

# dep studio

via XXIV maggio, 1/a 25030 paratico bs  
t 035 4262329 info@depstudio.eu  
www.depstudio.eu

arch. marco gottini  
via domenico suardi, 26 24060 casazza bg  
t 340 6416806

arch. paola belussi  
via XXIV maggio, 1/a 25030 paratico bs  
t 348 7363171

ing. lorenzo mussinelli  
via dei mille, 31 24067 sarnico bg  
t 346 8641424

ing. alessandro nani  
via marconi, 29/s 24021 albino bg  
t 328 4188334

arch. francesca parma  
via barcella, 16 25032 chiari bs  
t 333 6912650



progetto  
realizzazione di nuova mensa - plesso scolastico primaria sacro cuore  
CUP: J41B21014500006

CO-FINANZIATO CON PIANO NAZIONALE RIPRESA E RESILIENZA - PNRR M4 C1 I1.2  
Missione 4: istruzione e ricerca  
Componente 1 - potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università  
Investimento 1.2 - "piano di estensione del tempo pieno e mense"

committente  
comune di palazzolo sull'oglio, bs  
via XX settembre 32, 25036  
t 030 7405500 - CF 00400530176

indirizzo  
via omboni, palazzolo sull'oglio, bs

stato progetto  
definitivo

data  
novembre 2022

scala  
-

revisione  
0

## relazione geologica

D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 e NTC/2018 p.to 6.2.1

# 328 D rel geo

# Comune di Palazzolo sull'Oglio

Via XX Settembre, 32  
25036 Palazzolo s/O (BS)

---

Realizzazione nuova mensa plesso scolastico primaria sacro cuore  
via T. Omboni , 2 / via Lagorio - cap. 25036 Palazzolo s/O (BS)  
Foglio 18 Mappali 268 (cod. G264)

## RELAZIONE GEOLOGICA

D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 e NTC/2018 p.to 6.2.1



---

ecosphera s.r.l. - via Malogno, 2 - 25036 Palazzolo sull'Oglio (BS) - Tel. 030.7402007 – 030.7401749 - Fax 030.7402017 - [www.ecosphera.net](http://www.ecosphera.net) - [mail:info@ecosphera.net](mailto:info@ecosphera.net)



|                |                                                                                                                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Data emissione | 10/2022                                                                                                                                           |
| Commessa       | 22/2693                                                                                                                                           |
| File           | J:\Geotecnica\Prov_BS\PALAZZOLO SULL'OGGIO\2022\via attiraglio mensa scuola primaria sacro cuore dep studio ing mussinelli\RelGeo 2022_Mensa.docx |
| Referente      | Dott. Carraro Marco                                                                                                                               |

## INDICE

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PREMESSA.....</b>                                                     | <b>3</b>  |
| <b>2. GEOLOGIA .....</b>                                                    | <b>5</b>  |
| 2.1. GEOLOGIA E GEOLITOLOGIA .....                                          | 5         |
| 2.2. IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA .....                                        | 8         |
| 2.3. VINCOLI SINTESI E FATTIBILITA' GEOLOGICA .....                         | 11        |
| <b>3. PERICOLOSITA' SISMICA .....</b>                                       | <b>14</b> |
| 3.1. SISMOTETTONICA .....                                                   | 14        |
| 3.2. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....                                    | 15        |
| 3.3. APPROFONDIMENTO SISMICO DA PIANIFICAZIONE COMUNALE .....               | 16        |
| 3.4. INDAGINE SISMICA ASILO NIDO, 2021.....                                 | 18        |
| 3.4.1. MASW .....                                                           | 19        |
| 3.4.2. MASW - METODOLOGIA HOLISURFACE .....                                 | 19        |
| 3.4.3. HVSr .....                                                           | 20        |
| 3.4.4. Elaborazione indagine sismica.....                                   | 22        |
| 3.5. APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO RELATIVO AL SITO IN STUDIO – APP 5 ..... | 24        |
| 3.6. CATEGORIA SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE E TOPOGRAFICA.....                  | 26        |
| 3.7. PARAMETRI SISMICI DI SITO .....                                        | 28        |
| <b>4. MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO .....</b>                                | <b>29</b> |
| 4.1. INDAGINI SITO-SPECIFICHE APP-4.....                                    | 29        |
| 4.1.1. Trincee esplorative copertura anfiteatro scuola materna, 2006 .....  | 30        |
| 4.1.2. Trincea esplorativa ampliamento scuola materna, 2003 .....           | 30        |
| 4.1.3. Trincee esplorative in via Adamello 9, 2014 .....                    | 30        |
| 4.2. MODELLO GEOTECNICO E VALORI DI PROGETTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI ..... | 31        |
| 4.3. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE.....     | 32        |

ALLEGATO 01 – N. 3 DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE

ALLEGATO 02 – REPORT MASW E MODELLO GEOFISICO

## 1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Palazzolo Sull'Oglio è stata redatta la presente Relazione Geologica ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (N.T.C. p.to 6.2.1) a supporto del progetto di di una nuova mensa plesso scolastico primaria sacro cuore via T. Omboni 2, con nuovo ingresso da via Lagorio - cap. 25036 Palazzolo s/O (BS), nel terreno distinto catastalmente al Foglio 18 Mappali 268 (cod. G264).

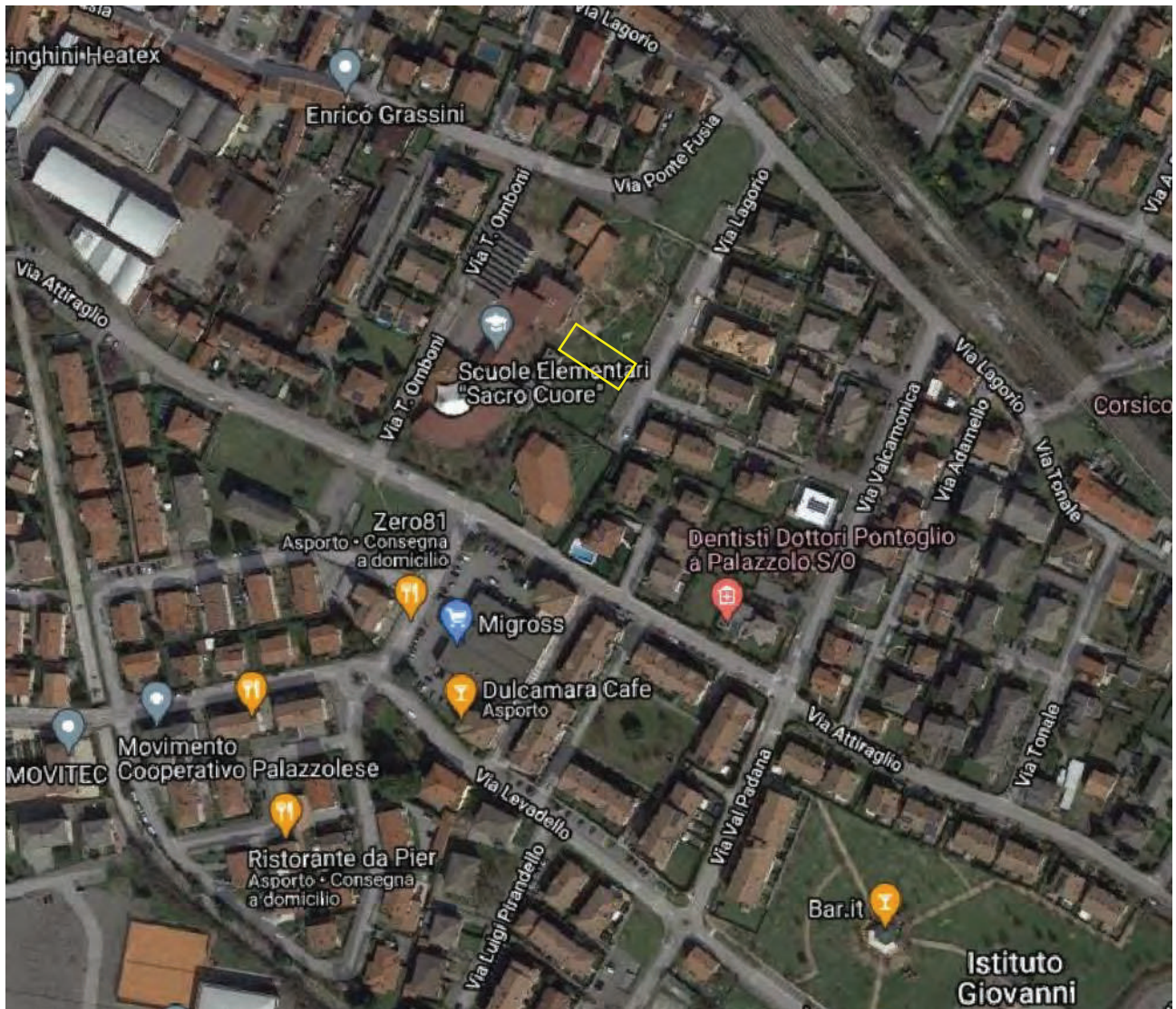


Figura 1: Ubicazione del sito su foto aerea.

Il presente studio è stato condotto ai sensi del cap. 6 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/18) dove si legge che la caratterizzazione e modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio (par. 6.2.1 NTC 2018) e ai sensi della DGR IX/2616 del 30 novembre 2011.

Per la ricostruzione dell'assetto geologico geotecnico ci si avvale di un'indagine geotecnica/sismica (n. 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH e uno stendimento MASW) eseguita per asilo nido limitrofo al sito in oggetto. Dal punto di vista geognostico è stata fatta un'indagine limitrofa al sito per l'ampliamento della scuola materna nel 2003 ed un'indagine eseguita nel 2006 per la copertura dell'anfiteatro della scuola materna stessa.

Trattandosi di indagini di tipo puntuale si premette che il sottoscritto resta disponibile per la verifica all'atto dell'esecuzione degli scavi (con la D. L. e l'impresa esecutrice dei lavori) che le condizioni del sottosuolo descritte nella presente indagine siano proprie anche dell'area interessata dai nuovi interventi. Eventuali difformità da quanto riportato nella presente indagine che venissero rilevate in fase di esecuzione lavori, andranno comunicate immediatamente allo scrivente.



Figura 2: Ubicazione del sito su base catastale

## 2. GEOLOGIA

### 2.1. GEOLOGIA E GEOLITOLOGIA

Il territorio in questione risulta costituito da successioni fluvioglaciali wurmiane attraversate nella parte centrale da un sistema di ripiani degradanti verso l'attuale corso del fiume, denominati convenzionalmente alluvionale antico, recente ed attuale, la cui conformazione è legata ai fenomeni erosivo/de posizionali del fiume Oglio. L'origine dei materiali alluvionali risulta per lo più di provenienza camuna, e subordinatamente dagli apporti laterali dalle valli dell'Uria e del T.Guerna. Dal punto di vista geologico l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi ascrivibili al Complesso di Palazzolo (tardo Pleistocene superiore). L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a matrice sabbiosa con ciottoli arrotondati e subarrotondati a diametro massimo osservato pari a 40 cm. Nell'ambito del Complesso di Palazzolo sono state identificate , su base morfologica, tre differenti unità, coincidenti con distinti terrazzi fluvioglaciali. I terrazzi sono separati da scarpate di altezza metrica, la cui evidenza tende a diminuire verso sud. L'area in esame appartiene al terrazzo intermedio (Pa2 nell'estratto Carta geologica PGT).

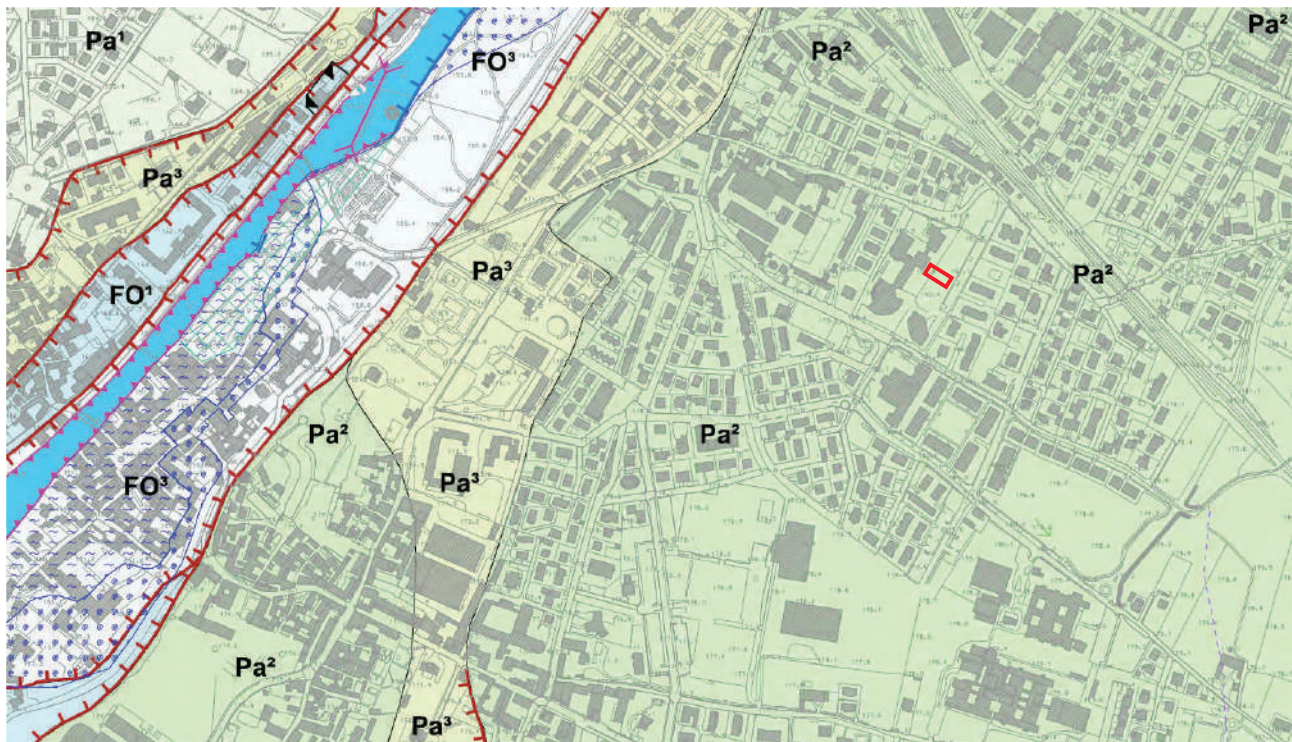
Tali depositi sono così descritti nella relazione geologica comunale:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>COMPLESSO DI PALAZZOLO (TARDO PLEISTOCENE SUPERIORE)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a matrice sabbiosa con ciottoli arrotondati e subarrotondati a diametro massimo osservato pari a 40 cm; presentano una grossolana stratificazione suborizzontale con strati e lenti sabbiosi; limi sommitali di esondazione.</b>                                                                                                                                                      |
| Affiorano estesamente sul territorio comunale, su entrambe le sponde del F. Oglio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Il complesso appoggia sull'unità di Telgate e su quella di S. Pancrazio, mentre è inciso e parzialmente ricoperta dai depositi dell'Unità dell'Oglio.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Nell'ambito del Complesso di Palazzolo sono state identificate, su base morfologica, tre differenti unità, coincidenti con distinti terrazzi fluvioglaciali. I terrazzi sono separati da scarpate di altezza metrica, la cui evidenza tende a diminuire verso sud.                                                                                                                                                                    |
| Il <u>terrazzo superiore</u> affiora estesamente su entrambe le sponde ed appare morfologicamente omogeneo; in sponda sinistra la scarpata che lo separa dal terrazzo dell'Unità di S. Pancrazio si annulla poco a Sud di San Pancrazio, determinando un unico livello topografico.                                                                                                                                                   |
| Più articolati dal punto di vista morfologico appaiono invece i terrazzi intermedio e inferiore, smembrati dall'erosione in una serie di depressioni e rilievi.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Il <u>terrazzo intermedio</u> presenta una morfologia ondulata e risulta inciso da un grosso paleoalveo che attraversa il livello fondamentale della pianura da nord a sud, conflueno nella Valle dell'Oglio alla latitudine di Pontoglio (presso Cascina porta Verde). La superficie morfologica del terrazzo intermedio risulta inoltre interrotta da due dossi, interpretati come lembi relitti della più antica Unità di Telgate. |
| Il <u>terrazzo inferiore</u> presenta caratteri analoghi, per l'esistenza di un dosso, isolato dall'erosione, correlabile altimetricamente con la superficie modale del terrazzo intermedio e per la presenza di numerosi paleoalvei, spesso non cartografabili, concentrati nella sua porzione orientale.                                                                                                                            |
| I suoli sviluppati alla sommità dei terrazzi presentano caratteri omogenei, indicando il succedersi in tempi geologicamente brevi di fasi erosionali e deposizionali.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Sulla base dei caratteri pedologici il complesso viene attribuito al tardo Pleistocene superiore.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

L'unità è caratterizzata generalmente da un elevato grado di cementazione. Il terrazzo intermedio presenta una morfologia ondulata e risulta inciso da un grosso paleo alveo che attraversa il livello fondamentale della pianura da nord a sud, conflueno nella Valle dell'Oglio presso C.na Porta Verde (Pontoglio).

Dal punto di vista morfologico il sito si colloca alla quota media di 180,50 m slm, in ambito pianeggiante.

I dati disponibili ed i rilievi eseguiti in sede di sopralluogo non evidenziano la presenza di fenomeni morfogenetici attivi gravanti sul sito.



## Legenda

### UNITÀ GEOLOGICHE

- |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Te</b>             | <b>Unità di Telgate</b> (Pleistocene medio)<br>Depositi fluvio-glaciali costituiti da ghiale con scarsa matrice da limosa a limoso-argillosa e con ciottoli da arrotondati a subspigolosi a diametro medio centimetrico, ricoperti da depositi eolici limosi e limoso-sabbiosi a scheletro assente o raro.                                                                                                                                                                               |
| <b>SP</b>             | <b>Unità di San Pancrazio</b> (Pleistocene superiore)<br>Depositi fluvio-glaciali costituiti da ghiale a matrice sabbiosa con ciottoli arrotondati e subarrotondati a diametro massimo osservato pari a 50 cm; presentano una grossolana stratificazione suborizzontale con strati e lenti sabbiosi.                                                                                                                                                                                     |
| <b>Pa<sup>1</sup></b> | <b>Complesso di Palazzolo</b> (tardo Pleistocene superiore)<br>Depositi fluvio-glaciali costituiti da ghiale a matrice sabbiosa con ciottoli arrotondati e subarrotondati a diametro massimo osservato pari a 40 cm; presentano una grossolana stratificazione suborizzontale con strati e lenti sabbiosi; limi sommitali di esondazione.<br><br><b>Pa<sup>1</sup></b> - Terrazzo superiore<br><b>Pa<sup>2</sup></b> - Terrazzo intermedio<br><b>Pa<sup>3</sup></b> - Terrazzo inferiore |
| <b>Pa<sup>2</sup></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Pa<sup>3</sup></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>FO<sup>1</sup></b> | <b>Unità del Fiume Oglio</b> (Tardiglaciale-Olocene recente)<br>Depositi fluviali costituiti da ghiale a matrice sabbiosa; presentano una stratificazione suborizzontale e incrociata con sabbie e limi da massivi a laminati.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>FO<sup>2</sup></b> | <b>FO<sup>1</sup></b> - Alluvioni fluviali antiche<br><b>FO<sup>2</sup></b> - Alluvioni fluviali medio-recenti<br><b>FO<sup>3</sup></b> - Alluvioni fluviali recenti e attuali                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>FO<sup>3</sup></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### ELEMENTI GEOMORFOLOGICI, IDROLOGICI E IDROGRAFICI

- |  |                                                                                                                                |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | a) Orlo di terrazzo fluviale o fluvio-glaciale (altezze generalmente maggiori di 5 m); a) certo<br>b) Incerto                  |
|  | Tetto di scarpata subverticale impostata in depositi conglomeratici più o meno cementati localmente soggetta a piccoli crolli. |
|  | Orlo di scarpata morfologica.                                                                                                  |
|  | Orlo di scarpata fluviale attiva.                                                                                              |
|  | Pendenza della superficie topografica.                                                                                         |
|  | Alveo fluviale abbandonato soggetto a riempimenti e urbanizzazioni.                                                            |
|  | Paleovalveo.                                                                                                                   |
|  | Traccia di corso d'acqua estinto.                                                                                              |

-  Area storicamente soggetta ad esondazione da parte del F. Oglio.
-  Area esondabile da parte del F. Oglio con evento di piena Tr 50 anni (vedi valutazione del rischio Idraulico - Allegato 1).
-  Area esondabile da parte del F. Oglio con evento di piena Tr 200 anni (vedi valutazione del rischio Idraulico - Allegato 1).
-  Area esondabile da parte del Rio Mola.

