



COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI
PROVINCIA DI VERONA

**Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15**
sito in Via Cubetta

**RELAZIONE GEOLOGICA
CON INDICAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO**

[§ 6.2.1 e 6.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008]



1 ottobre 2014

COMMITTENTE: Signora Cason Sabrina

IL TECNICO: dr.ssa geol. Nicoletta Toffaletti

✉ 37042 Caldiero (VR) - via G. Marconi 21 ☎ 045 6152173 📠 339 5773948 @ geonito@libero.it



INDICE

INDICE.....	1
CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE	1
1.1) NORMATIVA DI RIFERIMENTO E ARTICOLAZIONE DELLA RELAZIONE	1
1.2) DESCRIZIONE DEL PIANO DI RECUPERO	2
CAPITOLO 2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOLOGICO.....	3
2.1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2.2) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO	4
2.3) IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA.....	7
2.4) INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO	9
CAPITOLO 3 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	13
3.1) VOLUME SIGNIFICATIVO E PROVE IN SITO	13
3.2) GEOMORFOLOGIA	14
3.3) PROFILO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE	16
3.3) IDROGEOLOGIA.....	18
3.3) CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA E GEOTECNICA	20
3.4) CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	21
3.5) VERIFICA PRELIMINARE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL NUOVO EDIFICIO	22
3.6) VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEL NUOVO EDIFICIO.....	23
3.7) VALUTAZIONE DI STABILITÀ DELLE PARETI DI SCAVO	24
CAPITOLO 4 - GESTIONE DEI MATERIALI DA SCAVO	25

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE

1.1) Normativa di riferimento e articolazione della relazione

Per conto della Signora Cason Sabrina è stato eseguito uno studio geologico e geotecnico a supporto del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR).

Tale studio è stato effettuato in ottemperanza a quanto disposto dal **D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni"** (note con l'acronimo NTC-2008) e facendo riferimento alla **Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 617 del 2 Febbraio 2009**, contenente le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC-2008.

Il presente elaborato si configura come **Relazione Geologica ai sensi del Paragrafo 6.12 "Fattibilità di opere su grandi aree" delle NTC-2008**, in quanto espone i risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito, che consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio. La Relazione Geologica è sviluppata in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il successivo programma delle indagini geotecniche. Si precisa ulteriormente che l'intervento previsto viene attuato mediante lo strumento del Piano di Recupero, uno strumento attuativo, che, ai sensi dell'**art. 19 della Legge Regionale 23 aprile 2004, n. 11 "Norme per il governo del territorio"**, è formato dagli elaborati individuati nell'elenco del comma 2., dove al punto d) viene individuata la "**Verifica di**

compatibilità geologica, geomorfologica e idrogeologica dell'intervento", i cui contenuti sono quindi ricompresi nella presente relazione.

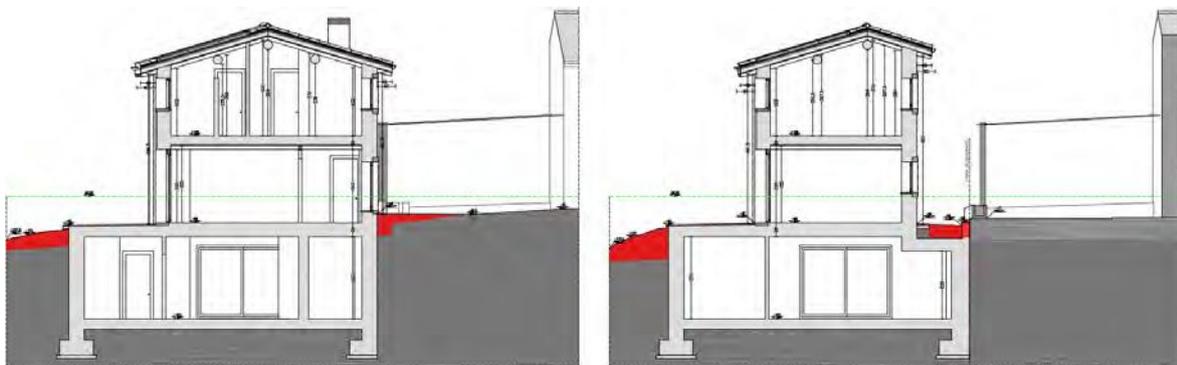
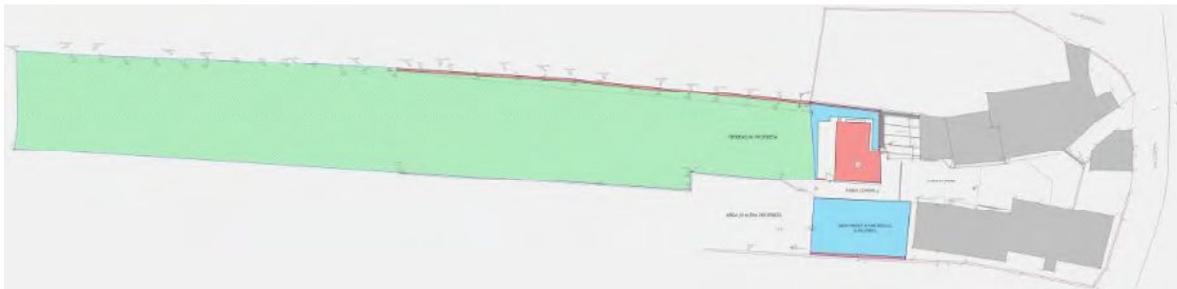
Inoltre, non essendo ancora sviluppato il progetto esecutivo, il presente elaborato, al Capitolo 3, contiene **alcuni requisiti della Relazione Geotecnica ai sensi del Paragrafo 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica del sito" delle NTC-2008**, in particolare:

- il programma e lo svolgimento delle indagini e delle prove geotecniche;
- la definizione del modello geotecnico che viene inteso come uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico;
- la preliminare analisi geotecnica di progetto.

1.2) Descrizione del Piano di Recupero

Ai fini della presente relazione, si descrivono sinteticamente i caratteri di interesse degli elaborati di progetto, redatti dall'arch. Elena Fasoli, a cui si rimanda per una dettagliata caratterizzazione. Il Piano di Recupero riguarda la ristrutturazione e la ricomposizione della porzione più orientale dell'esistente corte rurale sita in via Cubetta all'angolo con via Pontesello (Bene Culturale n. 15) e comprende una contigua porzione di terreno intonsa e destinata a prato.

Il piano prevede la demolizione di due esistenti fabbricati (denominati edificio A e B negli elaborati di progetto) e la costruzione di un nuovo edificio ad uso residenziale, strutturato su tre piani principali (interrato, terra e primo) più la copertura. La ricomposizione si completa con la realizzazione, alla quota del suolo, di aree verdi e di un parcheggio privato, oltre che delle necessarie opere di regimazione idraulica delle acque di dilavamento di origine meteorica. Lungo il limite sud del fondo di proprietà, è prevista la costruzione di un muro di sostegno che si svilupperà a partire da quelli esistenti fino a circa metà del fondo destinato a prato.

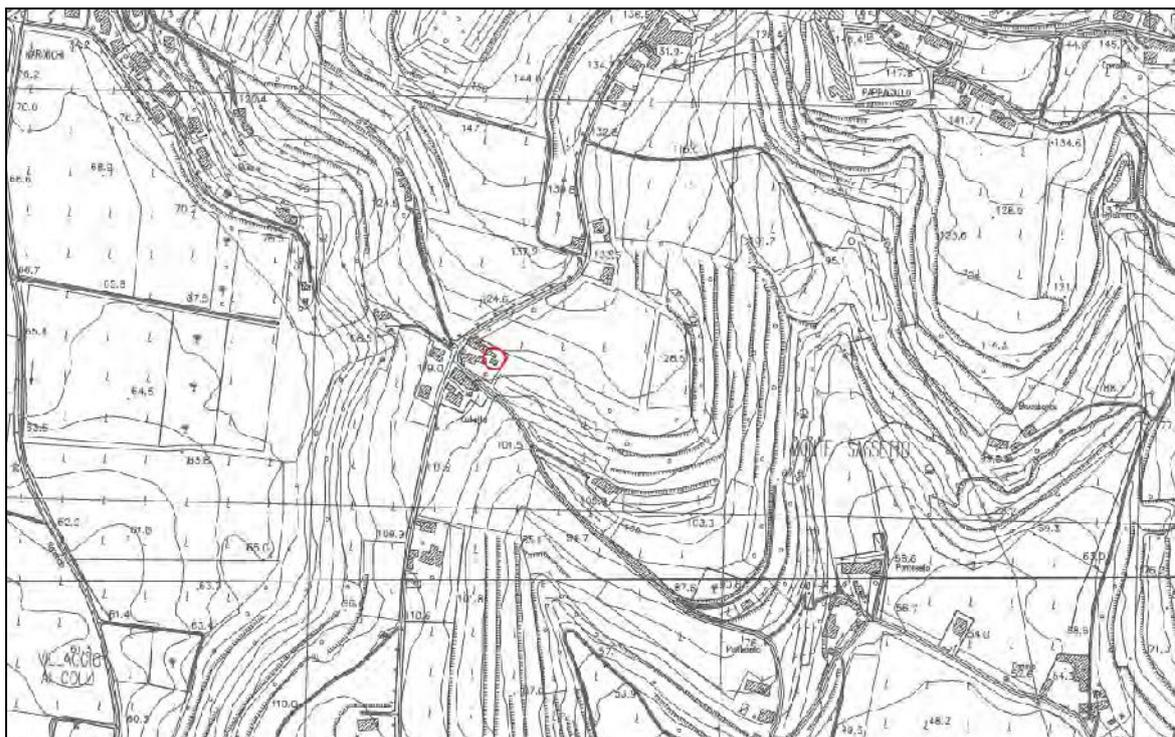


Estratto del Piano di Recupero redatto dall'arch. Elena Fasoli.

CAPITOLO 2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOLOGICO

2.1) Inquadramento geografico

L'area oggetto di pianificazione preventiva fa parte di un nucleo abitativo a corte posto, in ambito rurale collinare, all'intersezione fra via Cubetta e via Pontesello nel settore centrale del territorio comunale di Colognola ai Colli (VR).



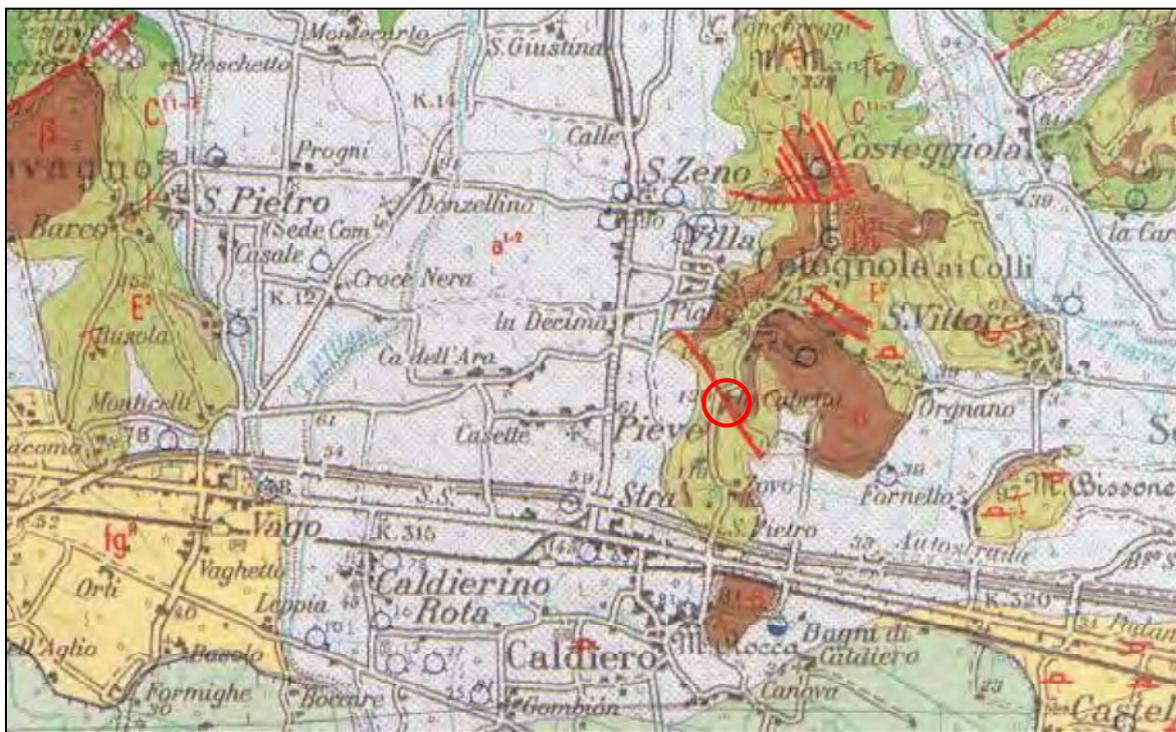
Corografia dell'area di intervento (estratto dalla Sezione n. 124150 "SOAVE" della CARTA TECNICA REGIONALE ALLA SCALA 1:10.000).



Foto satellitare dell'area di intervento (fonte: <http://it.bing.com/maps>).

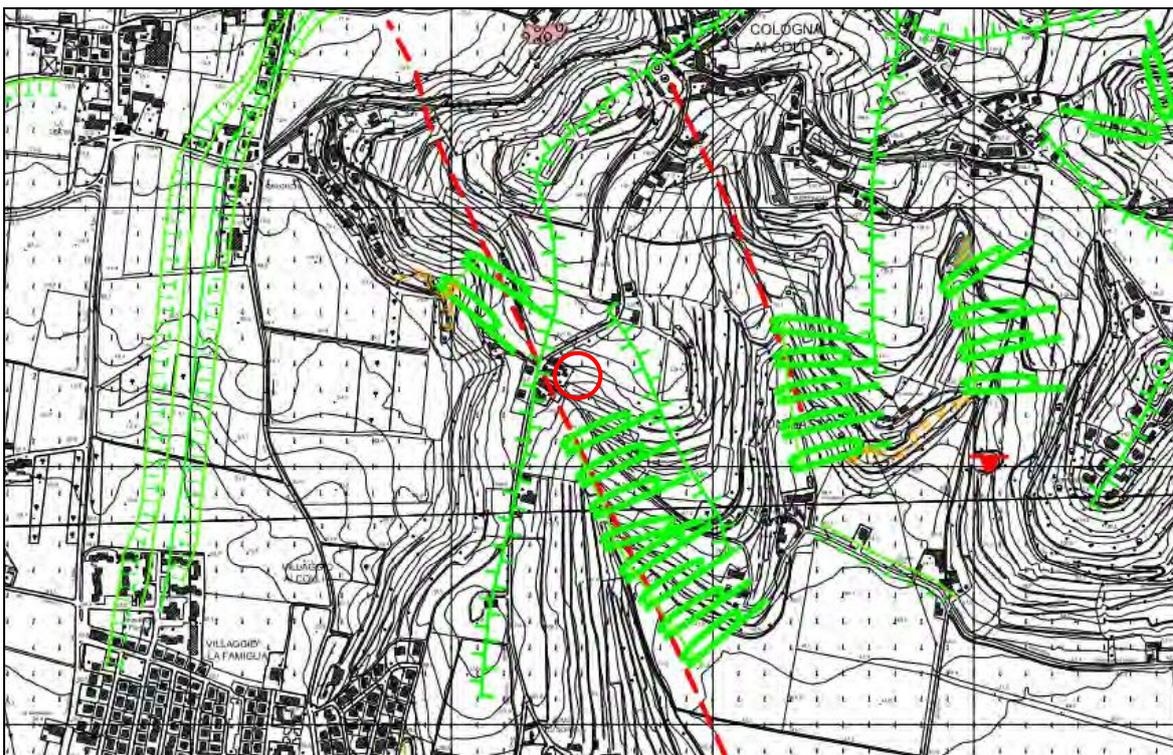
2.2) Inquadramento geomorfologico e geologico

Come si evince dall'estratto della Carta Geologica d'Italia riportata nella seguente figura, da un punto di vista morfologico l'area oggetto di intervento, è ubicata nella fascia collinare dei Monti Lessini centro - meridionali, in corrispondenza della terminazione della dorsale collinare principale che, nell'altipiano lessineo, divide la Valtramigna a est dalla Val d'Illasi a ovest.



