



COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI
PROVINCIA DI VERONA

Variante Tematica n. 20 al Piano degli Interventi (PI)

per la modifica della destinazione d'uso dell'area individuata
catastralmente al Foglio n. 25 - M.N. 76, 409, 413, 499 da zona
"D4/1 Centro Floro-vivaistico" a zona "D2 Industriale-Artigianale
di Espansione"

ubicata in via Bassa n. 1

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

[§ 6.12 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018]



15 aprile 2025

COMMITTENTE:

Grimo Tec S.r.l.

IL TECNICO:

dr.ssa geol. Nicoletta Toffaletti



INDICE

INDICE	1
CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE.....	1
1.1) NORMATIVA DI RIFERIMENTO E ARTICOLAZIONE DELLA RELAZIONE	1
1.2) DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI PROGETTO	2
1.3) PROVE IN SITO E METODI DI INTERPRETAZIONE	4
CAPITOLO 2 - RELAZIONE GEOLOGICA	7
2.1) INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	7
2.2) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO	8
2.3) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	10
2.4) INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO	12
2.5) FRAGILITÀ E PERICOLOSITÀ GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA.....	14
2.6) MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	16
CAPITOLO 3 - RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI.....	18
3.1) INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE.....	18
3.2) MODELLO GEOTECNICO LOCALE.....	19
CAPITOLO 4 - RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA	21
4.1) STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI COLOGNOLA AI COLLI	21
4.2) CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO	27
4.3) ANALISI SISMICA LOCALE.....	28
4.4) SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	29
CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI	33
ALLEGATO 1 - PROVE PENETROMETRICHE	35
ALLEGATO 2 - INDAGINE SISMICA	37
ALLEGATO 3 - ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	39

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE

1.1) Normativa di riferimento e articolazione della relazione

Per conto della società Grimo Tec S.r.l. è stato elaborato il presente Studio di compatibilità geologica, geomorfologica e idrogeologica a supporto della Variante Tematica n. 20 al Piano degli Interventi (PI) del Comune di Colognola ai Colli (VR) per la modifica della destinazione d'uso dell'area individuata catastalmente al Foglio n. 25 - M.N. 76, 409, 413, 499 da zona "D4/1 Centro Floro-vivaistico" a zona "D2 Industriale-Artigianale di Espansione".

Tale studio, ai sensi del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 ad oggetto "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (noto con l'acronimo NTC-2018), espone i risultati dell'analisi rivolta alla caratterizzazione e modellazione geologica dell'area oggetto di trasformazione ed è elaborata in ottemperanza a quanto disposto al **Paragrafo 6.12 "Fattibilità di opere**

su grandi aree" delle NTC-2018, dove sono indicati i criteri di carattere geologico e geotecnico da adottare nell'elaborazione di piani urbanistici, al fine di accertare che la destinazione d'uso sia compatibile con il territorio in esame. Specificatamente, le indagini e gli studi devono caratterizzare la zona di interesse in termini vulnerabilità ambientale, per processi geodinamici interni (sismicità, vulcanismo,...) ed esterni (stabilità dei pendii, erosione, subsidenza,...) e devono consentire di individuare gli eventuali limiti imposti al progetto di insiemi di manufatti e interventi (ad esempio: modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee, subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo,...).

Inoltre, essendo l'intero territorio comunale di Colognola ai Colli classificato nella Zona Sismica 2, per effetto della D.G.R.V. n. 244/2021, il presente studio contiene **l'analisi, ai sensi del comma 1 dell'art. 89 del D.P.R. 380/2001 e s.m.i., della compatibilità sismica delle previsioni urbanistiche con le condizioni geomorfologiche del territorio.**

La progettazione degli interventi (titolo edilizio) dovrà essere svolta conformemente alla normativa di settore in materia di pericolosità geologica, che, al momento, trova riferimento nel D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni" (note con l'acronimo NTC-2018). Pertanto, la progettazione edilizia deve essere accompagnata da uno studio specialistico, a firma di tecnico competente e abilitato, esposto in una specifica Relazione geologica, Relazione geotecnica sulle indagini e Relazione sulla modellazione sismica.

1.2) Descrizione dell'intervento di progetto

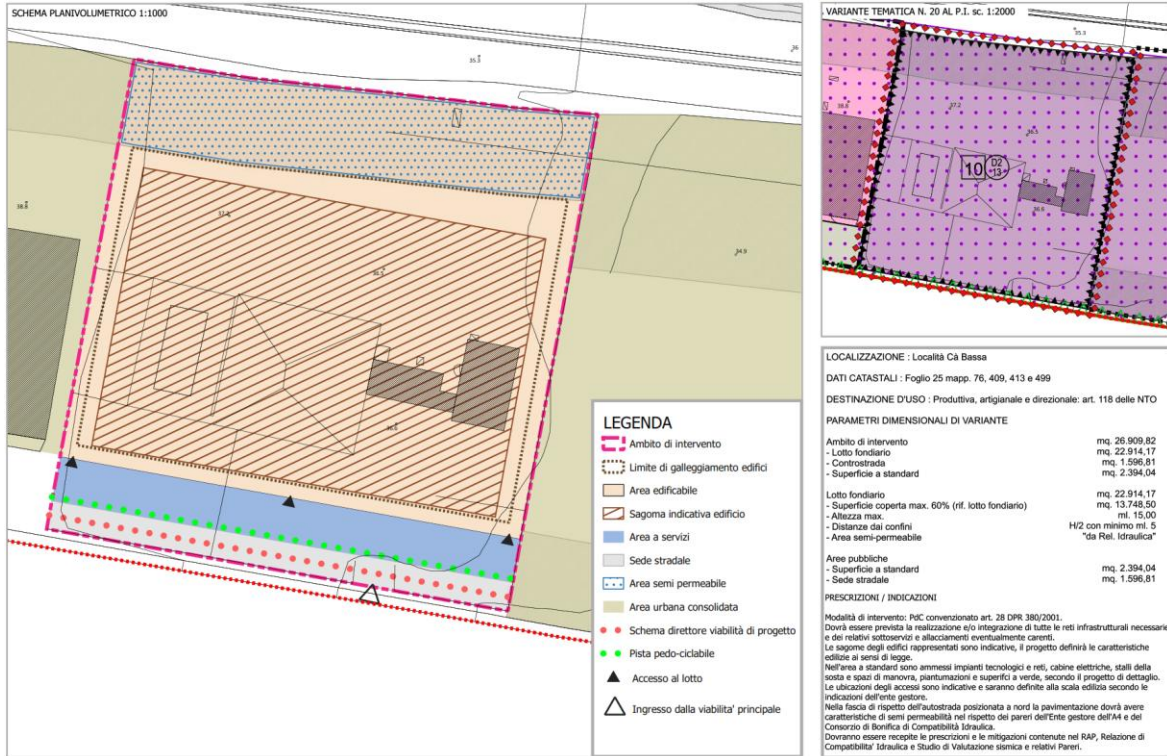
Ai fini della presente relazione, si descrivono sinteticamente i caratteri di interesse degli elaborati di variante, redatti dallo Studio di Architettura Alberti & Fasoli, a cui si rimanda per una dettagliata caratterizzazione.

L'area oggetto di variante puntuale è, attualmente, occupata da un'attività floro-vivaistica; essa risulta, pertanto, già parzialmente edificata con la presenza di edifici adibiti a residenza e commercio, serre e piazzali di vendita e parcheggi per l'utenza.

Su una **superficie complessiva di 26.909,82 mq**, è prevista la modifica della destinazione d'uso dell'area individuata catastalmente al Foglio n. 25 - M.N. 76, 409, 413, 499 da zona "D4/1 Centro Floro-vivaistico" a zona "D2 Industriale-Artigianale di Espansione". Per quanto riguarda il regime dei suoli:

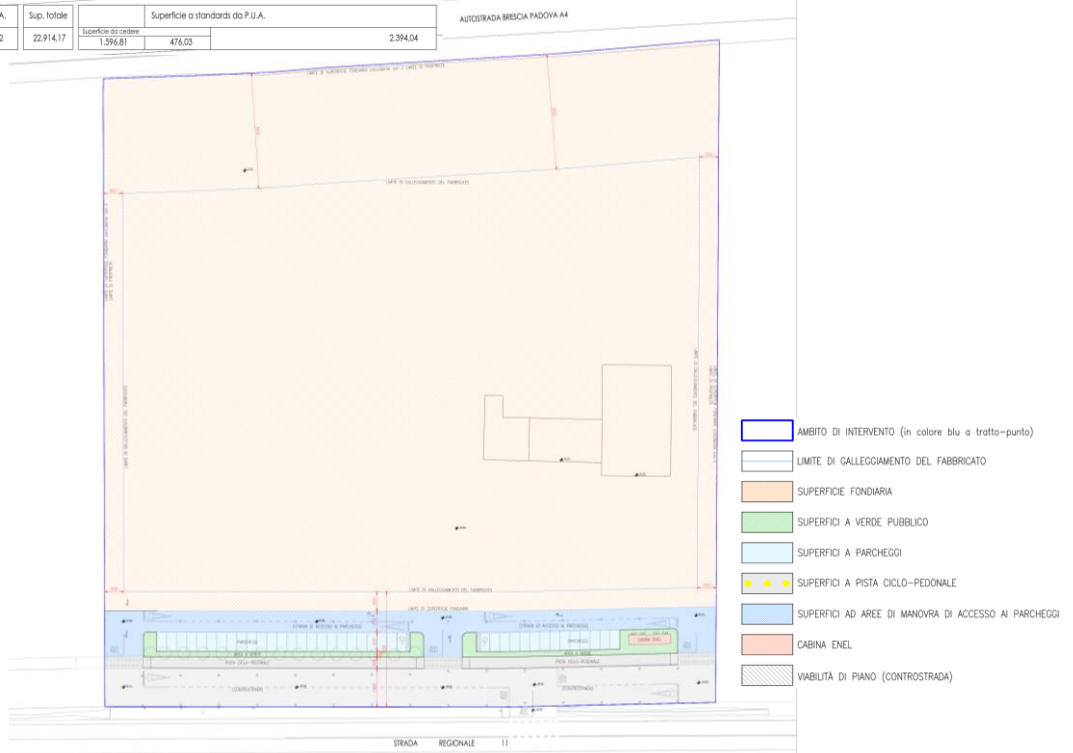
- il lotto fondiario si sviluppa su una superficie di 22.914,17 mq, all'interno della quale la superficie coperta massima è pari al 60% (13.748,50 mq); una parte della parte privata è gravata dalla fascia di rispetto stradale dell'Autostrada A4 "Serenissima" che potrà essere pavimentata con modalità tale da mantenersi semi-permeabile;
- le aree pubbliche, lungo la S.R. n. 11 "Padana Superiore", comprendono la controstrada (1.596,81 mq) e le superfici a standard (2.394,04 mq) per la realizzazione di una pista ciclo-pedonale (476,03 mq), di aree di manovra (1.075,58 mq), di superfici a parcheggio (518,01 mq), di una cabina ENEL (27,50 mq) e di verde pubblico (296,92 mq).

STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA
della Variante Tematica n. 20 al Piano degli Interventi del Comune di Colognola ai Colli (VR)



Estratto della Scheda Norma della Variante n. 20 al PI del Comune di Colognola ai Colli redatta dallo Studio di Architettura Alberti & Fasoli.

Ditte committenti	Superficie reale posta all'interno dell'ambito	Superficie fondiaria	Strada di piano (controlstrada)	Superfici a pista ciclo-pedonale	Aree di manovra	Superfici a parcheggio	Superficie per cabina ENEL	Superfici a verde pubblico
Grino Tec srl	26.909,82	22.914,17	1.596,81	476,03	1.075,58	518,01	27,50	296,92
- Superficie territoriale ambito d'intervento da P.U.A.	26.909,82	22.914,17	Superficie a standard da P.U.A.		2.394,04			
			Superficie da cadere	476,03				



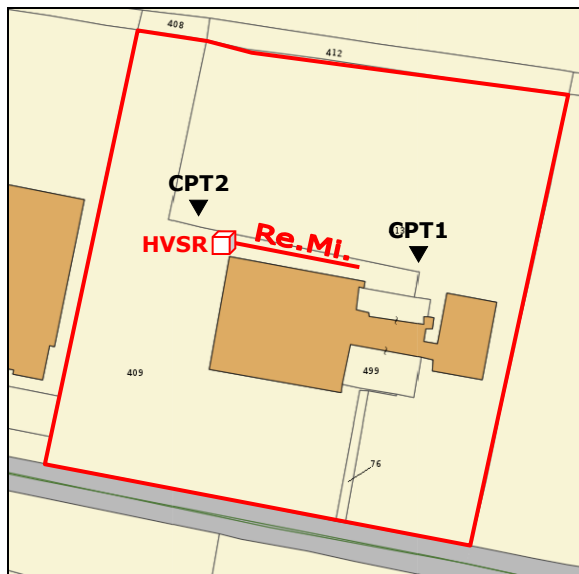
Estratto della Tavola n. 06 "Planivolumetrico generale con partizione ed uso del suolo" della Variante n. 20 al PI del Comune di Colognola ai Colli redatta dallo Studio di Architettura Alberti & Fasoli.

1.3) Prove in sito e metodi di interpretazione

In data 8 gennaio 2025, è stata condotta, in accordo con la committenza, una specifica campagna di indagini e prove in sito, rappresentata dall'esecuzione di:

- **n. 2 prove penetrometriche** in modalità statica o C.P.T. ("Cone Penetration Test"), denominate CPT1 e CPT2, finalizzate a verificare indirettamente il profilo litostratigrafico profondo e ad acquisire i parametri geotecnici;
- **n. 1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi.** (*Refraction Microtremor*) e **n. 1 registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) o Nakamura, per l'analisi sismica sito specifica.

In superficie, l'area di intervento risulta urbanizzata ed occupata dalle esistenti strutture di un'attività floro-vivaistica in esercizio e, pertanto, le prove in sito sono state condotte negli spazi accessibili. Nelle successive fasi attuative, dopo la demolizione di tali strutture, le indagini in sito dovranno essere estese anche alla rimanente porzione dell'area di intervento per verificare e confermare il modello geologico di riferimento assunto al presente stadio di elaborazione progettuale.



Ubicazione delle prove eseguite
(CPT1 e CPT2= prove penetrometriche statiche;
Re.Mi. e HVSR = indagine sismica).

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche si è utilizzato un penetrometro "Pagani" cingolato, predisposto a lavorare sia in modalità statica che dinamica.

La modalità statica (CPT1 e CPT2) utilizza un comando idraulico con spinta da 200 kN (20 t) all'infissione, munito di punta con manicotto ("*friction jacket cone*") per la misura della Resistenza alla punta R_p (kg/cm²) e la Resistenza all'attrito laterale locale R_l (kg/cm²) ad intervalli costanti di 20 cm di infissione.

Le prove penetrometriche sono comprese 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.

In via puramente indicativa, l'indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.) consente di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo attraverso 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). Con i risultati registrati nella tecnica sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.) si può ricostruire la stratigrafia del sottosuolo attraverso la 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.



Fasi esecutive delle prove penetrometriche.

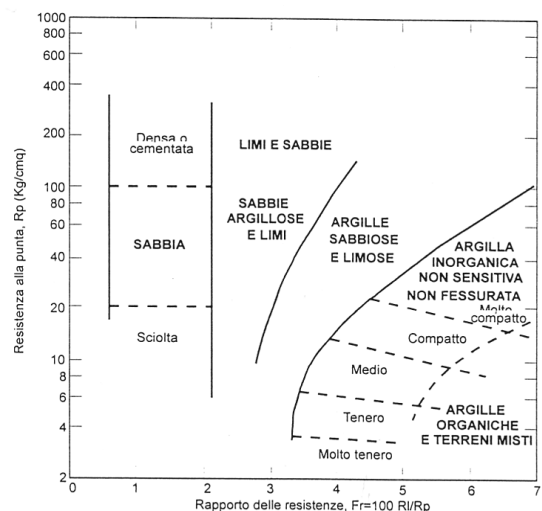


Fasi esecutive della prospezione sismica.

La campagna di prove in sito, i cui risultati complessivi sono riportati negli allegati alla presente relazione, ha permesso di ricostruire presso l'area di intervento il profilo litostratigrafico, di verificare la soggiacenza della falda superficiale e di determinare i parametri geotecnici e sismici caratteristici dell'area di intervento.

Dal punto di vista metodologico il **profilo litostratigrafico** viene *indirettamente* determinato dall'interpretazione delle prove penetrometriche e sismiche, così come peraltro evidenziato negli allegati a fine relazione.

In particolare l'analisi del rapporto R_i/R_p , dedotto dai risultati di prove penetrometriche statiche di tipo C.P.T., con il Metodo di Schmertmann consente la classificazione dei terreni secondo l'abaco riportato a lato.



Metodo di Schmertmann per la classificazione dei terreni da risultati di prove CPT.

La **presenza della falda freatica** è stata *direttamente* verificata nei fori delle prove penetrometriche a mezzo di freatimetro.

L'applicazione di relazioni empiriche ai risultati analitici della prova penetrometrica, in particolare ai valori della resistenza penetrometrica statica di punta o R_p misurati per avanzamenti di profondità di 20 cm, consente la determinazione dei **parametri geotecnici caratteristici** del sottosuolo indagato.

Per la valutazione delle caratteristiche meccaniche degli orizzonti di natura prevalentemente coesiva, è utilizzato il Metodo di Lunne ed Eide, valido per le argille di bassa, media ed alta plasticità e poco sensibili, che consente il calcolo della coesione non drenata C_u secondo la formula:

$$C_u = R_p - \sigma'_v / N_k \quad \{Lunne ed Eide\}$$

dove R_p è la resistenza penetrometrica di punta (kg/cmq), σ'_v è la pressione verticale efficace alla profondità di calcolo (kg/cmq) e N_k è un fattore dimensionale.

Per la valutazione dell'angolo di attrito Φ , relativamente agli orizzonti di natura granulare, sono utilizzate le seguenti relazioni:

$$V'b = 1,3 e^{2\pi \tan \Phi} \cdot \tan^2(45 + \Phi/2) \quad \{De Beer\}$$

$$V'b = 1,3 e^{(2,5\pi - \Phi) \cdot \tan \Phi} \cdot [(1 - \sin \Phi) / (1 + \sin^2 \Phi)] \quad \{Koppejan\}$$

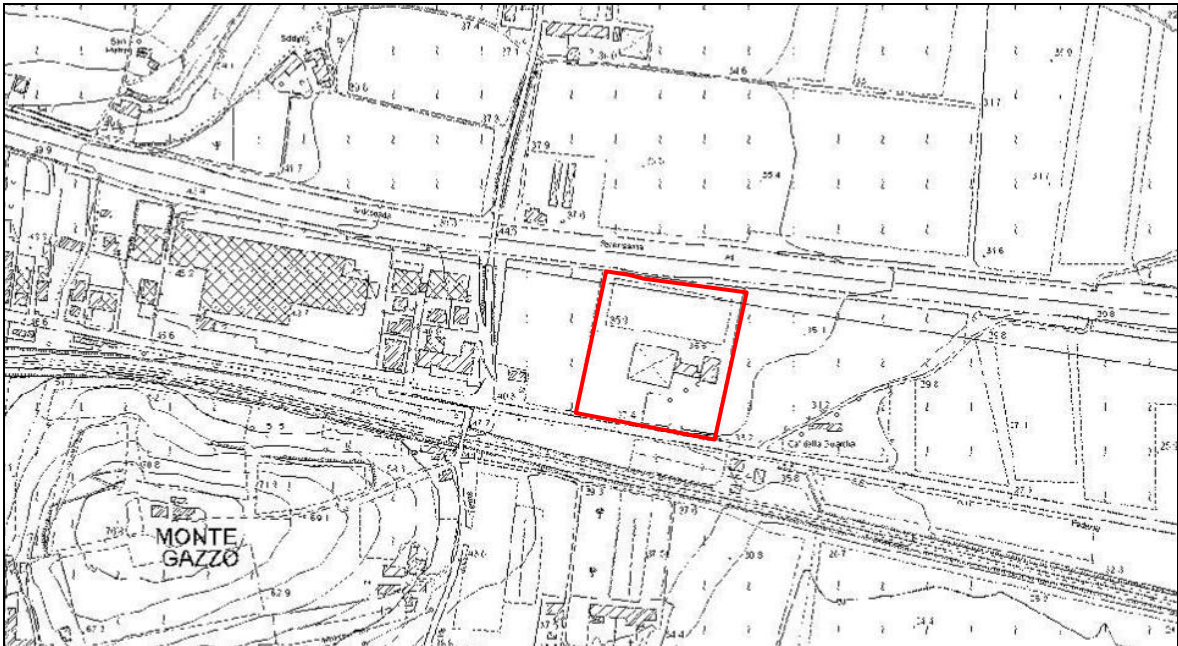
$$V'b = 10^{3,04 \tan \Phi} \quad \{Caquot\}$$

dove $V'b$ è il rapporto R_p / σ'_v [kg/cmq].

CAPITOLO 2 - RELAZIONE GEOLOGICA

2.1) Inquadramento territoriale

L'area di variante è ubicata in via Bassa n. 1 nel settore sud orientale del Comune di Colognola ai Colli, all'interno del corridoio infrastrutturale dato dall'affiancamento dell'Autostrada A4 "Serenissima", della S.R. n. 11 "Padana Superiore" e della linea ferroviaria Milano - Venezia, dove si trova il "Polo produttivo sud-orientale".



Corografia dell'area di intervento (estratto non in scala della Carta Tecnica Regionale).

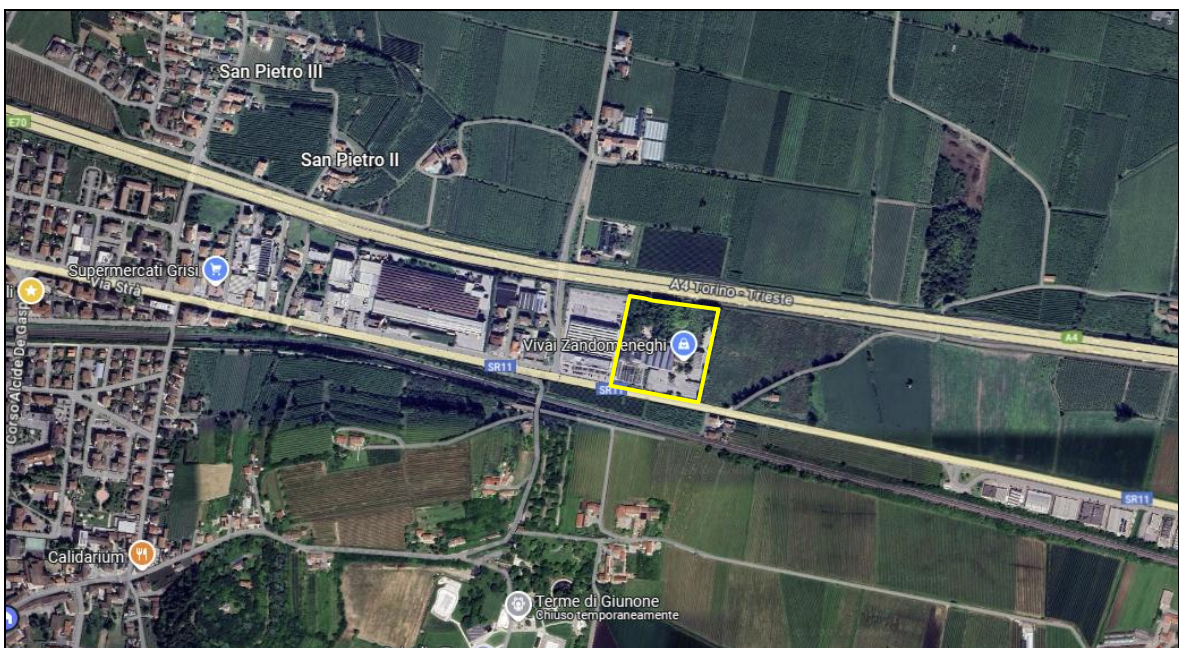
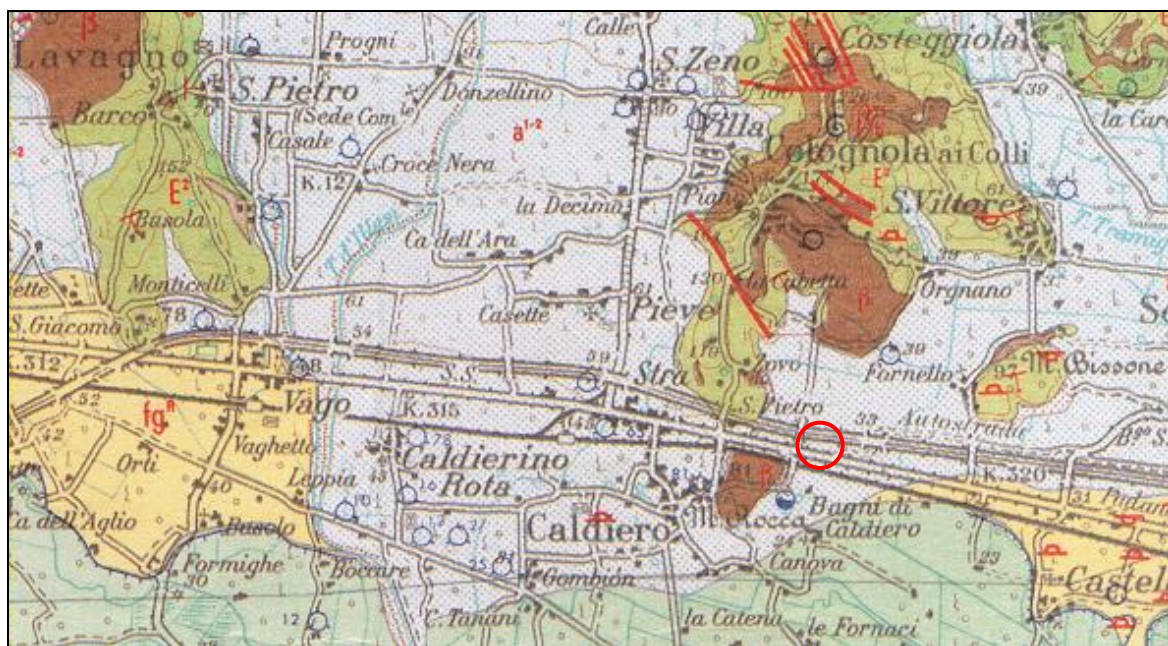


Foto satellitare dell'area di intervento (fonte: www.google.com/maps).

