



## **StudioTondi**

Via P.G. Martini n° 38/F  
40134 Bologna  
Tel - Fax: +39 051 6144617  
Mob: +39 339 2587461  
www.studio-tondi.it - [luca@studio-tondi.it](mailto:luca@studio-tondi.it)

# **COMUNE DI SAN PIETRO IN CASALE**

**PROVINCIA DI BOLOGNA**

**RICHIESTA DI INSERIMENTO NEL PIANO OPERATIVO  
COMUNALE (POC) DI AREE RICADENTI NELL'AREALE  
DENOMINATO SUB AMBITO 5.2 IN VIA RUBIZZANO**

# **STUDIO GEOLOGICO-SISMICO**

**DOTT. GEOLOGO LUCA TONDI**



**BOLOGNA – Agosto 2019**



## INDICE

<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO MORFOLOGICO.....</b>	<b>1</b>
<b>INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA .....</b>	<b>1</b>
PROVE PENETROMETRICHE C.P.T. ....	1
<b>CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE .....</b>	<b>3</b>
<b>INDAGINI SISMICHE .....</b>	<b>3</b>
ESECUZIONE DI MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE.....	3
GENERALITÀ SULLA TECNICA DI NAKAMURA.....	4
STRATIGRAFIA SISMICA .....	5
ANALISI DEI RISULTATI.....	6
<b>CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DELL'AREA.....</b>	<b>7</b>
CLASSIFICAZIONE SISMICA SECONDO L'O.P.C.M. N° 3274 DEL 20 MARZO 2003 .....	7
STORIA SISMICA DELL'AREA .....	7
ZONE E SORGENTI SIMOGENETICHE .....	8
<b>SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI E RELATIVE VERIFICHE.....</b>	<b>8</b>
VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	9
<b>VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE .....</b>	<b>10</b>
CONSULTAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DA PSC .....	10
VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (D.G.R. 2193/2015).....	12
<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>13</b>

Tavole a fine testo

## **PREMESSA**

A seguito di incarico professionale ricevuto è stata effettuata un'indagine geologica su terreno sito nel Comune di San Pietro in Casale (Bo) sito in via Rubizzano nel Sub Ambito 5.2

Scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire il modello geologico e sismico del comparto per di stabilire la compatibilità alle nuove destinazioni urbanistiche (realizzazione di edifici ad uso abitativo) in relazione alla richiesta di inserimento nel P.U.A..

Lo studio è stato svolto come previsto secondo il D.a.L. 112/2007 e aggiornamenti seguenti (D.G.R. 2193/2015), per la valutazione della pericolosità sismica del sito

## **INQUADRAMENTO GEOLOGICO MORFOLOGICO**

L'area oggetto di studio, ricade nella zona della bassa pianura bolognese ad una quota di circa 15 m s.l.m., ed è caratterizzato da una morfologia sub-pianeggiante con bassi gradienti topografici.

La zona, dal punto di vista geo-strutturale, si colloca in corrispondenza di una geosinclinale subsidente, colmata da materiali alluvionali abbandonati dai corsi d'acqua sfocianti dalle valli appenniniche. I sedimenti continentali accumulati nel corso del Quaternario, raggiungono spessori dell'ordine 150 ÷ 200 m. (Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna)

I terreni che caratterizzano il primo sottosuolo sono rappresentati da sedimenti di origine fluvio-palustre depositati in massima parte dal Fiume Reno e dal Canale Navile, ovverosia depositi alluvionali aventi la tipica struttura a lenti incrociate, formati da strati di materiali a granulometria fine e/o finissima (limi e argille) di spessore decimetrico, intercalati a strati di materiali più grossolani (limi sabbiosi e sabbie).

Da quel che si evince dalla lettura della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Cartografia Geologica On-Line - scala 1:10.000) l'area si colloca in corrispondenza dei depositi recenti AES8- Subsintema di Ravenna, costituito nel caso specifico da depositi di piana alluvionale costituiti da limi sabbiosi (vedi tav. 3).

## **INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA**

### ***Prove penetrometriche C.P.T.***

Per la determinazione delle caratteristiche litostratigrafiche dell'area si è eseguita una prova statica C.P.T. ed inoltre si è fatto riferimento ad una C.P.T. eseguita dallo scrivente nel luglio 2017 nell'area oggetto di studio.

Le indagini sono state ubicate in modo da essere rappresentative per la zona indagata compatibilmente con l'accessibilità del sito ai mezzi (per l'ubicazione vedi tav. n° 4).

Le prove sono state eseguite con apparecchiatura statica di tipo " Gouda " (SP120C "Deep-Drill") dotata di punta standard tipo Begemann (punta conica con angolo di apertura di 60° ed una sezione di 10 cm<sup>2</sup>) e del manicotto di frizione " Friction Jacket " per la misura della resistenza di attrito laterale locale. I valori ottenuti sono riportati nei diagrammi a fine testo dove figurano:

1. La curva di resistenza alla punta **qc** che si riferisce ai valori della resistenza offerta dal terreno all' avanzamento della punta conica.
2. La curva **fs** che si riferisce alla resistenza di attrito locale misurata mediante il manicotto di frizione.

Dai valori ottenuti si può risalire alla litologia dei terreni attraversati secondo la teoria di Schmertmann in base ai rapporti tra **qc** e **fs** (vedi tabelle allegate a fine testo).

Dall'elaborazione dei dati reperiti si è estrapolata la seguente stratigrafia:

<b>ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO CPT1 2019</b>				
<b>Unità litostrat.</b>	<b>Litologia</b>	<b>Id. Prova</b>	<b>Profondità (m dal p.c.)</b>	<b>Qc (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>T/R</b>	Terreno rimaneggiato e di riporto	CPT1	0.0 ÷ 0.8	16 ÷ 20
<b>A</b>	Argille e limi prevalenti, con rare intercalazione di livelli di sabbie limose e limi sabbiosi di scarso spessore	CPT1	0.8 ÷ 7.0	6 ÷ 16
<b>B</b>	Alternanze di limi argillosi e limi, con intercalazioni di livelli di sabbie limose e limi sabbiosi.	CPT1	7.0 ÷ 16.2	16 ÷ 36
<b>C1</b>	Alternanze di livelli di limi sabbiosi e sabbie limose, con rari livelli di limi.	CPT1	16.2 ÷ 20	32 ÷ 54

**Tabella 1: Interpretazione prova penetrometrica statica CPT1 del 2019.**

<b>ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO CPT3 2017</b>				
<b>Unità litostrat.</b>	<b>Litologia</b>	<b>Id. Prova</b>	<b>Profondità (m dal p.c.)</b>	<b>Qc (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>T/R</b>	Terreno rimaneggiato e di riporto	CPT3	0.0 ÷ 1.0	10 ÷ 20
<b>A</b>	Argille e limi prevalenti, con rare intercalazione di livelli di sabbie limose e limi sabbiosi di scarso spessore	CPT3	0.1 ÷ 3.6	8 ÷ 24
<b>B</b>	Alternanze di limi argillosi e limi, con intercalazioni di livelli di sabbie limose e limi sabbiosi.	CPT3	3.6 ÷ 14.6	8 ÷ 24
<b>C2</b>	Limi ed argille con rare intercalazioni di limi sabbiosi.	CPT3	14.6 ÷ 20	12 ÷ 44

**Tabella 2: Interpretazione prova penetrometrica statica CPT3 del 2017.**

Il quadro stratigrafico che emerge dall'elaborazione delle prove penetrometriche mostra un grado di buona correlazione tra la CPT 1 del 2019 e la CPT3 del 2017, con poca variabilità

circoscritta agli spessori, mentre sono più omogenei i valori di resistenza misurati.

La parte più superficiale vede la presenza di un orizzonte di terreno vegetale/rimaneggiato in entrambe le prove. L'unità A è caratterizzata da una predominanza di materiali coesivi, con all'interno livelli sabbiosi limosi e limo sabbiosi con scarso spessore.

Passando alla successiva unità B i terreni presentano ancora un carattere coesivo, caratterizzato da limi argillosi e limi, con intercalati livelli di sabbie limose e limi sabbiosi.

In fine passando all'ultima unità, si riscontra una certa differenza tra le due prove, in entrambe è presente un'alternanza tra materiali coesivi e granulari, ma nella CPT1 prevale una litologia granulare caratterizzata da limi sabbiosi e sabbie limose con rari livelli di limi (C1), mentre nella CPT3 prevalgono le litologie coesive di limi ed argille con rare intercalazioni di limi sabbiosi (C2).

## **CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE**

Nei fori di sondaggio sono state eseguite misure mediante freatimetro, ottenendo i seguenti risultati:

Nel foro di prova è stata effettuata un'apposita misura del livello piezometrico mediante freatimetro, ottenendo i seguenti risultati:

<b>MISURA DEL LIVELLO DI FALDA</b>		
<b>Posizione</b>	<b>Data</b>	<b>Livello da p.c. (m)</b>
<b>CPT1</b>	07/08/2019	-1,55
<b>CPT4</b>	07/07/2017	-1,90

I livelli freatici riscontrati rivelano la presenza della falda fra -1.55 e -1.90 m. dal p.c..

Si fa presente che le misurazioni sono state effettuate in un periodo caratterizzato da scarse precipitazioni e tenendo conto che la prima falda superficiale viene alimentata prevalentemente dalle acque meteoriche, i livelli misurati potranno innalzarsi in quanto soggetti ad oscillazioni legate alle condizioni climatico-stagionali.

## **INDAGINI SISMICHE**

### ***Esecuzione di misure di rumore sismico ambientale***

Per le misure è stato utilizzato un tromografo digitale portatile (TROMINO), progettato specificamente per la registrazione del rumore sismico ambientale. Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, e permette la registrazione nel campo di frequenze 0-200 Hz.

In sintesi, dopo che il segnale dei tre velocimetri è stato acquisito, per un determinato tempo t, e digitalizzato a 24 bit, viene trasmesso ad un software dedicato, denominato Grilla il quale, per ciascuna delle 3 componenti del moto, esegue le seguenti operazioni:

- divisione del tracciato in finestre la cui lunghezza è immessa dall'operatore;
- depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;
- "taper" con una finestra di Bartlett;
- "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
- calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;

- smoothing (lisciamento) dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni la cui scelta viene definita dall'operatore;
- calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra.

Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura.

### **Generalità sulla tecnica di Nakamura**

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10^{-15}$  (m/s<sup>2</sup>) in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sull'acquisizione dei microtremori si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva (esplosioni).

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0.14 e 0.07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di ray tracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed 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 informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica di Nakamura dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

I primi studi furono effettuati da Kanai (1957) in seguito aggiornati e modificati da vari autori per ottenere informazioni dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) e poi da Nakamura (1989), per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Su questo punto non è però ancora stato raggiunto consenso, sebbene sia ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli, informazione che è comunque di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

La tecnica di Nakamura non richiede l'individuazione di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna utilizzando una sola stazione sismica. Il metodo HVSR considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro:

- ) quelle orizzontali di superficie (Hs) e quelle orizzontali al bedrock (Hb);
- ) quelle verticali di superficie (Vs) e quelle verticali al bedrock (Vb).

Secondo Nakamura è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei microtremori  $A_s(\omega)$  (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = V_s(\omega) / V_b(\omega) \quad (1)$$

in cui  $V_s(\omega)$  e  $V_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale  $Se(\omega)$ :

$$Se(\omega) = H_s(\omega) / H_b(\omega) \quad (2)$$

dove  $H_s(\omega)$  e  $H_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Per compensare l'effetto di sito  $Se(\omega)$  dallo spettro di sorgente  $As(\omega)$  viene calcolato il rapporto spettrale modificato  $Sm(\omega)$  come:

$$Sm(\omega) = Se(\omega) / As(\omega) = (H_s(\omega)/V_s(\omega)) / (H_b(\omega)/V_b(\omega)) \quad (3)$$

Nakamura assume infine che per tutte le frequenze di interesse  $H_b(\omega)/V_b(\omega) = 1$ , basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremori in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato  $Sm(\omega)$  è descritto da:

$$Sm(\omega) = Se(\omega) / As(\omega) = H_s(\omega)/V_s(\omega) \quad (4)$$

La frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale dei segnali registrati.

### **Stratigrafia sismica**

Le misure di microtremori vengono anche utilizzate per valutazioni stratigrafiche o, alternativamente, di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Il metodo risulta molto semplice ed intuitivo nell'ipotesi di un sottosuolo stratificato orizzontalmente e i cui parametri variano solo con la profondità (sistema monodimensionale 1D).

Nel caso ideale di un sottosuolo formato da due soli strati (la copertura (1) ed il bedrock (2)), separati da una superficie orizzontale e distinguibili per un diverso valore di impedenza sismica, ovvero per differenti densità e/o velocità delle onde sismiche, un'onda che viaggia nel mezzo (1) viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze di oscillazione (condizione di risonanza), quando la sua lunghezza d'onda  $\lambda$  è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza  $f_r$  della copertura (mezzo (1)), relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1} / (4 h) \quad (5)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{S1} / (4 h) \quad (6)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati alle varie profondità. Questo, insieme ad una stima degli spessori degli strati, che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sulle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Il problema principale di questa visione è che i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. Essi sono costituiti in misura molto maggiore da onde superficiali e in particolare da onde di Rayleigh, tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte dall'interferenza costruttiva di queste ultime.

Per affinare il risultato interpretativo in termini di sismostrati si procede creando curve sintetiche H/V simulando il campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati

piani e paralleli secondo la teoria descritta in Aki (1964)<sup>1</sup> e Ben-Menahem e Singh (1981)<sup>2</sup>. Il modello, opportunamente applicato, può essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 metri di profondità<sup>3</sup>.

### **Analisi dei risultati**

I dati misurati dallo strumento sono stati elaborati e interpretati fornendo un report finale così strutturato:

<b>Dati delle misura.</b>	Ora di inizio e fine registrazione, frequenza di campionamento, ecc.
<b>Horizontal to vertical spectral ratio</b>	Grafico H/V
<b>H/V Time history</b>	Grafico Time history del rapporto H/V
<b>Directional H/V</b>	Grafico Direzionalità del rapporto H/V
<b>Single component spectra</b>	Grafico delle singole componenti spettrali
<b>Experimental vs. sintetic H/V</b>	Sovrapposizione della curva sperimenta alla curva H/V e istogramma Velocità/Profondità

Nel sito di indagine è stata effettuata una misura di sismica passiva a stazione singola della durata di 20' allo scopo di individuare le frequenze di risonanza fondamentali dei terreni e il profilo di velocità delle onde di taglio, per poter procedere all'identificazione della categoria di sottosuolo. L'utilizzo di un appropriato programma di inversione ha permesso di ricostruire il profilo di velocità in onde S del sottosuolo sulla base del confronto tra stratigrafia e curve H/V e spettrali.