#### ELEMENTI DI ORIGINE ANTROPICA

-  Orlo di scarpata antropica.
-  Opera di regolazione trasversale.
-  Opera di sponda in calcestruzzo.
-  Cava abbandonata.
-  Cava abbandonata colmata con materiali di origine incerta.
-  Limite ATE.

Figura 3: Estratto Tav 1 Nord- Carta geologica e geomorfologica dello studio geologico comunale (Studio geologia ambiente)

## 2.2. IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA

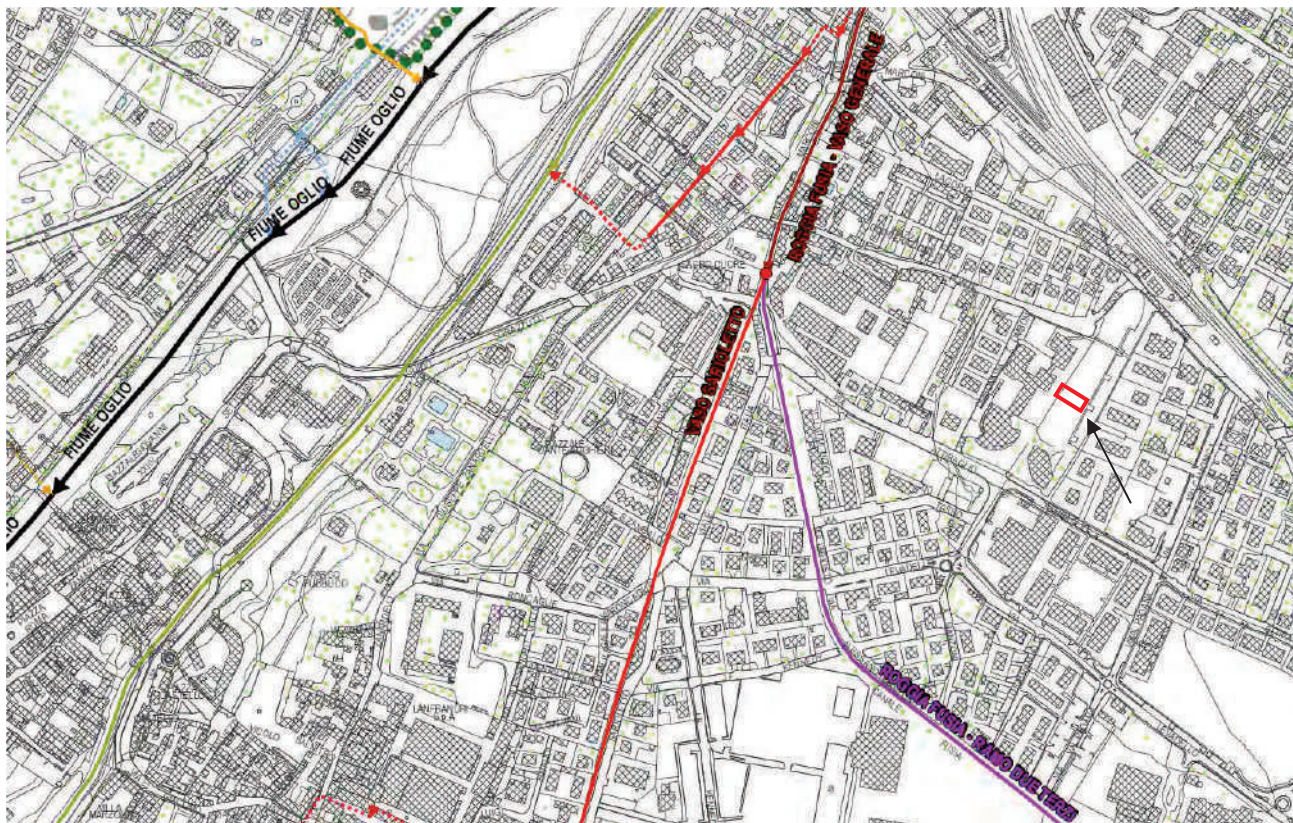
Dal punto di viste idrogeologico si rileva la presenza di una ricca falda idrica alimentata dalle perdite fluviali dell'Oglio, con livello idrico che oscilla fra 135-140 mslm. L'andamento delle isopieze è fortemente condizionato dalle alimentazioni del fiume (v. asse di alimentazione in figura 3) ed ha una direzione di flusso NW → SE con gradiente compreso fra i 3-4 per mille.

La falda principale si colloca a circa 40-45 m dal pc (quota sito 180,5 mslm; quota falda 135-140 m slm).



Figura 4: Carta idrogeologica.

Dall'osservazione della cartografia di individuazione del reticolo idrografico minore comunale non si osservano interferenze tra il sito in studio e i corsi d'acqua superficiali. Il sito si trova al di sopra di tutte le rogge derivate dal fiume oglio e dal lago (roggia fusia).



#### Manufatti principali della rete idrografica

- Derivazioni da fiume
- Manufatti di partizione principali della rete
- ▲ Pozzi principali ad uso irriguo

#### Individuazione cartografica dei corsi d'acqua

- Aste idriche esistenti in fatto, riportate su NCTR, aerofotogrammetrico, a tratto continuo sul Cessato Catasto
- - - Aste idriche esistenti in fatto, riportate su NCTR, aerofotogrammetrico, a tratto discontinuo sul Cessato Catasto
- Aste idriche esistenti in fatto, riportate su NCTR, aerofotogrammetrico, assenti sul Cessato Catasto
- Aste idriche esistenti in fatto, riportate su NCTR, non sull'aerofotogrammetrico, a tratto continuo sul Cessato Catasto
- - - Aste idriche esistenti in fatto, riportate su NCTR, non sull'aerofotogrammetrico, a tratto discontinuo sul Cessato Catasto
- Aste idriche esistenti in fatto, riportate su NCTR, non sull'aerofotogrammetrico, assenti sul Cessato Catasto
- Aste idriche esistenti in fatto, riportate sull'aerofotogrammetrico, non su NCTR, a tratto continuo sul Cessato Catasto
- - - Aste idriche esistenti in fatto, riportate sull'aerofotogrammetrico, non su NCTR, a tratto discontinuo sul Cessato Catasto
- Aste idriche esistenti in fatto, riportate sull'aerofotogrammetrico, non su NCTR, assenti sul Cessato Catasto
- Aste idriche esistenti in fatto, non riportate sull'aerofotogrammetrico e su NCTR, a tratto continuo sul Cessato Catasto
- - - Aste idriche esistenti in fatto, non riportate sull'aerofotogrammetrico e su NCTR, a tratto discontinuo sul Cessato Catasto
- Aste idriche esistenti in fatto, non riportate sull'aerofotogrammetrico e su NCTR, assenti sul Cessato Catasto
- Aste idriche riportate su una o più fonti cartografiche ufficiali ma non esistenti in fatto

Figura 5: Estratto Carta Individuazione delle aste idriche presenti sul territorio comunale – Studio per l'individuazione del reticolo idrografico minore

Di seguito si riportano gli estratti della cartografia "PAI-Dissesti" e del "Piano di Gestione Rischio Alluvione (PGRA)", dall'analisi dei quali non si registrano elementi di criticità gravanti sul sito.

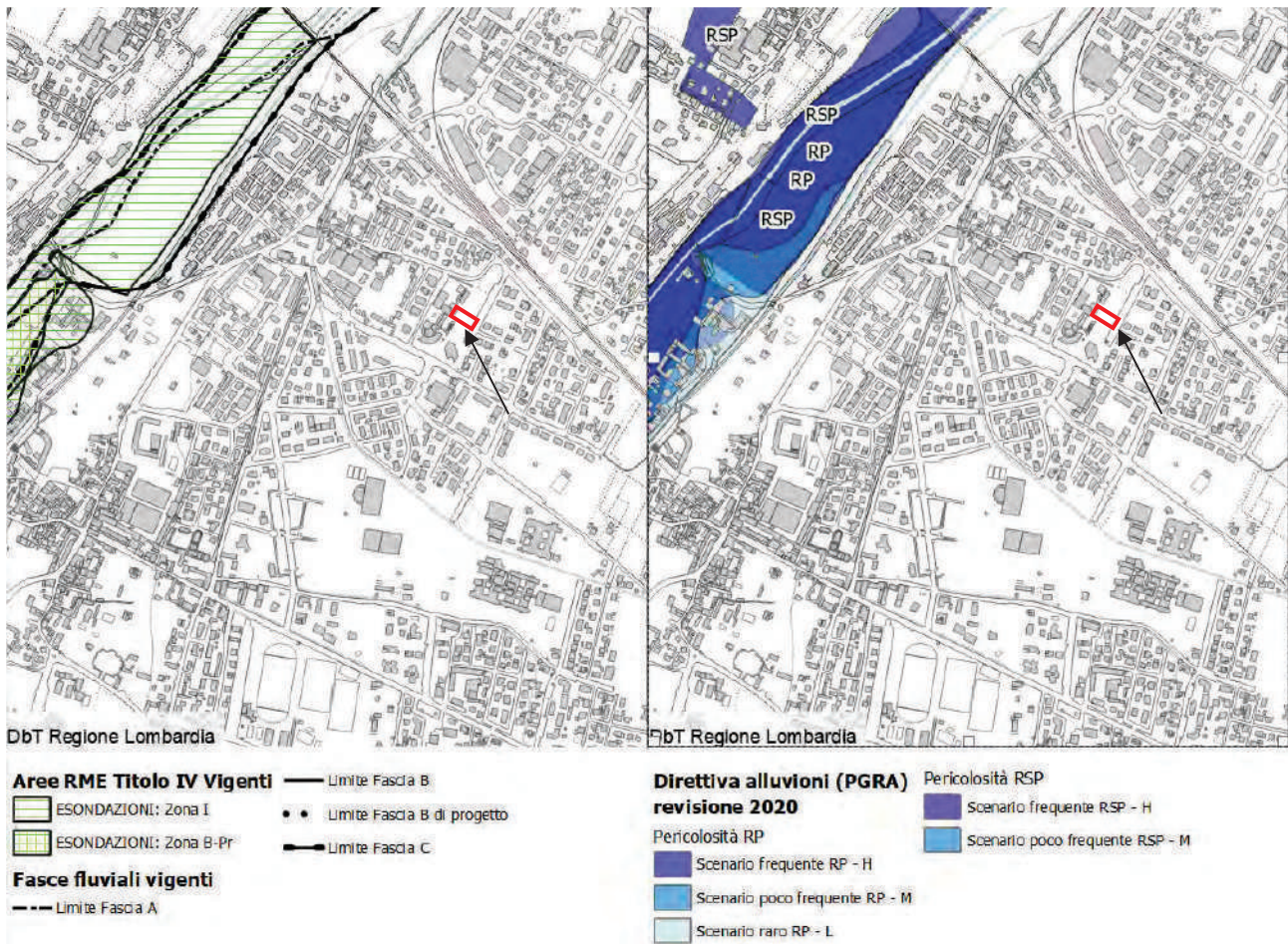


Figura 6: Tematismo PAI su DbT – Fonte dati Geoportale Regione Lombardia

Figura 7: Tematismo PGRA-Pericolosità su DbT – Fonte dati Geoportale Regione Lombardia

Dal punto di vista idrogeologico la falda superficiale mostra un andamento NW→SE con livello piezometrico compreso tra 130-135 m s.l.m., indicativamente a 40-45 m di soggiacenza dal piano campagna.

Il sito risulta interessato da un grado mediamente alto di vulnerabilità delle acque sotterranee.

### 2.3. VINCOLI SINTESI E FATTIBILITA' GEOLOGICA

Nel presente paragrafo si procede all'analisi degli elementi di sintesi, dei vincoli di natura geologica ed idrogeologica e della fattibilità dell'area, definiti nello studio geologico comunale redatto a supporto del P.G.T. Di seguito si riportano estratti dalle cartografie dello studio geologico comunale.

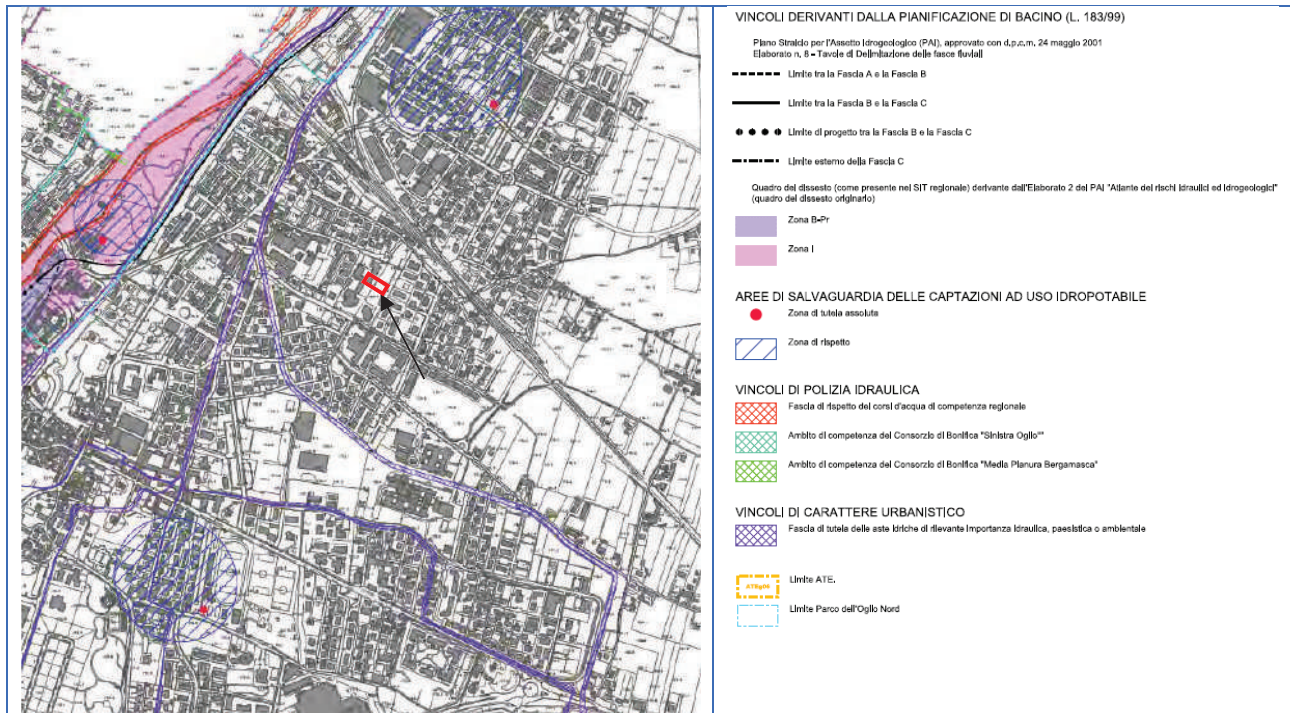


Figura 8: Estratto Carta dei vincoli - Studio geologico comunale

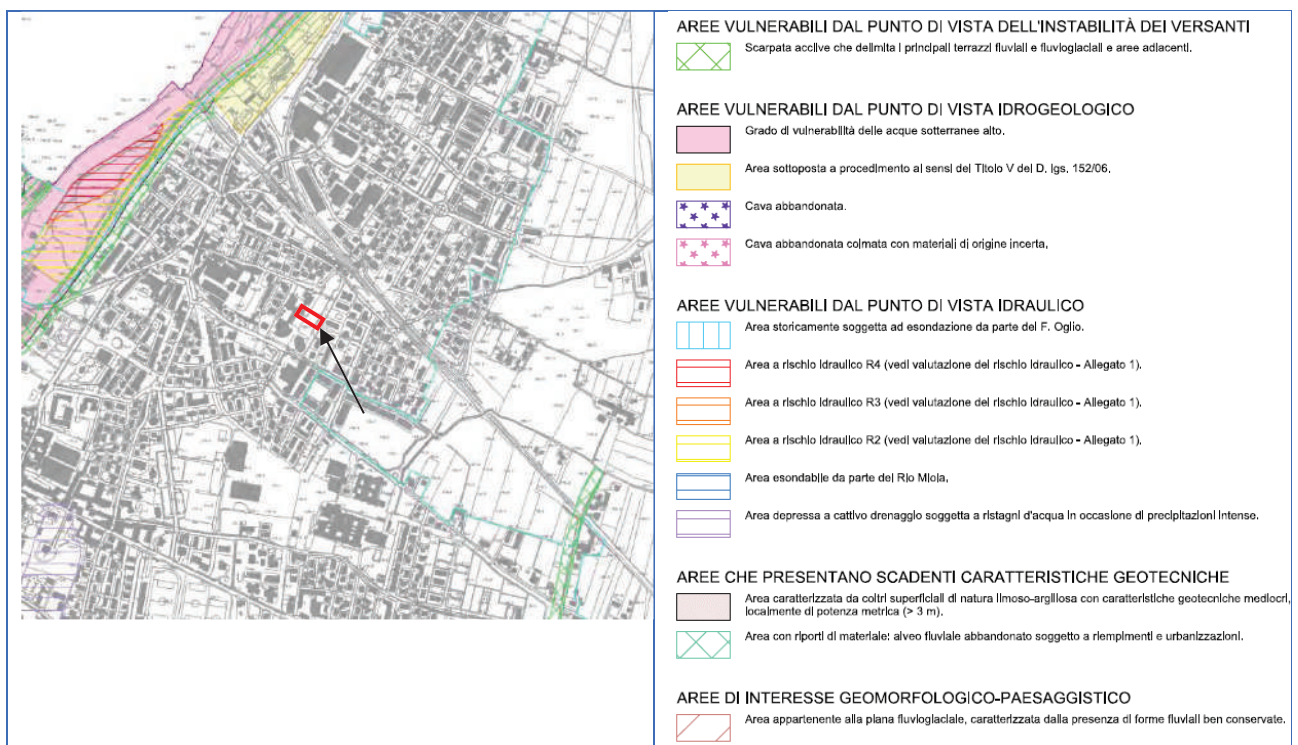


Figura 9: Estratto Carta di sintesi - Studio geologico comunale

Per quanto riguarda la fattibilità geologica il sito ricade in classe 2 (fattibilità con modeste limitazioni d'uso).



#### CLASSE 4 - Fattibilità con gravi limitazioni

- 4a** 4a - Fascia di deflusso della piena del F. Oglio (Fascia A e Fascia B del PAI).
- 4b** 4b - Fascia di esondazione del F. Oglio (Fascia B del PAI).
- 4c<sup>1</sup>** 4c - Zona I (area a rischio idrogeologico molto elevato, potenzialmente interessata da inondazioni per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o uguale a 50 anni);
- 4c<sup>2</sup>** 4c<sup>1</sup> - Zona I esterna al centro edificato.
- 4c<sup>2</sup> - Zona I interna al centro edificato, valutata a rischio idraulico elevato.

