



REGIONE DEL VENETO

Provincia di Vicenza



Comune di Vicenza



Indagine geologica a corredo del progetto per l'ampliamento di un impianto di recupero
rifiuti in Via Riviera Berica nel Comune di Vicenza (VI)

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 17 gennaio 2018)

Committente: **ONO Architettura srl**




Dr. Geol. Matteo Collareda

Costabissara, agosto 2022

1. PREMESSE

Su incarico della società **ONO Architettura** è stata redatta la presente relazione geologica a corredo del progetto per l'ampliamento di un impianto di recupero rifiuti in Via Riviera Berica, nel comune di Vicenza (VI). Di seguito si mostra l'area oggetto di studio riportata su estratto di ortofoto.



Estratto ortofoto

Dal punto di vista generale, la presente relazione geologica si propone di valutare le possibili interazioni tra le azioni di progetto e l'ambiente geologico, ed in particolare di:

- verificare la situazione geologica, geomorfologica e idrogeologica generale dell'area;
- analizzare le problematiche geologico-tecniche del sito in esame;
- ricostruire l'assetto stratigrafico del sottosuolo;
- valutare la risposta sismica di sito;
- determinare le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione;
- riconoscere le proprietà del sistema idrogeologico locale;
- verificare la compatibilità e sostenibilità degli interventi di progetto in relazione alla dinamica delle componenti del territorio di cui ai punti precedenti;
- fornire i parametri tecnici necessari per la corretta scelta e dimensionamento delle opere nonché per una corretta progettazione antisismica come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17 - 01 - 2018*).

A tal fine è stata eseguita una campagna d'indagine sperimentale in sito che ha richiesto l'esecuzione delle seguenti prove:

- n° 3 **Prove Penetrometriche dinamiche (DPSH)**, spinte fino alla profondità massima di 10,2 m dal piano campagna locale, per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo;
- n° 1 **prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)**, sviluppata in *array* lineare con n° 16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica dei terreni 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°3 registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola H.V.S.R. (**Horizontal to Vertical Spectral Ratio**) per individuare la pericolosità sismica locale (categoria di Sottosuolo) e le frequenze di risonanza del terreno, al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Considerata la necessità di procedere al previsto aggiornamento delle «Nuove Norme tecniche per le costruzioni» di cui al citato decreto ministeriale 14 gennaio 2008, il 20 febbraio 2018 entra definitivamente in vigore il **Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018** (supplemento ordinario n. 8 Gazzetta ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018) recante "**Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni**".

Tale norma rappresenta l'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni D.M 14/01/2008, di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186, allegato al presente decreto. **Le presenti norme sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 gennaio 2008.**

Rimane invariato il concetto di Stato Limite, ovvero la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata e prevede, per la definizione del grado di sicurezza, un approccio di tipo semiprobabilistico, o di primo livello, adottando i cosiddetti coefficienti parziali di sicurezza (CP). Salvo alcuni casi particolari, il concetto di tensioni ammissibili, previsto nel D.M. 11.03.1988, non è più adottabile. Il presente elaborato è stato svolto in ottemperanza al **D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni"**.

Dal punto di vista operativo, l'impostazione metodologica adottata per il presente studio è stata articolata come di seguito esposto:

- acquisizione ed esame critico degli elaborati progettuali preliminari;
- rilievo geomorfologico, geologico ed idrogeologico speditivo dell'area;
- campagna d'indagine geognostica in sito;
- elaborazione e interpretazione dei dati sperimentali;
- ricostruzione del modello geologico-tecnico e sismico locale;
- verifica della suscettibilità alla liquefazione;

Le ipotesi e le valutazioni tecniche formulate nel presente elaborato devono essere intese come inquadramento preliminare per il dimensionamento e la valutazione della fattibilità delle opere in progetto. Per la stesura della presente relazione tecnica, oltre a riferimenti d'archivio e bibliografici, sono stati utilizzati i dati sperimentali e le osservazioni derivanti dai rilevamenti e dalle prove in sito eseguite il giorno 3 giugno 2022.

2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

2.1 Ubicazione e caratteri geomorfologici principali

L'area oggetto di studio è localizzata nel settore meridionale del Comune di Vicenza, in Via Riviera Berica. Dal punto di vista morfologico, il territorio s'inserisce in una zona di pianura delimitata a Ovest dalle ultime propaggini orientali dei Monti Lessini e a Sud dai lembi più settentrionali dei Colli Berici. In particolare, il sito è posto in prossimità di una zona di dorsale che delimita l'area di studio a sud-ovest.

La pianura, in generale, è caratterizzata da una pendenza media di circa 0,1 % passando da una quota di 44 a 26 m.s.l.m., in particolare il sito in esame si imposta ad una quota di circa 27 m sul livello del mare.

Gli elementi geomorfologici più evidenti in tutto il territorio comunale sono rappresentati dai rilievi carbonatici dei colli Berici a Sud e dai grandi alvei dei fiumi Bacchiglione, Astichello, Tesina e Retrone.

Tali fiumi percorrono con andamento meandriforme (in special modo il Bacchiglione e l'Astichello) le loro zone di alveo recente. La primitiva morfologia superficiale non è più interamente osservabile, dal momento che interventi antropici di notevole portata hanno profondamente modificato l'aspetto originario di tali aree caratterizzate da ampie anse dei corsi d'acqua maggiori. Alcune zone sono state imbonite con materiali di riporto. Tali interventi antropici sono stati realizzati al fine di mitigare il rischio idraulico.

Tali aree, infatti, sono per buona parte occupate dalle aree critiche individuate dal Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino idrografico Brenta-Bacchiglione (Perimetrazione e Classificazione delle Aree in relazione alla pericolosità). Le aree degli alvei recenti sono caratterizzate dalla presenza di numerosi terrazzi fluviali e da alcuni paleoalvei. Esistono poi i dossi sabbiosi o barre fluviali del piano alluvionale ubicati nella parte settentrionale e orientale del territorio comunale e costituiscono il sottosuolo caratterizzato da sabbie e ghiaie fini.

Si riporta di seguito l'ubicazione in ortofoto dell'area oggetto di indagine con sezione topografica.



Estratto di Ortofoto con sezione topografica

2.2 Inquadramento geologico

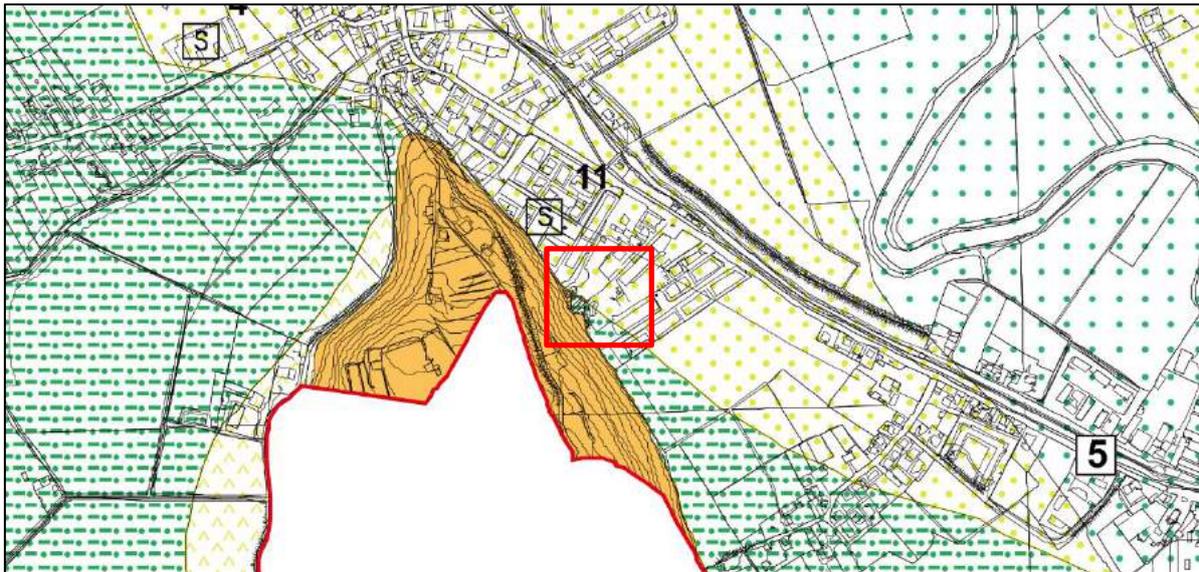
Il territorio comunale di Vicenza presenta a sud una zona di rilievi collinari appartenenti alle propaggini più settentrionali dei Monti Berici e una zona di pianura che appartiene al dominio delle alluvioni recenti e antiche del sistema Bacchiglione-Tesina-Astichello, depositate dai fiumi a seguito del trasporto dei sedimenti lungo la piana corrispondente alla media-bassa Pianura Veneta.

Dal punto di vista geologico, infatti, l'area è caratterizzata dalla presenza dei sedimenti di origine fluviale e fluvioglaciale (di età quaternaria, olocenica e pleistocenica) tipici della **media-bassa Pianura Veneta**.

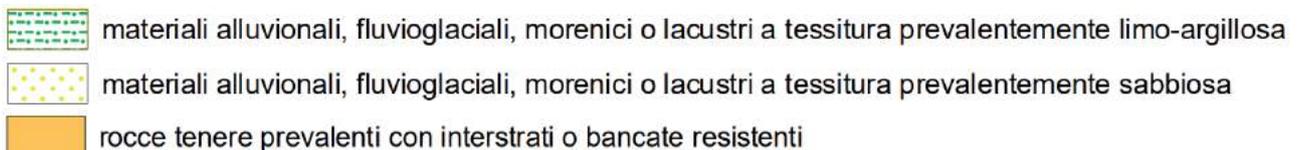
Il sottosuolo nel territorio comunale di Vicenza è quindi caratterizzato da una serie sedimentaria alluvionale, costituita da una potente successione di limi ed argille prevalenti, all'interno della quale si intercalano in profondità **orizzonti e lenti più grossolane sabbioso-ghiaiose**. La serie è riferibile ad ambienti di sedimentazione fluviali di bassa energia, con frequenti condizioni palustri o marine, e con temporanei e localizzati episodi fluviali o torrentizi d'energia maggiore. Il materasso alluvionale è costituito da due tipologie di unità appartenenti alla media Pianura Veneta: zone di pianura consolidata e zone delle alluvioni recenti dei Fiumi Bacchiglione, Astichello, Tesina, Retrone. Si distinguono facilmente in quanto le seconde

sono ubicate nel solco nel quale scorre attualmente il fiume, e risultano terrazzati rispetto al piano di divagazione più antico che corrisponde alla parte di pianura consolidata. Sulla superficie sono stati individuati alvei talora abbandonati, altre volte sovradimensionati rispetto ai corsi d'acqua che ospitano.

Dall'analisi della Carta Geolitologica del P.A.T. del Comune di Vicenza l'area oggetto del presente studio è ubicata all'interno delle seguenti unità litotecniche: *materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa; materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa; rocce tenere prevalenti con interstrati o bancate resistenti*. Inoltre, l'area si colloca subito a ridosso dell'unità: *rocce tenere prevalenti con interstrati o bancate resistenti*.



Estratto della Carta Geolitologica del P.A.T. del Comune di Vicenza



2.3 Inquadramento idrogeologico

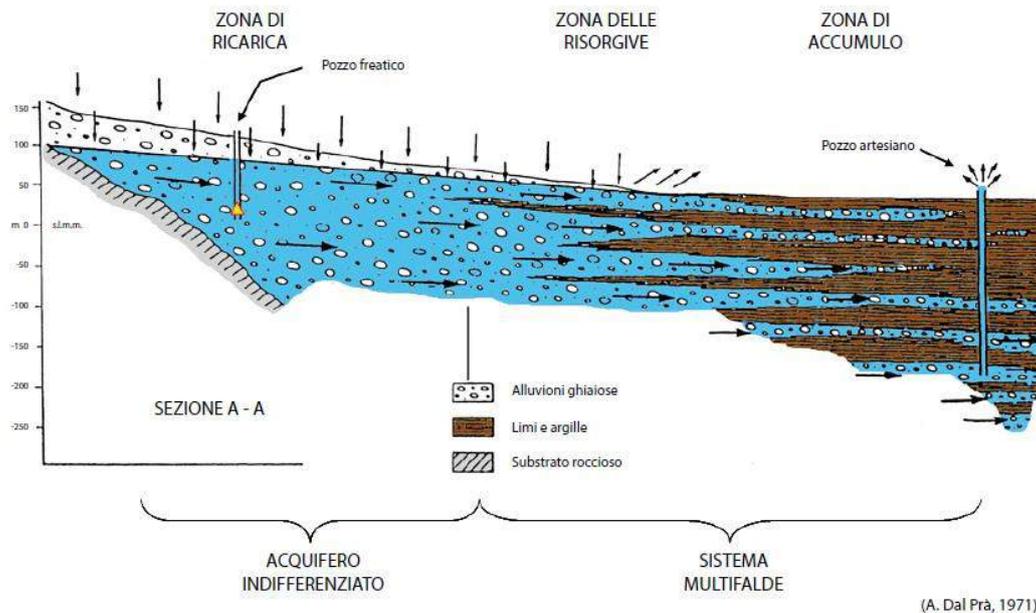
Dal punto di vista idrogeologico, l'area di studio è caratterizzata dalla presenza di un sistema di falda multistrato, tipica della media-bassa pianura, che ricade all'interno del complesso idrogeologico di pianura, che risulta particolarmente articolato.

Il materasso alluvionale caratterizzante l'area di pianura risulta notevolmente differenziato, sia in senso laterale che verticale, con la presenza di una **falda multistrato**. Nella media pianura i depositi sono rappresentati da materiali progressivamente più fini, costituiti da ghiaie e sabbie con digitazioni limose ed argillose le quali diventano sempre più frequenti da monte a valle; in questi depositi esiste una serie di falde sovrapposte, di cui la prima è generalmente libera e quelle sottostanti in pressione, localizzate negli strati permeabili ghiaiosi e/o sabbiosi intercalati alle lenti argillose dotate invece di bassissima permeabilità. Il sistema delle falde in pressione è strettamente collegato, verso monte, all'unica grande falda freatica, dalla quale trae alimentazione e che ne condiziona la qualità di base.

La zona di passaggio dal sistema indifferenziato a quello multi-falde, è rappresentata da una porzione di territorio a sviluppo est-ovest, larga anche qualche chilometro e variabile nel tempo, denominata "Fascia delle risorgive". La falda si avvicina progressivamente alla superficie del suolo fino ad emergere, anche a causa della presenza delle sottostanti lenti argillose, formando le tipiche sorgenti di pianura, dette appunto risorgive (o fontanili). Esse costituiscono il "troppo pieno" della falda freatica dell'alta Pianura Veneta, e finché resteranno attive assicureranno la disponibilità idrica al Sistema Differenziato posto a

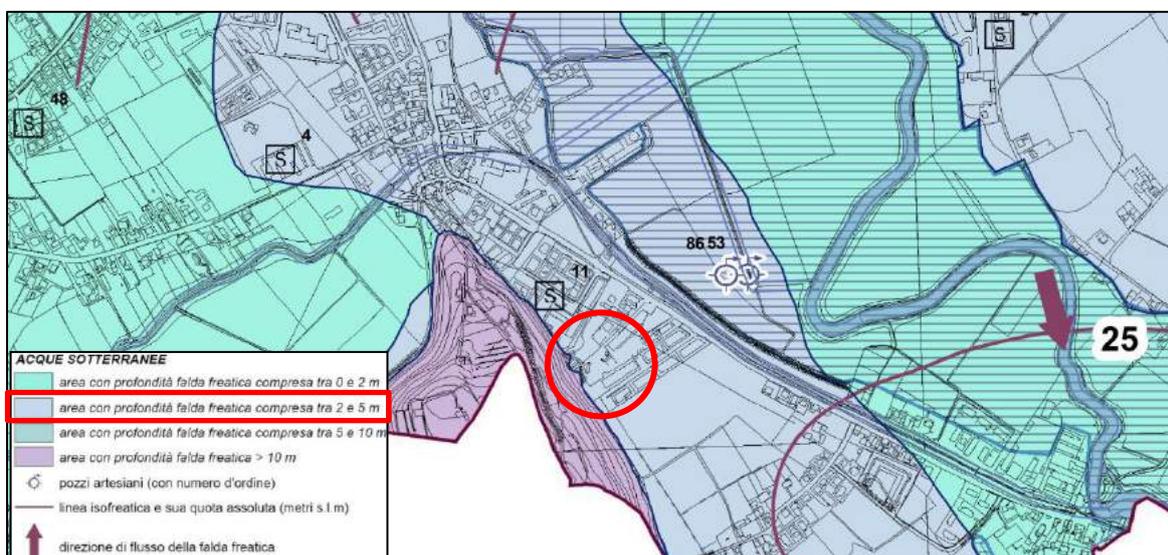
valle. Si trova, nella pianura alluvionale, una vasta gamma di terreni, disposti in letti sovrapposti oppure in lenti suborizzontali, con granulometria variabile dalla sabbia con ghiaia all'argilla. È importante sottolineare il fatto che comunque, ogni strato permeabile posto al di sotto del terreno vegetale, appare saturo d'acqua: in linea di massima si assiste quindi alla presenza di una prima falda superficiale, discontinua, ospitata da terreni sabbioso limosi poco potenti e sovrastante un acquifero multistrato formato dalla presenza di falde confinate o semiconfinate dotate di una certa risalienza.

Alla pianura, appartenente in parte al grande materasso alluvionale dei fiumi Bacchiglione e Tesina, pervengono in profondità le acque delle altre porzioni collinari di territorio descritte, nonché quelle locali d'infiltrazione meteorica e dei grandi sistemi d'irrigazione agricola.



In generale la falda ha un andamento pressoché direzionato da NW verso SE e risente con ogni probabilità dell'alimentazione dei rilievi calcarei e si sviluppa ad una quota variabile dai 40 m s.l.m. a NW fino ai 22 m s.l.m. a SE con un gradiente mediamente del 0,1-0,2%.

L'area oggetto di indagine, dall'analisi della Carta Idrogeologica del P.A.T. del Comune di Vicenza (Fig. seguente - Estratto), risulta caratterizzata da una profondità della falda freatica dal p.c. compresa tra 2 e 5 metri.

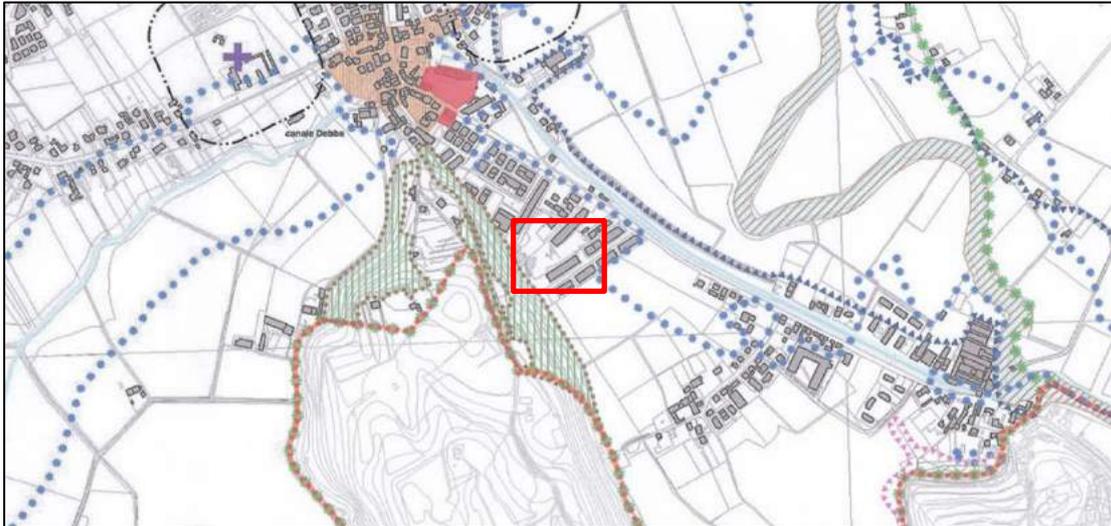


Estratto della Carta Idrogeologica del P.A.T. del Comune di Vicenza

2.4 Analisi dei Vincoli

Carta dei Vincoli

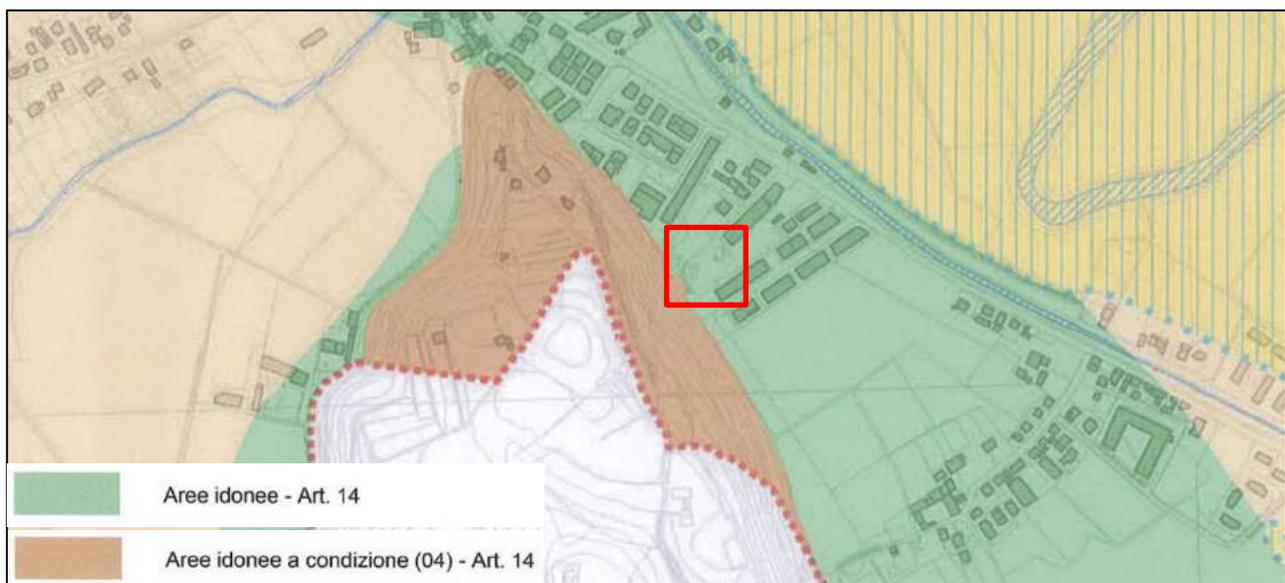
Secondo quanto indicato nella Carta dei Vincoli vigente nel Comune di Vicenza e riportata in estratto a seguire, il sito oggetto di studio risulta in prossimità del vincolo *Paesaggistico D.Lgs. 42/2004 - Zone Boscate - Art. 7*.



Estratto della Carta dei Vincoli vigente del comune di Vicenza

Carta delle Fragilità

L'area oggetto di studio è definita come **Area idonea** (Art. 14 delle *N.T.A.*) ed è situata in prossimità di un'area idonea a condizione (04) - Art. 14.



Estratto della Carta delle Fragilità vigente del P.A.T. comunale di Vicenza

AREE IDONEE: si tratta di aree in cui la falda risulta sempre maggiore di 2 metri di profondità dal p.c. Esse sono costituite prevalentemente da depositi granulari a diversa pezzatura (sabbie e ghiaie fini) in matrice limosa argillosa di caratteristiche geotecniche buone. Tali aree sono ad alta vulnerabilità per gli acquiferi sotterranei.

