



**INTERCONNESSIONE A/14 DIR CON LA S.P. 253R  
SAN VITALE NEL COMUNE DI BAGNACAVALLO IN  
LOCALITA' BORGO STECCHI  
CUP J31B16000320009**

**PROGETTO DI FATTIBILITA'  
TECNICO-ECONOMICA**

Presidente: Sig. Michele De Pascale	Consigliere delegato ai LL.PP.-Viabilità: Arch. Nicola Pasi				
Dirigente responsabile del Settore: Ing. Paolo Nobile	Resp. del Servizio: Ing. Chiara Bentini				
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Chiara Bentini	_____ <i>Documento firmato digitalmente</i>				
PROGETTO STRADALE: Ing. Stefano Cassarini	_____ <i>Documento firmato digitalmente</i>				
STUDIO FATTIBILITA' AMBIENTALE: Ing. Francesco Mazza	_____ <i>Documento firmato digitalmente</i>				
INDAGINI GEOTECNICHE: Geol. Albertus Cecilius Aloysiu Van Zutphen	_____ <i>Documento firmato digitalmente</i>				
RILIEVI TOPOGRAFICI: Provincia di Ravenna	_____				
PROCEDURA ESPROPRIATIVA: Provincia di Ravenna	_____				
0	EMISSIONE				
Rev.	Descrizione	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data:

TITOLO ELABORATO:

**Relazione geologica-geotecnica e prove**

Elaborato num: <b>A.2.1</b>	Revisione: <b>1</b>	Data: <b>04/07/2019</b>	Scala:	Nome file: <b>421_INTESTAZIONI - tot_v2.dwg</b>
--------------------------------	------------------------	----------------------------	--------	--

---

# COMUNE BAGNACAVALLO

(Provincia di Ravenna)

---

## RELAZIONE

- *CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO*
  - *AZIONE SISMICA*
  - *INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA*
- 

INTERCONNESSIONE DELLA A14DIR CON LA SP 253R SAN VITALE  
NEL COMUNE DI BAGNACAVALLO IN LOCALITA' BORGO STECCHI  
CODICE UNICO PROGETTO J31B16000320009

---



**Provincia di Ravenna**

**Settore Lavori Pubblici**

U.O. Progettazione strade ed Espropri

---

Versione	Data	
1	Novembre 2018	



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas.  
di Van Zuijphen, Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)



---

# Indice

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI</b> .....	<b>7</b>
2.1. GEOLOGIA .....	7
2.2. LINEAMENTI STRUTTURALI .....	12
<b>3. LINEAMENTI CLIMATOLOGICI</b> .....	<b>15</b>
<b>4. IDRO-GEOMORFOLOGIA</b> .....	<b>15</b>
<b>5. IDROGEOLOGIA</b> .....	<b>19</b>
<b>6. LITOLOGIA SUPERFICIALE E PEDOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
<b>7. INDAGINI GEOGNOSTICHE</b> .....	<b>22</b>
7.1 PROVE PENETROMETRICHE .....	22
7.2 MISURE DEI MICROTREMORI .....	23
<b>8. MICROZONAZIONE SISMICA</b> .....	<b>27</b>
8.1 ASSESTAMENTI TERRENI COESIVI E GRANULARI POST-SISMA .....	32
8.2 ANALISI DEL RISCHIO DEI FENOMENI COSISMICI .....	32
8.3 CONSIDERAZIONE CONCLUSIVE IN MERITO ALLA DAL 2381/2015 SUGLI APPROFONDIMENTI DEL TERZO LIVELLO .....	34
<b>9. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE</b> .....	<b>35</b>
9.1 METODO UTILIZZATO PER LA VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI .....	35
9.1.1 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DELLE UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE DEL SITO INDAGATO .....	37
9.1.2 VALUTAZIONE DELLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) – DEFORMAZIONI IRREVERSIBILI .....	42
<b>10. CONCLUSIONI</b> .....	<b>45</b>
<b>APPENDICE</b> .....	<b>47</b>
ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	47
<b>ALLEGATI</b> .....	<b>57</b>

# 1. PREMESSA

La presente indagine è stata programmata allo scopo di fornire la base conoscitiva dei parametri geologici, sismici e geotecnici relativamente al nuovo progetto di interconnessione A/14 DIR con al S.P. 253R San Vitale nel comune di Bagnacavallo in località Borgo Stecchi. Tale progetto è una modifica al precedente previsto intervento di "Realizzazione di nuovo collegamento tra SP8 Naviglio Sud e la SP Naviglio Nord a Bagnacavallo -1° lotto – tratto compreso tra la SP8 Naviglio Sud e la ex SS253 S. Vitale.

In altri termini il presente studio identifica gli elementi principali della geologia locale facilitandone il confronto con le singole ipotesi progettuali. Inoltre, fornisce i necessari elementi sismici e geotecnici, permettendo di operare scelte consapevoli e ragionate.

La presente relazione è stata condotta seguendo le varie normative di legge e/o direttive di interesse, in particolare si è fatto riferimento:

- Al D.M. 11.03.88 (sez. H) e pubblicato sul supplemento ordinario della G.U. n.127 del 01.06.88,
- Alla Circolare Regionale (Dipartimento Ambiente e Territorio) n.1288 del 11.02.1983,
- Piano Territoriale Paesistico Regionale,
- Al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale,
- Alla Legge nazionale 236/88 sulle captazioni idriche per il consumo umano,
- Al Piano di Gestione per il Rischio Alluvioni,
- Alle Norme del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'ex Autorità di Bacino del Reno, ora Bacino Idrografico del fiume Po,
- D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni",
- Del.Reg.1677/2005 con indicazioni rispetto alle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica,
- All'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della ex L.R. 20/2000 "Indirizzi per gli studi di microzonizzazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione urbanistica" approvato con D.G.R. n. 2193 del 21-01-2015,
- Al Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Edilizio comunale.

Per la realizzazione dello studio in oggetto si è proceduto alla raccolta e selezione critica di tutti i dati bibliografici riguardanti il territorio di interesse ed un adeguato intorno; tali dati sono stati successivamente integrati tramite rilevamenti sul territorio. Inoltre, sono state analizzate le caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche del sottosuolo del territorio oggetto di studio, elaborando, alla luce di quanto emerso, una serie di considerazioni sui possibili rischi geologici del sito di progetto del raccordo stradale e dei relativi approfondimenti necessari per completare il quadro geologico, geotecnico e idrogeologico.

Pertanto, scopo della presente relazione sarà quella di individuare gli eventuali rischi geologici, sismici e geotecnici, e di indicare eventuali opportune azioni di mitigazione degli stessi a cui si dovrà attenere in fase di realizzazione del progetto in esame. Ovvero della necessità di realizzare ulteriori analisi di approfondimento.

Brevemente si riporta la relazione del rischio a cui ci si è fatto riferimento nel presente elaborato.

$$R = H * V * E$$

Dove:

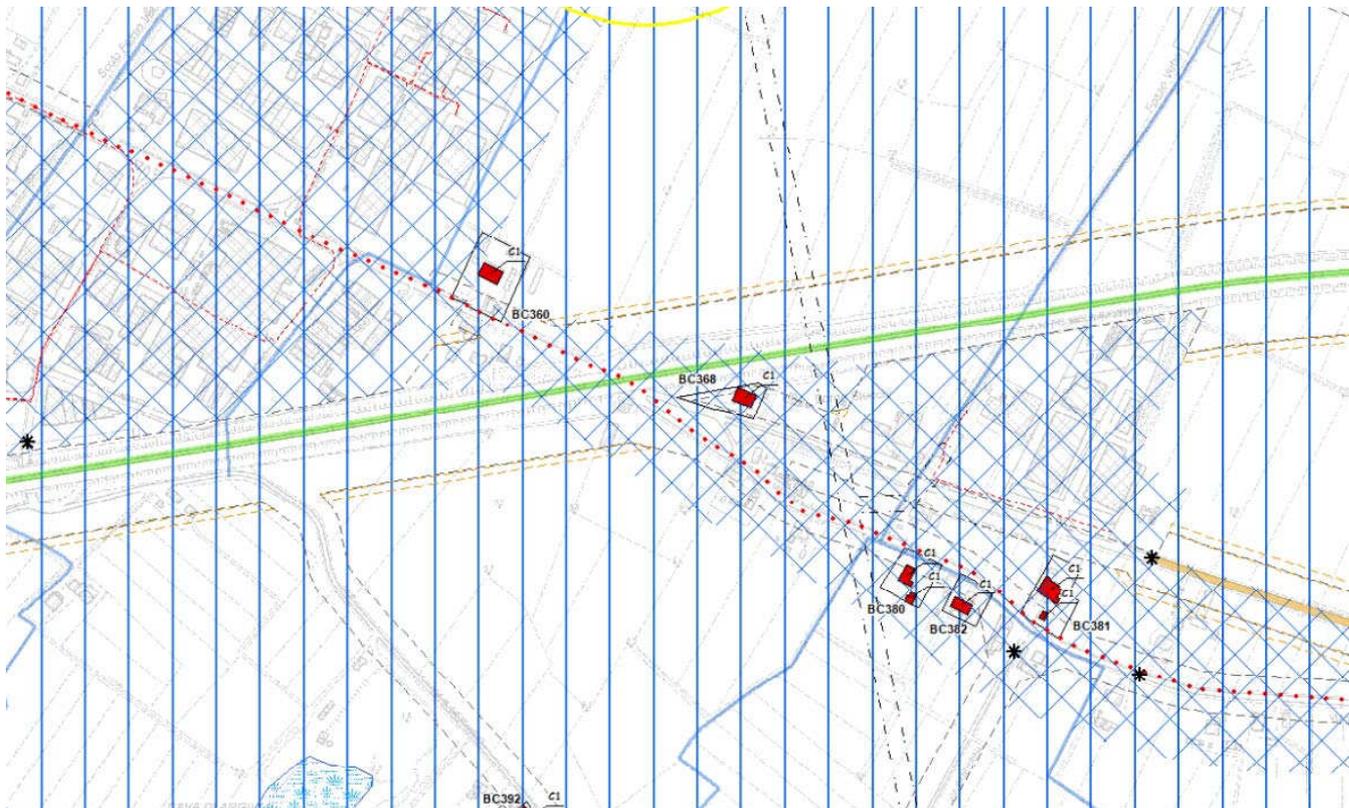
- R = rischio
- H = pericolosità
- V = vulnerabilità
- E = elementi a rischio

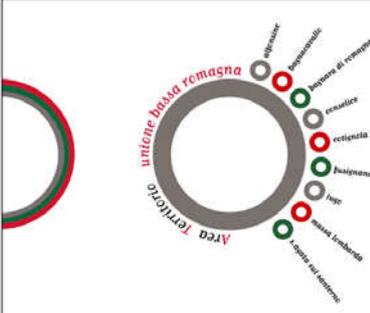




Dalla tavola dei vincoli del RUE adottato, in salvaguardia (D.C.C. n. 63 del 27/11/2017), si osserva che le criticità geologiche principali riguardano la presenza:

- di aree soggette ad alluvioni poco frequenti (P2) (scheda dei vincoli VS07);
- in parte, in corrispondenza della San Vitale, di approfondimento aree di terzo livello (studio MS9 (Scheda dei vincoli VS13), per le quali il sito in esame ricade in aree caratterizzate da Indice di liquefazione  $IL \leq 2$  basso.





B  
a  
g  
n  
a  
c  
a  
v  
a  
l  
l  
o

**Carta Unica del Territorio**  
**Unione Bassa Romagna**

TAVOLA DEI VINCOLI

**TAVOLA BC4**  
scala 1:5.000

APPROVATO Delibera di C.C. n. \_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

<p><b>Sindaco del Comune di Bagnacavallo</b></p> <p><b>Assessore competente</b></p> <p><b>Segretario Comunale</b></p> <p><b>Responsabile Unico del Procedimento</b></p> <p><b>Progettisti</b></p>	<p>Eleonora Prati</p> <p>Matteo Giacomoni</p> <p>Paolo Cantagalli</p> <p>Laura Delpiatz</p> <p>Servizio di Piano</p>
---	--

## Legenda

Contine comunale

Territorio urbanizzato

### AMBIENTE E PAESAGGIO

Aree soggette a vincolo paesaggistico (Scheda dei vincoli AP01)

Sistema delle aree forestali (Scheda dei vincoli AP02)

Alberi monumentali (Scheda dei vincoli AP04)

Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (Scheda dei vincoli AP05)

Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale (Scheda dei vincoli AP06)

Paleodossi fluviali particolarmente pronunciati (Scheda dei vincoli AP08)

Paleodossi di modesta rilevanza (Scheda dei vincoli AP08)

Aree di riequilibrio ecologico (Scheda dei vincoli AP09)

Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS) (Scheda dei vincoli AP10)

### STORICO CULTURALE E TESTIMONIALE

Immobili interessati da specifiche disposizioni di vincolo (Scheda dei vincoli SCT01)

Immobili accentrati o sparsi di valore storico-architettonico soggetti a restauro scientifico (Scheda dei vincoli SCT02)

Immobili accentrati o sparsi di valore storico-architettonico soggetti a restauro e risanamento conservativo (Scheda dei vincoli SCT02)

fuori dal centro storico:

Edifici di interesse storico-architettonico e relativa categoria (Scheda dei vincoli SCT02)

Edifici di pregio storico-culturale e testimoniale e relativa categoria (Scheda dei vincoli SCT02)

Aree di pertinenza dell'edificio tutelato e relativo numero di scheda (Scheda dei vincoli SCT02)

Centri storici (Scheda dei vincoli SCT03)

Canali storici (Scheda dei vincoli SCT04)

Viabilità storica (Scheda dei vincoli SCT05)

Bonifiche storiche di pianura (Scheda dei vincoli SCT07)

Zone ed elementi di interesse storico-archeologico (Scheda dei vincoli SCT10):  
B - Area a basso rischio archeologico  
M - Area a medio rischio archeologico

Maceri e specchi d'acqua (Scheda dei vincoli SCT11)

### VULNERABILITA' E SICUREZZA

Scoli e canali principali e secondari (Scheda dei vincoli VS01)

Fasce di pertinenza fluviale (Scheda dei vincoli VS02)

Aree ad alta probabilità di inondazione (Scheda dei vincoli VS04)

Aree a rischio moderato di esondazione nel Bacino del Po (fascia C) (Scheda dei vincoli VS06)

Mappa di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni

Corsi d'acqua naturali (Scheda dei vincoli VS07)

Alluvioni poco frequenti (P2)

Alluvioni frequenti (P3)

Reticolo secondario di pianura (Scheda dei vincoli VS08)

Alluvioni poco frequenti (P2)

Alluvioni frequenti (P3)

Siti sui quali è necessaria una bonifica (Scheda dei vincoli VS10)

Siti bonificati con prescrizione (Scheda dei vincoli VS10)

Aree soggette a particolare amplificazione del rischio sismico: aree che non necessitano di approfondimento (I livello) (Scheda dei vincoli VS12)

Aree soggette a particolare amplificazione del rischio sismico: aree che necessitano dell'analisi semplificata (II livello) (Scheda dei vincoli VS12)

Aree soggette a particolare amplificazione del rischio sismico: aree per le quali è richiesta la verifica del loro possibile inserimento nelle zone che chiedono un'analisi approfondita (III livello) (Scheda dei vincoli VS12)

Approfondimento aree di terzo livello (studio MS) (Scheda dei vincoli VS13)

Indice di liquefazione

IL <= 2 basso

2 > IL <= 5 medio

5 > IL <= 15 alto (elevato)

Unità strutturale interferente (studio CLE) (Scheda dei vincoli VS13)

## IMPIANTI E INFRASTRUTTURE

Classificazione delle strade (Scheda dei vincoli II01):

Categoria C con fascia ampliata

Categoria C

\* Limite del centro abitato da Codice della Strada (Scheda dei vincoli II01)

Sede stradale e relativa fascia di rispetto (Scheda dei vincoli II01)

Fascia di rispetto stradale con ampliamento (Scheda dei vincoli II01)

Sede ferroviaria e relativa fascia di rispetto (Scheda dei vincoli II02)

Cimiteri (Scheda dei vincoli II04)

Fascia di rispetto dei cimiteri (Scheda dei vincoli II04)

Depuratori, discariche, centro integrati rifiuti (Scheda dei vincoli II05)

Fascia di rispetto dei depuratori, discariche e centro integrati rifiuti (Scheda dei vincoli II05)

Elettrodotti media e alta tensione e relativa fascia di attenzione (Scheda dei vincoli II06)

Elettrodotti media e alta tensione interrati (Scheda dei vincoli II06)

Metanodotti e relativa fascia di attenzione (Scheda dei vincoli II07)

Fascia di rispetto di 500 metri dal confine provinciale (Scheda dei vincoli II10)

**Carta Unica del Territorio  
Unione Bassa Romagna**

TAVOLA DEI VINCOLI

LEGENDA  
scala 1:5.000

APPROVATO: Delibera di C.C. n. \_\_\_ del \_\_\_\_\_

<b> Sindaco del Comune di Bagnacavallo</b>	Enrica Forni
<b> Assessore competente</b>	Matteo Giacomini
<b> Segretario Comunale</b>	Paola Carlucci
<b> Responsabile Unico del Procedimento</b>	Laura Deligat
<b> Progettista</b>	Servizio di Piano

B  
a  
s  
t  
a  
c  
a  
v  
a  
l  
l  
o

**Responsabili dell' Area Territoriale**  
Marco Modesti

**Servizio di riferimento Comune di Bagnacavallo**  
Gabriela Montanari

**Autorità di progettazione e collaudi**  
Luca Baccarelli  
Laura Deligat  
Mirilla Lana  
Gabriela Montanari  
Pamela Ricci Maccarini

**Hanno contribuito alle elaborazioni della CPU**  
Registralore Enrica  
Marco Montanari  
Erosio Comandatore Unione  
Marilinda Baroni

## 2. LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI

### 2.1. GEOLOGIA

Le caratteristiche fisiche generali, la composizione litologica, l'assetto strutturale, il grado di stabilità attuali di un territorio sono la risultante e la sintesi della sua evoluzione geologica.

Per una migliore comprensione della geologia del territorio in esame, risulta utile avere un quadro, sia pure schematico e riassuntivo, dei lineamenti e della storia geologica della più ampia unità regionale di cui l'area in esame è parte.

Il territorio dove si trova la località di Borgo Stecchi, in comune di Bagnacavallo, è inserito, anche se in modo marginale, nel vasto bacino sedimentario della Valle Padana e più precisamente nel lembo sud-orientale della stessa, delimitato a Nord dal corso del Po e a Sud dalle propaggini collinare dell'Appennino Romagnolo.

La storia geologica di questa pianura, la sua genesi e le sue vicissitudini evolutive possono essere ricondotte, nel loro insieme, ad un lento e progressivo ricoprimento del settore meridionale della fossa occupata dall'alto Adriatico già a partire dalla fase centrale della orogenesi alpina, da un lato, e di quella appenninica, dall'altro, cioè nell'oligocene, come confermano le risultanze delle perforazioni condotte nell'area per ricerche di idrocarburi.

L'attuale assetto geologico è la risultante di un complesso avvicendamento di fasi erosive in alternanza a fasi prevalentemente sedimentarie, sia in senso verticale sia in senso orizzontale, in relazione al perdurare di una dinamica di abbassamenti del substrato, di fenomeni di subsidenza del materasso alluvionale che si stava formando, con conseguenti arresti della regressione marina o addirittura episodi di ingressione e formazione di fasi lagunari lungo la fascia preappenninica.

Solo nel Quaternario più recente l'assetto tettonico manifesta una sorta di equilibrio raggiunto e, alla prevalente tendenza alla subsidenza e deposizione prevalentemente marina, subentra un periodo di più estesi fenomeni sedimentari fluviali, ai quali è concomitante il progressivo ritiro del mare verso la configurazione dell'attuale costa.

Il Quaternario è contraddistinto da una fase deposizionale marina iniziale (Pleistocene) e una fase deposizionale continentale (Olocene) che prosegue anche attualmente.

La stratigrafia pleistocenica presenta frequenti variazioni litologiche. Le sabbie si intercalano a sedimenti più fini limoso sabbiosi o limoso argillosi, e nelle parti sommitali si fanno sempre più frequenti litotipi di ambiente lagunare salmastro.

La stratigrafia olocenica è dominata dalla più recente regressione marina in concomitanza con le grandi glaciazioni intervallate da lunghi periodi di clima più mite durante i quali prevale l'azione di trasporto dei numerosi corsi d'acqua.

Il limite Olocene-Pleistocene, cioè alluvioni-Quaternario marino, presenta una profondità di circa 60÷80m in corrispondenza dell'allineamento Massa Lombarda - Lugo - Bagnacavallo, risalendo lateralmente fra i 20 e 40m in corrispondenza delle zone di Alfonsine e di Cotignola - Bagnara.

Da quanto esposto risulta che il bacino subsidente padano, ed in particolare il suo settore sud-orientale, è un'area geologicamente giovane e conseguentemente instabile. Questo carattere di instabilità permane tuttora.

Infatti, in base alla ripetizione delle livellazioni I.G.M., si è verificato, ed è probabilmente ancora in atto, un innalzamento delle regioni poste ad occidente dell'asse Genova-Brescia, ed un abbassamento ad oriente con epicentro nel delta del Po, ed indici più elevati nella costa adriatica.

Dalla carta geologica, risulta una base del Pliocene posto a circa -3.000 m sotto il livello mare.

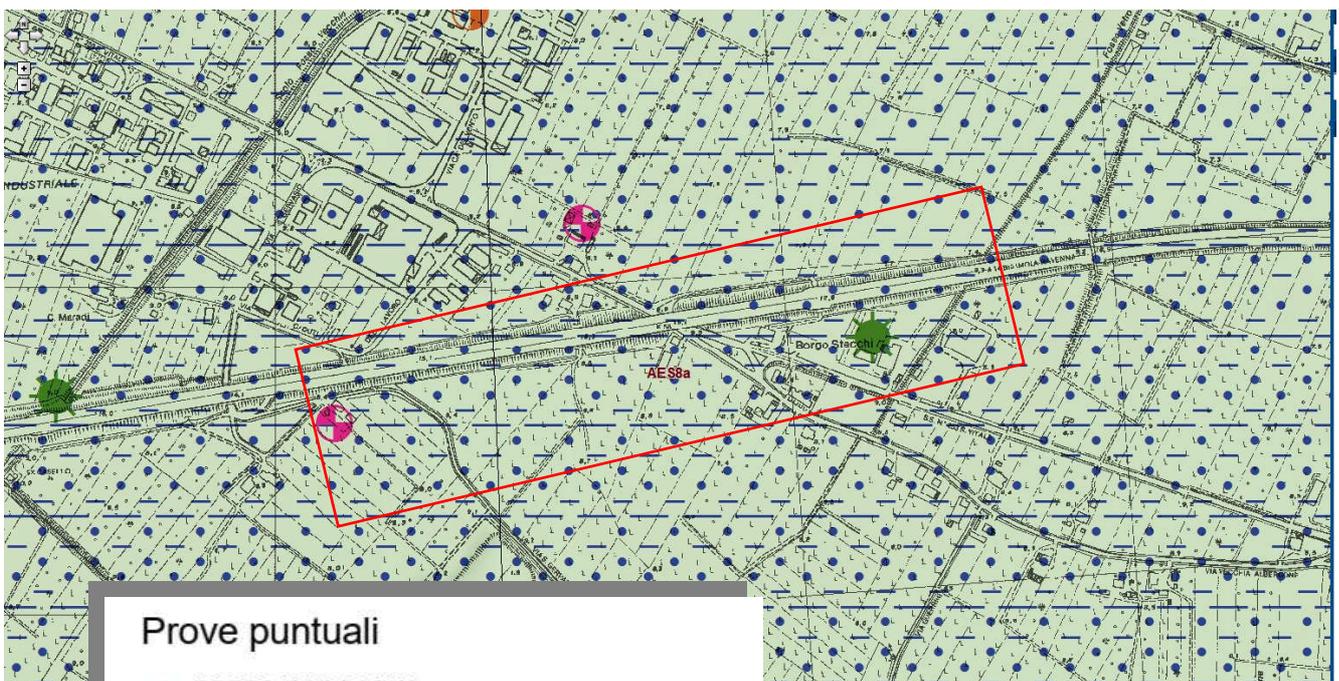
I terreni d'interesse sono tipici della bassa pianura, cioè caratterizzati da depositi fini e medio-fini formati per successive fasi di esondazioni del reticolo idrografico.

In particolare, l'area di interesse è inserita nella bassa pianura, che si estende a quote inferiori di 8÷9m sul livello mare, ed è costituita da alluvionali depositatesi in gran parte in età storica, in particolare età post-romana, a granulometria prevalentemente fine (sabbie, limi e argille), con suoli calcarei poco evoluti. Essa si caratterizza, sotto l'aspetto geomorfologico, per una "freschezza" delle morfologie fluviali, tra cui sono riconoscibili soprattutto i dossi e paleodossi fluviali, cioè gli argini naturali subattuali o estinti dei principali corsi d'acqua.

Il corso d'acqua naturale principale presente nell'area circostante il sito è il Fiume Lamone che scorre alla distanza di circa 1840m a Est, ed il Torrente Senio, affluente del Fiume Reno, che scorre arginato e pensili, alla distanza di circa 4800m a Ovest del sito di interesse.

Il principale corso d'acqua principale del sistema di bonifica per il sito in esame è costituito dallo Scolo Fosso Vecchio, che scorre verso Ovest, alla distanza di circa 600 m dal sito di progetto.

La geologia dell'area è caratterizzata da coperture quaternarie appartenenti all'Unità di Modena (AES8a): Sabbia Limoso Argillosa – Piana alluvionale - Deposito di canale, argine e rotta fluviale.



#### Prove puntuali

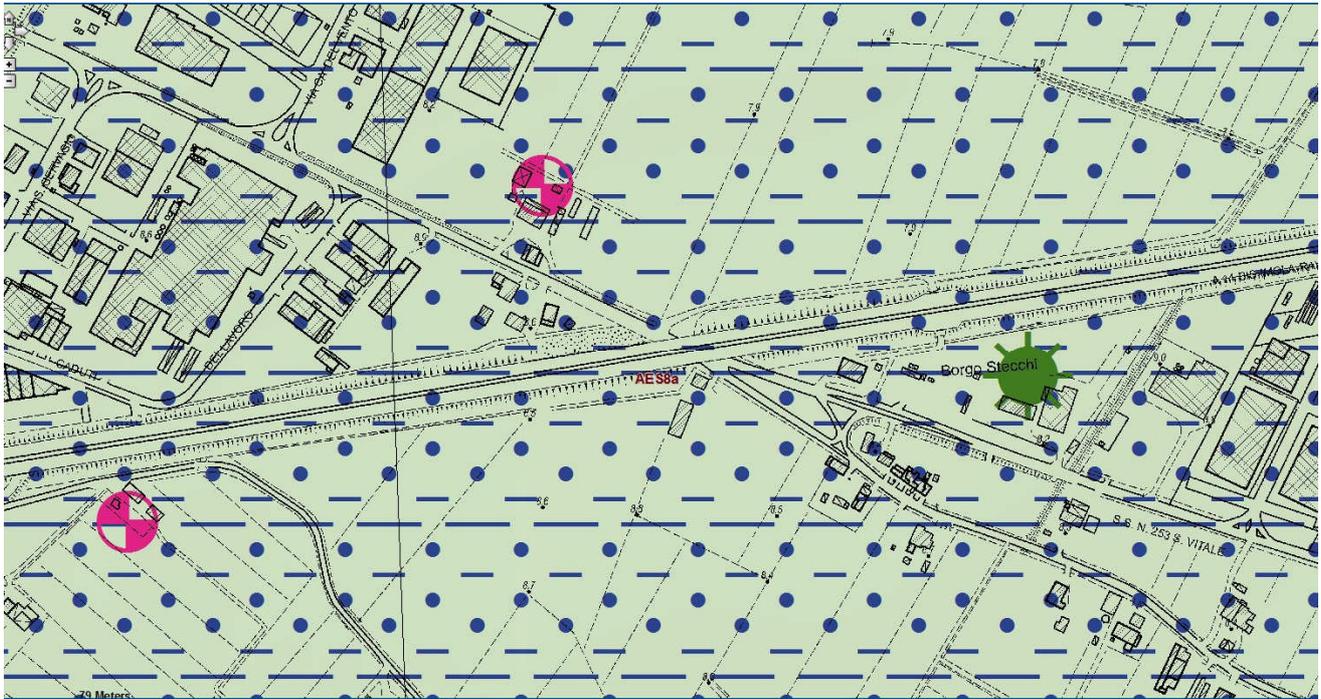
- *pozzo per acqua*
- *prova CPT con punta elettrica con piezocono*
- *prova CPT con punta meccanica*

#### Ambienti deposiz. e litologie (10K)

■ *Sabbia Limoso Argillosa - Piana alluvionale*

#### Coperture quaternarie (10K)

■ *AES8a - Unità di Modena*



	<b>AES8 - Subsistema di Ravenna</b>
	<b>AES8a - Unità di Modena</b>

### AES8 - Subsistema di Ravenna

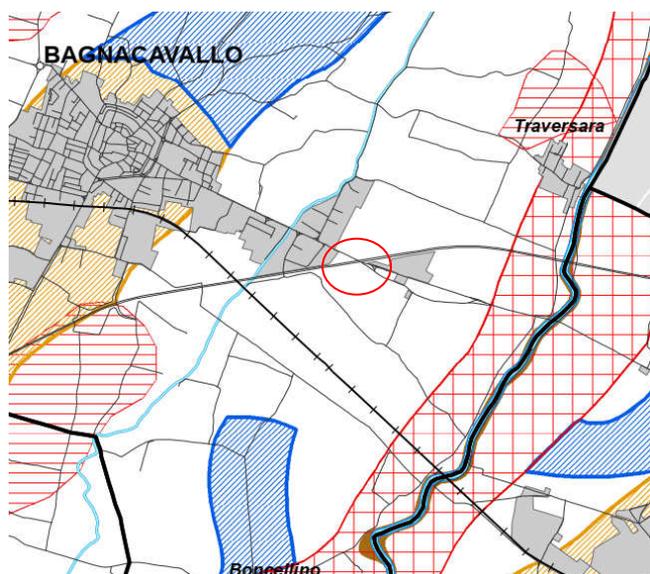
Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. L'unità comprende più ordini di terrazzo nelle zone intravallive. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvion Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è circa 20m.

*Pleistocene sup. - Olocene*

### AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati (primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive), deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Nella costa e nel Mare Adriatico sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia passanti ad argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C Lo spessore massimo dell'unità è generalmente di alcuni metri, talora plurimetrico.

*Olocene*



Piano strutturale comunale associato  
bassa romagna



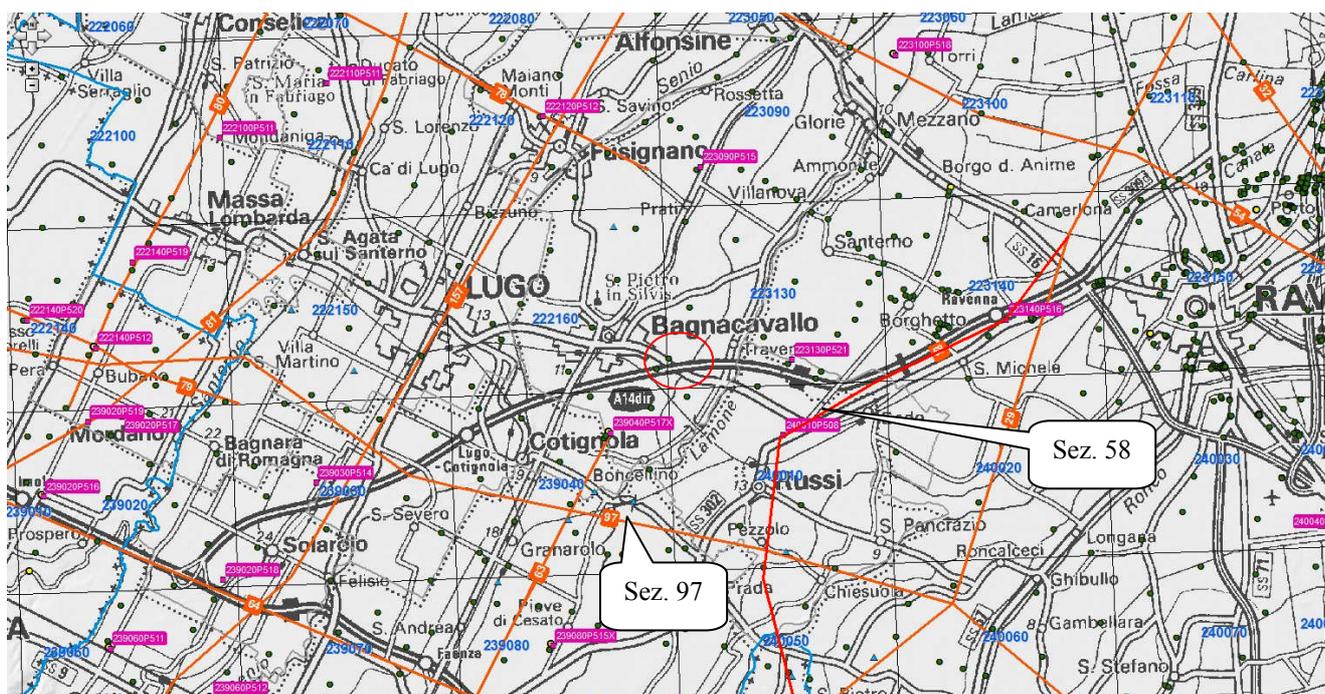
marzo 2009  
**QUADRO CONOSCITIVO**  
Sistema naturale ambientale  
**CONTROEDUZIONI**

Tavola 29 (SNA13) - Geomorfologia  
(rif. Carta 1-1 elaborato specialistico "Geologia, ambiente, sismica")

#### Geomorfologia

-  Aree depresse
  -  Ventagli di esondazione
  -  Argini
- Dossi di pianura e calanchi (art. 3.20 PTCP)
-  Paleodossi fluviali particolarmente pronunciati (art. 3.20a PTCP)
  -  Dossi di ambito fluviale recente (art. 3.20b PTCP)
  -  Paleodossi di modesta rilevanza che hanno perso la morfologia del microrilievo originario (art. 3.20c)
  -  Paleodossi di modesta rilevanza da sottoporre a direttiva di cui al comma 8 (art. 3.20c)

Sezioni geologiche tratte dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna





## 2.2. LINEAMENTI STRUTTURALI

Lo schema strutturale locale è caratterizzato da uno stile a pieghe, di norma asimmetriche con vergenza verso NE, ad andamento NW-SE con frequenti ondulazioni assiali ed una immersione generale verso SE.

Nei terreni neogenici il piegamento è avvenuto in due fasi distinte tra Miocene e Pliocene e prima del Pliocene medio. La seconda fase ha influito maggiormente nell'area emilano-romagnola, dove la discordanza tra i termini del Miocene e quelli del Pliocene inferiore è attenuata, mentre si osserva un più accentuato piegamento ed una maggiore erosione dei termini del pliocene inferiore.

Ai fenomeni plicativi si sovrappone la già citata subsidenza differenziale, con deposizione più intensa nelle sinclinali e minore al culmine delle anticlinali.

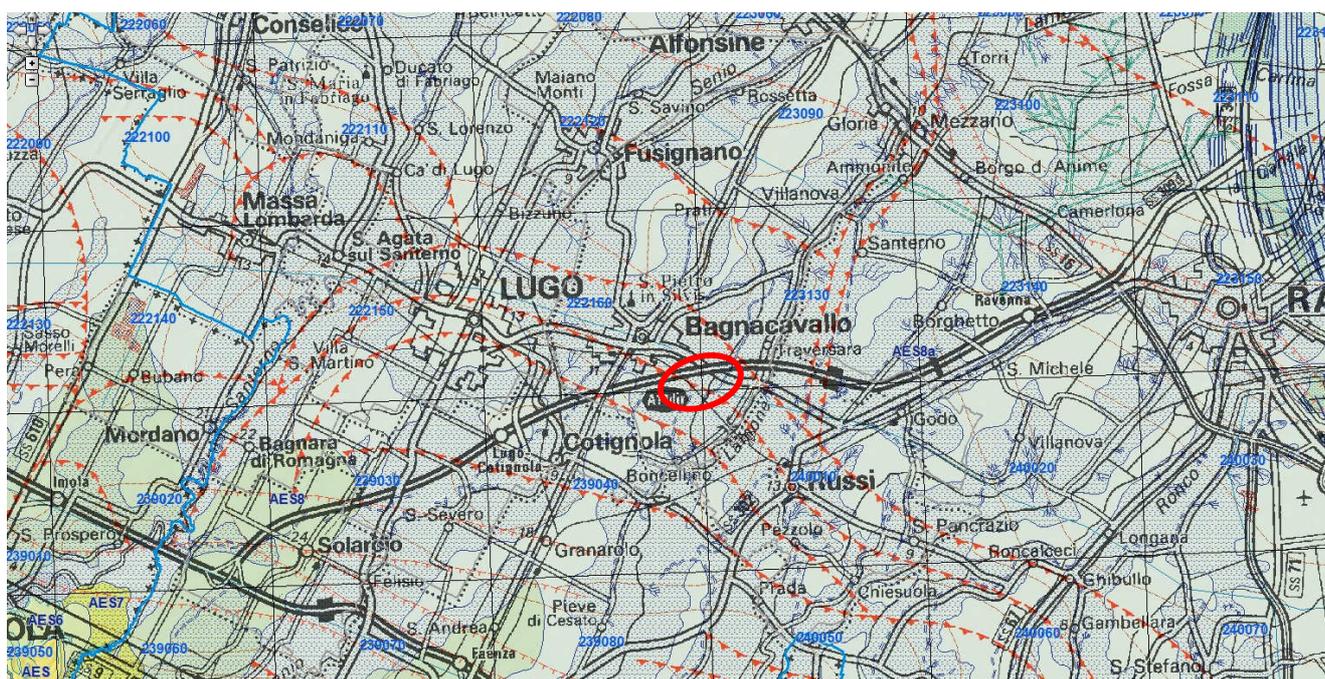
Le pieghe pede-appenniniche sono accompagnate dallo sviluppo di faglie a carattere distensivo, talora grandiose, e sono inoltre sovente interrotte da faglie con direzione NE-SW con rigetto prevalentemente orizzontale.

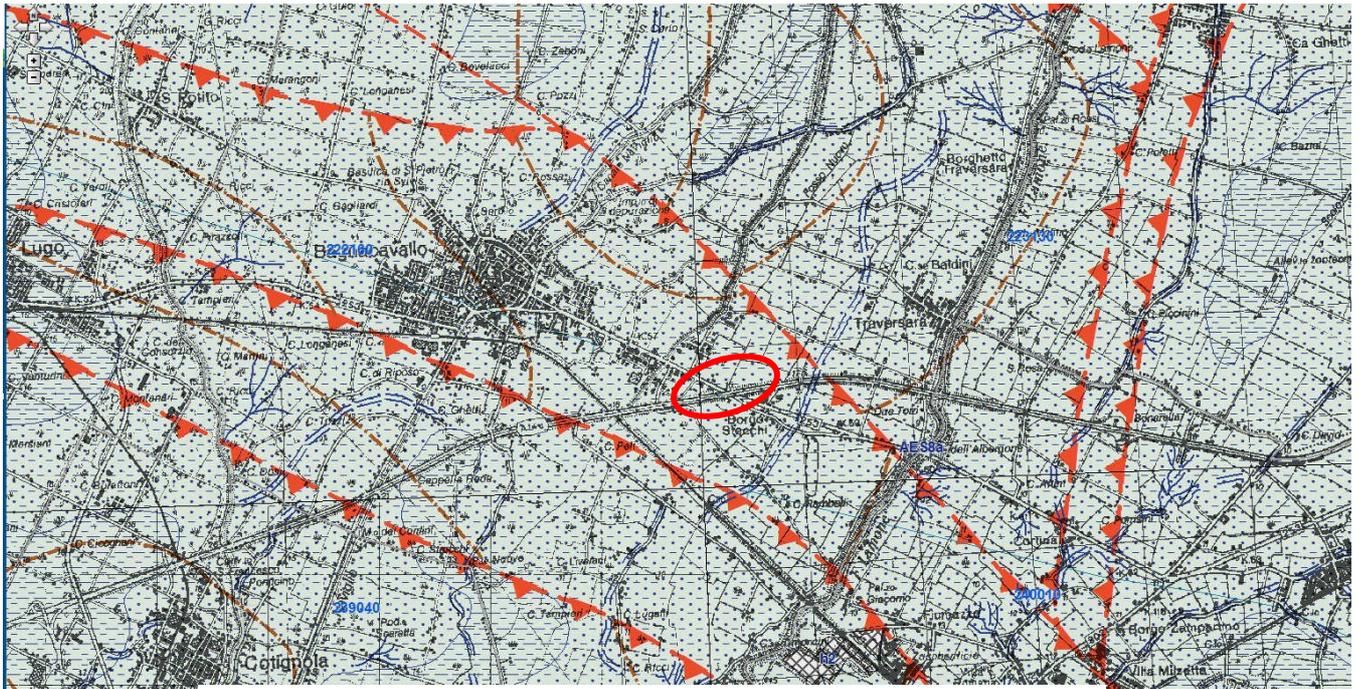
Nella più ampia unità di territorio in esame da N a S si riconoscono i seguenti motivi strutturali principali:

- Sinclinale di S.Romualdo-Piombone;
- Anticlinale di Ravenna e di Alfonsine;
- Sinclinale romagnola (asse ONO-ESE passante in corrispondenza di Fusignano);
- Anticlinale di Cotignola;
- Sinclinale di Forlì.

Le strutture sepolte plioceniche influenzano, sia pure con grado decrescente col diminuire della profondità, l'assetto dei sedimenti pleistocenici, che risultano blandamente ondulati e presentano una generale pendenza verso SE secondo l'immersione degli assi strutturali pliocenici.

I sedimenti alluvionali recenti hanno un assetto più irregolare ed articolato. Infatti, pur avendo una tendenziale e debole pendenza verso NE secondo la direzione di deflusso degli attuali corsi appenninici, presentano variazioni di potenza anche rilevanti, derivanti da ondulazioni del letto con depressioni ad andamento appenninico, probabilmente riferibili a paleoalvei.





## Legenda

Province



Comuni



Griglia 10.000



Tracciati geologici (50k)

— traccia di sezione geologica

Linee geomorf./antrop. (50K)

—=traccia di alveo fluviale abbandonato  
certa

—= traccia di alveo fluviale abbandonato  
incerta

—ventaglio di esondazione certo

Isolinee di unità del sottosuolo (50k)

— isobata della base del pliocene

Elementi strutturali (50K)

— faglia profonda indeterminata dedotta

— sovrascorrimento profondo post-tortoniano dedotto

Limiti di unità geologiche (50K)

— contatto con area non rilevabile

— contatto stratigrafico o litologico certo

Aree geomorf./antrop. (50K)

— discarica, deposito di origine antropica

Ambienti deposiz. e litologie (50K)

— argilla limosa di piana alluvionale

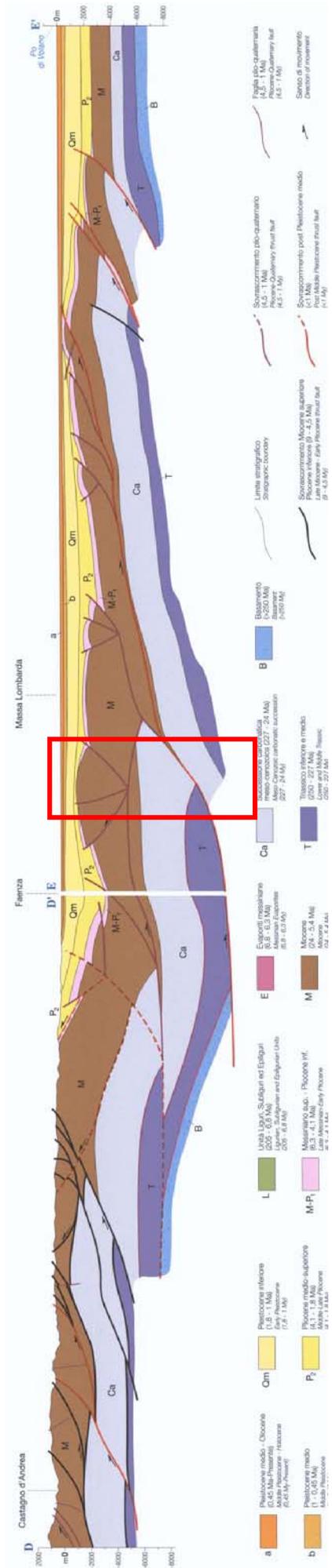
— limo argilloso di piana alluvionale

— sabbia limosa di piana alluvionale

Unità geologiche (50K)

— AES8a - Sistema emiliano-romagnolo  
superiore - Subsistema di Ravenna - unità  
di Modena

— h2 - Deposito da cava inattiva



### 3. LINEAMENTI CLIMATOLOGICI

Il territorio di Bagnacavallo è caratterizzato da un clima di tipo sub-continentale, con inverni freddi e umidi, nebbie abbastanza frequenti ed intense ed estati calde, poco piovose e piuttosto afose.

In base alla media trentennale di riferimento 1961-1990, la temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a +2,0 °C; quella del mese più caldo, luglio, è di +23,1 °C.

Le precipitazioni medie annue sono inferiori ai 700 mm, distribuite mediamente in 85 giorni, con minimi relativi in inverno ed estate e picchi moderati in primavera ed autunno.

BAGNACAVALLO	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	5,4	10,0	14,3	19,3	24,1	27,8	30,5	30,0	26,4	20,5	12,8	6,5	7,3	19,2	29,4	19,9	19,0
T. min. media (°C)	-1,4	0,3	2,6	6,2	10,1	13,7	15,7	15,5	12,7	8,2	4,4	-0,7	-0,6	6,3	15,0	8,4	7,3
Precipitazioni (mm)	53	45	50	57	61	51	39	62	59	58	80	63	161	168	152	197	678
Giorni di pioggia	8	7	8	7	8	6	5	6	6	7	9	8	23	23	17	22	85
Eliofania assoluta (ore al giorno)	2,0	3,4	4,8	6,4	8,2	9,0	10,0	8,9	6,6	5,5	2,8	2,1	2,5	6,5	9,3	5,0	5,8
Vento (direzione-m/s)	W 2,8	W 2,8	W 2,9	E 3,0	E 2,8	E 2,7	E 2,7	E 2,4	E 2,5	W 2,5	W 2,7	W 2,6	2,7	2,9	2,6	2,6	2,7

### 4. IDRO-GEOMORFOLOGIA

Il territorio di interesse è situato in sinistra idrografica del Fiume Lamone, arginato e pensile, alla distanza di circa 1840m.

Mentre, rispetto allo Scolo Canale Vecchio si trova in destra idrografica, alla distanza di circa 600 m. I principali elementi emergenti antropici del territorio sono costituiti dall'autostrada A14, interessata dal presente progetto, e dalla Ferrovia Castelbolognese-Ravenna, circa 900m a SO del sito di progetto.

L'esame della carta ipsometrica evidenzia una superficie topografica costituita da un piano inclinato in direzione NNE con pendenza media di circa il 0.8÷1 per mille.

Considerando il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (cartografia di pericolosità predisposta nel dicembre 2013), realizzato ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs 49/2010, il sito in esame risulta appartenere allo scenario di allagamento poco frequente (T = 100-200 anni), unicamente con acque provenienti dal reticolo di bonifica.

In base a tale pericolosità e a quanto disposto dalla normativa di settore, sarà il Consorzio di Bonifica competente che dovrà indicare i tiranti idrici di riferimento per il sito in esame.

Infine, si osserva che il trend di subsidenza della zona, ricavato dalla cartografica di ARPAE, risulta attorno a 5 mm/anno.

