

**Regione del
Veneto**

**Provincia di
Verona**

Comune di Negrar di Valpolicella

**Piano di Recupero Corte Sartori:
ristrutturazione edificio residenziale**

*Relazione geologica e geotecnica
ai sensi D.M. 17.01.2018*

Committenti:



Dott. Geol. Silvia Daleffe

Ordine dei Geologi della Regione Veneto n. 413



Silvia Daleffe

Indice

1	PREMESSA
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO
3	ANALISI DEI VINCOLI E DELLE CRITICITÀ IN ACCORDO ALLA PIANIFICAZIONE COMUNALE E SOVRAORDINATA
4	RELAZIONE GEOLOGICA
4.1	GEOMORFOLOGIA
4.2	GEOLOGIA
4.3	IDROGEOLOGIA
4.4	DESCRIZIONE DELL'AREA: LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA E IDROGEOLOGIA
4.5	CAMPAGNA GEOGNOSTICA – METODOLOGIA E RISULTATI
4.6	RISULTATI E CONSIDERAZIONI SUL MODELLO GEOLOGICO
4.7	SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE
4.8	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO E MODELLAZIONE SISMO - STRATIGRAFICA
4.9	SINTESI DEI PARAMETRI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA
5	RELAZIONE GEOTECNICA
5.1	PROBLEMATICHE GEOTECNICHE
5.2	DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE
5.3	CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI E DEFINIZIONE DEI VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI
5.4	OPERE DI FONDAZIONE - FONDAZIONI SUPERFICIALI
5.5	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI
5.6	VERIFICHE DI SICUREZZA
5.7	CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE
7	RACCOMANDAZIONI E PRESCRIZIONI
 <i>BIBLIOGRAFIA</i>	
ALLEGATO A: PARAMETRI SISMICI DEL SITO	
ALLEGATO B: VERIFICHE DI SICUREZZA SLU	
ALLEGATO C: 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 STUDIO SISMO S.R.L.)	

1 Premessa

Per conto dei Signori [REDACTED], in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) viene redatta la presente relazione geologica e geotecnica riguardante la ristrutturazione di un edificio sito in via Pezze, nella frazione Fane del comune di Negrar di Valpolicella.

Il fabbricato attuale presenta una forma in pianta indicativamente ad elle, con lati maggiori di 10.15 m e 15.93 m, e si sviluppa al piano terra, primo e secondo, mentre al terzo vi sono mansarde e sottotetti non accessibili. Il progetto prevede la ristrutturazione dell'edificio, con modifiche delle partizioni interne, realizzazione di un ampliamento di forma triangolare e di una tettoia di collegamento al fabbricato adiacente.

L'edificio in oggetto, individuato al catasto al Foglio 7, particelle 1489, 1650, 502, 485, 1950, 1738, 1778 del comune di Negrar di Valpolicella, è ubicato in località Fane, via Pezze, nell'ambito del settore collinare, caratterizzato dalle tipiche dorsali a direzione meridiana che contraddistinguono i Lessini; le quote dell'area di interesse si aggirano attorno a 607 m s.l.m., come evidenziato dallo stralcio della Carta Tecnica Regionale allegato.



Le fasi che hanno consentito di produrre il presente documento sono le seguenti:

- acquisizione dei dati bibliografici e storici relativi all'area indagata;
- rilievo geologico e geomorfologico del sito e dell'intorno;
- esecuzione campagna geognostica con scavi ed indagini geofisiche Re.Mi. ed HVSR;
- elaborazione dei dati raccolti.

2 Normativa di riferimento

La presente relazione è stata redatta in accordo al seguente quadro normativo di riferimento:

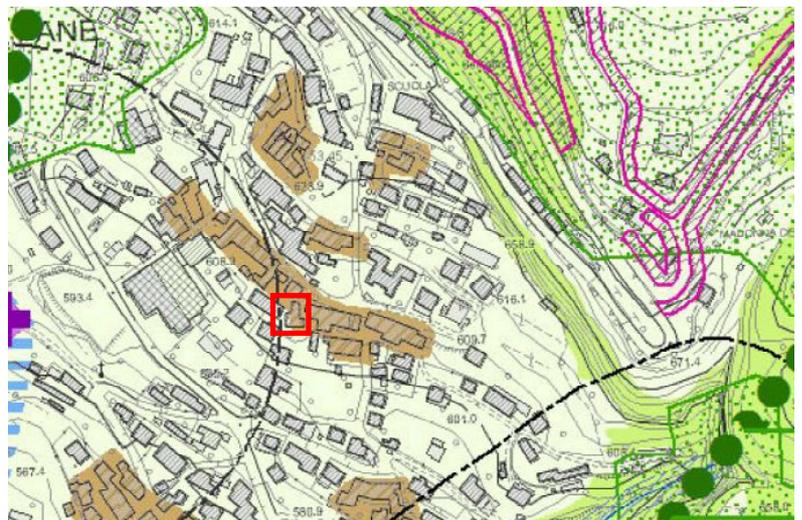
- D.M. 11.03.1988 (G.U. 01.06.1988, n. 47):
Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circolare LL.PP. 24.09. 1988, n. 30483:
Legge 2 febbraio 1974, art. 1 - DM 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.
- Circ. Regione Veneto 30.01.1990, n. 2:
Osservanza della normativa vigente sull'uso del sottosuolo ai fini edificatori e, in particolare, dell'obbligo, nei casi previsti, della Relazione geologica e della Relazione geotecnica.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003, n. 3274 (G.U. 08.05.2003, n. 105):
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 02.10.2003, n. 3316 (G.U. 10.10.2003, n. 236):
Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- Delibera del Consiglio Regionale del Veneto 03.12.2003, n. 67:
Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003, n. 3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica” – Approvazione della classificazione sismica e direttive per l'applicazione.
- D.M. 14.09.2005 (G.U. 23.09.2005, n. 222):
Testo Unico sulle norme tecniche per le costruzioni. Prescrizioni tecniche per le costruzioni, per la verifica sismica ed idraulica nonché per la progettazione, la costruzione e l'adeguamento delle dighe di ritenuta, dei ponti e delle opere di fondazione e sostegno.
- D. Lgs. 152/2006 (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006):
Norme in materia ambientale.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28.04.2006, n. 3519 (G.U. 11.05.2006, n. 108):
Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- D.M. 14.01.2008 (G.U. n. 29 del 04.02.2008, Supplemento Ordinario n. 30):
Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

- Delibera del Consiglio Regionale del Veneto 22.01.2008, n. 71:
Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28.04.2006, n. 3519 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” – Direttive per l’applicazione. Adozione del provvedimento n. 96/CR del 7 Agosto 2006.
- Circolare C.S.LL.PP. 02.02.2009, n. 617:
Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui D.M. 14.01.2008.
- Piano Tutela Acque della Regione Veneto (P.T.A.), ai sensi dell’art. 121 del D.Lgs. 152/2006, approvato con D.G.R.V. 05.11.2009, n. 107
- D.M. del 17.01.2018 (G.U. 20.02.2018, Supplemento Ordinario n. 42):
Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Circolare C.S.LL.PP. 21.01.2019, n. 7:
Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui D.M. 17.01.2018.
- Variante Generale al P.A.T. e P.I. del comune di Negrar.

3 Analisi dei vincoli e delle criticità in accordo alla pianificazione comunale e sovraordinata

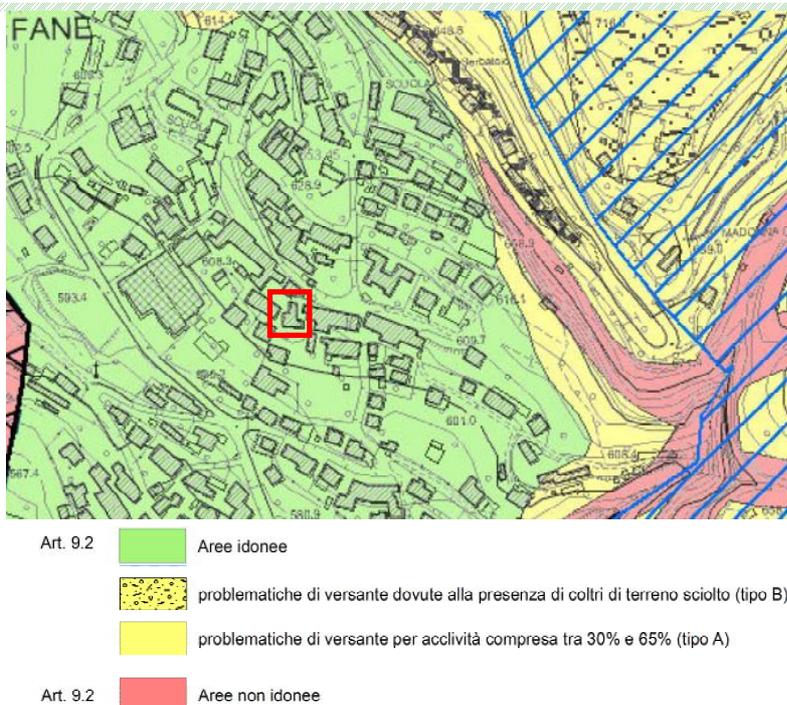
Secondo quanto riportato dagli studi del PAI, Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino del Fiume Adige (adottato dal Comitato istituzionale dell’Autorità di Bacino dell’Adige con delibera n. 1/2005 del 15.02.2005 ed approvato con DPCM 27.04. 2006, e successive varianti), in prossimità dell’area di intervento non sono indicate zone soggette a rischio idraulico o di frana.

Si riporta uno stralcio della “Carta dei vincoli e della pianificazione territoriale” della Variante Generale al PAT di Negrar adottata con D.C.C. n. 57 del 28/09/2017, in cui si può osservare che in corrispondenza dell’area di progetto i vincoli di interesse geologico ed idrogeologico che sussistono sono di tipo sismico (a cui è assoggettato l’intero territorio comunale). Non sono presenti pozzi idropotabili in prossimità.



- | | | |
|----------|---|--|
| Art. 6.1 |  | Vincolo Paesaggistico D.Lgs 42/2004
Intero territorio |
| Art. 6.3 |  | Centri Storici |
| Art. 6.4 |  | Salvaguardia pozzi di prelievo per uso idropotabile D.Lgs 152/2006 |

La “Carta delle fragilità” della Variante Generale al PAT classifica l’area in cui insiste il fabbricato come idonea all’edificazione



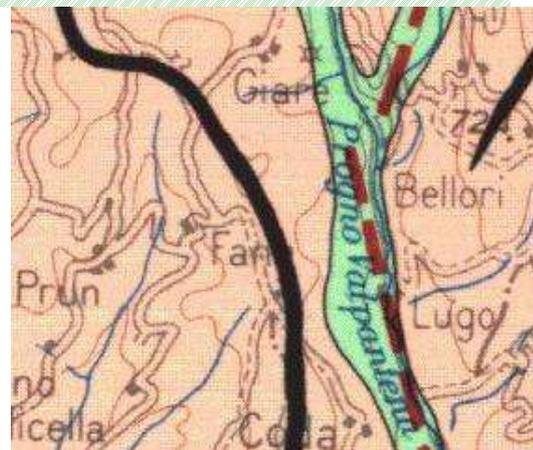
4 Relazione geologica

La relazione geologica (§ 6.2.1 NTC) viene redatta al fine di rendere nota la caratterizzazione e modellazione geologica del sito con la definizione dei lineamenti geomorfologici della zona, nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva; la successione litostratigrafica locale, con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità; i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità; dello schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea. La relazione geologica è redatta secondo quanto previsto nelle NTC 2018, ed in particolare lo studio è stato esteso ad una zona significativa in relazione al tipo di opera e al contesto geologico in cui questa si colloca. I metodi e le tecniche di studio, l’approfondimento e il dettaglio delle analisi e delle indagini sono stati commisurati alla complessità geologica del sito, alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale in cui si opera.

4.1 Geomorfologia

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 e Veneta. Inoltre, 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): al Würm sono attribuiti fra l’altro gli anfiteatri morenici pedemontani del Garda e di Rivoli Veronese. Alle fasi di ritiro si riconducono le morene stadiali infravallive e delle zone di media ed alta montagna. Nei rilievi, inoltre, le forme di esarazione glaciale hanno modellato le rocce preesistenti e prodotto i materiali successivamente trasportati verso valle dalle acque di scorrimento e dalla gravità.