2.2) Inquadramento geomorfologico e geologico

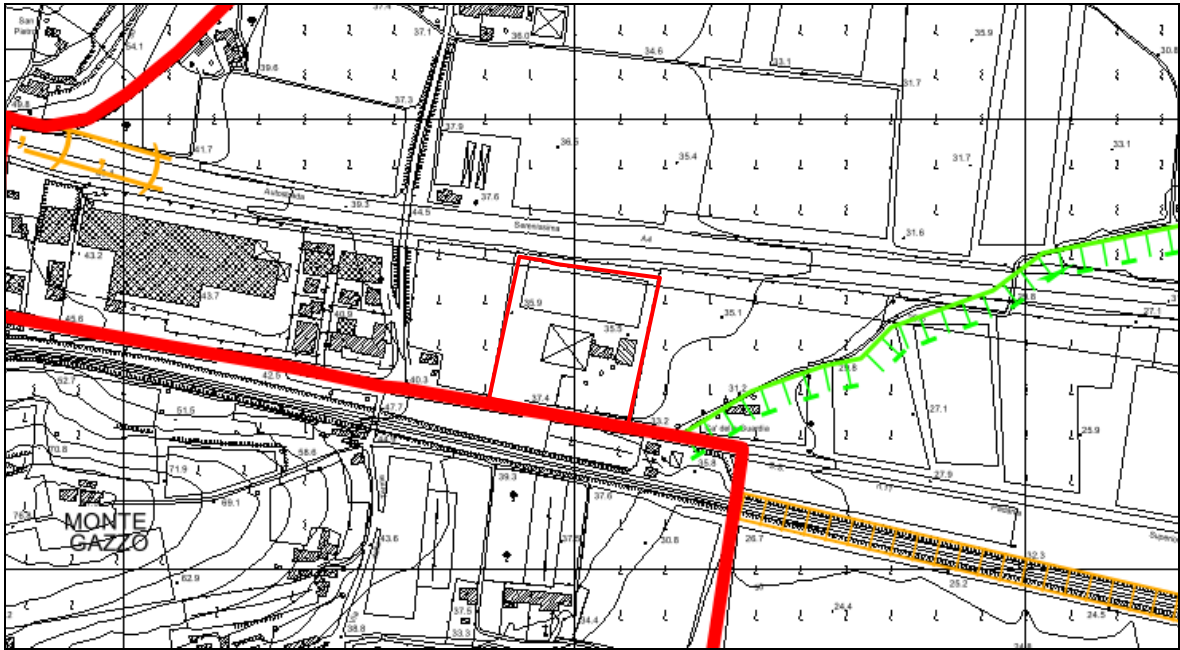
Come si evince dall'estratto della carta geologica riportata nella seguente figura, l'area oggetto di intervento è ubicata ad una quota di circa 35÷37 m s.l.m. nella **fascia di alta Pianura Veronese** elaborata al piede delle terminazioni meridionali dei Monti Lessini centrali.



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

Il territorio presenta complessivamente una morfologia sub-pianeggiante associabile alla parte prossimale delle conoidi alluvionali elaborate dal torrente Illasi e Tramigna (alta pianura veronese) che sfociano a sud nella piana di divagazione del fiume Adige (media pianura veronese) ed è articolato dalla presenza di rilievi collinari, che rappresentano la terminazione meridionale della dorsale collinare di direzione N - S che separa la Val Tramigna a est dalla Val d'Illasi a ovest o rilievi isolati come il Monte Gazzo (m 81 s.l.m.) ed il Monte Rocca (m 81 s.l.m.).

Nei dintorni dell'area in esame, il limite tra gli ambiti deposizionali lessineo e atesino è evidenziato, a sud - est, dal bordo di un antico terrazzo alluvionale formato dall'erosione dell'Adige che, a partire dalle alture del Monte Gazzo, presenta una direzione WSW - ENE.



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

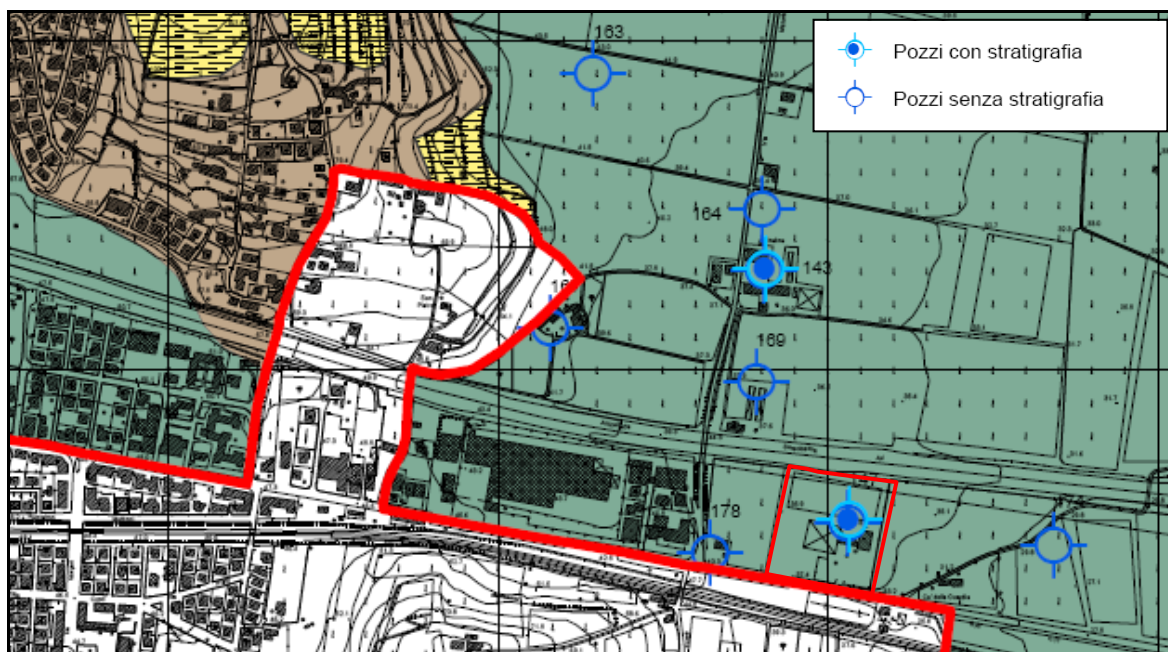
- = area di indagine = rilevato stradale o ferroviario
 = orlo di scarpata di erosione fluviale di altezza < 5 m

Da un punto di vista litologico, l'area analizzata nella presente relazione, è caratterizzata interamente dai **Depositi continentali quaternari di origine fluvio-glaciale e fluviale di origine lessinea**, i quali, a seguito del sovralluvionamento legato allo sbarramento dell'antica conoide rissiana del fiume Adige, presentano spessori potenti fino alle diverse decine di metri. Le alluvioni presentano granulometria variabile in senso verticale e laterale, propria dell'ambiente di sedimentazione fluviale. La dimensione dei granuli è continua, compresa fra la classe dei limi e quella delle sabbie grossolane e ghiaie, con intercalazioni di livelli limosi e di livelli di granulometria mista; in essi si riconoscono facilmente ciottoli costituiti dai litotipi della successione stratigrafica affiorante nei bacini idrografici, in particolare i termini carbonatici mesozoici e cenozoici e subordinati elementi di rocce vulcaniche di natura basaltica.

Come si evince dall'estratto della Carta Geolitologica elaborata a corredo del Piano di Assetto del Territorio Intercomunale o PATI dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli e Lavagno, nell'intorno dell'area oggetto di indagine prevalgono i depositi di tipo limoso del tipico colore giallo ocra, ai quali si intercalano orizzonti ghiaiosi e/o sabbiosi e/o argillosi; essi presentano alcune caratteristiche tipiche dei depositi di *loess* (depositi di origine eolica) e sono pertanto denominati come "*loess - like sediments*" (Meneghel, 1987), databili tra la fase finale della glaciazione Würmiana e l'inizio dell'Olocene, e sono talora rimaneggiati ad opera di acque superficiali. La successione stratigrafica locale può presentare, alla scala dell'intervento in esame, eteropie significative fra la classe limi, anche argillosi, e quella delle ghiaie.

Più in profondità e più a sud questi sedimenti si interdigitano con le alluvioni fluvio-glaciali dell'antica conoide dell'Adige, a granulometria prevalentemente ghiaio sabbiosa, talora ciottolosa.

La situazione litologica profonda del sottosuolo dell'area in esame fa riferimento a due stratigrafie, di seguito descritte, relative ai pozzi terebrati nelle immediate vicinanze dell'area d'intervento. Si rammenta che la stratigrafia descritta, rilevata da personale tecnico addetto alla perforazione del pozzo, è indicativa e le descrizioni granulometriche, a causa dei metodi di perforazione, non possono essere maggiormente dettagliate. Pertanto il termine argilla deve essere inteso come l'intero fuso granulometrico inferiore alla sabbia.



Geolitologia dell'area di intervento (estratto della Carta Geolitologica che compone parte del Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno, elaborata da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto). Legenda:

= materiali alluvionali prevalentemente limo-argillosi

Stratigrafia pozzo n. 143

0÷30 argilla
30÷100 sabbia
100÷? roccia in posto

Stratigrafia pozzo n. 147

0÷70 argilla
70÷100 roccia in posto

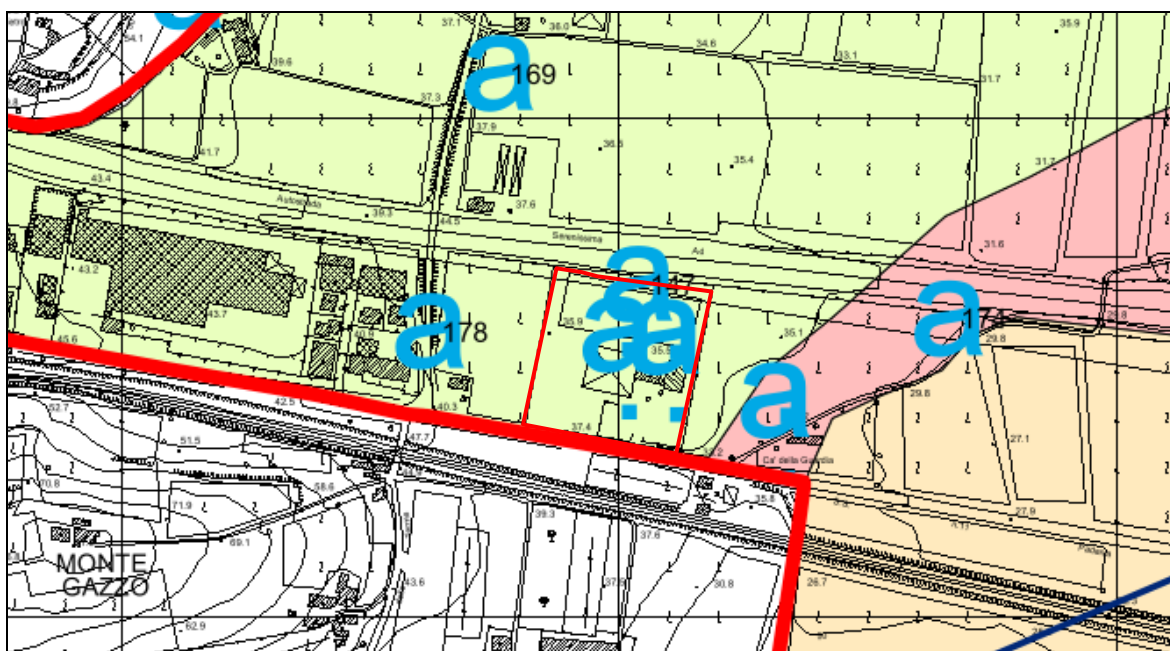
All'interno delle valli lessinee, i sedimenti alluvionali poggiano sul substrato roccioso composto dalla tipica successione stratigrafica dei Monti Lessini (che affiora nei contigui rilievi collinari), rappresentata da una pila di rocce sedimentarie, marine, di natura carbonatica, terrigena, terrigeno-carbonatica, vulcanoclastica e vulcanica con età compresa fra il Triassico superiore ed il Miocene medio, distinta in più formazioni geologiche. Più a sud, le alluvioni dell'Ilasi si interdigitano con quelle fluvioglaciali dell'antica conoide dell'Adige.

2.3) Inquadramento idrogeologico

A scala regionale, l'area oggetto di indagine rientra nell'ambito del **Complesso idrogeologico della pianura veronese**, costituito dagli eterogenei depositi alluvionali del fiume Adige e dei torrenti lessinei e caratterizzato perciò da una permeabilità per porosità estremamente variabile. Il limite settentrionale di tale complesso è rappresentato dal margine montagna - pianura, quello occidentale e meridionale dai fiumi Mincio e Po rispettivamente, mentre ad est il limite è

rappresentato dall'asse Monti Berici - Monti Euganei. Inferiormente il complesso idrogeologico è delimitato dai sedimenti prevalentemente argillosi del Pliocene.

In corrispondenza della fascia di alta pianura posta al piede delle terminazioni dei Monti Lessini centro - orientali, la presenza delle intercalazioni a granulometria fine o medio - fine origina il sistema acquifero multifalde, caratterizzato da una permeabilità per porosità estremamente variabile. E' reperibile una falda freatica, piuttosto estesa ma non continua, confinata localmente da terreni a bassa permeabilità, con soggiacenza variabile in rapporto alla stagione; la **superficie della falda freatica** presenta profondità variabili da zona a zona e, localmente, **si attesta a profondità comprese fra 10 - 30 m dal p.c.**



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

□ = area di indagine □ = soggiacenza di 10 - 30 metri ■ = corso d'acqua temporaneo

·
a
a
·
Sorgente
Pozzo con anomalia termica
Pozzo
Sorgente con anomalia termica

La profondità della falda freatica decresce gradualmente da nord - est verso sud - ovest, lungo la generale direzione di deflusso, fino al terrazzo alluvionale che separa, in superficie, i depositi di origine lessinea da quelli di origine atesina. Essa è seguita in profondità da un acquifero semiconfinato o confinato discontinuo e lentiforme, spesso anastomizzato al precedente. La ricarica è dovuta alla infiltrazione delle precipitazioni, ai contributi dell'irrigazione, alla dispersione delle acque di alveo e subalveo dei corsi d'acqua e agli afflussi laterali provenienti dall'acquifero freatico indifferenziato dell'alta pianura veronese. La scarica ha luogo nei tratti drenanti dei corsi d'acqua, prelievi per vari scopi ed usi, nonché come recapito finale nel mare Adriatico lungo la linea di costa.

L'acquifero ospitato nelle rocce calcaree e basaltiche, sottostante, nell'area di Colognola ai Colli, al materasso alluvionale è riconducibile al potente acquifero carbonatico della zona di montagna.

Il reticolo idrografico presenta una fitta maglia di corsi d'acqua di diversa natura e importanza: i principali corsi d'acqua, i torrenti Illasi, Tramigna ed il fiume Adige, si trovano ad una distanza superiore a 2 km. I corsi d'acqua lessinei si caratterizzano per l'esiguità della circolazione idrica superficiale attiva: nei rilievi collinari e nelle valli intercollinari, i corsi d'acqua hanno carattere effimero e si riempiono solo in occasione di precipitazioni particolarmente intense, a causa di un carsismo ben sviluppato che caratterizza tutto il tavolato dei Monti Lessini veronesi e a causa di una elevata permeabilità dei depositi alluvionali. Al passaggio fra l'alta e la media pianura veronese, invece, il limite di permeabilità esistente tra i depositi alluvionali dell'alta e media pianura, determina un diffuso fronte sorgivo che alimenta in continuo i corsi d'acqua della media pianura veronese (cosiddetta "fascia delle risorgive").

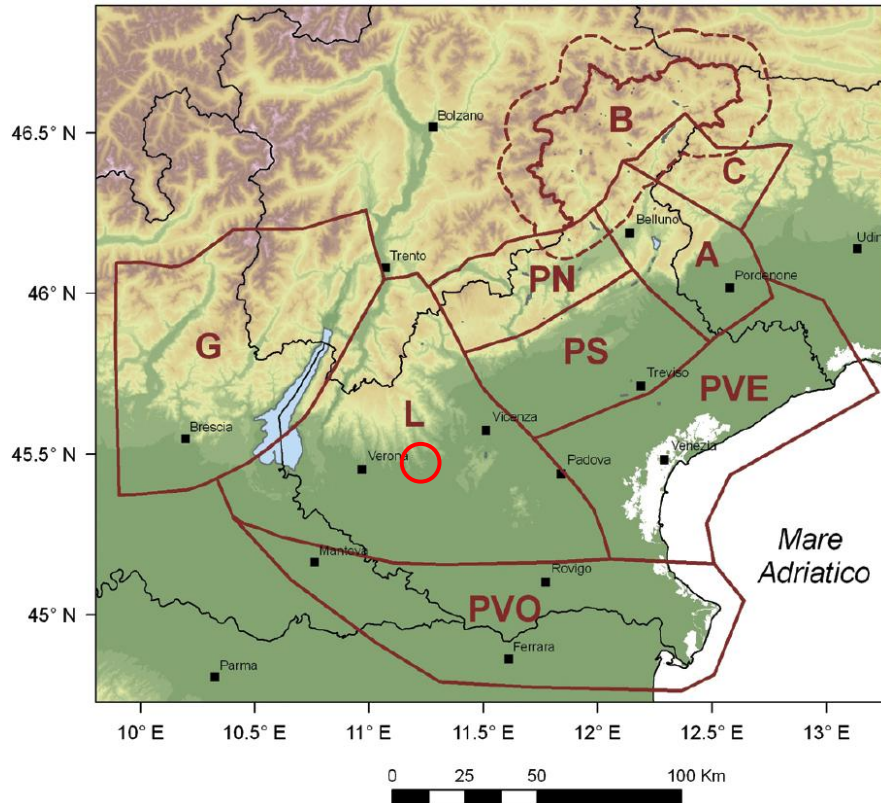
2.4) Inquadramento sismotettonico

Per la caratterizzazione sismotettonica dell'area di interesse progettuale, si è fatto riferimento allo studio "Distretti sismici del Veneto"¹, a cura di M. Sukan 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 sismologico sismogenici comuni.

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.

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).

¹ Distretti sismici del Veneto", a cura di M. Sukan 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.



*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.*

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 nella Bassa 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).

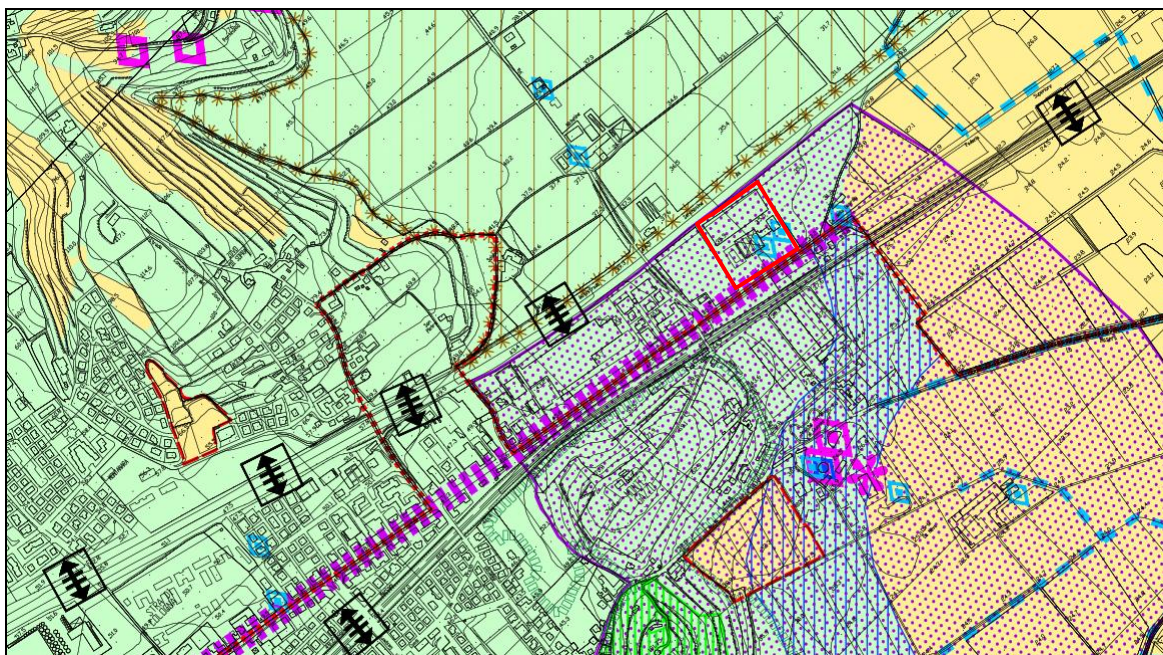
Negli ultimi due secoli, l'evento del 7 giugno 1891, localizzato nella Valle d'Illasi, ha causato forti danni ($I_0=VIII-IX$ MCS, $MW=5,71$) in prossimità dell'epicentro e ha fatto registrare effetti al di sopra della soglia del danno in gran parte della Lessinia. Da notare che pochi giorni dopo, il 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).

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.

2.5) Fragilità e pericolosità geologica, idraulica e sismica

A completare l'inquadramento geologico dell'area di variante, si evidenzia che nella Carta delle Fragilità del Piano di Assetto del Territorio Intercomunale o PATI dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli e Lavagno, **l'area di intervento è classificata, ai fini edificatori, come area geologicamente idonea** e ricade all'interno dell'ambito di una concessione termale.



Estratto della Carta delle Fragilità del Piano di Assetto del Territorio Intercomunale o PATI dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli e Lavagno. Legenda:

Compatibilità geologica a fini edificatori

	Aree idonee
	Aree idonee a condizione: Terreni con penosità geomorfologiche
	Aree idonee a condizione: Terreni con penosità idrogeologiche
	Aree idonee a condizione: Terreni con scadenti caratteristiche meccaniche
	Aree non idonee

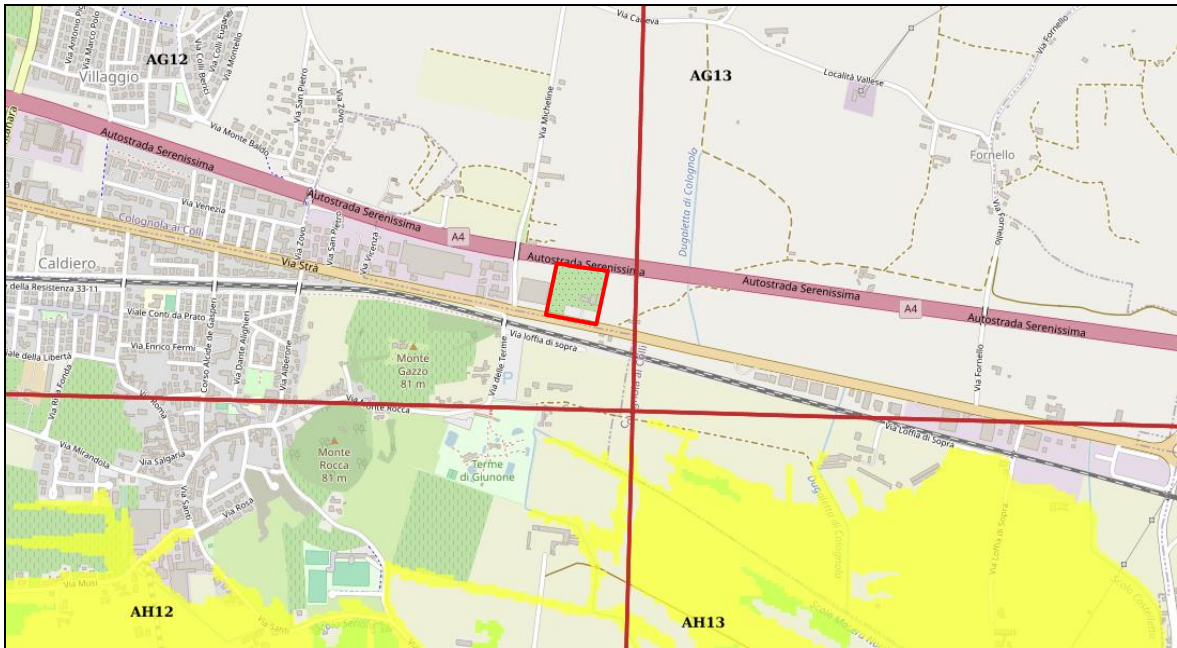
Elementi di fragilità

	Corsi d'acqua minori
	Aree caratterizzate da particolare vulnerabilità degli acquiferi
	Tratti viari caratterizzati da duplice traffico urbano e di attraversamento
	TUTELA DI RISORSA TERMALE

In materia di rischio idraulico, la Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali ha adottato, in data 21 dicembre 2021, il **primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni** ai sensi degli articoli 65 e 66 del D.Lgs. n. 152/2006, successivamente approvato con D.P.C.M. 1° dicembre 2022. Hanno, quindi, cessato di avere efficacia, per la parte idraulica, i Piani per

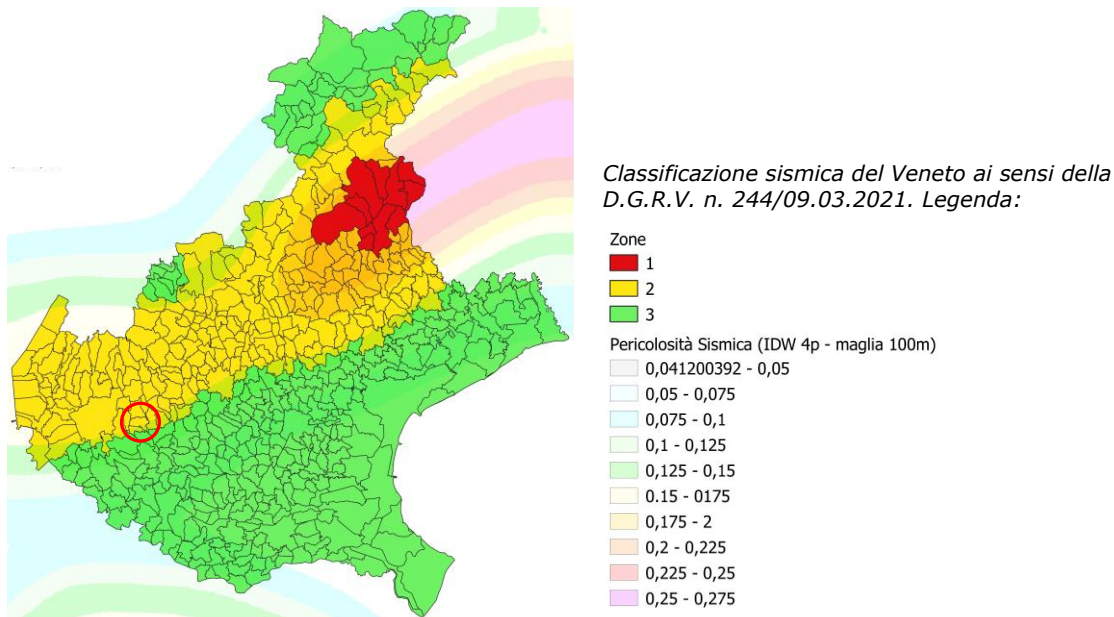
l'Assetto Idrogeologico (PAI) presenti nel Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, fra cui quello specifico dell'Adige. I Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) presenti nel Distretto Idrografico delle Alpi Orientali continuano ad esprimere le conoscenze, le disposizioni e le mappature relative alla pericolosità e al rischio geologico dovuto a fenomeni gravitativi e valanghivi.

