

**Regione del  
Veneto**

**Provincia di  
Verona**

## **Comune di Colognola ai Colli**

**Progetto di ristrutturazione ed ampliamento  
con inserimento di attività turistico - ricettiva  
all'interno di un fabbricato  
sito in località Casetta**

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

Committenti: Signori Venturini Paolo e Casato Emma

**L'Ordine dei Geologi Regione del Veneto**



*Dott. Geol. Silvia Daleffe*

*Ordine dei Geologi della Regione Veneto n. 413*



*Silvia Daleffe*

Grisignano di Zocco, 9 Luglio 2018

# Indice

- 1      PREMESSA
- 2      COROGRAFIA
  
- 3      RELAZIONE GEOLOGICA**
- 3.1    GEOMORFOLOGIA
- 3.2    GEOLOGIA
- 3.3    IDROGEOLOGIA
- 3.4    SISMICITÀ DELL' AREA
- 3.5    DESCRIZIONE DELL' AREA: LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA  
E IDROGEOLOGIA
- 3.6    CAMPAGNA GEOGNOSTICA – METODOLOGIA E RISULTATI
- 3.7    RISULTATI E CONSIDERAZIONI SUL MODELLO GEOLOGICO
  
- 4      RELAZIONE GEOTECNICA**
- 4.1    DESCRIZIONE DELLE OPERE E DEGLI INTERVENTI
- 4.2    PROBLEMATICHE GEOTECNICHE
- 4.3    DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE
- 4.4    CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI E DEFINIZIONE DEI VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI
- 4.5    OPERE DI FONDAZIONE - FONDAZIONI SUPERFICIALI
- 4.6    PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI
  
- 5      RELAZIONE SISMICA**
- 5.1    CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO
- 5.2    SINTESI DEI PARAMETRI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA
- 5.3    VERIFICHE DI SICUREZZA
- 5.4    CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE
  
- 6      CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE
- 7      RACCOMANDAZIONI E PRESCRIZIONI

## *BIBLIOGRAFIA*

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 STUDIOSIMA S.R.L.)

Grisignano di Zocco, 9 Luglio 2018

## 1 Premessa

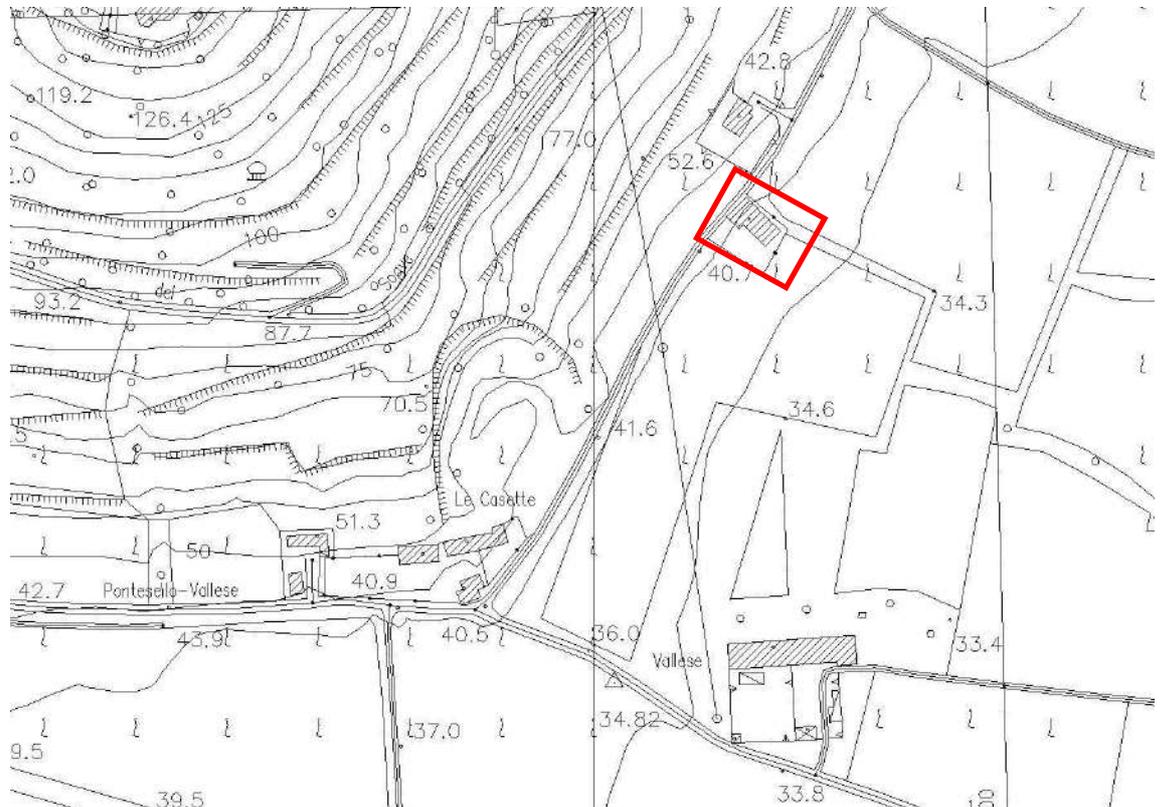
Per conto dei Signori Venturini Paolo e Casato Emma, in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) viene redatta la presente relazione geologica, geotecnica e sismica riguardante il progetto per la ristrutturazione e l'ampliamento con inserimento di attività turistico - ricettiva all'interno di un fabbricato sito in località Casetta nel comune di Colognola ai Colli (VR). Infatti, in conformità a quanto previsto dalla norma citata, la progettazione geotecnica necessita sia di una caratterizzazione e modellazione geologica (§ 6.2.1 NTC), basata su indagini effettuate in ottemperanza a quanto indicato dal D.M. 11.03.1988 ("Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"), che di una specifica caratterizzazione e modellazione geotecnica (§ 6.2.2 NTC); per quanto riguarda l'analisi di risposta sismica locale semplificata, la velocità delle onde di taglio  $V_s$  è stata determinata tramite indagini geofisiche in sito.

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

- acquisizione dei dati storici relativi all'area indagata;
- rilievo geologico e geomorfologico;
- esecuzione di indagini in sito: scavi e prove sismiche con metodi Re.Mi. ed H.V.S.R.;
- elaborazione dei dati raccolti.

## 2 Corografia

Il fabbricato interessato dagli interventi di progetto, individuato al catasto al Foglio 26, mappale 489 del comune di Colognola ai Colli, è situato in località Casetta, ai piedi del Monte Casteggiani, in un'area in cui le quote si aggirano attorno a 36 - 38 m s.l.m., come da estratto di C.T.R.



### 3 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.

#### 3.1 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. Successivamente, a partire dal Pleistocene, si susseguirono almeno cinque periodi a clima freddo (glaciazioni), durante i quali le valli maggiori furono invase da lingue di ghiaccio che localmente superavano il migliaio di metri di spessore; ad ogni fase fredda (glaciale) seguiva un periodo a clima caldo (cataglaciale). In conseguenza di ciò, nei rilievi le forme di esarazione glaciale hanno modellato le rocce preesistenti e prodotto i materiali lapidei e terrigeni successivamente trasportati verso valle dalle acque di scorrimento e dalla gravità, con successivo deposito in relazione alla velocità della corrente ed alla granulometria dei depositi.

L'area in esame si inserisce nelle porzioni terminali dei rilievi lessinei centro-meridionali, caratterizzati da un sistema di vallecole ortogonali alla cresta di displuvio e da subordinate aree di conoide alluvionale variamente disposte, in prossimità al passaggio con la pianura: più in dettaglio, il sito oggetto di indagine è posto in località Casetta, sul fianco orientale della dorsale minore del Monte Casteggioni, con asse NE – SW, in un'area pedecollinare; la morfologia locale si presenta digradante verso SE ed è condizionata dalle caratteristiche litologiche delle formazioni rocciose presenti, dalle strutture tettoniche e dall'intervento antropico, che ha modificato l'aspetto della zona, particolarmente attraverso le sistemazioni agronomiche con terrazzamenti per l'espletamento dell'attività agricola, e subordinatamente per la realizzazione di fabbricati rurali e residenziali e della viabilità.

Di seguito 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, cui viene attribuita l'area in esame, e con il verde i depositi fluviali della pianura alluvionale recente.



### **3.2 Geologia**

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 trasversali che separano tre blocchi con diverso comportamento. Quello occidentale (Lombardia), e quello orientale (Veneto e 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 raccorciamento. Tra i due blocchi 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). Il blocco ha 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 mostra un'evoluzione caratterizzata da un comportamento 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, sempre con riferimento ai due settori adiacenti. Esso rappresenta una sorta di cuneo di avampaese incastrato, ma non del tutto incorporato nella catena sudalpina, vergente a Sud.

Il gruppo dei Lessini manifesta 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 sup. - messiniana.

Le fasi orogenetiche del Terziario, che hanno permesso la formazione delle Alpi e del sistema appenninico, sono state accompagnate da una continua attività magmatica. Il vulcanesimo dell'area veneta, molto problematico per l'interpretazione geodinamica, è essenzialmente basaltico, e strettamente collegato a strutture tettoniche distensive: nei Lessini e nei Berici il controllo è esercitato da una serie di faglie, che definiscono il graben dell'Alpone - Chiampo: l'area in esame si situa esternamente a tale graben, delimitato dalle faglie di Castelvero s.s. ed altre con caratteristiche analoghe: si tratta di faglie subverticali, dirette, con immersione tendente a Est e con direzione variabile tra NNW - SSE e NNE - SSW; il rigetto è valutabile in alcune centinaia di metri con abbassamento relativo dei Lessini orientali rispetto a quelli centrali. La faglia di Castelvero, attiva fin dall'inizio del Terziario, ha favorito l'accumulo dei prodotti vulcanici paleogenici nel settore orientale; successivamente ha agito come sbarramento rispetto alla flessura pedemontana; la faglia Cima Lobbia - Soave ed altre strutture minori hanno invece consentito l'abbassamento relativo a gradinata verso Est del graben.

Il vulcanesimo terziario è caratterizzato da più fasi interrotte da stasi prolungate: la fase più antica è del Paleocene Superiore ed è rappresentata da ialoclastiti o da vulcaniti risedimentate che si trovano quasi esclusivamente all'interno del graben. Nell'Eocene Inferiore il graben è ancora ben delimitato ma l'attività vulcanica è riconoscibile anche all'esterno della depressione, ed in particolare nei Lessini e a Trento. In un secondo momento, i prodotti vulcanici tornano ad essere confinati nel graben o, al limite, nell'area del Baldo: si tratta però di prodotti rimaneggiati, effusi nelle aree circostanti e attirati dalla depressione.

L'acme dell'attività vulcanica è localizzato nell'Eocene Medio, quando gli espandimenti lavici interessano il graben e la zona del Baldo, con prodotti risedimentati nei Berici Occidentali e negli Euganei. Durante questa fase la produzione vulcanica arriva a colmare il graben e a costruire edifici subaerei. Ad un nuovo periodo di stasi segue la nuova crisi dell'Eocene Superiore, localizzata negli Euganei, con lave a pillow intercalate a marne pelagiche; è anche evidente l'attività di una linea che probabilmente chiude il graben verso Est. Nell'Oligocene il vulcanesimo riprende a seguito dell'apertura di un nuovo graben, localizzato nel marosticano, che sembra avere un limite all'estensione delle vulcaniti in coincidenza dell'asse del Brenta. Nei Lessini intanto si formano numerosi camini di esplosione, per lo più riempiti da breccie diatremiche ma anche da basalti colonnari, che tagliano le sequenze oligoceniche: in nessun caso è stato rinvenuto qualche apparato vulcanico. Nella parte orientale dei Berici – Lessini ci sono anche tracce di colate subaeree generalmente argillificate. Infine, il graben viene riempito dalle vulcaniti sottomarine o risedimentate e, verso la fine dell'Eocene Medio, l'aumento dell'attività eruttiva costituisce degli apparati subaerei, rappresentati nei Lessini dal M. Calvarina e dal M. Faedo; la parte sommitale delle coperture vulcaniche è data da basalti subaerei con ossidazioni, strutture scoriacee e livelli di bombe e proietti. Nell'Eocene Superiore, e precisamente nel Priaboniano, il mare conquista progressivamente la terraferma.