Si è riportato 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, a cui viene attribuita l’area di progetto, e con il verde i depositi fluviali della pianura alluvionale recente.



Le linee scure indicano creste o dorsali di dislivello.

L’intervento antropico è stato importante ed ha modificato l’aspetto del versante: nel centro abitato di Fane, sviluppatosi in un’area a bassa pendenza rispetto all’intorno, l’edificazione, la realizzazioni di muri e piazzali e della viabilità hanno variato in modo consistente le morfologie originarie.

4.2 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:

- Biancone (Cretaceo medio e inferiore), unità di calcari marnosi fittamente stratificati con noduli e letti di selce, di colore bianco – calce, con spessore da poche decine di metri a quasi 150 m.
- Scaglia Rossa (Cretaceo superiore), calcari micritici stratificati di colore rosato, di potenza di circa 60 m;
- Calcari Nummulitici, calcareniti ad alghe e molluschi di colore bianco – giallastro, in genere ben stratificati; calcari recifali a coralli (Eocene med. - inf.).
- Basalti dei filoni, breccie basaltiche dei camini d'esplosione, rocce vulcanoclastiche stratificate (Oligocene - Eocene inferiore).
- Corpi di frana, breccie e sfasciumi di versante (età varie); si tratta di estesi corpi di frana, di coperture detritiche e breccie su versanti con formazioni con giacitura a franapoggio;
- 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 rimaneggiati e/o riportati: derivano dai litotipi precedenti a seguito del rimaneggiamento causato da attività antropiche di vario genere.

Nello stralcio della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 49 Verona la sigla E² indica le Calcareniti eoceniche; C¹¹⁻⁷ la Scaglia Rossa; C⁶-G¹¹ il Biancone; con il colore marrone e la sigla β sono riportati i prodotti vulcanoclastici terziari.

Non sono indicate lineazioni strutturali in prossimità.



I processi d'alterazione in combinazione con i fenomeni gravitativi hanno dato origine ai terreni presenti nella zona; la parte superficiale è stata però parzialmente rimaneggiata e riportata a seguito di eventi antropici. L'area indagata presenta depositi detritici seguiti in profondità dal substrato roccioso, che nella zona è attribuito alla Formazione del Biancone.

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, subirono un'importante subsidenza tra il Giurassico e il Cretaceo inferiore. Successivamente ospitarono dei bacini d'avanfossa 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); 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 distensive sia compressive, il blocco è poco deformato, e rappresenta una sorta 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.

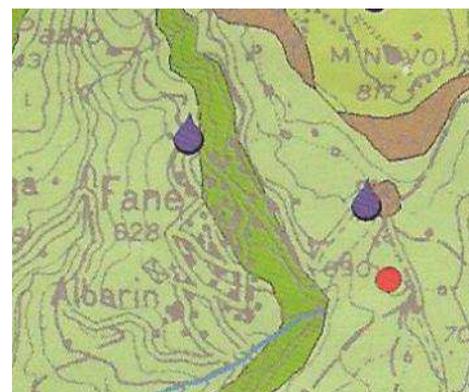
Nel Veronese i rigetti delle faglie dirette sono dell'ordine di qualche centinaio di metri e i blocchi risultano debolmente inclinati. Le strutture distensive influenzano maggiormente la morfologia del tavolato lessineo per la notevole estensione, perché l'erosione selettiva ha inciso profonde valli (vaj) lungo le stesse e infine perché sono attivi processi neotettonici che riattivano le scarpate morfostrutturali. Lo stile tettonico del territorio in esame può essere ricondotto alle tipiche principali strutture fragili lessinee; le discontinuità tettoniche possiedono per lo più direzione NNE-SSW o N-S, con una seconda serie di discontinuità orientate circa NWS E o E-W; le strutture NNE-SSW o circa N-S appaiono generalmente come delle faglie dirette, e in altri casi come faglie inverse; in quest'ultimo caso l'effetto è dovuto ad una successiva marcata componente trascorrente che trasforma le discontinuità in faglie transpressive.

4.3 Idrogeologia

La scarsità d'acque superficiali della Lessinia 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 (fluviocarso) 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.

Da un punto di vista idrogeologico, il territorio è caratterizzato da un acquifero carsico e da piccole falde sospese collegate a materiali di copertura. La circolazione della falda carsica avviene per condotti o lungo fratture eventualmente incarsite con direzione N - S e NNW - SSE, la falda in rocce lapidee è presente a circa 200 m, mentre ove sono presenti materiali di copertura viene indicata attorno ai 10 m.

Nell'estratto della "Carta Idrogeologica dei Monti Lessini" edita nel 2006 da Regione Veneto - Segreteria Regionale all'Ambiente e al Territorio, nell'ambito del progetto KATER, con il colore verde meno acceso si individua l'unità calcarea - marnosa a media permeabilità, cui si attribuisce l'area in esame, con il colore verde intenso l'unità marnoso - argillosa a permeabilità medio - bassa (per fratturazione), con il colore verde chiaro l'unità calcarea a permeabilità molto alta (per carsismo e porosità) e con il marrone l'unità vulcanica a permeabilità da bassa a molto bassa (per fratturazione).



In prossimità dell'area di intervento non sono state individuate sorgenti; non si evidenziano inoltre fenomeni di dissesto idrogeologico.

Per quanto riguarda la circolazione idrica superficiale, non vi sono corsi d'acqua in prossimità dell'area di indagine, anche a seguito dell'intensa urbanizzazione: si ricordano le incisioni presenti a Est dell'abitato di Fane, che originano il vaio di Fiamene, corso d'acqua con regime a carattere torrentizio.

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

L'elemento dominante che determina i lineamenti geomorfologici della zona in cui si inserisce l'intervento di progetto è la dinamica del versante, condizionata dalla presenza di processi tettonici e gravitativi, 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 in esame rispecchia questa situazione con evidenze sia degli elementi naturali che antropici: infatti, i depositi superficiali sono stati rimaneggiati a seguito della realizzazione dei fabbricati esistenti e della viabilità, con movimenti terra che hanno modificato l'originaria morfologia del sedime.

L'appezzamento di terreno oggetto di intervento si inserisce sul versante meridionale del Monte Nuvola, in un'area a bassa pendenza: da un punto di vista morfologico spicca il cambio di pendenza tra la falesia a monte della SP 12 via Castello di Fane, dove affiora la F. della Scaglia Rossa, e l'area di valle, in cui i massicci interventi antropici hanno mascherato le forme naturali caratterizzate dalla presenza del Biancone, con sovrastanti depositi detritici di copertura.

Secondo il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) di ISPRA, un database creato per la raccolta e la consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, in prossimità dell'area di progetto non sono indicati elementi che hanno generato fagliazione superficiale negli ultimi 20.000 anni e ritenute perciò potenzialmente in grado di produrre nuove deformazioni in superficie. La linea più prossima si situa a circa 1.3 Km di distanza, ed è costituita dalla faglia normale "Monte Noroni", codice 79900, della lunghezza di 1.9 Km e direzione ENE – WSW, con ultima attività nel Pleistocene medio.



Faglia capace "Monte Noroni" (in rosso) e distanza dal sito (in azzurro, 1.3 Km)

Da un punto di vista idrogeologico, oltre all'acquifero profondo, come già anticipato, il territorio è caratterizzato da piccole falde sospese dove sono presenti materiali di copertura, con livello saturo comunque profondo.

Allo stato attuale non si evidenziano fenomeni di dissesto idrogeologico nel sedime di progetto e nell'immediato intorno.

4.5 Campagna geognostica – metodologia e risultati

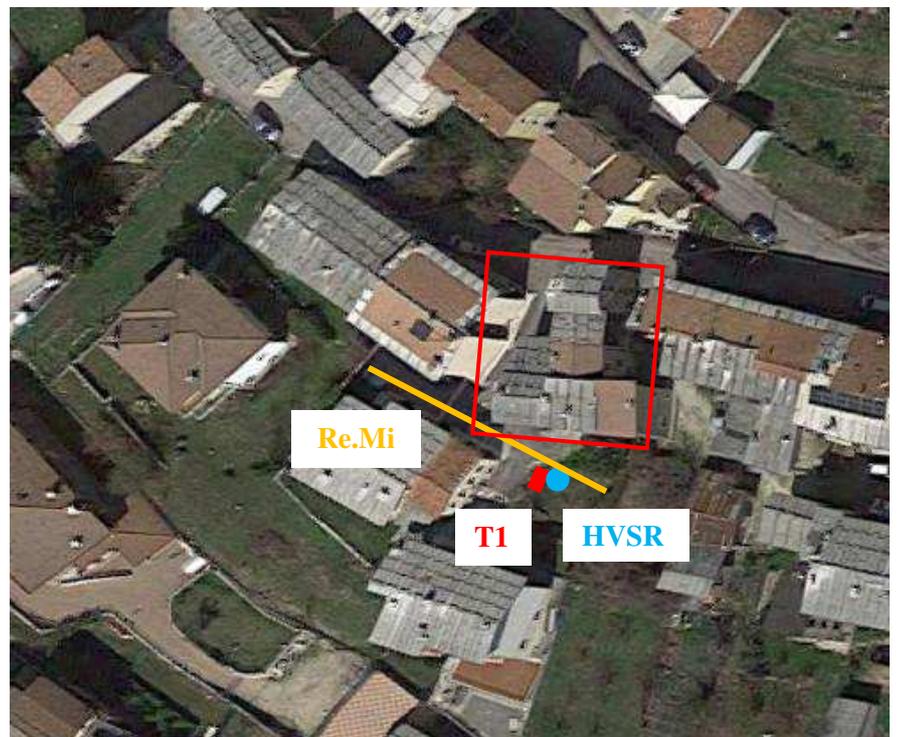
La campagna geognostica è stata finalizzata alla ricostruzione del modello geologico e geologico – tecnico del sottosuolo ed alla verifica della eventuale pericolosità del territorio sotto l'aspetto geolitologico, sulla base delle caratteristiche dei terreni, nonché sotto l'aspetto idraulico ed idrogeologico, ed in considerazione dell'analisi degli effetti locali e di sito in relazione alla valutazione del rischio sismico. Il metodo, sviluppato in funzione della conoscenza del sito e di indagini eseguite in aree contermini, è consistito in:

- rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio;
- esecuzione di indagini in sito (scavi e prove geofisiche Re.Mi. ed HVSR);
- analisi di indagini in aree contermini.

Sono stati eseguiti i rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio della zona: il substrato roccioso in prossimità dell'area di intervento non è affiorante, in quanto sono presenti coltri di copertura di natura eluvio - colluviale.

La campagna geognostica è consistita in uno scavo ed in indagini geofisiche Re.Mi. ed HVSR eseguite in prossimità del fabbricato di progetto: le ubicazioni delle prove sono indicate nell'immagine estratta da Google Maps.

La stratigrafia dello scavo è riportata alla pagina seguente.



La prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) per la ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo ed una registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è stata effettuata per individuare le frequenze di risonanza del terreno. Le risultanze di tali indagini, che saranno commentate nell'ambito del paragrafo 4.8, sono riportate in Allegato C, nella Relazione illustrativa a cura di Studiosisma S.r.l.

Trincea T1

Strato	Prof. da p.c. (m)	Descrizione litologica	
VR	0.50	Terreno vegetale rimaneggiato di colore bruno a tessitura argillosa con elementi lapidei calcarei (ghiaie, blocchi) ed elementi antropici (frammenti di laterizi, cls)	
A1	1.00	Argilla di colore bruno con ghiaia a spigoli vivi	
A2	Oltre 1.70 m	Argilla di colore bruno scuro con poca ghiaia	

Cumulo dei depositi scavati



4.6 Risultati e considerazioni sul modello geologico

La successione litostratigrafica locale dell'area di intervento è rappresentata nel seguente schema:

Strato	Descrizione litologica	Prof. (m da p.c.)	Spessore (m)
VR	Terreno vegetale rimaneggiato di colore bruno a tessitura argillosa con elementi lapidei calcarei (ghiaie, blocchi) ed elementi antropici (frammenti di laterizi, cls)	0.50 – 1.00	0.50 – 1.00
A	Argilla di colore da bruno a bruno scuro con ghiaia a spigoli vivi in percentuali variabili	N.D.	N.D.

