

**AMPLIAMENTO CIMITERO**  
**SITUATO PRESSO LA FRAZIONE DI SAN ZENO**  
 - 1° STRALCIO FUNZIONALE – PRIMO LOTTO -  
*PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO*



ELABORATI

**RELAZIONE GEOLOGICA** AI SENSI DEL D.M. 17 GENNAIO 2018  
**RELAZIONE GEOTECNICA** AI SENSI DEL D.M. 17 GENNAIO 2018

COMMITTENTE



COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI

TECNICO/I INCARICATO/I

**Dott.ssa Geol. Ilaria Mercì**

**Dott. Geol. Alberto Cò**



**Alberto Cò – Ilaria Mercì**

Geologi – Tecnici Ambientali

infocogeologi@gmail.com

via g.camuzzoni, 1 – 37138 verona

p.iva 04383630235

|        |    |             |                     |            |  |
|--------|----|-------------|---------------------|------------|--|
|        |    |             |                     |            |  |
| 0      |    |             | Gaiga               | Mercì      | Cò   |
| REV    |    | Descrizione | elaborato           | verificato | approvato  |
| CODICE | GS | 623         | NUM. ELABORATO - 01 |            | File: GS623- Relazione geologica - geotecnica.docx |
|        |    |             |                     |            | 07/07/21   |
|        |    |             |                     |            | data   |



## INDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | PREMESSA.....                                       | 3  |
| 2     | NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....                       | 4  |
| 3     | DESCRIZIONE PROGETTO.....                           | 5  |
| 4     | INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E VINCOLISTICO.....        | 6  |
| 5     | RELAZIONE GEOLOGICA.....                            | 10 |
| 5.1   | inquadramento geologico e geomorfologico.....       | 10 |
| 5.2   | inquadramento idrogeologico e idrografico.....      | 13 |
| 5.3   | inquadramento tettonico - strutturale.....          | 15 |
| 5.4   | sismicità dell'area.....                            | 18 |
| 5.5   | campagna indagini.....                              | 20 |
| 5.5.1 | prove penetrometriche dinamiche DPSH.....           | 20 |
| 5.5.2 | indagine sismica a stazione singola HVSR.....       | 23 |
| 5.5.3 | modello geologico di riferimento.....               | 25 |
| 6     | RELAZIONE GEOTECNICA.....                           | 27 |
| 6.1   | modello geotecnico locale.....                      | 27 |
| 6.2   | caratterizzazione sismica del sito progettuale..... | 27 |
| 6.3   | stima della capacità portante.....                  | 29 |
| 6.4   | stima dei cedimenti.....                            | 30 |
| 6.5   | stabilità nei confronti della liquefazione.....     | 31 |
| 7     | CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....                      | 33 |
|       | BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO.....                    | 35 |

## ALLEGATI AL TESTO

|             |  |
|-------------|--|
| ALLEGATO 1: | COROGRAFIA IN SCALA 1:5000                     |
| ALLEGATO 2: | PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI            |
| ALLEGATO 3: | PROFILO PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPSH) |
| ALLEGATO 4: | INDAGINE SISMICA A STAZIONE SINGOLA (HVSR)     |
| ALLEGATO 5: | SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA               |



Codice di Rif.: GS623

Verona, 11 luglio 2021

## 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto per l'ampliamento del cimitero sito in località San Zeno nel Comune di Colognola ai Colli, è stato condotto il presente studio geologico e geotecnico redatto ai sensi del D.M. 17/01/2018 e finalizzato:

- all'inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area di interesse progettuale;
- alla ricostruzione del modello litostratigrafico e geotecnico dei terreni costituenti il primo sottosuolo dell'area oggetto d'intervento;
- all'individuazione delle possibili problematiche di carattere geologico e geotecnico connesse all'esecuzione dell'intervento.

Lo studio è stato condotto avvalendosi di informazioni provenienti dalla bibliografia e dalla cartografia geologica esistenti, dell'esperienza maturata dagli scriventi in numerosi studi già precedentemente condotti nel medesimo contesto geologico, nonché alla luce di quanto emerso nel corso di una mirata campagna indagini condotta *in situ*.



## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla seguente Normativa di riferimento ed alle successive raccomandazioni:

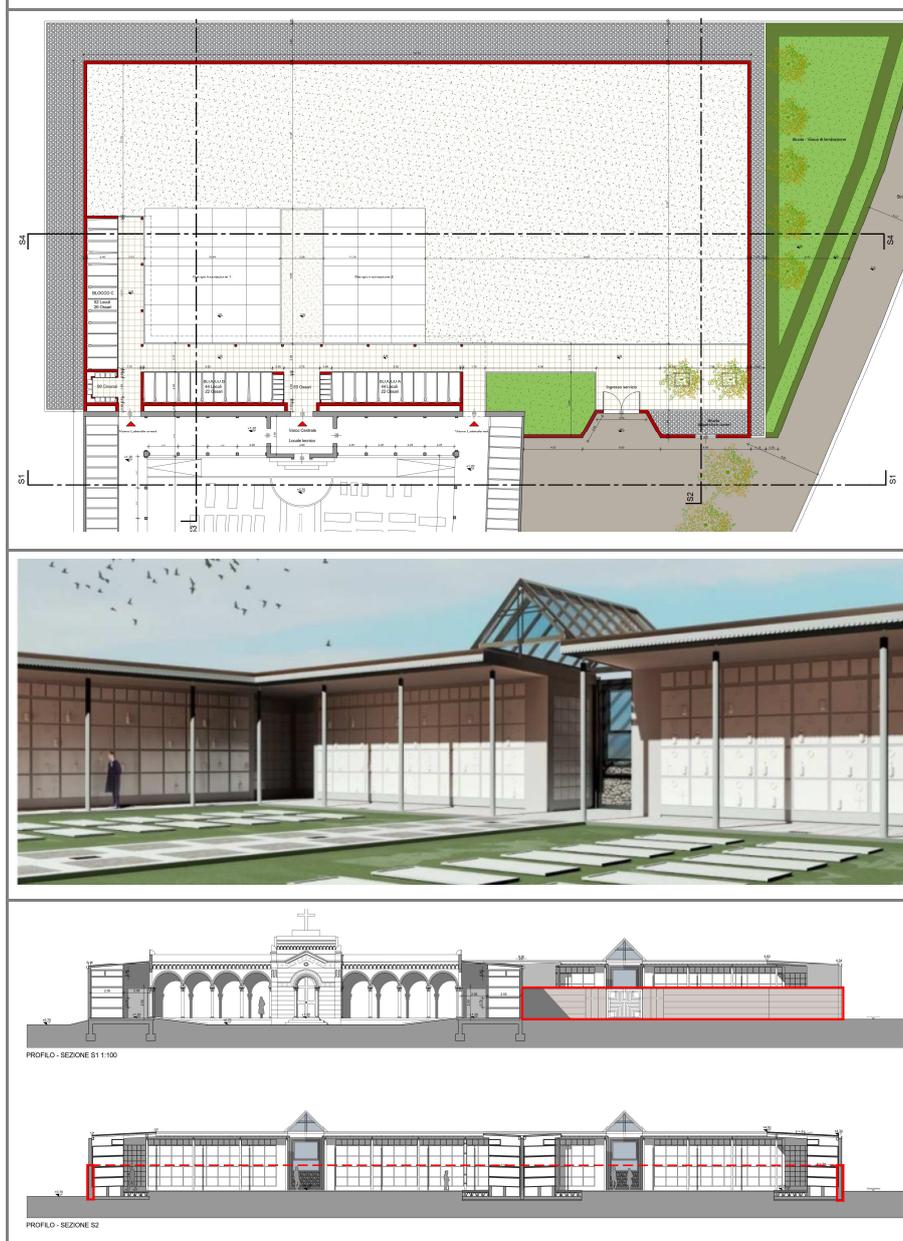
|   |
|---|
| <p>CIRC. REGIONE VENETO 30.01.1990 N. 2 - <i>Osservanza della normativa vigente sull'uso del sottosuolo ai fini edificatori e, in particolare, dell'obbligo, nei casi previsti, della Relazione geologica e della Relazione geotecnica.</i></p>   |
| <p>ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 20.03.2003 N. 3274 (G.U.08.05.2003 N. 105) - <i>Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.</i></p>  |
| <p>DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 21/07/2003 N.1435 - <i>Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del O.P.C.M. n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".</i></p>  |
| <p>DELIBERA DEL CONSIGLIO REGIONALE DEL VENETO 03.12.2003 N. 67 - <i>Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003 n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" – Approvazione della classificazione sismica e direttive per l'applicazione.</i></p> |
| <p>ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 28.04.2006 N. 3519 - <i>Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.</i></p>  |
| <p>DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE DEL VENETO 22.01.2008 N. 71 - <i>Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" – Direttive per l'applicazione. Adozione del provvedimento n. 96/CR del 7 agosto 2006.</i></p>                  |
| <p>D.M.14.01.2008 - <i>Nuove norme tecniche per le costruzioni.</i></p>   |
| <p>CIRC. MIN. 02.02.2009 N. 617 - <i>Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008.</i></p>   |
| <p>PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLA REGIONE VENETO (P.T.A.) D.G.R.V.05.11.2009 N. 107 - <i>Norme per il governo del territorio.</i></p>  |
| <p>D.M.17.01.2018 - <i>Aggiornamento alle norme tecniche per le costruzioni.</i></p>  |
| <p>CIRC. MIN. 21.01.2019 N. 7 – <i>Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.</i></p>   |
| <p>DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 09/03/2021 N. 244 - <i>Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D.Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021</i></p>   |



### 3 DESCRIZIONE PROGETTO

Il nuovo ampliamento si sviluppa in aderenza all'esistente cimitero e presenta un impianto regolare rettangolare con dimensioni di 30 x 58 m per una superficie complessiva di circa 1800 m<sup>2</sup>. Riprende la tipologia del Cimitero esistente a "chiostro colonnato" e si configura come una corte dotata di portico in corrispondenza di parte del perimetro. La corte scoperta ospita i percorsi di collegamento e due campi di inumazione mentre dal portico saranno accessibili 140 loculi, 99 cinerari (nell'angolo sud-ovest) e 70 cellette-ossari.

Fig. 1. Estratti fuori scala da elaborati progettuali (Project s.c.a.r.l.): planimetria di progetto e *rendering* stato di progetto (in basso).

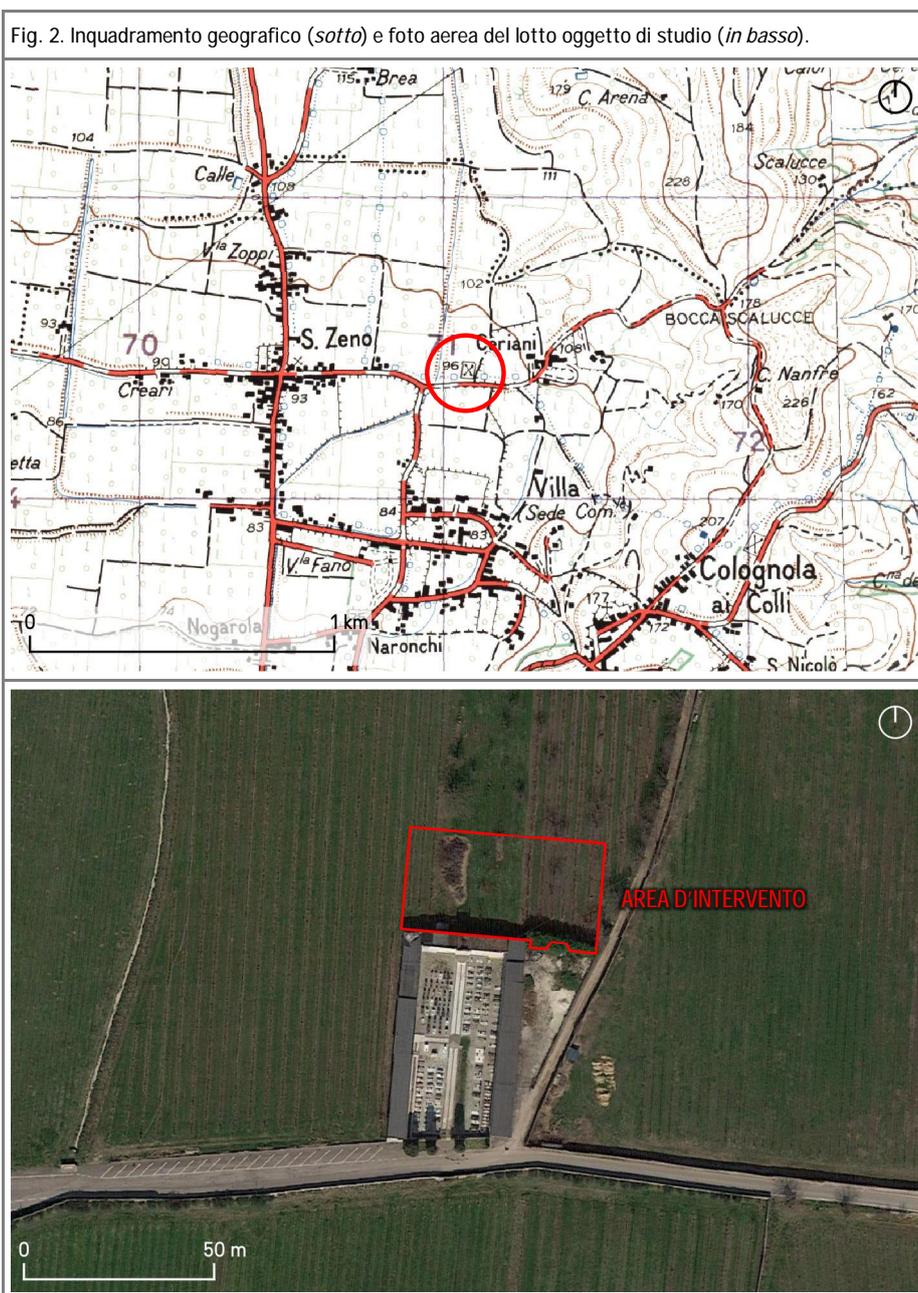


→ Alla luce degli interventi in progetto si prevedono scavi di limitata entità ragionevolmente entro il primo metro di profondità da attuale piano campagna, per lo più finalizzati alla messa in opera degli elementi fondazionali.



## 4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E VINCOLISTICO

Il sito in esame si colloca nella porzione settentrionale del territorio comunale di Colognola ai Colli, ad Est della frazione di San Zeno. Accessibile da Via Ceriani, che ne delimita il confine meridionale, il lotto ove sorge la struttura cimiteriale confina a Nord e ad Ovest con terreni di altrui proprietà coltivati a vigneto e ad Est con un piazzale sterrato.

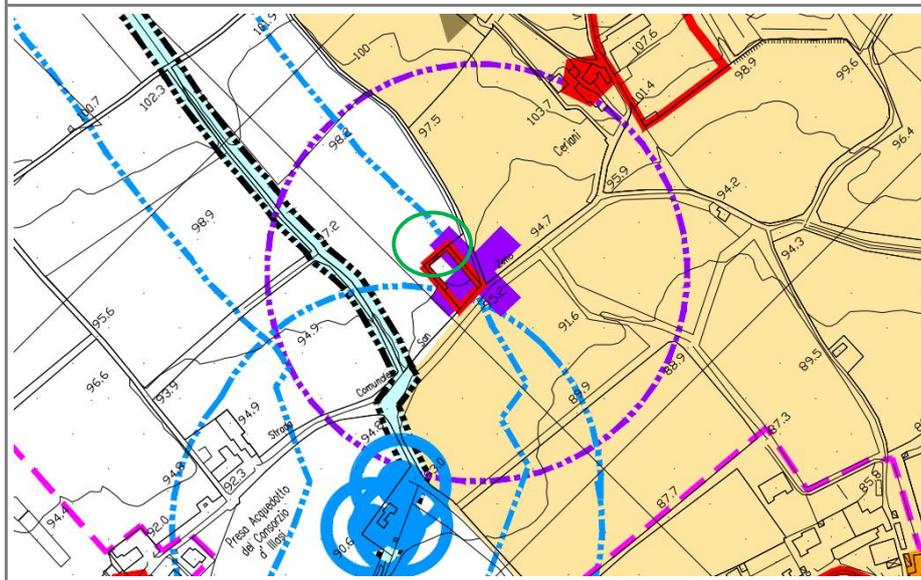


Per quanto riguarda la cartografia generale di riferimento, il territorio considerato ricade nel Foglio 49IINE tavoletta "San Martino Buon Albergo" dell'IGM alla scala 1:25.000 e nell'Elemento n.124154 ("San Zeno") della Carta Tecnica Regionale del Veneto in scala 1:5.000 di cui si allega un estratto in calce al presente elaborato (v. All. 1).



Con specifico riferimento alle tematiche di natura geologica, geotecnica ed idrogeologica connesse con il presente studio, l'analisi del Piano di Assetto del Territorio Intercomunale dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli e Lavagno e delle relative "Norme Tecniche", ha evidenziato quanto segue:

Fig. 3. Estratto dalla "Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale" del P.A.T.I., in verde l'area oggetto d'intervento.