La traccia acquisita mostra un andamento distinto nei 3 differenti domini di frequenza: alta, media e bassa, nel quale si è proceduto all'interpretazione nei differenti domini di frequenze.

Nel dominio delle alte frequenze la curva non presenta picchi rilevanti, ai soli fini interpretativi è stato fittato un passaggio stratigrafico a 28 Hz.

Alle medie-alte frequenze la curva presenta il fenomeno dell'inversione di velocità, quindi non interpretabile, ad ogni modo è stato posto un passaggio stratigrafico in corrispondenza dei 6,7 Hz.

Passando a frequenze più basse si trova un altro picco importante registrato ad una frequenza di circa 0,80 Hz, con un valore di H/V di circa 1,6, riconducibile alla frequenza fondamentale.

In sintesi:

- Alle frequenze di interesse ingegneristico (1Hz-11 Hz), non si segnalano particolari frequenze in grado di generare effetti di risonanza nel terreno; si segnala comunque un possibile effetto di risonanza in corrispondenza del picco fondamentale.
- In corrispondenza del sito i terreni presentano velocità  $V_{s30}$  di 240 m/s. Si fa riferimento al parametro  $V_{s30}$ , perché il *bedrock* sismico è posto a profondità superiori ai 30 m.

---

<sup>1</sup> Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665-666

<sup>2</sup> Ben -Menahem A. e Singh S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York

<sup>3</sup> Castellaro S., 2007. Un'introduzione all'inversione teorica delle curve H/V a fini stratigrafici. Micromed s.p.a.

## CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DELL'AREA

### Classificazione sismica secondo l'O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003

Secondo la classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n° 3274, il Comune di Argelato viene classificato in Zona 3.

### Storia sismica dell'area

Dalla consultazione della mappa interattiva dei sismi storici (dal 217 A.C – 2002, tratto da "Portale Abruzzo"), si evince che il comune oggetto di studio non è stato interessato storicamente da terremoti di alta intensità. Dall'elenco dei terremoti storici tratto da Portale Abruzzo, si può osservare che tra gli eventi sismici più importanti, avvenuti in un raggio di 30 km dalla zona oggetto di studio, il movimento tellurico più significativo è avvenuto nel comune di Molinella nel 1796 dove si sono avute magnitudo di 5.63 (Mw), ad una distanza di circa 25 km dal lotto in esame. Passando all'analisi della situazione sismica recente, il terremoto più significativo, nello stesso intorno, si è verificato a circa 30 km dal comune oggetto di studio, con magnitudo di 5.1, datato al 20/05/2012, riconducibile allo sciame sismico verificatosi in Emilia nel maggio-giugno 2012. Di seguito sono riportate le mappe dei terremoti storici e di quelli attuali ed i rispettivi elenchi dei principali eventi sismici, con relativa data, magnitudo, zona epicentrale e distanza di quest'ultima dal comune in cui ricade l'intervento in progetto.

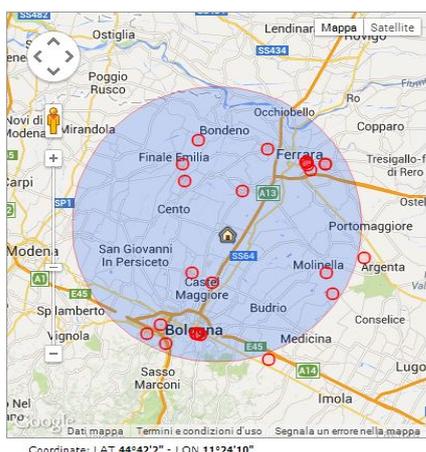


Fig. 2 - Mappa delle zone epicentrali storiche

data	MAG	zona	dist. in km
1) 06/12/1986	4,56	Scortichino	20,57
2) 26/05/1986	4,83	Zola Predosa	27,48
3) 24/05/1922	4,5	Vigarano Mainarda	20,09
4) 12/01/1909	5,53	Molinella	26,30
5) 28/06/1908	4,83	Finale Emilia	13,72
6) 16/01/1899	5,03	Portomaggiore	29,58
7) 08/01/1889	4,83	Zola Predosa	24,17
8) 04/10/1834	4,62	Castel Maggiore	11,48
9) 08/10/1801	4,63	Bologna	22,97
10) 22/10/1796	5,63	Molinella	22,95
11) 16/07/1787	4,63	Ferrara	22,39
12) 06/02/1780	4,85	Argelato	11,09
13) 04/06/1779	4,97	Dzanno dell'Emilia	29,37
14) 29/05/1743	5,03	Ferrara	22,70
15) 28/02/1693	4,63	Ferrara	22,70
16) 14/04/1666	4,83	Bologna	22,97
17) 17/03/1574	5,12	Finale Emilia	17,05
18) 17/11/1570	5,48	Ferrara	22,32
19) 24/11/1561	4,63	Poggio Renatico	9,59
20) 18/10/1508	4,83	Ferrara	25,53
21) 15/05/1505	4,63	Bologna	23,07
22) 03/01/1505	5,47	Casalvecchio di Reno	27,35
23) 03/01/1483	4,63	Ferrara	22,70
24) 04/05/1433	5,03	Bologna	22,93
25) 10/08/1425	4,83	Ferrara	25,53
26) 09/05/1410	5,03	Ferrara	22,70
27) 25/07/1365	5,03	Bologna	23,03
28) 25/01/1323	4,63	Bologna	23,03
29) 13/11/1285	5,03	Ferrara	22,70
30) 20/02/1234	5,17	Ferrara	22,70

Fig. 3 - Elenco dei terremoti storici

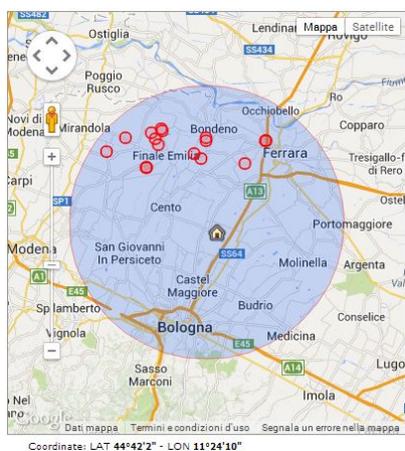


Fig. 4 - Mappa delle zone epicentrali recenti

data ora UTC	MAG	distretto	dist. in km
1) 29/05/2012 8.27.23	4,7	Emilia Romagna	28,98
2) 27/05/2012 18.18.45	4	Emilia Romagna	27,93
3) 23/05/2012 21.41.18	4,3	Emilia Romagna	22,14
4) 21/05/2012 16.37.31	4,1	Emilia Romagna	17,28
5) 20/05/2012 17.37.14	4,5	Emilia Romagna	19,58
6) 20/05/2012 13.21.06	4,1	Emilia Romagna	20,24
7) 20/05/2012 13.18.02	5,1	Emilia Romagna	16,06
8) 20/05/2012 9.13.21	4,2	Emilia Romagna	23,59
9) 20/05/2012 2.39.10	4	Emilia Romagna	24,25
10) 20/05/2012 2.35.37	4	Emilia Romagna	22,63
11) 20/05/2012 2.35.37	4	Emilia Romagna	22,63
12) 20/05/2012 2.35.37	4	Emilia Romagna	22,63
13) 20/05/2012 2.12.42	4,3	Emilia Romagna	19,96
14) 20/05/2012 2.12.42	4,3	Emilia Romagna	19,96
15) 20/05/2012 2.12.42	4,3	Emilia Romagna	19,96
16) 20/05/2012 2.11.46	4,3	Emilia Romagna	15,76
17) 20/05/2012 2.03.53	5,9	Emilia Romagna	25,09
18) 19/05/2012 23.13.27	4,1	Emilia Romagna	24,75

Fig. 5 - Elenco dei terremoti recenti

### **Zone e sorgenti sismogenetiche**

Dalla consultazione della on line della mappa sismogenetica (zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche DISS 3, versione 3.2.0) si evince che il comune oggetto di studio ricade al di fuori delle aree di interesse delle zone e sorgenti sismogenetiche; la più vicina al lotto in esame si trova a circa 8,0 km in direzione S; si tratta della sorgente composita denominata “ITCS047 Castelvetro di Modena – Castel San Pietro Terme”, impostata al limite tra zona collinare e della prima pianura; si tratta di un lineamento sismico su cui la massima magnitudo attesa è di 6.0 Mw; di seguito vengono riportate l’ubicazione e la disposizione geografica di tali zone.

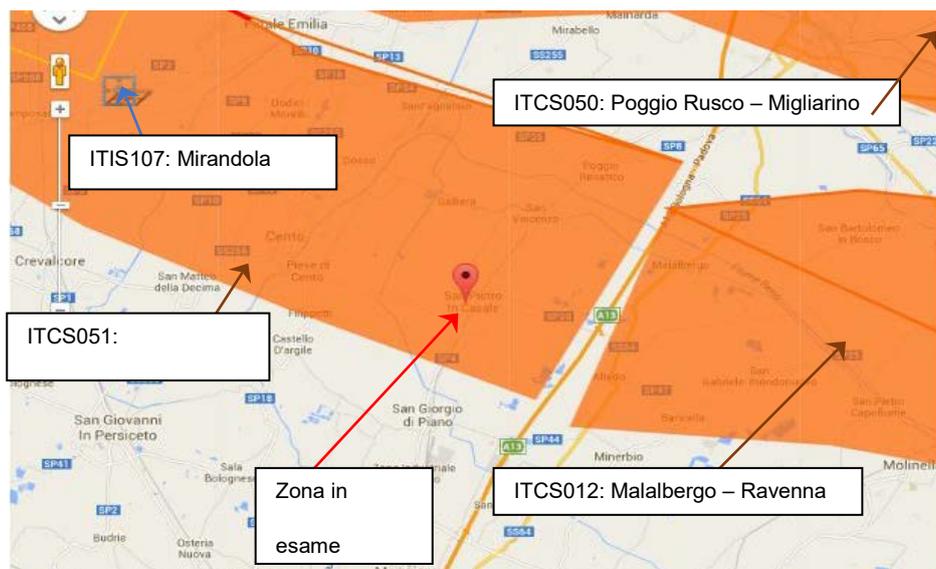


Figura 6: Mappa delle zone (ITCS) e sorgenti (ITIS) sismogenetiche collocate nell’intorno del Comune di San Pietro in Casale.

### **SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI E RELATIVE VERIFICHE**

In condizioni sismiche, il termine “liquefazione” comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono collegati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una riduzione della tensione media efficace presente nel terreno e, quindi, una riduzione della resistenza a taglio. La riduzione della resistenza può rappresentare solo una condizione temporanea, seguita da un successivo recupero, o può indurre nel terreno una condizione di collasso generalizzata e definitiva.

L’avvenuta liquefazione si manifesta, in condizioni di *free-field* (cioè in assenza di manufatti sulla superficie del deposito), attraverso la formazione di vulcanelli di sabbia, rotture o spostamenti laterali del terreno, ovvero in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

Durante l’evento sismico, se la superficie del piano campagna è orizzontale questo può subire oscillazioni di grande ampiezza. Al termine della sollecitazione, la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e il conseguente riassetto dei grani possono dar luogo a fenomeni di subsidenza. I fattori principali che rendono i terreni suscettibili alla liquefazione sono legati alle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche del territorio.

In base alla normativa vigente la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti

almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

### **Verifica a liquefazione dei terreni**

Nel caso in esame, la stratigrafia mostra la presenza di alcuni livelli a comportamento granulare in falda. Su tali livelli sono eseguite verifiche mediante un software dedicato per la determinazione della tendenza alla liquefazione: C-LIQ della GeologisMiki s.r.l., nel quale è possibile avvalersi di correlazioni efficaci per la rappresentazione quantitativa dei reali pericoli derivanti dalla liquefazione (vedi allegati).

Il metodo utilizzato per i calcoli è quello elaborato da Robertson (NCEER R&W 1998,2009).

Una volta determinato il profilo del fattore di sicurezza FS, si calcola l'indice di potenziale liquefazione  $IL$ , secondo la formulazione di Iwasaki et al. (1982), in cui si tiene conto dell'entità del FS, dello spessore dell'intervallo di calcolo e della profondità a cui è riferito:

$$IL = \sum_{i=1}^n F(W(z)) \Delta z$$

dove  $IL$  indica il rischio di liquefazione definito secondo la seguente tabella:

<b>Valori di <math>I_L</math></b>	<b>Rischio di liquefazione</b>
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Sulla base dei risultati delle prove penetrometriche statiche sono state condotte verifiche alla liquefazione considerando i seguenti dati di input:

Magnitudo = 6.0 (Mw)

P.G.A. = 0.23 g

Livello falda = -1.0 m dal p.c.

