

**Regione del
Veneto**

**Provincia di
Verona**

Comune di Negrar di Valpolicella

Piano Urbanistico Attuativo

Oasi

ZTO C2/6

*Valutazione di compatibilità geologica,
geomorfologica, idrogeologica, sismica*
Relazione

Committente: Oasi Cooperativa



Dott. Geol. Silvia Daleffe

Ordine dei Geologi della Regione Veneto n. 413



Silvia Daleffe

Indice

- 1 PREMESSA*
- 2 COROGRAFIA*
- 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO*
 - 3.1 GEOMORFOLOGIA*
 - 3.2 GEOLOGIA*
 - 3.3 IDROGEOLOGIA*
 - 3.4 DESCRIZIONE DELL'AREA: LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA E IDROGEOLOGIA*
- 4 INDAGINI IN SITO*
- 5 SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE – CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO*
 - 5.1 VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE*
- 6 INDAGINE STORICA SU EVENTUALI CRITICITÀ DI NATURA ANTROPICA RELATIVE ALL'AREA*
- 7 ANALISI DEI VINCOLI E DELLE CRITICITÀ IN ACCORDO ALLA PIANIFICAZIONE DI DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI, AUTORITÀ DI BACINO FIUME ADIGE, PROVINCIA DI VERONA E COMUNE DI NEGRAR DI VALPOLICELLA*
- 8 VERIFICA DELLA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA E SISMICA DELL'INTERVENTO*

ALLEGATO A: VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE

ALLEGATO B: INDAGINE GEOFISICA CON METODI RE.MI. E H.V.S.R. PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI SECONDO LA NORMATIVA VIGENTE (N.T.C. – D.M. 17 GENNAIO 2018)
(A CURA DI ANBER S.R.L.S.)

1 Premessa

Nell'ambito delle fasi progettuali relative al Piano Urbanistico Attuativo Oasi, relativo all'urbanizzazione di un'area sita nella località Arbizzano del comune di Negrar di Valpolicella, viene redatto il presente documento di analisi inerente la verifica della compatibilità geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'intervento, ai sensi dell'art. 19 comma 2 lettera d della L.R.V. 11/04. Tale norma infatti prevede che la sicurezza geologica del territorio debba essere così valutata:

- a livello di pianificazione, mediante una analisi territoriale che è sintetizzata nel P.A.T. e nei documenti del quadro progettuale (in particolare nella “Carta delle fragilità”);
- a livello di Piano degli Interventi e di Piano Urbanistico Attuativo, con redazione di una relazione di verifica della compatibilità geologica, geomorfologia e idrogeologica;
- a livello di singolo intervento edificatorio, mediante una analisi puntuale, secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Tutti gli interventi edilizi e infrastrutturali e quelli che comportano comunque movimenti di terra e/o scavi e/o interferenze con la falda acquifera e la cui realizzazione può recare danno o pregiudizio al patrimonio edilizio esistente od alla stabilità e qualità ambientale delle aree limitrofe e del sottosuolo, sono assoggettati a verifica di compatibilità del sito (necessaria al fine dell'ottenimento del parere sugli strumenti urbanistici ai sensi art. 89 D.P.R. 380/2001), rilevabile dai contenuti del modello geologico e valutabili per un intorno di ampiezza tale da poter interagire con l'intervento proposto. In tale ottica si è sviluppato lo studio del sito interessato dal Piano Urbanistico Attuativo, che si è svolto secondo le fasi di seguito elencate:

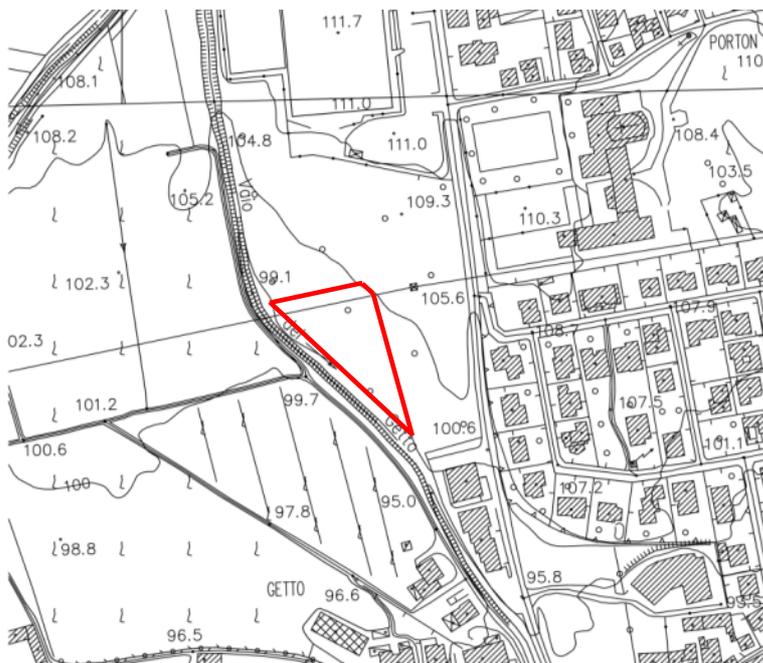
- acquisizione dei dati bibliografici e storici relativi all'area indagata;
- rilievo geologico e geomorfologico del sito e dell'intorno;
- esecuzione di indagini dirette (scavi) e geofisiche (Re.Mi. ed HVSR).

In particolare, le indagini geofisiche sono state condotte per fornire la caratterizzazione sismica del sito e come ausilio alle verifiche alla liquefazione, criticità evidenziata per l'area dagli strumenti urbanistici vigenti.

Il presente documento si configura inoltre come verifica ai sensi del paragrafo 6.12 “Fattibilità di opere su grandi aree” delle NTC 2018, che riguardano un nuovo insediamento civile, seppure di dimensioni limitate.

2 Corografia

L'area interessata dal PUA in oggetto, individuata al catasto al Foglio 44, mappale 730 del comune di Negrar di Valpolicella, si situa in un contesto a lieve pendenza verso Sud - Ovest in cui le forme naturali da ricondursi a processi morfogenetici fluviali ed alluvionali sono state parzialmente obliterate da interventi antropici: in dettaglio, il sito, la cui ubicazione è riportata nello stralcio di C.T.R., ricade in un ambito attualmente utilizzato ai fini agricoli compreso tra una zona residenziale in fase di realizzazione ed il corso del vaio del Ghetto. Le quote si aggirano attorno a 101 – 105 m s.l.m.



L'ortofoto estratta da Google Maps illustra lo stato attuale dei luoghi:



Il PUA Oasi interessa una superficie di circa 5666 mq, attualmente utilizzata ai fini agricoli, su parte della quale si prevede l'inserimento di un solo lotto residenziale con relative opere di urbanizzazione, costituite da viabilità di accesso, parcheggi e da un'area verde di 210 mq. Il sedime si sviluppa in aderenza ad una lottizzazione (Piano Urbanistico Attuativo S. Maria, in cui allo stato attuale, come osservabile dall'immagine precedente, sono state realizzate le opere di urbanizzazione), con cui confina in direzione Nord ed Est; verso Ovest e Sud, l'ambito è delimitato dall'incisione del vaio del Ghetto.

Si riporta un estratto di tavola 4.1 di progetto a firma Arch. Piero Banterle (non in scala; scala originale 1:250), che illustra la planimetria generale dell'area del PUA Oasi, la cui delimitazione è evidenziata dal contorno magenta (il lotto oggetto di edificazione di un fabbricato residenziale è delimitato in rosso) e dell'adiacente PUA S. Maria.



Planimetria PUA Oasi e PUA S. Maria

3 Inquadramento geomorfologico, geologico ed idrogeologico

Si riportano alcuni cenni di inquadramento geomorfologico, geologico ed idrogeologico dell'area in esame.

3.1 Geomorfologia

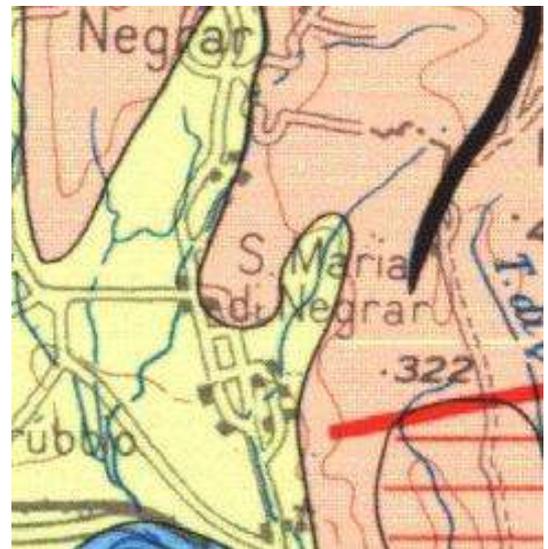
L'area in esame ricade nel fondovalle prodotto dai torrenti lessinei, al piede di due delle tipiche dorsali a direzione meridiana (poste rispettivamente a Nord e ad Est del sito) che caratterizzano il tavolato lessineo, ed al margine centro – occidentale dell'abitato di Arbizzano.

Le forme attuali derivano da eventi pregressi, e sono fortemente condizionate dalle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti e dalle strutture tettoniche presenti: solo durante gli ultimi due milioni d'anni il territorio veneto raggiunse gradualmente la sua attuale configurazione. Il lento sollevamento orogenetico dell'area montuosa fu parzialmente bilanciato dai processi erosivi ed i detriti trasportati dai fiumi colmarono gradualmente il grande bacino subsidente che separava gli Appennini dalle Alpi Meridionali, formando la Pianura Padana.

Successivamente, a partire dal Pleistocene si susseguirono almeno cinque periodi a clima freddo (glaciazioni), durante i quali le valli maggiori furono invase da lingue di ghiaccio che localmente superavano il migliaio di metri di spessore; ad ogni fase fredda (glaciale) seguiva un periodo a clima caldo (cataglaciale). I depositi morenici del Veneto sono costituiti da materiali detritici trasportati dai ghiacciai prevalentemente nel corso dell'ultima glaciazione (Würmiana); alle fasi di ritiro si riconducono le morene stadiali infravallive e delle zone di media ed alta montagna. Nei rilievi, inoltre, i processi di esarazione glaciale hanno modellato le rocce preesistenti e prodotto i materiali successivamente trasportati verso valle dalle acque di scorrimento e dalla gravità.

L'area in esame ricade nel fondovalle, nei tratti terminali dell'unghia detritica del conoide di deiezione proveniente dalla valle di Novare, che produce il salto morfologico presente tra S. Maria ed Arbizzano; è posta in sinistra idrografica rispetto al progno di Negrar ed al vaio del Ghetto. La morfologia è fortemente condizionata sia dai processi erosivi del pendio posto a monte che, soprattutto, dai processi fluvioglaciali ed alluvionali che si sono succeduti nel tempo, oltre che dalle strutture tettoniche presenti, che attraverso diverse e successive riattivazioni hanno condizionato l'evoluzione e la morfologia finale del territorio.

Si riporta uno stralcio della “Carta delle Unità Geomorfologiche del Veneto”, dove con il colore rosato sono indicati i rilievi e altopiani prealpini della piattaforma strutturale carbonatica mesozoica modellati su rocce resistenti a prevalente morfologia glaciale e carsica, e con il giallo i depositi fluvioglaciali e alluvionali antichi e recenti delle vallate lessinee, cui viene attribuita l'area di progetto.



L'intervento antropico ha modificato l'aspetto della zona, particolarmente attraverso l'edificazione e la realizzazione della viabilità, e con le sistemazioni agrarie. L'area di indagine è posta in un ambito a bassa pendenza utilizzato ai fini agricoli, contermini ad aree in fase di edificazione ai fini residenziali.