Secondo gli elaborati dell'ancora vigente PAI e del nuovo PGRA 2021-2027, pubblicati sul sito istituzionale, l'area in esame **NON risulta interessata da alcuna classe di pericolosità geologica da frana o di pericolosità idraulica.**



Estratto della Tavola AG12_PI "Carta della pericolosità idraulica" del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni 2021-2027 del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali.

Ai sensi della Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 244 del 9 marzo 2021 "Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D.Lgs. 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94; D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021" il Comune di Colognola ai Colli ricade nella Zona 2.



2.6) Modello geologico preliminare di riferimento

Il rilevamento geologico e la campagna di prove in sito, come coadiuvati dall'analisi bibliografica esposta ai paragrafi 2.1÷2.5 della presente relazione, hanno permesso di ricostruire i caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del sito di intervento.

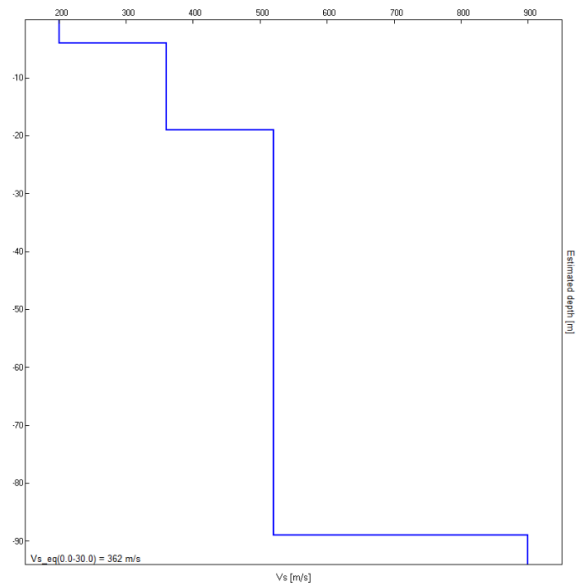
All'esame osservazionale si rileva che, in superficie, l'area di intervento risulta urbanizzata ed occupata dalle esistenti strutture di un'attività floro-vivaistica in esercizio. Nelle successive fasi attuative, dopo la demolizione delle esistenti strutture, le indagini in sito dovranno essere estese anche alla rimanente porzione dell'area di intervento.

In corrispondenza delle prove penetrometriche CPT1 e CPT2, partendo dalla superficie topografica verso il basso e al di sotto dello strato di terreno vegetale e di materiale di riporto connesso all'urbanizzazione dell'area dello spessore di circa 0,6÷1,4 m, si riscontra la presenza di un profilo litostratigrafico rappresentato da litotipi di origine clastica, sciolti e a comportamento sia granulare che coesivo ad elevata eteropia laterale; nel complesso si osservano **quattro banchi principali di litotipi**:

- un primo banco (**Banco "A"**) è composto da sabbia limosa e limo sabbioso fino alla profondità di - 3,60 m in CPT1 e di - 3,40 m in CPT2;
- un secondo banco (**Banco "B"**) è costituito da sabbia, da molto a mediamente addensata, e da limo sabbioso con intercalazioni decimetriche di argilla e limo in assetto lenticolare fino alla profondità di - 7,00 m in CPT1 e di - 8,40 m in CPT2;
- un terzo banco (**Banco "C"**) è composto da argilla e limo argilloso con intercalazioni decimetriche di limo sabbioso o di sabbia limosa in assetto lenticolare - 13,60 m in CPT1 e di - 13,40 m in CPT2;
- un quarto banco (**Banco "D"**) presenta sabbia e sabbia con limo fino alla massima profondità indagata di - 14,60 m in CPT1 e di - 15,60 m in CPT2.

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito, attraverso l'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche (Re.Mi. + HVSR), ha evidenziato la presenza di un materiale poco

addensato fino a circa 4,0 m dal p.c. locale, caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde di taglio S (V_s) pari a $V_s \approx 200$ m/s, mentre all'aumentare della profondità il grado di rigidità del sottosuolo diventa progressivamente più elevato con valori di V_s di 360 m/s fino a circa 19 m dal p.c. locale, di 520 m/s fino a circa 89 m dal p.c. locale e di 900 m/s oltre tale profondità. Il *bedrock* geofisico ($V_s \approx 900$ m/s), inteso come quel materiale che presenta una $V_s > 800$ m/s, è stato riscontrato ad una profondità di circa 89 m dal p.c. locale.



Profilo verticale delle velocità delle onde di taglio V_s presso l'area di intervento; si noti che il valore di $V_{s(0.0-30.0)}$ è pari a 362 m/s.

Per quanto riguarda le proprietà idrogeologiche, il rilevamento geologico - tecnico ha permesso di accertare che i terreni in esame sono afferenti all'acquifero alluvionale di pianura (Unità dell'Alta Pianura Orientale), che ospita una falda superficiale; in data 8 gennaio 2025, all'interno dei fori penetrometrici, **la falda presenta una soggiacenza minima di - 1,4÷1,6 m dal p.c.**

Il modello geologico locale risulta, quindi, schematicamente suddivisibile come riportato nella seguente tabella.

Strato	Profondità (m da p.c.)	Litologia correlata	Soggiacenza falda (m dal p.c.)
-	0,0 - 0,6÷1,4	Terreno vegetale e materiali di riporto connessi all'urbanizzazione dell'area	1,4÷1,6 (in data 8 gennaio 2025)
A	0,6÷1,4 - 3,4÷3,6	Banco di sabbia limosa e limo sabbioso	
B	3,4÷3,6 - 7,0÷8,4	Banco di sabbia, da molto a mediamente addensata, e limo sabbioso con intercalazioni decimetriche di argilla e limo in assetto lenticolare	
C	7,0÷8,4 - 13,4÷13,6	Banco di argilla e limo argilloso con intercalazioni decimetriche di limo sabbioso o di sabbia limosa in assetto lenticolare	
D	13,4÷13,6 - 14,6÷15,6	Banco di sabbia e sabbia con limo	

Modello geologico di riferimento: profilo litostratigrafico locale e soggiacenza della falda in corrispondenza dell'area di intervento.

CAPITOLO 3 - RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

3.1) Interpretazione delle prove penetrometriche

La parametrizzazione geotecnica dei terreni locali è stata fatta sulla base dei risultati delle prove penetrometriche continue statiche (CPT1 e CPT2). I metodi di interpretazione di tali prove fanno riferimento a metodi di correlazione di tipo empirico o a soluzioni teoriche di bibliografia.

Le prove penetrometriche statiche forniscono informazioni continue lungo un profilo verticale, attraverso misure fisiche dirette correlabili empiricamente con numerosi parametri geotecnici. In particolare, le prove penetrometriche eseguite hanno permesso di effettuare, mediante l'uso della punta Begemann, la misura ogni 20 cm dei valori della resistenza alla punta e dell'attrito laterale locale, successivamente correlati alle caratteristiche geotecniche del terreno.

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio sono stati mediati i valori desunti dalle correlazioni di Durgunoglu & Mitchell, Caquot, Koppejan e De Beer, mentre la coesione non drenata è stata calcolata con il metodo riportato nella pubblicazione di Robertson - Campanella (1983) e confrontata con altre formulazioni.

Il modulo edometrico è stato ricavato con Mitchell & Gardner (1975), considerando le osservazioni di altri autori legate alla natura litologica.

I dati riepilogati nelle seguenti tabelle rappresentano il valore medio dei parametri di ciascuno degli strati individuati: talora, alcuni livelli spessi 20 cm caratterizzati da particolari valori di resistenza alla punta, sono stati scartati o interpretati, come comportamento meccanico, in modo differente dai dati di correlazione litotecnica restituiti dalle prove.

PROVA CPT1								
Strato	Prof. (m dal p.c.)	Comportam. prevalente	Rp _m (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	φ (°)	M (kg/cm ²)	γ _{nat} (kN/m ³)	γ _{sat} (kN/m ³)
O	0,0 - 1,4	-	-	-	-	-	16	18
A	1,4 - 3,6	incoerente	61	-	32	69,6	18	20
B1	3,6 - 5,0	incoerente	216	-	35	92,2	18	20
B2	5,0 - 7,0	incoerente	38	-	24	94,5	17	19
C1	7,0 - 8,8	coesivo	14	0,5	-	71,1	17	19
C2	8,8 - 11,2	incoerente	44	-	24	109,5	17	19
C3	11,2 - 13,6	coesivo	18	0,6	-	91,3	17	19
D	13,6 - 14,6	incoerente	172	-	28	85,6	18	20

Parametri geotecnici caratteristici ricavati dalla prova penetrometrica statica CPT1 (Rp_m = resistenza media alla punta, Cu = coesione non drenata, φ = angolo di resistenza al taglio, M = modulo edometrico, γ_{nat} = peso di volume naturale del terreno, γ_{sat} = peso di volume saturo del terreno sotto falda).

PROVA CPT2								
Strato	Prof. (m dal p.c.)	Comportam. prevalente	R_pm (kg/cm²)	Cu (kg/cm²)	φ (°)	M (kg/cm²)	γ_{nat} (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)
0	0,0 - 0,4	-	-	-	-	-	16	18
A1	0,4 - 2,4	incoerente	29	-	29	72,8	18	20
A2	2,4 - 3,4	incoerente	84	-	33	77,0	18	20
B1	3,4 - 3,8	incoerente	121	-	35	85,8	18	20
B2	3,8 - 4,6	incoerente	60	-	28	150,6	18	20
B3	4,6 - 5,2	incoerente	126	-	33	83,1	18	20
B4	5,2 - 6,0	coesivo	45	1,5	-	111,9	17	19
B5	6,0 - 6,8	incoerente	136	-	31	82,6	18	20
B6	6,8 - 8,4	incoerente	57	-	25	142,5	18	20
C1	8,4 - 10,4	coesivo	16	0,5	-	82,2	17	19
C2	10,4 - 10,8	incoerente	65	-	25	54,9	18	20
C3	10,8 - 13,4	coesivo	16	0,5	-	78,8	17	19
D	13,4 - 15,6	incoerente	64	-	24	159,7	17	19

Parametri geotecnici caratteristici ricavati dalla prova penetrometrica statica CPT2 (R_pm = resistenza media alla punta, Cu = coesione non drenata, φ = angolo di resistenza al taglio, M = modulo edometrico, γ_{nat} = peso di volume naturale del terreno, γ_{sat} = peso di volume saturo del terreno sotto falda).

3.2) Modello geotecnico locale preliminare

I risultati dell'analisi bibliografica e della campagna di prove in sito evidenziano che il sottosuolo locale più superficiale (0÷15,6 m) è rappresentato da depositi alluvionali costituiti da alternanze di banchi metrici di limo sabbioso, sabbia limosa e sabbie e di banchi di argilla e argilla limosa, che si rinvergono nel settore orientale dell'alta pianura veronese.

Le verticali delle due prove penetrometriche CPT1 e CPT2 evidenziano una significativa variabilità laterale dei litotipi e delle correlate proprietà geotecniche locali, con valori relativamente più scadenti nella prova CPT1. Pertanto, nella formulazione della proposta di modello geotecnico locale si è dato maggior rilevanza alle risultanze di tale prova. Nella seguente tabella vengono, quindi, riportati i parametri geotecnici x_d di progetto secondo la modellazione M1 prevista dal D.M. 17 gennaio 2018.

Ad esclusione delle strutture antropiche, del presumibile orizzonte di materiali di riporto misti a terreno vegetale o dell'orizzonte di suolo (strato 0 che non dovrà costituire il piano di posa di alcuna fondazione), le proprietà geotecniche dell'ammasso terroso possono ritenersi complessivamente mediocri / scadenti.

Nelle successive fasi attuative, dopo la demolizione delle esistenti strutture, le indagini in sito dovranno essere estese anche alla rimanente porzione dell'area di intervento per verificare e confermare il modello geologico di riferimento assunto al presente stadio di elaborazione progettuale.

MODELLO M1						
Strato	Prof. (m dal p.c.)	Litologia	Cu_d (kg/cm ²)	φ_d (°)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
0	0,0 - 1,4	Terreno vegetale e materiali di riporto	-	-	16	18
A	1,4 - 3,6	Sabbia limosa	-	32	18	20
B1	3,6 - 5,0	Sabbia	-	35	18	20
B2	5,0 - 7,0	Limo e limo sabbioso	-	24	17	19
C1	7,0 - 8,8	Argilla	0,5	-	17	19
C2	8,8 - 11,2	Limo e limo sabbioso	-	24	17	19
C3	11,2 - 13,6	Limo argilloso	0,6	-	17	19
D	13,6 - 15,6	Sabbia	-	28	18	20

Modellazioni M1 dei parametri geotecnici dei litotipi locali (Cu_d = coesione non drenata di progetto, φ_d = angolo di resistenza al taglio di progetto, γ_{nat} = peso di volume del terreno sopra falda, γ_{sat} = peso di volume del terreno saturo).

CAPITOLO 4 - RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

4.1) Studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale di Colognola ai Colli

Il Comune di Colognola ai Colli è dotato di uno **Studio di Microzonazione Sismica di 1° livello** redatto nel novembre 2015 dal dott. geol. Cristiano Mastella, nell'ambito dei cofinanziamenti in base all'O.C.D.P.C. n. 293/2015 per l'annualità 2014, e valutato dalla Direzione Difesa del Suolo e della Costa della Regione del Veneto tramite nota prot. n° 187114 in data 12/05/2016 (richiesta d'integrazioni) e tramite nota prot. n° 277334 in data 18/07/2016 (parere definitivo). Tale studio non è risultato reperibile e non è pubblicato nel Portale cartografico della Microzonazione Sismica e della Condizione Limite per l'Emergenza (<https://www.webms.it/servizi/viewer.php>).

Studio di Microzonazione Sismica di 3° livello

Il Comune di Colognola ai Colli, nell'ambito del percorso di formazione dei propri strumenti urbanistici, ha redatto lo **Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3** sull'intero territorio comunale, acquisendo il Parere di compatibilità sismica dell'U.O. Genio Civile di Verona con nota prot. n° 0194528 in data 19/04/2024 sulla scorta del parere favorevole della Direzione Difesa del Suolo e della Costa della Regione del Veneto di cui alla nota n° 0138767 del 19/03/2024.

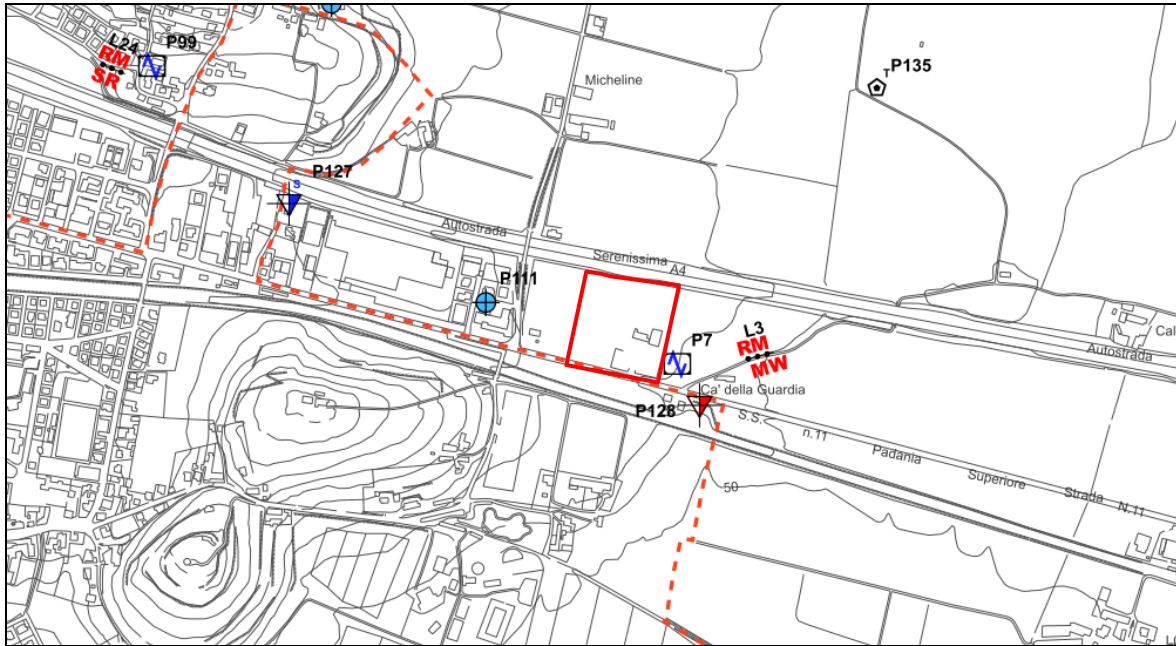
Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli ha previsto:

- una rivisitazione del Livello 1 precedentemente condotto variandone localmente i contenuti e adattandolo alle basi informatiche e alle rappresentazioni grafiche degli attuali standard Nazionali;
- una quantificazione degli effetti amplificativi del moto sismico di base tramite la stima del Fattore di Amplificazione, ottenuto tramite modellazioni numeriche avanzate;
- la valutazione delle potenziali instabilità sismo-inducibili.

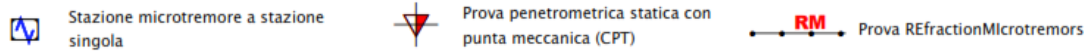
Esso determina la quantificazione numerica degli effetti per gli scenari esposti attraverso la stima dei fattori di amplificazione FA (fattore di amplificazione a basso periodo) e si compone, oltre alla documentazione di base e degli allegati tecnici, di:

- Relazione Tecnica;
- Tavola 1 - Carta delle indagini;
- Tavola 2 - Carta geologico-tecnica;
- Tavola 3 - Carta delle frequenze;
- Tavola 4 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica;
- Tavola 5 - Carta della pericolosità sismica locale (CPSL);
- Tavole 6 - Carte di Microzonazione sismica di Livello 3: FA 0.1-0.5 s, FA 0.4-0.4 s e FA 0.4-1.1 s.

Nel seguito si riportano gli estratti cartografici delle diverse tavole in corrispondenza dell'area oggetto di intervento.

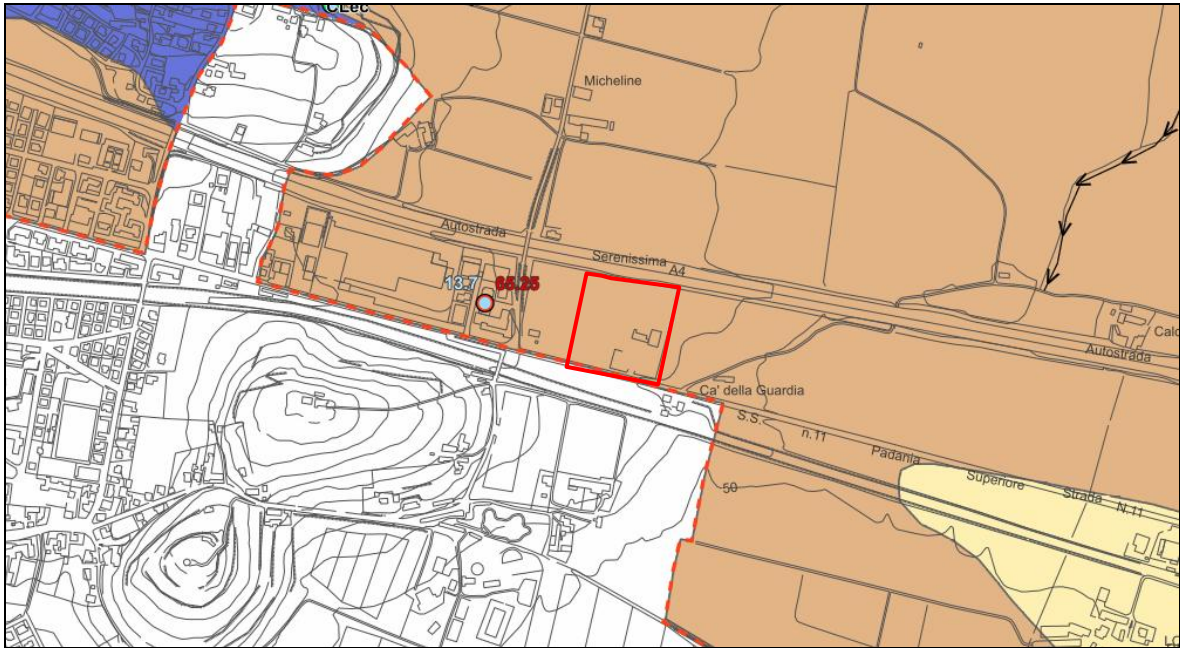


Estratto della Tavola 1 - Carta delle indagini dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:



Poco ad est dell'area in esame, nell'ambito dello Studio di Microzonazione Sismica di 1° livello sono state eseguite la Stazione microtremore a stazione singola n. P7 (anno 2015), in cui la frequenza di risonanza nell'intervallo 0,1 - 20 Hz è pari a 1,08 Hz, e la Prova REfraction Microtremors n. L3 (anno 2015), in cui la Vs è pari a 333 m/s.

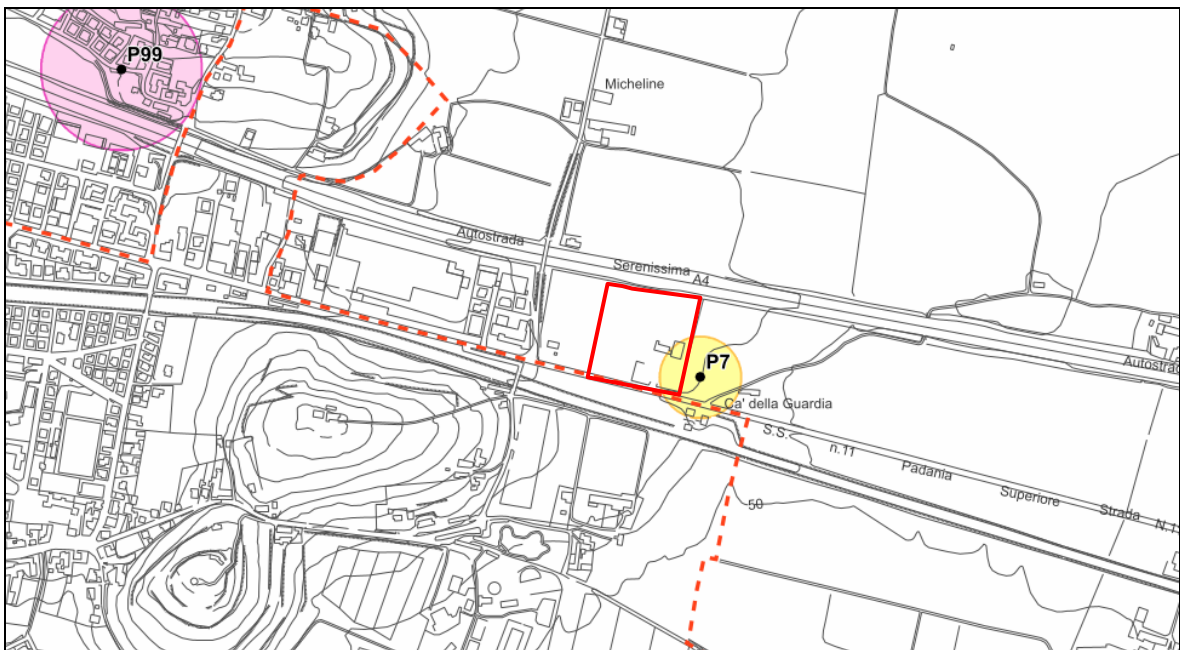
Nell'ambito dello Studio di Microzonazione Sismica di 3° livello è stata eseguita la prova penetrometrica dinamica n. P128 che ha rilevato la presenza di un banco di sabbia e limo fino alla profondità di circa 1 m, seguito verso il basso da un banco di limo argilloso fino a circa 3,0 m, da un banco di limo sabbioso fino a circa 6,0 m e da un banco di sabbia ghiaiosa fino a circa 6,4 m; all'interno del foro penetrometrico la falda superficiale non è stata rilevata (anno 2023).