#### CLASSE 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

- 3a** 3a - Zona B-Pr (area a rischio idrogeologico molto elevato in corrispondenza della Fascia B di progetto, potenzialmente interessata da inondazioni per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o uguale a 50 anni) esterna al centro edificato.
- 3b<sup>1</sup>** 3b - Zona I e Zona B-Pr interna al centro edificato;
- 3b<sup>2</sup>** 3b<sup>1</sup> - Area a rischio elevato (R3);
- 3b<sup>2</sup> - Area a rischio medio (R2).
- 3c** 3c - Area di inondazione per piena catastrofica del F. Oglio (Fascia C del PAI).
- 3d** 3d - Area esondabile da parte del Rio Miola.
- 3e** 3e - Scarpata acclive che delimita i principali terrazzi fluviali e fluvio-glaciali e aree adiacenti.
- 3f** 3f - Grado di vulnerabilità delle acque sotterranee alto.
- 3g** 3g - Area depressa, corrispondente a paleovalle, a cattivo drenaggio soggetta a ristagni d'acqua in occasione di precipitazioni intense.
- 3h** 3h - Area caratterizzata da coltri superficiali di natura limoso-argillosa con caratteristiche geotecniche medio-basse, localmente di potenza metrica.
- 3i** 3i - Area sottoposta a procedimento ai sensi del Titolo V del D. lgs. 152/06.
- 3l** 3l - Cava abbandonata, cava abbandonate colmate con materiali di origine incerta, depositi e/o riempimenti con materiali di origine incerta.

#### CLASSE 2 - Fattibilità con modeste limitazioni

- 2** 2 - Area pianeggiante nella quale le caratteristiche geotecniche dei terreni sono buone e la falda idrica non interferisce con il suolo ed il primo sottosuolo; il grado di vulnerabilità delle acque sotterranee è da mediamente alto a mediamente basso.

Figura 10: Estratto Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano - Studio geologico comunale

Di seguito si riepiloga la situazione per il sito di progetto.

| Carta                        | Oggetto                                                                                                                                                                                                                                                                                                | SI | NO | Note |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|------|
| <b>Vincoli</b>               | Polizia idraulica reticolo idrico                                                                                                                                                                                                                                                                      |    | x  |      |
|                              | Salvaguardia captazioni ad uso acquedottistico                                                                                                                                                                                                                                                         |    | x  |      |
|                              | Piano Gestione Rischio Alluvioni - PGRA                                                                                                                                                                                                                                                                |    | x  |      |
|                              | Pianificazione di Bacino - PAI                                                                                                                                                                                                                                                                         |    | x  |      |
| <b>Sintesi</b>               | Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti                                                                                                                                                                                                                                       |    | x  |      |
|                              | Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico                                                                                                                                                                                                                                                      | X  |    |      |
|                              | Aree che presentano caratteristiche geotecniche scadenti                                                                                                                                                                                                                                               |    | x  |      |
|                              | Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico                                                                                                                                                                                                                                                          |    | x  |      |
| <b>Fattibilità geologica</b> | Fattibilità con modeste limitazioni (classe 2): area pianeggiante nella quale le caratteristiche geotecniche dei terreni sono buone e la falda idrica non interferisce con il suolo ed il primo sottosuolo; il grado di vulnerabilità delle acque sotterranee è da mediamente alto a mediamente basso. |    |    |      |

**Tabella 1: Tabella riassuntiva di vincoli, sintesi e fattibilità geologica da dati dello Studio geologico comunale**

Si riportano dallo studio geologico comunale le prescrizioni per la classe di fattibilità individuata:

Gli interventi eventualmente previsti sono subordinati ad un'indagine geologica e/o geotecnica che valuti la compatibilità dell'intervento stesso con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito, verificando che non vengano alterati gli elementi geomorfologici che strutturano il paesaggio.

3. PERICOLOSITA' SISMICA

3.1. SISMOTETTONICA

Nel presente paragrafo si evidenzia quanto riportato dal DISS (database of Individual Seismogenetic Sources) elaborato dall'Istituto Nazionale Geofisica che fornisce informazioni sulla faglie attive in Italia. Il database evidenzia che il sito in esame si colloca sulla sorgente sismo genetica ITCS010: Western S-Alps Internal Thrust.

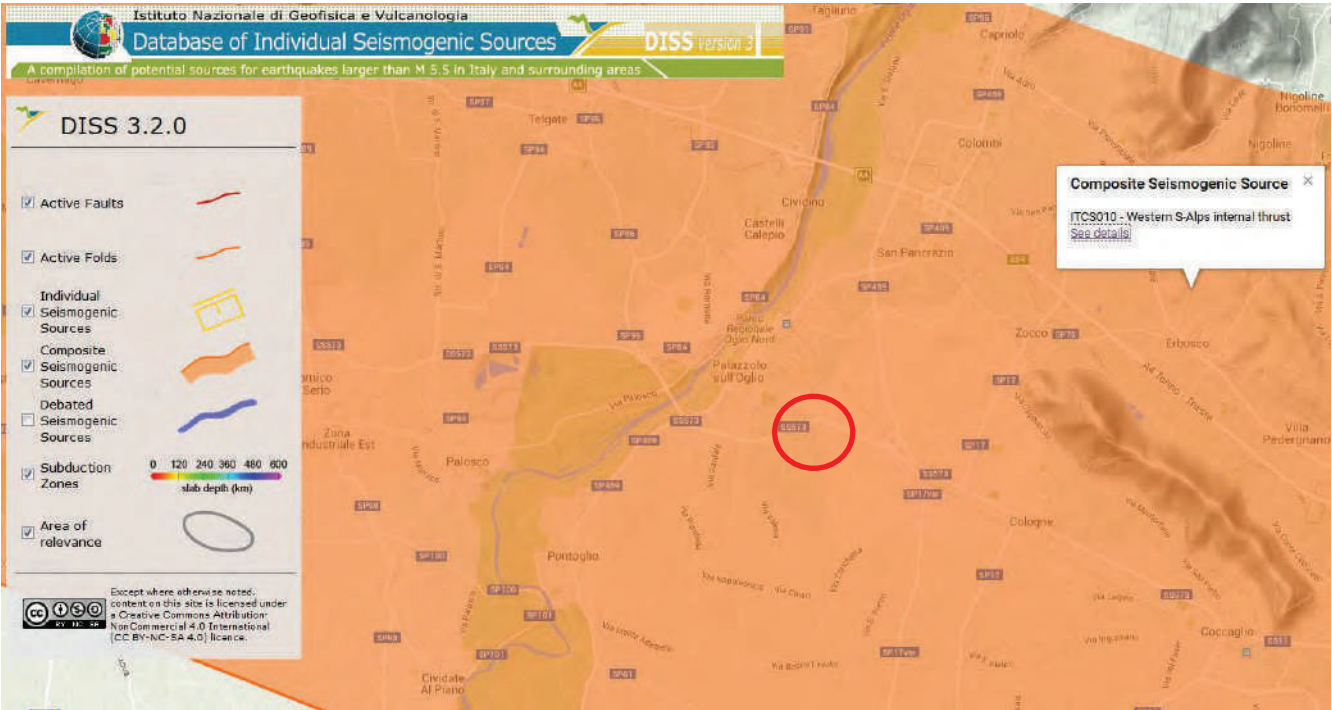


Figura 11: Estratto DISS – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Nella figura seguente si riportano in dettaglio le caratteristiche delle zone sismo genetiche precedentemente citate tratta dal DISS.

GENERAL INFORMATION

|                 |                                                                                                                                                                         |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DISS-ID         | ITCS010                                                                                                                                                                 |
| Name            | Western S-Alps internal thrust                                                                                                                                          |
| Compiler(s)     | Burrato P.(1)                                                                                                                                                           |
| Contributor(s)  | Burrato P.(1)                                                                                                                                                           |
| Affiliation(s)  | 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy                                                |
| Created         | 19-Apr-2010                                                                                                                                                             |
| Updated         | 28-May-2015                                                                                                                                                             |
| Display map ... |   |
| Related sources |                                                                                                                                                                         |

PARAMETRIC INFORMATION

| PARAMETER                   |           | QUALITY | EVIDENCE                                             |
|-----------------------------|-----------|---------|------------------------------------------------------|
| Min depth [km]              | 5.0       | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Max depth [km]              | 12.0      | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Strike [deg] min... max     | 265...295 | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Dip [deg] min... max        | 25...35   | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Rake [deg] min... max       | 80...100  | EJ      | Inferred from geological data.                       |
| Slip Rate [mm/y] min... max | 0.1...0.5 | EJ      | Unknown, values assumed from geodynamic constraints. |
| Max Magnitude [Mw]          | 5.5       | EJ      | Assigned on the basis of conservative criteria.      |

Figura 12: Estratto DISS – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

### 3.2. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

In base alla classificazione sismica nazionale associata all'Ordinanza del PCM n. 3519/2006 ed al DM 14/01/2008, il comune in esame è stato classificato in Zona 3 (con sismicità crescente da zona 4 a zona 1). Tale classificazione è stata rivista con la DGR n. X/2129 del 14 Luglio 2014 che ha confermato la zona sismica 3 per il comune in esame.

Nella tabella seguente si riportano i valori di accelerazione ( $a_g$  max) previsti dalla DGR X/2129/2014 per il comune in esame.

| ISTAT    | Provincia | Comune               | Zona Sismica | AgMax    |
|----------|-----------|----------------------|--------------|----------|
| 03017133 | BS        | PALAZZOLO SULL'OGGIO | 3            | 0,136522 |

Figura 13: Estratto DGR . X/2129/2014

Con l'entrata in vigore del DM 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018) è stata superata, per la definizione dell'azione sismica di progetto, la zonatura presentata nell'OPCM 3274 e tramite l'allegato B al DM vengono fornite tabelle con i parametri che definiscono l'azione sismica relativamente ad un reticolo di riferimento da cui è possibile derivare i valori per ogni punto indagato.

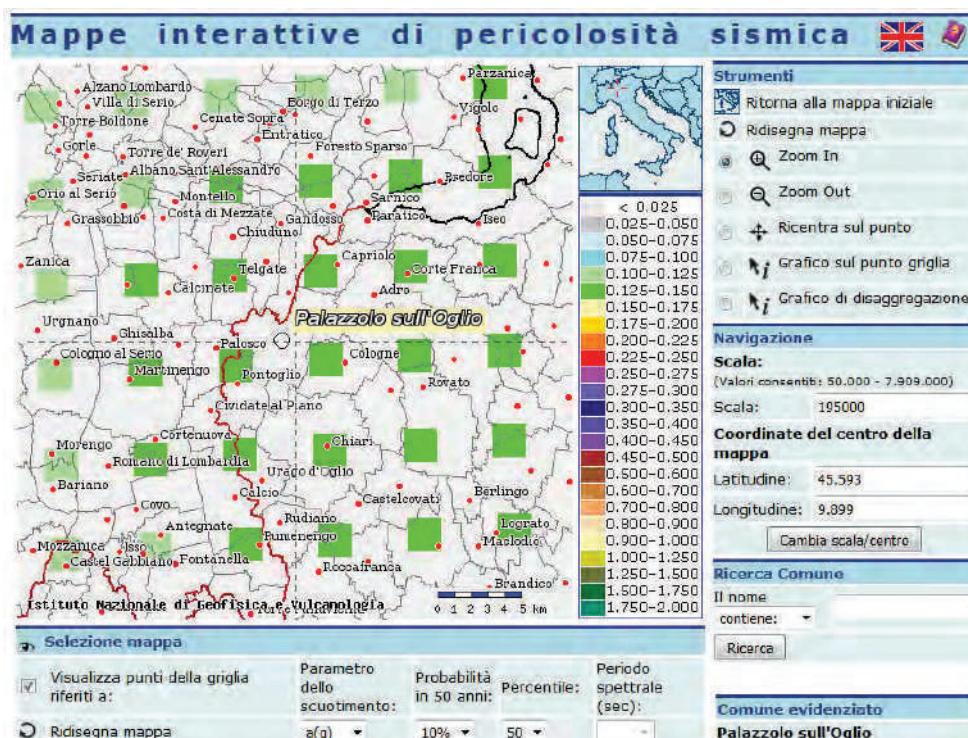
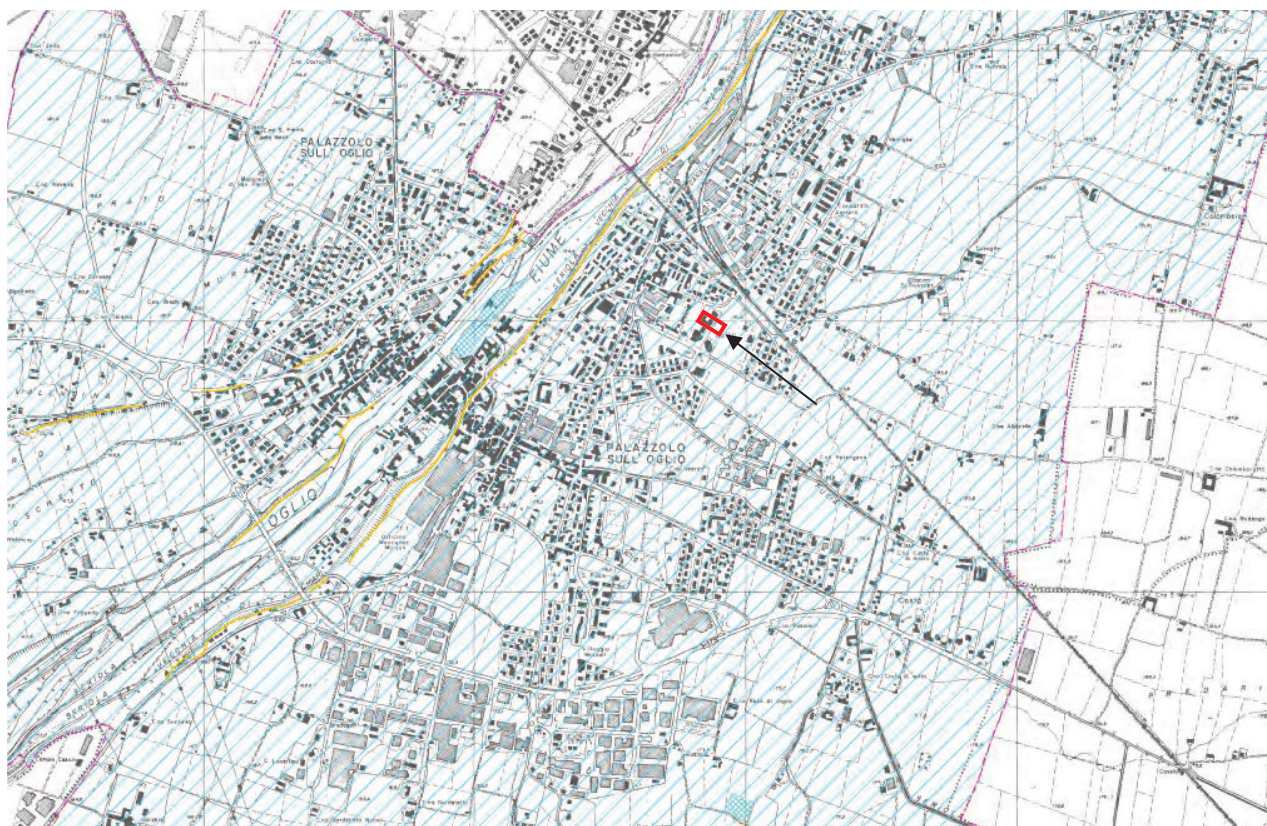


Figura 14: Estratto Mappa interattiva di pericolosità sismica dal sito web INGV - (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

### 3.3. APPROFONDIMENTO SISMICO DA PIANIFICAZIONE COMUNALE

Nel presente paragrafo si procede all'analisi della pericolosità sismica locale sulla base dei contenuti dello studio geologico comunale e delle indagini eseguite.

Nella carta della pericolosità sismica locale l'area in esame è inserita nello scenario Z4a: zona di fondovalle e/o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi per amplificazione litologica.



#### AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA



Z2 - Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati).

#### AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA



Z3a - Zona di ciglio H>10m.

#### AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA



Z4a - Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.



Stendimento di sismica a rifrazione.

Figura 15- Estratto Carta della pericolosità sismica locale – Studio geologico comunale

L'analisi di II° livello eseguita nell'ambito dello studio geologico comunale per lo scenario Z4a ha verificato che il valore di Fa sito specifico risulta inferiore al valore di soglia comunale individuato per la Regione

Lombardia. Pertanto gli spettri previsti dalla normativa (DM 10/01/2008) sono sufficienti a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica sito specifici.

Di seguito si riporta un estratto delle conclusioni dello studio geologico comunale relative all'approfondimento di II° livello.

Il modello geofisico indica la presenza di litotipi ad alta porosità, corrispondenti a depositi fluvioglaciali e fluviali grossolani e compatti fino ad una profondità variabile tra 10 e 20 m. Inferiormente sono presenti materiali molto compatti costituenti il bedrock geofisico ( $V_s \geq 800$  m/s).

In base ai valori delle onde di taglio ( $V_s$ ) e alla loro variazione con la profondità, ai terreni ricompresi nel territorio di Palazzolo sull'Oglio è possibile assegnare una  $V_{s30} > 360$  m/s.

Ai sensi del D.M. 14/05/2008 si tratta di terreni riferibili alla categoria di sottosuolo B.

Il modello geofisico del sottosuolo ricavato (variazione delle onde di taglio  $V_s$  con la profondità) ha permesso, applicando l'Allegato 5 della D.G.R. n.8/1566 del 22/12/2005, di ottenere dei valori di  $F_a$  (fattore di amplificazione) pari a  $F_a = 1.1 \div 1.2$  nell'intervallo 0.1-0.5 s e  $F_a = 1.0 \div 1.1$  nell'intervallo 0.5-1.5 s

Questi valori di  $F_a$  ( $F_a$  abaco) devono essere confrontati con il valore soglia (Soglia norma) fornito dalla Regione Lombardia per il Comune di Palazzolo sull'Oglio per la categoria di sottosuolo B.

| Intervallo di periodo 0.1-0.5 s |                                              | Intervallo di periodo 0.5-1.5 s |                                              |
|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|
| $F_a$ abaco                     | Soglia norma<br>Categoria di<br>sottosuolo B | $F_a$ abaco                     | Soglia norma<br>Categoria di<br>sottosuolo B |
| 1.1÷1.2                         | 1.5                                          | 1.0÷1.1                         | 1.7                                          |

Il confronto mostra come entrambi i valori di soglia siano superiori ai valori di  $F_a$  ottenuti dall'abaco.

La procedura semiquantitativa di 2° livello evidenzia che per il territorio di Palazzolo sull'Oglio la possibile amplificazione sismica risulta contenuta e che quindi l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa (D.M. 14 gennaio 2008) risulta sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica.

Si sottolinea inoltre che nel territorio di Palazzolo sull'Oglio non sono presenti terreni dotati di caratteristiche granulometriche tali da essere soggetti a fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici.

Figura 16: Estratto paragrafo 6.4.2. dello studio geologico comunale.

### 3.4. INDAGINE SISMICA ASILO NIDO, 2021

Per la ricostruzione del modello geofisico del sottosuolo specificatamente per l'area in questione e per la definizione della categoria di sottosuolo da utilizzare a fini progettuali, si riporta di seguito l'indagine eseguita dallo scrivente nel 2021 nel mappale limitrofo (asilo nido):

- n.1 stendimento sismico per acquisizione e analisi con la metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) in onde di Rayleigh e Love;
- n.1 stendimento sismico per acquisizione e analisi con la metodologia HOLISURFACE in onde di Rayleigh e Love;
- n. 1 indagine sismica superficiale con la misura del rumore sismico ambientale per 20 minuti (metodologia HVSJ);
- n. 1 indagine sismica superficiale con la misura del rumore sismico ambientale per 10 minuti (metodologia HVSJ).