#### VINCOLI

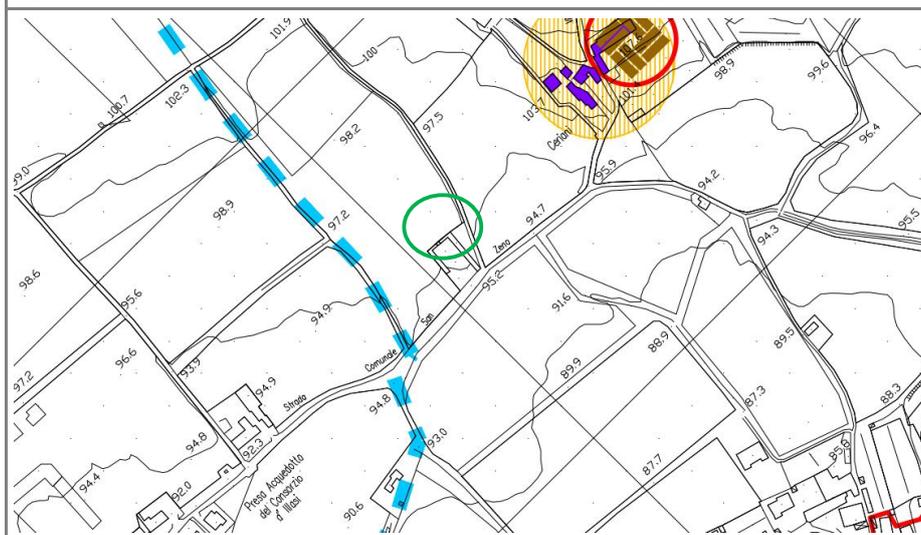
 vincolo sismico O.P.C.M. 3519/2006 e succ. mod (intero territorio) (art. 6.4)

#### FASCE DI RISPETTO E ZONE DI TUTELA

 idrografia servitù idraulica R.D. 368/1904 e R.D. 523/1904 (6.5)

 pozzi di prelievo per uso idropotabile/fasce di rispetto D.Lgs 152/2006 (6.5)

Fig. 4. Estratto dalla "Carta delle Invarianti" del P.A.T.I., in verde l'area oggetto d'intervento.



 corsi d'acqua minori (art. 8.1.1)



Fig. 5. Estratto dalla "Carta delle Fragilità" del P.A.T.I., in giallo l'area oggetto d'intervento.



 IDONEITÀ EDIFICATORIA DEI TERRENI - area idonea (art. 7.2)

 corsi d'acqua minori (8.1.1)

| TAV. | NORMA / ANALISI  |
|------|--|
| 1    | <u>Vincolo sismico</u> (art. 6.4): le recenti modifiche in termini di classificazione sismica apportate dalla D.G.R. 244/2021 indicano come l'intero territorio comunale ricada in zona sismica 2. <i>Ricordando l'obbligo di rispettare le prescrizioni normative vigenti, va detto come il lotto in esame risulti potenzialmente soggetto a fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico (vista la presenza nel primo sottosuolo di terreni diversi da suoli di categoria "A") di cui si tratterà specificamente nel Par. 6.2.</i> |
| 2    | <i>In corrispondenza dei terreni oggetto d'intervento non si segnalano ambiti territoriali caratterizzati da particolari evidenze ed unicità geologiche né invarianti di natura geologica.</i>   |
| 3    | <u>Idoneità edificatoria dei terreni (art. 7.2) - area idonea</u> : in tali aree gli interventi sono soggetti alle norme generali di tutela del rischio geologico – idraulico. <i>In tal senso il presente elaborato ha ricostruito, attraverso un attento rilievo dei luoghi ed una mirata campagna indagini, il modello geologico e geotecnico e l'assetto idrogeologico locale analizzando interferenze e compatibilità con gli interventi in oggetto.</i>  |

→ Alla luce delle evidenze emerse in fase di sopralluogo e delle indicazioni fornite dal P.A.T.I. si ritiene che non esistano vincoli o limitazioni di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico in relazione alla fattibilità dell'intervento in progetto.



# RELAZIONE GEOLOGICA

AI SENSI DEL D.M.17/01/2018

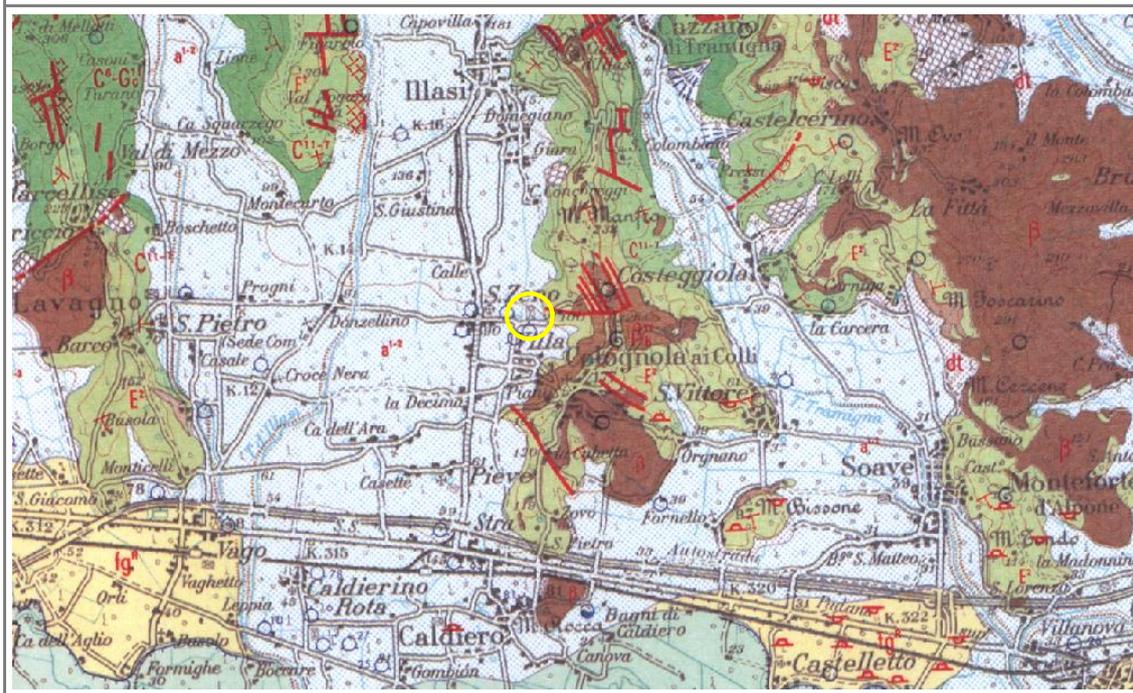


## 5 RELAZIONE GEOLOGICA

### 5.1 inquadramento geologico e geomorfologico

Per un inquadramento geologico e geomorfologico generale della porzione di territorio in cui ricade l'area d'interesse progettuale, si fa riferimento alla "Carta Geologica d'Italia" – Foglio n. 49 "Verona", di cui si riporta un estratto nella figura seguente.

Fig. 6. Estratto fuori scala dalla "Carta Geologica d'Italia" scala originaria 1:100.000 – Foglio n. 49 "Verona" con indicata in giallo l'ubicazione del sito di studio.



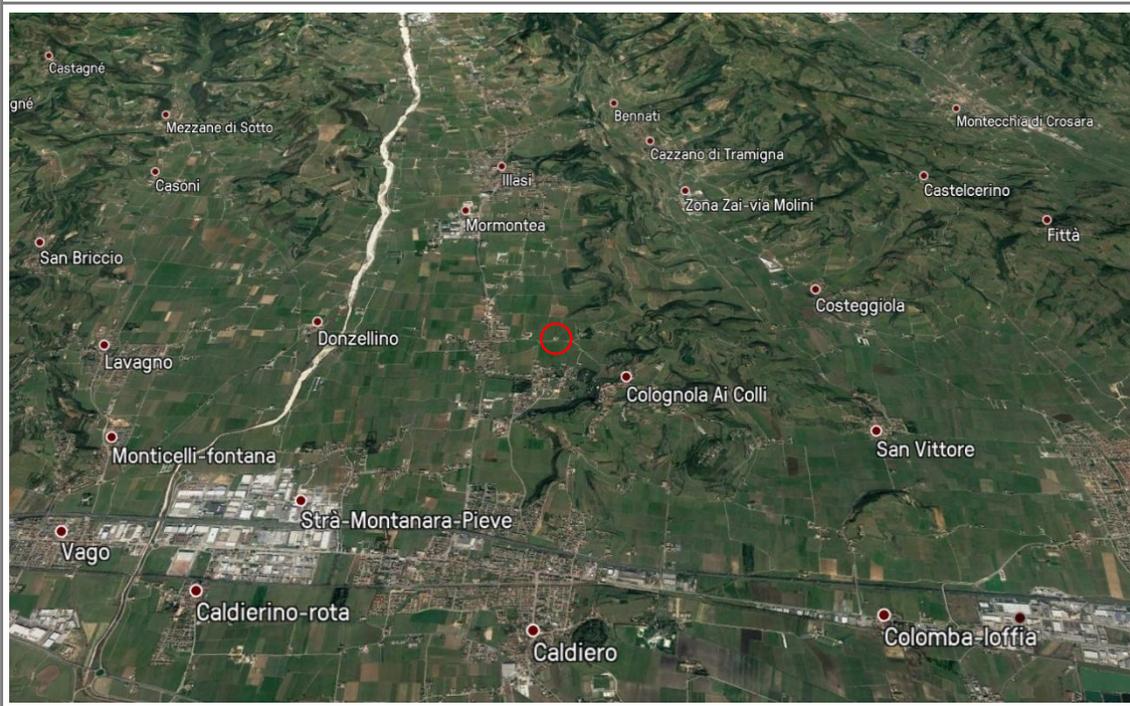
-  Alluvioni sabbioso-ghiaiose terrazzate, antiche (a<sup>2</sup>)
-  Alluvioni terrazzate grossolane e minute dell'Adige e alluvioni dei corsi d'acqua sbarrati dall'Antico Conoide dell'Adige (a<sup>1-2</sup>).
-  Alluvioni fluvio-glaciali e pluvio-fluviali (fg<sup>w</sup>) prevalentemente sabbiose, con strato di alterazione brunastro, di spessore limitato. Pluviale wurmiano(pl<sup>w</sup>) esterno all'ambito glaciale con conoidi. Würm
-  Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali (fg<sup>b</sup>), da ciottolose a ghiaiose dell'Antico Conoide dell'Adige. Riss
-  Basalti colonnari, compatti o bollosi o scoriacei o a cuscini, delle colate e dei camini vulcanici (B). Miocene Inferiore – Cretacico Superiore
-  Calcareni giallastre (E<sup>2</sup>), calcari compatti, calcari marnosi tufacei, calcari nulliporici e coralli geni. Luteziano
-  Scaglia Rossa (C<sup>11-7</sup>): calcari rossi, fittamente stratificati, fossiliferi. Maastrichtiano-Turoniano

Dal punto di vista geomorfologico generale la porzione di territorio in esame si colloca alle estreme propaggini meridionali dei Monti Lessini orientali, caratterizzati da versanti di medio-bassa acclività solcati da incisioni torrentizie più o meno pronunciate. L'aspetto attuale dei fianchi e delle dorsali è il risultato di continui processi di denudazione, carsici, gravitativi ed alluvionali, condizionati in modo determinante da fattori litologici, tettonici e strutturali.



Le maggiori evidenze geomorfologiche (v. figura seguente) sono rappresentate dalle grandi valli (tra cui la Val d'Ilasi e secondariamente la Val Tramigna) che solcano l'altipiano lessineo con direzione principale grossomodo Nord – Sud allargandosi progressivamente fino allo sbocco in pianura, mentre lateralmente alle valli principali si riconoscono numerose incisioni torrentizie di minore importanza che hanno portato alla costruzione di piccole conoidi di raccordo tra i rilievi collinari e l'ambito di fondovalle.

Fig. 7. Vista panoramica da Sud (da *Google Earth*) con ubicazione dell'area di studio (in rosso).



Più precisamente, l'area in esame è collocata in corrispondenza del settore sud - orientale della Val d'Ilasi ove questa inizia ad aprirsi alla Pianura dell'Adige, in un contesto di fondovalle racchiuso ad Ovest dalla dorsale collinare di Lavagno e ad Est dalla dorsale Illasi - Tramigna. Posto ad una quota altimetrica di riferimento di 95 m ca. s.l.m., il sito di studio si colloca in un ambito subpianeggiante seppur blandamente degradante in direzione Sud.

Il lotto presenta una morfologia regolare, ove le principali evidenze che articolavano il paesaggio originario (quali ad esempio alcuni paleoalvei secondari riferibili all'ambito del Progno d'Ilasi) sono state obliterate dagli interventi di riprofilatura operati in passato a scopo prevalentemente agricolo e successivamente edificatorio.

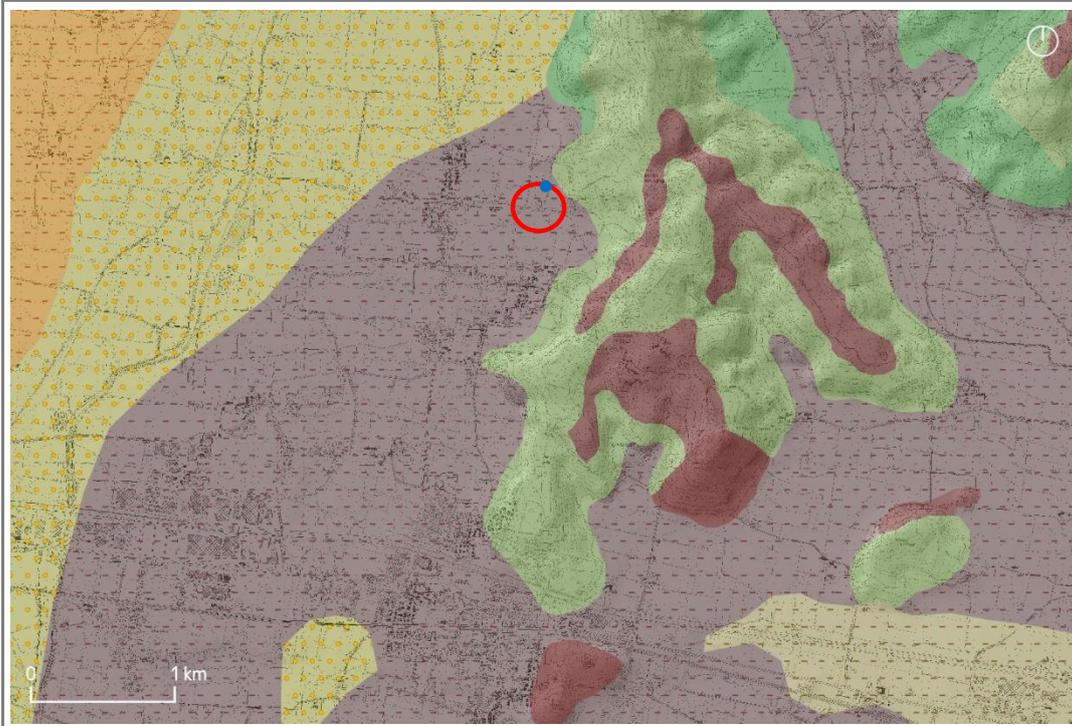
L'assetto litologico dei fondivalle lessinei è profondamente influenzato dall'interferenza tra l'azione deposizionale dell'Adige e quella di minor rilevanza dei torrenti lessinei. L'alternanza di fasi di espansione e di ritiro glaciale con le conseguenti variazioni di flusso idrico e di trasporto solido dei corsi d'acqua, ha determinato per il Fiume Adige l'accumulo in più riprese di enormi quantità di materiali allo sbocco in pianura a formare l'Antico Conoide Atesino. Lungo tutto il margine meridionale dell'ambito lessineo i depositi del conoide atesino risultano interdigitati a quelli delle alluvioni dei torrenti che solcavano l'altipiano.



Più in dettaglio va detto come i depositi dell'Adige abbiano spesso svolto un'azione di sbarramento nei confronti delle valli lessinee, talora risalendole parzialmente e determinando così la formazione di bacini ove i depositi dell'Antica Conoide Atesina prevalentemente sabbiosi / sabbioso-ghiaiosi si interdigitano con quelli depositi dai torrenti lessinei, da cui ne deriva un'alternanza di litologie miste sebbene per lo più limo sabbiose ed argillose.

Come evidenzia l'estratto cartografico riportato nella figura seguente, il primo sottosuolo in corrispondenza del sito d'intervento è rappresentato da sedimenti alluvionali a granulometria fine con limi ed argille prevalenti; le dorsali collinari limitrofe sono invece principalmente rappresentate da litotipi calcarei e calcareo arenitici, mentre poco più ad Est si rinvengono litotipi basaltici dovuti all'attività vulcaniche sviluppatasi nel Terziario soprattutto nella vicina Val d'Alpone.

Fig. 8. Carta delle litologie del Veneto (fonte: Geoportale della Regione Veneto - *shapefile* modificato). In rosso il sito di studio ed in blu l'ubicazione della stratigrafia di riferimento riportata nella tabella alla pagina seguente.