Estratto della Tavola 2 - Carta geologico tecnica dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:

<p>MLin Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fine limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di bacino (piana) intramontano</p>	<p>● m</p>	<p>Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico con indicazione della profondità (m) raggiunta</p>	<p>● m</p>	<p>Presenza della falda in aree con sabbie e/o ghiaie con indicazione della profondità (m) del tetto della falda</p>
---	---	---	--	--

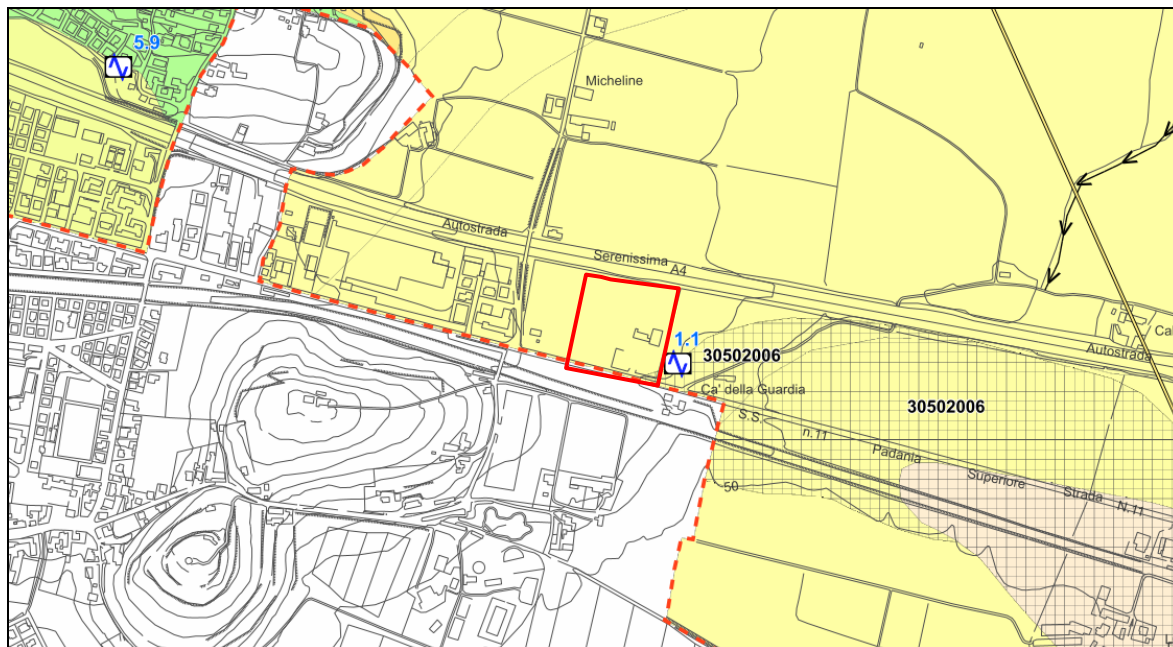
La Carta geologica tecnica evidenzia presso l'area in esame la presenza di terreni di copertura costituiti da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fine limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di bacino (piana) intramontano e l'assenza di elementi tettonico-strutturali o geomorfologici di rilievo.



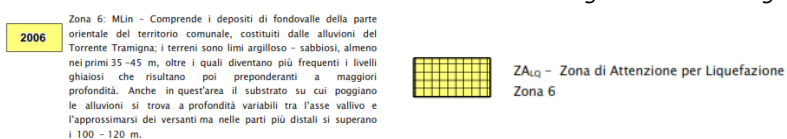
Estratto della Tavola 3 - Carta delle frequenze dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:

● Frequenza F0: $0.90 \text{ Hz} \leq Fr \leq 1.80 \text{ Hz}$

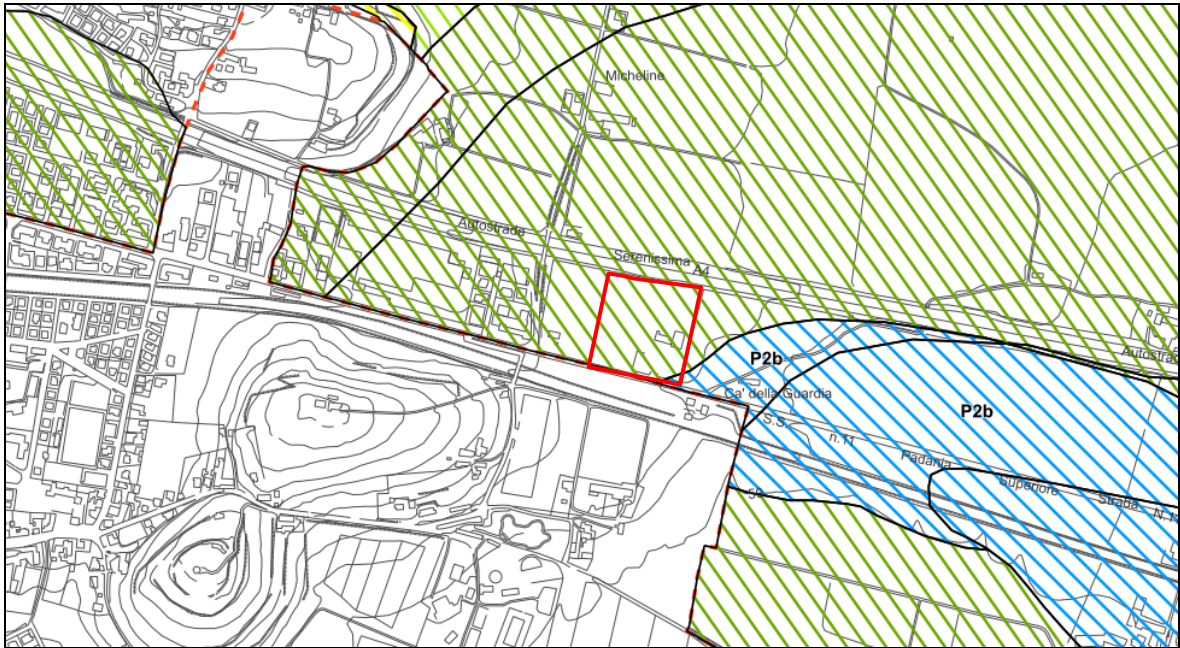
Nel punto di indagine ad est rispetto all'area di intervento la frequenza fondamentale è compresa nell'intervallo 0,90-1,80 Hz.



Estratto della Tavola 4 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:



La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica evidenzia la presenza della Zona stabile 6 suscettibile di amplificazioni locali; posto ad est dell'area in esame è segnalata la Zona di attenzione per instabilità ZALQ per liquefazione su Zona 6.

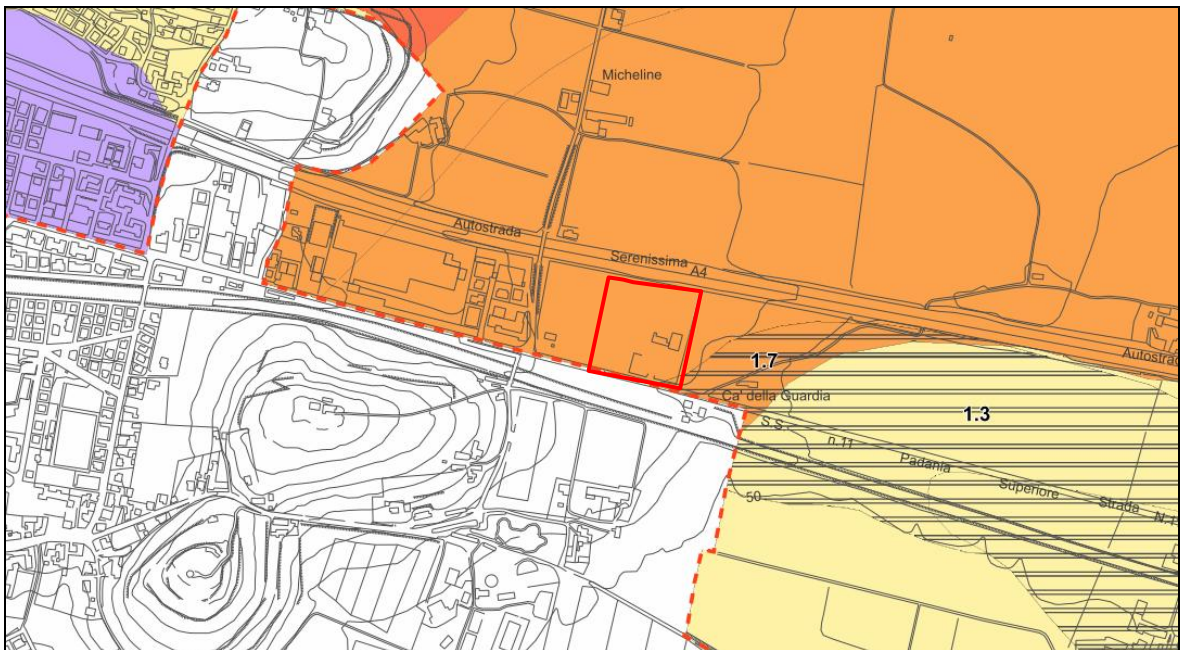


Estratto della Tavola 5 - Carta della pericolosità sismica locale dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:



Zona di fondovalle ampie e di pianura con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi

La Carta della pericolosità sismica locale evidenzia lo scenario di pericolosità sismica locale P4a in cui gli effetti attesi sono di amplificazione litologica.



Estratto della Tavola 6a - Carta di microzonazione sismica FA 0.1-0.5 s dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:



FA = 1.7 - 1.8



Estratto della Tavola 6b - Carta di microzonazione sismica FA 0.4-0.8 s dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:

 FA = 1.7 - 1.8



Estratto della Tavola 6c - Carta di microzonazione sismica FA 0.7-1.1 s dello Studio di Microzonazione Sismica - Livello 3 del Comune di Colognola ai Colli. Legenda:

 FA = 1.7 - 1.8

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 evidenziano, per i diversi periodi analizzati, un fattore di amplificazione pari a $FA = 1,7 - 1,8$ nei periodi di intervallo 0,1-0,5 s, 0,4-0,8 s e 0,7-1,1 s.

4.2) Classificazione sismica del sito

Secondo il vigente D.M. 17 gennaio 2018, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati², 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 (di categoria A) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di 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 .

Secondo l'O.P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006, l'area è posta a cavallo delle fasce distinte da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,125g e 0,150g** e tra **0,150g e 0,175g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni - mappa 50° percentile).

Infatti, per quanto riguarda la **pericolosità di base** del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_r = 475$ anni), il calcolo eseguito con il programma "Spettri di risposta - ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per media ponderata individua la pericolosità sismica con un valore di a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,150g** (cfr. figura seguente), mentre per superficie rigata, individua la pericolosità sismica con un valore di a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,148g**.



T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,039	2,526	0,238
50	0,053	2,456	0,256
72	0,064	2,494	0,259
101	0,075	2,484	0,263
140	0,088	2,445	0,266
201	0,105	2,425	0,271
475	0,150	2,430	0,278
975	0,195	2,473	0,280
2475	0,275	2,379	0,291

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C' per i periodi di ritorno T_R di riferimento (Estratti da "Spettri di risposta - ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei LL.PP.).

² 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).

4.3) Analisi sismica locale

Per l'analisi sismica locale si è fatto riferimento ad una campagna di indagini sismiche (prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. - *Refraction Microtremor* - e registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. - *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* -).

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

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

Sismostrato	Velocità onde di taglio (m/s)	Spessori (m)	Profondità (m)
I SISMOSTRATO	200	4,0	0,0 - 4,0
II SISMOSTRATO	360	15	4,0 - ≈19
III SISMOSTRATO	520	70	≈19 - ≈89
IV SISMOSTRATO	900	Semisp.	≈89 - Semisp.

Modello sismo - stratigrafico locale dedotto dall'indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.

La frequenza caratteristica di risonanza di sito è risultata di ≈ 1,6 Hz. 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 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 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. Esse sono determinate sulla base dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ [m/s], secondo la seguente relazione:

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

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nello spessore pari alla profondità del substrato H , definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s (*bedrock*). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dall'indagine sismica effettuata è possibile calcolare la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come espressamente richiesto dalla normativa vigente.

Considerata la presenza del substrato di riferimento ad una profondità superiore a 30 m, a seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ ipotizzando varie profondità delle fondazioni.

Profondità piano di posa delle fondazioni	Velocità onde di taglio $V_{s,30}$ (m/s)
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 362$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 376$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 391$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 408$ m/s
CATEGORIA B DI SOTTOSUOLO	

Valori di $V_{s,30}$ in relazione alle diverse profondità del piano di posa delle fondazioni.

L'indagine di sismica passiva eseguita nel sito ha permesso di determinare il profilo verticale della velocità delle onde di taglio S (V_s) e di classificare il **profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione nella categoria di sottosuolo - B -** come definita al punto 3.2.2 dell'Allegato del D.M. 17 gennaio 2018 "**Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità compresi tra 360 m/s e 800 m/s**".

4.4) Suscettibilità alla liquefazione

Il fenomeno della "liquefazione" dei terreni durante i terremoti interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti sotto falda, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. In questo caso, durante lo scuotimento sismico, le sollecitazioni indotte nel terreno possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

La liquefazione deve essere, quindi, verificata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso argillosa.

In particolare, secondo le NTC, la verifica può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1n} > 180$, dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove S.P.T. normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1n} è il valore della resistenza determinata in prove CPT e normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Fig. 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nel caso in esame, non risultano soddisfatte le circostanze n. 1 ($a_{max} > 0,1g$), n. 2 (la falda è stata rinvenuta ad una profondità minima di almeno $-1,4 \div -1,6$ m dal p.c. locale) e n. 3 (q_{c1n} non è > 180), mentre la circostanza n. 4 non può essere verificata perché non si è dato corso a prove di laboratorio per la determinazione del fuso granulometrico.

Potendo contare sull'esecuzione di una campagna di indagini geologiche in sito, per la **stima del potenziale di liquefazione dei terreni in sito** si è utilizzato il metodo geotecnico di Boulanger e Idriss (2014), basato sulle prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2, spinte fino alla profondità, rispettivamente, di $-14,6$ m e di $-15,6$ m dal p.c.

Trattasi di un metodo di analisi semplificato in condizioni di *free - field*, che richiede che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie a_{max} e della magnitudo di riferimento M_w ; nel caso in esame si è assunto un evento sismico con $a_{max} = 0,18g$ e $M_w = 7,2$, mentre la falda, in condizioni di scuotimento sismico, è stata ipotizzata alla profondità di $-1,4$ m da p.c.

Attraverso l'utilizzo del *software* di calcolo GeoLogisMiki (cfr. Allegato 3), tale metodologia di calcolo esprime la suscettibilità alla liquefazione dei diversi strati analizzati, attraverso il calcolo di un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (CRR - *rapporto di resistenza ciclica*) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CSR - *rapporto di tensione ciclica*).

Il complessivo potenziale di liquefazione dei terreni locali viene espresso dall'**Indice del potenziale di liquefazione o I_L** , che misura gli effetti della liquefazione basata sulla larghezza e profondità delle zone liquefacibili (Iwasaki *et al*, 1982), secondo le seguenti classi di potenziale di liquefazione.

Potenziale di liquefazione I_L	Pericolo di liquefazione
0	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 5$	Basso o Non probabile
$5 < I_L \leq 15$	Alto o Probabile
$I_L > 15$	Molto alto o Certo

Le classi di potenziale di liquefazione.

In aggiunta, i terreni incoerenti (saturi e non), se sottoposti a forze dinamiche temporanee, quali intense vibrazioni o eventi tellurici, subiscono un riordino delle particelle, che si traduce in una compattazione dello strato interessato, e quindi in un cedimento denominato post-sismico.

L'entità della deformazione verticale è funzione della densità iniziale del deposito (per le sabbie), del grado di sovraconsolidazione (per le argille), del suo spessore e della massima resistenza che si sviluppa nello strato. In depositi incoerenti asciutti il cedimento post-sismico avviene pressoché immediatamente, mentre nei depositi incoerenti e coesivi saturi si completa quando le sovrappressioni interstiziali, generate dalle forze dinamiche, vengono interamente dissipate.

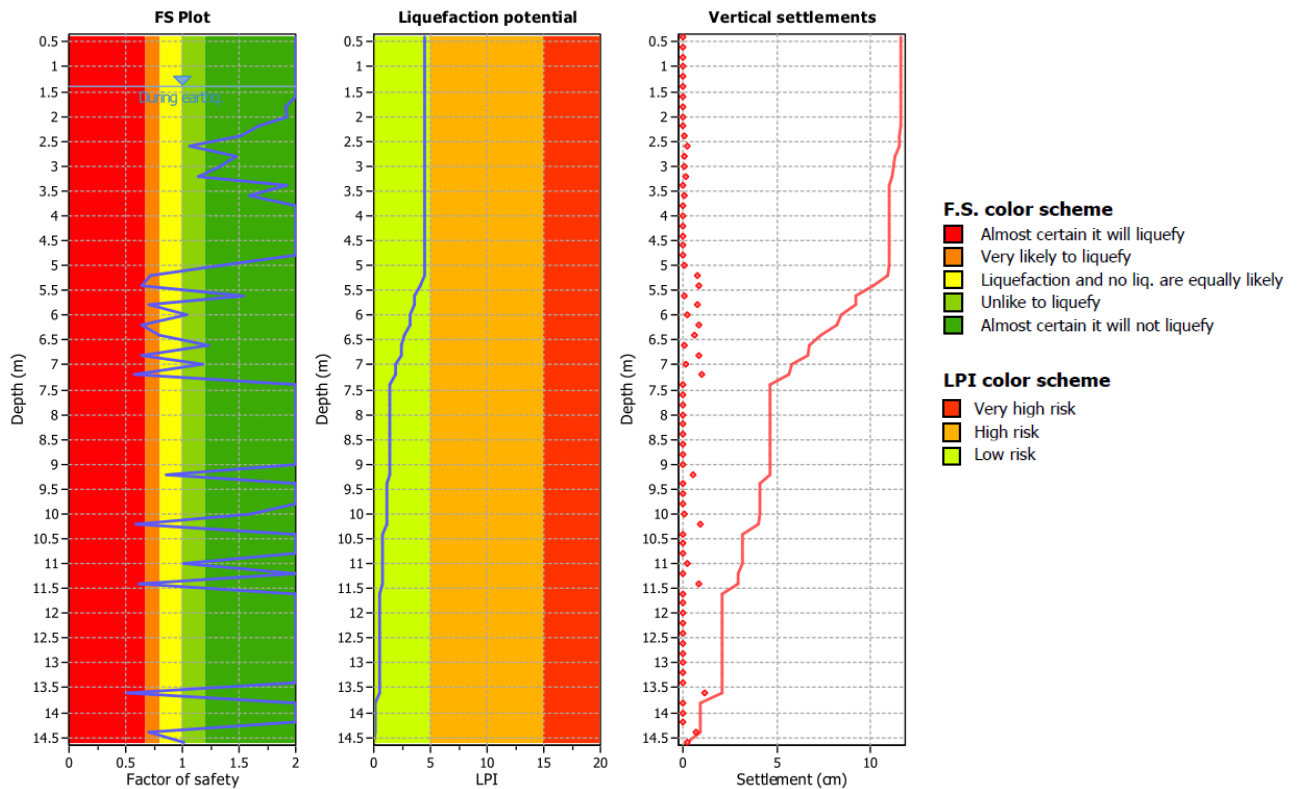
Per questo, è stata condotta la valutazione dei cedimenti post-sismici per i terreni incoerenti; effettivamente il riordino dei granuli in uno strato a seguito della dissipazione delle sovrappressioni è spesso legata al fenomeno della liquefazione, che

interessa i soli depositi sabbiosi. Tuttavia anche depositi coesivi soffici e/o plastici, sotto carichi dinamici particolarmente intensi, possono subire un riassetto delle particelle.

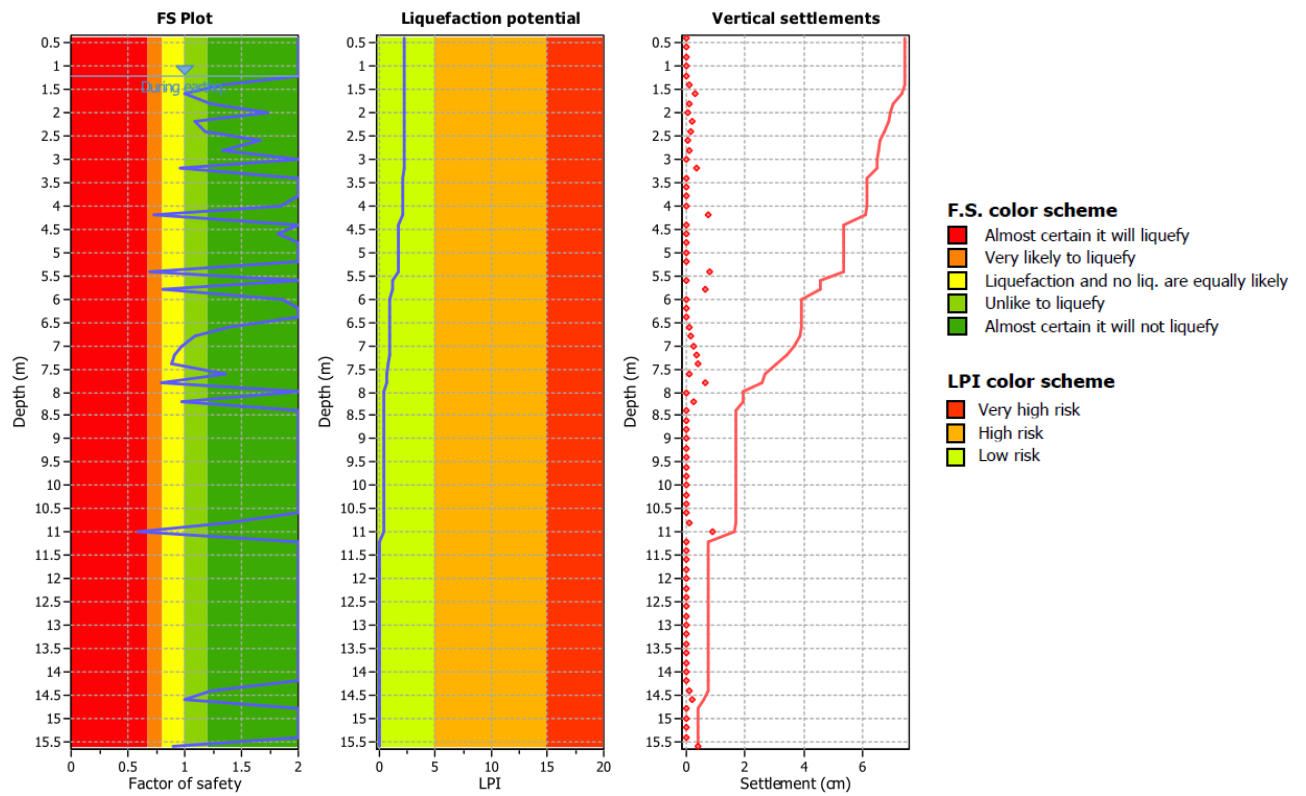
Si precisa che nel caso in esame i cedimenti post-sismici sono stati calcolati nei livelli incoerenti critici intercettati dalle prove eseguite.

In allegato sono stati riportati i *report* completi della verifica effettuata mentre a seguire si illustrano i risultati ottenuti:

- il potenziale di liquefazione risulta del valore di 4,52 nella prova CPT1 per fondazioni entro i primi 5,0 m di profondità dal p.c. (rischio moderato) e di 2,20 nella prova CPT2 per fondazioni entro i primi 3,0 m di profondità dal p.c. (rischio moderato);
- i cedimenti post-sismici risultano compresi entro 12÷13 cm nella prova CPT1 per fondazioni entro i primi 5,0 m di profondità dal p.c. e entro 6÷8 cm nella prova CPT1 per fondazioni entro i primi 3,0 m di profondità dal p.c.



Risultati ottenuti dalle verifiche alla liquefazione condotte con il metodo B&I (2014) lungo la verticale della prova penetrometrica statica CPT1.



Risultati ottenuti dalle verifiche alla liquefazione condotte con il metodo B&I (2014) lungo la verticale della prova penetrometrica statica CPT2.

CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI

Il presente Studio di compatibilità geologica, geomorfologica e idrogeologica a supporto della Variante Tematica n. 20 al Piano degli Interventi (PI) del Comune di Colognola ai Colli (VR) per la modifica della destinazione d'uso dell'area individuata catastalmente al Foglio n. 25 - M.N. 76, 409, 413, 499 da zona "D4/1 Centro Florovivaistico" a zona "D2 Industriale-Artigianale di Espansione" ha permesso di analizzare lo stato attuale del sito e di un suo adeguato intorno, accertando che:

- da un punto di vista morfologico, l'area di intervento è ubicata ad una quota di circa 35÷37 m s.l.m. nella fascia di alta Pianura Veronese elaborata al piede delle terminazioni meridionali dei Monti Lessini centrali;
- il sottosuolo locale più superficiale, al di sotto delle esistenti strutture antropiche e del terreno di riporto connesso all'urbanizzazione dell'area e/o dell'orizzonte di suolo, è costituito da depositi alluvionali rappresentati da alternanze di banchi metrici di limo sabbioso, sabbia limosa e sabbie e di banchi di argilla e argilla limosa con significativa eteropia laterale;
- in merito alle proprietà idrogeologiche del sottosuolo indagato, l'esecuzione dell'indagine penetrometrica ha permesso di accertare la presenza di falda idrica attiva alla profondità - 1,4÷1,6 m dal p.c.;
- in corrispondenza dell'area di intervento e del suo immediato intorno non sono segnalati fenomeni di dissesto idrogeologico;
- la caratterizzazione sismica del sito di intervento ha consentito di verificare il profilo stratigrafico locale che appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento - B -;
- il potenziale di liquefazione calcolato presenta valori variabili nelle due verticali di indagine CPT1 e CPT2 ad ulteriore testimonianza della spiccata eteropia laterale dei depositi locali, pur mantenendosi entro l'intervallo di rischio moderato.

Nelle successive fasi attuative, dopo la demolizione delle esistenti strutture, le indagini in sito dovranno essere estese anche alla rimanente porzione dell'area di intervento per approfondire il preliminare modello geologico e geotecnico di riferimento assunto al presente stadio di elaborazione progettuale.

La progettazione edilizia dovrà essere accompagnata da uno studio specialistico, a firma di tecnico competente e abilitato, esposto in una specifica Relazione geologica, Relazione geotecnica sulle indagini e Relazione sulla modellazione sismica.