Estratto, non in scala, del Foglio 49 "VERONA" della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000.
LEGENDA: **E²** = Formazione dei Calcari nummulitici (EOCENE); **β** = Formazioni eruttive costituite prevalentemente da basalti colonnari, compatti o bollosi o coriacei o a cuscini, delle colate dei camini vulcanici (MIOCENE INFERIORE P.P. -?- CRETACICO SUPERIORE -?-); **a¹⁻²** = alluvioni eterogranulari, attuali e recenti, dei corsi d'acqua sbarrati dalla antica conoide dell'Adige (OLOCENE).

La suddetta dorsale collinare principale, procedendo da nord verso sud, presenta crinale lineare e rettilineo di direzione N-S con allineamento di diverse culminazioni morfologiche fino alla località denominata Bocca Scalucce, a partire dalla quale e in prossimità del margine con la pianura si articola in tre crinali brevi e longitudinali che isolano vallecole frontali di modeste dimensioni, contraddistinte da conoidi di deiezione per lo più inattive. Nel dettaglio, l'area oggetto di intervento è situata in prossimità dello spartiacque più occidentale (dorsale collinare Zovo - Cubetta), dove si distribuisce a quote variabili fra circa 120 m s.l.m. (in corrispondenza della corte rurale) e circa 110 m s.l.m. (in corrispondenza dell'area ribassata del terreno intonso di proprietà).

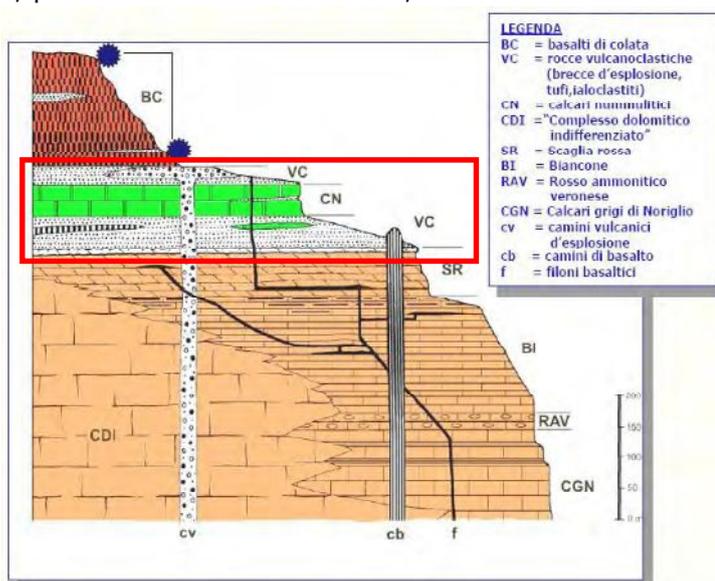


Geomorfologia dell'area di intervento (estratto della Carta Geomorfológica del Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno, elaborata da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto). LEGENDA:

- = orlo di scarpata di erosione fluviale di altezza < 5 m;
- = cresta di dispiuvio;
- = cono alluvionale;
- = vallecola a conca.

La dorsale collinare Zovo - Cubetta è impostata, in affioramento, su rocce appartenenti alle seguenti formazioni:

- **Calcarei nummulitici:** si tratta di calcari, calcareniti nummulitiche, calcari di scogliera e marne giallognoli, particolarmente carsificabili;
- **Formazioni eruttive:** legate all'attività eruttiva basica terziaria dei Lessini centro-orientali, si tratta di masse basaltiche che si intercalano a vari livelli della successione stratigrafica; le rocce eruttive sono rappresentate da basalti di colata, ialoclastiti, breccie extradiatremiche e rocce vulcanoclastiche rimaneggiate.



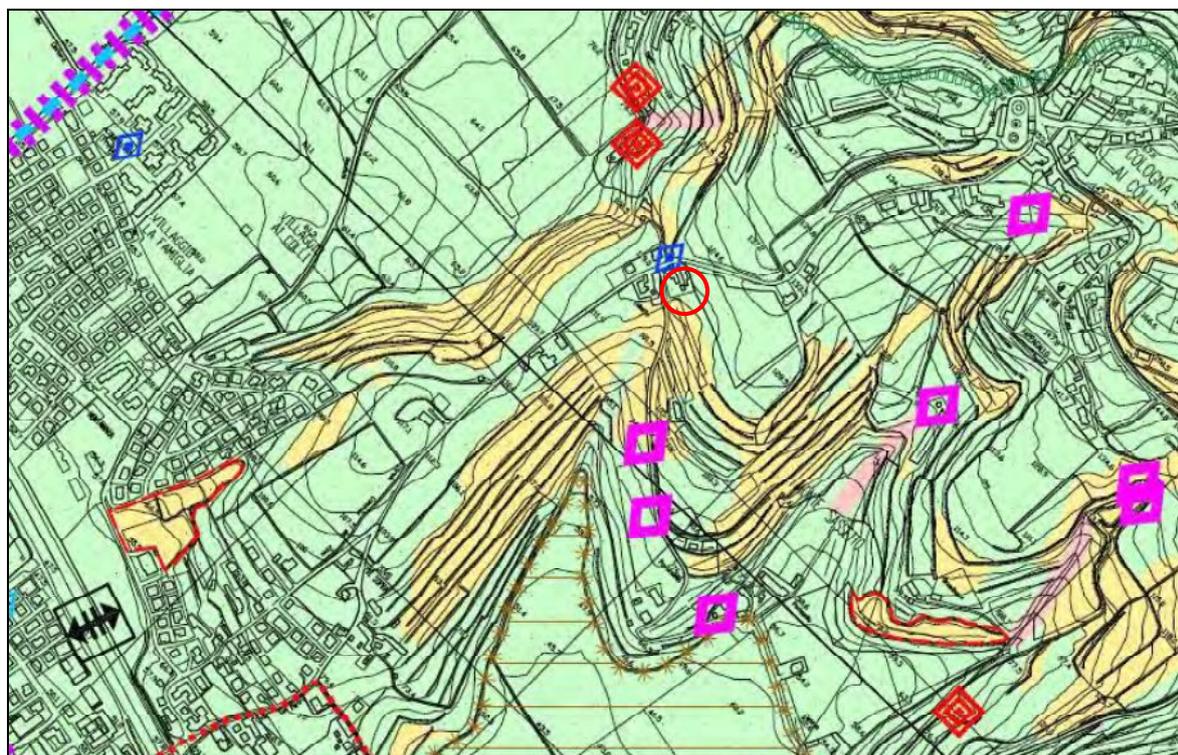
Schema litostratigrafico dei Monti Lessini centro - occidentali.

Il substrato roccioso risulta coperto da materiali detritici di spessore ed estensione variabile di origine eluviale (detrito di versante) o colluviale (suoli); in particolare le

falde detritiche sono formate da un agglomerato di frammenti lapidei normalmente appartenenti al litotipo formante il substrato, immersi in una matrice prevalentemente limoso-sabbiosa di colorazione rossastra e brunastra.

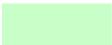
L'Autorità di Bacino del fiume Adige, nell'ambito delle sue attività istituzionali, ha elaborato il Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del bacino idrografico del fiume Adige - Regione del Veneto, approvato con D.P.C.M. 27 aprile 2006 e sottoposto a successive varianti, fra cui, per i fini che qui interessano, si richiama la 1^ Variante - Aree in dissesto da versante approvata con D.P.C.M. 13 Dicembre 2011. All'interno del Piano Stralcio vengono perimetrare e schedate le aree a pericolo di frana o colata detritica; **nessuna area a pericolo di frana o colata detritica interessa il sito in esame.**

A completare l'inquadramento geologico dell'area oggetto di pianificazione, si evidenzia che nella **Carta delle Fragilità** del vigente Piano di Assetto del Territorio Intercomunale dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno, **al tematismo "Idoneità edificatoria dei terreni" il sito è interamente classificato come "area idonea"**.



Estratto della Carta delle Fragilità del vigente PATI dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno. LEGENDA:

Idoneità edificatoria dei terreni:

	AREA IDONEA		POZZI PER ACQUEDOTTI PUBBLICI
	AREA IDONEA A CONDIZIONE		SORGENT
	AREA NON IDONEA		

2.3) Idrogeologia e idrografia

A scala regionale, l'area in esame rientra nella "Zona degli acquiferi di montagna" della potente Serie idrogeologica veneta, che è localmente rappresentata dal **Complesso idrogeologico lessineo**, ospitato in rocce di natura carbonatica, terrigena, terrigeno-carbonatica, vulcanoclastica e vulcanica con età compresa fra il Triassico inferiore ed il Miocene medio, distinte in più formazioni litostratigrafiche, caratterizzate, ciascuna, da una diversa permeabilità relativa. Tale diversa permeabilità relativa consente di delineare le Unità Geoidrogeologiche dei Lessini secondo un approccio strettamente litostratigrafico.

Caratteri litologici	Successione litostratigrafica		Caratteristiche idrogeologiche		
	Formazioni - tipo	Età	Significato idrogeologico	Permeabilità	
				Tipo	Grado
0. Alluvioni	-	-	-	-	-
1. <i>Complesso eterogeneo calcareo-detritico; calcari marnosi, arenarie, marne arenacee</i>	Calcarenite di Castelvignolo, Calcare di Lonedo, Arenaria di S. Urbano	OLIGOCENE - MIOCENE	Acquifero multistrato	Fessurazione e carsismo	Medio
2. <i>Complesso eterogeneo prevalent. marnoso: argille marnose, marne, calcari marnosi</i>	Marne di Priabona	EOCENE SUPERIORE - MEDIO	Acquiclude	Fessurazione	Basso
3. <i>Complesso eterogeneo calcareo - marnoso: calcari, marne, calcari argillosi e arenacei, marne arenacee, calcareniti</i>	Calcari a Nummuliti	EOCENE MEDIO - INFERIORE	Acquifero multistrato	Carsismo	Medio
4. <i>Complesso eterogeneo marnoso - calcareo e vulcaniti - vulcanoclastiti, interstratificate o variamente discordanti</i>	Formazioni Eruttive	MIOCENE INFERIORE - CRETACEO SUPERIORE	Acquiclude	Fessurazione e porosità primaria	Basso
5. <i>Complesso di calcari argilloso - marnosi</i>	Scaglia, Biancone, Rosso Ammonitico	PALEOCENE - GIURESE SUPERIORE	Acquitarde	Fessurazione e carsismo	Medio
6. <i>Complesso calcareo - dolomitico superiore</i>	Calcari Oolitici di S. Vigilio, Calc. Grigi di Noriglio, Complesso Dolomitico Indifferenziato, Dolomia Principale	TRIAS SUPERIORE	Acquifero di base	Fessurazione e carsismo	Alto

Le Unità Geoidrologiche dei Lessini (fonte: "Quaderno sul bilancio idrico superficiale di primo livello - Bacino idrografico del fiume Adige", modificato). n.b. in verde, sono evidenziate le Unità Geoidrogeologiche nei dintorni dell'area di intervento.

La struttura idrogeologica di base, estesa con continuità su tutta la Lessinia, è rappresentata dalla parte più alta della Dolomia Principale, dai Calcari Oolitici e dai Calcari Grigi; in essa è particolarmente sviluppato un carsismo per condotti. Assieme ai calcari argillosi del Cretacico, permeabili per fessurazione e fratturazione, essa costituisce l'Acquifero Carbonatico inferiore del complesso idrogeologico lessineo, caratterizzato da elevata capacità di immagazzinamento e trasmissione idrica grazie alla sua notevole estensione e potenza. Ad esso è sovrapposto un **Acquifero superiore francamente Carbonatico o misto Carbonatico e Vulcanico** (a cui è riferibile anche l'area oggetto di pianificazione), di età paleogenica, permeabile per fratturazione e carsismo nelle porzioni carbonatiche e per fessurazione (fessure da

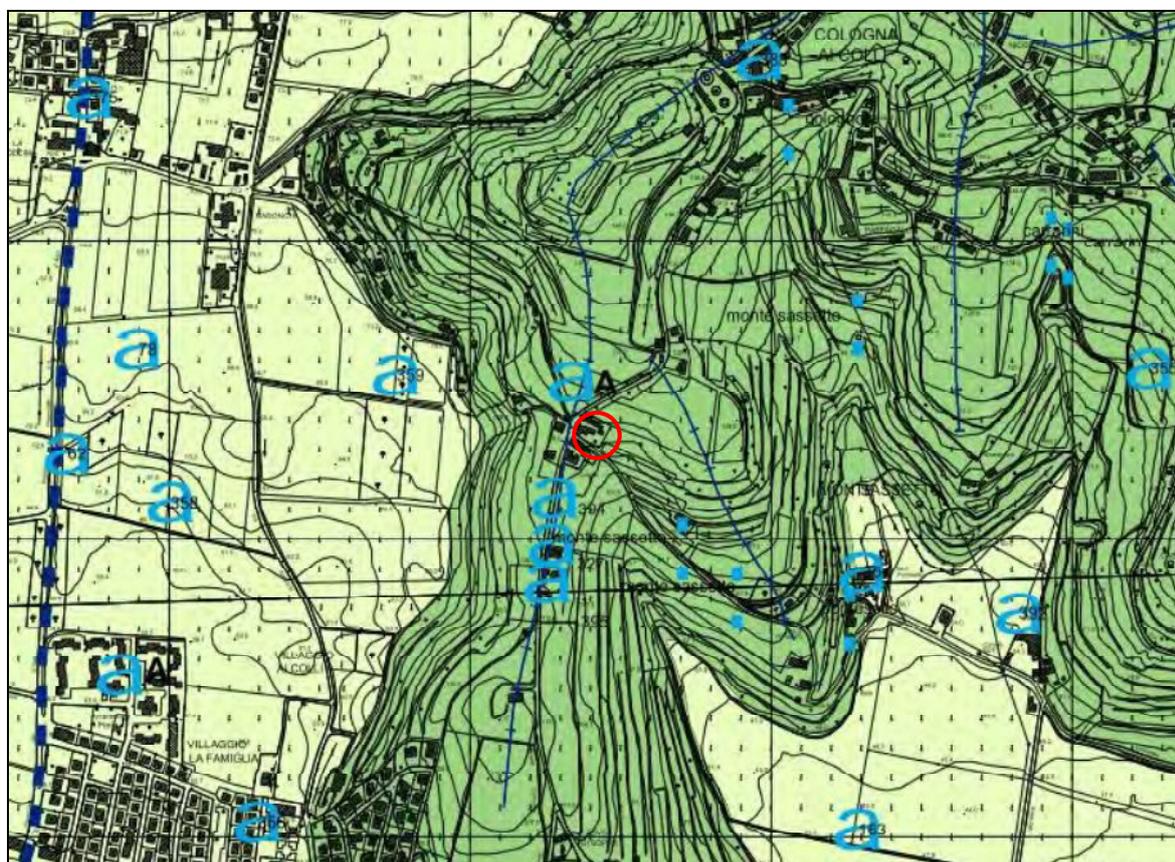
COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

raffreddamento) e porosità (vacuoli legati all'espansione dei prodotti volatili durante la fase di consolidamento) nelle porzioni vulcaniche. L'Acquifero superiore è caratterizzato da elevata capacità di infiltrazione e trasmissione, ma di modesta produttività per limitata estensione e potenza.

Nel settore dei Monti Lessini centrali, gli acquiferi ospitati nelle vulcaniti (piroclastiti e sabbie vulcaniche più o meno cementate) sono in genere di modeste dimensioni e raccolgono sia l'acqua di pioggia che si infiltra direttamente, sia quella che proviene dal dilavamento delle pendici circostanti; ogni serbatoio è separato dagli altri e, presumibilmente, non partecipa alla circolazione generale, salvo la possibilità di un percolamento verso i sistemi calcarei sottostanti.

La direzione di deflusso generale della superficie piezometrica negli acquiferi lessinei è nord - sud lungo linee di flusso disposte parallelamente agli assi vallivi principali; in prossimità dell'area di indagine, il livello idrostatico all'interno dei pozzi per acqua è rilevato a profondità variabili, ma, comunque, ben superiori a 30 m dal piano campagna.



