



# COMUNE DI FUSIGNANO

## PROVINCIA DI RAVENNA

LAVORI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA  
SCUOLA PRIMARIA "L. BATTAGLIA" SUCCURSALE  
CUP E39F18001520006 -  Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU PNRR M4C1-3.3

## PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO

# 1R GEO

## RELAZIONE GEOLOGICA

Il Progettista Architettonico e Direttore dei Lavori  
Arch. LORENZO DOMENICALI

Il Progettista Strutturale  
Ing. ALESSANDRO MONTI

Il Coordinatore del gruppo di progettazione  
e Direttore dei Lavori Strutturali  
Ing. MARZIO MONTI

Il Responsabile del Procedimento  
Dott. RODOLFO GAUDENZI

06			
05			
04			
03			
02			
01			
REVIS:	OGGETTO	DATA	REVISIONATO

DATA: 27/10/2022

COMM: 86/21

DISEG.:

SCALA:

FILE: 1R GEO.DOC

REVISIONE

0

■ STUDIO ASSOCIATO  
DI INGEGNERIA

Dott. Ing. MARZIO MONTI

Dott. Ing. ALESSANDRO MONTI

■ Arch. LORENZO DOMENICALI

■ Ing. CLAUDIA MAZZA

■ Ing. GIORGIA SIMONETTI

Sede: Via Ramenghi, 11  
48012 Bagnacavallo (RA)  
tel. 0545-60246 mail:  
info@montistudio.net

**REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA PALESTRA  
POLIFUNZIONALE NEL PLESSO  
SCOLASTICO E ANNESSA  
RIQUALIFICAZIONE SPAZI PUBBLICI,  
NELL'AMBITO DELLA STRATEGIA PER LA  
RIGENERAZIONE URBANA.  
CUP: E37D1800100006**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**DOCUMENTI GENERALI**  
**Relazione Geologica**

**Progettazione architettonica D.L. generale e  
Coordinatore del gruppo:**

TASCA studio architetti associati  
Cristina Tartari architetto CF TRTCST72P51A944J  
Federico Scagliarini architetto CF SCGFRC71C25A944M

**Progettazione impiantistica e D.L. Professionista  
antincendio:**

Fabbri Fabio ingegnere CF FBBFBA69H09D458N

**Progettazione strutturale e D.L. dei lavori strutturali e  
Coordinatore della Sicurezza in fase di progettazione  
ed esecuzione:**

Portolani Marco ingegnere CF PRTMRC75L07D458F

**Geologo:**

Albertus Cecilius Aloysius Van Zutphen Geologo  
CF VNZLRT56A03Z126X

**Progettazione spazi aperti:**

Vincenzi Elena architetto CF VNCLNE65R63A944I

**Commitente:**

**Comune di Fusignano**  
Piazza Emaldi, 115  
48034 Fusignano (RA)  
CF 00343220398

**Responsabile Unico  
del Procedimento**  
dott. Rodolfo Gaudenzi

Archivio

**195**

DIS. n°

**ES-RG-a3**

Aggiornamenti

Data

15 SETTEMBRE 2020

Disegni scala

---

# COMUNE DI FUSIGNANO

(Provincia di Ravenna)

---

## RELAZIONE

- **CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO**
- **AZIONE SISMICA**

---

**PROGETTO RELATIVO ALL'INTERVENTO DI REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA PALESTRA POLIFUNZIONALE NEL PLESSO SCOLASTICO E ANNESSA RIQUALIFICAZIONE SPAZI PUBBLICI, NELL'AMBITO DELLA STRATEGIA PER LA RIGENERAZIONE URBANA**  
**CUP: E37D18001000006 - CIG: 8126589165**

---



**COMUNE DI FUSIGNANO**  
(Ravenna)

Aprile , 2020



**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)



## **INDICE DELLE RELAZIONI di cui al DM 17.01.2018**

Capitoli di cui alle suddette relazioni

**2. Caratterizzazione e modellazione geologica del sito** (di cui al § 6.2.1 del DM 17.01.2018)

**3. Azione sismica** (di cui al § 3.2 del DM 17.01.2018)

---

### *Indice*

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....</b>	<b>6</b>
2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA .....	6
2.2. STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE .....	8
2.3. RISCHIO ALLAGAMENTI – PIANO STRALCIO PER IL BACINO DEL T. SENIO E PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI ..	9
2.4. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	13
2.4.1 Prove penetrometriche.....	13
2.4.2 Indagini geofisiche HVSR e SCPT.....	15
<b>3. MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO DI COSTRUZIONE .....</b>	<b>19</b>
3.1. EFFETTI DI UN SISMA DI PROGETTO SUI TERRENI INTERESSATI DALL’OPERA .....	26
3.2. VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE .....	27
<b>4. CONCLUSIONI.....</b>	<b>30</b>
5.1 INDICAZIONI DI CARATTERE GENERALE ESECUTIVO E PROGETTUALE .....	31
<b>APPENDICE.....</b>	<b>32</b>
<b>1 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....</b>	<b>32</b>
<b>ALLEGATI .....</b>	<b>39</b>



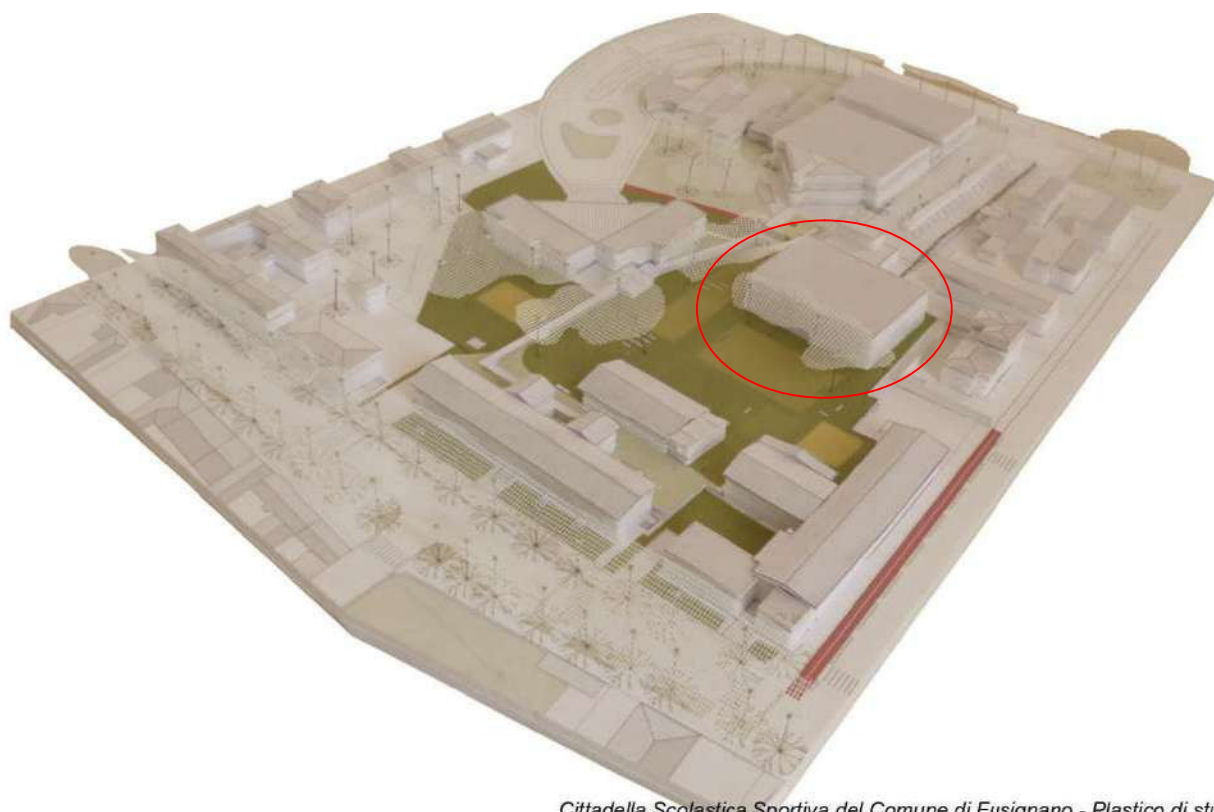
# 1. PREMESSA

Le indagini sono state eseguite in ottemperanza a quanto prescritto dalle seguenti leggi e norme:

- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio e sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. Giugno 1990;
- OPCM n°3274/2003 e successive modifiche - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- OPCM n. 3519/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" e successivi aggiornamenti.
- D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

Il lavoro in progetto prevede la realizzazione di una nuova palestra, con annesso spogliatoio, come schematicamente riportato nelle sottostanti immagini.

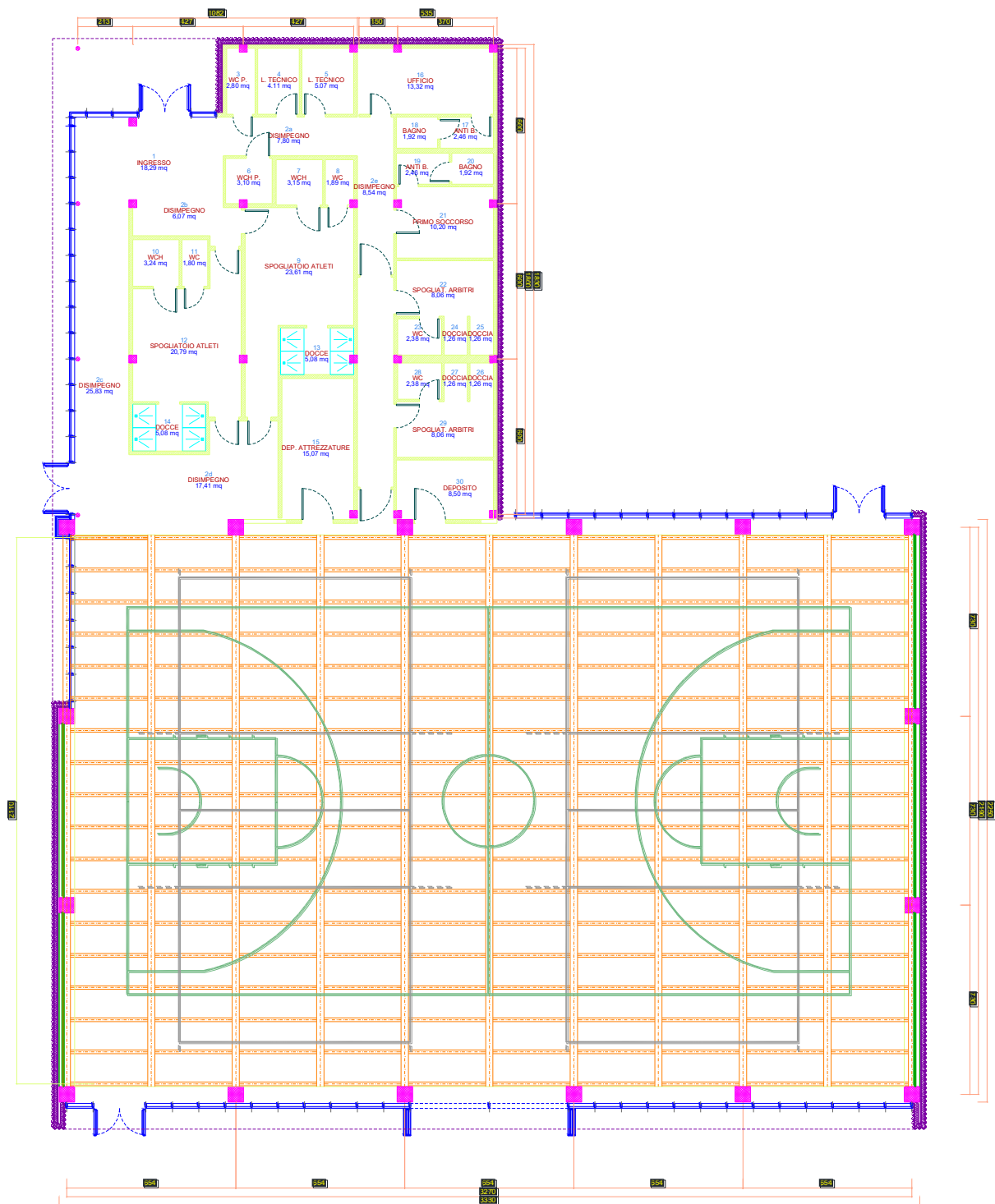




*Cittadella Scolastica Sportiva del Comune di Fusignano - Plastico di studio*



*Vista ingresso principale Palestra*





## 2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

### 2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

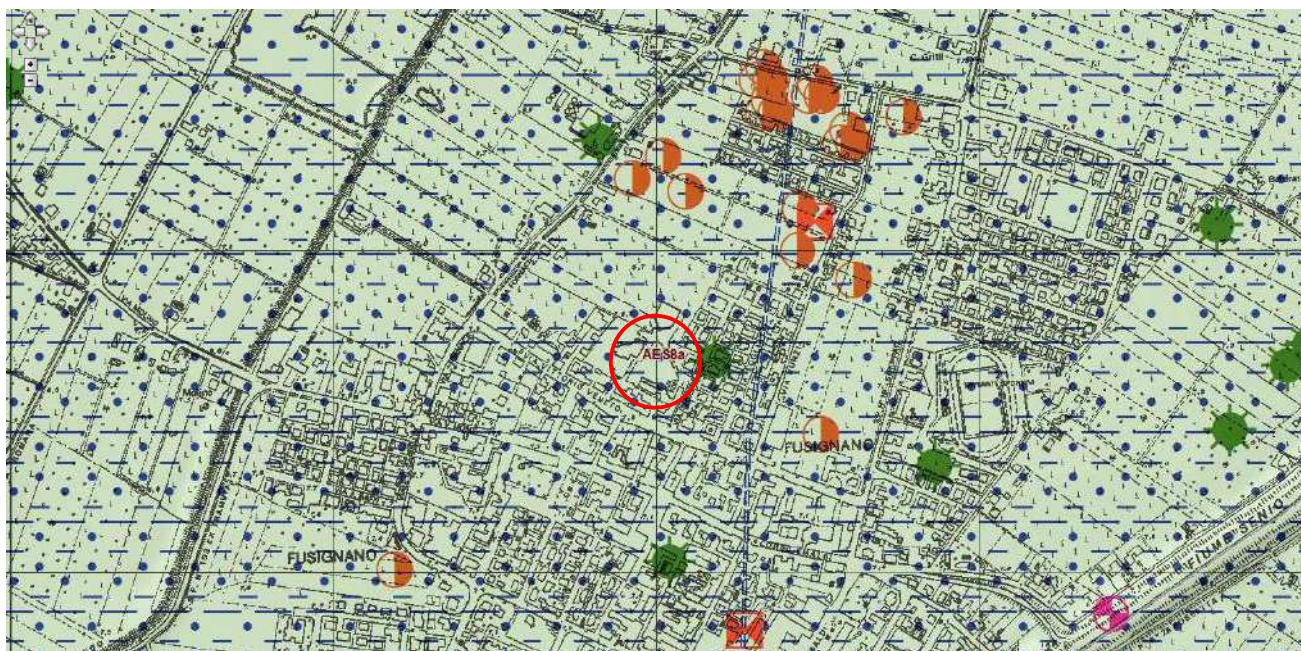
L'area di progetto si trova nella zona urbana di Fusignano, all'interno del plesso scolastico. Si presenta morfologicamente pianeggiante, si trova a circa 6.6 m slm, come risulta dalla CTR, e non si riscontrano particolari degni di nota.

Si osserva comunque che pochi a metri a Ovest del nuovo fabbricato scorreva un vecchio scolo, ora chiuso e riempito con macerie.

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

Gli elementi idrografici principali sono costituiti rispettivamente dal Torrente Senio, che scorre, arginato e pensile, alla distanza di circa 720 m a SE del sito in esame.

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.



Linee geomorf./antrop. (10K)

— traccia di alveo fluviale abbandonato

Coperture quaternarie (10K)

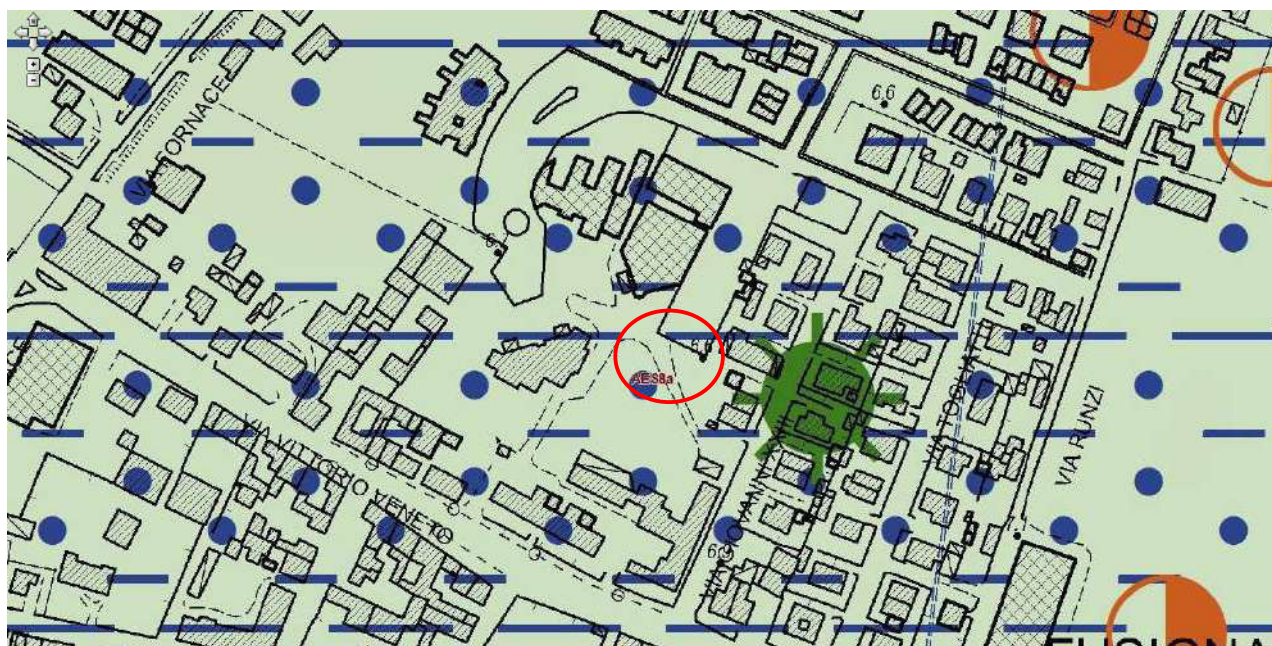
AES8a - Unità di Modena



Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Argilla Limosa - Piana alluvionale

Sabbia Limoso Argillosa - Piana alluvionale





	AES8 - Subsistema di Ravenna
	AES8a - Unità di Modena

### 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*

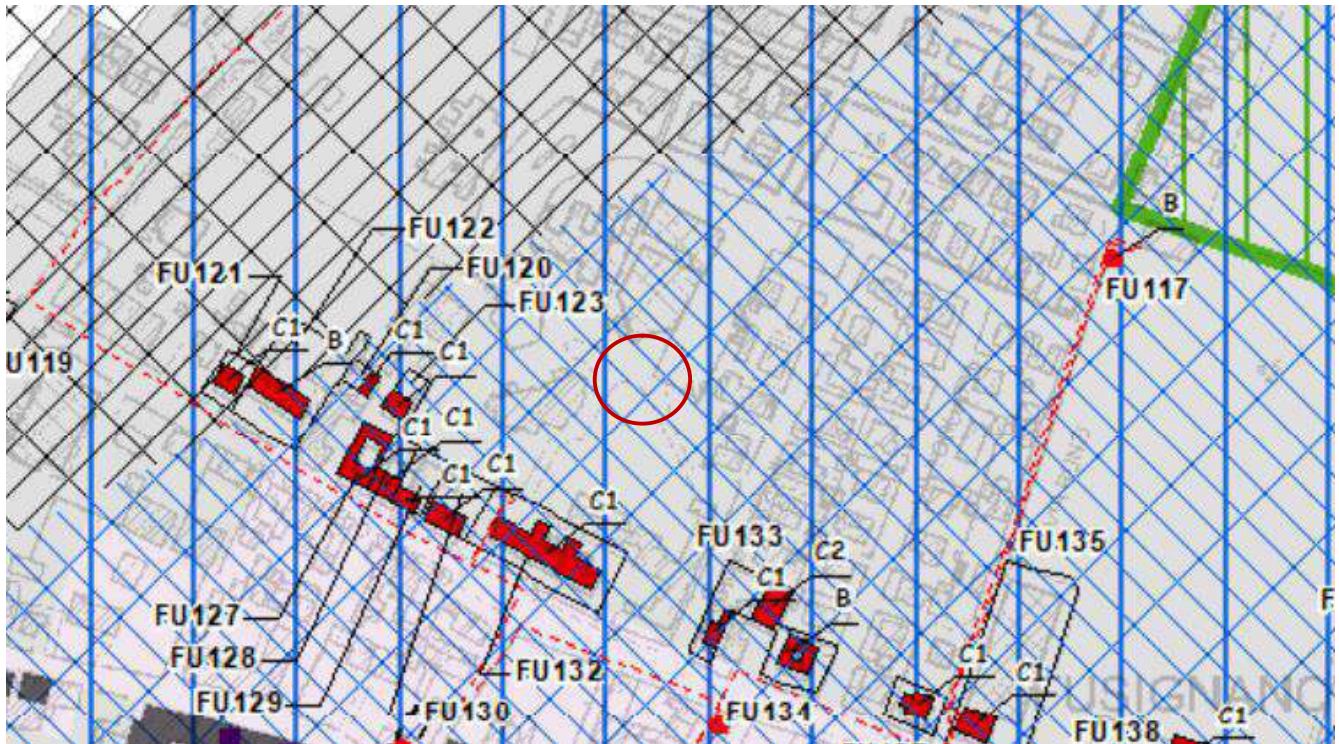


## 2.2. Strumenti di pianificazione

La Tavola e Scheda dei vincoli (CUT), i cui elaborati sono stati APPROVATI con delibera di Consiglio Comunale n.12 del 19/03/2019 e sono entrati in vigore con la pubblicazione sul BURERT n.120 del 17/04/2019, il sito in esame ricade in una zona soggetta ad alluvioni poco frequenti (P2) (scheda dei vincoli VS07).