I risultati delle verifiche (vedi report a fine allegati a fine testo) rientrano all'interno del *range* di basso rischio di liquefazione, con:

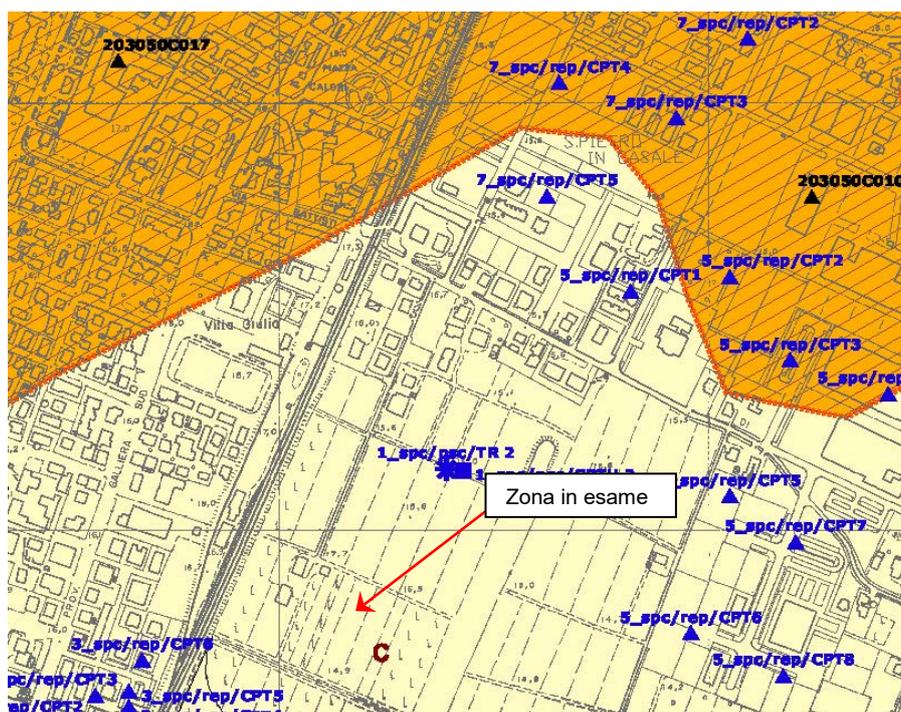
$IL = 0.0$  nella prova CPT n° 3

$IL = 2.11$  nella prova CPT n° 1

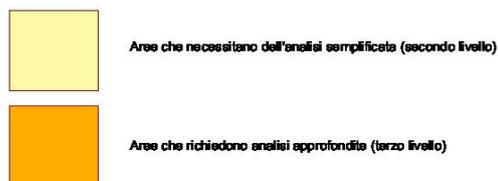
## VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

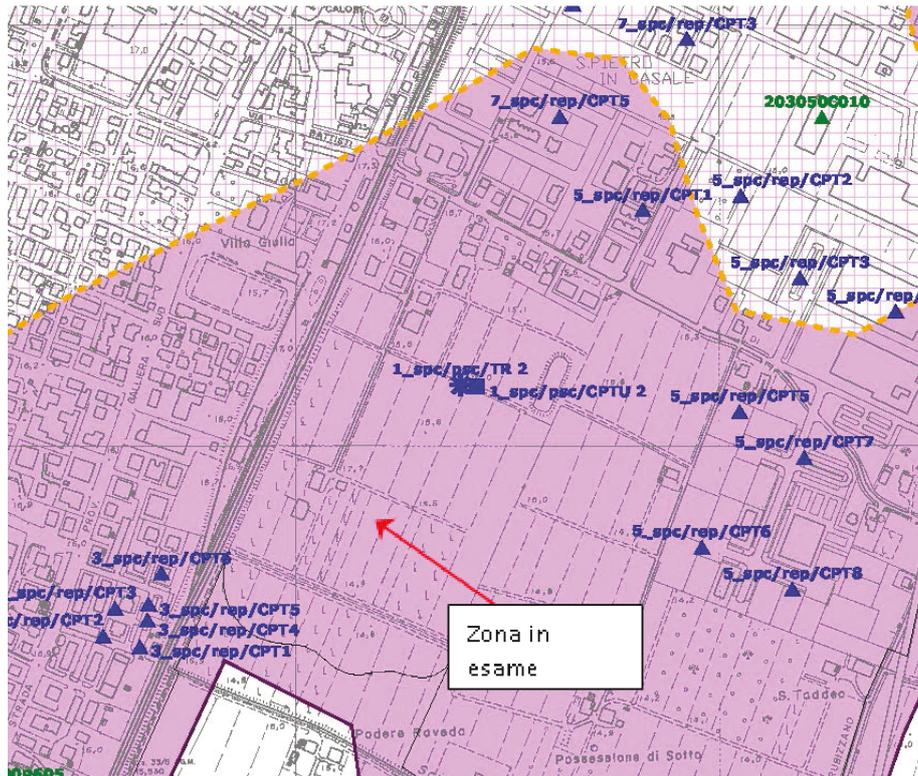
### **Consultazione della Microzonazione sismica da PSC**

I lotti in oggetto rientrano nell'ambito della microzonazione sismica eseguita nel corso del PSC. Si riportano a seguito gli stralci delle tavole 1a (tavola comunale delle aree suscettibili ad effetti locali) e tav. 1a (Microzonazione sismica di II livello) dello studio di microzonazione sismica messo a disposizione dall'Unione Reno Galliera e dal Comune di San Pietro in Casale, con il PSC elaborato in forma associata, nella versione "Variante in materia di rischio sismico"



**ZONE OMOGENEE: SINTESI DEI LIVELLI DI APPROFONDIMENTO DA ESPLETARE (DAL 112/2007):**





**MICROZONAZIONE SISMICA II LIVELLO  
E APPROFONDIMENTI SULLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI:  
ZONE OMOGENEE (ART. XX PAR. 3 NORME PSC)**

	<b>LIMITE AREE DI INDAGINE PSC E LIMITE MICROZONAZIONE SISMICA</b>
	<p>CONTESTO= "PIANURA 2"  <b>AMPLIFICAZIONE = FA (P<sub>ga</sub>) = 1.5</b>            FA SI (0.1s-0.5s) = 1.8            FA SI (0.5s-1s) = 2.5  <b>LIQUEFAZIONE = NON RISCONTRATA</b></p>
	<p>CONTESTO= "PIANURA 2"  <b>AMPLIFICAZIONE = FA (P<sub>ga</sub>) = 1.5</b>            FA SI (0.1s-0.5s) = 1.8            FA SI (0.5s-1s) = 2.5  <b>LIQUEFAZIONE = POSSIBILITA' DI LIQUEFAZIONE POCO PROBABILE DA VERIFICARE</b></p>
	<p>CONTESTO= "PIANURA 2"  <b>AMPLIFICAZIONE = FA (P<sub>ga</sub>) = 1.5</b>            FA SI (0.1s-0.5s) = 1.8            FA SI (0.5s-1s) = 2.5  <b>LIQUEFAZIONE = POSSIBILITA' DI LIQUEFAZIONE CON CEDIMENTI, TESSITURE E SPESSORI DA CONTROLLARE</b></p>

**Valutazione dei fattori di amplificazione (D.G.R. 2193/2015)**

Si passa ora alla valutazione dei F.A. secondo quanto riportato nell'allegato A2 del D.G.R. 2193/2015.

Facendo riferimento alle indagini geofisiche e geognostiche eseguite nel corso di questo studio e dalle indagini eseguite per la redazione del P.S.C. e successivi aggiornamenti, le velocità delle onde di taglio S, nei primi trenta metri di sottosuolo (si fa riferimento al parametro Vs30, perché il bedrock sismico è posto a profondità superiori ai 30 m.) si può considerare compresa fra nell'intorno dei 200 e 250 m/s.

Tenendo conto degli abachi al punto A2.1.2 del succitato allegato A2 del D.G.R. 2193/2015, considerando che l'area oggetto di studio ricade nel settore di <Pianura 2> "i di amplificazione F.A. saranno:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Pianura 2. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA, SI1, SI2 e SI3**.

tratto dall'allegato A2 del D.G.R. 2193/2015,

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dallo studio eseguito, non sono emerse particolari problematiche di carattere geologico relative all'area investigata. Alla luce di tutte le informazioni raccolte è possibile esprimere un parere favorevole, circa l'idoneità delle aree studiate ad essere utilizzate per futuri usi urbanistici.

Durante le indagini si è riscontrata la presenza della falda fra -1.55 e -1.90 m. dal p.c.. Si fa presente che le misurazioni sono state effettuate in un periodo caratterizzato da scarse precipitazioni per cui livelli misurati potranno innalzarsi durante le stagioni piovose.

Le caratteristiche dei terreni presenti, permettono l'adozione di fondazioni di tipo superficiale considerando carichi non particolarmente importanti.

Al riguardo dei Fattori di Amplificazione locale, dagli studi eseguiti risultano:

Fattore di amplificazione FA
FA (PGA) = 1.7
FA SI1= 2.0
FA SI2= 3.0
FA SI3= 3.3

Bologna, 08/08/2019

Dott. Luca Tondi



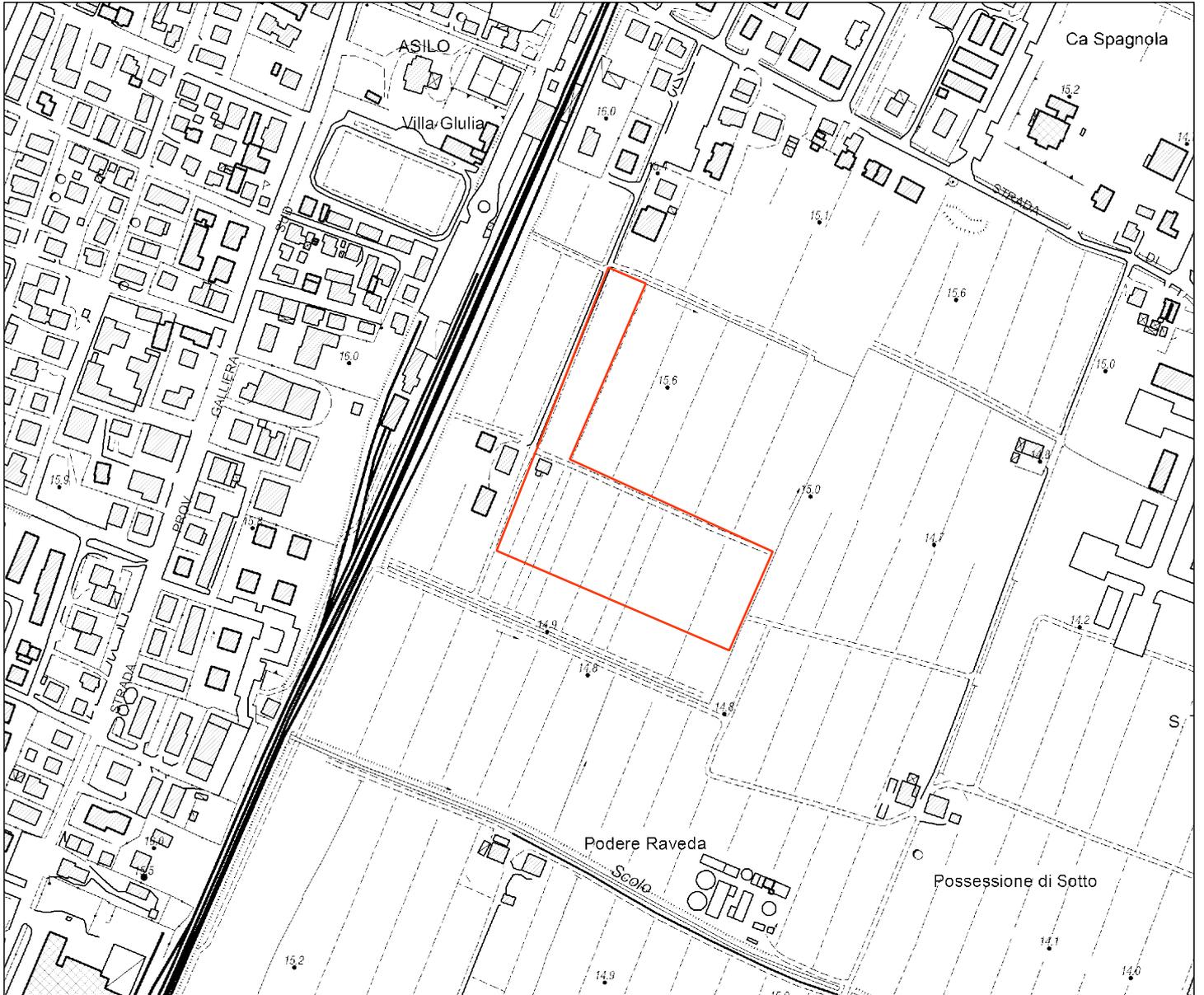
# TAVOLE

- **Tav. 1 Corografia 1:25.000**
- **Tav. 2 Corografia 1:5.000**
- **Tav. 3 Carta geologica 1:5.000**
- **Tav. 4 Ubicazione indagini planimetria**



## Legenda

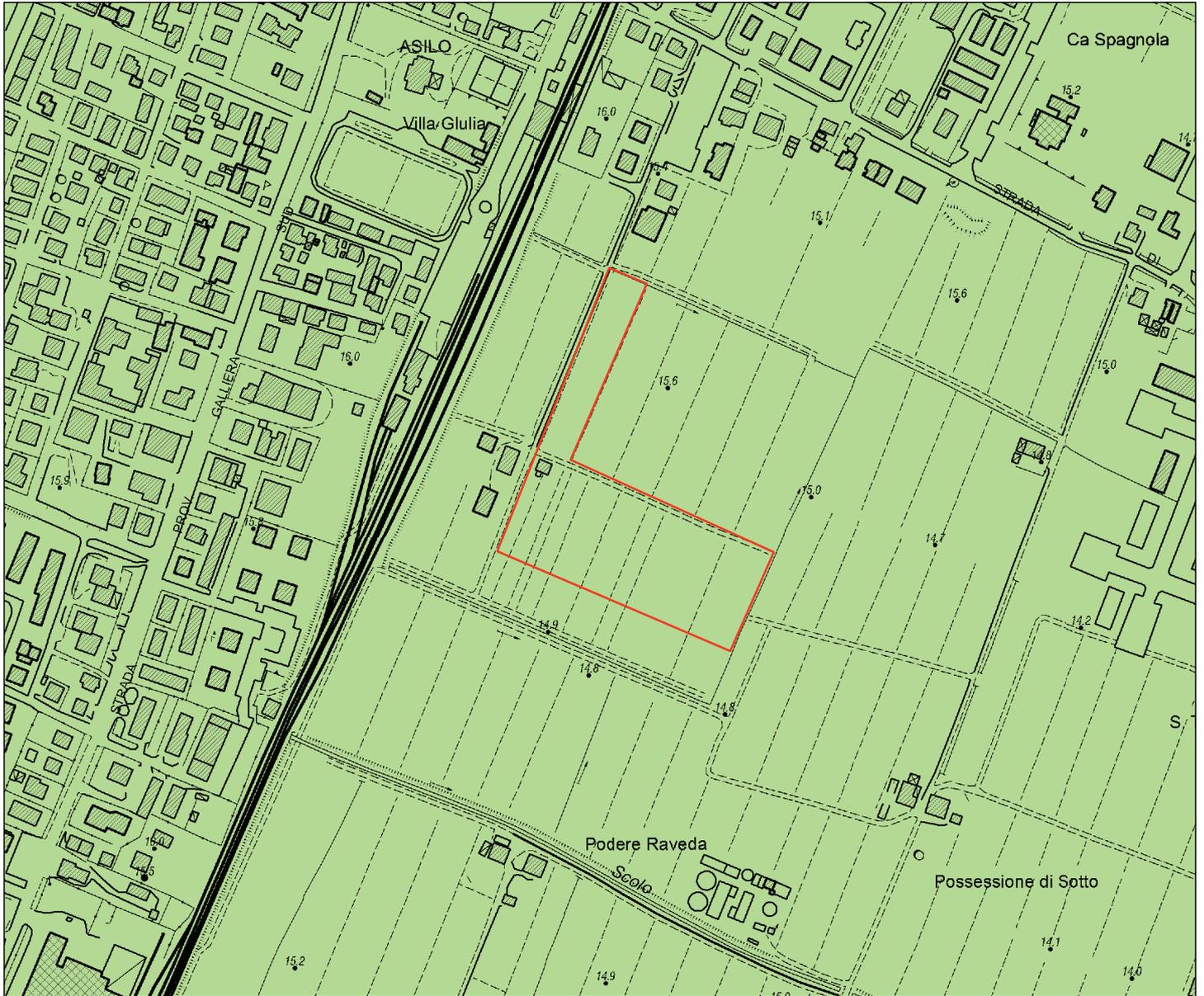
 Area in Oggetto



Legenda

 Area in Oggetto

Tavola 3  
INQUADRAMENTO GEOLOGICO  
Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna Scala  
1:5.000