AREE IDONEE A CONDIZIONE: aree mediamente esposte a pericolosità geologico - idraulica. In tali aree l'edificabilità è limitata in rapporto a possibili dissesti idrogeologici, forti pendenze, acclività con remota possibilità di frane, zone a vulnerabilità idrogeologica, a rischio di esondazione, per deflusso difficoltoso delle acque e con caratteristiche geotecniche penalizzanti.

Sono individuate le seguenti aree idonee a condizione:

04 - per il rischio idrogeologico sui versanti e la elevata vulnerabilità degli acquiferi: si tratta di aree poste sulle dorsali collinari di natura calcarea per lo più carsificata con presenza di forme epigee ed ipogee e con accumulo sui versanti di depositi coesivi di scarsa consistenza soggetti a dissesto idrogeologico specie con media acclività (15-30°) e in concomitanza con interventi antropici non adeguati.

3. PROVE IN SITO

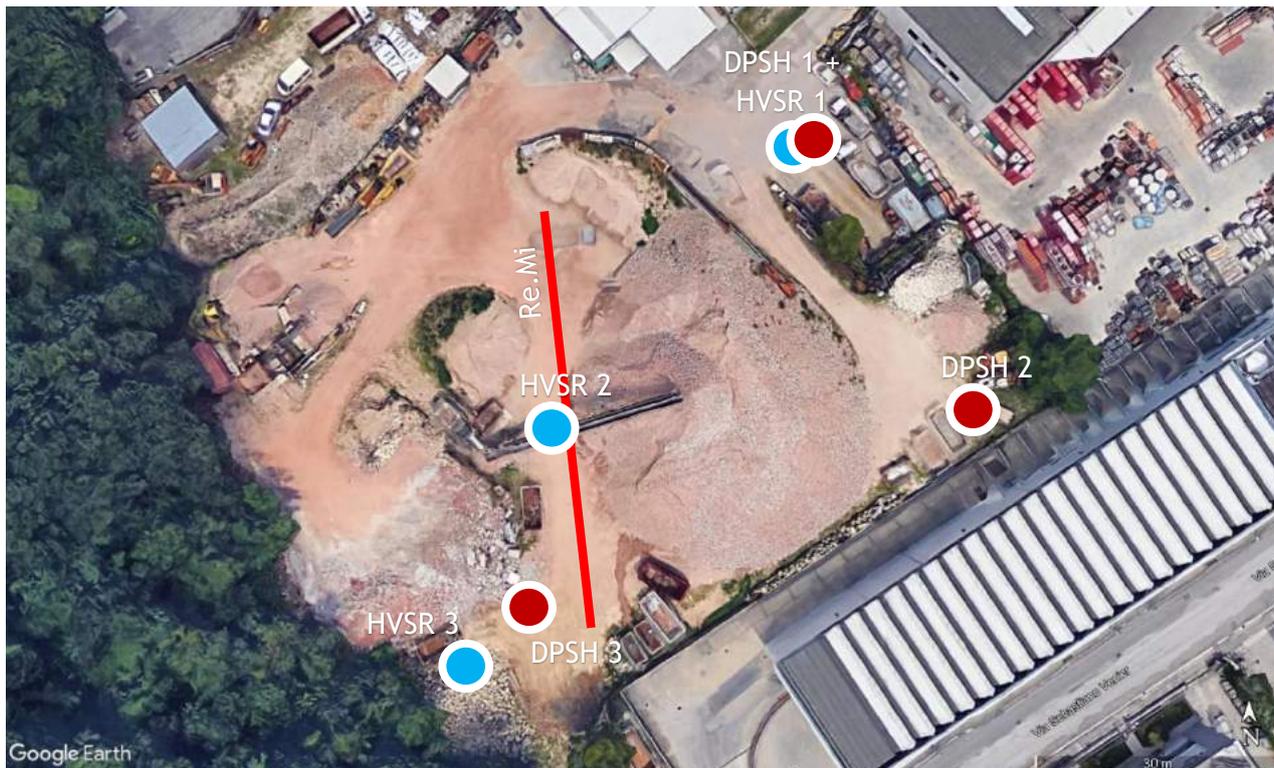
3.1 Premesse

Al fine di ottenere la caratterizzazione del sottosuolo interessato dai futuri interventi sono state eseguite indagini geognostiche e geofisiche in sito. Vista la situazione geologica e morfologica locale evidenziata dal rilievo preliminare di campagna e considerata la tipologia dell'intervento in oggetto, le prove sperimentali sono state condotte principalmente per riconoscere la natura dei terreni di fondazione e rilevare le caratteristiche geotecniche, idrogeologiche e sismiche degli stessi.

Più precisamente presso il sito in studio sono state effettuate le seguenti indagini sperimentali:

- n° 3 **Prove Penetrometriche dinamiche (DPSH)**, spinte fino alla profondità massima di 10,2 m dal piano campagna locale, per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo;
- n° 1 **prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)**, sviluppata in *array* lineare con n°16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica dei terreni 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° 3 **registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare la pericolosità sismica locale (categoria di Sottosuolo) e le frequenze di risonanza del terreno, al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Le prove di campagna sono state ubicate all'interno dell'area oggetto del futuro intervento, tenendo in considerazione le condizioni logistiche e di accessibilità del sito. Le ubicazioni sono riportate nella figura sottostante, mentre a seguire si riportano le foto di ciascuna prova eseguita.



Ubicazione prove in sito



3.2 Descrizione della strumentazione utilizzata

Strumentazione penetrometrica DPSH (Penetrometro Dinamico Pesante)

Il test penetrometrico dinamico consiste invece nell'infingere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, tramite la battitura da altezza prefissata di un maglio di peso standard; durante la percussione vengono misurati i colpi necessari alla penetrazione della punta per una lunghezza prefissata. Per quanto riguarda le prove penetrometriche dinamiche è stato usato un tipo di sonda del tipo "Penetrometro Superpesante" (DPSH), che ha il maglio di massa 63.5 kg e viene misurato il numero di colpi necessario all'infissione ogni 20 cm. La strumentazione utilizzata è ampiamente standardizzata ed i risultati sono facilmente correlabili alla prova SPT (Standard Penetration Test), eseguita in foro di sondaggio e similare per modalità, da cui è possibile ricavare i parametri geotecnici necessari a caratterizzare i terreni di natura prevalentemente granulare e subordinatamente coesivi. Anche in questo caso, come per tutta l'attrezzatura geognostica utilizzata dagli scriventi, le specifiche tecniche delle strumentazioni e le modalità esecutive sono codificate da precise norme internazionali, unitamente alle modalità di interpretazione dei dati quantitativi (rif: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - AGI 1977). Nelle prove DPSH è possibile calcolare la Resistenza Dinamica alla penetrazione di punta (Rpd in kg/cm²), che è funzione del numero di colpi N; a tal scopo si utilizza la correlazione nota come "Formula degli Olandesi", espressa come segue:

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M + P)] = M^2 H N / [A e (M + P)]$$

Un'ampia casistica internazionale ha permesso inoltre di ottenere delle relazioni empiriche che legano i valori rilevati con i valori della capacità portante e, soprattutto in questo caso, con i valori di coesione o di angolo d'attrito del terreno attraversato. Nello specifico è stato utilizzato un Penetrometro Statico/Dinamico della ditta PAGANI da 63.5 kg di massa battente.

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.9.5.2 release 2020](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n°10 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 27 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 V_s è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

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

V_s = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];

H = profondità alla quale si desidera stimare V_s [m] (30 m in caso di V_{s30});

h_i = spessore dello strato i - esimo [m];

v_i = velocità delle onde V_s all'interno dello strato i - esimo [m/s].

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

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, 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

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 pericoloso per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito, sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio Vs** 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 Vs,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 H.V.S.R. si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

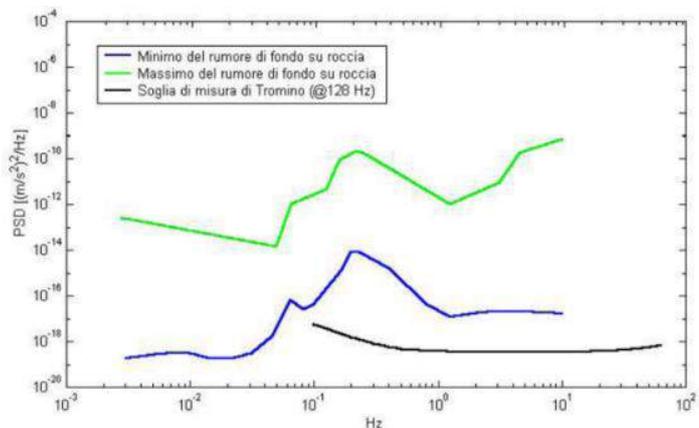
1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);

3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

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

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, H.V.S.R. che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho S.p.a. modello "Tromino ENGY - PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno due terne velocimetriche con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto. Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (H.V.S.R.) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Operativamente si costruisce un modello teorico H.V.S.R. avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs. Per eseguire la procedura sopra descritta in maniera univoca è necessario conoscere la profondità di un riflettore acustico individuabile nello spettro sismico registrato.



Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho S.p.a. modello "Tromino ENGY - PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno due terne velocimetriche con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto. Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (H.V.S.R.) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Operativamente si costruisce un modello teorico H.V.S.R. avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs. Per eseguire la procedura sopra descritta in maniera univoca è necessario conoscere la profondità di un riflettore acustico individuabile nello spettro sismico registrato.

4. MODELLO GEOLOGICO LOCALE

La stratigrafia del terreno di fondazione del lotto in esame è stata ottenuta in maniera indiretta attraverso l'interpretazione delle prove penetrometriche DPSH eseguite, nonché dalle informazioni bibliografiche esistenti. In particolare, dalle indagini eseguite sono emerse importanti differenze tra le prove, motivo per il quale sono stati definiti due distinti modelli geologici locali.

Nelle prove DPSH 1 e DPSH 2 si rinvengono, al di sotto di un primo spessore di terreni di riporto granulare (unità A), terreni alluvionali prevalentemente limoso argillosi (unità B) e limoso sabbiosi (unità C e E), con sottili intercalazioni argillose (unità D), riconosciuti fino alla massima profondità di investigazione (10,2 m da p.c.). Di seguito viene schematizzato il modello geologico locale:

Modello geologico locale 1: DPSH 1 + 2

Falda: non rilevata per chiusura foro

Unità Litotecnica	Profondità [m da p.c.]	Litologia correlata
A	da 0,00 m a 0,80-1,00 m	Riporto granulare
B	da 0,80-1,00 m a 2,40-4,00 m	Limo argilloso
C	da 2,40-4,00 a 6,20 m	Limo sabbioso
D	da 6,20 m a 6,80-7,20	Argilla
E	da 6,80-7,20 m a ... (10,2 m max. profondità raggiunta dalle DPSH1 e DPSH 2)	Limo sabbioso e sabbia limosa

La prova DPSH3, realizzata a ridosso dei rilievi collinari adiacenti, mostra al di sotto dei riporti granulari (unità A), terreni argilloso limosi (unità B) e limi argilloso-sabbiosi (unità C) riconosciuti fino a circa 6,6 m da p.c. locale. Al di sotto di tale quota si riscontrano terreni detritici grossolani (Unità F), sovrastanti il probabile substrato alterato e/o fratturato locale (unità G), riconosciuto a partire da circa 8 m da p.c. locale fino alla massima profondità investigata (8,6 m da p.c.).

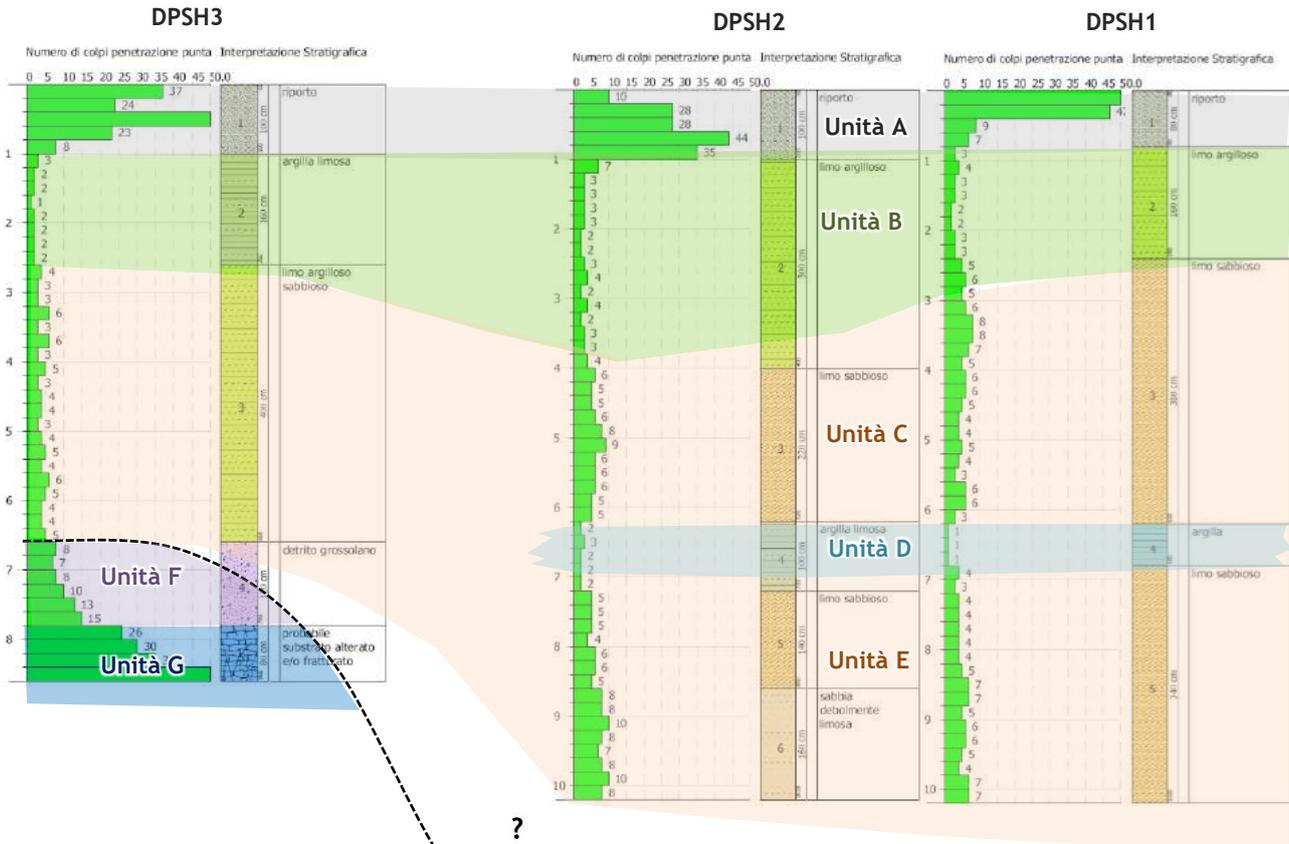
Modello geologico locale 2: DPSH 3

Falda: non rilevata per chiusura foro

Unità Litotecnica	Profondità [m da p.c.]	Litologia correlata
A	da 0,0 m a 1,0 m	Riporto granulare
B	da 1,0 m a 2,60 m	Argilla limosa
C	da 2,60 m a 6,60 m	Limo argilloso sabbioso
F	da 6,60 m a 7,80 m	Detrito grossolano
G	da 7,80 m a ... (8,6 m max. profondità raggiunta dalla DPSH 3)	Probabile substrato alterato e/o fratturato

Si segnala che in corrispondenza delle prove eseguite non è stata rinvenuta acqua di falda fino a 2,5 m da p.c. locale, quota alla quale i fori di sondaggio si sono chiusi, probabilmente proprio a causa della prossimità del livello idrico. A conferma di ciò si sono consultate diverse prove pregresse eseguite nelle zone limitrofe dell'area di studio che mostrano **un livello della falda posto a circa 3 m da p.c. locale**, in coerenza con quanto mostrato sulla carta idrogeologica del PAT.

Di seguito si mostra uno schema dei rapporti stratigrafici dell'area di studio.



5. MODELLO GEOTECNICO LOCALE

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione sono stati utilizzati i risultati delle prove penetrometriche DPSH realizzate in corrispondenza del sito d'interesse.

Si precisa che i valori dei parametri geotecnici riportati nelle tabelle sottostanti rappresentano una media ponderata di quanto desunto dalle prove in sito e possono essere considerati rappresentativi degli orizzonti stratigrafici individuati nella loro globalità, anche in considerazione della naturale disomogeneità del sottosuolo. Il valore di progetto X_d (C_{ud} e Φ_d nei vari stati limite) sarà quello da utilizzare nelle verifiche di portanza dei terreni e sarà ricavato a partire da un valore caratteristico X_k al quale verrà applicato un fattore riduttivo γ_M (F_s parziale) tabellato nelle Norme Tecniche. Le prove condotte hanno restituito due modelli geotecnici definiti nelle seguenti tabelle:

Modello geotecnico locale 1: DPSH 1 + DPSH 2

Unità Litotecnica	Profondità [m da p.c.]	Litologia correlata	Cu (k) [kN/m ²]	Φ (k) [°]	γ NAT (k) [KN/m ³]
A	da 0,00 m a 0,80-1,00 m	Riporto granulare	-	-	19,0
B	da 0,80-1,00 m a 2,40-4,00 m	Limo argilloso	40	-	18,0
C	da 2,40-4,00 a 6,20 m	Limo sabbioso	70	29	19,0
D	da 6,20 m a 6,80-7,20	Argilla	15-30	-	18,0
E	da 6,80-7,20 m a ... (10,2 m max. profondità raggiunta dalle DPSH1 e DPSH 2)	Limo sabbioso e sabbia limosa	70	29-30	19,0

Il primo modello presenta, entro il primo metro, materiale di riporto sovrastante terreni limoso argillosi (Unità B - $C_u \approx 40$), con parametri da mediocri a scadenti, e limoso-sabbiosi (unità C, E - $C_u \approx 70$ kPa, $\Phi \approx 29-30^\circ$) con caratteristiche mediocri. A circa 6,20 m dal p.c. si incontra uno sottile strato argilloso (Unità D) con parametri scadenti ($C_u \approx 15-30$).

Modello geotecnico locale 2: DPSH 3

Unità Litotecnica	Litologia correlata	Profondità [m da p.c.]	Cu (k) [kN/m ²]	Φ (k) [°]	γ NAT (k) [KN/m ³]	
A		da 0,0 m a 1,0 m	Riporto granulare	-	>-	19,0
B		da 1,0 m a 2,60 m	Argilla limosa	30	-	18,0
C		da 2,60 m a 6,60 m	Limo argilloso sabbioso	50-60	29	18,0
F		da 6,60 m a 7,80 m	Detrito grossolano	-	31-32	19,0
G		da 7,80 m a ... (8,6 m max. profondità raggiunta dalla DPSH 3)	Probabile substrato alterato e/o fratturato	>35		20,0

In corrispondenza della DPSH 3 (modello2), al di sotto dello strato di riporto, si osservano argille limose poco portanti (Unità A - $C_u \approx 30$) fino a 2,6 m di profondità, passanti a limi argilloso sabbiosi che presentano caratteristiche geotecniche mediocri (Unità C - $C_u \approx 50-60$ kPa, $\Phi \approx 29^\circ$). A circa 6,6 m si osservano terreni grossolani (unità F - $\Phi \approx 31-32^\circ$), sovrastanti il probabile substrato alterato/fratturato maggiormente portante (unità G - $\Phi > 35^\circ$).

Dai tabulati delle prove penetrometriche allegati fuori testo, è possibile ricavare i parametri di resistenza puntuali, esattamente in corrispondenza della verticale indagata. Da ciò consegue che l'assunzione di valori di resistenza differenti, minori o maggiori, da utilizzare nei calcoli geotecnici sarà subordinata alle ipotesi progettuali specifiche.

In sintesi, il sito è caratterizzato da depositi alluvionali in prevalenza limoso-argillosi e limoso-sabbiosi con caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti nelle porzioni più fini. In particolare, nelle prove DPSH1-2 tali depositi sono stati riscontrati fino alla massima profondità di indagine (circa 10,2 m), mentre nella DPSH3 posta più in prossimità della zona collinare, la prova è andata a rifiuto strumentale a circa 8 m di profondità in corrispondenza del probabile substrato locale maggiormente portante.

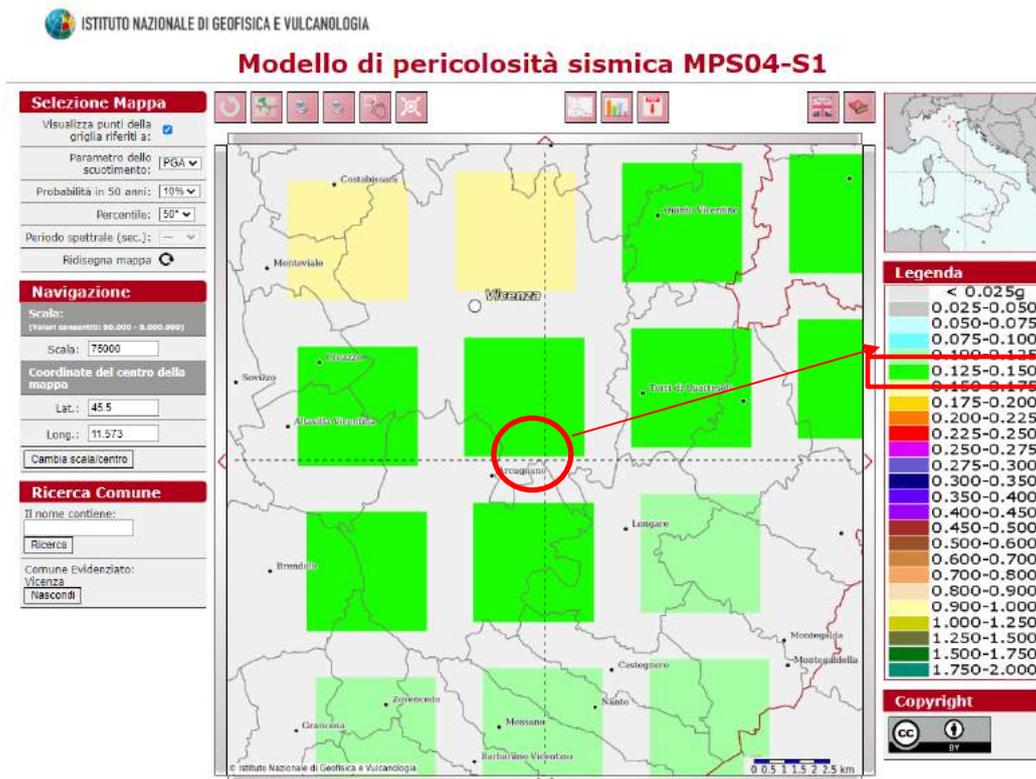
In fase di realizzazione delle opere di progetto, per limitare i cedimenti immediati dovrà essere preparato il piano di posa delle fondazioni a regola d'arte, prevedendo che il terreno di fondazione non subisca rimaneggiamenti e deterioramenti. **Il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione dovrà essere impostato all'interno del terreno naturale** (eliminando quindi eventuale materiale di riporto / demolizione superficiale) ed essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro, per avvantaggiare una diffusione del carico su di un'area più ampia di terreno.

Resta di stretta competenza del Sig. Progettista la scelta definitiva ed esecutiva della tipologia e del dimensionamento delle fondazioni da adottare, che sarà subordinata all'individuazione dei parametri progettuali definitivi.