3.2 Geologia

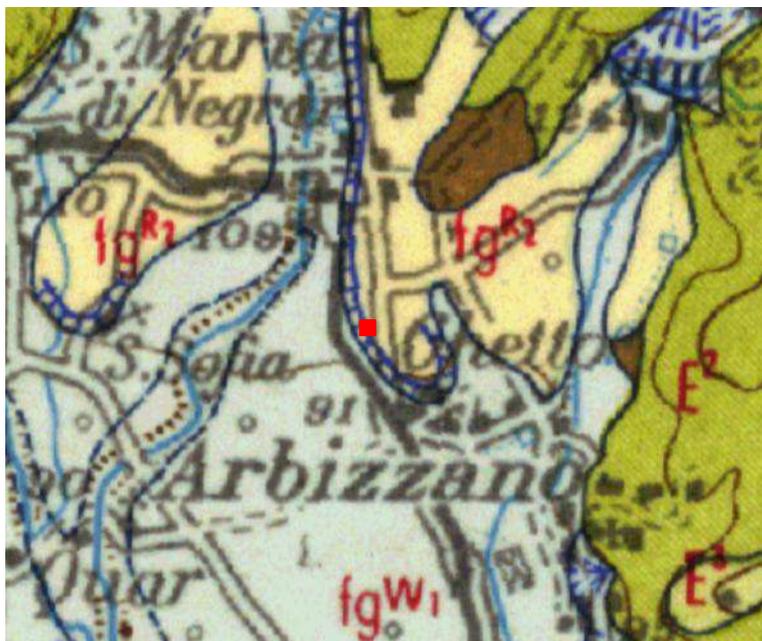
L'area ricade nel settore collinare compreso tra le Alpi e la Pianura Padana, che a partire dal Giurassico inferiore presenta una successione litostratigrafica di alto strutturale ("Piattaforma di Trento"), e che rimane, in sostanza sino al Quaternario, un'area rilevata rispetto ai settori adiacenti della Lombardia e del Friuli. La successione stratigrafica delle litologie principali, dalla più antica alla più recente, è la seguente:

- basalti dei filoni, breccie basaltiche dei camini d'esplosione, rocce vulcanoclastiche stratificate (Oligocene - Eocene inferiore).
- calcari Nummulitici, calcareniti ad alghe e molluschi di colore bianco – giallastro, in genere ben stratificati; calcari recifali a coralli (Eocene med. - inf.).
- depositi detritici di versante (Pleistocene superiore), staccati dal gelo, trasportati per brevi distanze dall'acqua di ruscellamento nivale; si tratta delle falde detritiche stratificate, che abbondano particolarmente a valle delle nicchie di nivazione e ai piedi delle pareti della Scaglia Rossa veneta con esposizione meridionale;
- coperture colluviali e detritiche (Olocene), frammenti rocciosi frammisti a sedimenti di suolo prevalentemente limosi ed a limi di trasporto eolico (loess like), depositi alla base dei versanti, sul fondo delle vallette e delle conche carsiche, con spessori variabili da pochi decimetri ad alcuni metri.
- depositi alluvionali fluvioglaciali e fluviali, da molto grossolani a ghiaiosi, con strato di alterazione superficiale giallo rossiccio di spessore ridotto. Costituiscono l'alta pianura a monte della zona delle risorgive e si raccordano con le cerchie moreniche maggiori dell'anfiteatro del Garda (fg^{R2}, Riss)
- depositi alluvionali fluvioglaciali e pluvio glaciali prevalentemente sabbiosi con strato di alterazione brunastro di spessore limitato (fg^{w1}, pl^w, Würm). Il fluvioglaciale è costituito da ghiaie grossolane con ciottoli porfirici atesini.
- depositi rimaneggiati e/o riportati: derivano dai litotipi precedenti a seguito del rimaneggiamento causato da attività antropiche di vario genere.

L'area indagata è situata al passaggio tra le pendici dei Lessini e l'ambito marginale dei depositi alluvionali e fluvioglaciali del bacino atesino, che ha lasciato come testimonianza del passaggio una serie di terrazzi di età diverse, che si sono originati dai processi deposizionali connessi con le fasi glaciali, postglaciali, periglaciali, cataglaciali, fluvioglaciali tipiche di questo ambiente di alta pianura al limite delle propaggini alpine.

Si riporta uno stralcio della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000, foglio 48 "Peschiera", dove in area collinare con la sigla β sono indicate le vulcaniti terziarie e con la sigla E² le Calcareniti eoceniche; nel fondovalle il colore giallo indica i depositi fluvioglaciali rissiani (fg^{R2}), per lo più ghiaiosi, e l'azzurro i depositi fluvioglaciali (fg^{w1}) e pluvio glaciali würmiani (pl^w), a granulometria prevalentemente sabbiosa. In prossimità del confine sud - occidentale PUA in esame viene indicata una scarpata di origine fluviale.

 Orlo e scarpata di terrazzo di costruzione fluviale.



I processi d'alterazione in combinazione con i fenomeni gravitativi, fluvioglaciali ed alluvionali hanno dato origine ai terreni presenti nella zona; la parte superficiale è stata però parzialmente rimaneggiata, rimodellata e riportata a seguito di eventi antropici. L'area indagata presenta alternanze di prevalenti depositi fini (limi e limi argillosi) con frazione granulare e di terreni sabbioso -ghiaiosi in matrice argillosa, con disposizione lentiforme e variazioni sia in senso orizzontale che verticale.

Dal punto di vista tettonico, i Monti Lessini sono posti al margine meridionale del Sudalpino, al passaggio tra quest'unità strutturale e la Pianura Veneta. Il Sudalpino è un'unità disomogenea, segmentata da linee tettoniche che separano tre blocchi principali con comportamento diverso sia durante il rifting mesozoico che il raccorciamento cenozoico. Il blocco occidentale, corrispondente alla Lombardia, e il blocco orientale, corrispondente al Veneto e al Friuli, subiscono un'importante subsidenza tra il Giurassico e il Cretaceo inferiore; successivamente ospitarono dei bacini d'avanzata fossa e durante il Terziario recente furono intensamente deformati, subendo un certo raccorciamento. Tra i due è interposto il blocco di Trento e Verona, delimitato ad Ovest dalle faglie delle Giudicarie (NNE - SSW) e ad Est dalla Linea Schio - Vicenza (NW - SE), che presenta una forma triangolare ed è composto, da Nord verso Sud, dal Monte Pasubio, dai Monti Lessini, dai Monti Berici e dai Colli Euganei; se confrontato coi blocchi adiacenti esso mostra un'evoluzione diversa, caratterizzata da un comportamento piuttosto costante di alto strutturale. Tra il Giurassico e il Neogene l'area è stata un horst, appartenente prima alla Piattaforma di Trento, poi al Plateau (sommerso) di Trento e infine al "Lessini Shelf". Pur essendo stato investito fin dal Lias da varie fasi di deformazione fragile, sia distensiva sia compressiva, il blocco è poco deformato, e rappresenta una sorta di cuneo di avampese incastrato, ma non del tutto incorporato nella catena sudalpina, vergente a Sud.

Il gruppo dei M. Lessini manifesta con evidenza gli effetti di una deformazione distensiva paleogenica, mentre strutture distensive mesozoiche sono riconoscibili solo lungo il margine occidentale della Piattaforma di Trento. Rispetto ai principali sistemi di deformazione compressiva che hanno interessato il settore centrale delle Alpi Meridionali i Lessini si collocano nella zona d'interferenza di almeno tre di essi: il sistema Dinarico (NW - SE) d'età paleogenica, il Valsuganese (E - W) d'età serravalliana - tortoniana e il Giudicariense (NNE - SSW) d'età tortoniana superiore - messiniana.

Nel Veronese i rigetti delle faglie dirette sono dell'ordine di qualche centinaio di metri e i blocchi risultano debolmente inclinati. Le strutture distensive influenzano maggiormente la morfologia del tavolato lessineo per la notevole estensione, perché l'erosione selettiva ha inciso profonde valli (vaj) lungo le stesse e infine perché sono attivi processi neotettonici che riattivano le scarpate morfostrutturali.

Nella parte pedecollinare è stato individuato un elemento strutturale che, in modo diverso, trova riscontro in vari Autori. Si tratta di una "fascia di deformazione" (faglia, sistema di faglie, flessura, struttura a graben o sinclinale fagliata?) al passaggio tra i Monti Lessini e l'alta pianura veronese, che separa zone a tendenza evolutiva diversa. Tale disturbo è stato dedotto da: la presenza nel sottosuolo dell'alta pianura veronese di masse calcaree chiaramente tettonizzate; il percorso anomalo del F. Adige tra Domegliara e San Bonifacio e l'allineamento d'acque termalizzate radioattive (Baraldi et alii, 1980; Panizza et alii, 1981; Sighinolfi et alii, 1982).

Dal confronto con Castellarin (1981), quest'elemento corrisponde ad una faglia subverticale trascorrente sinistra a direzione NW - SE che corre pressappoco secondo l'allineamento Verona - Sant'Ambrogio di Valpolicella - Castion Veronese. Tale struttura potrebbe pure corrispondere alla "Flessura sudalpina" che divide la porzione affiorante delle Alpi meridionali dal loro proseguimento al di sotto dei depositi plio - pleistocenici della pianura padana (ENEL, 1981). Inoltre, il disturbo in oggetto ricade in una "fascia sismotettonica" che è caratterizzata da attività neotettonica e da attività sismica concentrata e recente (Panizza et alii, 1981).

Secondo il progetto ITHACA di ISPRA (catalogo delle faglie capaci, cioè in grado di produrre deformazioni in superficie), gli elementi più vicini convergono a circa 2.6 Km a SW dall'area di progetto: si tratta di "Adige Line", codice 71700, con direzione locale WNW - ESE ed lunghezza di 30 Km, con ultima attività in epoca storica (<3000 anni) e di "Sant'Ambrogio di Valpolicella", codice 80201, faglia trascorrente destra con direzione da NW - SE a NNW - SSE immergente a NE, della lunghezza di 39.4 Km, con ultima attività nel Pleistocene.



Faglie capaci "Adige line" e "Sant'Ambrogio di Valpolicella" (in rosso) e distanza dal PUA Oasi (in azzurro)

3.3 Idrogeologia

La scarsità d'acque superficiali della Lessinia, ai cui piedi si trova l'area in esame, è legata alla combinazione di processi fluviali e carsici. Importante nella carsificazione lungo gli assi vallivi e nelle conche è il ruolo delle coperture discontinue e di limitato spessore delle formazioni di tipo incoerente, come i depositi periglaciali e colluviali, morenici e di frana, che rappresentano dei "serbatoi d'acque epicarsiche", le quali sono cedute lentamente alle sottostanti rocce carsogene. Con riferimento all'influenza esercitata dalla tettonica sull'idrologia carsica, sono soprattutto le faglie, prevalentemente di tipo normale, che, mettendo a contatto diverse formazioni rappresentano delle vie preferenziali di deflusso delle acque sotterranee sia in senso verticale sia in senso obliquo ed orizzontale. La maggior parte delle doline e delle cavità di drenaggio verticale sono impostate in corrispondenza di faglie o d'importanti fratture associate a queste. L'apparente contrasto tra una morfologia carsica superficiale non molto evidente ed un'idrologia di tipo carsico (fluvio-carso) può essere spiegato con la presenza di un fitto reticolo di fratture e faglie (tectocarso) che drenano l'acqua verso le porzioni più profonde del massiccio carbonatico lessineo.

La circolazione dell'acqua sotterranea nei Lessini è caratterizzata da alta permeabilità e da bassi tempi di residenza del fluido nel mezzo roccioso. Si tratta dunque di circuiti veloci con tassi di rinnovamento che possono essere valutati nell'ordine di 2 - 4 mesi, 6 al massimo; inoltre, anche i fatti meteorici più intensi tendono a fluire con velocità elevata a causa della circolazione di tipo carsico, i cui tempi di risposta sono ancora più brevi, dell'ordine dei giorni o delle ore a seconda dei casi. Questi eventi si ripercuotono ovviamente nelle aree poste immediatamente a valle.

La falda freatica presso Arbizzano è ospitata nel materasso alluvionale pedecollinare e presenta un regime strettamente connesso con le precipitazioni e con profondità variabili in funzione dei livelli acquiclude. L'alimentazione è garantita dagli apporti provenienti dalla Lessinia, dalle precipitazioni efficaci, nonché dalla pratica dell'irrigazione a scorrimento, e limitatamente ai mesi estivi. Da indagini bibliografiche risulta che la zona in esame è caratterizzata da una falda profonda rispetto alle quote raggiunte dall'intervento, superiore ai 10 m da p.c. (rif. indagine eseguite dalla scrivente per immobili posti ad Est del campo sportivo di via S. Maria), anche se possono sussistere locali venute d'acqua lungo i livelli a maggiore permeabilità, in particolare in occasione di eventi meteorici importanti.

Si allega uno stralcio della “Carta Idrogeologica dei Monti Lessini” edita nell'Ottobre 2006 da Regione Veneto – Segreteria Regionale all'Ambiente e al Territorio, nell'ambito del progetto KATER, in cui con il colore verde si individua l'unità calcarea a permeabilità molto alta (per carsismo e porosità), con l'arancio depositi eluviali e colluviali a permeabilità molto bassa e con il giallo i depositi alluvionali limo – argillosi a permeabilità da bassa a molto bassa (sempre per porosità), cui viene attribuita l'area in esame.



Per quanto riguarda la circolazione idrica superficiale, il vaio del Ghetto lambisce il confine occidentale e meridionale del PUA Oasi: si tratta di un corso d'acqua a regime torrentizio con un bacino idrografico ridotto (secondo le cartografie regionali nasce all'altezza del vicino campo sportivo; il Consorzio di Bonifica Veronese lo indica da via Valfiorita) che in corrispondenza dell'area in esame presenta un alveo inciso depresso di circa 3.0 m rispetto al piano campagna circostante; più a Sud, all'altezza di via Camarele – via Case Zamboni, in passato sono state segnalate difficoltà di deflusso in concomitanza con eventi meteorici intensi e/o prolungati. Il progno di Negrar, corso d'acqua a regime torrentizio, controllato e regimato da opere idrauliche, scorre circa 250 m a Ovest dell'area in esame.

La Variante Generale al PAT nella “Carta delle invarianti” pone la sorgente più vicina in località San Vito.

3.4 Descrizione dell'area: lineamenti geomorfologici, successione litostratigrafica e idrogeologia

Gli elementi dominanti che determinano i lineamenti geomorfologici della zona in cui si inserisce l'intervento di progetto sono da ricondursi prevalentemente agli eventi quaternari che hanno prodotto i depositi fluvio-glaciali atesini e le alluvioni dei corsi d'acqua della Lessinia, ai quali si è sovrapposto in maniera determinante l'intervento antropico, con la realizzazione di scavi di sbancamento, riporti di materiali, sistemazione e modellazione dei terreni. L'area oggetto dell'intervento rispecchia questa situazione con evidenze sia degli elementi naturali che antropici: i depositi superficiali sono stati infatti rimaneggiati a seguito delle sistemazioni agronomiche che hanno interessato il sedime del PUA, con movimenti terra che hanno modificato l'originaria conformazione.