## LEGENDA

### scenari di pericolosità

- P3 - Alluvioni frequenti
- P2 - Alluvioni poco frequenti
- P1 - Alluvioni rare
- Confine amministrativo  
Autorità Bacino Reno



**AUTORITA' di BACINO del RENO**

**Variante di coordinamento  
tra il Piano Gestione Rischio Alluvioni  
e i Piani Stralcio di bacino**

**Piano Stralcio per il bacino del torrente Samoggia**  
aggiornamento 2007

**Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico**  
per il torrente Reno  
( Piano Reno, torrente Ilice-Savone, torrente Sillano, torrente Sestriere)

**Piano Stralcio per il bacino del torrente Secio**  
Revisione Generale

**Piano Stralcio per il sistema idraulico Navile - Savena Abbandonato**

**TAVOLA MF 12**  
**MAPPA DI PERICOLOSITA' DELLE AREE  
POTENZIALMENTE INTERESSATE DA ALLUVIONI**

Scala 1:25.000

Il Presidente dell'Autorità di Bacino del Reno  
Paolo Gazzoni

Il Progettista  
Dott. Ing. Gabriele Strampelli

Il Segretario Generale dell'Autorità di Bacino del Reno  
Arch. Paola Alibardi

Dott. Ing. Lorenza Lomboni

Bologna, 7 novembre 2016

Direttiva Alluvioni 2007/60/CE

**Risultato Interrogazione**

Interrogazione sul livello **"Alluvioni poco frequenti - M - P2 (IT021FHMMRSPRER)"**

Campo	Valore
Codice	IT021CAMRSP176_01
Ambito territoriale	RRP
Denominazione del Consorzio	CONSORZIO DI BONIFICA DELLA ROMAGNA OCCIDENTALE
Denominazione corso acqua	
Codice corso acqua	
Codice scenario di alluvione	M
Codice origine alluvione	A11
Numero abitanti	160.050
Numero impianti IED	125
Area (mq)	790.970.810,621

Rete Ictiografica Italia  
 Rete Ictiografica Regionale  
 Database Topografico Regionale  
 Carta Tecnica Regionale  
 Ortofoto Aerea 2011  
 Sfondo Nord Italia 3D (70m)

**Overview**

**DISTRETTO PADANO**

**Link utili**

**PER APPROFONDIRE:**

- Metadati della Mappa
- Geoportal Emilia-Romagna
- [Portale Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni RR](#)
- [Portale Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni distretto idrografico del Po](#)
- [Portale Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni distretto idrografico Appennino Settentrionale](#)

Sistema di coordinate mappa  
 X: 738.271,69 V: 4.921.835,86

Variante di coordinamento tra il Piano Gestione Rischio Alluvioni e i Piani Stralcio di bacino	
Piano Stralcio per il bacino del torrente Samoggia aggiornamento 2007	Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico art.1 c.1 L.1.08.98 n.267 e c.m.l. (fiume Reno, torrente Illice-Savena vivo, torrente Sillaro, torrente Santerno)
Piano Stralcio per il bacino del torrente Senio Revisione Generale	Piano Stralcio per il sistema idraulico Navile - Savena Abbandonato

### Norme integrative

(ALLEGATO alla Deliberazione C. I. n. 3/1 del 7 novembre 2016)

Il Presidente  
dell'Autorità di Bacino del Reno  
Paola Gazzolo

I Progettisti  
Dott. Ing. Gabriele Strampelli  
Dott. Ing. Lorenza Zamboni

Il Segretario Generale  
dell'Autorità di Bacino del Reno  
Arch. Paola Affobelli

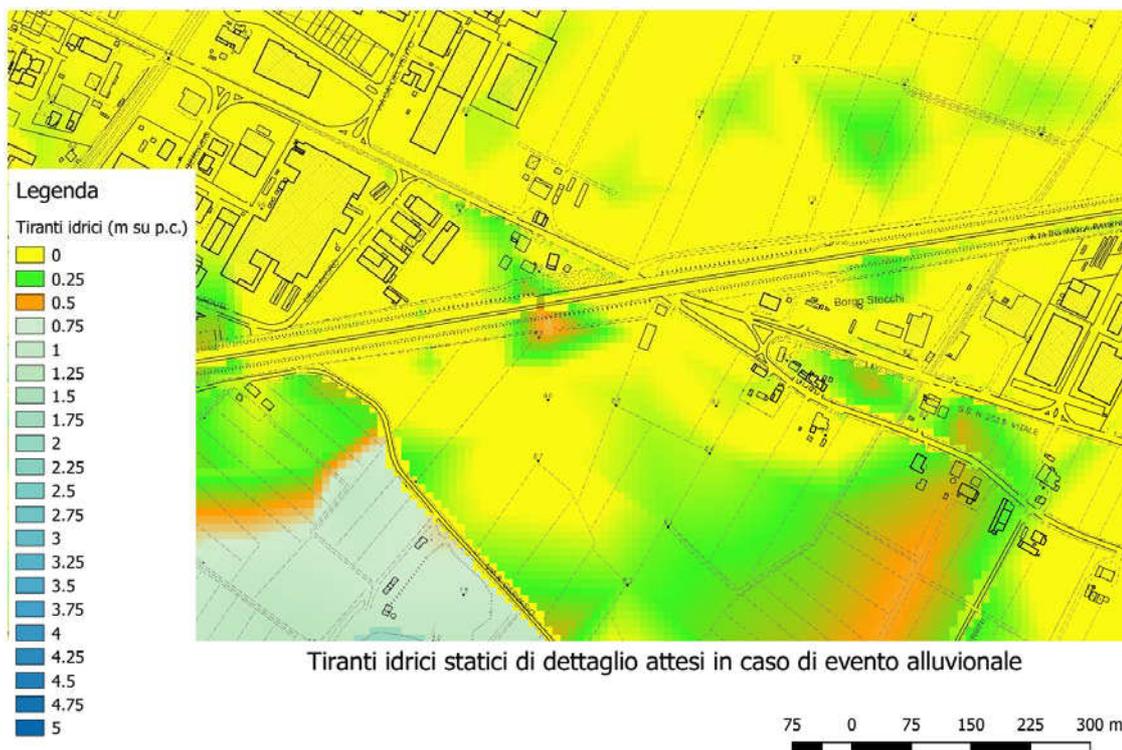
#### Art. 32 (aree interessate da alluvioni frequenti , poco frequenti o rare)

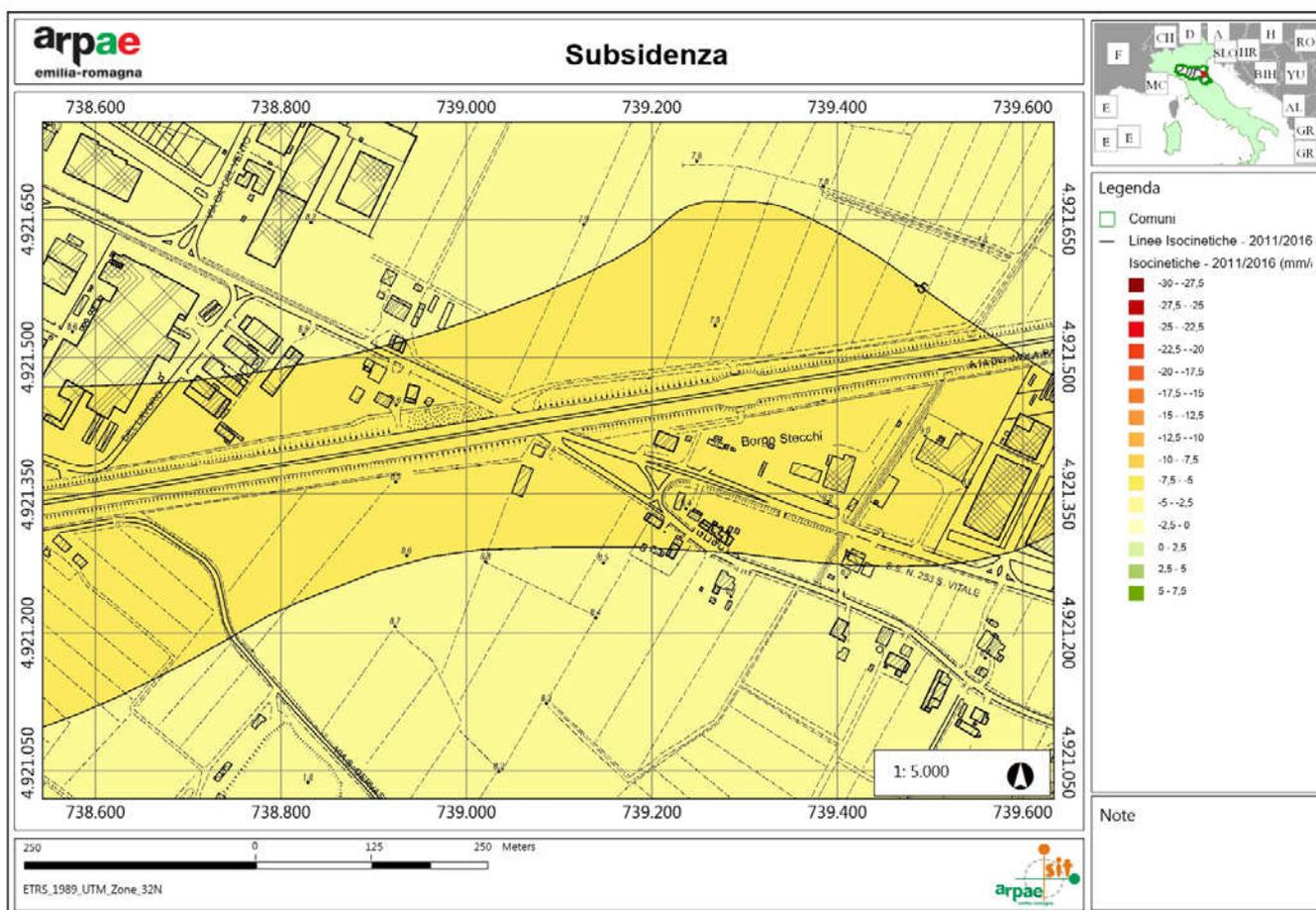
1. Nelle aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (P3) o poco frequenti (P2), le amministrazioni comunali, oltre a quanto stabilito dalle norme di cui ai precedenti Titoli del presente piano, nell'esercizio delle attribuzioni di propria competenza opereranno in riferimento alla strategia e ai contenuti del PGRA e, a tal fine, dovranno :
  - a) aggiornare i Piani di emergenza ai fini della Protezione Civile, conformemente a quanto indicato nelle linee guida nazionali e regionali, specificando lo scenario d'evento atteso e il modello d'intervento per ciò che concerne il rischio idraulico.
  - b) assicurare la congruenza dei propri strumenti urbanistici con il quadro della pericolosità d'inondazione caratterizzante le aree facenti parte del proprio territorio, valutando la sostenibilità delle previsioni relativamente al rischio idraulico, facendo riferimento alle possibili alternative localizzative e all'adozione di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle persone esposte.
  - c) consentire, prevedere e/o promuovere, anche mediante meccanismi incentivanti, la realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità alle inondazioni di edifici e infrastrutture.
2. Nelle aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (P1), le amministrazioni comunali, in ottemperanza ai principi di precauzione e dell'azione preventiva, dovranno sviluppare le azioni amministrative di cui al punto a) del precedente comma 1.
3. In relazione al fenomeno di inondazione generata dal reticolo di bonifica, oltre a quanto stabilito nel presente piano, si applica la Direttiva per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura nel bacino del Reno approvata con Delibera C.I. n° 1/3 del 23/04/2008; (Avviso di adozione BUR n.74 del 07/05/2008) e modificata con Delibera C.I. n° 1/2 del 25/02/2009 (Avviso di adozione BUR n.40 del 11/03/2009).
4. Nel caso in cui, a seguito di rilievi e di studi specifici, le caratteristiche morfologiche delle aree o le prestazioni idrauliche dei corsi d'acqua configurino le aree potenzialmente interessate da alluvioni diversamente da quanto indicato nelle tavole MP "Mappe di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni", tali tavole potranno essere modificate secondo la procedura di cui all'art. 24 comma 2 del presente piano, anche su proposta delle Amministrazioni comunali . Nel caso in cui la realizzazione di interventi strutturali configuri le aree potenzialmente interessate da alluvioni diversamente da quanto indicato nelle tavole MP "Mappe di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni", il Comitato Istituzionale, previo parere del Comitato Tecnico, prende atto dell'avvenuta verifica funzionale delle opere e determina la decorrenza della nuova perimetrazione.

Facendo riferimento al modello digitale del terreno (DEM) elaborato dalla Protezione Civile della Provincia di Ravenna, e appositamente predisposto per la modellazione del tirante idrico, si è provveduto a valutare il tirante idrico di dettaglio per la zona in esame facendo utilizzando l'algoritmo Hydro di Wang & Liu (fill sink), considerando un gradiente idraulico pari a 0.001. L'elaborazione valuta il massimo livello di acqua statico sul piano di campagna prevedibile in caso di allagamento.

Sottostante si riporta l'elaborazione del tirante idrico e il modello digitale del terreno della zona in esame, appositamente predisposto per l'elaborazione dei "fill sink".

Come si può osservare per il sito di progetto in tirante idrico risulta compreso tra 0 e 0.25 m.





## 5. IDROGEOLOGIA

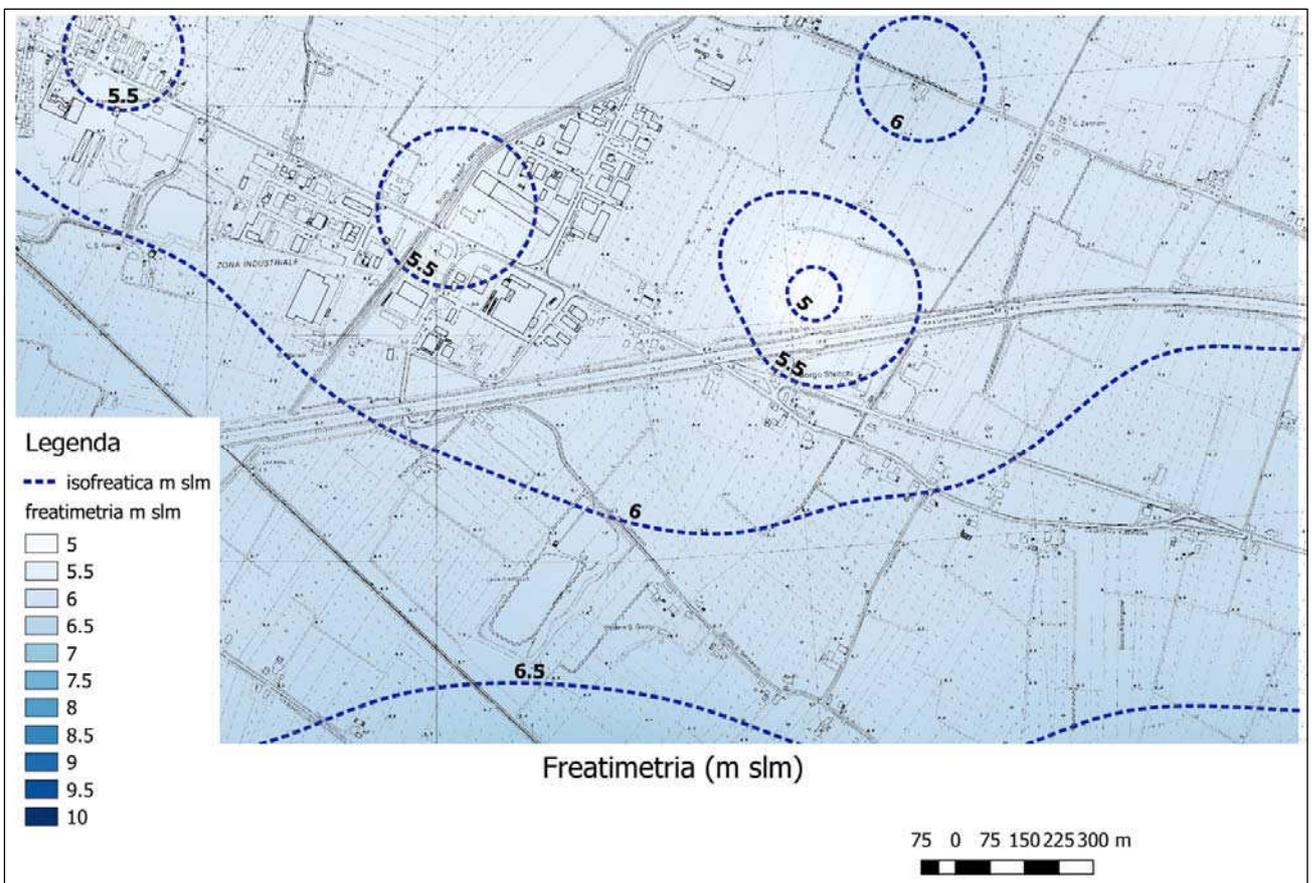
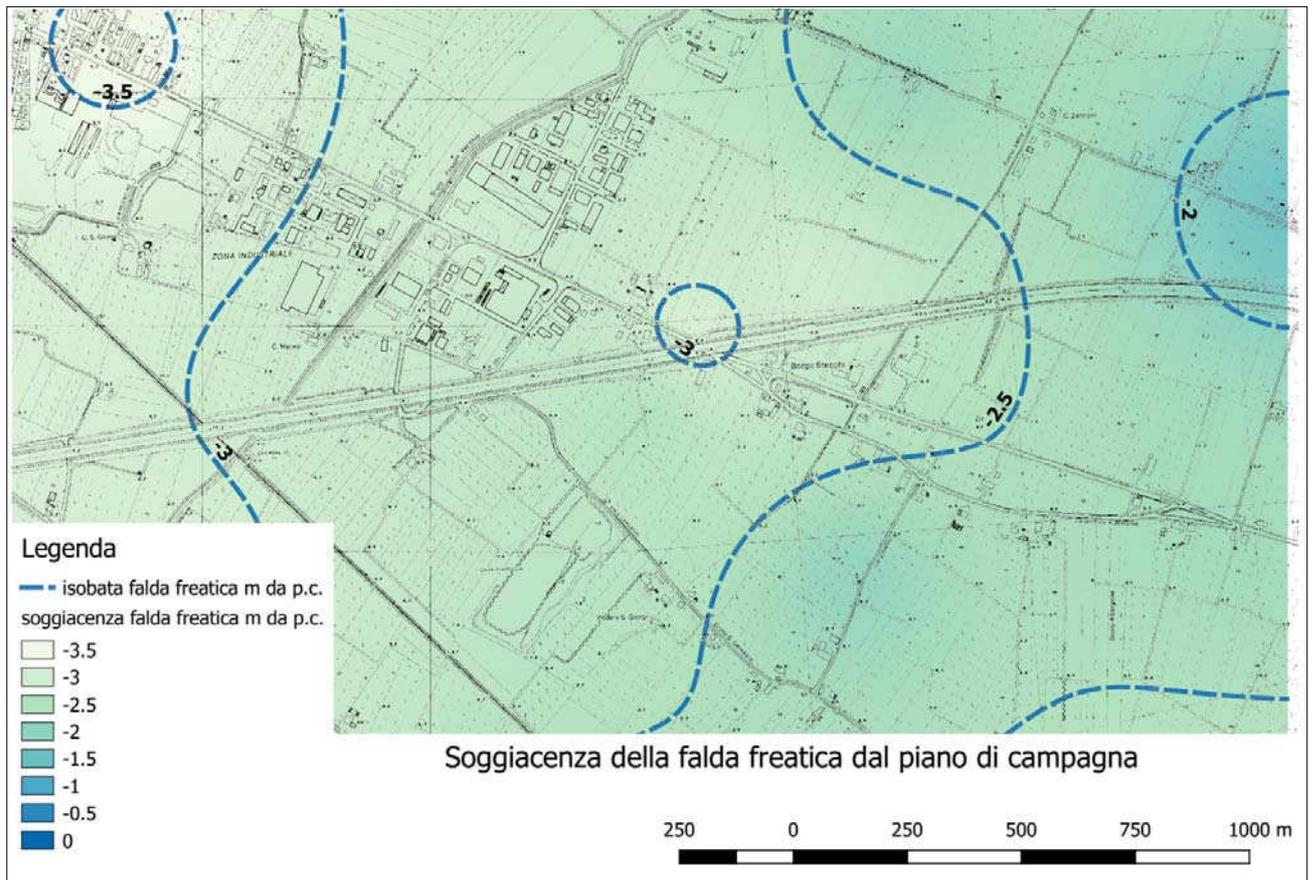
Per quanto riguarda le acque sotterranee, sul sito in esame si possono distinguere:

- *falda freatica superficiale*, prevalentemente alimentata dalle acque meteoriche, con livello statico a profondità variabili fra 3.0 e 2.6m rispetto al piano campagna attuale, in condizioni di massimo idrogeologico e attorno a 3÷4m in condizioni di minimo idrogeologico;
- *falde artesiane*, poste a diverse profondità rispetto al piano di campagna, si trovano all'interno di acquiferi di natura sabbiosa, separati da livelli impermeabili argilloso limosi, e la loro alimentazione avviene, essenzialmente, tramite l'infiltrazione di acqua dalla fascia pedecollinare, o di alta pianura, dove i sedimenti a granulometria più grossolana si trovano a profondità minori se non in affioramento. Per la zona di interesse i primi livelli sabbiosi in pressione, si trovano alla profondità a partire da circa -90 m rispetto al piano di campagna.

La falda libera superficiale ha una particolare incidenza ed un ruolo peculiare ai fini progettuali, in relazione alla sua possibile influenza sui parametri del carico ammissibile e sugli effetti cosismico che possono manifestarsi nel suolo.

Al fine di caratterizzare la falda freatica del territorio in esame si è fatto riferimento agli studi freatimetrici eseguiti per la pianificazione urbanistica comunale, eseguendo opportune verifiche in campagna che hanno confermato i caratteri idrogeologici del territorio emersi dal precedente studio.

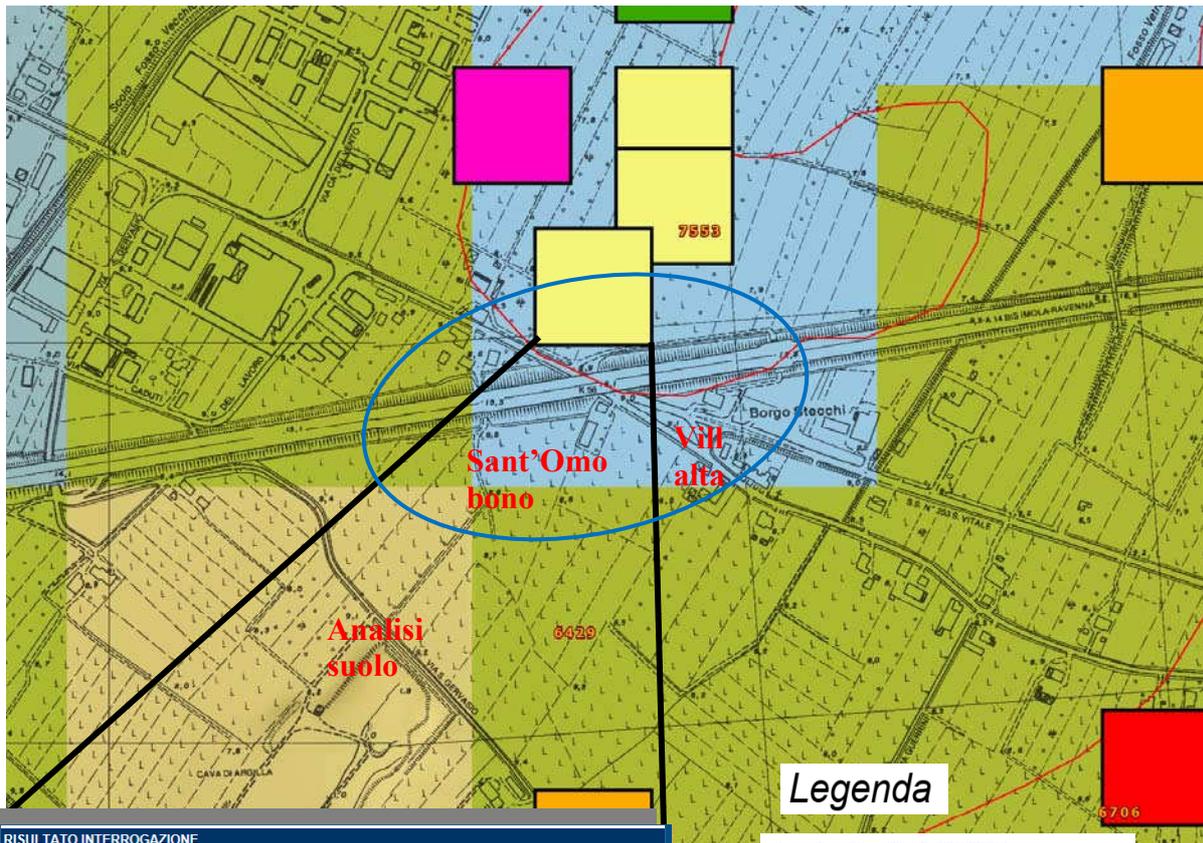
Nella zona di interesse i livelli statici della soggiacenza hanno valori compresi tra -2 e -3.5m dal piano di campagna e i livelli freatici evidenziano un deflusso verso NNE.



## 6. LITOLOGIA SUPERFICIALE E PEDOLOGIA

La carta Geologica e dei Suoli Regionale evidenzia per la parte a Nord della A14, litologie franco limose appartenenti alla consociazione dei suoli LA BOARIA (LBA1).

Mentre per la zona sud si osservano litologie franco limosa appartenenti alla consociazione dei suoli SANT'OMOBONO (SIMB1/SIMB2).  
in esame litologie franche.



**RISULTATO INTERROGAZIONE**

Comune di BAGNACAVALLO (RA), sezione CTR: 223130

Campioni Analisi Terreni	ID Sito SACT	41027
<a href="#">28063</a>	Precisione localizzazione	centroide del quadrato di riferimento con precisione <50 m
<a href="#">34219</a>	Data campionamento	15/06/1990
Carta Suoli 1:50.000	Profondita' min (cm)	0
<a href="#">3943</a>	Profondita' max (cm)	30
Tessitura 0-30cm	Note	
<a href="#">28889</a>	Sabbia (%)	6
	Limo (%)	63
	Argilla (%)	31
	pH	8
	Calcare totale (%)	23
	Calcare attivo (%)	13
	Sostanza organica (%)	2.1
	K2O assimilabile (ppm)	391
	P2O5 assimilabile (ppm)	14
	N totale (per mille)	1.3
	Tipo campione	Composito
	Stigla suolo	SMB2
	Nome suolo	SANT'OMOBONO franco argilloso limosi
	Note illustrative	<a href="#">Apri link</a>

Chiudi

Carta Suoli 1:50.000

delineazione di suolo

corpi d'acqua

Tessitura 0-30cm

AL - argilloso limosa

FLA - franco limosa argillosa

F - franca

FS - franco sabbiosa

## 7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di verificare le caratteristiche geomeccaniche del terreno interessato all'intervento ed in considerazione del rilievo effettuato, sono state realizzate n. 5 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), n. 3 misure HVSR e una MASW.

### 7.1 PROVE PENETROMETRICHE

Per le prove penetrometriche si è utilizzato un penetrometro con spinta di 30 tonnellate, montato su sottocarro (peso complessivo 5500 kg), dotato di punta elettrica costruita secondo la tipologia "Gouda" che ha permesso l'acquisizione dei dati ogni 2 cm di avanzamento.

La punta rispetta le dimensioni standard europee:

- Punta conica per la misura della resistenza alla punta con area pari a cmq 10 ed angolo di 60°;
- Manicotto per la misura dell'attrito laterale di cmq 150;
- Sensore inclinometrico per controllare la deviazione delle aste dalla verticale;
- Sensore di temperatura per correggere deriva dovuta al cambiamento di temperatura.

Dall'esame dei dati di lettura sono state costruite le curve che si riferiscono alla resistenza alla punta (Qc), alla resistenza all'attrito laterale (Fs) le cui rappresentazioni grafiche vengono riportate nei diagrammi allegati.

Dall'indice di comportamento Ic, che è funzione di Qc e Fs/Qc, si è giunti alla classificazione dei terreni seguendo la metodologia suggerita dal Robertson in 1990 e utilizzando le metodologie suggerite dal tipo di indagine adottata (test penetrometrici) è stato possibile ricostruite le caratteristiche meccanico-fisiche di ciascuna porzione di terreno presa in considerazione, traducendo in termini meccanici i risultati penetrometrici seguendo criteri suggeriti dalla letteratura.

Unità A	<i>Da 0.0 a -0.3÷0.5m dal piano di campagna.</i> Terreni di alterazione superficiale di natura limoso sabbiosa argillosa
Unità B	<i>Da -0.3÷0.5 a circa -1.4÷3.7 m dal piano di campagna.</i> Sabbie limose alternate a limi argillosi. Prevalentemente addensamento medio, localmente sciolta per i terreni granulari; consistenza plastica, localmente molle-plastica per i livelli coesivi. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 1.7 e 6÷7 MPa per i terreni granulari, e tra 0.9÷1.0 e 1.6 MPa per i terreni coesivi.
Unità C	<i>Da circa -1.4÷3.7 a -20.0m dal piano di campagna, massima profondità indagata.</i> Limi argillosi a consistenza prevalentemente plastica; presenza di rare intercalazioni di livelli sabbioso-limosi. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 1.0 e 1.9 MPa.

Il livello della falda freatica, misurato all'interno dei fori penetrometrici alla data delle prove, dopo un lasso di tempo sufficiente a stabilizzarne il livello idrico, attestava attorno a -2.6÷-3.0 m dal piano campagna.

Prova n.	Data misura	Livello idrico m da piano campagna
1	29-10-2018	Foro chiuso a -1.4 m
2	29-10-2018	2.6 m
3	29-10-2018	Foro chiuso a -0.1 m
4	29-10-2018	3.0 m
5	29-10-2018	2.9 m

In generale, dal confronto tra le prove eseguite, si osserva che le caratteristiche areali litostratigrafiche del substrato dell'area di interesse risultano nel complesso omogenee.

## 7.2 MISURE DEI MICROTREMORI

Per la valutazione dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse e della Vs30 si è utilizzato il TROMINO, uno strumento in grado di misurare i microtremori, e, inoltre, è stato eseguito uno stendimento sismico SASW-MASW.

Al fine di valutare anche l'eventuale variabilità sismostratigrafica del sito in esame, si è provveduto ad eseguire n. 3 misure dei microtremori (HVSR).

### Metodo dei microtremori HVSR

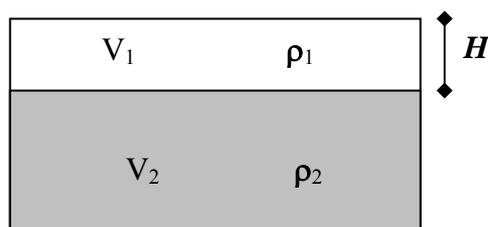
Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4 * H}$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione.



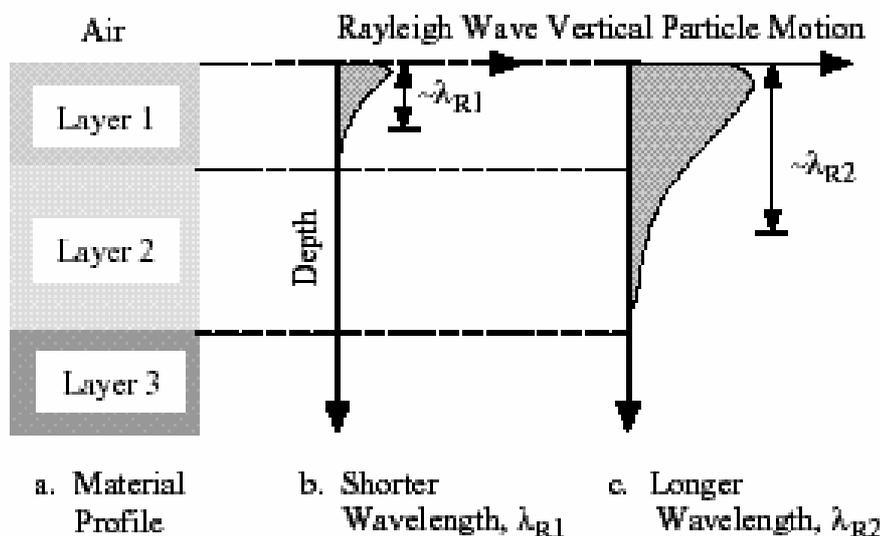
L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore.

Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

### Metodo dei MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.



Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo SASW-MASW si mantiene fisso il sensore di misura e si sposta a intervalli regolari il punto di generazione delle onde.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente circa 8÷15 m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

- (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica,
- (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\mu$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

### **Combinazione del metodo HVSR e MASW e risultati.**

La combinazione tra le misure HVSR e quelle MASW permettono di ottimizzare la ricostruzione del modello di velocità delle onde di taglio  $V_{s30}$ .

Infatti le MASW permettono di ottenere le misure di velocità di taglio nei primi metri che servono da base per interpretare gli strati più profondi osservabili solo dalle misure HVSR.

Inoltre si è provveduto ad eseguire anche la calibrazione delle misure HVSR e MASW in base alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine.

La prova eseguita impiegando la suddetta metodologia dei microtremiti, combinata con la MASW, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), ha evidenziato una  **$V_{s30} = 186 \div 211$  m/s.**

L'analisi delle frequenze fondamentali di amplificazione del sito evidenzia l'amplificazione di risonanza tipica del terreno e, di conseguenza, l'altezza critica degli edifici che in caso di sisma possono entrare in risonanza con il terreno.

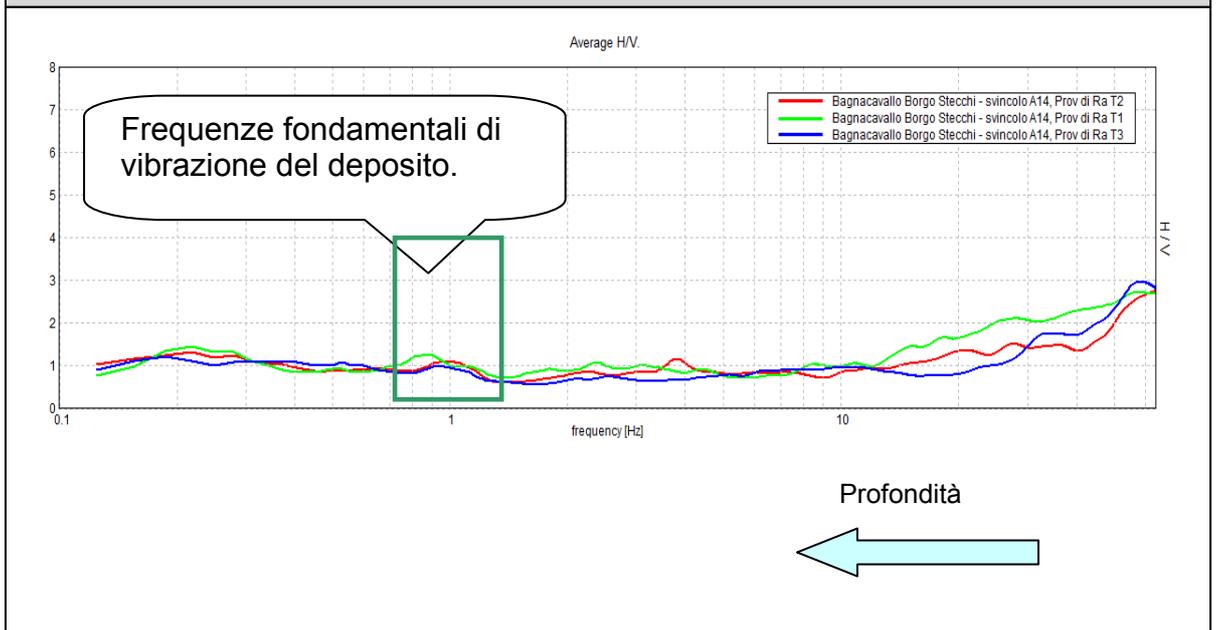
Nel caso specifico si osserva una sostanziale assenza di contrasti di impedenza. Comunque, è possibile individuare, in prima analisi, le sottostanti frequenze fondamentali per il deposito esaminato.

<b>Misura HVSR</b>	<b>Frequenze fondamentali di vibrazione del deposito</b>	
Numero misura	f (Hz)	T (sec)
T1	0.8÷1.1	1.25÷0.9
T2 e T3	0.9÷1.1	1.11÷0.9

Le verifiche del modello sismico delle opere in esame potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.

Dal confronto tra le due misure HVSR effettuate sull'area in esame, si osserva una risposta sismicamente omogenea del sottosuolo del sito di interesse, con contrasti di impedenza sostanzialmente assenti.

## Misura dei microtremori effettuate sul sito di progetto



## 8. MICROZONAZIONE SISMICA

### **N.T.C. 17-01-2018**

In base alle NTC 2008, considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 712 anni, per l'area di interesse risulta un valore di  $a_g/g = 0.213$ , le velocità  $V_{s30}$  risultano comprese tra 186÷211 m/s, quindi può considerarsi un substrato appartenente alla categoria di suolo **C**. Di conseguenza risulta un coefficiente di amplificazione sismica per tipo di suolo  $S = 1.39$  e, essendo in zona pianeggiante, il coefficiente di amplificazione morfologico risulta  $S_T = 1$ , quindi l'accelerazione massima al suolo risulterà di  $a_{max} = 0.296g$ .

### **D.G.R. n. 2193/2015**

il sito di interesse ricade in zona di pianura 2.

Considerando le suddette  $V_{s30}$ , si ottengono le seguenti amplificazione dello spettro elastico:

- F.A. P.G.A. = 1.7
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE  $0.1s < T_0 < 0.5s = 2.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE  $0.5s < T_0 < 1.0s = 3.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE  $0.5s < T_0 < 1.5s = 3.3$

Per quanto riguarda l' $a_g$  al suolo attribuita al sito in esame, facendo sempre riferimento alla già citata D.G.R., ma considerando un sisma di progetto di 475 anni, come previsto dalla D.G.R. in parola, si ha un valore pari a  $a_g = 0.183 * 1.7 = 0.311g$ , quindi di poco superiore rispetto a quanto ottenuto seguendo le procedure della normativa nazionale considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni.

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.;

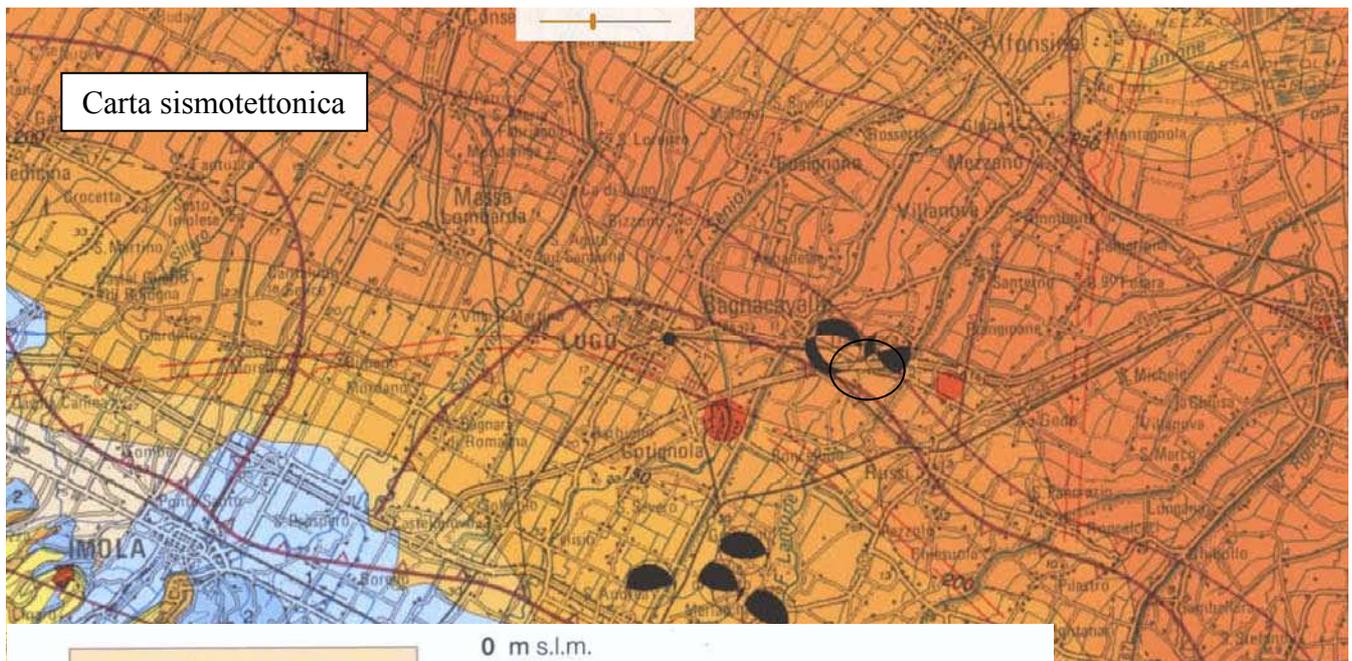
$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

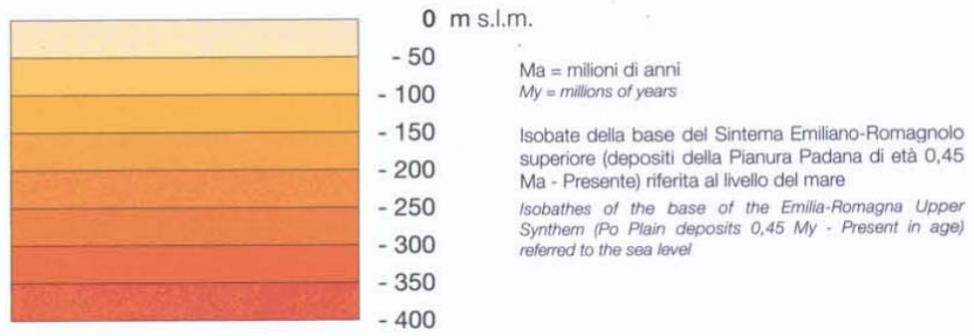
Dalla carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, si osserva che in corrispondenza del sito di progetto la base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore, riflettore sismostratigrafico, si trova alla profondità di circa 250m sotto al livello del mare. Inoltre, si osservano due meccanismi focali di faglia normale/trascorrente. Inoltre, immediatamente a SSO del sito in esame, si osserva una struttura sepolta corrispondente ad un sovrascorrimento riattivato.

Le mappe interattive di pericolosità sismica, pubblicate da INGV, per il sito in esame e per tempi di ritorno dell'ordine di grandezza dei 712 anni, evidenzia una magnitudo  $M = 5.0$ .

Dalla carta sismogenetica, si osserva che il sito in esame si trova nella zona sismogenetica ITCS011-Ascensione-Armaia, la quale presenta una magnitudo momento massima  $M_w = 6.0$ .



Carta sismotettonica



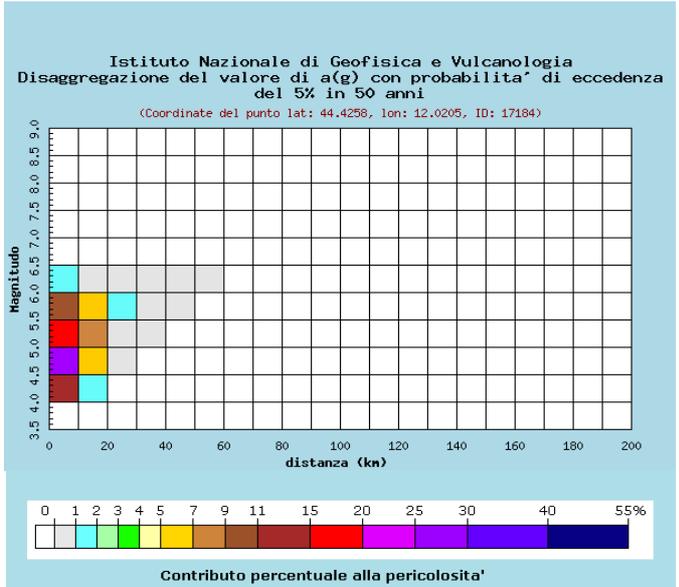
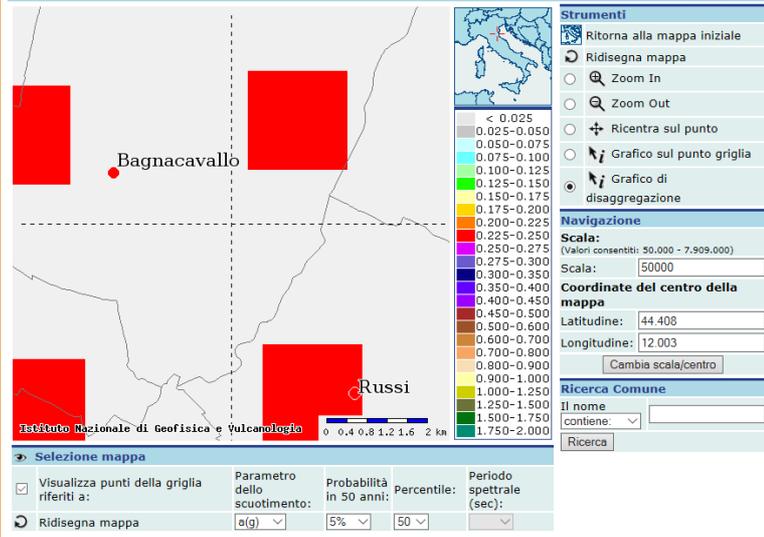
**Meccanismi focali Earthquake focal solutions**



**Strutture sepolte Buried structures**



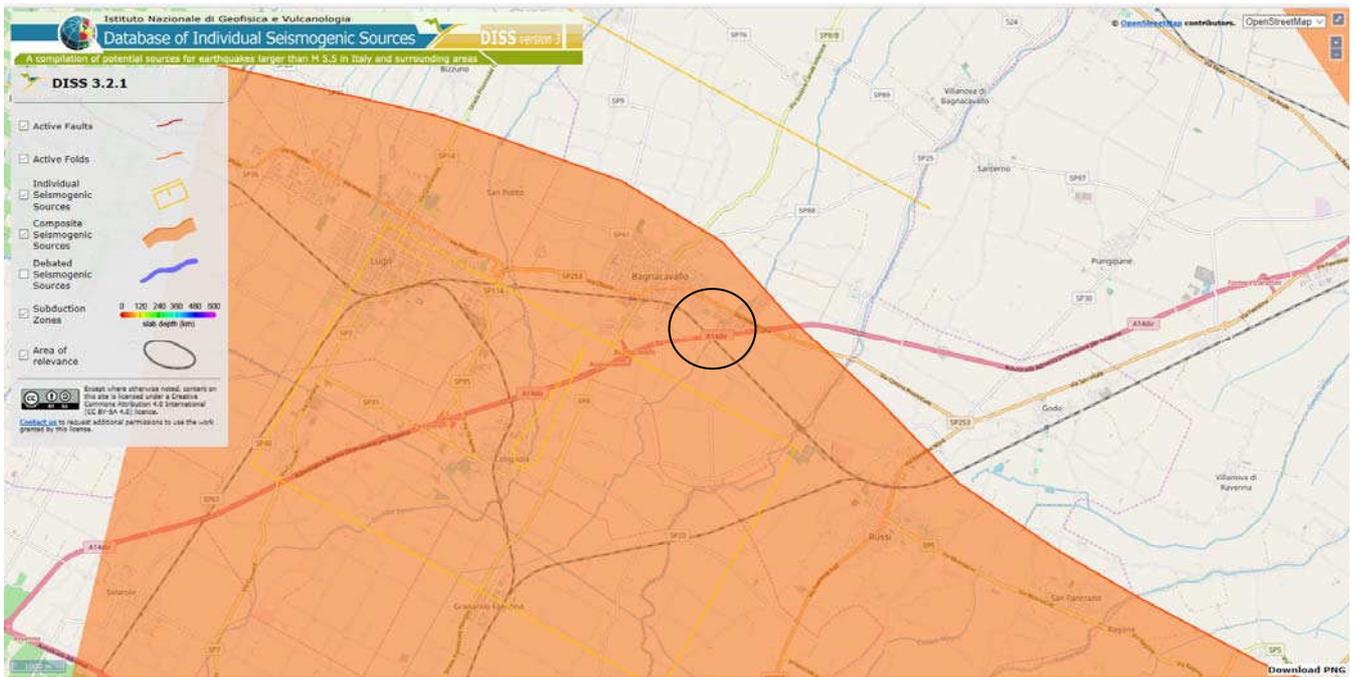
**Mappe interattive di pericolosità sismica**



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.4258, lon: 12.0205, ID: 17184)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	14.600	29.700	19.000	10.300	1.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.270	5.670	7.700	6.570	0.824	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.057	0.837	1.570	0.230	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.008	0.213	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.040	7.430	1.020



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
 Database of Individual Seismogenic Sources  
 DISS version 3

User: Guest | LOGIN

HOME MAP SEARCH HELP

### COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

#### GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS011
Name	Ascensione-Armaia
Compiler(s)	Burrato P.(1), Maesano F.E.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Maesano F.E.(1), D'Ambrogio C.(2), Toscani G.(3), Basili R.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	15-Nov-2013
Updated	19-Jun-2015
Display map ...	
Related sources	<a href="#">ITIS100</a>

#### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	LD Based on geological data from various Authors.
Max depth [km]	10.0	LD Based on geological data from various Authors.
Strike [deg] min... max	110...140	LD Based on geological data from various Authors.
Dip [deg] min... max	25...45	LD Based on geological data from various Authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ Inferred from regional tectonic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.15...0.33	LD Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ Based on the strongest earthquake occurred in the region.

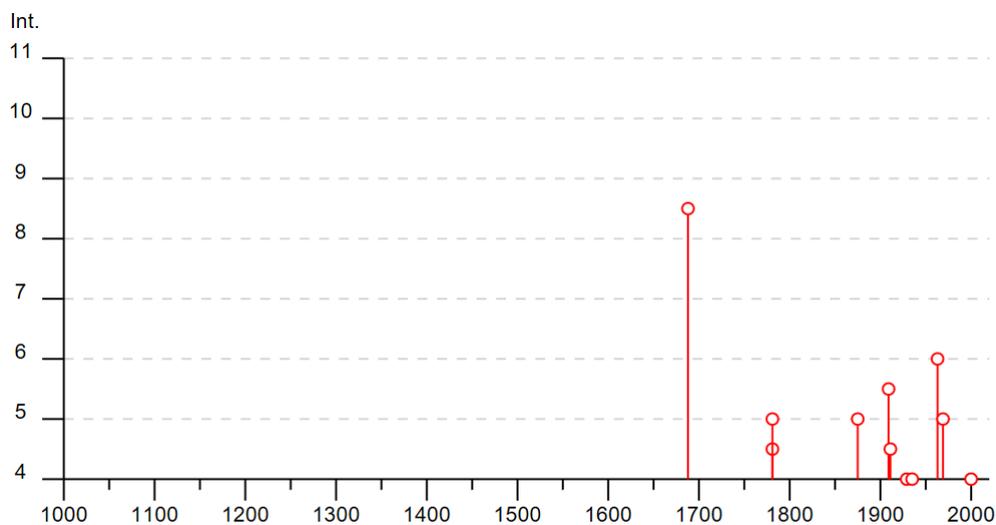
LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;  
 ACTIVE FAULTS

## Bagnacavallo



PlaceID IT\_41072  
 Coordinate (lat, lon) 44.416, 11.977  
 Comune (ISTAT 2015) Bagnacavallo  
 Provincia Ravenna  
 Regione Emilia-Romagna  
 Numero di eventi riportati 28

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
8-9	<a href="#">1688</a>	04	11	12	20		Romagna	39	8-9 5.84
4-5	<a href="#">1781</a>	04	04	21	20		Faentino	96	9-10 6.12
5	<a href="#">1781</a>	07	17	09	40		Faentino	46	8 5.61
5	<a href="#">1875</a>	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8 5.74
3	<a href="#">1895</a>	03	23				Comacchio	33	6 4.65
2-3	<a href="#">1898</a>	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6 4.59
NF	<a href="#">1898</a>	03	04	21	05		Parmense	313	7-8 5.37
NF	<a href="#">1904</a>	11	17	05	02		Pistoiese	204	7 5.10
5-6	<a href="#">1909</a>	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
4-5	<a href="#">1911</a>	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7 5.26
4	<a href="#">1929</a>	04	10	05	44		Bolognese	87	6 5.05
4	<a href="#">1935</a>	06	05	11	48		Faentino	27	6 5.23
NF	<a href="#">1948</a>	06	13	06	33	3	Alta Valtiberina	142	7 5.04
6	<a href="#">1963</a>	08	09	06	05		Romagna	16	5 5.23
5	<a href="#">1969</a>	01	10	16	17	3	Pianura Ravennate	22	5 4.38
NF	<a href="#">1971</a>	10	04	16	43	3	Valnerina	43	5-6 4.51
NF	<a href="#">1972</a>	11	30	11	25	2	Costa pesarese	30	4.52
3	<a href="#">1980</a>	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
NF	<a href="#">1983</a>	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7 5.04
NF	<a href="#">1986</a>	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6 4.43
NF	<a href="#">1995</a>	12	27	23	44	2	Forlivese	37	5 3.97
NF	<a href="#">1999</a>	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5 4.36
3	<a href="#">2000</a>	05	06	22	07	0	Faentino	85	5 4.08
3-4	<a href="#">2000</a>	05	08	12	29	5	Faentino	126	5 4.67
4	<a href="#">2000</a>	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6 4.82
3	<a href="#">2002</a>	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4 4.21
2	<a href="#">2003</a>	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5 4.18
3-4	<a href="#">2005</a>	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5 4.29



### **8.1 ASSESTAMENTI TERRENI COESIVI E GRANULARI POST-SISMA**

Dall'analisi geostatica dei dati ricavati dalla prova penetrometrica CPTU, osservabili dai cross-plot, riportati nei grafici penetrometrici e di interpretazione, si nota che le variabili dei terreni fini indagati presentano un maggiore addensamento nel campo di quelli relativamente sovra-consolidati. Nessun punto ricade in quello dei terreni sensitivi. **Pertanto, i terreni fini del substrato indagato non sono sensitivi** e quindi non sono potenzialmente soggetti a significativi importanti cedimenti in caso di un sisma di progetto.