Figura 17: Foto esecuzione indagine sismica congiunta MASW+HS+HVSJ e ubicazione su ortofoto

### 3.4.1. MASW

Le caratteristiche dello stendimento sismico per l'acquisizione dei segnali sismici sono esposte nella seguente tabella:

| CARATTERISTICHE STENDIMENTO MASW |      |
|----------------------------------|------|
| Nr. geofoni utilizzati           | 9    |
| Interasse geofoni (m)            | 5    |
| Lunghezza stendimento (m)        | 48   |
| Minimum offset (m)               | 8    |
| Durata acquisizione (s)          | 2    |
| Intervallo di campionamento (ms) | 1    |
| Nr. Campioni                     | 2000 |

Tabella 2: Caratteristiche stendimento MASW

### 3.4.2. MASW - METODOLOGIA HOLISURFACE

Si tratta di un'indagine di sismica attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) effettuata utilizzando la metodologia HoliSurface®, un metodo innovativo per l'analisi della propagazione delle onde di superficie allo scopo di determinare il profilo verticale della Vs. Si tratta di un miglioramento di una tecnica classica della sismologia (MFA - Multiple Filter Analysis).

La tecnica HOLISURFACE richiede l'utilizzo di un sismografo a stazione singola costituito da n. 2 geofoni orizzontali e n. 1 verticali in grado di registrare le onde sismiche lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z).

Il software di elaborazione (Holisurface) permette analisi congiunte delle velocità di gruppo delle onde di Rayleigh e Love, del rapporto RVSR e del moto della particella (progrado o retrogrado) legato all'onda di Rayleigh (curve RPM).

| CARATTERISTICHE STENDIMENTO HOLISURFACE |                   |
|-----------------------------------------|-------------------|
| Nr. geofoni utilizzati                  | 3 (N-S; E-W; U-D) |
| Lunghezza stendimento (m)               | 50                |
| Durata acquisizione (s)                 | 2                 |
| Intervallo di campionamento (ms)        | 1                 |
| Nr. Campioni                            | 2000              |

Tabella 3: Caratteristiche stendimento HOLISURFACE

### 3.4.3. HVSR

La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un sismografo a stazione singola in grado di registrare i microtremori (sismica passiva) lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga. Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di curva H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y mentre V è la componente verticale del moto in funzione della frequenza).

L'acquisizione nel sito di indagine è stata fatta con sismografo a tre componenti HOLI-3C da 2 Hz distribuito da Eliosoft, mentre l'elaborazione dei segnali registrati è stata effettuata tramite il software HoliSurface.

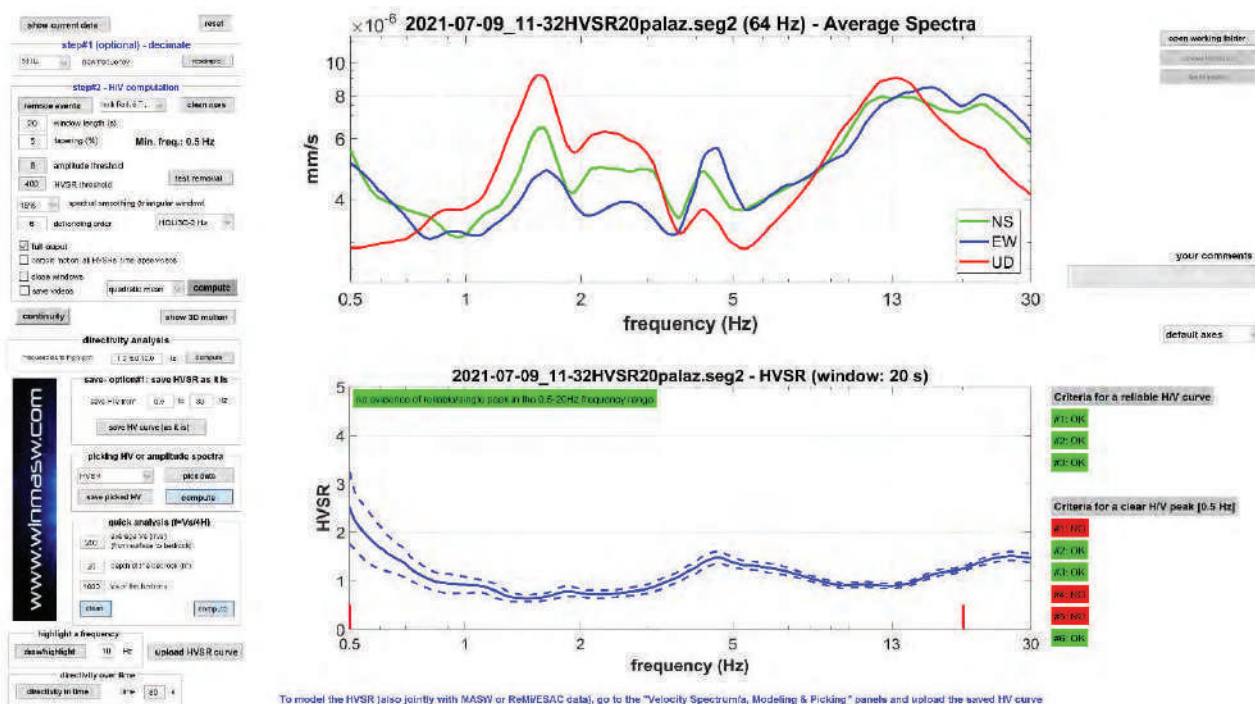


Figura 18: Curva HVSR misurata in campagna e controllo criteri SESAME – HVSR20

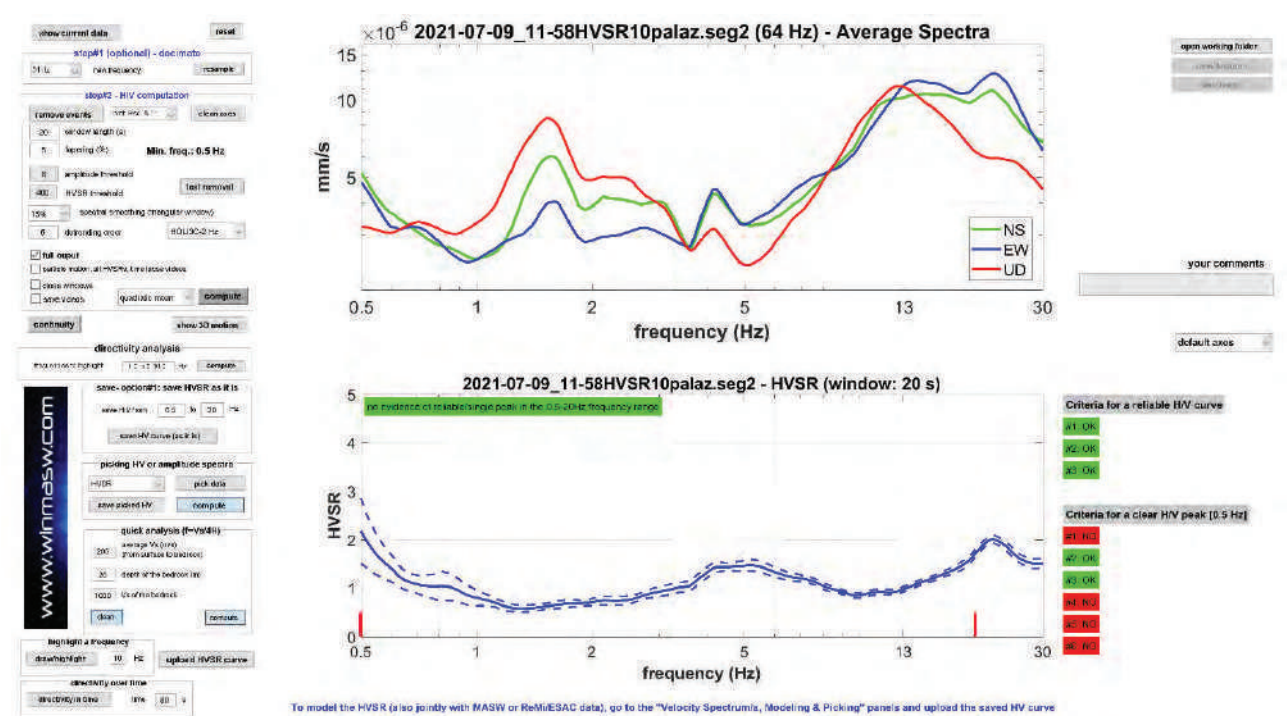


Figura 19: Curva HVSr misurata in campagna e controllo criteri SESAME – HVSr10

Per quanto riguarda i criteri SESAME, utili per valutare la robustezza statistica delle curve HVSr sperimentali misurate in campo, non risulta rispettata la condizione di almeno 5 criteri SESAME verificati su 6 per un picco chiaro.

| INDAGINE SISMICA | CRITERI SESAME                   |                             |
|------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|                  | CRITERI PER UNA CURVA AFFIDABILE | CRITERI PER UN PICCO CHIARO |
| HVSr20           | 1 - VERIFICATO                   | 1 – NON VERIFICATO          |
|                  | 2 - VERIFICATO                   | 2 – VERIFICATO              |
|                  | 3 - VERIFICATO                   | 3 – VERIFICATO              |
| HVSr10           | 1 - VERIFICATO                   | 4 – NON VERIFICATO          |
|                  | 2 - VERIFICATO                   | 5 – NON VERIFICATO          |
|                  | 3 - VERIFICATO                   | 6 – VERIFICATO              |

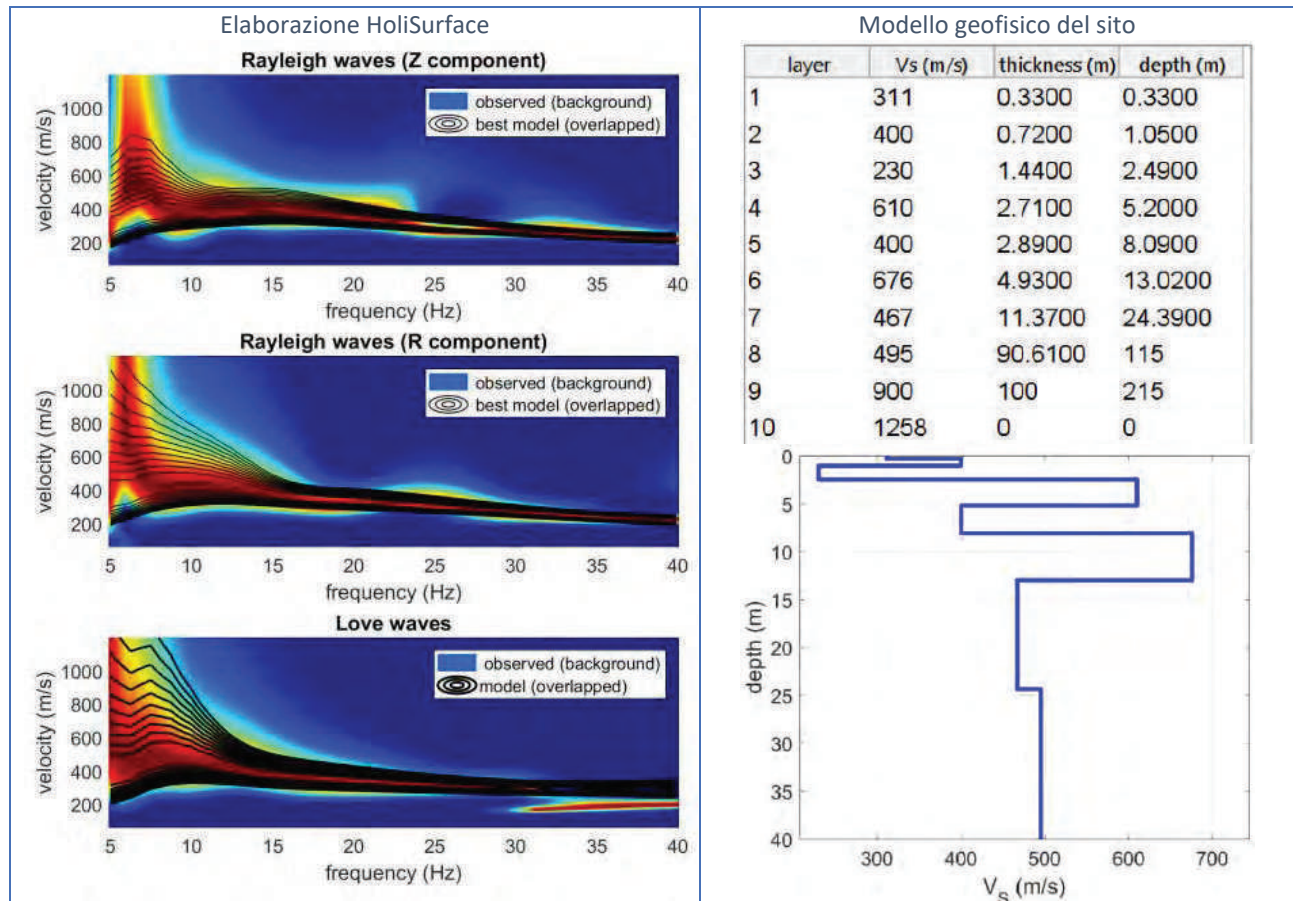
Le indagini passive HVSr non evidenziano contrasti d’impedenza particolarmente marcati entro l’intervallo di frequenze di interesse progettuale 0,5-20 Hz.

### 3.4.4. Elaborazione indagine sismica

L'elaborazione dell'indagine è stata eseguita tramite:

- analisi della dispersione (velocità di gruppo) delle onde di Love e di Rayleigh (componenti verticale e radiale) con approccio FVS (Full Velocity Spectrum);
- analisi dello spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh e Love con approccio FVS.

Le risultanze portano alla definizione del seguente modello geofisico del sottosuolo, con  $V_{s30} = V_{sE} = 470$  m/s. In allegato si forniscono i report e il modello geofisico delle indagini.



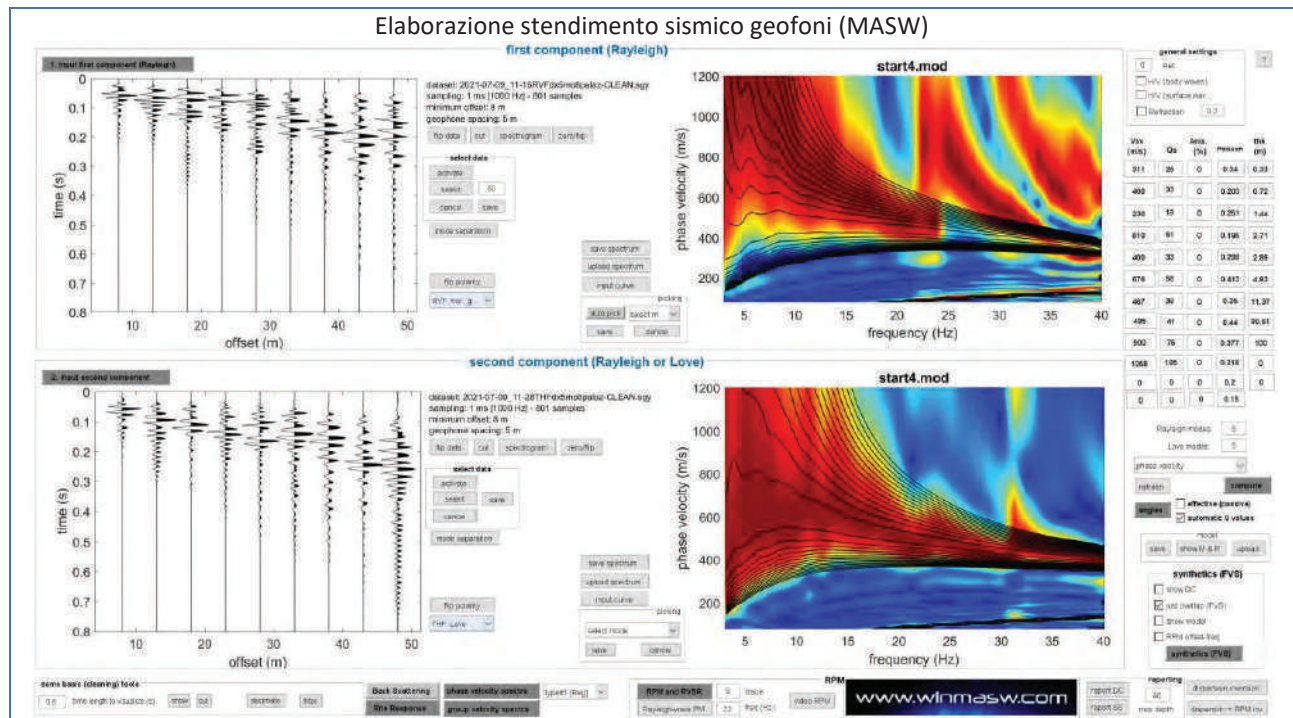


Figura 20: Elaborazione Holisurface (HS), stendimento sismico MASW e modello geofisico del sito

### 3.5. APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO RELATIVO AL SITO IN STUDIO – APP 5

Si riporta di seguito la procedura di II Livello di approfondimento secondo quanto indicato nell'all. 5 della D.G.R. 9/2616/2011 utilizzando le risultanze esposte in precedenza per la stima del fattore di amplificazione di sito (FAC).

Sulla base della litologia del sottosuolo del sito e dell'andamento del profilo di Vs si considera corretto utilizzare:

- la scheda litologica "limoso-sabbiosa tipo 2";
- il valore di Vs6 pari a 385 m/s;
- la curva 3 blu (vedi figura seguente).

Sulla base dell'indagine eseguita e del modello geofisico del sottosuolo ricostruito il periodo di risonanza del sito risulta pari a 0,93 s.