### Legenda

 Area in Oggetto

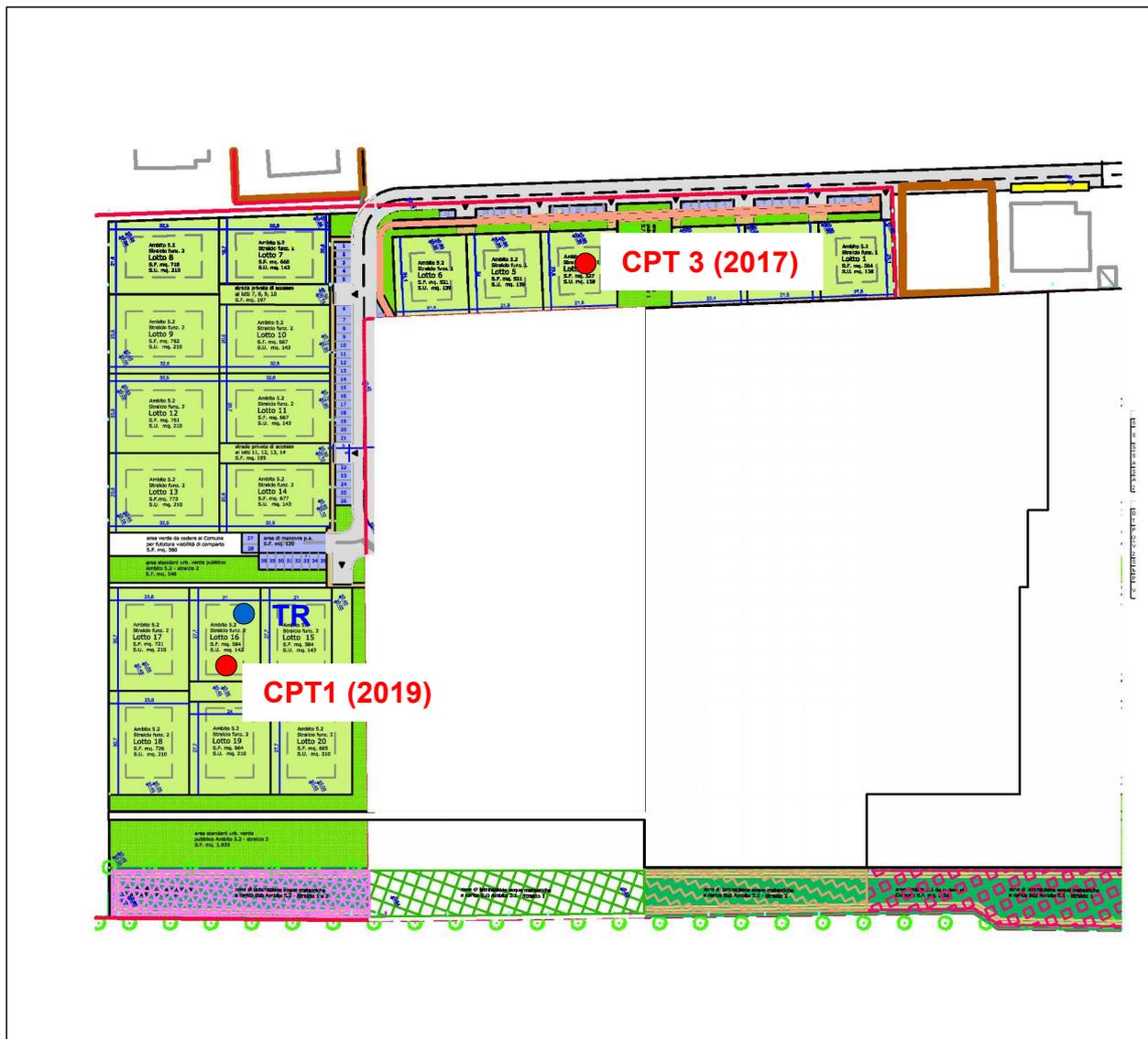
Coperture\_quaternarie

 AES8 - Subsintema di Ravenna

# UBICAZIONE INDAGINI

STRALCIO PLANIMETRIA

SCALA 1:2000



## Legenda

- **CPT** Prove penetrometriche statiche
- **TR** Indagini geofisica con tromografo digitale

# **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

# PROVE PENETROMETRICHE

## CONE PENETRATION TEST (C.T.P.)

### PENETROMETRO STATICO SP120-C (DEEP-DRILL)

#### Caratteristiche Tecniche-Strumentali

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Lecture	Punta-Laterale
Baricentro punta lungo l'altezza	30 cm
Area punta	10 cm <sup>2</sup>
Area interna punta cono	8.5 cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	60°
Diametro punta conica meccanica	35.7 mm
Altezza manicotto laterale	13.3 cm
Sistema di misura:	Meccanico
Passo:	20 cm
Peso manicotto ancoraggio	2 Kg
Superficie manicotto	150 cm <sup>2</sup>
Anello allargatore:	Sì
Costante di trasformazione	20

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = $q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

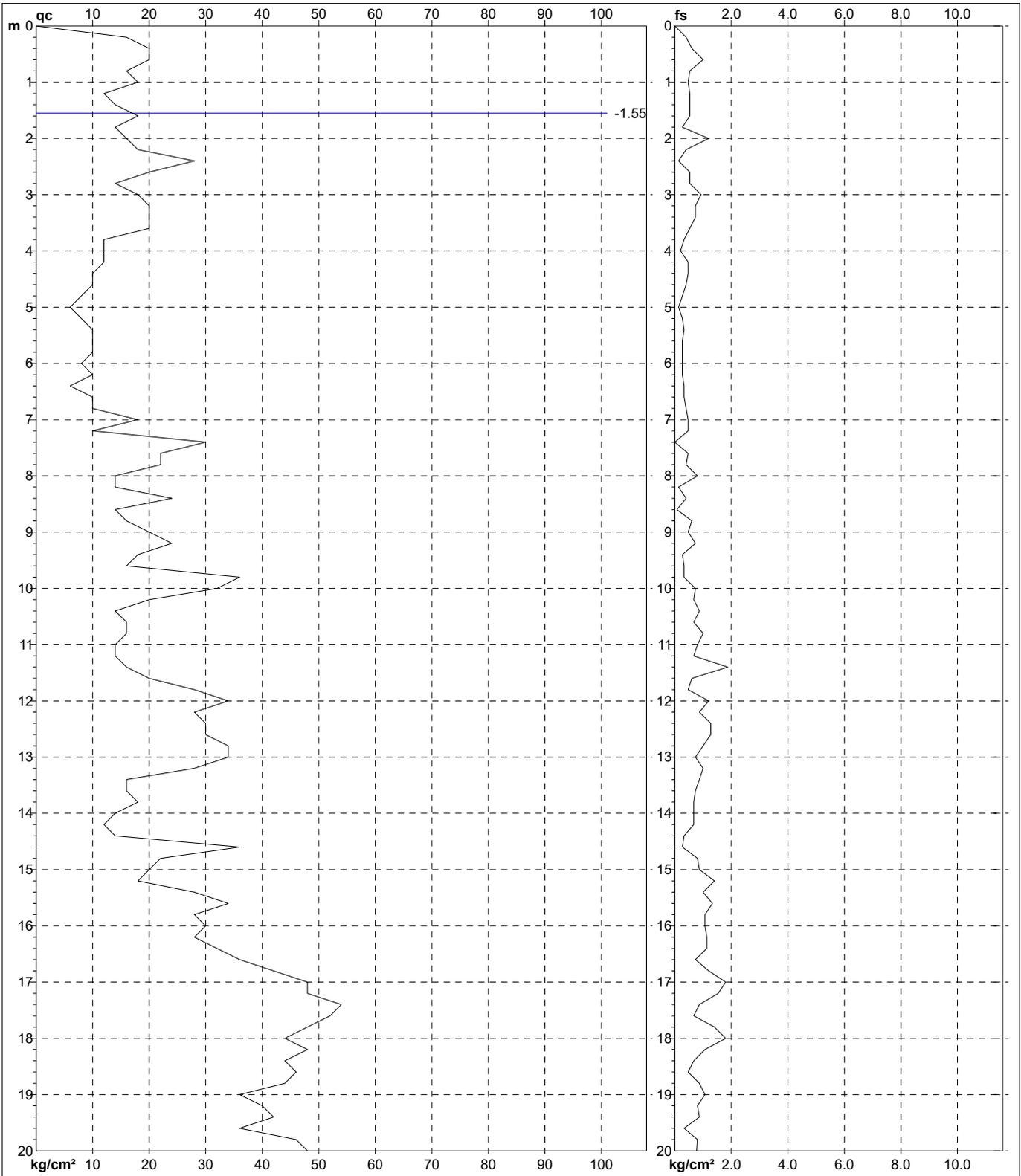
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>029-2019</b>

Committente: **Gallerani**  
 Cantiere: **Via Rubizzano**  
 Località: **San Pietro in Casale**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data esec.: **07/08/2019**  
 Scala: **1:100**  
 Pagina: **1**    Quota inizio:  
 Elaborato:    Falda: **-1.55 m** da p.c.



		Penetrometro: <b>SP200</b> Responsabile: Assistente:	Preforo: <b>m</b> Corr.astine: <b>kg/ml</b> Cod.ISTAT: <b>037055</b> Cod. punta:
--	--	--	---

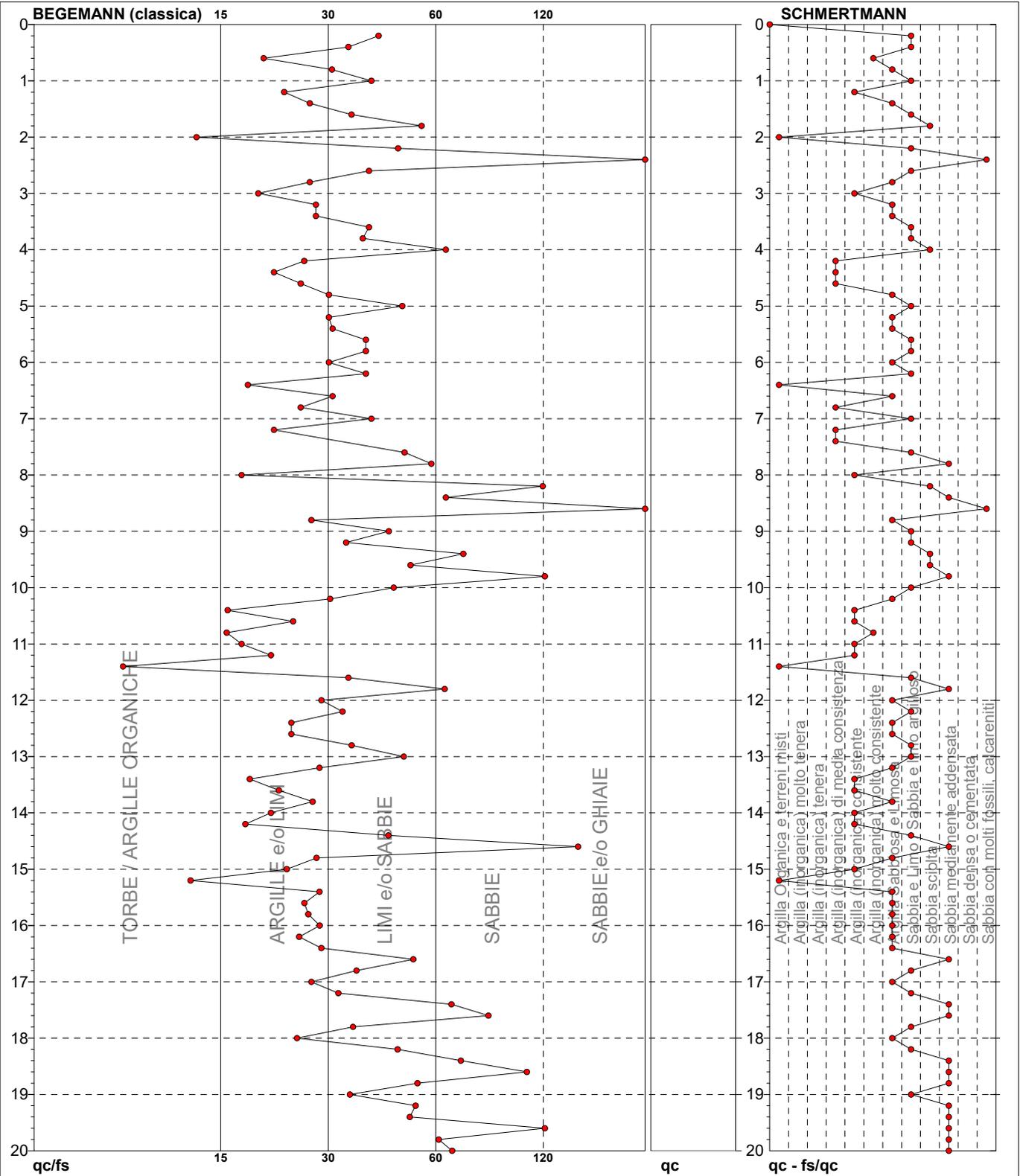
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>029-2019</b>