Infine, i valori di cedimento saranno da valutare una volta noti i carichi di progetto effettivi e la loro distribuzione spaziale. Come mostrato nei paragrafi precedenti (Par. 4-5), **il sottosuolo locale risulta entro i primi 7-8 m moderatamente omogeneo; tuttavia, data la presenza di terreni compressibili non si potrà escludere il verificarsi di fenomeni di cedimento differenziale** che dovranno necessariamente essere presi in considerazione nella fase progettuale definitiva.

6. CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Secondo l'O.P.C.M. 3519 del 28 Aprile 2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n° 71 del 22 Gennaio 2008 e considerata nell'emanazione del D.M. 17 Gennaio 2018, l'area in esame è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale ag riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,125g** e **0,150g**.



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 superficie rigata (cfr. figura seguente), individua la pericolosità sismica del sito di intervento con un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,136 g**.

I valori di accelerazione a_g ed i parametri sismici da utilizzare nei calcoli dovranno essere successivamente stabiliti sulla base della "Strategia di Progettazione" che sarà adottata dal Sig. Progettista, una volta assegnate alle opere in esame la Vita nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di riferimento (cfr. D.M. 17 Gennaio 2018).

Categoria topografica e coefficiente di amplificazione topografica ST

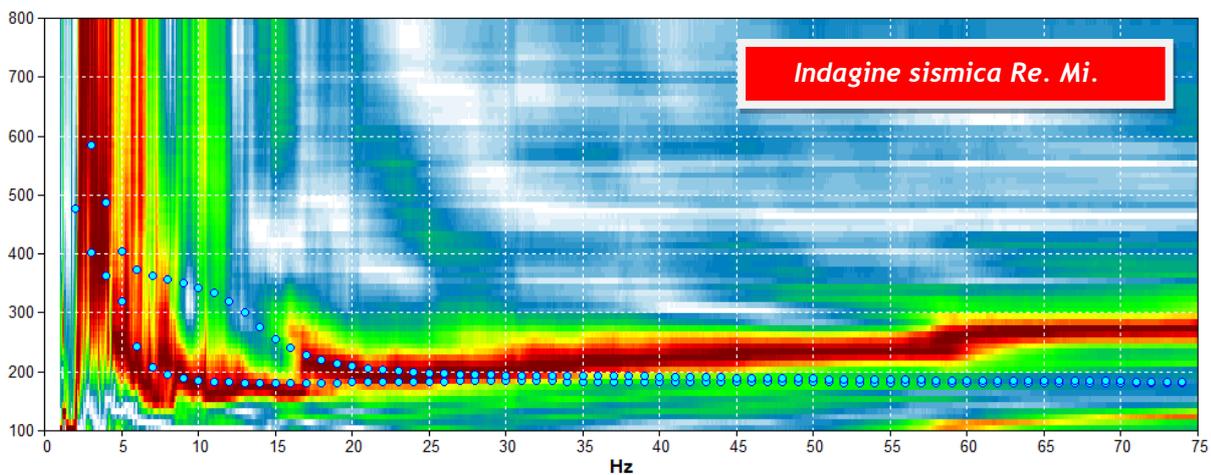
L'area in esame è modellizzabile nella **Categoria T1** (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ - cfr. Tabella 3.2. IV del par. 3.2.2 delle NTC); il coefficiente di amplificazione topografica ST si può quindi assumere pari ad **1** come indicato nella Tabella 3.2.VI del paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC.

Categoria di sottosuolo e frequenza caratteristica di risonanza

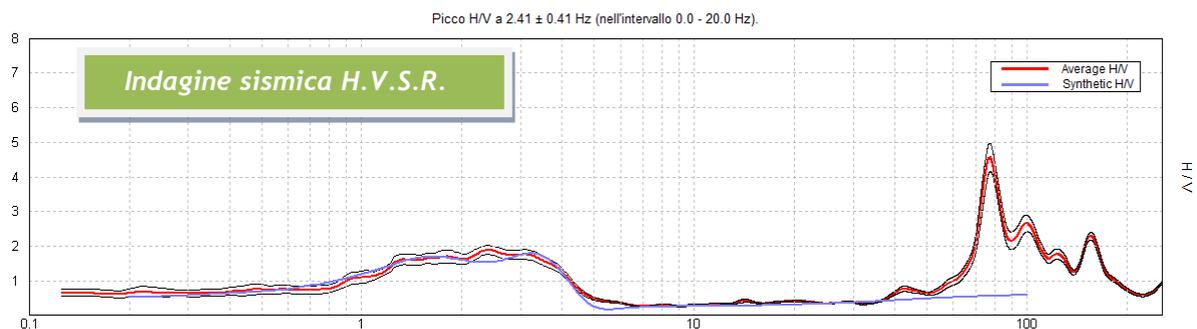
L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle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

L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché lo spettro di velocità è definito nel modo fondamentale in maniera continua 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.

Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta (HVSR2)



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

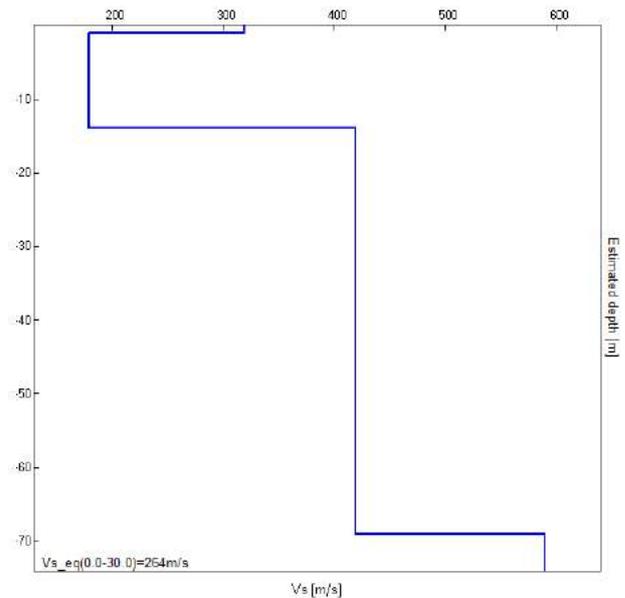


La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 14 m dal p.c. locale caratterizzato da Vs di circa 180 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs che incrementano a valori di circa 420 m/s.

L'ultimo sismo-strato individuato ($V_s \approx 600$ m/s), è stato riconosciuto a circa 69 m di profondità dal p.c. locale (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

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

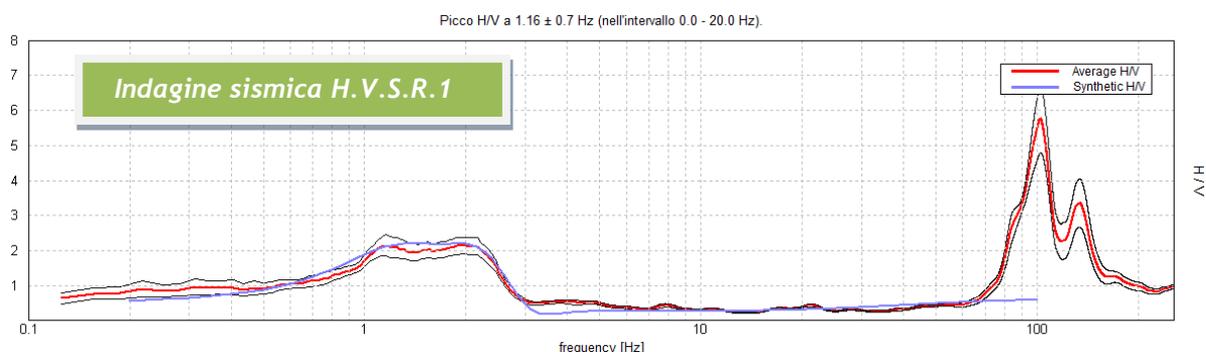


Indagine sismica Re. Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.2	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	320	1	0,0 - 1
II SISMOSTRATO	180	13	1 - ≈14
III SISMOSTRATO	420	55	≈14 - ≈69
IV SISMOSTRATO	600	Semisp.	≈69 - Semisp.

Indagine sismica passiva a stazione singola (HVSr 1-3)

Dato il contesto bidimensionale osservato durante la campagna geognostica, sono state realizzate altre due indagini sismiche a stazione singola, da cui sono stati desunti altrettanti modelli sismo-stratigrafici utilizzando le prove penetrometriche come vincolo.

Indagine sismica HVSr1

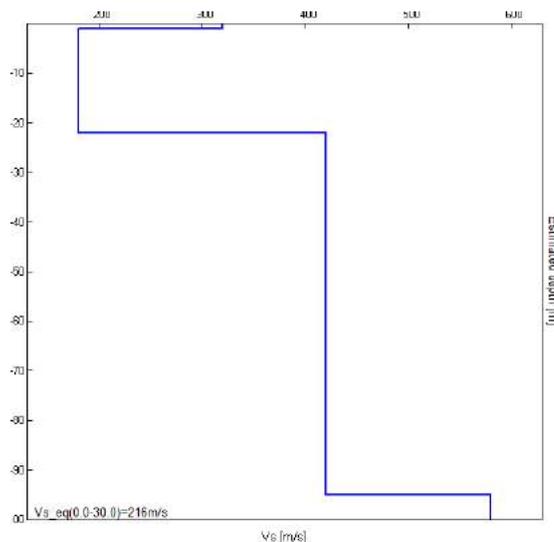


La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 22 m dal p.c. locale caratterizzato da Vs di circa 180 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs che incrementano a valori di circa 420 m/s.

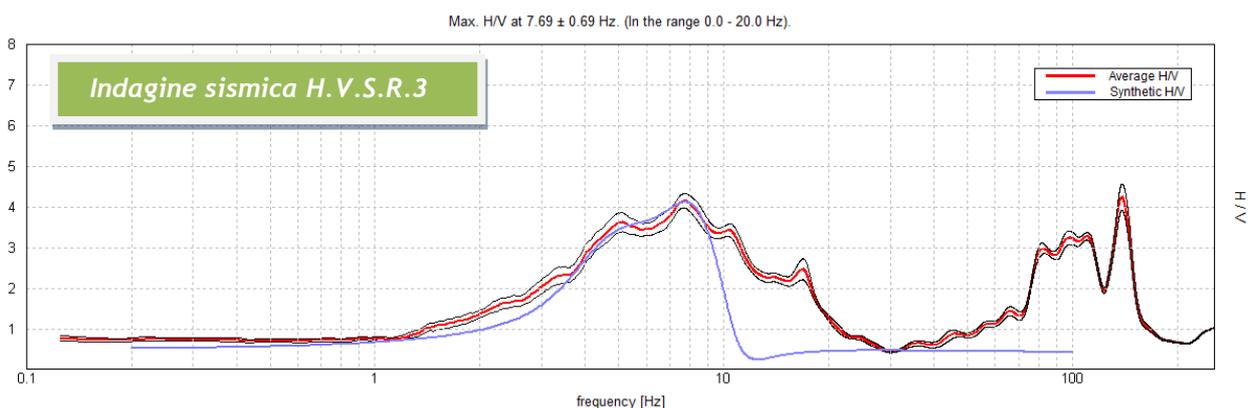
L'ultimo sismo-strato individuato ($V_s \approx 580$ m/s), è stato riconosciuto a circa 95 m di profondità dal p.c. locale (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

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



Indagine sismica H.V.S.R. 1	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	320	1	0,0 - 1,0
II SISMOSTRATO	180	21	1,0 - ≈22
III SISMOSTRATO	420	73	≈22 - ≈95
IV SISMOSTRATO	580	Semisp.	≈95 - Semisp.

Indagine sismica HVSR3

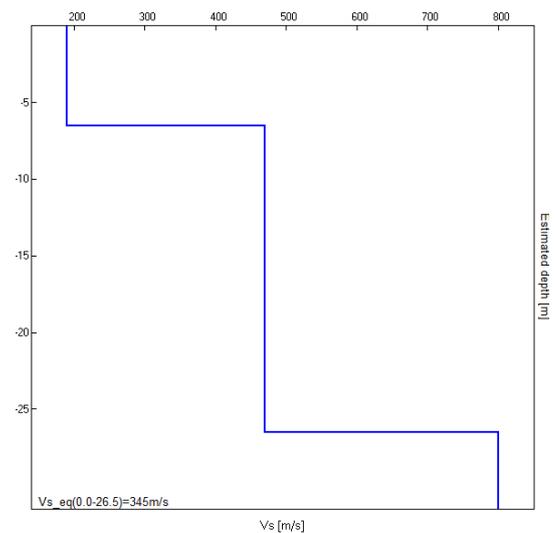


La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 6.5 m dal p.c. locale caratterizzato da V_s di circa 190 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con V_s che incrementano a valori di circa 470 m/s.

Il bedrock sismico ($V_s \approx 800$ m/s), inteso come quel mezzo con $V_s \geq 800$ m/s, è stato riconosciuto a circa 26 m di profondità dal p.c. locale.

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



Indagine sismica H.V.S.R. 3	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	190	6.5	0,0 - 6.5
II SISMOSTRATO	470	20	6.5 - ≈ 26
II SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈ 26 - Semisp.

6.1 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.

È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio. Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione naturale del terreno, anche se il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un modesto fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.

HVSR 1-2

Le misure 1-2 mostrano curve simili con i picchi H/V più elevati alle medio-basse frequenze. Si nota come i picchi H/V della misura 2 siano a frequenze leggermente più alte. Le frequenze fondamentali di risonanza, generate dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ($H/V \approx 2$) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 - 20,0 Hz), è compresa nell'intervallo 1-2,4 Hz.

Frequenza fondamentale di risonanza HVSR 1-2

1- 2,4 Hz

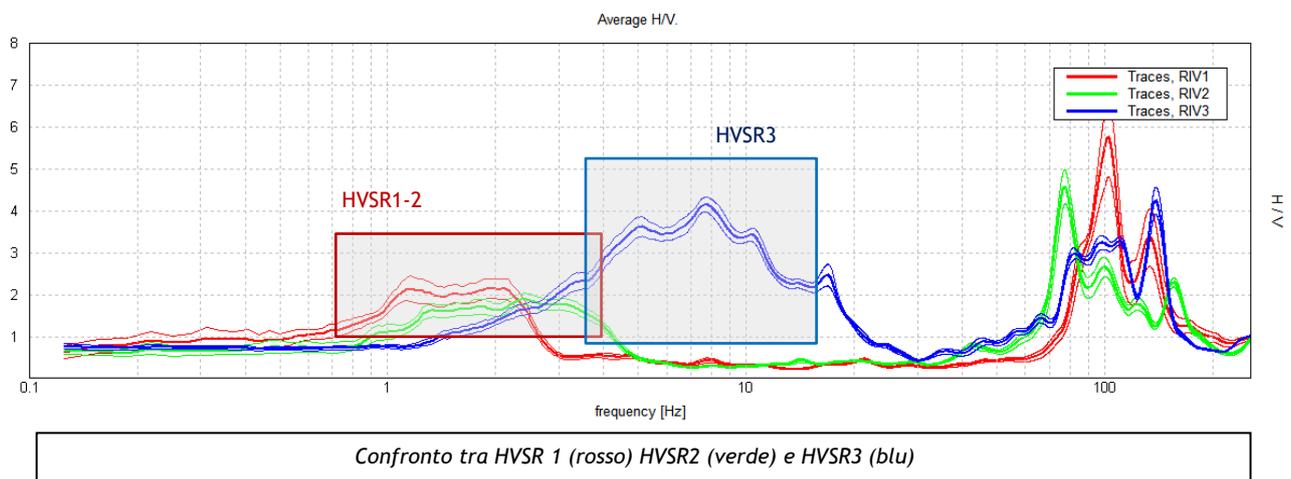
HVSR 3

La misura HVSR3 mostra una curva del tutto diversa rispetto a quelle viste in precedenza, con i picchi H/V che si spostano verso frequenze medio-alte con rapporti spettrali ben più elevati. In questo caso la frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale (H/V ≈ 4) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 - 20,0 Hz), è di circa 7,5 Hz. Data l'ampiezza del picco sarà necessario considerare l'intero range 4-10 Hz come potenzialmente suscettibile di amplificazione sismica

Frequenza fondamentale di risonanza HVSR 3

7,69 Hz \pm 0,69

A seguire si mostrano le tre misure sovrapposte, da cui si evince la grande differenza tra le misure. In particolare, l'HVSR3 mostra un picco molto ampio a frequenze medio-alte a dimostrazione di un importante contrasto di rigidità ben più superficiale rispetto alle altre due misure.



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

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

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

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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 (substrato di riferimento - $V_s > 800$ m/s) a profondità superiori a 30 m nelle prove 1-2, mentre a profondità inferiori a 30 m nella prova HVSR3.

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 ($V_s,30$) per le HVSR1-2 e la V_{seq} per la prova HVSR3, a partire da varie profondità dal piano campagna:

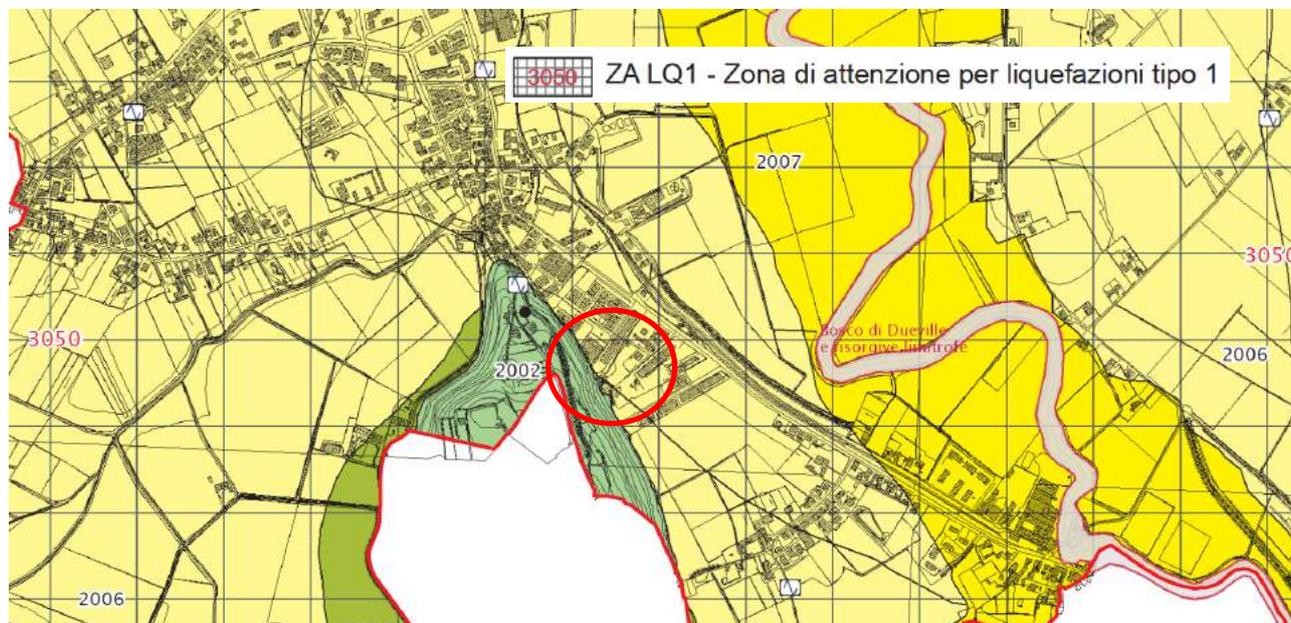
m	Re.Mi. + HVSR 2 $V_s,30$	Cat. sott.	HVSR1 $V_s,30$	Cat. sott.
0 - 30	264 m/s	C	216 m/s	C
1 - 31	266 m/s	C	217 m/s	C
2 - 32	274 m/s	C	222 m/s	C
3 - 33	282 m/s	C	228 m/s	C

m	HVSR3 V_s,eq	Cat. sott.
0 - 26.5	345 m/s	E
1 - 26.5	357 m/s	E
2 - 26.5	370 m/s	B
3 - 26.5	385 m/s	B

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata C** per i punti HVSR1 e HVSR2, mentre nelle **Categorie E e B** per il punto HVSR3, in funzione della profondità del piano di posa delle fondazioni.

7. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Data la natura dei terreni in oggetto d'indagine, e la presenza di una circolazione idrica superficiale, l'area di studio potrebbe essere suscettibile al fenomeno della liquefazione, come indicato nello studio di Microzonazione Sismica del comune di Vicenza, di cui si riporta un estratto a seguire.



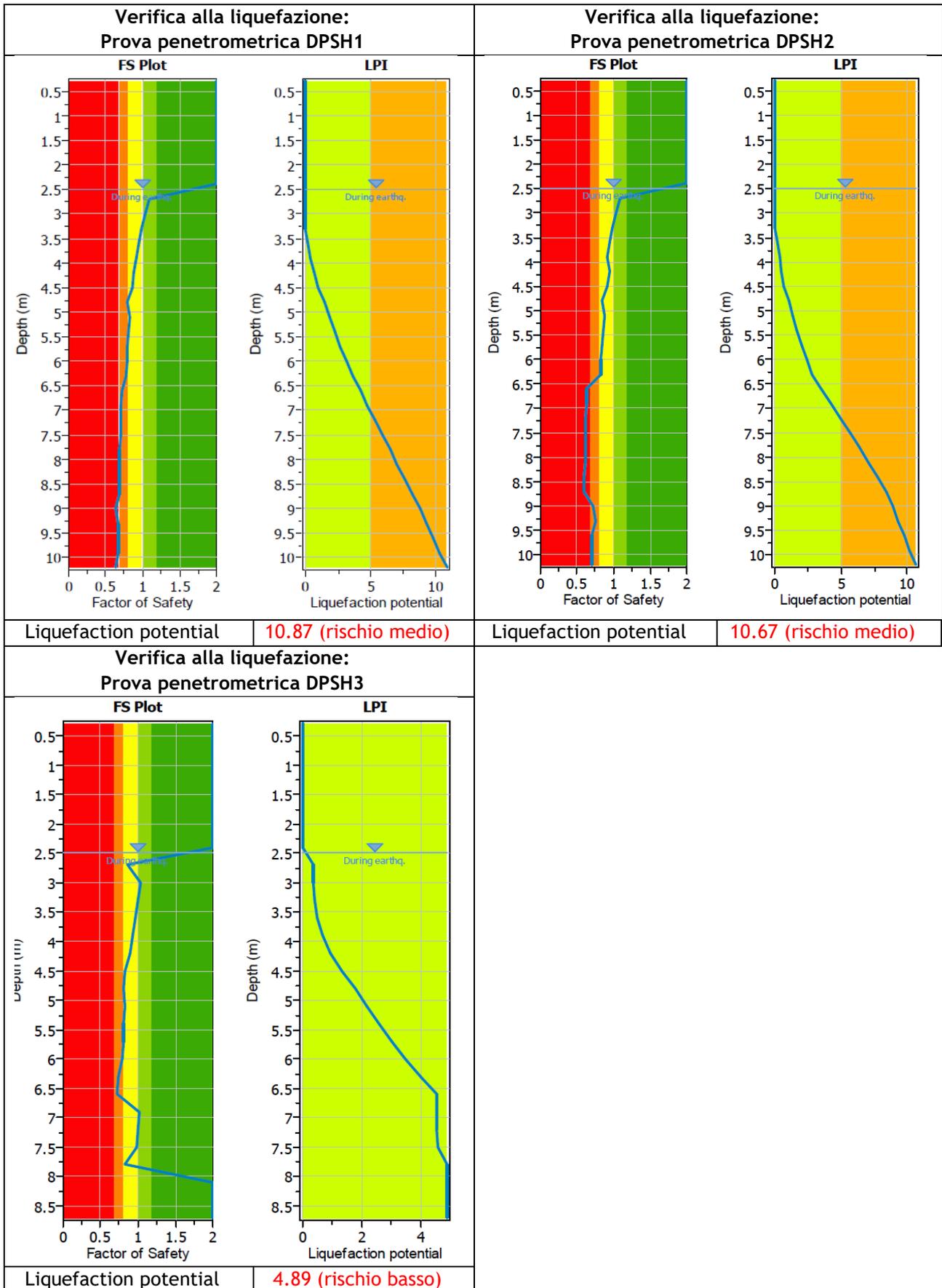
Il potenziale di liquefazione di un sottosuolo viene tradizionalmente stimato attraverso i metodi propri della geotecnica, quali l'analisi delle curve di distribuzione granulometrica o delle prove CPT e SPT. Questi ultimi si basano sostanzialmente sul calcolo del rapporto tra lo sforzo ciclico (CSR) indotto dal terremoto alla profondità dello strato potenzialmente liquefacibile e la resistenza opposta dallo stesso strato.