Inoltre, ricade in zona soggetta a particolare amplificazione del rischio sismico, aree che non necessitano di approfondimento (scheda dei vincoli VS12)

Infine, si osserva che il sito si trova in un'area classificata con indice del potenziale liquefazione  $2 > IL \leq 5$  (medio).



Mapa 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)

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

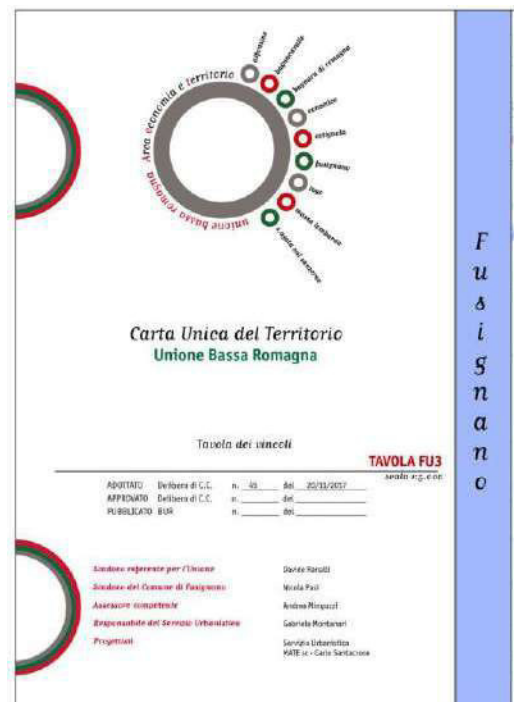
Aree soggette a particolare amplificazione del rischio sismico: aree per le quali è richiesta la verifica del loro possibile inserimento nelle zone che chiedono un'analisi approfondita (III livello) (Scheda dei vincoli VS12)

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

Indice di liquefazione

$2 > IL \leq 5$  medio

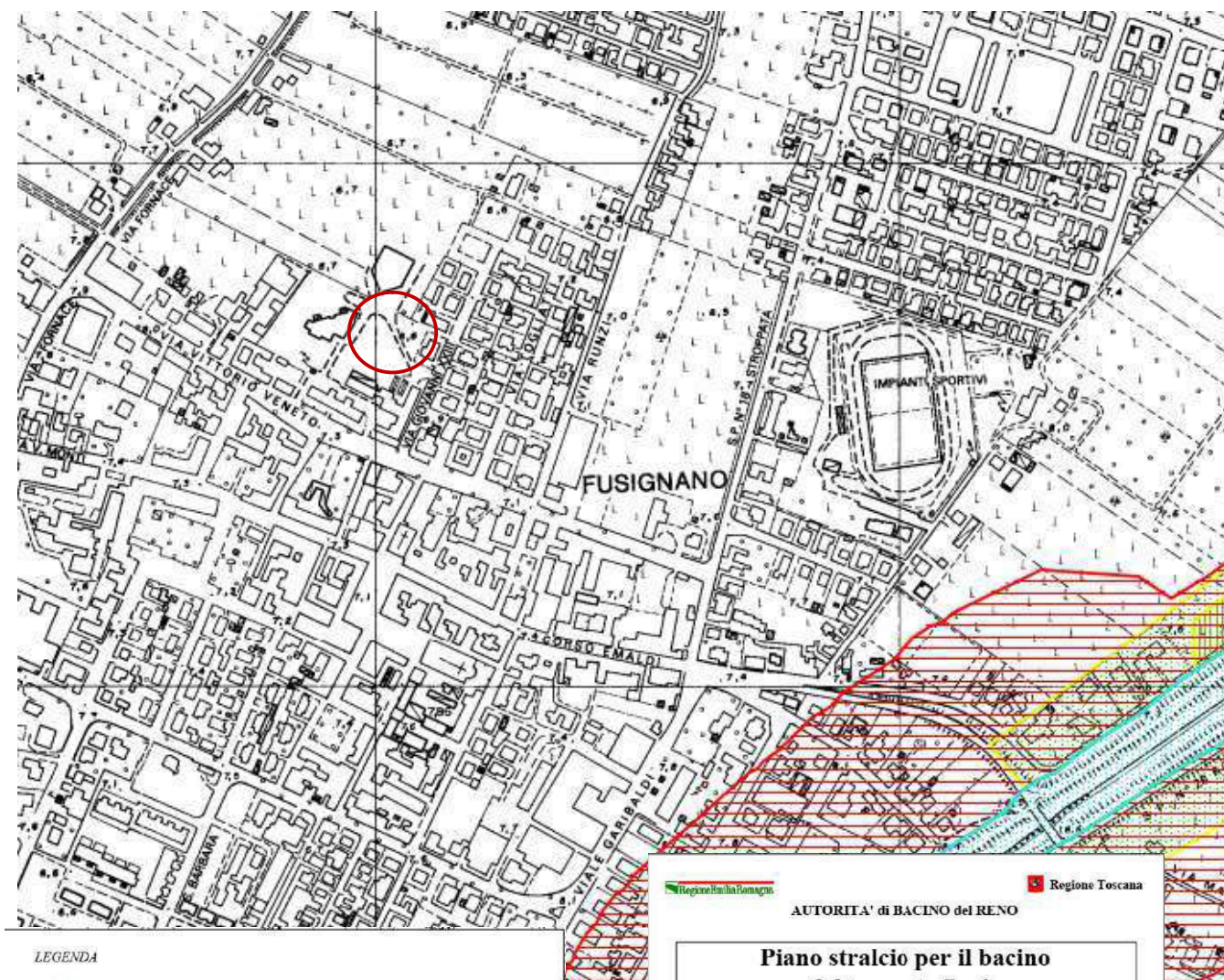
$5 > IL \leq 15$  alto (elevato)





## 2.3. Rischio allagamenti – Piano Stralcio per il Bacino del T. Senio e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

In base al Piano Stralcio per il Bacino del T. Senio, il sito in esame non ricade in zona soggetta a potenziali allagamenti.



### LEGENDA



**Reticolo idrografico corsi d'acqua principali, secondari e minori (art. 15 delle norme di piano)**  
(Il simbolo "RELp" indica il reticolo idrografico principale, quello "RELmr" il reticolo idrografico minore e quello "RELmi" il reticolo idrografico minore)



**Aree ad alta probabilità di inondazione (art.16 delle norme di piano)**



**Fasce di pertinenza fluviale (art.18 delle norme di piano)**

(Il simbolo "PF.M" indica le fasce di pertinenza fluviale generalmente localizzate in zone montane o pedecollinari, quello "PF.V" indica le fasce di pertinenza fluviale generalmente localizzate in zone di pianura. I simboli "PF.M.Li" e "PF.V.Li" indicano le fasce di pertinenza fluviale da considerare anche come aree di localizzazione interventi. Il simbolo "PF.V.Ri" indica le fasce di pertinenza fluviale di recupero territoriale.)



**Aree di localizzazione interventi (art. 17 delle norme di piano)**

La cartografia di base è derivata dalle carte tecniche regionali (C.T.R.) della Regione Emilia-Romagna in scala 1:5.000 (elementi 222121, 222122, 222123, 222124, 223093 e 223094)

Regione Emilia-Romagna

Regione Toscana

AUTORITA' di BACINO del RENO

### Piano stralcio per il bacino del torrente Senio Revisione Generale

II - RISCHIO IDRAULICO E ASSETTO RETE IDROGRAFICA

TAVOLA "RI.23"  
RETICOLO IDROGRAFICO  
AREE AD ALTA PROBABILITA' DI INONDAZIONE  
AREE PER REALIZZAZIONE INTERVENTI STRUTTURALI  
FASCE DI PERTINENZA FLUVIALE

Scala 1:5.000

Il Presidente  
dell'Autorità di Bacino del Reno  
Prof. Mariolugi Bruschi

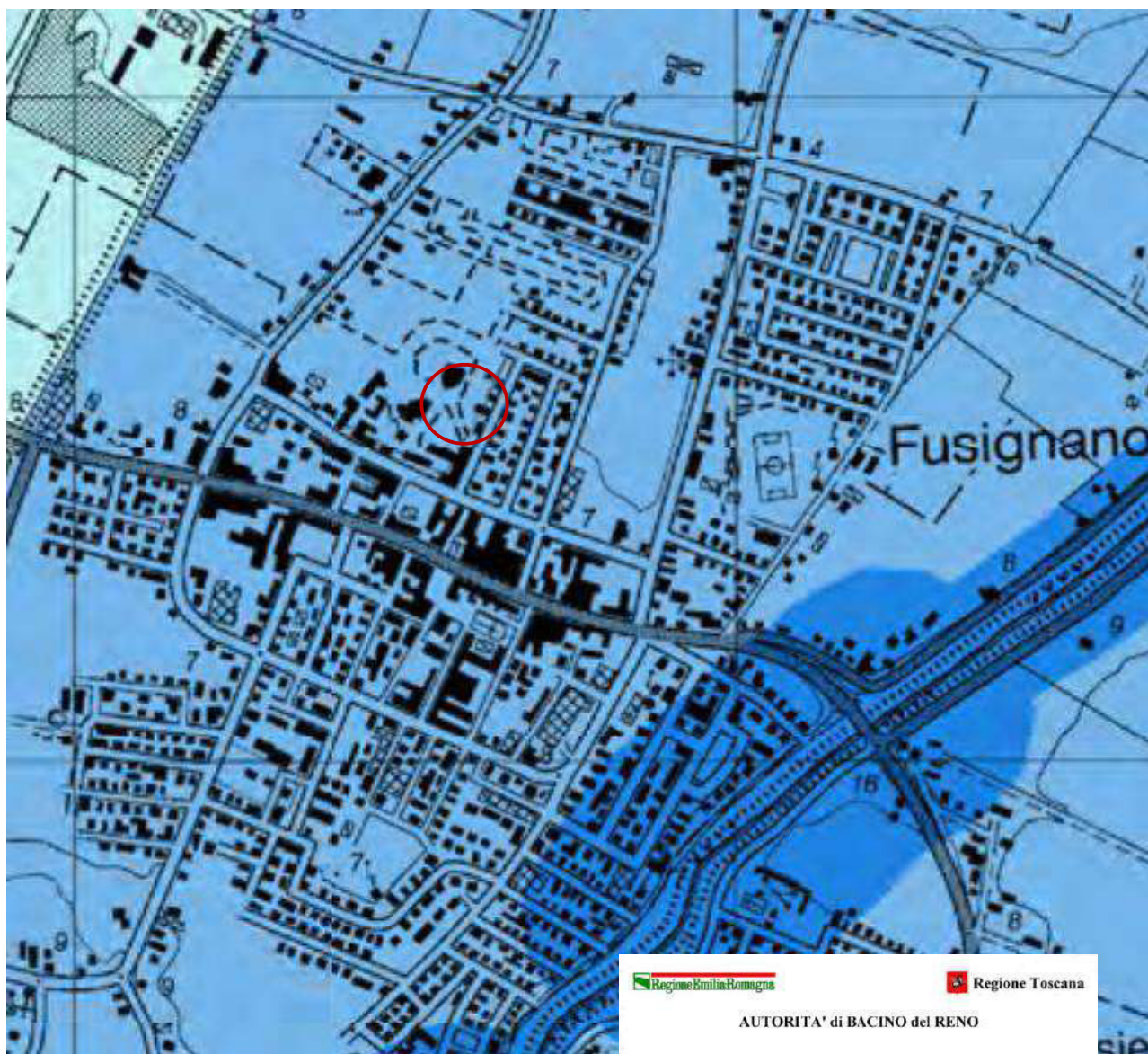
Il Progettista  
Ing. Gabriele Strampelli

Il Segretario Generale  
dell'Autorità di Bacino del Reno  
Dott. Ferruccio Melloni

Bologna, 17 dicembre 2009



In base alla “*Variente alle Norme del Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio - Revisione Generale*” il sito in esame ricade in zona soggetta ad alluvioni poco frequenti (P2).





**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 ad

Regione Emilia-Romagna

Regione Toscana

Autorità 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 art.1 c.1 L.3.08.98 n.267 e s.m.l. ( fiume Reno, torrente Idice-Savena vivo, torrente Sillaro, torrente Santarno)
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)

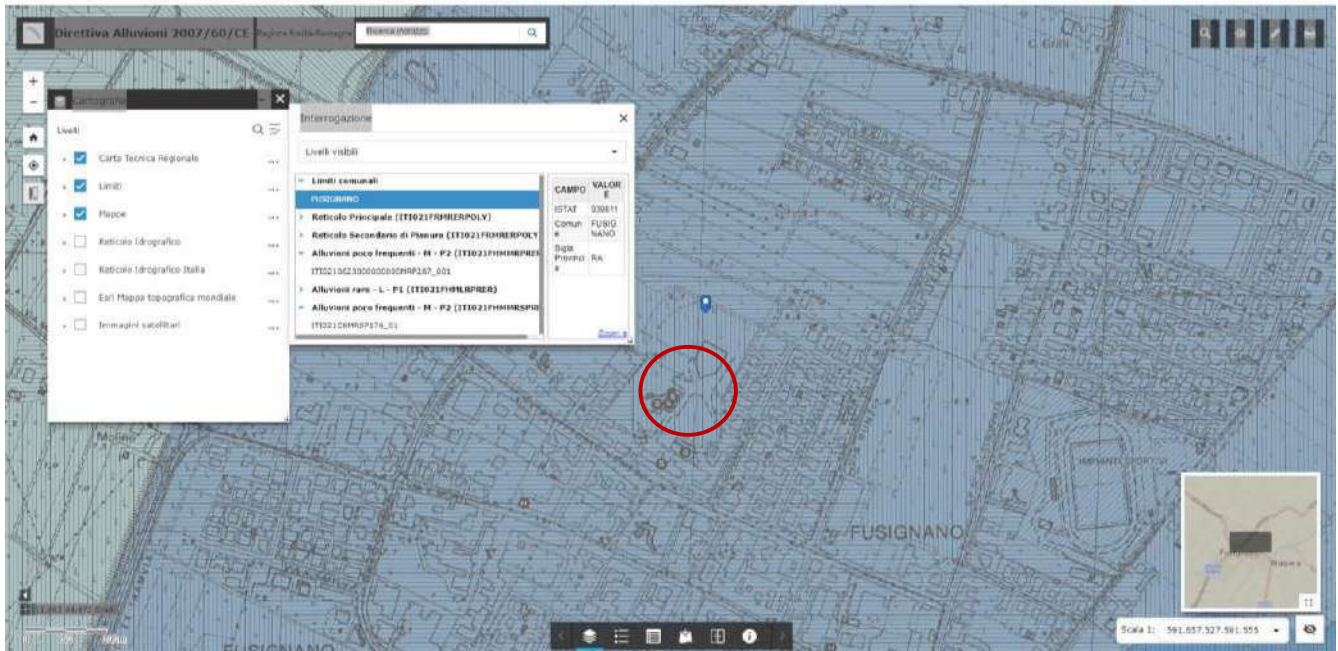
Il Presidente  
dell'Autorità di Bacino del Reno  
Paola Cazzolo

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

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

INGEGNERE  
GABRIELE STRAMPELLI  
Sezione A  
N° 3115/A

In base a quanto riportato nel Piano di Gestione Rischio Alluvione – Direttiva Alluvioni 2007/60/CE, il sito in esame è soggetto a potenziale allagamento sia dal reticolo secondario di bonifica sia dal T. Senio. Pertanto, per valutare il potenziale tirante idrico ci si dovrà attenere a quanto riportato nelle Norme della Variante di Coordinamento, art. 32 comma 3, il cui stralcio è riportato nella pagina precedente. Mentre per il potenziale allagamento dal reticolo principale (T. Senio), ci si dovrà attenere anche a quanto riportato all'art. 32, comma 1, delle già citate Norme.



## 2.4. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di verificare le caratteristiche geomeccaniche del terreno interessato al progetto ed in considerazione del rilievo effettuato, sono state realizzate n. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono sull'area di interesse.

Inoltre, per la valutazione della Vs30 e dell'amplificazione sismica è stato realizzato un Cono Sismico (SCPT) e una misura HVSR.

### 2.4.1 Prove penetrometriche

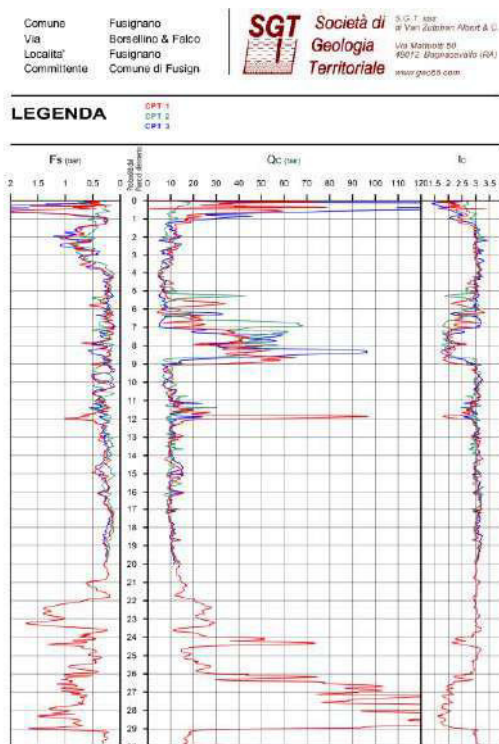
Per le prove penetrometriche si è utilizzato un penetrometro con spinta di 30 tonnellate, montato su sottocarro (peso complessivo 5500 kg), dotato di punta elettrica e piezocono, costruita secondo la tipologia "Gouda" che ha permesso l'acquisizione dei dati ogni 2 cm di avanzamento.