Per venire all'ambito di progetto, questo ricade nel settore pedemontano, con dorsali a direzione meridiana; a partire dal Giurassico inferiore la successione litostratigrafica della zona in esame è quella caratteristica di un alto strutturale ("Piattaforma di Trento"), che, sino al Quaternario, rimane un'area rilevata rispetto ai settori adiacenti lombardi e friulani. In ordine stratigrafico, dal più antico al più recente, i terreni della successione in esame sono:

- Scaglia Rossa veneta (Cretaceo superiore), costituita da calcari micritici ben stratificati di colore rosato presenti in lembi anche estesi nei Lessini alto collinari alla sommità dei versanti;
- 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 (Olig. – Eoc. Inf.).
- depositi detritici di versante (Pleistocene superiore), staccati dal gelo, trasportati per brevi distanze dall'acqua di ruscellamento nivale; si tratta delle falde detritiche stratificate, che abbondano particolarmente a valle delle nicchie di nivazione e ai piedi delle pareti della Scaglia Rossa veneta con esposizione meridionale;
- coperture colluviali e detritiche (Olocene), frammenti rocciosi frammisti a sedimenti di suolo prevalentemente limosi ed a limi di trasporto eolico (loess like), depositi alla base dei versanti, sul fondo delle vallette e delle conche carsiche, con spessori variabili da pochi decimetri ad alcuni metri.

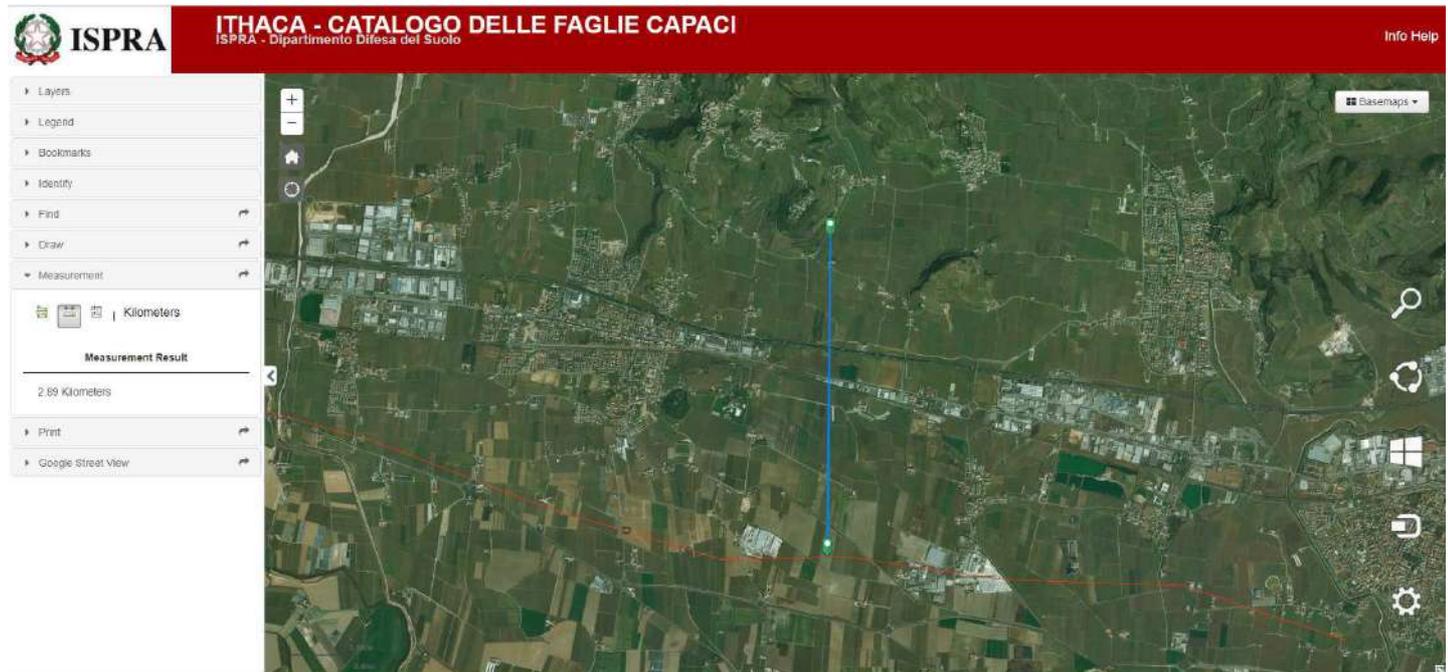
Di seguito è riportato lo stralcio della Carta Geologica d'Italia, in scala 1:100.000 foglio 49 Verona, dove con la sigla E<sup>2</sup> sono riportate le calcareniti eoceniche; con β le formazioni eruttive costituite prevalentemente da basalti colonnari, compatti o bollosi o coriacei o a cuscini, delle colate dei camini vulcanici terziari; con C<sup>11-7</sup> la Scaglia Rossa; con la sigla a<sup>1-2</sup> sono indicati i depositi alluvionali terrazzati, grossolani e minuti, dell'Adige e dei suoi affluenti. Le linee rosse indicano le discontinuità (linea continua: faglia; tratteggio, faglia presunta).



In prossimità dell'area in esame non esistono evidenze di elementi strutturali e/o tettonici; vi sono alcuni elementi a scala locale a direzione NW – SE riconoscibili nel rilievo del Monte Casteggioni al contatto tra vulcaniti e calcari.

Inquadrando l'area dal punto di vista strutturale in un ambito più vasto, è segnalata una fascia di deformazione fra Verona e i Colli Berici che, in modo diverso, trova riscontro in vari Autori: si tratta di una “fascia di deformazione” (faglia, sistema di faglie, flessura, struttura a graben o sinclinale fagliata?) al passaggio tra i Monti Lessini e l'alta pianura veronese, che separa zone a tendenza evolutiva diversa. Tale disturbo è stato dedotto da: la presenza nel sottosuolo dell'alta pianura veronese di masse calcaree chiaramente tettonizzate; il percorso anomalo del F. Adige tra Domegliara e San Bonifacio e l'allineamento d'acque termalizzate radioattive (Baraldi et alii, 1980; Panizza et alii, 1981; Sighinolfi et alii, 1982). Secondo Castellarin (1981), si tratta di faglia subverticale trascorrente sinistra a direzione NW - SE che corre pressappoco secondo l'allineamento Verona - Sant'Ambrogio di Valpolicella - Castion Veronese. Tale struttura potrebbe pure corrispondere alla “Flessura sudalpina” che divide la porzione affiorante delle Alpi meridionali dal loro proseguimento al di sotto dei depositi plio - pleistocenici della pianura padana (ENEL, 1981). Inoltre, il disturbo in oggetto ricade in una “fascia sismotettonica” che è caratterizzata da attività neotettonica e da attività sismica concentrata e recente (Panizza et alii, 1981).

Secondo il progetto ITHACA di ISPRA, che cataloga le faglie capaci, cioè in grado di produrre deformazioni in superficie, tale allineamento (Adige Line, ID 71700), della lunghezza di 35 Km, dista 2.9 Km dal sito di progetto in direzione Sud.



### 3.3 Idrogeologia

Per quanto concerne l'idrogeologia, la scarsità d'acque superficiali della Lessinia, ai cui piedi si trova l'area in esame, è legata alla combinazione di processi fluviali e carsici. Importante nella carsificazione lungo gli assi vallivi e nelle conche è il ruolo delle coperture discontinue e di limitato spessore delle formazioni di tipo incoerente, come i depositi periglaciali e colluviali, morenici e di frana, che rappresentano dei “serbatoi d'acque epicarsiche”, le quali sono cedute lentamente alle sottostanti rocce carsogene.

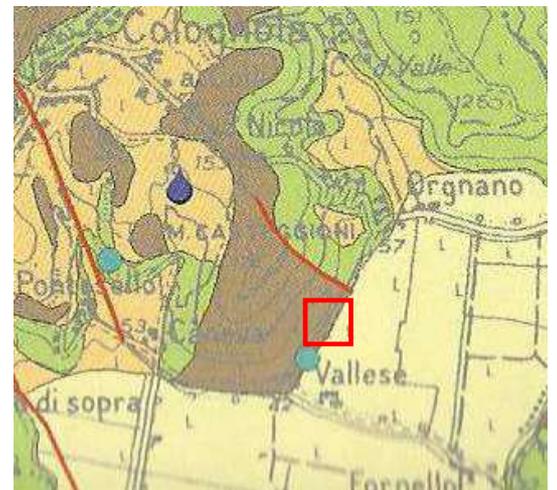
Con riferimento all'influenza esercitata dalla tettonica sull'idrologia carsica, sono soprattutto le faglie, prevalentemente di tipo normale, che, mettendo a contatto diverse formazioni, in particolare quelle cretacee con quelle giurassiche, rappresentano delle vie preferenziali di deflusso delle acque 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. Inoltre, l'insieme delle faglie principali ha determinato l'impostazione degli assi dei vaj. 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, sulla base delle informazioni disponibili, 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.

Nell'area in esame, sita in zona pedecollinare, la circolazione idrica sotterranea risente dell'andamento nelle aree poste a monte, dove avviene in prevalenza lungo superfici di discontinuità, e localmente grazie alla fratturazione dei litotipi o alla presenza di coltri di alterazione: di conseguenza, non è definibile la distribuzione areale della soggiacenza della falda, si hanno solo indicazioni e valori piezometrici puntuali. Indicativamente, il livello freatico è posto ad una profondità superiore alle quote normalmente raggiunte dagli interventi edilizi (secondo gli studi di analisi del PATI, a oltre 10 m da p.c.); la vulnerabilità degli acquiferi varia da media a bassa.

A conferma di ciò, nella pagina seguente si riporta una scheda estratta dall'archivio nazionale indagini nel sottosuolo ex legge 464/1984 di ISPRA, relativa ad un pozzo terebrato ad una distanza inferiore a 200 m dall'area in esame: il livello statico si situa a 8.5 m da p.c., in prossimità al passaggio tufi e argille a calcari compatti.

Si allega un 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, in cui con il colore verde chiaro si individua 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); tra i materiali di copertura, con l'arancio sono individuati i depositi eluviali e colluviali a permeabilità molto bassa e con il giallo i depositi alluvionali limo – argillosi a permeabilità da bassa a molto bassa (tutti per porosità).



Nel corso delle indagini nell'area in esame non sono state rilevate emergenze idriche.

 <b>ISPRA</b> <small>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</small>	 <b>Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente</b>	<b>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</b>																																							
<b>Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)</b>																																									
<b>Dati generali</b>	<b>Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</b>																																								
<p> <b>Codice:</b> 158987  <b>Regione:</b> VENETO  <b>Provincia:</b> VERONA  <b>Comune:</b> COLOGNOLA AI COLLI  <b>Tipologia:</b> PERFORAZIONE  <b>Opera:</b> POZZO PER ACQUA  <b>Profondità (m):</b> 30,00  <b>Quota pc slm (m):</b> 42,00  <b>Anno realizzazione:</b> 1991  <b>Numero diametri:</b> 1  <b>Presenza acqua:</b> SI  <b>Portata massima (l/s):</b> 14,000  <b>Portata esercizio (l/s):</b> 12,000  <b>Numero falde:</b> 0  <b>Numero filtri:</b> 1  <b>Numero piezometrie:</b> 1  <b>Stratigrafia:</b> SI  <b>Certificazione(*):</b> NO  <b>Numero strati:</b> 5  <b>Longitudine WGS84 (dd):</b> 11,203739  <b>Latitudine WGS84 (dd):</b> 45,421861  <b>Longitudine WGS84 (dms):</b> 11° 12' 13.13" E  <b>Latitudine WGS84 (dms):</b> 45° 25' 18.18" N         </p> <p>(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>																																									
<b>DIAMETRI PERFORAZIONE</b>																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>30,00</td> <td>30,00</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	0,00	30,00	30,00	500																															
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)																																					
1	0,00	30,00	30,00	500																																					
<b>POSIZIONE FILTRI</b>																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>12,00</td> <td>30,00</td> <td>18,00</td> <td>273</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	12,00	30,00	18,00	273																															
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)																																					
1	12,00	30,00	18,00	273																																					
<b>MISURE PIEZOMETRICHE</b>																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data rilevamento</th> <th>Livello statico (m)</th> <th>Livello dinamico (m)</th> <th>Abbassamento (m)</th> <th>Portata (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>apr/1991</td> <td>8,50</td> <td>ND</td> <td>ND</td> <td>ND</td> </tr> </tbody> </table>	Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	apr/1991	8,50	ND	ND	ND																															
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)																																					
apr/1991	8,50	ND	ND	ND																																					
<b>STRATIGRAFIA</b>																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Spessore (m)</th> <th>Età geologica</th> <th>Descrizione litologica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> <td>TERRENO VEGETALE</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,50</td> <td>10,00</td> <td>9,50</td> <td></td> <td>TUFO E ARGILLA</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10,00</td> <td>11,50</td> <td>1,50</td> <td></td> <td>CALCARE BIANCO COMPATTO</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>11,50</td> <td>27,00</td> <td>15,50</td> <td></td> <td>CALCARE FESSURATO</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>27,00</td> <td>30,00</td> <td>3,00</td> <td></td> <td>CALCARE CON ARGILLA</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica	1	0,00	0,50	0,50		TERRENO VEGETALE	2	0,50	10,00	9,50		TUFO E ARGILLA	3	10,00	11,50	1,50		CALCARE BIANCO COMPATTO	4	11,50	27,00	15,50		CALCARE FESSURATO	5	27,00	30,00	3,00		CALCARE CON ARGILLA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica																																				
1	0,00	0,50	0,50		TERRENO VEGETALE																																				
2	0,50	10,00	9,50		TUFO E ARGILLA																																				
3	10,00	11,50	1,50		CALCARE BIANCO COMPATTO																																				
4	11,50	27,00	15,50		CALCARE FESSURATO																																				
5	27,00	30,00	3,00		CALCARE CON ARGILLA																																				

Per quanto riguarda il reticolo idrografico, questo in zona collinare si presenta con una fitta rete di corsi d'acqua, caratterizzati da esigua circolazione idrica superficiale attiva, a carattere effimero.