Per quanto riguarda gli assestamenti post sismici dei terreni fini è stata condotta un'analisi utilizzando la metodologia di Robertson & Cabal (2009), considerando una  $M_w = 6.14$ . Tale analisi ha evidenziato valori compatibili con le previste opere in progetto, essendo dell'ordine di  $1 \div 2$  cm.

Inoltre, complessivamente per i terreni fini e granulari, si osservano valori dei cedimenti attorno a  $0 \div 4$  cm compatibili nei termini degli SLV e SLD con le prevedibili strutture di progetto.

### **8.2 ANALISI DEL RISCHIO DEI FENOMENI COSISMICI**

Al fine di comprendere al meglio il possibile rischio a cui potranno essere soggette le future strutture di progetto relativamente alla pericolosità cosismica di liquefazione dei terreni del substrato del fabbricato in esame, si analizza il concetto di Rischio.

Per la valutazione del Rischio si utilizza la seguente relazione:

$$R = P \times V \times E$$

Dove:

- R = rischio
- P = pericolosità: probabilità di accadimento di un determinato evento di una certa intensità in un determinato sito e in un determinato momento.
- V = vulnerabilità: capacità di un certo elemento strutturale e/o non strutturale di resistere a quel determinato evento.
- E = elemento a rischio: valore dell'elemento strutturale e/o non strutturale.

### **Suscettibilità**

Una sollecitazione sismica provoca una messa in accelerazione delle particelle del suolo che possono determinare liquefazione e/o modificazioni topografiche dell'area.

Ciò avviene in misura maggiore per quei terreni incoerenti poiché i granuli sottoposti a vibrazione perdono resistenza di attrito e quindi vengono favoriti fenomeni di scorrimento con assestamenti e rifluimenti, con possibili processi di liquefazione in caso di terreni saturi di acqua.

La coesione conserva invece la sua efficacia, indipendentemente dalla vibrazione; quindi i terreni coerenti presentano, praticamente, inalterata la resistenza alle azioni taglianti rapide e con essi sono più rari cedimenti delle opere per assestamenti e rifluimenti generati da azioni dinamiche quali quelle sismiche.

Considerando che per il sito in esame si hanno depositi sotto la falda idrica sostanzialmente coesivi fino alla massima profondità di -20m dal piano di campagna, la suscettibilità risulta molto bassa, e si esclude a priori la possibilità che si possano verificare fenomeni di liquefazione a seguito di un sisma di progetto.

Comunque, con metodo più analitico, al fine di valutare la suscettibilità, cioè la propensione di un determinato deposito di essere soggetto a un determinato fenomeno (ovviamente questo non implica che il fenomeno avvenga per forza), alla liquefazione, si è fatto riferimento al metodo AGI 2006 e a quello di Robertson & Cabal (2009) che utilizzano una metodologia di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza è definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e alla sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La suddetta analisi, in una scala che va da 0 a >15 per l'indice del potenziale di liquefazione, quindi per la suscettività del sedimento al fenomeno della liquefazione per quel determinato sisma di riferimento, presenta valori che vanno da un massimo di 1.4 ad un minimo di 0, ricadendo nella categoria più bassa della suscettibilità, corrispondente alla classe "bassa", in base alla scala proposta dalle linee guida dell'AGI (2005).

### **Pericolosità**

Con il metodo proposto da Facciorusso & Vannucchi (2009) è poi stata definita la pericolosità della liquefazione del deposito in esame. Ovviamente nei grafici si riporta anche la suddivisione delle categorie di suscettività come indicato da Facciorusso per i diversi valori dell'Indice del potenziale di liquefazione.

La probabilità, cioè la pericolosità, viene valutata con il metodo di Facciorusso. Da tale analisi si osserva che la probabilità, in una scala 0-100%, si attesta attorno a 0÷5%, cioè, secondo il giudizio di Facciorusso, il deposito si trova nella casella più bassa, corrispondente al giudizio "*non liquefazione quasi certa*".

### **Vulnerabilità**

In questo caso si deve esaminare quale tipo di danno potenziale è possibile che occorra a seguito di quel determinato evento, ad esempio sugli edifici. Nel caso specifico, in base alle NTC 2018, stiamo parlando SLV (Stato Limite della Vita), cioè di salvaguardia della vita. Cioè, l'opera può subire dei danni a seguito di un sisma di progetto con tempi di ritorno di 712 anni, ma in ogni caso non ci devono essere perdite di vite umane.

Nel caso in esame i cedimenti massimi post-sisma (compresi tra 0 e 4cm), come sopra riportati e valutati, comprendendo anche l'assestamento dei terreni fini, presentano valori ampiamente compatibili sia agli SLV che agli SLD per le future opere. Si ricorda poi che l'assestamento del terreno sarà generalizzato e quindi i cedimenti differenziali potrebbero essere ridotti al minimo e inferiori rispetto al massimo cedimento prevedibile.

Pertanto, la vulnerabilità in riferimento agli SLV e SLD, cioè di salvaguardia della vita, assumerà un valore molto basso, prossimo a zero. Inoltre, si osserva, che anche rispetto agli SLD la vulnerabilità presenterà un valore molto basso, potendo essere assunto pari a zero.

### **Elementi a rischio**

Nel caso specifico opere stradali, i possibili rischi per la vita umana, come previsto per SLV, riguardano la possibilità che l'evento sismico avvenga durante il transito di autoveicoli. Evento molto probabile in caso di evento sismico.

Perciò, per le valutazioni del rischio connesso a fenomeni cosismici, causati da un sisma di progetto con tempi di ritorno di 712 anni, quindi per gli SLV, si dovranno considerare i potenziali danni causati alla vita umana dal suddetto fenomeno alle persone che transito sulla strada in progetto.

### **Analisi del rischio**

Per tale analisi può essere assunto un valore della probabilità di accadimento massimo del fenomeno della liquefazione pari a  $P=0.05$ . Considerando che si tratta di valutare il rischio dell'incolumità della vita, in base alle probabili opere in progetto, non si avranno conseguenze sulla vita, essendo le deformazioni massime indotte dai potenziali fenomeni cosismici

ampiamente compatibili con la funzionalità dell'opera, quindi senza conseguenze sulla incolumità delle persone presente sull'asse viario, cioè l'opera non collasserà e i frequentatori potranno allontanarsi da essa. Pertanto, può essere assunto il valore di vulnerabilità  $V = 0$ .

Per quanto riguarda il valore della vita, si assume il valore massimo pari a  $E=1$ .

In questo caso il rischio risulta  $R = 0.05 \times 0 \times 1 = 0$ .

Per quanto sopra descritto la valutazione del rischio post sismico relativamente ai fenomeni cosismici risulta sostanzialmente nullo, essendo nulla la vulnerabilità dell'opera rispetto ai fenomeni cosismici corrispondente alle azioni sismiche rispetto agli SLV e SLD.

### **8.3 CONSIDERAZIONE CONCLUSIVE IN MERITO ALLA DAL 2381/2015 SUGLI APPROFONDIMENTI DEL TERZO LIVELLO**

Concludendo, in base alle considerazioni geotecniche, in riferimento al substrato dell'area indagata, si osserva:

- i terreni del substrato in esame è attribuibile un giudizio di pericolosità, in base a quanto proposto da Facciorusso & Vannucchi (2009), corrispondente a **non liquefazione quasi certa**.
- i terreni fini non sono soggetti, in termini generali, a cedimenti post-sisma incompatibili con gli SLV e con SLD.

Pertanto, per il sito in esame non si avranno rischi connessi a fenomeni cosismici per un sisma di progetto con tempi di ritorno di 712 anni, corrispondente alla valutazione degli Stati Limite della Vita (SLV). Inoltre risulteranno anche assenti rischi rispetto ad un sisma di progetto relativo agli SLD.

## 9. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

### 9.1 METODO UTILIZZATO PER LA VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Un aspetto essenziale del metodo degli stati limite riguarda la scelta dei parametri da introdurre nel modello di calcolo. Riguardo ai calcoli geotecnici con il criterio degli stati limite si devono considerare nelle relazioni i parametri caratteristici.

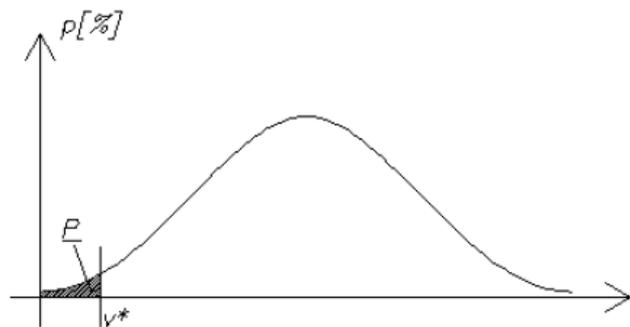
In base all'EC7, al punto 2.4.5.2.2(P), il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore di influenza all'insorgere dello stato limite.

Da ciò discende:

- *Stima cautelativa*: si tratta di una stima che deve essere a favore della sicurezza. Cioè si deve tenere conto dell'incertezza esistente in geotecnica dovuta alla notevole variabilità delle proprietà dei depositi e all'incertezza dovuta alle informazioni non complete generalmente a disposizione tramite prove in situ e di laboratorio;
- *Valore che influenza l'insorgere dello stato limite*: il valore caratteristico è in funzione dello stato limite considerato, ad esempio la rottura al collasso verticale della fondazione. Si osserva che se invece della rottura al collasso verticale, esaminiamo la rottura allo slittamento, il valore del parametro geotecnico sarà generalmente diverso.

L'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica, anche se questa non è resa obbligatoria, cioè non deve necessariamente essere adottata dai singoli stati membri.

Nel caso specifico utilizzando il metodo statistico il valore caratteristico di un particolare parametro di calcolo è definito come quel valore al quale è associato una determinata probabilità di non superamento.



*Densità di probabilità p*

Osservando la sopra riportata figura si rileva che P è la probabilità di non superamento della variabile v connessa al valore  $v^*$  (valore caratteristico cercato se  $P=5\%$ ).  $v^*$  viene quindi calcolato imponendo che l'area P sia uguale a 5%.

In particolare in funzione del volume di terreno coinvolto nello stato limite considerato si possono presentare le seguenti situazioni:

1. Elevati volumi di terreno;
2. Piccoli volumi di terreno;
3. Campioni di scarsa numerosità.

### 1. Elevati volumi di terreno

Quando la zona di influenza coinvolge elevati volumi di terreno bisogna selezionare un 5° percentile della distribuzione media.

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

Dove:

$x_k$  = valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

$t$  = valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità u=95%  
(ossia  $1-\alpha=0.95$  o alternativamente,  $\alpha=0.05$ )

$s$  = deviazione standard del campione

$n$  = numero di dati

### 2. Piccoli volumi di terreno

Nel caso che la rottura sia locale, ossia interessi volumi relativamente piccoli del terreno, la formula da applicare è la seguente.

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \cdot s \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot s$$

Dove:

$x_k$  = valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

$z$  = distribuzione normale standardizzata

$s$  = deviazione standard del campione

### 3. Campioni di scarsa numerosità

Per campioni di scarsa numerosità è possibile utilizzare anche la più generica equazione di Schneider, che offre la seguente formula semplificata:

$$x_k = \bar{x} * 1 - \frac{COV}{2}$$

Dove:

$x_k$  = valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

COV= covarianza

Diversi autori propongono valori di covarianza per i vari parametri geotecnici

Shneider (1997)

Angolo di attrito = 10%

Coesione = 40%

Modulo di comprimibilità = 40%

Phoon et al. 1995

Peso di volume naturale = 7%

Valore di qc (MPa) per sabbie = 38%

Valore di qc (MPa) per argille limose = 27%

Valore di qT (MPa) per argille = 8%

Densità relativa (%) per sabbie = 10-40%

### **9.1.1 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DELLE UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE DEL SITO INDAGATO**

Si stimano i parametri geotecnici caratteristici delle varie unità litostratigrafiche considerando, in funzione delle prove geognostiche eseguite, i parametri geotecnici con comportamento geotecnico a breve termine, quindi in condizioni non drenate, risultano, nel caso specifico, più attendibili rispetto a quelle drenate, a lungo termine.

Attenzione, i parametri geotecnici dell'unità geotecnica A devono essere presi con cautela in quanto terreni rimaneggiati e alterati.

Per la valutazione dei cedimenti, nel caso specifico, si è fatto opportunamente riferimento ai valori del modulo edometrico (M) ricavato ogni 2 cm di avanzamento e graficati nel modulo di calcolo allegato.

UNITA' GEOTECNICA	CPT 1		CPT 2		CPT 3	
	DA	A	DA	A	DA	A
	A	0.00	0.70	0.00	0.30	0.00
B	0.70	1.40	0.30	1.80	0.60	1.90
C	1.40	3.60	1.80	3.50	1.90	3.20
D	3.60	7.80	3.50	7.70	3.20	7.80
E	7.80	9.40	7.70	10.20	7.80	10.20
F	9.40	12.80	10.20	13.30	10.20	12.90
G	12.80	20.00	13.30	15.00	12.90	20.00

lc	ZONA	LITOTIPO PREVALENTE
MEDIANA	ROBERTSON	ROBERTSON 1990
2.20	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.56	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.80	4	limo argilloso-argilla limosa
2.88	4	limo argilloso-argilla limosa
2.91	4	limo argilloso-argilla limosa
2.93	4	limo argilloso-argilla limosa
2.94	4	limo argilloso-argilla limosa

ANGOLO DI ATTRITO Searly (argille) e Kulhawy Mayne (sabbie)	ANGOLO DI ATTRITO A VOLUME COSTANTE	DENSITA' RELATIVA Tatsucka 1990	COESIONE DRENATA	COESIONE NON DRENATA programma Robertson 2013	COEFFICIENTE DI POISSON Manuale di uso C.D.G.	MODULO DI TAGLIO INIZIALE Robertson 2013	MODULO ELASTICO autori vari	MODULO EDOMETRICO Benassi	Ki di Winkler per piastra di 30cm	Kh di Winkler per pali di diametro 30 cm sul tratto di 1 metro	DENSITA' DEL TERRENO	DENSITA' DEL TERRENO SECCO	OVER CONSOLIDATION RATIO Marchi / SGT 2014
--	--	------------------------------------	------------------	--	--	---	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------------	--	----------------------	-------------------------------	---

### VALORI CARATTERISTICI PER PICCOLI VOLUMI

$\phi$	$\phi_{cv}$	Dr	C'	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	$\gamma$ valori medie	$\gamma^s$ valori medie	OCR valori medie
°	°	%	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	
30.3	28.3	31.3			0.33	0	0	0	0.00	0.000	1876	1476	208.80
17.3	13.9	42.9			0.30	318	177	88	1.19	0.040	1903	1503	26.64
18.4			0.44	0.62	0.32	197	130	43	1.75	0.007	1791	1391	6.94
21.4			0.08	0.52	0.40	221	126	42	1.93	0.008	1742	1342	3.43
20.9			0.25	0.83	0.40	409	244	81	3.00	0.012	1864	1464	3.78
21.5			0.00	0.64	0.40	279	157	53	2.25	0.009	1780	1380	2.52
22.0			0.00	0.71	0.40	306	157	52	2.78	0.011	1787	1387	2.19

UNITA' GEOTECNICA	CPT 1		CPT 2		CPT 3	
	DA	A	DA	A	DA	A
A	0.00	0.70	0.00	0.30	0.00	0.60
B	0.70	1.40	0.30	1.80	0.60	1.90
C	1.40	3.60	1.80	3.50	1.90	3.20
D	3.60	7.80	3.50	7.70	3.20	7.80
E	7.80	9.40	7.70	10.20	7.80	10.20
F	9.40	12.80	10.20	13.30	10.20	12.90
G	12.80	20.00	13.30	15.00	12.90	20.00

lc	ZONA	LITOTIPO PREVALENTE
MEDIANA	ROBERTSON	ROBERTSON 1990
2.20	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.56	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.80	4	limo argilloso-argilla limosa
2.88	4	limo argilloso-argilla limosa
2.91	4	limo argilloso-argilla limosa
2.93	4	limo argilloso-argilla limosa
2.94	4	limo argilloso-argilla limosa

### VALORI CARATTERISTICI PER GRANDI VOLUMI

$\phi$	$\phi_{cv}$	Dr	C'	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	$\gamma$ valori medie	$\gamma_s$ valori medie	OCR valori medie
°	°	%	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/mc	kg/mc	
36.6	31.1	57.3			0.33	496	490	200	10.86	0.362	1876	1476	208.80
29.5	24.6	53.9			0.30	511	424	159	5.65	0.188	1903	1503	26.64
23.4			0.49	0.89	0.32	331	214	73	2.68	0.011	1791	1391	6.94
24.0			0.28	0.74	0.40	298	187	62	2.50	0.010	1742	1342	3.43
22.1			0.40	1.08	0.40	493	311	104	3.50	0.014	1864	1464	3.78
24.5			0.07	0.92	0.40	390	242	81	3.02	0.012	1780	1380	2.52
24.7			0.03	1.05	0.40	437	273	91	3.40	0.014	1787	1387	2.19

UNITA' GEOTECNICA	CPT 1		CPT 2		CPT 3	
	DA	A	DA	A	DA	A
A	0.00	0.70	0.00	0.30	0.00	0.60
B	0.70	1.40	0.30	1.80	0.60	1.90
C	1.40	3.60	1.80	3.50	1.90	3.20
D	3.60	7.80	3.50	7.70	3.20	7.80
E	7.80	9.40	7.70	10.20	7.80	10.20
F	9.40	12.80	10.20	13.30	10.20	12.90
G	12.80	20.00	13.30	15.00	12.90	20.00

lc	ZONA	LITOTIPO PREVALENTE
MEDIANA	ROBERTSON	ROBERTSON 1990
2.20	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.56	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.80	4	limo argilloso-argilla limosa
2.88	4	limo argilloso-argilla limosa
2.91	4	limo argilloso-argilla limosa
2.93	4	limo argilloso-argilla limosa
2.94	4	limo argilloso-argilla limosa

### VALORI MEDI

$\phi$	$\phi_{cv}$	Dr	C'	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	$\gamma$ valori medie	$\gamma_s$ valori medie	OCR valori medie
°	°	%	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/mc	kg/mc	
37.6	31.3	61.9			0.33	612	571	251	15.87	0.529	1876	1476	208.80
30.8	25.6	55.5			0.30	531	450	166	6.11	0.204	1903	1503	26.64
23.7			0.49	0.91	0.32	342	221	75	2.76	0.011	1791	1391	6.94
24.2			0.29	0.75	0.40	302	190	63	2.52	0.010	1742	1342	3.43
22.2			0.41	1.10	0.40	499	316	105	3.54	0.014	1864	1464	3.78
24.7			0.08	0.93	0.40	397	247	83	3.06	0.012	1780	1380	2.52
24.9			0.03	1.07	0.40	443	279	93	3.43	0.014	1787	1387	2.19

UNITA' GEOTECNICA	CPT 5		CPT 4		CPT 3		Ic	ZONA ROBERTSON	LITOTIPO PREVALENTE ROBERTSON 1990
	DA	A	DA	A	DA	A			
	A	0.00	0.70	0.00	0.60	0.00			
B	0.70	2.10	0.60	2.10	0.60	1.90	2.63	4	limo argilloso-argilla limosa
C	2.10	3.00	2.10	3.00	1.90	3.20	2.76	4	limo argilloso-argilla limosa
D	3.00	8.00	3.00	7.80	3.20	7.80	2.93	4	limo argilloso-argilla limosa
E	8.00	8.90	7.80	9.00	7.80	10.20	2.94	4	limo argilloso-argilla limosa
F	8.90	13.90	9.00	12.60	10.20	12.90	2.96	3	argilla-argilla limosa
G	13.90	15.30	12.60	15.00	12.90	14.80	2.94	4	limo argilloso-argilla limosa
H	15.30	20.00			14.80	20.00	2.92	4	limo argilloso-argilla limosa

ANGOLO DI ATTRITO Searly (argille) e Kulhawy Mayne (sabbie)	ANGOLO DI ATTRITO A VOLUME COSTANTE	DENSITA' RELATIVA Tatsuoka 1990	COESIONE DRENATA	COESIONE NON DRENATA programma Robertson 2013	COEFFICIENTE DI POISSON Manuale di uso C.D.G.	MODULO DI TAGLIO INIZIALE Robertson 2013	MODULO ELASTICO autori vari	MODULO EDOMETRICO Benassi	Ki di Winkler per piastra di 30cm	Kh di Winkler per pali di diametro 30 cm sul tratto di 1 metro	DENSITA' DEL TERRENO	DENSITA' DEL TERRENO SECCO	OVER CONSOLIDATION RATIO Marchi/SGT 2014
--	-------------------------------------	------------------------------------	------------------	--	--	---	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------------	--	----------------------	----------------------------	---

### VALORI CARATTERISTICI PER PICCOLI VOLUMI

$\phi$	$\phi_{cv}$	Dr	C'	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	$\gamma$ valori medie	$\gamma_s$ valori medie	OCR valori medie
°	°	%	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/mc	kg/mc	
28.2	27.0	21.4			0.31	199	0	0	0.00	0.000	1924	1524	239.75
17.4			0.46	0.48	0.28	190	133	22	0.54	0.002	1840	1440	14.06
19.2			0.32	0.45	0.28	161	72	17	1.07	0.004	1742	1342	5.38
19.7			0.11	0.53	0.40	250	143	48	1.90	0.008	1776	1376	3.60
20.3			0.15	0.74	0.40	382	215	72	2.80	0.011	1852	1452	3.49
21.0			0.00	0.55	0.40	236	122	41	2.13	0.009	1765	1365	2.33
20.3			0.00	0.77	0.40	430	238	82	2.76	0.011	1849	1449	2.69
22.7			0.00	0.61	0.40	273	120	40	2.59	0.010	1754	1354	1.92

UNITA' GEOTECNICA	CPT 5		CPT 4		CPT 3	
	DA	A	DA	A	DA	A
A	0.00	0.70	0.00	0.60	0.00	0.60
B	0.70	2.10	0.60	2.10	0.60	1.90
C	2.10	3.00	2.10	3.00	1.90	3.20
D	3.00	8.00	3.00	7.80	3.20	7.80
E	8.00	8.90	7.80	9.00	7.80	10.20
F	8.90	13.90	9.00	12.60	10.20	12.90
G	13.90	15.30	12.60	15.00	12.90	14.80
H	15.30	20.00			14.80	20.00

lc	ZONA	LITOTIPO PREVALENTE
MEDIANA	ROBERTSON	ROBERTSON 1990
2.34	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.63	4	limo argilloso-argilla limosa
2.76	4	limo argilloso-argilla limosa
2.93	4	limo argilloso-argilla limosa
2.94	4	limo argilloso-argilla limosa
2.96	3	argilla-argilla limosa
2.94	4	limo argilloso-argilla limosa
2.92	4	limo argilloso-argilla limosa

### VALORI CARATTERISTICI PER GRANDI VOLUMI

$\phi$	$\phi_{cv}$	Dr	C'	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	$\gamma$ valori medie	$\gamma_s$ valori medie	OCR valori medie
°	°	%	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/mc	kg/mc	
35.8	31.0	52.7			0.31	693	449	220	10.77	0.359	1924	1524	239.75
27.8			0.49	1.07	0.28	404	288	107	3.26	0.013	1840	1440	14.06
25.2			0.44	0.72	0.28	276	183	63	2.34	0.009	1742	1342	5.38
22.9			0.32	0.75	0.40	335	203	68	2.57	0.010	1776	1376	3.60
22.0			0.34	0.99	0.40	470	285	95	3.32	0.013	1852	1452	3.49
24.1			0.05	0.82	0.40	372	219	73	2.85	0.011	1765	1365	2.33
23.1			0.10	1.12	0.40	516	322	108	3.56	0.014	1849	1449	2.69
25.6			0.01	1.02	0.40	401	240	80	3.27	0.013	1754	1354	1.92

UNITA' GEOTECNICA	CPT 5		CPT 4		CPT 3	
	DA	A	DA	A	DA	A
A	0.00	0.70	0.00	0.60	0.00	0.60
B	0.70	2.10	0.60	2.10	0.60	1.90
C	2.10	3.00	2.10	3.00	1.90	3.20
D	3.00	8.00	3.00	7.80	3.20	7.80
E	8.00	8.90	7.80	9.00	7.80	10.20
F	8.90	13.90	9.00	12.60	10.20	12.90
G	13.90	15.30	12.60	15.00	12.90	14.80
H	15.30	20.00			14.80	20.00

lc	ZONA	LITOTIPO PREVALENTE
MEDIANA	ROBERTSON	ROBERTSON 1990
2.34	5	sabbia limosa-limo sabbioso
2.63	4	limo argilloso-argilla limosa
2.76	4	limo argilloso-argilla limosa
2.93	4	limo argilloso-argilla limosa
2.94	4	limo argilloso-argilla limosa
2.96	3	argilla-argilla limosa
2.94	4	limo argilloso-argilla limosa
2.92	4	limo argilloso-argilla limosa

### VALORI MEDI

$\phi$	$\phi_{cv}$	Dr	C'	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	$\gamma$ valori medie	$\gamma_s$ valori medie	OCR valori medie
°	°	%	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/mc	kg/mc	
36.9	31.3	57.4			0.31	782	518	263	14.91	0.497	1924	1524	239.75
28.7			0.49	1.14	0.28	423	302	115	3.50	0.014	1840	1440	14.06
25.9			0.46	0.76	0.28	289	195	68	2.49	0.010	1742	1342	5.38
23.0			0.33	0.76	0.40	339	205	68	2.61	0.010	1776	1376	3.60
22.1			0.35	1.02	0.40	478	292	97	3.37	0.013	1852	1452	3.49
24.3			0.06	0.84	0.40	379	225	75	2.89	0.012	1765	1365	2.33
23.3			0.11	1.15	0.40	522	328	110	3.62	0.014	1849	1449	2.69
25.7			0.02	1.04	0.40	409	247	82	3.31	0.013	1754	1354	1.92

### 9.1.2 VALUTAZIONE DELLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) – DEFORMAZIONI IRREVERSIBILI

A titolo indicativo si valuta il cedimento di un ipotetico rilevato con dimensioni di 14m+5m+5m, con altezza massima di 6m. Ipoteticamente si considera un sovraccarico pari a 0 ton/mq, 5 ton/mq e 10 ton/mq.

Le valutazioni sono state eseguite con il software della Geostru.

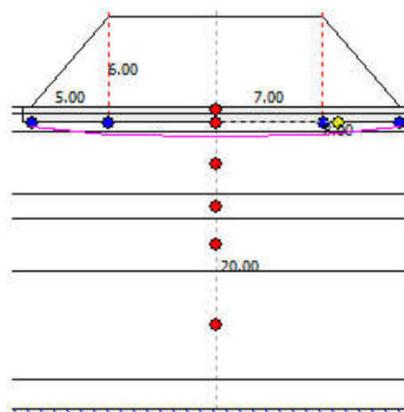
Riferimento zona	SEZIONE tipo
Pressione imposta in sul rilevato (t/m <sup>2</sup> )	0
1/2 Larghezza rettangolo (mt)	7
Larghezza base triangolo (mt)	5
Imposta piano di posa sbancamento (mt)	1
Gamma sbancamento (t/m <sup>3</sup> )	1.8
Incremento netto al piano di posa (t/m <sup>2</sup> )	8.6
Distanza asse - IV punto a scelta (mt)	8
DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO (mt)	20
Altezza rilevato (mt)	6
Gamma del rilevato (t/m <sup>3</sup> )	1.8
Gamma fondazione rilevato (t/m <sup>3</sup> )	1.8

Cedimenti per ogni strato

Strato	Spessore DH strato (mt)	Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado di consolidazione OCR	Asse (cm)	Bordo esterno (cm)	Piede (cm)	IV Punto (cm)
1	0.4	166	26	0.054	0.054	0.001	0.043
2	1.2	75	6	0.411	0.403	0.034	0.338
3	4.2	63	3	3.747	3.126	0.843	2.717
4	1.6	105	3	0.746	0.588	0.245	0.525
5	3.4	83	2	2.083	1.667	0.847	1.515
6	7.2	93	2	2.915	2.374	1.501	2.214

Cedimenti total

Asse	9.956	cm
Bordo	8.212	cm
Piede	3.471	cm
IV Punto	7.352	cm



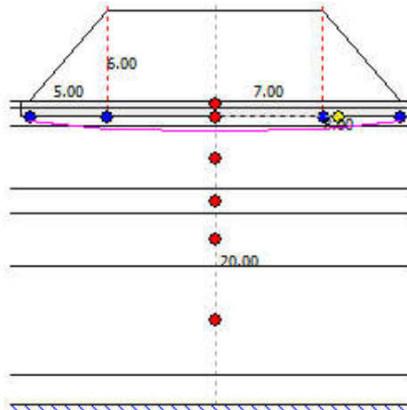
Riferimento zona	SEZIONE tipo
Pressione imposta in sul rilevato (t/m <sup>2</sup> )	5
1/2 Larghezza rettangolo (mt)	7
Larghezza base triangolo (mt)	5
Imposta piano di posa sbancamento (mt)	1
Gamma sbancamento (t/m <sup>3</sup> )	1.8
Incremento netto al piano di posa (t/m <sup>2</sup> )	13.6
Distanza asse - IV punto a scelta (mt)	8
DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO (mt)	20
Altezza rilevato (mt)	6
Gamma del rilevato (t/m <sup>3</sup> )	1.8
Gamma fondazione rilevato (t/m <sup>3</sup> )	1.8

Cedimenti per ogni strato

Strato	Spessore DH strato (mt)	Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado di consolidazione OCR	Asse (cm)	Bordo esterno (cm)	Piede (cm)	IV Punto (cm)
1	0.4	166	26	0.085	0.085	0.001	0.069
2	1.2	75	6	0.651	0.639	0.053	0.536
3	4.2	63	3	5.939	4.953	1.336	4.307
4	1.6	105	3	1.182	0.933	0.389	0.832
5	3.4	83	2	3.301	2.642	1.342	2.401
6	7.2	93	2	4.62	3.763	2.379	3.508

Cedimenti total

Asse	15.778	cm
Bordo	13.015	cm
Piede	5.5	cm
IV Punto	11.653	cm



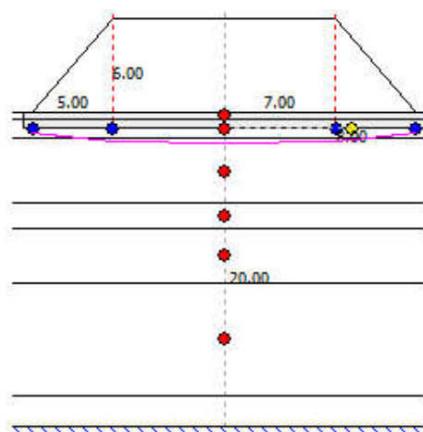
Riferimento zona	SEZIONE tipo
Pressione imposta in sul rilevato (t/m <sup>2</sup> )	10
1/2 Larghezza rettangolo (mt)	7
Larghezza base triangolo (mt)	5
Imposta piano di posa sbancamento (mt)	1
Gamma sbancamento (t/m <sup>3</sup> )	1.8
Incremento netto al piano di posa (t/m <sup>2</sup> )	18.6
Distanza asse - IV punto a scelta (mt)	8
DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO (mt)	20
Altezza rilevato (mt)	6
Gamma del rilevato (t/m <sup>3</sup> )	1.8
Gamma fondazione rilevato (t/m <sup>3</sup> )	1.8

Cedimenti per ogni strato

Strato	Spessore DH strato (mt)	Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado di consolidazione OCR	Asse (cm)	Bordo esterno (cm)	Piede (cm)	IV Punto (cm)
1	0.4	166	26	0.116	0.116	0.002	0.09
2	1.2	75	6	0.891	0.875	0.073	0.73
3	4.2	63	3	8.131	6.781	1.829	5.89
4	1.6	105	3	1.619	1.277	0.532	1.13
5	3.4	83	2	4.518	3.617	1.837	3.28
6	7.2	93	2	6.325	5.151	3.257	4.80

Cedimenti total

Asse	21.6	cm
Bordo	17.817	cm
Piede	7.53	cm
IV Punto	15.953	cm



## 10. CONCLUSIONI

La morfologia dell'area di interesse è pianeggiante e non presenta particolari degni di nota. Uno sguardo complessivo alle risultanze della prova effettuata evidenzia la presenza di terreni di alterazione superficiale fino a circa 0.3÷0.5m dal piano di campagna attuale, seguono terreni prevalentemente limoso-argillosi, con intercalazioni di livelli di sabbia limosa, frequenti fino a circa 3.5 m dal piano di campagna e rari fino alla massima profondità indagata di 20m dal piano di campagna.

Il livello della falda freatica, alla data delle indagini geognostiche, risultava essere presente a circa – 2.6÷3.0m dal piano di campagna.

L'area è soggetta ad allagamenti poco frequenti (T=100-200 anni), unicamente con acque provenienti dal reticolo di bonifica. Il Consorzio di Bonifica competente, come da specifica normativa, dovrà fornire il tirante idrico di riferimento a cui attenersi per la mitigazione del rischio idraulico.

Le misure dei microtremiti hanno evidenziato frequenze significative per l'ingegneria nei confronti dei fenomeni di risonanza del substrato del sito in esame, uniformi per le aree oggetto di variante, e, in ogni, caratterizzati da bassissima amplificazione.

<i>Misura HVSR</i>	<i>Frequenze fondamentali di vibrazione del deposito</i>	
Numero misura	Frequenza – f (Hz)	Periodo – T (sec)
T1	0.8÷1.1	1.25÷0.9
T2 e T3	0.9÷1.1	1.11÷0.9

### **NTC – 17-01-2088**

In base alla NTC 2018 il sito in esame è caratterizzato, considerando tempi di ritorno di **712 anni**, da accelerazione al bedrock sismico di  $a_{rif} = 0.213g$  e da  $Vs30 = 186\div 211$  m/s, quindi **categoria di suolo C** con fattore stratigrafico pari a  $S_s = 1.39$ . Considerando che l'area presenta un fattore topografico pari ad uno, l'accelerazione massima alla superficie del sito in esame sarà pari  $a_{max} = 0.296g$ .

### **D.G.R. n. 2193/2015**

il sito di interesse ricade in zona di pianura 2.

Considerando le suddette  $Vs30$ , si ottengono le seguenti amplificazione dello spettro elastico:

- F.A. P.G.A. = 1.7
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE  $0.1s < T_0 < 0.5s = 2.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE  $0.5s < T_0 < 1.0s = 3.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE  $0.5s < T_0 < 1.5s = 3.3$

Per quanto riguarda l'ag al suolo attribuita al sito in esame, facendo sempre riferimento alla già citata D.G.R., ma considerando un sisma di progetto di 475 anni, come previsto dalla D.G.R. in parola, si ha un valore pari a  $a_g = 0.183 * 1.7 = 0.311g$ , quindi di poco superiore rispetto a quanto ottenuto seguendo le procedure della normativa nazionale considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni.

L'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), riportata in appendice, considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 712 anni, ha evidenziato valori di  $a_g$  compresi tra 0.207g e 0.312g, media 0.269g, in linea con le risultanze ottenute con il metodo semplificato delle NTC2018.

Il substrato del lotto in esame, considerando tempi di ritorno di 712 anni, non presenta rischio di liquefazione ed i cedimenti post sisma risultano ammissibili in riferimento agli stati limite previsti dalle NTC 2018.

Alla luce delle indagini e delle valutazioni sopra esposte, si ammette l'idoneità dell'area di interesse ai fini della fattibilità geologica, sismica e geotecnica per la realizzazione delle previste opere di raccordo stradale, facendo menzione delle indicazioni riportate nella presente relazione.

Si rammenta che, in ogni caso, il progetto esecutivo dovrà essere corredato da opportuna relazione tecnica a carattere esecutivo, come prescritto dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni e dalle relative circolari esplicative che saranno in vigore all'atto degli esecutivi.

*Novembre, 2018*

---

# Appendice

## ***Analisi di Risposta Sismica Locale***

### LA MODELLAZIONE STRATA

La modellazione numerica dei dati, ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software STRATA (2008), sviluppato da Albert Kottke.

Nel corso dei passati terremoti, si è osservato che il comportamento dei terreni dipende dalle condizioni locali. Le amplificazioni dovute agli effetti locali sono simulate usando numerosi programmi che assumono condizioni di suolo semplificate, come strati di terreno orizzontali ed estesi infinitamente.

Uno dei programmi sviluppati per questo scopo è stato STRATA che calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà variabili in funzione del livello deformativo. Il programma permette di eseguire analisi lineari elastiche (EL), dove le proprietà elastiche e lo smorzamento sono mantenuti costanti, o analisi equivalenti lineari (EQL) dove le proprietà elastiche e lo smorzamento vengono fatti variare in funzione del livello deformativo. Il progenitore dei programmi 1D che utilizzano il metodo EQL è il programma SHAKE di Schnabel et al. (1972).

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di STRATA si compone di due fasi: elaborazione del modello, simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto. La prima fase consiste nell'inserire i dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento.

Le analisi di RSL sono state condotte considerando lo SLV con un sisma di progetto con tempi di ritorno di 712 anni.

Per lo SLV si è fatto riferimento ai tre accelerogrammi, selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale e forniti per le analisi regionali di RSL, le cui tracce sismiche sono rappresentative del territorio della Regione Emilia-Romagna e che possono verificarsi sul sito oggetto di indagine.

I tre accelerogrammi di riferimento, forniti dalla RER, sono relativi a tre diversi possibili scenari:

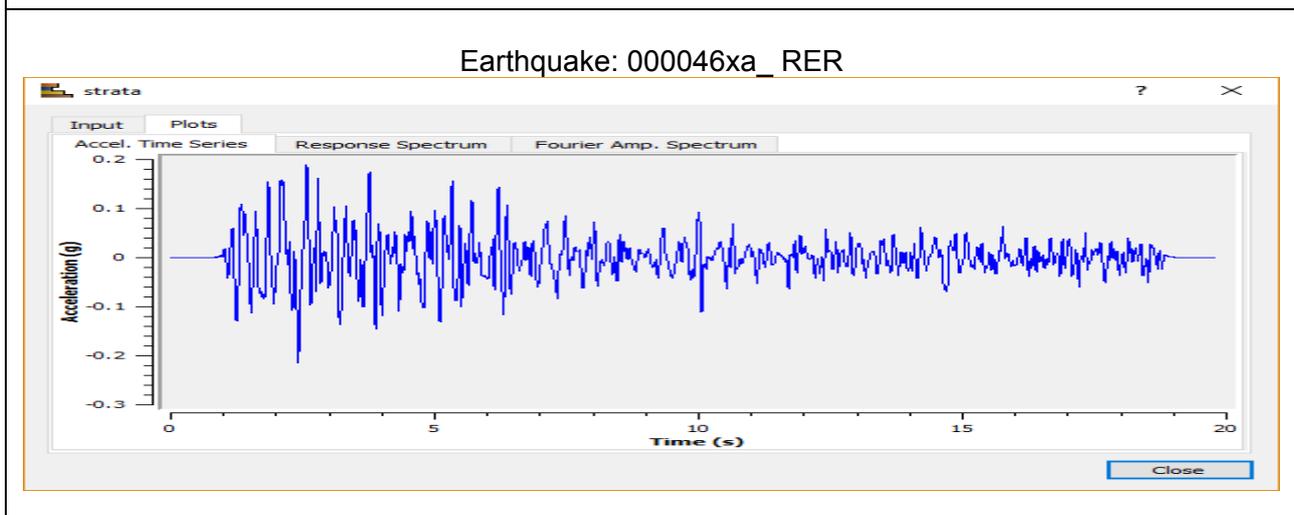
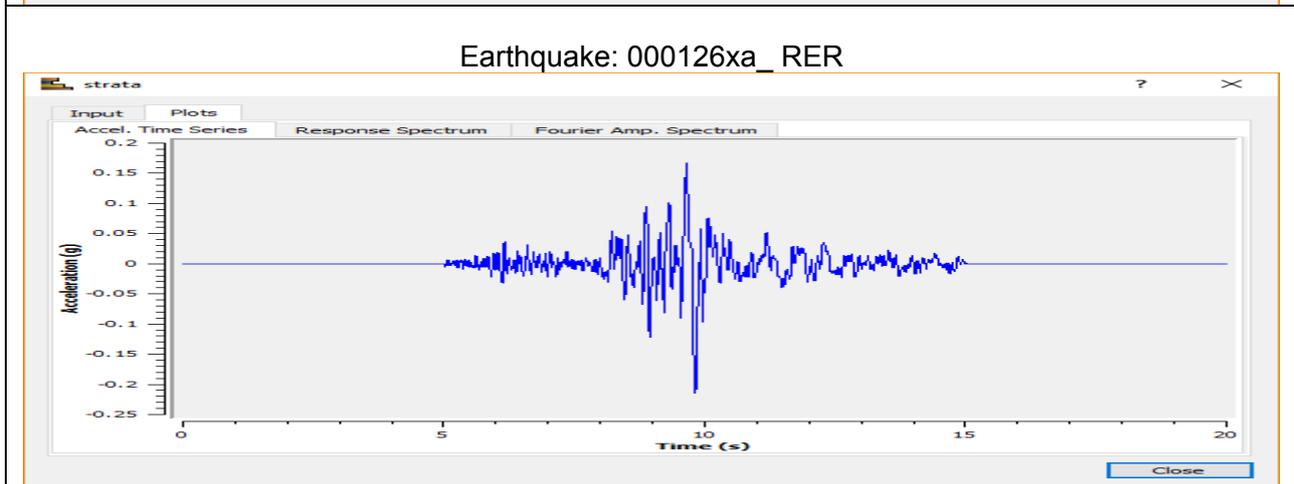
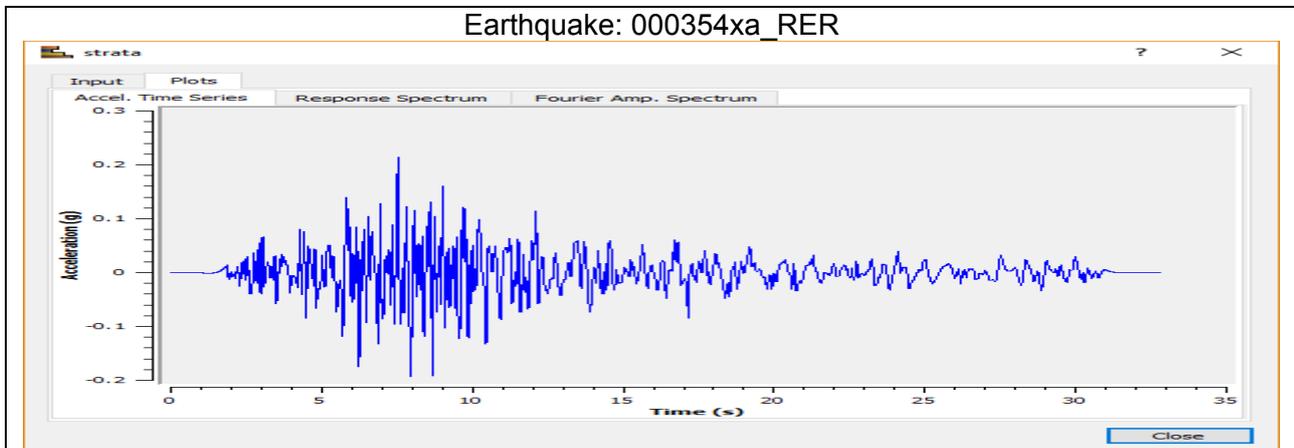
- 1) impulsivo;
- 2) con componente predominante alle alte frequenze;
- 3) con ampio contenuto in frequenze.

Inoltre, sono stati selezionati altri 4 sismogrammi compatibili con la risposta sismica di base del sito in esame con tempi di ritorno di 712 anni.

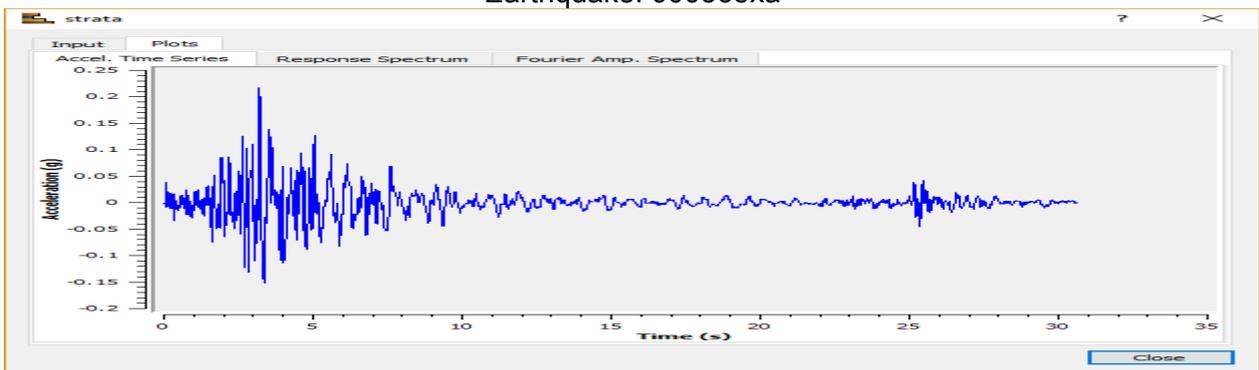
Dopo aver determinato gli input sismici, si è proceduto alla costruzione della colonna di sottosuolo di riferimento rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

La stratigrafia che caratterizza il profilo stratigrafico è stata derivata dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate nel sito di interesse e ricavate dai dati del sottosuolo della zona in esame riportati in letteratura.

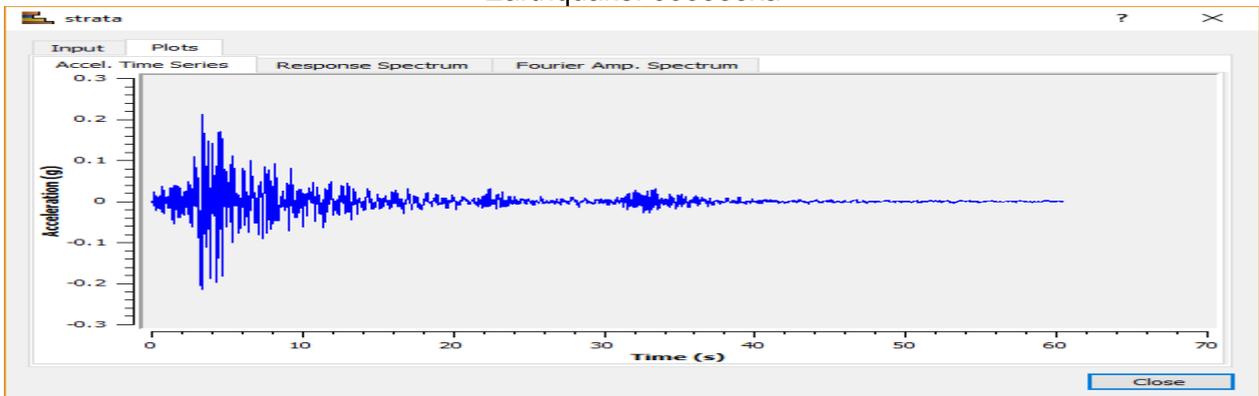
## Sismogrammi per SLV



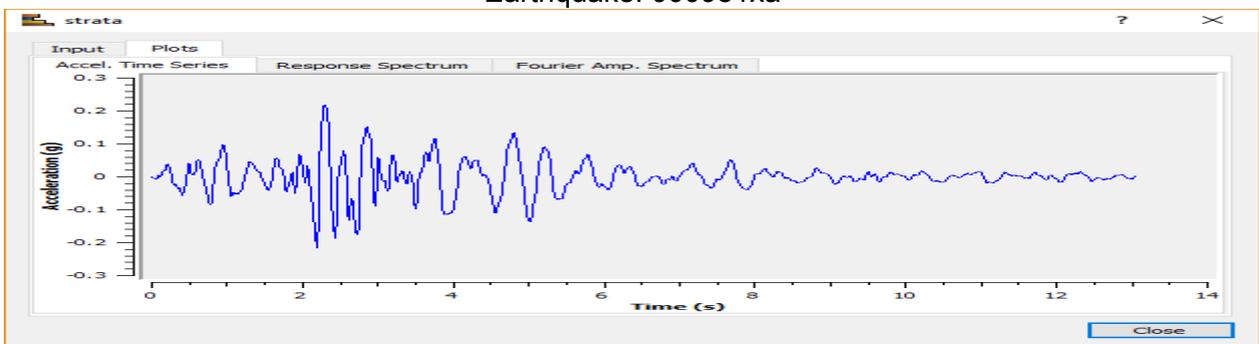
Earthquake: 000365xa



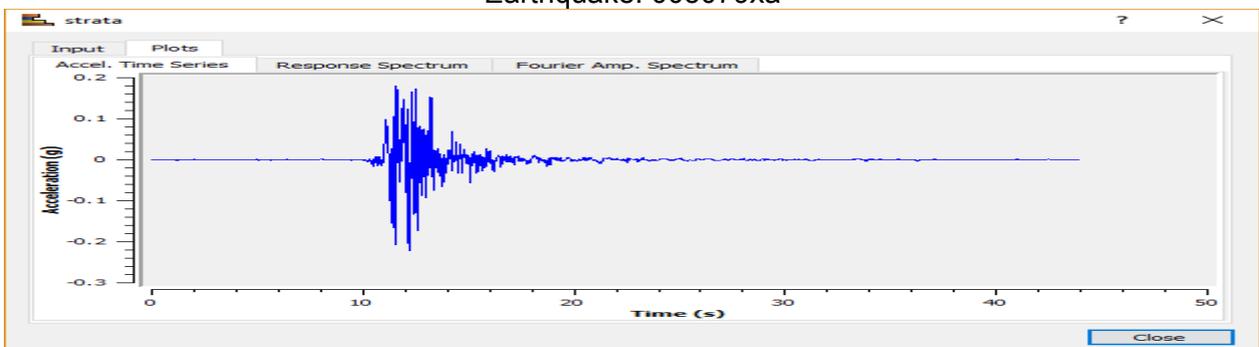
Earthquake: 000385xa



Earthquake: 000981xa



Earthquake: 005079xa



Dopo aver determinato gli input sismici, si è proceduto alla costruzione della colonna di riferimento rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (Vs).

La stratigrafia di input che caratterizza il profilo stratigrafico è stata derivata dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate sul sito di interesse e ricavate dai dati del sottosuolo della zona in esame riportati in letteratura.