-  deposito alluvionali misti (ghiaie, sabbie, limi e argille)
-  depositi alluvionali a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie prevalenti)
-  depositi alluvionali a granulometria media (sabbie e limi prevalenti)
-  depositi alluvionali a granulometria fine (argille elimi prevalenti)
-  colate basaltiche, filoni e camini
-  ialoclastiti, tufi e brecce
-  calcari nummulitici, calcareniti
-  Scaglia Rossa
-  Maiolica



Per meglio ricostruire l'assetto litostratigrafico generale della porzione di territorio in cui ricade il sito d'interesse progettuale si è fatto riferimento a stratigrafie relative a pozzi terebrati nelle vicinanze (v. Fig. 8 e tabella seguente) e consultabili nel *database* ISPRA "Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)" le quali riportano la presenza di alternanze decametriche di depositi a composizione prevalentemente argillosa e ghiaiosa. Il substrato roccioso, di natura calcarea, risulta porsi ad una profondità superiore a 35 m da p.c.

POZZO n. 159068

"Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)" ISPRA

| PROF. (m da p.c.) | DESCRIZIONE LITOLOGIA                    |
|-------------------|--|
| 0,0 ÷ 5,0         | argilla                                  |
| 5,0 ÷ 15,0        | ghiaia                                   |
| 15,0 ÷ 35,0       | argilla                                  |
| 35,0 ÷ 125,0      | rocce con piccole fessurazioni e argilla |

→ Da un punto di vista geologico e geomorfologico, in corrispondenza del sito di studio non sono riscontrabili evidenze che indichino situazioni di particolare criticità, né sussistono fenomeni di dissesto in atto, quiescenti o in evoluzione, manifestazioni di erosione diffusa o concentrata. L'intervento in progetto non comporterà significative modifiche alla morfologia tali da incidere sulla stabilità locale e globale dei luoghi.

## 5.2 inquadramento idrogeologico e idrografico

Il contesto idrogeologico dell'area in cui ricade il sito di studio è direttamente collegato alle caratteristiche di permeabilità dei litotipi presenti, all'assetto stratigrafico – strutturale ed alla morfologia locale, fattori questi che peraltro determinano i caratteri della rete idrografica superficiale ed il deflusso delle acque meteoriche. In generale le alluvioni vallive ospitano un insieme di acquiferi sovrapposti, rappresentati da orizzonti a composizione ghiaioso – sabbiosa separati da argille e limi prevalenti.

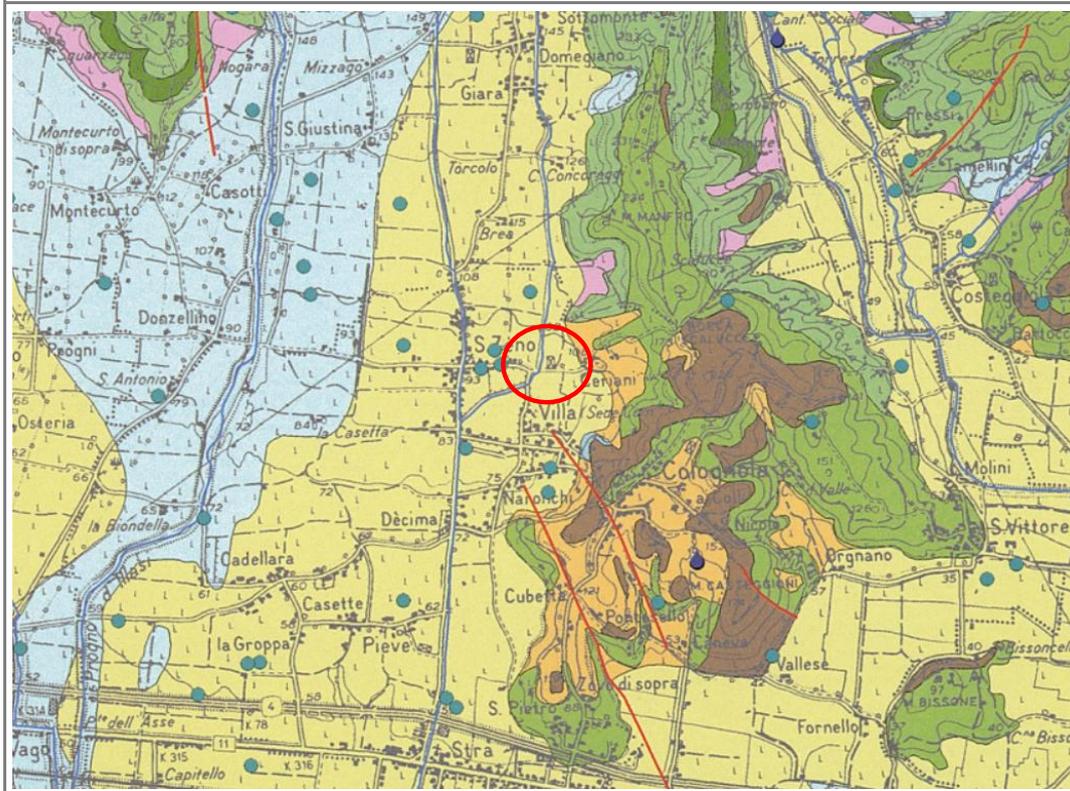
Dal punto in cui s'incontrano le valli di Illasi e Mezzane e fino all'orlo del terrazzo fluviale atesino posto a sud di Caldiero, nei depositi continentali quaternari costituenti il fondovalle è presente un acquifero alluvionale differenziato caratterizzato da una prima falda freatica e da molteplici falde confinate e semiconfinate. Nel caso in esame le informazioni raccolte concorrono nell'individuare la presenza della prima falda in corrispondenza della porzione di territorio in cui ricade il sito d'interesse progettuale, ad una profondità elevata, superiore a 50 m dal piano campagna attuale.

→ In ragione di ciò si ritiene che il livello della falda si collochi a profondità tali rispetto a piano campagna locale da non interferire in alcun modo con il sistema fondazionale delle opere in progetto.

Per quanto riguarda le caratteristiche di permeabilità dei materiali costituenti il primo sottosuolo, dall'analisi della "Carta Idrogeologica dei Monti Lessini" (v. Fig. 9 alla pagina seguente) emerge la presenza di depositi alluvionali limo - argillosi caratterizzati da una permeabilità per porosità da bassa a molto bassa.



Fig. 9. Estratto dalla "Carta Idrogeologica dei Monti Lessini" redatta nel 2006 dalla Regione Veneto nell'ambito del progetto KATER. In giallo l'ubicazione del sito di studio.



| Materiale   | Permeabilità  |
|---|---|
|  Depositi eluviali e colluviali        | Molto bassa (per porosità)  |
|  Depositi detritici e alluvionali      | Elevata (per porosità)  |
|  Depositi alluvionali limo - argillosi | Bassa - molto bassa (per porosità)  |
|  Unità calcareo - marnosa              | Media (per fratturazione)   |
|  Unità calcarea                        | Molto elevata (per carsismo e porosità)   |
|  Pozzo idrico                          |  Sorgente                        |
|  Corso d'acqua                         |  Principali lineamenti tettonici |

Da un punto di vista idrografico, l'area in esame appartiene al bacino idrografico del torrente Illasi, che scorre 2,0 km ca. ad ovest rispetto al sito di studio. In direzione sud ovest, ad una distanza di circa 120 m, scorre invece il torrente Prognolo, tributario dell'Illasi in sinistra idrografica. I corsi d'acqua della Val d'Illasi si caratterizzano per una generale esiguità della circolazione idrica superficiale attiva; essi hanno carattere effimero e si riempiono solo in occasione di precipitazioni particolarmente intense, a causa rispettivamente di un carsismo ben sviluppato che caratterizza tutto il tavolato lessineo ed a causa di una elevata permeabilità dei depositi alluvionali. Si ritiene che nonostante la vicinanza con il torrente Prognolo, l'idrografia della zona non interferisca in alcun modo con la fattibilità delle opere previste da progetto.

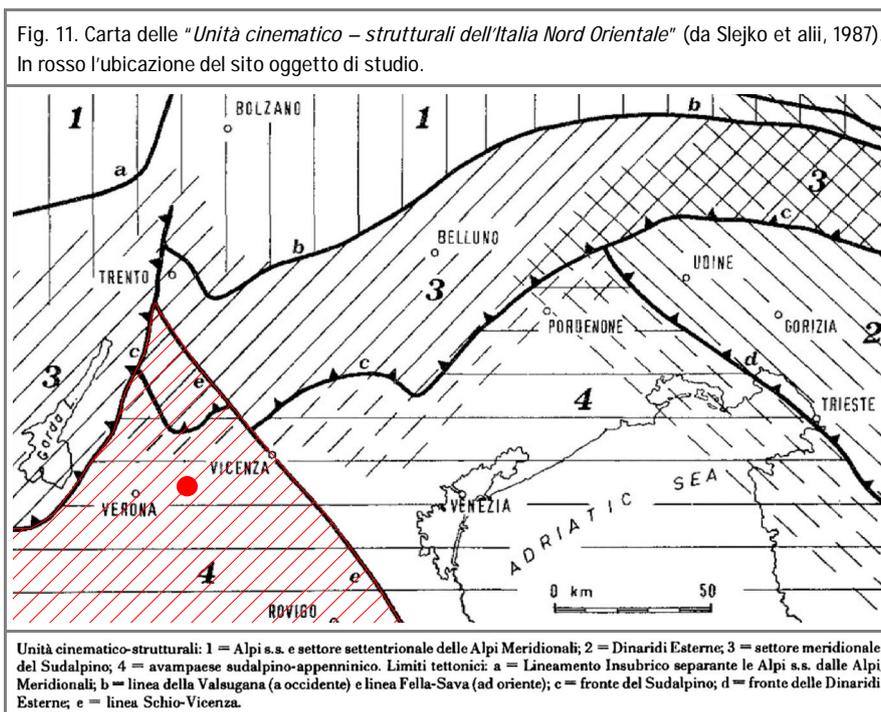


- Da un punto di vista amministrativo, il sito di studio rientra infine nell'ambito territoriale del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali e dell'Autorità di Bacino del Fiume Adige e dall'analisi della cartografia redatta nell'ambito dei rispettivi Piano di Gestione dei Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) e Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) non ricade tra le aree a pericolosità idraulica in essi individuate.
- Il sito d'intervento non si inserisce entro vallecicole o zone di concentrazione privilegiata delle acque di corrivazione superficiale. Pur in assenza di riscontri diretti, si ritiene che il deflusso superficiale avvenga in modo diffuso, senza la formazione di specifiche direzioni di scorrimento. La presenza nel primo sottosuolo di materiali a prevalente composizione fine non permette tuttavia di escludere, in concomitanza ad eventi meteorici di significativa portata, il verificarsi di locali fenomeni di ristagno idrico e/o di difficoltà di drenaggio. In ragione di ciò, sebbene si ritenga che l'intervento in esame non interferirà in modo significativo con il deflusso delle acque di corrivazione superficiale, per evitare ristagni idrici in corrispondenza del sedime di fondazione sarà comunque necessario prevedere una corretta gestione delle acque meteoriche e, di conseguenza, anche di quelle di corrivazione superficiale e d'infiltrazione.

### 5.3 inquadramento tettonico - strutturale

Sulla base della cinematica, della geodinamica e dell'evoluzione tettonica verificatesi nel Pleistocene medio - Olocene, l'Italia nord - orientale è suddivisibile in quattro unità cinematico - strutturali (Slejko et. alii. 1987 - v. Fig. 11 alla pagina seguente):

- I. Alpi e settore settentrionale delle Alpi Meridionali (Unità 1);
- II. Dinaridi Esterne (Unità 2);
- III. Settore meridionale del Sudalpino (Unità 3);
- IV. Avampaese sudalpino - appenninico (Unità 4).



Il sito in esame ricade nell'*Avampaese sudalpino - appenninico*, più precisamente nel *settore lessineo meridionale*, una sorta di apofisi padana interposta nel Sudalpino e sovrascorsa ad occidente dai sistemi di embricazione dell'area Garda – Trento; l'area è inoltre delimitata ad Est dalla linea Schio – Vicenza che funge da svincolo trascorrente rispetto alle unità alloctone orientali. In corrispondenza di tale area, che denuncia sollevamenti e deformazioni non accentuate con blando basculamento verso Sud, si raggiungono profondità ipocentrali superiori ai 20 km.

Con riferimento alla più recente suddivisione del Veneto in Distretti Sismici (v. Fig. 12 alla pagina seguente), il sito d'intervento ricade nella porzione sud - orientale dell'unità del Lessini - Schio "L", che si estende dai fronti di accavallamento più esterni del sistema delle Giudicarie Meridionali ad Ovest, fino alla Flessura Pedemontana ad Est, e comprende i Monti Lessini, la fascia della Linea Schio-Vicenza, i rilievi dei Monti Berici e dei Colli Euganei. La transizione al dominio pede-appenninico avviene nell'ambito della Pianura Padana (il limite meridionale di tale distretto è arbitrario, ove si riscontra minor sismicità). L'area è interessata da faglie prevalentemente trascorrenti, disposte Nord Ovest - Sud Est, sebbene siano mappati alcuni elementi tettonici ad andamento Est Nord Est - Ovest Sud Ovest.

Dal punto di vista neotettonico, per un inquadramento della porzione di territorio oggetto di studio si fa innanzitutto riferimento al "*Database of Individual Seismogenic Sources*" (DISS, v. 3.2.1) che riporta l'ubicazione delle sorgenti sismogenetiche così come definite sulla base di studi e dati a carattere geologico e sismico. Come visibile nell'estratto cartografico riportato in Fig. 13 alla pagina seguente, il sito d'interesse ricade esternamente alle sorgenti sismogenetiche che caratterizzano la porzione di territorio in esame.



Fig. 12. Estratto cartografico da "Distretti sismici del Veneto" (Sugan M. & Peruzza L., 2011) con indicata in blu l'ubicazione approssimativa del sito di studio.

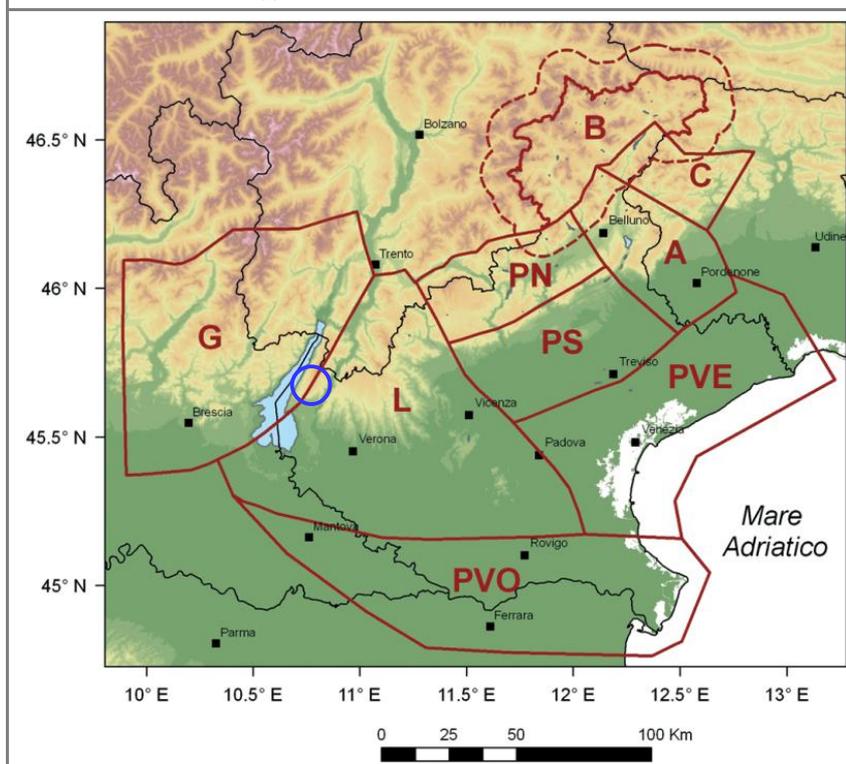
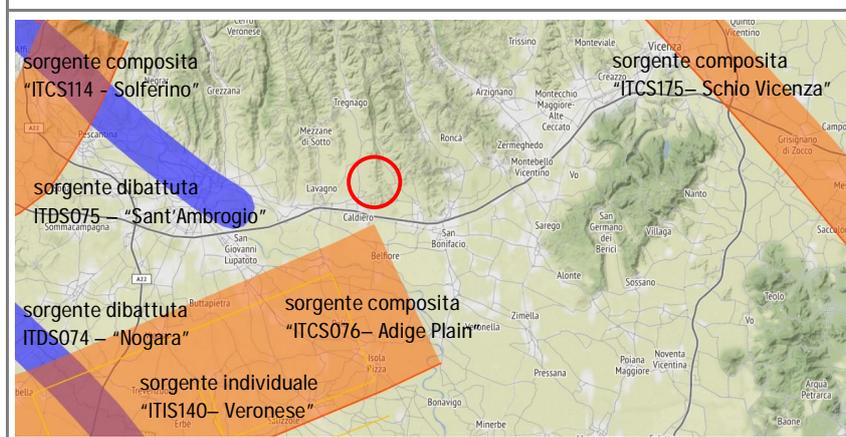


Fig. 13. Estratto cartografico fuori scala da "DISS - Database of Individual Seismogenic Sources" con indicata in rosso l'ubicazione del sito in esame.