Committente: **Gallerani**  
 Cantiere: **Via Rubizzano**  
 Località: **San Pietro in Casale**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:100**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato: **Falda: -1.55 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	4 punti, 4.04%	Argilla Organica e terreni misti:	4 punti, 4.04%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	26 punti, 26.26%
Argille e/o Limi :	43 punti, 43.43%	Argilla (inorganica) media consist.:	5 punti, 5.05%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	27 punti, 27.27%
Limi e/o Sabbie :	41 punti, 41.41%	Argilla (inorganica) consistente:	12 punti, 12.12%	Sabbia sciolta:	5 punti, 5.05%
Sabbie:	9 punti, 9.09%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 2.02%	Sabbia mediamente addensata:	16 punti, 16.16%
Sabbie e/o Ghiaie :	3 punti, 3.03%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	2 punti, 2.02%

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT****1**

riferimento

**029-2019**Committente: **Gallerani**Cantiere: **Via Rubizzano**Località: **San Pietro in Casale**U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**Data esec.: **07/08/2019**Pagina: **1**

Elaborato:

Falda: **-1.55 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0.20	16.0	34.0		16.0	0.40	40	2.5	15.20	18.0	31.0		18.0	1.40	13	7.8
0.40	20.0	26.0		20.0	0.60	33	3.0	15.40	28.0	49.0		28.0	1.00	28	3.6
0.60	20.0	29.0		20.0	1.00	20	5.0	15.60	34.0	49.0		34.0	1.33	26	3.9
0.80	16.0	31.0		16.0	0.53	30	3.3	15.80	28.0	48.0		28.0	1.07	26	3.8
<b>1.00</b>	<b>18.0</b>	<b>26.0</b>		<b>18.0</b>	<b>0.47</b>	<b>38</b>	<b>2.6</b>	<b>16.00</b>	<b>30.0</b>	<b>46.0</b>		<b>30.0</b>	<b>1.07</b>	<b>28</b>	<b>3.6</b>
1.20	12.0	19.0		12.0	0.53	23	4.4	16.20	28.0	44.0		28.0	1.13	25	4.0
1.40	14.0	22.0		14.0	0.53	26	3.8	16.40	32.0	49.0		32.0	1.13	28	3.5
1.60	18.0	26.0		18.0	0.53	34	2.9	16.60	36.0	53.0		36.0	0.73	49	2.0
1.80	14.0	22.0		14.0	0.27	52	1.9	16.80	42.0	53.0		42.0	1.20	35	2.9
<b>2.00</b>	<b>16.0</b>	<b>20.0</b>		<b>16.0</b>	<b>1.20</b>	<b>13</b>	<b>7.5</b>	<b>17.00</b>	<b>48.0</b>	<b>66.0</b>		<b>48.0</b>	<b>1.80</b>	<b>27</b>	<b>3.8</b>
2.20	18.0	36.0		18.0	0.40	45	2.2	17.20	48.0	75.0		48.0	1.53	31	3.2
2.40	28.0	34.0		28.0	0.13	215	0.5	17.40	54.0	77.0		54.0	0.87	62	1.6
2.60	20.0	22.0		20.0	0.53	38	2.7	17.60	52.0	65.0		52.0	0.67	78	1.3
2.80	14.0	22.0		14.0	0.53	26	3.8	17.80	48.0	58.0		48.0	1.40	34	2.9
<b>3.00</b>	<b>18.0</b>	<b>26.0</b>		<b>18.0</b>	<b>0.93</b>	<b>19</b>	<b>5.2</b>	<b>18.00</b>	<b>44.0</b>	<b>65.0</b>		<b>44.0</b>	<b>1.80</b>	<b>24</b>	<b>4.1</b>
3.20	20.0	34.0		20.0	0.73	27	3.7	18.20	48.0	75.0		48.0	1.07	45	2.2
3.40	20.0	31.0		20.0	0.73	27	3.7	18.40	44.0	60.0		44.0	0.67	66	1.5
3.60	20.0	31.0		20.0	0.53	38	2.7	18.60	46.0	56.0		46.0	0.47	98	1.0
3.80	12.0	20.0		12.0	0.33	36	2.8	18.80	44.0	51.0		44.0	0.87	51	2.0
<b>4.00</b>	<b>12.0</b>	<b>17.0</b>		<b>12.0</b>	<b>0.20</b>	<b>60</b>	<b>1.7</b>	<b>19.00</b>	<b>36.0</b>	<b>49.0</b>		<b>36.0</b>	<b>1.07</b>	<b>34</b>	<b>3.0</b>
4.20	12.0	15.0		12.0	0.47	26	3.9	19.20	40.0	56.0		40.0	0.80	50	2.0
4.40	10.0	17.0		10.0	0.47	21	4.7	19.40	42.0	54.0		42.0	0.87	48	2.1
4.60	10.0	17.0		10.0	0.40	25	4.0	19.60	36.0	49.0		36.0	0.33	109	0.9
4.80	8.0	14.0		8.0	0.27	30	3.4	19.80	46.0	51.0		46.0	0.80	58	1.7
<b>5.00</b>	<b>6.0</b>	<b>10.0</b>		<b>6.0</b>	<b>0.13</b>	<b>46</b>	<b>2.2</b>	<b>20.00</b>	<b>48.0</b>	<b>60.0</b>		<b>48.0</b>	<b>0.77</b>	<b>62</b>	<b>1.6</b>
5.20	8.0	10.0		8.0	0.27	30	3.4								
5.40	10.0	14.0		10.0	0.33	30	3.3								
5.60	10.0	15.0		10.0	0.27	37	2.7								
5.80	10.0	14.0		10.0	0.27	37	2.7								
<b>6.00</b>	<b>8.0</b>	<b>12.0</b>		<b>8.0</b>	<b>0.27</b>	<b>30</b>	<b>3.4</b>								
6.20	10.0	14.0		10.0	0.27	37	2.7								
6.40	6.0	10.0		6.0	0.33	18	5.5								
6.60	10.0	15.0		10.0	0.33	30	3.3								
6.80	10.0	15.0		10.0	0.40	25	4.0								
<b>7.00</b>	<b>18.0</b>	<b>24.0</b>		<b>18.0</b>	<b>0.47</b>	<b>38</b>	<b>2.6</b>								
7.20	10.0	17.0		10.0	0.47	21	4.7								
7.40	30.0	37.0		30.0	0.00	21	0.0								
7.60	22.0	22.0		22.0	0.47	47	2.1								
7.80	22.0	29.0		22.0	0.40	55	1.8								
<b>8.00</b>	<b>14.0</b>	<b>20.0</b>		<b>14.0</b>	<b>0.80</b>	<b>18</b>	<b>5.7</b>								
8.20	14.0	26.0		14.0	0.13	108	0.9								
8.40	24.0	26.0		24.0	0.40	60	1.7								
8.60	14.0	20.0		14.0	0.07	200	0.5								
8.80	16.0	17.0		16.0	0.60	27	3.8								
<b>9.00</b>	<b>20.0</b>	<b>29.0</b>		<b>20.0</b>	<b>0.47</b>	<b>43</b>	<b>2.4</b>								
9.20	24.0	31.0		24.0	0.73	33	3.0								
9.40	18.0	29.0		18.0	0.27	67	1.5								
9.60	16.0	20.0		16.0	0.33	48	2.1								
9.80	36.0	41.0		36.0	0.33	109	0.9								
<b>10.00</b>	<b>32.0</b>	<b>37.0</b>		<b>32.0</b>	<b>0.73</b>	<b>44</b>	<b>2.3</b>								
10.20	20.0	31.0		20.0	0.67	30	3.4								
10.40	14.0	24.0		14.0	0.87	16	6.2								
10.60	16.0	29.0		16.0	0.67	24	4.2								
10.80	16.0	26.0		16.0	1.00	16	6.3								
<b>11.00</b>	<b>14.0</b>	<b>29.0</b>		<b>14.0</b>	<b>0.80</b>	<b>18</b>	<b>5.7</b>								
11.20	14.0	26.0		14.0	0.67	21	4.8								
11.40	16.0	26.0		16.0	1.87	9	11.7								
11.60	20.0	48.0		20.0	0.60	33	3.0								
11.80	28.0	37.0		28.0	0.47	60	1.7								
<b>12.00</b>	<b>34.0</b>	<b>41.0</b>		<b>34.0</b>	<b>1.20</b>	<b>28</b>	<b>3.5</b>								
12.20	28.0	46.0		28.0	0.87	32	3.1								
12.40	30.0	43.0		30.0	1.27	24	4.2								
12.60	30.0	49.0		30.0	1.27	24	4.2								
12.80	34.0	53.0		34.0	1.00	34	2.9								
<b>13.00</b>	<b>34.0</b>	<b>49.0</b>		<b>34.0</b>	<b>0.73</b>	<b>47</b>	<b>2.1</b>								
13.20	28.0	39.0		28.0	1.00	28	3.6								
13.40	16.0	31.0		16.0	0.87	18	5.4								
13.60	16.0	29.0		16.0	0.73	22	4.6								
13.80	18.0	29.0		18.0	0.67	27	3.7								
<b>14.00</b>	<b>14.0</b>	<b>24.0</b>		<b>14.0</b>	<b>0.67</b>	<b>21</b>	<b>4.8</b>								
14.20	12.0	22.0		12.0	0.67	18	5.6								
14.40	14.0	24.0		14.0	0.33	42	2.4								
14.60	36.0	41.0		36.0	0.27	133	0.8								
14.80	22.0	26.0		22.0	0.80	28	3.6								
<b>15.00</b>	<b>20.0</b>	<b>32.0</b>		<b>20.0</b>	<b>0.87</b>	<b>23</b>	<b>4.4</b>								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT =10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata  
alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

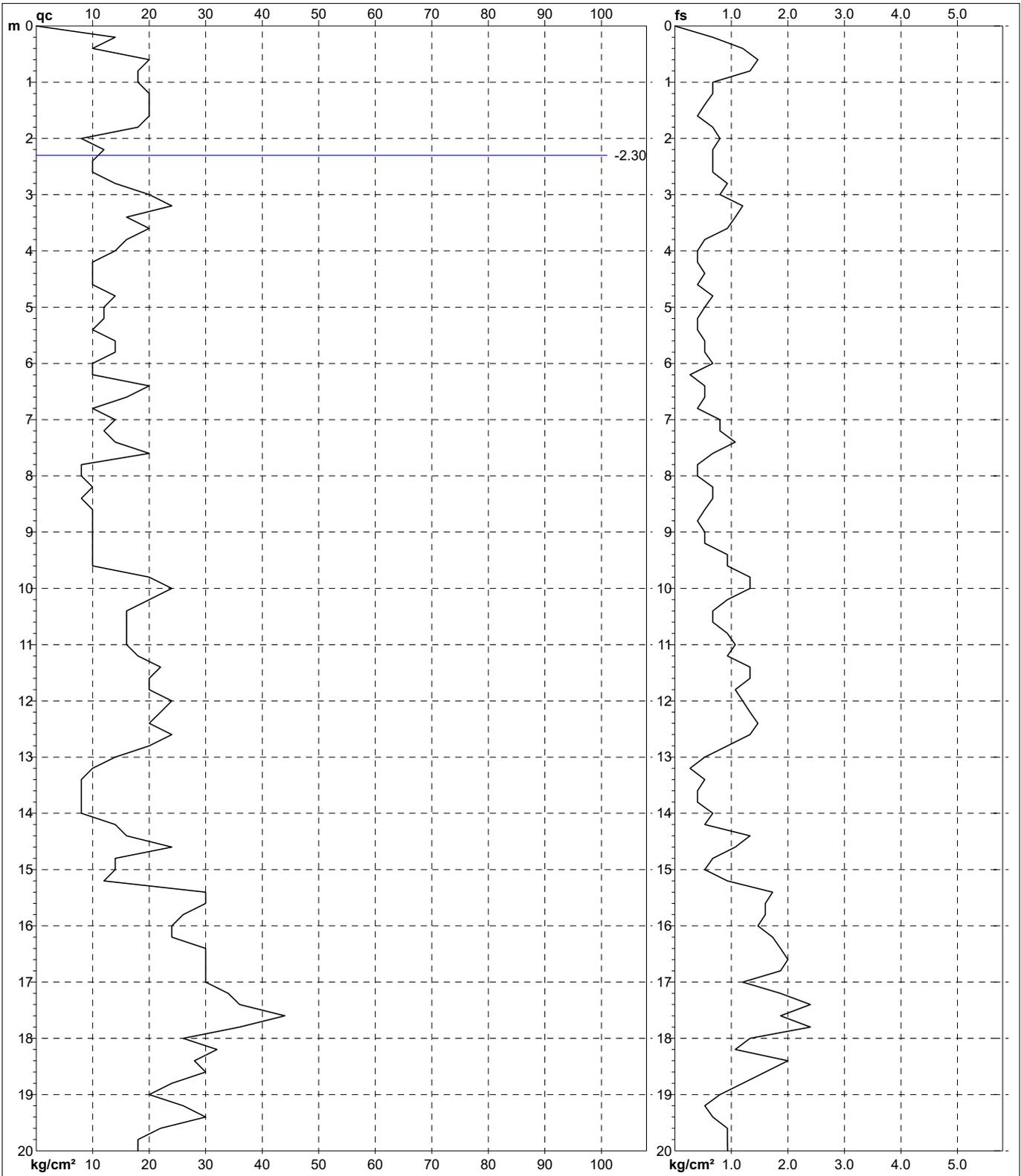
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

<b>CPT</b>	<b>3</b>
riferimento	<b>037-2017</b>
certificato n°	07071711

Committente: **Gallerani**  
 Cantiere: **Via Rubizzano**  
 Località: **San Pietro in Casale**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data esec.: 07/07/2017  
 Scala: 1:100    Data certificato: 19/07/2017  
 Pagina: 1    Quota inizio: Piano Campagna  
 Elaborato:    Falda: -2.30 m da p.c.