La punta presenta 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;
- Sensore per la misurazione della pressione interstiziale.

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

Dall'indice di comportamento  $I_c$ , che è funzione di  $Q_c$  e  $F_s/Q_c$ , 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 m a circa -1.1 m dal p.c.</i> terreni di riporto e di alterazione superficiale.
Unità B	<i>Da circa -1.1 m a -5÷6 m</i> Limi argillosi a consistenza da plastica a molle-plastica, tendenzialmente in diminuzione con la profondità. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 1÷1.1 MPa e 0.5÷0.6 MPa, tendenzialmente in diminuzione con la profondità.
Unità C	<i>Da circa -5÷6 m a -8.7÷9.0 m dal piano di campagna</i> Sabbie e sabbie limose, mediamente addensate, localmente sciolte. Nella parte alta intercalata con livelli limoso-argillosi. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 1.9 MPa e 5÷6 MPa.
Unità D	<i>Da circa -8.7÷9.0 m a circa -21 m dal piano di campagna</i> Limi argillosi a consistenza prevalentemente plastica, localmente molle-plastica a plastica; nella parte alta con rare intercalazioni di livelletti di limo sabbioso o sabbia limosa, con assetto litostratigrafico lentiforme. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 0.8÷0.9 MPa e 1.1÷1.3 MPa.
Unità E	<i>Da circa -21 m a circa -26 m dal piano di campagna</i> Limi argillosi a consistenza plastica e solido-plastica, con presenza di una intercalazione di sabbia limosa. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 1.7 MPa e 2.3 MPa. In corrispondenza del livello sabbioso si osservano valori attorno a 4.0÷5 MPa.
Unità F	<i>Da circa -26 m a -29 m dal piano di campagna</i> Sabbia da mediamente addensata ad addensata. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 4÷5 MPa e 14÷15 MPa.
Unità E	<i>Da -29 m a -30 m dal piano di campagna, massima profondità indagata</i> Limi argillosi a consistenza plastica. I valori penetrometrici risultano mediamente attorno a 1.7 MPa.

Il livello della falda freatica, misurato all'interno dei fori penetrometrici, alla data delle prove (11-03-2020), si attestava a -1.3÷1.4 m dal piano di campagna attuale.

Le dissipazioni eseguite con stop durante le CPTU sul corpo di sabbia presente tra circa -5÷6 m e -9 m dal piano di campagna ha permesso di ricavare i seguenti valori della permeabilità.

<i>n. prova</i>	<i>Livello falda (m da p.c.)</i>	<i>Profondità dissipazione (m da p.c.)</i>	<i>Permeabilità (cm/sec)</i>	<i>Note</i>
<b>CPTU n. 1</b>	1.40	9.0	Non determinata	Estremamente rapido il raggiungimento dell'equilibrio
<b>CPTU n. 2</b>	1.30	8.0	2.47*10 <sup>-5</sup>	
<b>CPTU n. 3</b>	1.40	8.0	4.04*10 <sup>-5</sup>	

In generale, dal confronto tra le prove eseguite ed altre prove di repertorio realizzate nella zona, si osserva che le caratteristiche areali litostratigrafiche del substrato dell'area di interesse risultano nel complesso omogenee, evidenziando un generale assetto litostratigrafico lentiforme per i terreni granulari.

### 2.4.2 Indagini geofisiche HVSR e SCPT

Per la valutazione dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse e della Vs30 si è provveduto alla realizzazione:

- di un cono sismico (SCPT) in corrispondenza della verticale CPTU n. 1,
- di una misura HVSR

#### Metodo dei microtremori HVSR

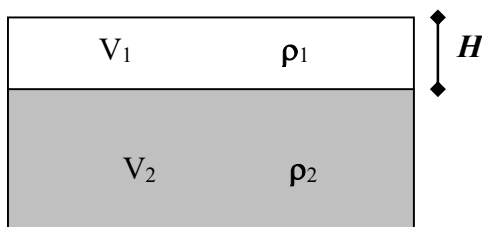
Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è 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.

La misura HVSR è stata calibrata facendo riferimento alle Vs misurate con il cono sismico (SCPT), vedi allegati per i dettagli, e alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine.

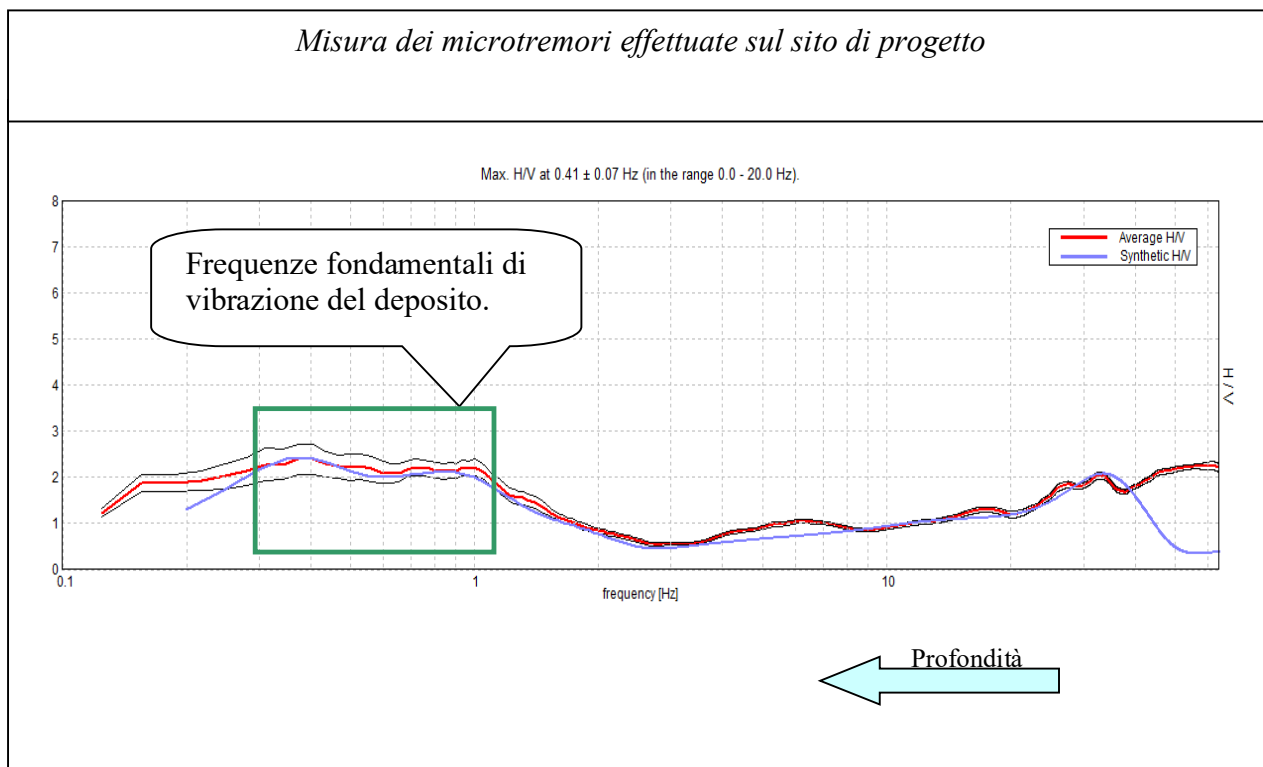
Le prove eseguite impiegando le suddette metodologie, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), e correlando con le SCPT, ha evidenziato una **Vs30= 173÷174 m/s**.

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 è possibile individuare, in prima analisi, la sottostante frequenza fondamentale per il deposito esaminato.

<b><i>Frequenze fondamentali di vibrazione del deposito</i></b>			
<b><i>N. misura</i></b>	<b><i>Località</i></b>	<b><i>Frequenza - f (Hz)</i></b>	<b><i>Periodo - T (sec)</i></b>
T1	Fusignano – plesso scolastico	0.4÷1.0	2.5÷1.0

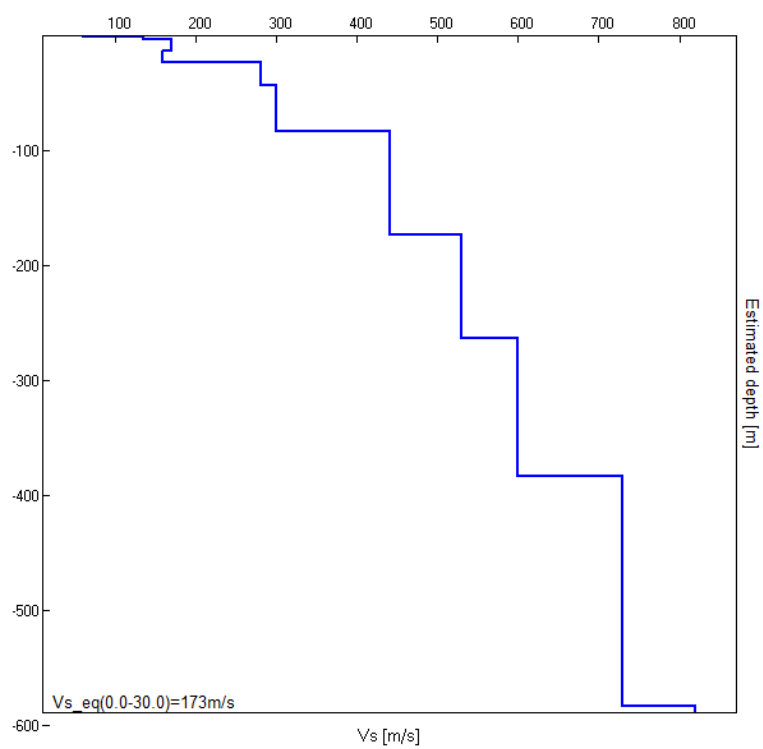
Le verifiche del modello sismico delle opere in esame potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.





Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.45	0.45	60	0.35
2.45	2.00	135	0.40
12.45	10.00	170	0.40
23.45	11.00	159	0.40
43.45	20.00	280	0.40
83.45	40.00	300	0.40
173.45	90.00	440	0.40
263.45	90.00	530	0.40
383.45	120.00	600	0.35
583.45	200.00	730	0.35
inf.	inf.	820	0.35

Vs\_eq(0.0-30.0)=173m/s



COMMITTENTE	SGT SRL
CONO SISMICO	CPTU 1
Località	FUSIGNANO
Data acquisizione	11/03/2020

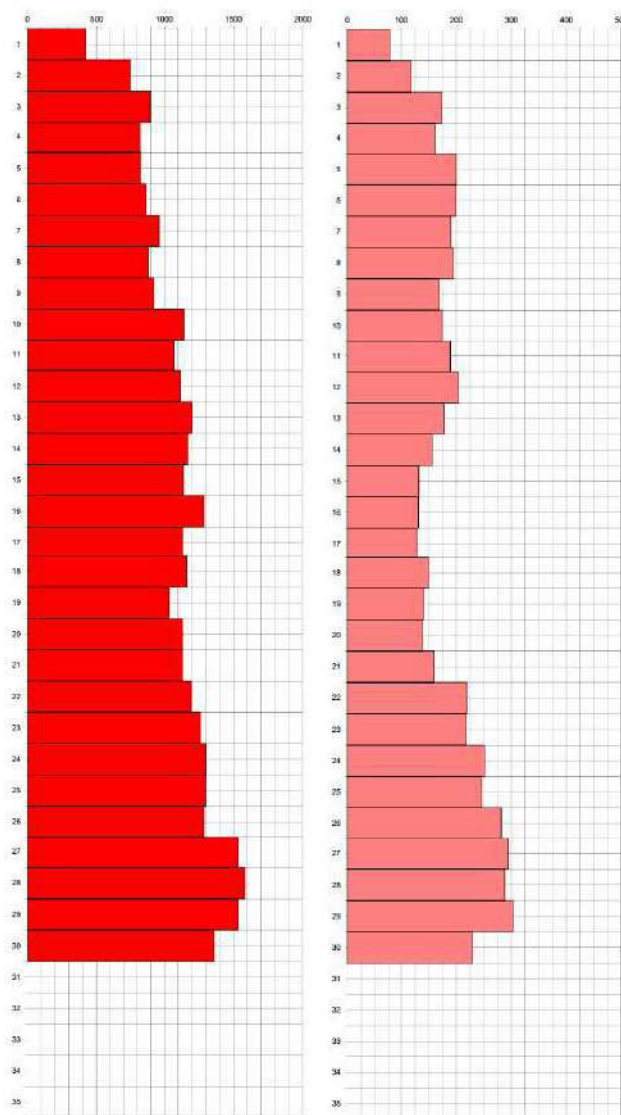
Codice lavoro 509-82



Profondità	Vp	Vs	ν	γ	E <sub>din</sub>	G <sub>din</sub>	K <sub>din</sub>
m/sec.	m/sec.			T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm³

0							
1	421	78	0.48	1.81	296	100	2772
2	754	118	0.49	1.80	764	257	10065
3	898	174	0.48	1.86	1688	570	14488
4	824	161	0.48	1.83	1433	484	12009
5	829	200	0.47	1.83	2193	747	11797
6	866	200	0.47	1.84	2203	748	13090
7	962	190	0.48	1.88	2056	695	16836
8	883	195	0.47	1.85	2112	716	13739
9	924	169	0.48	1.87	1617	545	15526
10	1142	175	0.49	1.94	1798	604	25006
11	1070	189	0.48	1.92	2082	702	21443
12	1115	204	0.48	1.93	2430	819	23414
13	1200	178	0.49	1.96	1877	630	27979
14	1170	166	0.49	1.96	1448	486	26573
15	1139	132	0.49	1.94	1032	345	25222
16	1285	132	0.49	1.99	1048	351	33003
17	1134	128	0.49	1.94	975	326	24994
18	1160	149	0.49	1.95	1317	441	26150
19	1035	141	0.49	1.91	1156	388	20319
20	1133	139	0.49	1.94	1144	383	24855
21	1133	159	0.49	1.94	1495	502	24697
22	1195	219	0.48	1.96	2848	961	27238
23	1258	218	0.48	1.98	2856	962	30640
24	1300	252	0.48	1.99	3810	1287	32618
25	1297	247	0.48	1.99	3657	1235	32493
26	1285	282	0.47	1.99	4737	1606	31329
27	1536	294	0.48	2.06	5355	1808	47039
28	1585	288	0.48	2.07	5201	1754	50608
29	1536	303	0.48	2.06	5698	1925	46882
30	1361	230	0.49	2.01	3225	1086	36460
31							
32							
33							
34							
35							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE	VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec	m/sec



Legenda parametri dinamici					
Tp	Tempi onde di compressione	millesimi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millesimi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
ν	Coefficiente di Poisson	-			

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
(D.M. del 14/01/2008)

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1,H} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

$V_{seq} = 174$  m/sec

CATEGORIA SUOLO = D

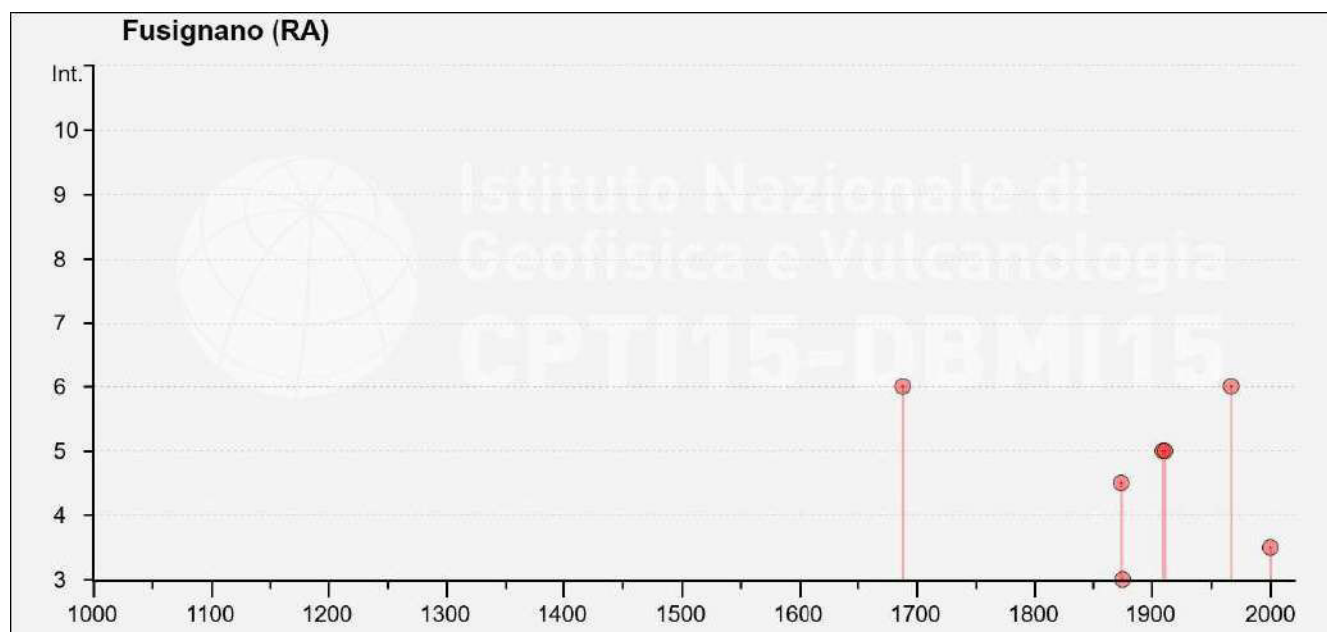


### 3. MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO DI COSTRUZIONE

#### Storia sismica di Fusignano

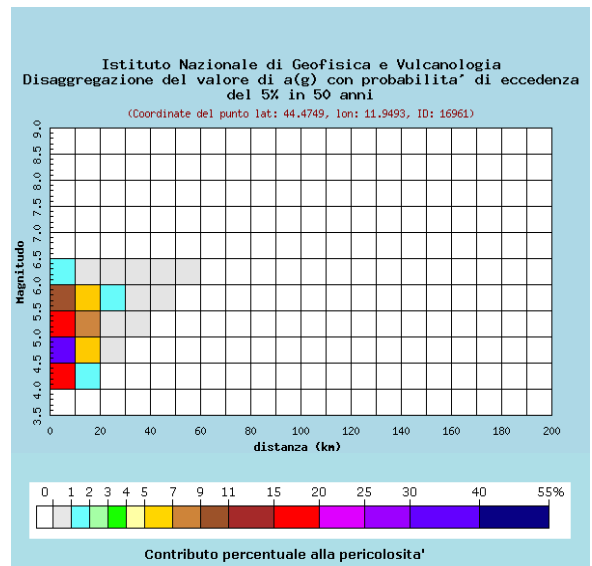
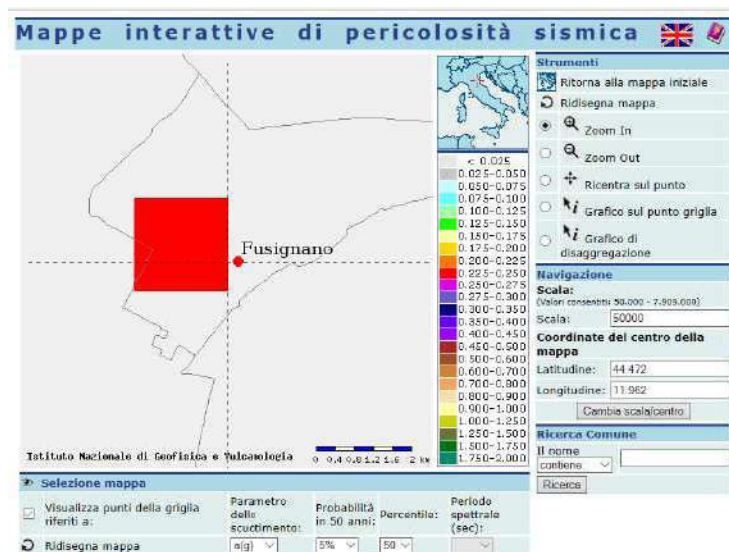
Come si può osservare la città di Fusignano, nella sua storia ha subito sismi con intensità massima pari a  $\text{Int}=6$ , corrispondente ad una  $M_w$  di circa 5.84.