Caldiero, 15 aprile 2025


dr.ssa geol. NICOLETTA TOFFALETTI
viale Guglielmo Marconi 20 - 37042 Caldiero (VR)
tel. 339 5773948



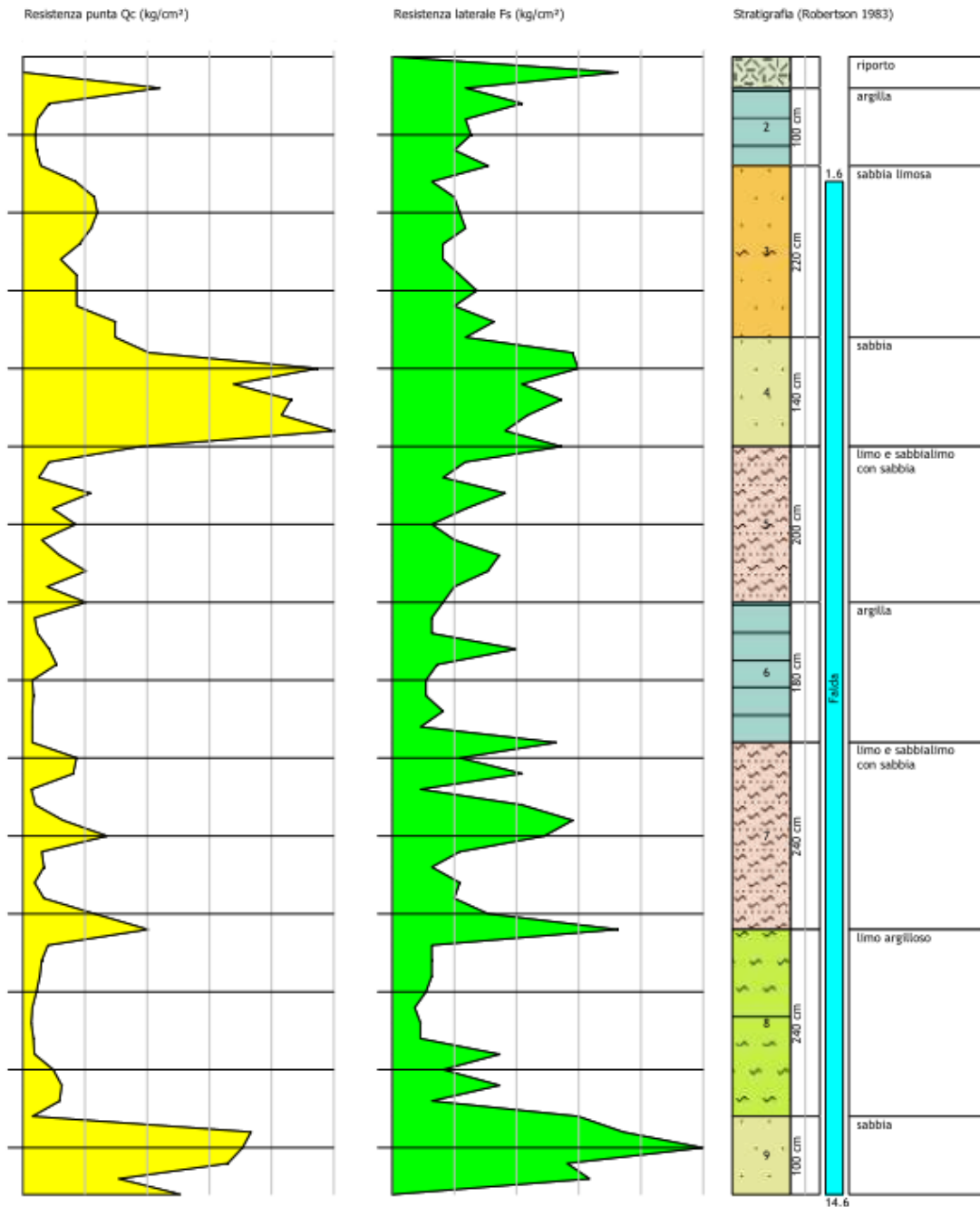
ALLEGATO 1 - PROVE PENETROMETRICHE

Probe CPT - Cone Penetration CPT1
 Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente:
 Cantiere: Strada Regionale 11
 Località: Colognola ai Colli

Data: 08/01/2025

Scala 1:75 - Qc: 1 cm=55.50 kg/cm² - Fs: 1 cm=0.69 kg/cm²

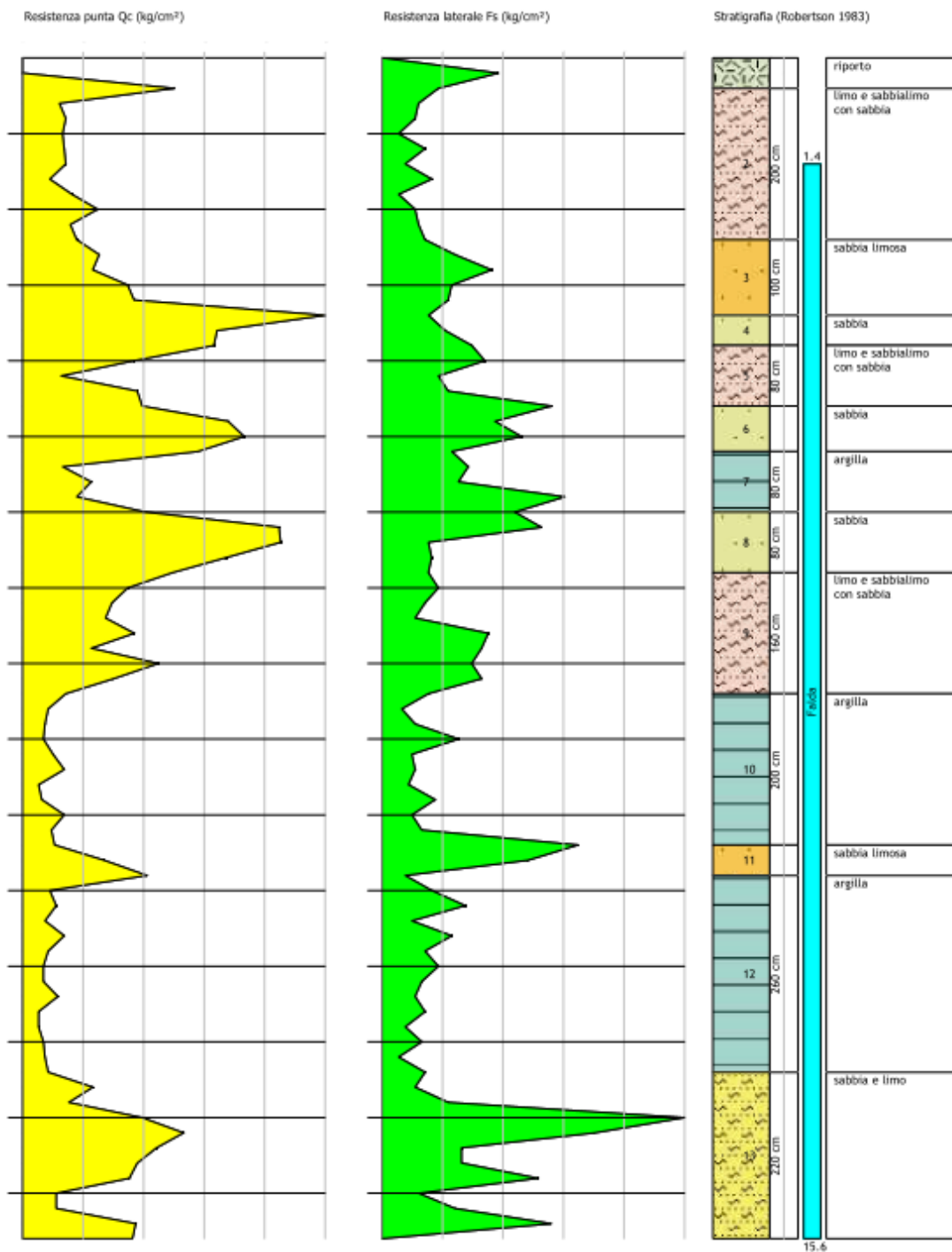


Probe CPT - Cone Penetration CPT2
 Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente:
 Cantiere: Strada Regionale 11
 Località: Colognola ai Colli

Data: 08/01/2025

Scala 1:75 - Qc: 1 cm=55.50 kg/cm² - Fs: 1 cm=0.69 kg/cm²



ALLEGATO 2 - INDAGINE SISMICA



REGIONE DEL VENETO

Provincia di Verona



Indagine geofisica con metodi Re. Mi. e H.V.S.R. per la caratterizzazione sismica dei terreni secondo la normativa vigente (N.T.C. - D.M. 17 gennaio 2018)

Strada regionale 11
Comune di Colognola ai Colli (VR)

Committente:
Dott.ssa Geol. Nicoletta Toffaletti

Data: gennaio 2025



STUDIOSISMA SRL
SS. PASUBIO 10, COSTABISSARA (VI)
TEL 0442/2952 / 3490567455
info@studiosisma.com
CF/P.IVA 03797510249 / SDI USAL8PV

INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1	INDAGINE SISMICA DI TIPO PASSIVO IN ARRAY (RE.MI.)	5
2.2	INDAGINE SISMICA DI TIPO PASSIVO A STAZIONE SINGOLA (H.V.S.R.)	7
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	8
4.	ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	10
4.1	RISULTATI OTTENUTI DALLE INDAGINI SISMICHE EFFETTUATE	10
4.2	INDAGINE SISMICA PASSIVA IN ARRAY (RE.MI.) CON INVERSIONE CONGIUNTA	10
4.3	INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (H.V.S.R.)	11
4.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE SECONDO LE NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI - D.M. 17 GENNAIO 2018	13

ALLEGATO

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

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Responsabile di Progetto	Autori	Collaboratori
M. Collareda	M. Bonetti	-

1. PREMESSE

Il giorno 08 gennaio 2025 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica in Strada Regionale 11, nel comune di Colognola ai Colli (VR), su incarico della **Dott.ssa Geol. Nicoletta Toffaletti**. Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono state effettuate:

- **n° 1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppata in un *array* lineare con n° 16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della Categoria del sottosuolo di fondazione (*V_s,eq*) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018*);
- **n° 1 registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Nella figura a seguire viene evidenziata l'area in oggetto di studio (*Fig. n° 1 - Estratto da ortofoto*).

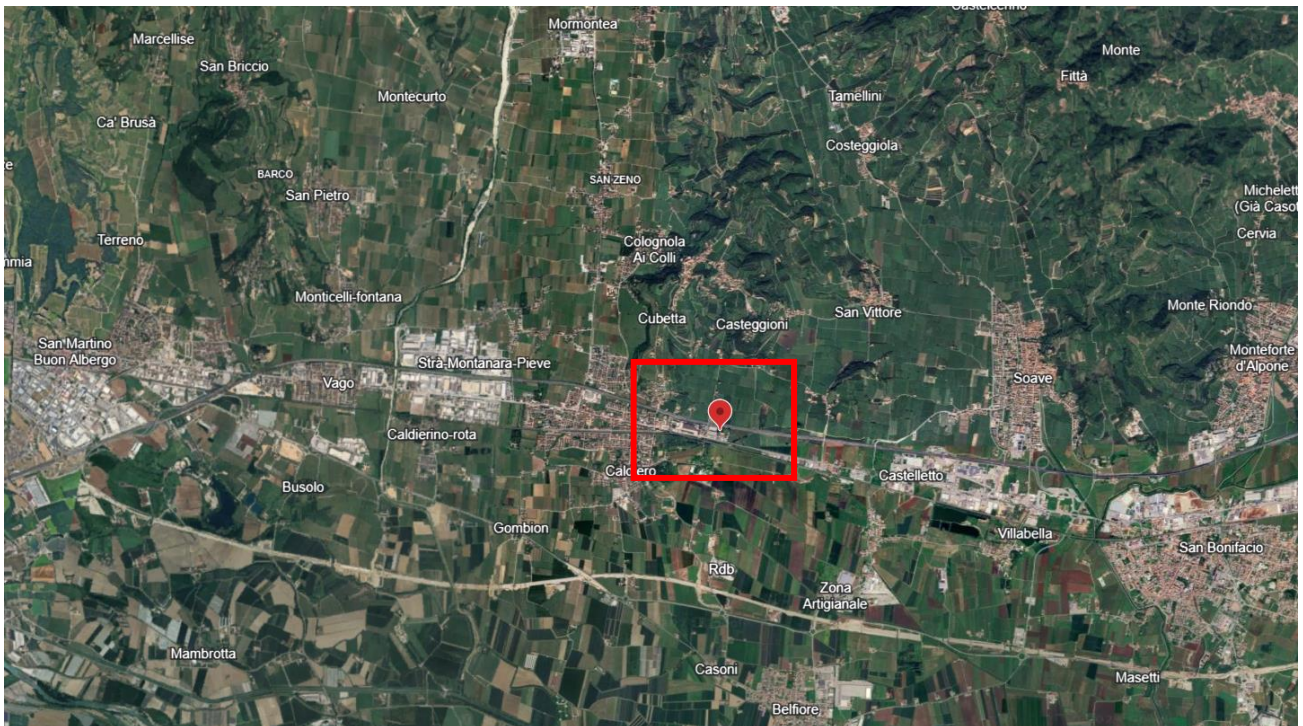


Fig. n° 1 - Estratto da ortofoto.

Le coordinate dell'area sono specificate nella tabella sottostante. Nella figura seguente (*Fig. n° 2 - Ubicazione prove in sito*) sono invece riportate, in dettaglio, le posizioni di ogni misura effettuata.

Latitudine	Longitudine
45.4136563° N (WGS 84)	11.1974107° E (WGS 84)



Legenda:



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

Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito

2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

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

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

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

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

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

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

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

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

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

Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.9.7 release 2021](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n°16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 45 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

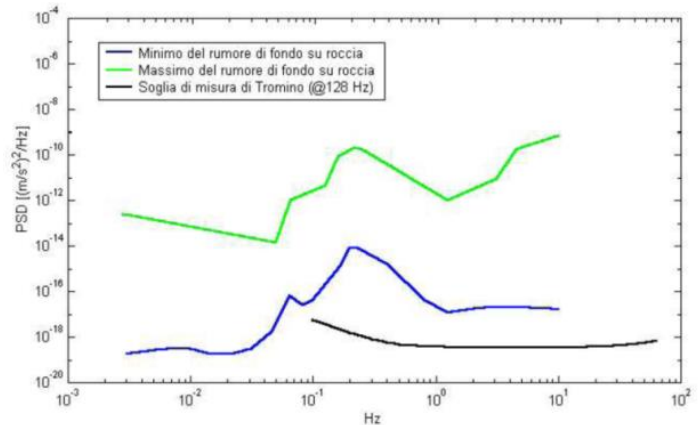
- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

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

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

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



3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

E’ la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

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

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

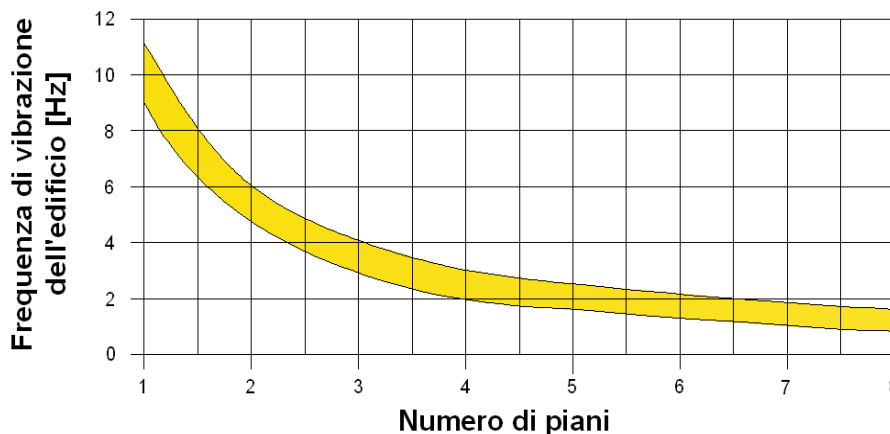


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

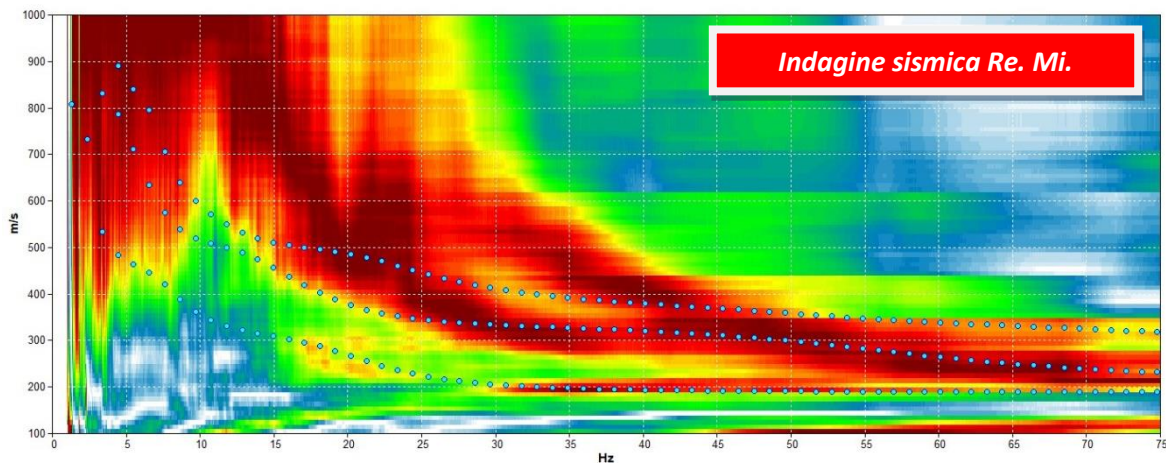
4. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

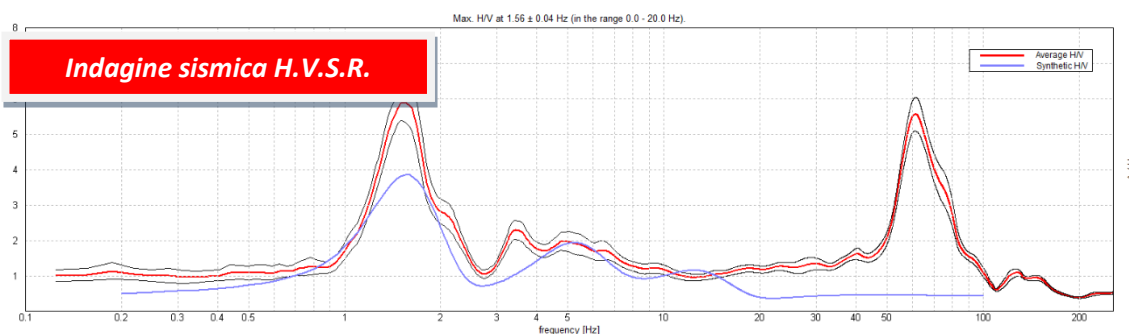
L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle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

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

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



Spettro di velocità: il modo fondamentale è presente quasi in tutte le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una distinta coerenza. In blu la curva sintetica creata da una modellizzazione diretta delle onde S.

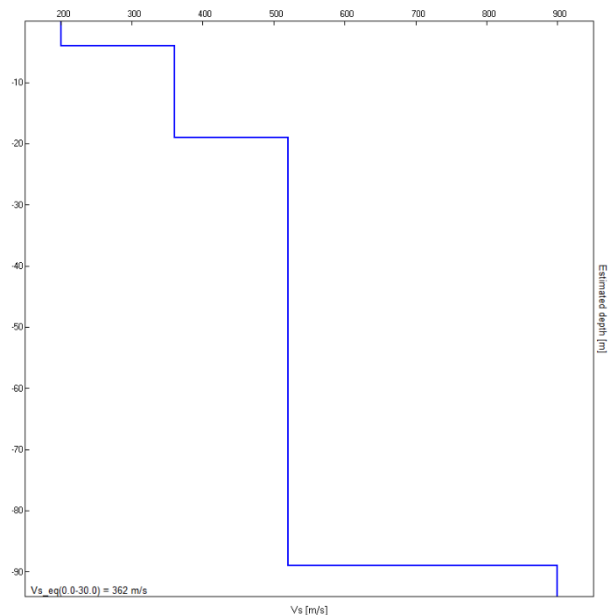


La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 4,0 m dal p.c. locale caratterizzato da V_s di circa 200 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con le V_s che incrementano a valori di circa 360 m/s.

Scendendo sino ad una profondità dal p.c. di circa 19 m si registrano velocità pari a circa 520 m/s, dimostranti un ulteriore aumento di rigidità nel terreno indagato.

Il bedrock geofisico ($V_s \approx 900$ m/s), inteso come quel materiale che presenta una $V_s > 800$ m/s, è stato riscontrato ad una profondità di circa 89 m dal p.c. locale.



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

Indagine sismica Re. Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	200	4,0	0,0 - 4,0
II SISMOSTRATO	360	15	4,0 - ≈ 19
III SISMOSTRATO	520	70	≈ 19 - ≈ 89
IV SISMOSTRATO	900	Semisp.	≈ 89 - Semisp.

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

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

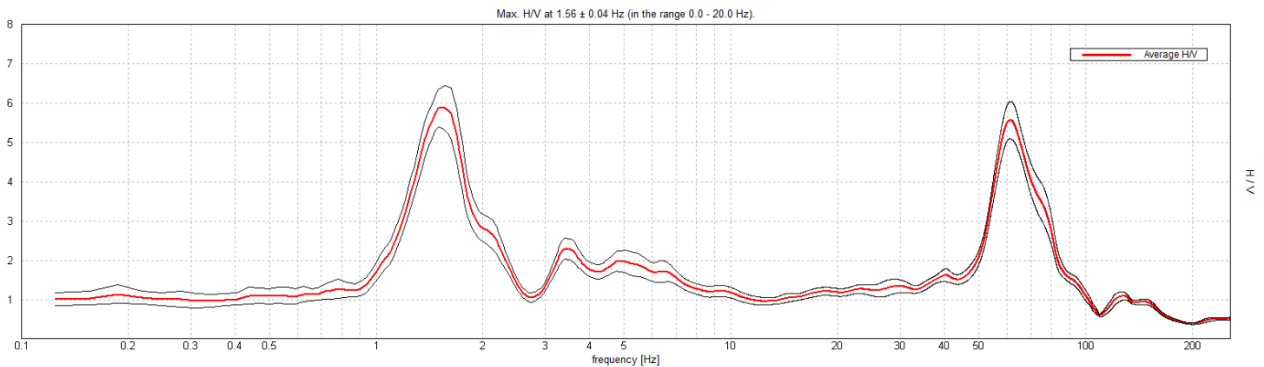
Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza caratteristica di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ($H/V \approx 6$) nell'intervallo d'interesse ingegneristico-strutturale (0.0 - 20.0 Hz), è di circa 1.6 Hz.

Frequenza caratteristica di risonanza
1.59 ± 0.04 Hz

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

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



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

Nella tabella seguente, s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto [SESAME](#) (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi. Si osserva quindi che il picco a 0.94 Hz soddisfa tutti i criteri e può pertanto essere assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Max. H/V at 1.56 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1218.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 76 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.156 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.87 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.02397 < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03745 < 0.15625	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.5668 < 1.78	OK	

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

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

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

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

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

Dall'assetto sismo-stratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del bedrock geofisico a profondità superiori a 30 m.

Pertanto, come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018*), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ($V_{s,30}$), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 362 \text{ m/s}$
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 376 \text{ m/s}$
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 391 \text{ m/s}$
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 408 \text{ m/s}$

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

Categoria B - Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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

Costabissara, gennaio 2025

STUDIOSISMA SRL
SS. PASUBIO 10, COSTABISSARA (VI)
TEL. 0444/212962 / 3490567455
info@studiosisma.com
CF/P.IVA 03797510249 / SDI USAL8PV

ALLEGATO

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

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 - 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 - 63.
- ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 - 908.
- ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
- ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
- ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 - 128.
- ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 - 290.
- ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 - 266.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica", *Il geologo - Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
- ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 - 30.
- ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.
- ✓ **SESAME Project**: "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.