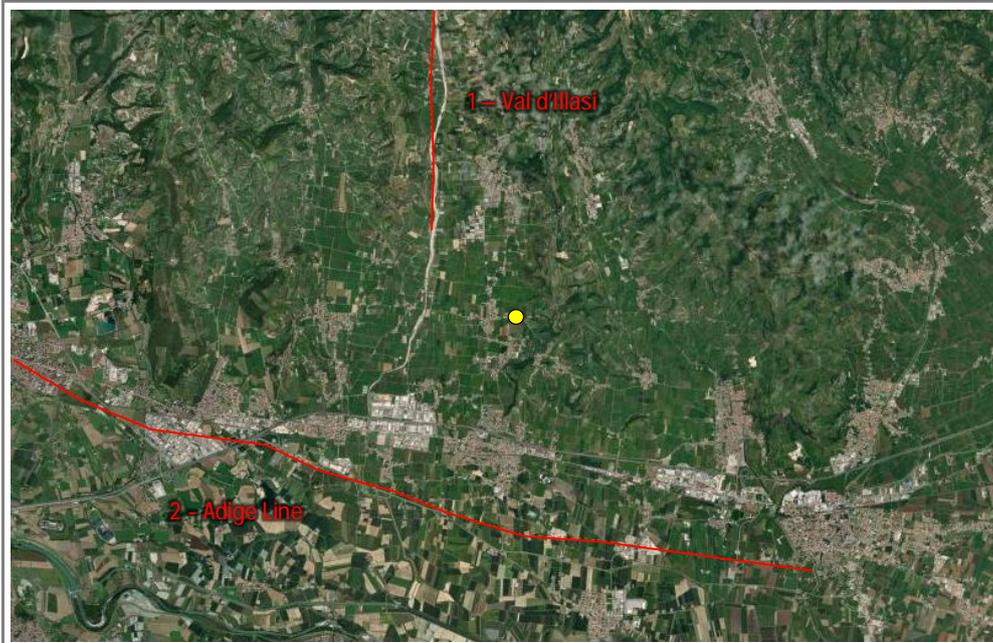
In Fig. 14 alla pagina seguente si riporta inoltre un estratto dal "Catalogo delle faglie capaci - ITHACA" redatto dall'ISPRA, che raccoglie il database delle "faglie capaci", strutture che hanno generato fagliazione superficiale negli ultimi 125.000 anni e sono ritenute in tal senso potenzialmente in grado di creare nuove deformazioni in superficie. In particolare si segnalano:

1. "Adige Line": lineamento tettonico di lunghezza pari a 30 km, orientato in senso NO – SE e collocato indicativamente lungo il margine settentrionale della fascia pedemontana veronese, ad una distanza di circa 4,6 km a Sud del sito di studio. Presenta evidenze di attività in epoca storica (< 3.000 anni fa); - *continua* -



- segue - "Val d'Ilasi": faglia di lunghezza pari a 15,1 km, è orientata in senso N-S e passa ad una distanza di 2,8 km ca. a Nord Ovest dal sito di studio. Ha fatto registrare gli ultimi segni di attività nel Pleistocene;

Fig. 14. Mappa delle "faglie capaci" presenti nei dintorni dell'area in esame (estratto dal "Catalogo delle faglie capaci - ITHACA" redatto dall'ISPRA). In giallo l'ubicazione del sito oggetto di studio.



- Sebbene la porzione di territorio in esame sia, come visto, caratterizzata dalla presenza di faglie capaci, nell'ottica di un'analisi "sito specifica", la ricerca bibliografica ed il rilievo condotto non hanno indicato evidenze riconducibili a criticità di carattere tettonico – strutturale che possano interferire in modo diretto con l'area d'interesse progettuale.

#### 5.4 sismicità dell'area

Per delineare la sismicità storica della porzione di territorio in cui ricade il sito oggetto di studio si è fatto quindi riferimento ai seguenti *database* tematici:

1. "CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C. - 1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C. - 1500)." redatto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e consultabile all'indirizzo <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/> (v. Fig. 15 alla pagina seguente): fino all'anno 1997 nella zona dei Monti Lessini Orientali circostanti l'area di studio si sono registrati numerosi sismi con magnitudo equivalente per lo più compresa tra 3 e 5, superiore solo nel caso di eventi verificatisi in Val d'Ilasi (1891), nel Veronese, nei pressi di Zevio (1117) e a Salò (1901).
2. portale dati del "Centro Nazionale Terremoti" (da <http://cnt.rm.ingv.it>) contenente il database dei terremoti registrati dal 1985 ad oggi (I.N.G.V.): recentemente in corrispondenza della regione esaminata sono stati registrati sismi di magnitudo massima fino a 4,7 (Vallarsa - TN, 1989), concentrati principalmente nella zona dell'Alta Lessinia - Pasubio, nella valle dell'Adige e tra i territori comunali di Negrar e Grezzana ad una distanza superiore ai 10 km dall'area oggetto di studio (v. Fig. 16 alla pagina seguente).

Fig. 15. Estratto dal "CFT15Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)" che riporta ubicazione e intensità epicentrale dei maggiori sismi registrati nella regione esaminata (I.N.G.V.). In blu l'ubicazione dell'area di studio.

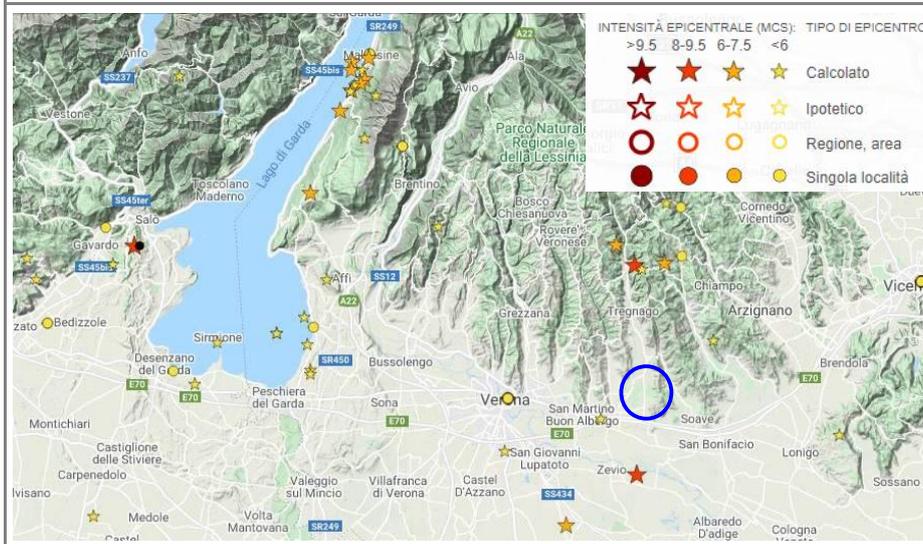


Fig. 16. Ubicazione dei sismi con magnitudo superiore a 2 registrati dal 1985 nella porzione di territorio esaminata (fonte: Centro Nazionale Terremoti – I.N.G.V.). In rosso il sito di studio.



In caso di evento sismico gli elementi morfologici e geologici che possono produrre un'amplificazione dell'onda sismica sono essenzialmente legati a:

- presenza di faglie o fratture maggiori collegate alle faglie principali;
- instabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica;
- marcate linee di cresta o bruschi cambiamenti di pendenza;
- contatti geologici che mettono a contatto terreni a differente impedenza acustica;
- presenza sui versanti di coltri detritiche o di accumuli franosi (sia attivi che quiescenti);
- vicinanza a scarpate di grande altezza soggette a fenomeni di crollo e/o rotolamento;
- presenza di falda freatica a bassa profondità con sottosuolo costituito da terreni granulari soggetti a liquefazione (sabbie fini o limi sabbiosi poco addensati).

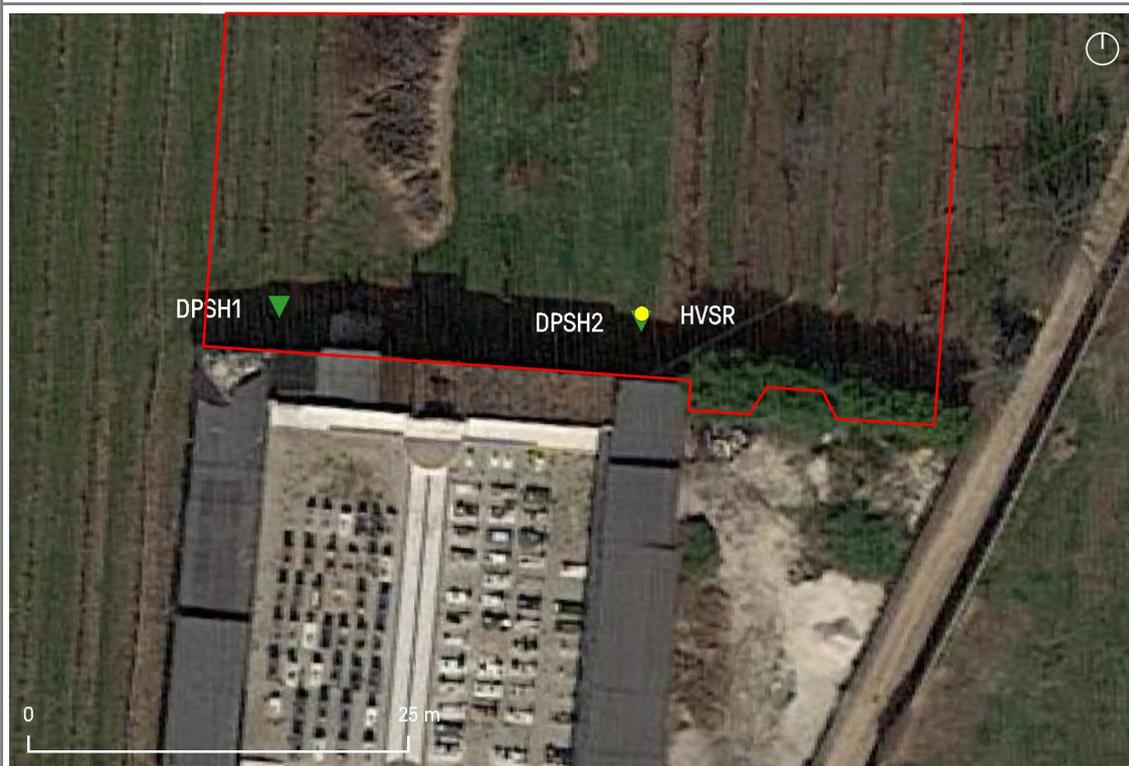
→ Con riferimento all'elenco di cui sopra il sito di progetto risulta potenzialmente soggetto a fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

## 5.5 campagna indagini

Come già anticipato in premessa, per la ricostruzione del modello geologico - geotecnico e sismostratigrafico di dettaglio il presente studio si è basato sull'esecuzione di una mirata campagna indagini condotta *in situ* (v. ubicazione nella figura seguente) attraverso l'esecuzione di:

- n. 02 prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH;
- n. 01 indagine sismica a stazione singola di tipo HVSR.

Fig. 17. Ubicazione delle indagini effettuate su base foto aerea: prove penetrometriche dinamiche DPSH (*in verde*) e indagine sismica passiva a stazione singola (*in giallo*).



### 5.5.1 prove penetrometriche dinamiche DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni *standard*, infissa per battitura nel terreno per mezzo di un idoneo dispositivo a percussione; la spinta per l'infissione delle aste viene effettuata da una massa battente di dimensioni standard in caduta libera da un'altezza costante. Si conta il numero di colpi  $N_{DP}$  necessari per fare penetrare la punta per ciascun tratto di lunghezza stabilita. La prova fornisce informazioni lungo un profilo verticale attraverso misure fisiche dirette correlabili empiricamente con numerosi parametri geotecnici. Dal numero di colpi necessari per l'avanzamento della punta è possibile risalire con una certa approssimazione alla natura dei terreni attraversati, mediante una valutazione qualitativa del grado di addensamento e della consistenza dei materiali attraversati. Per una maggiore precisione nell'esecuzione della prova è possibile l'utilizzo di tubi di rivestimento in acciaio di diametro esterno non superiore a quello della punta penetrometrica, necessari per ridurre l'attrito laterale sulla batteria principale. Dopo la penetrazione della punta la procedura prevede l'infissione del rivestimento rilevando ancora il numero dei colpi; in tale modo è possibile considerare trascurabile l'attrito laterale corrispondente alla lunghezza dell'asta infissa.



Il mezzo meccanico utilizzato per le prove è stato un Penetrometro Dinamico Superpesante (D.P.S.H.) montato su una sonda *Pagani TG 63 (200 kN)*, conforme allo standard europeo delle norme EN ISO - ISSMFE, e così costituito:

- punta conica meccanica con area di base della punta conica di 20,43 cm<sup>2</sup> (A), diametro da 51,0 mm e angolo di apertura della punta di 90°;
- peso sistema di battuta 0,63 kg;
- batteria di aste di spinta di lunghezza 1 m ciascuna;
- tubi esterni di rivestimento con scarpa sagomata e tagliente alla base;
- peso massa battente 63,5 kg (M);
- peso delle aste a metro 6,31 Kg/m (M');
- altezza di caduta libera 0,75 m (H);
- avanzamento punta 0,20 m (δ).

L'interpretazione delle prove dinamiche comprende tre tipi di approccio:

- il primo consiste nel risalire dal valore del numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica (N<sub>DP</sub>) al valore del numero dei colpi N della prova SPT;
- il secondo prevede di ricavare i valori della resistenza dinamica correlandola poi alla resistenza alla punta q<sub>c</sub> relativa alle prove penetrometriche statiche ed, infine, utilizzando la correlazione tra il valore di q<sub>c</sub> e i parametri geotecnici;
- l'ultimo consiste nel correlare i valori di N<sub>DP</sub> direttamente alla resistenza alla punta q<sub>c</sub>.

Nel caso specifico è stato utilizzato il primo approccio risalendo quindi al numero di colpi di una prova penetrometrica statica dal numero di colpi misurato dalla prova dinamica come segue:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N_{DP} \quad \text{con } \beta_t = Q / Q_{SPT}$$

$Q = (M^2 \cdot H) / A \cdot \delta \cdot (M + M')$ , energia specifica per colpo;  $Q_{SPT}$  = energia specifica riferita alla prova SPT.

Le correlazioni esistenti per tale prova permettono di stimare, nel caso dei terreni coesivi, resistenza al taglio in condizioni non drenate (c<sub>u</sub>), peso di volume (γ), peso di volume saturo (γ<sub>sat</sub>), resistenza alla punta del penetrometro statico (Q<sub>c</sub>), modulo di deformazione edometrico (M<sub>o</sub>) e stato di consistenza. Nei terreni granulari è possibile valutare stato di addensamento (densità relativa "D<sub>R</sub>"), angolo di resistenza al taglio (φ'), peso di volume (γ), peso di volume saturo (γ<sub>sat</sub>), modulo di Young (E<sub>y</sub>), modulo di deformazione edometrico (M<sub>o</sub>), modulo di Poisson (ν), resistenza alla punta del penetrometro statico (Q<sub>c</sub>) e stato di consistenza.

Come parametro caratteristico dello stato di addensamento dei terreni è stata ricavata, attraverso la formula degli "Olandesi", la resistenza di rottura dinamica alla punta "Rd":

$$Rd = (M^2 \cdot H) / [(e \cdot A \cdot (M + P))]$$

$e = \delta / N$ , numero dei colpi per avere 0,20 m di avanzamento; P = peso totale delle aste e del sistema di battuta.

Nel caso di studio sono state effettuate n. 02 prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH senza l'utilizzo di rivestimento.

Fig. 18. Foto delle postazioni delle prove penetrometriche condotte: DPSH1 (*sotto*) e DPSH2 (*in basso*).



Pur rimandando all'All. 3 per una consultazione dei profili penetrometrici ottenuti, si riportano di seguito i valori di resistenza alla punta misurati, per ogni orizzonte litologico individuato e la relativa interpretazione litologica.