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v2.0					
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano					
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia					
Seismic history of Fusignano					
PlaceID	IT_41253				
Coordinates (lat, lon)	44.467, 11.960				
Municipality (ISTAT 20	Fusignano				
Province	Ravenna				
Region	Emilia-Romagna				
No. of reported earthc	17				
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5.84
4-5	1874 10 07	Imolese	60	7	4.96
3	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5.26
NF	1953 12 14 07 11 06.00	Appennino forlivese	48	5-6	4.7
NF	1961 05 08 22 45 51.00	Forlivese	40	5	4.37
6	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5.05
NF	1971 10 04 16 43 32.60	Valnerina	43	5-6	4.51
NF	1972 11 30 11 25 27.45	Costa pesarese	30		4.52
2	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4.43
NF	2000 05 06 22 07 03.78	Faentino	85	5	4.08
3-4	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4.67
NF	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2002 11 02 10 57 44.89	Ferrarese	79	4	4.21
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4.29



## Disaggregazione sismica

Disaggregazione sismica considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 949 anni.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.4749, lon: 11.9493, ID: 16961)										
	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	15.100	30.300	19.100	10.200	1.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.250	5.370	7.150	6.290	0.892	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.069	0.894	1.610	0.237	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.009	0.194	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.012	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
5.030	7.320	0.977

### Zone sismogenetiche

Il sito in esame ricade nella macrozona sismogenetica zs9 n. 912, con una magnitudo momento massima  $M_w=6.14$  e meccanismi di fagliazione prevalente inversa.

Mentre il sito in esame non è interessato da sorgenti sismogenetiche. La sorgente sismogenetica a trova a Sud del sito in esame e corrisponde alla ITCS011 – Ascensione – Armania, con una magnitudo momento massima  $M_w=6$ .

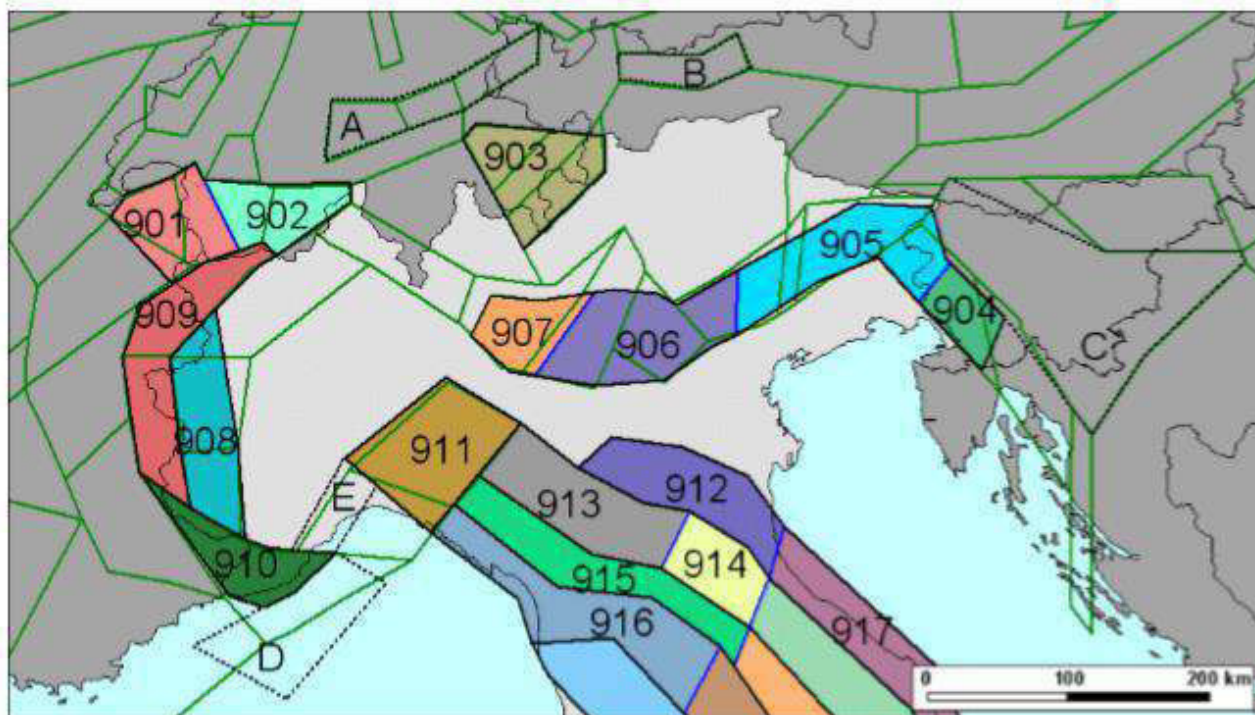


Figura 7 - Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia (bordi in nero e blu) a confronto con la zonazione adottata dal progetto SESAME (bordi verdi, da Jiménez et al., 1991).

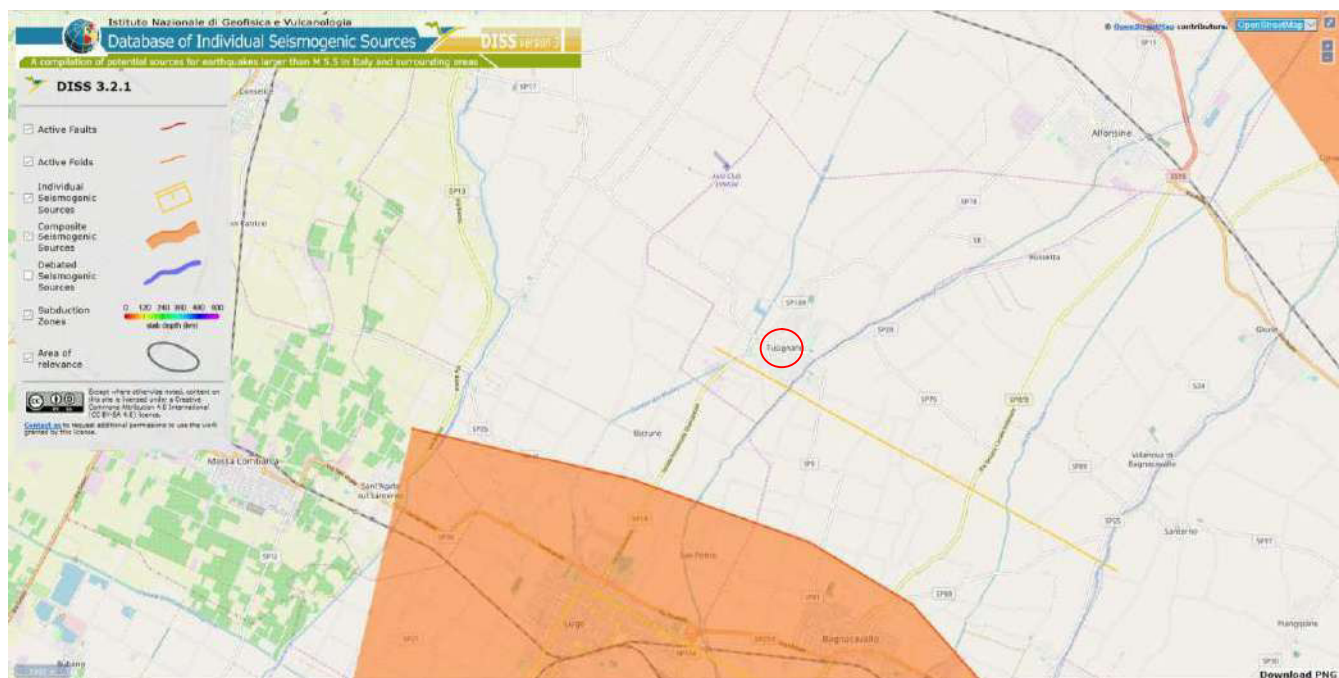
GNGTS 2014

SESSIONE 2.2

Tab. 4 - Rappresentazione delle zone sismogenetiche e relative  $M_{max}$

Nome ZS	Numero ZS	$M_{wmax}$
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29





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

User: Guest | [LOG IN](#) [HOME](#) [MAP](#) [SEARCH](#) [HELP](#)

**COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES** ?

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

**GENERAL INFORMATION**

DISS-ID	ITCS011
Name	Ascensione-Armala
Compiler(s)	Burriato P.(1), Maesano F.E.(1)
Contributor(s)	Burriato 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) Università di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27106 Pavia, Italy
Created	15-Nov-2013
Updated	15-Jun-2015
Display map ...	 
Related sources	<a href="#">ITCS100</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**

**ACTIVE FOLDS**

**COMMENTARY**



## Assetto geostrutturale

In base all'assetto geostrutturale, per il sito in esame, si osserva che la base del pliocene si trova a circa -4500 m rispetto al livello del mare. Inoltre, subito a Nord della zona urbana di Fusignano si osserva un probabile sovrascorrimento profondo post-tortoniano.



### Isolinee di unità del sottosuolo (50k)

— isobata della base del pliocene

### amenti strutturali (50K)

T faglia profonda diretta dedotta

faglia profonda indeterminata dedotta

sovrascorrimento profondo post-tortoniano dedotto

### Limiti di unità geologiche (50K)

— contatto stratigrafico o litologico certo

### Ambienti deposiz. e litologie (50K)

argilla limosa di piana alluvionale

... sabbia limosa di piana alluvionale

### Unità geologiche (50K)

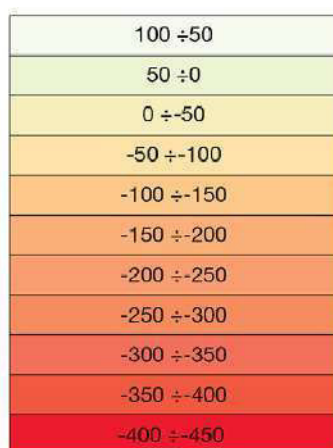
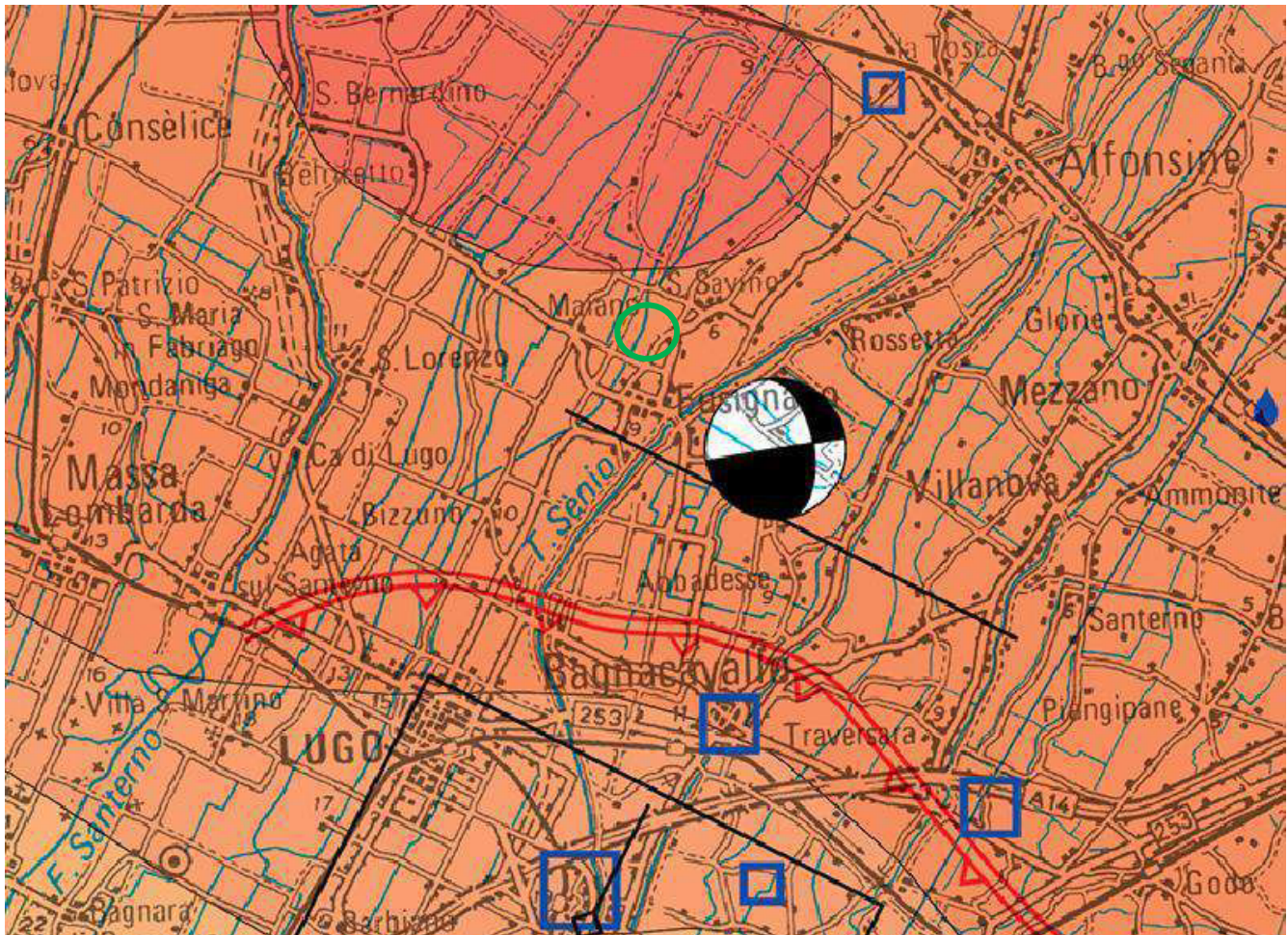
AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena



## Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna.

Dalla carta sismotettonica si può osservare che il sito in esame presenta una base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, significativa zona di contrasto sismico, alla profondità attorno a 250+300 m rispetto al livello del mare.

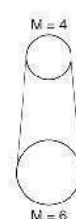
Inoltre, per la zona di interesse si osserva una faglia di contatto tettonico e un meccanismo focale con profondità maggiore di 35 km.



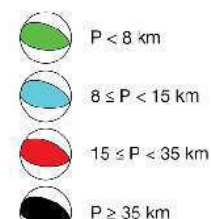
Ma = milioni di anni  
My = millions of years

isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS; 0,45 Ma-Presente) riferite al livello del mare  
*isobaths of the base of the Emilia-Romagna Upper Synthem (SERS; 0,45 My-Present) referred to the sea level*

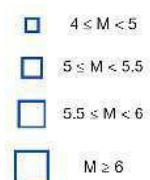
Meccanismi focali  
*Earthquake focal solutions*



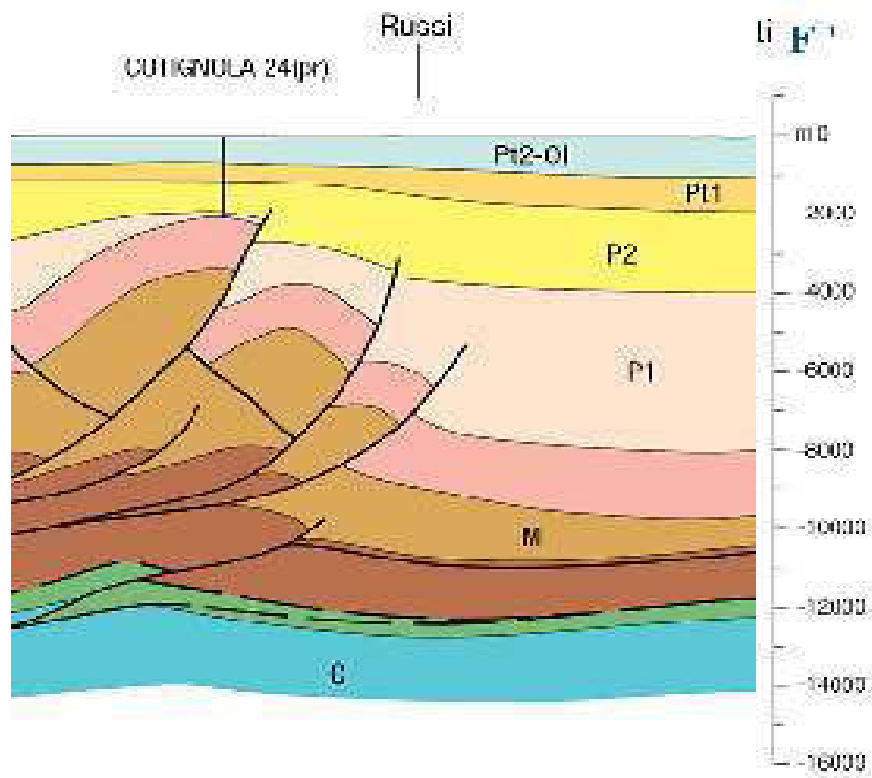
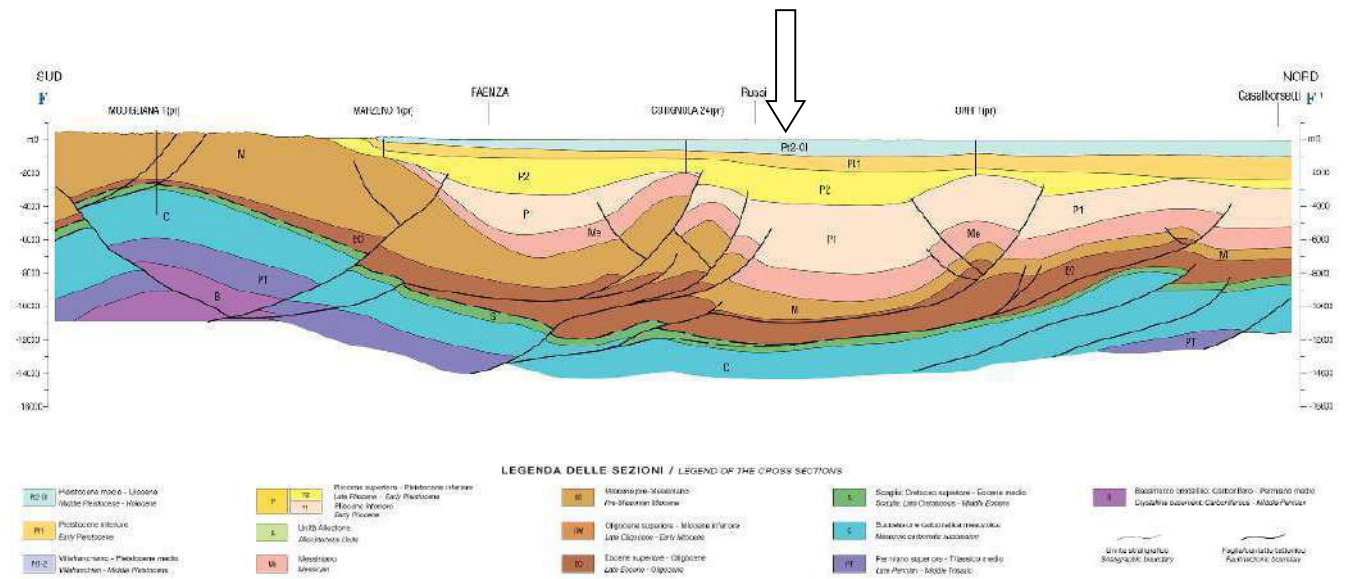
Dimensione del simbolo  
proporzionale alla magnitudo  
*Symbol size proportional  
to the magnitude*



Epicentri dei terremoti (da CPT15)  
*Earthquake epicenters (from CPT15)*



Sezione geostrutturale caratteristica per la zona di interesse.