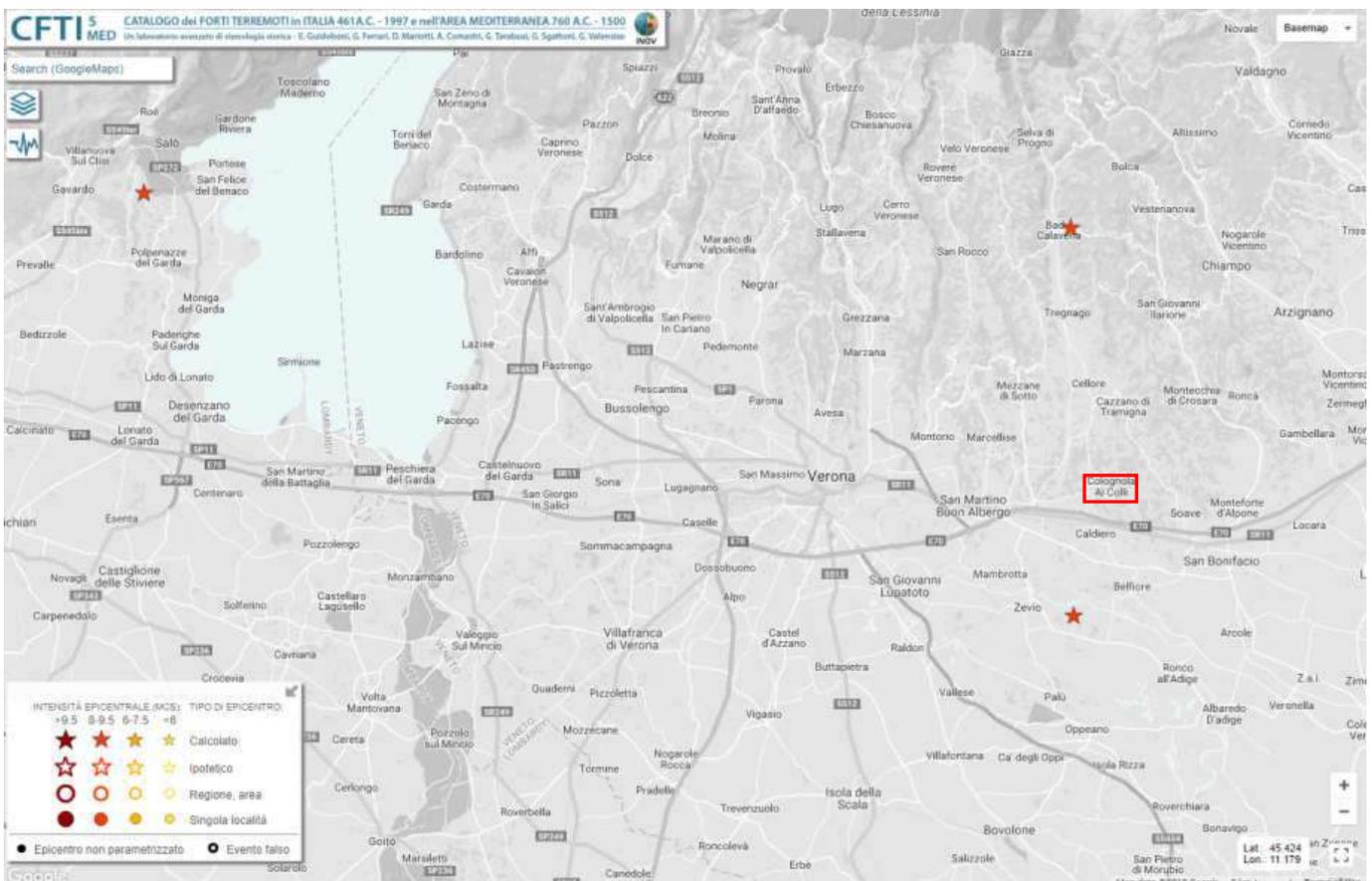
### 3.4 Sismicità dell'area

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.

Per quanto riguarda la 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; la zona di Lessini orientali, Berici e Euganei è interessata da un inarcamento anticlinale, 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).

Per quanto riguarda i "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 forti terremoti più vicini all'area in esame sono:

- ID 13599 “Val d’Illasi”:

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

- ID 00035 “Veronese”:

Date	Time	Lat	Lon	Rel	Io	Imax	Sites	Nref	Me	Rme	Location	Country
03 01 1117	15:15	45.367	11.167	b	9	9.1	55	0600	6.8	!	Veronese	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 Colognola ai Colli riferisce di 11 eventi:

### Colognola ai Colli

PlaceID	IT_22568
Coordinate (lat, lon)	45.432, 11.193
Comune (ISTAT 2015)	Colognola ai Colli
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Numero di eventi riportati	11

Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1794	06	07	00	45		Prealpi Friulane	19	8-9	5.96
4	1796	10	22	04			Emilia orientale	27	7	5.45
4-5	1799	05	29	19			Bresciano	12	6-7	5.04
6	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
5	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
4	1894	02	09	12	48	0	Valle d'Illasi	116	6	4.74
4	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
4	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
3	1987	05	24	10	23	2	Garda occidentale	29	6	4.63
4-5	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
3	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

INGV – Centro Nazionale Terremoti propone anche una lista terremoti 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 4 terremoti:

Visualizzati **4** terremoti (Ordinamento Tempo Decrescente) Esporta lista (UTC) ▾

Data e Ora (Italia) 📅	Magnitudo 📏	Zona 📍	Profondità 📏	Latitudine	Longitudine
2013-06-18 22:25:10	ML 3.0	3 km E Negrar (VR)	9	45.54	10.98
2012-01-25 08:26:35	ML 3.0	2 km NE Negrar (VR)	6	45.55	10.95
2012-01-25 00:54:46	Mw 3.8	4 km E Negrar (VR)	10	45.53	10.99
2005-05-18 23:41:08	ML 3.4	1 km NE Trissino (VI)	22	45.57	11.38

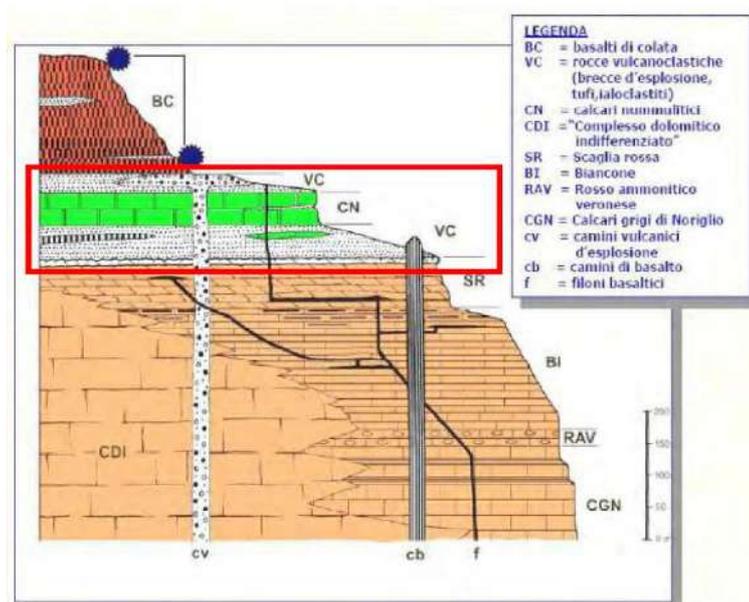
Il comune di Colognola ai Colli è classificato a seguito dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 come appartenente alla zona 3. La zonazione sismica attualmente vigente è denominata ZS9 (INGV, 2004): il territorio comunale ricade entro la zona sismogenetica 906, legata alla convergenza tra la placca tettonica "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  $M_d = 4,7$ ; 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  $M_{max} = 6,60$ .

### 3.5 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, gravitativi e alluvionali, ai quali si è sovrapposto in maniera determinante l'intervento antropico, con la realizzazione di scavi di sbancamento, riporti di materiali, sistemazione e modellazione dei terreni. L'area oggetto dell'intervento rispecchia questa situazione con evidenze sia degli elementi naturali che antropici: i depositi superficiali sono stati rimaneggiati in passato per l'inserimento del fabbricato oggetto di ristrutturazione.

L'area di progetto ricade nell'ambito dei tratti terminali della dorsale principale con andamento N – S che divide la Val d'Illasi (a Ovest) dalla Val Tramigna (a Est); procedendo verso Sud, in prossimità alla pianura, questa si suddivide in tre crinali: l'area in esame è posta nella dorsale centrale del Monte Casteggioni, in prossimità del fondovalle; la morfologia di dettaglio del sito si presenta indicativamente digradante verso Sud - Est.

Dal punto di vista geolitologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi eluvio – colluviali contenenti elementi lapidei provenienti dalle aree site a monte, quindi nella zona di natura prevalentemente basaltica, immersi in matrice fine: si riporta uno schema litostratigrafico esemplificativo dell'area in esame che evidenzia i litotipi di origine dei terreni in sito.



Schema litostratigrafico dei Monti Lessini centro - occidentali

Sotto l'aspetto idrogeologico non sono state individuate venute d'acqua in prossimità del sito; i terreni superficiali presentano una variazione sia verticale sia orizzontale di permeabilità, che si attesta generalmente su valori medio – bassi, in funzione delle caratteristiche granulometriche e tessiture dei depositi; il substrato roccioso presente a monte, di natura basaltica, ha permeabilità da pressoché nulla a elevata nelle porzioni fratturate e alterate. Gli acquiferi nelle vulcaniti sono comunque in genere di modeste dimensioni, e sono separati gli uni dagli altri.

La profondità della falda freatica nella zona in esame non è nota con precisione, ma comunque elevata e maggiore alle profondità di indagine usualmente raggiunte (cautelativamente nei calcoli ci si riferirà ad un valore di 5 m da p.c.). Lo smaltimento dei deflussi superficiali è da ricondursi sia alle pendenze e alla tipologia di terreni, sia alla realizzazione delle opere antropiche; l'appezzamento in esame smaltisce le acque meteoriche parte per infiltrazione e prevalentemente per scorrimento secondo le pendenze.

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

### 3.6 Campagna geognostica – metodologia e risultati

La campagna geognostica è stata sviluppata in funzione della conoscenza del sito e di indagini eseguite in aree contermini. Il metodo è consistito nel:

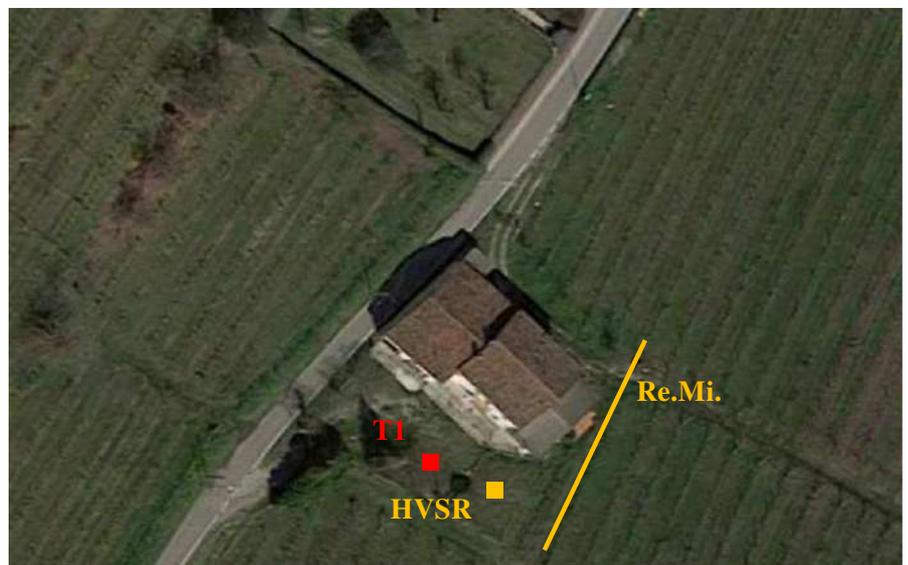
- rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio;
- esecuzione di indagini in sito (scavi ed indagini sismiche passive di tipo Re.Mi. + H.V.S.R., queste ultime illustrate nell'ambito della Relazione sismica);
- analisi di indagini in aree contermini.