	Penetrometro: SP200 Responsabile: Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod.ISTAT: 037055 Cod. punta:
--	---	--

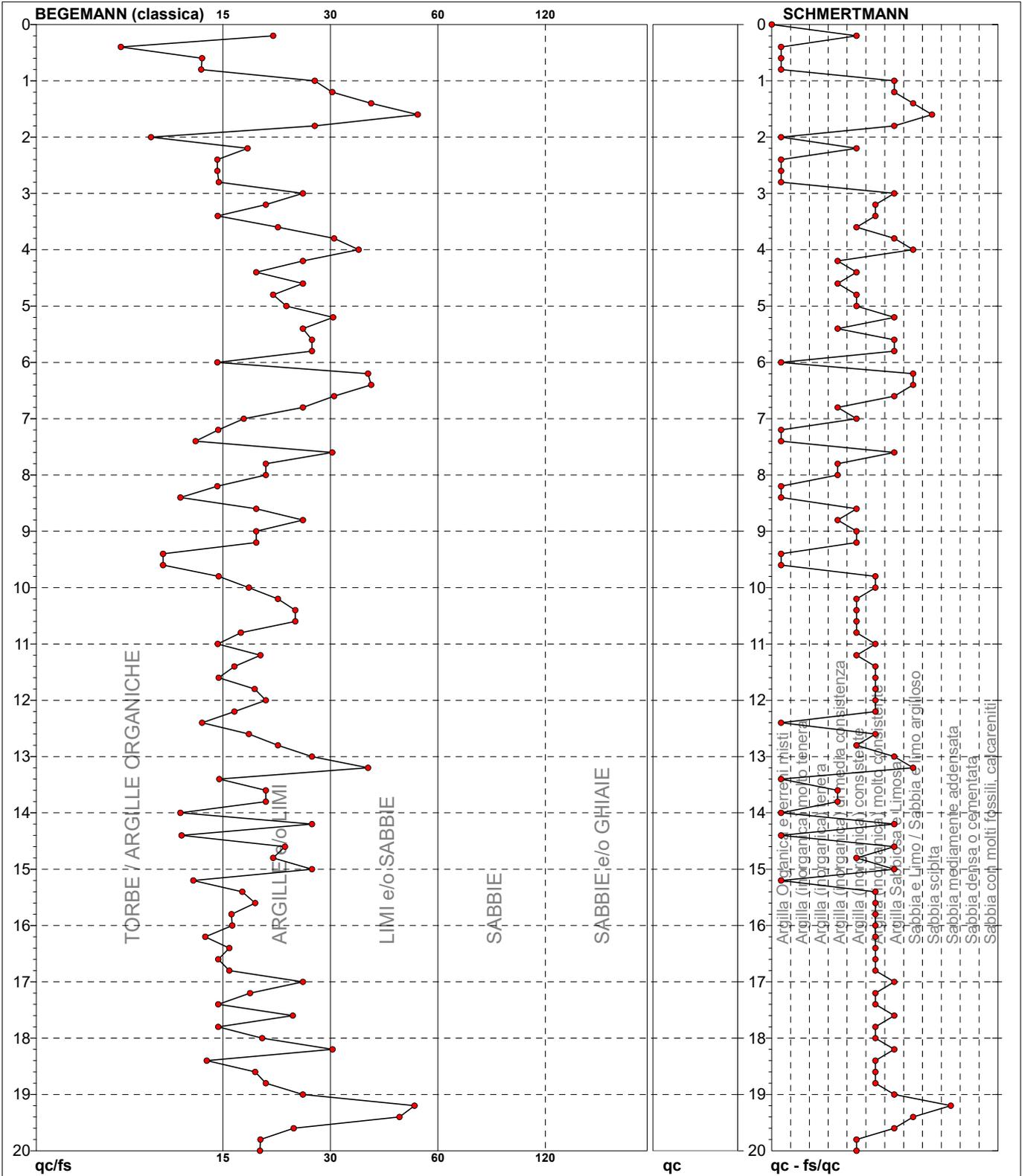
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>3</b>
riferimento	<b>037-2017</b>
certificato n°	07071711

Committente: **Gallerani**  
 Cantiere: **Via Rubizzano**  
 Località: **San Pietro in Casale**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: 1:100  
 Pagina: 1  
 Elaborato:   
 Data eseg.: 07/07/2017  
 Data certificato: 19/07/2017  
 Falda: -2.30 m da p.c.



Torbe / Argille org. :	24 punti, 24.24%	Argilla Organica e terreni misti:	19 punti, 19.19%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	19 punti, 19.19%
Argille e/o Limi :	66 punti, 66.67%	Argilla (inorganica) media consist.:	9 punti, 9.09%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 6.06%
Limi e/o Sabbie :	10 punti, 10.10%	Argilla (inorganica) consistente:	19 punti, 19.19%	Sabbia sciolta:	1 punti, 1.01%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	26 punti, 26.26%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1.01%

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT****3**

riferimento

**037-2017**

certificato n°

07071711

Committente: **Gallerani**Cantiere: **Via Rubizzano**Località: **San Pietro in Casale**U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**Data esec.: **07/07/2017**Pagina: **1**Data certificato: **19/07/2017**

Elaborato:

Falda: **-2.30 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0.20	14.00	26.00		14.00	0.67	21	4.8	15.20	12.00	20.00		12.00	0.93	13	7.8
0.40	10.00	20.00		10.00	1.20	8	12.0	15.40	30.00	44.00		30.00	1.73	17	5.8
0.60	20.00	38.00		20.00	1.47	14	7.4	15.60	30.00	56.00		30.00	1.60	19	5.3
0.80	18.00	40.00		18.00	1.33	14	7.4	15.80	26.00	50.00		26.00	1.60	16	6.2
<b>1.00</b>	<b>18.00</b>	<b>38.00</b>		<b>18.00</b>	<b>0.67</b>	<b>27</b>	<b>3.7</b>	<b>16.00</b>	<b>24.00</b>	<b>48.00</b>		<b>24.00</b>	<b>1.47</b>	<b>16</b>	<b>6.1</b>
1.20	20.00	30.00		20.00	0.67	30	3.4	16.20	24.00	46.00		24.00	1.73	14	7.2
1.40	20.00	30.00		20.00	0.53	38	2.7	16.40	30.00	56.00		30.00	1.87	16	6.2
1.60	20.00	28.00		20.00	0.40	50	2.0	16.60	30.00	58.00		30.00	2.00	15	6.7
1.80	18.00	24.00		18.00	0.67	27	3.7	16.80	30.00	60.00		30.00	1.87	16	6.2
<b>2.00</b>	<b>8.00</b>	<b>18.00</b>		<b>8.00</b>	<b>0.80</b>	<b>10</b>	<b>10.0</b>	<b>17.00</b>	<b>30.00</b>	<b>58.00</b>		<b>30.00</b>	<b>1.20</b>	<b>25</b>	<b>4.0</b>
2.20	12.00	24.00		12.00	0.67	18	5.6	17.20	34.00	52.00		34.00	1.87	18	5.5
2.40	10.00	20.00		10.00	0.67	15	6.7	17.40	36.00	64.00		36.00	2.40	15	6.7
2.60	10.00	20.00		10.00	0.67	15	6.7	17.60	44.00	80.00		44.00	1.87	24	4.3
2.80	14.00	24.00		14.00	0.93	15	6.6	17.80	36.00	64.00		36.00	2.40	15	6.7
<b>3.00</b>	<b>20.00</b>	<b>34.00</b>		<b>20.00</b>	<b>0.80</b>	<b>25</b>	<b>4.0</b>	<b>18.00</b>	<b>26.00</b>	<b>62.00</b>		<b>26.00</b>	<b>1.33</b>	<b>20</b>	<b>5.1</b>
3.20	24.00	36.00		24.00	1.20	20	5.0	18.20	32.00	52.00		32.00	1.07	30	3.3
3.40	16.00	34.00		16.00	1.07	15	6.7	18.40	28.00	44.00		28.00	2.00	14	7.1
3.60	20.00	36.00		20.00	0.93	22	4.7	18.60	30.00	60.00		30.00	1.60	19	5.3
3.80	16.00	30.00		16.00	0.53	30	3.3	18.80	24.00	48.00		24.00	1.20	20	5.0
<b>4.00</b>	<b>14.00</b>	<b>22.00</b>		<b>14.00</b>	<b>0.40</b>	<b>35</b>	<b>2.9</b>	<b>19.00</b>	<b>20.00</b>	<b>38.00</b>		<b>20.00</b>	<b>0.80</b>	<b>25</b>	<b>4.0</b>
4.20	10.00	16.00		10.00	0.40	25	4.0	19.20	26.00	38.00		26.00	0.53	49	2.0
4.40	10.00	16.00		10.00	0.53	19	5.3	19.40	30.00	38.00		30.00	0.67	45	2.2
4.60	10.00	18.00		10.00	0.40	25	4.0	19.60	22.00	32.00		22.00	0.93	24	4.2
4.80	14.00	20.00		14.00	0.67	21	4.8	19.80	18.00	32.00		18.00	0.93	19	5.2
<b>5.00</b>	<b>12.00</b>	<b>22.00</b>		<b>12.00</b>	<b>0.53</b>	<b>23</b>	<b>4.4</b>	<b>20.00</b>	<b>18.00</b>	<b>32.00</b>		<b>18.00</b>	<b>0.93</b>	<b>19</b>	<b>5.2</b>
5.20	12.00	20.00		12.00	0.40	30	3.3								
5.40	10.00	16.00		10.00	0.40	25	4.0								
5.60	14.00	20.00		14.00	0.53	26	3.8								
5.80	14.00	22.00		14.00	0.53	26	3.8								
<b>6.00</b>	<b>10.00</b>	<b>18.00</b>		<b>10.00</b>	<b>0.67</b>	<b>15</b>	<b>6.7</b>								
6.20	10.00	20.00		10.00	0.27	37	2.7								
6.40	20.00	24.00		20.00	0.53	38	2.7								
6.60	16.00	24.00		16.00	0.53	30	3.3								
6.80	10.00	18.00		10.00	0.40	25	4.0								
<b>7.00</b>	<b>14.00</b>	<b>20.00</b>		<b>14.00</b>	<b>0.80</b>	<b>18</b>	<b>5.7</b>								
7.20	12.00	24.00		12.00	0.80	15	6.7								
7.40	14.00	26.00		14.00	1.07	13	7.6								
7.60	20.00	36.00		20.00	0.67	30	3.4								
7.80	8.00	18.00		8.00	0.40	20	5.0								
<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>14.00</b>		<b>8.00</b>	<b>0.40</b>	<b>20</b>	<b>5.0</b>								
8.20	10.00	16.00		10.00	0.67	15	6.7								
8.40	8.00	18.00		8.00	0.67	12	8.4								
8.60	10.00	20.00		10.00	0.53	19	5.3								
8.80	10.00	18.00		10.00	0.40	25	4.0								
<b>9.00</b>	<b>10.00</b>	<b>16.00</b>		<b>10.00</b>	<b>0.53</b>	<b>19</b>	<b>5.3</b>								
9.20	10.00	18.00		10.00	0.53	19	5.3								
9.40	10.00	18.00		10.00	0.93	11	9.3								
9.60	10.00	24.00		10.00	0.93	11	9.3								
9.80	20.00	34.00		20.00	1.33	15	6.7								
<b>10.00</b>	<b>24.00</b>	<b>44.00</b>		<b>24.00</b>	<b>1.33</b>	<b>18</b>	<b>5.5</b>								
10.20	20.00	40.00		20.00	0.93	22	4.7								
10.40	16.00	30.00		16.00	0.67	24	4.2								
10.60	16.00	26.00		16.00	0.67	24	4.2								
10.80	16.00	26.00		16.00	0.93	17	5.8								
<b>11.00</b>	<b>16.00</b>	<b>30.00</b>		<b>16.00</b>	<b>1.07</b>	<b>15</b>	<b>6.7</b>								
11.20	18.00	34.00		18.00	0.93	19	5.2								
11.40	22.00	36.00		22.00	1.33	17	6.0								
11.60	20.00	40.00		20.00	1.33	15	6.7								
11.80	20.00	40.00		20.00	1.07	19	5.4								
<b>12.00</b>	<b>24.00</b>	<b>40.00</b>		<b>24.00</b>	<b>1.20</b>	<b>20</b>	<b>5.0</b>								
12.20	22.00	40.00		22.00	1.33	17	6.0								
12.40	20.00	40.00		20.00	1.47	14	7.4								
12.60	24.00	46.00		24.00	1.33	18	5.5								
12.80	20.00	40.00		20.00	0.93	22	4.7								
<b>13.00</b>	<b>14.00</b>	<b>28.00</b>		<b>14.00</b>	<b>0.53</b>	<b>26</b>	<b>3.8</b>								
13.20	10.00	18.00		10.00	0.27	37	2.7								
13.40	8.00	12.00		8.00	0.53	15	6.6								
13.60	8.00	16.00		8.00	0.40	20	5.0								
13.80	8.00	14.00		8.00	0.40	20	5.0								
<b>14.00</b>	<b>8.00</b>	<b>14.00</b>		<b>8.00</b>	<b>0.67</b>	<b>12</b>	<b>8.4</b>								
14.20	14.00	24.00		14.00	0.53	26	3.8								
14.40	16.00	24.00		16.00	1.33	12	8.3								
14.60	24.00	44.00		24.00	1.07	22	4.5								
14.80	14.00	30.00		14.00	0.67	21	4.8								
<b>15.00</b>	<b>14.00</b>	<b>24.00</b>		<b>14.00</b>	<b>0.53</b>	<b>26</b>	<b>3.8</b>								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