### 3.1. EFFETTI DI UN SISMA DI PROGETTO SUI TERRENI INTERESSATI DALL'OPERA

#### NTC – 17-01-2018

In base alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M del 17-01-2018 l'area, considerando tempi di ritorno di 949 anni, presenta un'accelerazione al bedrock sismico di  $a_g/g=0.224g$ .

Dalle misure di sismica passiva risulta che il sito di indagine è caratterizzato da  $V_{s30}= 173\div 174$  m/s, quindi il sito ricade in categoria D, con relativo coefficiente di amplificazione stratigrafico pari a  $S_s=1.56$

Inoltre, essendo la morfologia del terreno pianeggiante, il coefficiente di amplificazione topografica risulta  $S_T=1.0$ .

Pertanto, l'accelerazione massima al suolo sarà pari a

$$a_{g_{max}} = a_g \cdot S_s \cdot S_T = 0.349 \text{ g}$$

(Vedi tabelle riportate di seguito per maggiori dettagli).

L'analisi di Risposta Sismica Locale (vedi appendice) ha evidenziato una sostanziale coerenza dello spettro elastico ricavato dalla media dell'analisi RSL con quello semplificato delle NTC2018.

In particolare, si osserva che  $a_g/g$  al suolo risulta mediamente inferiore a quello ricavato con il metodo previsto dalle NTC2018.

Riferimento accellogramma	PGA a To secondo la modellazione STRATA	Rapporto PGA/PGAo con PGAo secondo NTC2018
000055xa	0.315	1.406
000292xa	0.232	1.035
000473xa	0.321	1.433
005272xa	0.335	1.494
006332xa	0.353	1.578
007142ya	0.276	1.231
000046xa	0.381	1.702
<b>media</b>	<b>0.316</b>	<b>1.410</b>
<b>a/g per To NTC2018</b>	<b>0.349</b>	<b>1.56</b>
<b>PGA NTC2018</b>	<b>0.224</b>	<b>-</b>



### 3.2. Verifica del rischio di liquefazione

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

Inoltre, sono possibili assestamenti per riduzione di porosità. 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.

Al fine di comprendere al meglio il possibile rischio a cui potranno essere soggette le future strutture in progetto relativamente alla pericolosità cosismica di liquefazione dei terreni del substrato del fabbricato in esame, si farà riferimento alla relazione che definisce il "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

La suscettibilità può essere definita come la propensione di una certa porzione di territorio a generare, nel caso specifico, fenomeni di liquefazione in occasione di un determinato sisma, in connessione con le proprie caratteristiche fisiche e con le condizioni geoambientali al contorno.

Nel caso specifico, per il sito in esame sono verificate le condizioni minime di base per definire il sito potenzialmente suscettibile di liquefazione.

Infatti, si riscontrano i seguenti elementi.

- nella successione litologica sono presenti orizzonti di limi sabbiosi, sabbie e sabbie limose ad una profondità inferiore ai 20 m dal piano di campagna;
- la falda idrica presenta una profondità attorno a 1÷2 m dal piano di campagna;
- gli eventi sismici attesi hanno magnitudo maggiore di  $M > 5$ .

Pertanto, si è proceduto all'analisi specifica della suscettibilità alla liquefazione del sito valutando l'indice del potenziale di liquefazione ( $I_L$ ) con il metodo di Iwasaki (1982), il cui valore si ricava dalla somma della serie armonica dei coefficienti di sicurezza alla liquefazione in funzione dello spessore dell'intervallo considerato.

Per la verifica dei coefficienti di sicurezza alla liquefazione per ogni strato considerato si è fatto riferimento al metodo AGI 2006, Boulanger & Idriss (2014) 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.

Per l'analisi del potenziale di liquefazione del substrato indagato è stato considerato un sisma di progetto con tempi di ritorno di 949 anni (SLV), accelerazione massima al suolo  $a/g=0.349$  e magnitudo momento pari a  $M_w=6.14$ , corrispondente al valore della macrozona sismogenetica di riferimento per il territorio in esame.

Le suddette analisi, ipotizzando a favore della sicurezza una falda idrica a -1.0 m dal piano di campagna (nelle prove CPTU la falda idrica, alla data delle prove, si trovava a -1.4 m dal piano di campagna) hanno evidenziato un indice del potenziale di liquefazione massimo compreso tra  $I_L = 6.4$  e  $I_L = 11.4$ , quindi suscettibilità al fenomeno della liquefazione elevata.

### 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.

Si evidenzia che la procedura proposta dai suddetti autori è basata sull' "approccio bayesano" e, utilizzando il teorema della probabilità totale, consente di associare ad ogni valore del fattore di sicurezza calcolato con il metodo deterministico, FSL, un valore di probabilità di inizio liquefazione, PL ("Bayesian mapping function"). Tale funzione, con riferimento al metodo proposto da Robetson e Wride (1998) assume la forma (Juang et al. 2002):

$$PL = \frac{1}{1 + \left(\frac{FSL}{A}\right)^B}$$

Dove A=1 e B=3.3.

Quindi, valutando la probabilità, cioè la pericolosità, con il suddetto metodo, si ottiene che la probabilità, in una scala 0-100%, si attesta al massimo al 20%, cioè, secondo il giudizio di Facciorusso, il deposito si trova, al massimo, nella casella "liquefazione improbabile".

### Vulnerabilità: effetti della liquefazione

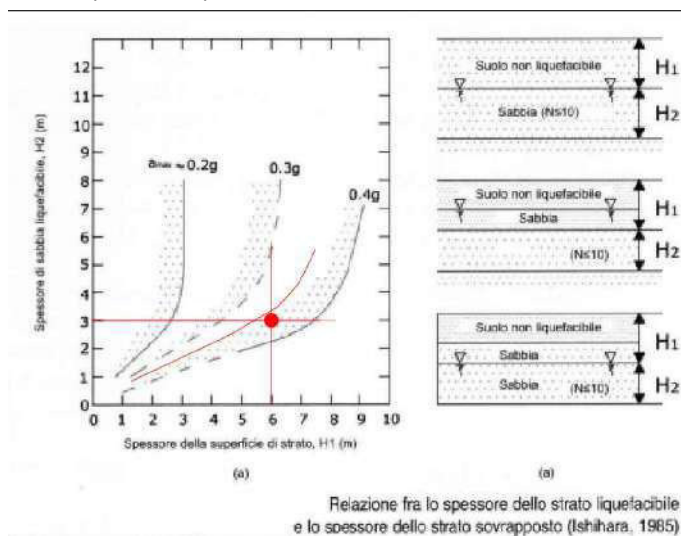
In questo caso si deve esaminare quale tipo di danno potenziale è possibile che occorra a seguito di quel determinato evento, ad esempio sugli edifici. Nel caso specifico, considerando che si tratta di un'opera strategica, la costruzione non può subire danni significativi, dovendo salvaguardarne l'operatività. **Stato Limite di operatività (SLO):** a seguito del terremoto, la costruzione nel suo complesso (inclusando elementi strutturali, elementi non strutturali, ecc.) non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi.

Per il caso in esame si osserva:

- la potenziale liquefazione si manifesta a partire dalla profondità di circa -6.0 m fino a -9.0 m;
- soprastante all'intervallo potenzialmente liquefacibile è presente una copertura costituita da terreni di natura argillosa, dotati di coesione, quindi resistenti ai fenomeni della liquefazione.

Pertanto,

- essendo lo spessore di copertura superiore a 3.0 m, non ci saranno manifestazioni dirette in superficie degli effetti dalla liquefazione, ovvero molto probabilmente non ci sarà fuoriuscita di sabbia e, sicuramente non si avranno fenomeni di fluidificazione, Ishihara (1985) – Youd Garri (1994/95);



- i principali effetti cosismici di superficie saranno principalmente connessi alla manifestazione di cedimenti, dell'ordine massimo di 10÷17 cm, dovuti alla dissipazione dell'eccesso delle pressioni interstiziali generate dall'azione ciclica del sisma di progetto.

Inoltre, le deformazioni indotte dalla liquefazione, rispetto allo spessore dello strato potenzialmente più liquefacibile, saranno dell'ordine del 5.6% (17 cm di cedimento contro uno spessore dello strato potenzialmente liquefacibile di 200 cm), quindi quasi certamente saranno tollerate dalla struttura. Infatti, solo deformazioni dell'ordine del 20% o più rispetto allo spessore dello strato liquefacibile, in genere, risultano difficilmente tollerate dalle strutture con fondazioni superficiali.

Pertanto, alla luce di quanto sopra esposto, considerando che per il sito in esame sono previste unicamente manifestazioni solo di fenomeni di liquefazione ciclica o mobilità ciclica, con esclusione del fenomeno della fluidificazione che richiede lo sviluppo di elevate deformazioni volumetriche, unicamente con eventuale possibile sviluppo di cedimenti superficiali, al fine di garantire comunque l'operatività della struttura della palestra, risulterà opportuno predisporre opportuni interventi atti a contenere o limitare eventuali danneggiamenti prodotti dai possibili cedimenti indotti dal fenomeno cosismico della potenziale liquefazione.

Considerando il progetto in esame, un possibile intervento consiste nella realizzazione di pali di fondazione, spinti fino ad oltre lo strato liquefacibile.

Oltre a ciò, risulterà utile realizzare una pavimentazione della palestra rinforzata in modo da sopportare eventuali assestamenti.

In tal modo risulteranno contenuti eventuali danneggiamenti, e la struttura manterrà i requisiti di operatività richiesti, anche a seguito di un sisma di progetto.

Mentre la struttura dello spogliatoio risulta già adeguata, essendo realizzata con fondazione a platea, irrigidita anche da una sottofondazione con materiale inerte costipato a rifiuto, in grado di accettare allo SLD cedimenti anche dell'ordine di 10÷20 cm e più (Bjerrum, 1963 – vedi grafici al paragrafo 4.3).

Particolare attenzione andrà comunque posta alla connessione delle reti infrastrutturali che dovranno essere in grado di adeguarsi ad eventuali assestamenti differenziali dell'ordine massimo di circa 15÷20 cm.

## 4. CONCLUSIONI

La morfologia dell'area di interesse è pianeggiante e non presenta particolari degni di nota. Si osserva comunque che pochi a metri a Ovest del nuovo fabbricato scorreva un vecchio scolo, ora tombato con macerie.

Uno sguardo complessivo alle risultanze della prova effettuata evidenzia la presenza di un substrato caratterizzato:

- Dall'attuale piano di campagna a circa  $-1.0 \div 1.2$  m, da terreni di riporto e di alterazione superficiale.
- Da circa  $-1.0 \div 1.2$  m a  $-5.0 \div 6.0$  m dal piano di campagna, limi argillosi a consistenza da plastica a molle-plastica, tendenzialmente in diminuzione con la profondità.
- Da circa  $-5.0 \div 6.0$  a circa  $-9.0$  m dal piano di campagna, sabbie e sabbie limose con addensamento medio, localmente sciolte. Attenzione: per lo SLV per il corpo di sabbia risulta un Indice del Potenziale di liquefazione  $IL > 5$  ( $6.4 < IL < 11.4$ ) e cedimenti post-sisma dell'ordine massimo di  $10 \div 17$  cm.
- Da  $-9.0$  m a  $-26$  m dal piano di campagna, prevalenti limi argillosi a consistenza prevalentemente plastica fino a  $-21.0$  m poi solido-plastica.
- Da  $-26$  m a  $-29.0$  m dal piano di campagna, sabbia da addensata a mediamente addensata.
- Da  $-29.0$  m a  $-30.0$  m dal piano di campagna, massima profondità indagata, limi argillosi a consistenza plastica.

Il livello della falda freatica, misurato al momento della prova, risultava attorno a  $-1.3 \div 1.4$  m dal piano di campagna attuale.

In considerazione del livello della falda idrica dal piano di campagna e della sua potenziale risalita, dovranno essere predisposti gli opportuni accorgimenti atti ad impedire la risalita capillare lungo i muri dei fabbricati in progetto.

In considerazione delle caratteristiche dell'opera in progetto, tipologia di fondazione a platea o a travi rovesce possono risultare idonee.

Comunque, in particolare per la struttura della palestra, considerando che si tratta di un'opera strategica, vista la presenza di uno strato di sabbia tra circa  $-6$  m e  $-9$  m soggetta a potenziale liquefazione in caso di sisma di progetto, con possibilità che si manifestino importanti cedimenti, al fine contenere tali assestamenti che potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera, si prevede la realizzazione di pali di fondazioni in corrispondenza dei pilastri della struttura. Per tali pali è stata prevista una profondità tale da superare lo strato di suolo liquefacibile.

### NTC – 17-01-2018

In base alla NTC 2018 il sito in esame è caratterizzato, considerando tempi di ritorno di 949 anni, da accelerazione al bedrock sismico di  $a_{rif}=0.224g$  e da  $V_{s30}=173 \div 174$  m/s, quindi categoria di suolo D con fattore stratigrafico pari a  $S_s=1.56$ . Considerando che l'area presenta un fattore topografico pari ad uno, l'accelerazione massima alla superficie del sito in esame sarà pari

$$a_{max}=0.349g.$$

Le misure dei microtremiti hanno evidenziato frequenze significative per l'ingegneria nei confronti dei fenomeni di risonanza del substrato del sito in esame pari a

<b>Frequenze fondamentali di vibrazione del deposito</b>	
Frequenza - f (Hz)	Periodo - T (sec)
0.4÷1.0	2.5÷1.0

Il substrato del lotto in esame, considerando tempi di ritorno di 949 anni, presenta rischio di liquefazione unicamente per uno strato compreso tra circa  $-6.0$  m e  $-9.0$  m dal piano di campagna. Tale rischio è

comunque relativo unicamente a possibili cedimenti post-sisma dell'ordine massimo di circa 10÷17 cm. Pertanto, in considerazione delle peculiarità della struttura della palestra e della necessità di non comprometterne la funzionalità anche a seguito di un sisma di progetto previsto per lo SLV, si prevede la realizzazione di pali di fondazione in corrispondenza dei pilastri della struttura.

Risulta comunque utile all'atto esecutivo una estesa ispezione, da parte di personale tecnico competente, dello strato superiore di contatto fondazione-terreno, al fine di accertare l'idoneità del piano di posa della fondazione ai carichi previsti in progetto, ovvero la conformità del terreno di fondazione a quanto emerso in sede di rilievo geologico ed assunto a base dei calcoli.

Inoltre, sempre da personale tecnico competente, risulterà utile verificare i terreni attraversati durante la perforazione dei pali di fondazione, al fine di verificarne la conformità a quanto emerso durante le indagini geognostiche ed assunto a base dei calcoli.

### **5.1 Indicazioni di carattere generale esecutivo e progettuale**

Nell'esecuzione degli scavi per la realizzazione delle fondazioni dirette e degli scavi si dovranno adottare le seguenti cautele:

- controllare che il terreno messo a giorno dagli scavi di splateamento per la realizzazione dei piani di posa delle fondazioni risulti omogeneo (medesima consistenza, colorazione etc.). Si dovrà verificare l'uniformità del piano di posa al fine di escludere la presenza localizzata di eventuali disomogeneità ed attestare le fondazioni sul terreno sicuramente in posto e/o sostituire il terreno rammollito con materiale idoneo.
- Il getto della fondazione dovrà essere eseguito tempestivamente appena completati gli scavi; se, a causa di eventuali interruzioni dovute al maltempo, dovesse essersi imbibito il terreno di appoggio, si dovrà provvedere all'asportazione della parte rammollita e sostituzione con materiale idoneo.
- Prima del getto della fondazione dovrà essere preventivamente pulito da detriti, acqua e fango la zona di contatto.
- Nel caso di dover effettuare riporti e/o rinterri localizzati (attorno alle fondazioni) o estesi (ricariche generalizzate), questi dovranno essere realizzati a regola d'arte, con strati successivi di modesto spessore (25 \* 30 cm) di terreno compattato fino ad una densità pari al 95% di quella massima di compattazione individuata dalle prove di laboratorio (AASHO modificata); in alternativa è possibile effettuare il miglioramento delle caratteristiche meccaniche mediante stabilizzazione a calce/cemento. E' da considerare che riporti estesi determinano cedimenti e distorsioni aggiuntivi rispetto a quelli calcolati per il solo fabbricato.
- Nel caso di dover realizzare scavi e/o opere di sostegno degli scavi, le pareti dovranno essere permanentemente coperti con teli impermeabili, per il mantenimento delle condizioni di umidità naturale.
- La regimazione delle acque corrive superficiali dovrà essere garantita e garantita la buona tenuta delle condotte interrate per la circolazione dei fluidi (fognature, impianti idrici).
- L'impermeabilità superficiale del piano di campagna: tale impermeabilità dovrà essere ottenuta mediante cotica vegetale erbosa, marciapiedi, contropendenze adeguate a ridosso del manufatto per l'allontanamento delle acque meteoriche.
- Particolare attenzione andrà posta alla piantumazione delle alberature che per via dell'evapotraspirazione potrebbero determinare il disseccamento del terreno, oltretutto reso impermeabile dalla costruzione, con possibile innesco di fenomeni di ritiro dei terreni e conseguenti assestamenti differenziali.

# Appendice

## 1 Analisi di Risposta Sismica Locale

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.

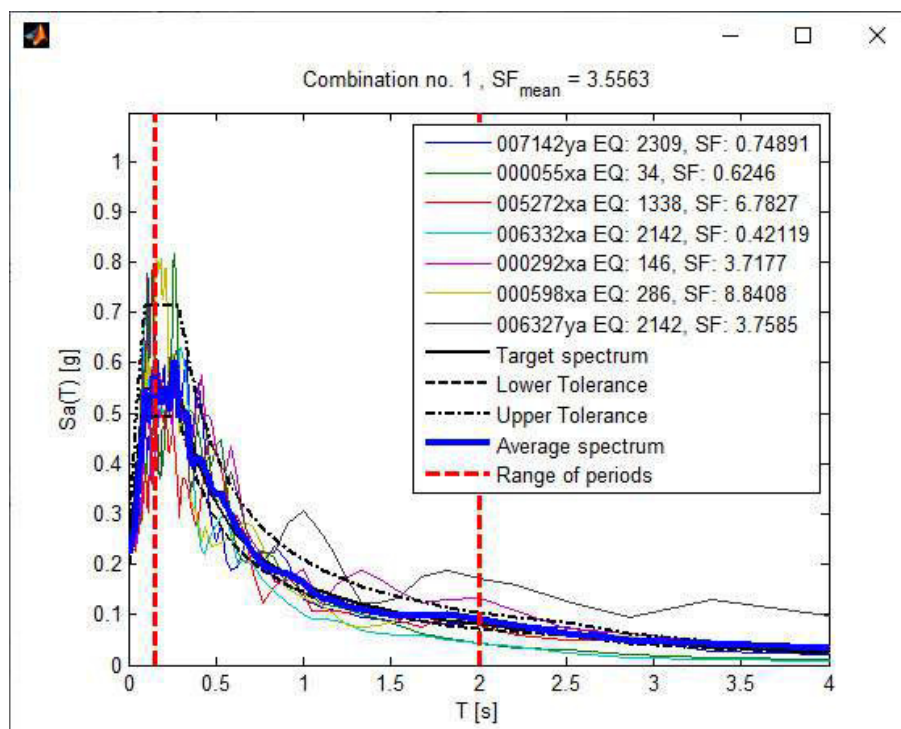
Uno dei programmi sviluppati per questo scopo è stato STRATA che calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà variabili in funzione del livello deformativo. Il programma permette di eseguire analisi 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.

Per lo SLV si è fatto riferimento ai sette accelerogrammi, selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" utilizzando il software Rexel. Di questi sette accelerogrammi è stato scartato quello con il codice 006327ya. Tale accelerogramma è stato sostituito con uno di quelli forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale, con il codice 000046xa.