#### 3.6.1 Rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio

Sono stati eseguiti i rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio della zona, ed i terreni superficiali sono risultati a tessitura prevalentemente limoso – argillosa, con inclusi occasionali elementi lapidei di natura basaltica, e, più raramente, calcarea; il grado di rimaneggiamento a seguito degli interventi antropici condotti è comunque elevato.

#### 3.6.2 Indagini in sito

E' stata quindi realizzata nella corte adiacente al fabbricato una trincea esplorativa di verifica dei terreni presenti: l'ubicazione approssimativa dello scavo è indicata nell'immagine estratta da Google Maps, che riporta anche la traccia delle indagini geofisiche Re.Mi. ed HVSR, condotte nel vigneto.



## Trincea T1

Strato	Prof. da p.c. (m)	Descrizione litologica	
<b>R</b>	1.10	<p>Terreno di riporto costituito da ghiaino e ciottoli, con subordinati frammenti litici calcarei e basaltici di dimensioni decimetriche, in matrice sabbiosa. Presenti frammenti di laterizi.</p> <p>Deposito sciolto, scarsamente addensato.</p>	
<b>AL</b>	Oltre 1.60	<p>Argilla debolmente limosa, di colore bruno scuro, con poca ghiaia ed elementi lapidei prevalentemente basaltici e subordinatamente calcarei, a spigoli vivi.</p> <p>Deposito compatto</p>	

Cumulo dei depositi scavati: strato AL



Nel corso delle indagini non è stato rilevato alcun livello freatico; tuttavia non si possono escludere occasionali venute d'acqua in corrispondenza dei livelli a maggiore permeabilità in caso di eventi meteorici intensi.

Inoltre, è stata effettuata una 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) per individuare le frequenze di risonanza del terreno: ovviamente *queste indagini, eseguite nel vigneto, non hanno attraversato il livello riportato presente nella corte*. Le risultanze di tali indagini sono riportate in Allegato C, nella Relazione illustrativa a cura di Studiosisma S.r.l.

### 3.7 Risultati e considerazioni sul modello geologico

La successione litostratigrafica locale riferita ai fabbricati esistenti da ristrutturare è rappresentata nel seguente schema:

Strato	Descrizione litologica	Prof. (m da p.c.)	Spessore (m)
<b>R</b>	Terreno di riporto costituito da ghiaino e ciottoli, con subordinati frammenti litici calcarei e basaltici di dimensioni decimetriche, in matrice sabbiosa. Presenti frammenti di laterizi. Deposito sciolto, scarsamente addensato.	1.10	1.10
<b>AL</b>	Argilla debolmente limosa, di colore bruno scuro, con poca ghiaia ed elementi lapidei prevalentemente basaltici e subordinatamente calcarei, a spigoli vivi. Deposito compatto	N.D.	N.D.

Il terreno di riporto costituisce un riempimento per regolarizzare le quote: non è presente nel settore interessato dall'ampliamento (con riferimento alle tavole di progetto, il dislivello tra le due zone è esattamente di 1.16 m, in quanto lo scavo è stato realizzato alla quota 0.00 m).

Nei depositi investigati non si evidenziano particolari stati di alterazione; relativamente ai caratteri geostrutturali, non vi sono evidenze in prossimità dell'area di progetto; la faglia capace più vicina dista circa 2.9 Km in direzione Sud: si tratta di Adige Line, ID 71700.

La falda non è stata rinvenuta nel corso delle indagini (da dati bibliografici si situa a oltre 8 - 10 m da p.c.); possono comunque sussistere venute d'acqua nei livelli a maggiore permeabilità in occasione con eventi meteorici intensi. La circolazione superficiale delle acque meteoriche e di dilavamento avviene attualmente sfruttando le pendenze e le opere antropiche (viabilità esistente, fabbricati ed aree impermeabili).

Nell'area di intervento non vi sono evidenze di dissesto idrogeologico; non sono indicate neppure aree a criticità idraulica o a deflusso difficoltoso.

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 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 fornisce quindi la descrizione delle opere e degli interventi; delle problematiche geotecniche; la descrizione del programma di indagini e prove geotecniche; la parametrizzazione dei terreni, a seguito dei dati ricavati dalle indagini condotte e sulla base di notizie bibliografiche; gli approcci progettuali; i modelli geotecnici di sottosuolo; i risultati delle analisi e loro commento.

### **4.1 Descrizione delle opere e degli interventi**

Il progetto prevede interventi su di un fabbricato esistente. L'edificio può essere suddiviso in tre unità: le prime due, costituite da piano interrato, terra e primo, si situano rispettivamente a quota + 0.50 m e + 0.06 m: di queste si prevede la ristrutturazione, con modifiche interne e delle forometrie. Il terzo settore, posto a quota più bassa (-1.16 m), ad un solo piano fuori terra e con un piccolo annesso in fregio, verrà demolito: al suo posto troverà posto un ampliamento di superficie massima 9.76 x 6.81 m, con interrato e due piani fuori terra, con adiacente scala, ruotato di circa 20° rispetto all'asse longitudinale del fabbricato esistente.

### **4.2 Problematiche geotecniche**

Come si evince da quanto esposto nella relazione geologica, i terreni di appoggio saranno costituiti da depositi eluvio-colluviali a tessitura argillosa con inclusi elementi lapidei: tali terreni presentano in generale caratteristiche geotecniche sufficienti; i cedimenti saranno però a lungo termine e la circolazione delle acque di infiltrazione sarà ostacolata dalla bassa permeabilità dei terreni.

Dai dati di campagna e bibliografici, la profondità della falda nelle fasi di piena 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; pertanto, date le caratteristiche geotecniche e le altezze dei fronti previste dal progetto, si prescrive di contenere gli scavi con adeguate opere di sostegno per mantenerli in condizioni di sicurezza per il tempo necessario alla realizzazione dei reinterri, come previsto dal paragrafo 6.8.6.2 delle NTC. Si raccomanda inoltre di proteggere con teli plastificati le scarpate in caso di eventi meteorici.

L'intervento comporterà un aumento impermeabilizzazione rispetto allo stato attuale: si suggerisce la raccolta delle acque dei pluviali per il successivo riutilizzo in sito.

### **4.3 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 indagini in sito (scavi e prove geofisiche Re.Mi. ed HVSR);

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

#### 4.4 Caratterizzazione dei terreni e definizione dei valori dei parametri geotecnici

L'analisi geotecnica è stata resa possibile dall'analisi dei dati relativi a scavi e sondaggi prossimi all'area di progetto; il raffronto ha permesso di ottenere il modello geotecnico di riferimento per la progettazione, che è riassunto nella tabella riportata di seguito; si ricorda che il livello freatico è profondo rispetto alle opere, e che comunque sono possibili venute d'acqua nei livelli superficiali a maggiore permeabilità in caso di eventi meteorici.

Strato	Descrizione litologica	Prof. da p.c. (m)	Spessore (m)	$\phi$	Coesione (DaN/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )
<b>R</b>	Terreno di riporto costituito da ghiaino e ciottoli, con subordinati frammenti litici calcarei e basaltici di dimensioni decimetriche, in matrice sabbiosa. Presenti frammenti di laterizi. Deposito sciolto, scarsamente addensato <i>Caratteristiche geotecniche: SCADENTI</i>	0.00 – 1.10	0.00 – 1.10	25°	0.00	1.60
<b>AL</b>	Argilla debolmente limosa, di colore bruno scuro, con poca ghiaia ed elementi lapidei prevalentemente basaltici e subordinatamente calcarei, a spigoli vivi. Deposito compatto <i>Caratteristiche geotecniche: SUFFICIENTI</i>	N.D.	N.D	20 - 22°	0.10 - 0.20	1.90

#### 4.5 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 $\gamma_M$	(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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

**Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.**

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

#### 4.6 Parametri geotecnici caratteristici dei terreni

Per la valutazione della resistenza si devono considerare i coefficienti parziali precedentemente esposti per l'approccio di calcolo scelto. Il terreno di appoggio per le opere previste è rappresentato dallo strato AL, cui si attribuiscono cautelativamente i valori minori dei parametri geotecnici attribuiti al livello. I *parametri geotecnici caratteristici* valgono pertanto:

Strato	Coesione DaN/cm <sup>2</sup>	$\phi$	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>
AL <sub>appr.2</sub>	0,10	20°	19,0

Ipotesi progettuale delle strutture di appoggio per l'ampliamento:

Fondazione	Base m	Lunghezza m	Altezza, m
F. continua	0,80 - 1,20	10,00	0,40

I valori di resistenza riferiti alla fondazione con base minore potranno essere presi come riferimento per il fabbricato da ristrutturare.

I calcoli, essendo necessaria la caratterizzazione sismica del sito, sono riportati al paragrafo 5.3: 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.*

## 5 Relazione sismica

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 comune di Colognola ai Colli (VR), via Casette n. 1, ed è così definito:

Longitudine: 11.206853; Latitudine: 45.423822 (ED50)

Quota s.l.m. : 36 - 38 m

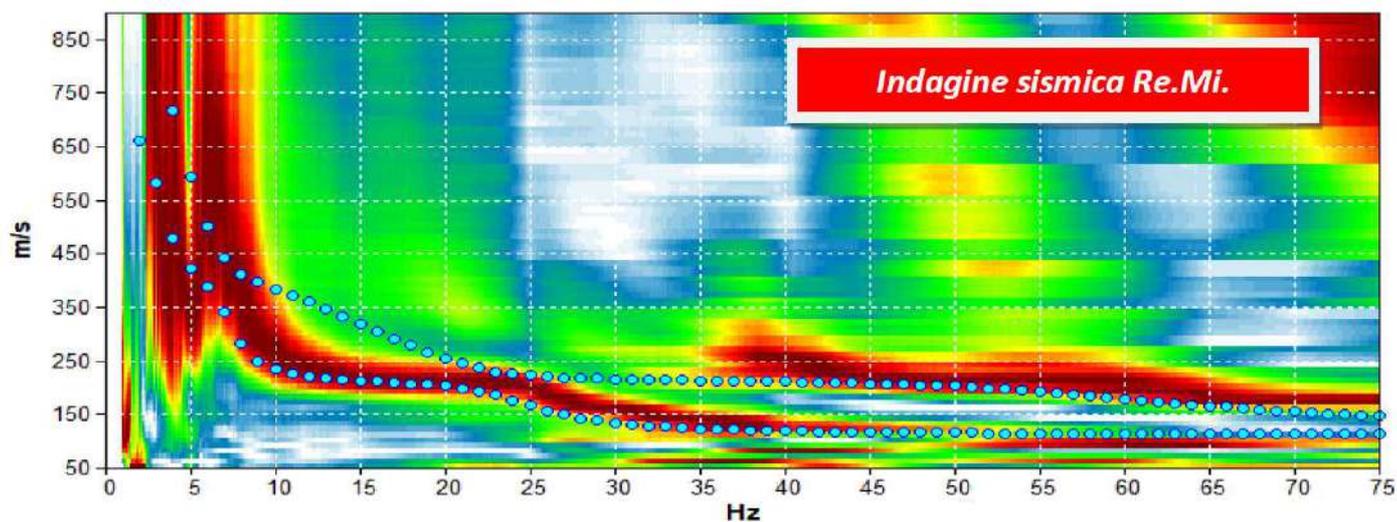
### 5.1 Caratterizzazione sismica del sito

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.