Idrogeologia dell'area di intervento (estratto della Carta Idrogeologica del Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno, elaborata da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto). LEGENDA:

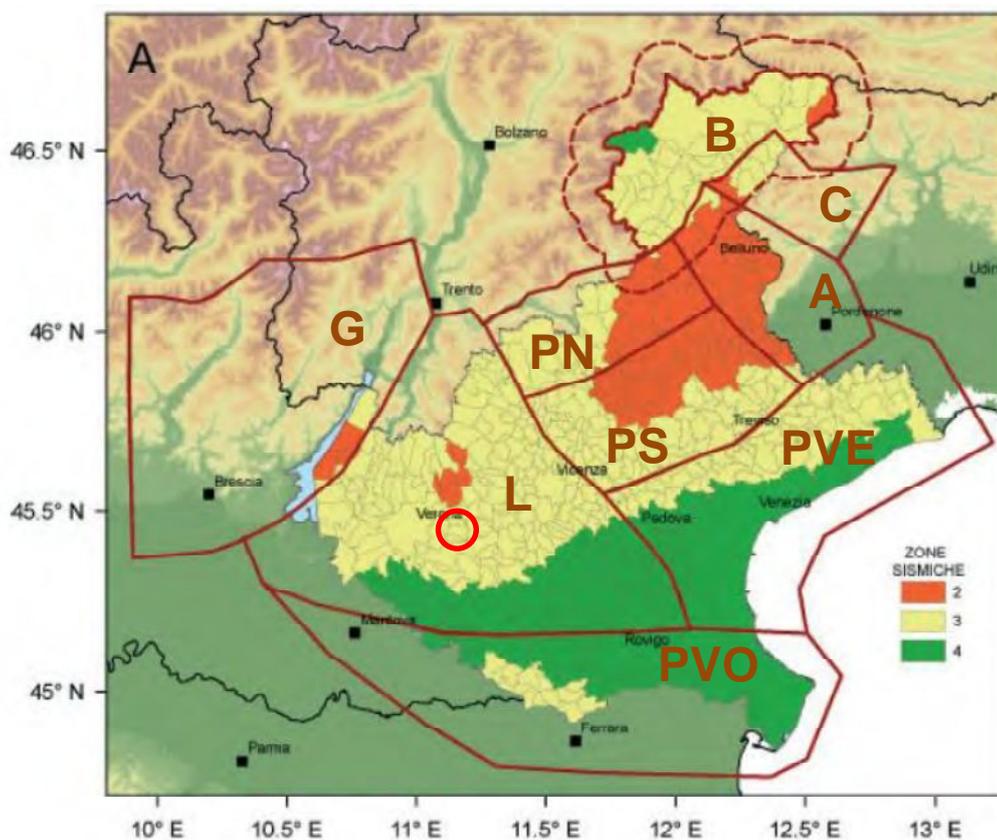
= soggiacenza fra 10 - 30 m; = soggiacenza >30 m.

Il reticolo idrografico presenta una fitta maglia di corsi d'acqua di diversa natura e importanza; essi si caratterizzano, comunque, per l'esiguità della circolazione idrica superficiale attiva: nei rilievi collinari e nelle valli intercollinari, ad eccezione del torrente Tramigna (e delle sue diramazioni) che trae origine da una cospicua sorgente di origine carsica in corrispondenza dell'abitato di Cazzano di Tramigna (600 l/sec), i corsi d'acqua hanno carattere effimero e si riempiono solo in occasione di

precipitazioni particolarmente intense, a causa rispettivamente di un carsismo ben sviluppato che caratterizza tutto il tavolato dei Monti Lessini veronesi e a causa di una elevata permeabilità dei depositi alluvionali di origine lessinea.

2.4) Inquadramento sismotettonico

Per la caratterizzazione sismotettonica dell'area di interesse progettuale, si è fatto riferimento allo studio "Distretti sismici del Veneto"¹, a cura di M. Segan e L. Peruzza. Nella Regione del Veneto, sulla base di dati sismologici, degli elementi geologico-strutturali e delle informazioni relative alla cinematica e alla tettonica attiva, tale studio identifica nove distretti sismici, ovvero areali caratterizzati da elementi sismologici sismogenici comuni, di cui viene fornita la rappresentazione grafica nella seguente figura, unitamente alla vigente classificazione sismica (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. n. 3519/2006).



I distretti sismici e le zone sismiche nel Veneto (fonte: "Distretti sismici nel Veneto", a cura di M. Segan e L. Peruzza, 2011). LEGENDA: **G** = Giudicarie; **L** = Lessini-Schio; **PS** = Pedemontana Sud; **PN** = Pedemontana Nord; **A** = Alpago-Cansiglio; **C** = Claut; **B** = Alto Bellunese-Dolomiti; **PVE** = Pianura Veneta Est; **PVO** = Pianura Veneta Ovest.

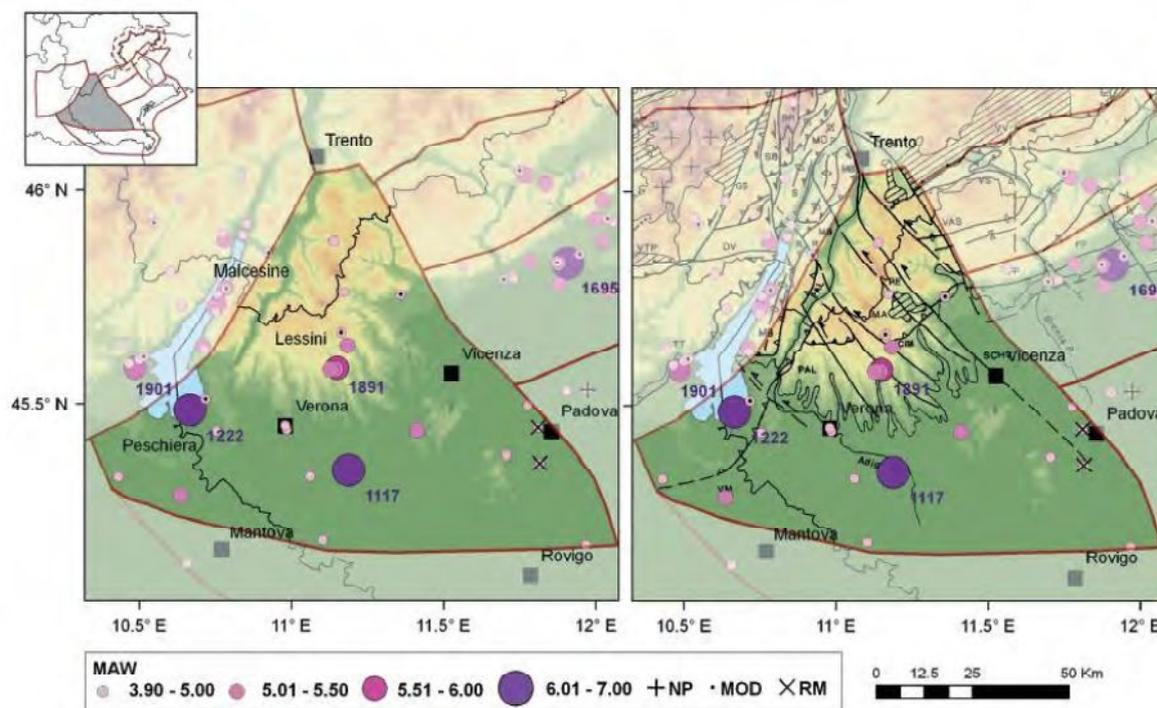
L'area di intervento ricade nel Distretto sismico Lessini-Schio (L), che si estende dai fronti di accavallamento più esterni del sistema delle Giudicarie Meridionali ad ovest, fino alla Flessura Pedemontana ad est e comprende i Monti Lessini, la fascia della Linea Schio-Vicenza e i rilievi dei Monti Berici e dei Colli Euganei.

¹ Distretti sismici del Veneto", a cura di M. Segan e L. Peruzza del Centro Ricerche Sismologiche, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Cussignacco (UD) e Sgonico (TS), pubblicato sul Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata Vol. 52, n. 4 supplement, pp. s3-s90, Dicembre 2011.

L'area è interessata da faglie prevalentemente trascorrenti, disposte NO-SE. Sono mappati anche alcuni elementi tettonici ad andamento ENE-OSO, quali il sovrascorrimento di Cima Marana o il klippen di Castel Malera. Dal punto di vista della neotettonica è in atto un processo di sollevamento articolato dell'area, che la suddivide in piccoli blocchi soggetti sia a sollevamenti differenziali sia a basculamenti ad opera di faglie subverticali, appartenenti ai sistemi giudicariense NNE-SSO, scledense NO-SE e della Valsugana OSO-ENE (Zanferrari et al., 1982). L'intensità del sollevamento aumenta da sud verso nord. La zona dei Lessini orientali, Berici e Euganei è interessata da un movimento di inarcamento anticlinalico, con asse circa OSO-ENE collocabile in corrispondenza dei Berici, mentre i Lessini occidentali sono prevalentemente caratterizzati da basculamenti con abbassamento della porzione occidentale dei blocchi. A tensioni secondarie normali all'asse dell'anticlinale berico-euganea sono imputabili i modesti collassi locali con la formazione di depressioni tettoniche (p. es. graben Vicenza-Montecchio e graben Berici ed Euganei).

La sismicità storica evidenzia che il distretto dei Lessini è una zona potenzialmente interessata da due forti eventi medioevali e da alcuni eventi che hanno superato la soglia del danno ($I_0=VI$ MCS). In quest'area ricadono graficamente gli epicentri derivati da informazioni macrosismiche dei disastrosi eventi di Verona del 3 gennaio 1117 ($MW=6,49$, $I_0=IX-X$ MCS) e del Basso Bresciano del 25 dicembre 1222 ($MW=6,05$, $I_0=VIII-IX$ MCS). Nonostante accurate ricerche (vedi ad es. Galadini et al., 2001b; Galli, 2005; Stucchi et al., 2008), l'evento del 1117 rimane in Pianura Padana uno dei casi più problematici, poiché sia la localizzazione, sia la stima degli effetti è molto incerta. Guidoboni et al. (2005) posizionano l'epicentro nel Veronese, a sud dei Monti Lessini, mentre Galadini et al. (2005), sulla base di recenti studi geologici, paleosismologici e storici, associano l'evento alla sorgente sismogenica denominata Thiene-Bassano, posta ad est del distretto dei Lessini. Per il terremoto del 1222, le ipotesi più recenti lo attribuiscono a strutture sepolte nelle Prealpi Bresciane (Livio et al., 2008, 2009).

Negli ultimi due secoli, l'evento del 7 giugno 1891, localizzato nella Valle d'Illasi, ha causato forti danni ($I_0=VIII-IX$ MCS, $MW=5,71$) in prossimità dell'epicentro e ha fatto registrare effetti al di sopra della soglia del danno in gran parte della Lessinia. Da notare che pochi giorni dopo, il 15 giugno, sono ben documentati anche gli effetti di un evento riferito a Peschiera ($I_0=VI$, $MW=4,83$); analoghe attivazioni ravvicinate nel tempo e nello spazio sono avvenute nel 1895. Sempre nella Valle d'Illasi sono stati localizzati altri tre eventi che hanno raggiunto o superato la soglia del danno, (9 agosto 1892 $MW=5,17$; 9 febbraio 1894 $MW=5,17$; 15 marzo 1908 $MW=5,01$). Anche l'area di Recoaro-Pasubio è stata interessata da eventi in epoca storica (ad es. $I_0=V-VI$ avvenuto il 27 gennaio 1897) e strumentale (unico evento rilevante registrato avvenuto il 13 settembre 1989, $I_0=VI$, $MW=4,96$; $MAG=4,7$, profondità: 9-10 km).



Mappa della sismicità storica del distretto sismico Lessini-Schio (fonte: "Distretti sismici nel Veneto", a cura di M. Segan e L. Peruzza, 2011).

La sismicità registrata strumentalmente dal 1977 al 2010 si concentra nella regione montuosa, entro i 20-25 km di profondità. I terremoti con magnitudo superiore a 3 sono localizzati nella porzione settentrionale della Lessinia e verso la pianura in una fascia delimitata dalla Schio-Vicenza a est e il fiume Adige a ovest.

A parte i comuni di Tregnago, Badia Calavena, San Mauro di Saline, nel veronese, e Crespadoro, nel vicentino, che sono stati inseriti in zona sismica 2, la restante parte di comuni veneti del distretto appartiene alla zona 3 e zona 4, secondo la normativa del 2003, con valori di accelerazione attesi fra 0,050 e 0,175 g. **Colognola ai Colli ricade in Zona Sismica 3, quindi, a sismicità medio - bassa.**

COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

CAPITOLO 3 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

3.1) Volume significativo e prove in sito

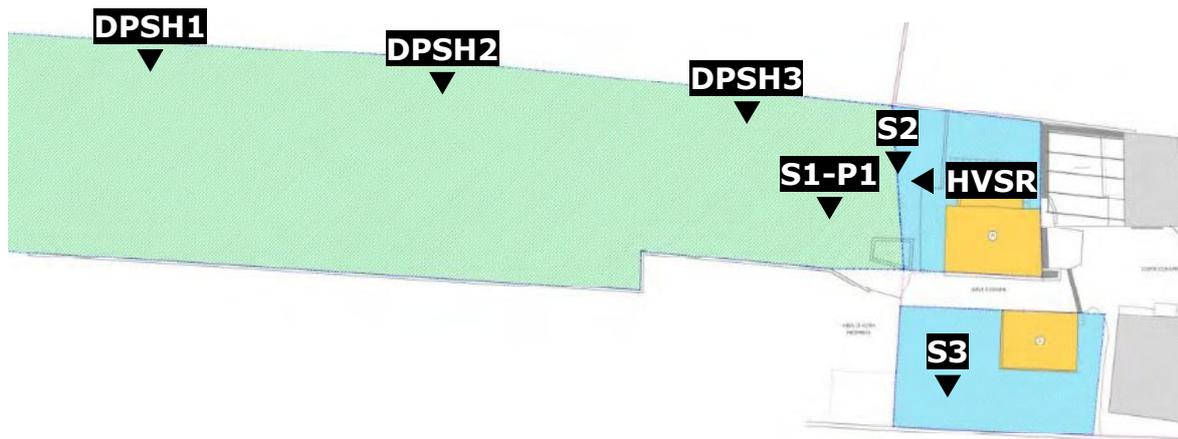
Le indagini geomeccaniche e geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o intervento e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Per **volume significativo di terreno** si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Nei terreni omogenei, la profondità di sottosuolo influenzata (D) è pari a 1÷2 volte il valore della larghezza significativa dell'opera (B) per le fondazioni superficiali (platee, travi e plinti; A.G.I., 1977). Considerato che, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo di riferimento per la definizione dell'azione sismica di progetto, da un punto di vista normativo si intendono i primi 30 m di profondità sotto il piano fondazionale, tale valore è assunto come volume significativo per il caso in esame.

In accordo con la committenza, nel mese di settembre 2014 presso l'area di intervento (nuovo edificio e nuovo muro di sostegno) è stata condotta una specifica campagna di indagini e prove in sito, rappresentata dall'esecuzione di:

- **tre trincee esplorative** a mezzo escavatore, denominate S1÷S3, della profondità, rispettivamente, di 1,1 m (S1), di 1,4 m (S2) e di 1,3 m (S3) dal p.c. locale, allo scopo di verificare direttamente il profilo litostratigrafico superficiale;
- la raccolta di **un campione di terreno**, denominato C1, all'interno della trincea esplorativa S1 tra 0,0 e 1,1 m, da sottoporre ad analisi chimica di laboratorio per la definizione della gestione delle terre e rocce da scavo;
- **una prova di permeabilità in pozzetto**, denominata P1, adatta per i terreni granulari per fornire una valutazione della permeabilità dei terreni superficiali al di sopra del livello di falda;
- **tre prove penetrometriche dinamiche superpesanti o DPSH** ("Dynamic Probing Super Heavy")², denominate DPSH1÷DPSH3, spinte, rispettivamente, alla profondità massima di 7,5 m (DPSH1 e DPSH3) e di 6,0 m (DPSH2) dal p.c. locale, al fine di determinare la litostratigrafia più profonda e la corrispondente resistenza del terreno;
- una **prospezione sismica** con registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), per determinare sperimentalmente il profilo di velocità verticale delle onde di taglio (Vs).