# **VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE**

- **Metodo: NCEER R&W 1998**
- **Software: C-LIQ (GeologisMiki s.r.l.)**



**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

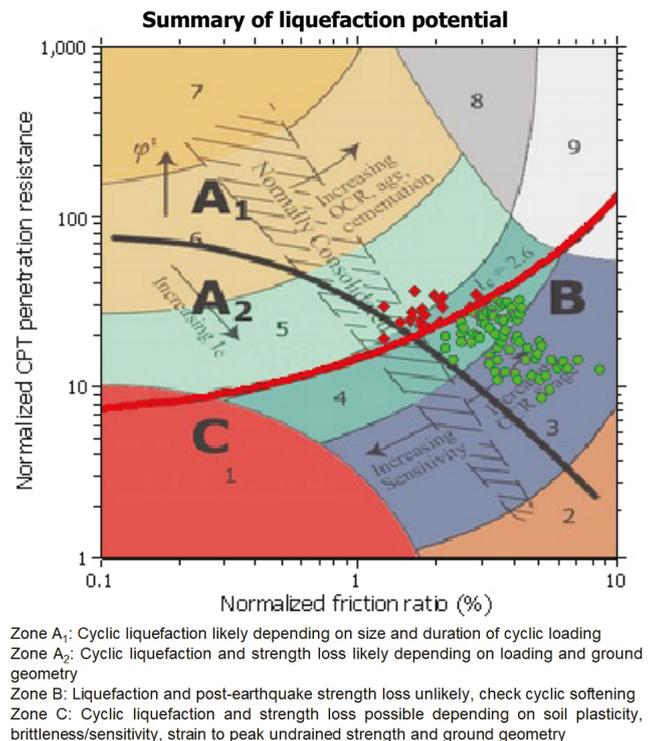
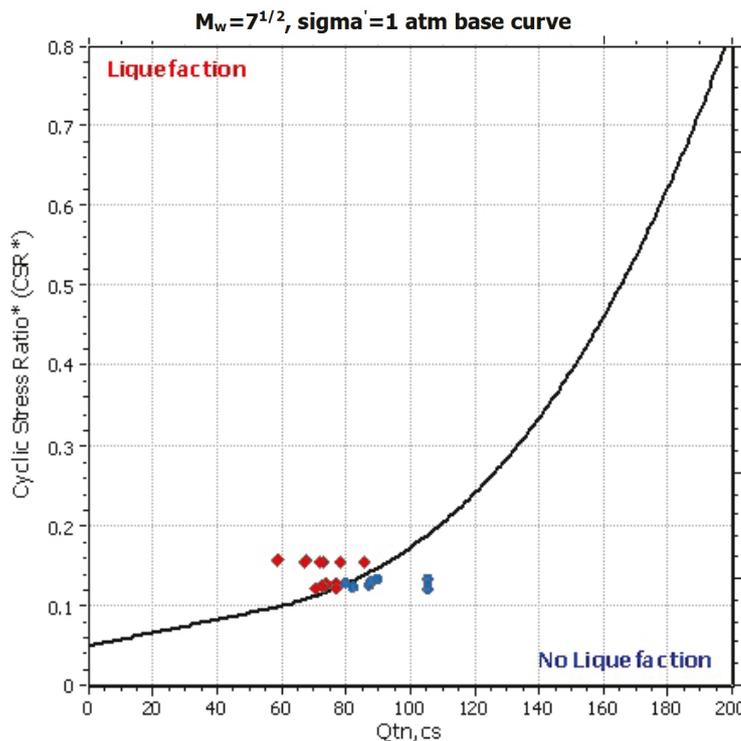
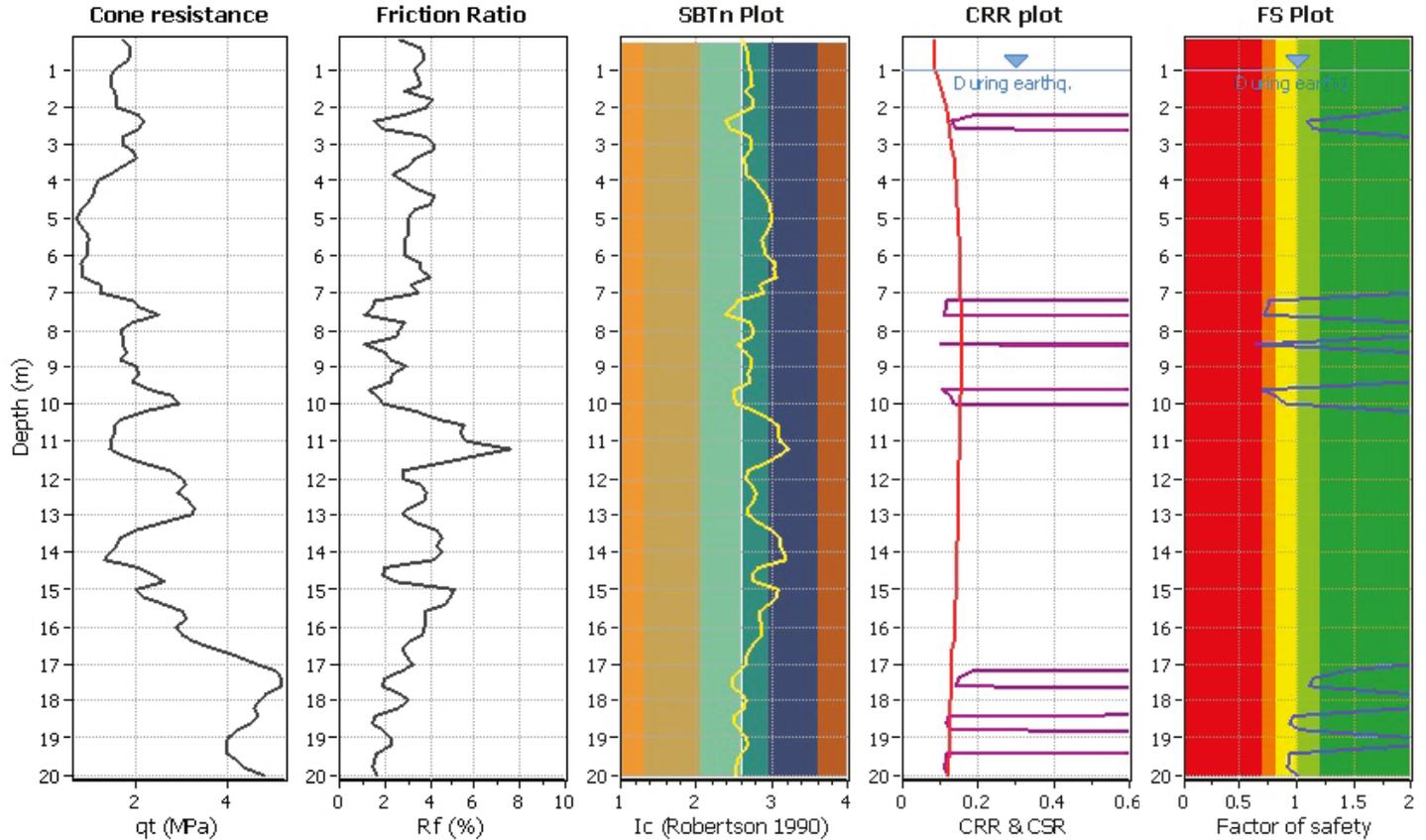
**Project title : Via Rubizzano**

**Location : San Pietro in Casale**

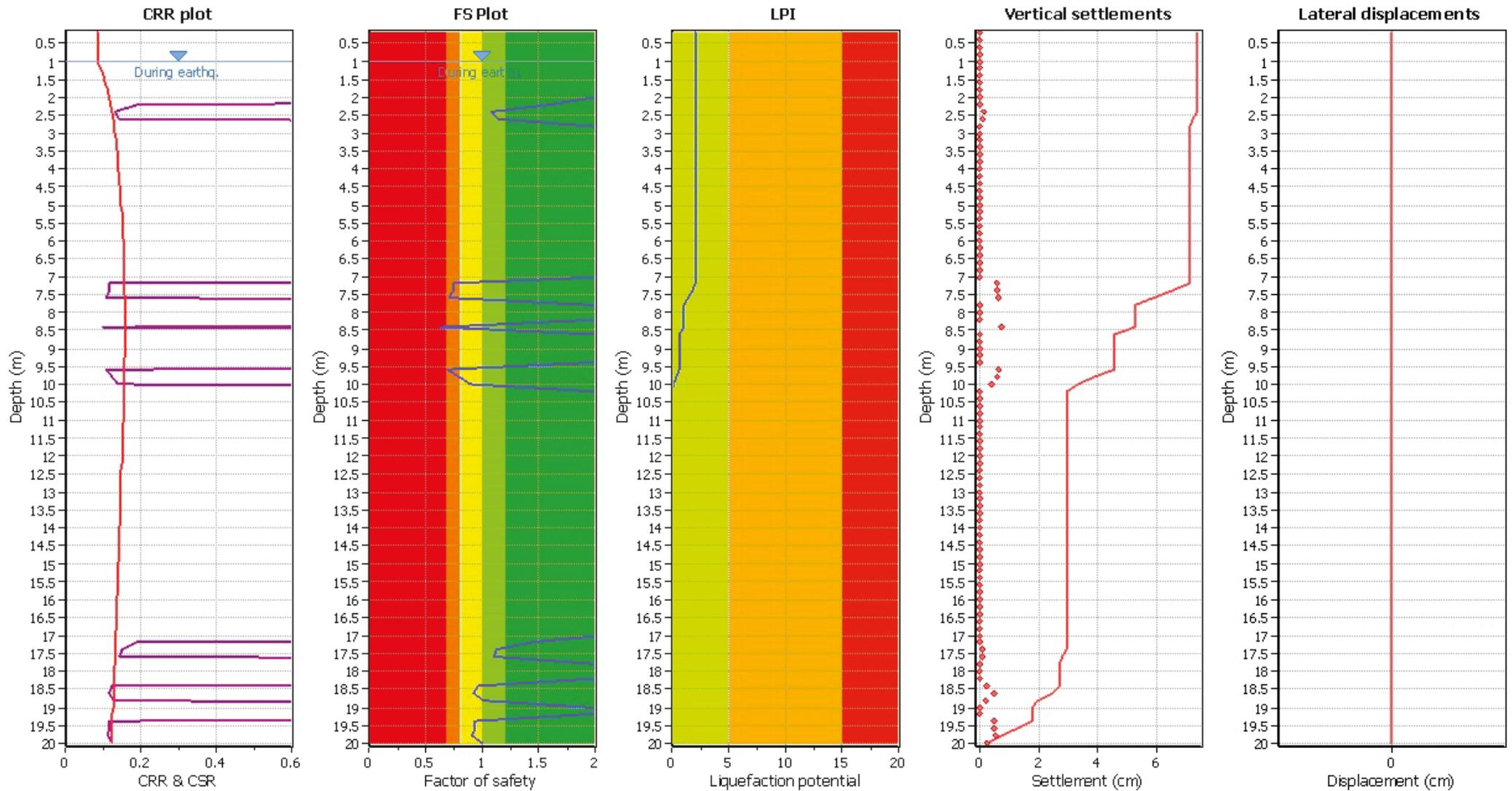
**CPT file : CPT1**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	NCEER (1998)	G. .T. (in-situ):	1.55 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G. .T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



### Liquefaction analysis overall plot



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_0$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.55 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	1.60	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	1.08	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	1.14	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	2.00	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	0.75	0.25	6.40	0.20	0.32
7.40	0.74	0.26	6.30	0.20	0.33	7.60	0.70	0.30	6.20	0.20	0.37
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	0.63	0.37	5.80	0.20	0.43
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	0.69	0.31	5.20	0.20	0.32
9.80	0.80	0.20	5.10	0.20	0.20	10.00	0.89	0.11	5.00	0.20	0.11
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	2.00	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	1.44	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	1.13	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	1.10	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	2.00	0.00	1.00	0.20	0.00
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	0.96	0.04	0.80	0.20	0.01
18.60	0.92	0.08	0.70	0.20	0.01	18.80	1.01	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	0.00

**:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)**

Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
19.40	0.94	0.06	0.30	0.20	0.00	19.60	0.93	0.07	0.20	0.20	0.00
19.80	0.92	0.08	0.10	0.20	0.00	20.00	0.99	0.01	0.00	0.20	0.00

**Overall liquefaction potential: 2.11**

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

LPI &gt; 15.00 - Liquefaction risk very high

**Abbreviations**

FS: Calculated factor of safety for test point

F<sub>L</sub>: 1 - FSw<sub>z</sub>: Function value of the extend of soil liquefaction according to depthd<sub>z</sub>: Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

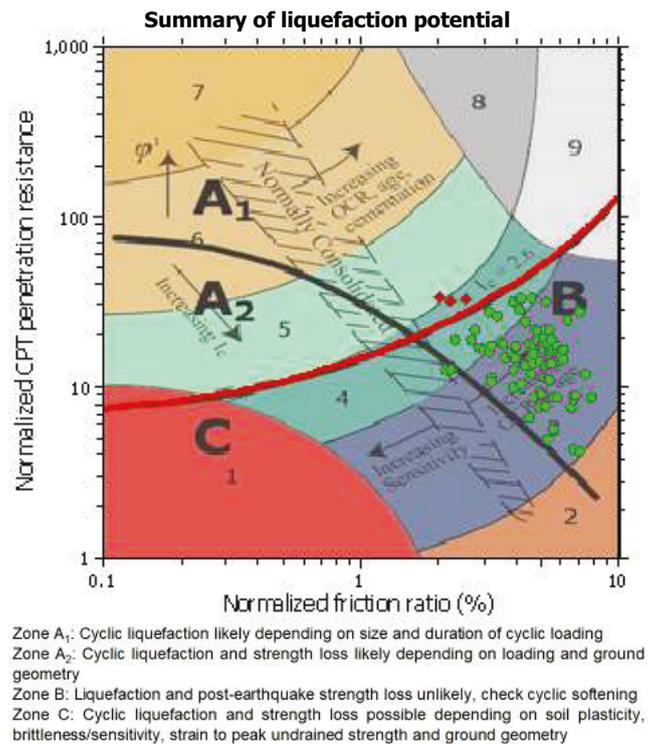
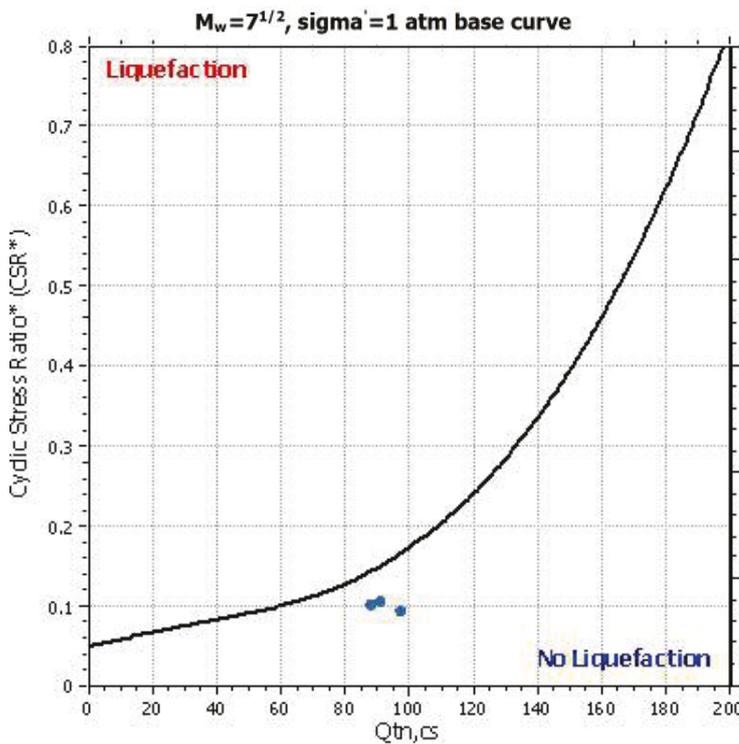
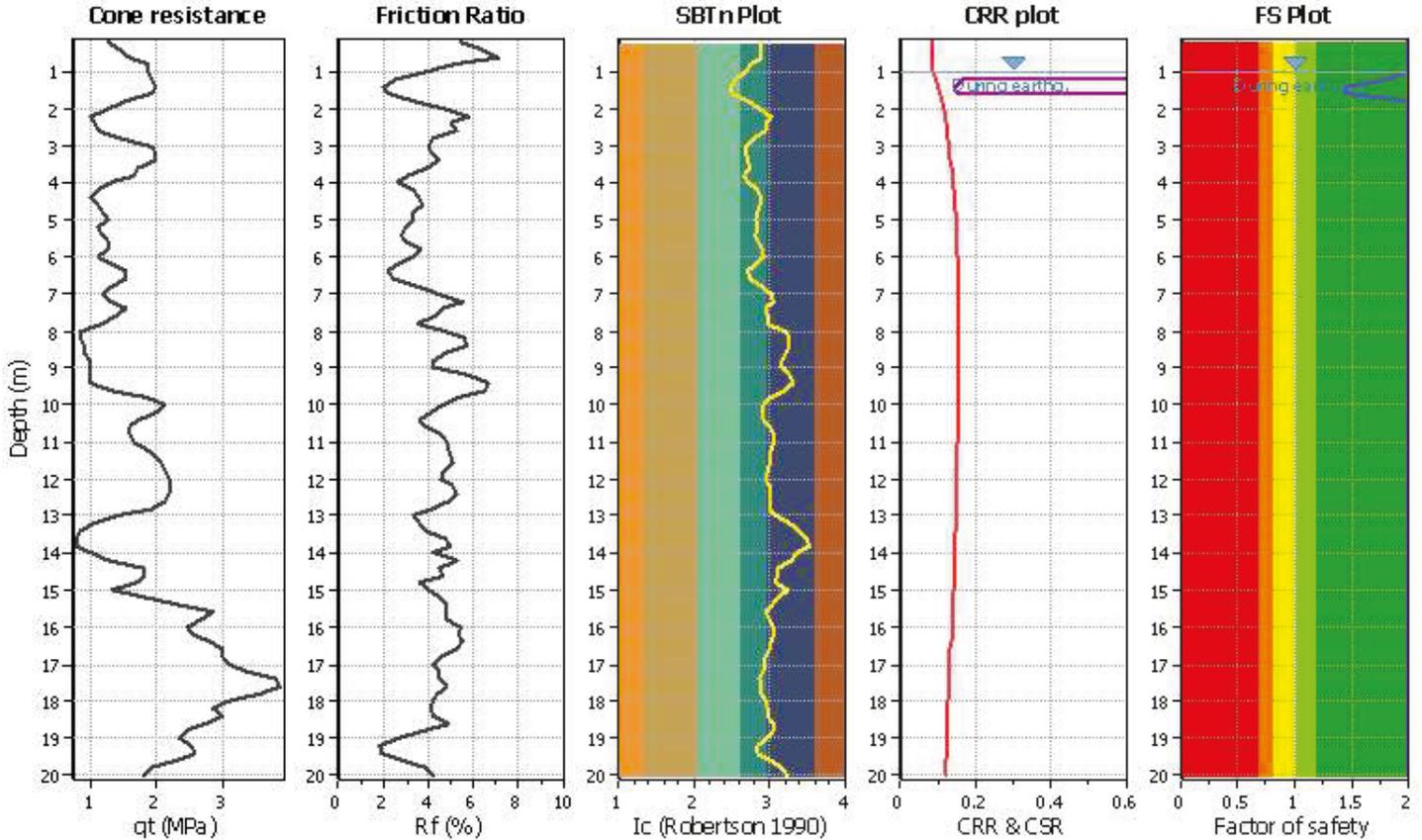
**Project title : Via Rubizzanoi**