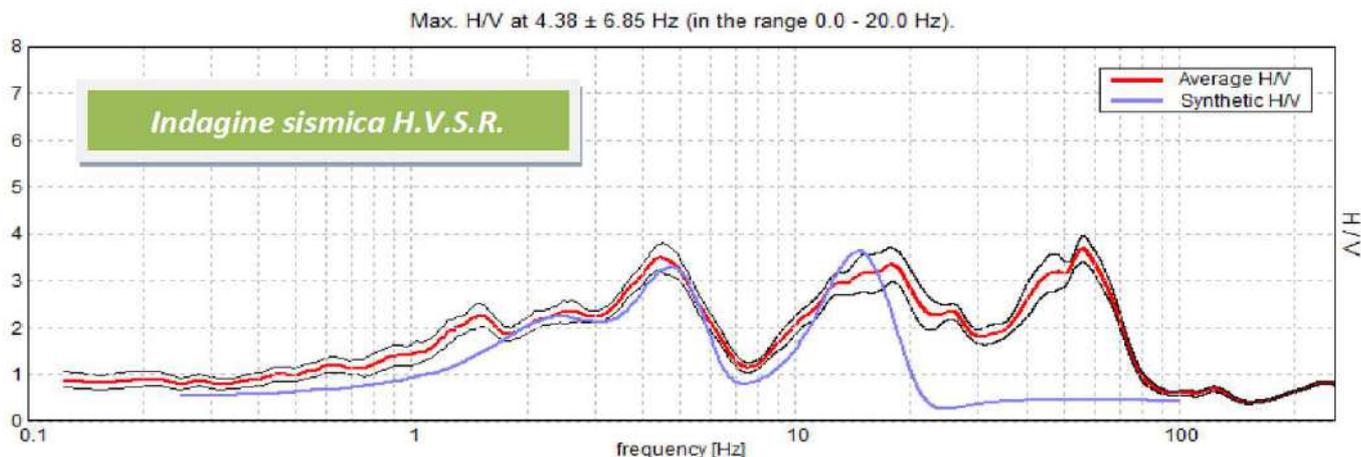
Nel dettaglio, è stata effettuata una prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. sviluppata in un array lineare con 16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della Categoria del sottosuolo di fondazione ( $V_{s,eq}$ ), come 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 lotto in esame (latitudine 45,422825° N; longitudine 11,205746 e latitudine 45,423742° N; longitudine 11,206758° 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 parzialmente nelle frequenze campionate. Compaiono i modi superiori alle medio-alte frequenze. 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

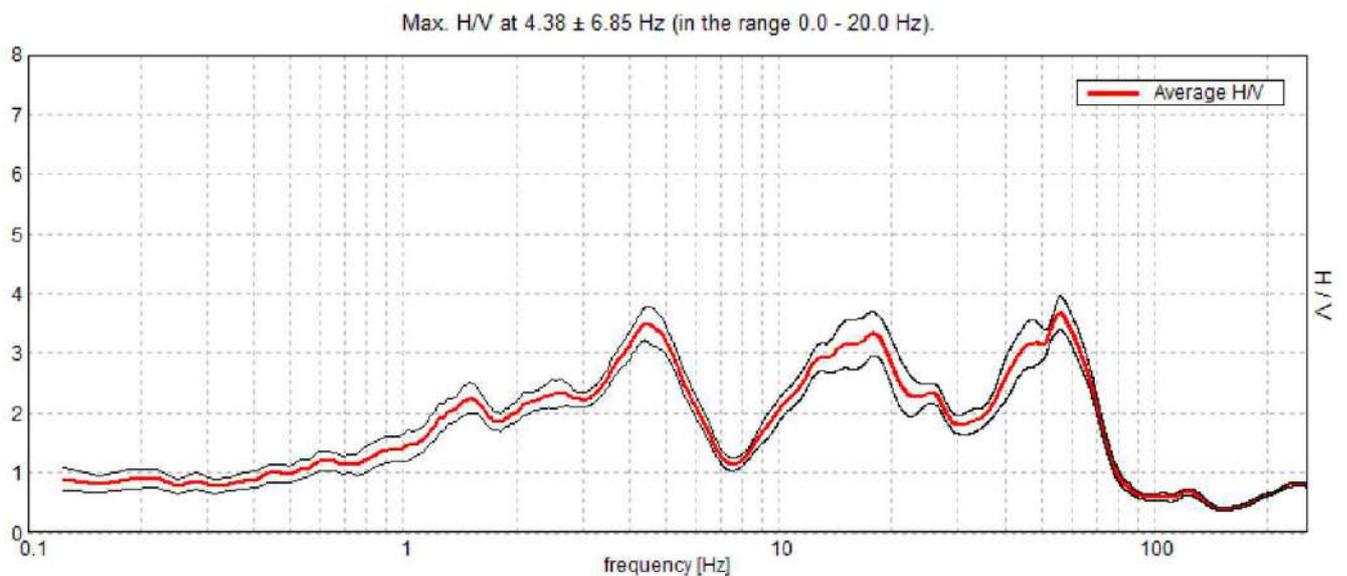
La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 2.2 m dal p.c. locale, caratterizzato da una  $V_s \approx 120$  m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato ( $V_s \approx 240$  m/s). Si segnala a circa 14 m da p.c. un ulteriore incremento di velocità ( $V_s = 520$  m/s). L'ammasso roccioso compatto o quel materiale che dal punto di vista si comporta come un bedrock geofisico ( $V_s \geq 800$  m/s), è stato individuato a circa 59 m dal p.c. locale.

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	120	2,2	0,0 - 2,2
II SISMOSTRATO	240	12	2,2 - $\approx 14$
III SISMOSTRATO	520	45	$\approx 14$ - $\approx 59$
IV SISMOSTRATO	800	Semisp.	$\approx 59$ - 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 ~3.5), è di circa 4.4 Hz: si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare gli intervalli frequenziali compresi tra circa 1.4 – 6.0 Hz e 9.0 – 20.0 Hz come range di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico – strutturale: 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 elevato fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.



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

Dalle informazioni sitospecifiche ottenute dalle indagini condotte, si passa a valutare l'azione sismica riferita all'intervento di progetto.

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

Dall'assetto sismo stratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del bedrock geofisico a profondità superiori a 30 m. Pertanto si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni, come richiesto dalle N.T.C., che per le diverse profondità di riferimento (si ricorda che l'indagine geofisica è stata condotta nel vigneto, alla quota di riferimento di circa -1.20 m) risulta:

Profondità piano di posa fondazioni	$V_{s,eq}$
0 m da p.c.	$V_s(0-30) \approx 304$ m/s
1 m da p.c.	$V_s(1-31) \approx 325$ m/s
2 m da p.c.	$V_s(2-32) \approx 349$ m/s

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

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

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
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	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	$S_s$	$C_c$
<b>C</b>	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 F_0 a_g/g \leq 1.50$	$1.05 (T^*c)^{-0.33}$

Per il caso in esame,  $S_s$  e  $C_c$  valgono:

Stato limite	$S_s$	$C_c$
<b>SLO</b>	1,500	1,685
<b>SLD</b>	1,500	1,645
<b>SLV</b>	1,482	1,601
<b>SLC</b>	1,412	1,598

Per l'**amplificazione topografica**, per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $St$  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	$St$
<b>T1</b>	-	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  $\geq 50$  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:

<b>Classe I</b>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<b>Classe II</b>	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.
<b>Classe III</b>	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.
<b>Classe IV</b>	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

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni. Nel caso in esame  $C_U = 1.0$ ;  $V_R$  risulta pertanto pari a 50.

## 5.2 Sintesi dei parametri di caratterizzazione sismica

Si riporta di seguito la sintesi dei parametri sismici:

Ubicazione: Colognola ai Colli (VR), via Casette, 1

Longitudine: 11.206853; Latitudine: 45.423822 (ED50)

Quota s.l.m. : 36 - 38 m

Terreno:

Categoria di sottosuolo : C

Categoria topografica: T1

$S_{SLV}$ : 1,482;  $C_{CSLV}$ : 1,601

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)
<b>SLO</b>	0,039	2,525	0,238
<b>SLD</b>	0,053	2,457	0,255
<b>SLV</b>	0,150	2,430	0,278
<b>SLC</b>	0,196	2,472	0,280

### 5.3 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:

- $N_c, N_q, N_\gamma$  = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito;  
 $s_c, s_q, s_\gamma$  = fattori di forma della fondazione;  
 $i_c, i_q, i_\gamma$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;  
 $b_c, b_q, b_\gamma$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;  
 $g_c, g_q, g_\gamma$  = 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 con appoggio sui depositi argillosi con inclusi elementi lapidei, secondo l'Approccio 2 delle NTC, in condizioni statiche e sismiche. I risultati sono riportati in Allegato B; si riporta di seguito una tabella riassuntiva.

AI+MI+R3				
Ipotesi fondazione			$Q_{lim}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Resistenza di progetto (KN/m <sup>2</sup> )
B (m)	L (m)	D (m)		
0,80	10,00	0,40	229,22	99,66
1,20	10,00	0,40	246,28	107,08
Sisma				
Ipotesi fondazione			$Q_{lim}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Resistenza di progetto (KN/m <sup>2</sup> )
B (m)	L (m)	D (m)		
0,80	10,00	0,40	227,77	99,03
1,20	10,00	0,40	244,65	106,37

Per quanto riguarda le verifiche degli *stati limite di esercizio (SLE)*, 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 ricavati nelle pagine precedenti. In questo modo vengono calcolati i relativi cedimenti massimi possibili per le fondazioni considerate:

- Resistenza max 107,08 kN/mq

Tempo (anni)	0	5	10	30	50	70	85	100
Cedimento (mm)	6,566	8,827	9,222	9,849	10,140	10,332	10,443	10,536

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.

Si dovrà prestare attenzione a possibili cedimenti differenziali tra l'area già costruita e quella di nuova edificazione: si consiglia pertanto l'utilizzo di giunti.

#### 5.4 Considerazioni sulla suscettibilità a liquefazione

I dati del PAT riferiscono di falda posta a oltre 10 m da p.c.; un pozzo distante circa 200 m ha però evidenziato una profondità del livello statico pari a 8.5 m da p.c.

Come visto in precedenza, secondo la zonazione sismica attualmente vigente ZS9 (INGV, 2004), il territorio ricade in prossimità della zona sismogenetica 906, in cui si prevedono, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a  $M_{max} = 6,60$ .

Storicamente nell'intorno non sono noti fenomeni di liquefazione.

Fatte queste premesse, la suscettibilità alla liquefazione è stata approssiata in accordo alla procedura semplificata per la valutazione preliminare di Sherif e Ishibashi, 1978, secondo cui si possono verificare fenomeni di liquefazione solo nei livelli che presentano le seguenti caratteristiche: sono costituiti da sabbie o sabbie limose; sono sotto il livello statico della falda; gli strati di copertura non abbiano spessore maggiore di 3 m: in considerazione dei risultati della successione litostratigrafica; verificati anche i valori delle onde Vs, maggiori di 200 m/s, con eccezione del livello vegetale superficiale (da scavare per la realizzazione delle opere), si può escludere un rischio liquefazione, anche con il conforto di dati tabellari: si riporta di seguito la valutazione di Youd e Perkins sulla suscettibilità a liquefazione in funzione del tipo di deposito e della sua età: si hanno classi di valori da moderati a bassi.

TIPOLOGIA DEL DEPOSITO	ETA' DEL DEPOSITO			
	< 500 anni	Olocene	Pleistocene	Pre-Pleistocene
<b>Depositi Continentali</b>				
Canali fluviali	Molto Alta	Alta	Bassa	Molto Bassa
Pianure di esondazione	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Pianure e conoidi alluvionali	Moderata	Bassa	Bassa	Molto Bassa
Spianate e terrazzi marini	---	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Deltaici	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Lacustri	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Colluvioni	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Scarpate	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Dune	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Loess	Alta	Alta	Alta	Molto Bassa
Glaciali	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Tufi	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Tephra	Alta	Alta	Sconosciuta	Sconosciuta
Terreni residuali	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Sebkha	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
<b>Zone Costiere</b>				
Deltaici	Molto Alta	Alta	Bassa	Molto Bassa
Di estuario	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Di spiaggia con elevata energia delle onde	Moderata	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Di spiaggia con bassa energia delle onde	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Lagunari	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Litorali	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
<b>Riempimenti Artificiali</b>				
Non compattati	Molto Alta	---	---	---
Compattati	Bassa	---	---	---

Valutazione della suscettibilità alla liquefazione in funzione del tipo di deposito e della sua età (Youd e Perkins, 1978)

In conclusione, i seguenti metodi storico – empirici per la stima del rischio di liquefazione:

- storico (nessun dato circa fenomeni pregressi)
- geologico (suscettibilità da moderata a bassa in conseguenza ad età e tipologia di depositi)
- di composizione (terreni che presentano sempre frazioni argillose e/o ghiaiose)

permettono di non considerare l'area come suscettibile a liquefazione.