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 (Vs).

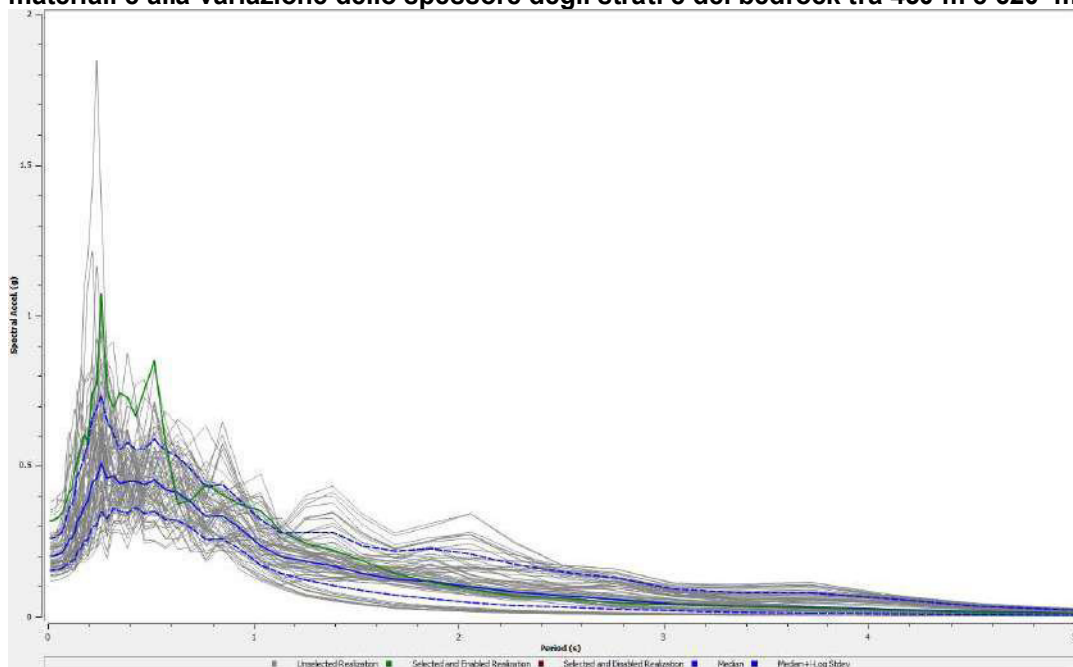
La stratigrafia che caratterizza il profilo stratigrafico è stata derivata dalle indagini geognostiche e geofisiche nella zona esame riportati in letteratura. In particolare, la modellazione si è basata sulle curve H/V e sulla Vs ottenute dalle misure HVSr.

General Settings   Soil Types   Soil Profile   Motion(s)   Output Specification   Compute   Results							
Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	1.00	Clay PI= 10	78.00	<input checked="" type="checkbox"/> 70.00	<input checked="" type="checkbox"/> 100.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	1.00	1.00	Idriss clay	118.00	<input checked="" type="checkbox"/> 110.00	<input checked="" type="checkbox"/> 120.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	2.00	1.00	Idriss clay	174.00	<input checked="" type="checkbox"/> 170.00	<input checked="" type="checkbox"/> 180.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	3.00	2.00	Iriss Sand	161.00	<input checked="" type="checkbox"/> 155.00	<input checked="" type="checkbox"/> 165.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	5.00	4.00	Idriss clay	200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 190.00	<input checked="" type="checkbox"/> 205.00	<input checked="" type="checkbox"/>
6	9.00	3.00	EPR 30-80 m	182.00	<input checked="" type="checkbox"/> 175.00	<input checked="" type="checkbox"/> 185.00	<input checked="" type="checkbox"/>
7	12.00	2.00	EPR 80 - 150	160.00	<input checked="" type="checkbox"/> 155.00	<input checked="" type="checkbox"/> 165.00	<input checked="" type="checkbox"/>
8	14.00	7.00	EPR 150 - 300	135.00	<input checked="" type="checkbox"/> 130.00	<input checked="" type="checkbox"/> 140.00	<input checked="" type="checkbox"/>
9	21.00	2.00	EPR 150 - 300	219.00	<input checked="" type="checkbox"/> 210.00	<input checked="" type="checkbox"/> 225.00	<input checked="" type="checkbox"/>
10	23.00	2.00	EPR 150 - 300	250.00	<input checked="" type="checkbox"/> 245.00	<input checked="" type="checkbox"/> 255.00	<input checked="" type="checkbox"/>
11	25.00	5.00	EPR 150 - 300	290.00	<input checked="" type="checkbox"/> 285.00	<input checked="" type="checkbox"/> 295.00	<input checked="" type="checkbox"/>
12	30.00	70.00	EPR 150 - 300	230.00	<input checked="" type="checkbox"/> 225.00	<input checked="" type="checkbox"/> 310.00	<input checked="" type="checkbox"/>
13	100.00	20.00	Iriss Sand	300.00	<input checked="" type="checkbox"/> 280.00	<input checked="" type="checkbox"/> 390.00	<input checked="" type="checkbox"/>
14	120.00	50.00	EPR 150 - 300	310.00	<input checked="" type="checkbox"/> 290.00	<input checked="" type="checkbox"/> 350.00	<input checked="" type="checkbox"/>
15	170.00	10.00	Iriss Sand	300.00	<input checked="" type="checkbox"/> 280.00	<input checked="" type="checkbox"/> 350.00	<input checked="" type="checkbox"/>
16	180.00	60.00	EPR 150 - 300	400.00	<input checked="" type="checkbox"/> 380.00	<input checked="" type="checkbox"/> 430.00	<input checked="" type="checkbox"/>
17	240.00	20.00	Seed & Idris...	430.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/> 460.00	<input checked="" type="checkbox"/>
18	260.00	20.00	EPR 150 - 300	420.00	<input checked="" type="checkbox"/> 390.00	<input checked="" type="checkbox"/> 440.00	<input checked="" type="checkbox"/>
19	280.00	30.00	Seed & Idris...	450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 420.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/>
20	310.00	130.00	EPR 150 - 300	500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 480.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/>
21	440.00	30.00	Seed & Idris...	550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 600.00	<input checked="" type="checkbox"/>
22	470.00	110.00	EPR 150 - 300	600.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 650.00	<input checked="" type="checkbox"/>
23	580.00	Half-Space	Bedrock	800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/>

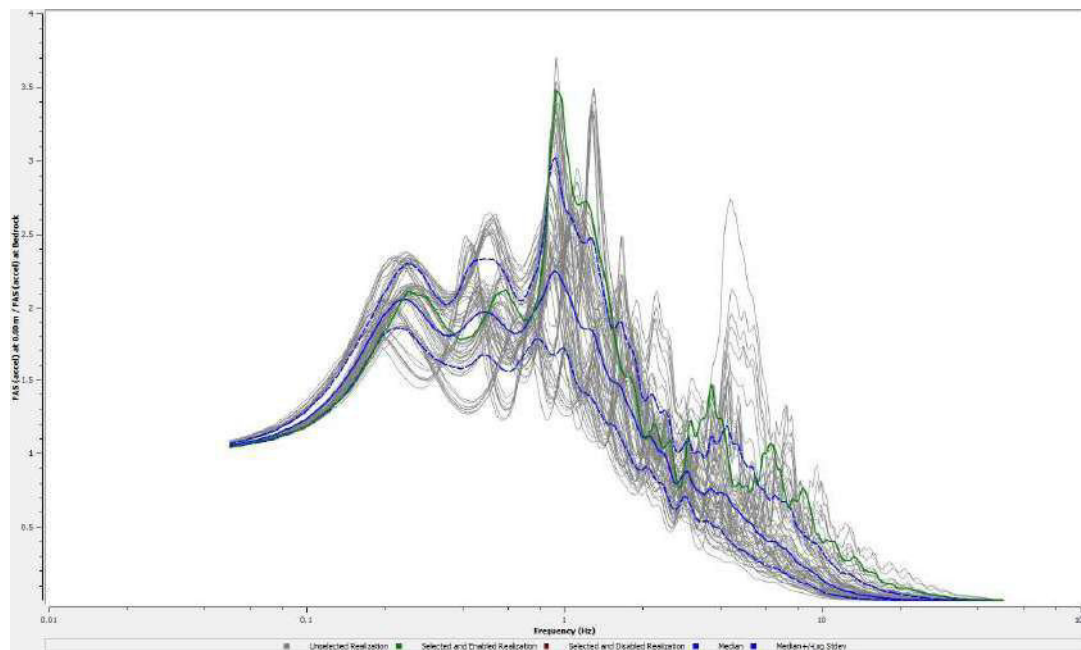


## Stato Limite della Vita – SLV

Spettri elastici relativi ai possibili scenari in base alla variazione della  $V_s$ , delle curve di smorzamento dei materiali e alla variazione dello spessore degli strati e del bedrock tra 450 m e 620 m

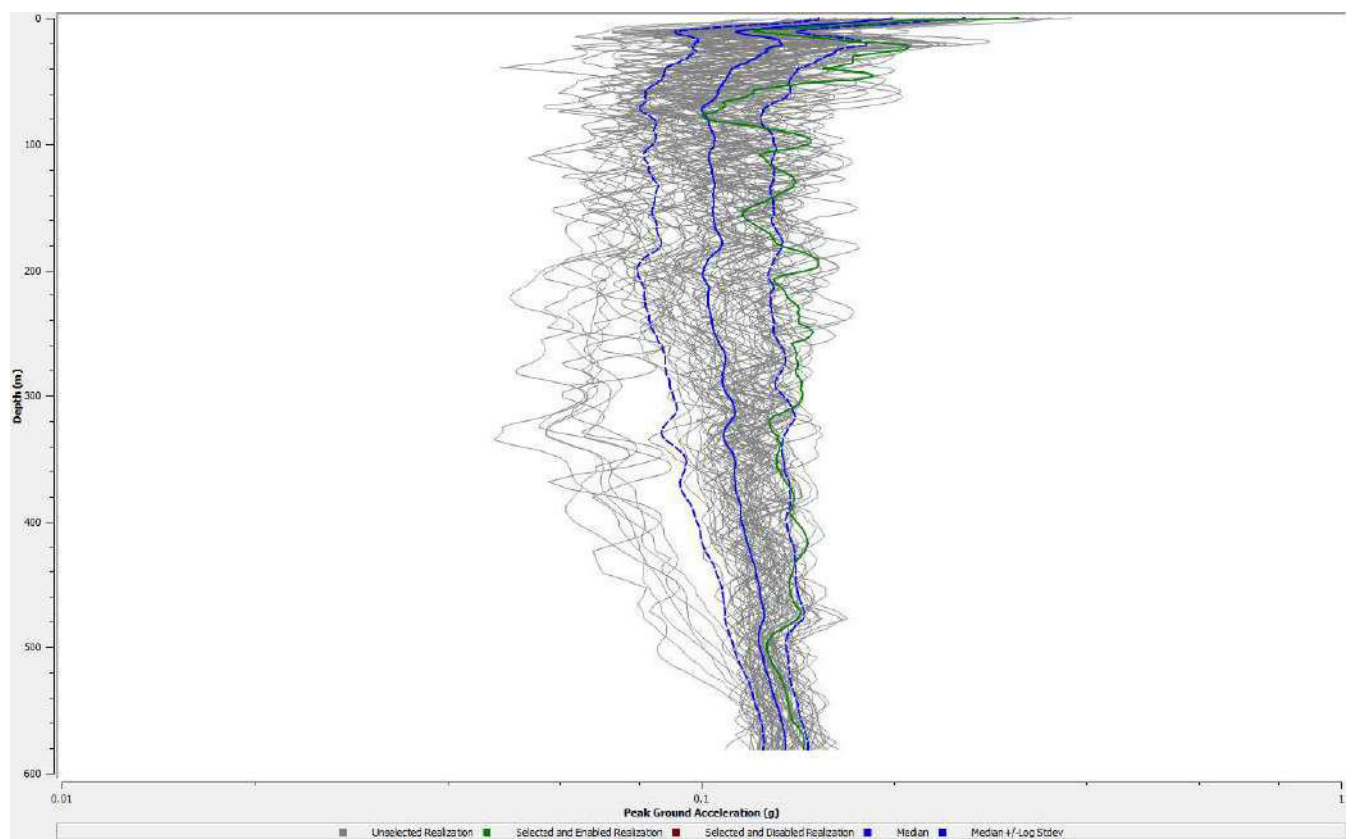


## Funzione di trasferimento substrato sismico- superficie

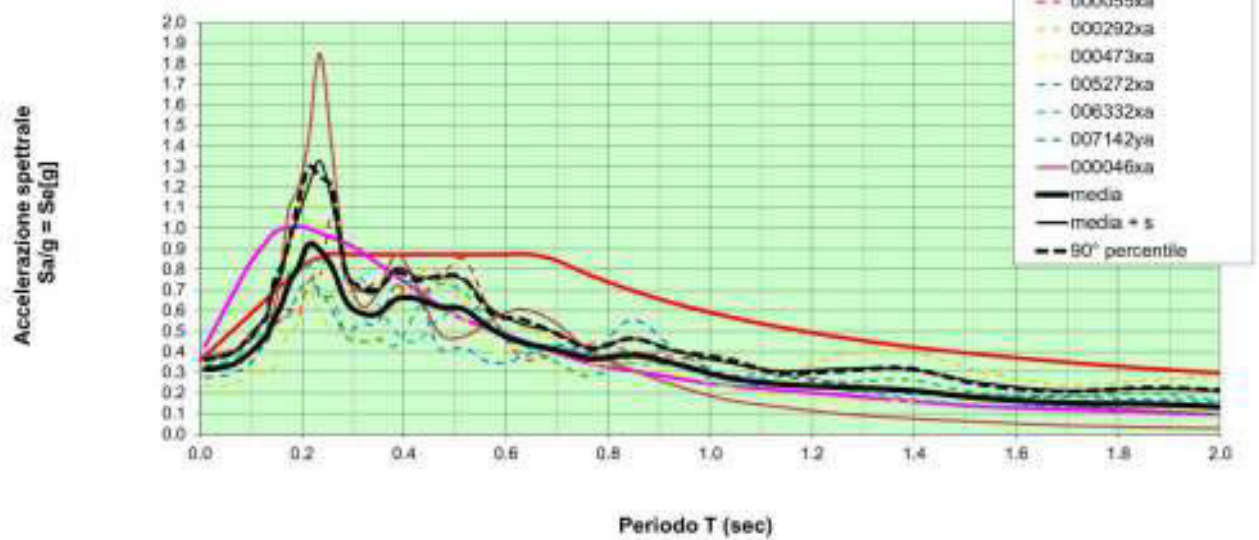




### Accelerazioni lungo il profilo a/g

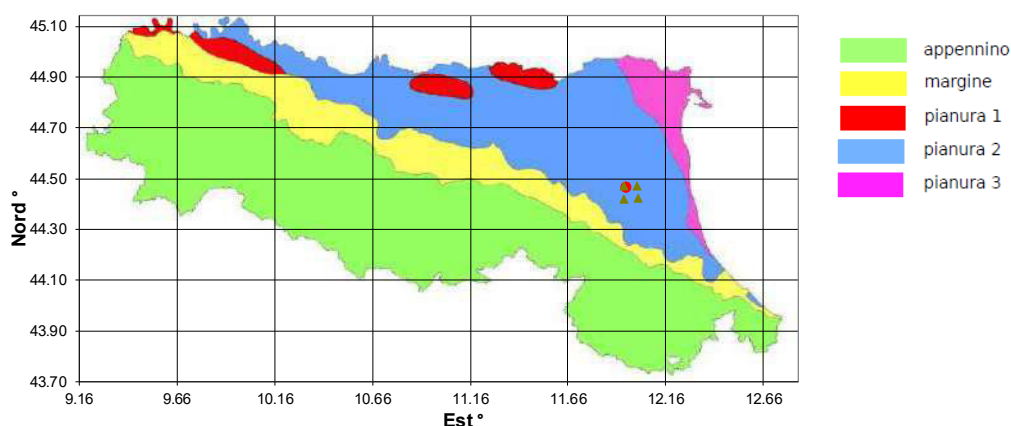


### Spettro di risposta elastico per SLV - ( $T_H = 475$ anni - smorzamento 5%) confronto NTC 2018 - RSL con STRATA - DGR 630 / 2019



Di seguito si valutano i rapporti spettrali PGA / PGAo e SI / Slo in riferimento a quanto proposto dalla DGR 630 / 2019 rispetto al metodo semplificato di II° livello ed al III° livello con elaborazione delle tracce sismiche 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. Tenta, L. Martelli, A. Marcellini, 2015), e considerando una classe di Vs30 = 199m/s, si ottengono i parametri sotto riportate.



VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO			
Decreto Ministeriale NTC 2018		Regione Emilia-Romagna DGR 630 / 2019	
Latitude (gradi decimali ED50)	44.470500	44.470500	Latitude (gradi decimali ED50)
Longitude (gradi decimali ED50)	11.962200	11.962200	Longitude (gradi decimali ED50)
Accelerazione su suolo di riferimento rigido - SLV (ag/g)	0.224	0.224	Accelerazione massima orizzontale di picco al suolo per To (a <sub>ref</sub> )
Tipo di opera	2	PIANURA 2	Riferimento territoriale / Suolo di riferimento
Classe d'uso	4	Pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100m dal piano campagna e dal tetto del substrato rigido a circa 150m dal piano campagna	
Vita Nominale (V <sub>N</sub> )	50 anni		
Coefficiente d'uso (C <sub>U</sub> )	2		
Vita di riferimento (V <sub>N</sub> x C <sub>U</sub> )	50 anni		
Tempi di ritorno (SLV)	949 anni		
		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)	199	199	Velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30m (Vs30) (m/s)
Categoria di sottosuolo	D		
Coefficiente di amplificazione per tipo di suolo (S <sub>s</sub> )	1.56	1.7	Fattore di Amplificazione del PGA. (Peak Ground Acceleration)
		2.0	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.1s < To < 0.5s)
		3.1	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.5s < To < 1.0s)
		3.6	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.5s < To < 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>max</sub> /g) = a <sub>g</sub> /g * S <sub>s</sub> * S <sub>T</sub>	0.349	0.381	Accelerazione massima orizzontale al suolo (a <sub>g</sub> /g = 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 stati utilizzati 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.