In dettaglio il sito si presenta digradante verso Sud - Ovest, con pendenze modeste; ai margini Ovest e Sud, come già accennato, è presente l'alveo del vaio del Ghetto.

Dal punto di vista geolitologico, l'area in esame ricade nel fondovalle, al piede dei rilievi lessinei e, più in dettaglio, del salto di quota dovuto al conoide di Novare: i terreni sono costituiti da prevalenti depositi fini con subordinata frazione granulare, alternati a livelli sabbioso – ghiaiosi in matrice argillosa.

Sotto l'aspetto idrogeologico l'area indagata non presenta particolari peculiarità in quanto non sono presenti sorgenti o venute d'acqua a carattere perenne: si ricorda che il vaio del Ghetto è segnalato a partire dal margine meridionale della dorsale della Valfiorita.

I terreni superficiali presentano una variazione sia verticale che orizzontale di permeabilità, generalmente da mediocre a bassa, in funzione delle caratteristiche granulometriche e tessiturali dei depositi.

Nel corso delle indagini non è stato rilevato il livello freatico, e la falda, la cui alimentazione è garantita dagli apporti provenienti dalla Lessinia e dalle precipitazioni efficaci, è profonda rispetto alle quote di intervento, attestandosi in accordo ai dati bibliografici relativi ad aree contermini ad oltre 10 m da piano campagna.

Per quanto riguarda le criticità di natura idraulica, il sito specifico in accordo ai dati raccolti ed alle indicazioni degli strumenti urbanistici (per l'analisi delle quali si rimanda al paragrafo 7) a differenza di aree circostanti non presenta particolari criticità, presentando l'alveo del vaio del Ghetto una sezione ampia ed essendo approfondito di circa 3 m rispetto al piano campagna; in merito al cambio di direzione del corso d'acqua all'altezza dell'area in esame, si precisa che eventuali fenomeni erosivi che si potessero innescare in futuro coinvolgerebbero la sponda opposta dell'alveo, ed interesserebbero quindi le campagne ad Ovest e non l'ambito di PUA.

Lo smaltimento dei deflussi superficiali risente sia delle pendenze che soprattutto della tipologia di terreni, costituiti superficialmente da depositi a permeabilità medio - bassa; il lotto in esame smaltisce i deflussi parte per assorbimento e parte per scorrimento secondo le pendenze. La realizzazione del progetto comporterà una diminuzione nella percentuale di precipitazioni infiltrata, per cui sono necessarie misure compensative: a tal scopo, è stato predisposto uno specifico studio di compatibilità idraulica.

Infine, nell'area in esame non si evidenziano allo stato attuale fenomeni di dissesto idrogeologico.

4 Indagini in sito

Per confermare il quadro ottenuto con l'esame dei dati bibliografici, sono state realizzate due trincee esplorative, integrate con indagini sismiche Re.Mi. ed HVSR. Inoltre, sono state riprese le indagini di interesse eseguite dal Dott. Paolo De Rossi per l'adiacente PUA S. Maria, illustrate nella "Relazione geologica, geotecnica ed idrogeologica" redatta nel 2016 a supporto del "Piano Urbanistico Attuativo S. Maria – allargamento stradale via Camarele – sistemazione campetto S. Maria con manto sintetico" per conto di Co. Ge. Se. S.r.l., Santa Maria 90 S.r.l., Brunelli S.r.l., reperita nel sito istituzionale del comune di Negrar di Valpolicella.

Si riporta un'immagine ripresa da Google maps con l'indicazione delle prove eseguite dal Dott. De Rossi (T1₂₀₁₆ e T2₂₀₁₆) ed eseguite in sito (trincee T1 e T2, indagini geofisiche Re.Mi. ed HVSR): queste ultime, condizionate dalla presenza dei filari di vigneto, sono state disposte in funzione della disposizione del lotto e delle relative opere di urbanizzazione (cfr. planimetria pag. 3), e non hanno pertanto interessato il settore NW dell'ambito.



Le stratigrafie sono riportate alle pagine seguenti.

Trincea T1

Strato	Prof. da p.c. (m)	Descrizione litologica	
VR	0.50	Terreno vegetale rimaneggiato di colore bruno scuro, a tessitura argillosa debolmente sabbiosa, con poca ghiaia spigolosa di dimensioni max 1 – 2 cm.	
G	1.20	Ghiaie di dimensioni centimetriche in matrice limoso - argillosa	
A	1.80	Argille limose di colore bruno rossastro con poca ghiaia di dimensioni centimetriche	
G	2.20	Ghiaie di dimensioni centimetriche in abbondante matrice limoso - argillosa	

Cumulo dei terreni scavati



Trincea T2

Strato	Prof. da p.c. (m)	Descrizione litologica	
VR	0.30	Terreno vegetale rimaneggiato di colore bruno scuro, a tessitura argillosa debolmente sabbiosa, con ghiaia da spigolosa a subarrotondata di dimensioni max 1 – 5 cm.	
G	1.00	Ghiaie di dimensioni centimetriche in scarsa matrice limoso - argillosa	

Cumulo dei terreni scavati



N.B.: l'immagine è stata scattata durante l'esecuzione della prova di permeabilità

Trincea T1₂₀₁₆

da m 0 a 5,5 ghiaia ad elementi spigolosi centimetrici in abbondante matrice limo argillosa

da m 5.5 a 5,9 ghiaia e sabbia lessinea con scarsa matrice fine e permeabile



Trincea T2₂₀₁₆

da m 0 a m 0,3 terreno di coltivo limo-argilloso

da m 0,3 a m 1,3 argilla marrone

da m 1,3 a m 2,3 ghiaia in abbondante matrice limo argillosa

da m 2,3 a m 2,9 argilla

da m 2,9 a m 5 ghiaia e sabbia lessinea con scarsa matrice fine e permeabile



I terreni dell'area, al di sotto del vegetale, sono costituiti da alternanze di livelli a ghiaie ed argille prevalenti, con grani con spigoli prevalentemente non arrotondati e forme irregolari, indice di scarso trasporto.

Questi depositi, una volta movimentati per le necessità di cantiere, potranno essere riutilizzati in sito o conferiti ad altra area autorizzata ottemperando al regolamento di cui al DPR 120/2017 “disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’art. 18 del D.L. 12.09.2014 n. 33, convertito con modificazioni dalla Legge 11.11.2014, n. 164”, in attuazione dei principi e delle disposizioni della direttiva 2008/98/CE, che fornisce le indicazioni per la gestione delle terre e rocce da scavo.

La *falda freatica* in accordo con i dati bibliografici si situa ad oltre 10 m da p.c.; possono sussistere locali venute d’acqua in coincidenza con eventi meteorici importanti nei livelli a maggiore permeabilità.

La *permeabilità* dei terreni è stata valutata tramite l’esecuzione di una prova in pozzetto a carico variabile eseguita nella trincea T2 a fondo foro, come da immagine a pag. 12: la prova (A.G.I. 1977) fornisce una valutazione della permeabilità dei terreni al di sopra del livello di falda, ed è consistita nel riempire d’acqua il pozzetto e quindi misurare gli abbassamenti del livello del pelo libero nel tempo. Il coefficiente di permeabilità K viene calcolato con la seguente relazione:

$$k = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \frac{1 + \left(2 \frac{h_m}{b}\right)}{\left(27 \frac{h_m}{b} + 3\right)}$$

con:

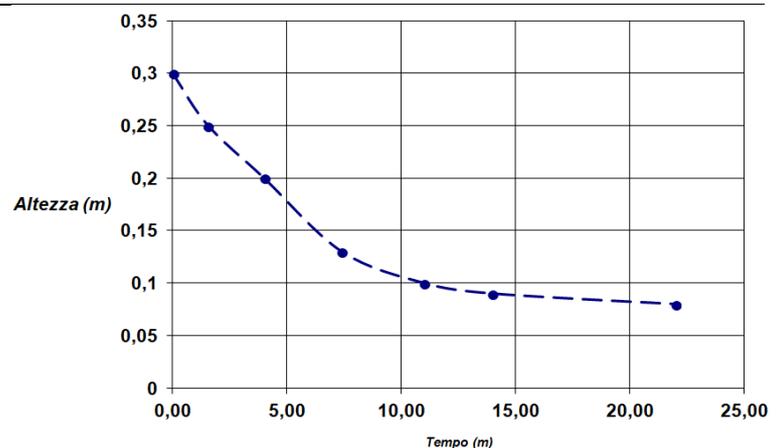
h_m = altezza media dell’acqua nel pozzetto;

b = lato della base del pozzetto

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo;

$h_2 - h_1$ = variazione di livello dell’acqua nell’intervallo $t_2 - t_1$.

Tempo [min]	h [m]	l-h [m]	Tempo [s]
0,00	0,3		
1,55	0,25	0,05	115
4,00	0,2	0,1	240
7,40	0,13	0,17	460
11,00	0,1	0,2	660
14,00	0,09	0,21	840
22,00	0,08	0,22	1320



Nel caso in esame si è ottenuto il seguente valore di permeabilità:

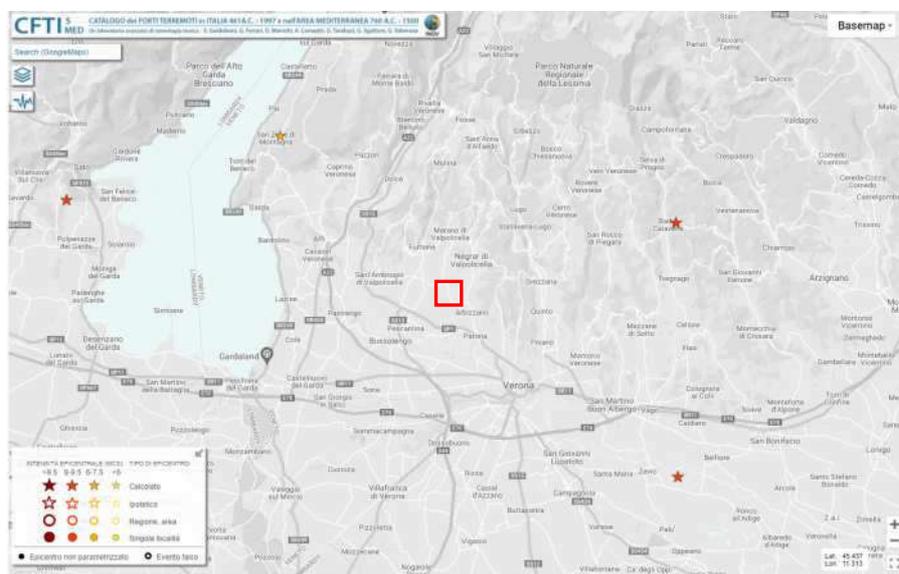
$$K = 5.9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Per quanto riguarda la *vulnerabilità intrinseca degli acquiferi*, in ragione della scarsa permeabilità dei terreni, questa si attesta tra valori medio – bassi e bassi.

5 Sismicità storica e pericolosità sismica locale – caratterizzazione sismica del sito

Nel corso della campagna geognostica è stata inoltre condotta da Anber S.r.l.s. di Schio (VI), una indagine geofisica tramite metodi di prospezione sismica Re.Mi. (Refraction Microtremor) ed HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), oggetto di una specifica relazione illustrativa riportata in Allegato B, di cui di seguito si sintetizzano le risultanze. Si ricorda infatti che a seguito delle recenti normative regionali (Deliberazione della Giunta Regionale 29.12.2020, n. 1823 - BUR 206 del 31.12.2020; Deliberazione della Giunta Regionale 09.03.2021, n. 244 - BUR 38 del 16.03.2021; Deliberazione della Giunta Regionale del 30.03.2021, n. 378 - BUR 44 del 31.03.2021), le zone sismiche del Veneto sono state aggiornate, ed il comune di Negrar di Valpolicella ricade in zona 2; sono inoltre state approvate le nuove disposizioni regionali per le autorizzazioni in zona sismica e per gli abitati da consolidare; infine, gli strumenti urbanistici vigenti caratterizzano l'ambito di PUA come potenzialmente soggetto a liquefazione. Pertanto di seguito *si riportano alcuni cenni di inquadramento di sismicità storica e di pericolosità sismica locale, ed un approfondimento circa la modellazione sismo – stratigrafica e la suscettibilità a liquefazione del sito.*

Sulla base di dati sismologici, elementi strutturali ed informazioni relative alla tettonica in atto, l'area in esame viene attribuita dallo studio di M. Sukan e L. Peruzza (2011) “Distretti sismici del Veneto” al distretto denominato Lessini – Schio, stante la presenza di elementi sismologico – sismogenici comuni: tale distretto si estende dai fronti esterni delle Giudicarie a Ovest, per arrivare alla flessura pedemontana a Est, comprendendo i Lessini, la fascia della linea Schio – Vicenza ed i rilievi di Berici ed Euganei. L'area è interessata da prevalenti faglie trascorrenti, con direzione NW – SE; vi sono elementi tettonici a direzione ENE – WSW. In termini di neotettonica, è in atto un sollevamento articolato dell'area, con suddivisione in blocchi soggetti a sollevamenti differenziali e basculamenti ad opera delle faglie sub verticali giudicarinesi, scledensi e valsuganesi; Lessini orientali, Berici e Euganei sono interessati da inarcamento anticlinalico, mentre i Lessini occidentali presentano basculamenti con abbassamento della porzione occidentale. La sismicità storica individua nel distretto dei Lessini due forti eventi medievali ed alcuni eventi che hanno superato la soglia del danno. In quest'area ricadono gli epicentri dedotti da informazioni macrosismiche del sisma del 1117 ($M_w = 6.49$), evento problematico per localizzazione e stima degli effetti, e del basso bresciano del 1222 ($M_w = 6.05$). Si ricordano i sismi localizzati in val d'Illasi del 1891, 1892 ($M_w = 5.17$), 1894 ($M_w = 5.17$), 1908 ($M_w = 5.01$). Riguardo ai “forti terremoti”, INGV ha redatto CFTI 5 Med, Catalogo dei Forti terremoti in Italia (461 a. c. – 1997) e nell'area Mediterranea (760 a. C. – 1500) a cura di E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi, G. Sgattoni, G. Valensise (2018).