## 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:

- Il modello geologico e geotecnico è schematizzato nella seguente tabella:

Strato	Descrizione litologica	Prof. da p.c. (m)	Spessore (m)	$\phi$	Coesione (DaN/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )
<b>R</b>	Terreno di riporto costituito da ghiaio e ciottoli, con subordinati frammenti litici calcarei e basaltici di dimensioni decimetriche, in matrice sabbiosa. Presenti frammenti di laterizi. Deposito sciolto, scarsamente addensato <i>Caratteristiche geotecniche: SCADENTI</i>	0.00 – 1.10	0.00 – 1.10	25°	0.00	1.60
<b>AL</b>	Argilla debolmente limosa, di colore bruno scuro, con poca ghiaia ed elementi lapidei prevalentemente basaltici e subordinatamente calcarei, a spigoli vivi. Deposito compatto <i>Caratteristiche geotecniche: SUFFICIENTI</i>	N.D.	N.D.	20 - 22°	0.10 - 0.20	1.90

- Il livello freatico, da dati bibliografici, non interferisce con le opere; 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:

Approccio	Strato	Coesione DaN/cm <sup>2</sup>	$\phi$	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>
Approccio 2	AL <sub>appr.2</sub>	0,10	20°	19,0

- E' stata condotta una indagine geofisica con prove Re.Mi ed HVSR per la caratterizzazione sismica del sottosuolo: dai valori delle Vs ottenuti, si riscontra la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 2.2 m dal p.c. locale, caratterizzato da una Vs  $\approx$  120 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato (Vs  $\approx$  240 m/s). Si segnala a circa 14 m da p.c. un ulteriore incremento di velocità (Vs = 520 m/s). L'ammasso roccioso compatto o quel materiale che dal punto di vista si comporta come un bedrock geofisico (Vs  $\geq$  800 m/s), è stato individuato a circa 59 m dal p.c. locale.
- La frequenza caratteristica di risonanza di sito generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale (H/V  $\sim$ 3.5), è di circa 4.4 Hz: si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare gli intervalli frequenziali compresi tra circa 1.4 – 6.0 Hz e tra 9.0 – 20.0 Hz come range di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico – strutturale: 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 elevato fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.
- L'assetto sismostratigrafico desunto dalle indagini effettuate ha indicato il bedrock geofisico a profondità superiori a 30 m. Pertanto si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni, come richiesto dalle N.T.C.:

Profondità piano di posa fondazioni	Vs,30
0 m da p.c.	Vs (0-30) $\approx$ 304 m/s
1 m da p.c.	Vs (1-31) $\approx$ 325 m/s
2 m da p.c.	Vs (2-32) $\approx$ 349 m/s

- La categoria di sottosuolo, viste la profondità del piano di fondazione rispetto alla quota di campagna, risulta pertanto “C”.
- La sintesi dei parametri sismici è riportata di seguito:

Ubicazione: Colognola ai Colli (VR), via Casette, 1

Longitudine: 11.206853; Latitudine: 45.423822 (ED50)

Quota s.l.m. : 36 - 38 m

Terreno:

Categoria di sottosuolo : C

Categoria topografica: T1

$S_{SLV}$ : 1,482;  $C_{SLV}$ : 1,601

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)
<b>SLO</b>	0,039	2,525	0,238
<b>SLD</b>	0,053	2,457	0,255
<b>SLV</b>	0,150	2,430	0,278
<b>SLC</b>	0,196	2,472	0,280

- Non essendo attualmente noti i carichi indotti dagli interventi edificatori previsti, si sono proposti i seguenti dimensionamenti delle strutture di fondazione per le varie opere, riassunti con i relativi valori di resistenza, in condizioni statiche e sismiche:

<i>AI+MI+R3</i>				
Ipotesi fondazione			$Q_{lim}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Resistenza di progetto (KN/m <sup>2</sup> )
<i>B</i> (m)	<i>L</i> (m)	<i>D</i> (m)		
0,80	10,00	0,40	229,22	99,66
1,20	10,00	0,40	246,28	107,08
<i>Sisma</i>				
Ipotesi fondazione			$Q_{lim}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Resistenza di progetto (KN/m <sup>2</sup> )
<i>B</i> (m)	<i>L</i> (m)	<i>D</i> (m)		
0,80	10,00	0,40	227,77	99,03
1,20	10,00	0,40	244,65	106,37

- Per le strutture esistenti, il valore di resistenza da prendere come riferimento è quello riferito all'ampiezza minore di fondazione.
- I cedimenti, con i valori di carico individuati, sono risultati accettabili per le strutture: si dovrà prestare attenzione a possibili cedimenti differenziali tra fabbricati esistenti, che hanno già sviluppato buona parte dei cedimenti, e parte in ampliamento, con particolare riguardo all'area esterna alla sagoma delle strutture da demolire: si consiglia pertanto l'utilizzo di giunti tra i vari settori.
- Le acque meteoriche potranno essere raccolte per il successivo riutilizzo in sito (si consiglia un vaso minimo di 15 mc); il troppo pieno potrà essere disperso nell'area verde.
- La Carta delle Fragilità del PATI classifica l'area come idonea. Per evitare criticità derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto, dovranno comunque essere seguite le raccomandazioni 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 degli scavi per la realizzazione delle fondazioni si raccomanda di procedere alla verifica diretta delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni di posa delle opere in progetto per verificarne la continuità ed omogeneità comportamentale;
- gli scavi saranno limitati all'indispensabile e condotti con modalità tali da garantire il massimo rispetto della stabilità dei fronti di scavo, del suolo e delle opere esistenti, con particolare attenzione ai fabbricati esistenti, adottando, se necessario, misure di sostegno del terreno; si raccomanda di procedere per stralci di limitata estensione;
- durante l'esecuzione di tutte le operazioni di scavo e di posa delle strutture, si deve provvedere all'allontanamento delle acque di scorrimento, d'infiltrazione e meteoriche dagli scavi, in quanto tale fenomeno porterebbe all'alterazione e degrado delle strutture del terreno, predisponendo ad una situazione di pericolo per la stabilità dei fronti scavo con maggiori altezze, che andranno protetti con teli plastificati in caso di eventi meteorici;
- il materiale proveniente dagli scavi di sbancamento non è idoneo per realizzare riempimenti e sottofondi;
- i reinterri dovranno essere eseguiti a regola d'arte, conferendo al terreno il giusto addensamento, in modo che non vi siano in tempi successivi cedimenti o apertura di fessure e che il terreno risulti consolidato;

Relativamente alle *fondazioni*:

- la tipologia ed il dimensionamento delle fondazioni saranno funzione dei carichi e degli effettivi cedimenti indotti ai terreni dalle strutture di progetto;
- riguardo ai fabbricati esistenti oggetto di ristrutturazione, si raccomanda di verificare l'idoneità delle fondazioni ai carichi indotti dagli interventi previsti, come prescritto al punto 8.3 delle NTC;
- eventuali blocchi lapidei andranno allontanati dal piano di appoggio;
- il piano di posa delle fondazioni e la superficie interrata dovranno essere predisposti mediante la stesa di uno strato di materiale impermeabilizzante, d'isolamento dall'acqua d'infiltrazione, di risalita capillare e come anticontaminante; si deve inoltre prevedere la realizzazione di strati drenanti, con funzione anticapillare per limitare l'eventuale risalita dell'acqua nelle strutture murarie.

Sulla base delle considerazioni effettuate, e stanti gli accorgimenti menzionati, non sussistono pertanto penalizzazioni di carattere geologico – tecnico per la realizzazione delle opere.



Dott. Geol. Silvia Daleffe

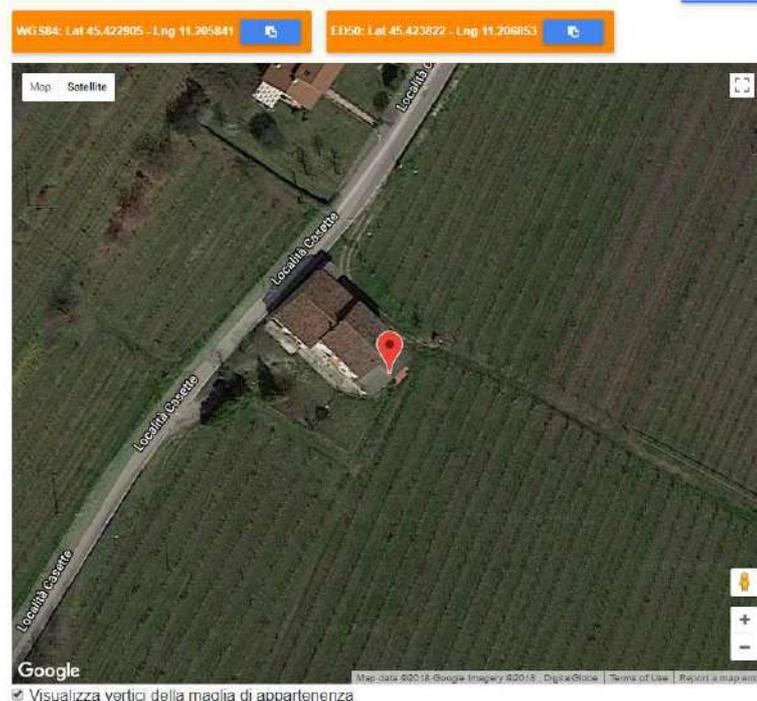
*Silvia Daleffe*

# Bibliografia

A.G.I. – ASS. GEOTECNICA ITALIANA		(1977)	Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione di indagini geotecniche.
A.G.I. – ASS. GEOTECNICA ITALIANA		(1999)	XX Convegno nazionale Geotecnica – Sviluppi nell’esecuzione e nell’impiego delle indagini geotecniche.
AMMINISTRAZIONE DELLA PROVINCIA DI VERONA			Piano Territoriale Provinciale
BOWLES J.E..	McGraw – Hill.	(1991)	Fondazioni. Progetto e analisi
CASTANY G.	Flaccovio Ed.	(1985)	Idrogeologia. Principi e metodi
CESTARI F.	Geo Graph.	(1990)	Prove geotecniche in sito.
CESTELLI GUIDI C.	Hoepli.	(1987)	Geotecnica e tecnica delle fondazioni
CHIESA G.	Flaccovio Ed.	(1994)	Idraulica delle acque di falda
CHIESA G.	A.N.I.P.A.		Manuale di geoidrologia. Idraulica dei pozzi
DAL PRÀ - ANTONELLI	Quaderni Ist. Ricerca Acque	(1977)	Ricerche idrogeologiche e litostratigrafiche nell’alta pianura alluvionale del fiume Adige.
DIP. ING. STRUTT. POLITECNICO, SOC. ING. E ARCH. TORINO	XI Ciclo di conferenze di Geotecnica, Torino	(1993)	Parametri di progetto da prove in situ.
E.N.I.		(1972)	Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall’AGIP durante la ricerca di idrocarburi in Italia
DE ZANCHE, SORBINI SPAGNA	Museo Civico Storia Nat. Verona	(1977)	Geologia del territorio del Comune di Verona
FAVARETTI M., CORTELLAZZO G.	Seminario SILP, Padova	(1994)	Progressi nelle prove in posto: i recenti metodi di indagine e loro interpretazione.
FAVARETTI M., MORACI N. – O.R. GEOLOGI VENETO	I° Ciclo conferenze di Geotecnica – Mestre	(1997)	I cedimenti delle fondazioni superficiali: metodi di calcolo e criteri di accettabilità
FAVARETTI M., MORACI N. – O.R. GEOLOGI VENETO	I° Ciclo conferenze di Geotecnica – Mestre	(1997)	La capacità portante delle fondazioni superficiali.
GOIRAN A.	Atti e Memorie Acc. Agr., Arti e Com. Verona	(1887)	Appendice e nota al catalogo dei terremoti veronesi.
GOIRAN A.	Atti e Memorie Acc. Agr., Arti e Com. Verona	(1880)	Storia sismica della Provincia di Verona.
LANCELLOTTA R.	Zanichelli	(1993)	Geotecnica.
MENNA	St. Zandrini	(1973)	Il bacino idrografico dell’Adige
MINISTERO UNIVERSITÀ E RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA	Com. Cons. C.U.N. n.4 “Scienze della Terra” S.E.L.C.A.	(1997)	Carta Altimetrica e dei Movimenti Verticali del Suolo della Pianura Padana Scala 1:250.000
MINISTERO UNIVERSITÀ E RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA	Com. Cons. C.U.N. n.4 “Scienze della Terra” S.E.L.C.A.	(1997)	Carta Geomorfologica della Pianura Padana Scala 1:250.000
MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE	D.M. 14/01/2008	(2008)	“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” (G.U. n. 29 del 4.2.2008 – Suppl. Ordinario n. 30)
CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI			“Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008”.
REGIONE VENETO – DIP. URBANISTICA E BENI AMBIENTALI		(1994)	Grafia e simbologia regionali unificate per l’elaborazione degli strumenti urbanistici
MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE	D.M. 17/01/2018	(2018)	Aggiornamento delle “norme tecniche per le costruzioni” (G.U. n. 42 del 20.2.2018 – Suppl. Ordinario)
SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE	Autori Vari		Carta Geologica d’Italia – scala 1:100.000
SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE - REGIONE VENETO		(1990)	“Carta geologica del Veneto” scala 1:250.000.
SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE - REGIONE VENETO		(1990)	“Carta geomorfologica del Veneto” scala 1:250.000.
SORBINI L.	Museo Civico Storia Nat. Verona	(1993)	Geologia, idrogeologia e qualità dei principali acquiferi veronesi
SORMANI MORETTI L.	Museo Civ. Storia Nat. Verona	(1898)	La Provincia di Verona – Monografia
TERZAGHI K.	UTET.	(1992)	Geotecnica.
VOLTOLINI I.	Boll.Soc.Sc.Nat. Trentino	(1952)	Storia geologica della valle dell’Adige.