I terreni sono costituiti da depositi detritici, che nella porzione superficiale presentano generalmente un elevato grado di rimaneggiamento da ricondursi al massiccio intervento antropico; il substrato roccioso, attribuibile alla Formazione del Biancone, non è stato direttamente investigato.

Relativamente ai caratteri geostrutturali, non vi sono evidenze in prossimità dell'area di progetto; la faglia capace più vicina si situa ad una distanza minima di circa 1.3 Km (faglia normale "Monte Noroni", codice 79900, della lunghezza di 1.9 Km e direzione ENE – WSW, con ultima attività nel Pleistocene medio).

La falda è, da dati bibliografici, a profondità tali da non interferire con le opere in progetto. La circolazione superficiale delle acque meteoriche e di dilavamento avviene attualmente prevalentemente sfruttando le pendenze e le opere antropiche (viabilità esistente, fabbricati).

Non si evidenziano allo stato attuale fenomeni di dissesto idrogeologico.

I risultati delle indagini effettuati possono essere considerati adeguati alla tipologia di intervento proposto; si raccomanda la verifica delle assunzioni fatte mediante controlli geologici nelle fasi realizzative delle opere.

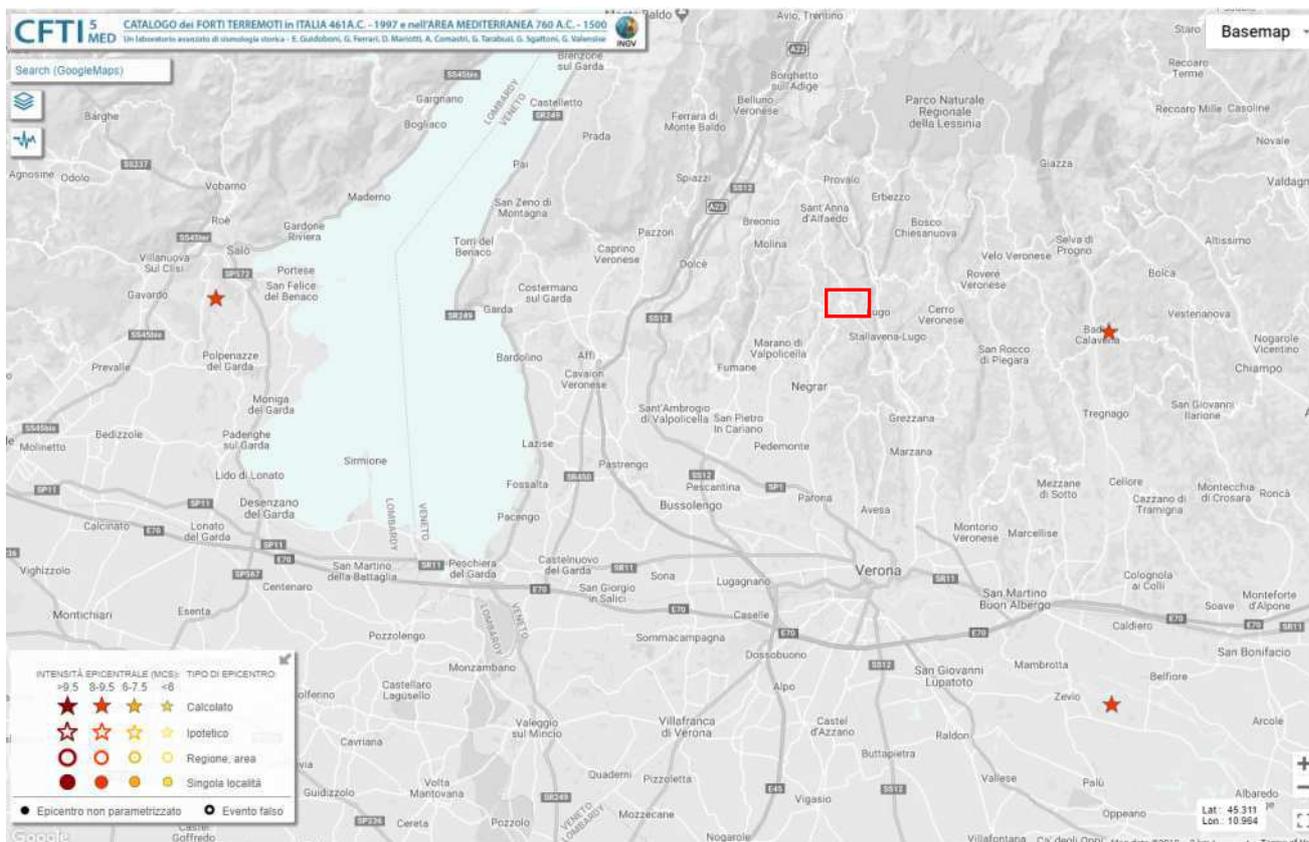
4.7 Sismicità storica e pericolosità sismica locale

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 (Mw = 6.49), evento problematico per localizzazione e stima degli effetti, e del basso bresciano del 1222 (Mw = 6.05). Si ricordano i sismi localizzati in val d'Illasi del 1891, 1892 (Mw = 5.17), 1894 (Mw = 5.17), 1908 (Mw = 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).



I terremoti di maggiore intensità epicentrale più vicini all’area in esame nella finestra di magnitudo equivalente compresa tra 5 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 una località. 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	Parmense	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	Parmense	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 21 terremoti.

Visualizzati **21** terremoti (Ordinamento Tempo Decrescente)

Esporta lista (UTC) ▼

Data e Ora (Italia) ↓ ↑	Magnitudo ↓ ↑	Zona	Profondità ↓ ↑	Latitudine	Longitudine
2021-02-22 13:04:06	ML 3.5	3 km NW Ala (TN)	12	45.78	10.98
2019-12-07 03:29:59	ML 3.2	1 km SE Vigasio (VR)	8	45.31	10.95
2019-08-08 07:36:35	ML 3.4	4 km W Vallarsa (TN)	11	45.77	11.07
2017-10-31 05:59:03	ML 3.1	4 km W Brentonico (TN)	9	45.84	10.91
2017-09-03 11:15:46	ML 3.4	4 km NW Gargnano (BS)	10	45.72	10.64
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
2017-02-09 09:14:08	ML 3.6	2 km E Vallarsa (TN)	11	45.78	11.15
2016-02-03 22:37:39	ML 3.0	1 km W Tremosine sul Garda (BS)	10	45.76	10.74
2015-08-14 06:58:35	ML 3.2	3 km E Vallarsa (TN)	11	45.79	11.16
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
2012-03-18 17:00:00	ML 3.2	3 km N Ala (TN)	11	45.78	11.00
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	10.99
2011-12-11 00:33:28	ML 3.1	3 km NW Malcesine (VR)	5	45.78	10.79
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 $M_{max} = 6.60$.

4.8 Caratterizzazione sismica del sito e modellazione sismo – stratigrafica

Le NTC di cui al DM 17 Gennaio 2018 definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica, stabilità e durabilità. Forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto e definiscono le caratteristiche dei materiali. La caratterizzazione sismica viene riportata di seguito, ricordando che il sito è ubicato in Negrar (VR), loc. Fane, via Pezze, ed è così definito:

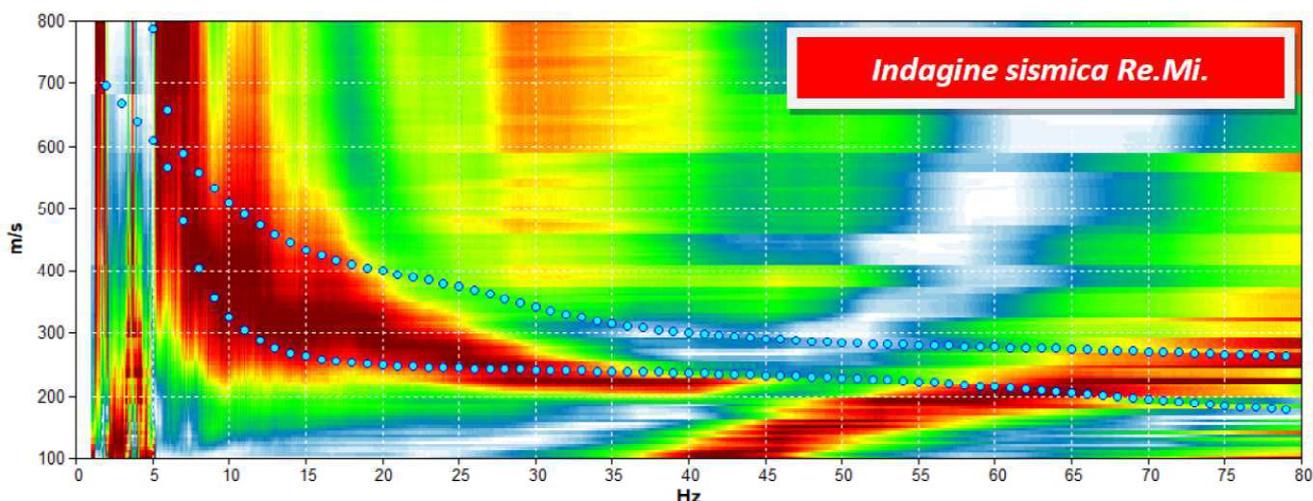
Longitudine: 10.965474; Latitudine: 45.579600 (ED50)

Quota s.l.m. : 607 m

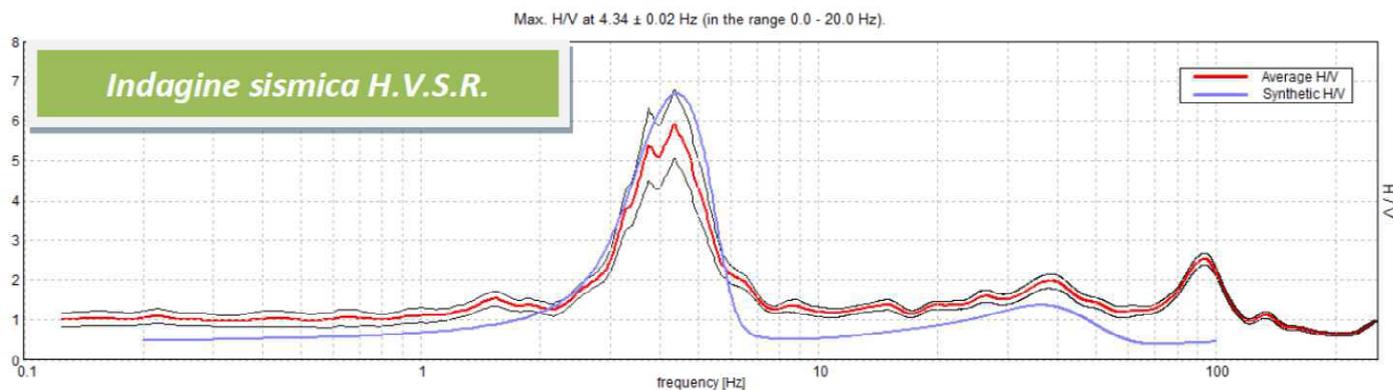
Nel corso della campagna geognostica è stata condotta una indagine geofisica tramite metodi di prospezione sismica Re.Mi. (Refraction Microtremor) ed H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), la cui relazione illustrativa, a cura di Studiosisma S.r.l., è riportata in Allegato C: tali metodologie 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 ($V_{S,30}$), come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Aggiornamento Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018), ed 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. Le prove sono state seguite nel terreno adiacente al fabbricato in oggetto (coordinate: latitudine 45.57854° N, longitudine 10.96437° E – WGS84).

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 (H.V.S.R.), 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.