Via Sebenigo, 19/A – 36040 Grisignano di Zocco (VI) – cell. 348 0424140

I forti terremoti di maggiore intensità più vicini all'area in esame nella finestra di magnitudo equivalente compresa tra 5.0 e 7.4 sono:

Date	Time	Lat	Lon	Rel	Io	Imax	Sites	Nref	Me	Rme	Location	Country
07 06 1891	01:06:14	45.567	11.167	b	8.5	9	403	0303	5.9	!	Valle d'Illasi	Italy
03 01 1117	15:15	45.367	11.167	b	9	9.1	55	0600	6.8	!	Veronese	Italy
30 10 1901	14:49:58	45.583	10.5	b	8	8	191	0124	5.7	!	Salò	Italy

Con riferimento ai cataloghi predisposti da INGV ed al Database Macrosismico Italiano 2015, DBMI15, che si riferisce a terremoti con magnitudo stimata maggiore o uguale a 5 avvenuti dall'anno 1000 al 2014, facendo una ricerca per singola località si visualizzano le storie sismiche di sito, cioè gli effetti osservati e documentati per i terremoti che hanno interessato un luogo. La tabella sintetica riferita a Negrar risulta interessata da 9 eventi:

Negrar

PlaceID: IT_22939
 Coordinate (lat, lon): 45.530, 10.939
 Comune (ISTAT 2015): Negrar
 Provincia: Verona
 Regione: Veneto
 Numero di eventi riportati: 9

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1876	04	29	10	49		Monte Baldo	25	7	5.07
5-6	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
5-6	1894	02	09	12	48	0	Valle d'Illasi	116	6	4.74
4	1983	11	09	16	29	5	Farmense	850	6-7	5.04
4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
NF	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78
3	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
4	2008	12	23	15	24	2	Farmense	291	6-7	5.36

Per gli eventi più recenti, INGV – Centro Nazionale Terremoti propone una lista di sismi dal 1 Aprile 2005 alla data odierna, di cui si riporta un estratto relativo ad eventi con magnitudo superiore a 3 accaduti ad una distanza di 30 Km dall'area di progetto: si sono registrati 13 terremoti:

Visualizzati **13** terremoti (Ordinamento Tempo Decrescente)

Esporta lista (UTC) ▼

Data e Ora (Italia) ↓	Magnitudo ↓	Zona	Profondità ↓	Latitudine	Longitudine
2021-11-17 08:54:18	ML 3.0	5 km N Torri del Benaco (VR)	8	45.65	10.67
2019-12-07 03:29:59	ML 3.2	1 km SE Vigasio (VR)	8	45.31	10.95
2017-07-21 19:03:55	Mw 3.2	4 km NW San Zeno di Montagna (VR)	10	45.66	10.70
2017-06-04 20:00:56	ML 3.6	3 km SE Gargnano (BS)	8	45.67	10.69
2014-08-28 19:49:20	Mw 3.6	4 km S Gargnano (BS)	10	45.66	10.67
2013-06-18 22:25:10	ML 3.0	3 km E Negrar (VR)	9	45.54	10.98
2012-01-25 08:26:35	ML 3.0	2 km NE Negrar (VR)	6	45.55	10.95
2012-01-25 00:54:46	Mw 3.8	4 km E Negrar (VR)	10	45.53	10.98
2011-12-05 17:01:59	ML 3.1	1 km E Toscolano Maderno (BS)	22	45.64	10.63
2011-10-31 23:34:05	ML 3.2	1 km W Avio (TN)	5	45.73	10.93
2011-10-31 23:12:44	ML 3.4	2 km S Avio (TN)	6	45.72	10.94
2011-10-29 06:13:34	Mw 3.9	4 km SW Avio (TN)	10	45.71	10.91
2011-07-07 10:01:22	ML 3.0	SE Ferrara di Monte Baldo (VR)	3	45.67	10.86

La zonazione sismica attualmente vigente è denominata ZS9 (INGV, 2004): il territorio comunale ricade entro la zona sismogenetica 906, legata alla convergenza tra la placca tettonica “Adria” e la placca tettonica “Southern Alps” con strutture a pieghe sud-vergenti e faglie inverse associate (thrusts prevalenti). I terremoti storici nella Zona 906 hanno raggiunto valori superiori a $M > 6$; il valore massimo rilevato è pari a $M_d = 4.70$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 5 e 8 Km, con profondità efficace di 8 Km; si prevedono, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{max} = 6.60$.

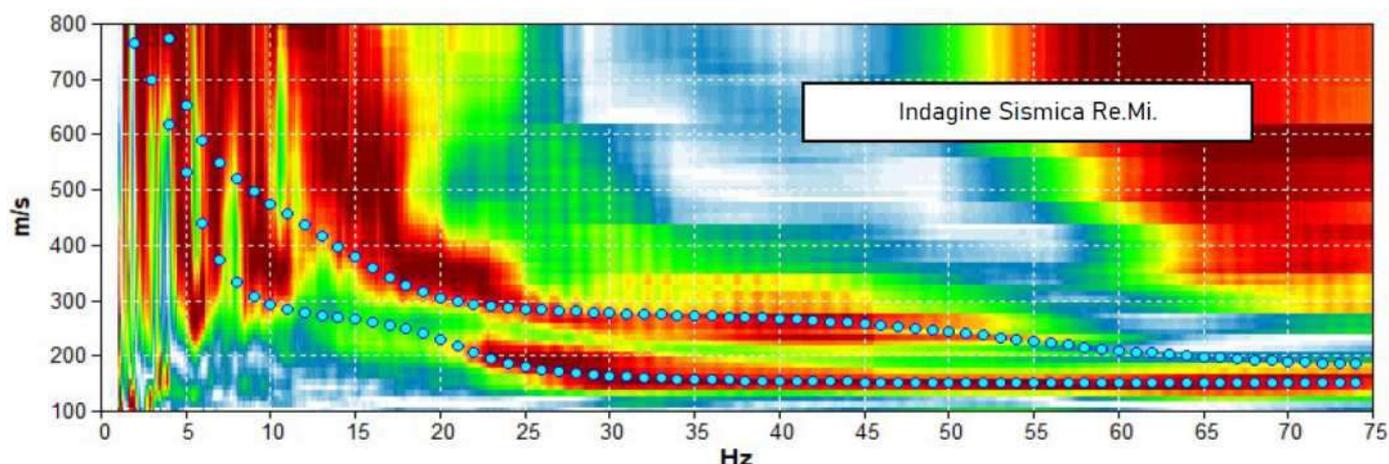
Riguardo alla modellazione sismo-stratigrafica di sito, come accennato in precedenza, è stata eseguita una *indagine geofisica tramite metodi di prospezione sismica Re.Mi. (Refraction Microtremor) ed HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)*: le metodologie citate consentono di ottenere un modello verticale delle Vs a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie (in particolare le onde di Rayleigh), e non attraverso quelle di volume, come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale. Inoltre, la tecnica di Nakamura (HVSR) permette di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del terreno, indispensabili per una corretta progettazione antisismica. Nel dettaglio, è stata effettuata una prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. sviluppata in un array lineare con 16 geofoni a 4.5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l’assegnazione della categoria del sottosuolo di fondazione ($V_{s,eq}$), come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018), ed una registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Per l’indagine Re.Mi. i parametri da fissare la lunghezza di stendimento L e la distanza intergeofonica Δx : quest’ultima agisce come una specie di filtro in frequenza, poiché si suppone che il segnale arrivi da tutte le direzioni: maggiore è la spaziatura tra i geofoni, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa; più è bassa la frequenza, più aumenta la profondità di indagine. Nel caso in esame i geofoni sono stati spaziati di 2 m, e la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 30 m. La fase più delicata è quella del “data processing”, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l’obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili alle velocità Vs di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1.1 V_r$): l’informazione registrata nel dominio spazio – tempo viene trasformata in un dominio in cui l’energia associata all’evento è funzione della frequenza e di altre variabili, al fine di localizzare la densità di energia maggiore, a cui sono usualmente associate le onde di Rayleigh: con procedura manuale vengono selezionati sullo spettro dei punti (picking) che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. Il “sampling rate” utilizzato è stato di 512 Hz, in modo da ottenere un elevato dettaglio di segnale, e la durata di registrazione è stata di 6 minuti; per l’analisi spettrale è stato utilizzato il software Grilla v. 9.7.2 release 2021.

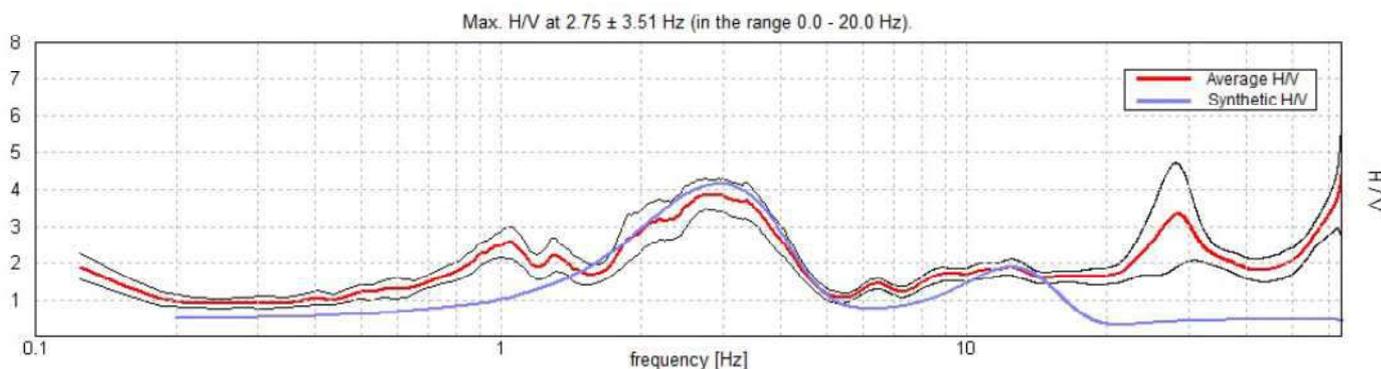
Rimandando alla relazione allegata per i dettagli dell’indagine, dall’analisi dei risultati è possibile affermare che l’utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d’interesse: l’indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S, mentre la prospezione passiva a stazione singola (HVSR), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura profonda e determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

Per l'ubicazione delle prove (eseguite alle coordinate 45,49725 N; long.10,93474 - WGS84), si rimanda alla corografia di pag. 10.

L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per una attendibile ricostruzione sismo – stratigrafica del sottosuolo.



Spettro di velocità da indagine Re.Mi.: il modo fondamentale è presente in quasi tutte le frequenze campionate. Il segnale si presenta con buona coerenza. In blu le curve sintetiche create da una modellazione diretta delle onde S.



La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sintetico registrato in campagna, mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

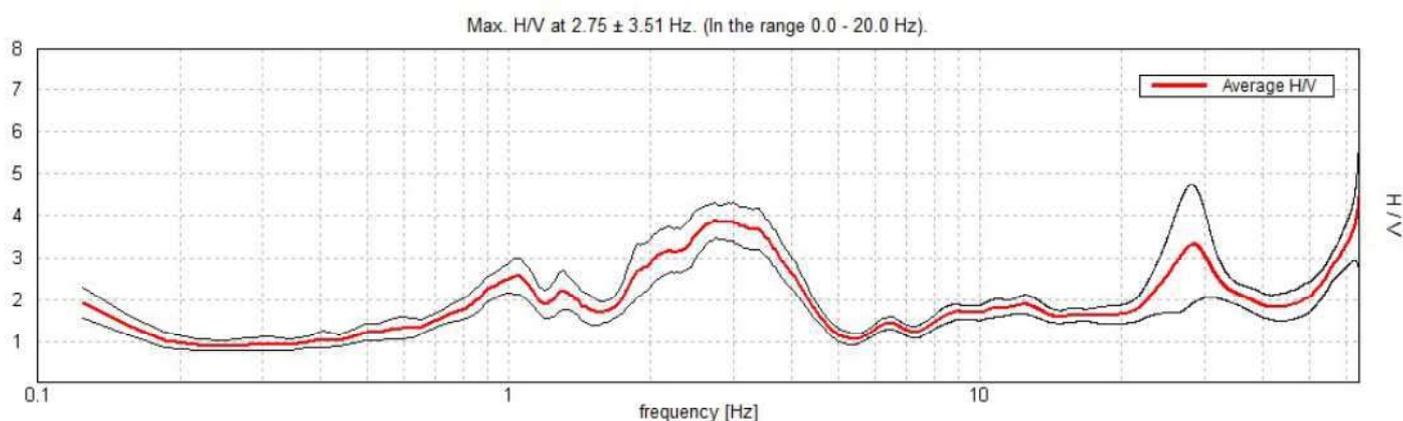
La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ottenuta ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 3.3 m dal piano campagna locale, caratterizzato da valori di V_s di circa 160 m/s, mentre per valori di profondità maggiori le onde S raggiungono i 310 m/s; a circa 18 m da p.c. si registra un ulteriore incremento di rigidità del sottosuolo con V_s che si stabilizzano a circa 500 m/s; a circa 38 m dal p.c. locale, le onde S raggiungono valori di 730 m/s circa. Il bedrock geofisico, inteso come materiale con $V_s \geq 800$ m/s, è stato individuato a 88 m da p.c. Il *modello sismo – stratigrafico interpretativo* conseguito risulta quindi il seguente:

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	3.3	0.0 – 3.3
II SISMOSTRATO	310	15	3.3 – \approx 18
III SISMOSTRATO	500	20	\approx 18 – \approx 38
IV SISMOSTRATO	730	50	\approx 38 – \approx 88
V SISMOSTRATO	900	Semisp.	\approx 88 – Semisp

Rimandando sempre alla relazione di Anber S.r.l.s. allegata per i dettagli dell'indagine, si sono inoltre ottenuti dati relativi alla *frequenza caratteristica di risonanza del sito* che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza".