DPSH1 – prof. 10,4 m da p.c.

| PROFONDITÀ<br>(m) | SPESSORE<br>(m) | N. COLPI (N <sub>20</sub> ) |     |     | INTERPRETAZIONE LITOLOGICA      |
|-------------------|-----------------|-----------------------------|-----|-----|---------------------------------|
|                   |                 | MIN                         | MAX | MED |                                 |
| 0,0 ÷ 7,0         | 7,0             | 2                           | 7   | 4,0 | ARGILLA LIMOSA ÷ LIMO ARGILLOSO |
| 7,0 ÷ 7,4         | 0,4             | 11                          | 13  | 12  | SABBIA LIMOSA                   |
| 7,4 ÷ 10,4 *      | 3,0 *           | 3                           | 5   | 4,1 | ARGILLA LIMOSA ÷ LIMO ARGILLOSO |

\* massimi profondità e spessore indagati

DPSH1 – prof. 10,4 m da p.c.

| PROFONDITÀ<br>(m) | SPESSORE<br>(m) | N. COLPI (N <sub>20</sub> ) |      |     | INTERPRETAZIONE LITOLOGICA      |
|-------------------|-----------------|-----------------------------|------|-----|---------------------------------|
|                   |                 | MIN                         | MAX  | MED |                                 |
| 0,0 ÷ 2,2         | 7,0             | 2                           | 7    | 3,7 | ARGILLA LIMOSA ÷ LIMO ARGILLOSO |
| 2,2 ÷ 3,2 *       | 0,4 *           | 19                          | RIF. | 30  | SABBIA GHIAIOSA                 |

\* massimi profondità e spessore indagati

In merito a quanto emerso in fase d'indagine si specificano i seguenti aspetti:

- entrambe le prove indicano la presenza di un primo sottosuolo rappresentato da sedimenti a composizione prevalentemente fine (argilla e limo) moderatamente consistenti. In corrispondenza della DPSH1 tali depositi risultano dotati di buona continuità verticale nonché interrotti tra le profondità di 7,0 m e 7,4 m da p.c. da un sottile orizzonte grossolano mediamente addensato, mentre nella DPSH2 si sviluppano sino alla profondità di 2,2 m da p.c. ove sottendono sedimenti grossolani addensati in corrispondenza dei quali la prova penetrometrica è andata a rifiuto strumentale.
- al termine delle prove non è stata rilevata acqua all'interno dei fori d'indagine.

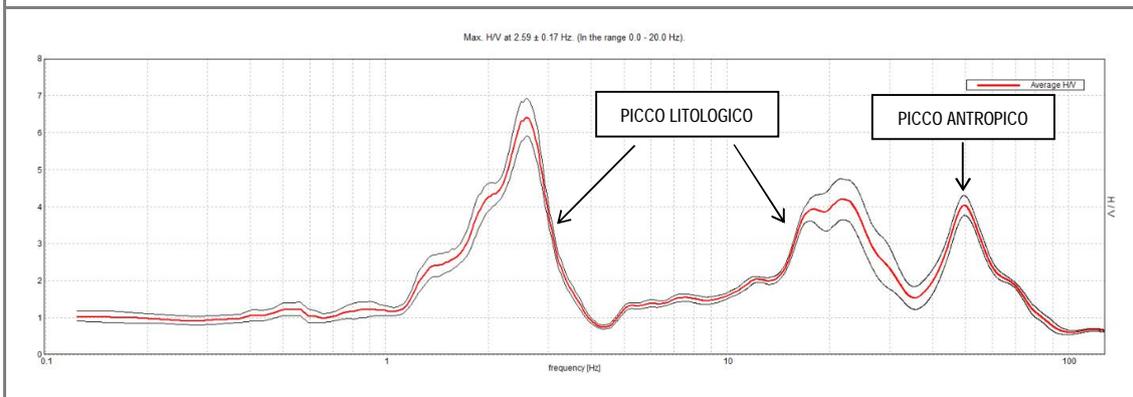
#### 5.5.2 indagine sismica a stazione singola HVSR

Pur rimandando per maggior dettaglio all'All. 4 in calce al presente elaborato si riassumono nel seguito i risultati ottenuti a seguito dell'elaborazione dei dati acquisiti nel corso dell'indagine sismica passiva di tipo H.V.S.R. condotta *in situ*. Come visibile nel grafico raffigurante il rapporto spettrale (v.Fig. 19 alla pagina seguente) emerge la presenza di due picchi che, dall'analisi degli spettri delle singole componenti e della componente direzionale, risultano entrambi di natura litologica:

- 20 Hz: passaggio litologico superficiale, riferibile ai primi orizzonti granulari intercettati in fase di prova;
  - 2,6 Hz: contratto di impedenza sismica stimato a 40 m ca. di profondità, riconducibile alla probabile presenza del substrato roccioso.
- La frequenza fondamentale di sito non è determinabile con precisione in quanto non sono sufficientemente soddisfatti i criteri del protocollo SESAME per un picco chiaro ed isolato, si ritiene tuttavia sia prossima al picco a  $f_0 = 2,6$  Hz ( $T=0,384$  s). Si consiglia al progettista di valutare con attenzione tale valore poiché ricadente nel range di interesse ingegneristico per strutture ordinarie.

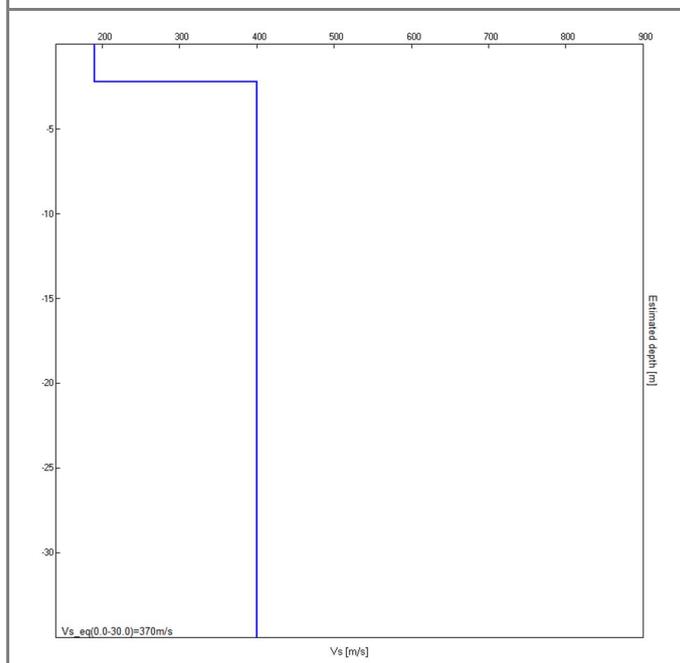


Fig. 19. Rapporto spettrale H/V misurato dall'indagine H.V.S.R. La curva spettrale *rossa* rappresenta l'andamento sismico medio registrato mentre le curve *nere* rappresentano l'intervallo di confidenza.



Il profilo sismo stratigrafico ottenuto (v. figura e tabella riportate a seguire) indica un aumento del valore di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) con la profondità. In particolare, al di sotto di un sismostrato superficiale con  $V_s$  di circa 190 m/s e spessore di circa di 2 m corrispondente a terreni prevalentemente coesivi, si riscontra un incremento delle velocità delle onde di taglio a 400 m/s fino a 40 m ca. di profondità da p.c., riferibile alla presenza di depositi alluvionali grossolani. Più in profondità le  $V_s$  medie si attestano su valori di 850 m/s (*bedrock* sismico) per la probabile presenza del substrato roccioso. Non si registrano inversioni di velocità.

Fig. 20. Andamento del valore di velocità delle onde di taglio  $V_s$  con la profondità ottenuto mediante inversione (curva migliore corrispondente ai valori di confidenza più bassi).



| PROFONDITÀ(m) | SPESSORE(m) | $V_s$ (m/s) |
|---------------|-------------|-------------|
| 0 ÷ 2,2       | 2,2         | 190         |
| 2,2 ÷ 42,2    | 40,0        | 400         |
| 42,2 ÷ inf.   | semisp.     | 850         |



Dai risultati dell'indagine condotta è stato quindi possibile ricavare la velocità equivalente delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) e conseguentemente determinare la Categoria di Sottosuolo ai sensi della normativa vigente (D.M. 17/01/2018). Nella tabella seguente si forniscono i valori di  $V_{s,eq}$  considerando varie profondità rispetto al piano campagna.

| PROFONDITÀ PIANO DI POSA DELLE FONDAZIONI | $V_{s,eq}$                                     | CATEGORIA DI SOTTOSUOLO |
|---|--|-------------------------|
| 0 m dal p.c.                              | $V_{s(0-30)} \approx 370 \text{ m/s} \pm 20\%$ | B                       |
| 1 m dal p.c.                              | $V_{s(1-31)} \approx 383 \text{ m/s} \pm 20\%$ | B                       |
| 2 m dal p.c.                              | $V_{s(2-32)} \approx 397 \text{ m/s} \pm 20\%$ | B                       |

→ Sulla base di quanto indicato nel vigente D.M. 17/01/2018 ed alla luce delle risultanze dell'indagine condotta è possibile inserire il sottosuolo del sito d'indagine nella categoria di sottosuolo "B".

### 5.5.3 modello geologico di riferimento

Sulla base delle informazioni a carattere bibliografico e cartografico raccolte e di quanto emerso nel corso della campagna indagini condotta *in situ* è possibile ricostruire il seguente modello geologico di riferimento:

| UNITÀ GEOLOGICA | SPESSORE (m) |     | DESCRIZIONE LITOLOGICA          |
|-----------------|--------------|-----|---------------------------------|
|                 |              |     |                                 |
| AL              | 2,2          | 7,0 | ARGILLA LIMOSA ÷ LIMO ARGILLOSO |
| Sg              | 0,4          | ?   | SABBIA GHIAIOSA, SABBIA LIMOSA  |
| AL              | 3,0          | ?   | ARGILLA LIMOSA ÷ LIMO ARGILLOSO |
| SR              | -            |     | SUBSTRATO ROCCIOSO CALCAREO     |

Pur rimandando all'All. 5 in calce al presente elaborato si specifica quanto segue:

- il primo sottosuolo in corrispondenza del sito in esame risulta rappresentato da sedimenti prevalentemente fini a composizione argillosa e limosa dotati di media consistenza. Tali depositi risultano caratterizzati da buona continuità laterale, mentre in profondità si riscontrano lenti ed orizzonti ghiaiosi - sabbiosi discontinui, ragionevolmente in parte connessi all'interferenza con dinamiche legate alla presenza dei vicini versanti collinari;
- sebbene in fase d'indagine non sia stata rilevata la presenza d'acqua all'interno dei fori di prova, si ritiene di non poter aprioristicamente escludere una certa circolazione idrica sotterranea ad alimentazione meteorica entro i sedimenti sabbioso - ghiaiosi individuati;
- sulla base dei dati a disposizione, il substrato roccioso risulta attestarsi ad una profondità superiore a 35 ÷ 40 m, sotteso dalle alluvioni infravallive;
- in ragione della variabilità laterale riscontrata, all'apertura degli scavi si renderà necessario porre la dovuta attenzione nel verificare caratteristiche ed omogeneità del materiale che andrà a rappresentare sedime di fondazione.



# RELAZIONE GEOTECNICA

AI SENSI DEL D.M.17/01/2018



## 6 RELAZIONE GEOTECNICA

### 6.1 modello geotecnico locale

Con riferimento al modello geologico di riferimento già in precedenza ricostruito (cfr. Cap. 5) si fornisce la seguente parametrizzazione geotecnica, nel caso specifico rappresentato dalle medesime unità distinte su base stratigrafica.

| UNITÀ GEOTECNICA | DESCRIZIONE LITOLOGICA          | COMP.   | $\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\phi'$ (°) | $c_u$ (kPa) | $M_o$ (MPa) | $E$ (MPa) |
|------------------|---------------------------------|---------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| AL               | ARGILLA LIMOSA ÷ LIMO ARGILLOSO | coesivo | 17,5 ÷ 18,0                         | -           | 45 ÷ 75     | 5 ÷ 7       | -         |
| Sg               | SABBIA GHIAIOSA/SABBIA LIMOSA   | incoer. | 19,0 ÷ 20,0                         | 33 ÷ 36     | -           | 30 ÷ 50     | 40 ÷ 60   |

$\gamma_{nat}$  peso di volume;  $\phi'$  angolo d'attrito,  $c_u$  coesione non drenata,  $M_o$  modulo edometrico,  $E$  modulo elastico

Con specifico riferimento al modello geotecnico di cui sopra, si sottolinea quanto segue:

- i depositi prevalente fini risultano dotati di un medio grado di consistenza e di modeste/discrete proprietà geotecniche;
- gli orizzonti granulari sono rappresentati da sedimenti da mediamente a ben addensati di buone proprietà geotecniche.

### 6.2 caratterizzazione sismica del sito progettuale

In riferimento alla recente modifica alla classificazione sismica dei comuni del Veneto introdotta dalla D.G.R. 244/2021, il Comune di Colognola ai Colli è inserito in zona 2. Detto ciò, la normativa nazionale definisce la *pericolosità sismica di base* del sito di costruzione in termini di accelerazione massima orizzontale attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido ( $V_s > 800$  m/s) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di superamento ( $P_{vR}$ ), in funzione del periodo di riferimento  $V_R$ . Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 (e confermato dal D.M. 17/01/2018) la stima di tale parametro viene definita mediante un approccio "*sito dipendente*" e non più tramite un criterio "*zona dipendente*". Infatti, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. del 14/01/2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra quattro punti della griglia di accelerazioni ("*reticolo di riferimento*") tramite media pesata, utilizzando la formula riportata alla pagina seguente.

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

$p$  valore del parametro di interesse nel punto in esame;  
 $p_i$  valore del parametro di interesse nell' $i_{esimo}$  punto della maglia elementare contenente il punto in esame;  
 $d_i$  distanza del punto in esame dall' $i_{esimo}$  punto della maglia suddetta.

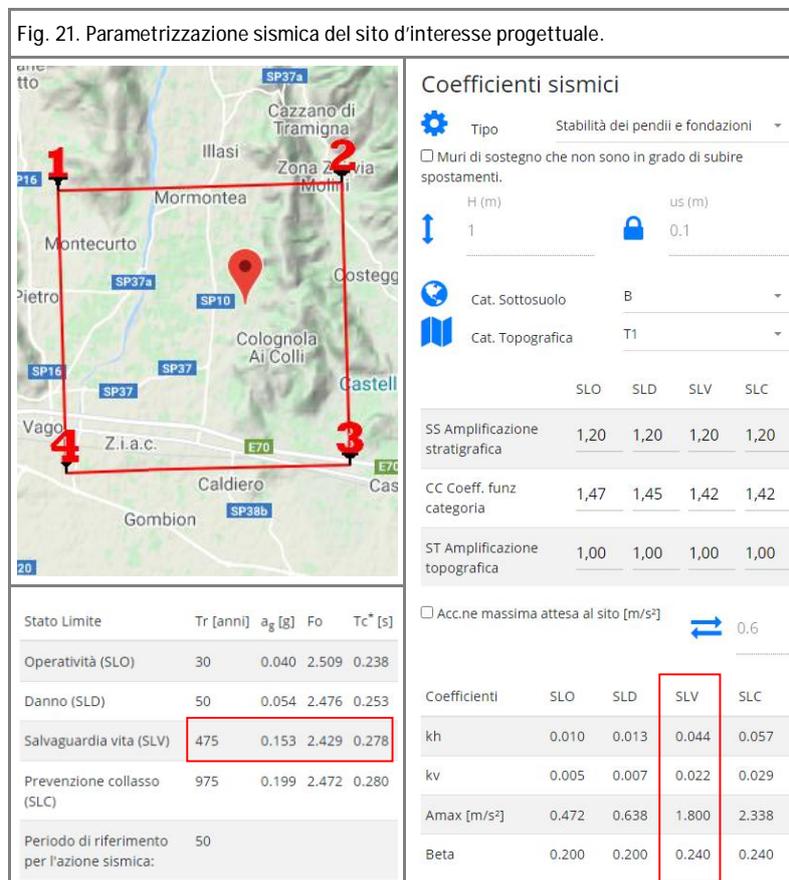
Si otterranno così i seguenti parametri spettrali:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



Sulla base dell'orografia generale del territorio esaminato e considerato l'effetto morfologico sulla risposta sismica locale, si ritiene che il coefficiente di amplificazione topografica possa essere posto pari a:  $S_T = 1,00$  (categoria topografica "T1": superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ). Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la normativa definisce varie categorie di "sottosuolo di fondazione" secondo cui il sottosuolo locale viene classificato sulla base delle specifiche caratteristiche geotecniche. Queste categorie, correlate alla specifica accelerazione orizzontale su suolo di categoria A ( $a_g$ ) definiscono le azioni sismiche di progetto. Alla luce dei risultati dell'indagine sismica condotta *in situ* è possibile inserire il sito di progetto nella categoria di sottosuolo di fondazione denominata "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 e 800 m/s", da cui un parametro  $S_s = 1,20$ .

Nel presente caso di studio i parametri spettrali caratteristici sono stati valutati considerando una classe d'uso II (costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali) ed una vita nominale  $V_N \geq 50$  anni. In tali ipotesi il coefficiente d'uso  $C_U = 1,00$  da cui deriva un periodo di riferimento  $V_R = 50$  anni. In riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), [definito come condizione in cui "a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali"], considerando una probabilità di superamento  $P_{V_R}$  del 10% nel periodo di riferimento  $V_R$  pari a 50 anni cui corrisponde un tempo di ritorno di 475 anni, sono stati calcolati i parametri di progetto riportati nella figura seguente.