ALLEGATO 3 - ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

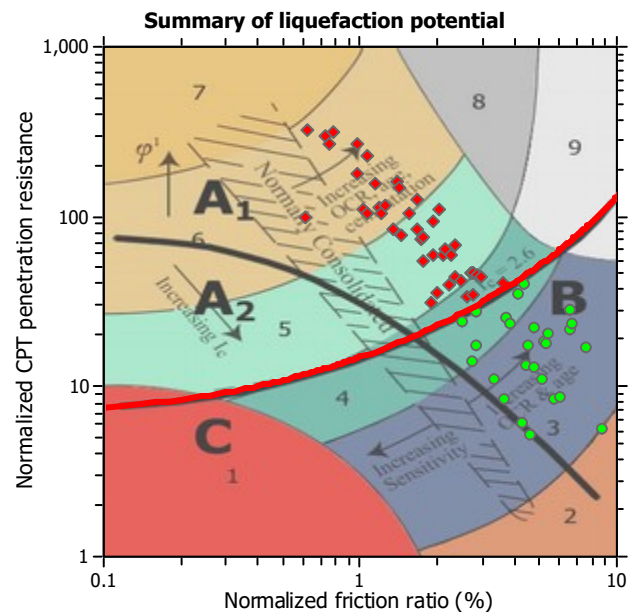
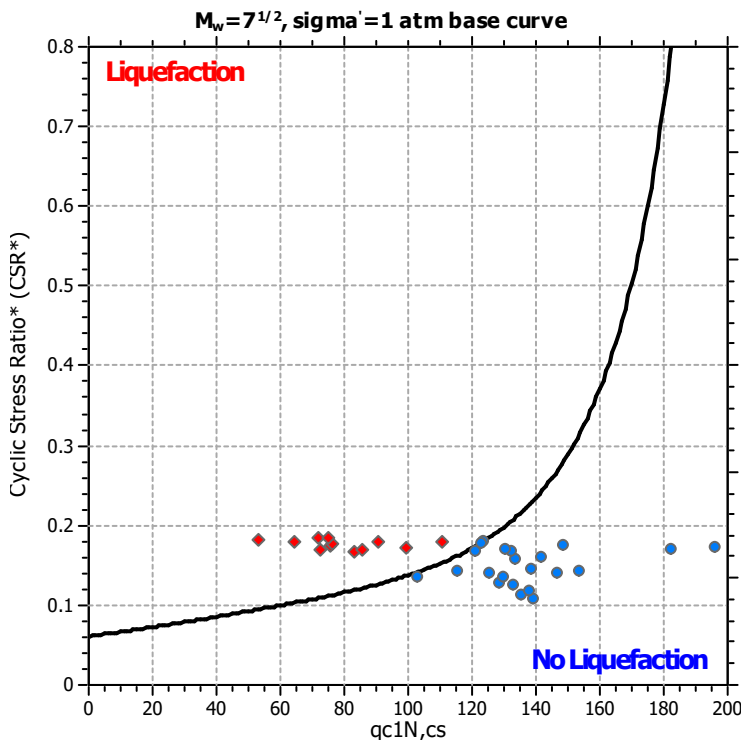
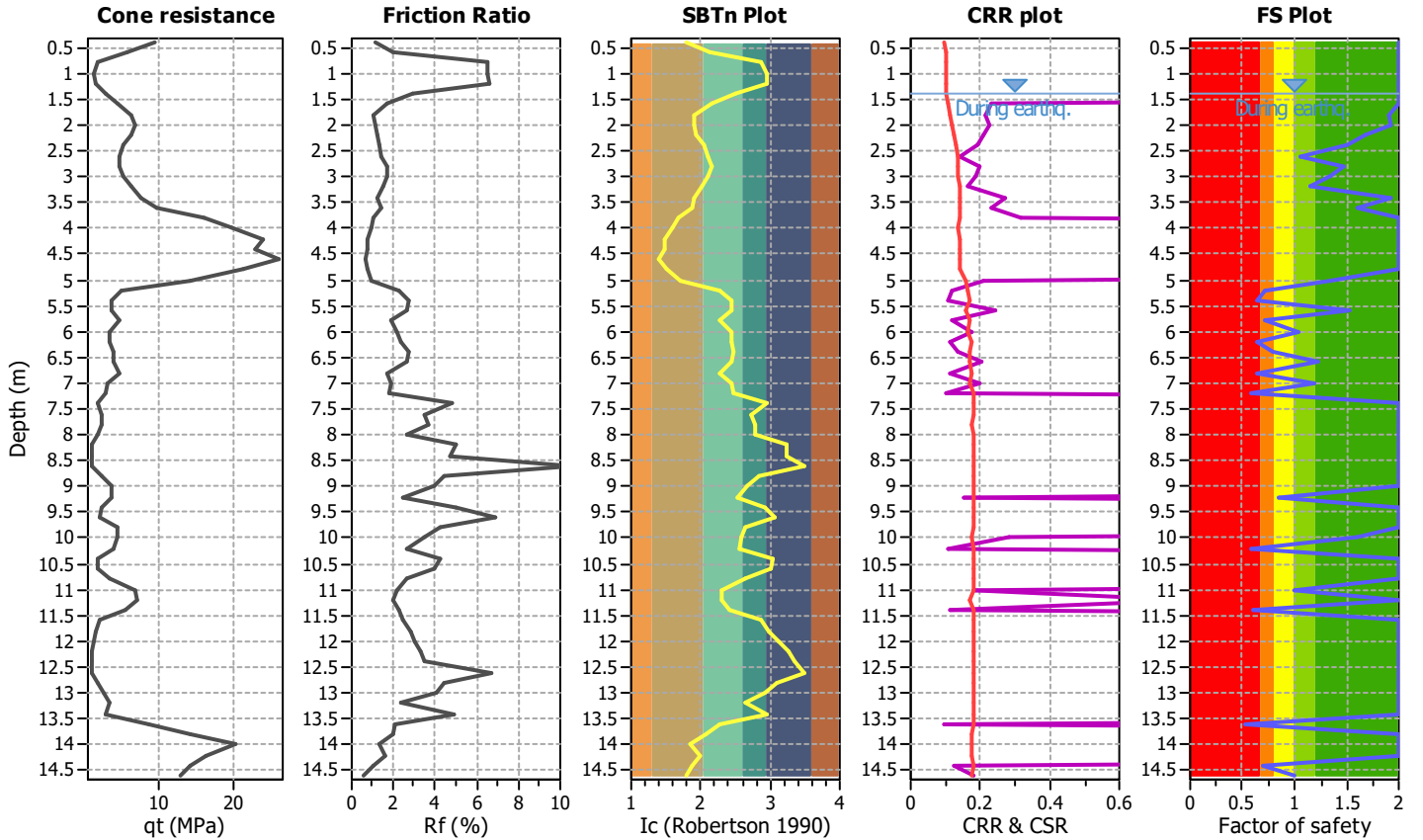
Project title : verifica liquefazione

Location : Cognola ai Colli

CPT file : CPT1

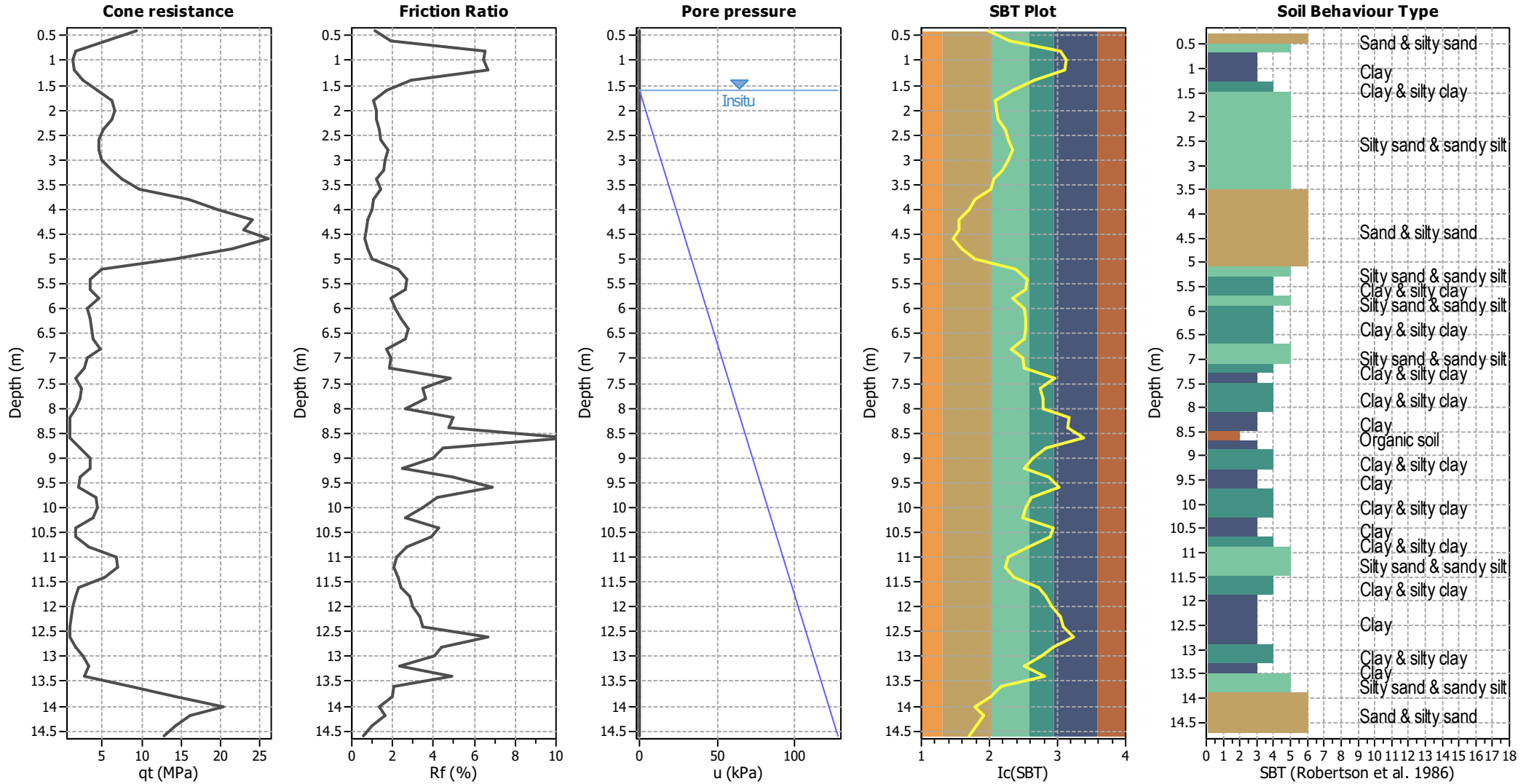
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.60 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	7.20	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.18	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



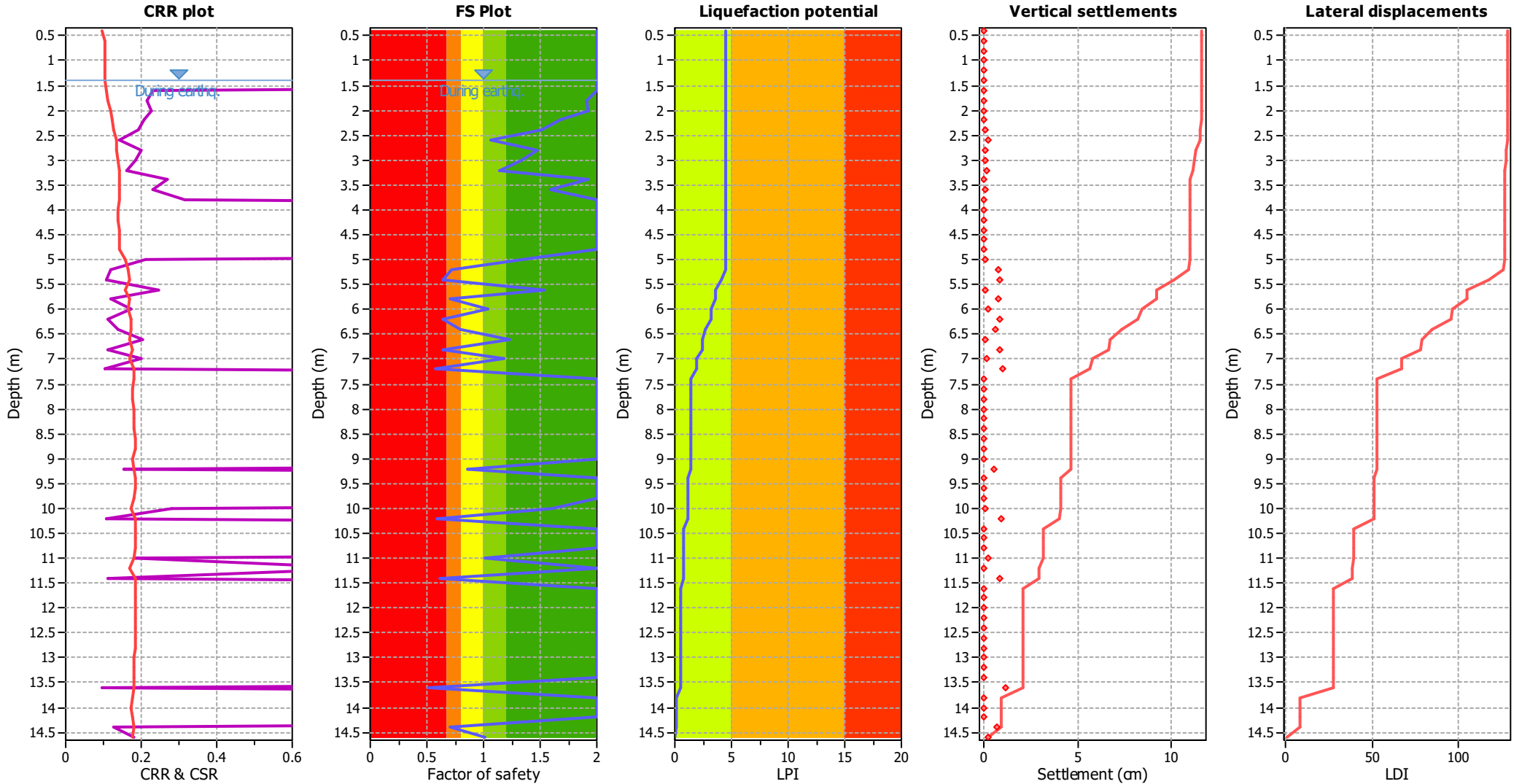
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	7.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.18	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	7.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.18	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

:: Field input data ::						
Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	f_s (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.40	12.74	85.26	0.00	8.20	19.22
2	0.60	2.45	149.94	0.00	16.59	19.02
3	0.80	1.37	85.26	0.00	50.23	18.58
4	1.00	1.18	91.14	0.00	55.58	18.16
5	1.20	1.27	71.54	0.00	54.60	18.30
6	1.40	1.67	110.74	0.00	30.13	18.34
7	1.60	4.90	46.06	0.00	17.83	18.54
8	1.80	6.66	71.54	0.00	10.72	18.49
9	2.00	6.96	78.40	0.00	10.86	18.73
10	2.20	6.37	85.26	0.00	11.56	18.64
11	2.40	5.29	58.80	0.00	14.25	18.46
12	2.60	3.53	58.80	0.00	15.69	18.38
13	2.80	5.00	78.40	0.00	17.77	18.58
14	3.00	5.00	98.00	0.00	16.26	18.68
15	3.20	5.00	71.54	0.00	13.64	18.93
16	3.40	8.62	117.60	0.00	10.87	18.95
17	3.60	8.62	85.26	0.00	10.16	19.52
18	3.80	11.76	208.74	0.00	5.64	19.96
19	4.00	27.44	215.60	0.00	4.32	20.17
20	4.20	19.60	149.94	0.00	2.54	20.23
21	4.40	24.99	196.00	0.00	2.51	20.08
22	4.60	24.11	156.80	0.00	1.46	20.08
23	4.80	29.01	130.34	0.00	3.04	20.01
24	5.00	10.98	196.00	0.00	6.35	19.66
25	5.20	2.45	85.26	0.00	21.79	19.04
26	5.40	1.47	58.80	0.00	28.62	18.65
27	5.60	6.27	130.34	0.00	28.20	18.66
28	5.80	2.74	85.26	0.00	21.29	18.72
29	6.00	4.90	46.06	0.00	28.07	18.27
30	6.20	1.76	71.54	0.00	28.58	18.50
31	6.40	3.43	124.46	0.00	29.29	18.81
32	6.60	5.88	110.74	0.00	28.43	18.83
33	6.80	2.25	71.54	0.00	21.42	18.62
34	7.00	5.88	58.80	0.00	28.50	18.10
35	7.20	1.08	46.06	0.00	29.73	17.89
36	7.40	1.37	46.06	0.00	54.88	18.20
37	7.60	2.45	144.06	0.00	42.19	18.36
38	7.80	3.14	51.94	0.00	44.74	18.30
39	8.00	0.88	39.20	0.00	45.71	17.52
40	8.20	0.98	39.20	0.00	75.56	17.35
41	8.40	0.88	58.80	0.00	75.14	17.29
42	8.60	0.88	32.34	0.00	96.77	18.16
43	8.80	0.88	189.14	0.00	48.97	18.60
44	9.00	5.00	78.40	0.00	38.54	19.15
45	9.20	4.70	149.94	0.00	32.47	18.60
46	9.40	0.78	32.34	0.00	52.69	18.71
47	9.60	1.18	149.94	0.00	63.53	18.84
48	9.80	3.72	208.74	0.00	37.48	19.51

:: Field input data :: (continued)						
Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	f_s (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
49	10.00	7.84	176.40	0.00	34.17	19.36
50	10.20	1.76	78.40	0.00	32.78	18.81
51	10.40	1.96	46.06	0.00	60.55	18.02
52	10.60	1.08	78.40	0.00	58.47	17.99
53	10.80	1.96	71.54	0.00	37.16	18.57
54	11.00	6.66	110.74	0.00	23.10	19.47
55	11.20	11.66	261.66	0.00	22.16	19.41
56	11.40	2.35	46.06	0.00	27.27	19.11
57	11.60	1.76	46.06	0.00	49.18	17.64
58	11.80	1.57	46.06	0.00	58.06	17.50
59	12.00	1.27	39.20	0.00	66.41	17.23
60	12.20	0.88	26.46	0.00	78.32	16.99
61	12.40	0.78	32.34	0.00	84.48	16.87
62	12.60	0.98	32.34	0.00	96.87	17.73
63	12.80	1.08	124.46	0.00	66.07	18.09
64	13.00	2.84	58.80	0.00	52.75	18.67
65	13.20	3.63	124.46	0.00	37.80	18.43
66	13.40	3.43	46.06	0.00	55.36	18.95
67	13.60	0.88	215.60	0.00	21.35	19.76
68	13.80	21.27	267.54	0.00	15.41	20.49
69	14.00	20.48	359.66	0.00	9.33	20.61
70	14.20	19.11	202.86	0.00	12.65	20.47
71	14.40	8.92	228.34	0.00	10.04	19.72
72	14.60	14.70	0.00	0.00	7.75	18.95

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q_c :	Measured cone resistance (MPa)
f_s :	Sleeve friction resistance (kPa)
u :	Pore pressure (kPa)
Fines content:	Percentage of fines in soil (%)
Unit weight:	Bulk soil unit weight (kN/m ³)

:: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data ::												
Point ID	Depth (m)	σ_v (kPa)	u_0 (kPa)	σ'_v (kPa)	r_d	CSR	MSF	CSR _{eq}	K_σ	User FS	CSR*	Belongs to transition
1	0.40	7.69	0.00	7.69	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
2	0.60	11.49	0.00	11.49	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
3	0.80	15.21	0.00	15.21	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
4	1.00	18.84	0.00	18.84	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
5	1.20	22.50	0.00	22.50	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
6	1.40	26.17	0.00	26.17	0.99	0.116	1.08	0.107	1.10	1.00	2.000	No
7	1.60	29.87	1.96	27.91	0.99	0.124	1.08	0.115	1.10	1.00	0.107	No
8	1.80	33.57	3.92	29.65	0.99	0.131	1.08	0.121	1.10	1.00	0.113	No
9	2.00	37.32	5.89	31.43	0.99	0.137	1.08	0.127	1.10	1.00	0.118	No
10	2.20	41.05	7.85	33.20	0.99	0.143	1.08	0.132	1.10	1.00	0.123	No
11	2.40	44.74	9.81	34.93	0.98	0.147	1.08	0.136	1.10	1.00	0.128	No
12	2.60	48.41	11.77	36.64	0.98	0.152	1.08	0.140	1.10	1.00	0.134	No
13	2.80	52.13	13.73	38.40	0.98	0.156	1.08	0.144	1.10	1.00	0.135	No
14	3.00	55.87	15.70	40.17	0.98	0.159	1.08	0.147	1.10	1.00	0.138	No
15	3.20	59.65	17.66	42.00	0.98	0.162	1.08	0.150	1.10	1.00	0.142	No
16	3.40	63.44	19.62	43.82	0.97	0.165	1.08	0.152	1.10	1.00	0.141	No
17	3.60	67.35	21.58	45.77	0.97	0.167	1.08	0.154	1.10	1.00	0.144	No
18	3.80	71.34	23.54	47.80	0.97	0.169	1.08	0.156	1.10	1.00	0.143	No
19	4.00	75.37	25.51	49.87	0.97	0.171	1.08	0.158	1.10	1.00	0.138	No
20	4.20	79.42	27.47	51.95	0.96	0.172	1.08	0.159	1.10	1.00	0.139	No
21	4.40	83.44	29.43	54.01	0.96	0.174	1.08	0.160	1.10	1.00	0.140	No
22	4.60	87.45	31.39	56.06	0.96	0.175	1.08	0.161	1.10	1.00	0.141	No
23	4.80	91.45	33.35	58.10	0.95	0.176	1.08	0.162	1.10	1.00	0.142	No
24	5.00	95.39	35.32	60.07	0.95	0.177	1.08	0.163	1.07	1.00	0.157	No
25	5.20	99.20	37.28	61.92	0.95	0.178	1.08	0.164	1.05	1.00	0.167	No
26	5.40	102.93	39.24	63.69	0.95	0.179	1.08	0.165	1.04	1.00	0.169	No
27	5.60	106.66	41.20	65.46	0.94	0.180	1.08	0.166	1.07	1.00	0.159	No
28	5.80	110.40	43.16	67.24	0.94	0.181	1.08	0.167	1.04	1.00	0.171	No
29	6.00	114.06	45.13	68.93	0.94	0.182	1.08	0.168	1.05	1.00	0.166	No
30	6.20	117.76	47.09	70.67	0.94	0.182	1.08	0.168	1.03	1.00	0.174	No
31	6.40	121.52	49.05	72.47	0.93	0.183	1.08	0.169	1.04	1.00	0.172	No
32	6.60	125.28	51.01	74.27	0.93	0.183	1.08	0.169	1.04	1.00	0.167	No
33	6.80	129.01	52.97	76.04	0.93	0.184	1.08	0.170	1.03	1.00	0.176	No
34	7.00	132.63	54.94	77.69	0.92	0.184	1.08	0.170	1.04	1.00	0.170	No
35	7.20	136.21	56.90	79.31	0.92	0.185	1.08	0.171	1.02	1.00	0.179	No
36	7.40	139.85	58.86	80.99	0.92	0.185	1.08	0.171	1.02	1.00	0.179	No
37	7.60	143.52	60.82	82.70	0.91	0.186	1.08	0.171	1.02	1.00	0.178	No
38	7.80	147.18	62.78	84.40	0.91	0.186	1.08	0.172	1.02	1.00	0.178	No
39	8.00	150.68	64.75	85.94	0.91	0.186	1.08	0.172	1.01	1.00	0.181	No
40	8.20	154.15	66.71	87.45	0.90	0.187	1.08	0.172	1.01	1.00	0.182	No
41	8.40	157.61	68.67	88.94	0.90	0.187	1.08	0.173	1.01	1.00	0.182	No
42	8.60	161.24	70.63	90.61	0.90	0.187	1.08	0.173	1.01	1.00	0.183	No
43	8.80	164.96	72.59	92.37	0.90	0.187	1.08	0.173	1.01	1.00	0.183	No
44	9.00	168.79	74.56	94.24	0.89	0.187	1.08	0.173	1.01	1.00	0.179	No
45	9.20	172.51	76.52	96.00	0.89	0.187	1.08	0.173	1.01	1.00	0.180	No
46	9.40	176.26	78.48	97.78	0.89	0.187	1.08	0.173	1.00	1.00	0.184	No
47	9.60	180.02	80.44	99.58	0.88	0.187	1.08	0.172	1.00	1.00	0.184	No
48	9.80	183.92	82.40	101.52	0.88	0.186	1.08	0.172	1.00	1.00	0.182	No

:: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data :: (continued)												
Point ID	Depth (m)	σ_v (kPa)	u_0 (kPa)	σ_v' (kPa)	r_d	CSR	MSF	CSR _{eq}	K_σ	User FS	CSR*	Belongs to transition
49	10.00	187.80	84.37	103.43	0.88	0.186	1.08	0.172	1.00	1.00	0.175	No
50	10.20	191.56	86.33	105.23	0.87	0.186	1.08	0.172	1.00	1.00	0.184	No
51	10.40	195.16	88.29	106.87	0.87	0.186	1.08	0.172	1.00	1.00	0.183	No
52	10.60	198.76	90.25	108.51	0.87	0.186	1.08	0.171	0.99	1.00	0.184	No
53	10.80	202.47	92.21	110.26	0.86	0.185	1.08	0.171	0.99	1.00	0.184	No
54	11.00	206.37	94.18	112.19	0.86	0.185	1.08	0.171	0.99	1.00	0.180	No
55	11.20	210.25	96.14	114.11	0.86	0.184	1.08	0.170	0.97	1.00	0.170	No
56	11.40	214.07	98.10	115.97	0.85	0.184	1.08	0.170	0.99	1.00	0.183	No
57	11.60	217.60	100.06	117.54	0.85	0.184	1.08	0.170	0.99	1.00	0.183	No
58	11.80	221.10	102.02	119.07	0.85	0.184	1.08	0.170	0.99	1.00	0.183	No
59	12.00	224.54	103.99	120.56	0.84	0.184	1.08	0.170	0.99	1.00	0.183	No
60	12.20	227.94	105.95	121.99	0.84	0.183	1.08	0.169	0.99	1.00	0.184	No
61	12.40	231.32	107.91	123.41	0.84	0.183	1.08	0.169	0.98	1.00	0.184	No
62	12.60	234.86	109.87	124.99	0.83	0.183	1.08	0.169	0.98	1.00	0.183	No
63	12.80	238.48	111.83	126.65	0.83	0.183	1.08	0.169	0.98	1.00	0.183	No
64	13.00	242.22	113.80	128.42	0.83	0.182	1.08	0.168	0.98	1.00	0.183	No
65	13.20	245.90	115.76	130.14	0.82	0.182	1.08	0.168	0.98	1.00	0.182	No
66	13.40	249.69	117.72	131.97	0.82	0.181	1.08	0.167	0.97	1.00	0.182	No
67	13.60	253.64	119.68	133.96	0.82	0.181	1.08	0.167	0.98	1.00	0.182	No
68	13.80	257.74	121.64	136.10	0.81	0.180	1.08	0.166	0.91	1.00	0.176	No
69	14.00	261.86	123.61	138.26	0.81	0.179	1.08	0.165	0.92	1.00	0.173	No
70	14.20	265.96	125.57	140.39	0.80	0.178	1.08	0.165	0.90	1.00	0.176	No
71	14.40	269.90	127.53	142.37	0.80	0.178	1.08	0.164	0.97	1.00	0.180	No
72	14.60	273.69	129.49	144.20	0.80	0.177	1.08	0.164	0.95	1.00	0.178	No