A tale scopo, si è cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta HVSR con le frequenze fondamentali di risonanza di sito: interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza caratteristica di risonanza di sito generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0.0 – 20.0 Hz) è di 2.75 Hz: si dovrà quindi porre attenzione nell'edificare strutture con lo stesso periodo di vibrazione del terreno, poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.



Rapporto spettrale H/V misurato: in rosso il valore di H/V medio, in nero l'intervallo di confidenza al 95%.

Dalle informazioni sitospecifiche ottenute dalle indagini condotte, si passa a valutare l'azione sismica riferita all'intervento di progetto: con riferimento al paragrafo 3.2.2 delle NTC "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche", per quanto riguarda le *categorie di sottosuolo*, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi; in assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può utilizzare un approccio semplificato, basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab 3.2.II). I valori di V_s possono essere ottenuti tramite specifiche prove, oppure con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'approccio semplificato sono riportate nella tabella seguente; si ricorda che per le fondazioni superficiali, la profondità è riferita al piano di imposta delle stesse.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

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

Dall'assetto sismostratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del bedrock geofisico alla profondità superiori a 30 m da p.c.: pertanto si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m ($V_{s,eq}$), come richiesto dalle N.T.C., che per le diverse profondità di interesse risulta:

Profondità piano di posa fondazioni	$V_{s,eq}$ misure Re.Mi. + HVSR
0 m da p.c.	$V_s (0-30) \approx 325$ m/s
1 m da p.c.	$V_s (1-31) \approx 340$ m/s
2 m da p.c.	$V_s (2-32) \approx 358$ m/s
3 m da p.c.	$V_s (3-33) \approx 377$ m/s

Pertanto si attribuisce al sito la categoria di sottosuolo "C" per imposta delle fondazioni fino a 2.00 m da piano campagna, e "B" per profondità superiori.

5.1 Verifica della suscettibilità a liquefazione

Dalle risultanze delle indagini condotte e dall'analisi dei dati bibliografici, è possibile affermare che il sito non fa parte di zone instabili, quali le aree prossime a faglie, e/o zone in dissesto; non sono stati individuati materiali molto scadenti; non sono presenti depositi potenzialmente compressibili, in quanto i livelli argillosi presentano sempre una frazione granulare. Per quanto riguarda la suscettibilità a liquefazione, non sono presenti le granulometrie che predispongono a tale criticità, e la falda è relativamente profonda: tuttavia, poiché il sito specifico in accordo agli strumenti urbanistici vigenti ("Carta delle fragilità" della Variante Generale al PAT) ricade tra le zone suscettibili di instabilità in caso di evento sismico per possibili fenomeni di liquefazione, di seguito viene svolto un approfondimento basato sui risultati delle indagini geofisiche effettuate.

La liquefazione è un fenomeno associato alla perdita della resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, in conseguenza ad un significativo aumento della pressione interstiziale dell'acqua presente nei vuoti intergranulari, che determina una fluidificazione del materiale con conseguenti potenziali effetti di instabilità nei confronti delle opere di fondazione ed in elevazione; la liquefazione di un terreno suscettibile al fenomeno è conseguenza non solo dell'occorrenza di un forte sisma, sia in termini di magnitudo che di durata, ma anche delle condizioni litostratigrafiche, idrogeologiche e meccaniche dei terreni di fondazione.

Per valutare la necessità di specifiche verifiche sulla possibilità avvengano fenomeni di liquefazione, l'unica condizione di esclusione in cui può ricadere il sito riguarda l'eventualità che le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultino minori di 0.1 g (non sussistono gli altri fattori: il livello freatico non è noto con certezza, ma non è presente fino a 10 m da p.c., profondità che cautelativamente sarà presa come riferimento per le verifiche; non sono state eseguite indagini di laboratorio per valutare la distribuzione granulometrica, che comunque risulta estremamente variabile; non sono state effettuate prove penetrometriche).

La pericolosità sismica del sito, nell'ipotesi di una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_r = 475$ anni, tipo di costruzione 2; vita nominale 50 anni; classe d'uso II) prevede un valore di accelerazione sismica orizzontale ag riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a 0.163g. Considerando la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1, per il tempo di ritorno di riferimento si ottengono un coefficiente topografico $S_t = 1.000$ ed un coefficiente stratigrafico $S_s = 1.460$, valori che comportano la seguente accelerazione massima attesa:

$$a_{\max} = S_s \times S_t \times a_g = 1.460 \times 1.000 \times 0.163 \text{ g} = 0.238 \text{ g} > 0.100 \text{ g}$$

Nel caso di fondazioni con imposta più profonda di 2 m da p.c., la categoria di sottosuolo di riferimento diventa "B". L'accelerazione massima attesa risulta quindi:

$$a_{\max} = S_s \times S_t \times a_g = 1.200 \times 1.000 \times 0.163 \text{ g} = 0.196 \text{ g} > 0.100 \text{ g}$$

Pertanto il sito non rientra tra le aree soggette ad esclusione della verifica alla liquefazione: tra le varie metodologie presenti in letteratura, sulla base dei dati disponibili, si è effettuata una valutazione del fattore di sicurezza relativo al potenziale di liquefazione secondo il metodo di Andus e Stokoe (1997), che si basa sull'utilizzo dei risultati delle prove sismiche, inserendo come valore di magnitudo momento $M = 6.51$ (valore riferito al terremoto di Verona del 1117, con epicentro a 23 Km di distanza dal sito), i valori di campagna dei primi tre sismostrati individuati (le verifiche vanno condotte fino a 20 m da p.c.) e la quota di falda a 10 m da p.c.: gli strati di interesse non sono suscettibili alla liquefazione ed il rischio nel complesso è molto basso, come da verifiche riportate in Allegato A.

Si precisa che l'elaborazione condotta utilizza dati indiretti, e quindi i risultati ottenuti sono assimilabili a stime, derivando dalla normalizzazione delle Vs: eventuali approfondimenti con specifiche indagini potranno essere effettuati antecedentemente alla fase esecutiva.

6 Indagine storica su eventuali criticità di natura antropica relative all'area

Secondo la suddivisione riportata nella Variante Generale al PAT l'area oggetto di PUA ricade entro l'ATO n. 03 Arbizzano – Santa Maria, che si ubica nella parte meridionale del territorio comunale di Negrar di Valpolicella, e comprende gli abitati di Arbizzano e S. Maria, a tessuto insediativo compatto, e l'insediamento residenziale della Valfiorita ad Est, mentre al confine con il comune di San Pietro in Cariano il tessuto insediativo risulta pressoché assente ed il paesaggio di pianura è caratterizzato da vigneti e seminativi.

Dai dati disponibili, la zona interessata è stata utilizzata in passato solo ai fini agronomici. Per valutare eventuali ulteriori criticità, l'indagine storica è stata svolta con l'analisi delle immagini da satellite reperite sul Portale Cartografico Nazionale a cura del Ministero dell'Ambiente, che hanno consentito di risalire allo stato dei luoghi a partire dal 1988.



1988



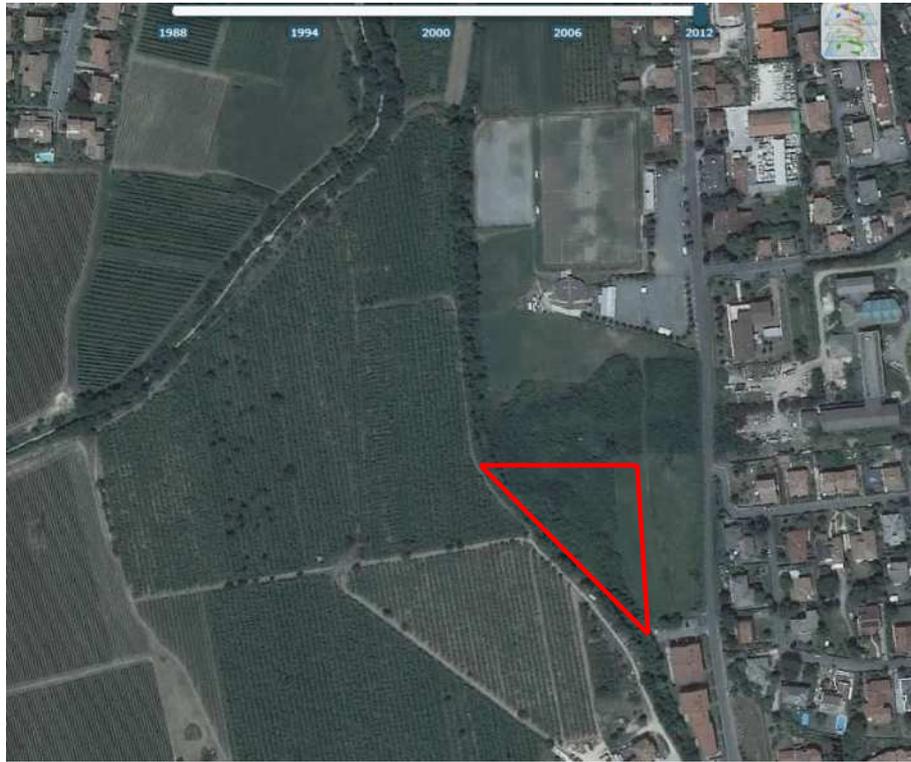
1994



2000



2006



2012

Lo stato attuale dei luoghi è osservabile a pag. 2: come si può osservare, a partire dal 1988 l'area di progetto è rimasta incolta od utilizzata a fini agronomici.

7 Analisi dei vincoli e delle criticità in accordo alla pianificazione di Distretto Idrografico Alpi Orientali, Autorità di Bacino fiume Adige, Provincia di Verona e Comune di Negrar di Valpolicella

Dai rilevamenti condotti e dall'esame dei dati bibliografici per il sedime del PUA Oasi non sussistono criticità e/o penalizzazioni di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico ed in conseguenza a problematiche di liquefazione a seguito di eventi sismici; dalle analisi storiche, l'ambito è invariato dagli anni '80 e successivamente a tale periodo non sono state evidenziate problematiche particolari. Si evidenzia inoltre che:

- Il territorio comunale ricade nel Distretto Idrografico Alpi Orientali, che comprende il bacino idrografico del fiume Adige. L'aggiornamento del "Piano di gestione del rischio alluvioni" 2021 – 2027 in ottemperanza alla Direttiva Europea 2007/60/CE ed all'art. 7 del D. Lgs. n. 49/2010 redatto dal distretto idrografico delle Alpi Orientali ed adottato dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino con Delibera n. 3 in data 21.12.2021 (BUR n. 23 del 18.02.2022) ai sensi degli articoli 65 e 66 del D.Lgs n. 152/2006 ha prodotto mappe di pericolosità che individuano le aree geografiche soggette a possibili allagamenti secondo diversi scenari, correlate alle relative mappe di rischio. Sono state individuate superfici con criticità conseguenti a: alluvioni con bassa probabilità, o scenari di eventi estremi (periodo di ritorno ≥ 300 anni); alluvioni con media probabilità (periodo di ritorno ≥ 100 anni); alluvioni con alta probabilità (periodo di ritorno ≥ 30 anni); inoltre il Piano ha posto in salvaguardia, ai sensi dell'art. 65, comma 7 del D.Lgs. 152/2006, le norme tecniche di attuazione con le relative cartografie. Con riferimento alla piattaforma SIGMA – Monitoraggio delle informazioni e dei procedimenti ambientali, per l'ambito in esame non è stato individuato alcuno scenario soggetto a criticità.
- A conferma di ciò, anche le cartografie riguardanti la pericolosità idraulica riportate nel Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Adige (<http://www.bacino-adige.it>) non evidenziano aree a rischio all'interno del territorio comunale.
- La "Carta delle fragilità" del PTCP della provincia di Verona indica come elementi di criticità presso l'ambito di interesse la presenza di un'area a periodico ristagno idrico e la presenza di un elettrodotto.