L'ubicazione delle prove e delle misure in sito è riportata nella seguente figura, mentre i risultati complessivi della campagna di prove effettuata sono riportati in allegato alla presente relazione unitamente alla relativa documentazione fotografica.

² Per l'esecuzione dell'indagine geognostica indiretta si è utilizzato un penetrometro "Pagani", montato su autocarro Mercedes Unimog 4x4, predisposto a lavorare sia in modalità statica che dinamica. La modalità operativa dinamica sfrutta il sistema di penetrazione nel terreno di una punta conica metallica per mezzo della caduta libera di un maglio del peso di 73,0 kg da una altezza di 0,75 m e la misura del numero di colpi necessari all'infissione di 30 cm. La Prova Penetrometrica è compresa negli standard ASTM e ISSMFE (1988), oltre che nelle "Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche (1977)" dell'Associazione Geotecnica Italiana, ed è disponibile un'ampia letteratura sull'interpretazione dei dati sperimentali.

**DPSH1****DPSH2****DPSH3**

Ubicazione delle trincee esplorative S1÷S3, della prova di permeabilità P1, delle prove penetrometriche DPSH1÷DPSH3 (con relativa documentazione fotografica) e dell'indagine sismica (HVSR).

3.2) Geomorfologia

La campagna di prove in sito ed il rilevamento tecnico - geologico di campagna, oltre che le informazioni reperite sul sito, hanno consentito di rilevare le locali condizioni geologiche dell'area oggetto di pianificazione attuativa, malgrado una parte di queste siano mascherate e/o elise dall'esistente urbanizzazione.

L'area in esame si sviluppa sul fianco orientale della dorsale collinare Zovo - Cubetta, in parte in corrispondenza della **testata di una delle vallecicole frontali** che incidono la terminazione meridionale della dorsale collinare Illasi - Tramigna; ciò è evidente nelle morfologie complessivamente ad emiciclo concavo che si osservano nella porzione di proprietà intonsa ad est della corte, dove le quote del piano campagna degradano da nord a sud e da est ed ovest verso il centro dell'area; l'area cortiliva è, invece, prossima alla sommità della dorsale Zovo - Cubetta. In corrispondenza della porzione più ribassata del fondo di proprietà, secondo le notizie raccolte, è presente una **piccola area sorgiva intermittente**, non riportata nelle cartografie di settore consultate; essa si attiva, in particolare, in occasione delle stagioni inverno - primaverili molto piovose con trabocco di acqua dal fondo di proprietà e da quello sottostante che, seguendo la naturale pendenza del versante collinare, recapita verso la via Pontesello.

L'area di proprietà risulta stabile in corrispondenza degli esistenti edifici, mentre nel settore centrale del terreno di proprietà intonso la presenza di piccole rotture di pendenza del versante a guisa di scarpatine disposte ad arco di cerchio e la scarsa consistenza dei terreni rilevata dalle prove penetrometriche DPSH1 e DPSH2 rimarcano la presenza di un **movimento franoso superficiale del tipo soliflusso e/o creep**, confermata anche dalle notizie raccolte in loco. Tali fenomeni d'erosione superficiale dei versanti si manifestano tipicamente sui versanti costituiti da rocce

tenere (ad es. argille, marne, siltiti) o nel loro manto d'alterazione superficiale e/o nelle coltri di detrito fine, capaci di assorbire e trattenere grandi quantità d'acqua, con movimenti lentissimi in grado di agire anche su pendii con inclinazione di pochi gradi, interessando le porzioni più superficiali del terreno fino a profondità raramente superiori a qualche metro. Sulla base del tipo di movimento, questi processi lenti e areali sono suddivisi in due principali gruppi che spesso è difficile distinguere:

- *creep* o reptazione: è contraddistinto da un movimento essenzialmente laminare, che decresce gradualmente man mano che si procede in profondità;
- soliflusso: è un colamento lento di una massa fluida molto viscosa, il cui movimento non è necessariamente soggetto ad apprezzabili diminuzioni di velocità verso il basso, ma termina anzi bruscamente in corrispondenza di una superficie di scorrimento netta.

Per quanto riguarda il dilavamento delle **acque di origine meteorica**, all'interno della corte rurale le acque raccolte dai tetti vengono convogliate dai pluviali per lo più al suolo; nella porzione più orientale della corte, queste, assieme a quelle di dilavamento della pavimentazione interna della corte (prevalentemente in cemento), recapitano verso il lato occidentale del fabbricato denominato A di proprietà della Signora Cason Sabrina, dove sono raccolte da una griglia e da una contropendenza artificiale in cemento, proseguono verso il lato sud dello stesso fabbricato per scaricarsi sul fondo agricolo di valle destinato a vigneto; il recapito è contrassegnato da un solco di ruscellamento idrico concentrato.

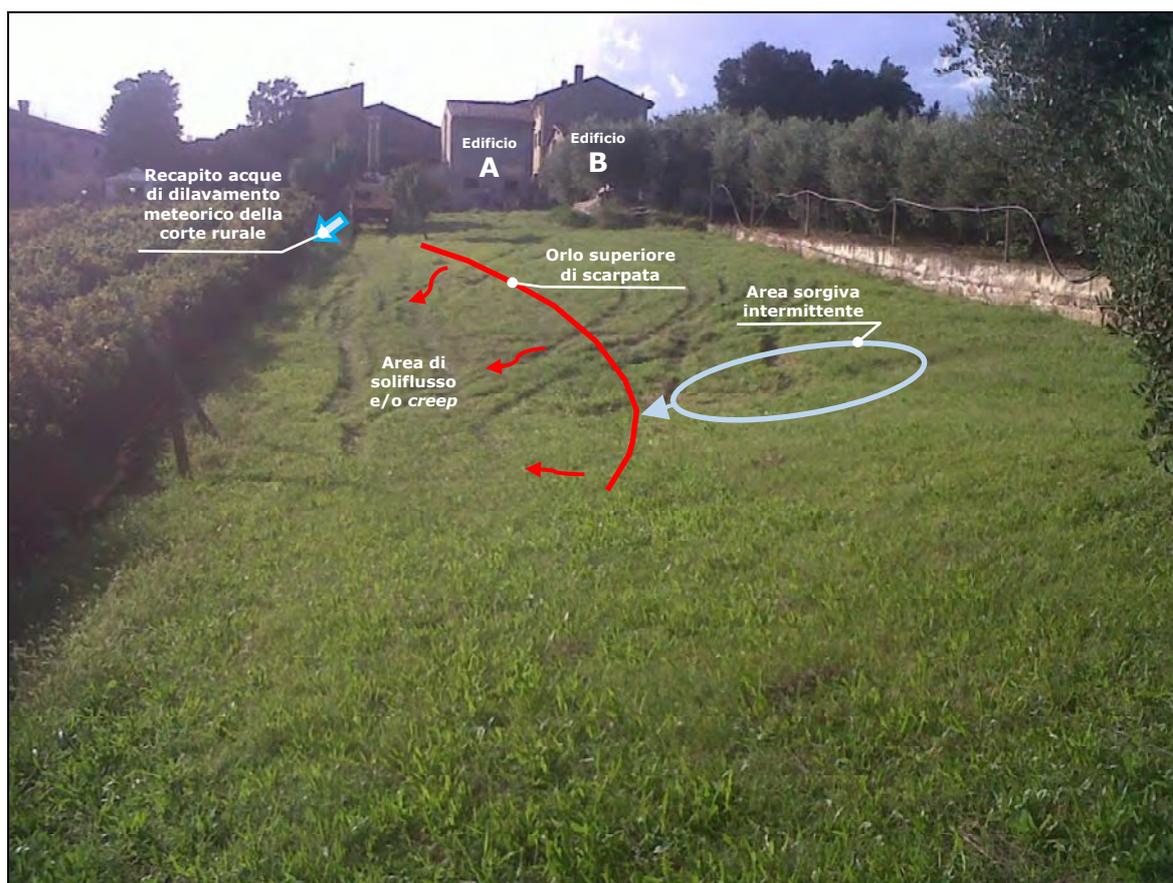
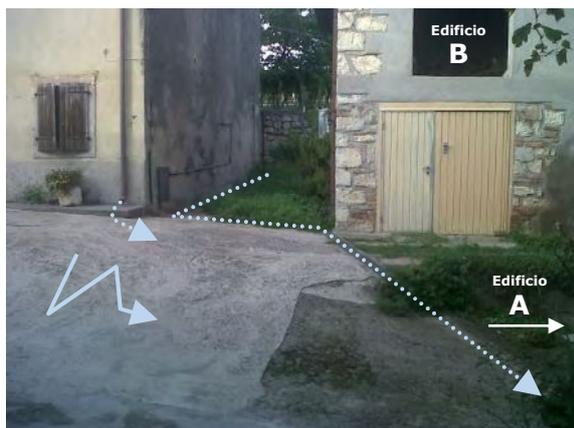


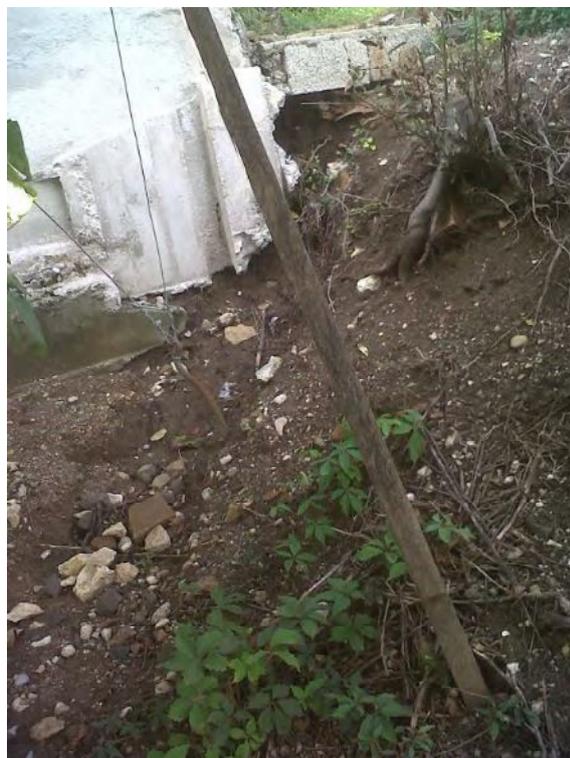
Foto panoramica dell'area di proprietà della Signora Cason Sabrina (veduta da est verso ovest) con evidenziati gli elementi geomorfologici locali.



Le acque di dilavamento meteorico della porzione più orientale della corte rurale vengono raccolte sul lato occidentale dell'edificio A.



Lo scorrimento delle acque di dilavamento meteorico sul lato occidentale dell'edificio A in occasione di una debole precipitazione meteorica.



Le acque di dilavamento meteorico raccolte sul lato occidentale dell'edificio A proseguono lungo il lato sud dello stesso edificio per recapitare sul fondo agricolo di valle; nella fotografia è ripreso il solco di ruscellamento idrico concentrato in corrispondenza del recapito.

3.3) Profilo litostratigrafico locale

La campagna di prove ha permesso di accertare il profilo litostratigrafico di dettaglio del sottosuolo, sulla scorta della conoscenza geologica locale acquisita con il rilevamento di campagna. Dal punto di vista metodologico il profilo litostratigrafico di dettaglio del terreno di fondazione dell'area oggetto di analisi è stato *direttamente* desunto dalla visione diretta del materiale presente nelle pareti delle trincee esplorative e *indirettamente* desunto dall'interpretazione dei risultati analitici delle prove penetrometriche e della prospezione sismica riportate in allegato.

Il sottosuolo locale più superficiale risulta interamente costituito dalle **vulcanoclastiti basaltiche giallastre e/o rossastre appartenenti alle Formazioni Eruttive**, localmente interessate da processi di disgregazione fisica e alterazione chimica che ne variano fortemente le caratteristiche; in particolare, in corrispondenza dell'area interessata dal fenomeno di soliflusso e/o *creep*, i litotipi vulcanoclastici risultano argillificati fino alla profondità massima di circa - 6 m dal p.c. nella prova DPSH1, profondità che si riduce progressivamente a circa - 5 m dal p.c. nella prova DPSH2 fino ad azzerarsi nella prova DPSH3.

In superficie, tale substrato roccioso è ricoperto da materiali antropici nelle zone urbanizzate o da una coltre di materiali eluvio-colluvionali argillosi e/o limo argillosi, ricchi di frammenti litoidi del sottostante substrato roccioso nelle zone non urbanizzate.

Il rilevamento geologico - tecnico ha consentito di verificare che, in corrispondenza del versante sul quale è ubicata l'area oggetto di pianificazione, lo spessore complessivo della formazione può arrivare fino a poche decine di metri e che essa è seguita in profondità, o lateralmente, dai litotipi della Formazione dei Calcari nummulitici eocenici.

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha confermato la presenza di un materiale poco addensato fino a 1,2 m dal p.c. locale, caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde di taglio S (Vs) di circa 130 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs pari a circa 270 m/s fino a circa 9,2 m dal p.c. A tale profondità si segnala un successivo aumento della Vs a circa 550 m/s verosimilmente associabile ad un materiale granulare addensato o ad una roccia fratturata / alterata.

L'ammasso roccioso che, dal punto di vista sismico, si comporta indicativamente come un *bedrock geofisico* (Vs ≈ 820 m/s) è individuabile a circa 28 m dal p.c. locale.

Il profilo litostratigrafico viene quindi schematicamente suddiviso come riportato nella seguente tabella.

Strato	Profondità da p.c. (m)	Litologia correlata
0	0,0 - 0,4	<i>Terreno vegetale di colore brunastro, talora misto a materiali di riporto connessi all'urbanizzazione dell'area.</i>
1	0,4 - 1,2	<i>Coltre detritica - argille e/o limi argillosi varicolori, ricche di frammenti litoidi in assetto caotico del sottostante substrato roccioso; Vs = 130 m/s.</i>
2b	1,2 - 7,5	<i>Formazioni Eruttive - vulcanoclastiti basaltiche bruno rossastre, variamente fratturate e/o coerenti; Vs = 270 m/s.</i>

Profilo litostratigrafico desunto dall'esecuzione delle prove in sito S1÷S3, DPSH3 e HVSR, all'esterno dell'area interessata dai fenomeni di soliflusso e/o creep.

Strato	Profondità da p.c. (m)	Litologia correlata
0	0,0 - 0,4	<i>Terreno vegetale di colore brunastro.</i>
1	0,4 - 1,2	<i>Coltre detritica - argille e/o limi argillosi varicolori ricche di frammenti litoidi in assetto caotico del sottostante substrato roccioso.</i>
2a	1,2 - 5,0÷6,0	<i>Formazioni Eruttive - vulcanoclastiti basaltiche argillificate.</i>
2b	5,0÷6,0 - 7,2	<i>Formazioni Eruttive - vulcanoclastiti basaltiche, variamente fratturate e/o coerenti.</i>

Profilo litostratigrafico desunto dall'esecuzione delle prove DPSH1 e DPSH2, all'interno dell'area interessata dai fenomeni di soliflusso e/o creep.

E' da rilevare fin d'ora che **il nuovo edificio ed il nuovo muro di sostegno dovranno essere fondati sulla roccia in giacitura naturale omogenea ed integra.**

Per il nuovo edificio, in fase di realizzazione, dovrà essere accertata la presenza continua dell'ammasso roccioso omogeneo su tutta la base d'appoggio; nel caso in cui il piano di fondazione presenti disomogenee caratteristiche geomeccaniche o si verificano locali ispessimenti del terreno di copertura, si provvederà ad approfondire lo scavo fino al raggiungimento del substrato roccioso più tenace, eseguendo delle bonifiche per sostituzione con magrone di calcestruzzo per il livellamento della quota d'imposta delle fondazioni.

Il nuovo muro di sostegno interessa, invece, *litofacies* fortemente diversificate ed, in particolare, le vulcaniti argillificate dell'area interessata dai fenomeni di soliflusso e/o *creep*; tale condizione impone la necessità di studiare, nelle successive fasi attuative dell'intervento, la progettazione di fondazioni indirette (es. pali di punta).