Nel caso specifico, la verifica alla liquefazione è stata effettuata sulla base della prova DPSH eseguite data l'impossibilità di eseguire prove CPT. In particolare, la verifica è stata eseguita secondo il metodo di Idriss e Boulanger (2014), sui livelli totalmente o parzialmente incoerenti intercettati fino ad un massimo di 10,2 m, considerando un livello di falda durante l'evento sismico di -2.5 m da p.c. locale. Per quanto riguarda i dati sismici di *input*, oltre al valore della magnitudo massima attesa desunta dalla zona sismogenetica di appartenenza (7,3), è stato assegnato il valore di a_g (PGA) di 0.2-0.21 g, corrispondente al valore di accelerazione dello spettro di risposta elastico (Categoria di sottosuolo C-E) ottenuto, in corrispondenza del periodo $T=0$.

Analysis method	Idriss e Boulanger (2014)
Earthquake magnitude MW	7,3
Peak ground acceleration	0,2 - 0,21
G.W.T. (earthq.)	2,5 m

Si riportano a seguire i grafici *Fattore di sicurezza - Profondità* e *Indice Potenziale di Liquefazione-Profondità* inerenti alla prova DPSH condotte.

Il sottosuolo locale mostra valori di LPI di circa 10 nelle prove 1-2, corrispondenti ad un rischio medio, mentre la prova DPSH 3 ha restituito un LPI di circa 4, corrispondente ad un rischio di liquefazione basso.



Le ns. verifiche vanno intese come un approccio ragionato alla valutazione dell'interazione struttura-terreno su cui il Sig. Progettista potrà eseguire le proprie verifiche e scelte progettuali, anche alla luce dei dati emersi dall'indagine. Tutte le verifiche agli SLE e agli SLU prescritte dalle NTC 2018 dovranno essere effettuate dal Sig. Progettista e riportate in una specifica relazione geotecnica sulle fondazioni utilizzando le azioni che derivano dalla progettazione strutturale.



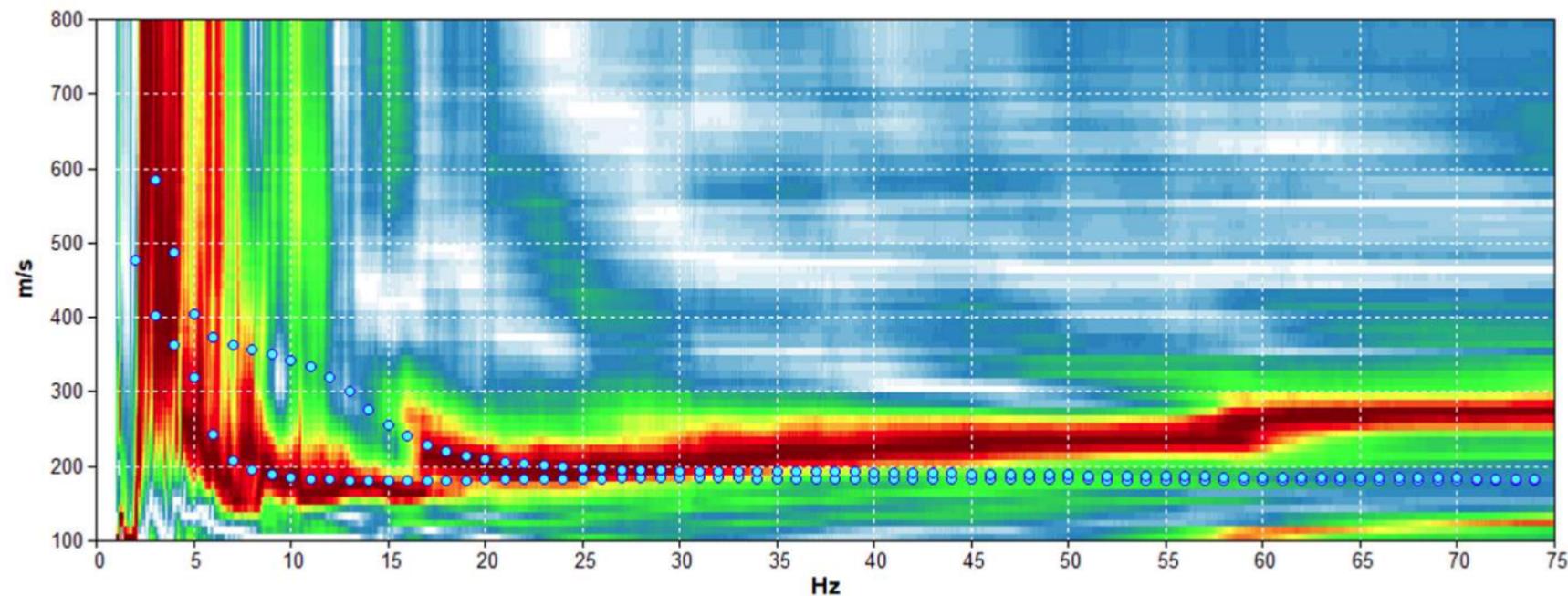
Dr. Geol. Matteo Collareda

ALLEGATI

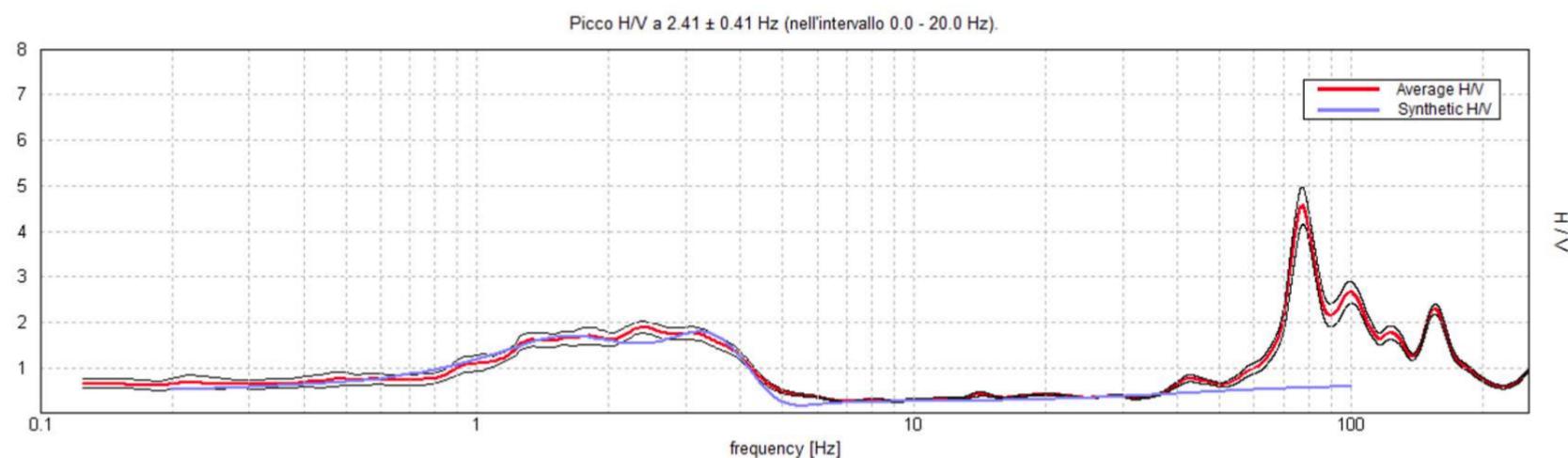
- ✚ Indagine sismica Re.Mi. + H.V.S.R.2
- ✚ Report e diagrammi delle prove penetrometriche effettuate
- ✚ Report verifica della suscettibilità alla liquefazione

BIBLIOGRAFIA

- ✚ A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- ✚ Bowles J. E. (1991) - Fondazioni. Progetto e analisi. McGraw - Hill Ed.
- ✚ CERI Centro di ricerca "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" (2004) - La microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa
- ✚ Cestari F. (1990) - Prove geotecniche in sito. Ed. Geo-graph, Segrate.
- ✚ Cestelli Guidi C. - Geotecnica e tecnica delle fondazioni. Hoepli Ed.
- ✚ Colombo P., Colleselli F. (1974) - Elementi di Geotecnica. Zanichelli Ed.
- ✚ Dal Prà et al. (1991) - Il regime delle acque sotterranee nell'Alta Pianura Veronese
- ✚ Di Bernardo A, Dal Corso M. (2005) - Formula Geo.
- ✚ Di Girolamo M., Filippucci G. (1996) - Il progetto delle fondazioni. NIS Ed.
- ✚ Gruppo di lavoro MPS (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma
- ✚ FLAC 2D, Itasca 2011- Manual
- ✚ Lancellotta R. (1987) - Geotecnica. Zanichelli Ed.
- ✚ Lanzo G., Silvestri F. (1999) - Risposta Sismica Locale. Hevelius Ed.
- ✚ Marsan P., Romeo R. (1992) - La relazione geologica e geotecnica. NIS Ed.
- ✚ Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna (2006) - Corso di "Modellazione geologica e geotecnica nel testo unitario delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 Settembre 2005)"
- ✚ Ordine dei Geologi della Toscana (2003) - Corso di "Elementi di scienza e tecnica delle costruzioni applicate alla geingegneria"
- ✚ Panizzi M., Slejko D. et al. (1981) - Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa
- ✚ Peli G. (2007) - Geotecnica pratica delle fondazioni dirette. Pitagora Editrice Bologna
- ✚ Slejko D. et al (1987) - Modello sismotettonico dell'Italia Nord - Orientale. CNR
- ✚ Viggiani C. - Fondazioni. Hevelius Ed.



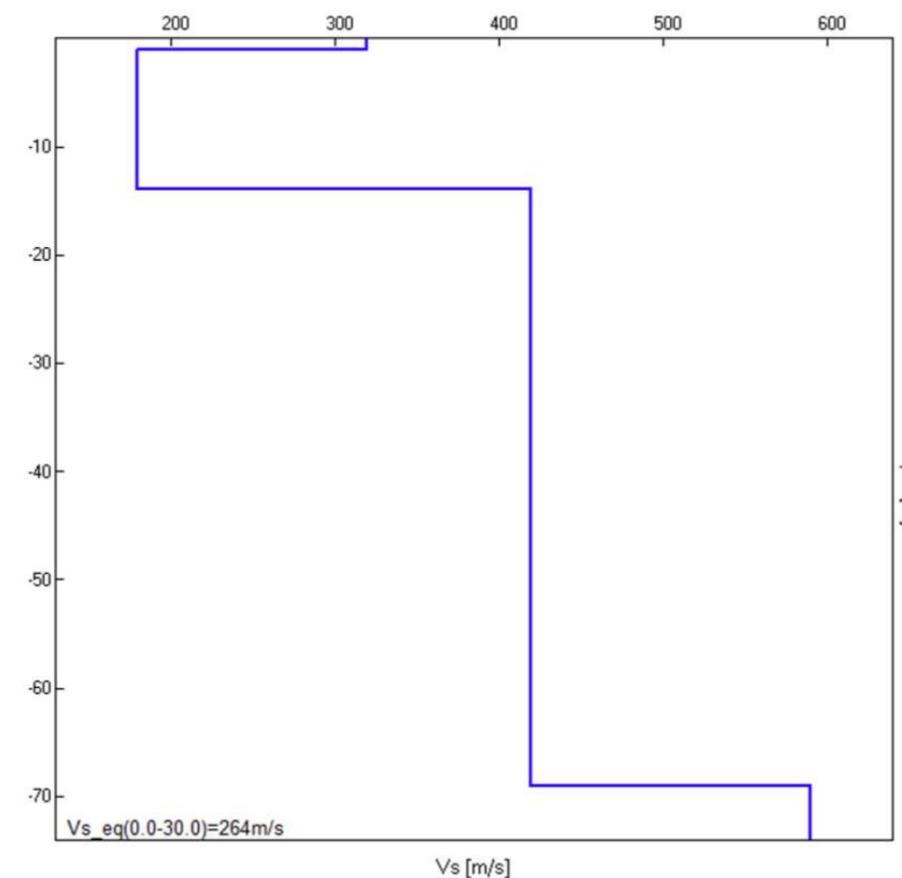
Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi)



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

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

0 m dal p.c.	264 m/s	Categoria C
1 m dal p.c.	266 m/s	Categoria C
2 m dal p.c.	274 m/s	Categoria C
3 m dal p.c.	282 m/s	Categoria C



Profilo Verticale onde S (Vs)

Modello sismo-stratigrafico interpretativo

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.2	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	320	1,0	0,0 - ≈1,0
II SISMOSTRATO	180	13	≈1,0 - ≈14
III SISMOSTRATO	420	55	≈14 - ≈69
IV SISMOSTRATO	590	Semisp.	≈69 - Semisp.



INDAGINE GEOFISICA

Ubi: Via Riviera Berica, 632 - Comune di Vicenza (VI)

Lat: 45.500689°N - Lon: 11.573557°E (WGS84)

Committente: ONO Architettura

***Indagine sismica
Re.Mi e H.V.S.R.2***

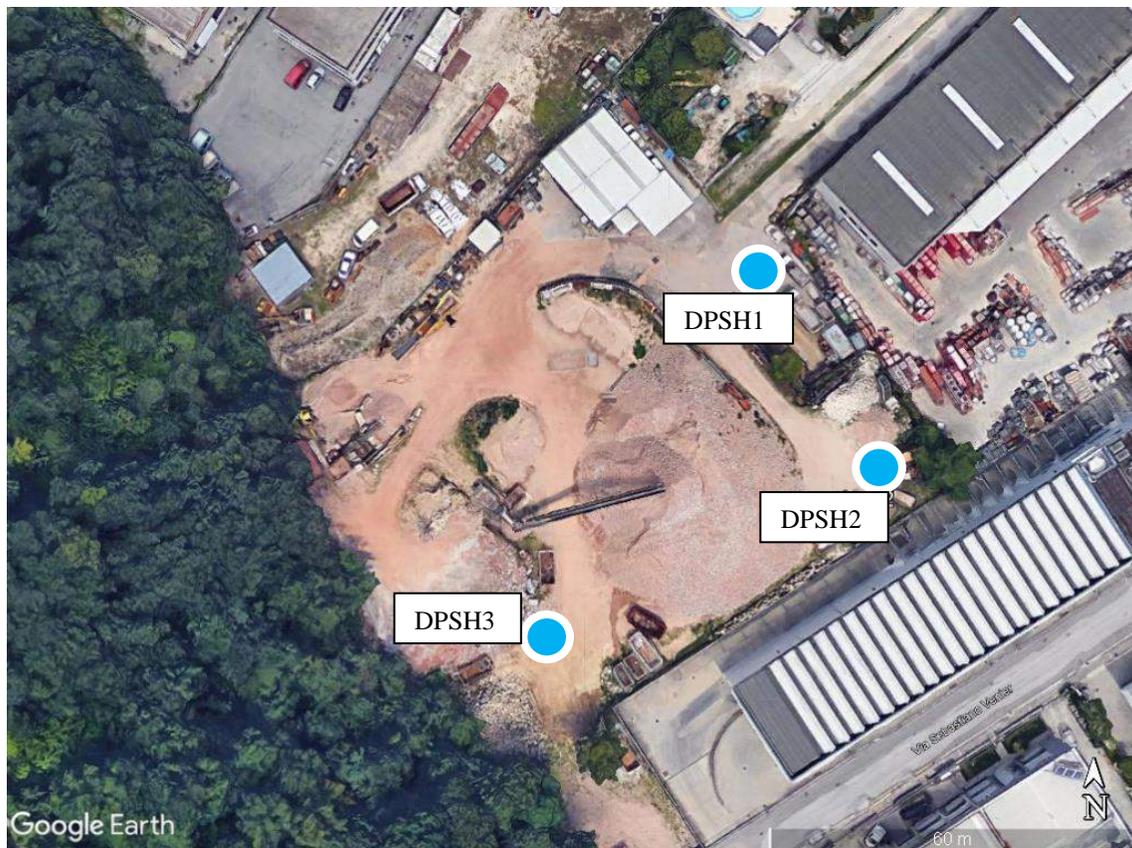
agosto 2022

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: ONO Architettura
Località: Vicenza - Via Riviera Berica

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °



DPSH 1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 14-06-2022

Profondità prova 10.20 mt

Falda non misurata per crollo foro. Aste bagnate



Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	50	0.655	343.92	525.36	17.20	26.27
0.40	47	0.651	321.38	493.84	16.07	24.69
0.60	9	0.847	73.51	86.79	3.68	4.34
0.80	7	0.843	56.93	67.50	2.85	3.38
1.00	3	0.840	24.29	28.93	1.21	1.45
1.20	4	0.836	32.26	38.57	1.61	1.93
1.40	3	0.833	24.10	28.93	1.20	1.45
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	2	0.826	14.73	17.82	0.74	0.89
2.00	2	0.823	14.67	17.82	0.73	0.89
2.20	3	0.820	21.92	26.73	1.10	1.34
2.40	3	0.817	21.84	26.73	1.09	1.34
2.60	5	0.814	33.72	41.41	1.69	2.07
2.80	6	0.811	40.32	49.69	2.02	2.48
3.00	5	0.809	33.49	41.41	1.67	2.07
3.20	6	0.806	40.05	49.69	2.00	2.48
3.40	8	0.803	53.23	66.25	2.66	3.31
3.60	8	0.801	49.56	61.88	2.48	3.09
3.80	7	0.798	43.23	54.15	2.16	2.71

4.00	5	0.796	30.79	38.68	1.54	1.93
4.20	6	0.794	36.84	46.41	1.84	2.32
4.40	6	0.791	36.73	46.41	1.84	2.32
4.60	5	0.789	28.64	36.28	1.43	1.81
4.80	4	0.787	22.85	29.03	1.14	1.45
5.00	4	0.785	22.79	29.03	1.14	1.45
5.20	5	0.783	28.41	36.28	1.42	1.81
5.40	4	0.781	22.67	29.03	1.13	1.45
5.60	3	0.779	15.97	20.50	0.80	1.03
5.80	6	0.777	31.87	41.00	1.59	2.05
6.00	6	0.775	31.80	41.00	1.59	2.05
6.20	3	0.774	15.86	20.50	0.79	1.03
6.40	1	0.772	5.28	6.83	0.26	0.34
6.60	1	0.770	4.97	6.46	0.25	0.32
6.80	1	0.769	4.96	6.46	0.25	0.32
7.00	4	0.767	19.82	25.83	0.99	1.29
7.20	3	0.766	14.83	19.37	0.74	0.97
7.40	4	0.764	19.74	25.83	0.99	1.29
7.60	4	0.763	18.67	24.48	0.93	1.22
7.80	4	0.761	18.64	24.48	0.93	1.22
8.00	4	0.760	18.61	24.48	0.93	1.22
8.20	4	0.759	18.57	24.48	0.93	1.22
8.40	5	0.757	23.18	30.60	1.16	1.53
8.60	7	0.756	30.78	40.72	1.54	2.04
8.80	7	0.755	30.73	40.72	1.54	2.04
9.00	5	0.753	21.92	29.09	1.10	1.45
9.20	6	0.752	26.26	34.90	1.31	1.75
9.40	6	0.751	26.22	34.90	1.31	1.75
9.60	5	0.750	20.78	27.71	1.04	1.39
9.80	4	0.749	16.60	22.17	0.83	1.11
10.00	7	0.748	29.01	38.80	1.45	1.94
10.20	7	0.747	28.97	38.80	1.45	1.94

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.8	28.25	293.38	Incoerente	0	2.21	2.11	0.09	1.47	41.53	riporto
2.4	2.88	26.53	Coesivo	0	1.71	1.87	0.31	1.47	4.23	limo argilloso
6.2	5.37	40.98	Incoerente - coesivo	0	1.9	1.9	0.81	1.47	7.89	limo sabbioso
6.8	1	6.58	Coesivo	0	1.52	1.85	1.22	1.47	1.47	argilla
10.2	5.06	29.84	Incoerente - coesivo	0	1.88	1.9	1.58	1.47	7.44	limo sabbioso

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH 1

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volum e (t/m ³)	Peso unita' di volum e saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Densita' relativa (%)
Strato (1) riporto	0.00-0.80	41.53	Incoerente	1.80	2.12	38.87	--	112.77	282.65	0.27	2158.61	100
Strato (2) limo argilloso	0.80-2.40	4.23	Coesivo	1.71	1.87	--	0.38	44.94	42.30	--	--	--
Strato (3) limo sabbioso	2.40-6.20	7.89	Coesivo Incoerente	1.90	1.90	29.25	0.71	82.27	78.90	0.34	453.07	47.98
Strato (4) argilla	6.20-6.80	1.47	Coesivo	1.52	1.85	--	0.14	16.79	14.70	--	--	--
Strato (5) limo sabbioso	6.80-10.20	7.44	Coesivo Incoerente	1.88	1.90	29.13	0.67	77.68	74.40	0.34	428.74	37.91

DPSH 2

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 14-06-2022

Profondità prova 10.20 mt

Falda non misurata per crollo foro. Aste bagnate



Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	10	0.855	89.80	105.07	4.49	5.25
0.40	28	0.751	220.88	294.20	11.04	14.71
0.60	28	0.747	201.70	270.02	10.09	13.50
0.80	44	0.643	272.97	424.31	13.65	21.22
1.00	35	0.690	232.81	337.52	11.64	16.88
1.20	7	0.836	56.45	67.50	2.82	3.38
1.40	3	0.833	24.10	28.93	1.20	1.45
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	2	0.820	14.62	17.82	0.73	0.89
2.40	2	0.817	14.56	17.82	0.73	0.89
2.60	3	0.814	20.23	24.85	1.01	1.24
2.80	4	0.811	26.88	33.13	1.34	1.66
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	4	0.806	26.70	33.13	1.34	1.66
3.40	2	0.803	13.31	16.56	0.67	0.83