### 6.3 stima della capacità portante

Alla luce del modello geologico e geotecnico ricostruito nelle pagine precedenti e tenendo presenti le caratteristiche degli interventi in progetto (cfr. Cap. 3), per il calcolo della capacità portante è stato ipotizzato quanto segue:

- quale sedime di fondazione è stato considerato il materiale ascrivibile all'unità "AL", dotato di media consistenza e di modeste/discrete proprietà geotecniche, parametrizzato come segue:

| UNITÀ GEOTECNICA | DESCRIZIONE LITOLOGICA          | COMPORAMENTO | $\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $C_u$ (kPa) |
|------------------|---------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------|
| AL               | ARGILLA LIMOSA ÷ LIMO ARGILLOSO | coesivo      | 17,5                                | 60          |

- la stima della capacità portante è stata effettuata ipotizzando fondazioni dirette del tipo "a platea" secondo le seguenti caratteristiche dimensionali:

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| TIPOLOGIA DI FONDAZIONE  | platea  |
| LUNGHEZZA FONDAZIONE (L) | 25,82 m |
| LARGHEZZA FONDAZIONE (B) | 5,35 m  |
| INCASTRO FONDAZIONE (D)  | 0,25 m  |

- alla luce dell'assetto idrogeologico ricostruito e della limitata profondità di scavo ipotizzabile da progetto i calcoli sono stati eseguiti considerando il sedime in assenza d'acqua.

*Pur non conoscendo l'esatta entità dei carichi, in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 ed in considerazione della tipologia di opere in progetto si fornisce di seguito una stima della portanza del terreno utilizzando il metodo degli stati limite. Il caso discusso nel presente lavoro rientra nell'ambito delle verifiche di tipo GEO, ed in particolare di quella relativa al collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno, ritenuta significativa in relazione alle caratteristiche delle opere in progetto ed al modello geologico – geotecnico ricostruito. Come indicato nel Cap. 6.4.2.1. del D.M. 17/01/2018, la verifica è effettuata applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2.*

Per il calcolo vero e proprio della capacità portante del terreno si è adottato il metodo di Brinch Hansen (1970) secondo cui il valore limite di portanza, nel caso di terreni a comportamento coesivo (angolo di attrito  $\varphi$  uguale a zero), il carico verticale e il piano campagna e di fondazione siano orizzontali, è espresso da:

$$q_{lim} = c_u N_c s_c + \gamma_1 D$$

$q_{lim}$  = capacità portante limite del terreno

$c_u$  = coesione non drenata del terreno su cui poggia la fondazione

$\gamma_1$  = peso di volume del terreno posto sopra il piano di posa

$D$  = profondità di posa della fondazione

$N_c$  è un fattore adimensionale di portanza, nel caso specifico pari a 5,14;

$s_c$  è un fattore di forma così definito:  $s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$  (dove:  $N_q = 1$  per  $\varphi' = 0$ )



Nella tabella seguente vengono infine riportati i valori di portanza di progetto ( $R_d$ ) per il confronto con il valore di progetto delle azioni ( $E_d$ ):

| APPROCCIO | COMBINAZIONE | $Q_{SLU}$             |
|-----------|--------------|-----------------------|
| 2         | A1+M1+R3     | 141 kN/m <sup>2</sup> |

→ Pur ribadendo il carattere indicativo dei valori sopra riportati, il calcolo della capacità portante ha permesso di confermare l'idoneità dei terreni di fondazione a supportare una tipologia costruttiva corredata da fondazioni dirette (nello specifico a "platea").

Ciò detto, si evidenzia quanto segue:

- sarà necessario verificare i calcoli alla luce delle effettive sollecitazioni indotte e delle reali geometrie fondazionali previste;
- all'apertura degli scavi sarà inoltre necessario verificare la corrispondenza di quanto indicato in termini di assetto litostratigrafico locale verificando in particolare natura, spessore, omogeneità nonché grado di compattazione ed addensamento del terreno che andrà a costituire sedime di fondazione;
- qualora all'apertura degli scavi si rilevasse la presenza di un sedime fondazionale disomogeneo o di inidonee caratteristiche, si suggerisce di approfondire gli scavi fino a raggiungere materiale idoneo in modo da fondarvi direttamente o per portarsi a quota fondazioni attraverso la stesa di uno strato di materiale (ad es. magrone) di idonee caratteristiche.

#### 6.4 stima dei cedimenti

Dal momento che il sedime di fondazione è rappresentato da terreni a comportamento coesivo si è ritenuto opportuno stimare i cedimenti con i metodi di Terzaghi, considerando il modulo di deformazione ricavato dalle prove penetrometriche effettuate, e di Boussinesq per la stima delle tensioni indotte dalla fondazione che semplifica il terreno come un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo. Il cedimento totale è dato da:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \Delta z_i \frac{\Delta \sigma_i}{E_{d_i}}$$

$\Delta z_i$  = spessore dello strato i-esimo in cui è diviso lo strato compressibile;  
 $\Delta \sigma_i$  = pressione indotta dalla fondazione alla profondità  $z$ ;  
 $E_{d_i}$  = modulo in condizioni edometriche relativo allo strato i-esimo.

Eseguite in quella porzione di sottosuolo che rientra nel "volume significativo", ove l'incremento di tensione verticale  $\Delta P_v$  provocato dal carico in fondazione è superiore al 10% della tensione litostatica efficace (Lancellotta), le verifiche condotte si sono basate sulle seguenti ipotesi di calcolo:

- il modello geotecnico di riferimento e le geometrie fondazionali sono le medesime già indicate nei paragrafi precedenti;
- assetto stratigrafico e valori di modulo di deformazione ricavati dalla prova penetrometrica DPSH1;
- un carico di esercizio ipotizzato pari 70 kPa al lordo dei carichi litostatici.



Nella tabella seguente si riportano quindi i dati utilizzati per il calcolo ed il risultato ottenuto.

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| TIPO DI FONDAZIONE                 | platea                                    |
| DIMENSIONAMENTO FONDAZIONE (L x B) | 25,82 x 5,35 m                            |
| PROFONDITÀ PIANO DI POSA (H)       | - 0,8 m da quota terreno                  |
| PRESSIONE DI CONTATTO ( $C_b/A'$ ) | 56 kPa (al netto dei carichi litostatici) |
| cedimento totale " $\Delta h$ "    | 4,7 cm                                    |

In merito a quanto sopra si espongono le seguenti considerazioni:

- legati alla consolidazione della frazione coesiva i cedimenti massimi calcolati risultano pari a 4,7 cm;
- in virtù della disponibilità di dati acquisiti indirettamente senza specifiche analisi di laboratorio e delle assunzioni imposte dal metodo di calcolo e d'indagine utilizzato, il risultato ottenuto è tuttavia da considerarsi indicativo e qualitativo del potenziale assetamento;
- al fine di limitare i cedimenti, evitare possibili cedimenti differenziali favorendo contestualmente la migliore ripartizione dei carichi, in fase esecutiva sarà opportuno ancorché necessario:
  - ✓ verificare con attenzione all'apertura degli scavi, la corrispondenza di quanto indicato in termini di assetto litostratigrafico locale verificando natura, spessore, omogeneità nonché grado di compattazione ed addensamento del terreno che andrà a costituire sedime di fondazione;
  - ✓ raggiungere un idoneo sedime fondazionale e predisporre il piano di posa costipandolo al fine di limitare l'inevitabile disturbo dato dalle fasi di scavo e regolarizzandolo attraverso la stesa di uno strato di materiale (ad es. magrone) di idoneo spessore ed adeguate caratteristiche.

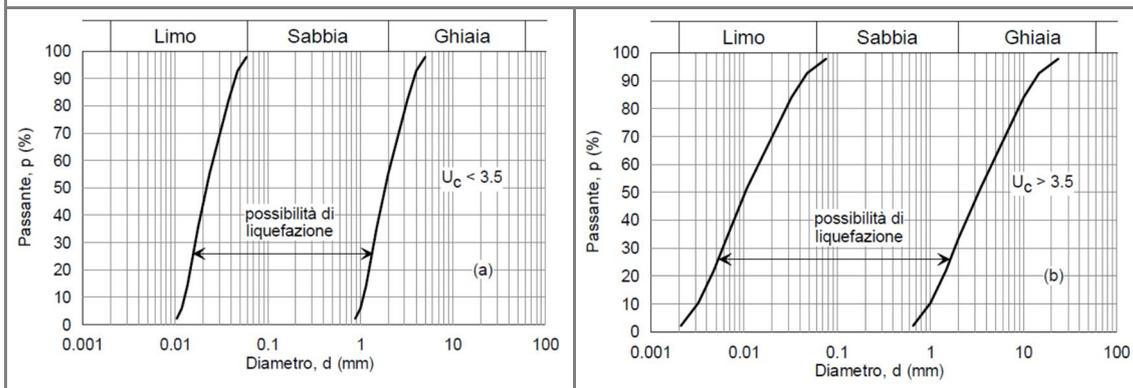
## 6.5 stabilità nei confronti della liquefazione

La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due principali fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante). L'analisi della suscettibilità alla liquefazione di un dato sito dipende schematicamente dalle caratteristiche dell'azione sismica (intensità e durata), dalle proprietà geotecniche dei terreni e dalle caratteristiche litologiche dei terreni e profondità della falda. Facendo riferimento a quanto indicato nel D.M. 17/01/2018 il sito di intervento deve risultare stabile nei confronti della liquefazione. La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
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  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{C1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (S.P.T. - *Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{C1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (C.P.T. - *Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel Par. 7.11.3.4 del D.M. 17/01/2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$  (v. Fig. 22 alla pagina seguente).



Fig. 22. Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Par. 7.11.3.4 del D.M. 17/01/18).



- Sulla base del modello geologico ed idrogeologico ricostruito si ritiene di poter escludere la verifica della suscettibilità alla liquefazione, ricadendo nello specifico nel punto n. 4 di cui al precedente elenco.



## 7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

- Nell'ambito del sito di futuro intervento non si segnalano evidenze geologiche, idrogeologiche o geotecniche che indichino situazioni di particolare criticità. Il progetto non comporta significative modifiche alla morfologia che possano incidere sulla stabilità locale e globale dei luoghi.
- Il primo sottosuolo in corrispondenza del sito in esame risulta rappresentato da sedimenti prevalentemente fini a composizione argillosa e limosa dotati di media consistenza. Tali depositi risultano caratterizzati da buona continuità laterale, mentre in profondità si riscontrano lenti ed orizzonti ghiaiosi - sabbiosi discontinui, ragionevolmente in parte connessi all'interferenza con dinamiche legate alla presenza dei vicini versanti collinari.
- Da un punto di vista idrogeologico si ritiene che la prima falda in corrispondenza della porzione di territorio in cui ricade il sito d'interesse progettuale si collochi ad una profondità elevata, superiore a 50 m dal piano campagna attuale. In ragione di ciò si ritiene che il livello della falda *stricto sensu* non interferirà in alcun modo con il sistema fondazionale delle opere in progetto. In virtù della possibile presenza di acquiferi superficiali ad alimentazione meteorica, si ritiene ragionevole valutare comunque l'opportunità di un'adeguata impermeabilizzazione delle strutture interrato.
- Il sito d'intervento non si inserisce entro vallecicole o zone di concentrazione privilegiata delle acque di corrivazione superficiale, ponendosi inoltre esternamente (sebbene lambito) ad aree potenzialmente inondabili. Pur in assenza di riscontri diretti, si ritiene che attualmente il deflusso superficiale avvenga in modo diffuso, senza la formazione di specifiche direzioni di scorrimento. La presenza nel primo sottosuolo di materiali a prevalente composizione fine non permette tuttavia di escludere, in concomitanza di eventi meteorici di significativa importanza, il verificarsi di locali fenomeni di ristagno idrico e/o di difficoltà di drenaggio.
- In ragione di quanto al punto precedente, sebbene si ritenga che l'intervento in esame non interferirà in modo significativo con il deflusso delle acque di corrivazione superficiale non andando a modificarne sensibilmente le attuali condizioni, sarà necessario prevedere una corretta nonché permanente gestione delle acque meteoriche e, di conseguenza, anche di quelle di corrivazione superficiale e d'infiltrazione.
- Alla luce dei risultati dell'indagine sismica condotta *in situ* è possibile inserire il sito di progetto nella categoria di sottosuolo di fondazione denominata "B". Ai fini della caratterizzazione sismica, sono stati calcolati i seguenti parametri con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV):  $a_g [g] = 0,153$ ,  $F_0 = 2,429$  e  $T^*_c [s] = 0,278$ . Coefficiente topografico:  $S_T = 1,00$ .
- Una stima preliminare della portanza ha permesso di confermare l'idoneità dei terreni ascrivibili all'unità "AL" a costituire sedime di fondazione nell'ipotesi costruttiva di un sistema portante del tipo a "platea". Ciò detto, sarà comunque necessario verificare i calcoli alla luce delle effettive sollecitazioni indotte e delle reali geometrie di fondazione adottate, nonché tipologia, spessore, omogeneità e addensamento del materiale che andrà a costituire sedime di fondazione. Qualora all'apertura degli scavi si rilevasse la presenza di un sedime fondazionale disomogeneo o di inidonee caratteristiche, si suggerisce di approfondire gli scavi fino a raggiungere materiale idoneo così da fondarvi direttamente o, in alternativa, eseguire una bonifica per sostituzione con magrone di idonee caratteristiche fino a riportarsi alla prevista quota di fondazione. – *continua* –



- segue -

- In termini di cedimento, una stima preliminare condotta considerando fondazioni a "platea", la successione stratigrafica desunta dalla prova penetrometrica DPSH1 condotta *in situ* e una pressione di 70 kPa (al lordo dei carichi litostatici), riporta valori prossimi 4,7 cm ca., legati alla consolidazione della frazione coesiva e ritenuti compatibili con la tipologia di opere in progetto. In virtù della disponibilità di dati acquisiti indirettamente senza specifiche analisi di laboratorio e delle assunzioni imposte dal metodo di calcolo e d'indagine utilizzato, il risultato ottenuto è tuttavia indicativo e qualitativo del potenziale assestamento.
- Premesso quanto al punto precedente, al fine di limitare i cedimenti, evitare possibili cedimenti differenziali e favorire la migliore ripartizione dei carichi in fase esecutiva sarà opportuno: i) verificare con attenzione all'apertura degli scavi, la corrispondenza di quanto indicato in termini di assetto litostratigrafico locale verificando natura, spessore, omogeneità nonché grado di compattazione ed addensamento del terreno che andrà a costituire sedime di fondazione; ii) raggiungere un idoneo sedime fondazionale, iii) predisporre il piano di posa costipandolo al fine di limitare l'inevitabile disturbo dato dalle fasi di scavo e regolarizzandolo attraverso la stesa di uno strato di materiale (ad es. magrone) di idoneo spessore ed adeguate caratteristiche.
- Sulla base del modello geologico ed idrogeologico ricostruito si ritiene di poter escludere la verifica della suscettibilità alla liquefazione.
- Sulla base delle profondità di scavo ipotizzabili da progetto, non si è ritenuta infine necessaria una verifica della stabilità dei fronti di scavo.

Fatto salvo quanto considerato, a norma del D.M. 17/01/2018 non si ravvisano impedimenti o limitazioni di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico alla fattibilità degli interventi in progetto.