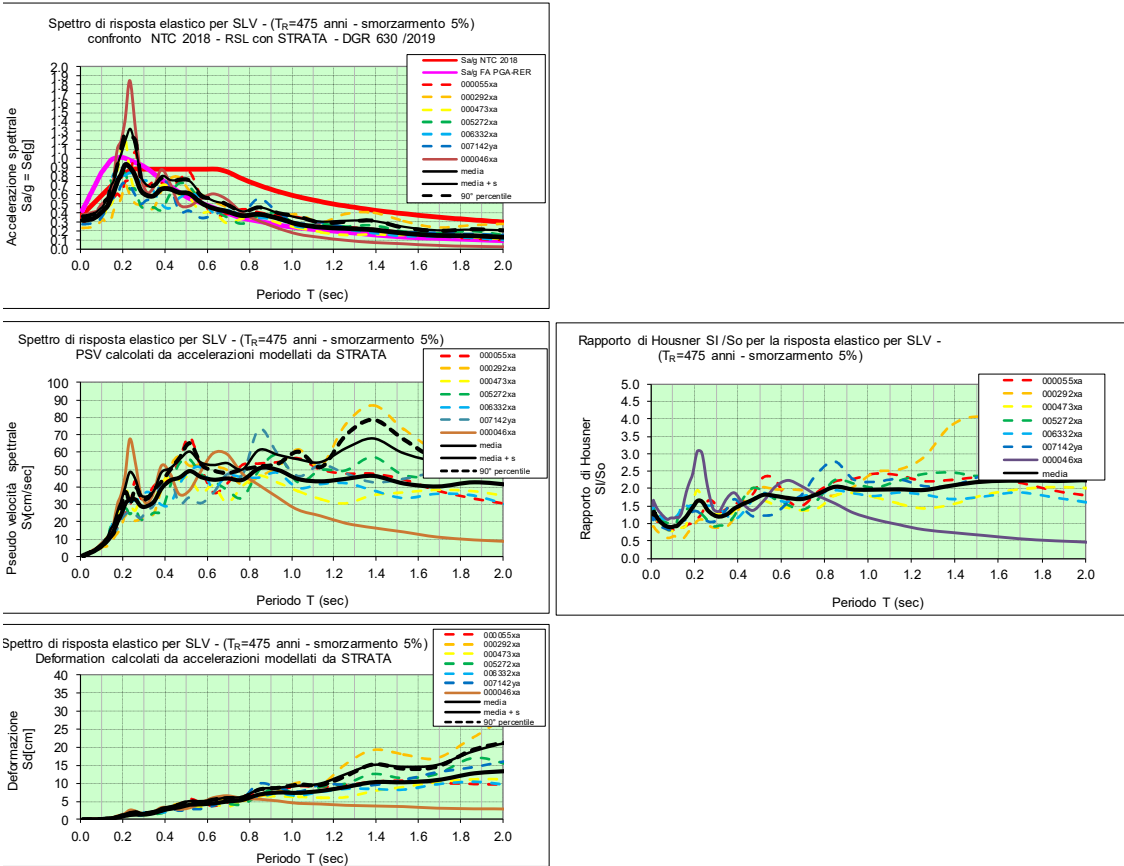
I valori sono stati confrontati con SI<sub>o</sub> proposti dalla RER. I valori del rapporto sono osservabili nelle sotto riportate tabelle.

Si riporta anche la tabella del rapporto dei valori PGA del modello STRATA e quello della DGR 630 / 2019.

Riferimento accelerogramma	Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI =  PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI1/SI0		Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI =  PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI2/SI0		Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI =  PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI3/SI0	
	S1: 0.1 < T < 0.5		S2: 0.5 < T < 1.0		S3: 0.5 < T < 1.5							
000055xa	0.42	1.35	0.43	2.06	0.63	2.13						
000292xa	0.33	1.06	0.42	2.01	0.71	2.40						
000473xa	0.42	1.36	0.33	1.60	0.47	1.60						
005272xa	0.41	1.31	0.38	1.82	0.59	1.98						
006332xa	0.44	1.42	0.37	1.79	0.53	1.79						
007142ya	0.39	1.23	0.40	1.91	0.59	1.99						
000046xa	0.57	1.84	0.36	1.74	0.43	1.46						
media	0.43	1.36	0.38	1.85	0.57	1.91						
So	0.31	2.00	0.21	3.10	0.30	3.60						

Riferimento accelerogramma	PGA a To secondo la modellazione STRATA		Rapporto PGA/PGAo con PGAo secondo NTC2018 e DGR 630 / 2019
000055xa	0.315	1.406	
000292xa	0.232	1.035	
000473xa	0.321	1.433	
005272xa	0.335	1.494	
006332xa	0.353	1.578	
007142ya	0.276	1.231	
000046xa	0.381	1.702	
media	0.316	1.410	
PGAo	0.224		

Grafici degli spettri elastici di confronto ed il grafico delle amplificazioni SI / SI0 per ogni intervallo dT considerato nella sopra citata integrazione.



**MODELLO STRATA Se/g (T) = Sa (T) : ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE  
per 7 tracce**

T (sec)	000055xa	000292xa	000473xa	005272xa	006332xa	007142ya	000046xa	mediana	media	Stdev (σ)	media + σ	90° percentile
0.0100	0.31498937	0.23190127	0.32096185	0.334728533	0.353400851	0.275655294	0.379875837	0.321	0.316	0.049	0.365	0.364
0.0110	0.31509855	0.23195055	0.32105634	0.334853636	0.353538628	0.275726284	0.380000921	0.321	0.316	0.049	0.365	0.364
0.0122	0.31523033	0.23201315	0.32117169	0.33500897	0.353706504	0.275612931	0.380174722	0.321	0.316	0.049	0.365	0.364
0.0134	0.31539068	0.23208956	0.32131252	0.33519835	0.353911126	0.275918725	0.380362179	0.321	0.316	0.049	0.366	0.364
0.0148	0.3155865	0.23218284	0.32142087	0.335429621	0.354160636	0.276047949	0.380591068	0.321	0.316	0.049	0.366	0.365
0.0164	0.31582574	0.23229676	0.32162853	0.335712179	0.354431986	0.276205877	0.380870784	0.322	0.317	0.049	0.366	0.365
0.0181	0.31611819	0.23243594	0.32188255	0.336057601	0.354804589	0.276399014	0.381212969	0.322	0.317	0.050	0.367	0.365
0.0199	0.31647593	0.23260608	0.32219339	0.336480177	0.35525919	0.276644489	0.381632128	0.322	0.317	0.050	0.367	0.366
0.0220	0.31691391	0.23283185	0.32258509	0.337051506	0.355814057	0.276936096	0.382146424	0.323	0.318	0.050	0.368	0.366
0.0243	0.31739379	0.23308766	0.32306785	0.337695336	0.356491466	0.277293287	0.382802221	0.323	0.318	0.050	0.368	0.367
0.0268	0.31806557	0.233401	0.32365801	0.338485178	0.357318444	0.277731353	0.383584998	0.324	0.319	0.050	0.369	0.368
0.0296	0.31888913	0.23378551	0.32398738	0.339455776	0.358326098	0.278269496	0.384552705	0.324	0.320	0.050	0.370	0.369
0.0327	0.31989915	0.23425904	0.32485391	0.34065144	0.359360774	0.27892987	0.385755258	0.325	0.321	0.051	0.371	0.370
0.0361	0.32113481	0.23485264	0.32594957	0.342118008	0.360778535	0.279745532	0.387264041	0.326	0.322	0.051	0.373	0.371
0.0398	0.32266037	0.23564767	0.32733065	0.34381326	0.362579145	0.281020396	0.389266258	0.327	0.323	0.051	0.375	0.373
0.0439	0.32458758	0.23651023	0.32905704	0.345566515	0.36563152	0.282658963	0.393819606	0.329	0.325	0.052	0.378	0.377
0.0485	0.32700599	0.23772149	0.33137044	0.347442219	0.369049145	0.283437277	0.400182815	0.331	0.328	0.054	0.382	0.382
0.0535	0.33043664	0.23870187	0.3338295	0.352968286	0.372510175	0.284906111	0.399934663	0.334	0.330	0.054	0.385	0.383
0.0590	0.33519036	0.23984189	0.33698728	0.357993699	0.375882334	0.289241962	0.406620443	0.337	0.335	0.055	0.390	0.388
0.0652	0.34183081	0.23922566	0.34011682	0.365769196	0.384473461	0.297549003	0.408040305	0.342	0.340	0.057	0.396	0.394
0.0719	0.35150981	0.24721329	0.34533061	0.374865905	0.406879157	0.304765681	0.414951913	0.352	0.349	0.059	0.408	0.410
0.0794	0.36137774	0.25515494	0.35153998	0.386882369	0.430769348	0.313680313	0.415811365	0.361	0.359	0.061	0.420	0.422
0.0876	0.37773018	0.2795126	0.35935514	0.398845963	0.44931016	0.311835067	0.450011829	0.378	0.375	0.065	0.440	0.450
0.0967	0.40180827	0.3036782	0.38068474	0.398842239	0.451296332	0.339807045	0.484153673	0.399	0.394	0.062	0.456	0.464
0.1067	0.41241204	0.33310413	0.38485717	0.428627634	0.488903584	0.369794583	0.50714935	0.412	0.418	0.063	0.481	0.496
0.1178	0.42659057	0.30072664	0.39670976	0.480588732	0.5577235	0.416427221	0.529129823	0.427	0.444	0.087	0.531	0.541
0.1300	0.48654394	0.29448498	0.50784107	0.483333284	0.567583795	0.435064057	0.565261937	0.487	0.477	0.093	0.570	0.566
0.1435	0.5130082	0.30912548	0.48210083	0.755147915	0.699336283	0.521155866	0.58358458	0.521	0.552	0.147	0.699	0.722
0.1583	0.55828964	0.42628194	0.56716652	0.616258275	0.833859972	0.565993682	0.782375741	0.567	0.621	0.141	0.762	0.803
0.1747	0.60808586	0.48075669	0.83099216	0.788546359	0.767319177	0.57992946	1.095923011	0.767	0.736	0.203	0.939	0.937
0.1929	0.58287901	0.55214231	1.09058827	0.783519967	0.805141783	0.695647598	1.188551824	0.784	0.814	0.243	1.057	1.130
0.2128	0.74286018	0.70773876	1.21126897	0.837708397	0.815275391	0.730144425	1.428539686	0.815	0.924	0.280	1.204	1.297
0.2349	0.76976347	0.59289396	0.84910384	0.664600971	0.840581178	0.699007852	1.848103498	0.770	0.895	0.430	1.325	1.249
0.2593	1.07074593	0.50471768	0.64967666	0.664913465	0.799985066	0.595680734	1.371948061	0.665	0.808	0.308	1.116	1.191
0.2861	0.75018833	0.48261761	0.75378815	0.478128886	0.747739512	0.498108361	0.814443285	0.748	0.646	0.152	0.798	0.778
0.3158	0.69285736	0.46078892	0.6029681	0.449383878	0.751057649	0.539744708	0.623250724	0.603	0.589	0.113	0.702	0.716
0.3486	0.74209597	0.45120769	0.58382966	0.460833776	0.631345047	0.545134114	0.683180757	0.584	0.585	0.109	0.694	0.707
0.3847	0.72755418	0.64499063	0.69891888	0.432768436	0.492269326	0.730472018	0.8730119	0.699	0.657	0.151	0.808	0.787
0.4246	0.66755723	0.77357344	0.68601479	0.60178219	0.449534595	0.701284094	0.72706331	0.686	0.658	0.106	0.764	0.746
0.4686	0.75439385	0.78734169	0.59761267	0.72721389	0.563721425	0.418708696	0.49285822	0.598	0.620	0.140	0.760	0.768
0.5172	0.85034175	0.64471452	0.5611217	0.689057299	0.606513009	0.421777793	0.474289309	0.607	0.607	0.142	0.749	0.754
0.5708	0.5775749	0.59998874	0.40529762	0.529856038	0.569954247	0.345157479	0.58135507	0.551	0.511	0.097	0.608	0.587
0.6300	0.37371558	0.52556614	0.41364113	0.43978262	0.398962399	0.372691574	0.607355127	0.414	0.447	0.088	0.535	0.558
0.6953	0.38515385	0.45691835	0.28349017	0.351649094	0.427801183	0.436876306	0.544071652	0.428	0.412	0.083	0.495	0.492
0.7674	0.43819963	0.3422853	0.3354301	0.28141444	0.379360558	0.39270299	0.399350588	0.379	0.367	0.051	0.418	0.415
0.8469	0.40304652	0.347141	0.34979884	0.373446126	0.341679721	0.555764905	0.311806117	0.350	0.383	0.081	0.464	0.464
0.9347	0.37077164	0.35077518	0.29004468	0.398910519	0.328474218	0.405962334	0.234140602	0.351	0.340	0.062	0.401	0.402
1.0316	0.34981189	0.38141235	0.23197527	0.264059002	0.24387725	0.287814212	0.167316164	0.264	0.275	0.073	0.348	0.362
1.1386	0.28085475	0.2923035	0.18398606	0.278151009	0.233528642	0.297527716	0.132024995	0.278	0.243	0.063	0.306	0.294
1.2566	0.24214368	0.38665257	0.15501734	0.251125751	0.214152379	0.244069127	0.098642213	0.242	0.227	0.090	0.317	0.305
1.3869	0.21952378	0.40051464	0.1620825	0.263002143	0.174916841	0.197684815	0.076966027	0.198	0.214	0.100	0.314	0.318
1.5307	0.18490785	0.30658766	0.1531993	0.195390757	0.139976284	0.187298221	0.059890063	0.185	0.175	0.074	0.249	0.240
1.6894	0.14357912	0.23769193	0.14445708	0.176885616	0.136078269	0.184031374	0.042795801	0.144	0.152	0.060	0.212	0.205
1.8645	0.11417061	0.26273399	0.12824795	0.197542025	0.119812867	0.168187972	0.033372205	0.128	0.146	0.072	0.219	0.224
2.0578	0.0910945	0.27171919	0.10451638	0.140543115	0.089241656	0.158794037	0.02649633	0.105	0.126	0.077	0.203	0.204
2.2711	0.06835451	0.19604538	0.0806675	0.101288842	0.074745549	0.150419735	0.020472835	0.081	0.099	0.058	0.157	0.169
2.5066	0.06078049	0.13372848	0.07092391	0.092464893	0.055201325	0.137581573	0.016258681	0.071	0.081	0.044	0.125	0.135
2.7665	0.04598557	0.12756765	0.05908388	0.100630786	0.037601455	0.108936329	0.012818566	0.059	0.070	0.042	0.113	0.116
3.0533	0.04032387	0.09528742	0.0494812	0.072129498	0.027162621	0.071926038	0.01042535	0.049	0.052	0.029	0.082	0.081
3.3698	0.03406011	0.09457358	0.04109082	0.072281035	0.02138516	0.049801564	0.008500768	0.041	0.046	0.030	0.076	0.081
3.7192	0.03010002	0.10060103	0.0291951	0.069906174	0.019729193	0.054748436	0.00679244	0.030	0.044	0.033	0.077	0.082
4.1048	0.02307482	0.06495633	0.02085567	0.063578771	0.01624059	0.043751654	0.005560166	0.023	0.034	0.024	0.058	0.064
4.5303	0.01465048	0.03204122	0.01535627	0.038794839	0.011614667	0.025189232	0.00451106	0.015	0.020	0.012	0.032	0.035
5.0000	0.01111468	0.02170863	0.01157484	0.023710324	0.00804448	0.016294518	0.003667422	0.012	0.014	0.007	0.021	0.023

# **ALLEGATI**









50 m

CPTU 1 + cono sismico

Tromino

CPTU 2

CPTU 3

Google Earth

© 2020 Google



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

Falda  
1.40 m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
31-gen-2020  
31-gen-2020

## CPTU

1

Profondità  
(m)

Attrito Laterale corretto FT (MPa)

Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)

Resistenza alla Punta Qc (MPa)

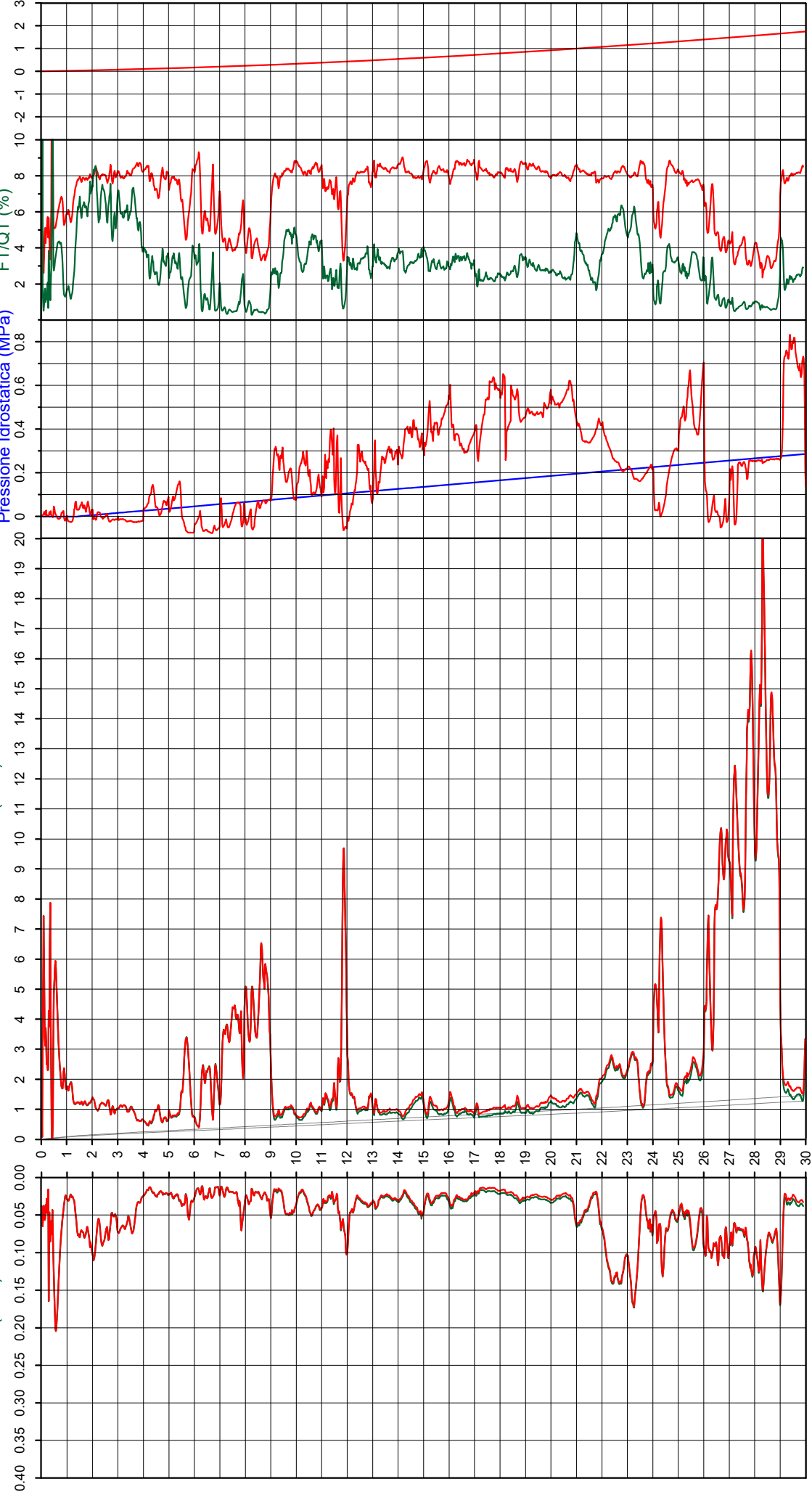
Pressione Interstiziale  
Penetrometrica (MPa)

Indice di Comportamento Ic

FT/QT (%)

Pressione Idrostatica (MPa)

Deviiazione (m)



CPTU

1

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

11 marzo 2020  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Fusignano  
1.40