3.3) Idrogeologia

Per quanto riguarda le proprietà idrogeologiche di dettaglio del sottosuolo indagato, il rilevamento geologico - tecnico ha permesso di accertare che i terreni oggetto dell'intervento di progetto sono afferenti all'Acquifero superiore vulcanico, nelle cui porzioni superficiali si è constatata la **prevalente assenza di falda idrica attiva**, condizione riscontrata nelle prove in sito S1÷S3 e DPSH3. Tuttavia, in corrispondenza della porzione più ribassata del fondo di proprietà, secondo le notizie raccolte, è presente una **piccola area sorgiva intermittente**, che si attiva, in particolare, in occasione delle stagioni inverno - primaverili molto piovose. Nelle prove in sito DPSH1 e DPSH2, le aste del penetrometro infisse più in profondità sono, infatti, risultate moderatamente bagnate durante l'estrazione, evidenziando la presenza idrica verosimilmente trattenuta dal contatto fra l'orizzonte di vulcanoclastiti argillificate e le sottostanti vulcanoclastiti variamente fratturate e/o coerenti.

Non si esclude comunque la presenza discontinua di falde effimere superficiali legate all'infiltrazione meteorica diretta in corrispondenza degli eventi piovosi più intensi e duraturi anche nelle rimanenti porzioni dell'area di proprietà.

Vista la tipologia dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area di intervento e la necessità di verificare la gestione locale per la dispersione delle acque di origine meteorica, all'interno della trincea esplorativa S1, si è effettuata una **prova di permeabilità a carico variabile P1**, riempiendo parzialmente il pozzetto con acqua (cfr. Allegato).



Fase di preparazione del pozzetto di prova delle dimensioni di 1,05 x 0,35 x 1,10 m.



I livelli idrici all'interno del pozzetto hanno raggiunto un'altezza max di 0,88 m.

Le condizioni al contorno perché le prove siano significative (A.G.I., 1977) vogliono che il terreno sia stato saturato preventivamente in modo da stabilire un regime di

flusso permanente, che la profondità del pozzetto sia 1/7 dell'altezza del fondo scavo dal livello di falda, che il diametro o il lato di base del pozzetto sia almeno 10 volte il diametro max dei granuli del terreno e che il terreno sia omogeneo, isotropo e con coefficiente di permeabilità $K > 10^{-6}$ m/s. Si è utilizzato come valore "d", il lato della sezione quadrata equivalente a quella di scavo (rettangolare).

Il coefficiente di permeabilità viene calcolato con la seguente relazione:

$$K = [(h_2 - h_1) / (t_2 - t_1)] \times \{[(1 + 2h_m/d)] / [27(h_m/d)+3]\} \quad [cm/s]$$

dove h_m = altezza media dell'acqua nel pozzetto ($h_m > d/4$);

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo;

$h_2 - h_1$ = variazione del livello dell'acqua nell'intervallo $t_2 - t_1$;

d = lato del pozzetto.

Associando i dati ricavati dalla prova alle informazioni ottenibili dalla letteratura esistente si evince come, per i terreni in esame, è possibile definire quantitativamente il coefficiente di permeabilità e qualitativamente i loro parametri idrogeologici (grado di permeabilità K e drenaggio), come descritto nella tabella seguente.

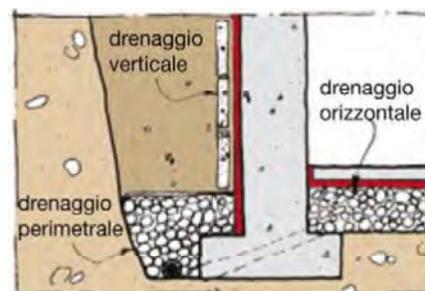
Trincea	Prof. da p.c. (m)	Litologia	K (cm/s)	Grado di K	Drenaggio
S1 / P1	1,10	argille e/o limi argillosi	1,11 x 10⁻³	medio / basso	buono / povero

Dati e risultati della prova di permeabilità P1.

La permeabilità primaria e secondaria medio bassa dei litotipi indagati e la presenza di un'area soggetta al fenomeno del soliflusso e/o *creep* imporrebbe di evitare la locale predisposizione di sistemi di dispersione al suolo delle acque di origine meteorica; si renderebbe, invece, necessario predisporre opere per la regimazione idraulica delle acque di dilavamento provenienti sia dalla corte che dalle stesse aree di trasformazione con recapito nella rete scolante superficiale, per facilitarne il rapido allontanamento ed evitarne l'infiltrazione nei terreni, che potrebbe altrimenti farne scendere le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche e/o accelerare il fenomeno del soliflusso e/o *creep*. Tuttavia, l'assenza di impluvi naturali e/o artificiali stabili nell'intorno dell'area oggetto di intervento, verificata anche presso il Comune di Colognola ai Colli, porta alla necessità di predisporre un sistema di gestione con dispersione al suolo da predisporre sotto la nuova area verde e di parcheggio di proprietà in modo da essere il più distante possibile dall'area soggetta a soliflusso e/o *creep*.

Per la gestione delle falde sospese superficiali, è necessario predisporre, a protezione del piano interrato in progetto, adeguati **sistemi di drenaggio** verticale e perimetrale raccordati, alla base, a tubi drenanti posti a tergo delle fondazioni per l'abbattimento e l'allontanamento in sicurezza delle acque ipogee.

Esempio schematico di drenaggio di un interrato.



3.3) Caratterizzazione geomeccanica e geotecnica

La determinazione delle proprietà geomeccaniche e geotecniche del sottosuolo sottostante l'area di intervento presenta metodologie diversificate per l'ammasso propriamente roccioso (lo Strato 2b del profilo litostratigrafico locale che costituisce il terreno di fondazione del nuovo edificio) e per l'ammasso a comportamento terroso (lo Strato 2a dello stesso profilo che costituisce, per buona parte, il terreno di fondazione del muro di sostegno).

Le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso (Strato 2b = vulcanoclastiti basaltiche variamente fratturate e/o coerenti appartenenti alle Formazioni Eruttive) sono state determinate mediante il rilevamento geomeccanico degli affioramenti localizzati nell'intorno dell'area oggetto di indagine, in corrispondenza di sbancamenti, di scarpate o di altre rotture di pendenza del versante, al fine di analizzare le discontinuità presenti, primarie e secondarie, che ne influenzano il comportamento.

I parametri osservati in campagna hanno lo scopo di classificare l'ammasso roccioso, al fine di evidenziare i caratteri tecnici della massa rocciosa. Tra i diversi sistemi di classificazione si è utilizzato, ai fini del presente lavoro, la Classificazione di Bieniawski (1973 - 1984), nota come Classificazione RMR (Rock Mass Rating), che consente non solo una valutazione qualitativa ma anche quantitativa di dettaglio della massa rocciosa, in quanto consente di associare all'indice RMR i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso, coesione e angolo d'attrito. In condizioni di sicurezza, **il substrato roccioso più superficiale per l'area in esame è stato classificato, secondo l'abaco di Bieniawski, con qualità di ammasso roccioso scadente e appartenente alla classe IV.** Al riguardo, anche l'interpretazione dell'indagine di sismica passiva evidenzia che trattasi di "roccia tenera" fino ad almeno la profondità di 28 m dal p.c., essendo la velocità verticale delle onde di taglio Vs compresa fra 270 ÷ 550 m/s.

Strato	Litologia	\emptyset (°)	C (kN/mq)	γ_{nat} (kN/mc)	γ_{sat} (kN/mc)
2b	Formazioni Eruttive - vulcanoclastiti basaltiche bruno rossastre, variamente fratturate e/o coerenti.	25	100	20	22

Modello geomeccanico locale dell'ammasso roccioso (parametri geotecnici caratteristici: \emptyset = angolo di attrito, C = coesione, γ_{nat} = peso di volume, γ_{sat} = peso di volume saturo).

Per quanto riguarda l'ammasso terroso (Strato 2a = vulcanoclastiti basaltiche argillificate appartenenti alle Formazioni Eruttive), le caratteristiche geotecniche vengono determinate l'applicazione di relazioni empiriche ai risultati analitici della prova penetrometrica, misurati per avanzamenti di profondità di 30 cm. L'analisi statistica dei parametri geotecnici caratteristici dedotta puntualmente per ogni avanzamento di profondità di 30 cm, consente di evidenziare le **scadenti proprietà geotecniche del sottosuolo in corrispondenza dell'area soggetta a soliflusso e/o creep.**

Strato	Litologia	Rp _{medio} (kg/cmq)	\emptyset (°)	Cu (kN/mq)	γ_{nat} (kN/mc)	γ_{sat} (kN/mc)
2a	Formazioni Eruttive - vulcanoclastiti basaltiche argillificate.	1,12	-	20	18	20

Modello geotecnico locale dell'ammasso terroso (parametri geotecnici caratteristici: Rp = resistenza alla punta, \emptyset = angolo di attrito, Cu = coesione non drenata, γ_{nat} = peso di volume, γ_{sat} = peso di volume saturo).

3.4) Caratterizzazione sismica

Secondo il vigente D.M. 14 gennaio 2008, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati³, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R dato dal prodotto della vita nominale V_N dell'opera strutturale per il coefficiente d'uso C_U . Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della "Strategia di progettazione" adottata, una volta definita la Vita Nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura.

In termini di analisi sismica di sito, la caratterizzazione sismica del sottosuolo è stata resa possibile dall'esecuzione della registrazione di rumore sismico ambientale elaborata con la tecnica di Nakamura (H.V.S.R.), che ha consentito, in particolare, di individuare le discontinuità sismiche e la profondità del *bedrock* geofisico e di stimare le velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s e $V_{s,30}$) e le frequenze di vibrazione del terreno. Il rilievo nello specifico ha innanzitutto fornito i dati sismici (modello sismo - stratigrafico interpretativo) riportati nella seguente tabella.

H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	130	1,2	0,0 - 1,2
II SISMOSTRATO	270	8	1,2 - 9,2
III SISMOSTRATO	550	19	9,2 - ≈ 28
IV SISMOSTRATO	820	Semisp.	≈ 28 - Semisp.

Modello sismo - stratigrafico locale.

La **frequenza caratteristica di risonanza di sito**, nell'intervallo di normale interesse ingegneristico - strutturale, è risultata di circa **5,72 Hz**. Si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare anche gli intervalli frequenziali $4,2 \div 9,5$ Hz come *range* di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico. È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio. Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione naturale del terreno poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, è necessario individuare la categoria di sottosuolo di riferimento sulla base dei valori della velocità equivalente di

³ Nei confronti delle azioni sismiche sono stati limite di esercizio lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD); sono stati limite ultimi lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

$V_{s,30}$ [m/s], inteso come velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, o sulla base del valore di $N_{SPT,30}$, secondo la seguente relazione:

$$V_{s,30} = 30 / \sum_{i=1,N} h_i/V_i \quad [m/s]$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. Tale parametro di resistenza del sottosuolo può essere dedotto direttamente attraverso indagini geofisiche o anche attraverso l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche o sulla base della coesione non drenata media.

L'indagine di sismica passiva eseguita nel sito ha permesso di determinare il profilo verticale delle V_s e di classificare il **profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione nella categoria di sottosuolo - E -** come definita al punto 3.2.2 dell'Allegato del D.M. 14 gennaio 2008 "Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)".

3.5) Verifica preliminare della capacità portante del nuovo edificio

La verifica della capacità portante rappresenta uno degli stati limite ultimi di tipo geotecnico (GEO) per le fondazioni superficiali ed esprime il collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno. Si precisa che per la valutazione della capacità portante del terreno e per le conseguenti verifiche dei cedimenti sono state esaminate alcune ipotesi preliminari relative alla tipologia ed al dimensionamento delle strutture di fondazione, tenendo a ribadire che tali verifiche della stabilità dell'entità terreno - fondazione sono da considerarsi indicative e non costituiscono pertanto fase progettuale, ma rappresentano un'ipotesi di lavoro sui parametri geomeccanici adottati.

Le verifiche di sicurezza agli SLU di tipo geotecnico per il collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (D.M. 14 gennaio 2008 - paragrafo 6.4.2 "Fondazioni superficiali" dell'Allegato Tecnico) devono essere effettuate impiegando almeno uno dei due approcci previsti dalla normativa, approcci che utilizzano diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3)⁴.

Per quanto riguarda il nuovo edificio, nell'ipotesi di adozione di fondazioni dirette uniformemente appoggiate sul substrato roccioso, compatibilmente con i carichi previsti dal progettista strutturale, esse possono essere progettate con il metodo che prevede l'utilizzo di un valore presunto della portanza, determinato in maniera empirica, sulla base dell'esperienza comparabile e di risultati delle misure in sito.

Considerata la possibile variabilità laterale delle caratteristiche dell'ammasso roccioso, in fase di realizzazione, qualora si verifichi che il piano di fondazione presenti disomogenee caratteristiche geomeccaniche o si verifichino locali ispessimenti del terreno di copertura o dell'ammasso roccioso alterato / fratturato, per garantire un'omogeneità di comportamento ed evitare così possibili assestamenti, dovrà essere approfondito lo scavo fino al raggiungimento del substrato roccioso più tenace, eseguendo delle bonifiche per sostituzione con magrone di calcestruzzo per il livellamento della quota d'imposta delle fondazioni. In ogni caso, il piano di posa delle fondazioni dovrà essere preparato a regola d'arte e dovrà essere regolarizzato e

⁴ Nel complesso si verificano le seguenti opzioni:

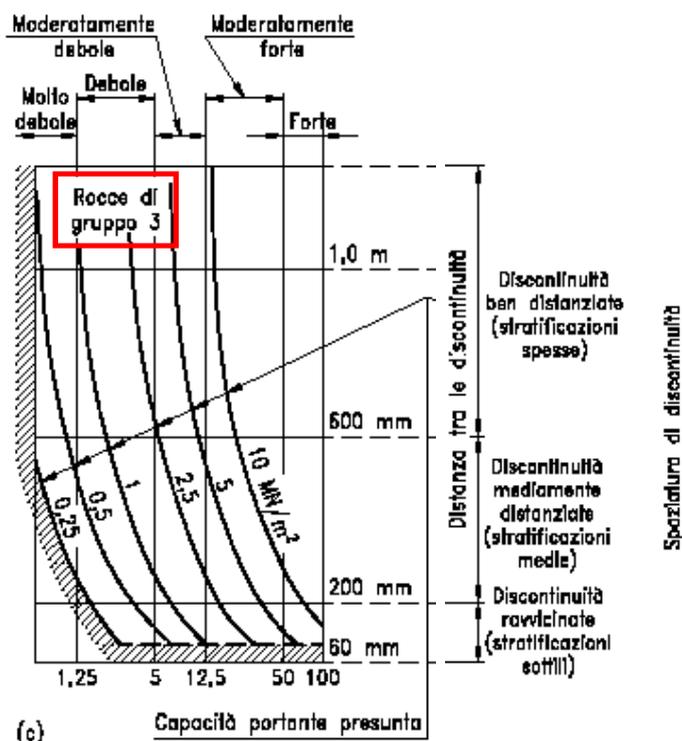
- APPROCCIO 1 - Combinazione 1: (A1+M1+R1), generalmente non significativa ai fini della verifica geotecnica;
- APPROCCIO 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2);
- APPROCCIO 2: (A1+M1+R3).

protetto con calcestruzzo magro. Le fondazioni dovranno essere gettate subito dopo l'esecuzione dello scavo per evitare il rammollimento del terreno per effetto dell'umidità, diversamente si consiglia di lasciare uno strato di 10-15 cm di terreno naturale da rimuovere quando si è pronti per il getto.

In via del tutto preliminare ed indicativa, per gli ammassi rocciosi aventi caratteristiche analoghe a quelle del caso in analisi, la portanza presunta per plinti quadrati si può ottenere dall'esame della seguente figura, nell'ipotesi che la struttura possa sopportare cedimenti pari allo 0,5% della larghezza della fondazione.

CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE TENERE E FRATTURATE	
Gruppo	Tipo di roccia
1	Calcari e dolomie puri Arenarie carbonatiche di bassa porosità
2	Ignee Calcari oolitici e marnosi Arenarie ben cementate Siltiti carbonatiche diagenizzate Rocce metamorfiche, comprendenti ardesie e scisti (sfaldatura hor.)
3	Calcari molto marnosi Arenarie scarsamente cementate Ardesie e scisti (sfaldatura inc.)
4	Siltiti e argilliti non cementate

Resistenza alla compressione semplice (MN/mq)



Portanza presunta per fondazioni su roccia (estratto da: Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - UNI ENV 1997-1:1997).

Ad ogni modo, sulla base delle considerazioni sovraesposte, tenuto conto delle condizioni geologico - geomorfologiche locali e delle caratteristiche variabili dei litotipi di imposta, si ritiene giustificato assumere, con adeguato margine di sicurezza, un valore di **capacità portante delle ipotizzate fondazioni dirette** valido per tutta la porzione del nuovo fabbricato pari a **200 kN/mq \approx 20 t/mq = 2,0 kg/cmq.**

Si ricorda che il valore ottenuto dovrà essere ricalcolato sulla base delle effettive scelte progettuali, una volta nota l'entità e l'eccentricità dei carichi: **resta comunque di stretta competenza del progettista strutturale la scelta definitiva ed esecutiva della tipologia e del dimensionamento delle fondazioni da adottare, che sarà subordinata all'individuazione dei parametri progettuali definitivi.**

Si ricorda, invece, che per quanto riguarda la progettazione del muro occorre verificare l'adozione di fondazioni indirette (es. pali di punta), il cui dimensionamento esula dagli scopi della presente relazione.

3.6) Valutazione dei cedimenti del nuovo edificio

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa; le componenti verticali di tali spostamenti

assumono il ruolo di cedimenti. Secondo quanto stabilito dalla **Circolare LL.PP. n. 617 del 2 febbraio 2009 (paragrafo C6.4.2.2) per la loro verifica agli stati limite di esercizio sono da adoperarsi i valori caratteristici delle proprietà meccaniche e i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza sono sempre unitari.**

Per quanto riguarda la realizzazione del nuovo edificio, considerata la natura del substrato roccioso, si ritiene giustificato assumere che **i cedimenti siano da considerarsi trascurabili sia in valore assoluto che differenziale.** Si ribadisce, comunque, l'importanza che le nuove strutture siano fondate su di un substrato roccioso dalle caratteristiche geomeccaniche uniformi.

3.7) Valutazione di stabilità delle pareti di scavo

L'intervento in esame prevede la realizzazione di un nuovo edificio con interrato, tale da comportare l'esecuzione di fronti di scavo in roccia dell'altezza stimata massima di circa 3,5 m. Considerata la natura e la tipologia dell'intervento, le caratteristiche locali dell'ammasso roccioso interessato dagli sbancamenti e la geologia dell'area, si è optato per una verifica speditiva della stabilità delle pareti di scavo, su base cinematica, volta ad analizzare le ipotetiche condizioni di instabilità rispetto ai parametri geomeccanici rilevati e di cui al paragrafo 3.3. In linea generale, si può affermare che le **caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso siano di per sé garanti rispetto alle condizioni di stabilità a breve termine delle pareti di scavo provvisori**, valutabili nell'arco della durata di vita del cantiere.

Ai fini della sicurezza degli operatori di cantiere, le principali problematiche sono riconducibili all'eventuale distacco di blocchi a ridotto volume unitario dalla scarpata stessa. Oltre a ricordare il rispetto della dotazione di sicurezza degli operatori, è necessario procedere a:

- la regimazione delle acque di origine meteorica in testa alle scarpate provvisori per l'allontanamento degli eccessi di precipitazione;
- la realizzazione dei fronti con un angolo di scarpa massimo pari a 70° rispetto all'orizzontale in roccia e, in corrispondenza dei materiali riportati o di terreni di copertura particolarmente spessi, l'inclinazione dovrà essere inferiore e stabilita compatibilmente con il comportamento che dimostreranno in fase di scavo (indicativamente 30° rispetto all'orizzontale);
- il disgaggio dei blocchi lapidei che si trovano in condizioni di stabilità precaria sui fronti e lungo i cigli: essi dovranno essere rimossi preliminarmente alla posa dei sistemi di protezione;
- la copertura dei fronti di scavo con teli impermeabili opportunamente fissati: tale accorgimento permetterà anche il controllo di eventuali cadute di elementi lapidei, anche di piccola pezzatura, verso l'area di lavoro;
- garantire una distanza ai mezzi operatori pesanti ed ai depositi temporanei di materiale superiore a circa 3 m dal ciglio scavo: non dovranno essere presenti carichi di alcun tipo, sia permanenti che temporanei, agenti sul ciglio.

In fase esecutiva andranno comunque segnalate eventuali situazioni anomale, non riscontrate in questa fase di indagine preliminare.

Le opere da realizzarsi in adiacenza alle esistenti strutture murarie dovranno essere eseguite con scavo per conci con contestuale sottomurazione o altra metodica che consenta la sicurezza dei lavori e delle opere.

CAPITOLO 4 – GESTIONE DEI MATERIALI DA SCAVO

Al fine di accertare la corretta modalità di gestione del materiale da scavo originato a seguito dell'attività di costruzione dell'intervento, in corrispondenza della trincea esplorativa S2 in data 17 settembre 2014, è stato prelevato **un campione medio di terreno denominato C1 (Rapporto di Prova 1401309-002/29.09.2014)**.

I materiali da scavo possono essere gestiti, secondo il quadro normativo attuale⁵, secondo le seguenti tre modalità:

- A. i materiali da scavo, sia in giacitura naturale che di riporto, possono essere allontanati come RIFIUTI** ai sensi della parte quarta del D.Lgs. n. 152/2006 (cioè gestiti da ditte regolarmente autorizzate - leggasi rintracciabilità con Formulario Rifiuti);
- B. i materiali da scavo in giacitura naturale possono perdere la qualifica di rifiuti e divenire SOTTOPRODOTTI** ad alcune condizioni, secondo le due seguenti modalità operative:
- B1. art. 41 della Legge n. 98/2013:** gli interventi sottoposti a VIA o AIA possono trattare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti e devono fare il Piano di Utilizzo di cui al D.M. 161/2012;
- B2. art. 41bis della Legge n. 98/2013:** per tutti gli altri interventi che originano materiali da scavo *in uscita dal cantiere*, indipendentemente dal volume, possono essere trattati come sottoprodotti; è previsto che il proponente o il produttore attesti il rispetto dei quattro punti (comma 1) che consentono di considerare i materiali da scavo come sottoprodotti e non rifiuti mediante una "autocertificazione";
- C. i materiali da scavo, sia in giacitura naturale che di riporto, non sono NE RIFIUTI NE SOTTOPRODOTTI, ai sensi dell'art. 185, comma 1, lettera c) del D.Lgs. n. 152/2006:** non rientra nel campo di applicazione della parte quarta del D.Lgs. n. 152/2006 « ... *il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato ...*»; le matrici materiali di riporto devono, inoltre, essere sottoposte a test di cessione.

In relazione alla tipologia ed alla localizzazione del sito, le risultanze derivanti dall'inquadramento territoriale, urbanistico e geologico (con particolare riferimento alla stratigrafia) e dall'analisi storica del sito evidenziano l'assenza di rilevanti fonti di pressione ambientale che possano aver influenzato le caratteristiche del sito in termini di qualità del terreno da scavare. Pertanto, i parametri da determinare per i siti privi di fonti di pressione ambientale sono:

- Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco;
- Idrocarburi pesanti (C>12);
- Amianto

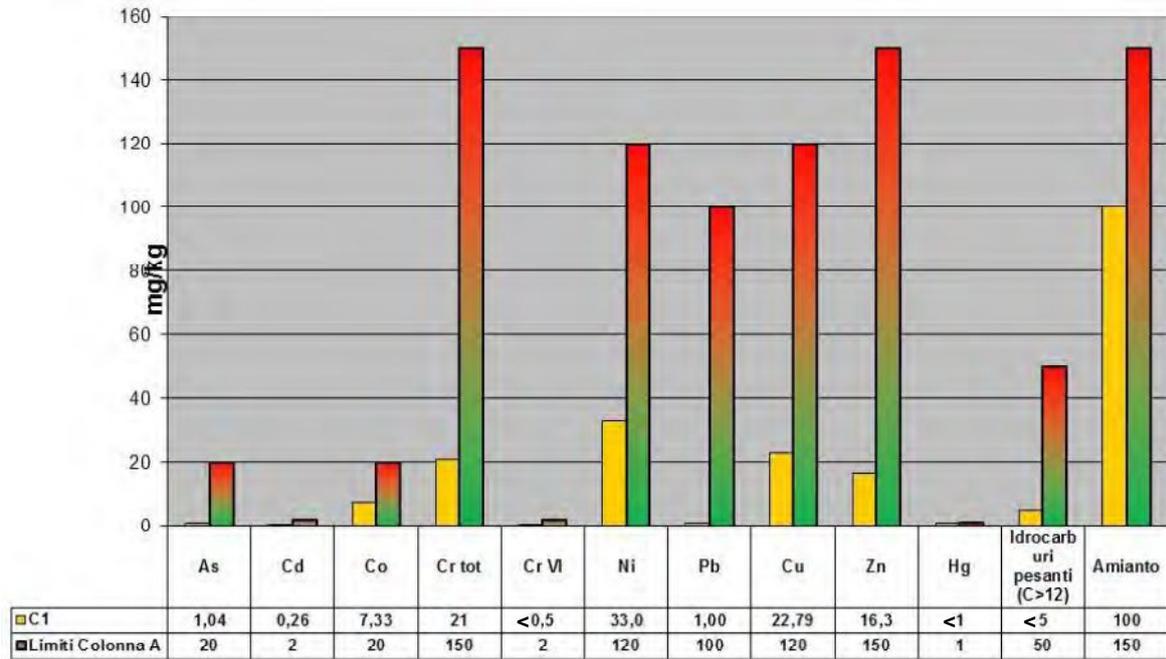
Le analisi chimiche di laboratorio su tale campione di terreno evidenziano che le concentrazioni degli inquinanti ricercati rientrano nei limiti di cui alla colonna A della Tabella 1 dell'Allegato 5 alla parte IV - Titolo V del D.Lgs. n. 152/2006, accertando

⁵ Con la pubblicazione (S.O. n. 63 della G.U. n. 194 del 20 agosto 2013) della legge n. 98 del 9 agosto 2013 di conversione, con modifiche, del decreto legge 21 giugno 2013, n. 69, recante "Disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia" (cd "Decreto Fare"), in vigore dal 21 agosto 2013, la normativa in materia di gestione dei materiali da scavo è radicalmente mutata.

COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

l'assenza di contaminazione e la possibilità di gestire i materiali da scavo in giacitura naturale come sottoprodotti in qualsiasi sito di destinazione.



I risultati delle analisi chimiche condotte sul campione di terreno prelevato nella trincea esplorativa S2 (Rapporto di Prova 1401309-002/29.09.2014).

Caldiero, 1 ottobre 2014

Nicoletta Toffaletti
dr.ssa geol. NICOLETTA TOFFALETTI
via Guglielmo Marconi 21 - 37042 Caldiero (VR)
tel. 045 6152173 / 339 5773948



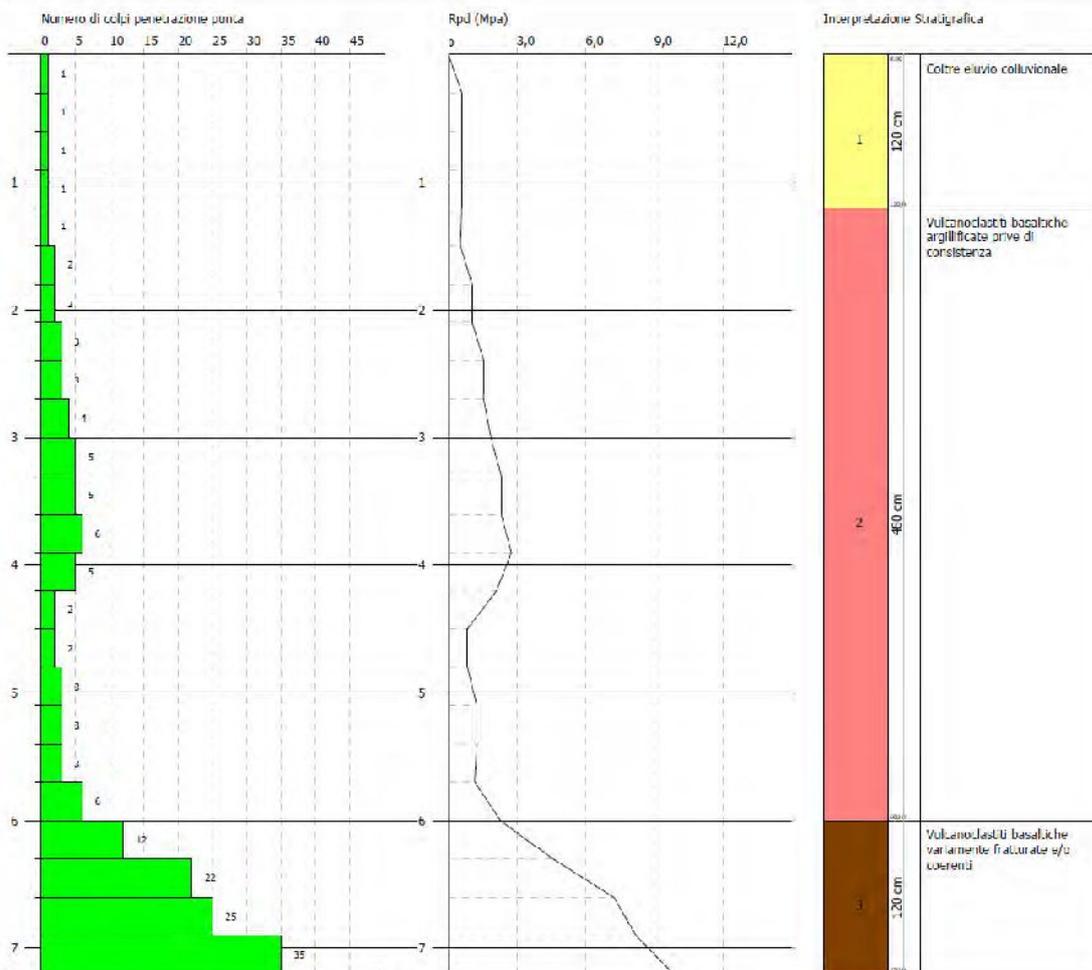
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1

Strumento utilizzato... DPSHGeoprobe

Committente: Cason Sabina
 Cantiere: Via Cubetta
 Località: Colognola ai Colli (VR)