3.60	3	0.801	18.59	23.21	0.93	1.16
3.80	3	0.798	18.53	23.21	0.93	1.16
4.00	4	0.796	24.63	30.94	1.23	1.55
4.20	6	0.794	36.84	46.41	1.84	2.32
4.40	5	0.791	30.61	38.68	1.53	1.93
4.60	5	0.789	28.64	36.28	1.43	1.81
4.80	6	0.787	34.27	43.54	1.71	2.18
5.00	8	0.785	45.57	58.06	2.28	2.90
5.20	9	0.783	51.14	65.31	2.56	3.27
5.40	6	0.781	34.01	43.54	1.70	2.18
5.60	6	0.779	31.95	41.00	1.60	2.05
5.80	6	0.777	31.87	41.00	1.59	2.05
6.00	5	0.775	26.50	34.17	1.32	1.71
6.20	5	0.774	26.44	34.17	1.32	1.71
6.40	2	0.772	10.55	13.67	0.53	0.68
6.60	3	0.770	14.92	19.37	0.75	0.97
6.80	2	0.769	9.93	12.92	0.50	0.65
7.00	2	0.767	9.91	12.92	0.50	0.65
7.20	2	0.766	9.89	12.92	0.49	0.65
7.40	5	0.764	24.67	32.29	1.23	1.61
7.60	5	0.763	23.34	30.60	1.17	1.53
7.80	5	0.761	23.30	30.60	1.16	1.53
8.00	4	0.760	18.61	24.48	0.93	1.22
8.20	6	0.759	27.86	36.73	1.39	1.84
8.40	6	0.757	27.81	36.73	1.39	1.84
8.60	5	0.756	21.99	29.09	1.10	1.45
8.80	8	0.755	35.12	46.54	1.76	2.33
9.00	8	0.753	35.07	46.54	1.75	2.33
9.20	10	0.752	43.76	58.17	2.19	2.91
9.40	8	0.751	34.96	46.54	1.75	2.33
9.60	7	0.750	29.10	38.80	1.45	1.94
9.80	8	0.749	33.20	44.34	1.66	2.22
10.00	10	0.748	41.44	55.42	2.07	2.77
10.20	8	0.747	33.10	44.34	1.66	2.22

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1	29	286.22	Incoerente	0	2.21	2.12	0.11	1.47	42.63	riporto
4	3.2	27.59	Coesivo	0	1.74	1.88	0.48	1.47	4.7	limo argilloso
6.2	6.09	43.84	Incoerente - coesivo	0	1.93	2.12	0.96	1.47	8.95	limo sabbioso
7.2	2.2	14.36	Coesivo	0	1.65	1.86	1.25	1.47	3.23	argilla

8.6	5.14	31.5	Incoerente - coesivo	0	1.88	1.9	1.46	1.47	7.56	limosa limo sabbioso
10.2	8.38	47.59	Incoerente	0	1.8	1.93	1.74	1.47	12.32	sabbia debolmente limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH 2

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Densita' relativa (%)
Strato (1) riporto	0.00-1.00	42.63	Incoerente	1.80	2.12	39.18	--	115.03	288.15	0.27	2212.31	100
Strato (2) limo argilloso	1.00-4.00	4.70	Coesivo	1.74	1.88	--	0.43	49.73	47.00	--	--	--
Strato (3) limo sabbioso	4.00-6.20	8.95	Coesivo Incoerente	1.93	2.12	29.56	0.80	93.08	89.50	0.34	510.07	48.83
Strato (4) argilla limosa	6.20-7.20	3.23	Coesivo	1.65	1.86	--	0.29	34.74	32.30	--	--	--
Strato (5) limo sabbioso	7.20-8.60	7.56	Coesivo Incoerente	1.88	1.90	29.16	0.68	78.90	75.60	0.34	435.24	39.25
Strato (6) sabbia debolmente limosa	8.60-10.20	12.32	Incoerente	1.51	1.94	30.52	--	52.77	136.60	0.33	688.79	47.19

DPSH 3

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 14-06-2022

Profondita' prova 8.60 mt

Falda non rilevata



Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	37	0.705	273.94	388.77	13.70	19.44
0.40	24	0.751	189.33	252.18	9.47	12.61
0.60	50	0.647	311.97	482.17	15.60	24.11
0.80	23	0.743	164.87	221.80	8.24	11.09
1.00	8	0.840	64.78	77.15	3.24	3.86
1.20	3	0.836	24.19	28.93	1.21	1.45
1.40	2	0.833	16.06	19.29	0.80	0.96
1.60	2	0.830	14.78	17.82	0.74	0.89
1.80	1	0.826	7.36	8.91	0.37	0.45
2.00	2	0.823	14.67	17.82	0.73	0.89
2.20	2	0.820	14.62	17.82	0.73	0.89
2.40	2	0.817	14.56	17.82	0.73	0.89
2.60	2	0.814	13.49	16.56	0.67	0.83
2.80	4	0.811	26.88	33.13	1.34	1.66
3.00	3	0.809	20.09	24.85	1.00	1.24
3.20	3	0.806	20.03	24.85	1.00	1.24
3.40	6	0.803	39.92	49.69	2.00	2.48

3.60	3	0.801	18.59	23.21	0.93	1.16
3.80	6	0.798	37.06	46.41	1.85	2.32
4.00	3	0.796	18.47	23.21	0.92	1.16
4.20	5	0.794	30.70	38.68	1.53	1.93
4.40	3	0.791	18.37	23.21	0.92	1.16
4.60	4	0.789	22.91	29.03	1.15	1.45
4.80	4	0.787	22.85	29.03	1.14	1.45
5.00	3	0.785	17.09	21.77	0.85	1.09
5.20	4	0.783	22.73	29.03	1.14	1.45
5.40	5	0.781	28.34	36.28	1.42	1.81
5.60	4	0.779	21.30	27.34	1.06	1.37
5.80	6	0.777	31.87	41.00	1.59	2.05
6.00	5	0.775	26.50	34.17	1.32	1.71
6.20	4	0.774	21.15	27.34	1.06	1.37
6.40	4	0.772	21.10	27.34	1.06	1.37
6.60	5	0.770	24.87	32.29	1.24	1.61
6.80	8	0.769	39.72	51.66	1.99	2.58
7.00	7	0.767	34.68	45.20	1.73	2.26
7.20	8	0.766	39.56	51.66	1.98	2.58
7.40	10	0.764	49.35	64.58	2.47	3.23
7.60	13	0.713	56.71	79.57	2.84	3.98
7.80	15	0.711	65.31	91.81	3.27	4.59
8.00	26	0.660	105.02	159.14	5.25	7.96
8.20	30	0.659	120.93	183.63	6.05	9.18
8.40	35	0.607	130.09	214.23	6.50	10.71
8.60	50	0.556	161.71	290.86	8.09	14.54

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tension e efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1	28.4	284.41	Incoerente	0	2.21	2.11	0.11	1.47	41.75	riporto
2.6	2	18.12	Coesivo	0	1.63	1.86	0.35	1.47	2.94	argilla limosa
6.6	4.2	31.09	Incoerente - coesivo	0	1.82	1.89	0.85	1.47	6.17	limo argilloso sabbioso
7.8	10.17	64.08	Incoerente	0	1.88	1.95	1.32	1.47	14.95	detrito grossolano
8.6	35.25	211.97	Incoerente	0	2.24	2.15	1.53	1.47	51.82	probabile substrato alterato e/o fratturato

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH3

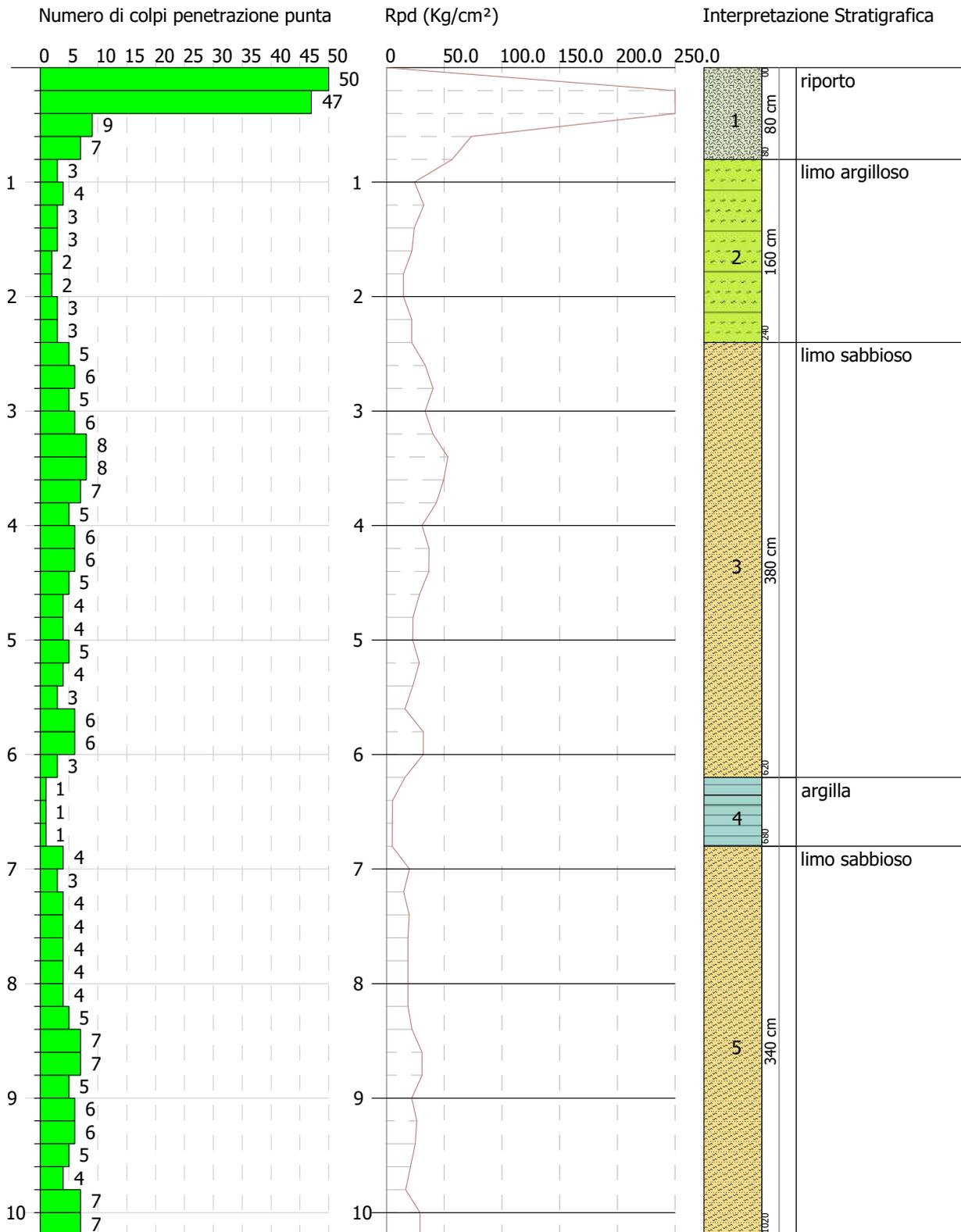
Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocita' onde di taglio (m/s)	Densita' relativa (%)
Strato (1) riporto	0.00-1.00	41.75	Incoerente	1.80	2.12	38.93	--	113.22	283.75	0.27	2169.35	114.13	100
Strato (2) argilla limosa	1.00-2.60	2.94	Coesivo	1.63	1.86	--	0.27	31.78	29.40	--	--	92.34	--
Strato (3) limo argilloso sabbioso	2.60-6.60	6.17	Coesivo Incoerente	1.82	1.89	28.76	0.56	64.72	61.70	0.34	359.57	125.82	41.96
Strato (4) detrito grossolano	6.60-7.80	14.95	Incoerente	1.54	1.96	31.27	--	58.17	149.75	0.32	826.18	159.88	57.09
Strato (5) probabile substrato alterato e/o fratturato	7.80-8.60	51.82	Incoerente	1.86	2.16	41.81	--	133.90	334.10	0.25	2657.91	203.28	100

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ONO Architettura
 Descrizione:
 Localita': Vicenza - Via Riviera Berica

14-06-2022

Scala 1:50

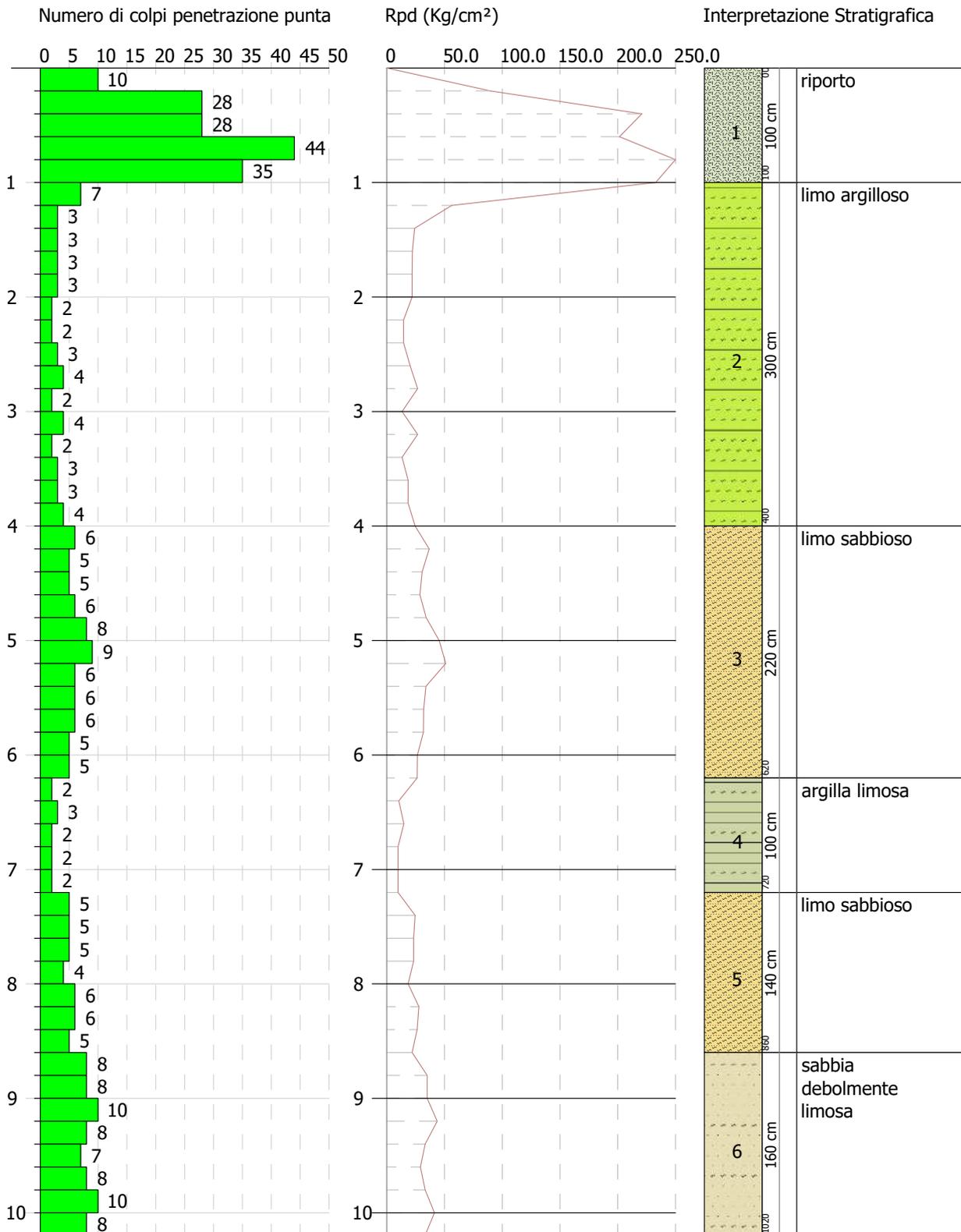


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ONO Architettura
Descrizione:
Localita': Vicenza - Via Riviera Berica

14-06-2022

Scala 1:50

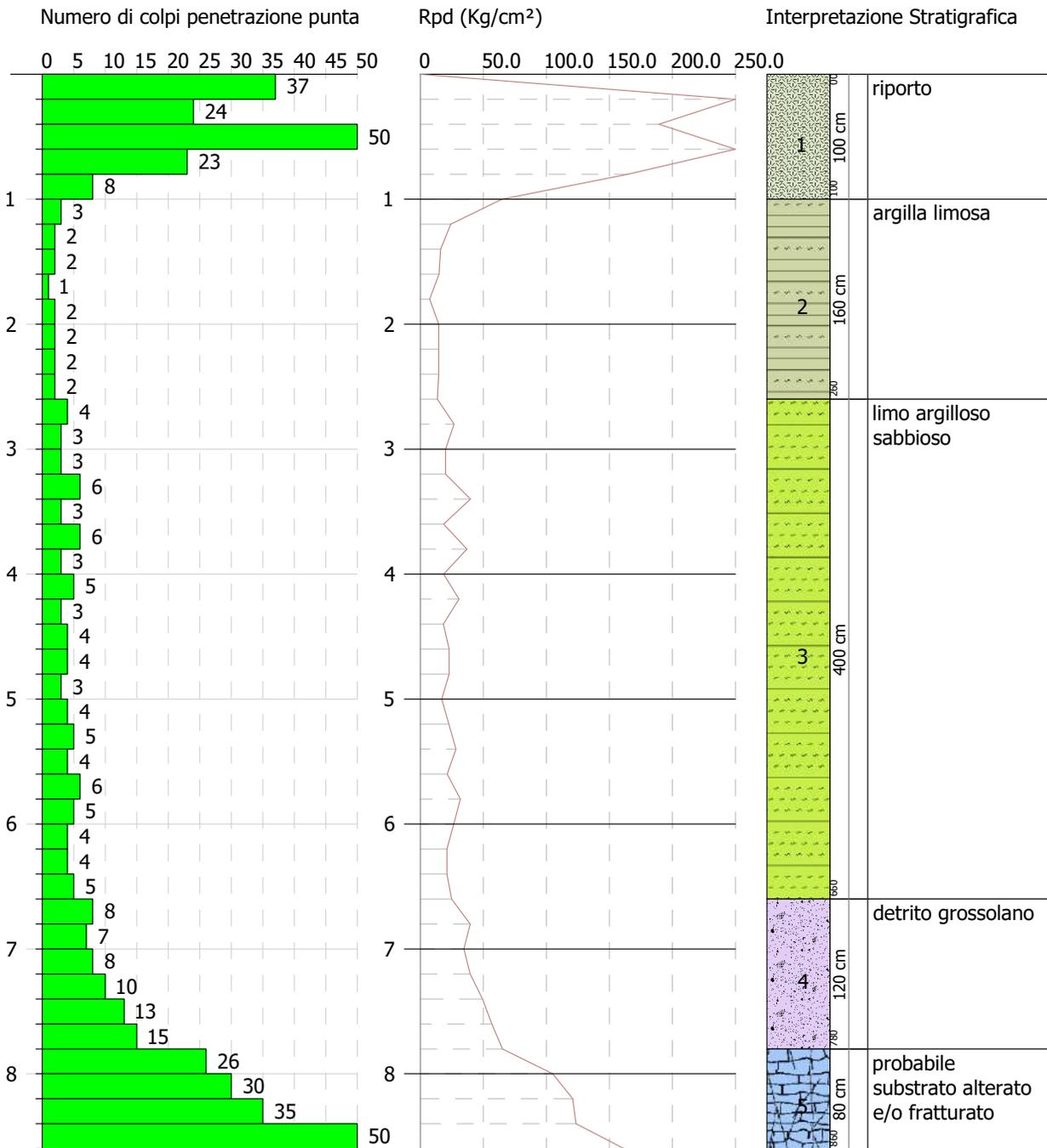


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ONO Architettura
Descrizione:
Localita': Vicenza - Via Riviera Berica

14-06-2022

Scala 1:50





SPT BASED LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

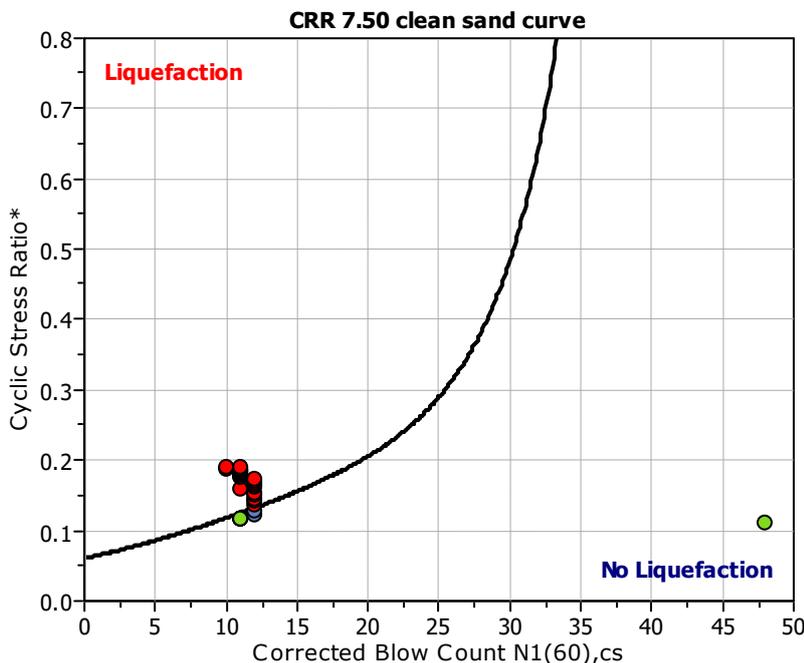
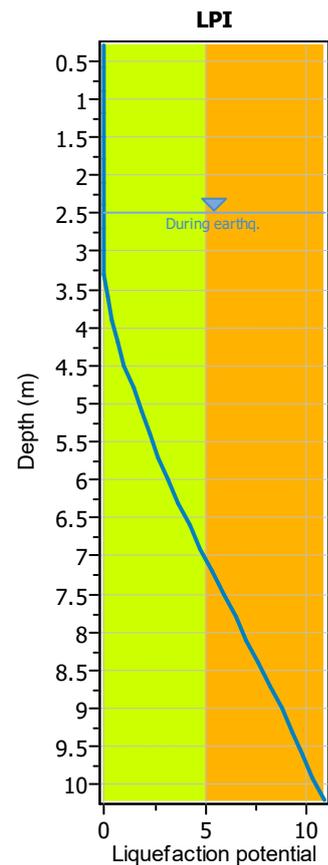
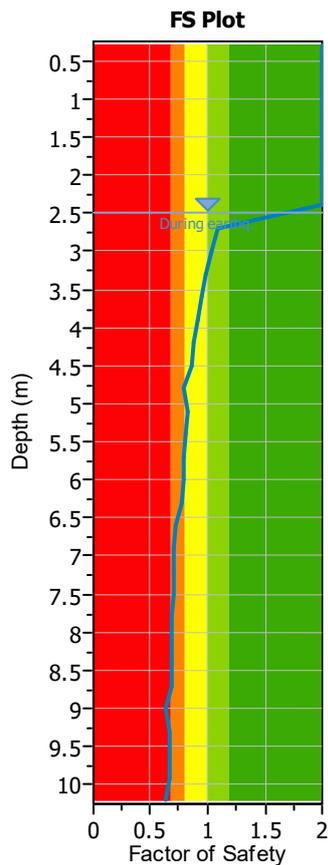
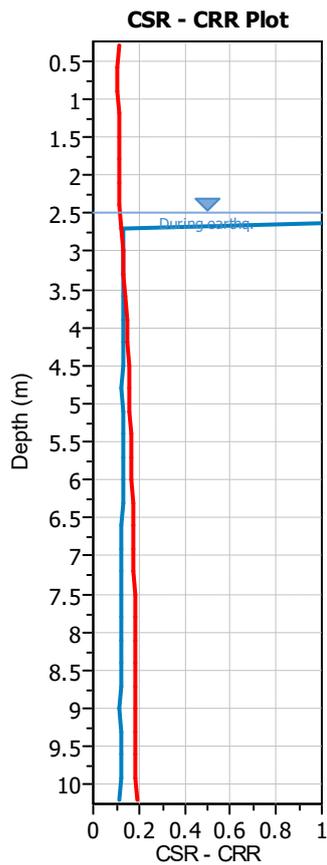
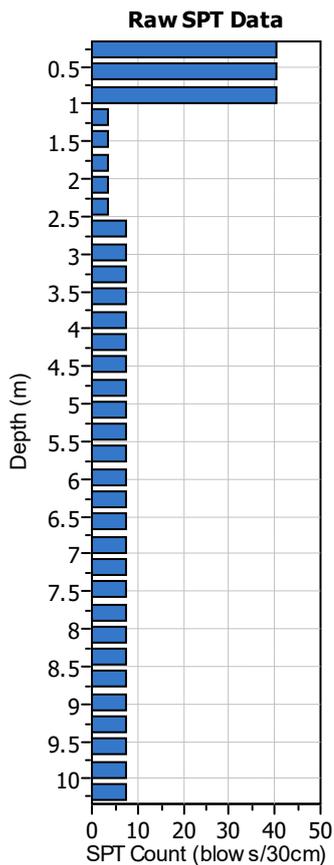
Project title : Verifica della suscettibilità alla liquefazione