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
σ_v :	Total overburden pressure at test point (kPa)
u_0 :	Water pressure at test point (kPa)
σ_v' :	Effective overburden pressure based on GWT during earthquake (kPa)
r_d :	Nonlinear shear mass factor
CSR:	Cyclic Stress Ratio
MSF:	Magnitude Scaling Factor
CSR _{eq} :	CSR adjusted for M=7.5
K_σ :	Effective overburden stress factor
CSR*:	CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::													
Point ID	Depth (m)	q _t (MPa)	FC (%)	I _c	m	C _N	q _{c1N}	Δq _{c1N}	q _{c1N,cs}	CRR _{7.5}	Belongs to trans. layer	Clay-like behaviour	FS
1	0.40	9.31	7.31	1.80	0.31	1.70	213.75	2.78	216.53	4.000	No	No	2.00
2	0.60	5.52	33.05	2.13	0.53	1.70	41.11	46.59	87.70	4.000	No	No	2.00
3	0.80	1.67	92.71	2.87	0.54	1.70	23.02	0.00	23.02	4.000	No	Yes	2.00
4	1.00	1.27	99.49	2.96	0.55	1.70	19.73	0.00	19.73	4.000	No	Yes	2.00
5	1.20	1.37	98.29	2.94	0.54	1.70	21.37	0.00	21.37	4.000	No	Yes	2.00
6	1.40	2.61	62.01	2.49	0.53	1.70	27.95	57.06	85.01	4.000	No	No	2.00
7	1.60	4.41	36.17	2.16	0.42	1.67	80.98	58.31	139.29	0.231	No	No	2.00
8	1.80	6.17	16.08	1.91	0.43	1.65	108.51	27.13	135.64	0.217	No	No	1.91
9	2.00	6.66	16.54	1.92	0.42	1.60	109.71	28.66	138.36	0.228	No	No	1.93
10	2.20	6.21	18.78	1.95	0.43	1.58	99.26	33.81	133.07	0.208	No	No	1.68
11	2.40	5.06	26.75	2.05	0.44	1.56	81.46	47.24	128.70	0.194	No	No	1.51
12	2.60	4.61	30.68	2.10	0.49	1.61	55.93	47.38	103.30	0.142	No	No	1.06
13	2.80	4.51	36.02	2.16	0.44	1.50	73.76	56.53	130.29	0.199	No	No	1.47
14	3.00	5.00	32.18	2.11	0.45	1.48	73.04	52.60	125.64	0.185	No	No	1.34
15	3.20	6.21	25.02	2.03	0.47	1.48	72.79	42.94	115.73	0.163	No	No	1.14
16	3.40	7.42	16.56	1.92	0.41	1.38	117.64	29.52	147.16	0.271	No	No	1.93
17	3.60	9.67	14.21	1.89	0.42	1.37	116.93	21.85	138.78	0.229	No	No	1.60
18	3.80	15.94	0.00	1.67	0.40	1.33	153.85	0.00	153.85	0.316	No	No	2.00
19	4.00	19.60	0.00	1.60	0.26	1.19	323.24	0.00	254.00	4.000	No	No	2.00
20	4.20	24.01	0.00	1.48	0.29	1.20	232.03	0.00	232.03	4.000	No	No	2.00
21	4.40	22.90	0.00	1.48	0.26	1.17	288.47	0.00	254.00	4.000	No	No	2.00
22	4.60	26.04	0.00	1.39	0.26	1.16	275.65	0.00	254.00	4.000	No	No	2.00
23	4.80	21.36	0.00	1.51	0.26	1.15	328.67	0.00	254.00	4.000	No	No	2.00
24	5.00	14.14	0.00	1.71	0.43	1.24	133.90	0.00	133.90	0.210	No	No	1.34
25	5.20	4.97	45.40	2.28	0.54	1.28	30.99	52.26	83.25	0.119	No	No	0.71
26	5.40	3.40	59.24	2.45	0.57	1.28	18.56	53.73	72.28	0.109	No	No	0.64
27	5.60	3.50	58.44	2.44	0.42	1.19	73.36	68.77	142.13	0.244	No	No	1.53
28	5.80	4.64	44.29	2.27	0.53	1.23	33.18	52.28	85.46	0.121	No	No	0.71
29	6.00	3.14	58.19	2.44	0.45	1.18	56.89	64.11	121.00	0.174	No	No	1.04
30	6.20	3.36	59.15	2.45	0.56	1.20	20.97	54.38	75.34	0.112	No	No	0.64
31	6.40	3.69	60.47	2.47	0.50	1.17	39.49	59.91	99.40	0.137	No	No	0.79
32	6.60	3.85	58.87	2.45	0.43	1.13	65.65	66.77	132.42	0.205	No	No	1.23
33	6.80	4.67	44.58	2.27	0.56	1.16	25.73	50.54	76.27	0.113	No	No	0.64
34	7.00	3.07	59.01	2.45	0.44	1.11	64.45	66.48	130.93	0.201	No	No	1.18
35	7.20	2.78	61.28	2.48	0.59	1.14	12.12	52.41	64.53	0.103	No	No	0.58
36	7.40	1.63	98.63	2.95	0.56	1.12	15.16	0.00	15.16	4.000	No	Yes	2.00
37	7.60	2.32	81.58	2.73	0.53	1.10	26.59	0.00	26.59	4.000	No	Yes	2.00
38	7.80	2.16	85.25	2.78	0.51	1.08	33.56	0.00	33.56	4.000	No	Yes	2.00
39	8.00	1.67	86.61	2.80	0.59	1.09	9.46	0.00	9.46	4.000	No	Yes	2.00
40	8.20	0.91	100.00	3.23	0.58	1.08	10.40	0.00	10.40	4.000	No	Yes	2.00
41	8.40	0.91	100.00	3.23	0.59	1.07	9.28	0.00	9.28	4.000	No	Yes	2.00
42	8.60	0.88	100.00	3.48	0.59	1.05	9.18	0.00	9.18	4.000	No	Yes	2.00
43	8.80	2.25	91.05	2.85	0.59	1.04	9.08	0.00	9.08	4.000	No	Yes	2.00
44	9.00	3.53	76.08	2.66	0.46	1.02	50.53	0.00	50.53	4.000	No	Yes	2.00
45	9.20	3.50	66.14	2.54	0.48	1.02	47.18	63.52	110.69	0.153	No	No	0.85
46	9.40	2.22	95.88	2.91	0.59	1.01	7.81	0.00	7.81	4.000	No	Yes	2.00
47	9.60	1.89	100.00	3.07	0.58	1.00	11.59	0.00	11.59	4.000	No	Yes	2.00
48	9.80	4.25	74.41	2.64	0.50	0.99	36.37	0.00	36.37	4.000	No	Yes	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued)													
Point ID	Depth (m)	q_t (MPa)	FC (%)	I_c	m	C_N	q_{c1N}	Δq_{c1N}	$q_{c1N,cs}$	CRR _{7.5}	Belongs to trans. layer	Clay-like behaviour	FS
49	10.00	4.44	69.04	2.58	0.41	0.98	76.15	72.57	148.72	0.281	No	No	1.60
50	10.20	3.85	66.67	2.55	0.57	0.97	16.86	54.91	71.77	0.109	No	No	0.59
51	10.40	1.60	100.00	3.03	0.55	0.96	18.60	0.00	18.60	4.000	No	Yes	2.00
52	10.60	1.67	100.00	3.00	0.58	0.95	10.12	0.00	10.12	4.000	No	Yes	2.00
53	10.80	3.23	73.91	2.64	0.56	0.94	18.27	0.00	18.27	4.000	No	Yes	2.00
54	11.00	6.76	48.25	2.32	0.45	0.95	62.34	61.71	124.05	0.181	No	No	1.01
55	11.20	6.89	46.22	2.29	0.35	0.95	109.70	72.88	182.58	0.808	No	No	2.00
56	11.40	5.26	56.67	2.42	0.56	0.92	21.32	53.81	75.13	0.112	No	No	0.61
57	11.60	1.89	91.33	2.85	0.56	0.91	15.87	0.00	15.87	4.000	No	Yes	2.00
58	11.80	1.54	100.00	2.99	0.57	0.90	13.99	0.00	13.99	4.000	No	Yes	2.00
59	12.00	1.24	100.00	3.11	0.58	0.90	11.27	0.00	11.27	4.000	No	Yes	2.00
60	12.20	0.98	100.00	3.27	0.59	0.89	7.73	0.00	7.73	4.000	No	Yes	2.00
61	12.40	0.88	100.00	3.34	0.60	0.88	6.82	0.00	6.82	4.000	No	Yes	2.00
62	12.60	0.95	100.00	3.48	0.59	0.88	8.47	0.00	8.47	4.000	No	Yes	2.00
63	12.80	1.63	100.00	3.11	0.59	0.87	9.25	0.00	9.25	4.000	No	Yes	2.00
64	13.00	2.52	95.96	2.91	0.53	0.87	24.53	0.00	24.53	4.000	No	Yes	2.00
65	13.20	3.30	74.93	2.65	0.52	0.87	31.20	0.00	31.20	4.000	No	Yes	2.00
66	13.40	2.65	99.23	2.95	0.52	0.87	29.31	0.00	29.31	4.000	No	Yes	2.00
67	13.60	8.53	44.43	2.27	0.63	0.83	7.24	45.79	53.03	0.095	No	No	0.52
68	13.80	14.21	29.93	2.09	0.26	0.92	193.42	74.39	254.00	4.000	No	No	2.00
69	14.00	20.29	11.37	1.85	0.33	0.90	181.34	15.12	196.46	1.558	No	No	2.00
70	14.20	16.17	22.12	1.99	0.30	0.90	170.30	52.67	222.96	4.000	No	No	2.00
71	14.40	14.24	13.82	1.89	0.52	0.83	73.24	17.47	90.71	0.126	No	No	0.70
72	14.60	12.77	5.60	1.78	0.45	0.85	123.00	0.40	123.41	0.179	No	No	1.01

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q_t :	Total cone resistance
FC:	Fines content (%)
I_c :	Soil behavior type index
m:	Stress exponent
C_N :	Overburden correction factor
q_{c1N} :	Normalized and adjusted cone resistance
Δq_{c1N} :	Cone resistance correction factor due to fines
$q_{c1N,cs}$:	Normalized and adjusted cone resistance
CRR _{7.5} :	Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$
FS:	Factor of safety against soil liquefaction

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00	0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00
0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00	1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00
1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00	1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00
1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00	1.80	1.91	0.00	9.10	0.20	0.00
2.00	1.93	0.00	9.00	0.20	0.00	2.20	1.68	0.00	8.90	0.20	0.00
2.40	1.51	0.00	8.80	0.20	0.00	2.60	1.06	0.00	8.70	0.20	0.00
2.80	1.47	0.00	8.60	0.20	0.00	3.00	1.34	0.00	8.50	0.20	0.00
3.20	1.14	0.00	8.40	0.20	0.00	3.40	1.93	0.00	8.30	0.20	0.00
3.60	1.60	0.00	8.20	0.20	0.00	3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00
4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00	4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00
4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00	4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00
4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00	5.00	1.34	0.00	7.50	0.20	0.00
5.20	0.71	0.29	7.40	0.20	0.43	5.40	0.64	0.36	7.30	0.20	0.52
5.60	1.53	0.00	7.20	0.20	0.00	5.80	0.71	0.29	7.10	0.20	0.41
6.00	1.04	0.00	7.00	0.20	0.00	6.20	0.64	0.36	6.90	0.20	0.49
6.40	0.79	0.21	6.80	0.20	0.28	6.60	1.23	0.00	6.70	0.20	0.00
6.80	0.64	0.36	6.60	0.20	0.48	7.00	1.18	0.00	6.50	0.20	0.00
7.20	0.58	0.42	6.40	0.20	0.54	7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00
7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00	7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00
8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00	8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00
8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00	8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00
8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00	9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00
9.20	0.85	0.15	5.40	0.20	0.16	9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00
9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00	9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00
10.00	1.60	0.00	5.00	0.20	0.00	10.20	0.59	0.41	4.90	0.20	0.40
10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00	10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00
10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00	11.00	1.01	0.00	4.50	0.20	0.00
11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00	11.40	0.61	0.39	4.30	0.20	0.34
11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00	11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00
12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00	12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00
12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00	12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00
12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00	13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00
13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00	13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00
13.60	0.52	0.48	3.20	0.20	0.31	13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00
14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00	14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00
14.40	0.70	0.30	2.80	0.20	0.17	14.60	1.01	0.00	2.70	0.20	0.00

Overall liquefaction potential: 4.52

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
 F_L: 1 - FS
 w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
 d_z: Layer thickness (m)
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

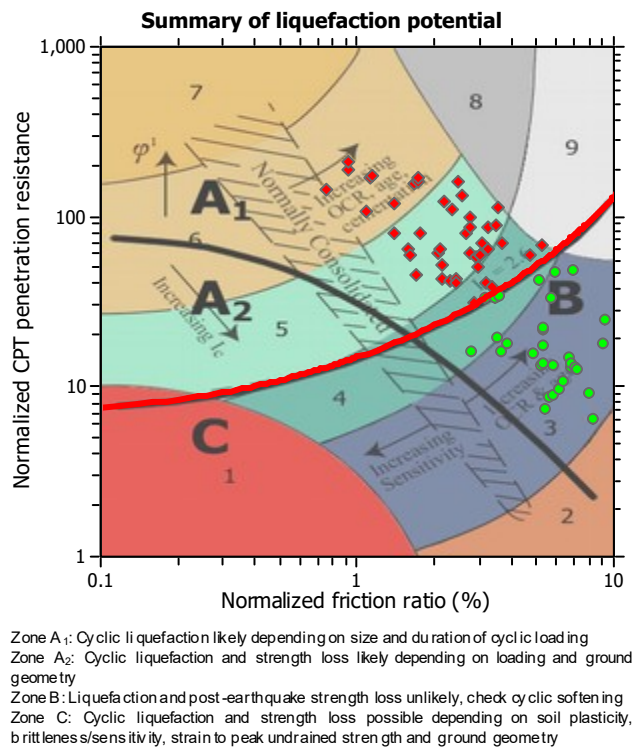
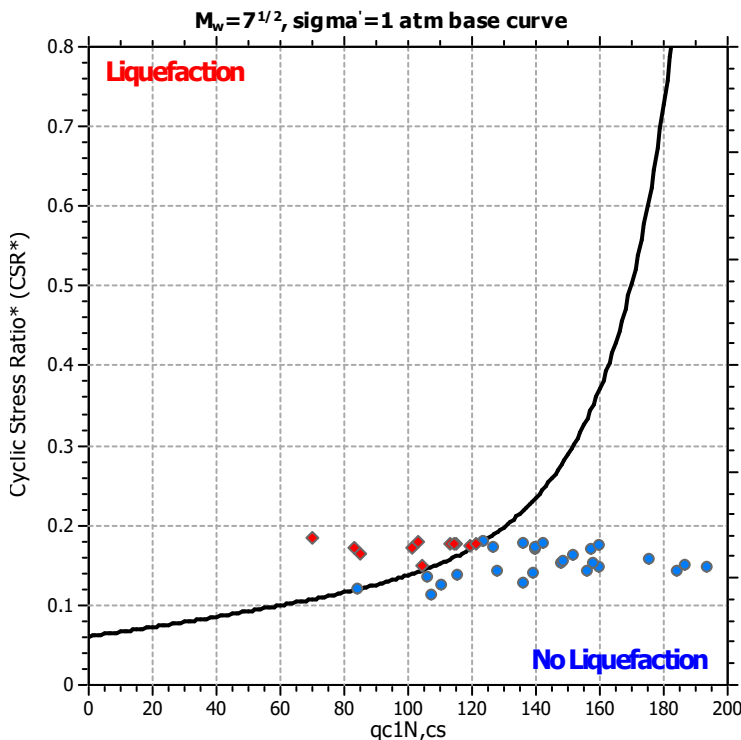
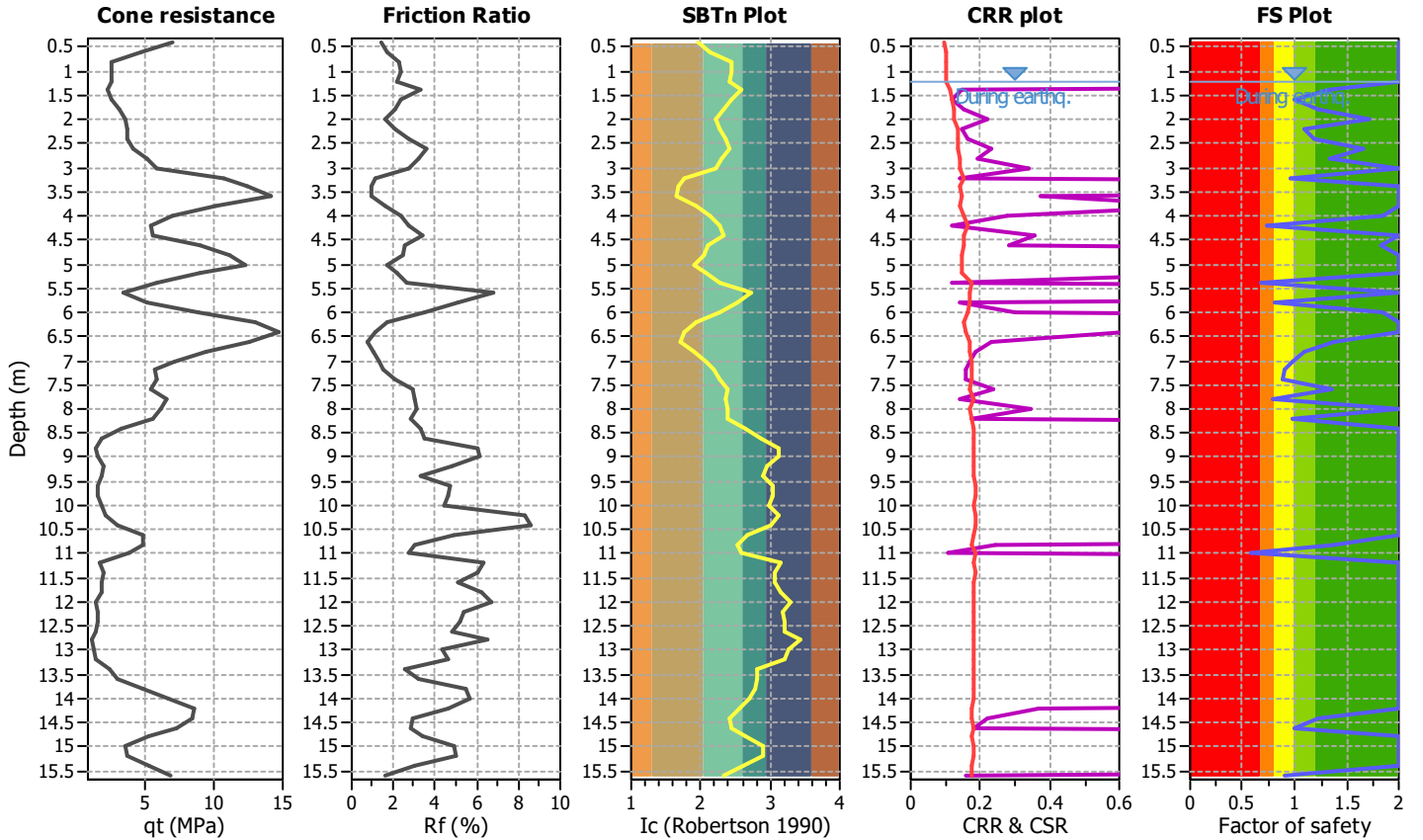
Project title : verifca liquefazione

Location : Colognola ai Colli

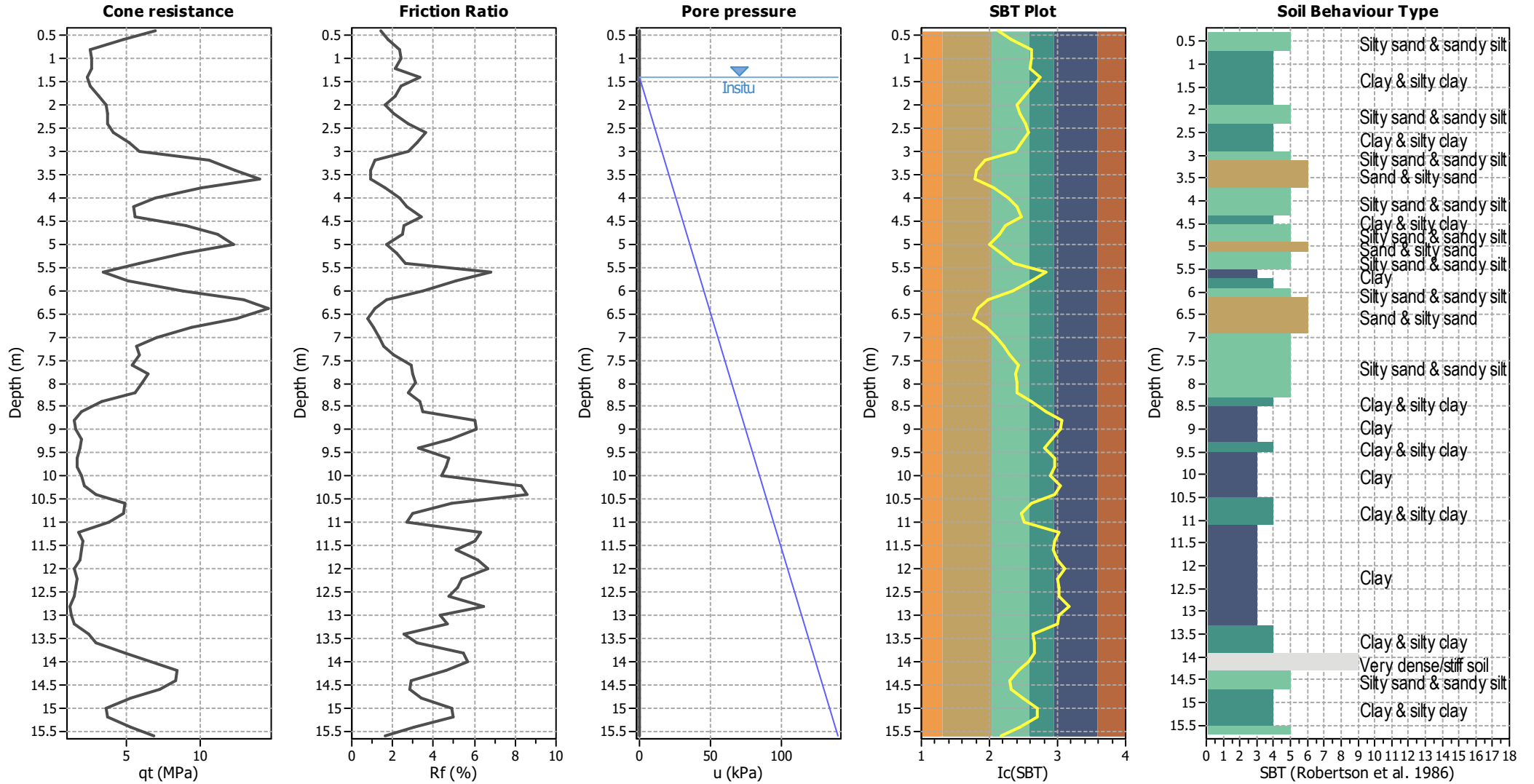
CPT file : CPT2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	7.20	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.18	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



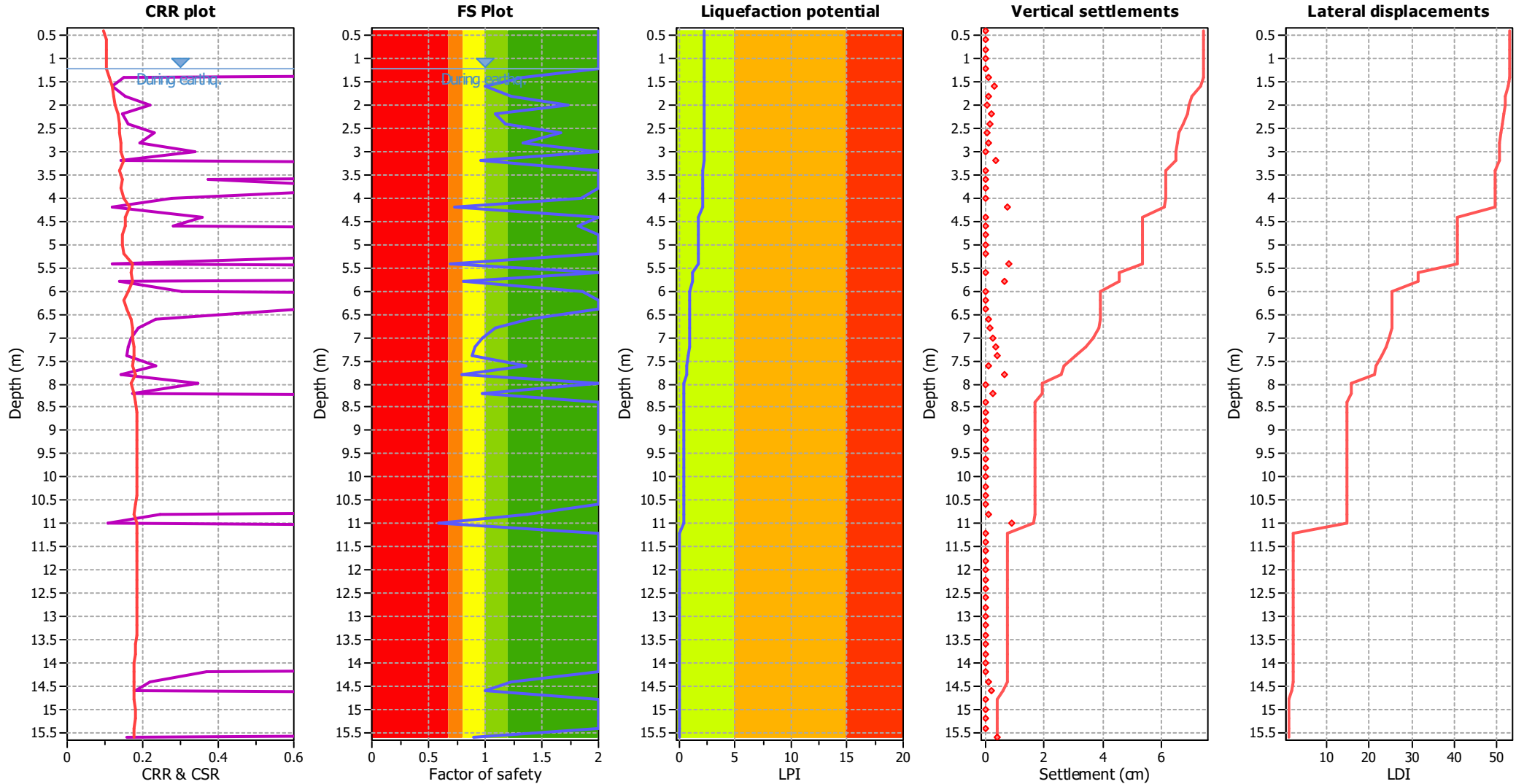
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.20 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	7.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.18	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.20 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	7.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.18	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