Data: 10/09/2014

Scala 1:50



COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

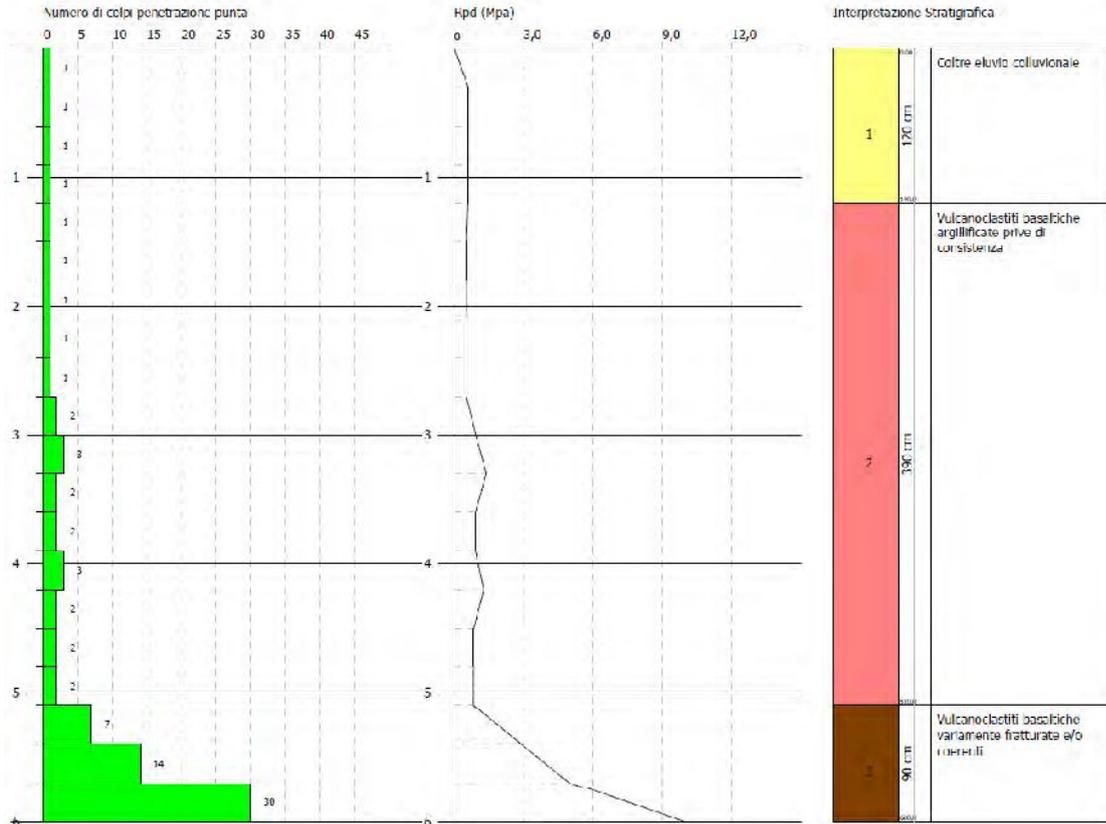
del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2 Strumento utilizzato... DPSHGeoprobe

Committente: Cason Sabrina
Cantiere: Via Cubetta
Località: Colognola ai Colli (VR)

Data: 10/09/2014

Scala 1:50

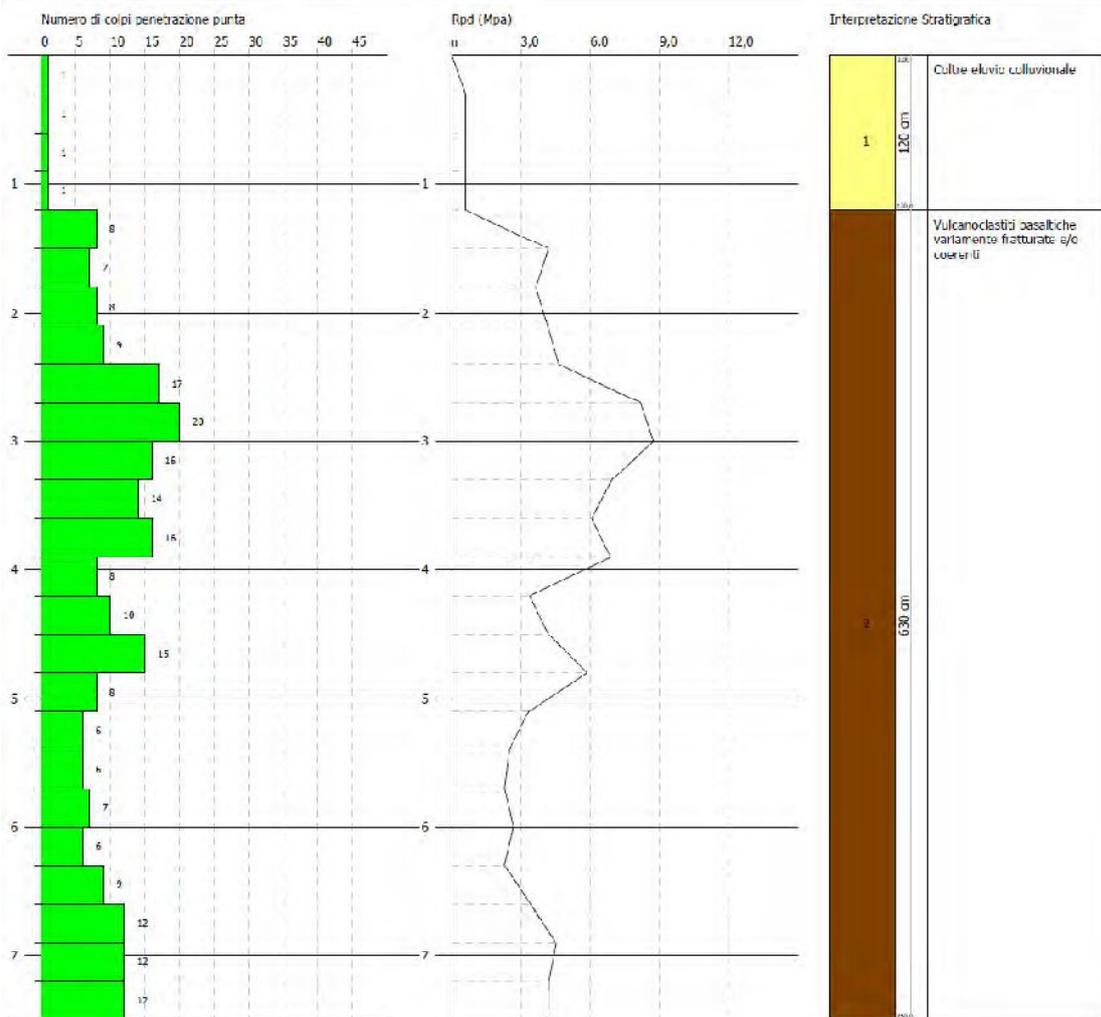


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 3 Strumento utilizzato... DPSHGeoprobe

Committente: Cason Sabrina
 Cantiere: Via Cubetta
 Località: Colognola ai Colli (VR)

Data: 10/09/2014

Scala 1:50



COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

S1	Metodo di perforazione MECCANICO CON ESCAVATORE		
	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E STRATIGRAFIA		
COMMITTENTE: Signora Cason Elena LAVORO: Compatibilità geologica, geomorfologica e idrogeologica LOCALITA': via Cubetta, Colognola ai Colli (VR) DATA: 17 settembre 2014			
Profondità da p.c. (m)	Campioni	Descrizione litologica	Soggiacenza falda (m da p.c.)
0,0 - 0,4	-	Terreno vegetale di colore brunoastro	-
0,4 - 1,1		Materiali detritici argillosi e/o limo argillosi di colore giallastro, ricchi di frammenti litoidi vulcanici in assetto caotico delle dimensioni centimetrici	

NOTE:

- Verticalità dello scavo mantenuta a breve termine
- Si sono verificate venute d'acqua



COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

Sondaggio S2	Metodo di perforazione MECCANICO CON ESCAVATORE		
	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E STRATIGRAFIA		
COMMITTENTE: Signora Cason Elena LAVORO: Compatibilità geologica, geomorfologica e idrogeologica LOCALITA': via Cubetta, Colognola ai Colli (VR) DATA: 17 settembre 2014			
Profondità da p.c. (m)	Campioni	Descrizione litologica	Soggiacenza falda (m da p.c.)
0,0 - 0,6	C1	Terreno vegetale di colore brunastro	-
0,6 - 1,4		Materiali detritici argillosi e/o limo argillosi di colore giallastro, ricchi di frammenti litoidi vulcanici in assetto caotico delle dimensioni centimetrici	

* campione medio da cumulo di scavo prelevato tra 0 e 1,4 m di profondità da p.c.

NOTE:

- Verticalità dello scavo mantenuta a breve termine
 Si sono verificate venute d'acqua



Sondaggio S3	Metodo di perforazione MECCANICO CON ESCAVATORE		
	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E STRATIGRAFIA		
COMMITTENTE: Signora Cason Elena LAVORO: Compatibilità geologica, geomorfologica e idrogeologica LOCALITA': via Cubetta, Colognola ai Colli (VR) DATA: 17 settembre 2014			
Profondità da p.c. (m)	Campioni	Descrizione litologica	Soggiacenza falda (m da p.c.)
0,0 - 0,4	-	Terreno vegetale di colore brunoastro	-
0,4 - 1,3		Materiali detritici argillosi e/o limo argillosi di colore rossastro, ricchi di frammenti litoidi vulcanici in assetto caotico delle dimensioni centimetrici	

NOTE:

- Verticalità dello scavo mantenuta a breve termine
- Si sono verificate venute d'acqua



COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

Prova di permeabilità in pozzetto superficiale

Metodo con carico variabile

CANTIERE: Signora Cason Sabrina
 DATA: 17/09/14
 LOCALITA': via Cubetta, Colognola ai Colli (VR)

Pozzetto n° P1
 Profondità 1,10 m
 Lato equivalente b 70 cm
 Hm Livello acqua 77,75 cm
 Natura del terreno: Argille e/o limi argillosi

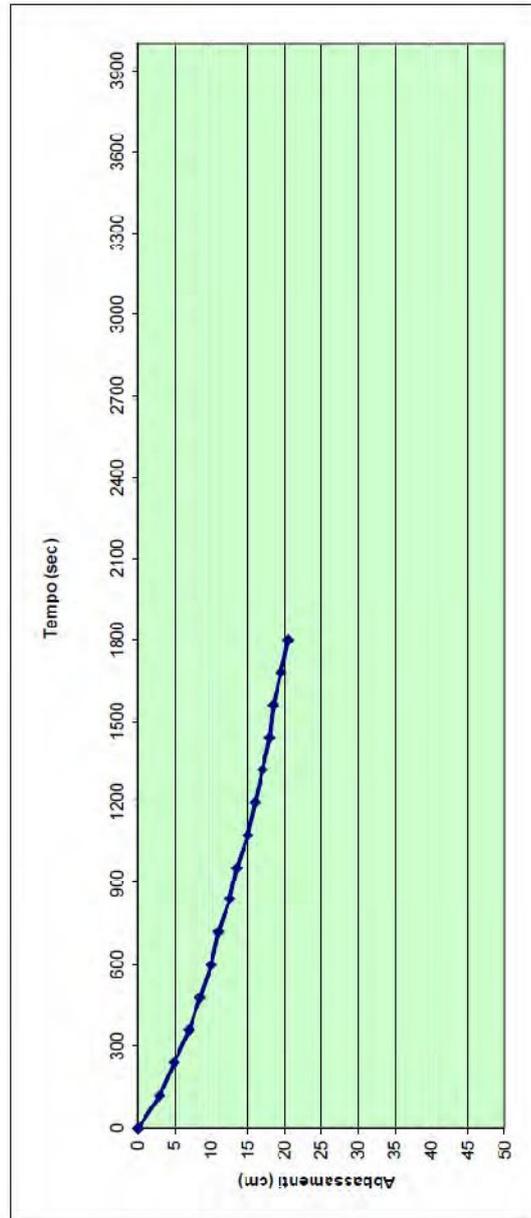
Calcolo coefficiente di permeabilità

Hm (cm) = 77,8 h1 (cm) = 88 Δt (sec) = 1800
 b (cm) = 70 h2 (cm) = 67,5

$$K \text{ (cm/sec)} = \frac{\Delta H}{(t_2 - t_1)} \cdot \frac{1 + (2Hm/b)}{(27Hm/b) + 3} = 1,11E-03$$

H (cm)	t (sec)	H/Hm	ΔH (cm)
88	0	1,13	0
85	120	1,09	3
83	240	1,07	5
81	360	1,04	7
79,5	480	1,02	8,5
78	600	1,00	10
77	720	0,99	11
75,5	840	0,97	12,5
74,5	960	0,96	13,5
73	1080	0,94	15
72	1200	0,93	16
71	1320	0,91	17
70	1440	0,90	18
69,5	1560	0,89	18,5
68,5	1680	0,88	19,5
67,5	1800	0,87	20,5

prova da convalidare solo in considerazione dell'altezza media $hm > b/4$



COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

del Piano di Recupero per la ristrutturazione e la ricomposizione
di una porzione del Bene Culturale n. 15 sito in Via Cubetta nel Comune di Colognola ai Colli (VR)

Rapporto di prova n°: 1401309-002

Data Rapporto di Prova: 29-set-14

Spettabile:
Dott.ssa Toffaletti Nicoletta
Via Marconi, 21
37042 Caldiero (VR)

Descrizione Campione: Campione medio (da 0 a -1,40 m) di limo sabbioso di origine vulcanoclastica S2C1

Accettazione: 1401309

Punto di campionamento: Via Cubetta, Colognola ai Colli (VR) - comm. Cason Sabrina

Campionato da: Cliente

Tipo Prove: Terre e rocce da scavo

Legge di riferimento: D. Lgs. 152/06 All. 5 Tab. 1 Colonna A

Data campionamento: 17-set-14

Ora di campionamento: 16:00

Data Arrivo Campione: 24 set-14

Data Inizio Prova: 24-set-14

Data Fine Prova: 26-set-14

Risultati delle Prove

Prova	U.M.	Metodo	Risultato	Incertezza	L.Min.	L.Max.
(*) Frazione < 2 mm	%	Setacciatura	31,09			
(*) Residuo 105°C	%	IRSA Q64 Vol3 2	71,26			
(*) Arsenico	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + ICP-OES (idruri)	1,04			20
(*) Cadmio	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + APAT CNR IRSA CNR IRSA 3020 Man 29 2003	0,26			2
(*) Cobalto	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + APAT CNR IRSA CNR IRSA 3020 Man 29 2003	7,33			20
(*) Cromo totale	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + APAT CNR IRSA CNR IRSA 3020 Man 29 2003	21			150
(*) Cromo (VI)	mg/kg ss	IRSA Q64 Vol3 16	< 0,5			2
(*) Mercurio	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + ICP-OES (idruri)	< 1			1
Nichel	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003	33	± 13		120
(*) Piombo	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + APAT CNR IRSA CNR IRSA 3020 Man 29 2003	< 1			100

(*) = Prova non Accreditala da ACCREDIA

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente al campione sottoposto ad analisi.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta da parte del Laboratorio.
L'incertezza estesa è stata calcolata con fattore di copertura uguale a 2, per un livello di probabilità del 95%.

Segue rapporto di prova n°: **1401309-002**

Prova	U.M.	Metodo	Risultato	Incertezza	L.Min.	L.Max.
(*) Rame	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + APAT CNR IRSA CNR IRSA 3020 Man 29 2003	22,79			120
Zinco	mg/kg ss	UNI EN 13657:2004 esclusi i paragrafi 9.2 e 9.3 + APAT CNR IRSA CNR IRSA 3020 Man 29 2003	16,3	± 4,4		150
(*) Idrocarburi totali	mg/kg ss	IRSA Q64 Vol3 21	< 5			
(*) C>12	mg/kg ss	IRSA Q64 Vol3 21	< 5			50
(*) Amianto totale	mg/kg ss	DM 06/09/94 GU 288 10/12/94	< 100			1000

Il Responsabile del Laboratorio



(*) = Prova non Accreditata da ACCREDIA

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente al campione sottoposto ad analisi.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta da parte del Laboratorio.
L'incertezza estesa è stata calcolata con fattore di copertura uguale a 2, per un livello di probabilità del 95%.



REGIONE DEL VENETO

Provincia di Verona



Caratterizzazione geofisica del sottosuolo tramite la tecnica sismica H.V.S.R.

Via Cubetta
Comune di Colognola ai Colli (VR)

Committente:
Dr.ssa Geol. Nicoletta Toffaletti

Data: settembre 2014



STUDIOSISMA srl
Via Birori, 102/5 - 36050 Monteviale (VI)
Tel/Fax. 0444/962532 Cell. +39 349/0567455
Mail: info@studiosisma.com
C.F. e P.IVA 03797510249

INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	3
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	5
4.	INTERPRETAZIONE DELLA MISURA ESEGUITA	7
5.	MODELLO SISMICO LOCALE	9

ALLEGATO

-  Misura sismica H.V.S.R.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

1. PREMESSE

Il giorno 10 settembre 2014 è stata condotta un'indagine sismica in via Cubetta nel comune di Colognola ai Colli (VR), su incarico della Dr.ssa Geol. Nicoletta Toffaletti (Fig. n° 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.).