**Location : San Pietro in Casale**

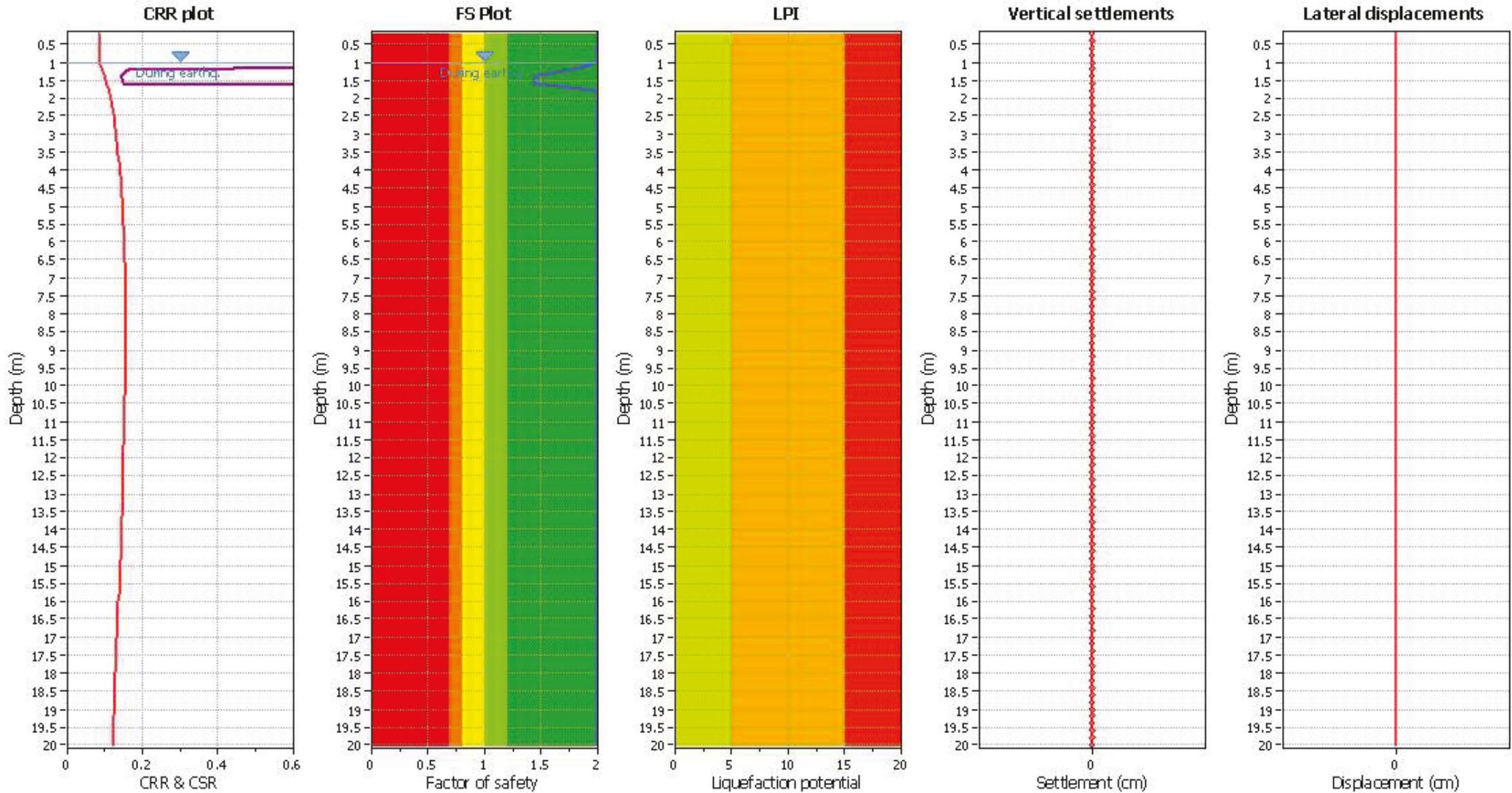
**CPT file : CPT3**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes		



### Liquefaction analysis overall plot



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>0</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

**F.S. color scheme**

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

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	1.81	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	1.45	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	1.43	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	2.00	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	2.00	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	2.00	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	2.00	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	2.00	0.00	1.00	0.20	0.00
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	2.00	0.00	0.80	0.20	0.00
18.60	2.00	0.00	0.70	0.20	0.00	18.80	2.00	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	0.00

**:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)**

Depth (m)	FS	$F_L$	$w_z$	$d_z$	LPI	Depth (m)	FS	$F_L$	$w_z$	$d_z$	LPI
19.40	2.00	0.00	0.30	0.20	0.00	19.60	2.00	0.00	0.20	0.20	0.00
19.80	2.00	0.00	0.10	0.20	0.00	20.00	2.00	0.00	0.00	0.20	0.00

**Overall liquefaction potential: 0.00**

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

LPI &gt; 15.00 - Liquefaction risk very high

**Abbreviations**

FS: Calculated factor of safety for test point

 $F_L$ : 1 - FS $w_z$ : Function value of the extend of soil liquefaction according to depth $d_z$ : Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

# **INDAGINI SISMICHE**

- MISURE CON TROMOGRAFO DIGITALE

## SAN PIETRO IN CASALE, VIA RUBIZZANO TR1 2019

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 27/01/00 00:32:37 Fine registrazione: 27/01/00 00:52:38

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

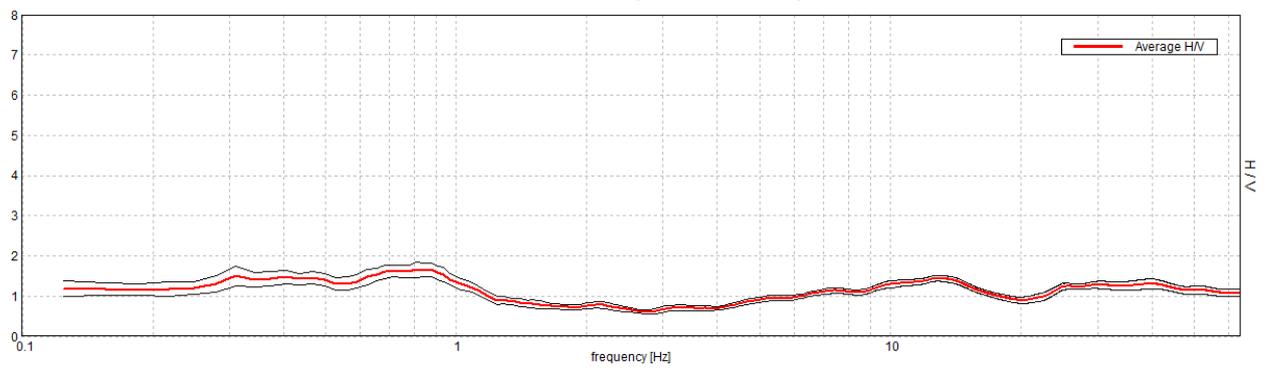
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

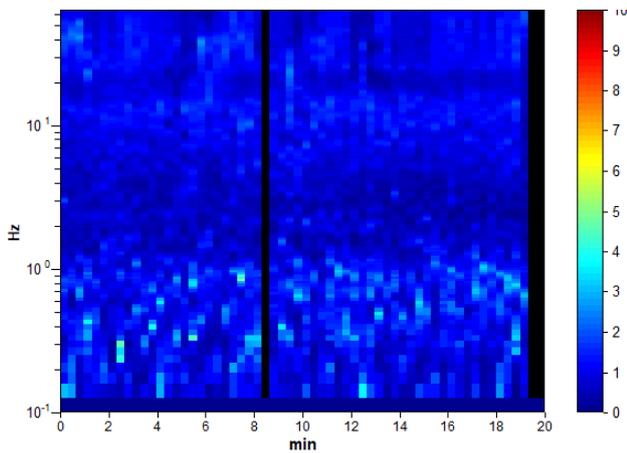
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

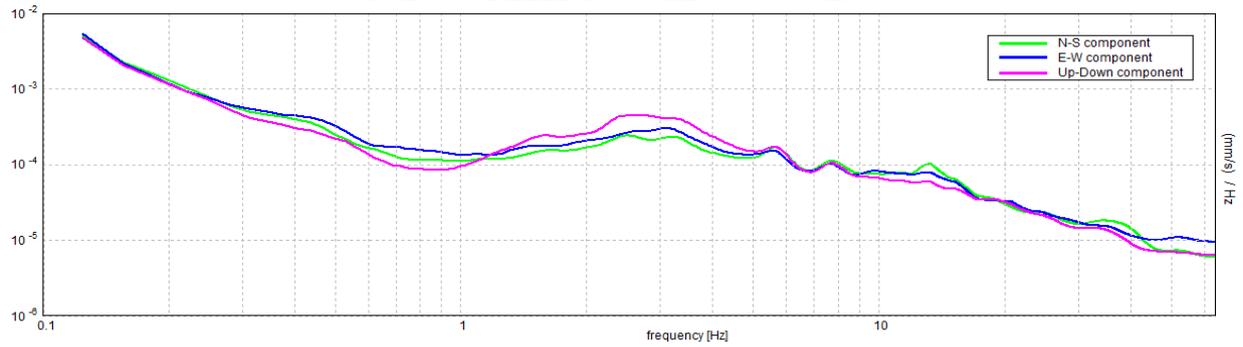
Picco H/V a  $0.81 \pm 12.95$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



### SERIE TEMPORALE H/V

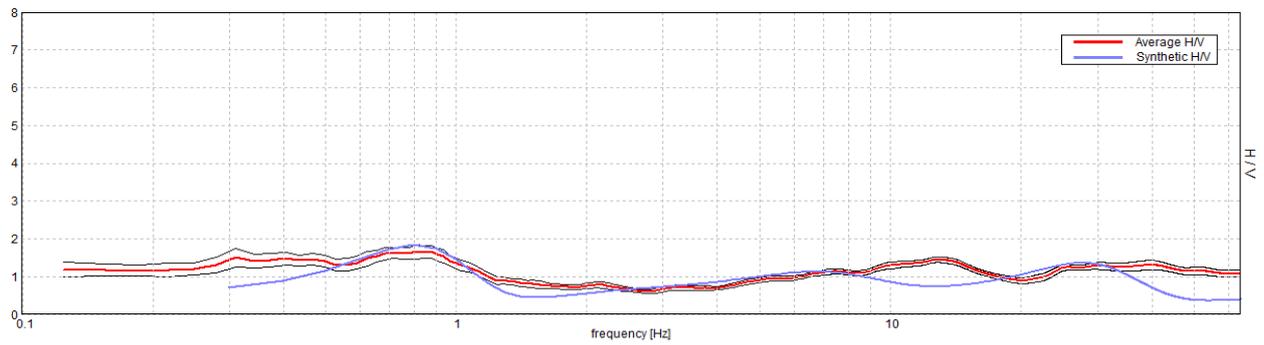


### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a  $0.81 \pm 12.95$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	120	0.47
7.00	6.00	200	0.46
77.00	70.00	265	0.44
inf.	inf.	470	0.42

Vs(0.0-30.0)=240m/s