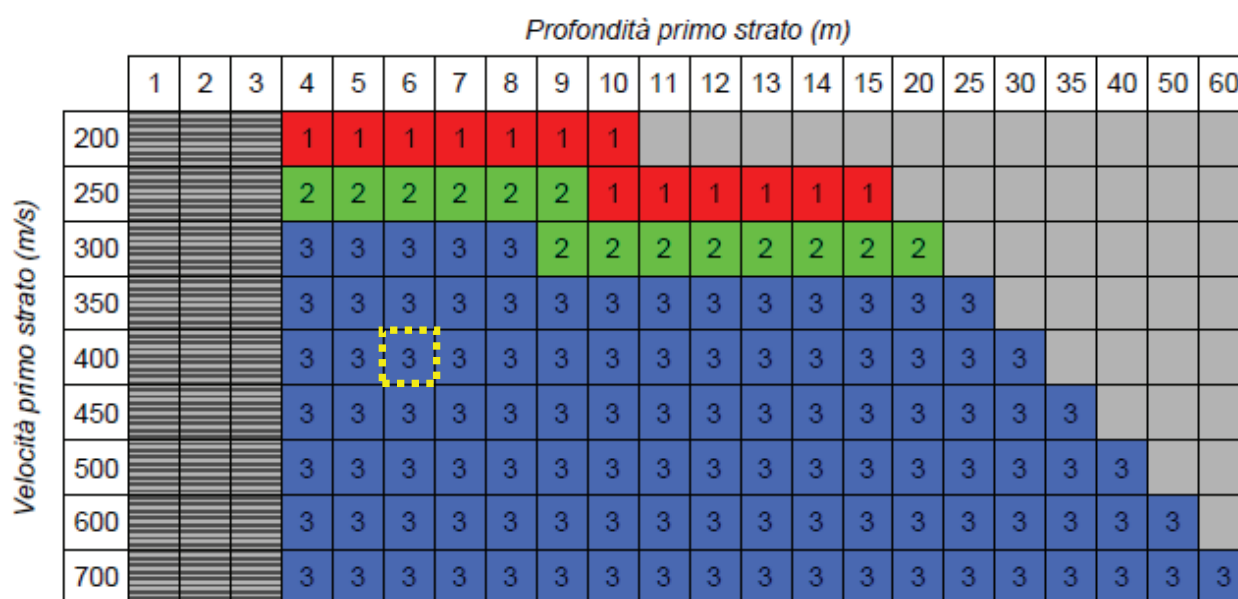


Figura 21: Estratto Scheda limoso-sabbiosa tipo 2

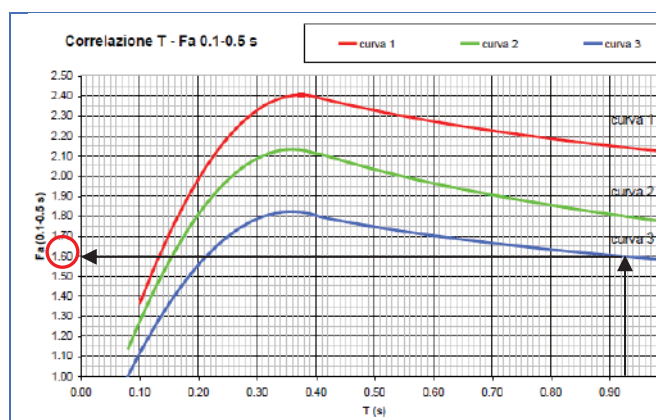


Figura 22: calcolo del valore di FAC per T 0,1-0,5s

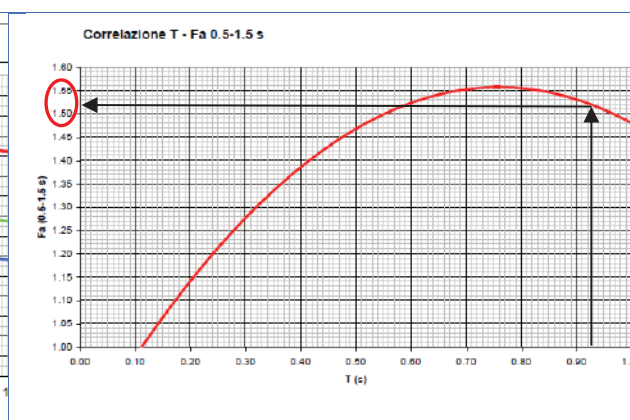


Figura 23: calcolo del valore di FAC per T 0,5-1,5s

Di seguito si confronta il valore del fattore di amplificazione calcolato (FAC) con i valori soglia comunale (FAS).

| Comune        | INTERVALLO | FAC  | Valori soglia - FAS |     |     |     |
|---------------|------------|------|---------------------|-----|-----|-----|
|               |            |      | B                   | C   | D   | E   |
| PALAZZOLO S/O | 0.1 - 0.5  | 1,6  | 1.5                 | 1.9 | 2.3 | 2.0 |
|               | 0.5 - 1.5  | 1,52 | 1.7                 | 2.4 | 4.3 | 3.1 |

**Figura 24: Tabella con valori FAC calcolato e valori di amplificazione sismica di soglia comunale DGR 7374/2008 (FAS)**

$FAC(1,6) \pm 0,1 \leq FAS(1,5 \text{ per cat. B})$  (per T 0,1-0,5 s) - VERIFICATO

$FAC(1,52) \pm 0,1 \leq FAS(1,7 \text{ per cat. B})$  (per T 0,5-1,5 s) - VERIFICATO

Si ricorda che, secondo quanto espressamente dichiarato da Regione Lombardia con nota dell'ottobre 2016, *"si intende che, per la corretta applicazione del metodo, vadano accettati tutti i valori di FAC che una volta applicata la tolleranza (+/- 0,1) soddisfino almeno una volta il non superamento del valore soglia"*.

Nel caso di  $FAC = 1,6 - 0,1 = 1,5$  tale valore coincide con il  $FAS_{0.1-0.5}$  comunale per la categoria B.

Il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) relativo al sito in studio risulta almeno una volta uguale o minore al valore di soglia comunale (FAS) per la categoria di sottosuolo di tipo B e quindi il relativo spettro di normativa è adeguato a tenere conto delle amplificazioni sito-specifiche attese.

### 3.6. CATEGORIA SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE E TOPOGRAFICA

Le NTC 2018 prevedono che la classificazione del sottosuolo si effettui in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

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  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Figura 25: Estratto NTC 2018

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Sulla base delle analisi dei paragrafi precedenti, ai fini progettuali risulta corretto applicare la **categoria di sottosuolo B**.

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | <i>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.</i>                                             |
| B | <i>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.</i>                                            |
| C | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>   |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i> |
| E | <i>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.</i>                                                                                                                                    |

Tabella 4: Categoria di sottosuolo di fondazione- Estratto NCT 2018.

La categoria topografica definita in base al D.M. 17/01/2018 è **T1** (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <15°) cui corrisponde un valore di coefficiente di amplificazione topografica  $ST$  pari a 1.

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

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

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

**Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento                                                      | $S_T$ |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| T1                    | -                                                                                            | 1,0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio                                                   | 1,2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$ | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$       | 1,4   |

**Tabella 5: Categorie topografiche- Estratto NCT 2018**

### 3.7. PARAMETRI SISMICI DI SITO

L'allegato B alle norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018) espone i nuovi dati di pericolosità sismica per tutto il territorio nazionale che permettono di definire l'azione sismica. Di seguito si illustrano i parametri di calcolo:

|                                 |                                                            |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Coordinate geografiche del sito | WGS84: Lat 45.599026 - Lng 9.895522                        |
| Stato Limite Ultimo scelto      | S.L.V. Probabilità di superamento nel periodo di rif = 10% |
| Stato Limite Esercizio scelto   | S.L.D. Probabilità di superamento nel periodo di rif = 63% |
| Vita nominale dell'opera        | 50 anni                                                    |
| Classe d'uso                    | III                                                        |

**Tabella 6: Parametri di calcolo**

Per il sito in studio si ottengono i seguenti valori (software Geostru - Parametri sismici):

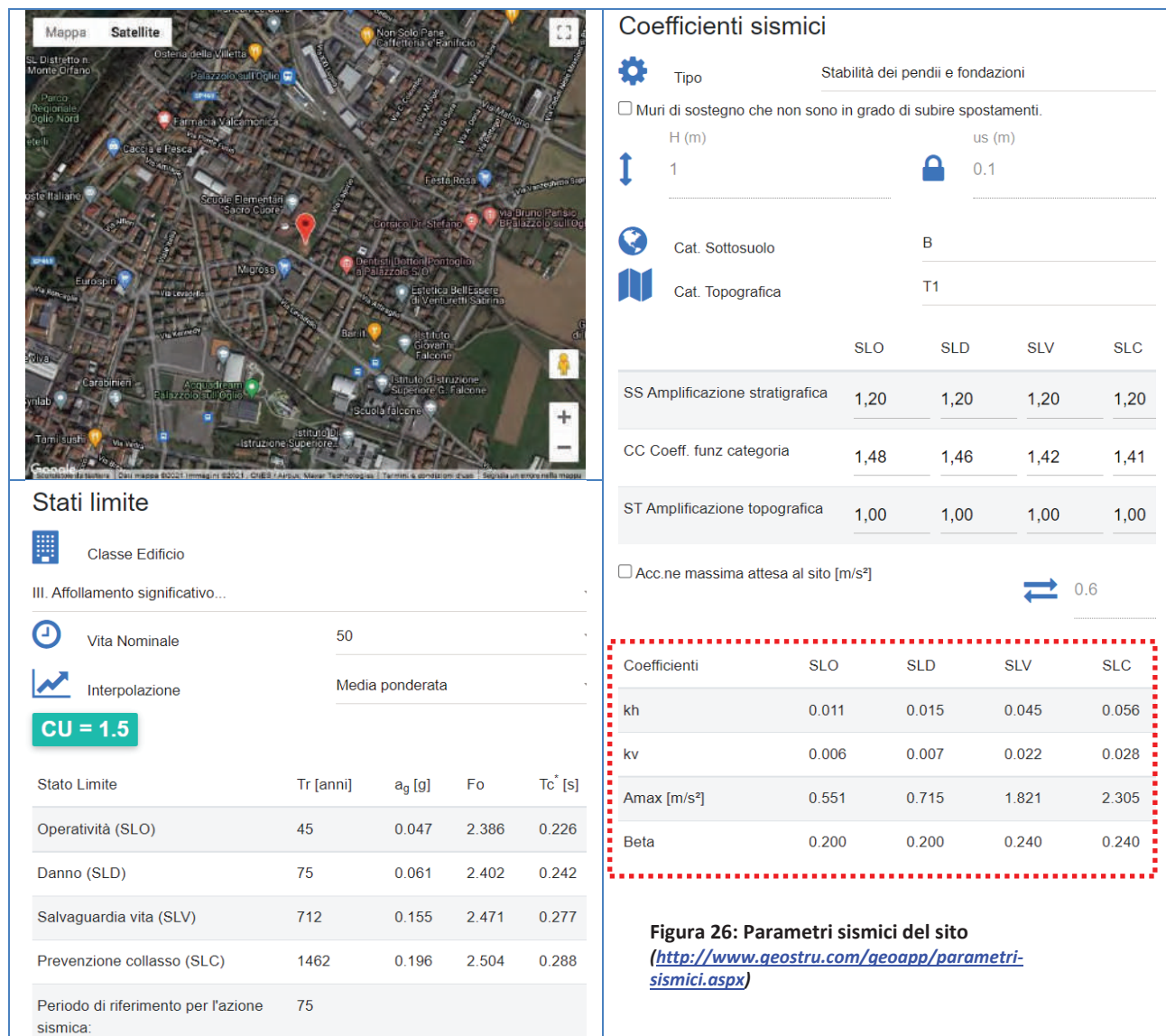


**Figura 26: Parametri sismici del sito**

(<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>)

## 4. MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO

### 4.1. INDAGINI SITO-SPECIFICHE APP-4

Ai fini della ricostruzione del modello geologico geotecnico si considerano diverse indagini pregresse eseguite dallo scrivente di cui n. 3 prove penetrometriche dinamiche DPHS e 3 scavi esplorativi in prossimità.



Le prove sono state eseguite tramite il penetrometro dinamico pesante semovente Deepdrill modello SCPT 73/75 SM, avente le seguenti caratteristiche: Massa battente: 73 kg; Altezza di caduta: 75 cm; Peso asta completa ( $\varnothing$  32x900 mm) - 5,5 Kg; Angolo punta: 60°. In allegato si riportano i diagrammi Ncolpi/profondità delle prove.

#### 4.1.1. Trincee esplorative copertura anfiteatro scuola materna, 2006

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p><u>Scavo S1</u><br/>                     0,00-2,50m<br/>                     materiale di riporto di natura granulare</p> <p>2,50-3,00m<br/>                     terreno ghiaioso<br/>                     sabbioso</p>                       |
|  | <p><u>Scavo S2</u><br/>                     0,00-2,50m<br/>                     materiale di riporto di riempimento cisterna gasolio.</p> <p>2,50-2,90m<br/>                     terreno ghiaioso<br/>                     sabbioso in posto</p> |

#### 4.1.2. Trincea esplorativa ampliamento scuola materna, 2003

Stratigrafia

|             |                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------|
| 0,00 0,60 m | riporto di materiali inerti compresi laterizi           |
| 0,60 1,30 m | terra vegetale in posto ( $Q_u = 0,9 \text{ Kg/cm}^2$ ) |
| >1,3 m      | ghiaie sabbiose sciolte, con ciottoli, in posto         |

#### 4.1.3. Trincee esplorative in via adamello 9, 2014

|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>Trincea-T1</u><br/>                     0,00-0,90-m-terreno-vegetale+-eluvio-<br/>                     0,90-1,20-m-ghiaie-sabbiose-con-ciottoli</p>  | <p><u>Trincea-T2</u><br/>                     0,00-0,80-m-terreno-vegetale+-eluvio-<br/>                     0,80-1,30-m-ghiaie-sabbiose-con-ciottoli</p>  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 4.2. MODELLO GEOTECNICO E VALORI DI PROGETTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Il modello geotecnico che caratterizza il volume significativo interessato dall'interazione con le opere e che scaturisce dalle indagini effettuate può riassumersi come un corpo geologico avente le seguenti caratteristiche geotecniche:

### CORPO GEOLOGICO 1) terreno di riporto / vegetale-/ eluviale con argilla d'alterazione in posto

Prof. 0,00-1,30 m (\*)

- angolo di resistenza al taglio di picco ( $\phi'_k$ ) = 28°
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 16 KN/mc
- modulo di deformazione  $E_{yk}$  = 5 MPa

### CORPO GEOLOGICO 2) ghiaie e sabbie debolmente limose con ciottoli- strato addensato

Prof. > 1,30 m

- angolo di resistenza al taglio di picco ( $\phi'_k$ ) = 32°
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 18 KN/mc
- modulo di deformazione  $E_{yk}$  = 25 MPa

NB: si consiglia di realizzare il piano di imposta delle fondazioni in prossimità del tetto del corpo geologico 2, oppure nel caso di piano di posa a quota superiore, si consiglia di asportare il corpo 1, riempiendo con magrone sino a raggiungere il piano di imposta di progetto.

NB: (\*) prof. indicativa a partire dal piano campagna attuale. Lo spessore del corpo geologico 1 è variabile. Lo scrivente si rende disponibile ad eseguire verifiche in corso d'opera nel caso la DL lo ritenesse opportuno, per la verifica della reale profondità del corpo geologico 2.

Per quanto riguarda la costante di Winkler si propone la tabella secondo Pozzati con evidenziati i ranges nel riquadro "rosso" relativi ai rispettivi corpi geologici.

| MODULO DI REAZIONE "VERTICALE" DEL TERRENO [WINKLER] |                         |
|------------------------------------------------------|-------------------------|
| NATURA DEL TERRENO                                   | K (Kg/cm <sup>3</sup> ) |
| torba leggera.....                                   | 0.6 ~ 1.2               |
| torba pesante.....                                   | 1.2 ~ 1.8               |
| terra vegetale.....                                  | 1.0 ~ 1.5               |
| depositi recenti.....                                | 1.0 ~ 2.0               |
| sabbia di mare, fina.....                            | 1.5 ~ 2.0               |
| sabbia poco coerente.....                            | 2.0 ~ 4.0               |
| terra molto umida.....                               | 2.0 ~ 3.5               |
| terra poco umida.....                                | 3.0 ~ 6.0               |
| terra secca.....                                     | 5.0 ~ 10.0              |
| argilla con sabbia.....                              | 8.0 ~ 10.0              |
| argilla grassa.....                                  | 10.0 ~ 12.0             |
| sabbia compatta.....                                 | 8.0 ~ 15.0              |
| ghiaia con sabbia.....                               | 10.0 ~ 25.0             |
| ghiaia compatta.....                                 | 20.0 ~ 30.0             |

(Tabella dei Moduli di Winkler secondo POZZATI)

Figura 27:  
Tabella riepilogativa K di Winkler

Corpo geologico 1

Corpo geologico 2

#### 4.3. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze (v. par. 7.11.3.4.2 del DM 17.01.18):

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
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  $qc1N > 180$  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  $qc1N$  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 Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Nel caso in esame la verifica a liquefazione viene esclusa in quanto la falda principale si colloca ad una profondità superiore ai 15 m dal p.c.

Palazzolo s/O, ottobre 2022

Dott. geol. Marco Carraro  
n. 701 O.G.L



**ALLEGATO 01**  
**N. 3 DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE**

| Profondità<br>(m) | Numero colpi |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   | DP1          | DP2 | DP3 | DP4 | DP5 | DP6 | DP7 | DP8 |
| 0,3               | 17           | 15  | 22  |     |     |     |     |     |
| 0,6               | 5            | 9   | 8   |     |     |     |     |     |
| 0,9               | 8            | 17  | 22  |     |     |     |     |     |
| 1,2               | 10           | 15  | 21  |     |     |     |     |     |
| 1,5               | 9            | 31  | 48  |     |     |     |     |     |
| 1,8               | 10           | 33  | 77  |     |     |     |     |     |
| 2,1               | 15           | 35  | 100 |     |     |     |     |     |
| 2,4               | 23           | 88  |     |     |     |     |     |     |
| 2,7               | 44           | 100 |     |     |     |     |     |     |
| 3,0               | 64           |     |     |     |     |     |     |     |
| 3,3               | 95           |     |     |     |     |     |     |     |
| 3,6               | 100          |     |     |     |     |     |     |     |
| 3,9               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 4,2               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 4,5               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 4,8               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 5,1               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 5,4               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 5,7               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 6,0               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 6,3               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 6,6               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 6,9               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 7,2               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 7,5               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 7,8               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 8,1               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 8,4               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 8,7               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 9,0               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 9,3               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 9,6               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 9,9               |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 10,2              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 10,5              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 10,8              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 11,1              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 11,4              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 11,7              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 12,0              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 12,3              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 12,6              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 12,9              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 13,2              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 13,5              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 13,8              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 14,1              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 14,4              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 14,7              |              |     |     |     |     |     |     |     |
| 15,0              |              |     |     |     |     |     |     |     |

Ecosphera S.r.l. - Via Malogno, 2 - Palazzolo sull'Oglio (BS)  
Dott. Geol. Marco Carraro n. 701 O.G.L.