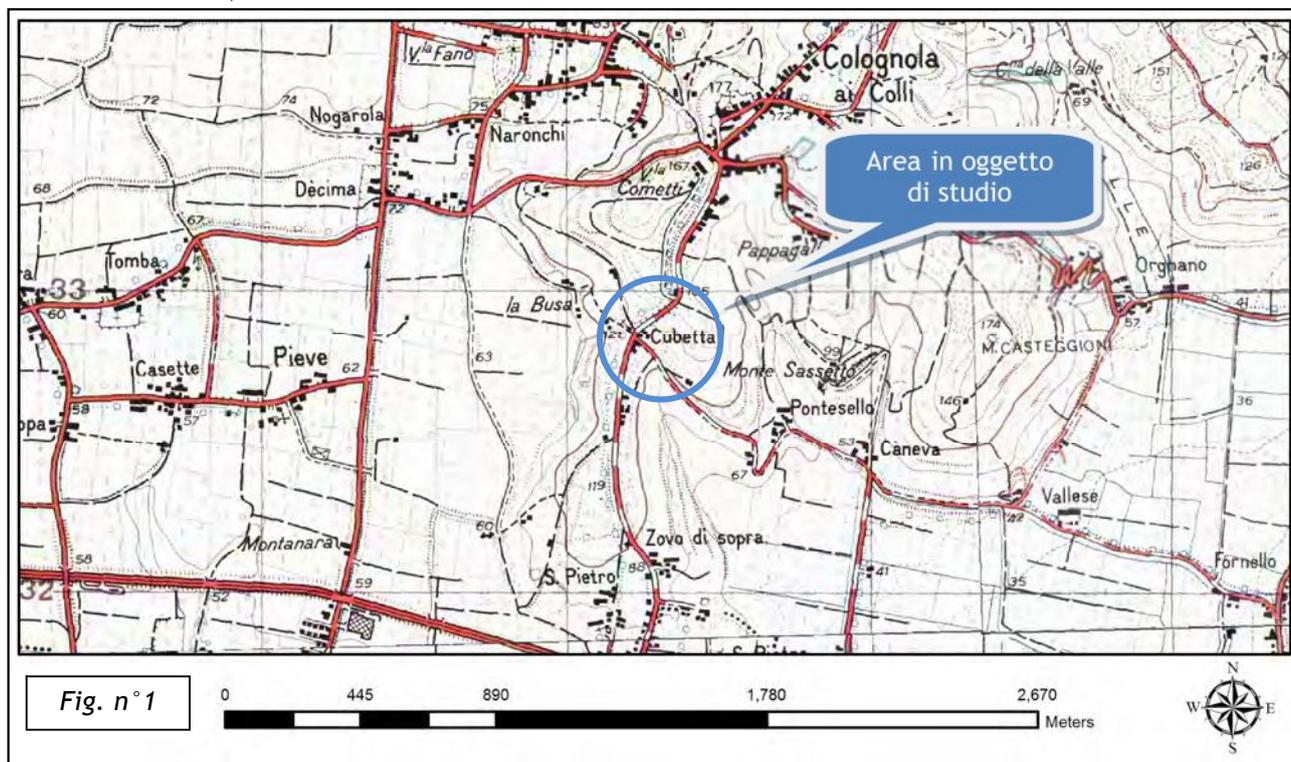


Fig. n° 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.

3

Lo scopo di quest'indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità del *bedrock geofisico*. Saranno inoltre stimate le velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_s,30$) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14-01-2008*) e le frequenze di vibrazione del terreno. A tal fine è stata eseguita **n° 1 registrazione di rumore sismico ambientale in seguito elaborata con la tecnica di Nakamura (H.V.S.R.)**.

L'esatta ubicazione dell'area d'indagine è stata ottenuta tramite un posizionatore GPS interno alla strumentazione geofisica utilizzata e di seguito riportata in gradi e minuti con decimali secondo lo standard WGS-84 e ED50:

Latitudine	Longitudine
45,42642° N (WGS-84)	11,188409° E (WGS-84)
45,427337° N (ED50)	11,189422° E (ED50)

2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

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 pericoloso 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 $V_{s,30}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008*;
- 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 H.V.S.R. si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

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

Possiamo scrivere questo come:

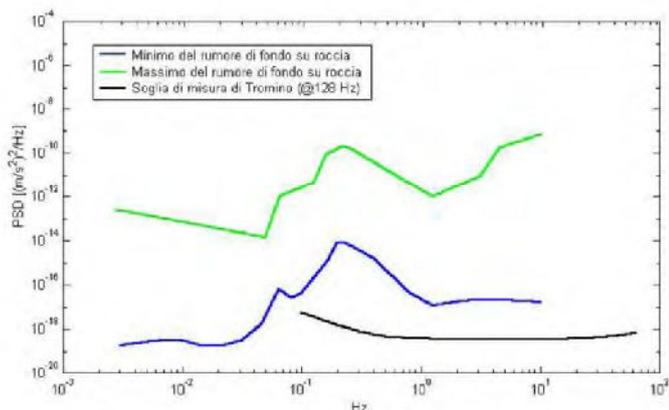
$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

4

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, H.V.S.R. 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 Micromed S.p.a. 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 due terne velocimetriche con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.





Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (H.V.S.R.) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Operativamente si costruisce un modello teorico H.V.S.R. avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica

a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs. Per eseguire la procedura sopra descritta in maniera univoca è necessario conoscere la profondità di un riflettore acustico individuabile nello spettro sismico registrato.

3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

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

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

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 14 gennaio 2008) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'azione sismica.

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

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

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

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

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

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

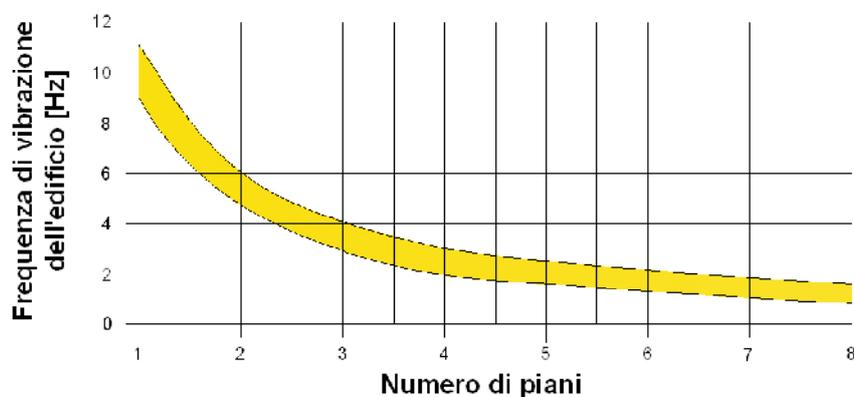


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani

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

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [3.5]$$

- V_s = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
- H = profondità alla quale si desidera stimare V_s [m] (30 m in caso di $V_{s,30}$);
- h_i = spessore dello strato i - esimo [m];
- v_i = velocità delle onde V_s all'interno dello strato i - esimo [m/s].

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

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

4. INTERPRETAZIONE DELLA MISURA ESEGUITA

Nel caso specifico del sito in esame, 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.

Sapendo che i valori di picco sono proporzionali ai contrasti di rigidità e utilizzando le informazioni lito-stratigrafiche ricavate dalle prove penetrometriche effettuate, si è estrapolata una stratigrafia sismica del sottosuolo.

7

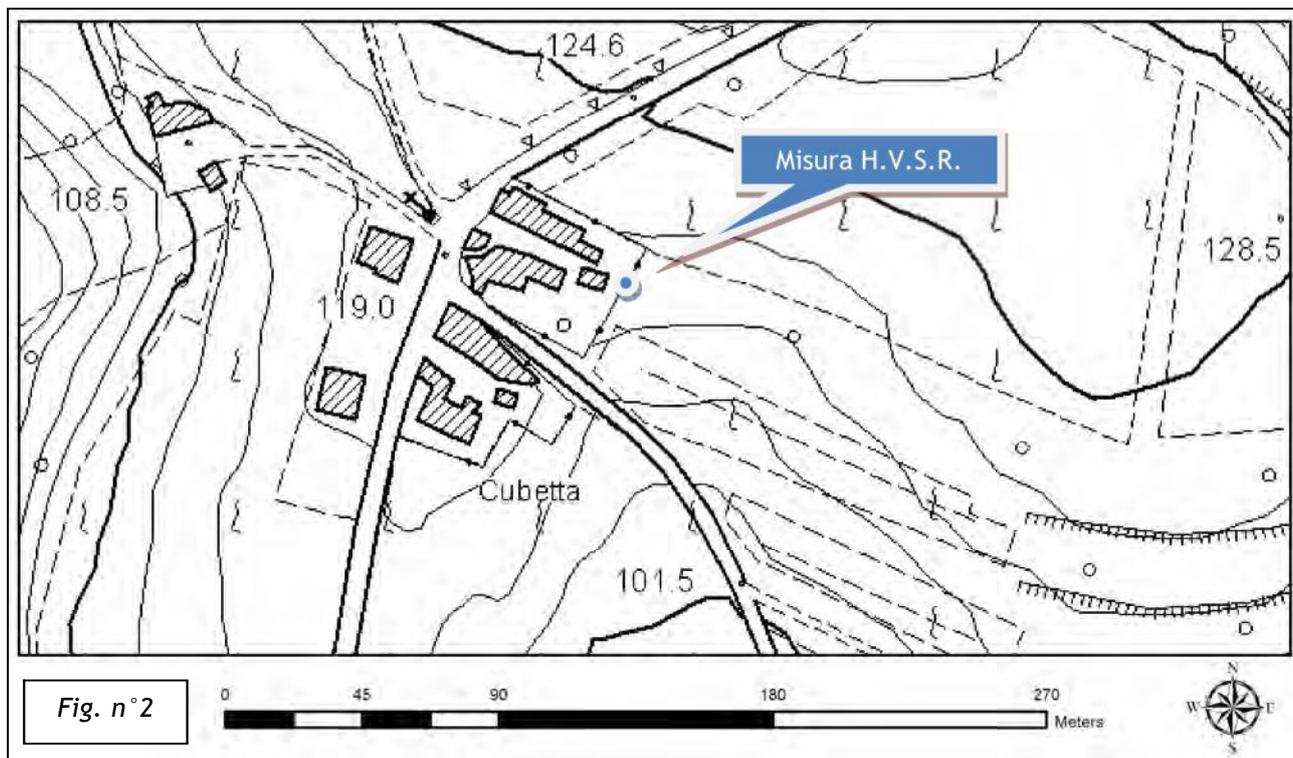


Fig. n°2 - Ubicazione prova in sito

La frequenza caratteristica di risonanza di sito, nell'intervallo di normale interesse ingegneristico - strutturale, è risultata di $\approx 5,7$ Hz.

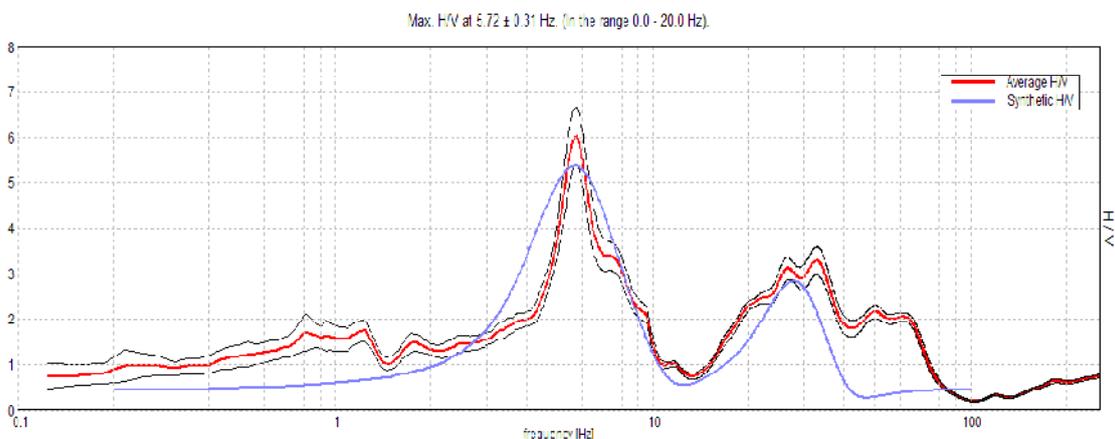
Frequenza caratteristica di risonanza registrata

5,72 Hz \pm 0,31 Hz

Si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare l'intervallo frequenziale di circa 4,2 - 9,5 Hz come *range* di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico - strutturale.

E' 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 del terreno, poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un elevato fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.



La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico 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 1,2 m dal p.c. locale caratterizzato da una $V_s \approx 130$ m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato: $V_s \approx 270$ m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

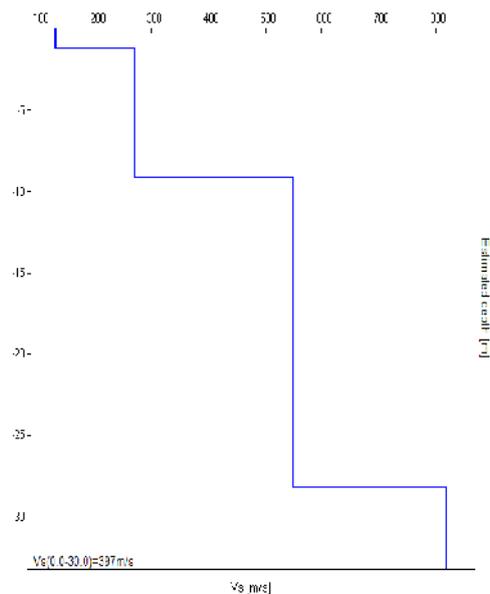
Si segnala un successivo aumento della velocità di propagazione delle onde S ($V_s \approx 550$ m/s) a circa 9,2 m dal p.c. locale e verosimilmente associabile ad un materiale granulare addensato o ad una roccia fratturata/alterata.

L'ammasso roccioso che, dal punto di vista sismico, si comporta indicativamente come un *bedrock geofisico* ($V_s \approx 820$ m/s) è individuabile a ≈ 28 m dal p.c. locale.

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

H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	130	1,2	0,0 - 1,2
II SISMOSTRATO	270	8	1,2 - 9,2
III SISMOSTRATO	550	19	9,2 - ≈ 28
IV SISMOSTRATO	820	Semisp.	≈ 28 - Semisp.

Nella tabella seguente, s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto **SESAME** (*Linee guida 2005*). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi. Si osserva quindi che il picco a 5,72 Hz soddisfa tutti i criteri e può pertanto essere assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.



Picco H/V a 5.72 ± 0.31 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve			
$f_0 > 10 / L_w$	5.72 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3431.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 276	OK	
Criteria for a clear HVSR peak			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.063 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.03 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04374 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.30735 < 0.28594		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6265 < 1.58	OK	

5. MODELLO SISMICO LOCALE

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 tali categorie, il D.M. 14/01/08 prevede, il calcolo del parametro $V_{s,30}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s entro 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u,30 > 250$ kPa nei terreni a grana fina)

C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

Esistono poi due categorie speciali di sottosuolo, che sono quelle denominate dalle sigle S1 e S2, per le quali le NTC08 richiedono che l'azione sismica sia definita tramite il ricorso a studi speciali. Per queste categorie di sottosuolo non è quindi possibile utilizzare l'approccio semplificato basato sul coefficiente di amplificazione stratigrafica.

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione , di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

Da una attenta analisi dei risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate è possibile osservare che il *bedrock geofisico*, è posizionato ad una profondità di 28 m dal p.c. locale e quindi, dal punto di vista normativo, il sito d'indagine dovrebbe essere associato alla **Categoria S2** (Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra Categoria di Sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti), in quanto non rientra:

- nella Categoria A;
- nelle Categorie B, C e D, poiché lo spessore del materiale posto al di sopra del *bedrock geofisico* è minore di 30 m;
- nella Categoria E, poiché il *bedrock geofisico* è posizionato ad una profondità maggiore di 20 m.

Alla luce dei risultati ottenuti, si consiglia di effettuare uno studio approfondito di **risposta sismica locale (RSL)** o, in alternativa, si consiglia di assegnare al sito la **Categoria di Sottosuolo E**, così definita dalla normativa vigente:

Categoria E - Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ 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 V_s ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.

Monteviale, settembre 2014

ALLEGATO

 Misura sismica 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.
- ✓ 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.
- ✓ 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.