Verona, 11 luglio 2021

Dott.ssa Geol. Ilaria Mercì



Dott. Geol. Alberto Cò





## BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

La stesura del presente documento è stata eseguita facendo riferimento ai seguenti testi e documenti:

|  |
|--|
| ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA<br>Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica (2005)                  |
| AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ADIGE<br>Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)                                   |
| CASTALDINI D. - PANIZZA M.<br>Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (1991)      |
| CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:100.000<br>Foglio n. 48 "Peschiera del Garda"                                  |
| COMUNE DI SOAVE<br>Piano Regolatore Generale   |
| DAL PRA' A. ET ALII<br>Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura Veronese Orientale (1997)                             |
| I.N.G.V. - ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA<br>Catalogo dei Forti Terremoti d'Italia                 |
| I.S.P.R.A. - ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE<br>Catalogo delle Faglie capaci (ITHACA) |
| LANCELLOTTA R.<br>Geotecnica – Zanichelli (1987)   |
| PANIZZA M. ET ALII<br>Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa (1981)               |
| PROVINCIA DI VERONA<br>Piano Territoriale Provinciale (P.T.P.)   |
| REGIONE VENETO<br>Carta Idrogeologica dei Monti Lessini - progetto Kater (2006)                                    |
| SLEJKO D. ET ALII<br>Modello Sismotettonico dell'Italia Nord Orientale – Trieste (1987)                            |
| TANZINI M.<br>L'indagine geotecnica. Dario Flaccovio Editore (2002)  |



## ALLEGATO 1

---

**COROGRAFIA IN SCALA 1:5.000**

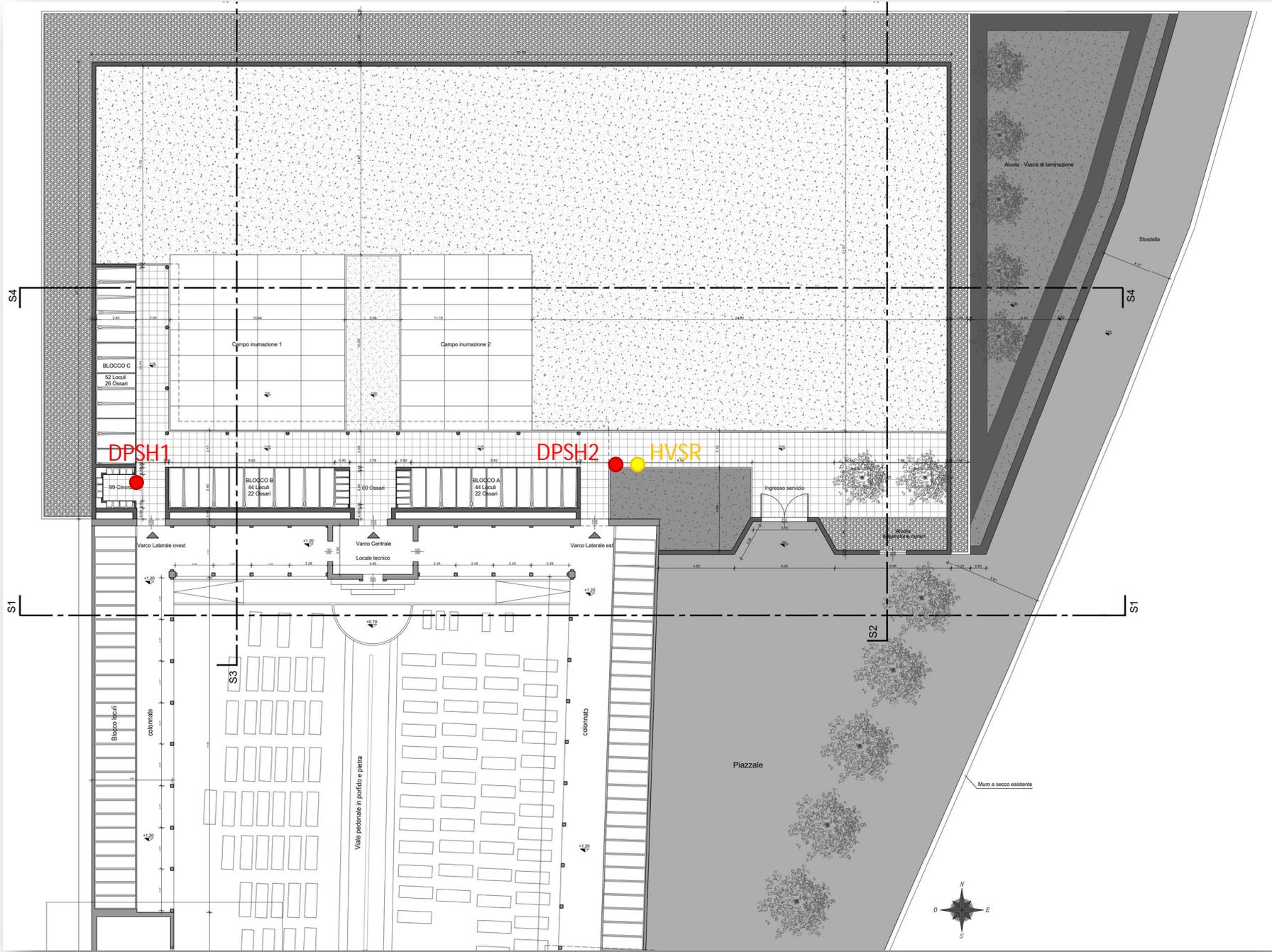




## ALLEGATO 2

---

### PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI





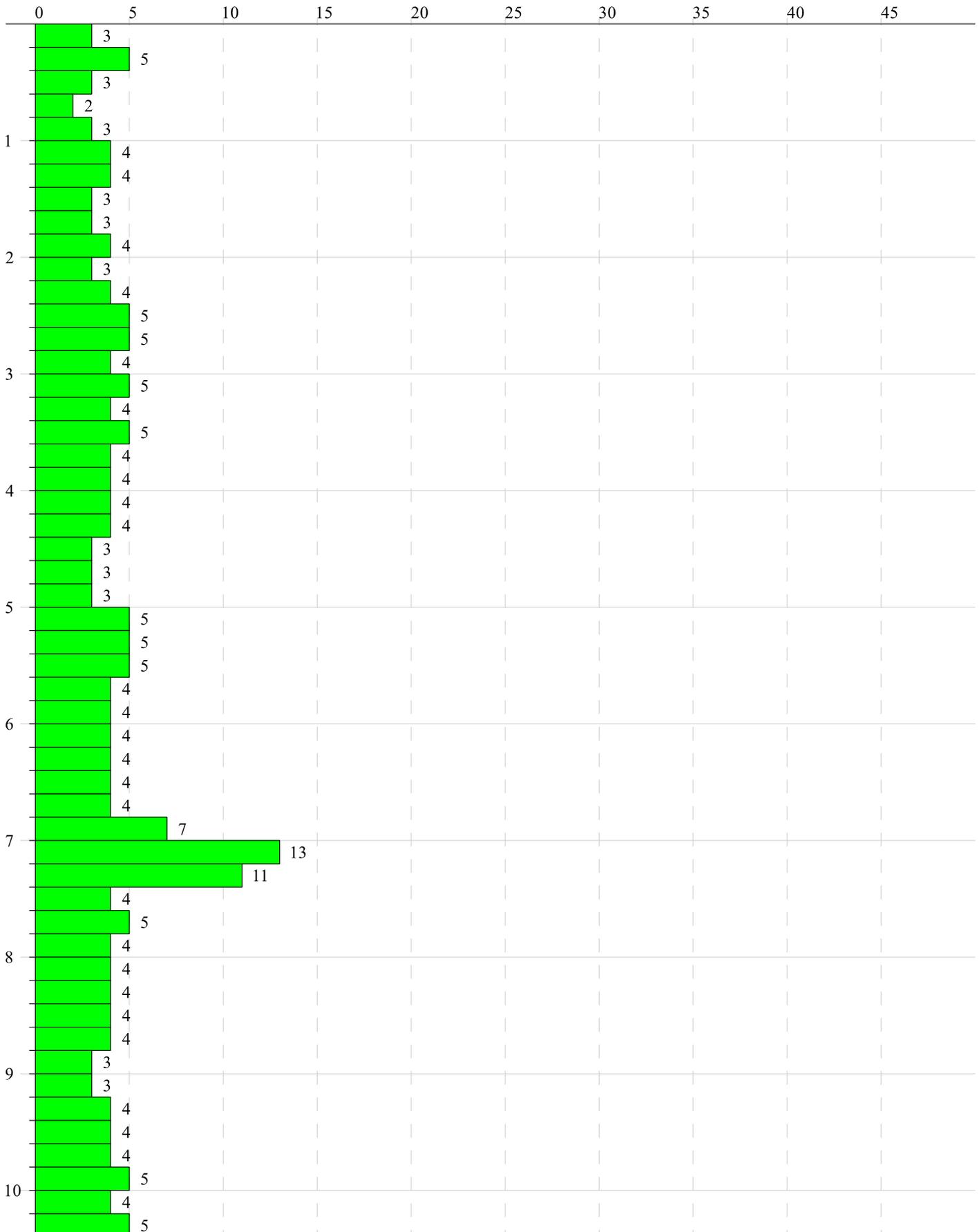
## ALLEGATO 3

---

### PROFILO PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPSH)

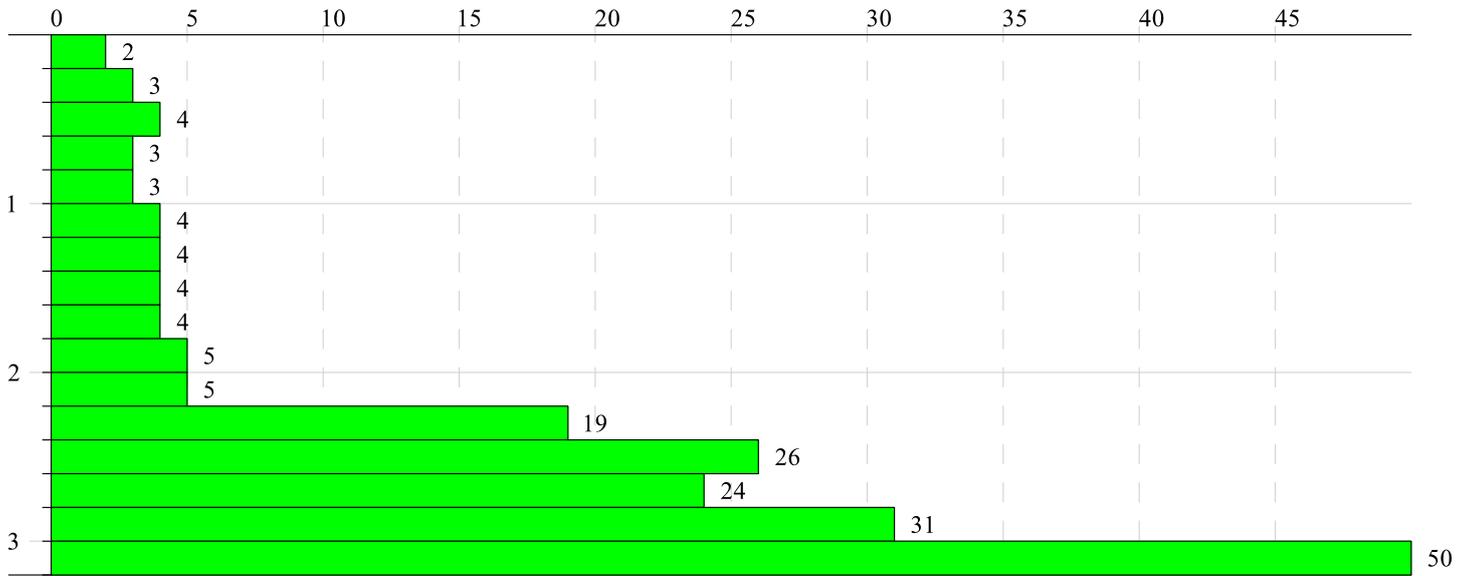
Committente: COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI  
Descrizione: AMPLAIMENTO CIMITERO SITUATO PRESSO LA FRAZIONE DI SAN ZENO  
Localita': Via Ceriani, Colognola ai Colli

Numero di colpi penetrazione punta



Committente: COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI  
Descrizione: AMPLAIMENTO CIMITERO SITUATO PRESSO LA FRAZIONE DI SAN ZENO  
Localita': Via Ceriani, Colognola ai Colli

Numero di colpi penetrazione punta





## ALLEGATO 4

---

INDAGINE SISMICA (HVSr)

## METODOLOGIA HVSr (RAPPORTI SPETTRALI)

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSr (Nakamura,1989) è completamente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimento di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.  
*Sismografo triassiale in dotazione con sensori ortogonali da 4,5 Hz e convertitore AV/D 24 bit*

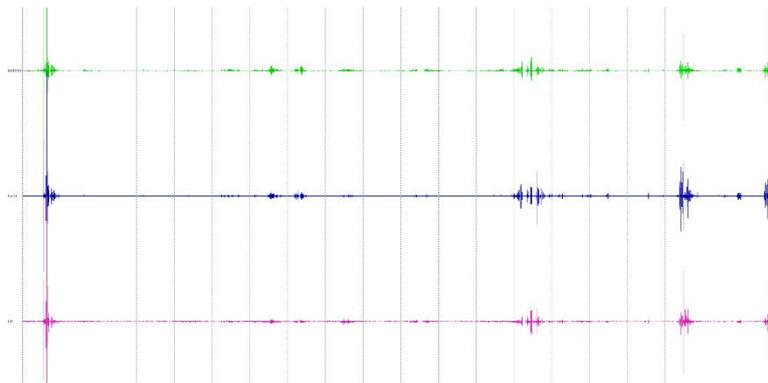
Nome progetto: Indagine HVSr  
 Committente:  
 Località: Colognola ai Colli (VR)  
 Responsabile:  
 Data: 04/06/2021

### Tracce in Input

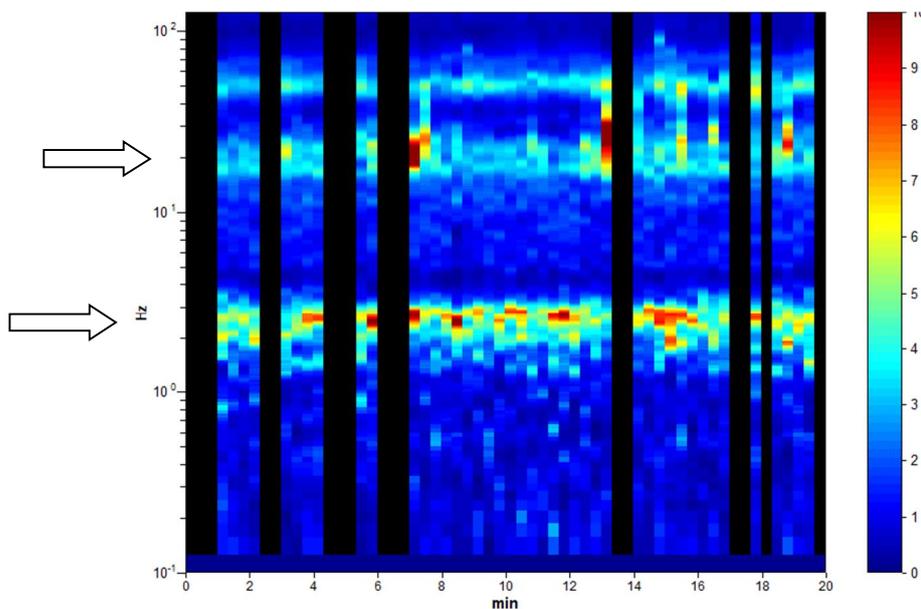
#### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
 Durata registrazione: 1200 s  
 Frequenza di campionamento: 256 Hz  
 Numero campioni: 360000  
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

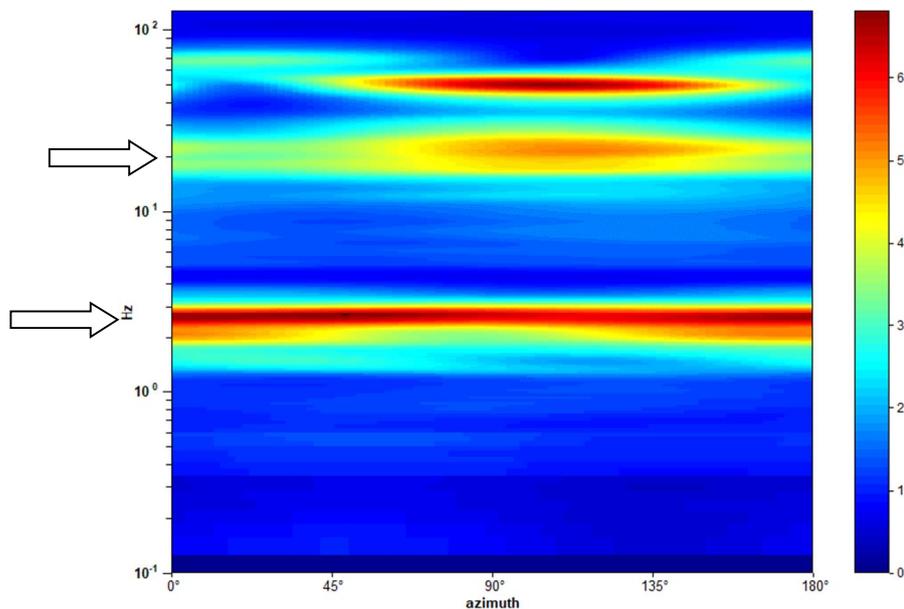
#### Grafici tracce della terna di sensori ortogonali:



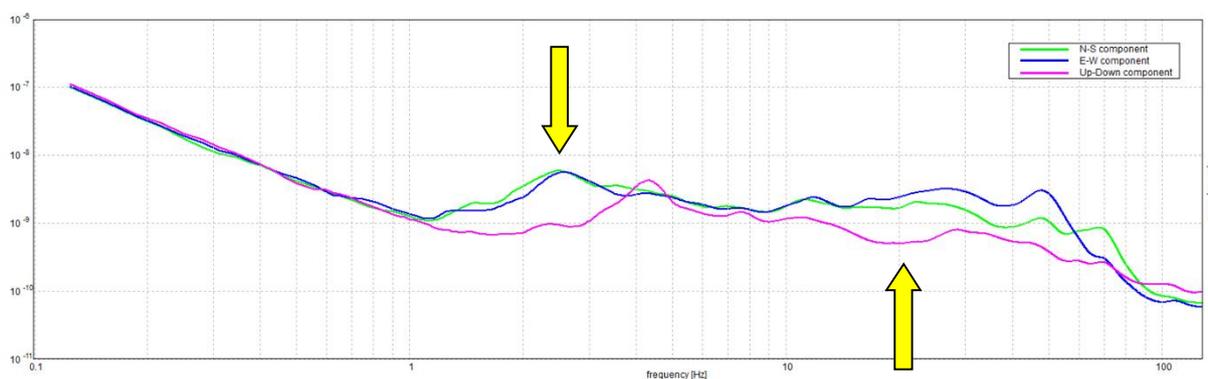
*L'acquisizione temporale evidenzia una rumorosità di fondo bassa intervallata da eventi distinti (possibili attività antropiche o traffico veicolare)*



*Stabilità del segnale (serie temporale H/V); si nota una continuità nel tempo in particolare dei picchi a 2,6 e 20 Hz circa. Le finestre in nero si riferiscono a parti della registrazione eliminate in quanto recanti disturbo*



Direzionalità del segnale (è evidente il segnale dei picchi a 2,6 e 20 Hz circa; entrambi i picchi risultano non polarizzati pertanto di probabile natura litologica)



HVSR: Spettri dei singoli sensori; in rosso sensore verticale, in blu e verde sensori orizzontali; le differenze tra le ampiezze di spettro tra i sensori orizzontali e quello verticale determinano i massimi della funzione H/V; laddove tutte le componenti subiscono un aumento dell'ampiezza spettrale si è in presenza di transienti, mentre il picco litologico è riconoscibile laddove le componenti orizzontali aumentano mentre quella verticale contestualmente diminuisce (freccia gialla)

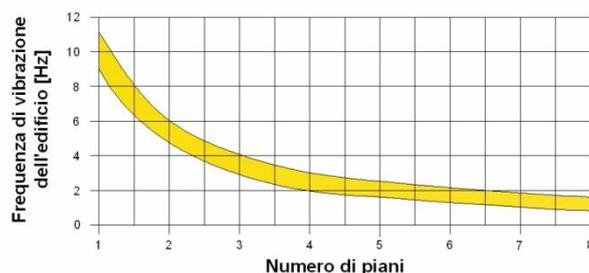
Tale tecnica costituisce una parte importante nella valutazione del rischio sismico di un determinato sito perché permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza.