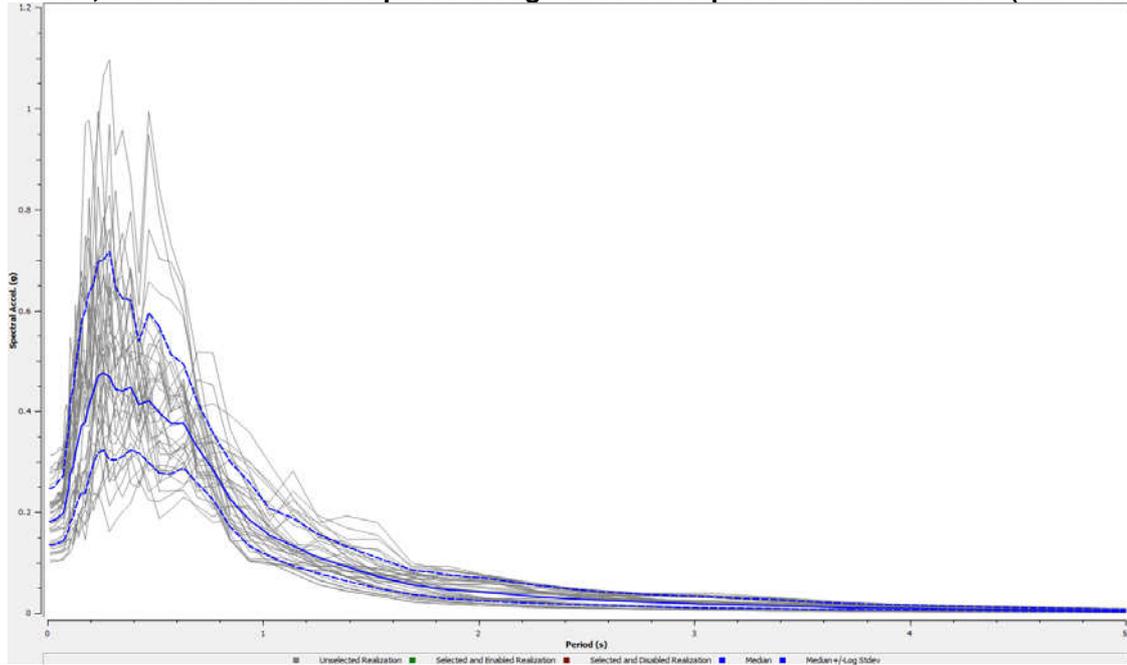
Nel caso specifico, in considerazione delle caratteristiche litologiche delle formazioni della zona di interesse, si è fatto riferimento al seguente modello litostratigrafico.

<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia prevalente</b>	<b>Tipo curve modulo di taglio</b>	<b>Tipo curve smorzamento</b>
0.00	0.50	sabbia	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand
0.50	25.00	argilla	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
25.50	5.00	sabbia	Sand (superficie)	
30.50	10.00	argilla	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
40.50	75.00	argilla	EPRI (93), 250-500 ft	EPRI (93), 250-500 ft
115.50	25.00	argilla	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
140.50	10.00	sabbia	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand
150.50	100.00	argilla	GEI (83), >500 ft	EPRI (93), 500-1000 ft
250.50	200.00	argilla	GEI (83), >500 ft	GEI (83), >500 ft
450.50	Half- Space	Substrato considerato	Bedrock	Bedrock

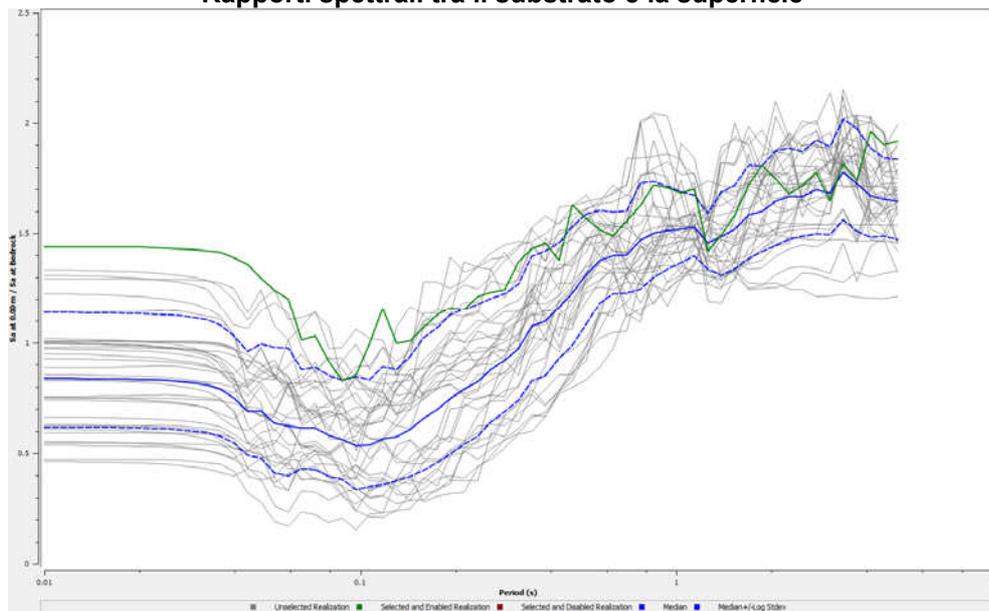
Utilizzando il programma STRATA si riportano i dati ricavati dalla modellazione numerica monodimensionale. Nella modellazione si è proceduto ad una analisi probabilistica facendo variare in modo automatico le velocità delle onde di taglio per ogni strato, il profilo stratigrafico, le caratteristiche dei terreni e le caratteristiche e la profondità del bedrock (tra 250m e 450 m). Sono poi stati scelti i profili con scenario più conservativi e coerenti con l'assetto sismostratigrafico del sito in esame, sui quali sono state eseguite analisi statistiche.

### Stato Limite della Vita – SLV

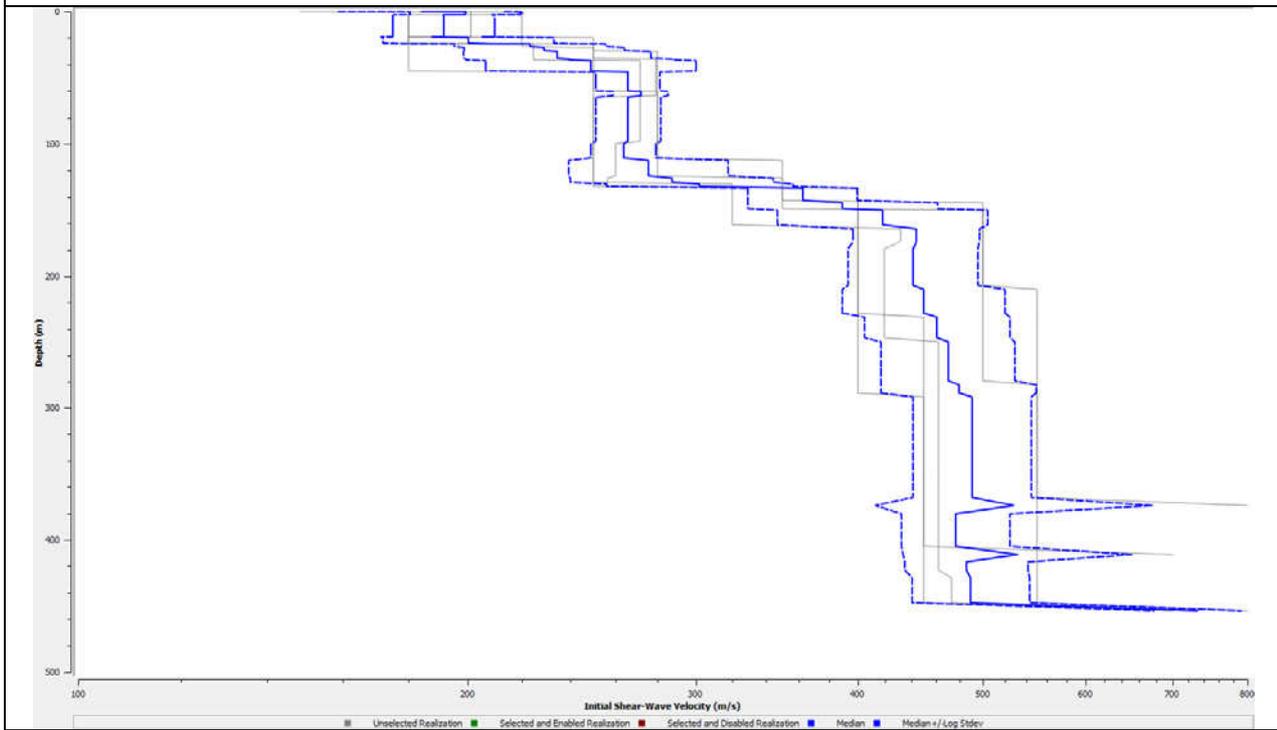
**Spettri elastici relativi ai possibili scenari in base alla variazione della Vs, delle curve di smorzamento dei materiali, alla variazione dello spessore degli strati e alla profondità del bedrock (250÷450m)**



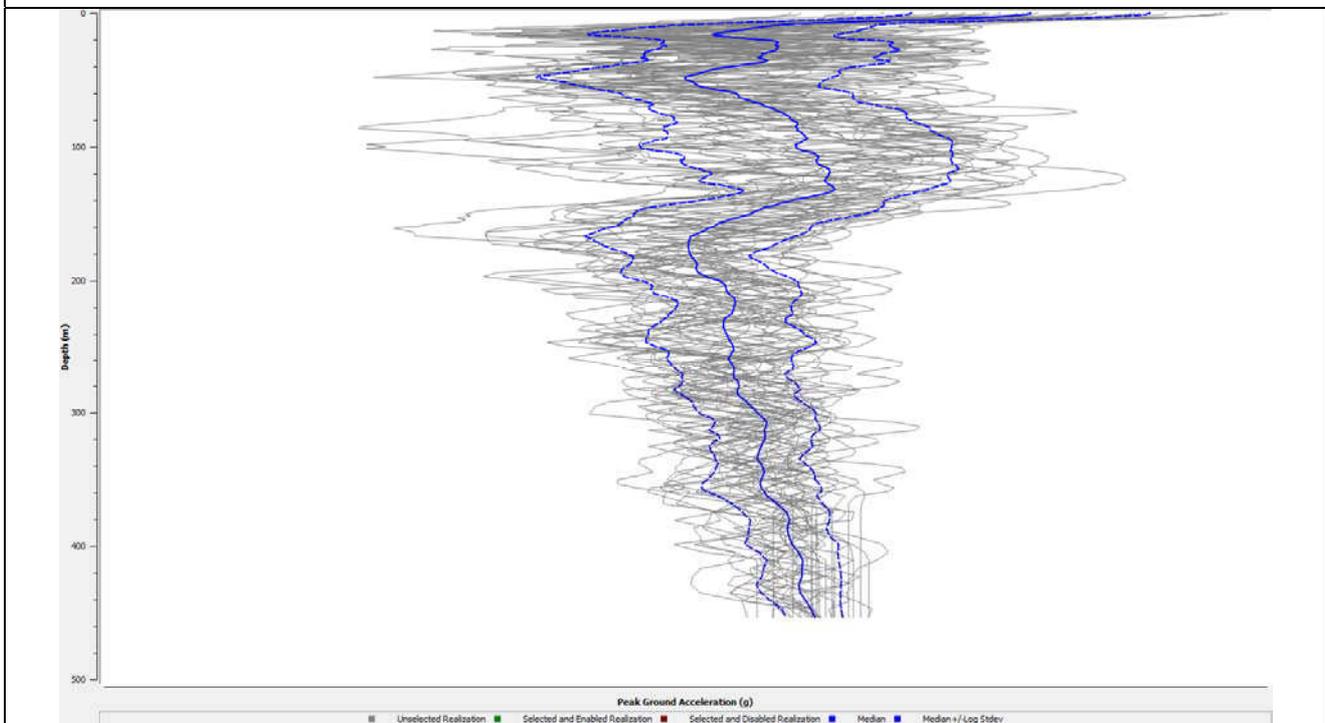
**Rapporti spettrali tra il substrato e la superficie**



### Profilo di Vs iniziale considerato nel Modello STRATA

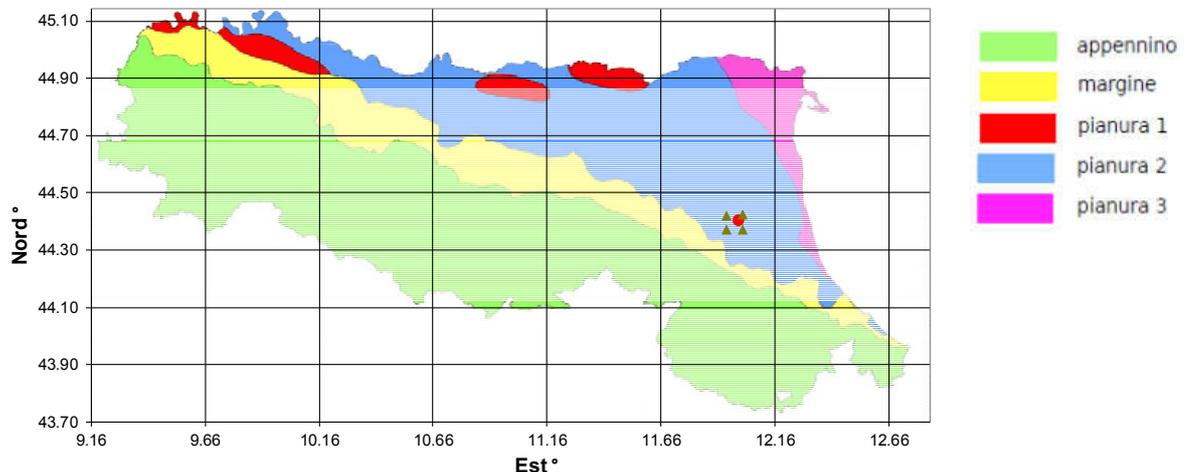


### Profilo accelerazione di picco nel Modello STRATA



Di seguito si valutano i rapporti spettrali PGA / PGa<sub>o</sub> e SI / S<sub>lo</sub> in riferimento a quanto proposto dalla LR 2381 / 2015 rispetto al metodo semplificato di II° livello ed al III° livello con elaborazione delle tracce sismiche fornite dalla RER utilizzando il codice di calcolo STRATA e il profilo del suolo emerso dalle indagini geofisiche sull'area per la valutazione degli effetti in superficie.

Assumendo che il sito ricada in ambito di PIANURA 2, come definito dal rapporto "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini, 2015), e considerando una classe di Vs30 = 200m/s, si ottengono i parametri sotto riportate.



<b>VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO</b>			
<b>Decreto Ministeriale 14-01-2008</b>		<b>Regione Emilia-Romagna LR 2381 / 2015</b>	
Latitude (gradi decimali ED50)	44.407400	44.407400	Latitude (gradi decimali ED50)
Longitude (gradi decimali ED50)	12.004200	12.004200	Longitude (gradi decimali ED50)
Accelerazione su suolo di riferimento rigido - SLV (ag/g)	0.183	0.183000	Accelerazione massima orizzontale di picco al suolo per T <sub>0</sub> (a <sub>refg</sub> )
Tipo di opera	2	PIANURA 2	Riferimento territoriale / Suolo di riferimento
Classe d'uso	2	Pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato da un importante discontinuità stratigrafica con contrasto di impedenza significativo tale da essere considerato il tetto del substrato rigido alla profondità tra 100-150m dal piano campagna	
Vita Nominale (V <sub>N</sub> )	50 anni		
Coefficiente d'uso (C <sub>U</sub> )	1.5		
Vita di riferimento (V <sub>N</sub> x C <sub>U</sub> )	50 anni		
Tempi di ritorno (SLV)	712 anni	0	Profondità Bedrock sismico
		800	Velocità di taglio di riferimento del substrato marino (Vs) (m/s), oppure Velocità onde di taglio Bedrock like (Vs) (m/s)
Velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m (Vs30)	230	200	Velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30m (Vs30) (m/s)
Categoria di sottosuolo	C		
Coefficiente di amplificazione per tipo di suolo (S <sub>s</sub> )	1.39	1.7	Fattore di Amplificazione del PGA (Peak Ground Acceleration)
		2.0	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.1s < T <sub>0</sub> < 0.5s)
		3.0	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.5s < T <sub>0</sub> < 1.0s)
		3.3	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.5s < T <sub>0</sub> < 1.5s)
Categoria topografica	T1		
Coefficiente di amplificazione per categoria topografica (S <sub>T</sub> )	1.00	1.0	Coefficiente di amplificazione per categoria topografica (S <sub>T</sub> )
Accelerazione massima orizzontale al suolo (a <sub>maxg</sub> )= a <sub>0g</sub> *S <sub>T</sub>	<b>0.254</b>	<b>0.311</b>	Accelerazione massima orizzontale al suolo (a <sub>0g</sub> = a <sub>ref</sub> * F.A. PGA * S <sub>T</sub> )

Dal modello STRATA è stato possibile anche ricavare gli spettri delle pseudo velocità relative che sono state utilizzate per la valutazione dell'intensità di Housner, utilizzata dalla RER nella definizione dello spettro elastico, successivamente utile per le considerazioni sulle opere ingegneristiche.

L'intensità di Housner è stata calcolata utilizzando un foglio di calcolo excel implementando l'integrazione della pseudo-velocity (calcolate dalle accelerazioni ottenute dalla modellazione con STRATA) per intervalli di dT = 0.11 a 0.52 sec, dT = 0.52 a 1.03 sec e dT = 0.52 a 1.53 sec.

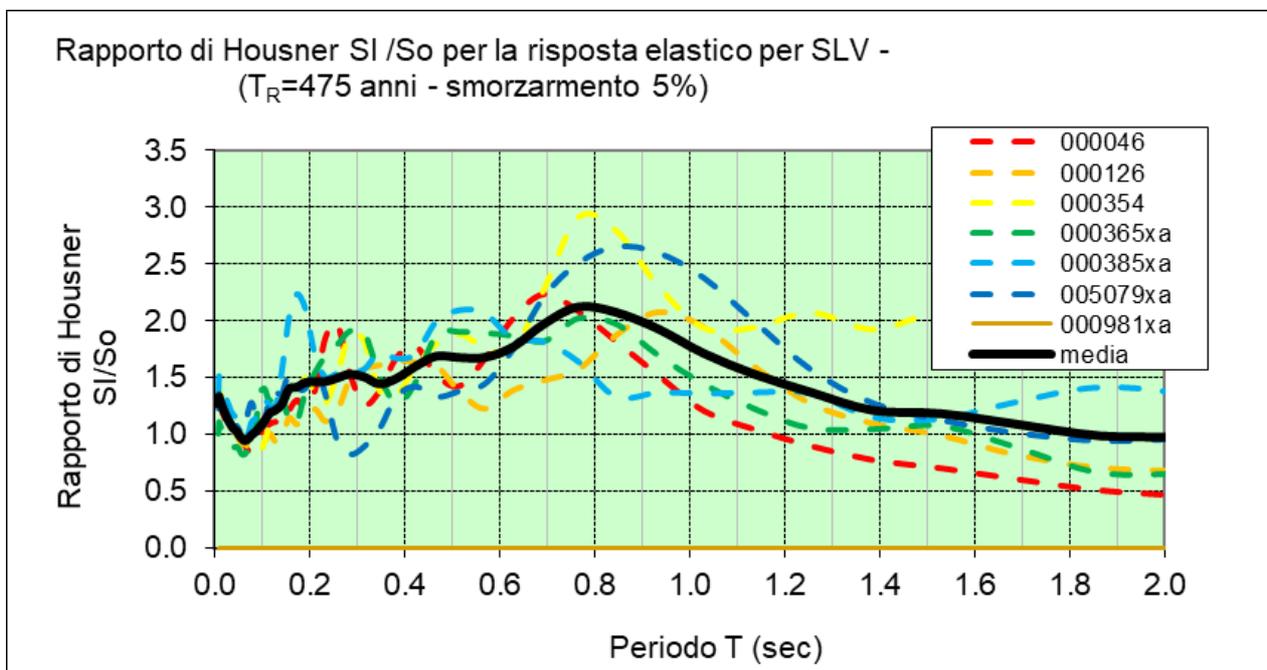
I valori sono stati confrontati con S<sub>lo</sub> proposti dalla RER. I valori del rapporto sono osservabili nelle sotto riportate tabelle.

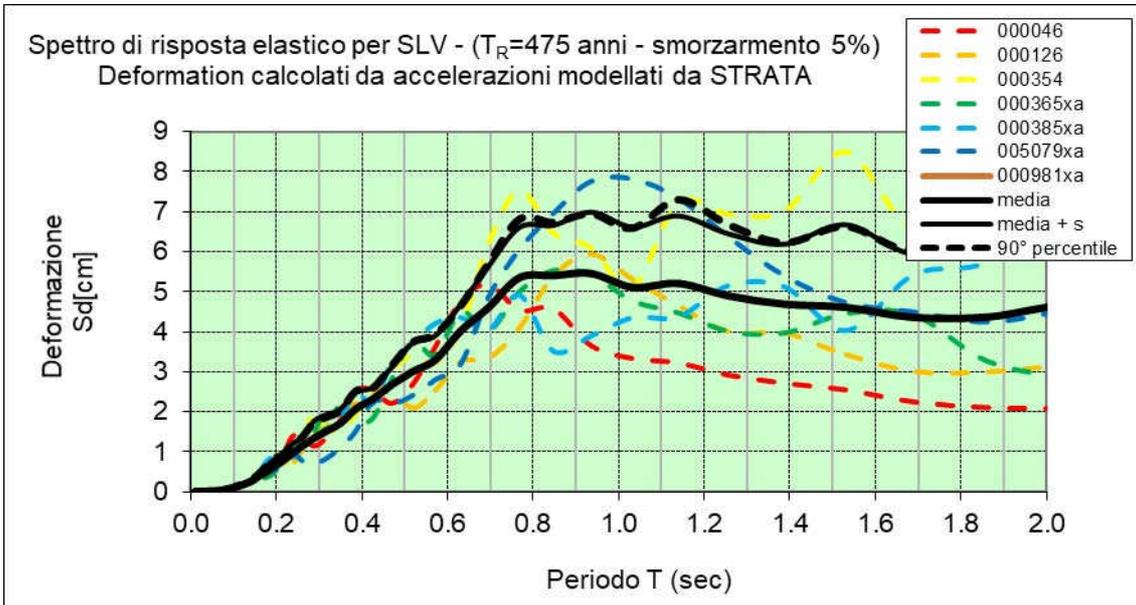
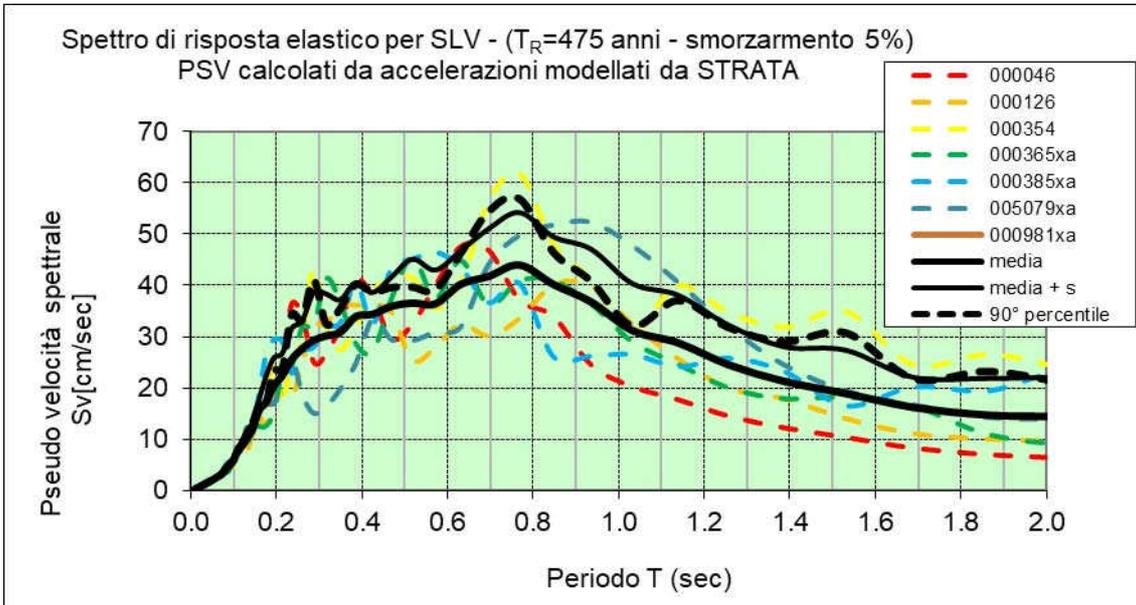
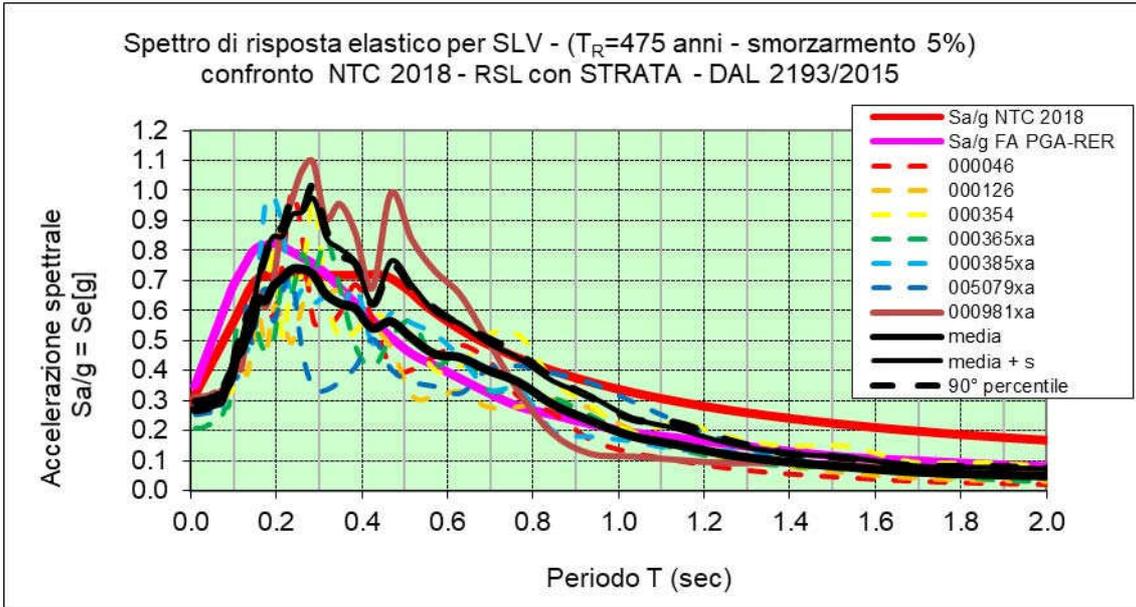
Si riporta anche la tabella del rapporto dei valori PGA del modello STRATA e quello della DAL 2193/2015.

Riferimento accellogramma	Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI = j PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI1/SIo		Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI = j PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI2/SIo		Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI = j PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI3/SIo	
	S1: 0.1 < T < 0.5		S2: 0.5 < T < 1.0		S3: 0.5 < T < 1.5							
000046	0.38	1.48	0.30	1.76	0.36	1.49						
000126	0.35	1.36	0.27	1.61	0.36	1.50						
000354	0.38	1.49	0.37	2.20	0.52	2.14						
000365xa	0.40	1.55	0.31	1.83	0.39	1.62						
000385xa	0.44	1.70	0.29	1.71	0.38	1.58						
005079xa	0.32	1.24	0.36	2.09	0.46	1.92						
000981xa												
media	0.38	1.47	0.32	1.86	0.41	1.71						
So	0.26	2.00	0.17	3.00	0.24	3.30						

Riferimento accellogramma	PGA a To secondo la modellazione STRATA	Rapporto PGA/PGAo con PGAo secondo NTC2018 e LR 2193 / 2015
000046	0.265	1.243
000126	0.278	1.304
000354	0.288	1.352
000365xa	0.208	0.976
000385xa	0.283	1.330
005079xa	0.253	1.188
000981xa	0.313	1.471
media	0.269	1.266
PGAo	0.213	

Grafici degli spettri elastici di confronto ed il grafico delle amplificazioni SI / S<sub>Io</sub> per ogni intervallo dT considerato nella sopra citata integrazione.





T (sec)	000046	000126	000354	000365xa	000385xa	005079xa	000981xa	mediana	media	Stdev (σ)	media + σ	90° percentile
0.0100	0.2645588	0.2776742	0.2878199	0.207700495	0.283062007	0.25295508	0.312487843	0.278	0.269	0.033	0.303	0.298
0.0110	0.2646915	0.2777525	0.2879217	0.207769146	0.283136846	0.253085763	0.312558162	0.278	0.270	0.033	0.303	0.298
0.0122	0.2648669	0.2778479	0.2880743	0.207852568	0.28322771	0.253244937	0.312643676	0.278	0.270	0.033	0.303	0.298
0.0134	0.2650655	0.2779541	0.2882697	0.207953944	0.283337891	0.253373241	0.31274766	0.278	0.270	0.033	0.303	0.298
0.0148	0.2653096	0.2780979	0.2885104	0.208077132	0.283471268	0.253612149	0.312874087	0.278	0.270	0.033	0.303	0.298
0.0164	0.2656105	0.2782724	0.288805	0.208226804	0.28363235	0.253903505	0.313035221	0.278	0.270	0.033	0.303	0.298
0.0181	0.2659823	0.2784841	0.2891662	0.208408618	0.283826243	0.254259058	0.313219416	0.278	0.270	0.033	0.304	0.299
0.0199	0.2664435	0.2787411	0.2896103	0.208626421	0.284077206	0.254693295	0.313443506	0.279	0.271	0.033	0.304	0.299
0.0220	0.2670185	0.2790527	0.2901006	0.208895126	0.284355241	0.255223359	0.313716269	0.279	0.271	0.033	0.304	0.300
0.0243	0.2676523	0.2794305	0.2907917	0.209219944	0.284679653	0.255870759	0.314047523	0.279	0.272	0.033	0.305	0.300
0.0268	0.2685769	0.2799163	0.2916546	0.20965601	0.285050027	0.256656318	0.314449528	0.280	0.272	0.033	0.305	0.301
0.0296	0.2697765	0.2804739	0.2927457	0.211075248	0.285450583	0.257435504	0.314936917	0.280	0.273	0.033	0.306	0.302
0.0327	0.2713866	0.2811585	0.2941555	0.213006975	0.285792247	0.258525832	0.315278792	0.281	0.274	0.032	0.307	0.303
0.0361	0.2737256	0.2820344	0.2960698	0.21603924	0.285663414	0.259476781	0.316041424	0.282	0.276	0.032	0.307	0.304
0.0398	0.2783402	0.2833284	0.2989216	0.219754534	0.284496685	0.260472056	0.317021491	0.283	0.277	0.031	0.308	0.306
0.0439	0.2923892	0.2879775	0.2998363	0.21992466	0.289243865	0.260818309	0.319081549	0.289	0.281	0.032	0.313	0.308
0.0485	0.2998756	0.2819296	0.2966094	0.224494594	0.293884348	0.273888946	0.322099753	0.294	0.285	0.031	0.315	0.309
0.0535	0.285644	0.2860605	0.3019199	0.237446565	0.293590138	0.28051479	0.326702642	0.286	0.287	0.027	0.314	0.312
0.0590	0.3002081	0.2824378	0.3100062	0.229778832	0.302898307	0.278295327	0.327554727	0.300	0.290	0.031	0.322	0.317
0.0652	0.2858092	0.3071482	0.3158651	0.232313479	0.310623823	0.281459147	0.320698973	0.307	0.293	0.031	0.324	0.318
0.0719	0.2939133	0.2965282	0.3152611	0.24812408	0.282161721	0.318009954	0.33438152	0.297	0.298	0.028	0.327	0.325
0.0794	0.3161915	0.3379536	0.3421889	0.274656377	0.32758352	0.398608818	0.312909796	0.328	0.330	0.038	0.368	0.365
0.0876	0.3699945	0.3609071	0.3252746	0.282311975	0.37566489	0.413197775	0.347320229	0.360	0.352	0.041	0.393	0.391
0.0967	0.4047704	0.350405	0.3316801	0.404194534	0.387607386	0.379433417	0.41355274	0.388	0.382	0.030	0.412	0.408
0.1067	0.4477794	0.4108976	0.4254978	0.54609416	0.452980178	0.376446638	0.438587032	0.439	0.443	0.052	0.495	0.490
0.1178	0.4769574	0.44337	0.5069966	0.490663106	0.503884647	0.417445595	0.405315291	0.477	0.464	0.042	0.505	0.505
0.1300	0.5020295	0.3872612	0.558996	0.501969291	0.464839591	0.611857795	0.515822621	0.502	0.506	0.071	0.577	0.580
0.1435	0.5028191	0.4943149	0.6129582	0.614244678	0.528182729	0.485092966	0.614561561	0.528	0.550	0.061	0.611	0.614
0.1583	0.6366506	0.5879922	0.6794937	0.509171241	0.758819629	0.635572781	0.65731234	0.637	0.638	0.077	0.715	0.711
0.1747	0.6172505	0.4681408	0.6173791	0.462856769	0.968752941	0.670359087	0.612752716	0.617	0.631	0.169	0.800	0.790
0.1929	0.5832816	0.6114905	0.8237997	0.501035194	0.977466487	0.564317745	0.693949999	0.611	0.679	0.168	0.847	0.885
0.2128	0.7497241	0.5733691	0.5075012	0.689896592	0.876473649	0.659007596	0.879037936	0.690	0.705	0.142	0.847	0.877
0.2349	0.995414	0.4937263	0.6991325	0.661840134	0.625137739	0.71047429	0.962370431	0.699	0.735	0.181	0.917	0.976
0.2593	0.8459787	0.6163944	0.7173112	0.786754633	0.669405029	0.465021663	1.065279786	0.717	0.738	0.190	0.928	0.934
0.2861	0.5626119	0.7200499	0.9690396	0.719942115	0.627105574	0.338706688	1.096931754	0.720	0.719	0.253	0.972	1.020
0.3158	0.543939	0.6611315	0.6473212	0.838358065	0.644834721	0.335268313	0.908545633	0.647	0.654	0.188	0.842	0.866
0.3486	0.5925221	0.6880449	0.5048527	0.673310424	0.601140077	0.364554186	0.957245533	0.601	0.623	0.182	0.805	0.787
0.3847	0.6858829	0.6020291	0.5309896	0.477249996	0.678186946	0.413104726	0.86182366	0.602	0.607	0.151	0.758	0.756
0.4246	0.568437	0.54954	0.5869681	0.409399116	0.490909304	0.504695803	0.676142757	0.550	0.541	0.084	0.625	0.623
0.4686	0.4057238	0.4745844	0.5580019	0.513484943	0.592657047	0.40203964	0.993701723	0.513	0.563	0.203	0.766	0.753
0.5172	0.4034614	0.3155828	0.5131501	0.563404912	0.557388006	0.362120837	0.838164921	0.513	0.508	0.175	0.683	0.673
0.5708	0.4495321	0.3141624	0.3984386	0.420898402	0.520847172	0.346669578	0.733595248	0.421	0.455	0.140	0.595	0.606
0.6300	0.4847696	0.3303486	0.4135529	0.455902008	0.442137821	0.324558096	0.65461839	0.442	0.444	0.111	0.555	0.553
0.6953	0.4323531	0.2783603	0.5176633	0.333914673	0.33734644	0.406292352	0.501124976	0.406	0.401	0.090	0.491	0.508
0.7674	0.3110302	0.2805395	0.5151034	0.341476889	0.336658752	0.414967323	0.329602981	0.337	0.361	0.079	0.440	0.455
0.8469	0.2573688	0.3032622	0.3627669	0.309680369	0.197385398	0.391340012	0.190258319	0.303	0.287	0.077	0.365	0.374
0.9347	0.1685901	0.2740785	0.2808844	0.249363518	0.179756274	0.358131349	0.123295496	0.249	0.233	0.081	0.314	0.312
1.0316	0.1262879	0.2012596	0.1928613	0.179916515	0.164832825	0.29619186	0.114684147	0.180	0.182	0.060	0.242	0.239
1.1386	0.1002123	0.1447449	0.2244192	0.13850682	0.135957342	0.228069386	0.103418564	0.139	0.154	0.053	0.206	0.226
1.2566	0.0744215	0.1021594	0.1769715	0.101958396	0.131692783	0.162435329	0.09251681	0.102	0.120	0.038	0.158	0.168
1.3869	0.0568975	0.0828475	0.1469937	0.082858572	0.107284544	0.113062226	0.09435696	0.094	0.098	0.029	0.126	0.127
1.5307	0.043817	0.0590228	0.1461022	0.0763266	0.069313887	0.081311304	0.086943083	0.076	0.080	0.032	0.113	0.111
1.6894	0.0317253	0.0424138	0.0929377	0.062182117	0.076723825	0.063498014	0.074603132	0.063	0.063	0.021	0.084	0.083
1.8645	0.024366	0.0347937	0.0912514	0.037493043	0.066948097	0.049191543	0.074390608	0.049	0.054	0.024	0.078	0.081
2.0578	0.0197052	0.0300001	0.0732864	0.02824981	0.071995248	0.043553677	0.069751837	0.044	0.048	0.023	0.071	0.073
2.2711	0.0150628	0.0243786	0.0554244	0.029376872	0.044067633	0.039302481	0.056772263	0.039	0.038	0.016	0.053	0.056
2.5066	0.0119514	0.0190654	0.0464063	0.031263074	0.030578196	0.034223808	0.043406921	0.031	0.031	0.012	0.043	0.045
2.7665	0.0094547	0.0148669	0.0391778	0.028050772	0.023366804	0.034365768	0.028932965	0.028	0.025	0.010	0.036	0.036
3.0533	0.0077162	0.0108814	0.0339621	0.023478259	0.019447579	0.03071533	0.019701546	0.020	0.021	0.010	0.030	0.032
3.3698	0.0063038	0.0105788	0.0301161	0.017244534	0.020743925	0.023647197	0.017575793	0.018	0.018	0.008	0.026	0.026
3.7192	0.0050241	0.0060999	0.0192464	0.014702837	0.018180681	0.017371407	0.008931446	0.015	0.013	0.006	0.019	0.019
4.1048	0.0041252	0.0060822	0.0151004	0.010079462	0.013078343	0.013105735	0.011229352	0.011	0.010	0.004	0.014	0.014
4.5303	0.0033442	0.0037447	0.0122192	0.007922143	0.009430385	0.00980485	0.007974447	0.008	0.008	0.003	0.011	0.011
5.0000	0.0027187	0.0029792	0.0090695	0.006400184	0.006503441	0.007015097	0.005074178	0.006	0.006	0.002	0.008	0.008

# ALLEGATI

# **ALLEGATI**

# Ubicazione indagini

**Legenda**

-  CPTU - 15m
-  CPTU - 20m
-  MASW
-  Tromino



SS253

A14  
dir

zione Ravenna  
Via S. Gervasio

Via Scirocco  
Via Ca del Vento

Via Maestrale

Via Libeccio

Via Bora

CPTU 4

CPTU 5 Tromino 3

CPTU 3 Tromino 2 - MASW

CPTU 1

CPTU 1

Tromino 1

CPTU 2

Borgo Stecchi

Via Garbino



# Ubicazione indagini

**Legenda**

-  CPTU - 15m
-  CPTU - 20m
-  MASW
-  Tromino



CPTU 1  
Via Caduti del Lavoro

A14 Diramazione Ravenna

Via S. Gervasio

SS253

Via Ve

Tromino 2 - MASW  
CPTU 3

CPTU 1

Tromino 1

CPTU 2



# Ubicazione indagini

**Legenda**

-  CPTU - 20m
-  CPTU - 15m
-  MASW
-  Tromino



CPTU 4

CPTU 5 Tromino 3

Tromino 2 - MASW  
CPTU 3

SS253

A14  
dir

Via Vecchia Albergone



100 m

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29/10/2018

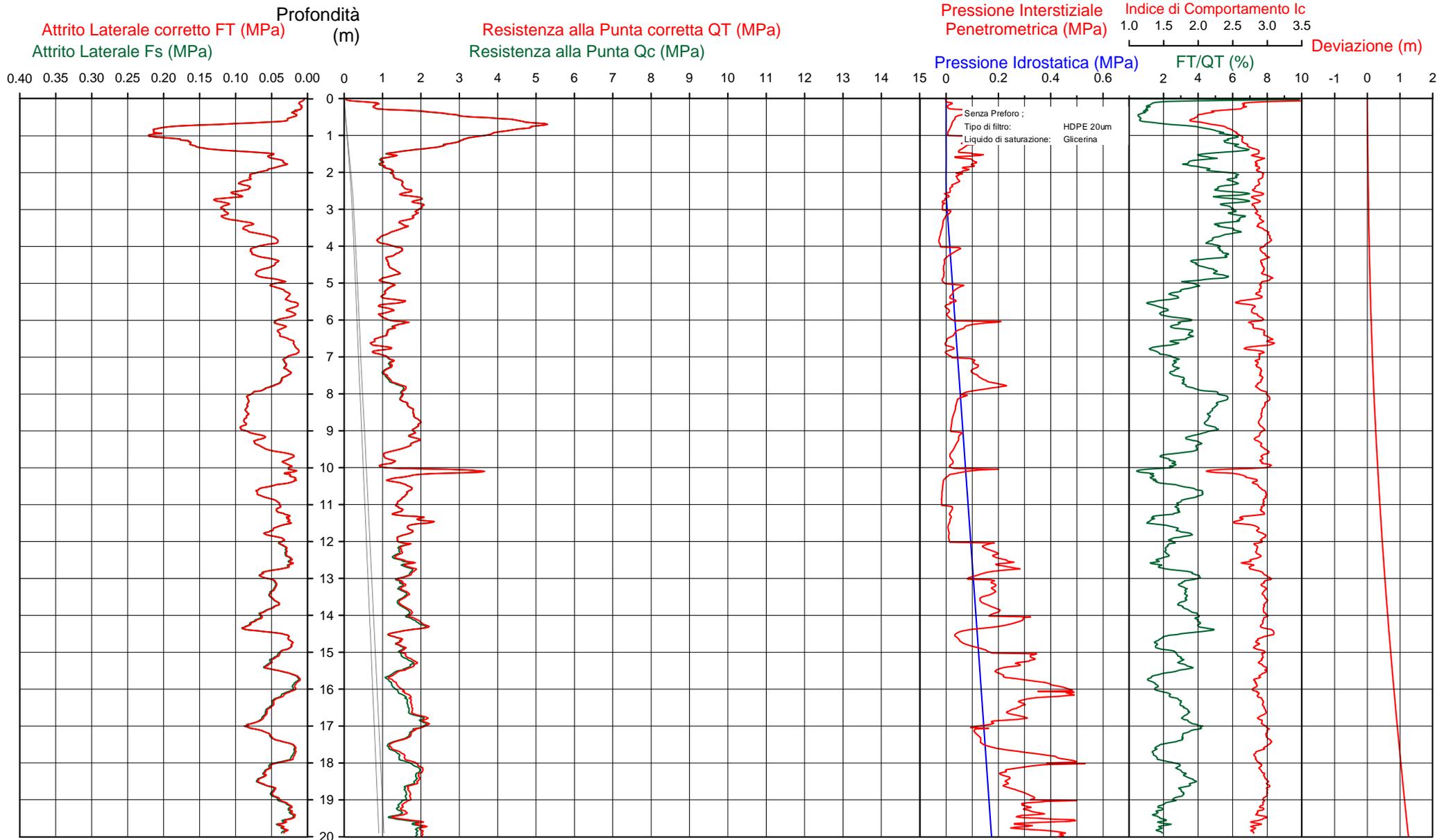
Falda foro chiuso a 1.40m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

**CPTU 1**



CPTU

1

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29/10/2018  
A14dir X SP San Vitale  
Borgo Stecchi  
Bagnacavallo  
2.60 foro chiuso a 1.40m



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

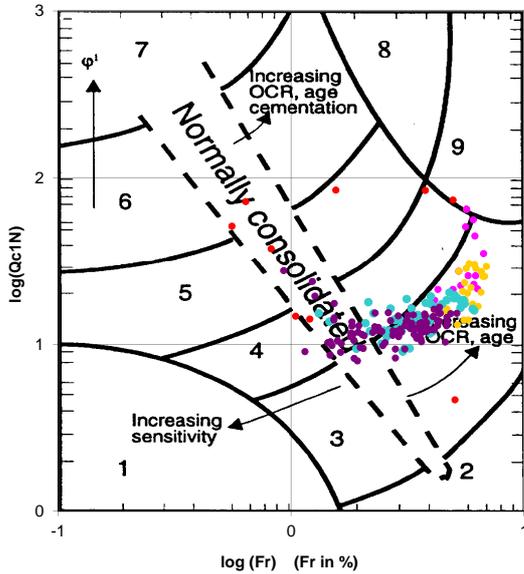
Vs20
156

qt	Qc1N ft daN/cm <sup>2</sup>	ft daN/cm <sup>2</sup>	FT/Qnet %	lc Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
6.6	11.2	0.09	2.4	2.93	limo argilloso-argilla limosa	0.30			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.47	25.67	31.6	107
22.1	37.5	0.18	0.8	2.21	sabbia limosa-limo sabbioso	0.40			Sciolta	34.6	39.2	.	.	69.8	132
36.3	61.7	0.22	0.6	1.96	sabbia-sabbia limosa	0.60			Mediamente Addensata	51.1	40.7	.	.	111.8	143
49.6	84.4	1.32	2.7	2.22	sabbia limosa-limo sabbioso	0.80			Mediamente Addensata	61.4	41.3	.	.	256.2	198
40.7	69.2	2.14	5.3	2.54	sabbia densa a sabbia argillosa	1.00			fortemente sovraconsolidato	54.8	39.7	.	.	231.5	219
27.5	46.7	1.65	6.1	2.70	limo argilloso-argilla limosa	1.40			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.30	34.51	154.3	198
13.0	22.0	0.62	4.8	2.85	limo argilloso-argilla limosa	1.60			Plastica	.	.	0.79	11.02	74.3	150
10.1	17.3	0.38	3.8	2.87	limo argilloso-argilla limosa	1.90			Plastica	.	.	0.66	7.01	58.8	133
16.3	25.8	0.96	6.1	2.87	limo argilloso-argilla limosa	3.60			Plastica	.	.	0.94	5.97	91.7	168
10.2	15.2	0.54	5.6	3.02	argilla-argilla limosa	4.00			Plastica	.	.	0.66	4.25	57.9	144
12.8	17.8	0.62	5.1	2.94	limo argilloso-argilla limosa	4.70			Plastica	.	.	0.79	5.07	72.9	153
11.4	15.4	0.54	5.1	2.99	argilla-argilla limosa	5.00			Plastica	.	.	0.72	4.37	65.3	148
11.4	14.6	0.28	2.7	2.83	limo argilloso-argilla limosa	6.00			Plastica	.	.	0.72	3.73	59.6	133
13.0	15.8	0.39	3.3	2.86	limo argilloso-argilla limosa	6.40			Plastica	.	.	0.80	4.15	75.9	145
8.3	10.0	0.25	3.4	3.03	argilla-argilla limosa	6.70			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.56	2.49	48.5	125
11.2	12.9	0.26	2.6	2.87	limo argilloso-argilla limosa	7.70			Plastica	.	.	0.71	2.82	57.5	133
15.4	16.7	0.71	5.1	2.95	argilla-argilla limosa	8.30			Plastica	.	.	0.90	3.34	88.0	167
18.2	18.5	0.79	4.8	2.91	limo argilloso-argilla limosa	9.50			Plastica	.	.	1.01	3.51	104.2	177
11.3	10.9	0.29	3.0	2.97	argilla-argilla limosa	10.00			Plastica	.	.	0.72	2.31	66.6	139

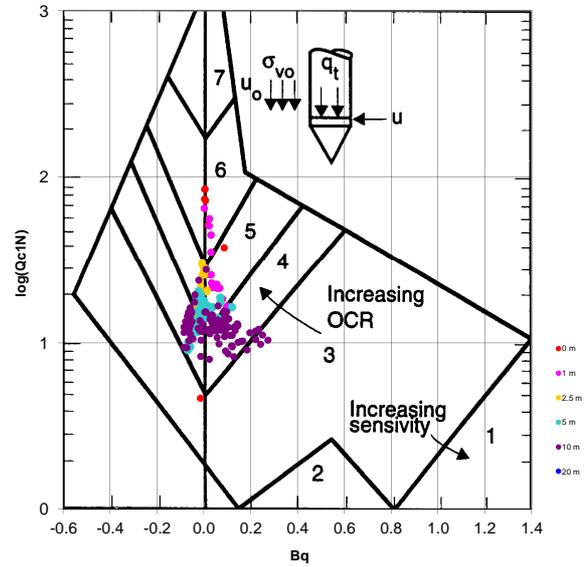
H2O



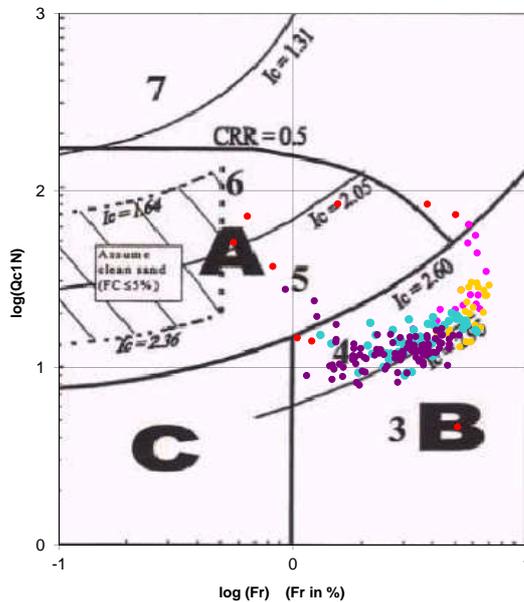
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)**



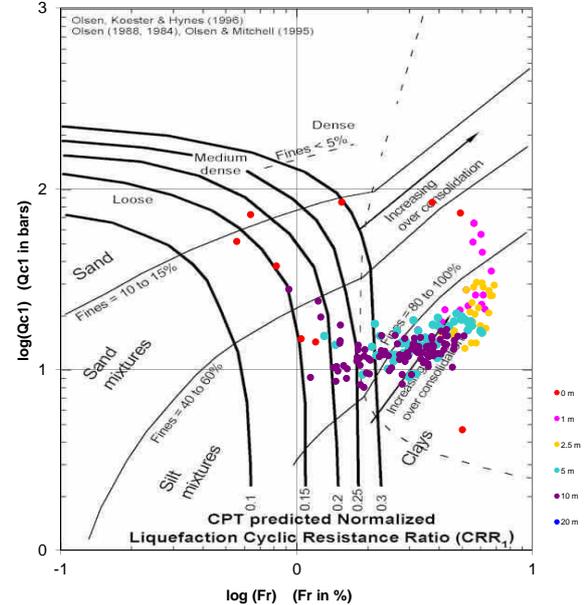
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensibili

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensibilità, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29/10/2018

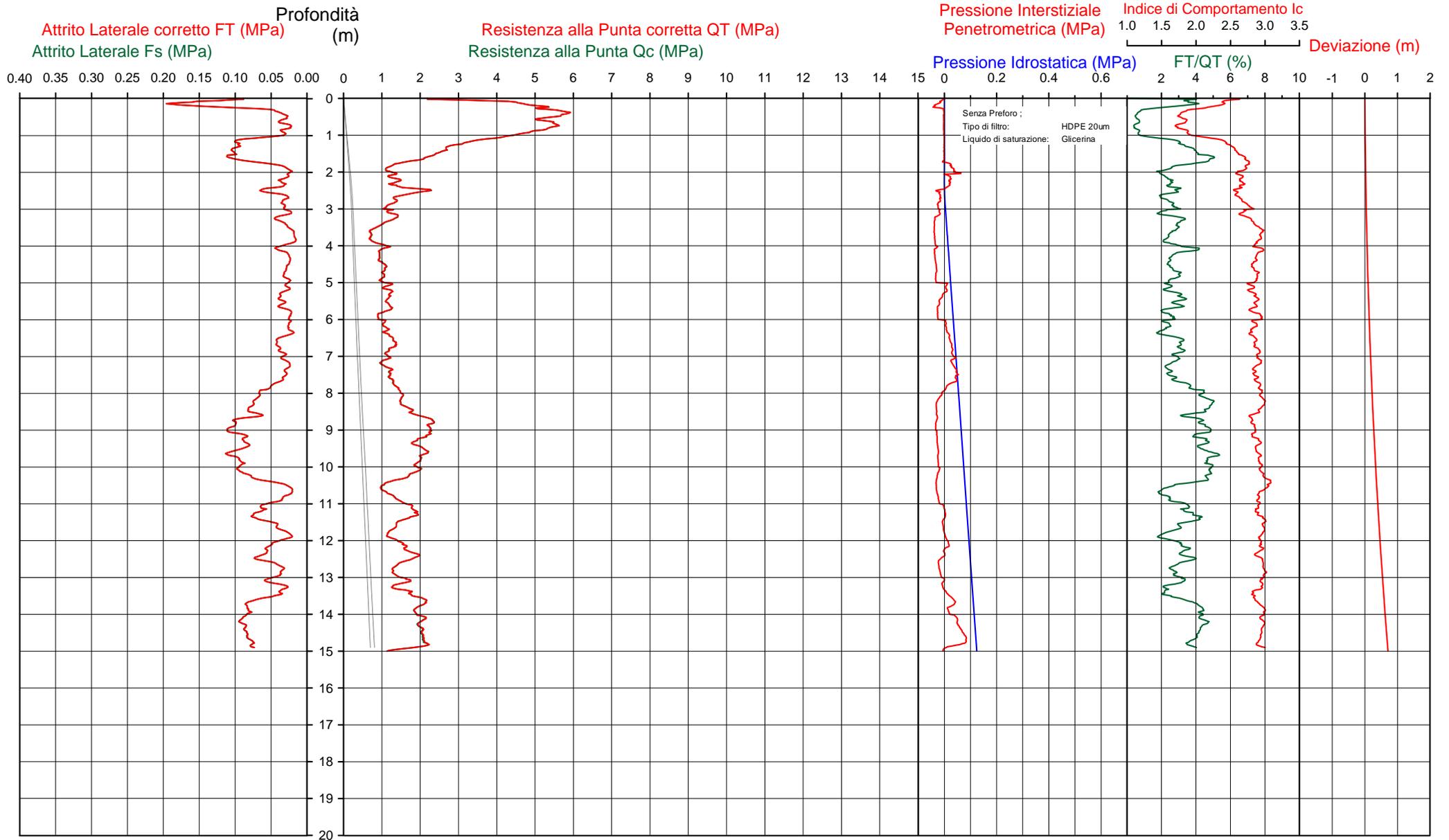
Falda 2.60 m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

**CPTU 2**



CPTU

2

Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

29/10/2018  
 A14dir X SP San Vitale  
 Borgo Stecchi  
 Bagnacavallo  
 2.60



Società di  
 Geologia  
 Territoriale

S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs15
153

qt	Qc1N ruisseau Boulinger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Robertson	basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009
daN/cm²	daN/cm²	%					m				%		daN/cm²		daN/cm²	m/sec
45.1	76.7	1.32	3.0	2.31	sabbia limosa-limo sabbioso		0.30			Mediamente Addensata	58.3	44.1	.	.	267.3	199
53.3	90.6	0.32	0.6	1.81	sabbia-sabbia limosa		1.00			Mediamente Addensata	63.7	41.6	.	.	164.3	159
29.7	50.5	0.95	3.4	2.48	sabbia limosa-limo sabbioso		1.60			Mediamente Addensata	44.4	37.2	.	.	172.9	178
13.9	23.7	0.42	2.9	2.68	limo argilloso-argilla limosa		2.40			Plastica	.	.	0.84	12.20	78.7	138
19.3	31.0	0.54	2.9	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso		2.60		H2O	Sciolta	28.4	33.6	.	.	107.6	155
12.6	20.1	0.32	2.7	2.72	limo argilloso-argilla limosa		3.40			Plastica	.	.	0.78	6.28	66.0	134
7.6	12.0	0.20	2.9	2.92	limo argilloso-argilla limosa		3.90			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.52	3.66	42.6	115
10.1	14.5	0.29	3.1	2.87	limo argilloso-argilla limosa		5.00			Plastica	.	.	0.66	3.48	58.8	130
11.8	15.6	0.32	3.0	2.83	limo argilloso-argilla limosa		5.80			Plastica	.	.	0.74	3.73	67.6	137
9.1	11.8	0.24	3.0	2.94	limo argilloso-argilla limosa		6.00			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.60	2.64	52.4	126
11.6	14.1	0.31	2.9	2.87	limo argilloso-argilla limosa		7.30			Plastica	.	.	0.73	2.86	66.1	137
13.9	15.6	0.53	4.1	2.92	limo argilloso-argilla limosa		8.40			Plastica	.	.	0.84	2.90	80.5	155
20.2	20.4	0.92	5.0	2.89	limo argilloso-argilla limosa					Solido-plastica (Duro)	.	.	1.08	3.56	115.3	185

CPTU

2

Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

29/10/2018  
 A14dir X SP San Vitale  
 Borgo Stecchi  
 Bagnacavallo  
 2.60



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

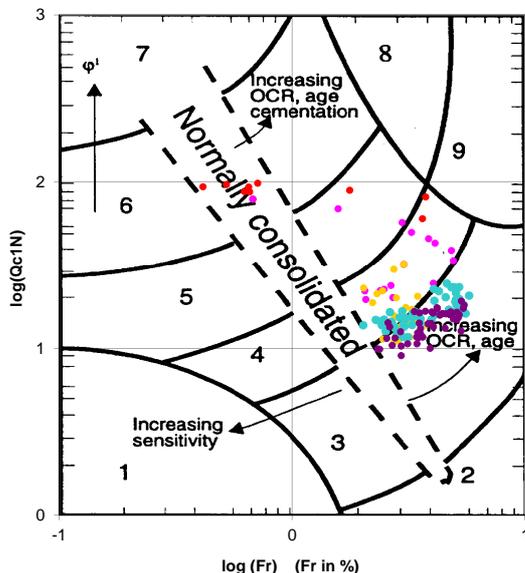
S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

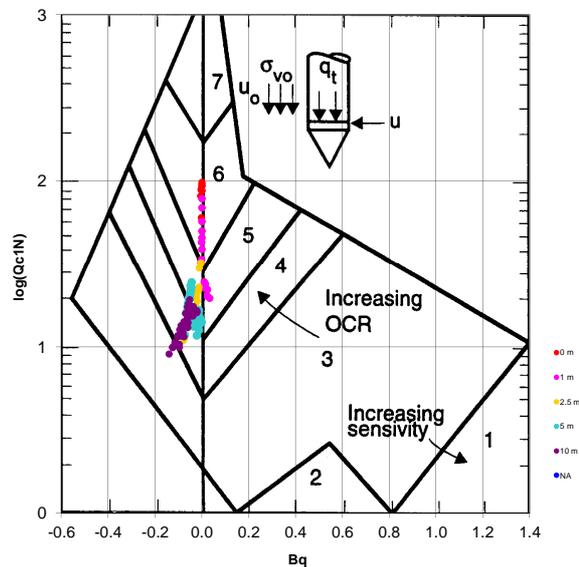
Vs15
153

qt	Qc1N Russell o Boulinger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990		H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia)	Densità Relativa	Angolo Attrito φ	Coesione non drenato Cu	OCR	Modulo Edometrico M	Velocità Vs
	daN/cm²	daN/cm²	%	Robertson	basato su Fr vs Qc1N		m			Consistenza (Argilla)	Tatsuoka 1990	Kulhawy & Mayne 1990	Benassi	Marchi / SGT	Benassi	Robertson & Cabal 2009
											%		daN/cm²		daN/cm²	m/sec
								10.30								
11.3	10.6	0.40	4.0	3.05	argilla-argilla limosa			10.60		Plastica	.	.	0.72	2.44	65.4	145
15.4	14.1	0.47	3.3	2.90	limo argilloso-argilla limosa			11.30		Plastica	.	.	0.90	1.86	89.7	156
14.9	13.3	0.54	4.1	2.98	argilla-argilla limosa			11.70		Plastica	.	.	0.88	2.95	86.1	163
12.2	10.6	0.27	2.7	2.95	limo argilloso-argilla limosa			12.00		Plastica	.	.	0.76	1.93	63.5	142
17.1	14.7	0.57	3.8	2.92	limo argilloso-argilla limosa			12.50		Plastica	.	.	0.97	2.40	99.2	170
14.9	12.3	0.41	3.3	2.95	limo argilloso-argilla limosa			13.50		Plastica	.	.	0.88	2.40	86.9	157
20.4	16.2	0.81	4.6	2.94	limo argilloso-argilla limosa					Solido-plastica (Duro)	.	.	1.09	2.83	117.3	188

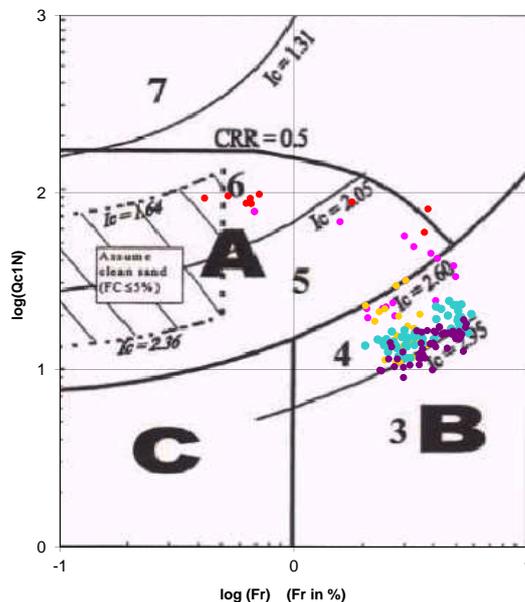
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)**



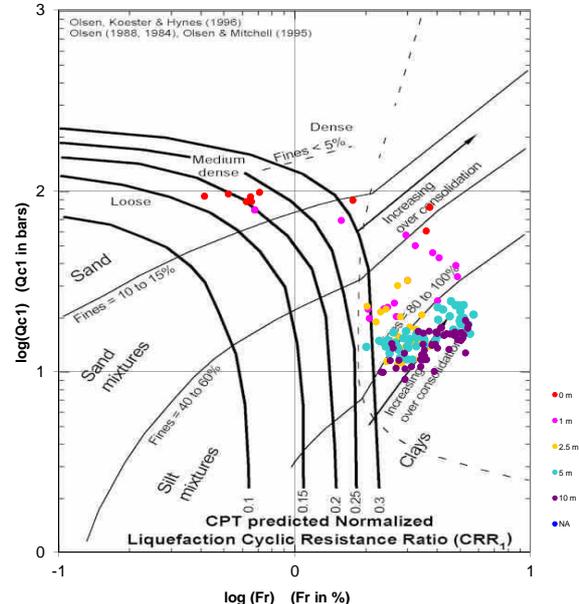
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

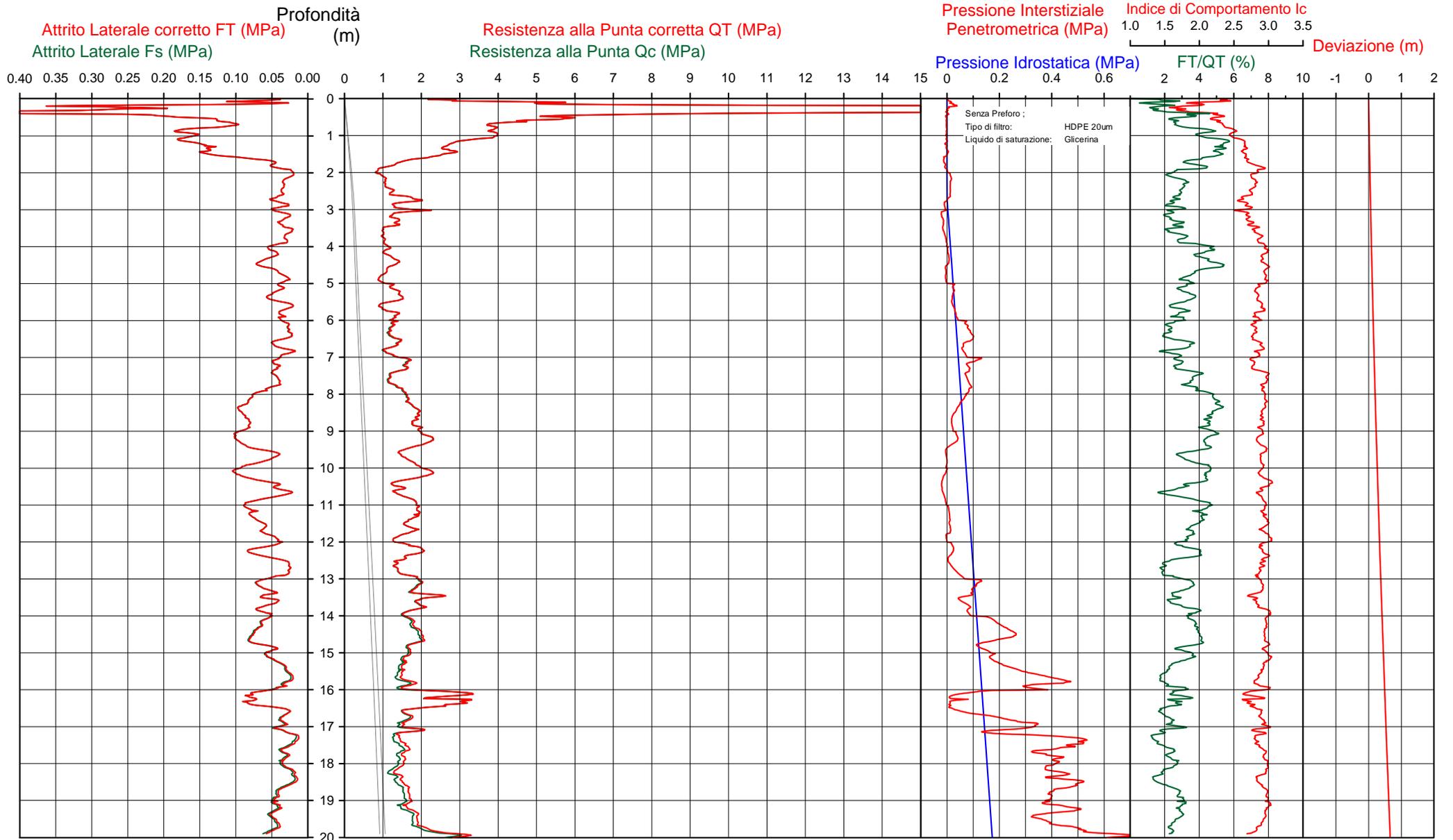
Falda chiuso a 0.10m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

**CPTU 3**



Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

29 ottobre 2018  
 A14dir X SP San Vitale  
 Borgo Stecchi  
 Bagnacavallo  
 2.70 chiuso a 0.10m



Vs20
161

qt	Qc1N Russell o Boulinger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
65.6	111.5	1.22	1.8	2.10	sabbia limosa-limo sabbioso	0.20	.....		Addensata	70.6	46.9	.	.	258.0	199
183.0	252.9	3.34	2.0	1.83	sabbia-sabbia limosa	0.40	.....		Molto addensata	>90	49.2	.	.	765.8	298
57.2	97.3	1.72	3.0	2.25	sabbia limosa-limo sabbioso	0.60	.....		Addensata	66.1	42.4	.	.	334.2	217
39.0	66.3	1.47	3.8	2.43	sabbia limosa-limo sabbioso	1.10	.....		Mediamente Addensata	53.4	39.3	.	.	226.2	201
26.8	45.6	1.40	5.3	2.66	limo argilloso-argilla limosa	1.60	.....		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.28	25.16	152.7	191
13.6	23.1	0.52	3.9	2.79	limo argilloso-argilla limosa	1.90	.....		Plastica	.	.	0.82	11.26	78.7	145
8.9	15.2	0.21	2.5	2.80	limo argilloso-argilla limosa	2.10	.....		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.60	4.98	43.8	119
12.1	20.1	0.35	3.0	2.76	limo argilloso-argilla limosa	2.70	.....		Plastica	.	.	0.76	5.33	71.8	134
18.6	28.2	0.47	2.6	2.60	sabbia limosa-limo sabbioso	2.80	.....		Scolta	25.2	33.2	.	.	94.4	152
13.8	21.4	0.36	2.7	2.70	limo argilloso-argilla limosa	3.00	.....		Plastica	.	.	0.83	5.62	73.1	139
17.2	25.6	0.40	2.5	2.62	limo argilloso-argilla limosa	3.10	.....		Plastica	.	.	0.97	7.22	83.2	148
13.2	19.8	0.33	2.6	2.72	limo argilloso-argilla limosa	3.40	.....		Plastica	.	.	0.80	4.94	66.4	137
10.6	15.6	0.36	3.6	2.88	limo argilloso-argilla limosa	4.20	.....		Plastica	.	.	0.68	4.37	61.7	135
11.9	16.4	0.52	4.7	2.94	limo argilloso-argilla limosa	4.80	.....		Plastica	.	.	0.75	3.95	68.5	148
9.3	12.6	0.31	3.6	2.96	argilla-argilla limosa	5.00	.....		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.62	2.81	54.1	131
13.7	17.6	0.45	3.5	2.84	limo argilloso-argilla limosa	5.50	.....		Plastica	.	.	0.83	3.71	79.6	149
9.6	12.3	0.25	2.9	2.91	limo argilloso-argilla limosa	5.70	.....		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.63	2.76	53.4	128
12.6	15.1	0.33	2.8	2.84	limo argilloso-argilla limosa	7.00	.....		Plastica	.	.	0.78	3.22	69.7	141
16.0	18.0	0.44	3.0	2.79	limo argilloso-argilla limosa	7.40	.....		Plastica	.	.	0.92	4.06	94.8	155
11.8	13.1	0.42	4.1	2.98	argilla-argilla limosa	7.70	.....		Plastica	.	.	0.74	2.78	68.3	148
15.1	16.3	0.62	4.4	2.93	limo argilloso-argilla limosa	8.10	.....		Plastica	.	.	0.89	2.97	87.1	163
16.9	17.8	0.84	5.4	2.96	argilla-argilla limosa	8.30	.....		Plastica	.	.	0.96	3.58	96.0	177
18.8	19.3	0.87	5.1	2.91	limo argilloso-argilla limosa	9.00	.....		Plastica	.	.	1.03	3.81	107.6	182
21.4	21.2	0.97	4.9	2.87	limo argilloso-argilla limosa	9.40	.....		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.12	3.97	122.7	189
15.6	15.0	0.55	3.9	2.92	limo argilloso-argilla limosa	9.80	.....		Plastica	.	.	0.91	3.17	90.4	163
18.8	17.9	0.80	4.7	2.91	limo argilloso-argilla limosa	10.00	.....		Plastica	.	.	1.03	3.34	108.2	180

H2O

CPTU

3

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29 ottobre 2018  
A14dir X SP San Vitale  
Borgo Stecchi  
Bagnacavallo  
2.70 chiuso a 0.10m



Società di  
Geologia  
Territoriale

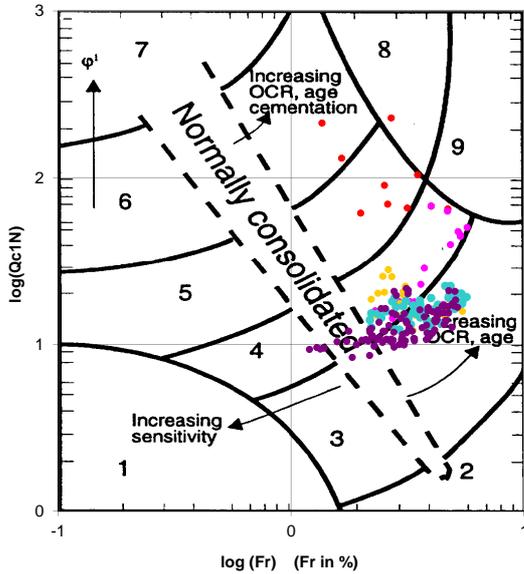
S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

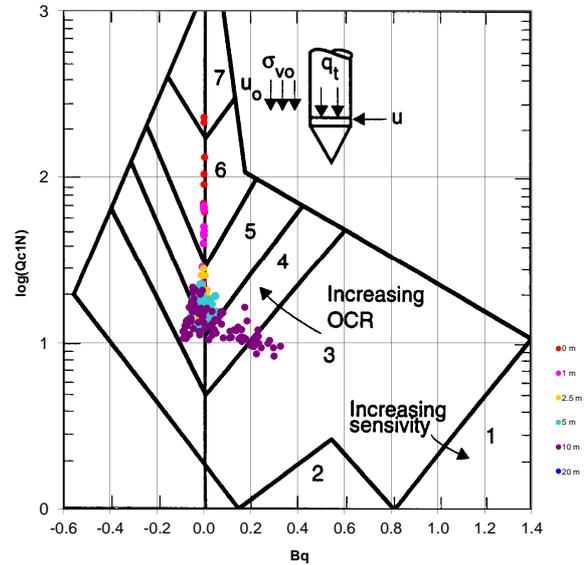
Vs20
161

qt	Qc1N Russ & Boulinger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
21.2	19.8	0.95	4.9	2.89	limo argilloso-argilla limosa	10.30			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.11	3.98	121.0	190
13.7	12.5	0.41	3.5	2.95	limo argilloso-argilla limosa	10.70			Plastica	.	.	0.83	2.42	79.6	153
18.2	16.3	0.73	4.5	2.93	limo argilloso-argilla limosa	11.30			Plastica	.	.	1.01	2.59	104.9	177
15.9	13.7	0.58	4.2	2.98	argilla-argilla limosa	12.00			Plastica	.	.	0.92	2.83	91.8	168
17.9	14.6	0.51	3.2	2.88	limo argilloso-argilla limosa	13.80			Plastica	.	.	1.00	2.35	104.6	167
17.5	13.4	0.62	4.2	2.98	argilla-argilla limosa	14.40			Plastica	.	.	0.98	2.34	100.9	176
20.3	15.4	0.78	4.4	2.95	limo argilloso-argilla limosa	14.70			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.08	2.65	117.1	188
16.1	11.6	0.40	3.0	2.93	limo argilloso-argilla limosa	16.00			Plastica	.	.	0.93	2.24	92.5	161
27.6	20.1	0.72	2.9	2.75	limo argilloso-argilla limosa	16.50			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.30	3.41	158.2	195
16.2	11.0	0.32	2.4	2.91	limo argilloso-argilla limosa	17.00			Plastica	.	.	0.93	1.84	77.6	158
19.1	13.0	0.40	2.6	2.86	limo argilloso-argilla limosa	17.10			Plastica	.	.	1.04	2.20	97.3	170
15.2	9.9	0.25	2.0	2.91	limo argilloso-argilla limosa	18.70			Plastica	.	.	0.89	1.73	64.1	150
17.2	10.8	0.44	3.2	2.98	argilla-argilla limosa	19.40			Plastica	.	.	0.97	1.75	100.4	169
19.1	11.9	0.43	2.8	2.91	limo argilloso-argilla limosa	19.70			Plastica	.	.	1.04	1.94	103.0	173
23.7	15.0	0.48	2.4	2.80	limo argilloso-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.19	2.20	112.4	182

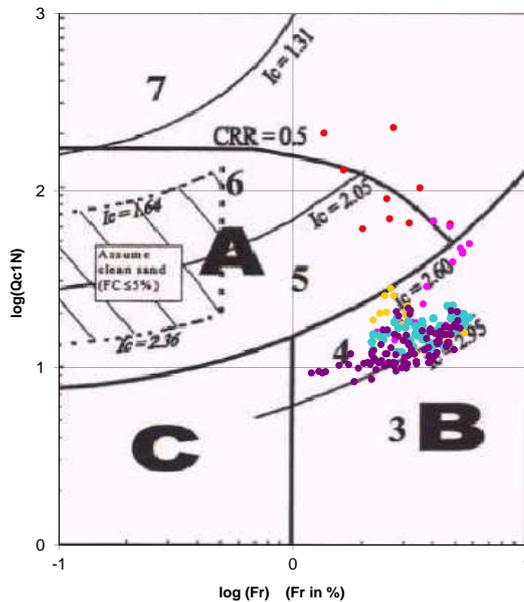
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)**



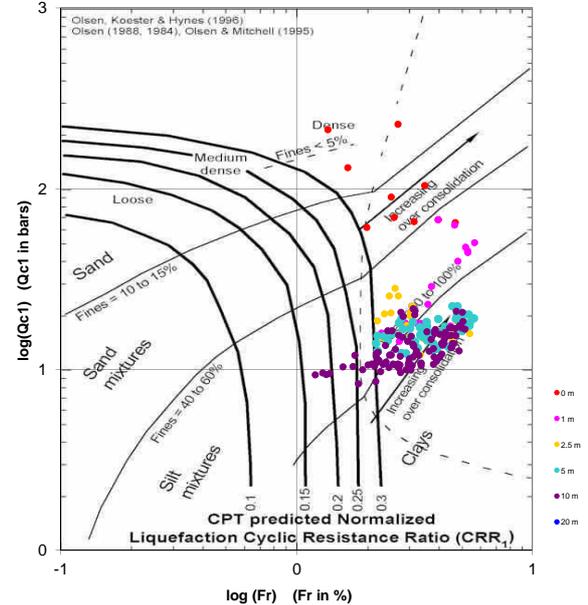
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

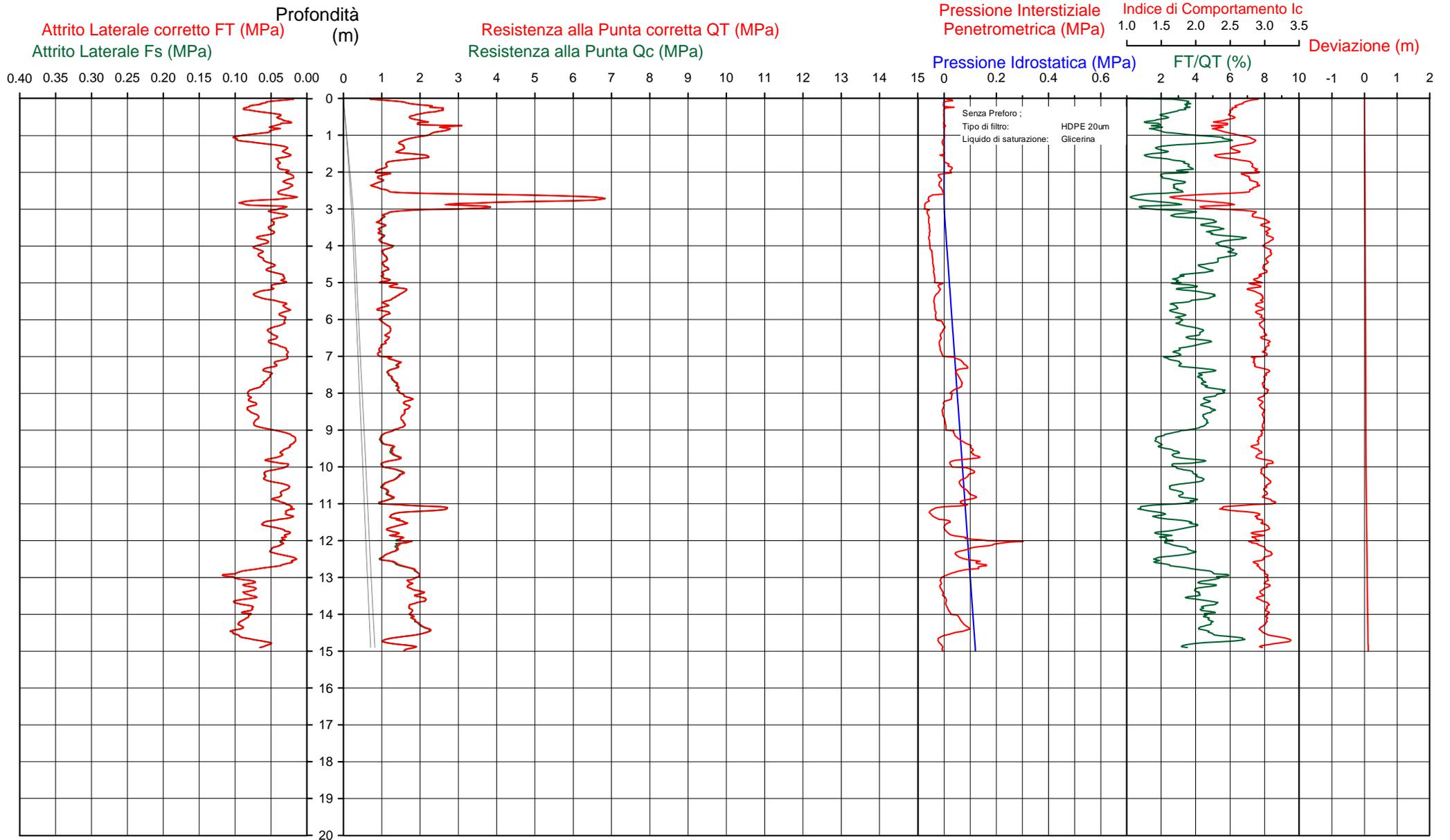
Falda 3.00 m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

**CPTU 4**



Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

29 ottobre 2018  
 A14dir X SP San Vitale  
 Borgo Stecchi  
 Bagnacavallo  
 3.00



qt	Qc1N kN/m² Boulinger 2004	ft daN/cm²	FT/Qnet %	lc Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm²	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm²	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
15.6	26.4	0.53	3.4	2.71	limo argilloso-argilla limosa	0.20		Plastica	.	.	0.91	138.53	90.7	149	
24.1	41.0	0.75	3.1	2.53	sabbia limosa-limo sabbioso	0.40		Mediamente Addensata	37.6	39.7	.	.	141.0	168	
19.1	32.4	0.35	1.9	2.45	sabbia limosa-limo sabbioso	0.70		Sciolta	29.8	37.1	.	.	76.0	143	
25.2	42.9	0.55	2.2	2.41	sabbia limosa-limo sabbioso	1.00		Mediamente Addensata	39.1	37.5	.	.	113.3	159	
16.4	27.9	0.78	4.8	2.77	limo argilloso-argilla limosa	1.30		Plastica	.	.	0.94	20.31	94.0	159	
17.2	29.3	0.32	1.9	2.50	sabbia limosa-limo sabbioso	1.70		Sciolta	26.5	34.3	.	.	70.3	138	
9.8	16.7	0.29	3.1	2.83	limo argilloso-argilla limosa	2.50		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.64	6.86	57.3	126	
18.8	29.9	0.39	2.5	2.57	sabbia limosa-limo sabbioso	2.60		Sciolta	27.2	33.5	.	.	92.1	151	
60.2	80.6	0.42	0.7	1.87	sabbia-sabbia limosa	2.80		Mediamente Addensata	59.9	38.9	.	.	188.0	174	
34.0	47.8	0.61	1.9	2.30	sabbia limosa-limo sabbioso	3.00		Mediamente Addensata	42.6	36.0	.	.	136.8	171	
12.9	19.6	0.40	3.3	2.79	limo argilloso-argilla limosa	3.20		Plastica	.	.	0.79	6.35	75.3	141	
10.4	14.9	0.55	5.7	3.03	argilla-argilla limosa	4.80		Plastica	.	.	0.67	3.59	58.7	146	
13.0	16.7	0.50	4.1	2.90	limo argilloso-argilla limosa	5.50		Plastica	.	.	0.80	3.17	75.3	150	
10.6	12.7	0.37	3.9	2.98	argilla-argilla limosa	7.00		Plastica	.	.	0.68	2.82	61.5	140	
13.7	15.4	0.39	3.1	2.85	limo argilloso-argilla limosa	7.30		Plastica	.	.	0.83	2.98	82.8	148	
13.1	14.2	0.58	5.0	3.01	argilla-argilla limosa	7.90		Plastica	.	.	0.80	2.89	74.8	159	
15.5	15.9	0.71	5.0	2.97	argilla-argilla limosa	9.10		Plastica	.	.	0.90	3.04	88.3	169	
10.2	9.9	0.18	2.1	2.92	limo argilloso-argilla limosa	9.40		Plastica	.	.	0.66	1.96	44.0	128	
13.4	12.9	0.35	3.0	2.90	limo argilloso-argilla limosa	9.80		Plastica	.	.	0.82	2.48	77.1	148	
10.7	10.1	0.38	4.1	3.07	argilla-argilla limosa	10.00		Plastica	.	.	0.69	2.10	62.1	144	

H2O

CPTU

4

Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

29 ottobre 2018  
 A14dir X SP San Vitale  
 Borgo Stecchi  
 Bagnacavallo  
 3.00



Società di  
 Geologia  
 Territoriale

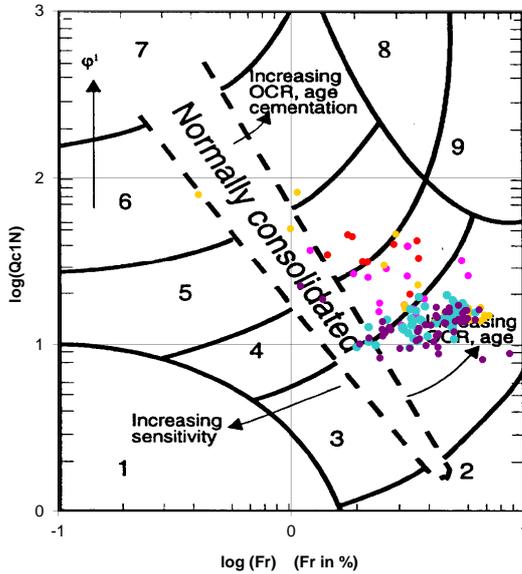
S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

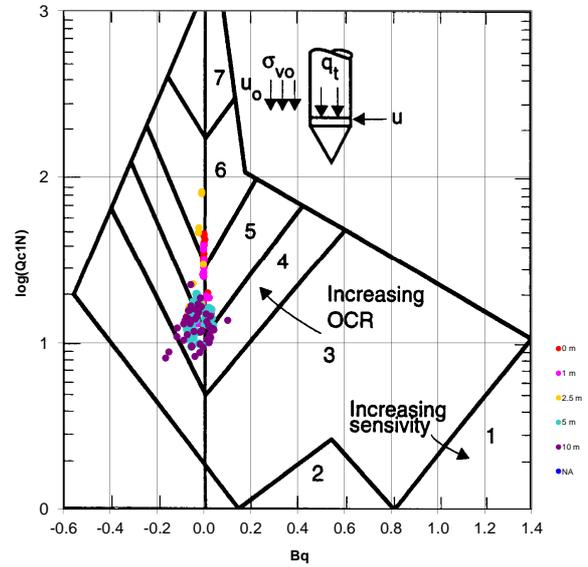
Vs15  
 153

qt	Qc1N Russ o Boulinger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009
daN/cm²	daN/cm²	%		Robertson	basato su Fr vs Qc1N	m			1990	%	°	daN/cm²		daN/cm²	m/sec
12.7	11.6	0.43	3.9	3.01	argilla-argilla limosa	10.90			Plastica	.	.	0.78	2.37	73.3	152
9.9	8.8	0.34	4.3	3.13	argilla-argilla limosa	11.00			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.65	1.69	57.1	142
22.9	20.6	0.24	1.2	2.52	sabbia limosa-limo sabbioso	11.20			Molto Sciolta	14.8	32.2	.	.	77.7	156
13.8	12.1	0.41	3.4	2.95	argilla-argilla limosa	11.70			Plastica	.	.	0.83	2.31	80.6	153
14.5	12.4	0.31	2.5	2.88	limo argilloso-argilla limosa	12.10			Plastica	.	.	0.86	2.09	71.4	150
12.5	10.4	0.38	3.6	3.03	argilla-argilla limosa	12.50			Plastica	.	.	0.77	2.21	72.5	149
15.0	12.4	0.40	2.9	2.91	limo argilloso-argilla limosa	12.80			Plastica	.	.	0.88	1.86	85.8	154
18.7	14.9	0.86	5.3	3.01	argilla-argilla limosa	14.30			Plastica	.	.	1.03	2.76	106.3	187
20.8	16.0	0.97	5.4	2.99	argilla-argilla limosa	14.60			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.10	2.89	118.2	196
11.6	8.5	0.68	7.6	3.30	argilla-argilla limosa	14.80			Plastica	.	.	0.73	1.59	63.2	167
17.5	13.1	0.59	4.0	2.98	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.98	2.30	101.5	176

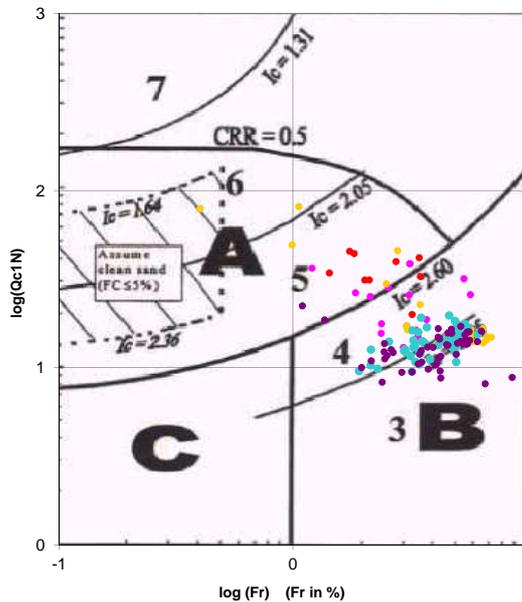
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)**



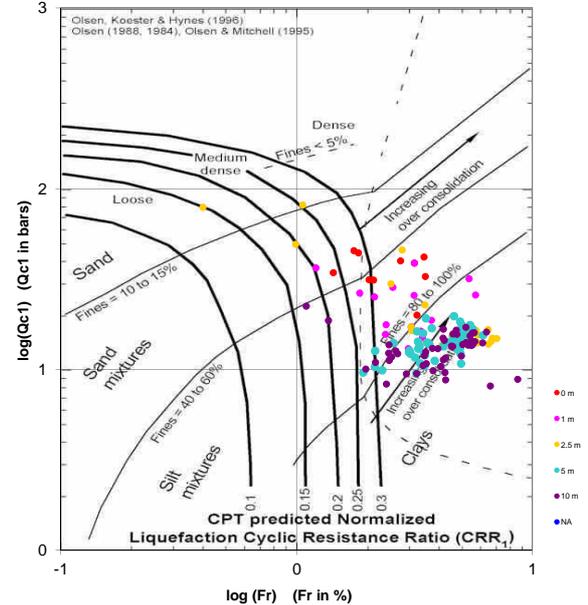
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

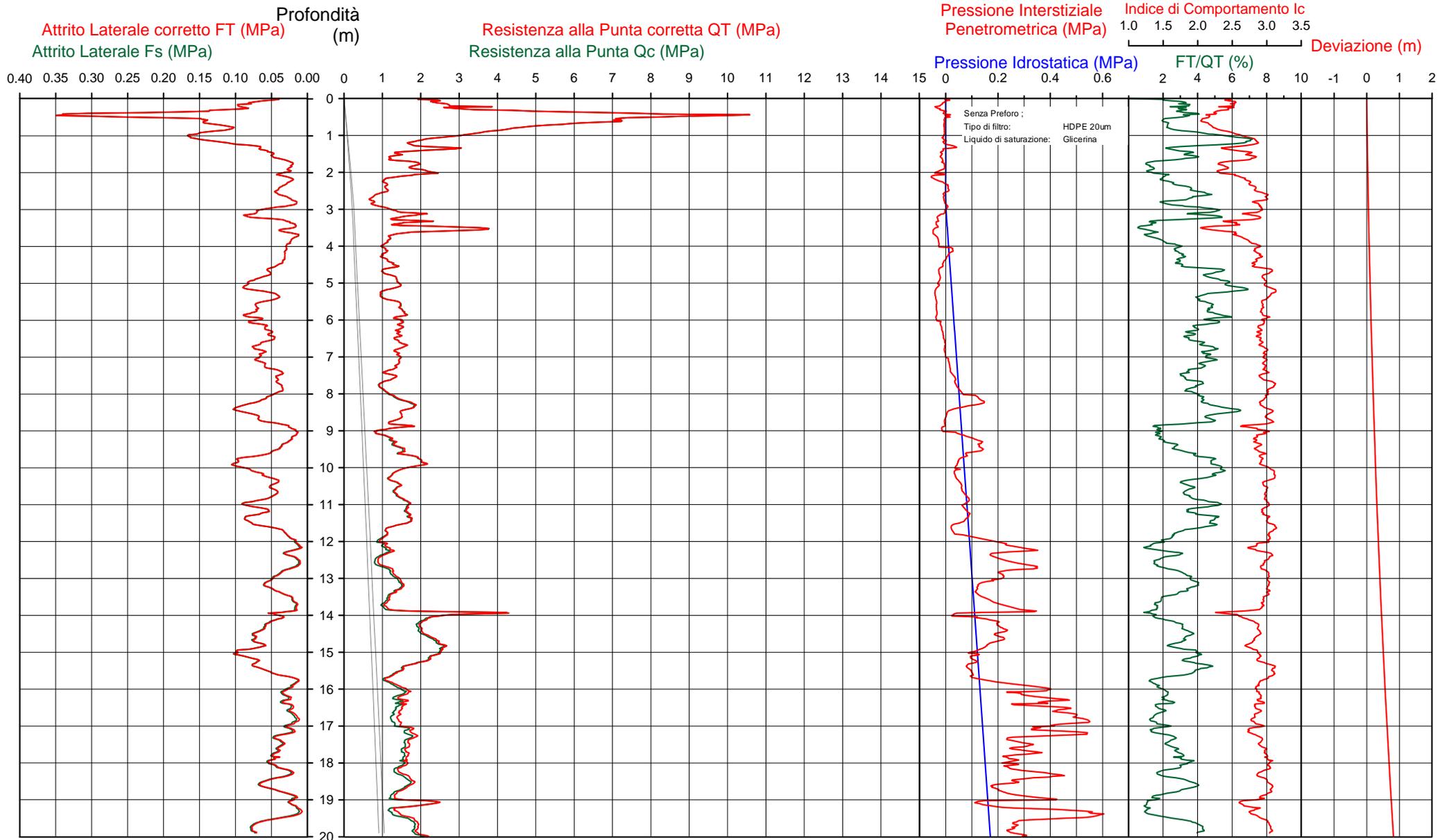
Falda 2.90 m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

**CPTU 5**







Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

Numero prova 5  
 Quota falda 2.90

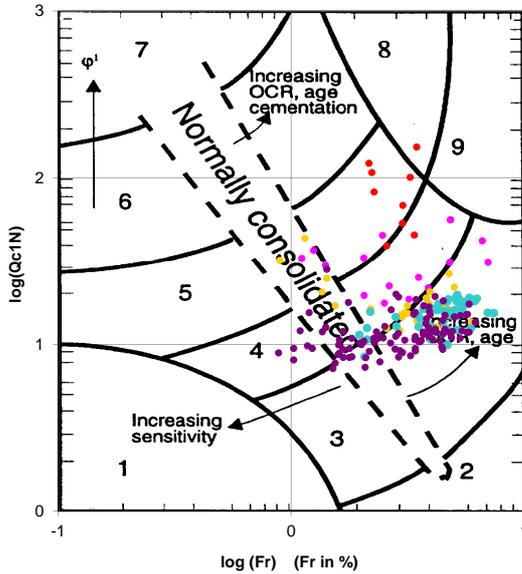


**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

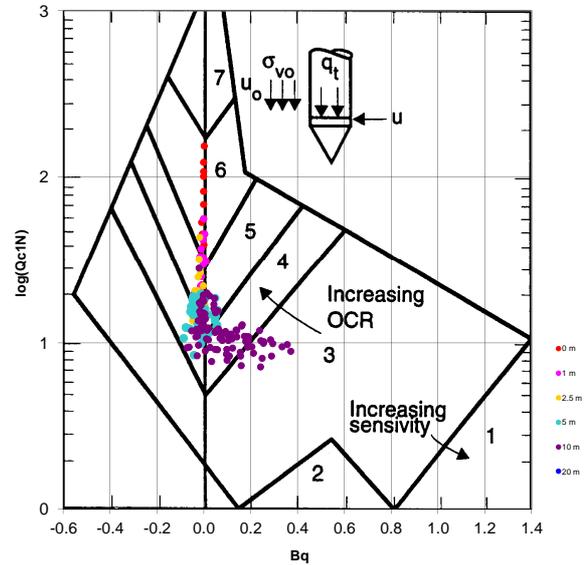
S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

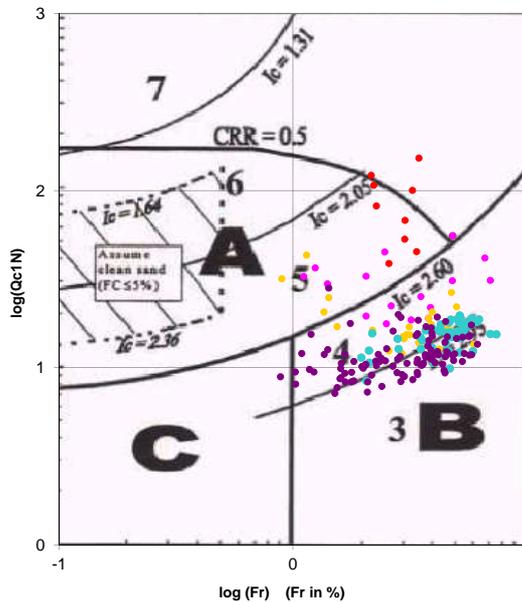
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)**



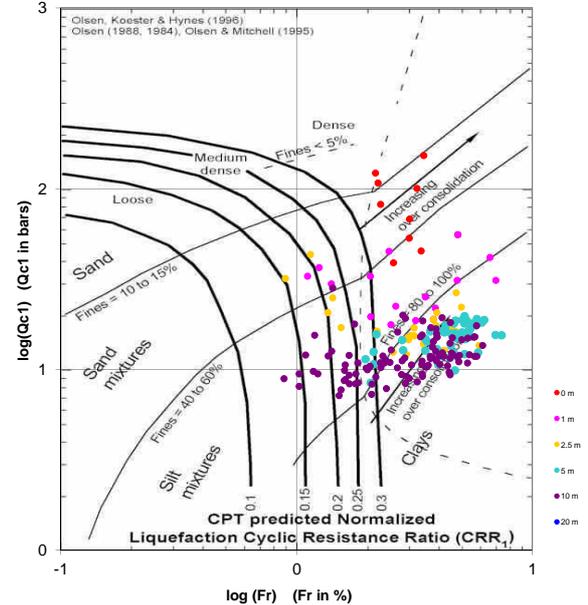
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Bagnacavallo  
Via A14dir X SP San V  
Localita' Borgo Stecchi  
Committente Provincia di Raven



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

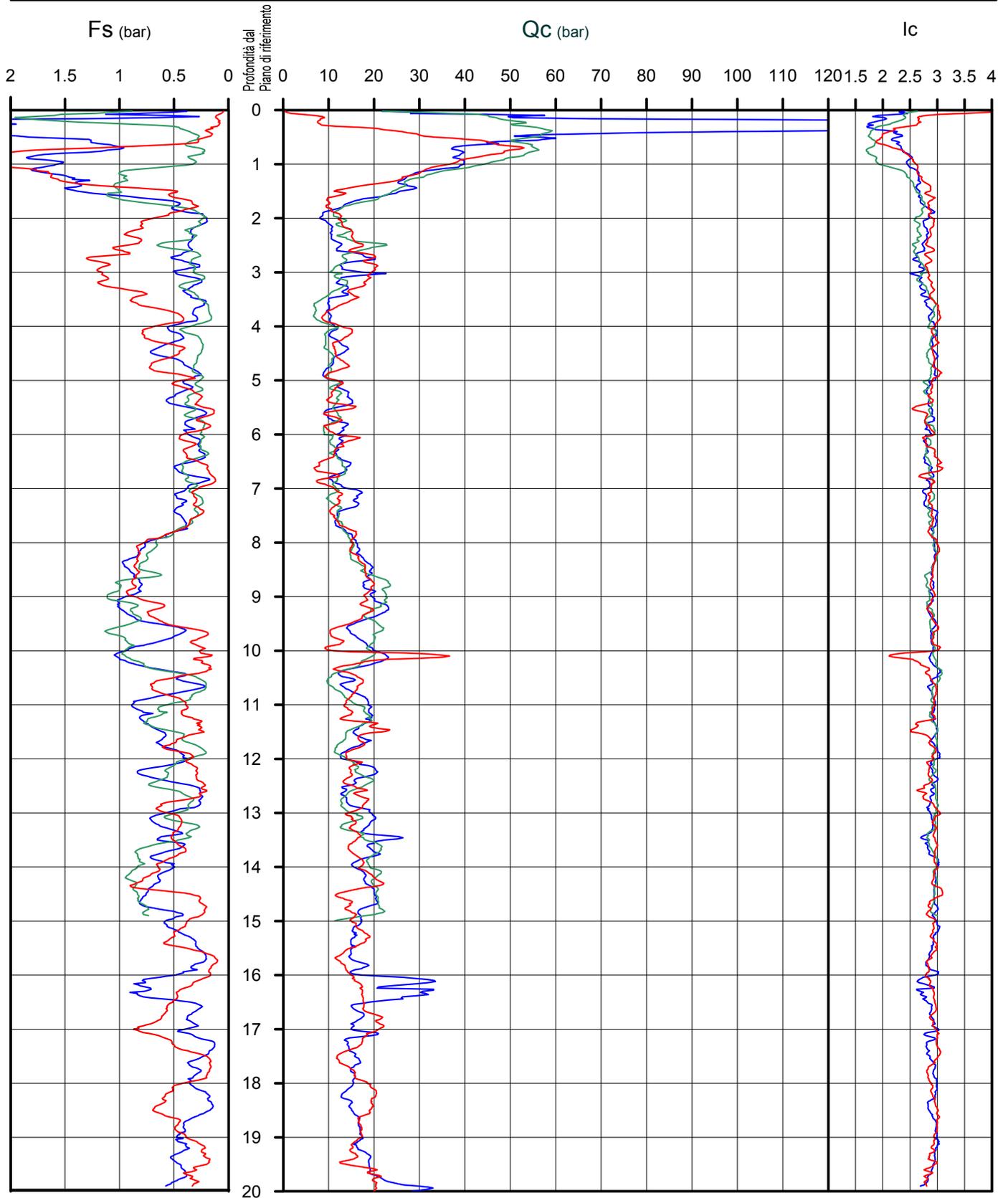
S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)