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

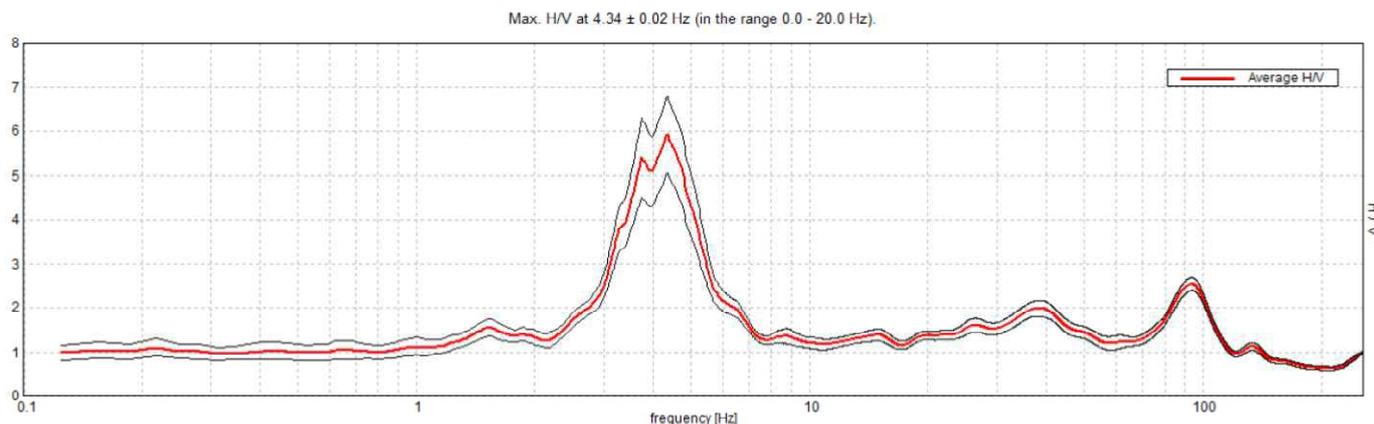
La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale moderatamente addensato fino a circa 1.0 m da piano campagna locale, caratterizzato da valori di V_s di circa 160 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato, con V_s che aumentano fino a circa 270 - 430 m/s; il bedrock geofisico, inteso come materiale con $V_s \geq 800$ m/s, è stato individuato a circa 26 m da p.c. ($V_s = 800$ m/s).

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	1	0.0 – 1.0
II SISMOSTRATO	270	10	1.0 – \approx 11
III SISMOSTRATO	430	15	\approx 11 – \approx 26
IV SISMOSTRATO	800	Semisp.	\approx 26 – Semisp

Rimandando sempre alla relazione 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": in dettaglio, si è cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta H.V.S.R. 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 ($H/V = 6$) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0.0 – 20.0 Hz), è di circa 4.3 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 estremamente elevato 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.

Ai fini della definizione dell'azione sismica 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 fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab 3.2.II). I valori di V_s possono essere ottenuti tramite specifiche prove, come nel caso in esame, 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	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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	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 equivalenti 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 equivalenti compresi tra 100 e 180 m/s
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m

Dall'assetto sismostratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del bedrock geofisico a profondità inferiori a 30 m da p.c.: pertanto si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 26 m ($V_{s,eq}$), come richiesto dalle N.T.C., che per diverse profondità risulta:

Profondità piano di posa fondazioni	$V_{s,eq}$
0 m da p.c.	$V_s (0-26) \approx 333$ m/s
1 m da p.c.	$V_s (1-26) \approx 348$ m/s
2 m da p.c.	$V_s (2-26) \approx 352$ m/s
3 m da p.c.	$V_s (3-26) \approx 357$ m/s

Pertanto si attribuisce al sito in esame la seguente categoria di terreni:

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

Relativamente alle **condizioni topografiche**, data la configurazione semplice del sito, si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 3.2.III – Categorie topografiche

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

Il caso in esame rientra in categoria T1.

La valutazione dell'azione sismica considera anche la valutazione dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Per quanto riguarda l'**amplificazione stratigrafica**, la *tabella 3.2.IV* fornisce le espressioni di S_s (coefficiente stratigrafico) e C_c (coefficiente che modifica il valore del periodo T_c , che è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costate dello spettro dato da $T_c = C_c T^*c$) in funzione dei valori di F_0 (fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha un valore minimo pari a 2.2).

Tabella 3.2.IV (stralcio)

Categoria	S_s	C_c
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 F_0 a_g/g \leq 1.60$	$1.15 (T^*c)^{-0.40}$

Per il caso in esame, S_s e C_c valgono:

Stato limite	S_s	C_c
SLO	1,600	2,058
SLD	1,600	2,031
SLV	1,557	1,924
SLC	1,424	1,909

Per l'**amplificazione topografica**, per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_t riportati in Tabella 3.2.V, in funzione delle categorie topografiche definite in precedenza.

Tabella 3.2.V (stralcio)

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	St
T1	-	1.0

Con riferimento alle **opere di progetto**:

la **vita nominale** di un'opera strutturale V_N (§ 2.4.1 NTC) è intesa convenzionalmente come il numero d'anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, mantenga specifici livelli prestazionali. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella Tabella 2.4.I delle NTC.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione	Valori minimi di V_N
1: Costruzioni temporanee e provvisorie	10 anni
2: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50 anni
3: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100 anni

Nel caso in esame, trattandosi di opere ordinarie, V_N dovrà essere ≥ 50 anni.

Per quanto riguarda le **classi d'uso** (§ 2.4.2 NTC) in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di interruzioni di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 Novembre 2001, n. 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le opere di progetto ricadono in Classe II.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, dalla tabella 2.4.II delle NTC.

Tabella 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0.7	1	1.5	2

Nel caso in esame $C_U = 1.0$; V_R risulta pertanto pari a 50.

4.9 Sintesi dei parametri di caratterizzazione sismica

Si riporta di seguito la sintesi dei parametri sismici:

Ubicazione: Negrar (VR), località Fane, via Pezze

Longitudine: 10.965474; Latitudine: 45.579600 (ED50)

Quota s.l.m. : 607 m

Terreno:

Categoria di sottosuolo : E

Categoria topografica: T1

S_{SLV} : 1,557; C_{CSLV} : 1,924

St: 1,000

Opera:

Classe d'uso: II

Vita nominale $V_N \geq 50$ anni

Coefficiente d'uso: 1,0

Periodo di riferimento V_R : 50 anni

Mediante il software dedicato di Geostru PS ver. PRO si sono determinati i parametri sismici del sito, riportati in

Allegato A e riassunti di seguito:

Stato limite	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	0,044	2,493	0,233
SLD	0,059	2,553	0,241
SLV	0,165	2,437	0,276
SLC	0,213	2,456	0,282

5 Relazione geotecnica

La progettazione geotecnica di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 richiede, oltre che alla caratterizzazione e modellazione geologica vista in precedenza, la realizzazione di modelli geotecnici in funzione della tipologia di terreni e di opere da realizzare. Di seguito si specificano le problematiche geotecniche; si descrive il programma di indagini geotecniche; si fornisce la parametrizzazione dei terreni, a seguito dei dati ricavati dalle indagini condotte e sulla base di dati bibliografici; si illustrano i modelli geotecnici di sottosuolo ed i risultati delle analisi preliminari: si precisa infatti che il presente elaborato fornisce le indicazioni di carattere geotecnico da approfondire in fase di progettazione esecutiva in accordo a quanto indicato dalle NTC.

5.1 Problematiche geotecniche

Come si evince da quanto esposto nella relazione geologica, i terreni al di sotto del livello superficiale rimaneggiato/riportato, sono costituiti da depositi eluvio – colluviali a tessitura argillosa con ghiaie, piuttosto potenti (dal raffronto con le indagini geofisiche, le caratteristiche risultano omogenee sino a 11 m da piano campagna). Dai dati di campagna e bibliografici, la falda è tale da non interferire con le opere in progetto.

In corso d'opera la stabilità dei fronti di scavo, data la natura dei terreni presenti, sarà garantita solo a breve termine ed in assenza di eventi meteorici: data la tipologia di intervento in progetto, tale elemento non costituisce una criticità.

L'intervento comporterà un lieve aumento di impermeabilizzazione rispetto allo stato attuale.

5.2 Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche

Il metodo d'indagine è consistito nel:

- rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio dell'area;
- esecuzione di scavi e prove geofisiche in sito ed analisi di indagini in aree contermini.

I dati ottenuti sono stati quindi rielaborati, come illustrato di seguito.

5.3 Caratterizzazione dei terreni e definizione dei valori dei parametri geotecnici

L'analisi geotecnica è stata resa possibile dall'analisi dei dati relativi a scavi, sondaggi, affioramenti prossimi all'area di progetto; il raffronto con le indagini in sito ha permesso di ottenere il modello geotecnico di riferimento per la progettazione, che è riassunto nella tabella seguente.

Strato	Descrizione litologica	Prof. da p.c. (m)	Spessore (m)	φ	Coesione (DaN/cm ²)	γ (t/m ³)
VR	Terreno vegetale rimaneggiato di colore bruno a tessitura argillosa con elementi lapidei calcarei (ghiaie, blocchi) ed elementi antropici (frammenti di laterizi, cls) <i>Caratteristiche geotecniche: SCADENTI</i>	0.50 – 1.00	0.50 – 1.00	20°	0.05	1.65
A	Argilla di colore da bruno a bruno scuro con ghiaia a spigoli vivi in percentuali variabili <i>Caratteristiche geotecniche: SUFFICIENTI</i>	N.D.	N.D.	22 - 25°	0.05 – 0.10	1.80

5.4 Opere di fondazione – fondazioni superficiali

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2: (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tabella 6.8.I per le resistenze globali; per le verifiche di sicurezza delle fondazioni le NTC 2018 prevedono l'utilizzo dell'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Di seguito sono riportati i valori dei coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno e per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Tabella 6.2.II– Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Si precisa che in condizioni sismiche i parametri geotecnici non si riducono e le azioni non si amplificano; come riportato al paragrafo 7.11.5.31 delle NTC 2018, se nel calcolo del carico limite si considera esplicitamente l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo, in condizioni sismiche il coefficiente γ_R può essere ridotto a 1.8: nel presente elaborato si farà riferimento a tale condizione.

5.5 Parametri geotecnici caratteristici dei terreni

Per la valutazione della resistenza si devono considerare i coefficienti parziali precedentemente esposti per l'approccio di calcolo indicato dalla norma. Il terreno di appoggio per le opere previste è rappresentato dallo strato "A", cui si attribuiscono cautelativamente i valori minori dei parametri geotecnici attribuiti al livello.

I parametri geotecnici caratteristici valgono pertanto:

Strato	Coesione DaN/cm ²	ϕ	γ KN/m ³
A _{appr.2}	0,05	22,0°	18,0

Ipotesi progettuale delle strutture di appoggio: fondazioni continue (ci si riferisce alla lunghezza maggiore di L, che fornisce il valore minore di resistenza, con approccio cautelativo).

Fondazione	Base m	Lunghezza m	Incastro m
F. continua	0,80 – 1,20	15,93	0,40

5.6 Verifiche di sicurezza

Per il calcolo della resistenza, si applica la formula di Brinch-Hansen:

$$q = c \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c + q \times N_q \times s_q \times d_q \times i_q \times b_q \times g_q + \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times i_\gamma \times b_\gamma \times g_\gamma$$

che costituisce un'estensione dell'equazione di Terzaghi, in cui si tiene conto di alcuni casi particolari, attraverso i seguenti fattori correttivi:

- N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito;
- s_c, s_q, s_γ = fattori di forma della fondazione;
- i_c, i_q, i_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- b_c, b_q, b_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;
- g_c, g_q, g_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;
- d_c, d_q = fattori correttivi che dipendono dalla profondità del piano di posa.

Ai fini della verifica degli *stati limite ultimi (SLU)* le NTC prevedono, al paragrafo 2.3 “Valutazione della sicurezza”, che sia rispettata la condizione $R_d \geq E_d$, con E_d valore teorico di progetto dell'effetto delle azioni e R_d valore di progetto della resistenza del terreno. Quest'ultima viene determinata in modo analitico con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, tramite la formula di Brinch – Hansen.

Sulla base dei dati precedentemente esposti, la resistenza del terreno è stata calcolata per una fondazione continua, con appoggio su litologie da ricondursi a depositi eluvio – colluviali a tessitura argillosa inglobanti elementi calcarei, secondo l'Approccio 2 delle NTC si fa presente che al momento non sono noti i carichi di progetto agenti sulla fondazione, per cui la relazione geotecnica dovrà essere integrata una volta noti tali valori. I risultati sono riportati in Allegato B; si riporta di seguito una tabella riassuntiva.