SPT Name: DPSH1

Location : Vicenza - via riviera Berica

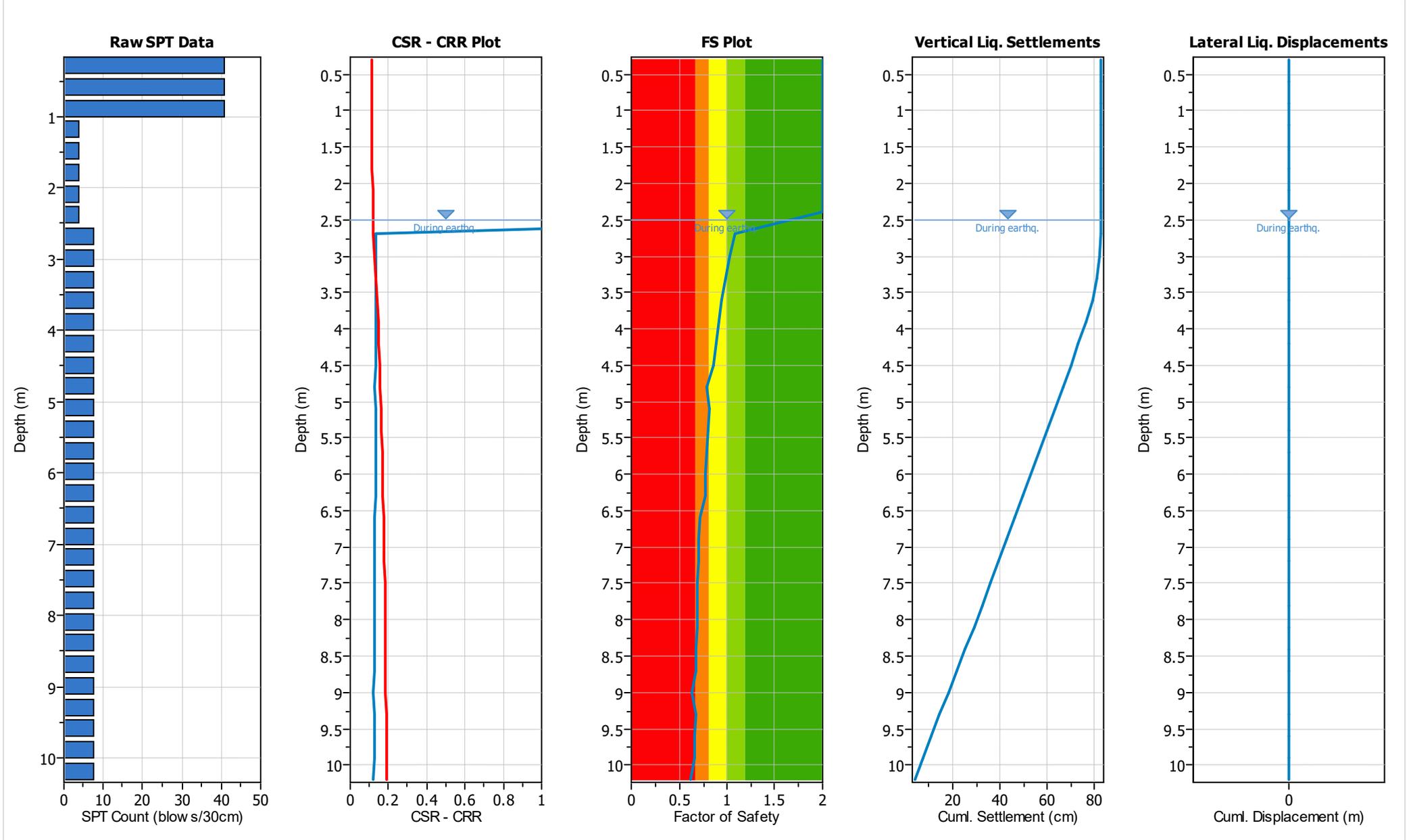
:: Input parameters and analysis properties ::

Analysis method:	Boulanger & Idriss, 2014	G.W.T. (in-situ):	2.50 m
Fines correction method:	Boulanger & Idriss, 2014	G.W.T. (earthq.):	2.50 m
Sampling method:	Standard Sampler	Earthquake magnitude M_w :	7.30 m
Borehole diameter:	65mm to 115mm	Peak ground acceleration:	0.20 g
Rod length:	1.00 m	Eq. external load:	0.00 kPa
Hammer energy ratio:	1.00		



- 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

:: Overall Liquefaction Assessment Analysis Plots ::



This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Field input data ::					
Test Depth (m)	SPT Field Value (blows)	Fines Content (%)	Unit Weight (kN/m ³)	Infl. Thickness (m)	Can Liquefy
0.30	41	5.00	19.00	1.00	Yes
0.60	41	5.00	19.00	1.00	Yes
0.90	41	5.00	19.00	1.00	Yes
1.20	4	60.00	19.00	1.00	Yes
1.50	4	60.00	19.00	1.00	Yes
1.80	4	60.00	19.00	1.00	Yes
2.10	4	60.00	19.00	1.00	Yes
2.40	4	60.00	19.00	1.00	Yes
2.70	8	15.00	19.00	1.00	Yes
3.00	8	15.00	18.00	1.00	Yes
3.30	8	15.00	18.00	1.00	Yes
3.60	8	15.00	18.00	1.00	Yes
3.90	8	15.00	18.00	1.00	Yes
4.20	8	15.00	18.00	1.00	Yes
4.50	8	15.00	18.00	1.00	Yes
4.80	8	15.00	18.00	1.00	Yes
5.10	8	15.00	18.00	1.00	Yes
5.40	8	15.00	18.00	1.00	Yes
5.70	8	15.00	19.00	1.00	Yes
6.00	8	15.00	19.00	1.00	Yes
6.30	8	15.00	19.00	1.00	Yes
6.60	8	15.00	19.00	1.00	Yes
6.90	8	15.00	19.00	1.00	Yes
7.20	8	15.00	19.00	1.00	Yes
7.50	8	15.00	19.00	1.00	Yes
7.80	8	15.00	19.00	1.00	Yes
8.10	8	15.00	19.00	1.00	Yes
8.40	8	15.00	19.00	1.00	Yes
8.70	8	15.00	19.00	1.00	Yes
9.00	8	15.00	19.00	1.00	Yes
9.30	8	15.00	19.00	1.00	Yes
9.60	8	15.00	19.00	1.00	Yes
9.90	8	15.00	19.00	1.00	Yes
10.20	8	15.00	19.00	1.00	Yes

Abbreviations

- Depth: Depth at which test was performed (m)
- SPT Field Value: Number of blows per 30 cm
- Fines Content: Fines content at test depth (%)
- Unit Weight: Unit weight at test depth (kN/m³)
- Infl. Thickness: Thickness of the soil layer to be considered in settlements analysis (m)
- Can Liquefy: User defined switch for excluding/including test depth from the analysis procedure

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::																
Depth (m)	SPT Field Value	Unit Weight (kN/m ³)	σ_v (kPa)	u_o (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	FC (%)	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	$CRR_{7.5}$
0.30	41	19.00	5.70	0.00	5.70	0.23	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	52	5.00	0.00	52	4.000
0.60	41	19.00	11.40	0.00	11.40	0.23	1.67	1.00	1.00	0.75	1.00	51	5.00	0.00	51	4.000
0.90	41	19.00	17.10	0.00	17.10	0.25	1.56	1.00	1.00	0.75	1.00	48	5.00	0.00	48	4.000

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::																
Depth (m)	SPT Field Value	Unit Weight (kN/m ³)	σ_v (kPa)	u_o (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	FC (%)	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	CRR _{7.5}
1.20	4	19.00	22.80	0.00	22.80	0.49	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	5	60.00	5.60	11	4.000
1.50	4	19.00	28.50	0.00	28.50	0.49	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	5	60.00	5.60	11	4.000
1.80	4	19.00	34.20	0.00	34.20	0.49	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	5	60.00	5.60	11	4.000
2.10	4	19.00	39.90	0.00	39.90	0.50	1.59	1.00	1.00	0.80	1.00	5	60.00	5.60	11	4.000
2.40	4	19.00	45.60	0.00	45.60	0.51	1.49	1.00	1.00	0.80	1.00	5	60.00	5.60	11	4.000
2.70	8	19.00	51.30	1.96	49.34	0.50	1.43	1.00	1.00	0.80	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
3.00	8	18.00	56.70	4.91	51.80	0.50	1.40	1.00	1.00	0.80	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
3.30	8	18.00	62.10	7.85	54.25	0.50	1.36	1.00	1.00	0.85	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
3.60	8	18.00	67.50	10.79	56.71	0.50	1.34	1.00	1.00	0.85	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
3.90	8	18.00	72.90	13.73	59.17	0.51	1.31	1.00	1.00	0.85	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
4.20	8	18.00	78.30	16.68	61.62	0.51	1.29	1.00	1.00	0.85	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
4.50	8	18.00	83.70	19.62	64.08	0.51	1.26	1.00	1.00	0.85	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
4.80	8	18.00	89.10	22.56	66.54	0.51	1.24	1.00	1.00	0.85	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
5.10	8	18.00	94.50	25.51	68.99	0.51	1.21	1.00	1.00	0.95	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
5.40	8	18.00	99.90	28.45	71.45	0.51	1.19	1.00	1.00	0.95	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
5.70	8	19.00	105.60	31.39	74.21	0.51	1.17	1.00	1.00	0.95	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
6.00	8	19.00	111.30	34.34	76.97	0.51	1.15	1.00	1.00	0.95	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
6.30	8	19.00	117.00	37.28	79.72	0.52	1.13	1.00	1.00	0.95	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
6.60	8	19.00	122.70	40.22	82.48	0.52	1.11	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
6.90	8	19.00	128.40	43.16	85.24	0.52	1.09	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
7.20	8	19.00	134.10	46.11	87.99	0.52	1.07	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
7.50	8	19.00	139.80	49.05	90.75	0.52	1.06	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
7.80	8	19.00	145.50	51.99	93.51	0.53	1.04	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
8.10	8	19.00	151.20	54.94	96.26	0.53	1.03	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
8.40	8	19.00	156.90	57.88	99.02	0.57	1.01	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
8.70	8	19.00	162.60	60.82	101.78	0.57	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
9.00	8	19.00	168.30	63.77	104.53	0.53	0.98	1.00	1.00	0.95	1.00	7	15.00	3.26	10	0.118
9.30	8	19.00	174.00	66.71	107.29	0.53	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
9.60	8	19.00	179.70	69.65	110.05	0.53	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
9.90	8	19.00	185.40	72.59	112.81	0.53	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	8	15.00	3.26	11	0.125
10.20	8	19.00	191.10	75.54	115.56	0.54	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	7	15.00	3.26	10	0.118

Abbreviations

- σ_v : Total stress during SPT test (kPa)
- u_o : Water pore pressure during SPT test (kPa)
- σ'_{vo} : Effective overburden pressure during SPT test (kPa)
- m: Stress exponent normalization factor
- C_N : Overburden correction factor
- C_E : Energy correction factor
- C_B : Borehole diameter correction factor
- C_R : Rod length correction factor
- C_S : Liner correction factor
- $N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT} to a 60% energy ratio
- $\Delta(N_1)_{60}$: Equivalent clean sand adjustment
- $N_{1(60)cs}$: Corrected $N_{1(60)}$ value for fines content
- CRR_{7.5}: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::															
Depth (m)	Unit Weight (kN/m ³)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{o,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{vo,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF _{max}	$(N_1)_{60cs}$	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K_{sigma}	CSR*	FS	
0.30	19.00	5.70	0.00	5.70	1.00	1.00	0.131	2.20	52	1.08	0.121	1.10	0.110	2.000 ●	

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::															
Depth (m)	Unit Weight (kN/m ³)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{o,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{vo,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF _{max}	(N ₁) _{60cs}	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*	FS	
0.60	19.00	11.40	0.00	11.40	1.00	1.00	0.130	2.20	51	1.08	0.120	1.10	0.109	2.000	●
0.90	19.00	17.10	0.00	17.10	1.00	1.00	0.130	2.20	48	1.08	0.120	1.10	0.109	2.000	●
1.20	19.00	22.80	0.00	22.80	1.00	1.00	0.130	1.21	11	1.01	0.128	1.10	0.116	2.000	●
1.50	19.00	28.50	0.00	28.50	0.99	1.00	0.129	1.21	11	1.01	0.127	1.10	0.116	2.000	●
1.80	19.00	34.20	0.00	34.20	0.99	1.00	0.129	1.21	11	1.01	0.127	1.10	0.115	2.000	●
2.10	19.00	39.90	0.00	39.90	0.99	1.00	0.128	1.21	11	1.01	0.127	1.09	0.116	2.000	●
2.40	19.00	45.60	0.00	45.60	0.99	1.00	0.128	1.21	11	1.01	0.126	1.08	0.117	2.000	●
2.70	19.00	51.30	1.96	49.34	0.98	1.00	0.133	1.24	12	1.02	0.131	1.07	0.122	1.086	●
3.00	18.00	56.70	4.91	51.80	0.98	1.00	0.139	1.24	12	1.02	0.137	1.07	0.129	1.030	●
3.30	18.00	62.10	7.85	54.25	0.98	1.00	0.145	1.24	12	1.02	0.143	1.06	0.135	0.985	●
3.60	18.00	67.50	10.79	56.71	0.97	1.00	0.150	1.24	12	1.02	0.148	1.06	0.140	0.946	●
3.90	18.00	72.90	13.73	59.17	0.97	1.00	0.155	1.24	12	1.02	0.153	1.05	0.145	0.914	●
4.20	18.00	78.30	16.68	61.62	0.97	1.00	0.159	1.24	12	1.02	0.157	1.05	0.150	0.886	●
4.50	18.00	83.70	19.62	64.08	0.96	1.00	0.163	1.24	12	1.02	0.161	1.05	0.154	0.862	●
4.80	18.00	89.10	22.56	66.54	0.96	1.00	0.167	1.21	11	1.01	0.164	1.04	0.158	0.792	●
5.10	18.00	94.50	25.51	68.99	0.95	1.00	0.170	1.24	12	1.02	0.167	1.04	0.161	0.823	●
5.40	18.00	99.90	28.45	71.45	0.95	1.00	0.173	1.24	12	1.02	0.170	1.03	0.164	0.806	●
5.70	19.00	105.60	31.39	74.21	0.95	1.00	0.175	1.24	12	1.02	0.172	1.03	0.167	0.793	●
6.00	19.00	111.30	34.34	76.97	0.94	1.00	0.177	1.24	12	1.02	0.174	1.03	0.170	0.781	●
6.30	19.00	117.00	37.28	79.72	0.94	1.00	0.179	1.24	12	1.02	0.176	1.02	0.172	0.770	●
6.60	19.00	122.70	40.22	82.48	0.93	1.00	0.181	1.21	11	1.01	0.178	1.02	0.175	0.717	●
6.90	19.00	128.40	43.16	85.24	0.93	1.00	0.182	1.21	11	1.01	0.179	1.02	0.176	0.709	●
7.20	19.00	134.10	46.11	87.99	0.93	1.00	0.183	1.21	11	1.01	0.181	1.01	0.178	0.702	●
7.50	19.00	139.80	49.05	90.75	0.92	1.00	0.184	1.21	11	1.01	0.182	1.01	0.180	0.696	●
7.80	19.00	145.50	51.99	93.51	0.92	1.00	0.185	1.21	11	1.01	0.183	1.01	0.181	0.690	●
8.10	19.00	151.20	54.94	96.26	0.91	1.00	0.186	1.21	11	1.01	0.184	1.00	0.183	0.685	●
8.40	19.00	156.90	57.88	99.02	0.91	1.00	0.187	1.21	11	1.01	0.184	1.00	0.184	0.681	●
8.70	19.00	162.60	60.82	101.78	0.90	1.00	0.187	1.21	11	1.01	0.185	1.00	0.185	0.677	●
9.00	19.00	168.30	63.77	104.53	0.90	1.00	0.188	1.19	10	1.01	0.186	1.00	0.186	0.634	●
9.30	19.00	174.00	66.71	107.29	0.89	1.00	0.188	1.21	11	1.01	0.186	0.99	0.187	0.670	●
9.60	19.00	179.70	69.65	110.05	0.89	1.00	0.189	1.21	11	1.01	0.186	0.99	0.187	0.667	●
9.90	19.00	185.40	72.59	112.81	0.88	1.00	0.189	1.21	11	1.01	0.186	0.99	0.188	0.665	●
10.20	19.00	191.10	75.54	115.56	0.88	1.00	0.189	1.19	10	1.01	0.187	0.99	0.189	0.625	●

Abbreviations

- $\sigma_{v,eq}$: Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
- $u_{o,eq}$: Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
- $\sigma'_{vo,eq}$: Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
- r_d : Nonlinear shear mass factor
- α : Improvement factor due to stone columns
- CSR : Cyclic Stress Ratio
- MSF : Magnitude Scaling Factor
- CSR_{eq,M=7.5}: CSR adjusted for M=7.5
- K_{sigma}: Effective overburden stress factor
- CSR*: CSR fully adjusted
- FS: Calculated factor of safety against soil liquefaction

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::					
Depth (m)	FS	F	wz	Thickness (m)	I _L
0.30	2.000	0.00	9.85	0.30	0.00

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::					
Depth (m)	FS	F	wz	Thickness (m)	I _L
0.60	2.000	0.00	9.70	0.30	0.00
0.90	2.000	0.00	9.55	0.30	0.00
1.20	2.000	0.00	9.40	0.30	0.00
1.50	2.000	0.00	9.25	0.30	0.00
1.80	2.000	0.00	9.10	0.30	0.00
2.10	2.000	0.00	8.95	0.30	0.00
2.40	2.000	0.00	8.80	0.30	0.00
2.70	1.086	0.00	8.65	0.30	0.00
3.00	1.030	0.00	8.50	0.30	0.00
3.30	0.985	0.02	8.35	0.30	0.04
3.60	0.946	0.05	8.20	0.30	0.13
3.90	0.914	0.09	8.05	0.30	0.21
4.20	0.886	0.11	7.90	0.30	0.27
4.50	0.862	0.14	7.75	0.30	0.32
4.80	0.792	0.21	7.60	0.30	0.47
5.10	0.823	0.18	7.45	0.30	0.40
5.40	0.806	0.19	7.30	0.30	0.42
5.70	0.793	0.21	7.15	0.30	0.44
6.00	0.781	0.22	7.00	0.30	0.46
6.30	0.770	0.23	6.85	0.30	0.47
6.60	0.717	0.28	6.70	0.30	0.57
6.90	0.709	0.29	6.55	0.30	0.57
7.20	0.702	0.30	6.40	0.30	0.57
7.50	0.696	0.30	6.25	0.30	0.57
7.80	0.690	0.31	6.10	0.30	0.57
8.10	0.685	0.31	5.95	0.30	0.56
8.40	0.681	0.32	5.80	0.30	0.56
8.70	0.677	0.32	5.65	0.30	0.55
9.00	0.634	0.37	5.50	0.30	0.60
9.30	0.670	0.33	5.35	0.30	0.53
9.60	0.667	0.33	5.20	0.30	0.52
9.90	0.665	0.33	5.05	0.30	0.51
10.20	0.625	0.38	4.90	0.30	0.55

Overall potential I_L : 10.87

- I_L = 0.00 - No liquefaction
- I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
- I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
- I_L > 15 - Liquefaction certain



SPT BASED LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

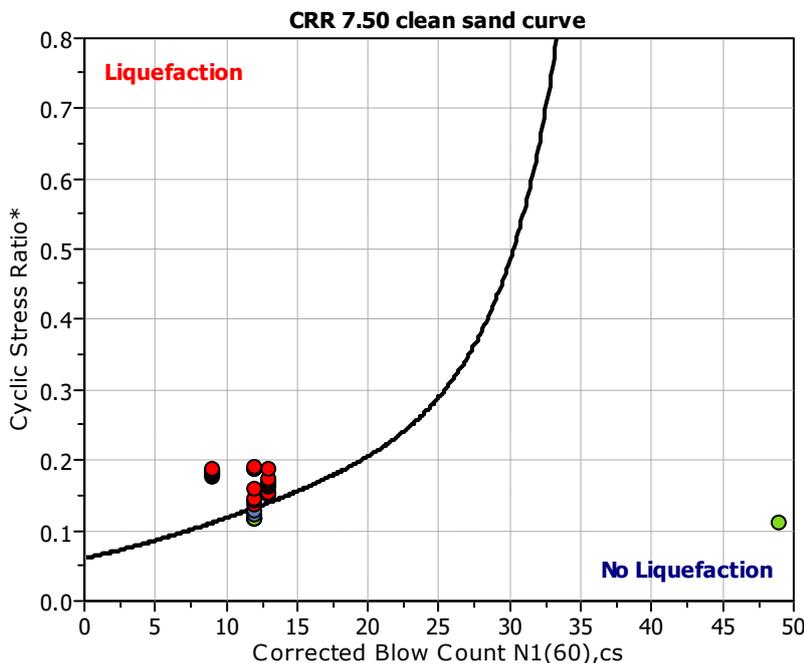
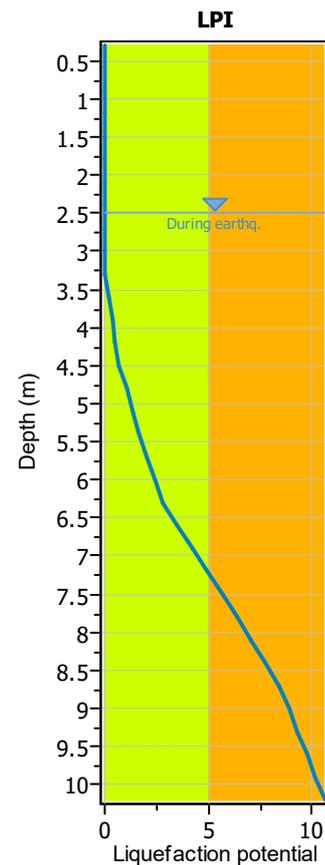
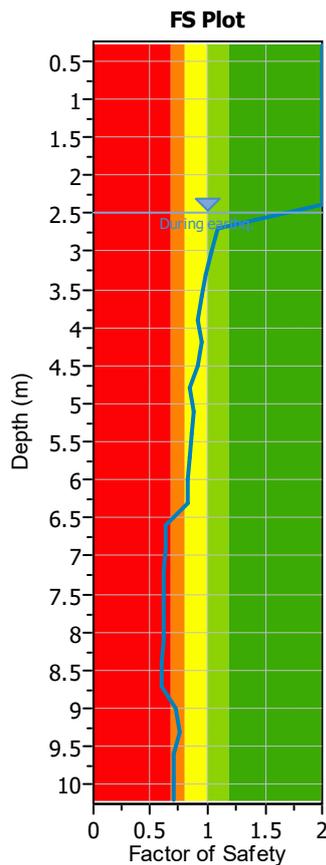
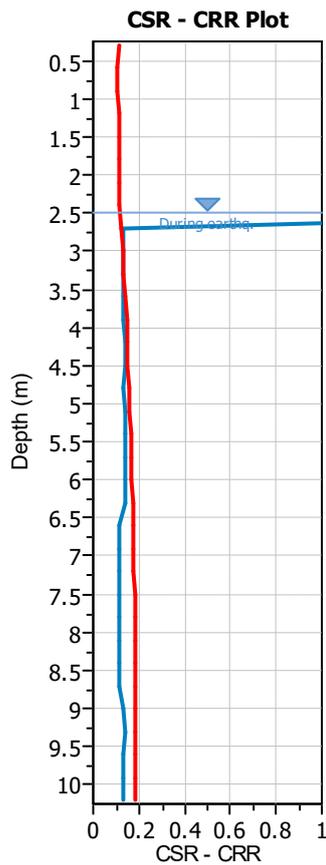
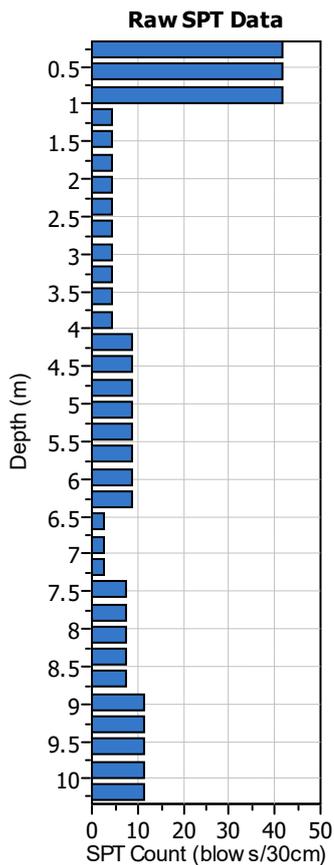
Project title : Verifica della suscettibilità alla liquefazione