[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

## LEGENDA

CPT 1  
CPT 2  
CPT 3



Comune Bagnacavallo  
Via A14dir X SP San V  
Localita' Borgo Stecchi  
Committente Provincia di Raven



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

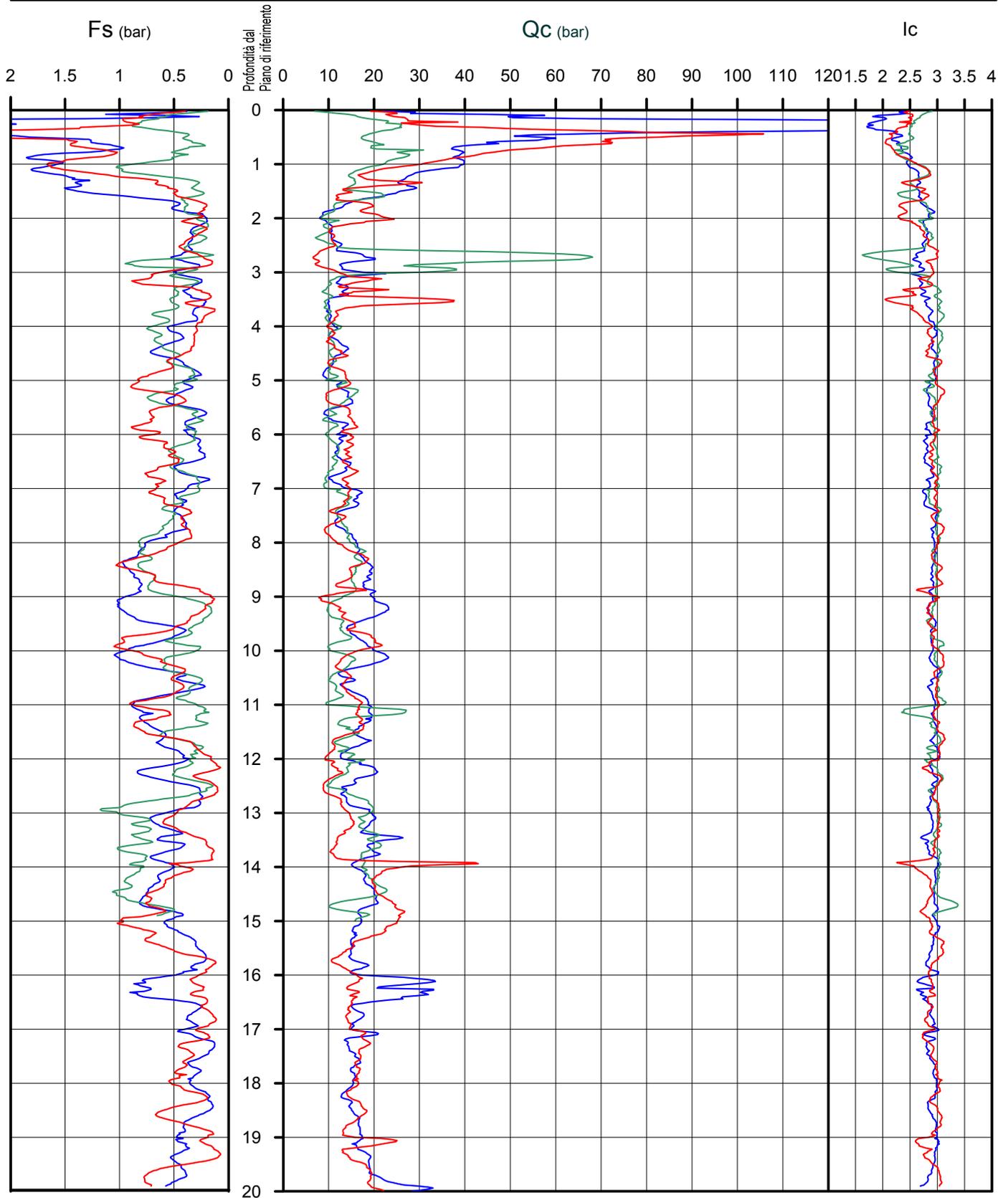
S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)

[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

## LEGENDA

CPT 5  
CPT 4  
CPT 3



Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San V  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Raveni

# PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1  
 CPT 2  
 CPT 3

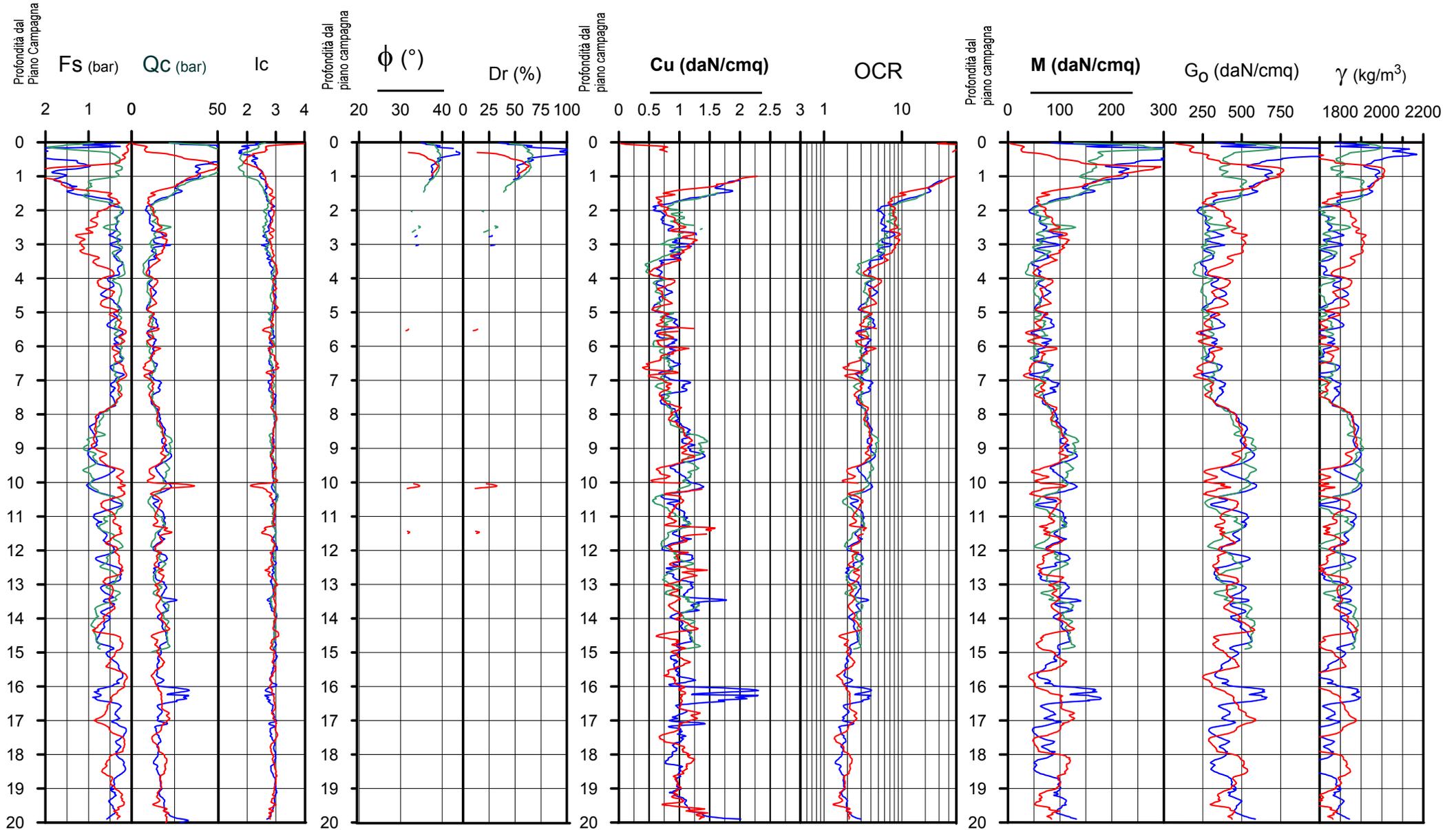


**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com



Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San V  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Raveni

# PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 5  
 CPT 4  
 CPT 3

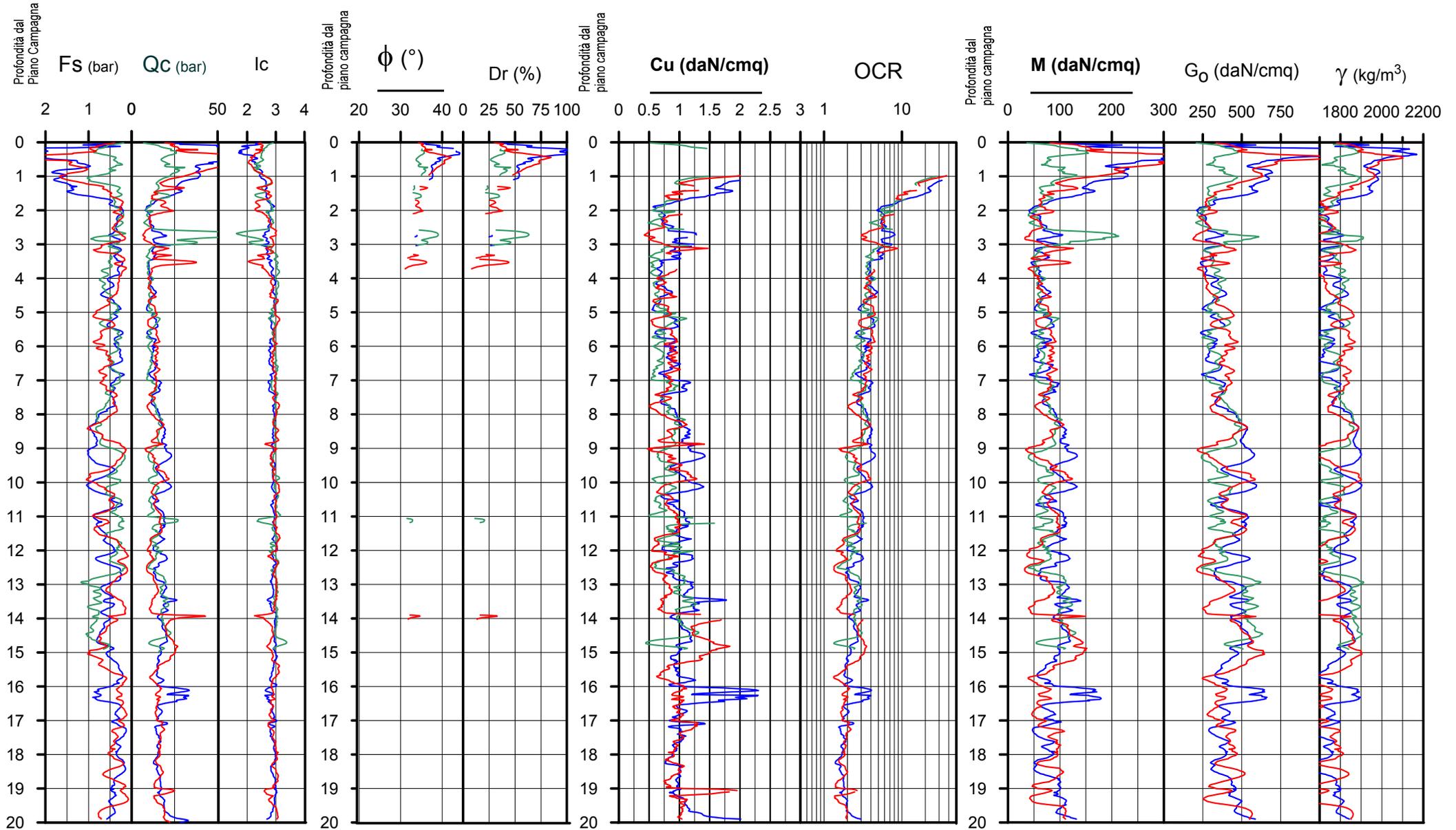


**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com



Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Data 29/10/2018

# CPT 1



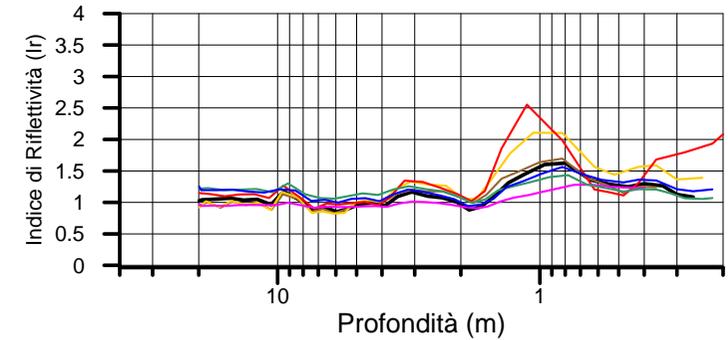
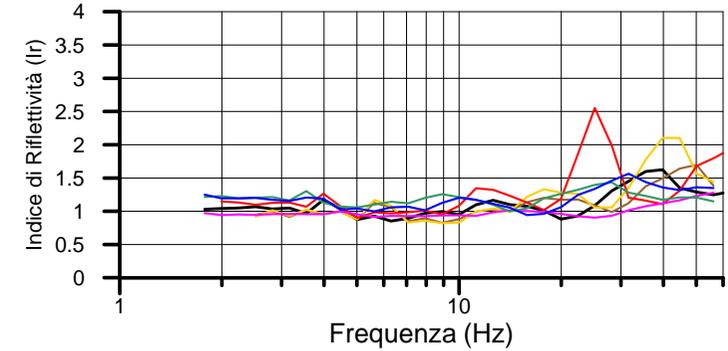
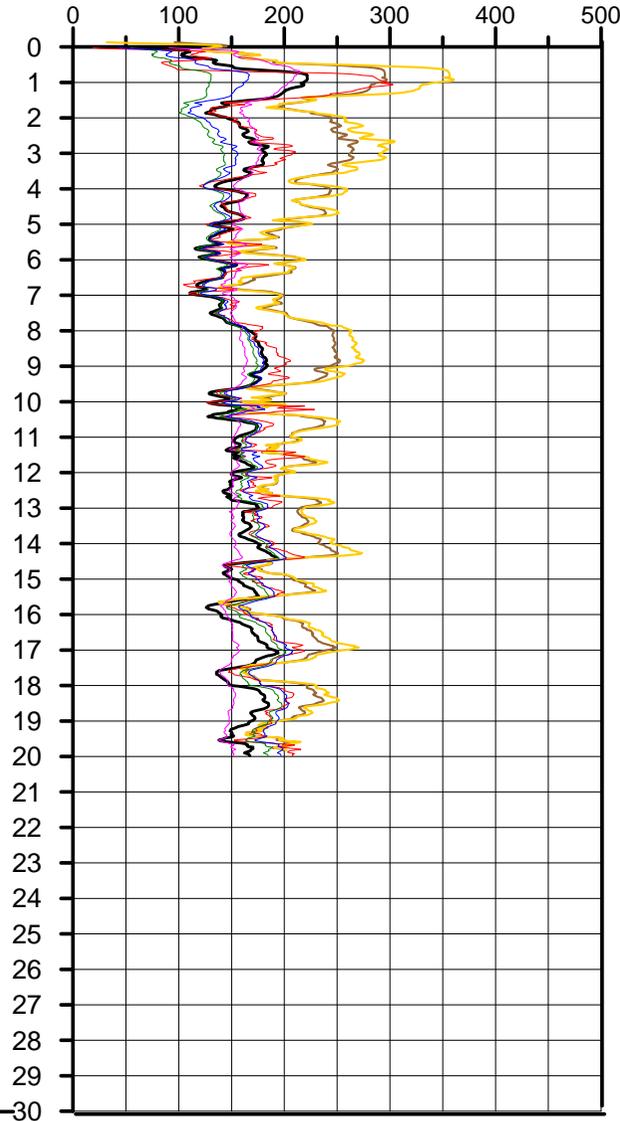
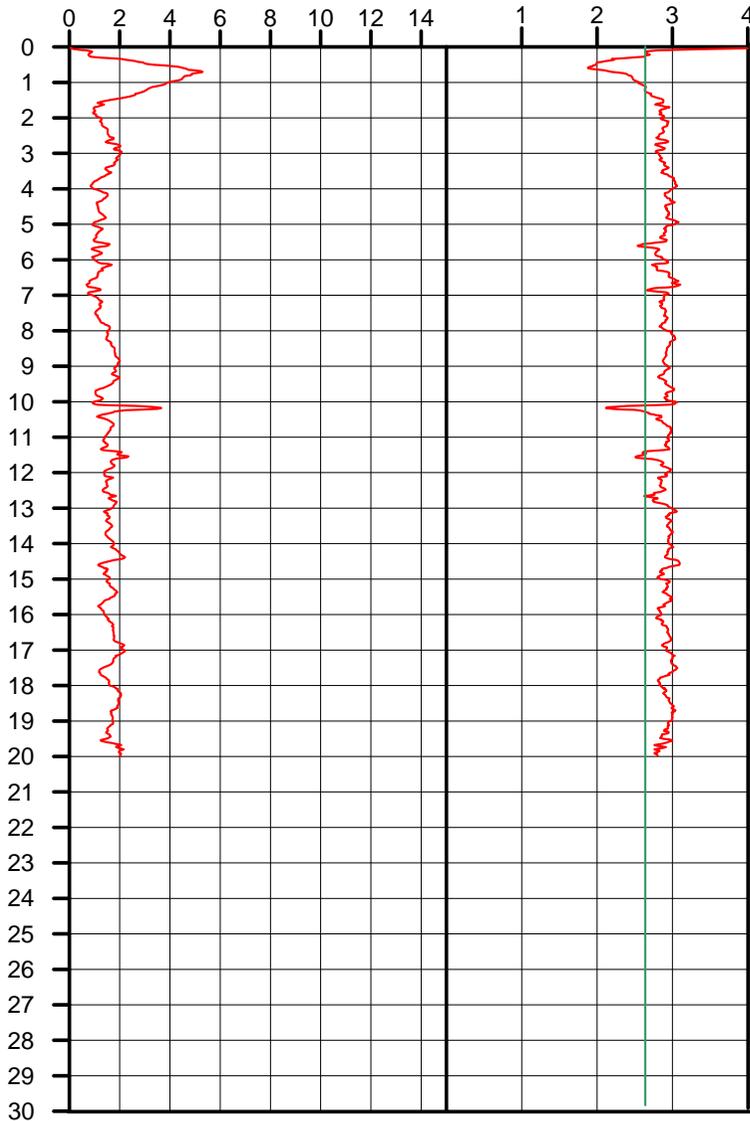
Società di Geologia Territoriale S.G.T. sas  
 www.geo55.com

## Velocità Onde di Taglio (m/sec)

Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie);  
 Madiai 2002; Piratheepan 2002; Andrus 2001;  
 Hegazy & Mayne 1995; Mayne 2006;  
 Robertson & Cabal 2010

Qc (MPa)

Ic



Autore	Vs19.9
Andrus et.al. 2001SF = 1	158
Piratheepan 2002	150
Madiai 2002	157
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	165
Hegazy & Mayne 1995	209
Mayne 2006	211
Robertson Cabal 2010	156

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Data 29/10/2018

# CPT 2



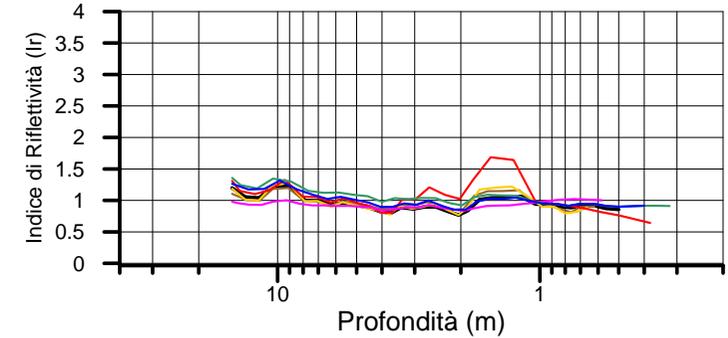
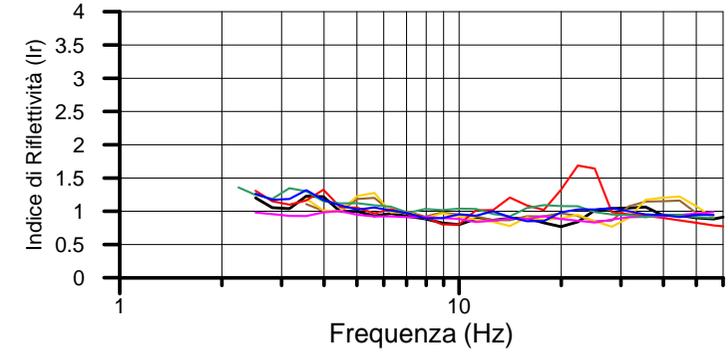
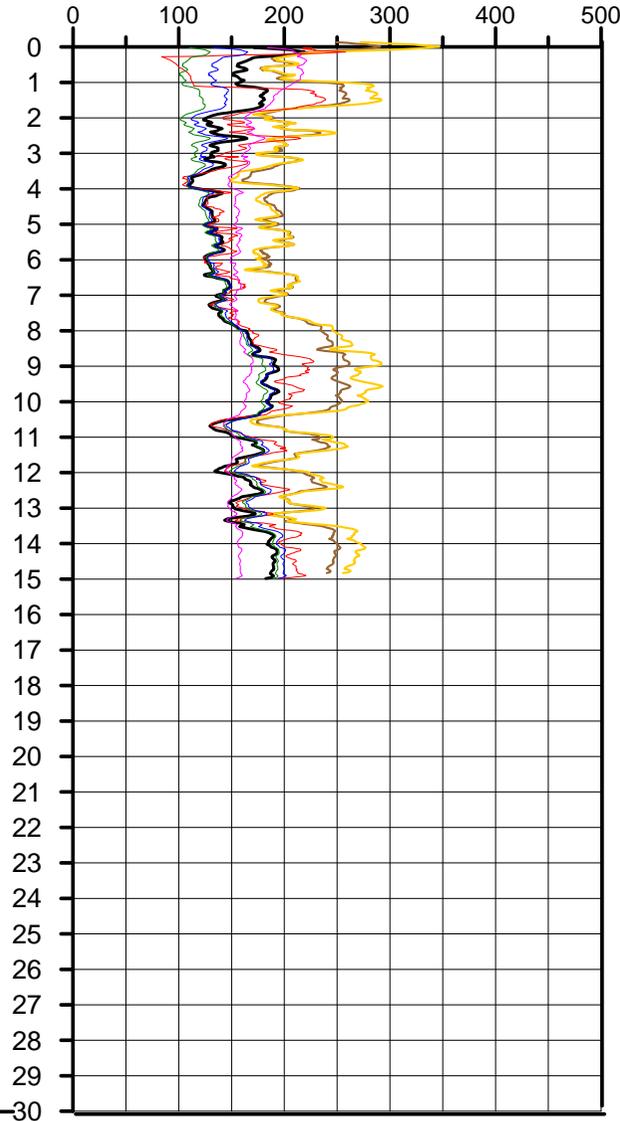
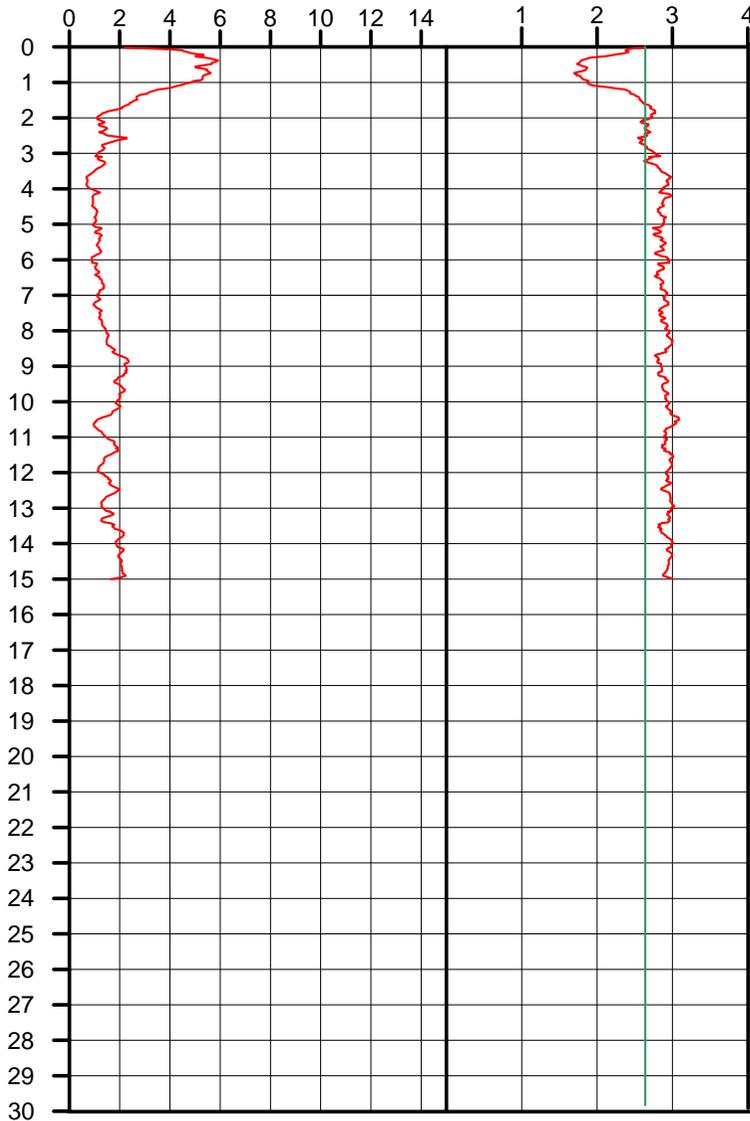
Società di S.G.T. sas  
 Geologia  
 Territoriale www.geo55.com

## Velocità Onde di Taglio (m/sec)

Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie);  
 Madiai 2002; Piratheepan 2002; Andrus 2001;  
 Hegazy & Mayne 1995; Mayne 2006;  
 Robertson & Cabal 2010

Qc (MPa)

Ic



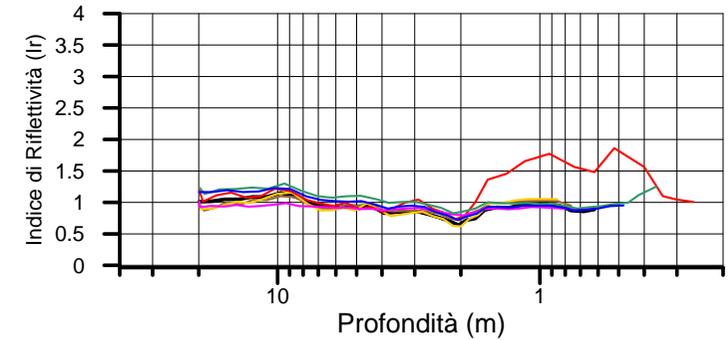
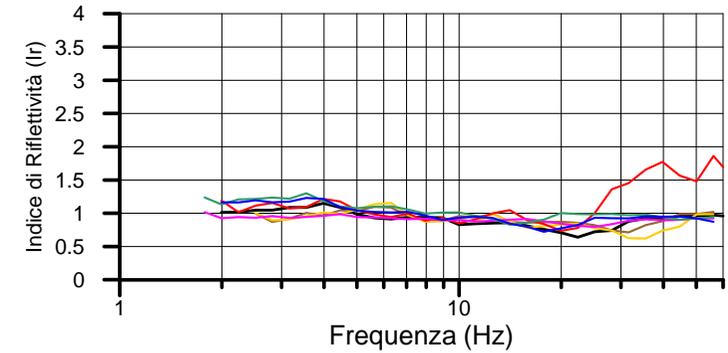
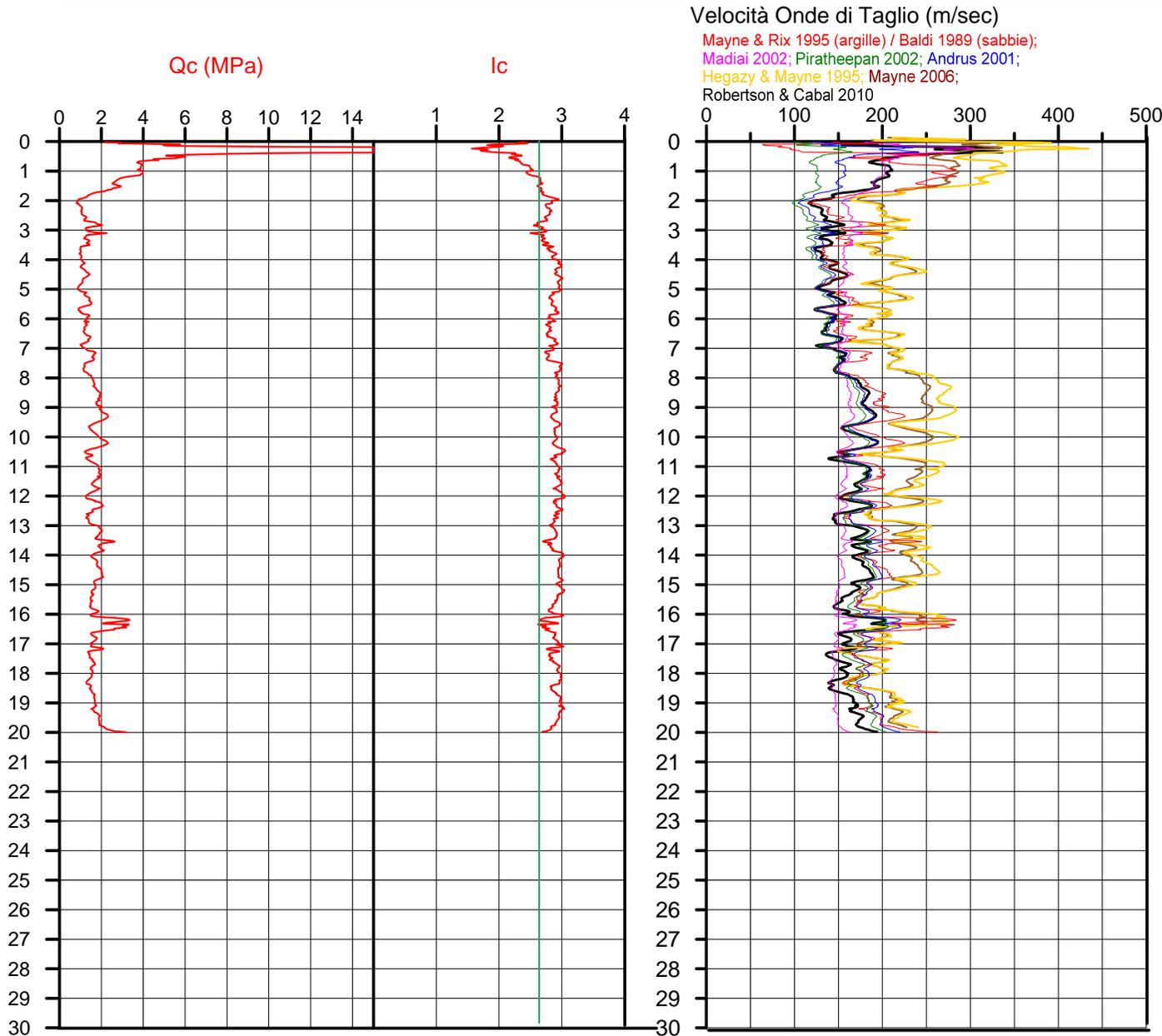
Autore	Vs14.9
Andrus et.al. 2001SF = 1	151
Piratheepan 2002	143
Madiai 2002	162
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	161
Hegazy & Mayne 1995	213
Mayne 2006	217
Robertson Cabal 2010	154

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Data 29-ott-18

### CPT 3



Società di S.G.T. sas  
 Geologia  
 Territoriale www.geo55.com



Autore	Vs19.9
Andrus et.al. 2001SF = 1	163
Piratheepan 2002	154
Madiai 2002	159
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	174
Hegazy & Mayne 1995	217
Mayne 2006	222
Robertson Cabal 2010	161

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Data 29-ott-18

# CPT 4



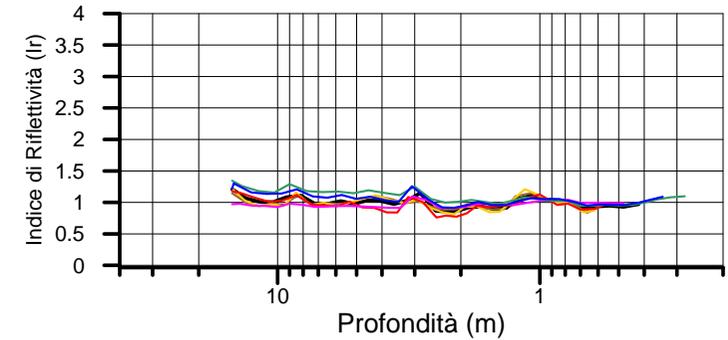
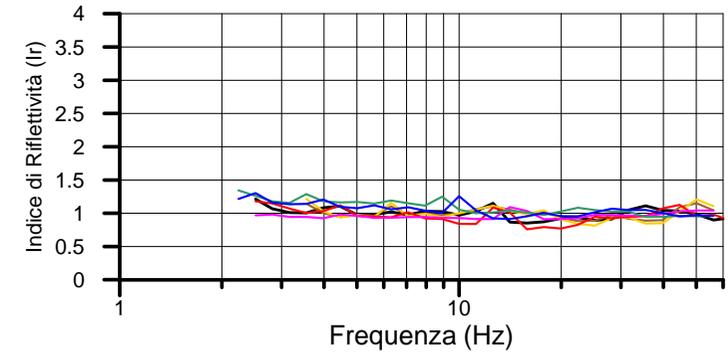
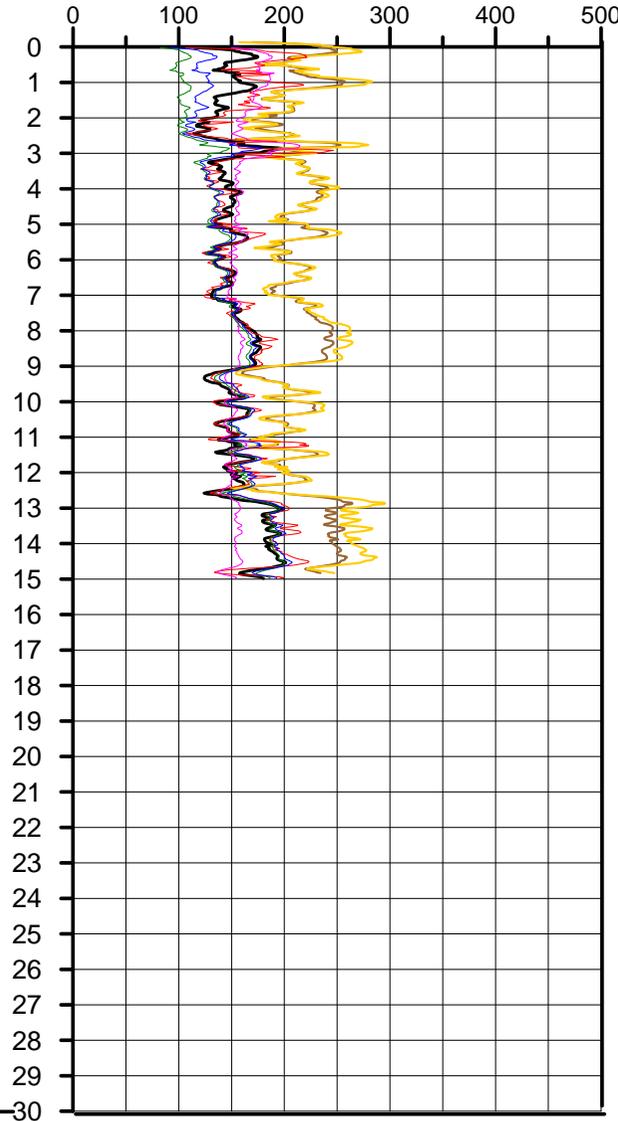
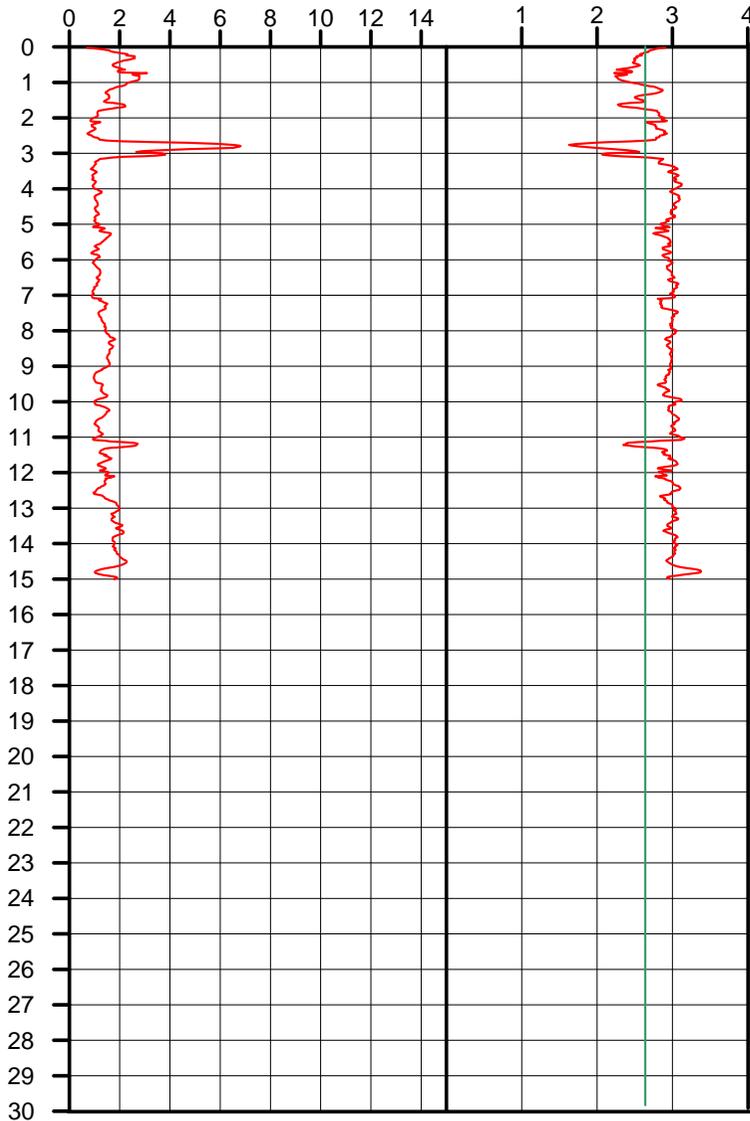
Società di S.G.T. sas  
 Geologia  
 Territoriale www.geo55.com

## Velocità Onde di Taglio (m/sec)

Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie);  
 Madiai 2002; Piratheepan 2002; Andrus 2001;  
 Hegazy & Mayne 1995; Mayne 2006;  
 Robertson & Cabal 2010

Qc (MPa)

Ic



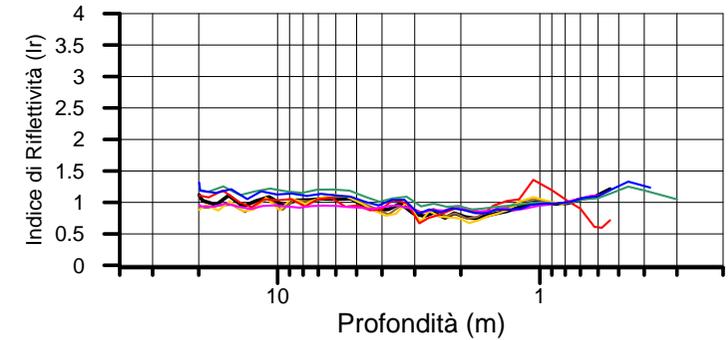
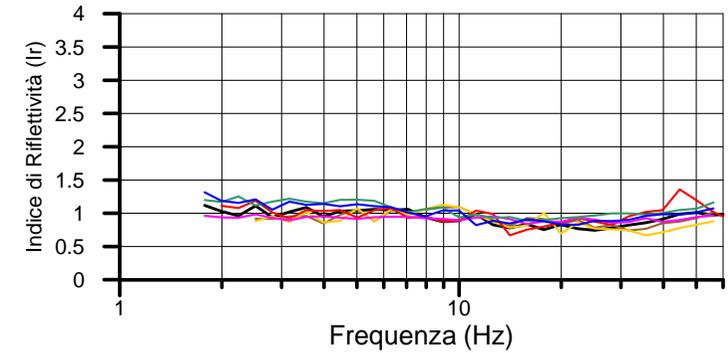
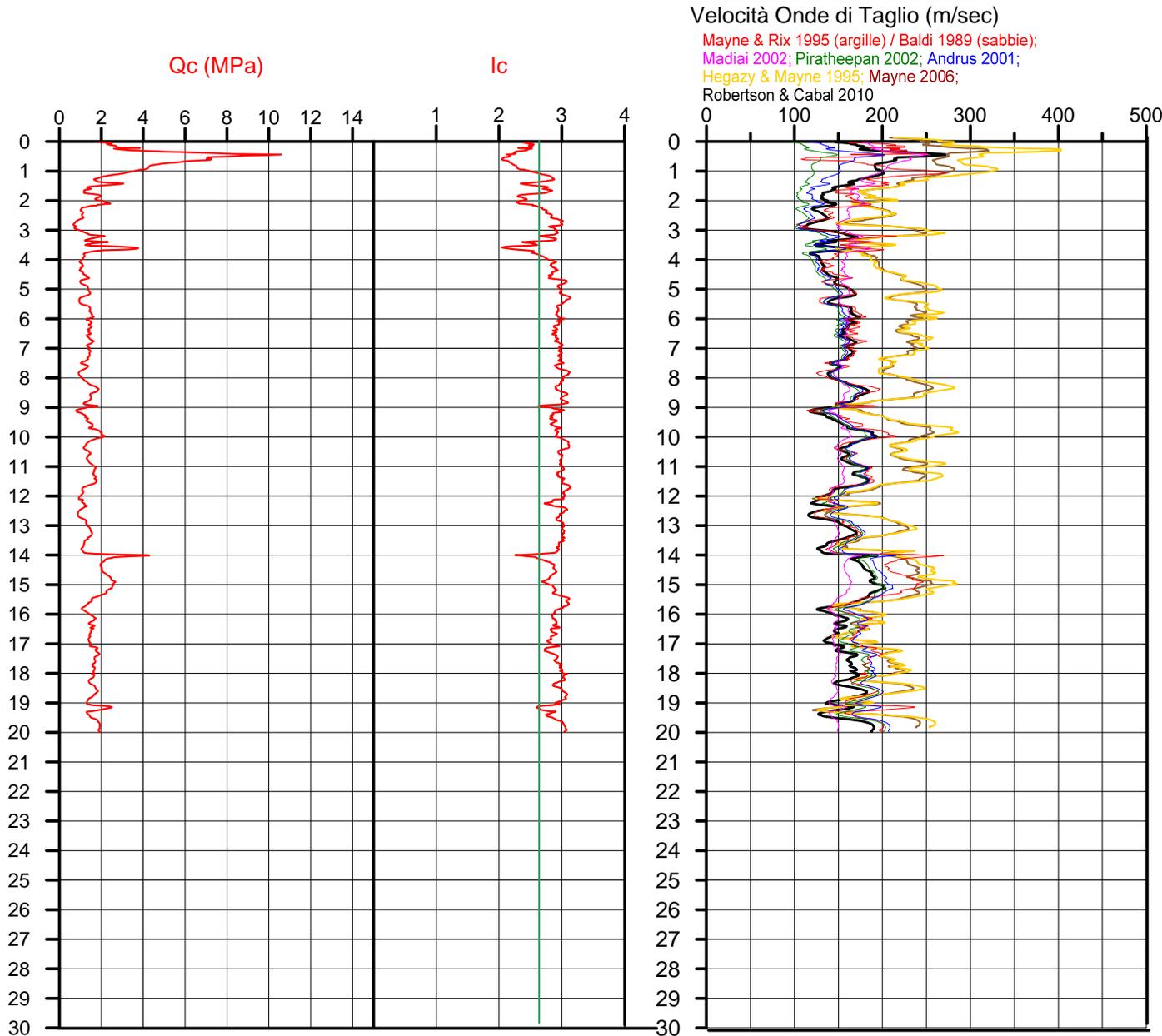
Autore	Vs14.9
Andrus et.al. 2001SF = 1	149
Piratheepan 2002	141
Madiai 2002	158
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	159
Hegazy & Mayne 1995	215
Mayne 2006	218
Robertson Cabal 2010	153

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Data 29-ott-18

# CPT 5



Società di S.G.T. sas  
 Geologia  
 Territoriale www.geo55.com

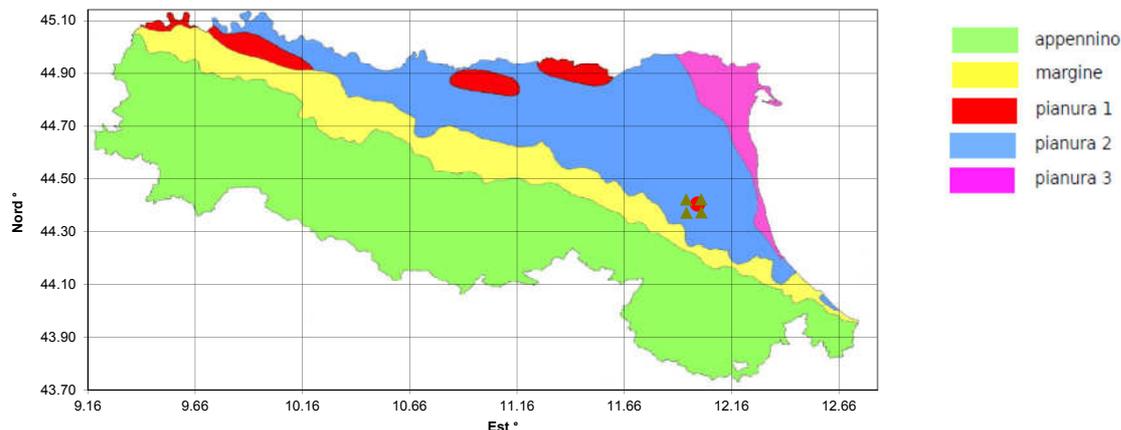
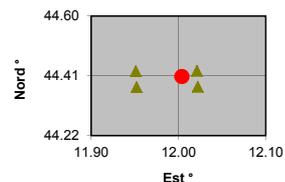


Autore	Vs19.9
Andrus et.al. 2001SF = 1	159
Piratheepan 2002	150
Madiai 2002	156
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	166
Hegazy & Mayne 1995	208
Mayne 2006	211
Robertson Cabal 2010	156

**Ubicazione del sito**

Comune Bagnacavallo  
 Località Borgo Stecchi

Google Earth (WSG84) NTC2018 (ED50)  
 Longitudine (° decimali) **12.002619** **12.003761**  
 Latitudine (° decimali) **44.406744** **44.408494**



**I 4 nodi del reticolo di riferimento per l'azione sismica intorno il punto di interesse**

ID	Distanza al punta di interesse di (m)	Longitudine	Latitudine
17184	2.379	12.021	44.426
17406	3.893	12.022	44.376
17183	4.573	11.951	44.425
17405	5.548	11.952	44.375

Tipi di Costruzione			
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	< = 10	<b>50</b>
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	> = 50	
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali ed dighe di grande dimensioni o di importanza strategica	> = 100	

Classe d'uso	Coefficiente Cu	Progetto Coefficiente Cu
1 Occasionali presenza di persone	0.7	<b>1.5</b>
2 Normali affollamenti	1	
3 Affollamenti significativi	1.5	
4 Edifici confunzioni pubbliche o strategiche importanti	2	

**Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_r = V_n * C_u = 75$  anni**

Stati Limiti		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r = 75$ anni $P_{vr}$	Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_r$ (anni)
SLO	Stato Limite di Operatività	81%	45
SLD	Stato Limite di Danno	63%	75
SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%	712
SLC	Stato Limite di prevenzione del Colasso	5%	1462

**Valori sismici** Decreto Ministeriale 14-01-2018

	$a_g$ (in g/10)	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$
1. STATO LIMITE DI OPERATIVITA'	0.658	0.066	2.447	0.271
2. STATO LIMITE DEL DANNO	0.819	0.082	2.448	0.281
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	<b>2.087</b>	<b>0.213</b>	<b>2.426</b>	<b>0.302</b>
4. STATO LIMITE DI PREVENZIONE DEL COLASSO	2.694	0.269	2.420	0.311

Valori applicati	$a_g$ (in g/10)	$a_g/g$	$F_0$	$TC^*$
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	<b>2.087</b>	<b>0.213</b>	<b>2.426</b>	<b>0.302</b>

Comune  
Via  
Località  
Committente

Bagnacavallo  
A14dir X SP San Vitale  
Borgo Stecchi  
Provincia di Ravenna

**VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 1**

Rapporto terreno coesivo / terreno granulare (m/m)	18.8 / 0.99
Massimo profondità indagata (m)	19.90

TIPO DI SUOLO SUGGERITO		
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)	158 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)	150 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madial 2002)	157 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Riz 1995 (argille) / Baki 1989 (sabbie))	165 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)	211 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009)	209 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)	156 m/sec	D o S1

Resistenza penetrometrica equivalente Nsp (Norme AGI per terreni granulari)	9.9	D o S1
Resistenza al taglio non drenata equivalente Cu (Norme AGI per terreni coesivi)	82 kPa	C

TIPO DI SUOLO STIMATO
C

**ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018**

**3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 712**

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.087 m/sec <sup>2</sup>	0.213 g
Amplificazione per tipo di suolo	C	Ss		1.39
Amplificazione topografica		ST		1.00
<b>S totale</b>		<b>Ss * ST</b>		<b>1.39</b>
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	2.902 m/sec <sup>2</sup>	0.296 g