La frequenza caratteristica di risonanza di un sito rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici/strutture in termini di risposta sismica locale. Si dovranno quindi adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la medesima frequenza di vibrazione del terreno per evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi.

La frequenza fondamentale di risonanza di una struttura può essere misurata eseguendo le misurazioni all'interno della stessa. In seguito sarà possibile confrontarla con quella del terreno su cui sorge per comprendere al meglio il rischio sismico a cui è sottoposto l'edificio in caso di sisma. Infatti la pericolosità è dovuta per l'effetto della doppia risonanza terreno - struttura (esistente o di progetto) laddove risultino coerenti i valori della frequenza di sito e quelli della struttura in analisi, per la quale il periodo fondamentale, se non direttamente misurato, può essere preliminarmente stimato dalla relazione:

$$T_{ed} \approx Ch^{3/4} \approx n/10$$

dove:  $T_{ed}$  è il periodo dell'edificio,  $h$  è la sua altezza ed  $n$  è il numero di piani; mentre il parametro  $C = 0,050$  (edifici in muratura),  $C = 0,075$  (edifici in muratura e calcestruzzo),  $C = 0,085$  (edifici a telaio in calcestruzzo).



Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  mm (Okada, 2003). In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per basse frequenze. Per quanto riguarda l'origine del rumore sismico, è certo che le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali etc. e si propagano come onde superficiali di Rayleigh. Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- Spettri di Fourier
- Rapporti spettrali
- Rapporti spettrali H/V

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni. Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri:

- la frequenza fondamentale di risonanza  $F_0$  dei terreni presenti nel sottosuolo;
- la stima del profilo del terreno in termini delle velocità  $V_s$  e  $V_p$  e della densità e quindi delle velocità  $V_s$  nei primi 30 m (ed oltre) dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;
- la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare.

|                   |
|-------------------|
| ELABORAZIONE HVSR |
|-------------------|

Rapporto spettrale H/V

Strumento: TRZ-0023/01-09

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 04/06/21 10:42:37      Fine registrazione: 04/06/21 11:02:38

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h 20' 00"      Analizzato 72% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 256 Hz

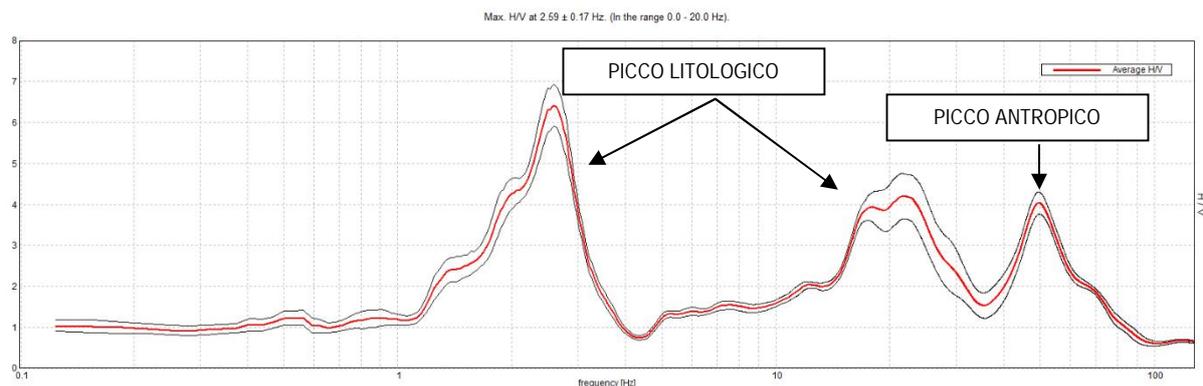
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

## Risultati:

## Grafici rapporto spettrale H/V



**Picco H/V a 2.59 ± 0.17 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**  
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | 2.59 > 0.50             | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | 2230.6 > 200            | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 126 | OK |  |

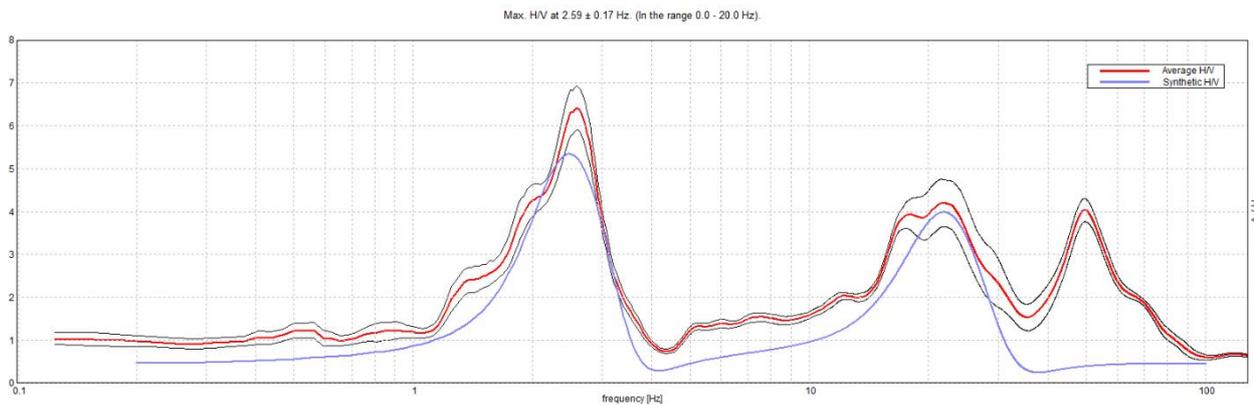
**Criteri per un picco H/V chiaro**  
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |    |
|--|---------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 1.75 Hz             | OK |    |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 3.094 Hz            | OK |    |
| $A_0 > 2$  | 6.42 > 2            | OK |    |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.06663  < 0.05$  |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.17281 < 0.12969$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.51 < 1.58$       | OK |    |

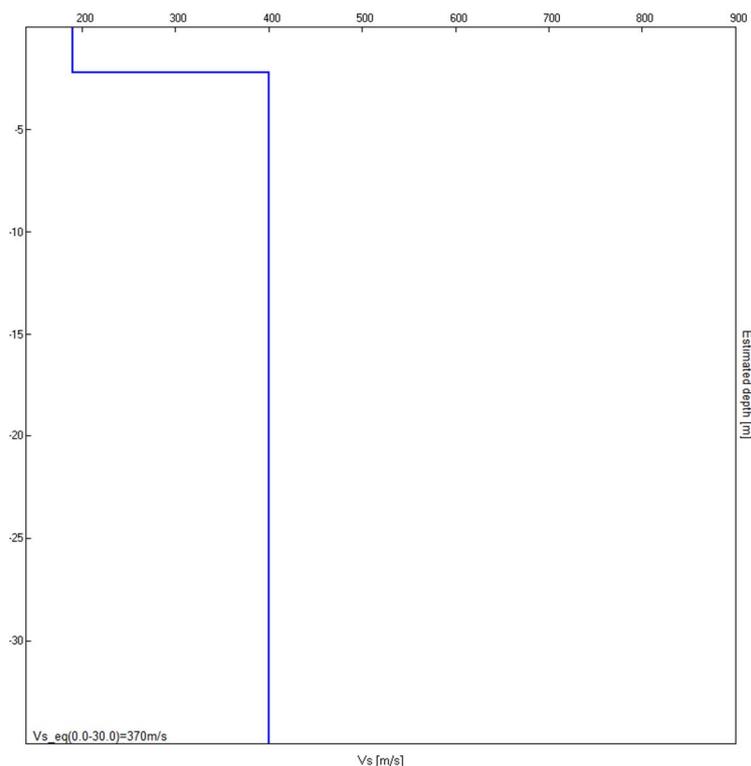
|                        |   |
|------------------------|---|
| $L_w$                  | lunghezza della finestra  |
| $n_w$                  | numero di finestre usate nell'analisi   |
| $n_c = L_w n_w f_0$    | numero di cicli significativi   |
| $f$                    | frequenza attuale   |
| $f_0$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

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

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



Fitting della curva H/V sperimentale; corrispondenza tra la curva sperimentale (in rosso) e la curva di sintesi (in blu)



HVSR: Profilo di Vs mediante inversione (curva migliore corrispondente ai valori di confidenza più bassi)

Modello sismostratigrafico:

| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 2.20                                  | 2.20         | 190      | 0.45                |
| 42.20                                 | 40.00        | 400      | 0.45                |
| inf.                                  | inf.         | 850      | 0.45                |

$$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 370 \text{ m/s}$$

### Analisi dei risultati

La modellazione in onde di taglio indica la presenza di una successione di sismostrati con velocità di taglio generalmente crescenti in profondità; non sono presenti inversioni di velocità (tratti prolungati della curva in cui il rapporto  $H/V < 1$ ). Si riscontra un sismostrato superficiale con Vs di circa 190 m/s e spessore stimato in 2 metri circa corrispondente a terreni prevalentemente coesivi; in successione si registra un incremento delle velocità delle onde di taglio a 400 m/s fino a 40 m circa di profondità correlabili a depositi alluvionali grossolani (ghiaie e sabbie). Più in profondità le Vs medie si attestano su valori di 850 m/s (bedrock sismico) per la probabile presenza del substrato roccioso.

Per quanto riguarda l'analisi della curva H/V si evince quanto segue:

La curva H/V presenta due evidenti picchi alle frequenze di 2,6 e 20 Hz circa; dall'analisi degli spettri delle singole componenti e dalla componente direzionale risultano entrambi di natura litologica. Il primo, di maggior ampiezza, è riconducibile ad un contrasto di impedenza sismica stimato a circa 40 m dal p.c. (probabilmente il substrato roccioso) mentre il secondo è correlabile al passaggio litologico piuttosto superficiale tra depositi coesivi e primi orizzonti granulari rilevati anche nelle prove penetrometriche (2 metri circa dal p.c.).

La frequenza fondamentale di sito non è determinabile con precisione in quanto non sono sufficientemente soddisfatti i criteri del protocollo SESAME per un picco chiaro ed isolato ma si ritiene sia prossima al picco a  $f_0 = 2,6$  Hz ( $T=0,384$  s). Si consiglia al progettista di valutare con attenzione tale valore poiché ricadente nel range di interesse ingegneristico per strutture ordinarie.

#### STIMA $V_{S(eq)}$

Dai profili sismo stratigrafici è possibile calcolare il parametro  $V_{S(eq)}$ , ai sensi del D.M. 17/01/2018, attraverso la seguente espressione, quindi stimare la categoria del suolo di fondazione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{S,i}$  indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori e H la profondità del substrato definito come la formazione costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da  $V_s > 800$  m/s (se tale substrato è a profondità maggiori di 30 m allora  $H = 30$ ). La proposta della nuova normativa conclude che il sito verrà classificato sulla base del valore di  $V_s$  (eq) eliminando di fatto le categorie S1 e S2 per le quali si dovrà ricorrere ad una analisi sismica di livello 3 (Risposta Sismica Locale). Viene eliminata inoltre la possibilità di ricavare la categoria del sottosuolo mediante  $N_{spt3}$  e  $Cu_{30}$ ; sostanzialmente viene enfatizzata l'importanza del parametro  $V_s$  che com'è noto è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo. In base alle determinazioni svolte si evince che la velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m dal piano campagna (p.c.) risulta:

Valore  $V_s$  eq dal p.c.: 370 m/s  $\pm$  20%

Valore  $V_s$  eq a -1,0 m dal p.c.: 383 m/s  $\pm$  20%

Valore  $V_s$  eq a -2,0 m dal p.c.: 397 m/s  $\pm$  20%

Valore  $V_s$  eq a -3,0 m dal p.c.: 400 m/s  $\pm$  20%

Il valore numerico del parametro di cui sopra permette di stimare la seguente categoria sismica del suolo di fondazione:

| Categoria | Descrizione  |
|-----------|--|
| 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 fine 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         | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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         | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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.  |

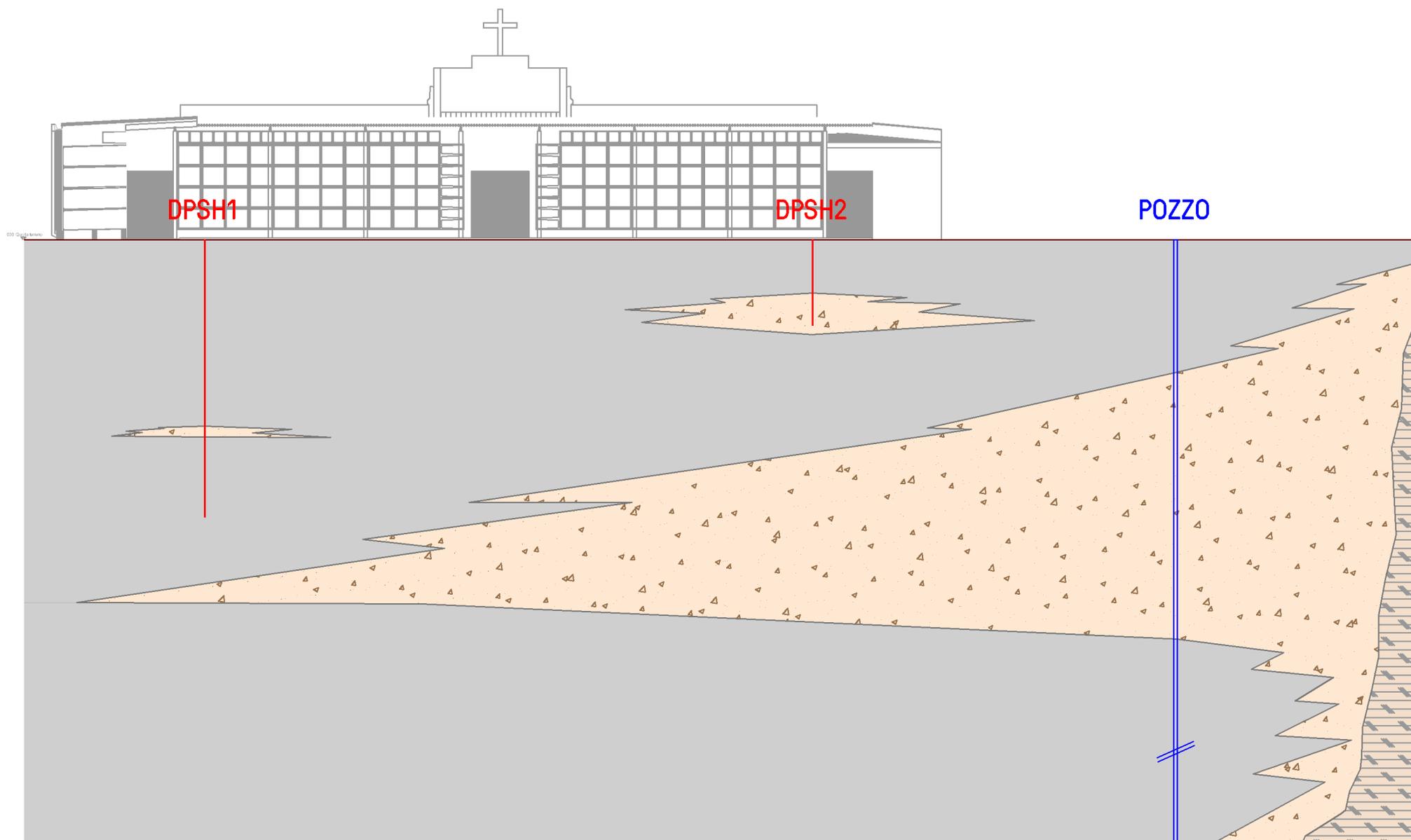


## ALLEGATO 5

---

### SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA SU SEZIONE DI PROGETTO S4



litologie prevalentemente granulari (ghiaie e sabbie)



litologie prevalentemente coesive (argille e limi)



substrato

scala 1 : 200