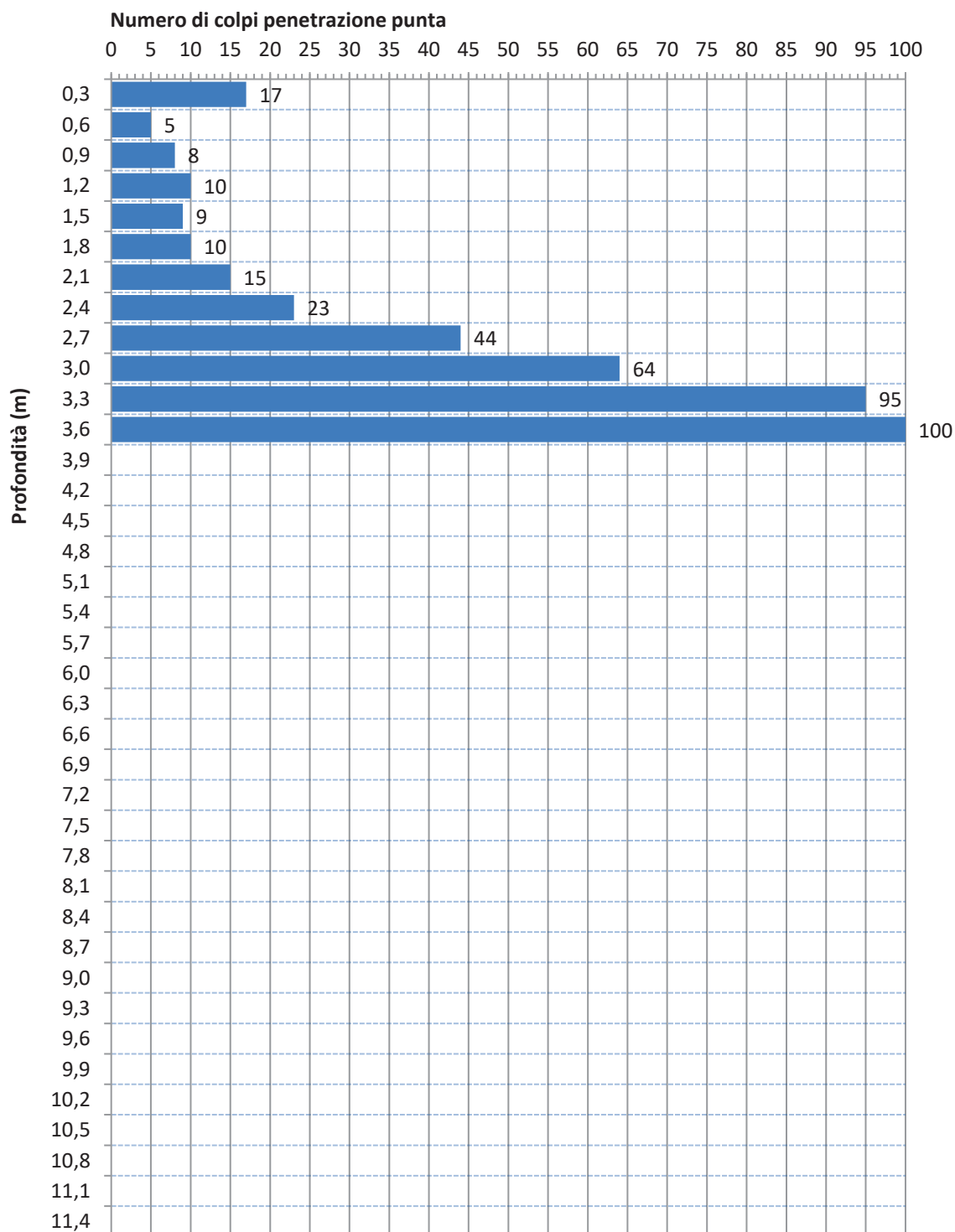
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

**Committente:** Comune di Palazzolo sull'oglio bs  
**Descrizione:** riqualificazione Asilo Nido il Girasole  
**Località:** via attraglio

**Data:** 02 luglio 2021

**Committente:** Comune di Palazzolo sull'oglio bs  
**Descrizione:** riqualificazione Asilo Nido il Girasole  
**Località:** via attiraglio

**Data:** 02 luglio 2021



**Dati tecnici prova**

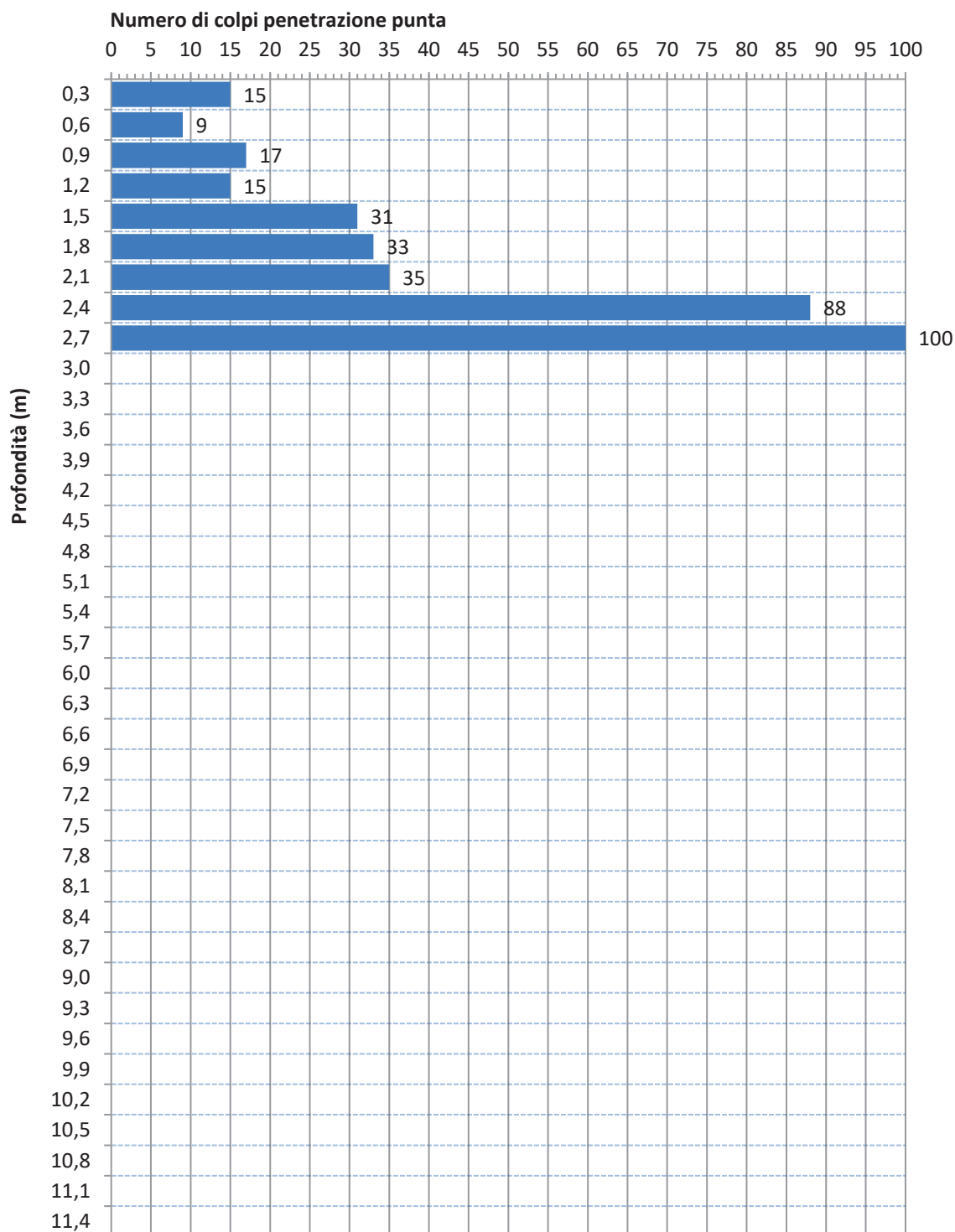
Penetrometro: Deep Drill modello SCPT 73/75 SM  
Massa battente: 73 kg  
Altezza di caduta maglio: 75 cm  
Punta diam. 51 mm con angolo di 60 gradi  
Aste diam. 32 mm

**Impresa esecutrice**

GEO.TI s.a.s. di Trovenzi Claudio & C.

**Committente:** Comune di Palazzolo sull'oglio bs  
**Descrizione:** riqualificazione Asilo Nido il Girasole  
**Località:** via attiraglio

**Data:** 02 luglio 2021



**Dati tecnici prova**

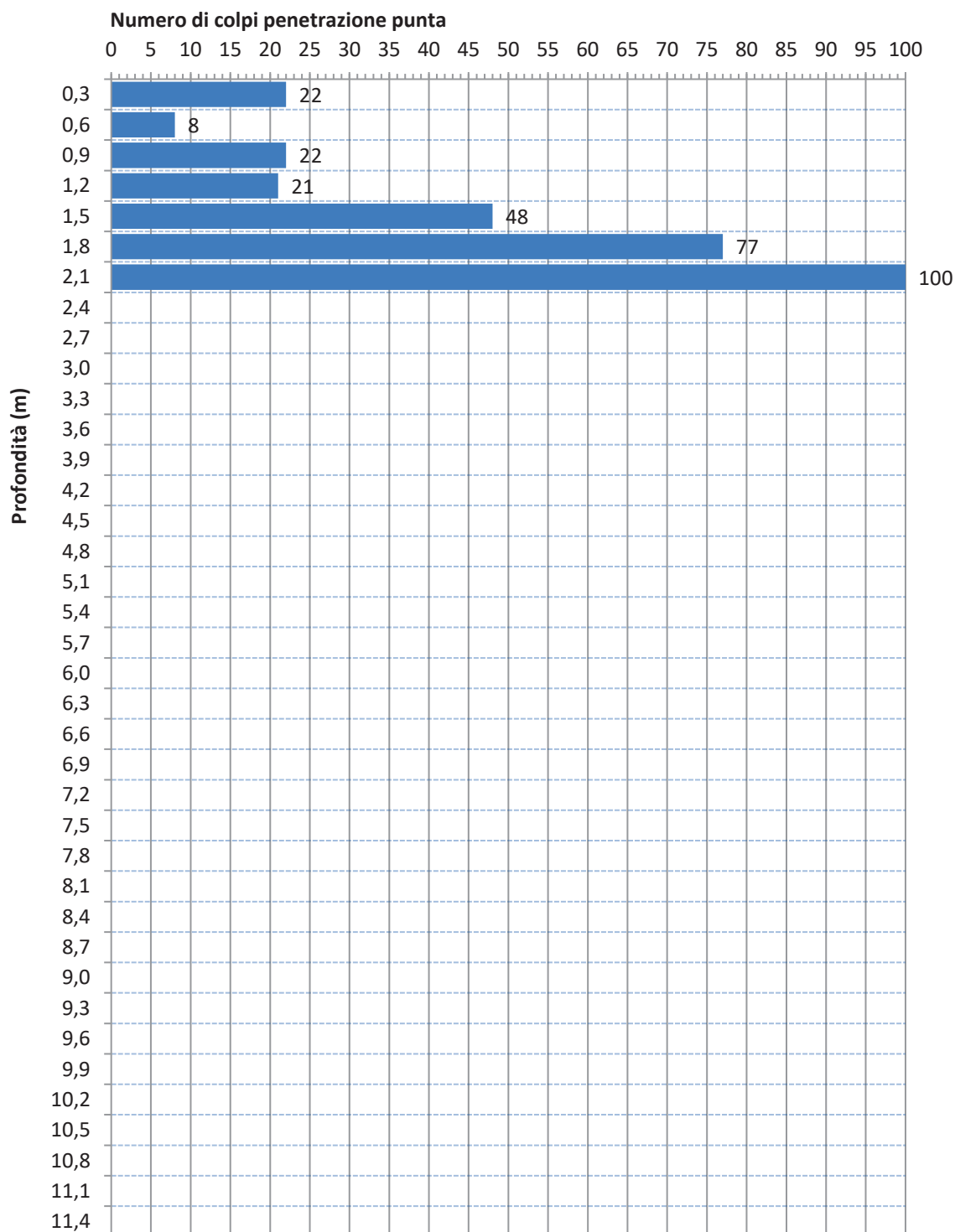
Penetrometro: Deep Drill modello SCPT 73/75 SM  
Massa battente: 73 kg  
Altezza di caduta maglio: 75 cm  
Punta diam. 51 mm con angolo di 60 gradi  
Aste diam. 32 mm

**Impresa esecutrice**

GEO.TI s.a.s. di Trovenzi Claudio & C.

**Committente:** Comune di Palazzolo sull'oglio bs  
**Descrizione:** riqualificazione Asilo Nido il Girasole  
**Località:** via attiraglio

**Data:** 02 luglio 2021



**Dati tecnici prova**

Penetrometro: Deep Drill modello SCPT 73/75 SM  
Massa battente: 73 kg  
Altezza di caduta maglio: 75 cm  
Punta diam. 51 mm con angolo di 60 gradi  
Aste diam. 32 mm

**Impresa esecutrice**

GEO.TI s.a.s. di Trovizi Claudio & C.

**ALLEGATO 02**  
**REPORT INDAGINE SISMICA E MODELLO GEOFISICO**

## winMASW & HoliSurface: Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

Dataset: 2021-07-09\_11-32HVS20palaz.seg2

### DATA ACQUISITION

Date and time:

### DATA PROCESSING

Date: 12 7 2021

Time: 10 9

Sampling frequency (Hz): 64

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

##### SESAME criteria #####

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.5 (±2.2)

Peak HVSR value: 2.5 (±0.6)

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

#1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $0.500 > 0.5$  (OK)

#2.  $[nc > 200]$ :  $1131 > 200$  (OK)

#3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

#1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$ : (NO)

#2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 0.8Hz (OK)

#3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.5 > 2$  (OK)

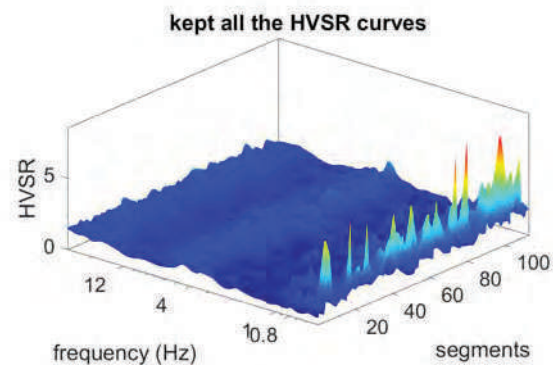
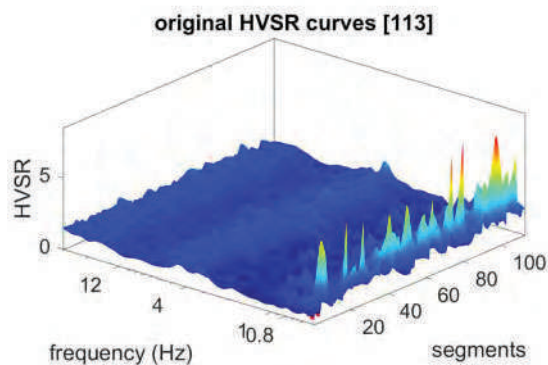
#4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)

#5.  $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$ :  $2.216 > 0.075$  (NO)

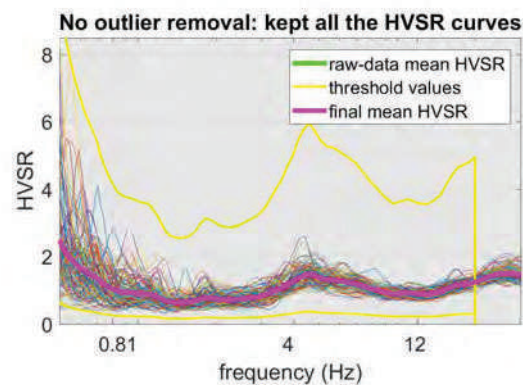
#6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $1.949 < 2$  (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.



www.winmasw.com



show current data reset

step#1 (optional) - decimate

64 Hz New frequency decimate

step#2 - HV computation

remove events with freq. 5-10 Hz clean axes

20 window length (s) 5 tapering (%) Min. freq.: 0.5 Hz

8 amplitude threshold 400 HVSR threshold test removal

15% spectral smoothing (triangular window)

6 detrending order HOLSVC-2 Hz

☒ full output

☐ remove noise, all HVSRs, first input values

☐ close windows

☐ save videos

quadratic mean compute

continuity show 3D motion

directivity analysis

frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Hz compute

save-option#1: save HVSR as it is

save HV from 0.5 to 30 Hz

save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra

HVSR pick data

save picked HV compute

quick analysis (H-Vs/4H)

200 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)

20 depth of the bedrock (m)

1000 Vs of the bedrock

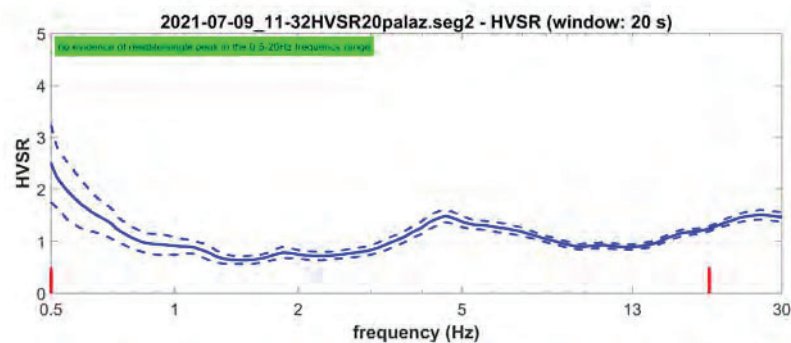
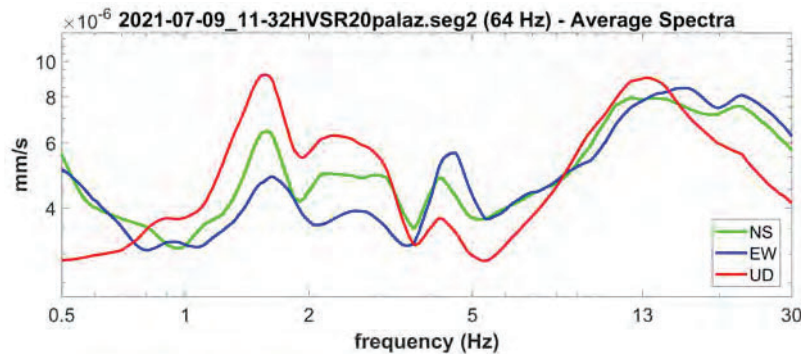
plot compute

highlight a frequency

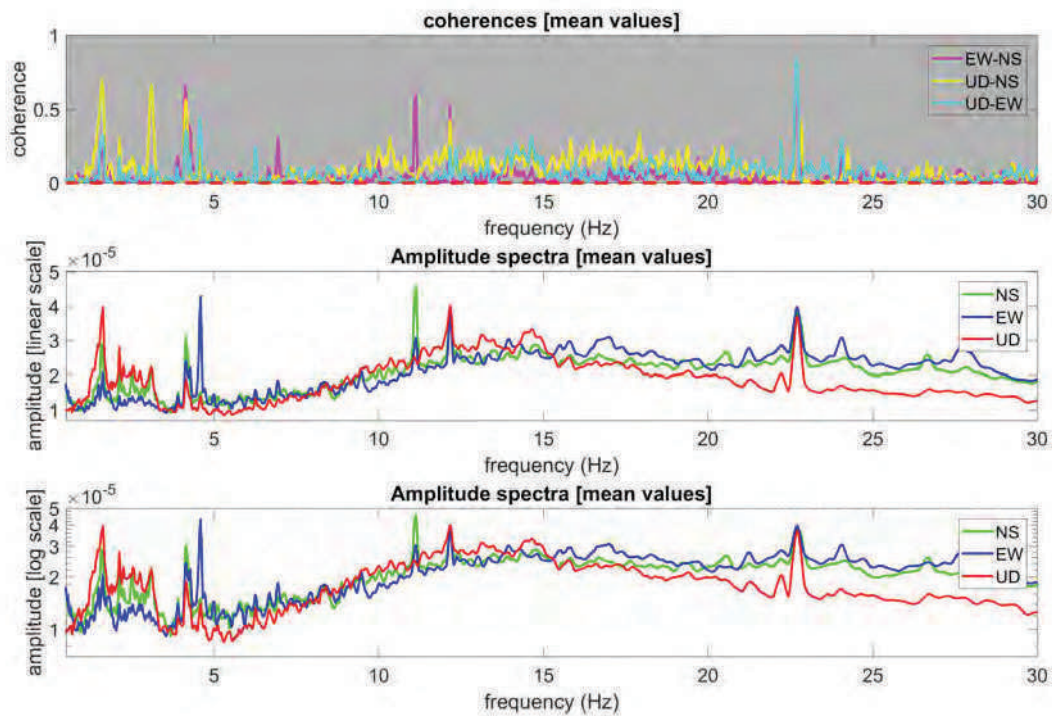
draw highlight 10 Hz upload HVSR curve

directivity over time

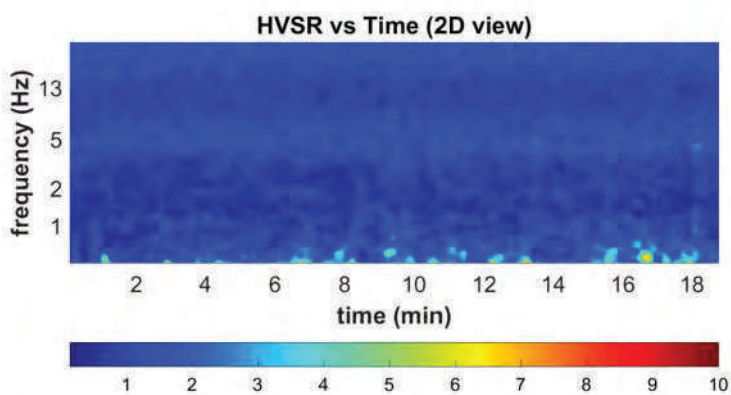
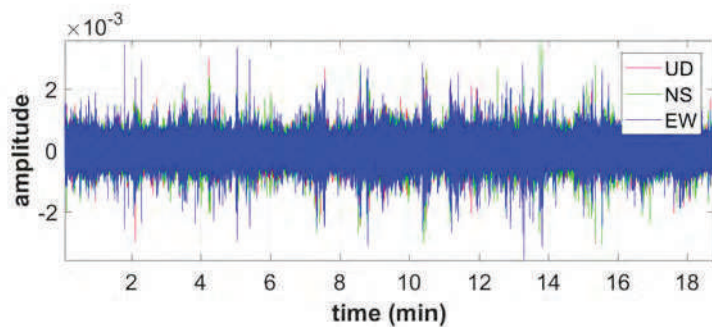
directivity in time time 60 s