:: Field input data ::						
Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.40	9.31	110.74	0.00	11.77	19.00
2	0.60	2.25	71.54	0.00	17.12	18.66
3	0.80	2.65	65.66	0.00	28.02	17.97
4	1.00	2.45	32.34	0.00	27.97	18.08
5	1.20	2.55	85.26	0.00	26.68	17.95
6	1.40	2.65	46.06	0.00	33.99	18.29
7	1.60	1.67	98.00	0.00	28.66	18.02
8	1.80	3.04	32.34	0.00	23.96	18.23
9	2.00	4.61	65.66	0.00	19.61	18.11
10	2.20	2.94	71.54	0.00	21.78	18.44
11	2.40	3.33	85.26	0.00	25.01	18.79
12	2.60	4.70	144.06	0.00	27.03	19.28
13	2.80	4.31	215.60	0.00	22.92	19.49
14	3.00	6.47	137.20	0.00	19.72	19.51
15	3.20	6.86	130.34	0.00	7.61	19.40
16	3.40	18.62	91.14	0.00	5.81	19.42
17	3.60	11.96	124.46	0.00	5.30	19.61
18	3.80	11.76	176.40	0.00	10.89	19.77
19	4.00	6.86	202.86	0.00	16.90	19.60
20	4.20	2.35	110.74	0.00	21.07	19.38
21	4.40	7.06	130.34	0.00	23.59	19.69
22	4.60	7.35	333.20	0.00	16.20	20.08
23	4.80	12.64	222.46	0.00	14.44	20.38
24	5.00	13.62	274.40	0.00	10.81	20.11
25	5.20	10.78	137.20	0.00	15.35	19.89
26	5.40	2.45	169.54	0.00	21.53	19.44
27	5.60	4.21	149.94	0.00	42.40	19.69
28	5.80	3.33	359.66	0.00	32.30	19.99
29	6.00	7.55	261.66	0.00	21.22	20.43
30	6.20	15.78	313.60	0.00	11.14	20.19
31	6.40	15.88	91.14	0.00	7.62	19.91
32	6.60	12.54	98.00	0.00	6.30	19.18
33	6.80	9.21	91.14	0.00	10.52	19.14
34	7.00	6.47	110.74	0.00	14.98	18.98
35	7.20	5.49	85.26	0.00	18.45	18.79
36	7.40	5.10	65.66	0.00	21.25	19.17
37	7.60	6.86	208.74	0.00	26.30	19.45
38	7.80	4.21	196.00	0.00	24.61	19.76
39	8.00	8.33	176.40	0.00	26.24	19.71
40	8.20	5.59	196.00	0.00	26.23	19.44
41	8.40	2.65	91.14	0.00	36.81	18.84
42	8.60	1.57	39.20	0.00	49.48	18.03
43	8.80	1.37	65.66	0.00	67.83	18.23
44	9.00	1.27	149.94	0.00	66.49	18.34
45	9.20	1.86	58.80	0.00	56.00	18.43
46	9.40	2.55	65.66	0.00	50.94	17.90
47	9.60	0.98	51.94	0.00	61.67	18.11
48	9.80	1.18	104.86	0.00	61.55	18.08

:: Field input data :: (continued)						
Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
49	10.00	2.55	58.80	0.00	56.99	18.27
50	10.20	1.76	78.40	0.00	66.80	19.21
51	10.40	1.96	385.14	0.00	59.62	19.75
52	10.60	5.00	287.14	0.00	38.98	19.90
53	10.80	7.64	46.06	0.00	32.17	19.30
54	11.00	1.67	98.00	0.00	34.88	18.83
55	11.20	2.06	163.66	0.00	69.22	18.56
56	11.40	1.37	58.80	0.00	63.99	18.76
57	11.60	2.55	137.20	0.00	63.65	18.44
58	11.80	1.57	85.26	0.00	68.52	18.63
59	12.00	1.27	110.74	0.00	79.87	18.30
60	12.20	1.27	78.40	0.00	71.02	18.27
61	12.40	2.16	65.66	0.00	72.85	18.12
62	12.60	0.98	85.26	0.00	74.07	17.92
63	12.80	0.98	46.06	0.00	91.58	17.90
64	13.00	1.27	78.40	0.00	77.86	17.61
65	13.20	1.37	32.34	0.00	74.02	17.93
66	13.40	1.57	85.26	0.00	46.96	18.06
67	13.60	4.31	65.66	0.00	46.64	18.62
68	13.80	2.84	130.34	0.00	44.93	20.00
69	14.00	7.35	594.86	0.00	39.89	20.55
70	14.20	9.90	418.46	0.00	32.71	20.67
71	14.40	8.23	156.80	0.00	26.49	20.13
72	14.60	7.06	156.80	0.00	28.42	19.88
73	14.80	6.57	306.74	0.00	36.88	19.59
74	15.00	2.06	71.54	0.00	51.38	19.41
75	15.20	2.06	144.06	0.00	51.09	19.48
76	15.40	6.96	333.20	0.00	35.62	19.46
77	15.60	6.76	0.00	0.00	23.45	19.14

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q _c :	Measured cone resistance (MPa)
f _s :	Sleeve friction resistance (kPa)
u:	Pore pressure (kPa)
Fines content:	Percentage of fines in soil (%)
Unit weight:	Bulk soil unit weight (kN/m ³)

:: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data ::												
Point ID	Depth (m)	σ_v (kPa)	u_0 (kPa)	σ'_v (kPa)	r_d	CSR	MSF	CSR_{eq}	K_σ	User FS	CSR*	Belongs to transition
1	0.40	7.60	0.00	7.60	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
2	0.60	11.33	0.00	11.33	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
3	0.80	14.93	0.00	14.93	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
4	1.00	18.54	0.00	18.54	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
5	1.20	22.13	0.00	22.13	1.00	0.117	1.08	0.108	1.10	1.00	2.000	No
6	1.40	25.79	1.96	23.83	0.99	0.126	1.08	0.116	1.10	1.00	0.111	No
7	1.60	29.39	3.92	25.47	0.99	0.134	1.08	0.124	1.10	1.00	0.119	No
8	1.80	33.04	5.89	27.15	0.99	0.141	1.08	0.130	1.10	1.00	0.124	No
9	2.00	36.66	7.85	28.82	0.99	0.147	1.08	0.136	1.10	1.00	0.127	No
10	2.20	40.35	9.81	30.54	0.99	0.152	1.08	0.141	1.10	1.00	0.134	No
11	2.40	44.11	11.77	32.34	0.98	0.157	1.08	0.145	1.10	1.00	0.138	No
12	2.60	47.96	13.73	34.23	0.98	0.161	1.08	0.149	1.10	1.00	0.138	No
13	2.80	51.86	15.70	36.17	0.98	0.164	1.08	0.152	1.10	1.00	0.143	No
14	3.00	55.77	17.66	38.11	0.98	0.167	1.08	0.155	1.10	1.00	0.141	No
15	3.20	59.64	19.62	40.02	0.98	0.170	1.08	0.157	1.10	1.00	0.150	No
16	3.40	63.53	21.58	41.95	0.97	0.172	1.08	0.159	1.10	1.00	0.139	No
17	3.60	67.45	23.54	43.91	0.97	0.174	1.08	0.161	1.10	1.00	0.147	No
18	3.80	71.40	25.51	45.90	0.97	0.176	1.08	0.163	1.10	1.00	0.143	No
19	4.00	75.32	27.47	47.86	0.97	0.178	1.08	0.164	1.10	1.00	0.151	No
20	4.20	79.20	29.43	49.77	0.96	0.179	1.08	0.166	1.07	1.00	0.165	No
21	4.40	83.14	31.39	51.75	0.96	0.180	1.08	0.167	1.10	1.00	0.152	No
22	4.60	87.15	33.35	53.80	0.96	0.181	1.08	0.168	1.10	1.00	0.155	No
23	4.80	91.23	35.32	55.91	0.95	0.182	1.08	0.168	1.10	1.00	0.147	No
24	5.00	95.25	37.28	57.97	0.95	0.183	1.08	0.169	1.10	1.00	0.148	No
25	5.20	99.23	39.24	59.99	0.95	0.184	1.08	0.170	1.10	1.00	0.149	No
26	5.40	103.12	41.20	61.92	0.95	0.184	1.08	0.170	1.05	1.00	0.173	No
27	5.60	107.06	43.16	63.89	0.94	0.185	1.08	0.171	1.06	1.00	0.169	No
28	5.80	111.05	45.13	65.93	0.94	0.185	1.08	0.171	1.05	1.00	0.172	No
29	6.00	115.14	47.09	68.05	0.94	0.186	1.08	0.172	1.06	1.00	0.163	No
30	6.20	119.18	49.05	70.13	0.94	0.186	1.08	0.172	1.10	1.00	0.150	No
31	6.40	123.16	51.01	72.15	0.93	0.186	1.08	0.172	1.07	1.00	0.158	No
32	6.60	127.00	52.97	74.02	0.93	0.187	1.08	0.172	1.05	1.00	0.169	No
33	6.80	130.82	54.94	75.89	0.93	0.187	1.08	0.173	1.04	1.00	0.172	No
34	7.00	134.62	56.90	77.72	0.92	0.187	1.08	0.173	1.03	1.00	0.174	No
35	7.20	138.38	58.86	79.52	0.92	0.187	1.08	0.173	1.03	1.00	0.176	No
36	7.40	142.21	60.82	81.39	0.92	0.188	1.08	0.173	1.03	1.00	0.177	No
37	7.60	146.10	62.78	83.32	0.91	0.188	1.08	0.173	1.03	1.00	0.172	No
38	7.80	150.06	64.75	85.31	0.91	0.188	1.08	0.173	1.02	1.00	0.179	No
39	8.00	154.00	66.71	87.29	0.91	0.187	1.08	0.173	1.03	1.00	0.170	No
40	8.20	157.89	68.67	89.22	0.90	0.187	1.08	0.173	1.02	1.00	0.177	No
41	8.40	161.65	70.63	91.02	0.90	0.187	1.08	0.173	1.01	1.00	0.182	No
42	8.60	165.26	72.59	92.67	0.90	0.188	1.08	0.173	1.01	1.00	0.183	No
43	8.80	168.91	74.56	94.35	0.90	0.188	1.08	0.173	1.01	1.00	0.183	No
44	9.00	172.57	76.52	96.06	0.89	0.188	1.08	0.173	1.00	1.00	0.184	No
45	9.20	176.26	78.48	97.78	0.89	0.187	1.08	0.173	1.00	1.00	0.184	No
46	9.40	179.84	80.44	99.40	0.89	0.187	1.08	0.173	1.00	1.00	0.183	No
47	9.60	183.46	82.40	101.06	0.88	0.187	1.08	0.173	1.00	1.00	0.185	No
48	9.80	187.08	84.37	102.71	0.88	0.187	1.08	0.173	1.00	1.00	0.185	No

:: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	σ_v (kPa)	u_0 (kPa)	σ_v' (kPa)	r_d	CSR	MSF	CSR _{eq}	K_σ	User FS	CSR*	Belongs to transition
49	10.00	190.73	86.33	104.40	0.88	0.187	1.08	0.173	1.00	1.00	0.184	No
50	10.20	194.57	88.29	106.28	0.87	0.187	1.08	0.173	1.00	1.00	0.185	No
51	10.40	198.52	90.25	108.27	0.87	0.186	1.08	0.172	0.99	1.00	0.184	No
52	10.60	202.50	92.21	110.29	0.87	0.186	1.08	0.172	0.99	1.00	0.182	No
53	10.80	206.36	94.18	112.19	0.86	0.186	1.08	0.171	0.98	1.00	0.178	No
54	11.00	210.13	96.14	113.99	0.86	0.185	1.08	0.171	0.99	1.00	0.184	No
55	11.20	213.84	98.10	115.74	0.86	0.185	1.08	0.171	0.99	1.00	0.184	No
56	11.40	217.59	100.06	117.53	0.85	0.185	1.08	0.171	0.99	1.00	0.184	No
57	11.60	221.28	102.02	119.26	0.85	0.184	1.08	0.170	0.98	1.00	0.184	No
58	11.80	225.01	103.99	121.02	0.85	0.184	1.08	0.170	0.98	1.00	0.184	No
59	12.00	228.67	105.95	122.72	0.84	0.184	1.08	0.170	0.98	1.00	0.184	No
60	12.20	232.32	107.91	124.41	0.84	0.183	1.08	0.169	0.98	1.00	0.184	No
61	12.40	235.95	109.87	126.07	0.84	0.183	1.08	0.169	0.98	1.00	0.183	No
62	12.60	239.53	111.83	127.70	0.83	0.183	1.08	0.169	0.98	1.00	0.183	No
63	12.80	243.11	113.80	129.31	0.83	0.182	1.08	0.168	0.98	1.00	0.183	No
64	13.00	246.63	115.76	130.87	0.83	0.182	1.08	0.168	0.98	1.00	0.183	No
65	13.20	250.22	117.72	132.50	0.82	0.182	1.08	0.168	0.98	1.00	0.183	No
66	13.40	253.83	119.68	134.15	0.82	0.181	1.08	0.167	0.98	1.00	0.183	No
67	13.60	257.55	121.64	135.91	0.82	0.181	1.08	0.167	0.97	1.00	0.182	No
68	13.80	261.55	123.61	137.95	0.81	0.180	1.08	0.166	0.97	1.00	0.182	No
69	14.00	265.67	125.57	140.10	0.81	0.179	1.08	0.166	0.96	1.00	0.179	No
70	14.20	269.80	127.53	142.27	0.80	0.179	1.08	0.165	0.94	1.00	0.176	No
71	14.40	273.82	129.49	144.33	0.80	0.178	1.08	0.164	0.95	1.00	0.178	No
72	14.60	277.80	131.45	146.35	0.80	0.177	1.08	0.164	0.95	1.00	0.178	No
73	14.80	281.72	133.42	148.30	0.79	0.177	1.08	0.163	0.95	1.00	0.178	No
74	15.00	285.60	135.38	150.22	0.79	0.176	1.08	0.163	0.97	1.00	0.179	No
75	15.20	289.50	137.34	152.16	0.79	0.175	1.08	0.162	0.96	1.00	0.179	No
76	15.40	293.39	139.30	154.09	0.78	0.175	1.08	0.161	0.95	1.00	0.177	No
77	15.60	297.22	141.26	155.95	0.78	0.174	1.08	0.161	0.95	1.00	0.177	No

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
σ_v :	Total overburden pressure at test point (kPa)
u_0 :	Water pressure at test point (kPa)
σ_v' :	Effective overburden pressure based on GWT during earthquake (kPa)
r_d :	Nonlinear shear mass factor
CSR:	Cyclic Stress Ratio
MSF:	Magnitude Scaling Factor
CSR _{eq} :	CSR adjusted for M=7.5
K_σ :	Effective overburden stress factor
CSR*:	CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::													
Point ID	Depth (m)	q _t (MPa)	FC (%)	I _c	m	C _N	q _{c1N}	Δq _{c1N}	q _{c1N,cs}	CRR _{7.5}	Belongs to trans. layer	Clay-like behaviour	FS
1	0.40	6.96	19.44	1.96	0.33	1.70	156.20	42.91	199.11	4.000	No	No	2.00
2	0.60	4.74	34.38	2.14	0.53	1.70	37.82	47.02	84.84	4.000	No	No	2.00
3	0.80	2.45	58.11	2.44	0.49	1.70	44.39	60.61	105.01	4.000	No	No	2.00
4	1.00	2.55	58.01	2.44	0.50	1.70	41.11	59.67	100.77	4.000	No	No	2.00
5	1.20	2.55	55.52	2.41	0.49	1.70	42.75	59.35	102.10	4.000	No	No	2.00
6	1.40	2.29	68.73	2.57	0.48	1.70	44.39	63.29	107.68	0.148	No	No	1.34
7	1.60	2.45	59.30	2.45	0.54	1.70	27.95	56.37	84.32	0.120	No	No	1.00
8	1.80	3.10	50.05	2.34	0.48	1.70	50.97	59.53	110.50	0.153	No	No	1.23
9	2.00	3.53	40.46	2.22	0.43	1.66	75.67	60.52	136.19	0.219	No	No	1.72
10	2.20	3.63	45.38	2.28	0.48	1.70	49.33	56.93	106.26	0.146	No	No	1.09
11	2.40	3.66	52.21	2.37	0.47	1.66	54.46	61.34	115.79	0.163	No	No	1.18
12	2.60	4.12	56.20	2.41	0.42	1.54	71.63	67.51	139.14	0.231	No	No	1.67
13	2.80	5.16	47.87	2.31	0.44	1.54	65.52	62.36	127.88	0.191	No	No	1.34
14	3.00	5.88	40.72	2.22	0.39	1.44	91.84	64.63	156.48	0.338	No	No	2.00
15	3.20	10.65	5.07	1.78	0.49	1.54	104.18	0.18	104.35	0.143	No	No	0.96
16	3.40	12.48	0.00	1.68	0.29	1.27	233.41	0.00	233.41	4.000	No	No	2.00
17	3.60	14.11	0.00	1.66	0.39	1.36	160.20	0.00	160.20	0.374	No	No	2.00
18	3.80	10.19	16.63	1.92	0.35	1.30	150.94	33.16	184.10	0.862	No	No	2.00
19	4.00	6.99	33.83	2.14	0.41	1.33	90.30	58.11	148.41	0.279	No	No	1.84
20	4.20	5.42	43.80	2.26	0.53	1.43	33.21	52.05	85.26	0.121	No	No	0.73
21	4.40	5.59	49.29	2.33	0.39	1.28	89.17	69.26	158.43	0.356	No	No	2.00
22	4.60	9.02	32.02	2.11	0.40	1.27	92.38	56.53	148.91	0.282	No	No	1.82
23	4.80	11.20	27.29	2.05	0.32	1.19	148.95	60.78	209.73	3.426	No	No	2.00
24	5.00	12.35	16.36	1.92	0.34	1.19	160.52	33.16	193.68	1.349	No	No	2.00
25	5.20	8.95	29.77	2.08	0.35	1.19	126.22	60.53	186.75	0.968	No	No	2.00
26	5.40	5.81	44.83	2.27	0.54	1.28	31.00	52.00	82.99	0.119	No	No	0.69
27	5.60	3.33	81.89	2.74	0.46	1.22	50.71	0.00	50.71	4.000	No	Yes	2.00
28	5.80	5.03	65.86	2.54	0.49	1.22	40.09	61.42	101.50	0.139	No	No	0.81
29	6.00	8.89	44.14	2.26	0.40	1.16	86.36	65.63	151.98	0.303	No	No	1.86
30	6.20	13.07	17.44	1.93	0.31	1.11	173.29	38.37	211.67	3.901	No	No	2.00
31	6.40	14.73	5.10	1.78	0.36	1.12	175.54	0.24	175.77	0.618	No	No	2.00
32	6.60	12.54	0.00	1.71	0.42	1.13	139.75	0.00	139.75	0.233	No	No	1.38
33	6.80	9.41	15.42	1.91	0.44	1.12	102.20	24.53	126.73	0.188	No	No	1.09
34	7.00	7.06	28.78	2.07	0.46	1.12	71.26	48.17	119.43	0.170	No	No	0.98
35	7.20	5.68	37.69	2.18	0.47	1.11	59.97	54.72	114.69	0.161	No	No	0.91
36	7.40	5.81	44.22	2.27	0.47	1.10	55.14	57.79	112.93	0.157	No	No	0.89
37	7.60	5.39	54.78	2.40	0.42	1.08	72.79	67.30	140.09	0.235	No	No	1.36
38	7.80	6.47	51.39	2.35	0.49	1.08	44.75	58.42	103.17	0.142	No	No	0.79
39	8.00	6.04	54.67	2.40	0.39	1.05	86.40	70.97	157.36	0.346	No	No	2.00
40	8.20	5.52	54.65	2.40	0.45	1.05	57.84	63.17	121.01	0.174	No	No	0.98
41	8.40	3.27	73.36	2.63	0.53	1.05	27.33	0.00	27.33	4.000	No	Yes	2.00
42	8.60	1.86	91.72	2.86	0.56	1.04	16.08	0.00	16.08	4.000	No	Yes	2.00
43	8.80	1.40	100.00	3.13	0.57	1.03	13.94	0.00	13.94	4.000	No	Yes	2.00
44	9.00	1.50	100.00	3.11	0.57	1.02	12.81	0.00	12.81	4.000	No	Yes	2.00
45	9.20	1.89	100.00	2.96	0.55	1.01	18.54	0.00	18.54	4.000	No	Yes	2.00
46	9.40	1.80	93.63	2.88	0.53	1.00	25.14	0.00	25.14	4.000	No	Yes	2.00
47	9.60	1.57	100.00	3.05	0.58	0.99	9.58	0.00	9.58	4.000	No	Yes	2.00
48	9.80	1.57	100.00	3.04	0.58	0.98	11.39	0.00	11.39	4.000	No	Yes	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued)													
Point ID	Depth (m)	q_t (MPa)	FC (%)	I_c	m	C_N	q_{c1N}	Δq_{c1N}	$q_{c1N,cs}$	$CRR_{7.5}$	Belongs to trans. layer	Clay-like behaviour	FS
49	10.00	1.83	100.00	2.98	0.53	0.97	24.51	0.00	24.51	4.000	No	Yes	2.00
50	10.20	2.09	100.00	3.12	0.56	0.96	16.78	0.00	16.78	4.000	No	Yes	2.00
51	10.40	2.91	100.00	3.02	0.55	0.95	18.47	0.00	18.47	4.000	No	Yes	2.00
52	10.60	4.87	76.76	2.67	0.47	0.95	47.00	0.00	47.00	4.000	No	Yes	2.00
53	10.80	4.77	65.63	2.53	0.42	0.95	71.79	70.46	142.25	0.245	No	No	1.38
54	11.00	3.79	70.21	2.59	0.57	0.93	15.22	55.09	70.31	0.108	No	No	0.58
55	11.20	1.70	100.00	3.15	0.55	0.92	18.70	0.00	18.70	4.000	No	Yes	2.00
56	11.40	1.99	100.00	3.08	0.57	0.91	12.32	0.00	12.32	4.000	No	Yes	2.00
57	11.60	1.83	100.00	3.07	0.54	0.91	22.84	0.00	22.84	4.000	No	Yes	2.00
58	11.80	1.80	100.00	3.14	0.57	0.90	13.86	0.00	13.86	4.000	No	Yes	2.00
59	12.00	1.37	100.00	3.29	0.58	0.89	11.15	0.00	11.15	4.000	No	Yes	2.00
60	12.20	1.57	100.00	3.17	0.58	0.88	11.07	0.00	11.07	4.000	No	Yes	2.00
61	12.40	1.47	100.00	3.20	0.55	0.88	18.71	0.00	18.71	4.000	No	Yes	2.00
62	12.60	1.37	100.00	3.21	0.59	0.86	8.36	0.00	8.36	4.000	No	Yes	2.00
63	12.80	1.08	100.00	3.42	0.59	0.86	8.30	0.00	8.30	4.000	No	Yes	2.00
64	13.00	1.21	100.00	3.26	0.58	0.85	10.75	0.00	10.75	4.000	No	Yes	2.00
65	13.20	1.40	100.00	3.21	0.58	0.85	11.50	0.00	11.50	4.000	No	Yes	2.00
66	13.40	2.42	88.33	2.82	0.57	0.84	13.06	0.00	13.06	4.000	No	Yes	2.00
67	13.60	2.91	87.89	2.81	0.50	0.86	36.51	0.00	36.51	4.000	No	Yes	2.00
68	13.80	4.83	85.51	2.78	0.54	0.84	23.58	0.00	23.58	4.000	No	Yes	2.00
69	14.00	6.70	78.15	2.69	0.43	0.86	62.68	0.00	62.68	4.000	No	Yes	2.00
70	14.20	8.49	66.55	2.54	0.39	0.87	85.18	74.56	159.73	0.369	No	No	2.00
71	14.40	8.40	55.15	2.40	0.43	0.85	69.44	66.52	135.96	0.218	No	No	1.23
72	14.60	7.28	58.85	2.45	0.45	0.84	58.66	64.81	123.47	0.180	No	No	1.01
73	14.80	5.23	73.47	2.63	0.45	0.84	54.18	0.00	54.18	4.000	No	Yes	2.00
74	15.00	3.56	94.21	2.89	0.56	0.80	16.17	0.00	16.17	4.000	No	Yes	2.00
75	15.20	3.69	93.83	2.89	0.56	0.79	16.05	0.00	16.05	4.000	No	Yes	2.00
76	15.40	5.26	71.43	2.61	0.45	0.82	56.56	0.00	56.56	4.000	No	Yes	2.00
77	15.60	6.83	48.99	2.32	0.47	0.81	54.21	59.92	114.13	0.159	No	No	0.90

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q_t :	Total cone resistance
FC:	Fines content (%)
I_c :	Soil behavior type index
m:	Stress exponent
C_N :	Overburden correction factor
q_{c1N} :	Normalized and adjusted cone resistance
Δq_{c1N} :	Cone resistance correction factor due to fines
$q_{c1N,cs}$:	Normalized and adjusted cone resistance
$CRR_{7.5}$:	Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$
FS:	Factor of safety against soil liquefaction

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00	0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00
0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00	1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00
1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00	1.40	1.34	0.00	9.30	0.20	0.00
1.60	1.00	0.00	9.20	0.20	0.00	1.80	1.23	0.00	9.10	0.20	0.00
2.00	1.72	0.00	9.00	0.20	0.00	2.20	1.09	0.00	8.90	0.20	0.00
2.40	1.18	0.00	8.80	0.20	0.00	2.60	1.67	0.00	8.70	0.20	0.00
2.80	1.34	0.00	8.60	0.20	0.00	3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00
3.20	0.96	0.04	8.40	0.20	0.08	3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00
3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00	3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00
4.00	1.84	0.00	8.00	0.20	0.00	4.20	0.73	0.27	7.90	0.20	0.42
4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00	4.60	1.82	0.00	7.70	0.20	0.00
4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00	5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00
5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00	5.40	0.69	0.31	7.30	0.20	0.46
5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00	5.80	0.81	0.19	7.10	0.20	0.27
6.00	1.86	0.00	7.00	0.20	0.00	6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00
6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00	6.60	1.38	0.00	6.70	0.20	0.00
6.80	1.09	0.00	6.60	0.20	0.00	7.00	0.98	0.02	6.50	0.20	0.03
7.20	0.91	0.09	6.40	0.20	0.11	7.40	0.89	0.11	6.30	0.20	0.14
7.60	1.36	0.00	6.20	0.20	0.00	7.80	0.79	0.21	6.10	0.20	0.25
8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00	8.20	0.98	0.02	5.90	0.20	0.02
8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00	8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00
8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00	9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00
9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00	9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00
9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00	9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00
10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00	10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00
10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00	10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00
10.80	1.38	0.00	4.60	0.20	0.00	11.00	0.58	0.42	4.50	0.20	0.37
11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00	11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00
11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00	11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00
12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00	12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00
12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00	12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00
12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00	13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00
13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00	13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00
13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00	13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00
14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00	14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00
14.40	1.23	0.00	2.80	0.20	0.00	14.60	1.01	0.00	2.70	0.20	0.00
14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00	15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00
15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00	15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00
15.60	0.90	0.10	2.20	0.20	0.04						

Overall liquefaction potential: 2.20

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
 F_L: 1 - FS
 w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
 d_z: Layer thickness (m)
 LPI: Liquefaction potential index value for test point