AI+MI+R3				
Ipotesi fondazione			Q_{lim} (KN/m ²)	Resistenza di progetto (KN/m ²)
B (m)	L (m)	D (m)		
0,80	15,93	0,40	218,52	95,01
1,20	15,93	0,40	236,43	102,80
Sisma				
Ipotesi fondazione			Q_{lim} (KN/m ²)	Resistenza di progetto (KN/m ²)
B (m)	L (m)	D (m)		
0,80	15,93	0,40	218,52	121,40
1,20	15,93	0,40	236,43	131,35

Per quanto riguarda le verifiche degli *stati limite di esercizio (SLE)*, vista la tipologia di terreni presenti, con scheletro granulare, non si prevedono particolari problematiche: allo stato attuale non è possibile eseguire un calcolo preciso dei cedimenti, poiché non sono noti i carichi indotti dagli interventi.

Tuttavia, tale analisi è fondamentale per le scelte progettuali: pertanto di seguito si fornisce una stima secondo il Metodo di Burland & Burbidge, inserendo come carico i valori più gravosi di resistenza in condizioni statiche ricavati nelle pagine precedenti. In questo modo vengono calcolati i cedimenti massimi possibili per la fondazione considerata:

- Fondazione B = 1.20 m: resistenza max 102,80 kN/mq

Tempo (anni)	0	5	10	30	50	70	85	100
Cedimento (mm)	6,470	8,698	9,087	9,704	9,992	10,181	10,290	10,381

I cedimenti devono essere tali da non produrre lesioni ai fabbricati nel tempo: si ribadisce che questi valori, accettabili, sono solamente delle stime legate all'applicazione al terreno di fondazione di un carico corrispondente alla capacità portante del terreno stesso; è da considerarsi che i terreni hanno ormai sviluppato i cedimenti dovuti ai carichi esistenti, per cui si dovrà computare solamente l'aumento di carico.

5.7 Considerazioni sulla suscettibilità a liquefazione

In considerazione dei risultati delle indagini, i seguenti metodi storico – empirici per la stima del rischio di liquefazione:

- storico (nessun dato circa fenomeni pregressi)
- geologico (suscettibilità molto bassa in conseguenza ad età e tipologia di depositi)
- di composizione (argille con elementi lapidei calcarei)
- di profondità della falda, maggiore di 15 m

permettono di non considerare l'area come suscettibile a tale criticità.

6 Considerazioni conclusive

In conformità a quanto in precedenza esposto, a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018 e dalle norme vigenti si riassumono le caratteristiche dell'area indagata:

- L'area interessata dagli interventi di progetto è caratterizzata dalla presenza depositi eluvio - colluviali. Il modello geologico e geotecnico conseguente alle indagini effettuate è schematizzato nella seguente tabella:

Strato	Descrizione litologica	Prof. da p.c. (m)	Spessore (m)	φ	Coesione (DaN/cm ²)	γ (t/m ³)
VR	Terreno vegetale rimaneggiato di colore bruno a tessitura argillosa con elementi lapidei calcarei (ghiaie, blocchi) ed elementi antropici (frammenti di laterizi, cls) <i>Caratteristiche geotecniche: SCADENTI</i>	0.50 – 1.00	0.50 – 1.00	20°	0.05	1.65
A	Argilla di colore da bruno a bruno scuro con ghiaia a spigoli vivi in percentuali variabili <i>Caratteristiche geotecniche: SUFFICIENTI</i>	N.D.	N.D.	22 - 25°	0.05 – 0.10	1.80

- Il livello freatico, da dati bibliografici, non interferisce con le opere, attestandosi ad oltre 10 m da piano campagna; non si esclude possano comparire venute d'acqua nei livelli a maggiore permeabilità in occasione di eventi meteorici prolungati e/o intensi.
- I parametri geotecnici caratteristici dei terreni di fondazione sono i seguenti:

Strato	Coesione DaN/cm ²	φ	γ KN/m ³
AL _{appr.2}	0,05	22°	18,0

- E' stata condotta una indagine geofisica con prove Re.Mi. ed HVSR per la caratterizzazione sismica del sottosuolo: dai valori di V_s ottenuti, si evidenzia la presenza di un materiale moderatamente addensato fino a circa 1.0 m da piano campagna locale, caratterizzato da valori di V_s di circa 160 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato, con V_s che aumentano fino a circa 270 - 430 m/s; il bedrock geofisico, inteso come materiale con $V_s \geq 800$ m/s, è stato individuato a circa 26 m da p.c. ($V_s = 800$ m/s).
- Dall'assetto sismostratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del bedrock geofisico a profondità inferiori a 30 m dal p.c. locale: pertanto si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 26 m ($V_{s,eq}$), come richiesto dalle N.T.C., che per le diverse profondità di interesse risulta:

Profondità piano di posa fondazioni	$V_{s,eq}$
0 m da p.c.	$V_s(0-26) \approx 333$ m/s
1 m da p.c.	$V_s(1-26) \approx 348$ m/s
2 m da p.c.	$V_s(2-26) \approx 352$ m/s
3 m da p.c.	$V_s(3-26) \approx 357$ m/s

- Pertanto la categoria di sottosuolo risulta essere "E".
- La sintesi dei parametri sismici è riportata di seguito:
Ubicazione: Negrar (VR), località Fane, via Pezze
Longitudine: 10.965474; Latitudine: 45.579600 (ED50)

Quota s.l.m. : 607 m

Terreno:

Categoria di sottosuolo : E

Categoria topografica: T1

S_{SLV} : 1,557; C_{SLV} : 1,924

St: 1,000

Opera:

Classe d'uso: II

Vita nominale $V_N \geq 50$ anni

Coefficiente d'uso: 1,0

Periodo di riferimento V_R : 50 anni

- I valori di a_g , F_0 , e T^*c per ciascuno stato limite sono i seguenti:

Stato limite	a_g (g)	F_0	T^*c (s)
SLO	0,044	2,493	0,233
SLD	0,059	2,553	0,241
SLV	0,165	2,437	0,276
SLC	0,213	2,456	0,282

- Non essendo attualmente noti i carichi indotti dagli interventi edificatori previsti, si sono proposti i seguenti dimensionamenti delle strutture di fondazione, riassunti con i relativi valori di resistenza.

<i>AI+MI+R3</i>				
Ipotesi fondazione			Q_{lim} (KN/m ²)	Resistenza di progetto (KN/m ²)
<i>B</i> (m)	<i>L</i> (m)	<i>D</i> (m)		
0,80	15,93	0,40	218,52	95,01
1,20	15,93	0,40	236,43	102,80
<i>Sisma</i>				
Ipotesi fondazione			Q_{lim} (KN/m ²)	Resistenza di progetto (KN/m ²)
<i>B</i> (m)	<i>L</i> (m)	<i>D</i> (m)		
0,80	15,93	0,40	218,52	121,40
1,20	15,93	0,40	236,43	131,35

- A seguito dell'indagine HVSR effettuata, è possibile affermare che 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 circa 4.3 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 estremamente rilevante.
- La “Carta delle fragilità” del PAT classifica l'area come idonea all'edificazione: dalle analisi condotte non sussistono problematiche di stabilità globale del pendio, mentre per quanto riguarda la stabilità locale a breve termine si rimanda alle prescrizioni riportate al paragrafo successivo.

7 Raccomandazioni e prescrizioni

In considerazione della tipologia di interventi previsti ed in ottemperanza alla normativa vigente, si raccomanda e prescrive quanto segue:

Relativamente agli *scavi*:

- durante l'esecuzione di eventuali scavi per la verifica delle fondazioni si raccomanda di procedere alla verifica diretta delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni di posa delle opere in progetto per accertarne la continuità ed omogeneità comportamentale; si ricorda che terreni rimaneggiati e/o riportati non sono idonei;
- gli scavi saranno limitati all'indispensabile e condotti con modalità tali da garantire il massimo rispetto delle opere esistenti.

Relativamente alle *fondazioni*:

- la tipologia ed il dimensionamento delle fondazioni devono essere in funzione dei carichi e degli effettivi cedimenti indotti ai terreni dalle strutture di progetto: nel caso l'appoggio sia su strutture esistenti, dovrà essere verificata l'idoneità delle stesse a sostenere gli aumenti di carico prodotti dall'intervento.

Sulla base delle considerazioni effettuate, e stanti gli accorgimenti menzionati, non sussistono pertanto penalizzazioni di carattere geologico – tecnico per l'intervento di progetto.

