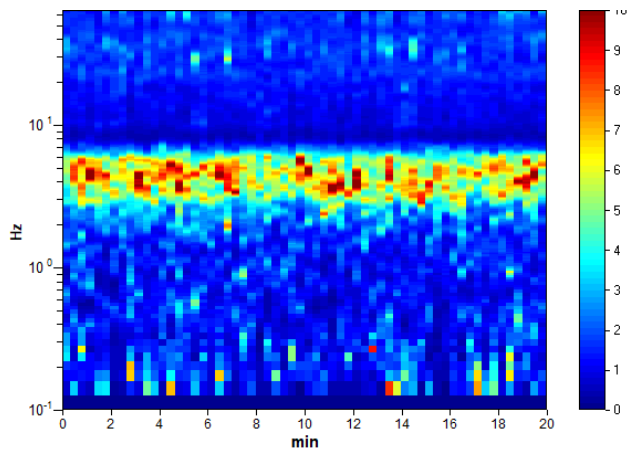
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

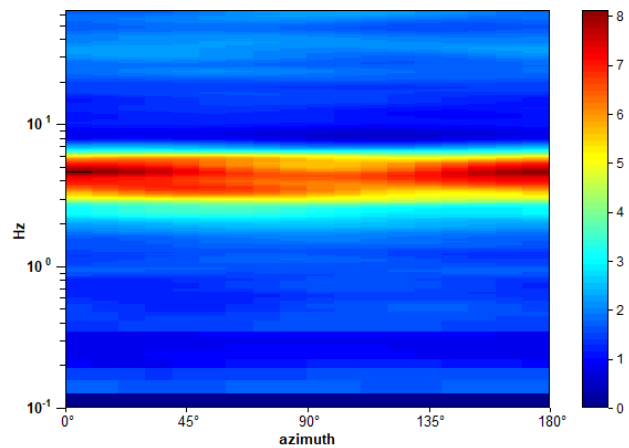
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



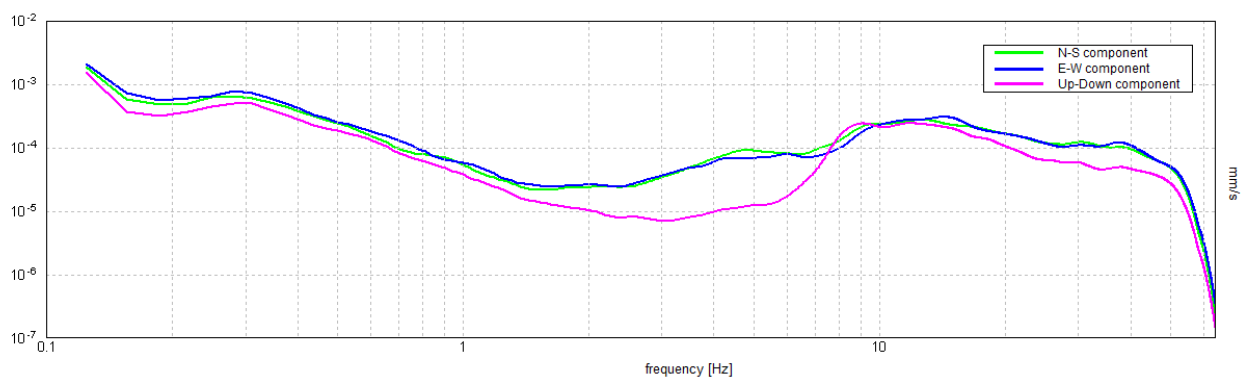
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 4.5 ± 0.13 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5400.0 > 200$	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 217 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.656 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$7.12 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02968 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.13356 < 0.225$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4561 < 1.58$	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
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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