SPT Name: DPSH2

Location : Vicenza - via riviera Berica

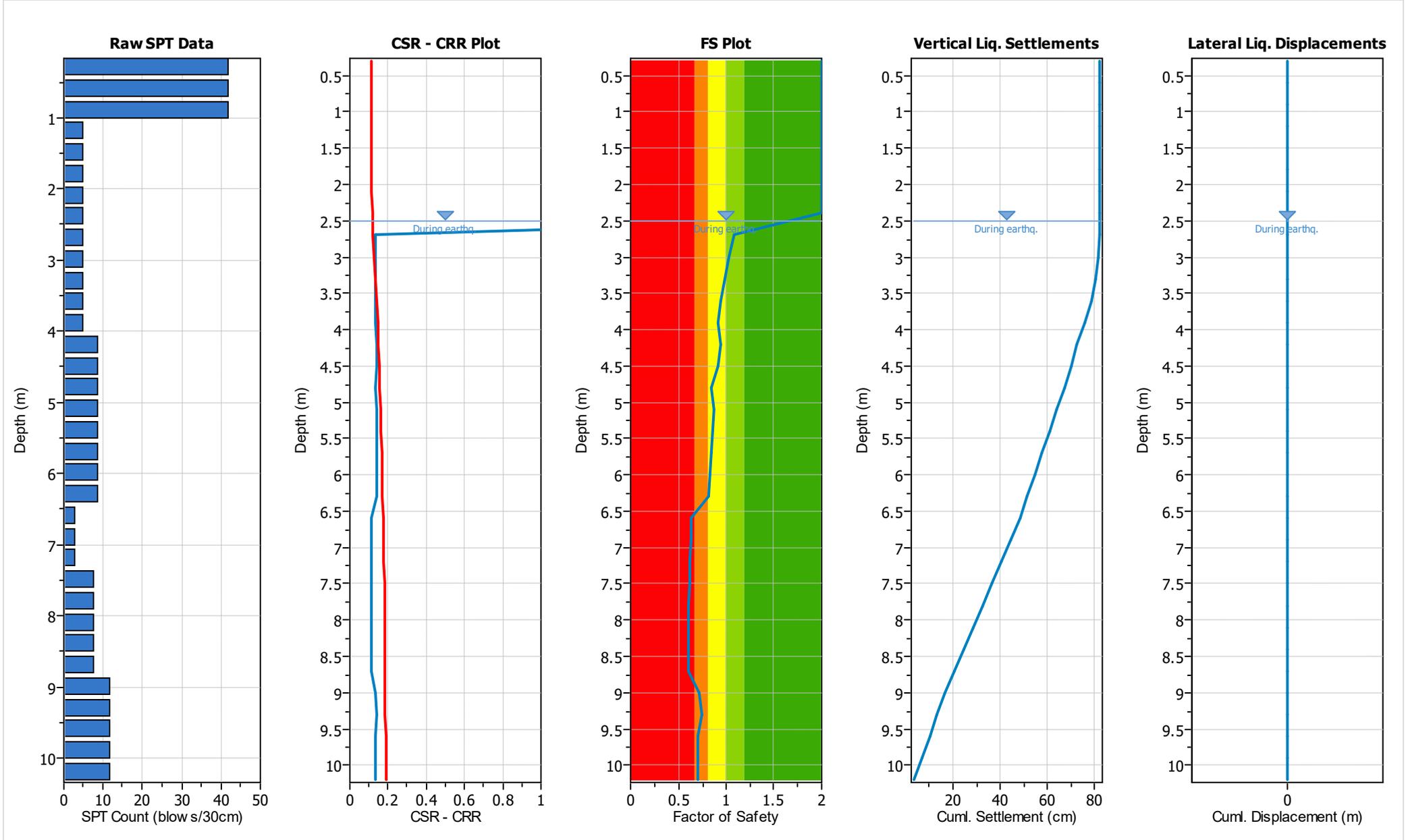
:: Input parameters and analysis properties ::

Analysis method:	Boulanger & Idriss, 2014	G.W.T. (in-situ):	2.50 m
Fines correction method:	Boulanger & Idriss, 2014	G.W.T. (earthq.):	2.50 m
Sampling method:	Standard Sampler	Earthquake magnitude M_w :	7.30 m
Borehole diameter:	65mm to 115mm	Peak ground acceleration:	0.20 g
Rod length:	1.00 m	Eq. external load:	0.00 kPa
Hammer energy ratio:	1.00		



- F.S. color scheme**
- Red: Almost certain it will liquefy
 - Orange: Very likely to liquefy
 - Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely
 - Light Green: Unlike to liquefy
 - Dark Green: Almost certain it will not liquefy
- LPI color scheme**
- Orange: Very high risk
 - Yellow: High risk
 - Light Green: Low risk

:: Overall Liquefaction Assessment Analysis Plots ::



:: Field input data ::					
Test Depth (m)	SPT Field Value (blows)	Fines Content (%)	Unit Weight (kN/m ³)	Infl. Thickness (m)	Can Liquefy
0.30	42	5.00	19.00	1.00	Yes
0.60	42	5.00	19.00	1.00	Yes
0.90	42	5.00	19.00	1.00	Yes
1.20	5	60.00	19.00	1.00	Yes
1.50	5	60.00	19.00	1.00	Yes
1.80	5	60.00	19.00	1.00	Yes
2.10	5	60.00	19.00	1.00	Yes
2.40	5	60.00	19.00	1.00	Yes
2.70	5	60.00	19.00	1.00	Yes
3.00	5	60.00	18.00	1.00	Yes
3.30	5	60.00	18.00	1.00	Yes
3.60	5	60.00	18.00	1.00	Yes
3.90	5	60.00	18.00	1.00	Yes
4.20	9	15.00	18.00	1.00	Yes
4.50	9	15.00	18.00	1.00	Yes
4.80	9	15.00	18.00	1.00	Yes
5.10	9	15.00	18.00	1.00	Yes
5.40	9	15.00	18.00	1.00	Yes
5.70	9	15.00	19.00	1.00	Yes
6.00	9	15.00	19.00	1.00	Yes
6.30	9	15.00	19.00	1.00	Yes
6.60	3	60.00	19.00	1.00	Yes
6.90	3	60.00	19.00	1.00	Yes
7.20	3	60.00	19.00	1.00	Yes
7.50	8	10.00	19.00	1.00	Yes
7.80	8	10.00	19.00	1.00	Yes
8.10	8	10.00	19.00	1.00	Yes
8.40	8	10.00	19.00	1.00	Yes
8.70	8	10.00	19.00	1.00	Yes
9.00	12	10.00	19.00	1.00	Yes
9.30	12	10.00	19.00	1.00	Yes
9.60	12	10.00	19.00	1.00	Yes
9.90	12	10.00	19.00	1.00	Yes
10.20	12	10.00	19.00	1.00	Yes

Abbreviations

- Depth: Depth at which test was performed (m)
- SPT Field Value: Number of blows per 30 cm
- Fines Content: Fines content at test depth (%)
- Unit Weight: Unit weight at test depth (kN/m³)
- Infl. Thickness: Thickness of the soil layer to be considered in settlements analysis (m)
- Can Liquefy: User defined switch for excluding/including test depth from the analysis procedure

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::																
Depth (m)	SPT Field Value	Unit Weight (kN/m ³)	σ_v (kPa)	u_o (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	FC (%)	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	$CRR_{7.5}$
0.30	42	19.00	5.70	0.00	5.70	0.22	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	54	5.00	0.00	54	4.000
0.60	42	19.00	11.40	0.00	11.40	0.23	1.65	1.00	1.00	0.75	1.00	52	5.00	0.00	52	4.000
0.90	42	19.00	17.10	0.00	17.10	0.25	1.55	1.00	1.00	0.75	1.00	49	5.00	0.00	49	4.000

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::																
Depth (m)	SPT Field Value	Unit Weight (kN/m ³)	σ_v (kPa)	u_o (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	FC (%)	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	CRR _{7.5}
1.20	5	19.00	22.80	0.00	22.80	0.48	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	6	60.00	5.60	12	4.000
1.50	5	19.00	28.50	0.00	28.50	0.48	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	6	60.00	5.60	12	4.000
1.80	5	19.00	34.20	0.00	34.20	0.48	1.68	1.00	1.00	0.75	1.00	6	60.00	5.60	12	4.000
2.10	5	19.00	39.90	0.00	39.90	0.49	1.57	1.00	1.00	0.80	1.00	6	60.00	5.60	12	4.000
2.40	5	19.00	45.60	0.00	45.60	0.49	1.48	1.00	1.00	0.80	1.00	6	60.00	5.60	12	4.000
2.70	5	19.00	51.30	1.96	49.34	0.50	1.43	1.00	1.00	0.80	1.00	6	60.00	5.60	12	0.132
3.00	5	18.00	56.70	4.91	51.80	0.50	1.40	1.00	1.00	0.80	1.00	6	60.00	5.60	12	0.132
3.30	5	18.00	62.10	7.85	54.25	0.50	1.37	1.00	1.00	0.85	1.00	6	60.00	5.60	12	0.132
3.60	5	18.00	67.50	10.79	56.71	0.51	1.34	1.00	1.00	0.85	1.00	6	60.00	5.60	12	0.132
3.90	5	18.00	72.90	13.73	59.17	0.51	1.31	1.00	1.00	0.85	1.00	6	60.00	5.60	12	0.132
4.20	9	18.00	78.30	16.68	61.62	0.50	1.28	1.00	1.00	0.85	1.00	10	15.00	3.26	13	0.140
4.50	9	18.00	83.70	19.62	64.08	0.50	1.26	1.00	1.00	0.85	1.00	10	15.00	3.26	13	0.140
4.80	9	18.00	89.10	22.56	66.54	0.50	1.23	1.00	1.00	0.85	1.00	9	15.00	3.26	12	0.132
5.10	9	18.00	94.50	25.51	68.99	0.49	1.21	1.00	1.00	0.95	1.00	10	15.00	3.26	13	0.140
5.40	9	18.00	99.90	28.45	71.45	0.50	1.19	1.00	1.00	0.95	1.00	10	15.00	3.26	13	0.140
5.70	9	19.00	105.60	31.39	74.21	0.50	1.17	1.00	1.00	0.95	1.00	10	15.00	3.26	13	0.140
6.00	9	19.00	111.30	34.34	76.97	0.50	1.15	1.00	1.00	0.95	1.00	10	15.00	3.26	13	0.140
6.30	9	19.00	117.00	37.28	79.72	0.50	1.13	1.00	1.00	0.95	1.00	10	15.00	3.26	13	0.140
6.60	3	19.00	122.70	40.22	82.48	0.55	1.12	1.00	1.00	0.95	1.00	3	60.00	5.60	9	0.111
6.90	3	19.00	128.40	43.16	85.24	0.55	1.10	1.00	1.00	0.95	1.00	3	60.00	5.60	9	0.111
7.20	3	19.00	134.10	46.11	87.99	0.55	1.08	1.00	1.00	0.95	1.00	3	60.00	5.60	9	0.111
7.50	8	19.00	139.80	49.05	90.75	0.55	1.06	1.00	1.00	0.95	1.00	8	10.00	1.15	9	0.111
7.80	8	19.00	145.50	51.99	93.51	0.57	1.04	1.00	1.00	0.95	1.00	8	10.00	1.15	9	0.111
8.10	8	19.00	151.20	54.94	96.26	0.57	1.03	1.00	1.00	0.95	1.00	8	10.00	1.15	9	0.111
8.40	8	19.00	156.90	57.88	99.02	0.57	1.01	1.00	1.00	0.95	1.00	8	10.00	1.15	9	0.111
8.70	8	19.00	162.60	60.82	101.78	0.57	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	8	10.00	1.15	9	0.111
9.00	12	19.00	168.30	63.77	104.53	0.53	0.98	1.00	1.00	0.95	1.00	11	10.00	1.15	12	0.132
9.30	12	19.00	174.00	66.71	107.29	0.52	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	12	10.00	1.15	13	0.140
9.60	12	19.00	179.70	69.65	110.05	0.51	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	11	10.00	1.15	12	0.132
9.90	12	19.00	185.40	72.59	112.81	0.51	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	11	10.00	1.15	12	0.132
10.20	12	19.00	191.10	75.54	115.56	0.52	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	11	10.00	1.15	12	0.132

Abbreviations

- σ_v : Total stress during SPT test (kPa)
- u_o : Water pore pressure during SPT test (kPa)
- σ'_{vo} : Effective overburden pressure during SPT test (kPa)
- m: Stress exponent normalization factor
- C_N : Overburden correction factor
- C_E : Energy correction factor
- C_B : Borehole diameter correction factor
- C_R : Rod length correction factor
- C_S : Liner correction factor
- $N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT} to a 60% energy ratio
- $\Delta(N_1)_{60}$: Equivalent clean sand adjustment
- $N_{1(60)cs}$: Corrected $N_{1(60)}$ value for fines content
- CRR_{7.5}: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::															
Depth (m)	Unit Weight (kN/m ³)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{o,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{vo,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF _{max}	$(N_1)_{60cs}$	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K_{sigma}	CSR*	FS	
0.30	19.00	5.70	0.00	5.70	1.00	1.00	0.131	2.20	54	1.08	0.121	1.10	0.110	2.000 ●	

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::															
Depth (m)	Unit Weight (kN/m ³)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{o,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{vo,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF _{max}	(N ₁) _{60cs}	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*	FS	
0.60	19.00	11.40	0.00	11.40	1.00	1.00	0.130	2.20	52	1.08	0.120	1.10	0.109	2.000	●
0.90	19.00	17.10	0.00	17.10	1.00	1.00	0.130	2.20	49	1.08	0.120	1.10	0.109	2.000	●
1.20	19.00	22.80	0.00	22.80	1.00	1.00	0.130	1.24	12	1.02	0.128	1.10	0.116	2.000	●
1.50	19.00	28.50	0.00	28.50	0.99	1.00	0.129	1.24	12	1.02	0.127	1.10	0.116	2.000	●
1.80	19.00	34.20	0.00	34.20	0.99	1.00	0.129	1.24	12	1.02	0.127	1.10	0.115	2.000	●
2.10	19.00	39.90	0.00	39.90	0.99	1.00	0.128	1.24	12	1.02	0.126	1.09	0.116	2.000	●
2.40	19.00	45.60	0.00	45.60	0.99	1.00	0.128	1.24	12	1.02	0.126	1.08	0.117	2.000	●
2.70	19.00	51.30	1.96	49.34	0.98	1.00	0.133	1.24	12	1.02	0.131	1.07	0.122	1.086	●
3.00	18.00	56.70	4.91	51.80	0.98	1.00	0.139	1.24	12	1.02	0.137	1.07	0.129	1.030	●
3.30	18.00	62.10	7.85	54.25	0.98	1.00	0.145	1.24	12	1.02	0.143	1.06	0.135	0.985	●
3.60	18.00	67.50	10.79	56.71	0.97	1.00	0.150	1.24	12	1.02	0.148	1.06	0.140	0.946	●
3.90	18.00	72.90	13.73	59.17	0.97	1.00	0.155	1.24	12	1.02	0.153	1.05	0.145	0.914	●
4.20	18.00	78.30	16.68	61.62	0.97	1.00	0.159	1.26	13	1.02	0.157	1.05	0.149	0.940	●
4.50	18.00	83.70	19.62	64.08	0.96	1.00	0.163	1.26	13	1.02	0.160	1.05	0.153	0.914	●
4.80	18.00	89.10	22.56	66.54	0.96	1.00	0.167	1.24	12	1.02	0.164	1.04	0.158	0.841	●
5.10	18.00	94.50	25.51	68.99	0.95	1.00	0.170	1.26	13	1.02	0.167	1.04	0.161	0.872	●
5.40	18.00	99.90	28.45	71.45	0.95	1.00	0.173	1.26	13	1.02	0.170	1.04	0.164	0.855	●
5.70	19.00	105.60	31.39	74.21	0.95	1.00	0.175	1.26	13	1.02	0.172	1.03	0.167	0.841	●
6.00	19.00	111.30	34.34	76.97	0.94	1.00	0.177	1.26	13	1.02	0.174	1.03	0.169	0.828	●
6.30	19.00	117.00	37.28	79.72	0.94	1.00	0.179	1.26	13	1.02	0.176	1.02	0.172	0.816	●
6.60	19.00	122.70	40.22	82.48	0.93	1.00	0.181	1.17	9	1.01	0.178	1.02	0.175	0.635	●
6.90	19.00	128.40	43.16	85.24	0.93	1.00	0.182	1.17	9	1.01	0.180	1.02	0.177	0.628	●
7.20	19.00	134.10	46.11	87.99	0.93	1.00	0.183	1.17	9	1.01	0.181	1.01	0.179	0.622	●
7.50	19.00	139.80	49.05	90.75	0.92	1.00	0.184	1.17	9	1.01	0.182	1.01	0.180	0.616	●
7.80	19.00	145.50	51.99	93.51	0.92	1.00	0.185	1.17	9	1.01	0.183	1.01	0.182	0.611	●
8.10	19.00	151.20	54.94	96.26	0.91	1.00	0.186	1.17	9	1.01	0.184	1.00	0.183	0.607	●
8.40	19.00	156.90	57.88	99.02	0.91	1.00	0.187	1.17	9	1.01	0.185	1.00	0.184	0.603	●
8.70	19.00	162.60	60.82	101.78	0.90	1.00	0.187	1.17	9	1.01	0.185	1.00	0.185	0.600	●
9.00	19.00	168.30	63.77	104.53	0.90	1.00	0.188	1.24	12	1.02	0.185	1.00	0.186	0.714	●
9.30	19.00	174.00	66.71	107.29	0.89	1.00	0.188	1.26	13	1.02	0.185	0.99	0.186	0.752	●
9.60	19.00	179.70	69.65	110.05	0.89	1.00	0.189	1.24	12	1.02	0.186	0.99	0.187	0.707	●
9.90	19.00	185.40	72.59	112.81	0.88	1.00	0.189	1.24	12	1.02	0.186	0.99	0.188	0.705	●
10.20	19.00	191.10	75.54	115.56	0.88	1.00	0.189	1.24	12	1.02	0.186	0.99	0.189	0.703	●

Abbreviations

- $\sigma_{v,eq}$: Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
- $u_{o,eq}$: Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
- $\sigma'_{vo,eq}$: Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
- r_d : Nonlinear shear mass factor
- α : Improvement factor due to stone columns
- CSR : Cyclic Stress Ratio
- MSF : Magnitude Scaling Factor
- CSR_{eq,M=7.5}: CSR adjusted for M=7.5
- K_{sigma}: Effective overburden stress factor
- CSR*: CSR fully adjusted
- FS: Calculated factor of safety against soil liquefaction

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::					
Depth (m)	FS	F	wz	Thickness (m)	I _L
0.30	2.000	0.00	9.85	0.30	0.00

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::					
Depth (m)	FS	F	wz	Thickness (m)	I _L
0.60	2.000	0.00	9.70	0.30	0.00
0.90	2.000	0.00	9.55	0.30	0.00
1.20	2.000	0.00	9.40	0.30	0.00
1.50	2.000	0.00	9.25	0.30	0.00
1.80	2.000	0.00	9.10	0.30	0.00
2.10	2.000	0.00	8.95	0.30	0.00
2.40	2.000	0.00	8.80	0.30	0.00
2.70	1.086	0.00	8.65	0.30	0.00
3.00	1.030	0.00	8.50	0.30	0.00
3.30	0.985	0.02	8.35	0.30	0.04
3.60	0.946	0.05	8.20	0.30	0.13
3.90	0.914	0.09	8.05	0.30	0.21
4.20	0.940	0.06	7.90	0.30	0.14
4.50	0.914	0.09	7.75	0.30	0.20
4.80	0.841	0.16	7.60	0.30	0.36
5.10	0.872	0.13	7.45	0.30	0.29
5.40	0.855	0.14	7.30	0.30	0.32
5.70	0.841	0.16	7.15	0.30	0.34
6.00	0.828	0.17	7.00	0.30	0.36
6.30	0.816	0.18	6.85	0.30	0.38
6.60	0.635	0.37	6.70	0.30	0.73
6.90	0.628	0.37	6.55	0.30	0.73
7.20	0.622	0.38	6.40	0.30	0.73
7.50	0.616	0.38	6.25	0.30	0.72
7.80	0.611	0.39	6.10	0.30	0.71
8.10	0.607	0.39	5.95	0.30	0.70
8.40	0.603	0.40	5.80	0.30	0.69
8.70	0.600	0.40	5.65	0.30	0.68
9.00	0.714	0.29	5.50	0.30	0.47
9.30	0.752	0.25	5.35	0.30	0.40
9.60	0.707	0.29	5.20	0.30	0.46
9.90	0.705	0.30	5.05	0.30	0.45
10.20	0.703	0.30	4.90	0.30	0.44