Dott. Geol. Silvia Daleffe



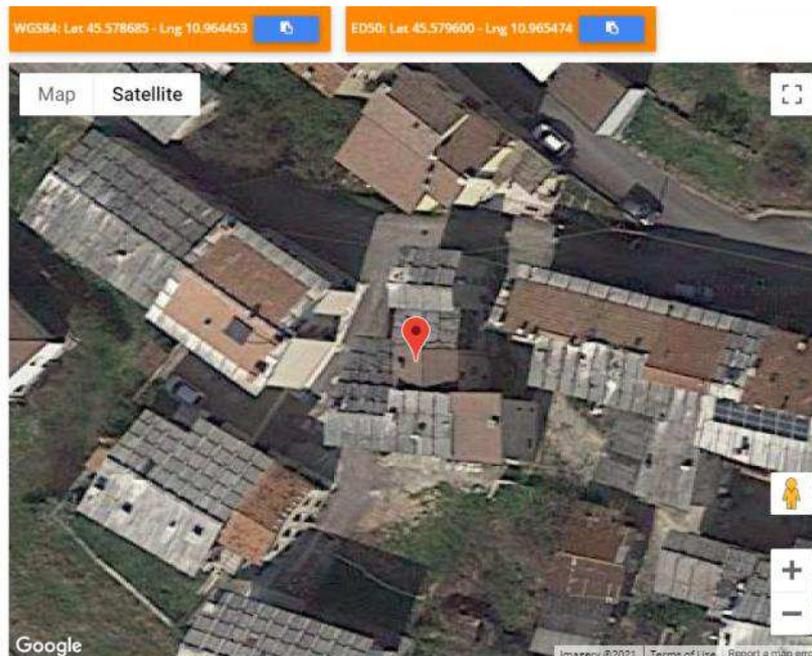
Silvia Daleffe

Bibliografia

A.G.I. – ASS. GEOTECNICA ITALIANA		(1977)	<i>Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione di indagini geotecniche.</i>
A.G.I. – ASS. GEOTECNICA ITALIANA		(1999)	<i>XX Convegno nazionale Geotecnica – Sviluppi nell'esecuzione e nell'impiego delle indagini geotecniche.</i>
A.G.I. – ASS. GEOTECNICA ITALIANA		(2005)	<i>Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica</i>
AMMINISTRAZIONE DELLA PROVINCIA DI VERONA		(2015)	<i>Piano Territoriale Provinciale</i>
BOWLES J.E.	McGraw – Hill.	(1991)	<i>Fondazioni. Progetto e analisi</i>
CASTANY G.	Flaccovio Ed.	(1985)	<i>Idrogeologia. Principi e metodi</i>
CESTARI F.	Geo Graph.	(1990)	<i>Prove geotecniche in situ.</i>
CESTELLI GUIDI C.	Hoepli.	(1987)	<i>Geotecnica e tecnica delle fondazioni</i>
CHIESA G.	Flaccovio Ed.	(1994)	<i>Idraulica delle acque di falda</i>
CHIESA G.	A.N.I.P.A.		<i>Manuale di geoidrologia. Idraulica dei pozzi</i>
COLOMBO P., COLLESELLI F.	Zanichelli	(1996)	<i>Elementi di geotecnica</i>
DAL PRÀ A., ANTONELLI	Quaderni Ist. Ricerca Acque	(1977)	<i>Ricerche idrogeologiche e litostratigrafiche nell'alta pianura alluvionale del fiume Adige.</i>
DAL PRÀ A., DE ROSSI P., FURLAN F., SILIOTTI A., ZANGHERI P.		(1991)	<i>Il regime delle acque sotterranee nell'alta pianura veronese</i>
DIP. ING. STRUTT. POLITECNICO, SOC. ING. E ARCH. TORINO	XI Ciclo di conferenze di Geotecnica, Torino	(1993)	<i>Parametri di progetto da prove in situ.</i>
E.N.I.		(1972)	<i>Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca di idrocarburi in Italia</i>
DE ZANCHE V., SORBINI L., SPAGNA V.	Museo Civico Storia Nat. Verona	(1977)	<i>Geologia del territorio del Comune di Verona</i>
FAVARETTI M., CORTELLAZZO G.	Seminario SILP, Padova	(1994)	<i>Progressi nelle prove in posto: i recenti metodi di indagine e loro interpretazione.</i>
FAVARETTI M., MORACI N. – O.R. GEOLOGI VENETO	I° Ciclo conferenze di Geotecnica – Mestre	(1997)	<i>I cedimenti delle fondazioni superficiali: metodi di calcolo e criteri di accettabilità</i>
FAVARETTI M., MORACI N. – O.R. GEOLOGI VENETO	I° Ciclo conferenze di Geotecnica – Mestre	(1997)	<i>La capacità portante delle fondazioni superficiali.</i>
GOIRAN A.	Atti e Memorie Acc. Agr., Arti e Com. Verona	(1887)	<i>Appendice e nota al catalogo dei terremoti veronesi.</i>
GOIRAN A.	Atti e Memorie Acc. Agr., Arti e Com. Verona	(1880)	<i>Storia sismica della Provincia di Verona.</i>
LANCELLOTTA R.	Zanichelli	(1993)	<i>Geotecnica.</i>
MENNA	St. Zandrini	(1973)	<i>Il bacino idrografico dell'Adige</i>
MINISTERO UNIVERSITÀ E RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA	Com. Cons. C.U.N. n.4 "Scienze della Terra" S.E.L.C.A.	(1997)	<i>Carta Altimetrica e dei Movimenti Verticali del Suolo della Pianura Padana Scala 1:250.000</i>
MINISTERO UNIVERSITÀ E RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA	Com. Cons. C.U.N. n.4 "Scienze della Terra" S.E.L.C.A.	(1997)	<i>Carta Geomorfológica della Pianura Padana Scala 1:250.000</i>
MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE	D.M. 14/01/2008	(2008)	<i>"Approvazione delle nuove norme tecniche pere le costruzioni" (G.U. n. 29 del 4.2.2008 – Suppl. Ordinario n. 30)</i>
CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI			<i>"Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008".</i>
MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE	D.M. 17/01/2018	(2018)	<i>Aggiornamento delle "norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n. 42 del 20.2.2018 – Suppl. Ordinario)</i>
PANIZZA M. ET ALII		(1981)	<i>Modello sismo tettonico dell'area fra il Lago di Garda ed il Monte Grappa</i>
SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE	Autori Vari		<i>Carta Geologica d'Italia – scala 1:100.000</i>
SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE - REGIONE VENETO		(1990)	<i>Carta geologica del Veneto scala 1:250.000.</i>
SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE - REGIONE VENETO		(1990)	<i>Carta geomorfologica del Veneto scala 1:250.000.</i>
SLEJKO D. ET ALII		(1987)	<i>Modello sismo tettonico dell'Italia Nord- orientale</i>
SORBINI L.	Museo Civico Storia Nat. Verona	(1993)	<i>Geologia, idrogeologia e qualità dei principali acquiferi veronesi</i>
SORMANI MORETTI L.	Museo Civ. Storia Nat. Verona	(1898)	<i>La Provincia di Verona – Monografia</i>
SUGAN M., PERUZZA L.	Bollettino di geofisica teorica e applicata, vol. 52, n. 4	(2011)	<i>Distretti sismici del Veneto</i>
TERZAGHI K.	UTET.	(1992)	<i>Geotecnica.</i>

Allegato A: parametri sismici del sito

Software Geostru PS PRO



Stati limite

Classe Edificio
 II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.044	2.493	0.233
Danno (SLD)	50	0.059	2.553	0.241
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.165	2.437	0.276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.213	2.456	0.282
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 vs (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: E

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,56	1,42
CC Coeff. funz categoria	2,06	2,03	1,92	1,91
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.014	0.019	0.062	0.085
kv	0.007	0.009	0.031	0.042
Amax [m/s ²]	0.696	0.925	2.527	2.967
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Allegato B: Verifiche di sicurezza SLU

Software Geostru Loadcap 2021

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018
Zona	via Pezze, Fane
Larghezza fondazione	0.8 – 1.2 m
Lunghezza fondazione	15.93 m
Profondità piano di posa	1.0 m
Altezza di incastro	0.4 m

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.07
Effetto sismico secondo	NTC 2018

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.431	2.493	0.233
S.L.D.	50.0	0.579	2.553	0.241
S.L.V.	475.0	1.618	2.437	0.276
S.L.C.	975.0	2.089	2.456	0.282

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6896	0.2	0.0141	0.007
S.L.D.	0.9264	0.2	0.0189	0.0094
S.L.V.	2.5203	0.24	0.0617	0.0308
S.L.C.	2.9757	0.28	0.085	0.0425

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coazione [kN/m ²]	Coazione non drenata [kN/m ²]	Descrizione
1.0	16.5	18.0	20.0	4.9	0.0	Strato VR
10.0	18.0	20.0	22.0	4.9	0.0	Strato A

B = 0.80 m

A1+M1+R3		SISMA	
Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)		Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)	
PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO		PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	
Peso unità di volume	18.0 kN/m ³	Peso unità di volume	18.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	20.0 kN/m ³	Peso unità di volume saturo	20.0 kN/m ³
Angolo di attrito	22.0 °	Angolo di attrito	22.0 °
Coesione	4.9 kN/m ²	Coesione	4.9 kN/m ²
Fattore [Nq]	7.82	Fattore [Nq]	7.82
Fattore [Nc]	16.88	Fattore [Nc]	16.88
Fattore [Ng]	5.51	Fattore [Ng]	5.51
Fattore forma [Sc]	1.02	Fattore forma [Sc]	1.02
Fattore profondità [Dc]	1.32	Fattore profondità [Dc]	1.32
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0	Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0	Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0	Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.02	Fattore forma [Sq]	1.02
Fattore profondità [Dq]	1.28	Fattore profondità [Dq]	1.28
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0	Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0	Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0	Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98	Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0	Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0	Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0	Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0	Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0	Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0	Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0	Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
<i>Carico limite</i>	218.52 kN/m ²	<i>Carico limite</i>	218.52 kN/m ²
<i>Resistenza di progetto</i>	95.01 kN/m ²	<i>Resistenza di progetto</i>	121.4 kN/m ²

B = 1.20 m

A1+M1+R3		SISMA	
Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)		Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)	
PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO		PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	
Peso unità di volume	18.0 kN/m ³	Peso unità di volume	18.0kN/m ³
Peso unità di volume saturo	20.0 kN/m ³	Peso unità di volume saturo	20.0 kN/m ³
Angolo di attrito	22.0 °	Angolo di attrito	22.0 °
Coesione	4.9 kN/m ²	Coesione	4.9 kN/m ²
Fattore [Nq]	7.82	Fattore [Nq]	7.82
Fattore [Nc]	16.88	Fattore [Nc]	16.88
Fattore [Ng]	5.51	Fattore [Ng]	5.51
Fattore forma [Sc]	1.03	Fattore forma [Sc]	1.03
Fattore profondità [Dc]	1.3	Fattore profondità [Dc]	1.3
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0	Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0	Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0	Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.03	Fattore forma [Sq]	1.03
Fattore profondità [Dq]	1.26	Fattore profondità [Dq]	1.26
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0	Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0	Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0	Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98	Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0	Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0	Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0	Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0	Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0	Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0	Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0	Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
<i>Carico limite</i>	236.43 kN/m ²	<i>Carico limite</i>	236.43 kN/m ²
<i>Resistenza di progetto</i>	102.8 kN/m ²	<i>Resistenza di progetto</i>	131.35 kN/m ²

Allegato C:

*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 Studiosisma S.r.l.)*



REGIONE DEL VENETO

Provincia di Verona



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)

Via Pezze
Comune di Negrar (VR)

Committente:
Dott.ssa Geol. Silvia Daleffe

Data: Marzo 2020



STUDIOSISMA SRL
SS. PASUBIO 10, COSTABISSARA (VT)
TEL 044212962 / 3490567455
info@studiosisma.com
CF/P.IVA 03797510249 / SDI USAL8PV

INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)	5
2.2	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	7
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	8
4.	ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	9
4.1	Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate	9
4.2	Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta	10
4.3	Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)	11
4.4	Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17 gennaio 2018	12

ALLEGATI

-  Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Responsabile di Progetto	Autori	Collaboratori
M. Collareda	E. Mammoliti	A. Fortugno

1. PREMESSE

Il giorno 21 febbraio 2020 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica in via Pezze nel Comune di Negrar (VR), su incarico di **Dott.ssa Geol. Silvia Daleffe**. Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono state effettuati:

- **n°1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppata in un array lineare con n°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*);
- **n°1 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.

Nella figura a seguire viene evidenziata l'area in oggetto di studio (*Fig. n°1 - Estratto da I.G.M. Veneto in scala 1:25.000*).

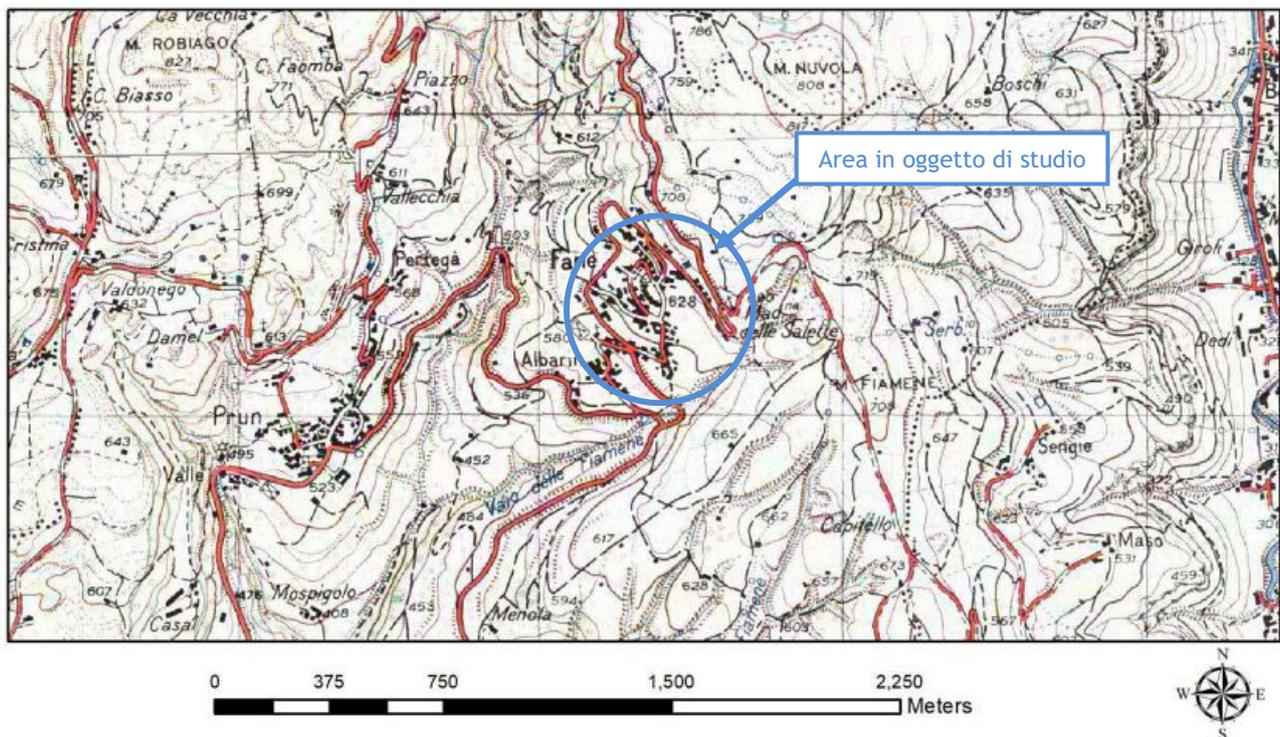


Fig. n°1: Estratto da I.G.M. Veneto in scala 1:25.000

L'ubicazione dell'area è stata ottenuta, secondo il Datum WGS 84, utilizzando un posizionatore GPS: le coordinate ottenute sono specificate nella tabella sottostante. Nella figura seguente (*Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito*) sono invece riportate, in dettaglio, le posizioni di ogni misura effettuata.