Estratto legenda:

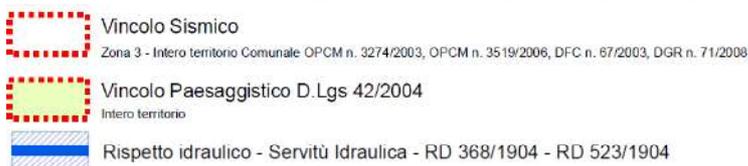
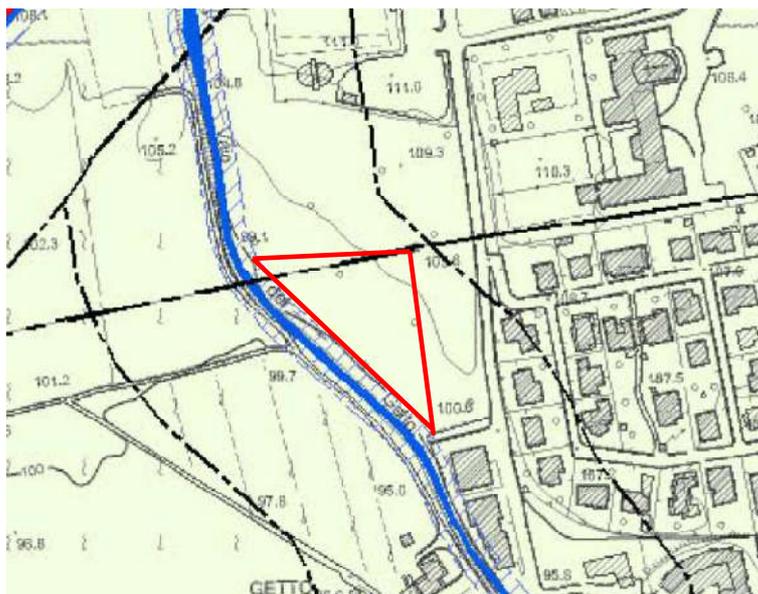


Area a periodico ristagno idrico (N.T.A.: Art. 11 - 12 - 20)

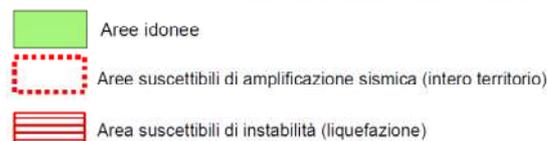
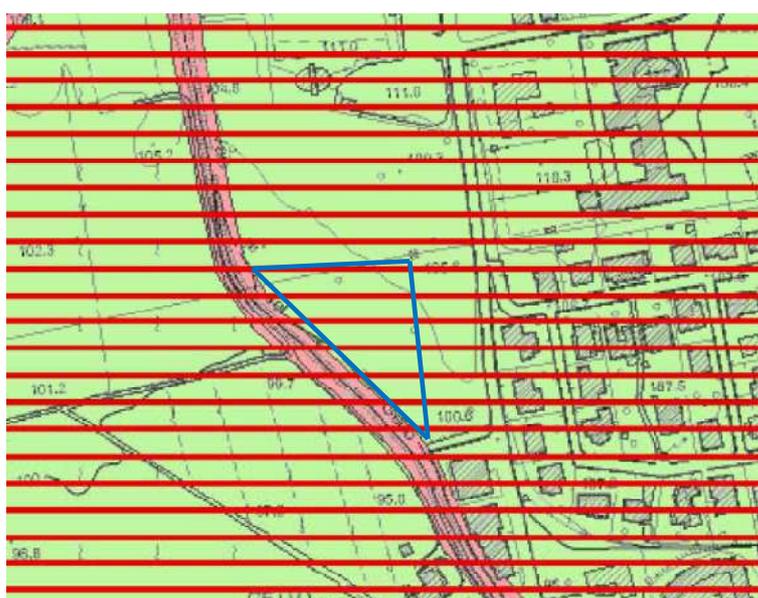
A riguardo si precisa che lo studio VCI redatto per la Variante 4 al PI comunale riporta quanto segue: “In riferimento all’area a periodico ristagno idrico (area a deflusso difficoltoso) individuata dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Verona (PTCP) in corrispondenza della frazione di Arbizzano, si ritiene che l’approfondimento operato dallo Studio di Compatibilità Idraulica sia stato condotto ad una scala di adeguato dettaglio tale da addivenire ad una precisa perimetrazione dell’area riportata alla Tavola 2a Carta delle fragilità del PTCP”: tale delimitazione non comprende l’area in esame.

Il bacino idrografico dei progni di Novare, Arbizzano e Ghetto è di competenza del Consorzio di Bonifica Veronese: non risultano segnalazioni di particolari problematiche nell’intorno dell’area di intervento.

A livello comunale, gli studi sono finalizzati ad appurare che le trasformazioni urbanistiche non contribuiscano ad aggravare le condizioni di rischio e/o pericolosità geologica ed idraulica. Si riporta un estratto della “Carta dei vincoli e della pianificazione territoriale” della Variante Generale al PAT del comune di Negrar di Valpolicella, adottata con D.C.C. n. 57 del 28/09/2017 ed approvata con Conferenza di Servizi del 17/01/2019, in cui si può osservare che in corrispondenza dell’area di progetto vigono i vincoli paesaggistico e sismico, estesi all’intero territorio comunale; inoltre la zona a ridosso del vaio del Ghetto è sottoposta a rispetto idraulico.



Nell’elaborato “Carta delle fragilità” della Variante Generale al P.A.T. l’area in oggetto risulta idonea all’edificazione; è definita suscettibile di instabilità in caso di evento sismico per potenziale amplificazione sismica e per liquefazione.



La “Carta delle fragilità” della variante n. 4 al Piano degli Interventi classifica il PUA come zona C2/6; conferma l’ambito essere idoneo in termini di compatibilità geologica ai fini edificatori (fondo verde) e lo attribuisce ad aree suscettibili di instabilità per amplificazione sismica e per fenomeni di liquefazione.

COMPATIBILITA' GEOLOGICA AI FINI URBANISTICI

 Aree idonee

AREE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA' IN CASO DI eventi sismico (TAV 3 - MS)

 Area suscettibili di instabilità (liquefazione)

 Aree suscettibili di amplificazione sismica (Intero territorio)



Il “Piano comunale delle acque” datato Febbraio 2020 nella “Tavola delle aree allagate” comprende l’ambito tra i dissesti idrogeologici già segnalati (nel caso specifico la fonte è costituita dal PTCP).

Con il n. 22 inoltre si segnala:

Acque veronesi	Esondazione per insufficienza rete fognaria in Via della Repubblica
----------------	---



Dissesti idrogeologici

 Aree critiche aggiunte con aggiornamento al 2019

 Dissesti segnalati già precedentemente da vari enti e Piani (PI, PAT, Acque Veronesi, Comune, PTCP)

Segnalazioni 2018

 Segnalazioni di criticità

8 Verifica della compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica dell'intervento

Sulla base delle indicazioni bibliografiche e delle indagini condotte per determinare l'idoneità della proposta di Piano Urbanistico Attuativo in esame si conclude che:

- Nell'area interessata *non sussistono criticità di natura geologica*: al di sotto del vegetale, i terreni sono costituiti da depositi alluvionali a tessitura fine con subordinata frazione granulare, alternati sia in senso orizzontale che verticale, a livelli ghiaiosi in matrice argillosa.
- L'ambito presenta una leggera pendenza verso Sud – Ovest: l'area si può definire *geomorfologicamente compatibile ai fini edificatori* vista l'assenza di evidenti discontinuità di forma.
- Nell'ambito *non vi sono criticità e/o pericolosità di natura idrogeologica*; gli scavi sono risultati asciutti; la falda, da dati bibliografici, si attesta alla profondità di almeno 10 m da piano campagna, anche se sono possibili locali venute d'acqua lungo i livelli a maggiore permeabilità in occasione di eventi intensi e prolungati. La permeabilità dei depositi è medio - bassa: per questo motivo, la vulnerabilità dell'acquifero sottostante non può essere definita elevata. Si ricorda che è stata predisposta una specifica valutazione di compatibilità idraulica per analizzare le modifiche del regime idraulico provocate dalle nuove previsioni urbanistiche e per individuare idonee misure compensative per ridurre il rischio. Per quanto riguarda la presenza di aree a periodico ristagno idrico, queste sono state segnalate dal PTCF: si precisa però che per l'urbanizzazione del PUA si prevede di innalzare le quote del lotto di almeno 1 m per consentire gli allacciamenti ai servizi ed in particolare alla pubblica fognatura: in tal modo si andrà contestualmente ad annullare la problematica evidenziata, che, tra l'altro, non è stata confermata dagli studi VCI comunali.
- Infine, *non sono prevedibili fenomeni di amplificazione in caso di eventi sismici di magnitudo rilevante* per presumibili contrasti di impedenza; il sito non fa parte di zone instabili, quali le aree prossime a faglie, e/o zone in dissesto; non sono inoltre stati individuati materiali molto scadenti; non sono presenti depositi potenzialmente compressibili. Dal punto di vista geofisico, sulla base dei valori di Vs misurati, con riferimento al paragrafo 3.2.2 delle NTC, la categoria di sottosuolo del sito è risultata essere "C" per fondazioni con imposta fino a 2 m da p.c., "B" per profondità superiori. E' stato condotto un approfondimento circa eventuali problematiche di liquefazione: premesso che i depositi non sono potenzialmente suscettibili a tale criticità, in quanto non sono presenti le granulometrie predisponenti e la falda è relativamente profonda, per escludere la problematica è stata eseguita una verifica utilizzando i dati delle indagini sismiche eseguiti: i terreni non sono risultati essere suscettibili alla liquefazione.

Quindi, per quanto riguarda la compatibilità geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'intervento, ai sensi dell'art. 19 comma 2 lettera "d" della Legge Regionale 11/04, *si può affermare che non sussistono criticità di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico per l'edificazione nell'area in esame.*

L'approfondimento condotto con i dati bibliografici e le indagini sismiche eseguite in sito permette di concludere anche che *non sono prevedibili fenomeni di amplificazione e di liquefazione in caso di eventi sismici di magnitudo rilevante.*

Ai sensi dell'Art. 89 del DPR 380/2001 (Parere sugli strumenti urbanistici), a seguito delle indagini condotte, la proposta di Piano Urbanistico Attuativo può essere ritenuta compatibile con le condizioni geomorfologiche del territorio.

Per quanto riguarda il paragrafo 6.12 “Fattibilità di opere su grandi aree” delle NTC 2018, gli studi condotti hanno permesso di accertare che la destinazione d’uso prevista dal progetto è compatibile con il territorio in esame.

Si ricorda che l’edificabilità rimane comunque vincolata a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 «Norme tecniche per le Costruzioni», per cui per la realizzazione delle opere sarà necessario predisporre una specifica relazione geologica e geotecnica. Inoltre, i terreni movimentati dovranno essere gestiti in accordo con le norme vigenti (DPR 120/2017).

Dott. Geol. Silvia Daleffe



Silvia Daleffe

Allegato A: Verifiche alla liquefazione

Software Geostru Liquiter 2022

DATI GENERALI

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 10 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.163

Fattore amplificazione 0.16

Tipo Suolo:

Imposta fino a 2 m da p.c.: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza $V_{s30}=180-360$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Imposta oltre 2 m da p.c.: B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti $V_{s30}=360-800$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.2

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.51

Distanza epicentro 23 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.24

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Velocità onde di taglio V_s (m/s)
1	Sismostrato I	0	3.3	18.5	20.5	160
2	Sismostrato II	3.3	18	19	20	310
3	Sismostrato III	18	38	20	21	500