Overall potential I_L : 10.67

I_L = 0.00 - No liquefaction

I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable

I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable

I_L > 15 - Liquefaction certain



SPT BASED LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

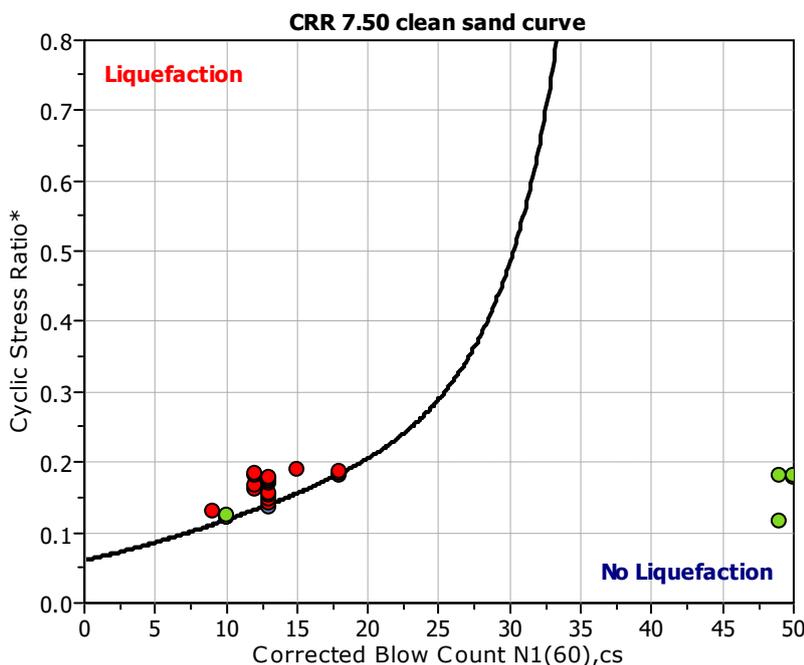
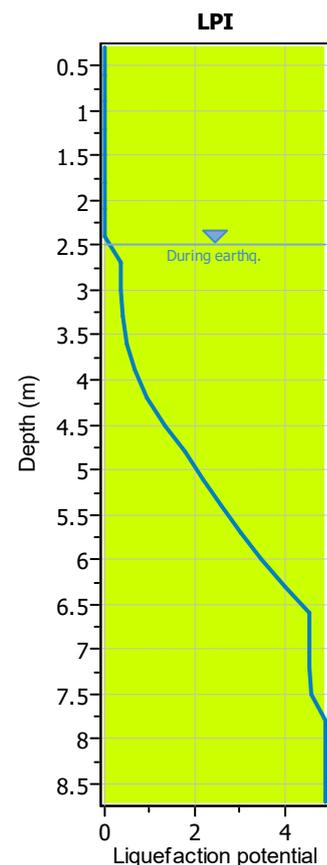
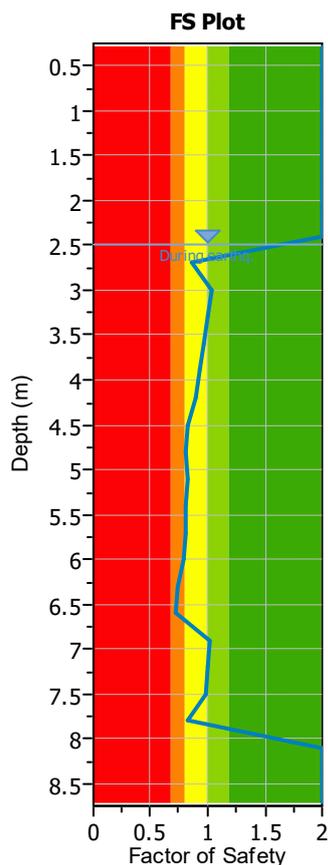
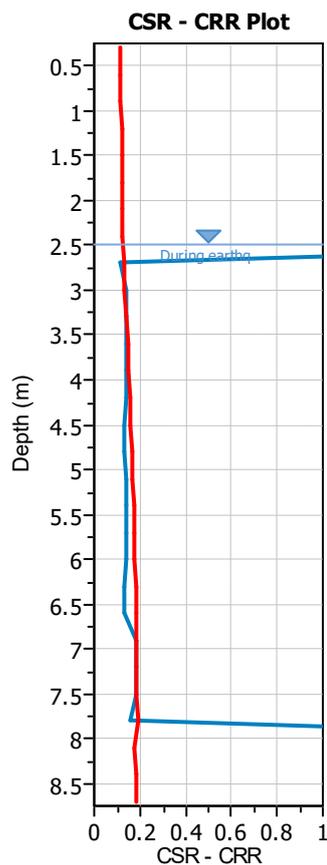
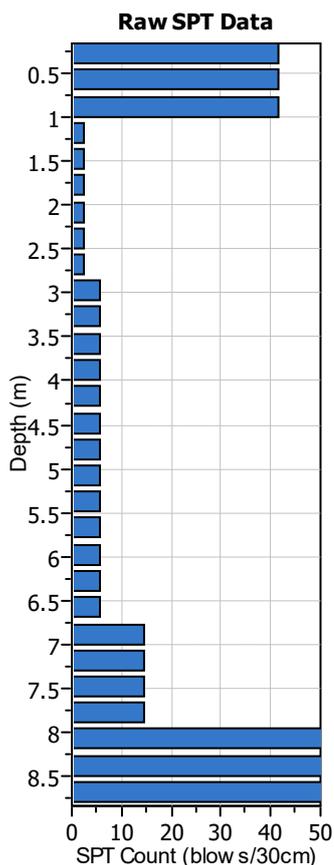
Project title : Verifica della suscettibilità alla liquefazione

SPT Name: DPSH3

Location : Vicenza - via riviera Berica

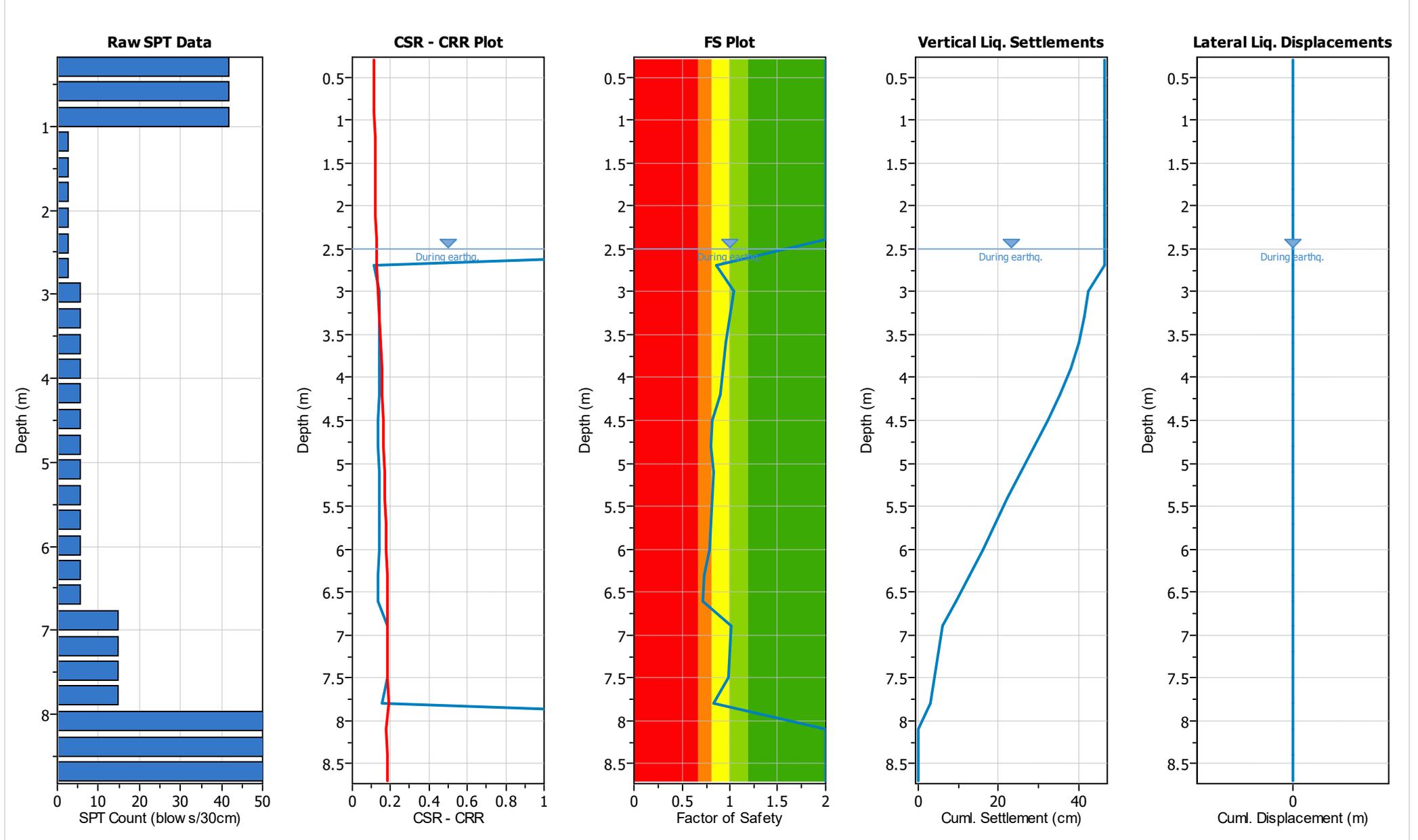
:: Input parameters and analysis properties ::

Analysis method:	Boulanger & Idriss, 2014	G.W.T. (in-situ):	2.50 m
Fines correction method:	Boulanger & Idriss, 2014	G.W.T. (earthq.):	2.50 m
Sampling method:	Standard Sampler	Earthquake magnitude M_w :	7.30 m
Borehole diameter:	65mm to 115mm	Peak ground acceleration:	0.21 g
Rod length:	1.00 m	Eq. external load:	0.00 kPa
Hammer energy ratio:	1.00		



- F.S. color scheme**
- Red: Almost certain it will liquefy
 - Orange: Very likely to liquefy
 - Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely
 - Green: Unlike to liquefy
 - Dark Green: Almost certain it will not liquefy
- LPI color scheme**
- Red: Very high risk
 - Orange: High risk
 - Yellow: Low risk

:: Overall Liquefaction Assessment Analysis Plots ::



This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Field input data ::					
Test Depth (m)	SPT Field Value (blows)	Fines Content (%)	Unit Weight (kN/m ³)	Infl. Thickness (m)	Can Liquefy
0.30	42	5.00	19.00	1.00	Yes
0.60	42	5.00	19.00	1.00	Yes
0.90	42	5.00	19.00	1.00	Yes
1.20	3	60.00	19.00	1.00	Yes
1.50	3	60.00	19.00	1.00	Yes
1.80	3	60.00	19.00	1.00	Yes
2.10	3	60.00	19.00	1.00	Yes
2.40	3	60.00	19.00	1.00	Yes
2.70	3	60.00	19.00	1.00	Yes
3.00	6	40.00	18.00	1.00	Yes
3.30	6	40.00	18.00	1.00	Yes
3.60	6	40.00	18.00	1.00	Yes
3.90	6	40.00	18.00	1.00	Yes
4.20	6	40.00	18.00	1.00	Yes
4.50	6	40.00	18.00	1.00	Yes
4.80	6	40.00	18.00	1.00	Yes
5.10	6	40.00	18.00	1.00	Yes
5.40	6	40.00	18.00	1.00	Yes
5.70	6	40.00	19.00	1.00	Yes
6.00	6	40.00	19.00	1.00	Yes
6.30	6	40.00	19.00	1.00	Yes
6.60	6	40.00	19.00	1.00	Yes
6.90	15	15.00	19.00	1.00	Yes
7.20	15	15.00	19.00	1.00	Yes
7.50	15	15.00	19.00	1.00	Yes
7.80	15	5.00	19.00	1.00	Yes
8.10	52	5.00	19.00	1.00	Yes
8.40	52	5.00	19.00	1.00	Yes
8.70	52	5.00	19.00	1.00	Yes

Abbreviations

- Depth: Depth at which test was performed (m)
- SPT Field Value: Number of blows per 30 cm
- Fines Content: Fines content at test depth (%)
- Unit Weight: Unit weight at test depth (kN/m³)
- Infl. Thickness: Thickness of the soil layer to be considered in settlements analysis (m)
- Can Liquefy: User defined switch for excluding/including test depth from the analysis procedure

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::																
Depth (m)	SPT Field Value	Unit Weight (kN/m ³)	σ_v (kPa)	u_o (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	FC (%)	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	$CRR_{7.5}$
0.30	42	19.00	5.70	0.00	5.70	0.22	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	54	5.00	0.00	54	4.000
0.60	42	19.00	11.40	0.00	11.40	0.23	1.65	1.00	1.00	0.75	1.00	52	5.00	0.00	52	4.000
0.90	42	19.00	17.10	0.00	17.10	0.25	1.55	1.00	1.00	0.75	1.00	49	5.00	0.00	49	4.000
1.20	3	19.00	22.80	0.00	22.80	0.50	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	4	60.00	5.60	10	4.000
1.50	3	19.00	28.50	0.00	28.50	0.50	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	4	60.00	5.60	10	4.000
1.80	3	19.00	34.20	0.00	34.20	0.50	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	4	60.00	5.60	10	4.000
2.10	3	19.00	39.90	0.00	39.90	0.51	1.60	1.00	1.00	0.80	1.00	4	60.00	5.60	10	4.000
2.40	3	19.00	45.60	0.00	45.60	0.52	1.51	1.00	1.00	0.80	1.00	4	60.00	5.60	10	4.000

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::																
Depth (m)	SPT Field Value	Unit Weight (kN/m ³)	σ_v (kPa)	u_o (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	FC (%)	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	CRR _{7.5}
2.70	3	19.00	51.30	1.96	49.34	0.52	1.45	1.00	1.00	0.80	1.00	3	60.00	5.60	9	0.111
3.00	6	18.00	56.70	4.91	51.80	0.49	1.39	1.00	1.00	0.80	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
3.30	6	18.00	62.10	7.85	54.25	0.49	1.36	1.00	1.00	0.85	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
3.60	6	18.00	67.50	10.79	56.71	0.49	1.33	1.00	1.00	0.85	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
3.90	6	18.00	72.90	13.73	59.17	0.50	1.30	1.00	1.00	0.85	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
4.20	6	18.00	78.30	16.68	61.62	0.50	1.28	1.00	1.00	0.85	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
4.50	6	18.00	83.70	19.62	64.08	0.50	1.26	1.00	1.00	0.85	1.00	6	40.00	5.58	12	0.132
4.80	6	18.00	89.10	22.56	66.54	0.51	1.23	1.00	1.00	0.85	1.00	6	40.00	5.58	12	0.132
5.10	6	18.00	94.50	25.51	68.99	0.50	1.21	1.00	1.00	0.95	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
5.40	6	18.00	99.90	28.45	71.45	0.50	1.19	1.00	1.00	0.95	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
5.70	6	19.00	105.60	31.39	74.21	0.51	1.17	1.00	1.00	0.95	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
6.00	6	19.00	111.30	34.34	76.97	0.51	1.15	1.00	1.00	0.95	1.00	7	40.00	5.58	13	0.140
6.30	6	19.00	117.00	37.28	79.72	0.51	1.13	1.00	1.00	0.95	1.00	6	40.00	5.58	12	0.132
6.60	6	19.00	122.70	40.22	82.48	0.51	1.11	1.00	1.00	0.95	1.00	6	40.00	5.58	12	0.132
6.90	15	19.00	128.40	43.16	85.24	0.45	1.08	1.00	1.00	0.95	1.00	15	15.00	3.26	18	0.184
7.20	15	19.00	134.10	46.11	87.99	0.45	1.06	1.00	1.00	0.95	1.00	15	15.00	3.26	18	0.184
7.50	15	19.00	139.80	49.05	90.75	0.45	1.05	1.00	1.00	0.95	1.00	15	15.00	3.26	18	0.184
7.80	15	19.00	145.50	51.99	93.51	0.49	1.04	1.00	1.00	0.95	1.00	15	5.00	0.00	15	0.156
8.10	52	19.00	151.20	54.94	96.26	0.24	1.01	1.00	1.00	0.95	1.00	50	5.00	0.00	50	4.000
8.40	52	19.00	156.90	57.88	99.02	0.24	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	50	5.00	0.00	50	4.000
8.70	52	19.00	162.60	60.82	101.78	0.24	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	49	5.00	0.00	49	4.000

Abbreviations

- σ_v : Total stress during SPT test (kPa)
- u_o : Water pore pressure during SPT test (kPa)
- σ'_{vo} : Effective overburden pressure during SPT test (kPa)
- m: Stress exponent normalization factor
- C_N : Overburden correction factor
- C_E : Energy correction factor
- C_B : Borehole diameter correction factor
- C_R : Rod length correction factor
- C_S : Liner correction factor
- $N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT} to a 60% energy ratio
- $\Delta(N_1)_{60}$: Equivalent clean sand adjustment
- $N_{1(60)cs}$: Corrected $N_{1(60)}$ value for fines content
- CRR_{7.5}: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::															
Depth (m)	Unit Weight (kN/m ³)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{o,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{vo,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF _{max}	$(N_1)_{60cs}$	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K_{sigma}	CSR*	FS	
0.30	19.00	5.70	0.00	5.70	1.00	1.00	0.137	2.20	54	1.08	0.127	1.10	0.115	2.000 ●	
0.60	19.00	11.40	0.00	11.40	1.00	1.00	0.137	2.20	52	1.08	0.126	1.10	0.115	2.000 ●	
0.90	19.00	17.10	0.00	17.10	1.00	1.00	0.136	2.20	49	1.08	0.126	1.10	0.115	2.000 ●	
1.20	19.00	22.80	0.00	22.80	1.00	1.00	0.136	1.19	10	1.01	0.134	1.10	0.122	2.000 ●	
1.50	19.00	28.50	0.00	28.50	0.99	1.00	0.136	1.19	10	1.01	0.134	1.10	0.122	2.000 ●	
1.80	19.00	34.20	0.00	34.20	0.99	1.00	0.135	1.19	10	1.01	0.134	1.10	0.121	2.000 ●	
2.10	19.00	39.90	0.00	39.90	0.99	1.00	0.135	1.19	10	1.01	0.133	1.09	0.123	2.000 ●	
2.40	19.00	45.60	0.00	45.60	0.99	1.00	0.134	1.19	10	1.01	0.133	1.07	0.124	2.000 ●	
2.70	19.00	51.30	1.96	49.34	0.98	1.00	0.139	1.17	9	1.01	0.138	1.06	0.129	0.859 ●	
3.00	18.00	56.70	4.91	51.80	0.98	1.00	0.146	1.26	13	1.02	0.144	1.07	0.134	1.042 ●	
3.30	18.00	62.10	7.85	54.25	0.98	1.00	0.152	1.26	13	1.02	0.150	1.06	0.141	0.995 ●	

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::															
Depth (m)	Unit Weight (kN/m ³)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{o,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{vo,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF _{max}	(N ₁) _{60cs}	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*	FS	
3.60	18.00	67.50	10.79	56.71	0.97	1.00	0.158	1.26	13	1.02	0.155	1.06	0.146	0.956	●
3.90	18.00	72.90	13.73	59.17	0.97	1.00	0.163	1.26	13	1.02	0.160	1.06	0.152	0.923	●
4.20	18.00	78.30	16.68	61.62	0.97	1.00	0.167	1.26	13	1.02	0.164	1.05	0.156	0.895	●
4.50	18.00	83.70	19.62	64.08	0.96	1.00	0.171	1.24	12	1.02	0.169	1.05	0.161	0.821	●
4.80	18.00	89.10	22.56	66.54	0.96	1.00	0.175	1.24	12	1.02	0.172	1.04	0.165	0.801	●
5.10	18.00	94.50	25.51	68.99	0.95	1.00	0.178	1.26	13	1.02	0.175	1.04	0.169	0.831	●
5.40	18.00	99.90	28.45	71.45	0.95	1.00	0.181	1.26	13	1.02	0.178	1.04	0.172	0.814	●
5.70	19.00	105.60	31.39	74.21	0.95	1.00	0.184	1.26	13	1.02	0.181	1.03	0.175	0.800	●
6.00	19.00	111.30	34.34	76.97	0.94	1.00	0.186	1.26	13	1.02	0.183	1.03	0.178	0.788	●
6.30	19.00	117.00	37.28	79.72	0.94	1.00	0.188	1.24	12	1.02	0.185	1.02	0.181	0.733	●
6.60	19.00	122.70	40.22	82.48	0.93	1.00	0.190	1.24	12	1.02	0.187	1.02	0.183	0.724	●
6.90	19.00	128.40	43.16	85.24	0.93	1.00	0.191	1.42	18	1.03	0.186	1.02	0.182	1.010	●
7.20	19.00	134.10	46.11	87.99	0.93	1.00	0.192	1.42	18	1.03	0.187	1.02	0.184	0.999	●
7.50	19.00	139.80	49.05	90.75	0.92	1.00	0.194	1.42	18	1.03	0.188	1.01	0.186	0.989	●
7.80	19.00	145.50	51.99	93.51	0.92	1.00	0.195	1.32	15	1.02	0.191	1.01	0.189	0.827	●
8.10	19.00	151.20	54.94	96.26	0.91	1.00	0.195	2.20	50	1.08	0.181	1.02	0.178	2.000	●
8.40	19.00	156.90	57.88	99.02	0.91	1.00	0.196	2.20	50	1.08	0.181	1.01	0.180	2.000	●
8.70	19.00	162.60	60.82	101.78	0.90	1.00	0.197	2.20	49	1.08	0.182	1.00	0.182	2.000	●

Abbreviations

- $\sigma_{v,eq}$: Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
- $u_{o,eq}$: Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
- $\sigma'_{vo,eq}$: Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
- r_d : Nonlinear shear mass factor
- α : Improvement factor due to stone columns
- CSR : Cyclic Stress Ratio
- MSF : Magnitude Scaling Factor
- CSR_{eq,M=7.5}: CSR adjusted for M=7.5
- K_{sigma}: Effective overburden stress factor
- CSR*: CSR fully adjusted
- FS: Calculated factor of safety against soil liquefaction

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::					
Depth (m)	FS	F	wz	Thickness (m)	I _L
0.30	2.000	0.00	9.85	0.30	0.00
0.60	2.000	0.00	9.70	0.30	0.00
0.90	2.000	0.00	9.55	0.30	0.00
1.20	2.000	0.00	9.40	0.30	0.00
1.50	2.000	0.00	9.25	0.30	0.00
1.80	2.000	0.00	9.10	0.30	0.00
2.10	2.000	0.00	8.95	0.30	0.00
2.40	2.000	0.00	8.80	0.30	0.00
2.70	0.859	0.14	8.65	0.30	0.37
3.00	1.042	0.00	8.50	0.30	0.00
3.30	0.995	0.00	8.35	0.30	0.01
3.60	0.956	0.04	8.20	0.30	0.11
3.90	0.923	0.08	8.05	0.30	0.19
4.20	0.895	0.10	7.90	0.30	0.25
4.50	0.821	0.18	7.75	0.30	0.42
4.80	0.801	0.20	7.60	0.30	0.45

This software is registered to: Matteo COLLAREDA

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::					
Depth (m)	FS	F	wz	Thickness (m)	I_L
5.10	0.831	0.17	7.45	0.30	0.38
5.40	0.814	0.19	7.30	0.30	0.41
5.70	0.800	0.20	7.15	0.30	0.43
6.00	0.788	0.21	7.00	0.30	0.44
6.30	0.733	0.27	6.85	0.30	0.55
6.60	0.724	0.28	6.70	0.30	0.55
6.90	1.010	0.00	6.55	0.30	0.00
7.20	0.999	0.00	6.40	0.30	0.00
7.50	0.989	0.01	6.25	0.30	0.02
7.80	0.827	0.17	6.10	0.30	0.32
8.10	2.000	0.00	5.95	0.30	0.00
8.40	2.000	0.00	5.80	0.30	0.00
8.70	2.000	0.00	5.65	0.30	0.00

Overall potential I_L : 4.89

I_L = 0.00 - No liquefaction

I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable

I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable

I_L > 15 - Liquefaction certain