Latitudine	Longitudine
45.57854° N (WGS 84)	10.96437° E (WGS 84)

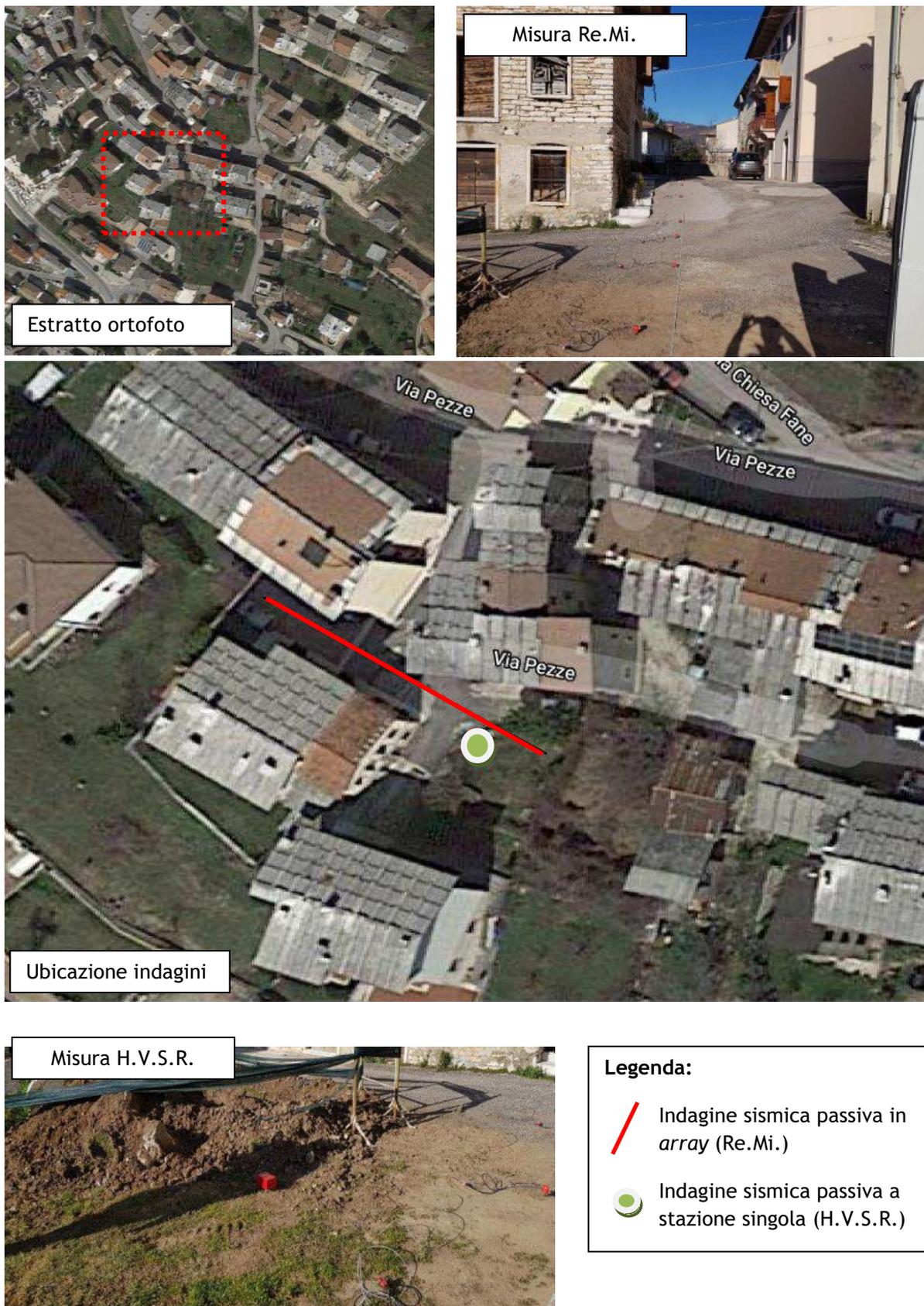


Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito

2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

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

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito **dispersione in frequenza** ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico - matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

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 con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x - t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.



Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.7.0 release 2018](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n° 16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 2 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 30 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [2.1]$$

- Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
- H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);
- hi = spessore dello strato i - esimo [m];
- vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i - esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

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

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **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" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,eq}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018*;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

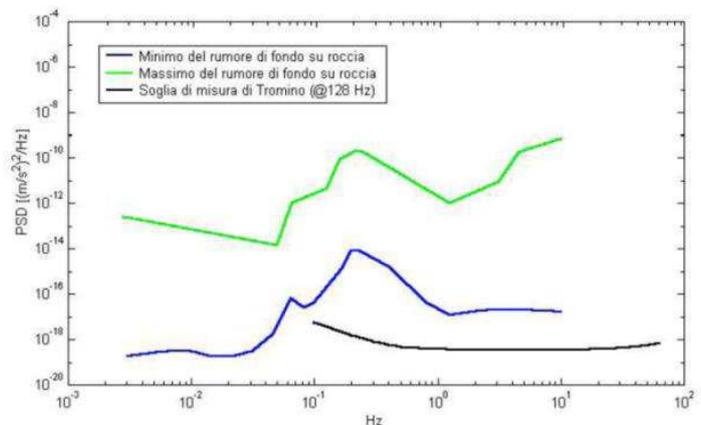
Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.



Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho S.r.l. modello "Tromino ENGY-PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno una terna velocimetrica con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n° 193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n° 1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Tuscania (1971), fu emanata la Legge n° 64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n° 3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 17 gennaio 2018) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n° 3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'**azione sismica**.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di **risposta sismica locale**. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, \quad [3.1]$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di “*doppia risonanza*”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito} \quad [3.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

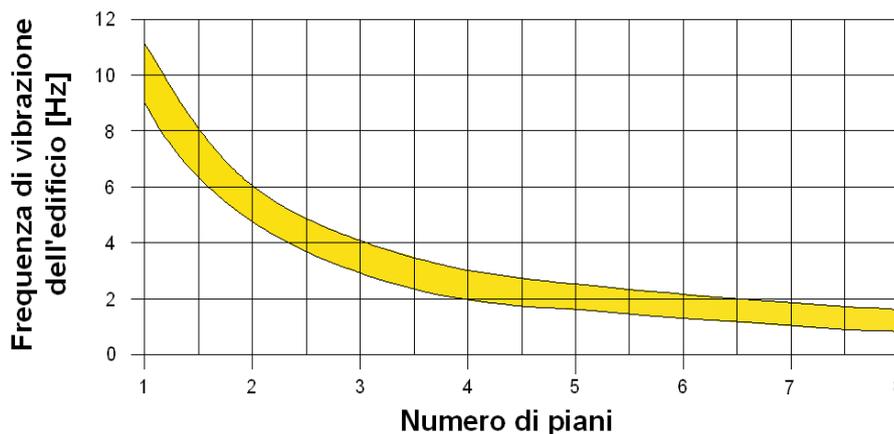


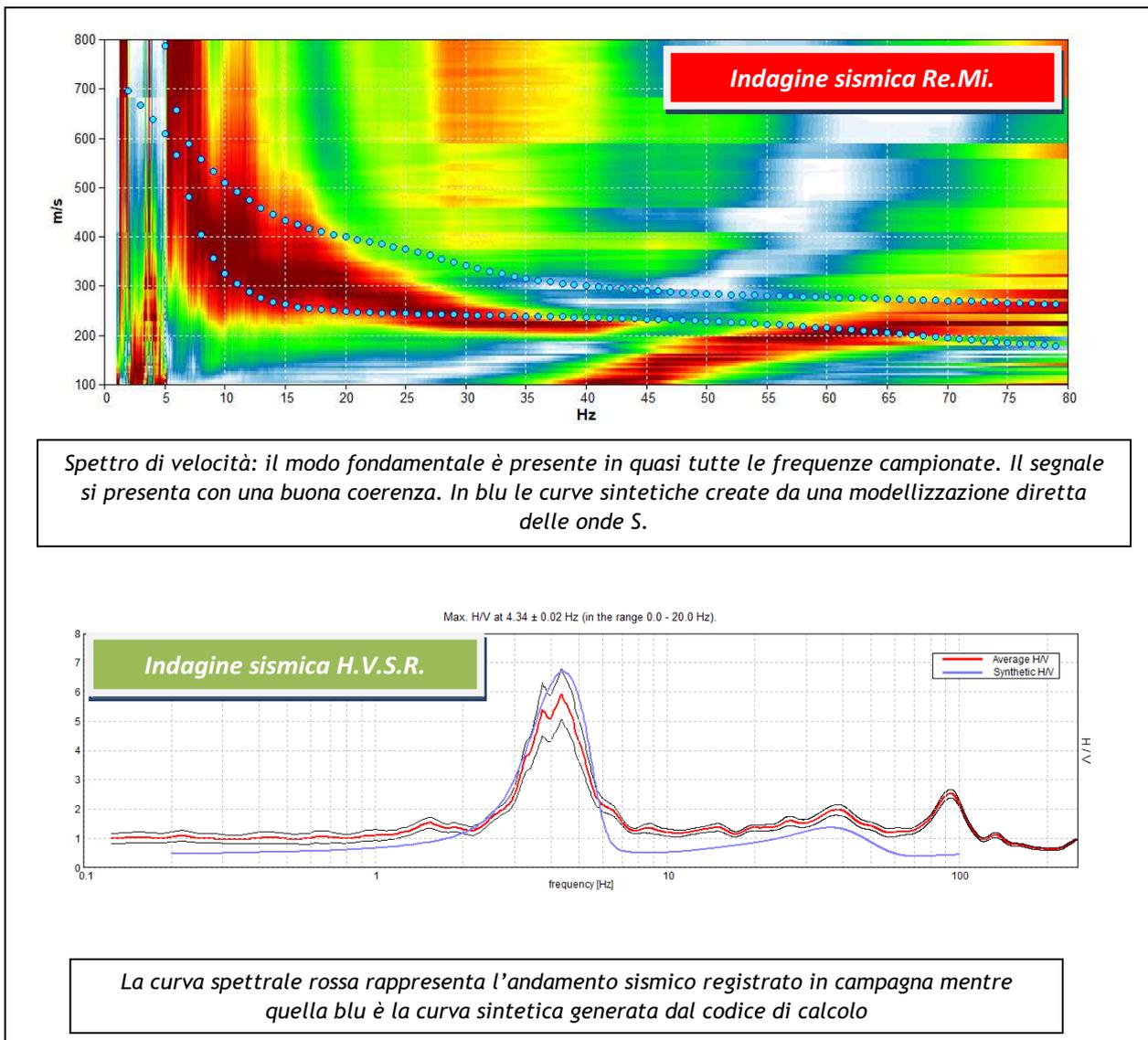
Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

4. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

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 (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura superficiale e del *bedrock* geofisico. 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.

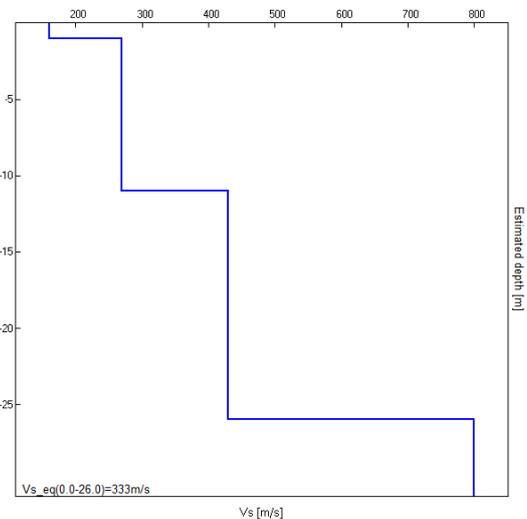
4.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta



La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale moderatamente addensato caratterizzato da Vs di circa 160 m/s fino a circa 1,0 m dal p.c. locale, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs che aumentano fino a circa 270-430 m/s.