ξ (%) coefficiente di smorzamento viscoso equivalente	5	fattore η	1.00
---	---	-----------	------

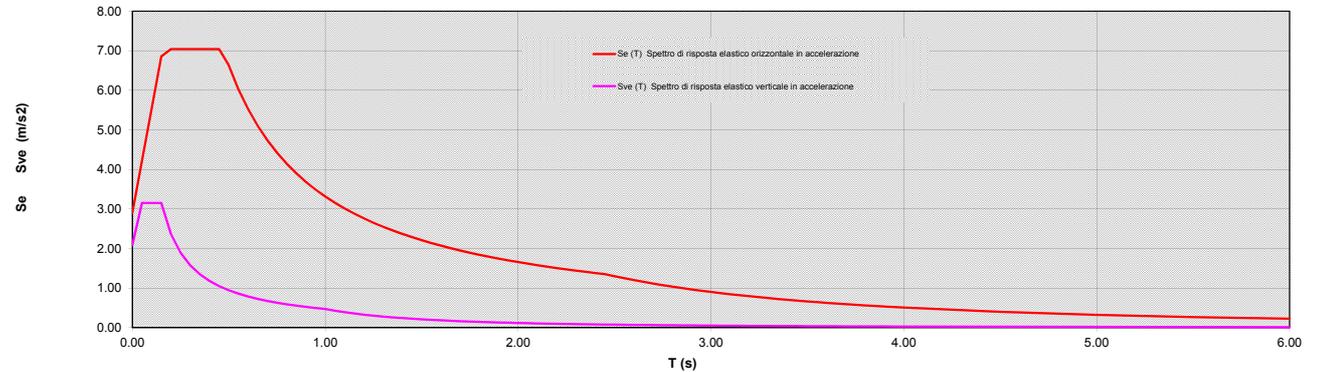
**PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO**

Tipo di suolo	C	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.16	0.05
Tc		0.47	0.15
Td		2.45	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

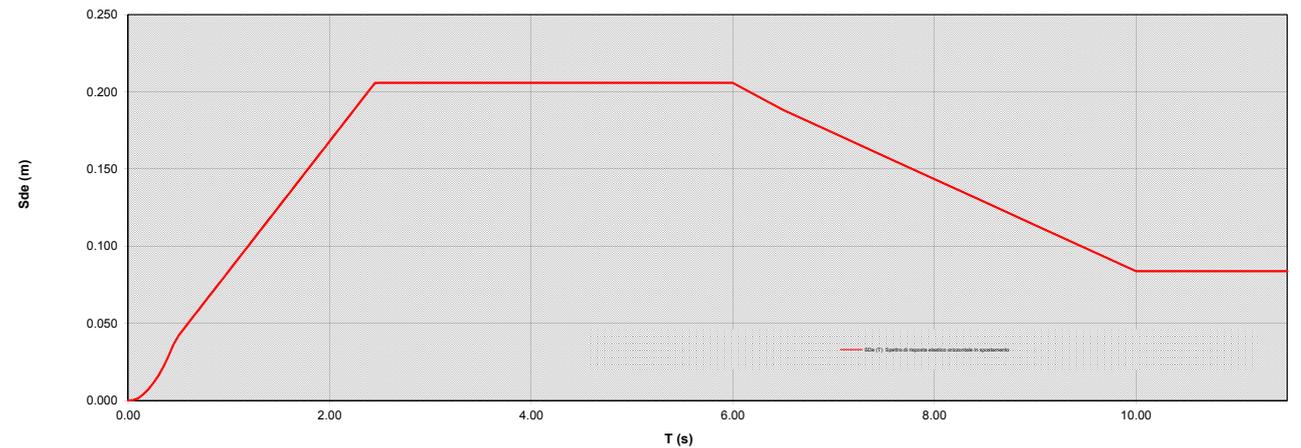
**PARAMETRI DI PICCO**

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.902 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.22 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dq	0.08 m

**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec<sup>2</sup>)**



**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in spostamento (m)**



**PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO C**

STATO LIMITE	ag / g	Fo	Tc*	SS Amplificazione Stratigrafica	ST Amplificazione Topografica	ag / g * SS * ST Accelerazione totale	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)	Te (sec)	Tf (sec)	Fondazioni e Pendii			Opere di Sostegno		
												βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kh terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kh terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.066	2.447	0.271	1.50	1.00	0.099	0.14	0.41	1.86	6.00	10.00	0.20	0.020	0.010	0.18	0.018	0.009
del Danno	0.082	2.448	0.281	1.50	1.00	0.123	0.15	0.45	1.93	6.00	10.00	0.20	0.025	0.012	0.24	0.029	0.015
Salvaguardia della Vita	0.213	2.426	0.302	1.39	1.00	0.296	0.16	0.47	2.45	6.00	10.00	0.28	0.083	0.041	0.31	0.092	0.046
Prevenzione del Colasso	0.269	2.420	0.311	1.31	1.00	0.353	0.16	0.48	2.68	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055

Comune  
Via  
Località  
Committente

Bagnacavallo  
A14dir X SP San Vitale  
Borgo Stecchi  
Provincia di Ravenna

**VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 2**

Rapporto terreno coesivo / terreno granulare (m/m)	13.19 / 1.63
Massimo profondità indagato (m)	14.90

TIPO DI SUOLO SUGGERITO		
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)	151 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)	143 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madial 2002)	162 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Riz 1995 (argille) / Baki 1989 (sabbie))	161 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)	217 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009)	213 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009) (m/sec)	154 m/sec	D o S1
Resistenza penetrometrica equivalente Nsp (Norme AGI per terreni granulari)	11.4	D o S1
Resistenza al taglio non drenata equivalente Cu (Norme AGI per terreni coesivi)	82 kPa	C

TIPO DI SUOLO STIMATO
C

**ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018**

**3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 712**

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.087 m/sec <sup>2</sup>	0.213 g
Amplificazione per tipo di suolo	C	Ss		1.39
Amplificazione topografica		ST		1.00
<b>S totale</b>		<b>Ss * ST</b>		<b>1.39</b>
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	2.902 m/sec <sup>2</sup>	0.296 g
ξ (%) coefficiente di smorzamento viscoso equivalente	5	fattore η		1.00

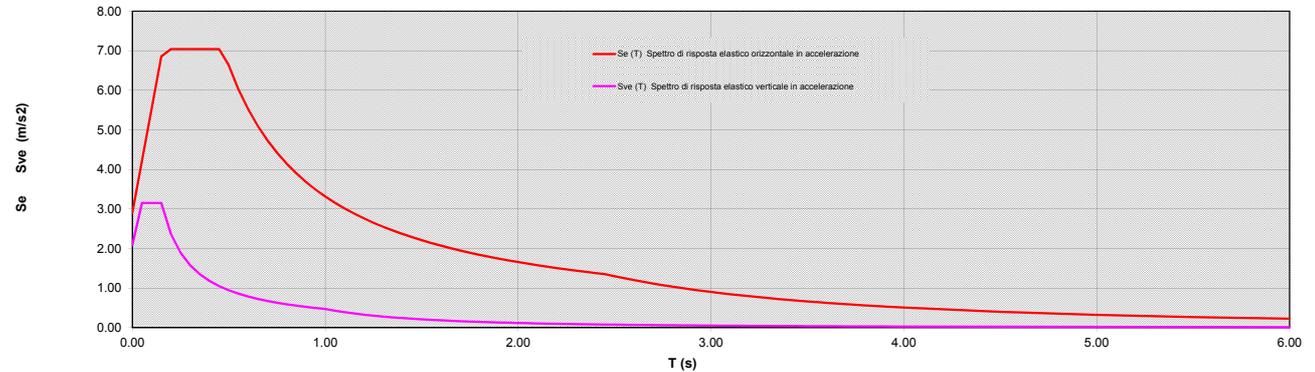
**PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO**

Tipo di suolo	C	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.16	0.05
Tc		0.47	0.15
Td		2.45	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

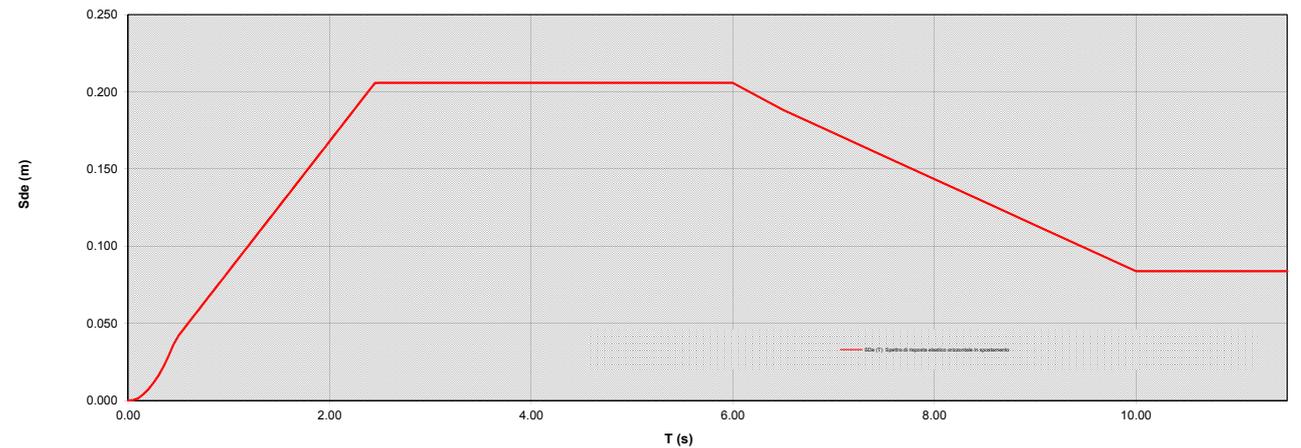
**PARAMETRI DI PICCO**

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.902 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.22 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dq	0.08 m

**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec<sup>2</sup>)**



**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in spostamento (m)**



**PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO C**

STATO LIMITE	ag / g	Fo	Tc*	SS Amplificazione Stratigrafica	ST Amplificazione Topografica	ag / g * SS * ST Accelerazione totale	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)	Te (sec)	Tf (sec)	Fondazioni e Pendii			Opere di Sostegno		
												βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Ks terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Ks terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.066	2.447	0.271	1.50	1.00	0.099	0.14	0.41	1.86	6.00	10.00	0.20	0.020	0.010	0.18	0.018	0.009
del Danno	0.082	2.448	0.281	1.50	1.00	0.123	0.15	0.45	1.93	6.00	10.00	0.20	0.025	0.012	0.24	0.029	0.015
Salvaguardia della Vita	0.213	2.426	0.302	1.39	1.00	0.296	0.16	0.47	2.45	6.00	10.00	0.28	0.083	0.041	0.31	0.092	0.046
Prevenzione del Colasso	0.269	2.420	0.311	1.31	1.00	0.353	0.16	0.48	2.68	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055

Comune  
Via  
Localita'  
Committente

Bagnacavallo  
A14dir X SP San Vitale  
Borgo Stecchi  
Provincia di Ravenna



**VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 3**

Rapporto terreno coesivo / terreno granulare (m/m)	18.6 / 1.19
Massimo profondità indagata (m)	19.90

TIPO DI SUOLO SUGGERITO		
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)	163 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)	154 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madial 2002)	159 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Riz 1995 (argille) / Baki 1989 (sabbie))	174 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)	222 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009)	217 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009) (m/sec)	161 m/sec	D o S1

Resistenza penetrometrica equivalente Nsp (Norme AGI per terreni granulari)	15.3	C
Resistenza al taglio non drenata equivalente Cu (Norme AGI per terreni coesivi)	89 kPa	C

TIPO DI SUOLO STIMATO
C

**ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018**

**3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 712**

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.087 m/sec <sup>2</sup>	0.213 g
Amplificazione per tipo di suolo C		Ss		1.39
Amplificazione topografica		ST		1.00
<b>S totale</b>		<b>Ss * ST</b>		<b>1.39</b>
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	2.902 m/sec <sup>2</sup>	0.296 g

ξ (%) coefficiente di smorzamento viscoso equivalente	5	fattore η	1.00
---	---	-----------	------

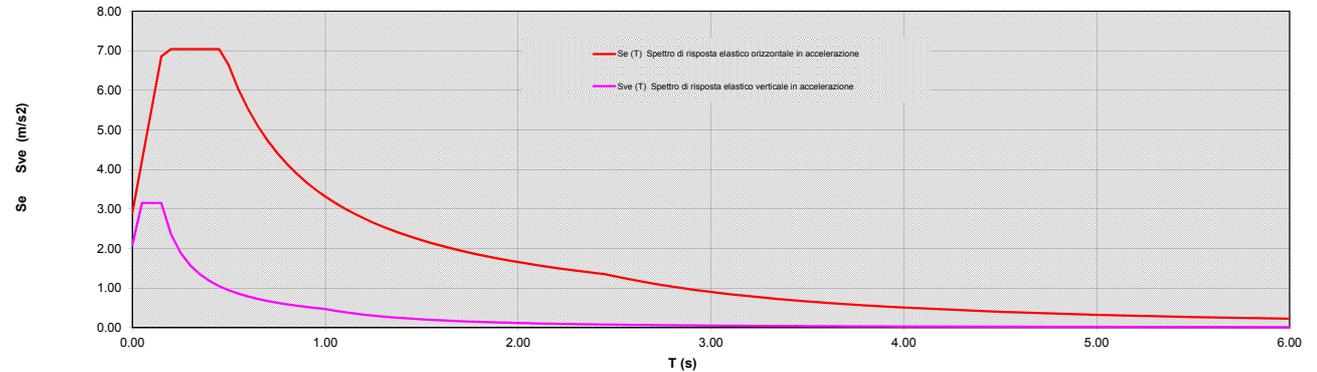
**PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO**

Tipo di suolo	C	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.16	0.05
Tc		0.47	0.15
Td		2.45	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

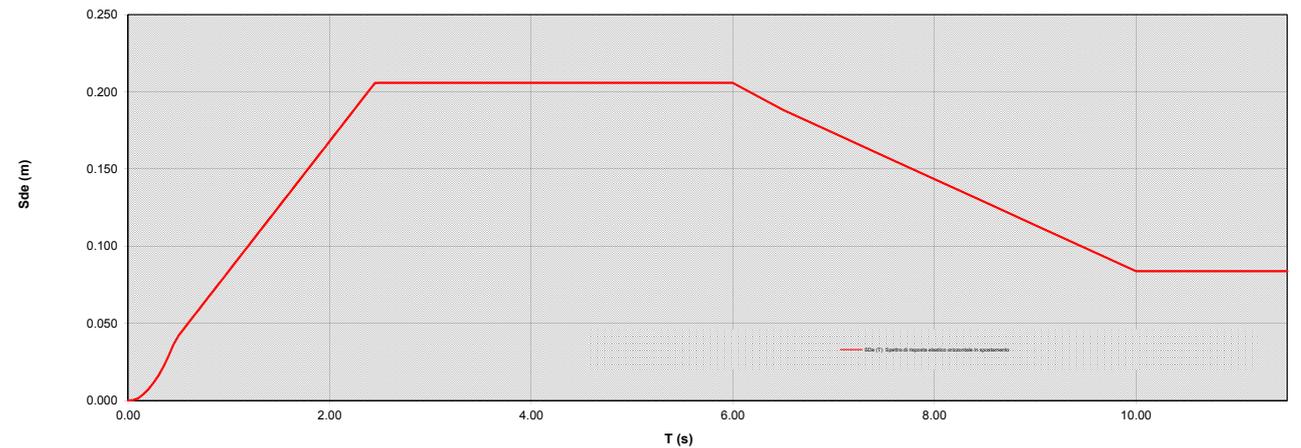
**PARAMETRI DI PICCO**

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.902 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.22 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dq	0.08 m

**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec<sup>2</sup>)**



**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in spostamento (m)**



**PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO C**

STATO LIMITE	ag / g	Fo	Tc*	SS Amplificazione Stratigrafica	ST Amplificazione Topografica	ag / g * SS * ST Accelerazione totale	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)	Te (sec)	Tf (sec)	Fondazioni e Pendii			Opere di Sostegno		
												βs Coefficiente di riduzione per a <sub>v</sub> /g	K <sub>h</sub> terreno Coefficiente sismico orizzontale	K <sub>v</sub> terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per a <sub>v</sub> /g	K <sub>h</sub> terreno Coefficiente sismico orizzontale	K <sub>v</sub> terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.066	2.447	0.271	1.50	1.00	0.099	0.14	0.41	1.86	6.00	10.00	0.20	0.020	0.010	0.18	0.018	0.009
del Danno	0.082	2.448	0.281	1.50	1.00	0.123	0.15	0.45	1.93	6.00	10.00	0.20	0.025	0.012	0.24	0.029	0.015
Salvaguardia della Vita	0.213	2.426	0.302	1.39	1.00	0.296	0.16	0.47	2.45	6.00	10.00	0.28	0.083	0.041	0.31	0.092	0.046
Prevenzione del Colasso	0.269	2.420	0.311	1.31	1.00	0.353	0.16	0.48	2.68	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055

Comune  
Via  
Localita'  
Committente

Bagnacavallo  
A14dir X SP San Vitale  
Borgo Stecchi  
Provincia di Ravenna

**VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 4**

Rapporto terreno coesivo / terreno granulare (m/m)	13.09 / 1.73
Massimo profondità indagato (m)	14.90

TIPO DI SUOLO SUGGERITO		
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)	149 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)	141 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madial 2002)	158 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Riz 1995 (argille) / Baki 1989 (sabbie))	159 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)	218 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009) (m/sec)	215 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009) (m/sec)	153 m/sec	D o S1

Resistenza penetrometrica equivalente Nsp (Norme AGI per terreni granulari)	8.5	D o S1
Resistenza al taglio non drenata equivalente Cu (Norme AGI per terreni coesivi)	78 kPa	C

TIPO DI SUOLO STIMATO
C

**ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018**

**3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 712**

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.087 m/sec <sup>2</sup>	0.213 g
Amplificazione per tipo di suolo C		Ss		1.39
Amplificazione topografica		ST		1.00
<b>S totale</b>		<b>Ss * ST</b>		<b>1.39</b>
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	2.902 m/sec <sup>2</sup>	0.296 g

ξ (%) coefficiente di smorzamento viscoso equivalente	5	fattore η	1.00
---	---	-----------	------

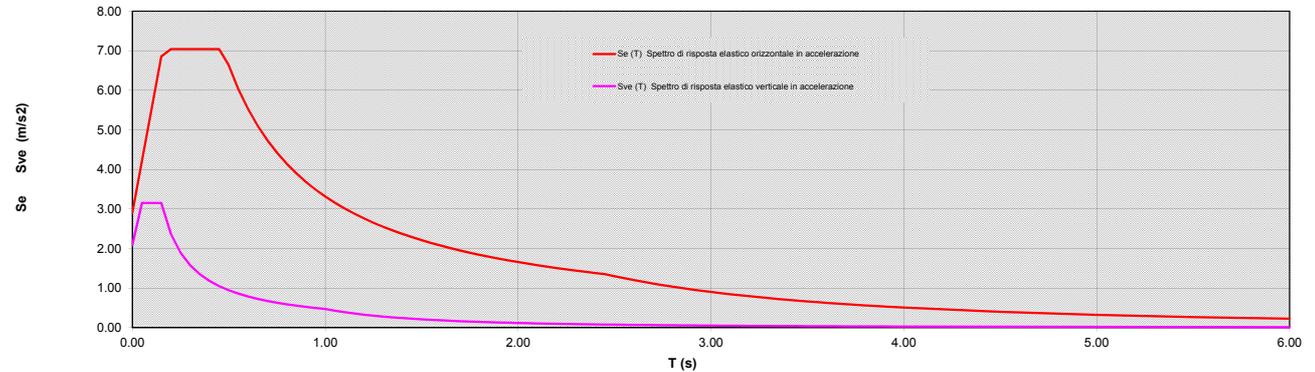
**PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO**

Tipo di suolo	C	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.16	0.05
Tc		0.47	0.15
Td		2.45	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

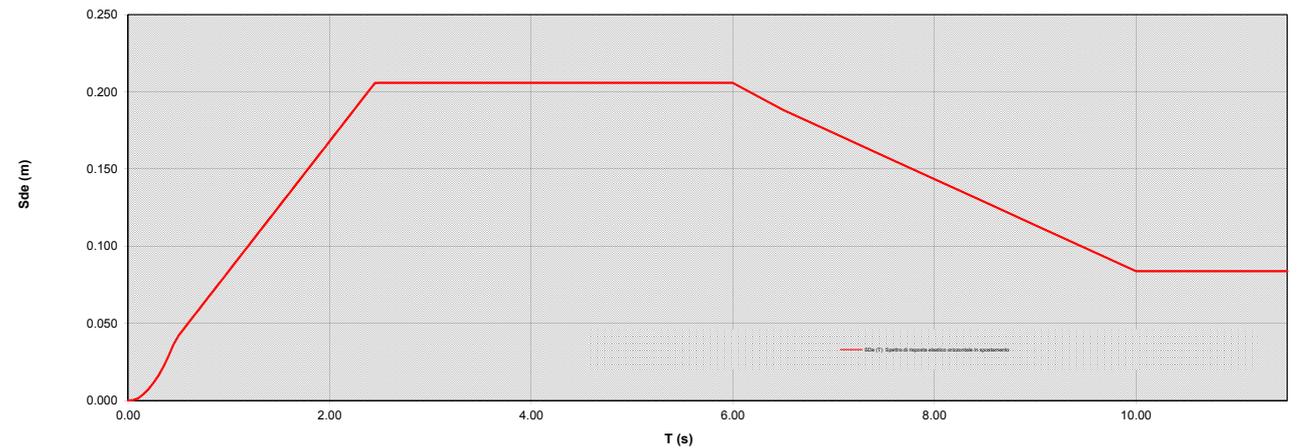
**PARAMETRI DI PICCO**

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.902 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.22 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dq	0.08 m

**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec<sup>2</sup>)**



**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in spostamento (m)**



**PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO C**

STATO LIMITE	ag / g	Fo	Tc*	SS Amplificazione Stratigrafica	ST Amplificazione Topografica	ag / g * SS * ST Accelerazione totale	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)	Te (sec)	Tf (sec)	Fondazioni e Pendii			Opere di Sostegno		
												βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kh terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kh terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.066	2.447	0.271	1.50	1.00	0.099	0.14	0.41	1.86	6.00	10.00	0.20	0.020	0.010	0.18	0.018	0.009
del Danno	0.082	2.448	0.281	1.50	1.00	0.123	0.15	0.45	1.93	6.00	10.00	0.20	0.025	0.012	0.24	0.029	0.015
Salvaguardia della Vita	0.213	2.426	0.302	1.39	1.00	0.296	0.16	0.47	2.45	6.00	10.00	0.28	0.083	0.041	0.31	0.092	0.046
Prevenzione del Colasso	0.269	2.420	0.311	1.31	1.00	0.353	0.16	0.48	2.68	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055

Comune  
Via  
Località  
Committente

Bagnacavallo  
A14dir X SP San Vitale  
Borgo Stecchi  
Provincia di Ravenna

**VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 5**

Rapporto terreno coesivo / terreno granulare (m/m)	17.73 / 2.06
Massimo profondità indagato (m)	19.90

TIPO DI SUOLO SUGGERITO		
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)	159 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)	150 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madial 2002)	156 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Riz 1995 (argille) / Baki 1989 (sabbie))	166 m/sec	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)	211 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009)	208 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertston Cabal 2009) (m/sec)	156 m/sec	D o S1

Resistenza penetrometrica equivalente Nsp (Norme AGI per terreni granulari)	9.4	D o S1
Resistenza al taglio non drenata equivalente Cu (Norme AGI per terreni coesivi)	83 kPa	C

TIPO DI SUOLO STIMATO
C

**ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018**

**3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 712**

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.087 m/sec <sup>2</sup>	0.213 g
Amplificazione per tipo di suolo C		Ss		1.39
Amplificazione topografica		ST		1.00
<b>S totale</b>		<b>Ss * ST</b>		<b>1.39</b>
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	2.902 m/sec <sup>2</sup>	0.296 g

ξ (%) coefficiente di smorzamento viscoso equivalente	5	fattore η	1.00
---	---	-----------	------

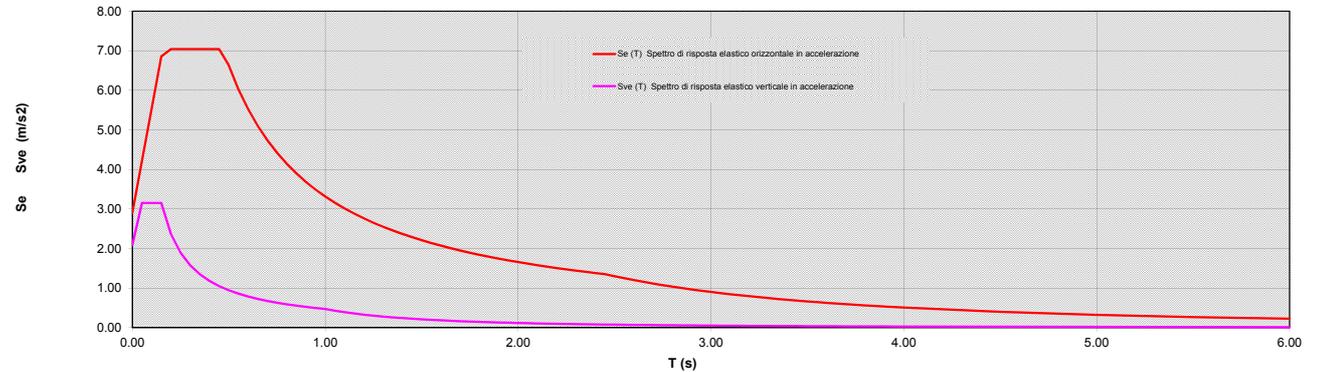
**PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO**

Tipo di suolo	C	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.16	0.05
Tc		0.47	0.15
Td		2.45	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

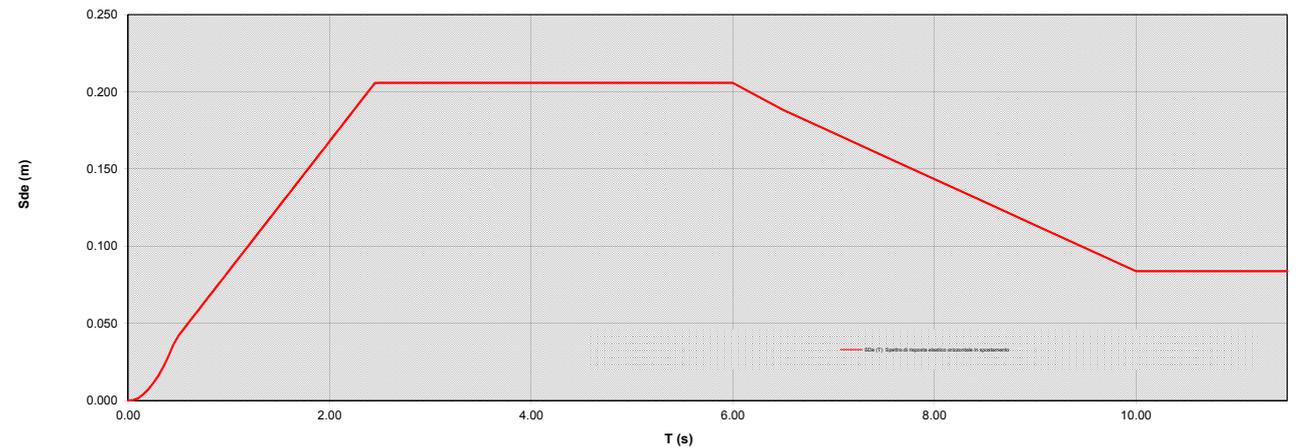
**PARAMETRI DI PICCO**

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.902 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.22 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dq	0.08 m

**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec<sup>2</sup>)**



**Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in spostamento (m)**



**PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO C**

STATO LIMITE	ag / g	Fo	Tc*	SS Amplificazione Stratigrafica	ST Amplificazione Topografica	ag / g * SS * ST Accelerazione totale	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)	Te (sec)	Tf (sec)	Fondazioni e Pendii			Opere di Sostegno		
												βs Coefficiente di riduzione per as/g	Ks terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per as/g	Ks terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.066	2.447	0.271	1.50	1.00	0.099	0.14	0.41	1.86	6.00	10.00	0.20	0.020	0.010	0.18	0.018	0.009
del Danno	0.082	2.448	0.281	1.50	1.00	0.123	0.15	0.45	1.93	6.00	10.00	0.20	0.025	0.012	0.24	0.029	0.015
Salvaguardia della Vita	0.213	2.426	0.302	1.39	1.00	0.296	0.16	0.47	2.45	6.00	10.00	0.28	0.083	0.041	0.31	0.092	0.046
Prevenzione del Colasso	0.269	2.420	0.311	1.31	1.00	0.353	0.16	0.48	2.68	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055

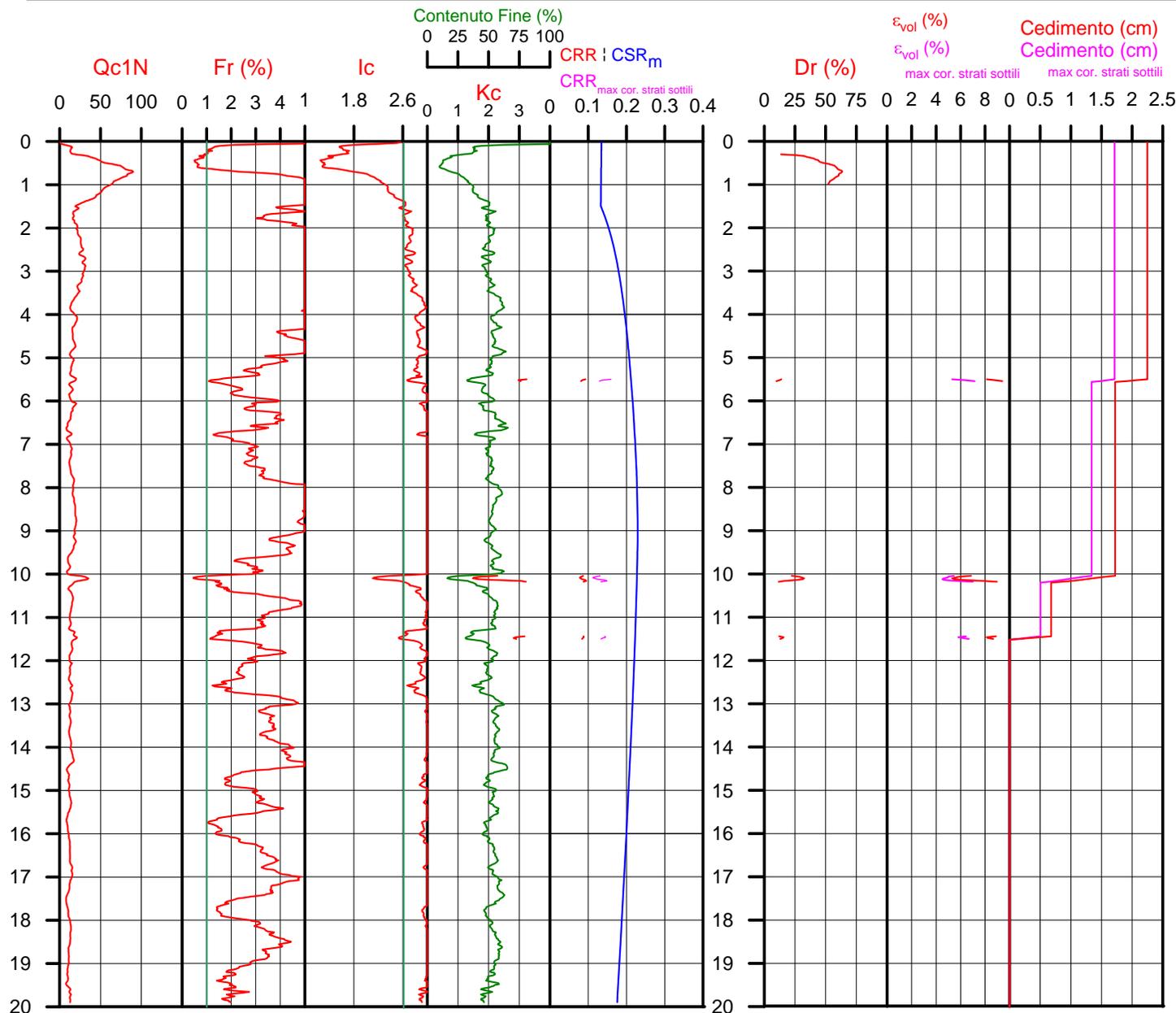
Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29/10/2018

**CPT 1**  
 Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390	Suolo di riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.902	amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudo 6.140		magnitudo 6.140



**Società di Geologia Territoriale**  
 S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - lc > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

- Parametri utilizzati:
- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
  - \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
<b>Cedimento totale</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Cedimento totale considerando strati sottili</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	IL	
1.0	0.6	IL <= 5	BASSO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	IL	
1.0	0.6	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
1	1	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29/10/2018

**CPT 2**  
 Falda presunta 1.5 metri

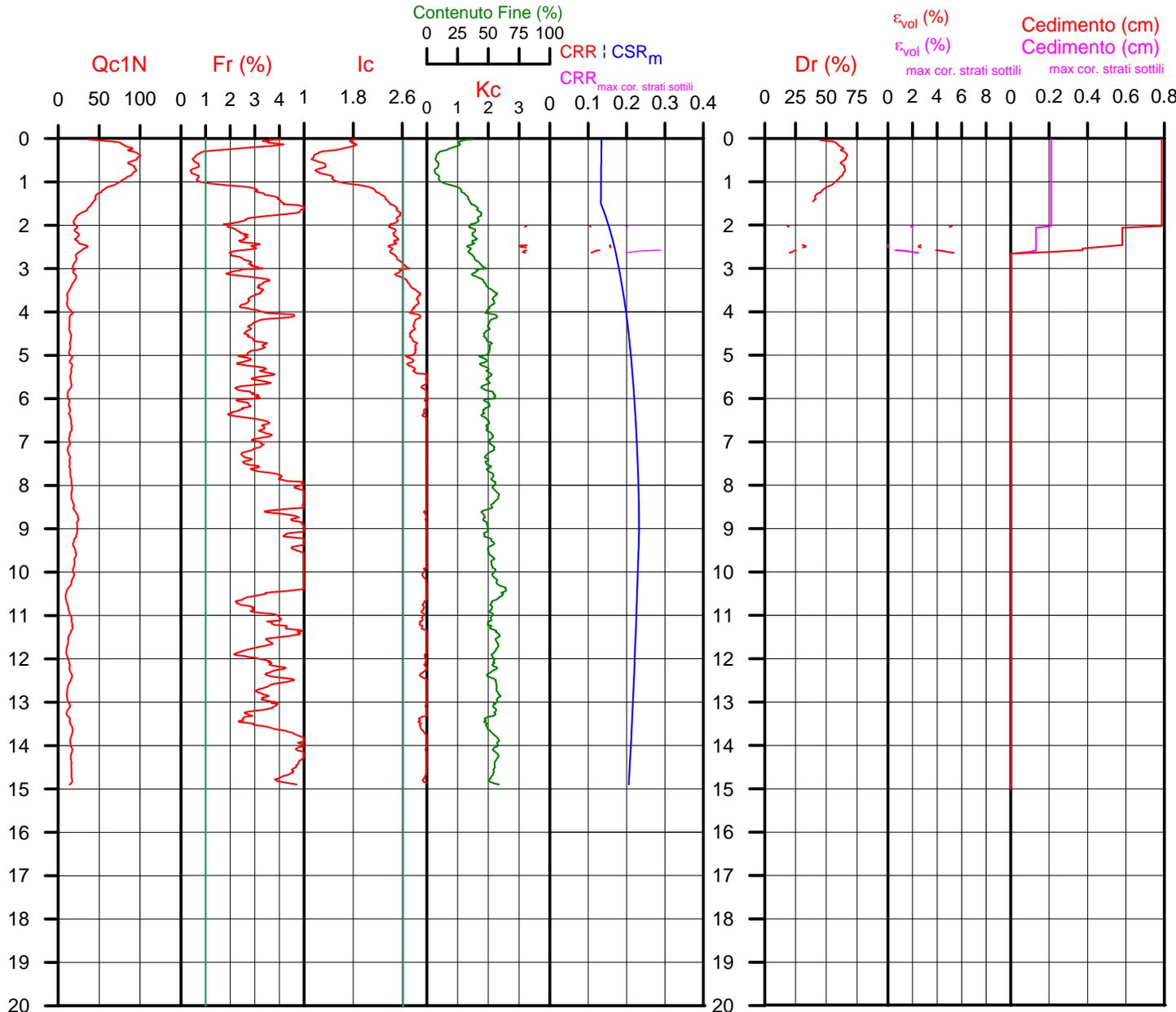
NTC 2018	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.902
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudo 6.140

D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°	
Suolo di riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
	magnitudo 6.140



**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - lc > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
<b>Cedimento totale</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Cedimento totale considerando strati sottili</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.4	0.0	IL <= 5	BASSO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.4	0.0	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
1	0	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune Bagnacavallo  
Via A14dir X SP San Vitale  
Localita' Borgo Stecchi  
Committente Provincia di Ravenna  
Data 29-ott-18

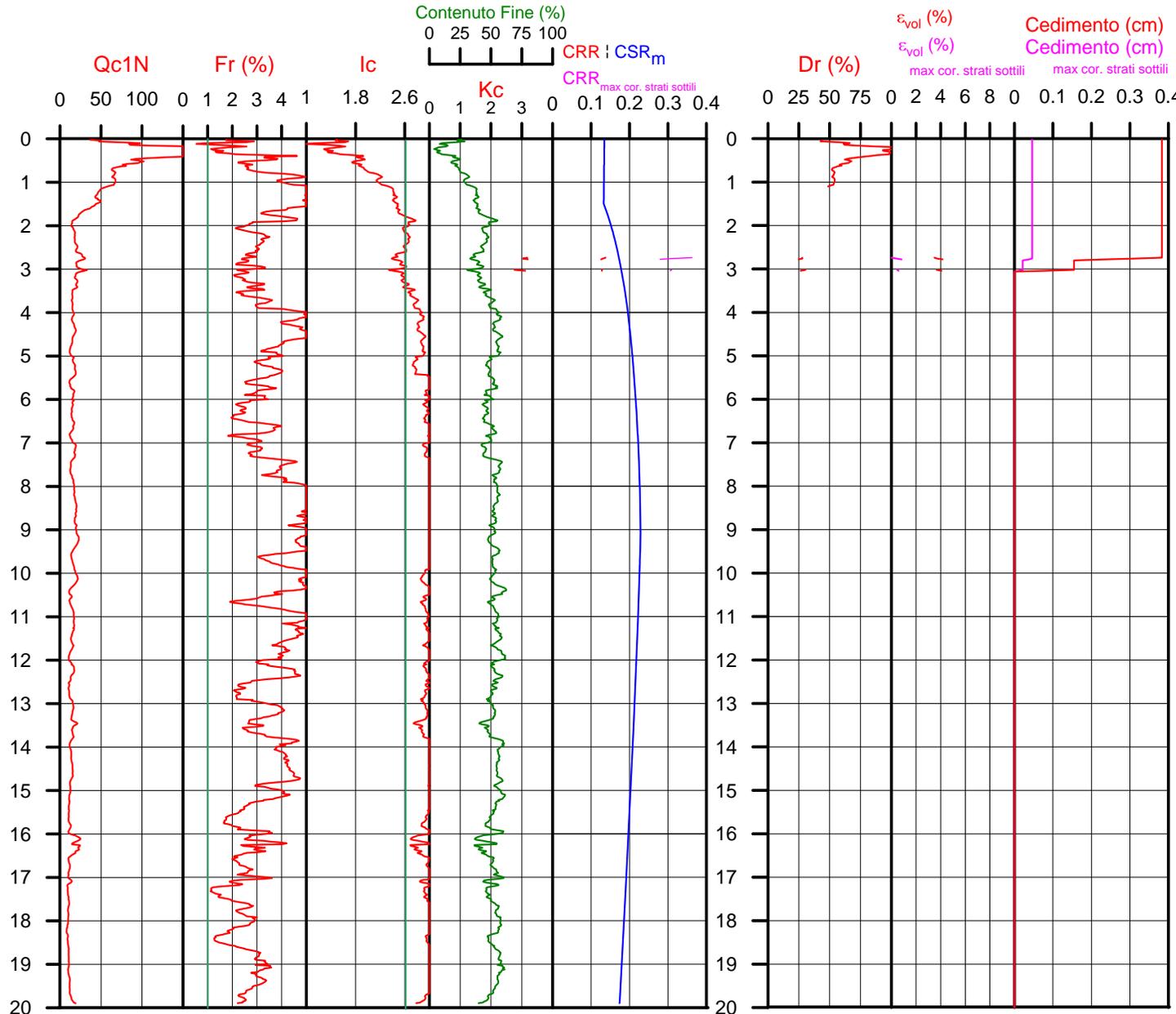
**CPT 3**  
Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo	fattore amplificazione 1.390	Suolo di riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.902	amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudo 6.140		magnitudo 6.140



**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
Cedimento totale	0	1
Cedimento totale considerando strati sottili	0	0

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.2	0.0	IL <= 5	BASSO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.2	0.0	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
1	0	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

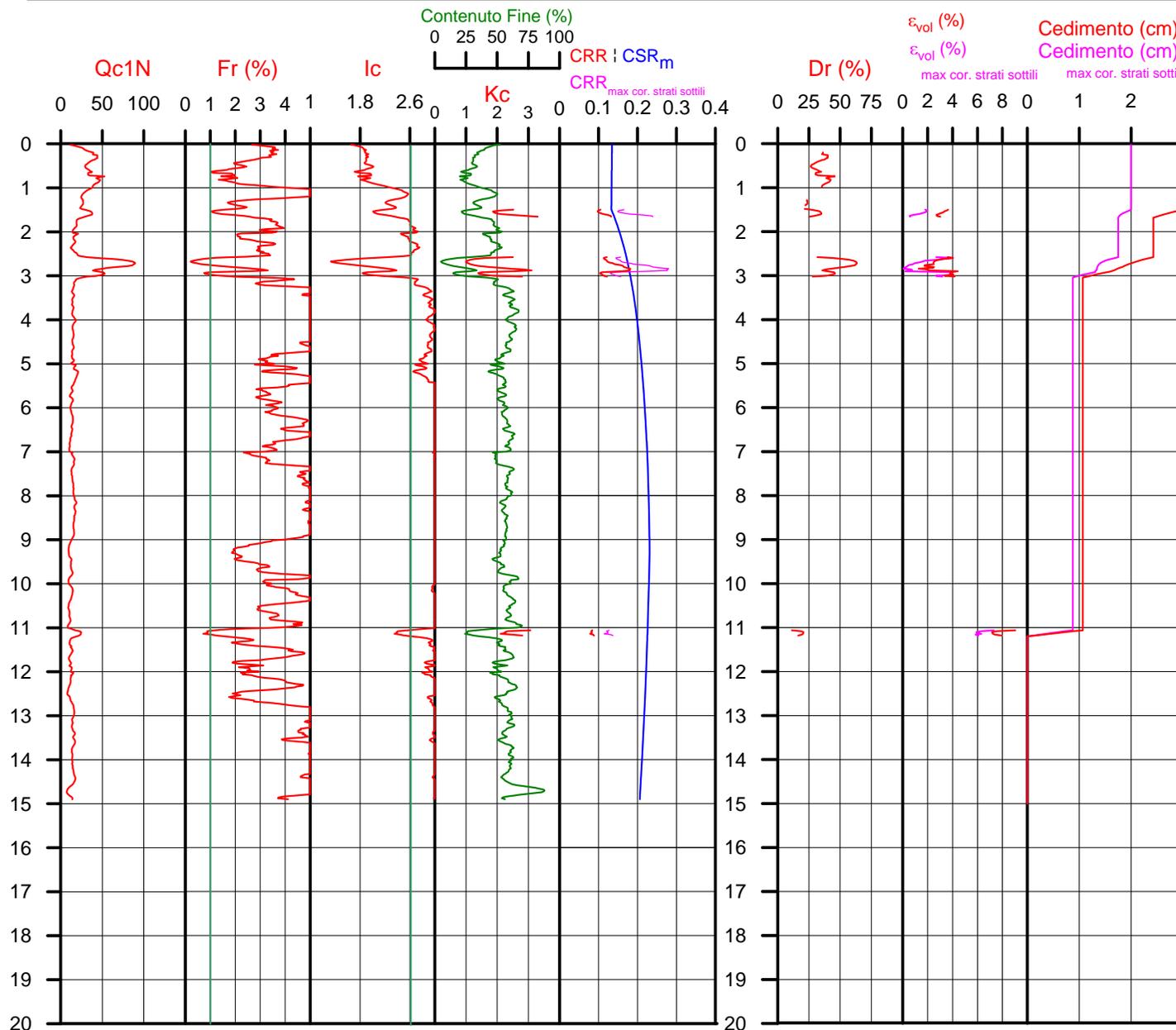
Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

**CPT 4**  
 Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390	Suolo di riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.902	amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudo 6.140		magnitudo 6.140



**Società di Geologia Territoriale**  
 S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - lc > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

- Parametri utilizzati:
- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
  - \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
<b>Cedimento totale</b>	<b>3</b>	<b>21</b>
<b>Cedimento totale considerando strati sottili</b>	<b>2</b>	<b>14</b>

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
1.6	0.6	IL <= 5	BASSO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
1.6	0.6	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
4	3	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune Bagnacavallo  
Via A14dir X SP San Vitale  
Localita' Borgo Stecchi  
Committente Provincia di Ravenna  
Data 29-ott-18

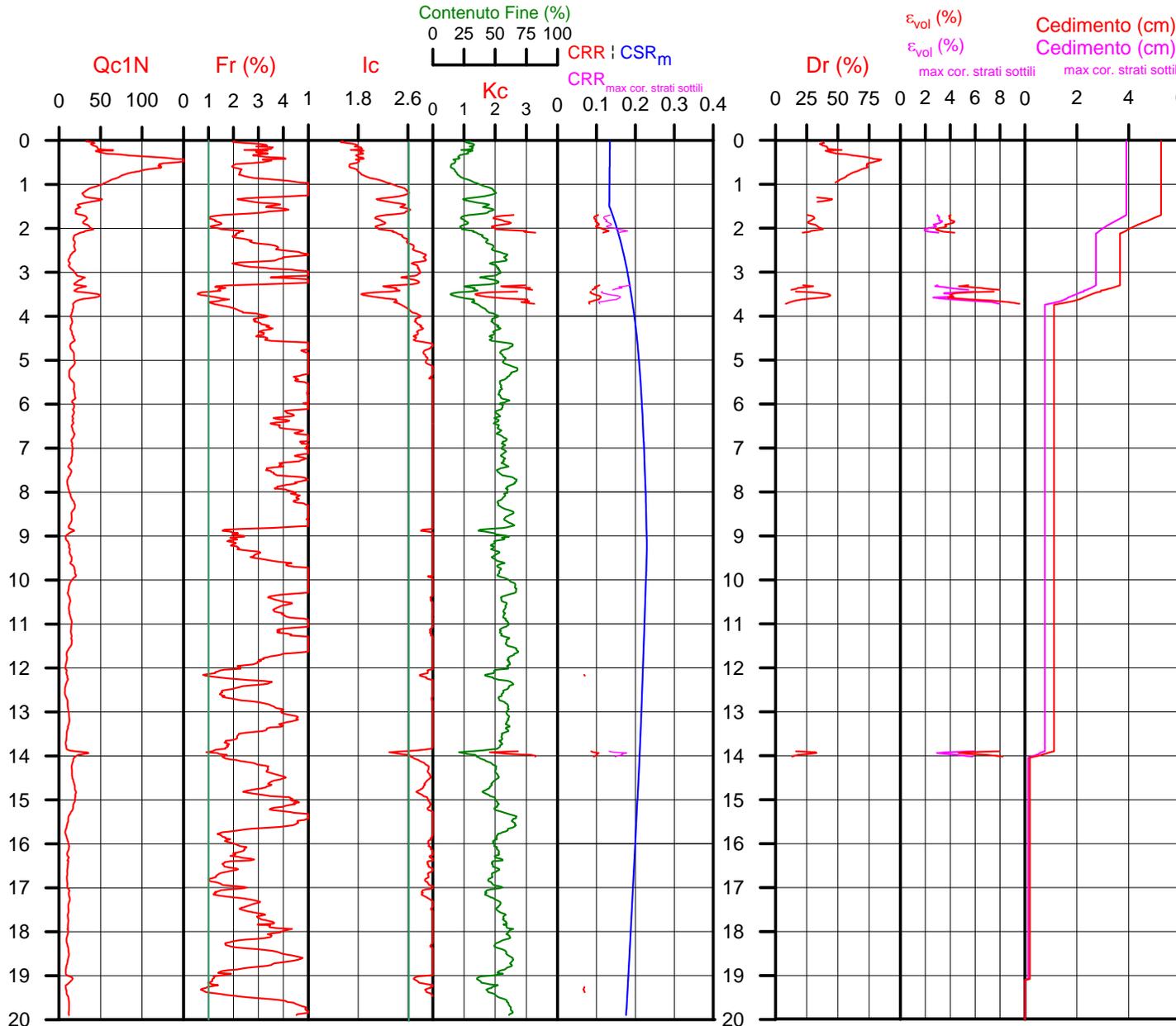
**CPT 5**  
Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390	Suolo di riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.902	amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudo 6.140		magnitudo 6.140



**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
<b>Cedimento totale</b>	<b>5</b>	<b>14</b>
<b>Cedimento totale considerando strati sottili</b>	<b>4</b>	<b>12</b>

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
3.2	1.4	IL <= 5	BASSO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
3.2	1.4	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
7	5	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29/10/2018

**CPT 1**

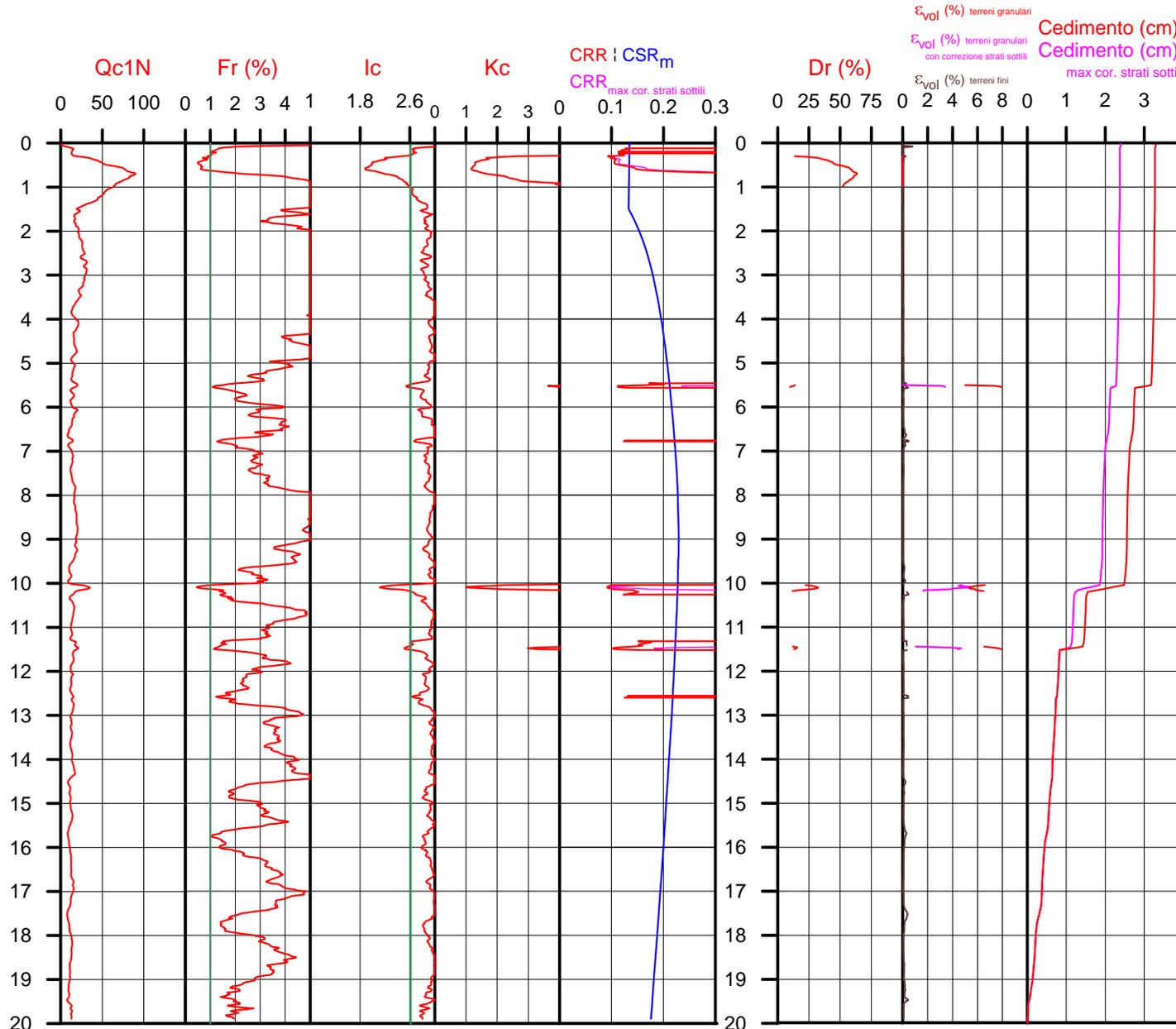
Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390	Suolo di Riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000	2.902	amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000	3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine 6.140	magnitudine 6.140	



**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento	2	2
Cedimento considerando strati sottili	1	1

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	1	3
Cedimento considerando strati sottili	1	2

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>liq</sub> e la profondità.