Andrus Stokoe (1997)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.44

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
10.20	192.350	190.389	263.907	210.000	0.902	0.188	0.099	1.90	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.40	196.350	192.427	263.206	210.000	0.896	0.187	0.099	1.88	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.60	200.350	194.466	262.513	210.000	0.891	0.185	0.100	1.86	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.80	204.350	196.505	261.829	210.000	0.886	0.184	0.100	1.84	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.00	208.350	198.543	261.155	210.000	0.880	0.183	0.100	1.82	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.20	212.350	200.582	260.489	210.000	0.875	0.181	0.101	1.80	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.40	216.350	202.621	259.831	210.000	0.870	0.180	0.101	1.79	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.60	220.350	204.659	259.181	210.000	0.864	0.179	0.101	1.77	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.80	224.350	206.698	258.540	210.000	0.859	0.178	0.101	1.76	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.00	228.350	208.737	257.906	210.000	0.854	0.176	0.101	1.74	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.20	232.350	210.775	257.280	210.000	0.848	0.175	0.102	1.73	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.40	236.350	212.814	256.662	210.000	0.843	0.174	0.102	1.71	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.60	240.350	214.853	256.051	210.000	0.838	0.173	0.102	1.70	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.80	244.350	216.891	255.447	210.000	0.832	0.172	0.102	1.69	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.00	248.350	218.930	254.850	210.000	0.827	0.170	0.102	1.67	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.20	252.350	220.969	254.261	210.000	0.822	0.169	0.102	1.66	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.40	256.350	223.007	253.678	210.000	0.816	0.168	0.102	1.65	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.60	260.350	225.046	253.101	210.000	0.811	0.167	0.102	1.64	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.80	264.350	227.085	252.531	210.000	0.806	0.166	0.102	1.63	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.00	268.350	229.123	251.967	210.000	0.800	0.165	0.102	1.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.20	272.350	231.162	251.410	210.000	0.795	0.164	0.102	1.61	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.40	276.350	233.201	250.859	210.000	0.790	0.162	0.102	1.60	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.60	280.350	235.239	250.313	210.000	0.784	0.161	0.101	1.59	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.80	284.350	237.278	249.774	210.000	0.779	0.160	0.101	1.58	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
15.00	288.350	239.317	249.240	210.000	0.774	0.159	0.101	1.57	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
15.20	292.350	241.355	248.712	210.000	0.768	0.158	0.101	1.56	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
15.40	296.350	243.394	248.190	210.000	0.763	0.157	0.101	1.56	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
15.60	300.350	245.433	247.673	210.000	0.757	0.156	0.101	1.55	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
15.80	304.350	247.471	247.161	210.000	0.752	0.155	0.100	1.54	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
16.00	308.350	249.510	246.655	210.000	0.747	0.154	0.100	1.53	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
16.20	312.350	251.549	246.154	210.000	0.741	0.153	0.100	1.53	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
16.40	316.350	253.587	245.657	210.000	0.736	0.152	0.100	1.52	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
16.60	320.350	255.626	245.166	210.000	0.731	0.150	0.099	1.51	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
16.80	324.350	257.665	244.680	210.000	0.725	0.149	0.099	1.51	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
17.00	328.350	259.704	244.198	210.000	0.720	0.148	0.099	1.50	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
17.20	332.350	261.742	243.721	210.000	0.715	0.147	0.099	1.49	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
17.40	336.350	263.781	243.249	210.000	0.709	0.146	0.098	1.49	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
17.60	340.350	265.820	242.781	210.000	0.704	0.145	0.098	1.48	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
17.80	344.350	267.858	242.318	210.000	0.699	0.144	0.098	1.48	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18.00	348.350	269.897	241.859	210.000	0.693	0.143	0.097	1.47	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18.20	352.550	272.136	389.290	210.000	0.688	0.445	0.097	4.60	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18.40	356.750	274.374	388.494	210.000	0.683	0.443	0.096	4.60	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18.60	360.950	276.613	387.706	210.000	0.677	0.442	0.096	4.60	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18.80	365.150	278.852	386.925	210.000	0.672	0.440	0.096	4.60	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19.00	369.350	281.090	386.152	210.000	0.667	0.438	0.095	4.60	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19.20	373.550	283.329	385.387	210.000	0.661	0.436	0.095	4.61	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19.40	377.750	285.568	384.630	210.000	0.656	0.434	0.094	4.61	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19.60	381.950	287.806	383.880	210.000	0.651	0.433	0.094	4.61	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19.80	386.150	290.045	383.137	210.000	0.645	0.431	0.093	4.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
20.00	390.350	292.284	382.401	210.000	0.640	0.429	0.093	4.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Allegato B

*Indagine geofisica con metodi Re.Mi. e H.V.S.R.
per la caratterizzazione sismica dei terreni secondo la normativa
vigente (N.T.C. – D.M. 17 Gennaio 2018)
(a cura di Anber S.r.l.s.)*

Indagine geofisica con
metodologia Re.Mi. e H.V.S.R.
per la caratterizzazione
sismo-stratigrafica del
sottosuolo secondo
riferimento normativo [3.2.2
NTC 2018]

Gennaio 2023
Comune di Negrar
Provincia di Verona



Sommario

1. PREMESSA E UBICAZIONE INDAGINI
2. GENERALITA' CENNI STORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA
 - 2.1 Indagine sismica di tipo passivo Re.Mi.
 - 2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)
 - 2.3 Strumentazione utilizzata
3. ANALISI DEI DATI E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO
 - 3.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate
 - 3.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta
 - 3.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)
 - 3.4 Modello sismo-stratigrafico e categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. NTC 2018

ALLEGATI:

- **Tavola interpretativa delle indagini**

I premessa

Il giorno 16 dicembre 2022 su incarico della Dott.ssa Geol. Silvia Daleffe, è stata condotta una campagna di indagini geofisiche, nel Comune di Negrar (VR), in località Arbizzano, in via Camarele.

Al fine di caratterizzare l'area in oggetto di esame, dal punto di vista sismico, sono state eseguite le seguenti misure:

- Una misura sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) sviluppata in un array lineare con n° 16 geofoni, disposti ad interdistanza tra ognuno di mt. 2. Essa risulta propedeutica per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della Categoria del sottosuolo di fondazione ($V_s,30$) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018);
- Una registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Ubicazione delle indagini



Comune di Negrar (VR) - Loc Arbizzano - via Camarele

Coordinate: 45.49725°N , 10.93474°E (WGS-84)

Ubicazione delle indagini



Misura Sismica H.V.S.R.



Misura Sismica Re.Mi.



2 Generalità e cenni storici

2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)

La tecnica Re.Mi. deriva dalle metodologie SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) e MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie (onde di Rayleigh) per la costruzione di un modello verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio. Il metodo Re.Mi. (Refraction Microtremor) combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione nei terreni più superficiali propria del MASW (dovuta all'elevato numero di canali utilizzati). Nell'indagine Re.Mi. (Refraction Microtremor), le onde superficiali generate dai rumori naturali o dalle attività antropiche, sono misurate da uno stendimento lineare di sensori ed è possibile registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza è compreso nell'intervallo tra 2 Hz e 25-30 Hz.

Questo intervallo, indagando bande spettrali con basse frequenze, permette in fase di *data processing* (trattamento dei dati acquisiti per stimare la velocità delle onde di Rayleigh), di avere informazioni sull'andamento delle Vs al di sotto del piano campagna del sito, ai fini della valutazione del parametro Vs30 e, in condizioni ottimali, può consentire di stimare con buon dettaglio i primi 100 metri di profondità.

Il metodo di indagine sismico Re.Mi. (Refraction Microtremor) è caratterizzato, a differenza del metodo MASW, da un tipo di acquisizione "passivo" delle onde superficiali che vengono generate dal rumore di fondo (detto anche "microtremore") prodotto da sorgenti naturali ed antropiche (traffico, attività industriali, acque correnti, vento, etc.), che vengono registrate da uno stendimento bidimensionale composto da geofoni verticali posizionati sia su asse X che su asse Y, per offrire possibilità di indagine del sottosuolo con geometrie diverse da quelle lineari; con frequenza di 4.5 Hz posti a distanze regolari l'uno dall'altro (distanza intergeofonica).

Si tratta di misure non invasive con molteplici vantaggi che si possono riassumere in: velocità di esecuzione, praticità nell'approntamento della strumentazione, affidabilità nella registrazione del segnale, risoluzione d'indagine ma soprattutto permettono di ottenere ottimi risultati in ambienti urbanizzati o in aree produttive.

2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La misura HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), detta anche H/V (rapporto tra le componenti spettrali verticali ed orizzontali), è una metodologia non invasiva, molto rapida e può essere applicata in qualunque zona in quanto non necessita di una perforazione, nè di stendimenti o cavi; tale tecnica è stata utilizzata per la prima volta da Nagoshi e Igarashi (1970) e poi diffusa e migliorata da Nakamura (1989).

La tecnica HVSR è considerata una tecnica sismica passiva perchè sfrutta il rumore ambientale, quindi non necessita di un sistema di energizzazione. Il rumore generato consiste per lo più da onde superficiali, ovvero onde di Rayleigh e onde di Love prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali; essa permette di definire la frequenza di risonanza di un sito, di ricavare la velocità delle onde di taglio, di analizzare la sismicità degli edifici in progetto o quelli presenti tramite misure

vibrometriche e di valutare la liquefazione dei terreni, di definire la classificazione sismica dei suoli (NTC 2018); ed è essenziale per la microzonazione sismica a grande e piccola scala.

Il rumore sismico registrato è il rumore ambientale, presente sulla superficie terrestre oppure generato da fenomeni atmosferici o attività antropiche. Il metodo, determina la "funzione di trasferimento del mezzo", ovvero come il moto sismico viene alterato durante il passaggio di esso nel substrato partendo ad esempio da un terreno alluvionale fino al raggiungimento del substrato rigido. Infatti, a causa di condizioni litostratigrafiche particolari possono verificarsi condizioni di amplificazione del moto sismico, definiti come "effetti di sito".

La metodologia HVSR presenta dei vantaggi come per esempio il segnale ottenuto passivamente consente di raggiungere profondità elevate fino ad una centinaia di metri e non richiede tempi lunghi di esecuzione rispetto altre tecniche sismiche.

E' consigliabile, per una corretta restituzione delle analisi, eseguire queste misure in zone dove si conosce la stratigrafia avendo delle "tarature di base", per esempio mediante sondaggi geotecnici, prove di tipo penetrometriche, trincee ecc.

Cenni sulla frequenza fondamentale

La tecnica sismica passiva mostra le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica. Infatti, un terreno tende a vibrare non solo quando siamo in presenza di un sisma ma anche a causa di effetti locali, naturali o antropici; tale principio permette di misurare la frequenza fondamentale o di risonanza dei terreni. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza vengono descritte dalla seguente relazione:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove V_s è la velocità delle onde di taglio e h è lo spessore dello strato.

Dalla teoria di Nakamura il grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontali e verticali evidenzia un picco di frequenza o di altri picchi di frequenza in caso di terreni eterogenei.

2.3 Strumentazione utilizzata

Per le indagini sismiche in oggetto è stata utilizzata la strumentazione della ditta MoHo srl e nello specifico:

- SoilSpy Rosina è il sistema digitale multicanale per qualsiasi indagine sismica in array (Re.Mi. - M.A.S.W. - ESAC- Rifrazione Tomografica) di concezione totalmente nuova sia nell'hardware che nel software.

Esso è composto da un leggerissimo cavo di trasmissione digitale dei dati lungo il quale sono disposti i moduli di amplificazione/digitalizzazione da collegare ai sensori (comunemente geofoni).

Il sistema si connette direttamente ad un qualsiasi PC portatile per l'impostazione dei parametri di acquisizione, il salvataggio dei dati e la loro pre-analisi. Sono stati utilizzati 16 canali e relativi geofoni ad asse



verticale a 4,5 Hz per la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze.

- TROMINO® è uno strumento compatto (1 dm³, < 1 kg), che racchiude 3 canali velocimetri, 3 canali accelerometrici con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz, 1 canale analogico, ricevitore GPS, modulo radio ricevente/trasmittente (per la sincronizzazione tra diverse unità) e sistema trigger radio (per misure array lineari supplementari). Da questo tipo di indagine si possono ottenere:



1. La frequenza caratteristica di risonanza di sito
2. La frequenza fondamentale di risonanza di un edificio
3. La velocità media delle onde di taglio V_s
4. La stratigrafia di sottosuolo

Il software utilizzato per l'analisi spettrale congiunta delle misure è [GRILLA 9.7.2 \[2021\]](#)

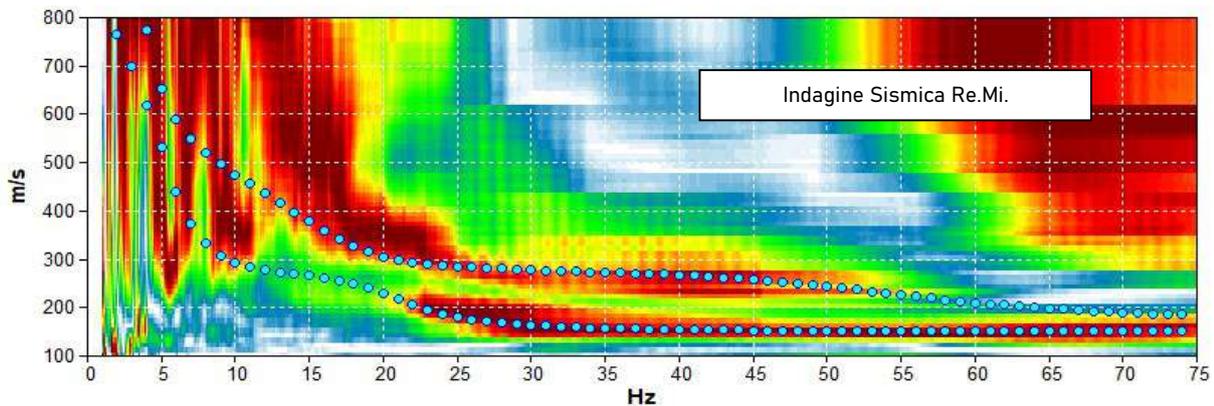
3 Analisi dei dati e definizione della categoria di SOTTOSUOLO

3.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

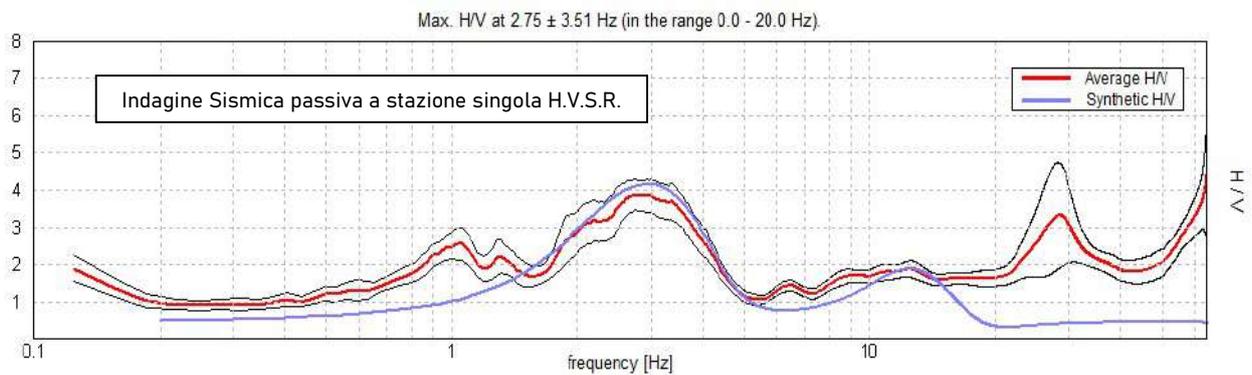
L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere il modello sismo - stratigrafico del sottosuolo in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi./ESAC ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura profonda. Inoltre, la misura H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo.