Il *bedrock* geofisico (Vs=800 m/s), inteso come quel materiale con Vs > 800 m/s, è stato riscontrato a circa 26 m dal p.c. locale (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):



Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	1,0	0,0 - 1,0
II SISMOSTRATO	270	10	1,0 - ≈11
III SISMOSTRATO	430	15	≈11 - ≈26
IV SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈26 - Semisp.

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

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

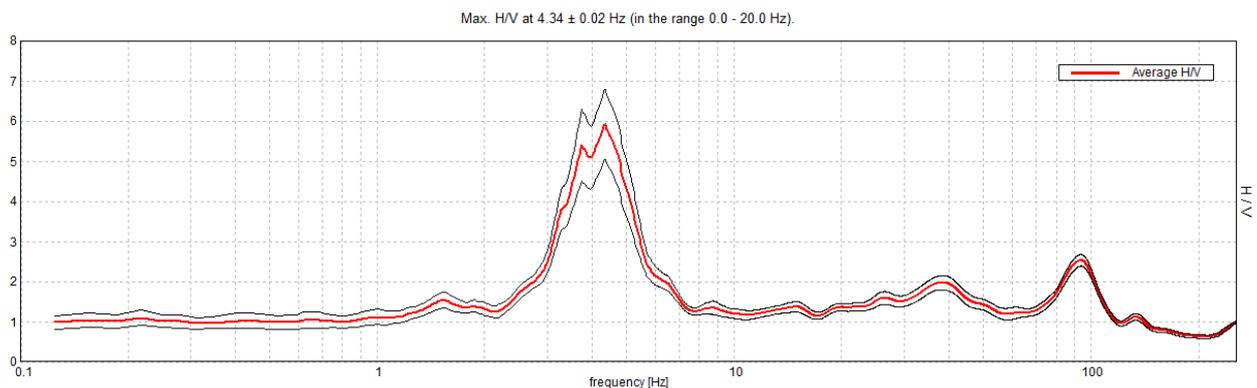
Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, è possibile ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ($H/V \approx 6$) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 - 20,0 Hz), è di circa 4,3 Hz.

Frequenza fondamentale di risonanza
4.34 ± 0.02 Hz

È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione naturale del terreno poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un **fattore di amplificazione estremamente elevato del moto sismico in superficie.**



Rapporto spettrale H/V misurato. In rosso è indicato l'HV medio mentre in nero l'intervallo di confidenza al 95%.

Nella tabella seguente, s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto [SESAME](#) (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi. Si osserva quindi che il picco a 4,34 Hz soddisfa tutti i criteri e può pertanto essere assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Max. H/V at 4.34 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	4.34 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4430.6 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 210 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.91 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00403 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0175 < 0.21719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8659 < 1.58$	OK	

**4.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni
- D.M. 17 gennaio 2018**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Per definire le Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro $V_{s,30}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento ($V_{s,30}$ per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m). La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

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

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

Dall'assetto sismo-stratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del *bedrock* geofisico (substrato di riferimento) a profondità inferiori a 30 m.

Pertanto, come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018*), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 26 m dal piano di posa delle fondazioni (V_s,eq) a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_s,30$
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 26) \approx 333$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 26) \approx 348$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 26) \approx 352$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 26) \approx 357$ m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata E**, così definita:

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

Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di V_s ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.

Costabissara, marzo 2020

STUDIOSISMA SRL
SS. PASUBIO 10, COSTABISSARA (VI)
TEL 0444212962 / 3490567455
info@studiosisma.com
CF/P.IVA 03797510249 - SDI USAL8PV

ALLEGATO

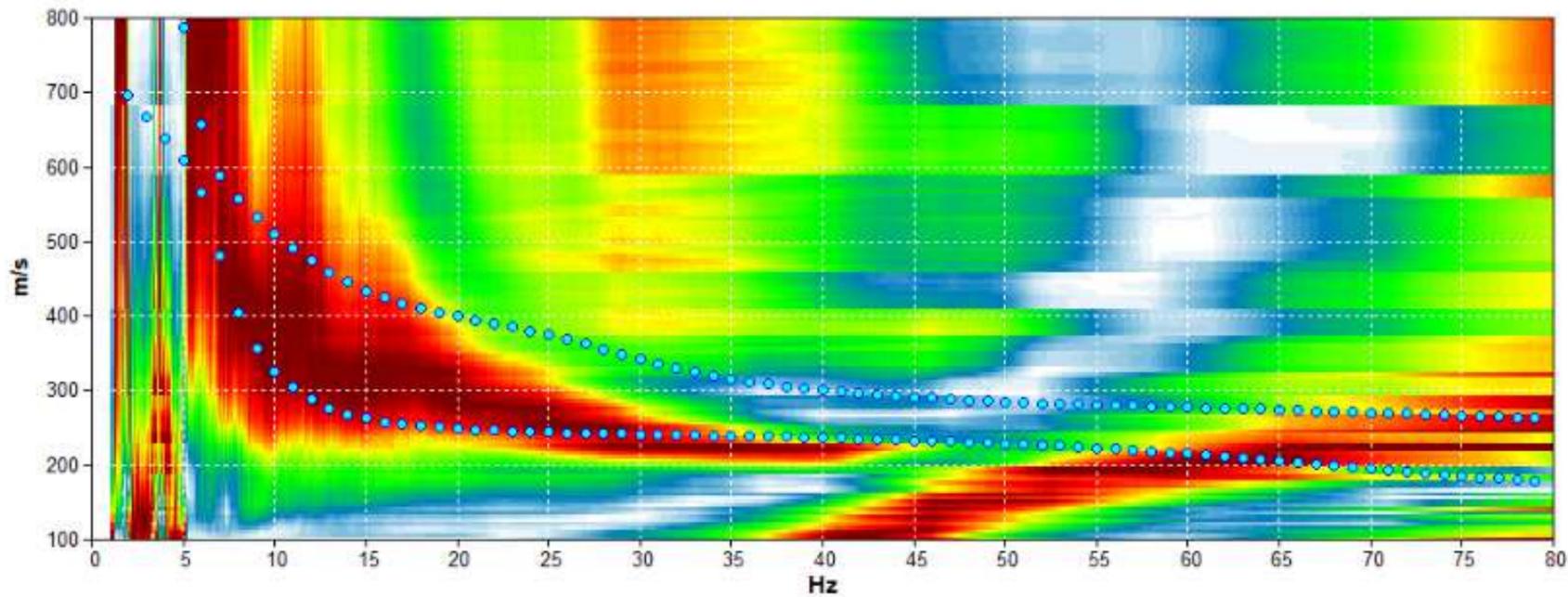
-  Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

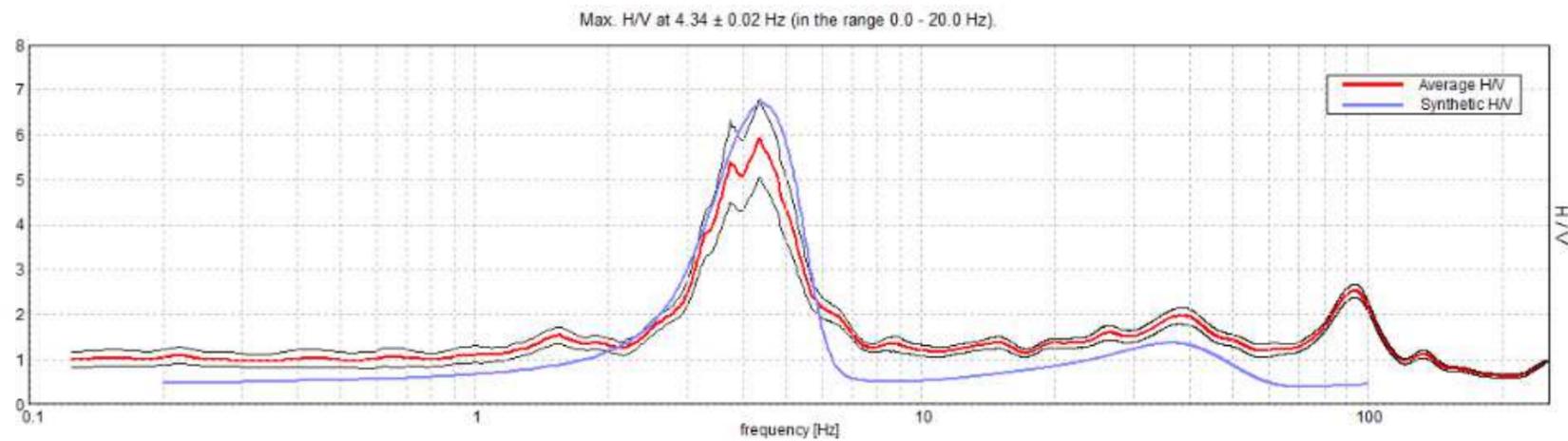
- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 - 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 - 63.
- ✓ Castellaro 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.



- ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 - 128.
- ✓ 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.
- ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
- ✓ 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.
- ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.
- ✓ [SESAME Project](#): “Site Effects Assessment Using Ambient Excitations”, 2005.



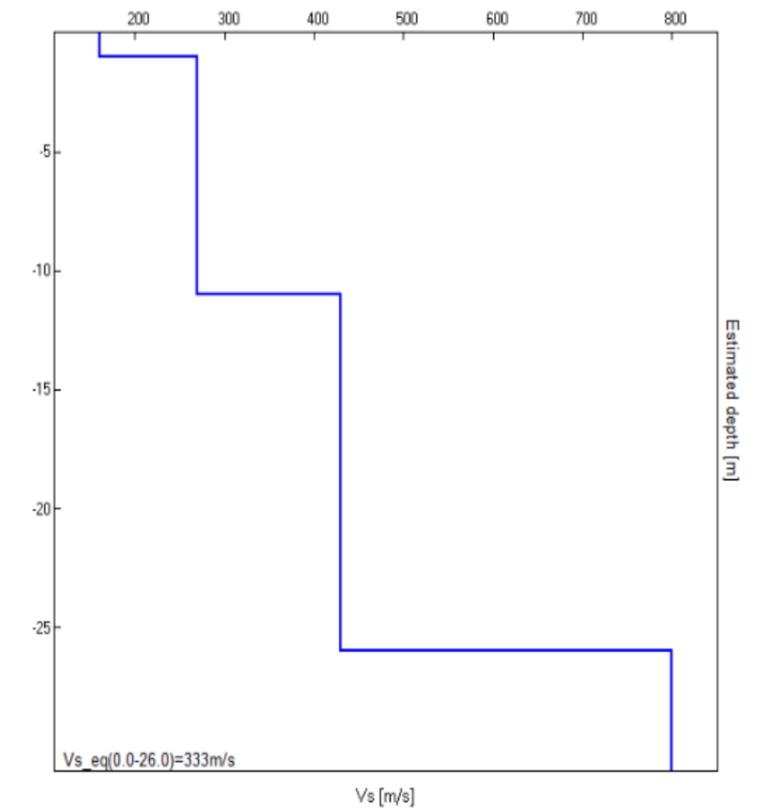
Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)



Spettro sismico a curva sintetica da misura a stazione singola (H.V.S.R.)

Profondità piano di posa e Vs,eq calcolati

0 m dal p.c.	333 m/ s	<i>Categoria E</i>
1 m dal p.c.	348 m/ s	<i>Categoria E</i>
2 m dal p.c.	352 m/ s	<i>Categoria E</i>
3 m dal p.c.	357 m/ s	<i>Categoria E</i>



Profilo verticale onde S (Vs)

Modello_sismo-stratigrafico interpretativo

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	1,0	0,0 - 1,0
II SISMOSTRATO	270	10	1,0 - =11
III SISMOSTRATO	430	15	=11 - =26
IV SISMOSTRATO	800	Semisp.	=26 - Semisp.



INDAGINE GEOFISICA

Ubi: via Pezze - Negrar (VR)

Lat. 45.57854° N - Lon. 10.96437° E (WGS-84)

Committente: Dott.ssa Geol. Silvia Daleffe

**Indagine sismica
Re.Mi. e H.V.S.R.**

Marzo 2020