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
1.4	0.3	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29/10/2018

**CPT 2**

Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390	Suolo di Riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.902	amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine 6.140		magnitudine 6.140

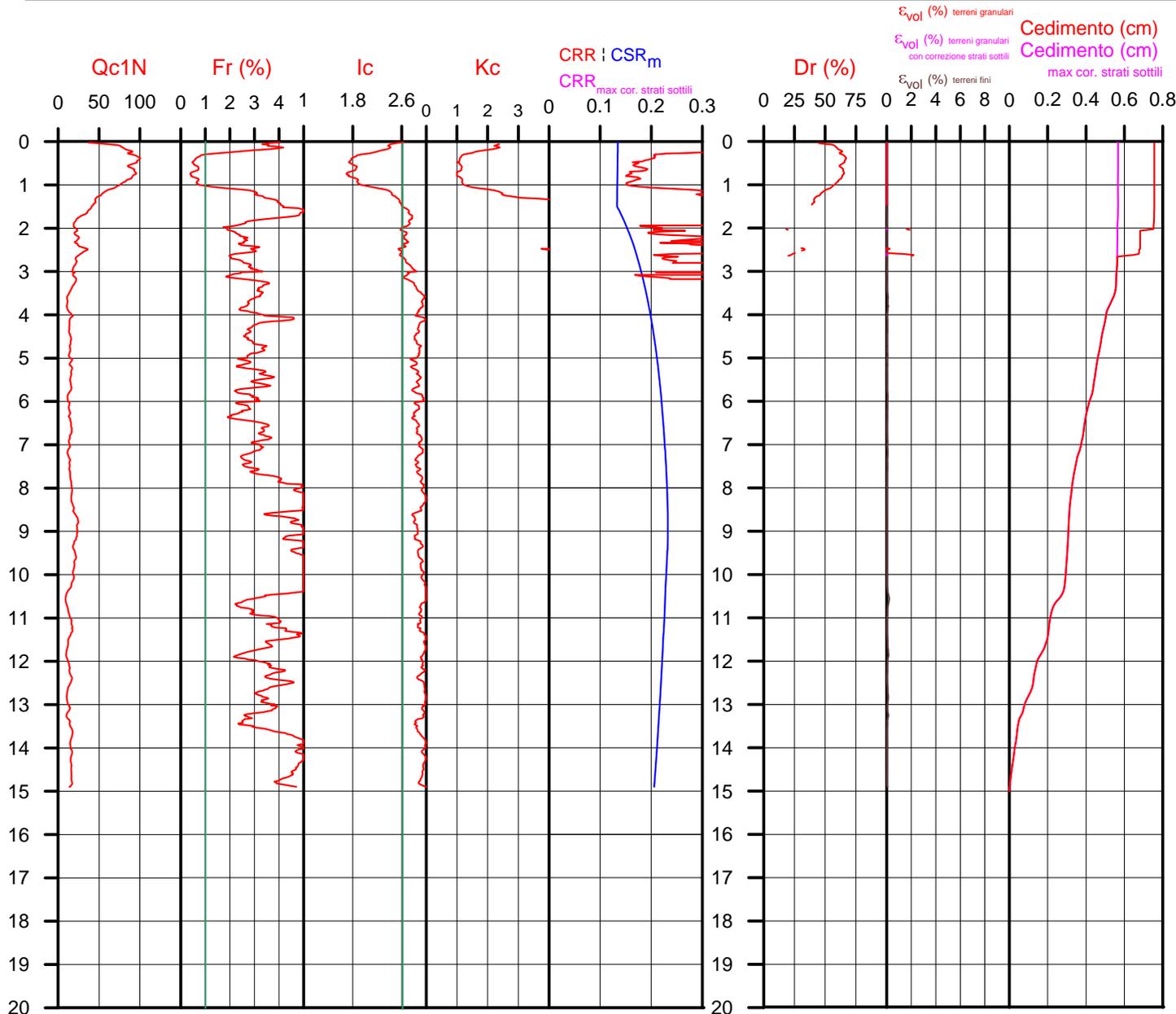


**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento	0	0
Cedimento considerando strati sottili	0	0

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	1	1
Cedimento considerando strati sottili	1	1

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>liq</sub> e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.0	0.0	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir XSP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

**CPT 3**

Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018

latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.902
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine 6.140

D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015

latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°	
Suolo di Riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
	magnitudine 6.140

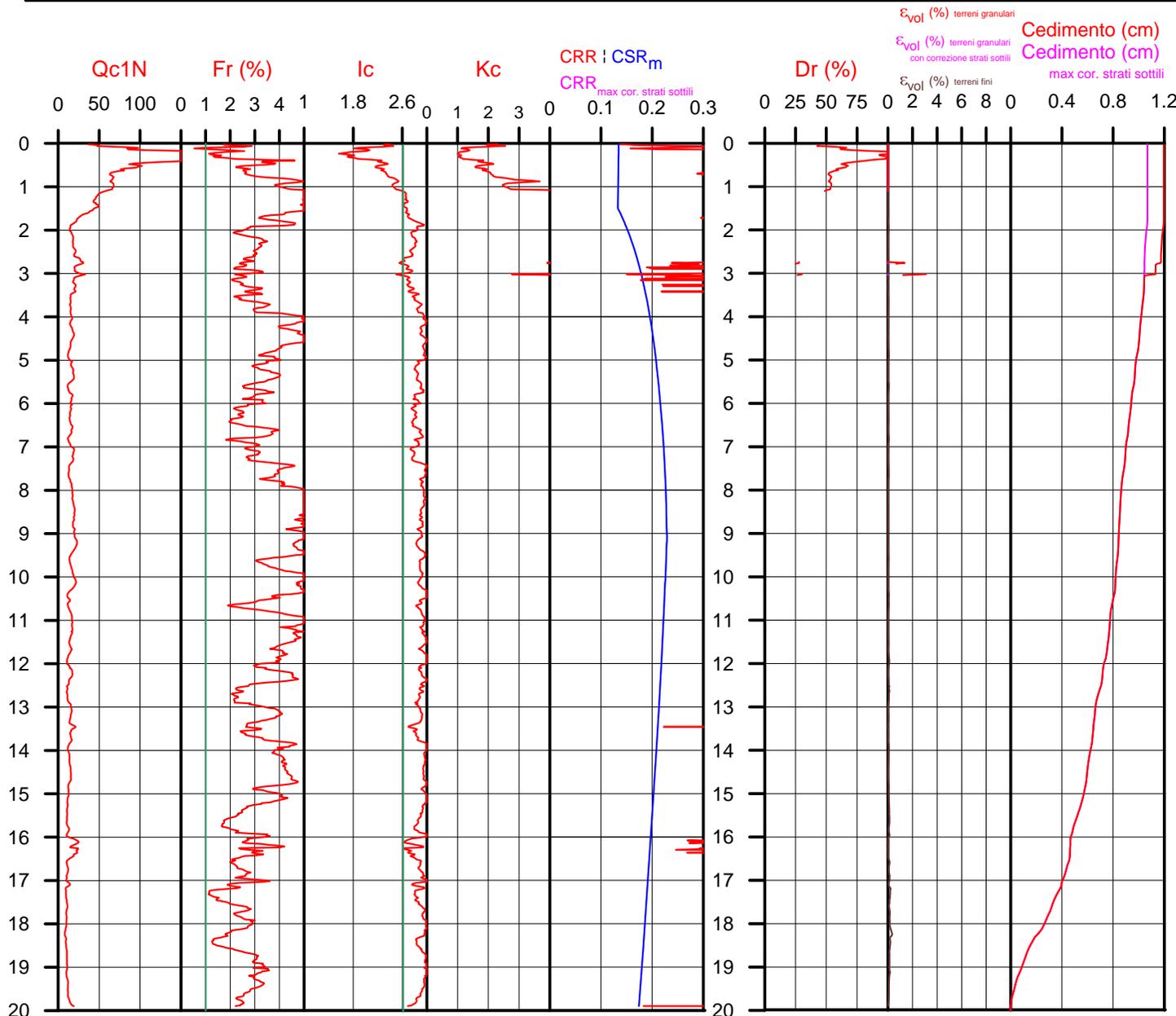


**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $Fsl_{liq} = CRR / CSR$  6.14

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento	0	0
Cedimento considerando strati sottili	0	0

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	1	1
Cedimento considerando strati sottili	1	1

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>liq</sub> e la profondità.

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.0	0.0	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir XSP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

**CPT 4**

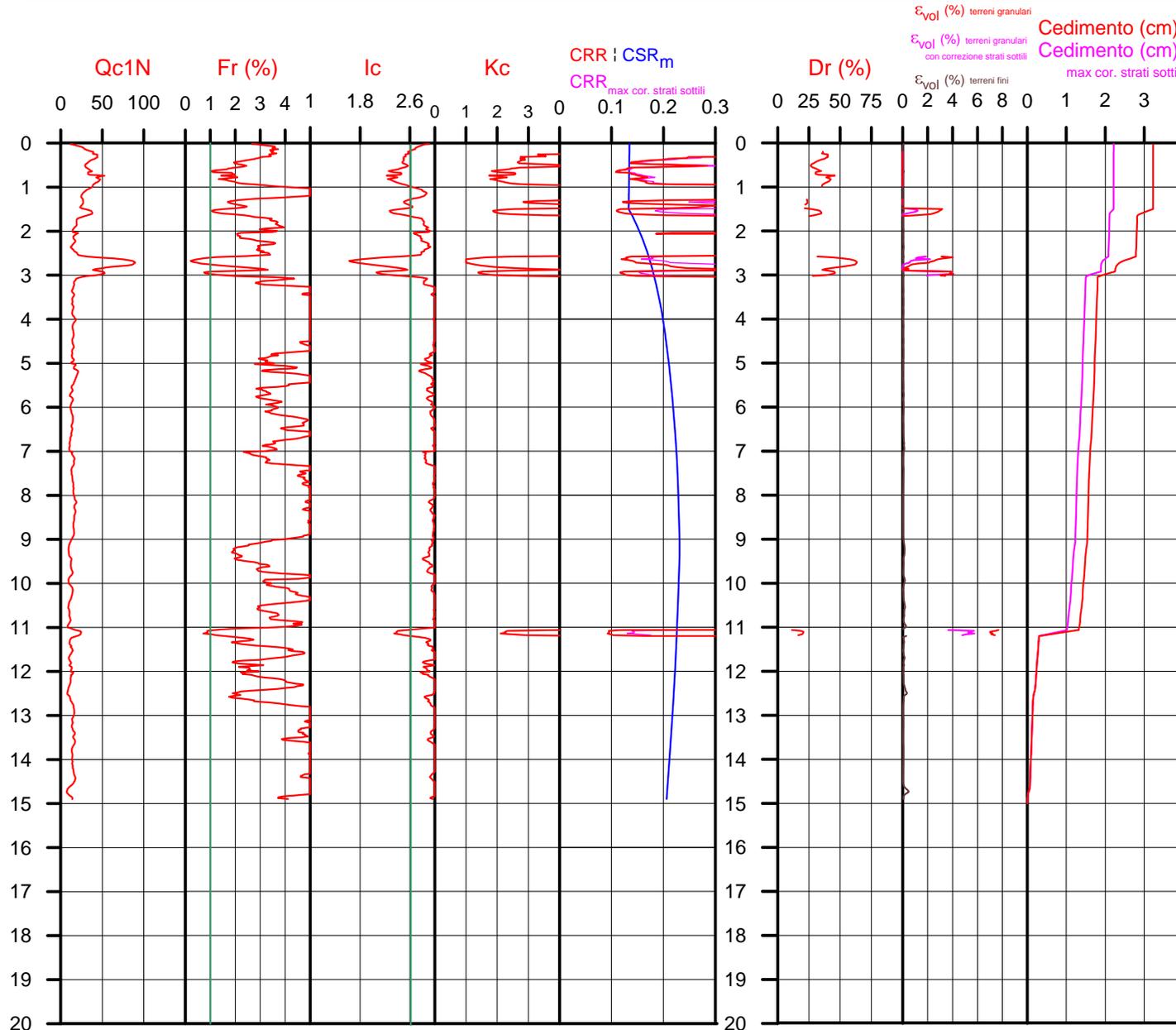
Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390	Suolo di Riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000	2.902	amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine 6.140		magnitudine 6.140



**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $Fsl_{liq} = CRR / 7.5 / CSR$  6.14

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
<b>Cedimento</b>	2	17
<b>Cedimento considerando strati sottili</b>	1	8

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
<b>Cedimento</b>	1	3
<b>Cedimento considerando strati sottili</b>	1	2

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>liq</sub> e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
1.1	0.3	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune Bagnacavallo  
 Via A14dir X SP San Vitale  
 Localita' Borgo Stecchi  
 Committente Provincia di Ravenna  
 Data 29-ott-18

**CPT 5**

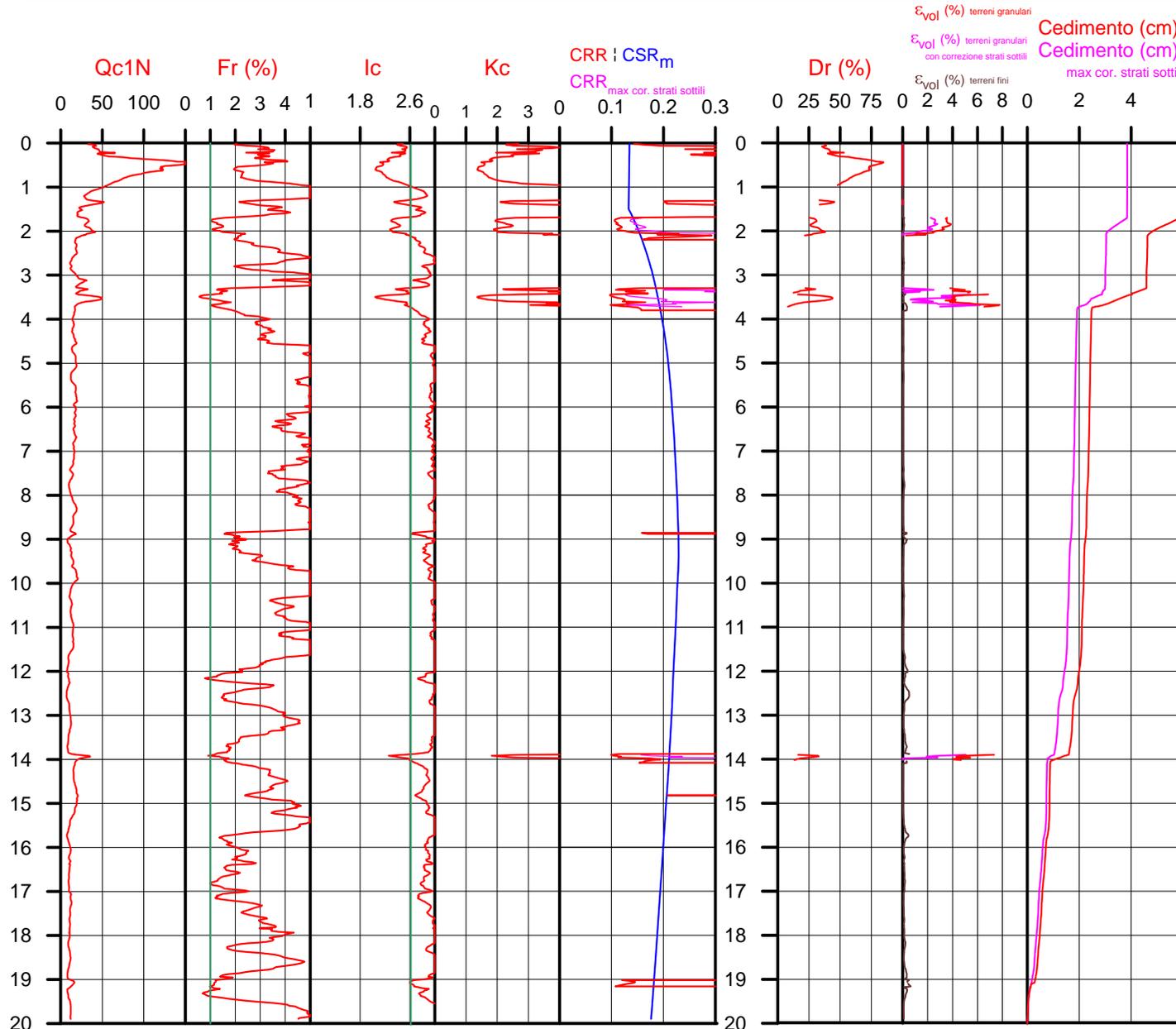
Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018		D.G.R. Emilia-Romagna 2193 / 2015	
latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087	latitudine 44.408494°	amax substrato (m/sec2) 2.087
longitudine 12.003761°		longitudine 12.003761°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.390	Suolo di Riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000	2.902	amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000	3.548
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine 6.140		magnitudine 6.140



**Società di Geologia Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $Fsl_{liq} = CRR / CSR$  6.14

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
<b>Cedimento</b>	4	13
<b>Cedimento considerando strati sottili</b>	2	7

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
<b>Cedimento</b>	2	6
<b>Cedimento considerando strati sottili</b>	2	4

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>liq</sub> e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

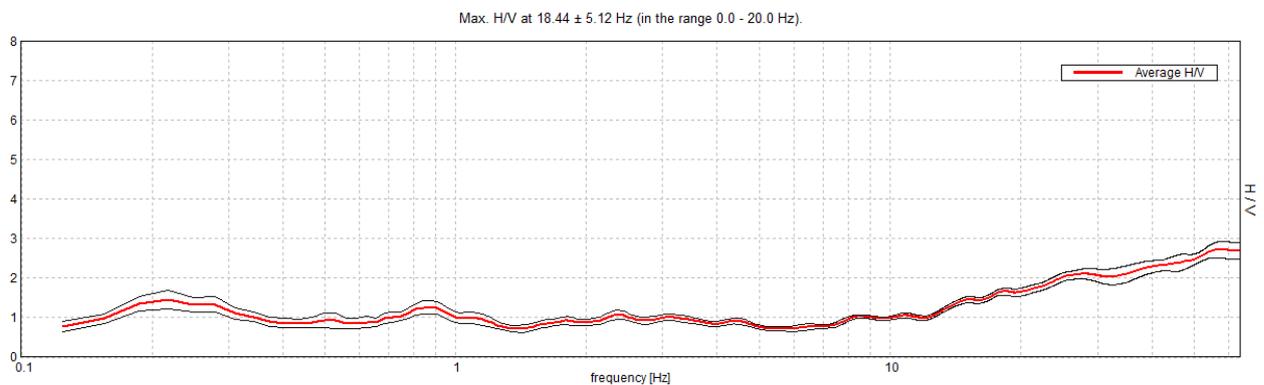
INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
	0.3	IL <= 2	BASSO
2.3		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

## BAGNACAVALLO BORGO STECCHI - SVINCOLO A14, PROV DI RA T1

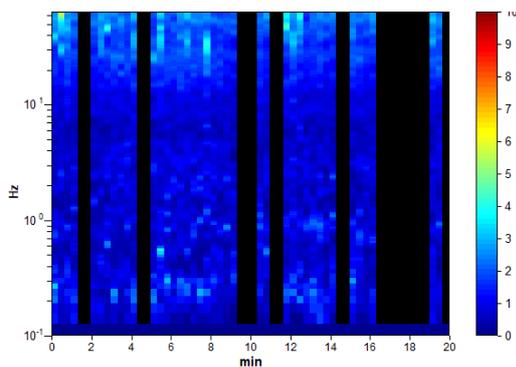
Instrument: TEN-0017/01-07  
 Data format: 16 byte  
 Full scale [mV]: n.a.  
 Start recording: 29/10/18 12:23:01 End recording: 29/10/18 12:43:02  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 67% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

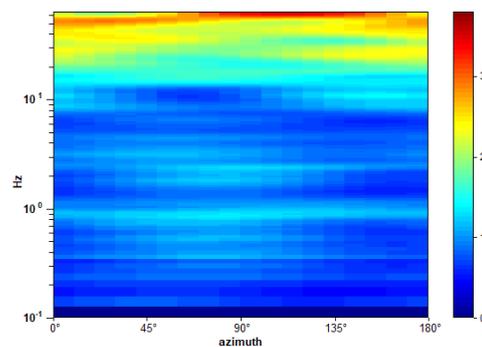
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



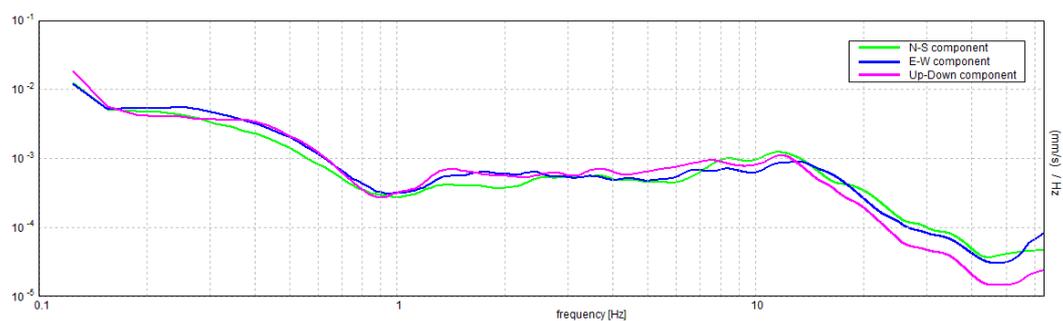
### H/V TIME HISTORY



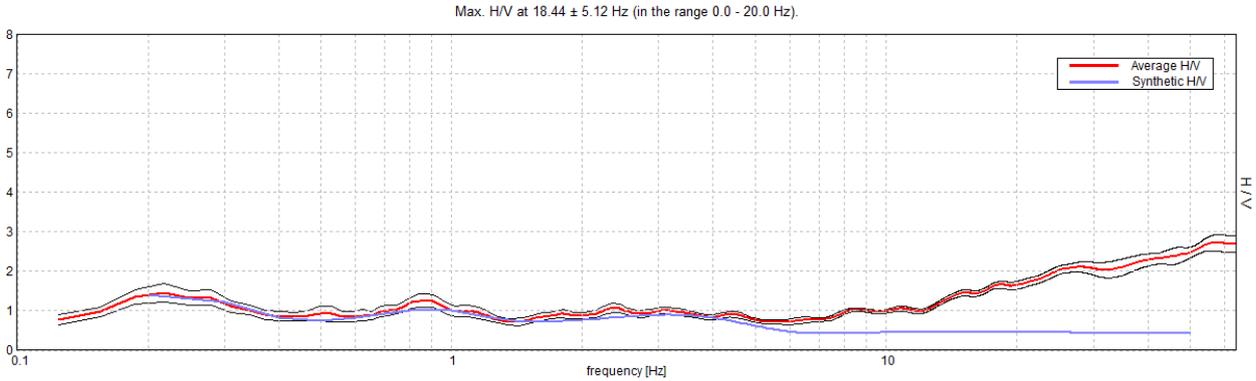
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

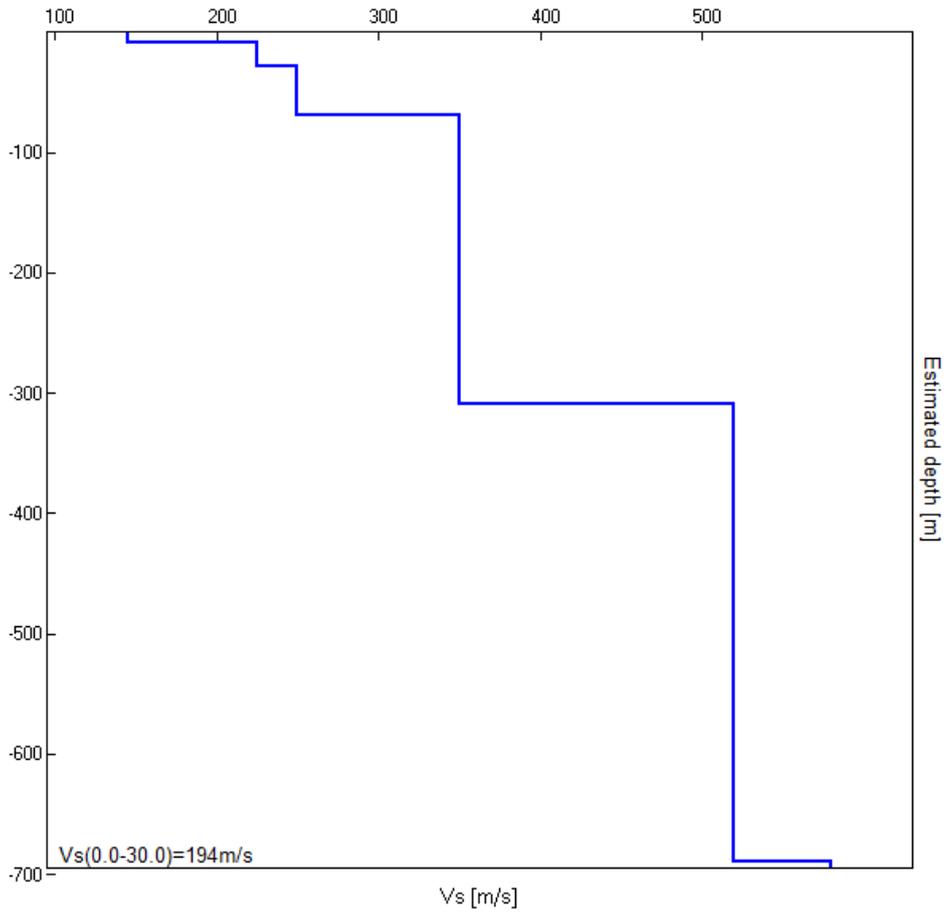


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
9.00	9.00	145	0.40
29.00	20.00	225	0.40
69.00	40.00	250	0.40
309.00	240.00	350	0.40
689.00	380.00	520	0.35
inf.	inf.	580	0.35

Vs(0.0-30.0)=194m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 18.44 ± 5.12 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	18.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	14750.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 886 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.531 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.66 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.27771  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	5.12032 < 0.92188		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0895 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

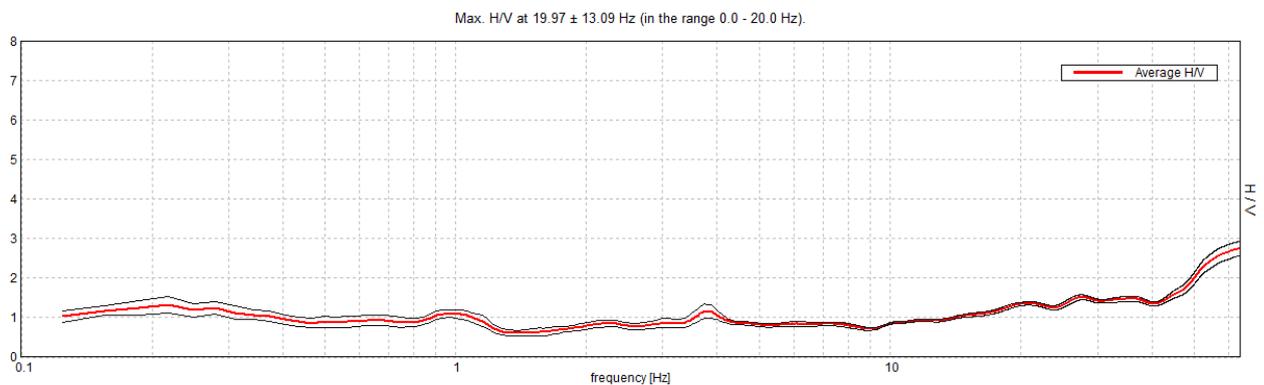
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## BAGNACAVALLO BORGO STECCHI - SVINCOLO A14, PROV DI RA T2

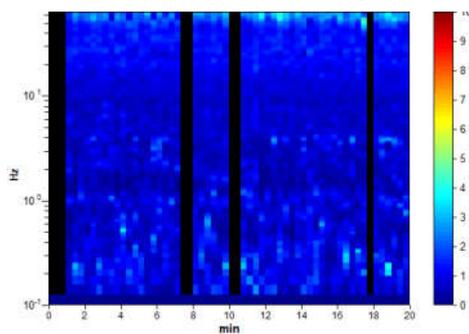
Instrument: TEN-0017/01-07  
 Data format: 16 byte  
 Full scale [mV]: n.a.  
 Start recording: 29/10/18 17:58:17 End recording: 29/10/18 18:18:18  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

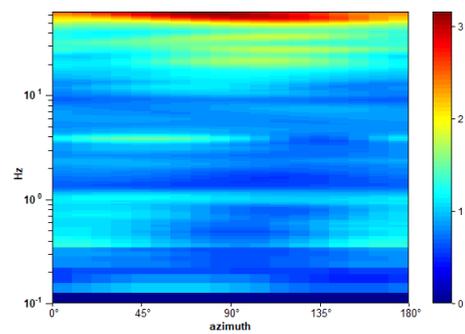
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



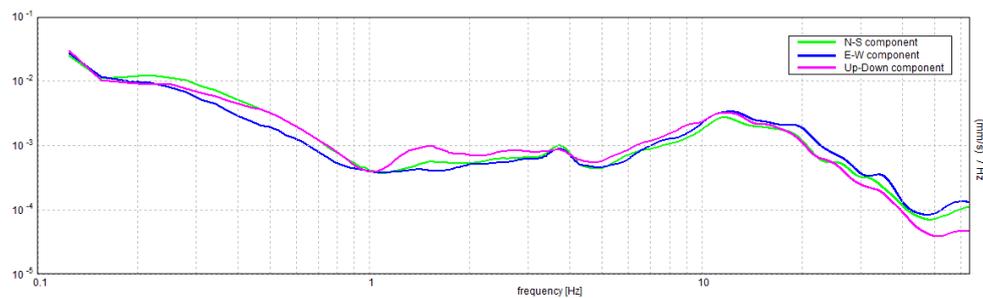
### H/V TIME HISTORY



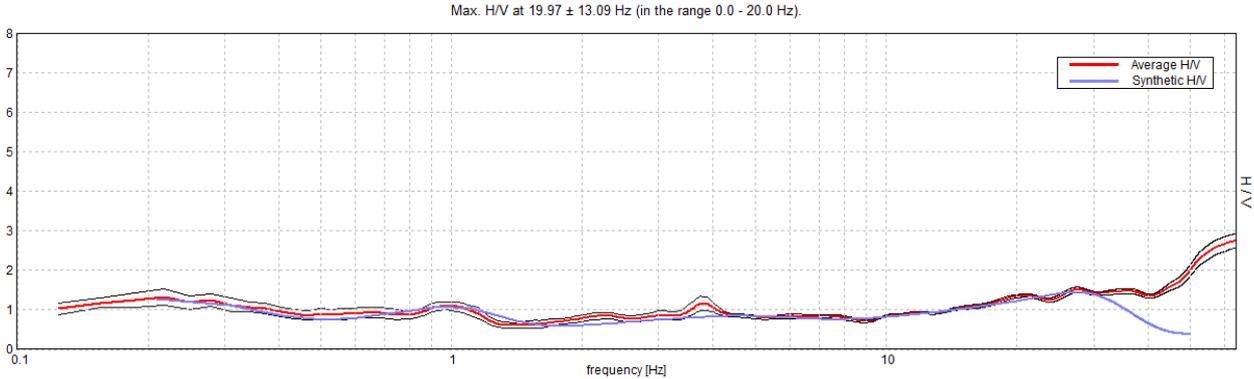
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

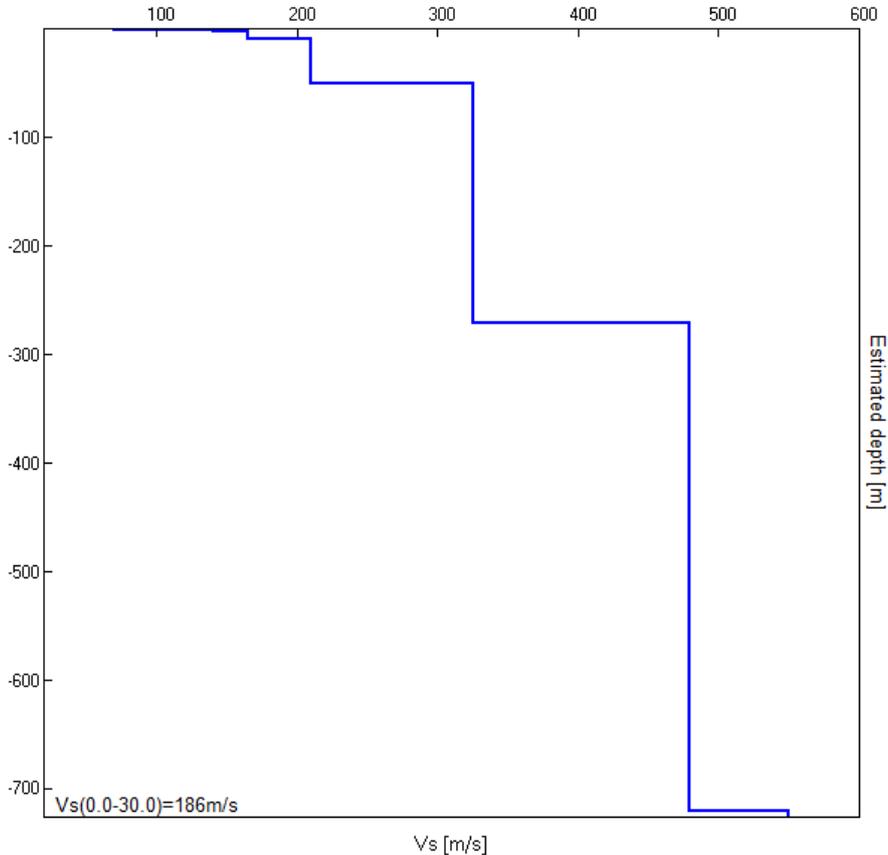


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	70	0.35
2.60	2.00	140	0.35
8.60	6.00	165	0.40
50.60	42.00	210	0.40
270.60	220.00	325	0.40
720.60	450.00	480	0.35
inf.	inf.	550	0.30

Vs(0.0-30.0)=186m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 19.97 ± 13.09 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	19.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	20767.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 960 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.34 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.65552  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	13.08994 < 0.99844		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.043 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

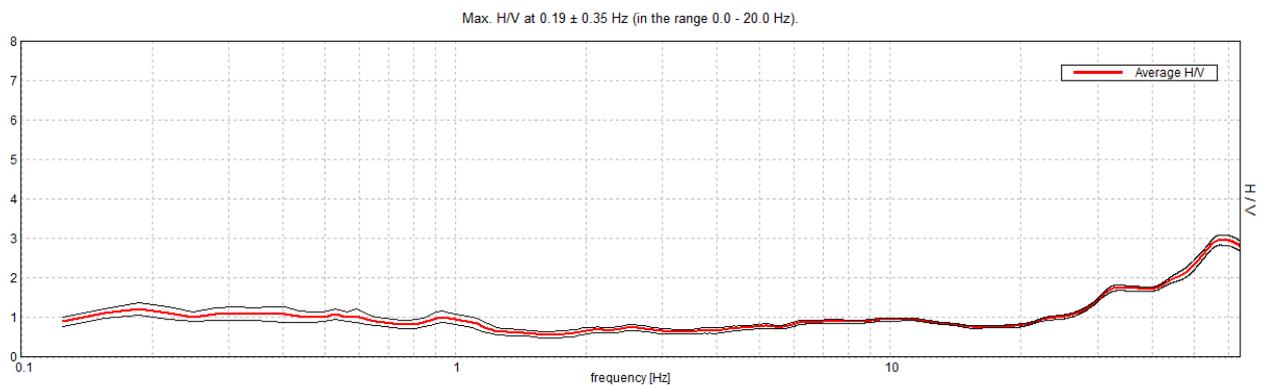
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## BAGNACAVALLO BORGO STECCHI - SVINCOLO A14, PROV DI RA T3

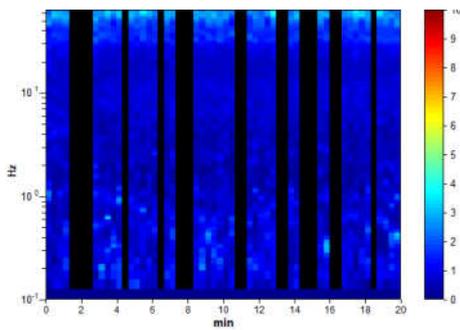
Instrument: TEN-0017/01-07  
 Data format: 16 byte  
 Full scale [mV]: n.a.  
 Start recording: 29/10/18 17:17:41 End recording: 29/10/18 17:37:42  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 68% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

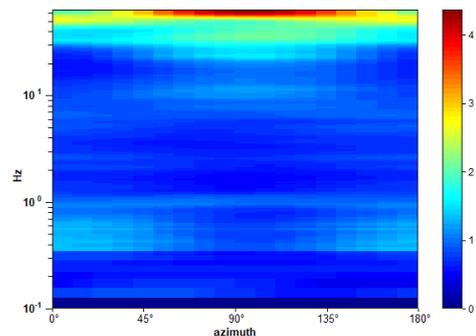
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



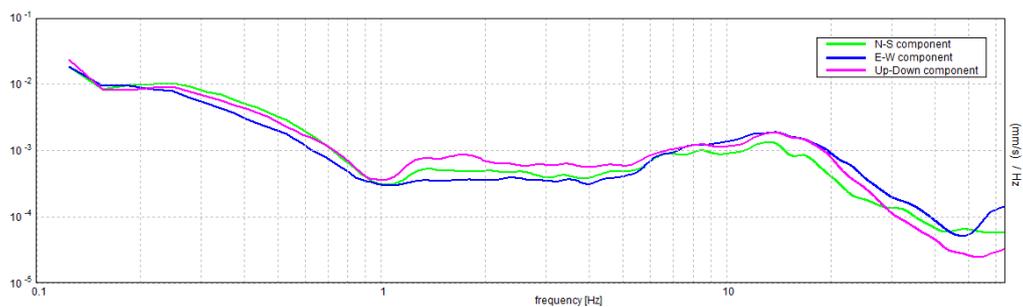
### H/V TIME HISTORY



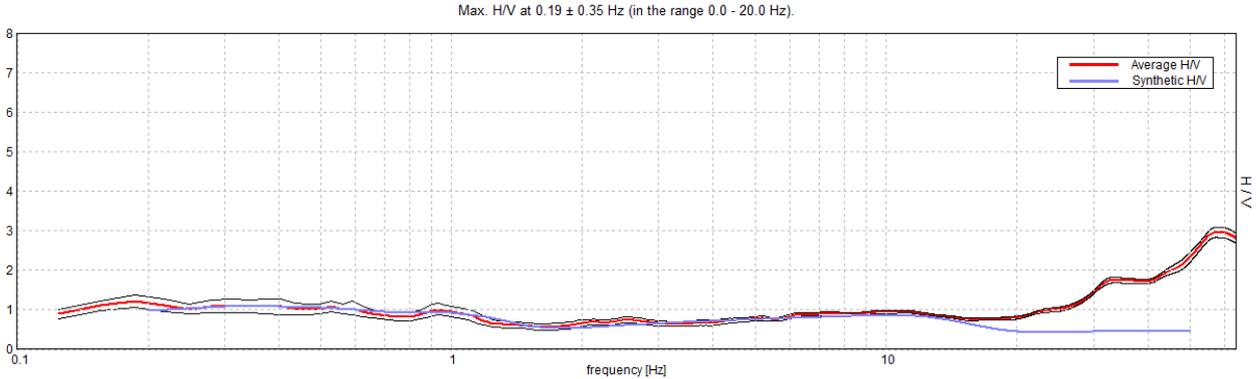
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

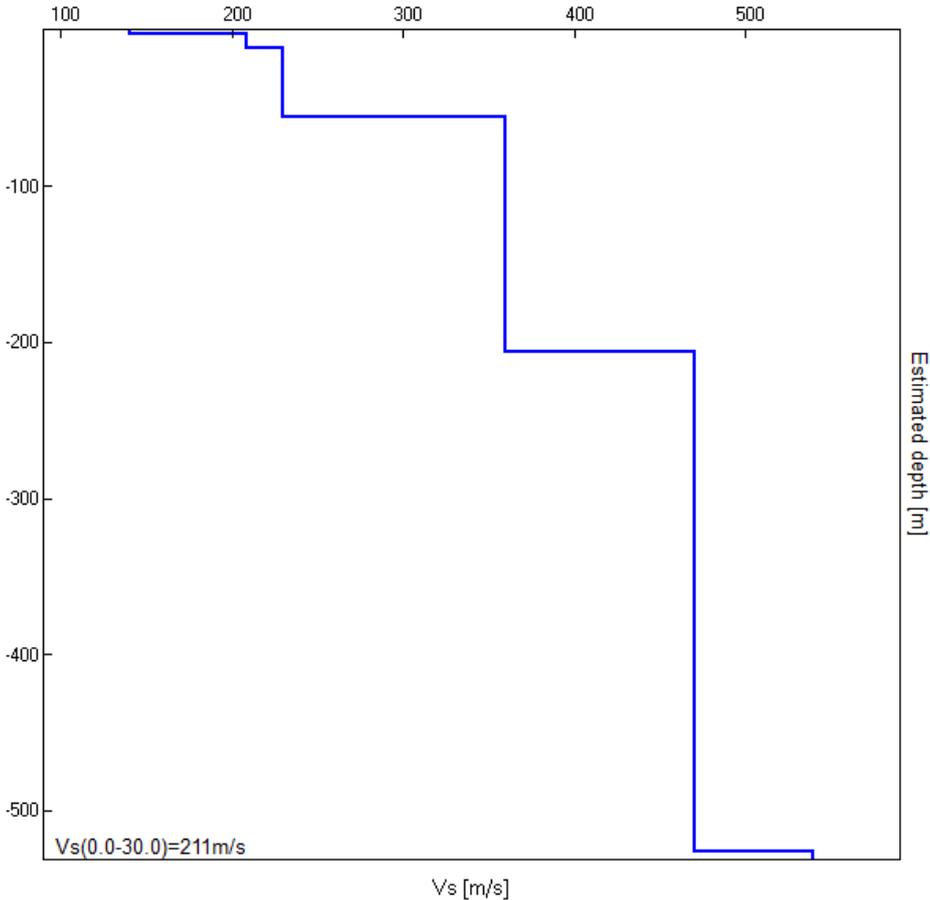


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.80	2.80	140	0.40
11.80	9.00	209	0.40
55.80	44.00	230	0.40
205.80	150.00	360	0.40
525.80	320.00	470	0.40
inf.	inf.	540	0.40

Vs(0.0-30.0)=211m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $0.19 \pm 0.35$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.19 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$153.8 > 200$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 10 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$1.22 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.88921  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.35423 < 0.04688$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1661 < 3.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

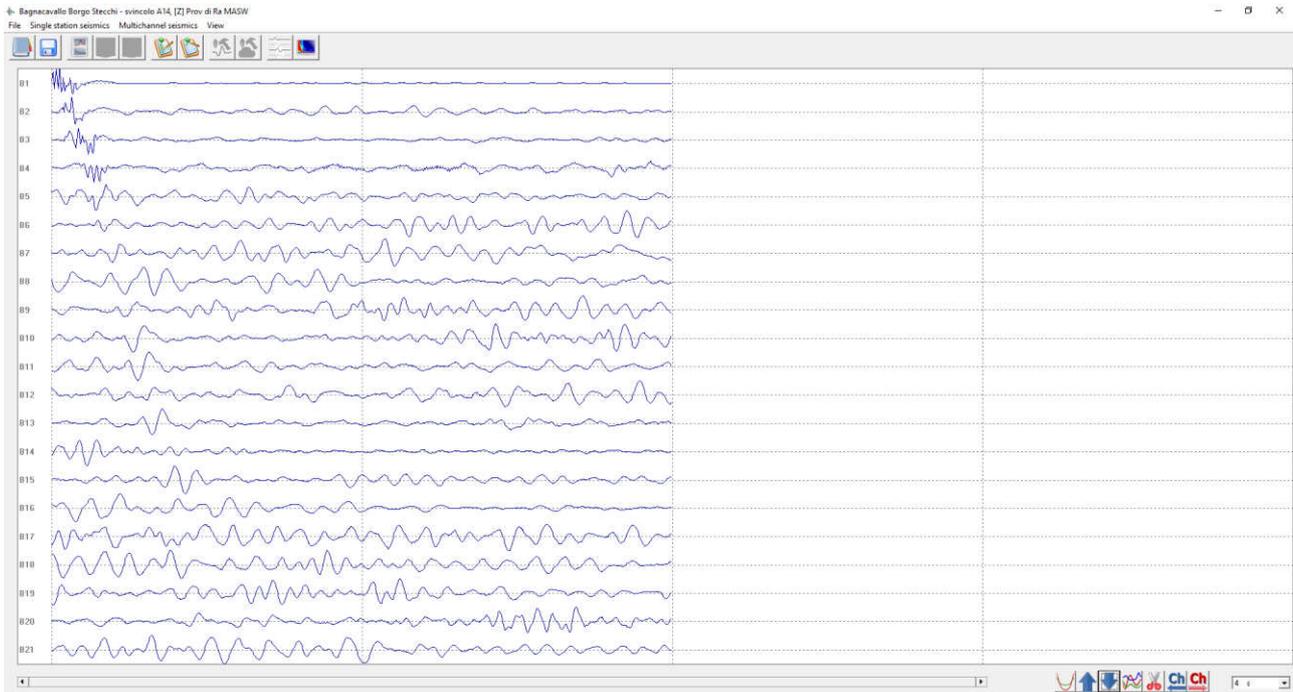
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## BAGNACAVALLO BORGO STECCHI - SVINCOLO A14, PROV DI RA T2

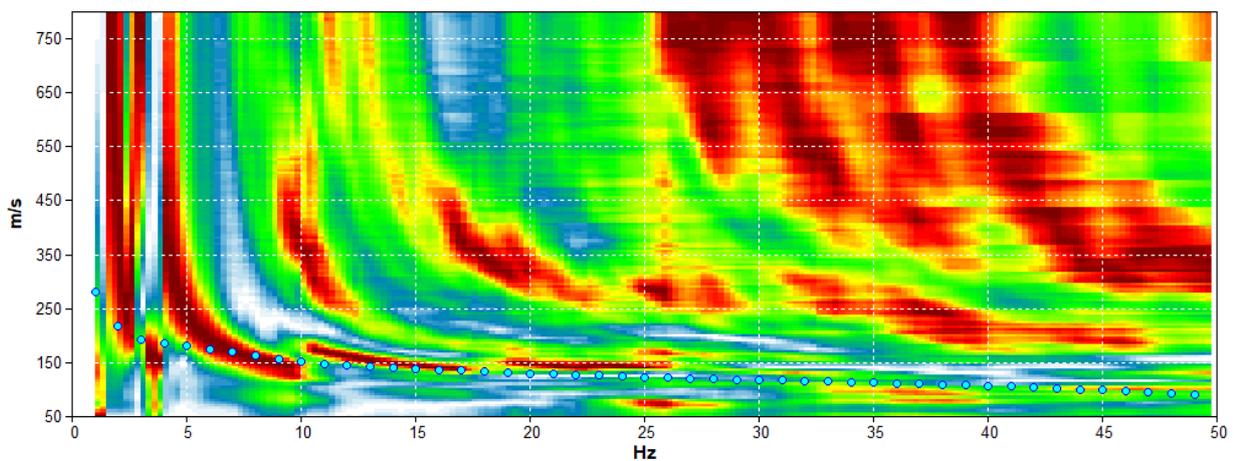
Start recording: 29/10/18 17:58:17      End recording: 29/10/18 18:18:18  
Trace length: 0h20'00".      Analyzed 87% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 36.0 39.0 42.0 45.0 48.0 51.0  
54.0 57.0 60.0 m.



MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	70	0.35
2.60	2.00	140	0.35
8.60	6.00	165	0.40
50.60	42.00	210	0.40
270.60	220.00	325	0.40
720.60	450.00	480	0.35
inf.	inf.	550	0.30

Vs(0.0-30.0)=186m/s