3.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta

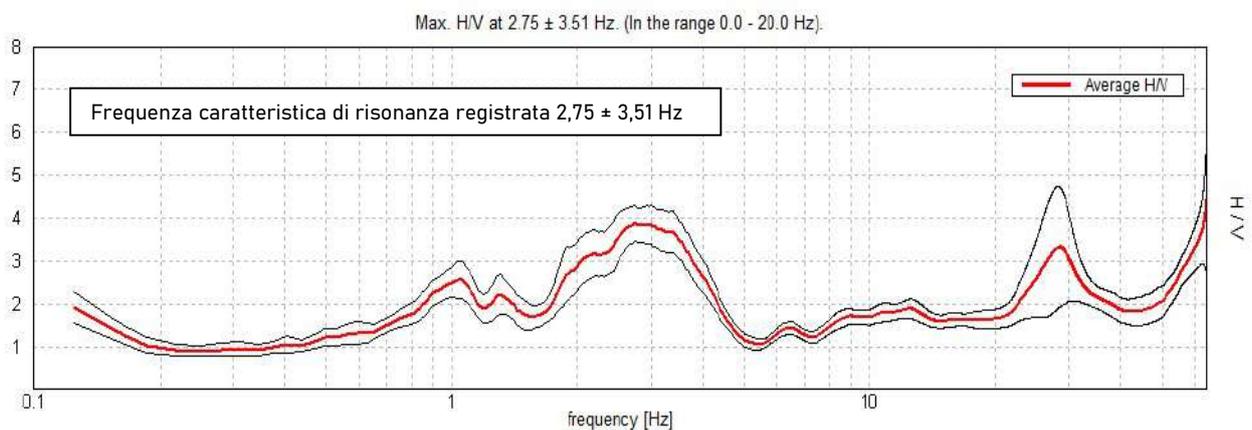


In blu le curve sintetiche create da una modellizzazione diretta delle onde S.



La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

3.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

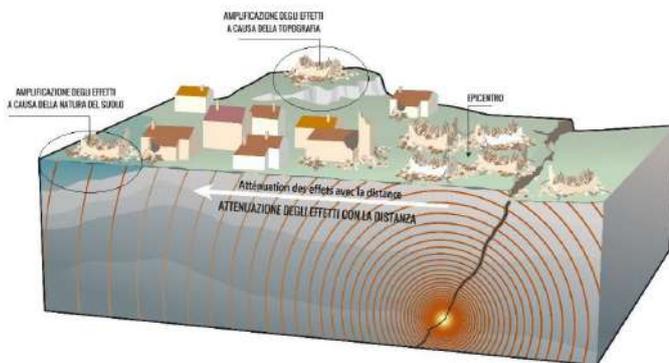
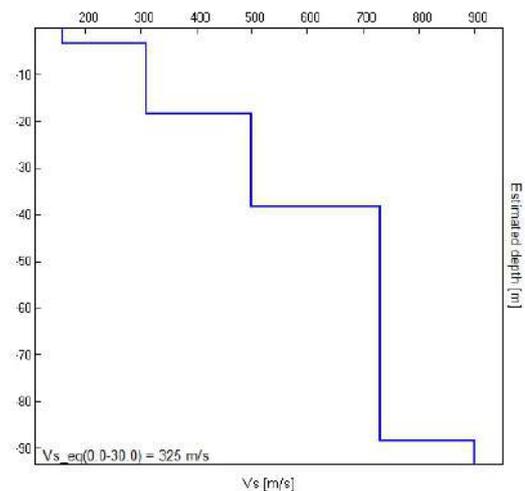


3.4 Modello sismo-stratigrafico e categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. NTC 2018

Modello sismo-stratigrafico interpretato

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	3,3	0,0 - 3,3
II SISMOSTRATO	310	15	3,3 - ≈18
III SISMOSTRATO	500	20	≈18 - ≈38
IV SISMOSTRATO	730	50	≈38 - ≈88
V SISMOSTRATO	900	Semisp.	≈88 - Semisp.

Modello sismo-stratigrafico delle Vs



L'identificazione della categoria del sottosuolo è basata sulla descrizione stratigrafica e sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs. Ai fini della valutazione semplificata

della risposta sismica locale, nell'attuale versione delle NTC, non è più consentita la classificazione del sottosuolo sulla base del parametro $N_{SPT,30}$ per i terreni a grana grossa e $C_{u,30}$ per i terreni a grana fine. Ciò era invece permesso nelle NTC08.

Le attuali norme tecniche richiedono che la categoria di sottosuolo sia stabilita sulla base del profilo Vs. La misura diretta di Vs attraverso specifiche indagini geofisiche è in ogni caso preferibile, essendo consentita in alternativa la definizione del profilo Vs attraverso il ricorso a correlazioni empiriche "di comprovata affidabilità" solo per il metodo semplificato ed in ipotesi residuali, stante la maggiore incertezza che caratterizza la determinazione di Vs con le citate correlazioni empiriche.

In caso di utilizzo di correlazioni è comunque raccomandabile non limitarsi all'uso di un singolo modello empirico, al fine di consentire una stima dell'incertezza legata al carattere regionale di tali correlazioni e alla conseguente elevata dispersione dei relativi dati sperimentali.

La classificazione del sottosuolo si effettua 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:

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1..N} (h_i / V_{s,i})$$

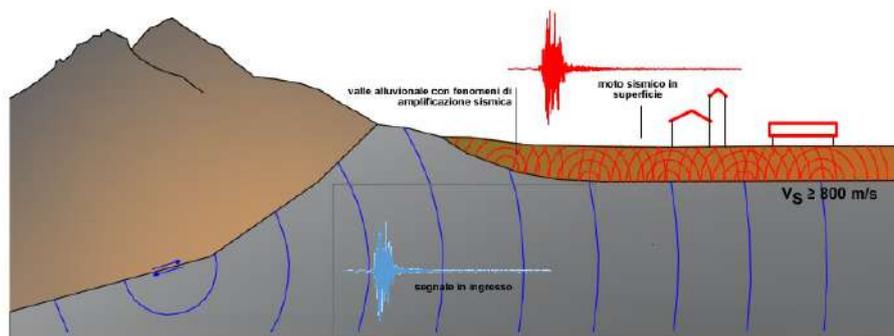
con:

h_i spessore dell' i -esimo strato (in m);

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato (in m/s);

N numero di strati;

H profondità del **substrato SISMICO** (in m), definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.



Fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo di terreno interagente con l'opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ definita mediante la media armonica; [3.2.1] delle NTC 18.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in **Tab. 1**



Tab. 1- Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <i>velocità delle onde di taglio</i> 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	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.
D	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.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, <i>con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

La velocità equivalente $V_{s,eq}$ si misura dal punto di partenza, ma non fino a 30 m, bensì fino al substrato sismico, se questo non è profondo più di 30 m. Per profondità del substrato maggiori di 30 m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è uguale a $V_{s,30}$ ponendo $H=30$ m e assumendo le proprietà degli strati fino a tale profondità.

SUBSTRATO A PROFONDITA' > 30 m
 $V_{s,eq}=V_{s,30}$

Per tutti i terreni che **non rientrano** nelle categorie di sottosuolo riportate in Tab.1 è **necessario effettuare l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL).**

Per le categorie B ed E la semplificazione è accettabile se non si rilevano **contrast di impedenza significativi**. In caso contrario occorre procedere con **analisi di RSL**.

A seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ ipotizzando varie profondità:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$	Categoria di Sottosuolo
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 325$ m/s	Categoria C
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 340$ m/s	Categoria C
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 358$ m/s	Categoria C
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 377$ m/s	Categoria B

Dalle indicazioni normative e dalle indagini effettuate si prevede l'inserimento del presente studio nella **categoria di sottosuolo di tipo C per profondità di posa delle fondazioni sino a 2 m. dal p.c. locale. Per profondità superiori la categoria di sottosuolo si colloca nella categoria di tipo B.**



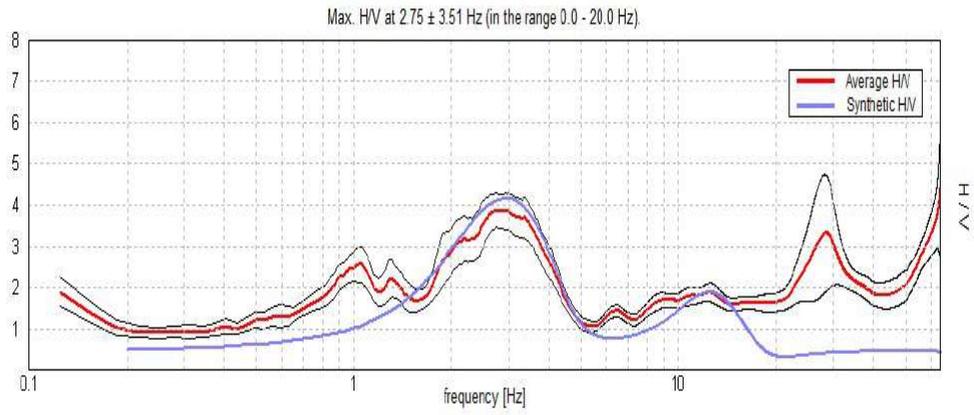
Gennaio 2023



BIBLIOGRAFIA

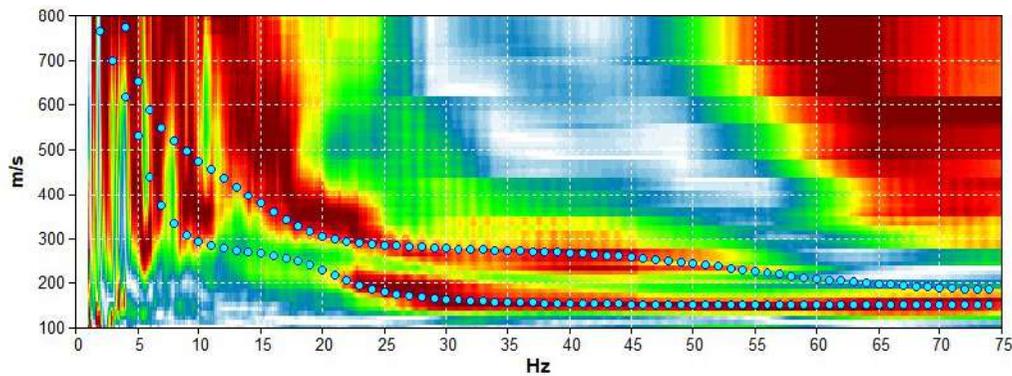
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V *Spectrum*, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 – 63.
- ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 – 908.
- ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
- ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
- ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 – 290.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 – 266.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica”, *Il geologo – Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
- ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 – 30.



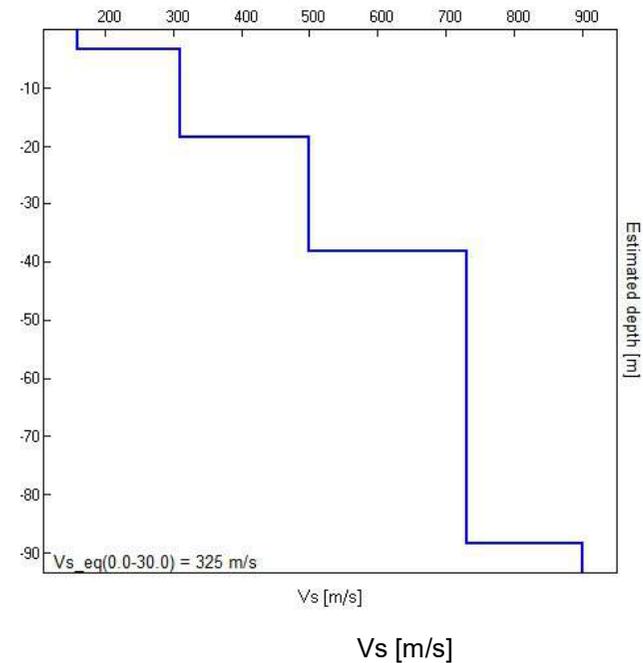


Prospezione Passiva a stazione singola H.V.S.R.

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	3,3	0,0 - 3,3
II SISMOSTRATO	310	15	3,3 - ≈18
III SISMOSTRATO	500	20	≈18 - ≈38
IV SISMOSTRATO	730	50	≈38 - ≈88
V SISMOSTRATO	900	Semisp.	≈88 - Semisp.



Sismica Passiva Re.Mi. con inversione congiunta all' H.V.S.R.



**MISURA CONGIUNTA
REMI - H.V.S.R.**

COMMITTENTE - DR.SSA GEOL. SILVIA DALEFFE
GENNAIO 2023 - CANTIERE - NEGRAR (VR) - LOC ARBIZZANO - VIA CAMARELE - 45.49725° N , 10.93474° E (WGS-84)