# Allegato A: parametri sismici del sito

## Software Geostru PS PRO



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

### 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]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.039	2.525	0.238
Danno (SLD)	50	0.053	2.457	0.255
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.150	2.430	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.196	2.472	0.280
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)

us (m)



1



0.1



Cat. Sottosuolo

C



Cat. Topografica

T1

SLO SLD SLV SLC

SS Amplificazione stratigrafica

1,50	1,50	1,48	1,41
------	------	------	------

CC Coef. funz categoria

1,69	1,65	1,60	1,60
------	------	------	------

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	0.012	0.016	0.053	0.066
kv	0.006	0.008	0.027	0.033
Amax [m/s²]	0.578	0.785	2.181	2.704
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

ESPORTA IN TXT

PDF

SPETTRI

# Allegato B: Verifiche di sicurezza SLU

## Software Geostru Loadcap 2018

**DATI GENERALI**

Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	0,8 – 1,2 m
Lunghezza fondazione	10,0 m
Profondità piano di posa	2,0 m
Altezza di incastro	0,4 m

**SISMA**

Accelerazione massima (ag/g)	0,058
Effetto sismico secondo	EC7/8
Coefficiente sismico orizzontale	0,0116

**STRATIGRAFIA TERRENO**

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Descrizione
6,0	19,0	21,0	20,0	9,8	Strato Al

**B = 0.8 m**

A1+M1+R3		SISMA	
Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)		Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)	
Fattore [Nq]	6,4	Fattore [Nq]	6,4
Fattore [Nc]	14,83	Fattore [Nc]	14,83
Fattore [Ng]	3,93	Fattore [Ng]	3,93
Fattore forma [Sc]	1,03	Fattore forma [Sc]	1,03
Fattore profondità [Dc]	1,0	Fattore profondità [Dc]	1,0
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]	1,0	Fattore profondità [Dq]	1,0
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]	0,99
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0	Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0,99
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0	Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
Carico limite	229,22 kN/m <sup>2</sup>	Carico limite	227,77 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	99,66 kN/m <sup>2</sup>	Resistenza di progetto	99,03 kN/m <sup>2</sup>

**B = 1.2 m**

<b>A1+M1+R3</b>		<b>SISMA</b>	
Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)		Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)	
Fattore [Nq]	6,4	Fattore [Nq]	6,4
Fattore [Nc]	14,83	Fattore [Nc]	14,83
Fattore [Ng]	3,93	Fattore [Ng]	3,93
Fattore forma [Sc]	1,05	Fattore forma [Sc]	1,05
Fattore profondità [Dc]	1,0	Fattore profondità [Dc]	1,0
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]	1,04	Fattore forma [Sq]	1,04
Fattore profondità [Dq]	1,0	Fattore profondità [Dq]	1,0
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]	0,96	Fattore forma [Sg]	0,96
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]	0,99
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0	Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0,99
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0	Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
<i>Carico limite</i>	<i>246,28 kN/m<sup>2</sup></i>	<i>Carico limite</i>	<i>244,65 kN/m<sup>2</sup></i>
<i>Resistenza di progetto</i>	<i>107,08 kN/m<sup>2</sup></i>	<i>Resistenza di progetto</i>	<i>106,37 kN/m<sup>2</sup></i>

## *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)**

Località Casette  
Comune di Colognola ai Colli (VR)

Committente:  
**Dott.ssa Geol. Silvia Daleffe**

Data: luglio 2018



**STUDIOSISMA srl**  
Via Biron, 102/5 - 36050 Montebelluna (VI)  
Tel/Fax. 0445/962532 Cell. +39 349/0567455  
Mail: info@studiosisma.com  
C.F. e P.IVA 03797510249

La legge sui diritti d'autore (22/04/41 n° 633) vieta la riproduzione ed utilizzazione anche parziale di questo documento, senza la preventiva autorizzazione degli autori.

## 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

M. Collareda

Autori

M. Collareda, L. Guerra

Collaboratori

L. Guerra, A. Fortugno

## 1. PREMESSE

Il giorno 29 giugno 2018 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica in località Casette, nel Comune di Colognola ai Colli (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).

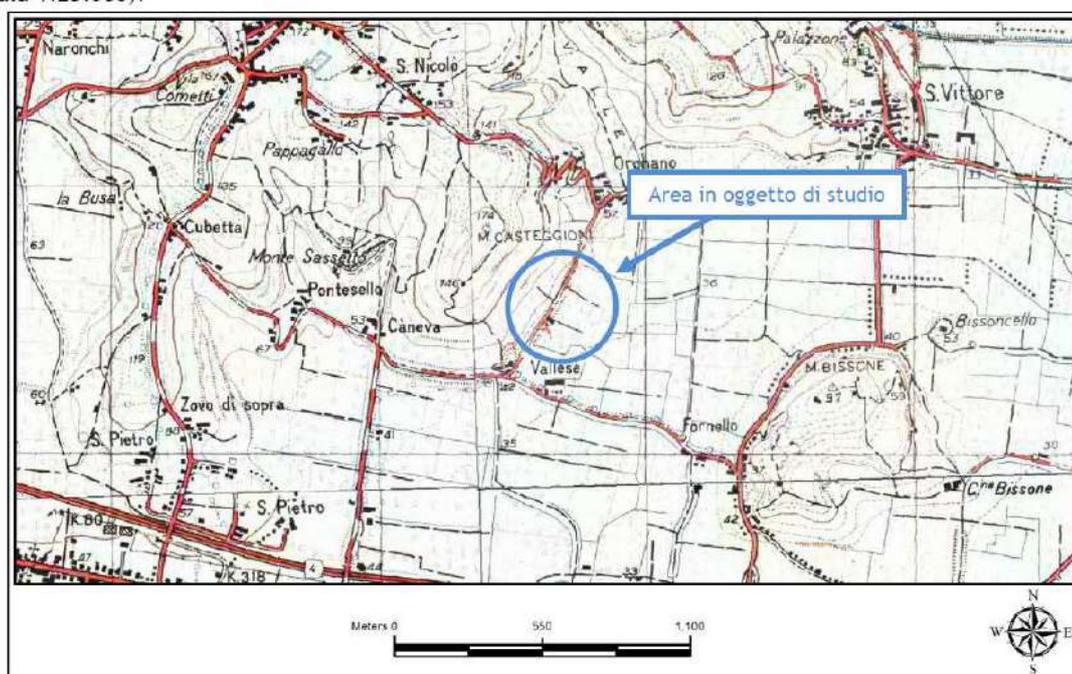
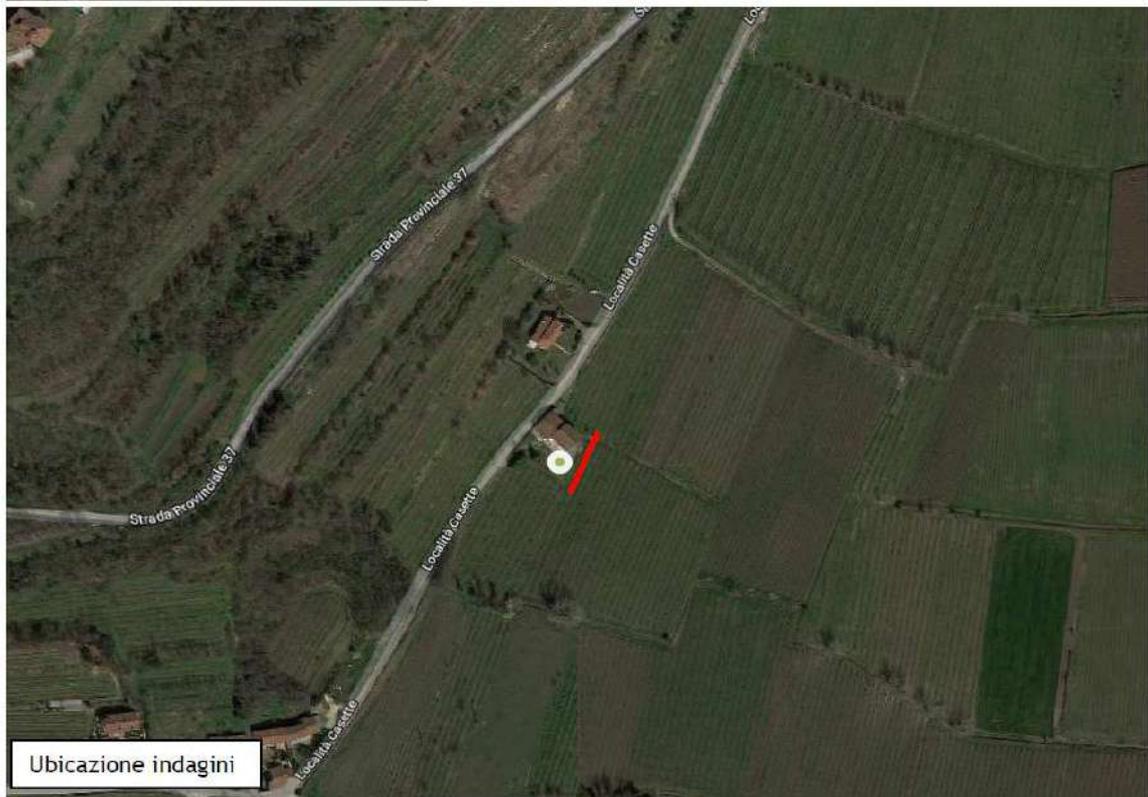


Fig. n° 1: Estratto da I.G.M. Veneto in scala 1:25.000

L'ubicazione dell'area è stata ottenuta, secondo i 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
45.422825° N (WGS 84)	11.205746° E (WGS 84)
45.423742° N (WGS 84)	11.206758° E (WGS 84)





**Legenda:**

-  Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.)
-  Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

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  $\Delta x$ . 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.6.4 beta release 2015.

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 3 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 45 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 Borcherdt (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]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI</b> (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
<b>TERRENI TENERI</b> (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.

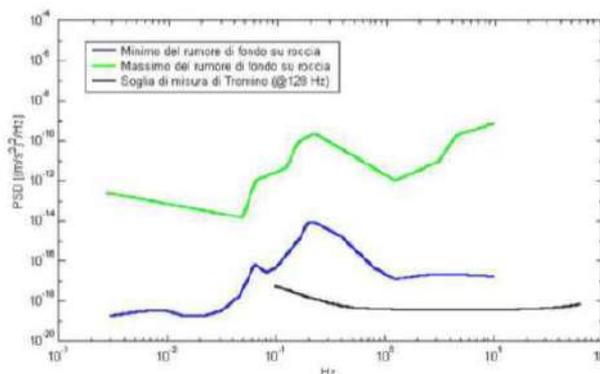
Possiamo scrivere questo come:

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

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 Toscana (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:



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

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.