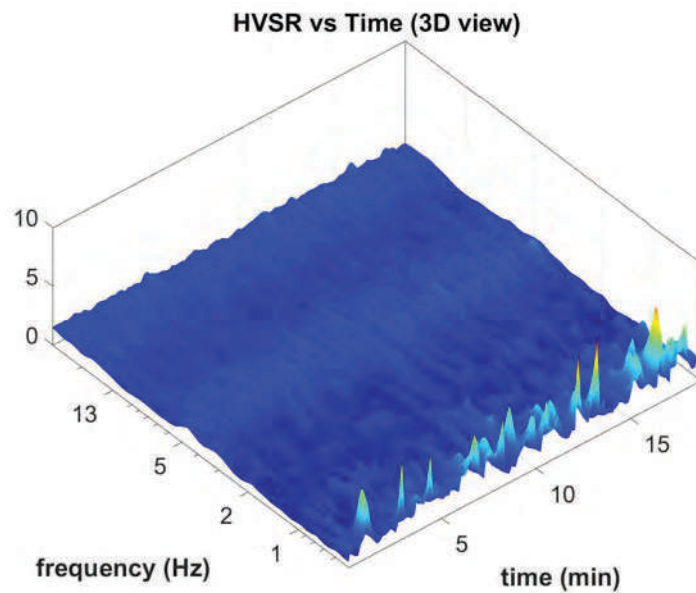


To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

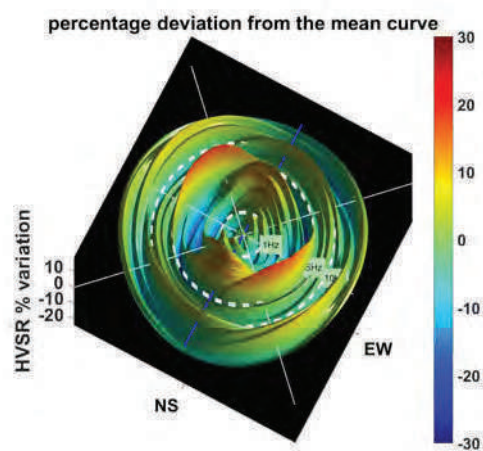
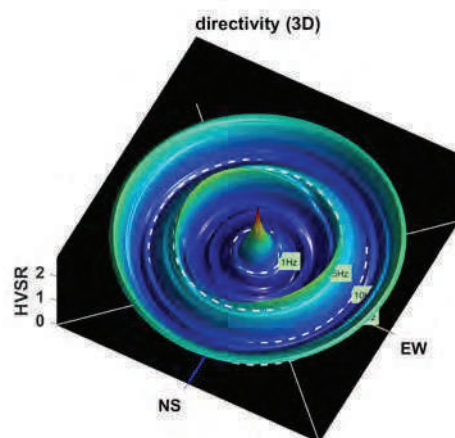
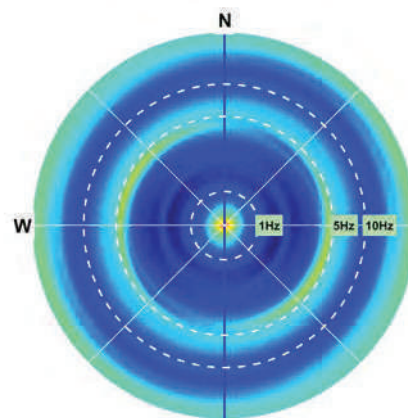
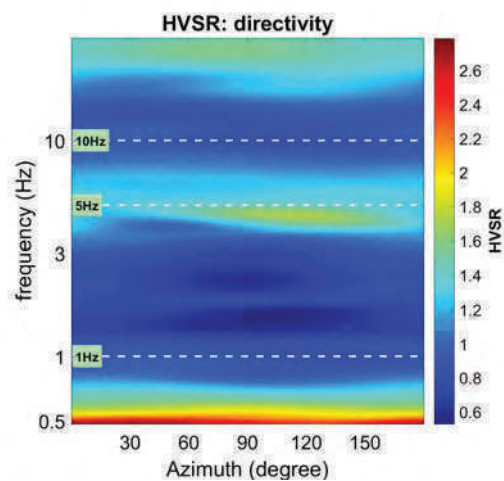


##### Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio





##### Directivity of the H/V Spectral Ratio



## winMASW & HoliSurface: Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

Dataset: 2021-07-09\_11-58HVSRI0palaz.seg2

### DATA ACQUISITION

Date and time:

### DATA PROCESSING

Date: 12 7 2021

Time: 10 5

Sampling frequency (Hz): 64

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 10.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

### ##### SESAME criteria #####

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.5 (±7.8)

Peak HVSR value: 2.2 (±0.6)

### === Criteria for a reliable H/V curve ===

#1.  $[f_0 > 10/Lw]: 0.500 > 0.5$  (OK)

#2.  $[nc > 200]: 530 > 200$  (OK)

#3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

### === Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

#1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]:$  (NO)

#2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]:$  yes, at frequency 0.7Hz (OK)

#3.  $[A_0 > 2]: 2.2 > 2$  (OK)

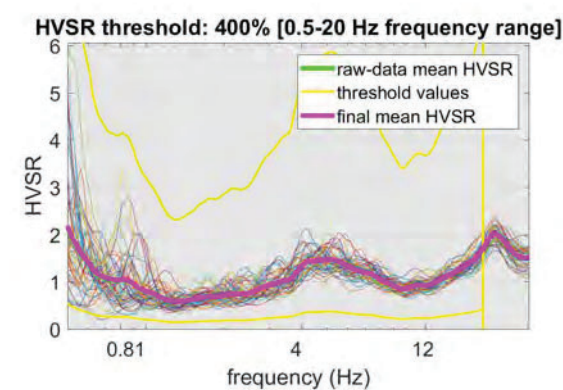
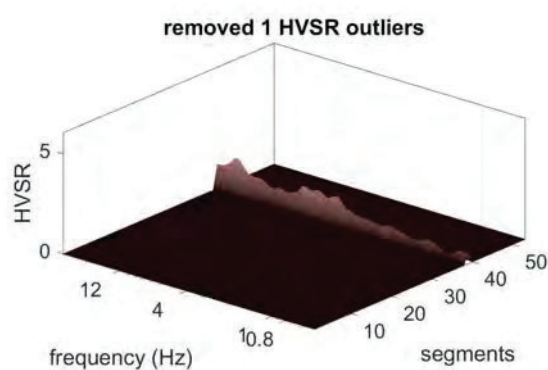
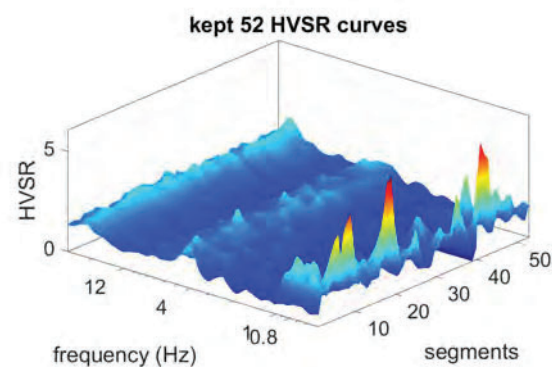
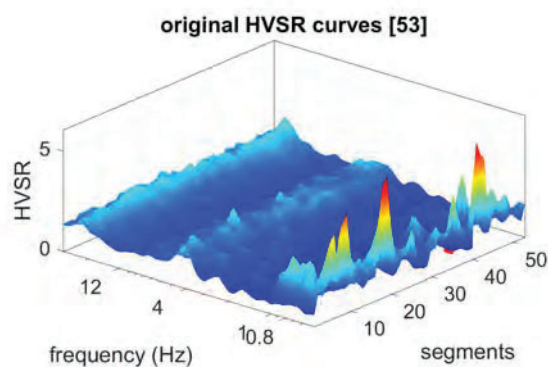
#4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f)] \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]:$  (NO)

#5.  $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]: 7.797 > 0.075$  (NO)

#6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 2.025 < 2$  (NO)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.



show current data    reset

**step#1 (optional) - decimate**

64 Hz    New frequency    **recompute**

**step#2 - HV computation**

**remove events**    left: 100 s    right: 100 s    **clean axes**

20    window length (s)

5    tapering (%)    **Min. freq.: 0.5 Hz**

8    amplitude threshold

400    HVSR threshold    **test removal**

15%    spectral smoothing (triangular window)

6    detrending order    **HOLISC-2 Hz**

☒ full output

☐ remove events, all HVSRs, first input video

☐ close windows

☐ save videos    quadratic mean    **compute**

**continuity**    **show 3D motion**

**directivity analysis**

frequencies to highlight: 1.0 5.5 10.0 Hz    **compute**

**save-option#1: save HVSR as it is**

save HV from 0.5 to 30 Hz

save HV curve (as it is)

**picking HV or amplitude spectra**

HVSR    **pick data**

save picked HV    **compute**

**quick analysis (H-Vs/4H)**

200    average Vs (m/s) (from surface to bedrock)

20    depth of the bedrock (m)

1000    Vs of the bedrock

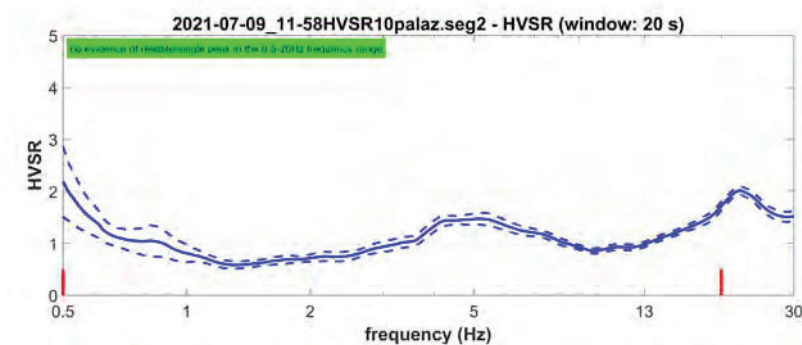
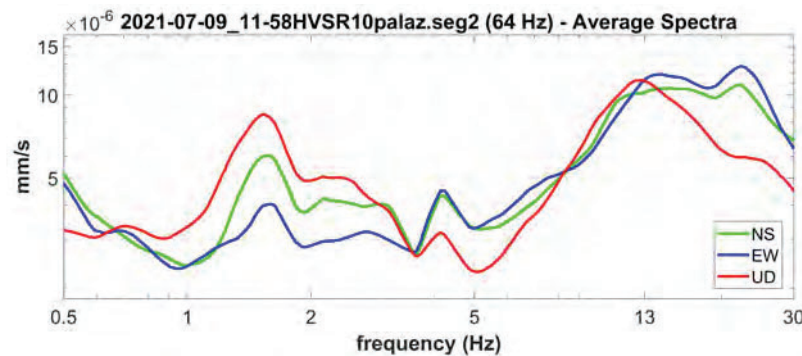
**highlight a frequency**

draw highlight    10 Hz    **upload HVSR curve**

**directivity over time**

directivity in time    time    60 s

www.winmasw.com



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

H1: OK

H2: OK

H3: OK

**Criteria for a clear H/V peak [0.5 Hz]**

H1: NO

H2: OK

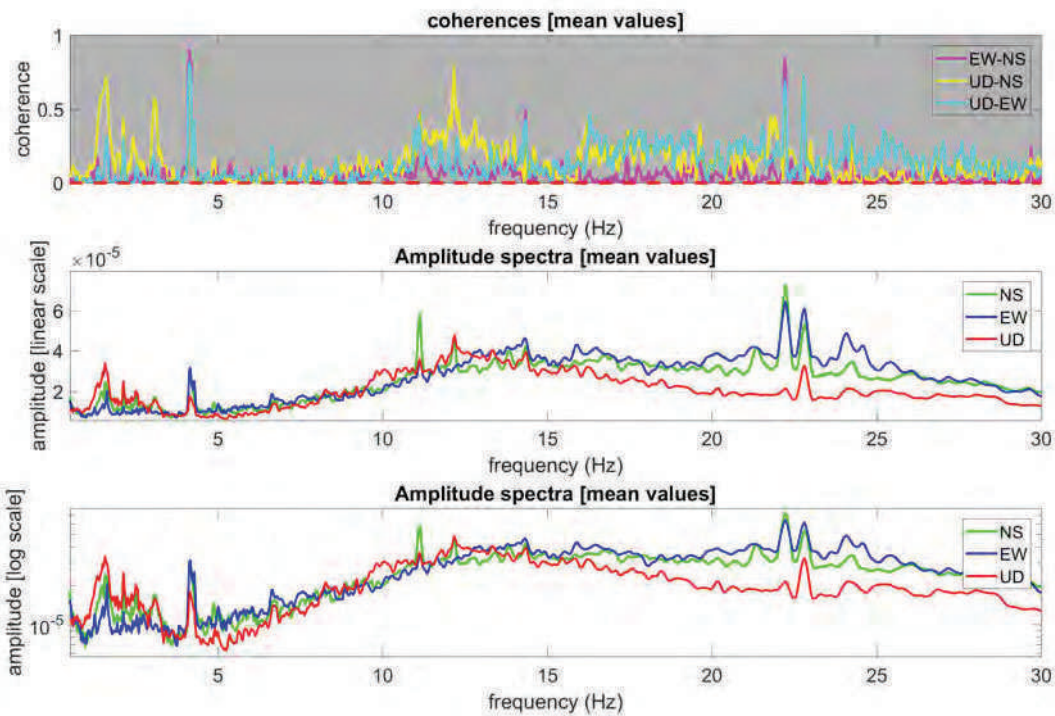
H3: OK

H4: NO

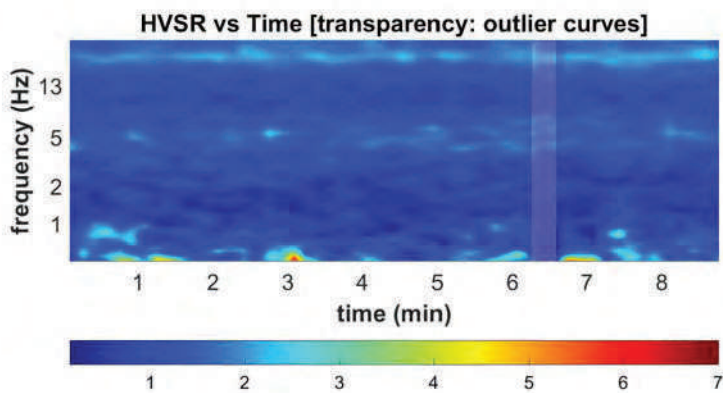
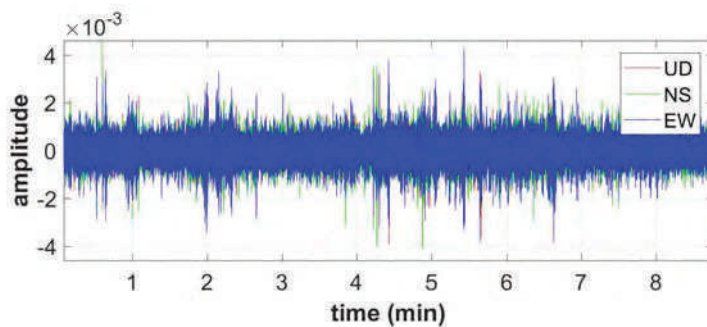
H5: NO

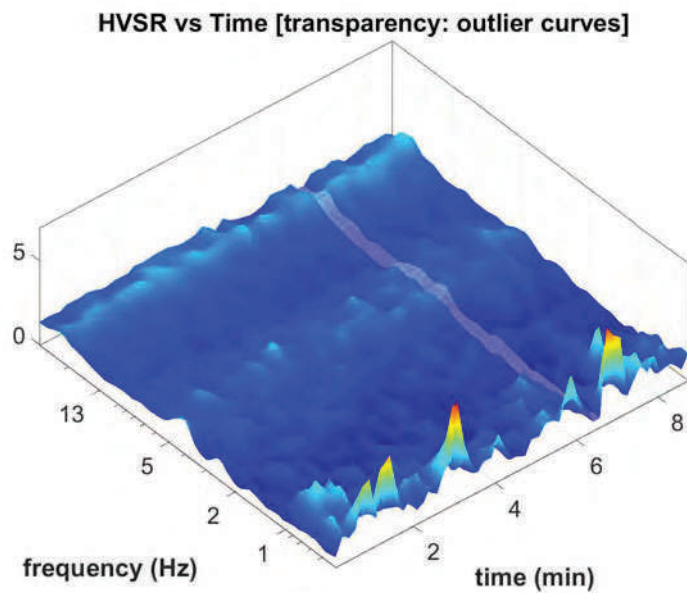
H6: NO

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

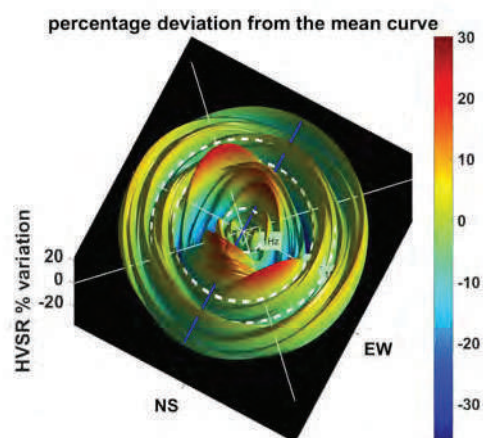
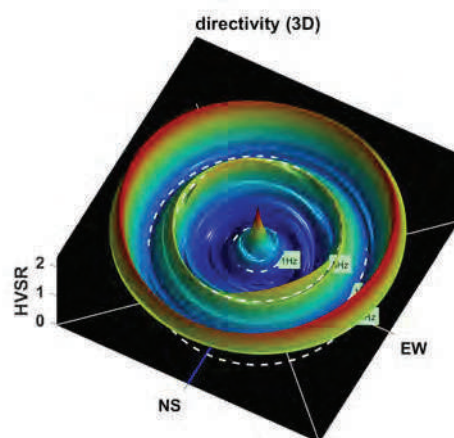
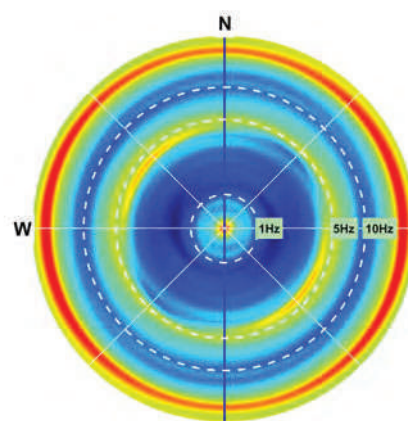
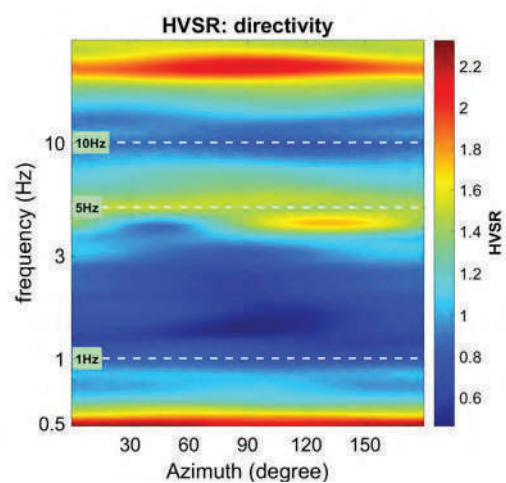


##### Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio





##### Directivity of the H/V Spectral Ratio



## HoliSurface® - Holistic Analysis of Surface Waves

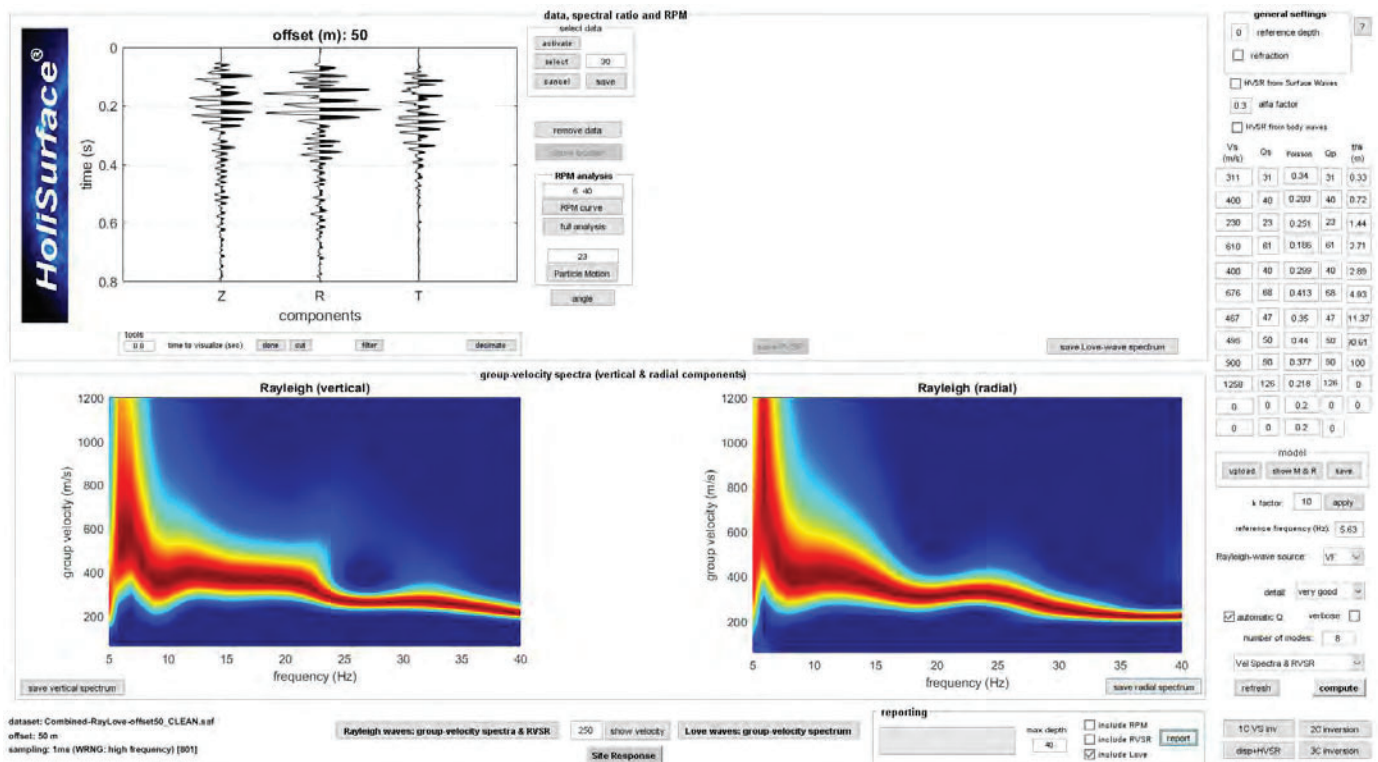
[www.holisurface.com](http://www.holisurface.com)

Date: 12/7/2021

Time: 11:58

offset: 50 m

Analysis: Rayleigh Waves



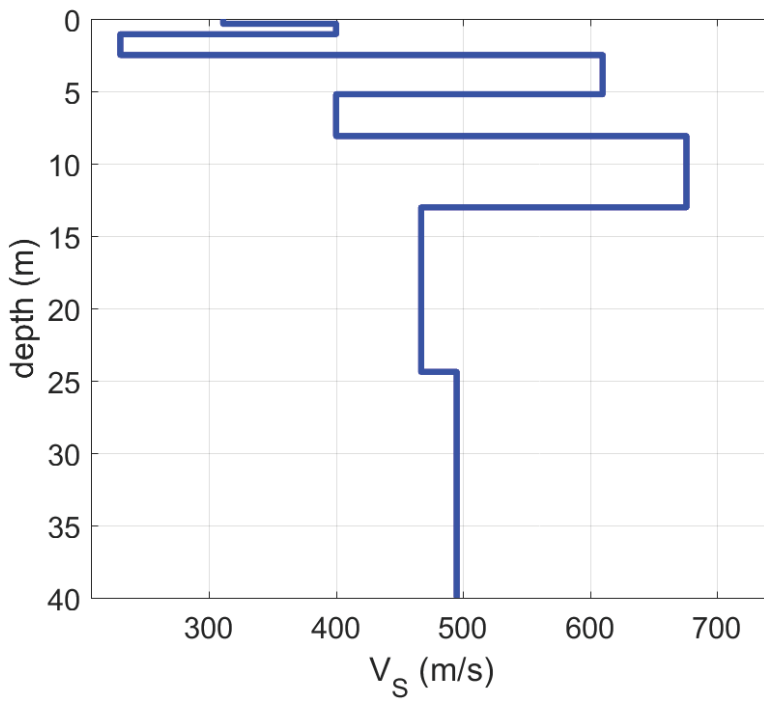
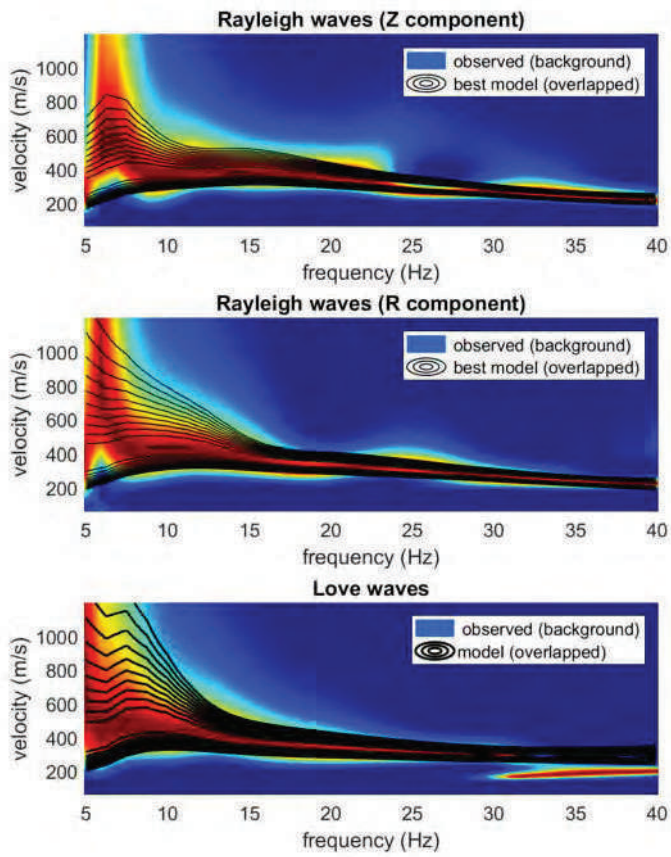
### Subsurface model

Shear-wave velocities (m/s): 311 400 230 610 400 676 467 495 900 1258

Thicknesses (m): 0.3 0.7 1.4 2.7 2.9 4.9 11.4 90.6 100.0

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 189 324 99 797 324 991 451 511 1820 3701

Vs30 and VsE @ surface (m/s): 470, 470



**Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 470 470 m/s)**

| layer | Vs (m/s) | thickness (m) | depth (m) |
|-------|----------|---------------|-----------|
| 1     | 311      | 0.3300        | 0.3300    |
| 2     | 400      | 0.7200        | 1.0500    |
| 3     | 230      | 1.4400        | 2.4900    |
| 4     | 610      | 2.7100        | 5.2000    |
| 5     | 400      | 2.8900        | 8.0900    |
| 6     | 676      | 4.9300        | 13.0200   |
| 7     | 467      | 11.3700       | 24.3900   |
| 8     | 495      | 90.6100       | 115       |
| 9     | 900      | 100           | 215       |
| 10    | 1258     | 0             | 0         |

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

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.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

## References

### HoliSurface and MAAM ###

On the efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves: Technical aspects and two comparative case studies (Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S., 2019). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 125. On-line: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726118310613>

Effective Active and Passive Seismics for the Characterization of Urban and Remote Areas: Four Channels for Seven Objective Functions (Dal Moro G., 2019). Pure and Applied Geophysics, 176, 1445-1465. Available on-line: <https://rdcu.be/bbT04>

Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra (Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017), Pure and Applied Geophysics, on-line: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00024-017-1694-8.pdf>

Single- and multi-component inversion of surface waves acquired by a single 3-component geophone: an illustrative case study (Dal Moro G. and Puzilli L.M.), Acta Geodyn. Geomater., 14, 4 (188), 431-444, online: [https://www.irms.cas.cz/materialy/acta\\_content/2017\\_doi/DalMoro\\_AGG\\_2017\\_0024.pdf](https://www.irms.cas.cz/materialy/acta_content/2017_doi/DalMoro_AGG_2017_0024.pdf)

Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics (Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017) Bulletin of the Seismological

Society of America (BSSA), 107, 51-62

Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study (Dal Moro G., Keller L., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2016), Journal of Applied Geophysics, 134, 112-124

Four Geophones for seven possible objective functions: active and passive seismics for tricky areas (Dal Moro G.) Invited presentation and Extended Abstract for the Urban Geophysics workshop of the 22nd EAGE Near Surface Geoscience conference (4-8 September 2016 - Barcelona, Spain)

Less is more: from van der Rohe to the 4-channel system for the efficient and holistic acquisition and analysis of surface waves. An urban case study. (Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2015). Proceedings of the GNGTS (Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida - ogs.trieste.it) congress (17-19 November 2015 - Trieste, Italy)

Geophysikalische In-situ-Bestimmung der Eingangsparameter in die seismischen Standortanalysen am Beispiel des Ambassador House Opfikon (Keller L., Weber T., Dal Moro G., 2015). Proceedings of the 14th D-A-CH conference of the Swiss Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Zurich, August 21-21, SIA D0255, ISBN 978-3-03732-060-0

A Comprehensive Seismic Characterization via Multi-Component Analysis of Active and Passive Data (Dal Moro G., Keller L., Poggi V., 2015), First Break, 33, 45-53

Efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves (Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N.), Proceedings of the Near-Surface EAGE 2015 congress (Turin - Italy) [having received a very high score from the reviewers, the work was invited to be published in Near Surface Geophysics]

Joint Inversion of Rayleigh-Wave Dispersion and HVSR of Lunar Seismic Data from the Apollo 14 and 16 sites (Dal Moro G., 2015), ICARUS, 254, 338-349

Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area (Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015), Appl. Geophysics, 114, 158-167

Surface Wave Analysis for Near Surface Applications (Dal Moro G., 2014), Elsevier, ISBN 978-0-12-800770-9, 252pp (theory, field practice and advanced joint analysis) [see in particular paragraphs 2.2, 7.2 and case studies #2, 6, 8, 12 and 14]

### GHM method [building vibration modes] ###

Gaussian-filtered Horizontal Motion (GHM) plots of non-synchronous ambient microtremors for the identification of flexural and torsional modes of a building (Dal Moro G., Weber T., Keller L., 2018). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 112, 243-255

Influenza della modellazione degli edifici sulla determinazione della loro vulnerabilità sismica (Sancin L., Dal Moro G., Amadio C., Romanelli F., Vaccari F., 2018). Atti convegno GNGTS 2018 (gngts.ogs.trieste.it)

## HoliSurface - Holistic Analysis of Surface Waves

[www.holisurface.com](http://www.holisurface.com)

## winMASW - Joint Analysis of Rayleigh & Love-Wave Dispersion

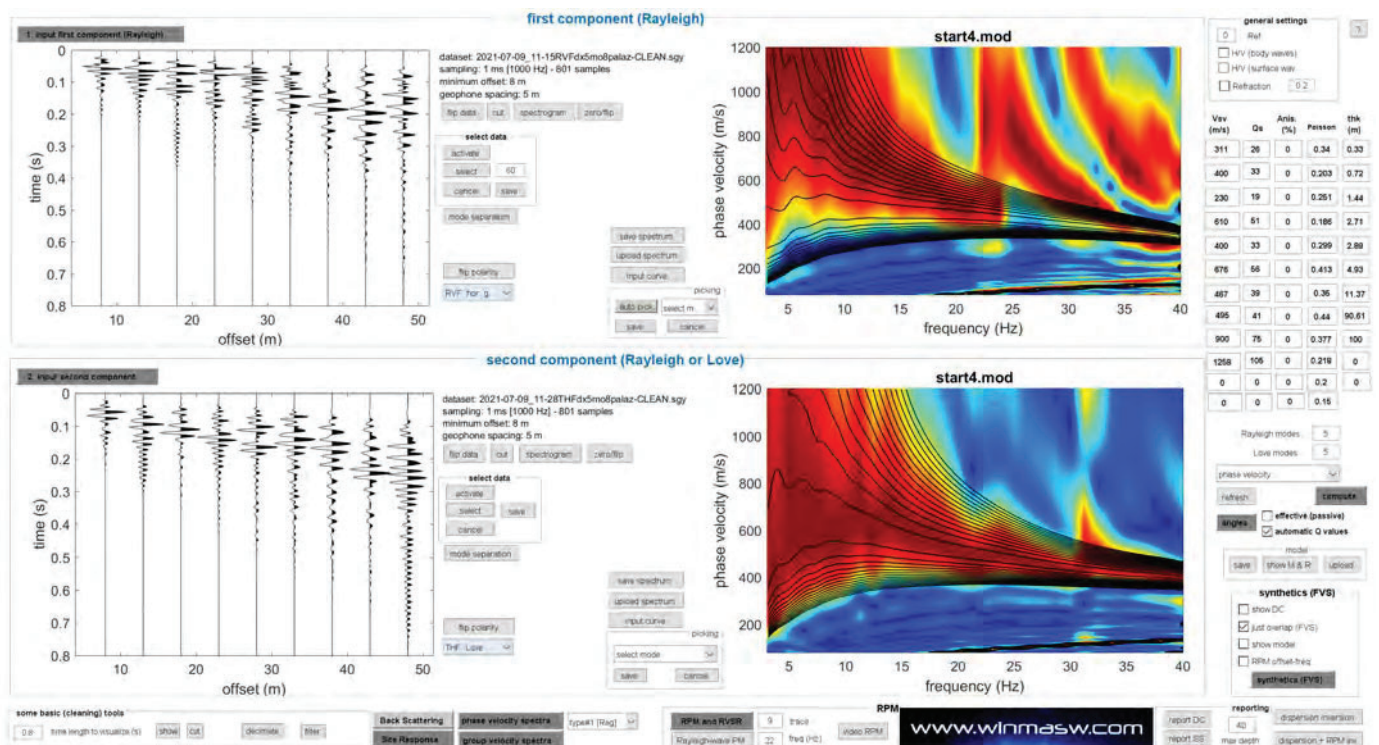
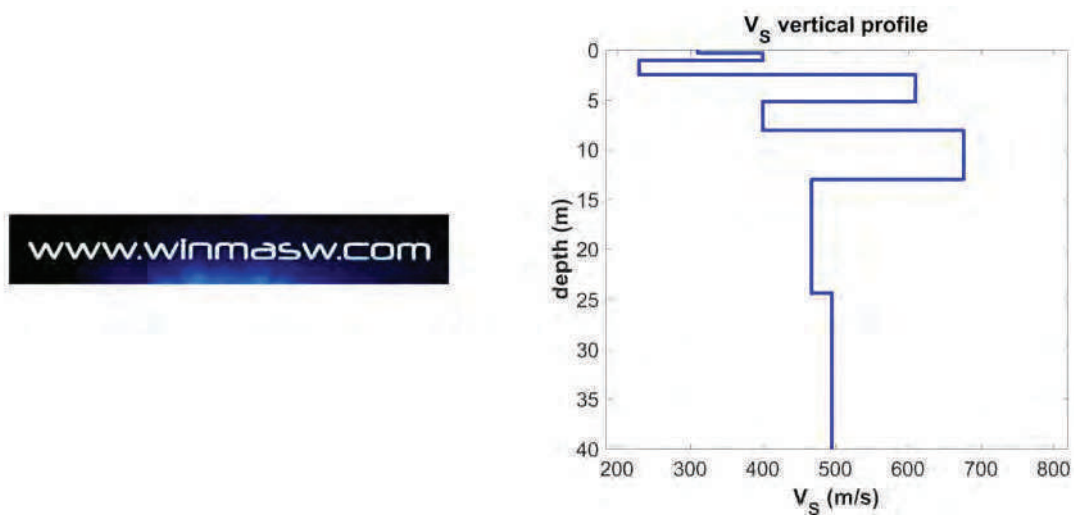
[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

Date: 12/7/2021

Time: 11:51

Rayleigh dataset: 2021-07-09\_11-15RVFdx5mo8palaz-CLEAN.sgy

Love dataset: 2021-07-09\_11-28THFdx5mo8palaz-CLEAN.sgy



Retrieved model

V<sub>sv</sub> (m/s): 311 400 230 610 400 676 467 495 900 1258

V<sub>sh</sub> (m/s): 311 400 230 610 400 676 467 495 900 1258

Thickness (m): 0.3 0.7 1.4 2.7 2.9 4.9 11.4 90.6 100.0

#### Model

| layer | Vs (m/s) | thickness (m) | depth (m) |
|-------|----------|---------------|-----------|
| 1     | 311      | 0.3300        | 0.3300    |
| 2     | 400      | 0.7200        | 1.0500    |
| 3     | 230      | 1.4400        | 2.4900    |
| 4     | 610      | 2.7100        | 5.2000    |
| 5     | 400      | 2.8900        | 8.0900    |
| 6     | 676      | 4.9300        | 13.0200   |
| 7     | 467      | 11.3700       | 24.3900   |
| 8     | 495      | 90.6100       | 115       |
| 9     | 900      | 100           | 215       |
| 10    | 1258     | 0             | 0         |

Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.96 2.03 1.88 2.14 2.03 2.17 2.07 2.08 2.25 2.34

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 189 324 99 797 324 991 451 511 1820 3701

Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0 0 0 0 0 1170

Approximate values for V<sub>p</sub> and elastic moduli (please, see manual)

V<sub>p</sub> (m/s): 631 655 399 982 747 1756 973 1512 2024 2096

Poisson: 0.34 0.20 0.25 0.19 0.30 0.41 0.35 0.44 0.38 0.22

V<sub>s30</sub> and V<sub>sE</sub> (m/s): 470 470

#### ***Pay attention***

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

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 - Depositì 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 - Depositì 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.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

**winMASW - Surface Waves & Beyond**

[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)