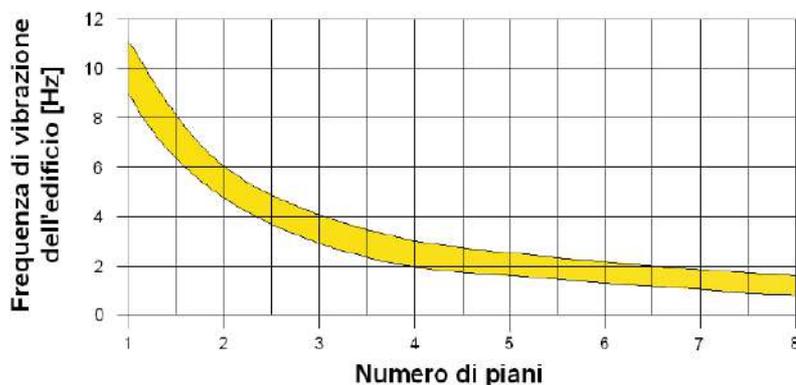
Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

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

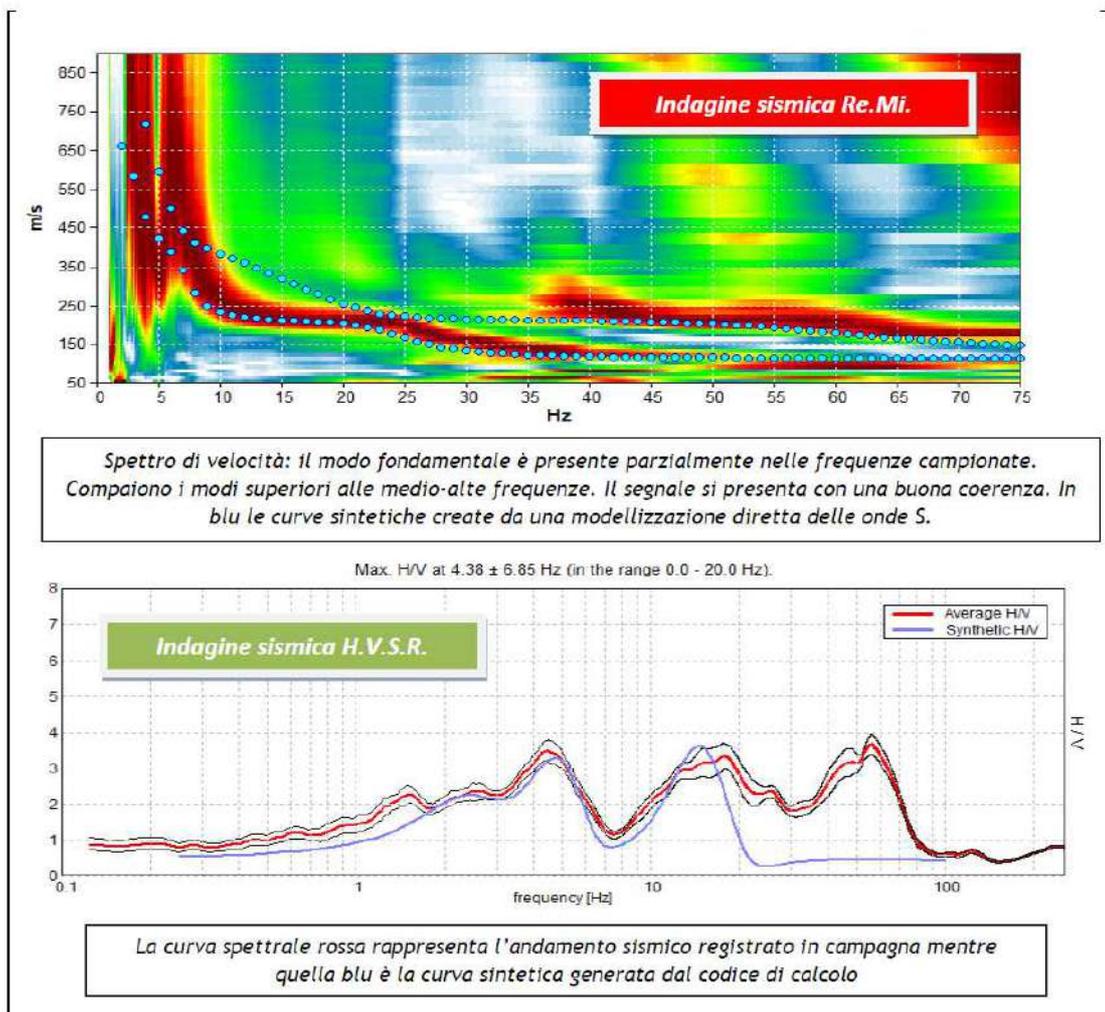
##### 4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

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

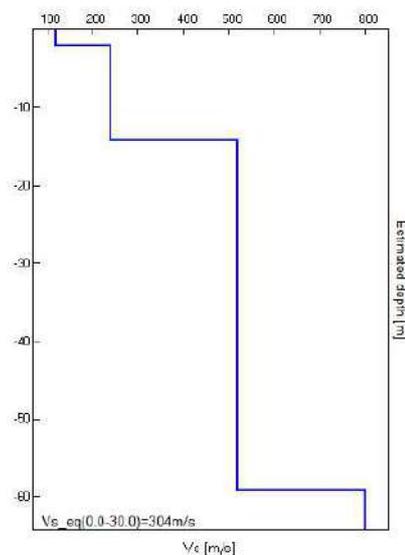


La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 2,2 m dal p.c. locale caratterizzato da una  $V_s$  di circa 120 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con  $V_s$  di circa 240 m/s.

A circa 14 m dal p.c. locale, si segnala un aumento della velocità di propagazione delle onde S che raggiunge valori di 520 m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Il *bedrock* geofisico ( $V_s \approx 800$  m/s), inteso come quel materiale con una  $V_s > 800$  m/s è stato localizzato a circa 59 m dal p.c. locale.

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	120	2,2	0,0 - 2,2
II SISMOSTRATO	240	12	2,2 - ≈14
III SISMOSTRATO	520	45	≈14 - ≈59
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈59 - 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, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ( $H/V \approx 3,5$ ) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 - 20,0 Hz), è di circa 4,4 Hz.

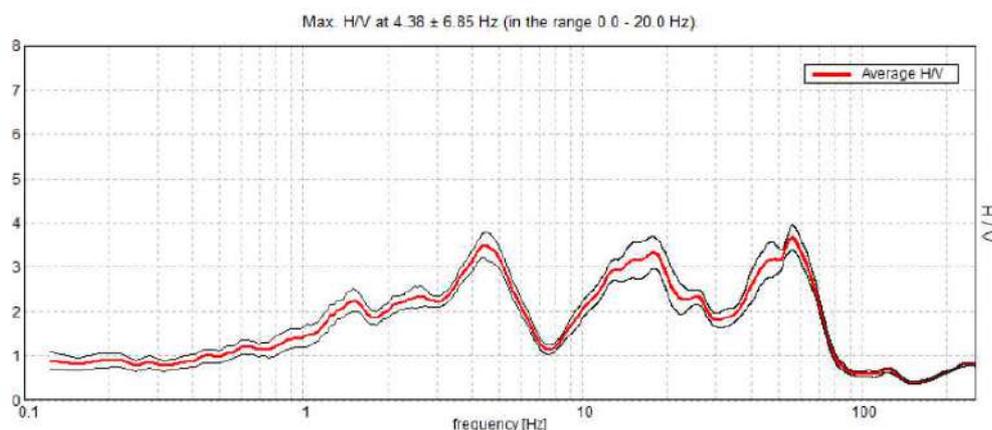
#### Frequenza fondamentale di risonanza

$4,38 \pm 6,85$  Hz

Si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare l'intervallo frequenziale di circa 1,4 - 6,0 Hz e 9,0 - 20 Hz come *range* di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico - strutturale.

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 elevato fattore di amplificazione 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%.



#### 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  $V_{s,eq}$ , 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	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Deposit</i> i 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	<i>Deposit</i> i 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Dall'assetto sismo-stratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del *bedrock* geofisico (substrato di riferimento) a profondità superiori 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 30 m dal piano di posa delle fondazioni ( $V_{s,30}$ ), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 304$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 325$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 349$ 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 C**, così definita:

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

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 Vs 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.

Monteviale, luglio 2018

## ALLEGATO

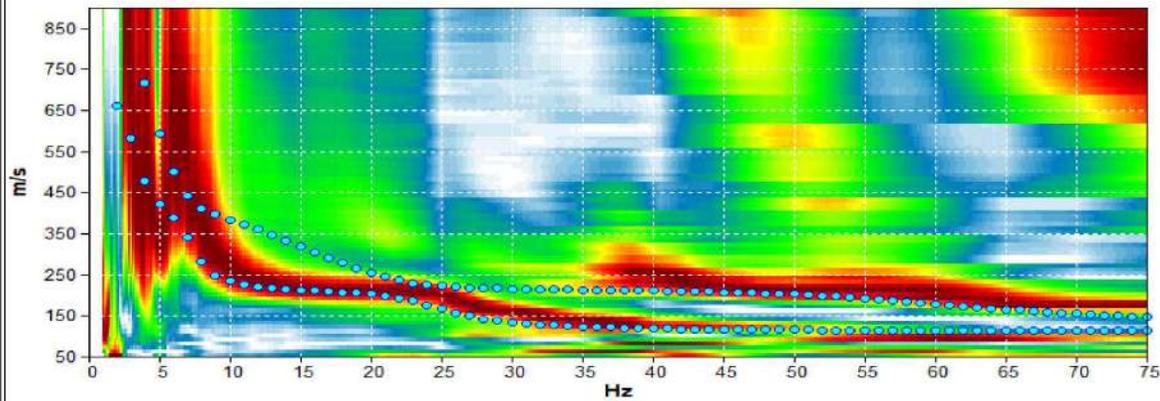
- ✚ Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R.



## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

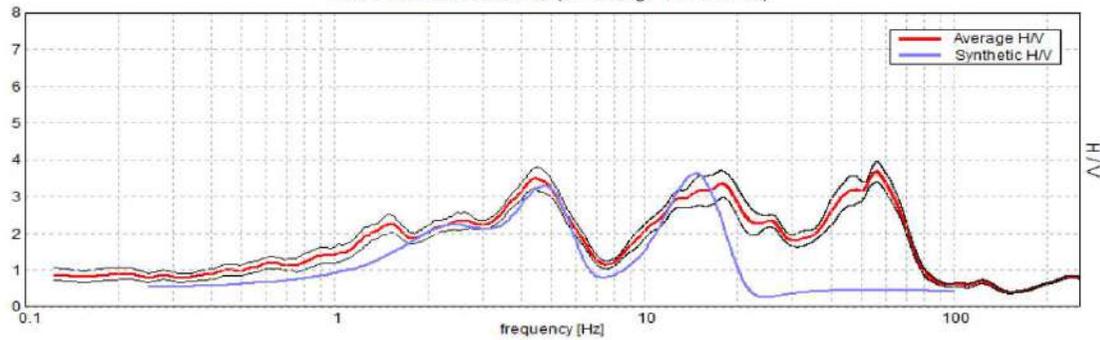
- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 - 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 - 63.
- ✓ Castellaro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

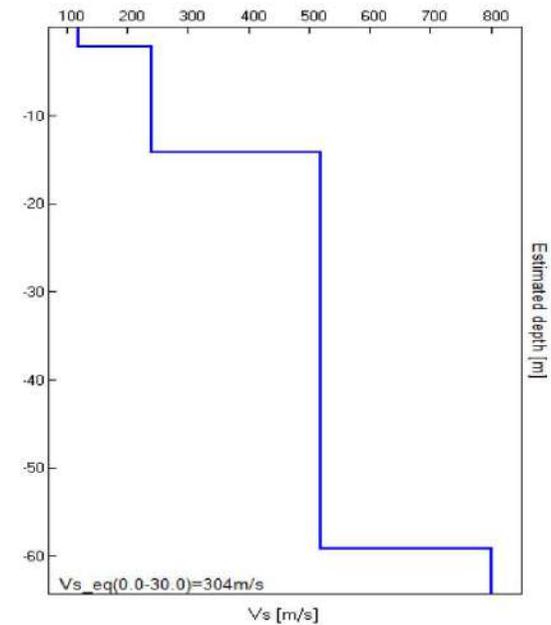
Max. H/V at  $4.38 \pm 6.85$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



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

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

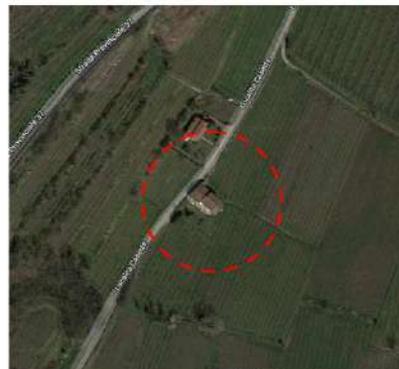
0 m dal p.c.	304 m/s	Categoria C
1 m dal p.c.	325 m/s	Categoria C
2 m dal p.c.	349 m/s	Categoria C



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	120	2,2	0,0 - 2,2
II SISMOSTRATO	240	12	2,2 - ≈14
III SISMOSTRATO	520	45	≈14 - ≈59
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈59 - Semisp.



**INDAGINE GEOFISICA**

Ubi: Località Casette - Colognola ai Colli (VR)

Lat. 45,422825°N - Lon. 11,205746°E (WGS-84)

Committente: Dott.ssa Geol. Silvia Daleffe

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

Luglio 2018