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

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

www.geo55.com

Vs30
154

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia)	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 m/sec
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	Robertson 1990		m			Consistenza (Argilla)	%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	
35.7	60.7	0.47	13.0	2.62	terreni duri a grana fine	0.10			fortemente sovraconsolidato			1.49	766.99	152.4	217
37.6	64.0	0.59	1.6	2.20	sabbia limosa-limo sabbioso	0.40			Mediamente Addensata	52.3	42.2			140.8	168
17.3	29.4	0.84	240.2	4.12	terreni organici-torbe	0.50	-		Plastica			0.97	47.47	7.0	389
46.6	79.1	1.74	3.8	2.40	sabbia limosa-limo sabbioso	0.70			Mediamente Addensata	59.3	41.2			269.9	213
21.4	36.3	0.91	4.3	2.66	limo argilloso-argilla limosa	0.80			Solido-plastica (Duro)			1.12	34.45	123.4	172
18.4	31.3	0.32	1.8	2.45	sabbia limosa-limo sabbioso	1.20			Sciolta	28.7	35.5			71.2	139
12.5	21.2	0.72	6.0	2.91	limo argilloso-argilla limosa	2.10		H2O	Plastica			0.77	11.34	70.2	152
11.3	19.2	0.76	7.0	3.01	argilla-argilla limosa	2.70			Plastica			0.72	6.52	62.6	153
9.6	16.3	0.54	6.0	3.01	argilla-argilla limosa	3.00			Molle-plastica (Soffice)			0.63	5.21	54.1	141
10.3	17.4	0.65	6.8	3.03	argilla-argilla limosa	3.70			Plastica			0.67	5.25	57.0	146
6.4	10.8	0.32	5.7	3.13	argilla-argilla limosa	4.00			Molle-plastica (Soffice)			0.45	2.92	43.4	120
5.7	9.7	0.18	3.6	3.05	argilla-argilla limosa	4.40			Molle-plastica (Soffice)			0.41	2.50	35.2	106
9.4	15.5	0.22	2.6	2.80	limo argilloso-argilla limosa	4.70			Molle-plastica (Soffice)			0.62	3.58	46.8	119
7.3	11.9	0.22	3.5	2.98	argilla-argilla limosa	5.30			Molle-plastica (Soffice)			0.51	2.26	42.6	115
10.2	15.5	0.28	3.1	2.85	limo argilloso-argilla limosa	5.50			Plastica			0.66	2.95	61.4	127
26.5	36.3	0.37	1.6	2.37	sabbia limosa-limo sabbioso	5.80			Sciolta	33.5	34.6			98.0	154
16.1	22.7	0.40	2.7	2.69	limo argilloso-argilla limosa	5.90			Plastica			0.93	5.29	85.3	148
6.0	9.0	0.22	4.6	3.15	argilla-argilla limosa	6.20			Molle-plastica (Soffice)			0.43	2.44	38.8	110
19.4	25.8	0.22	1.5	2.46	sabbia limosa-limo sabbioso	6.70			Sciolta	22.3	32.8			69.4	139
11.3	15.3	0.24	3.0	2.84	limo argilloso-argilla limosa	6.80			Plastica			0.72	3.32	65.1	133
19.1	24.7	0.15	1.0	2.40	sabbia limosa-limo sabbioso	7.10			Sciolta	20.8	32.6			61.9	132
37.3	44.6	0.28	0.8	2.12	sabbia limosa-limo sabbioso	8.00			Mediamente Addensata	40.4	35.7			118.3	159
46.2	52.1	0.26	0.6	2.02	sabbia-sabbia limosa	9.00			Mediamente Addensata	45.5	36.5			142.7	164
15.5	17.7	0.38	2.8	2.79	limo argilloso-argilla limosa	9.10			Plastica			0.90	3.54	83.1	151
8.5	9.7	0.18	2.6	2.97	argilla-argilla limosa	9.50			Molle-plastica (Soffice)			0.57	1.74	42.8	118
10.7	11.8	0.46	5.1	3.08	argilla-argilla limosa	9.90			Plastica			0.69	2.25	60.8	145
8.0	8.7	0.25	4.0	3.11	argilla-argilla limosa				Molle-plastica (Soffice)			0.55	1.78	46.3	123

CPTU

1

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

11 marzo 2020  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Fusignano  
1.40



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

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

www.geo55.com

Vs30
154

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia)	Densità Relativa	Angolo Attrito ↓	Coesione non drenato Cu	OCR	Modulo Edometrico M	Velocità Vs
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	Robertson 1990	basato su Fr vs Qc1N	m			Consistenza (Argilla)	Tatsuoka 1990	Kulhawy & Mayne 1990	Benassi	Marchi / SGT	Benassi	Robertson & Cabal 2009
										%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
						10.40	== == == ==								
10.3	10.7	0.41	4.9	3.09	argilla-argilla limosa	11.00	== == == ==		Plastica	.	.	0.67	1.99	58.9	142
13.3	13.4	0.28	2.5	2.85	limo argilloso-argilla limosa	11.60	== == == ==		Plastica	.	.	0.81	2.33	66.1	141
22.6	22.3	0.40	1.9	2.61	limo argilloso-argilla limosa	11.70	== == == ==		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.16	4.11	91.5	163
30.3	29.8	0.61	2.5	2.58	sabbia limosa-limo sabbioso	11.80	== == == ==		Scioltissima	27.1	33.8	.	.	147.6	188
73.0	71.8	0.78	1.3	2.07	sabbia limosa-limo sabbioso	12.00	== == == ==		Mediamente Addensata	56.1	38.0	.	.	250.3	214
16.8	16.1	0.53	3.6	2.88	limo argilloso-argilla limosa	12.30	== == == ==		Plastica	.	.	0.96	3.73	97.9	162
11.3	10.5	0.33	3.7	3.03	argilla-argilla limosa	13.20	== == == ==		Plastica	.	.	0.72	1.81	65.9	142
9.3	8.1	0.26	3.7	3.12	argilla-argilla limosa	14.30	== == == ==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.62	1.46	54.0	131
12.9	10.9	0.36	3.5	3.00	argilla-argilla limosa	15.00	== == == ==		Plastica	.	.	0.79	1.48	75.4	148
9.6	7.9	0.27	3.9	3.14	argilla-argilla limosa	15.20	== == == ==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.63	1.45	55.9	134
11.8	9.6	0.28	3.1	3.03	argilla-argilla limosa	15.60	== == == ==		Plastica	.	.	0.74	1.93	68.9	141
9.8	7.8	0.22	3.1	3.09	argilla-argilla limosa	15.80	== == == ==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.64	1.36	58.8	130
12.3	9.7	0.29	3.1	3.02	argilla-argilla limosa	16.20	== == == ==		Plastica	.	.	0.76	1.40	73.6	142
9.6	7.3	0.26	3.9	3.17	argilla-argilla limosa	17.00	== == == ==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.63	1.28	55.6	133
10.9	8.2	0.19	2.5	3.03	argilla-argilla limosa	17.10	== == == ==		Plastica	.	.	0.70	1.41	53.2	132
9.3	6.9	0.15	2.4	3.08	argilla-argilla limosa	17.60	== == == ==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.62	1.21	43.7	122
10.5	7.6	0.18	2.4	3.04	argilla-argilla limosa	18.60	== == == ==		Plastica	.	.	0.68	1.23	49.5	129
12.6	9.0	0.27	2.9	3.03	argilla-argilla limosa	18.80	== == == ==		Plastica	.	.	0.78	1.58	72.4	144
11.2	7.7	0.25	3.3	3.11	argilla-argilla limosa	19.90	== == == ==		Plastica	.	.	0.71	1.19	65.1	138
13.4	9.0	0.25	2.6	3.00	argilla-argilla limosa		== == == ==		Plastica	.	.	0.82	1.56	67.5	145



Vs30
154

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 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	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm <sup>q</sup>		daN/cm <sup>q</sup>	%	Robertson 1990		m				%		daN/cm <sup>q</sup>		daN/cm <sup>q</sup>	
						20.90	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
15.1		9.8	0.41	3.5	3.04	argilla-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Plastica	.	.	0.89	1.54	88.0	159
						21.90	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
24.4		15.7	1.21	5.9	3.02	argilla-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.21	2.00	137.7	210
						23.40	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
14.7		8.7	0.48	4.3	3.15	argilla-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Plastica	.	.	0.87	1.82	84.5	160
						23.70	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
23.0		14.0	0.61	3.2	2.90	limo argilloso-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.17	1.92	134.0	187
						24.00	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
49.9		33.6	0.79	1.9	2.45	sabbia limosa-limo sabbioso	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Sciolta	31.0	34.7	.	.	200.2	217
						24.50	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
16.9		9.6	0.51	4.1	3.09	argilla-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Plastica	.	.	0.96	1.71	97.8	172
						25.20	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
23.5		13.6	0.63	3.3	2.91	limo argilloso-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.19	1.80	137.3	189
						26.00	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
55.2		35.8	0.85	1.8	2.41	sabbia limosa-limo sabbioso	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Sciolta	33.1	35.0	.	.	216.7	224
						26.20	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
40.3		24.6	0.97	2.9	2.68	limo argilloso-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.59	3.74	228.2	224
						26.40	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
79.8		54.7	0.97	1.3	2.18	sabbia limosa-limo sabbioso	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Mediamente Addensata	47.1	36.7	.	.	274.7	239
						26.60	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
101.2		72.7	0.81	0.8	1.97	sabbia-sabbia limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Mediamente Addensata	56.5	37.8	.	.	320.8	237
						26.70	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Mediamente Addensata	52.5	37.3	.	.	300.7	239
92.0		64.4	0.89	1.0	2.07	sabbia limosa-limo sabbioso	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
						27.10	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
100.3		71.1	0.70	0.8	1.96	sabbia-sabbia limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Mediamente Addensata	55.7	37.7	.	.	314.6	233
						27.70	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
149.4		116.1	1.11	0.8	1.79	sabbia-sabbia limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Addensata	71.9	39.5	.	.	469.0	258
						27.90	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
108.9		77.7	1.05	1.0	2.00	sabbia-sabbia limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Mediamente Addensata	58.7	38.0	.	.	354.7	250
						28.10	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
144.8		111.1	0.99	0.7	1.79	sabbia-sabbia limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Addensata	70.5	39.3	.	.	451.2	252
						28.80	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
93.3		63.1	1.10	1.5	2.14	sabbia limosa-limo sabbioso	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Mediamente Addensata	51.8	37.2	.	.	335.3	250
						29.00	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								
28.8		15.2	1.18	5.0	2.99	argilla-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.33	2.17	164.4	224
						29.10	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====		Plastica	.	.	0.97	1.40	82.6	161
17.2		8.3	0.29	2.4	3.01	argilla-argilla limosa	=====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====  =====								

Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falcone  
Localita' Fusignano  
Committente Comune di Fusignano  
Data 11-mar-20

Numero prova 1  
Quota falda 1.40

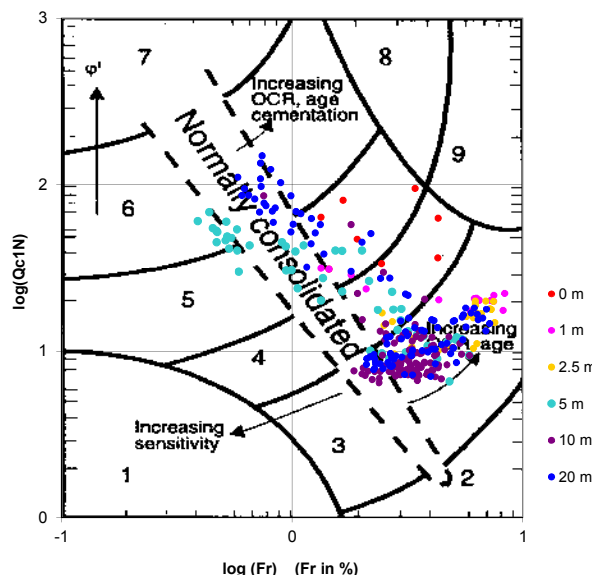


**Società di  
Geologia  
Territoriale**

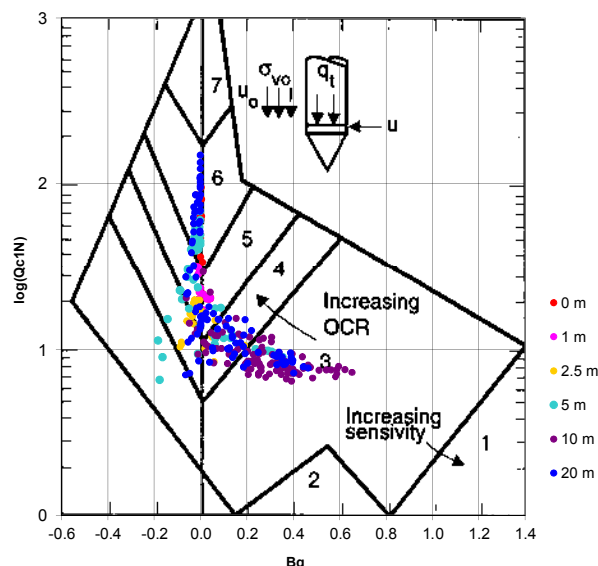
S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

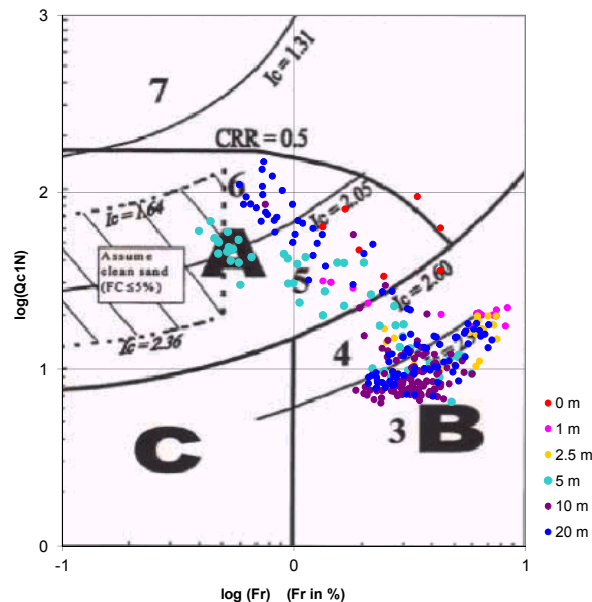
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)**



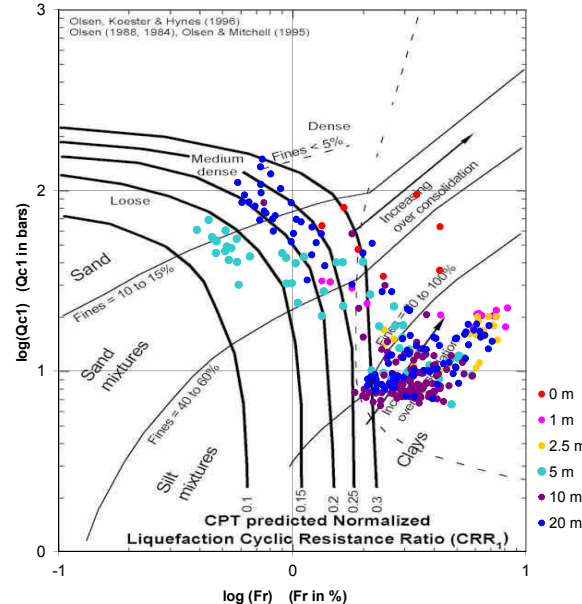
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)**



**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 limosa – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilità

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  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas.  
di Van Zulphen Albert & C.  
www.geo55.com

## CPTU

1

Profondità (m)

9.00

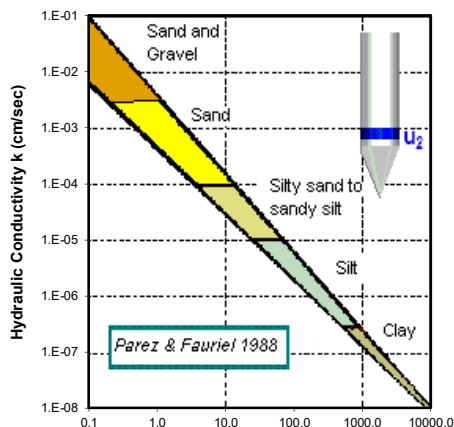
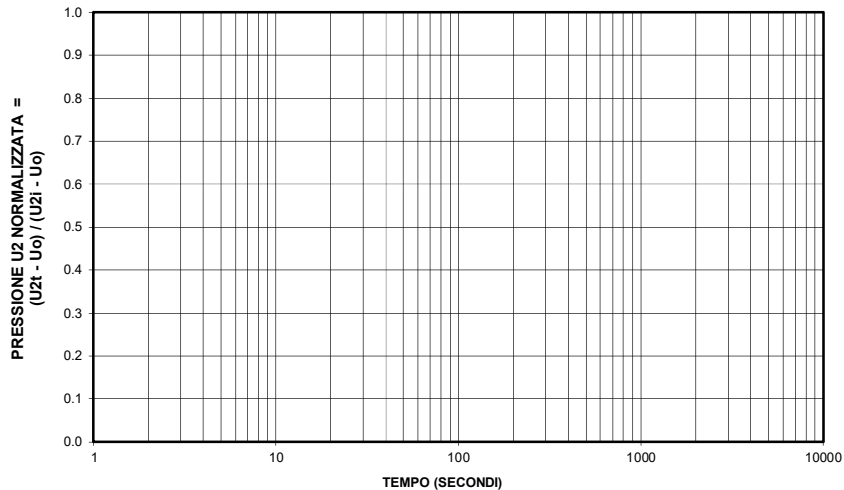
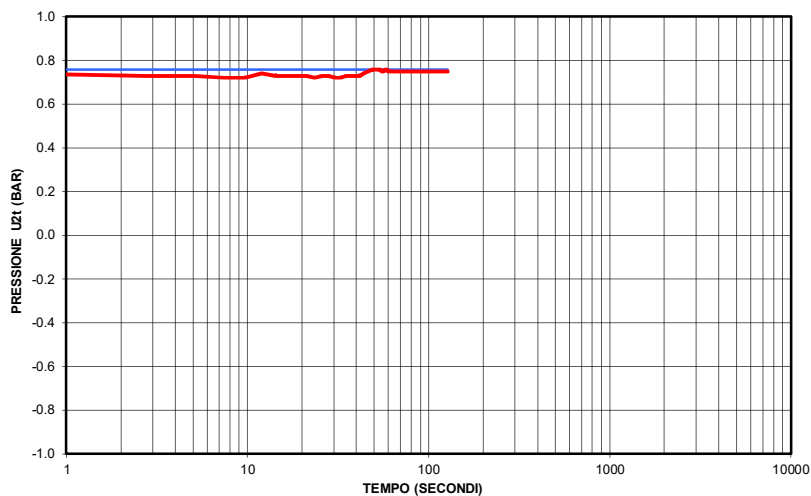
Tmax (sec)
48.9
Tmin (sec)
7.4

Profondità Falda m
1.40

Ultima lettura Uo oppure Ufalda (bar)
0.760

(Parez & Fauriel 1988)		
T50 (sec)	Permeabilità Kh (cm/sec)	Litologia
	non determinato	non determinato

T(sec.)	U2(bar)	T(sec)Umin=0	Uidro(bar)	Norm.U2
0.5	0.74	-48.4	0.760	32.500
2.8	0.73	-46.1	0.760	48.333
5.1	0.73	-43.8	0.760	48.333
7.4	0.72	-41.5	0.760	64.167
9.7	0.72	-39.2	0.760	64.167
12.0	0.74	-36.9	0.760	32.500
14.3	0.73	-34.6	0.760	48.333
16.6	0.73	-32.3	0.760	48.333
18.9	0.73	-30.0	0.760	48.333
21.2	0.73	-27.7	0.760	48.333
23.5	0.72	-25.4	0.760	64.167
25.8	0.73	-23.1	0.760	48.333
28.1	0.73	-20.8	0.760	48.333
30.4	0.72	-18.5	0.760	64.167
32.7	0.72	-16.2	0.760	64.167
35.0	0.73	-13.9	0.760	48.333
37.3	0.73	-11.6	0.760	48.333
39.6	0.73	-9.3	0.760	48.333
41.9	0.73	-7.0	0.760	48.333
44.2	0.74	-4.7	0.760	32.500
46.5	0.75	-2.4	0.760	16.667
48.9	0.76	0.0	0.760	1.000
51.2	0.76	2.3	0.760	1.000
53.5	0.76	4.6	0.760	1.000
55.8	0.75	6.9	0.760	16.667
58.1	0.76	9.2	0.760	1.000
60.4	0.75	11.5	0.760	16.667
62.7	0.75	13.8	0.760	16.667
65.0	0.75	16.1	0.760	16.667
67.3	0.75	18.4	0.760	16.667
127.9	0.75	79.0	0.760	16.667



### Tipologia di dissipazione

Burns & Maine 1998  
(Penetrometers for Soil Permeability and  
Chemical Detection;  
Georgia Institute of Technology;  
Report no. GIT-CEEEO-98-1)

Tipologia 4

T Umax / T 50

NA



Comune  
Via  
Località  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

Falda

1.40 m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
31-gen-2020  
31-gen-2020

CPTU

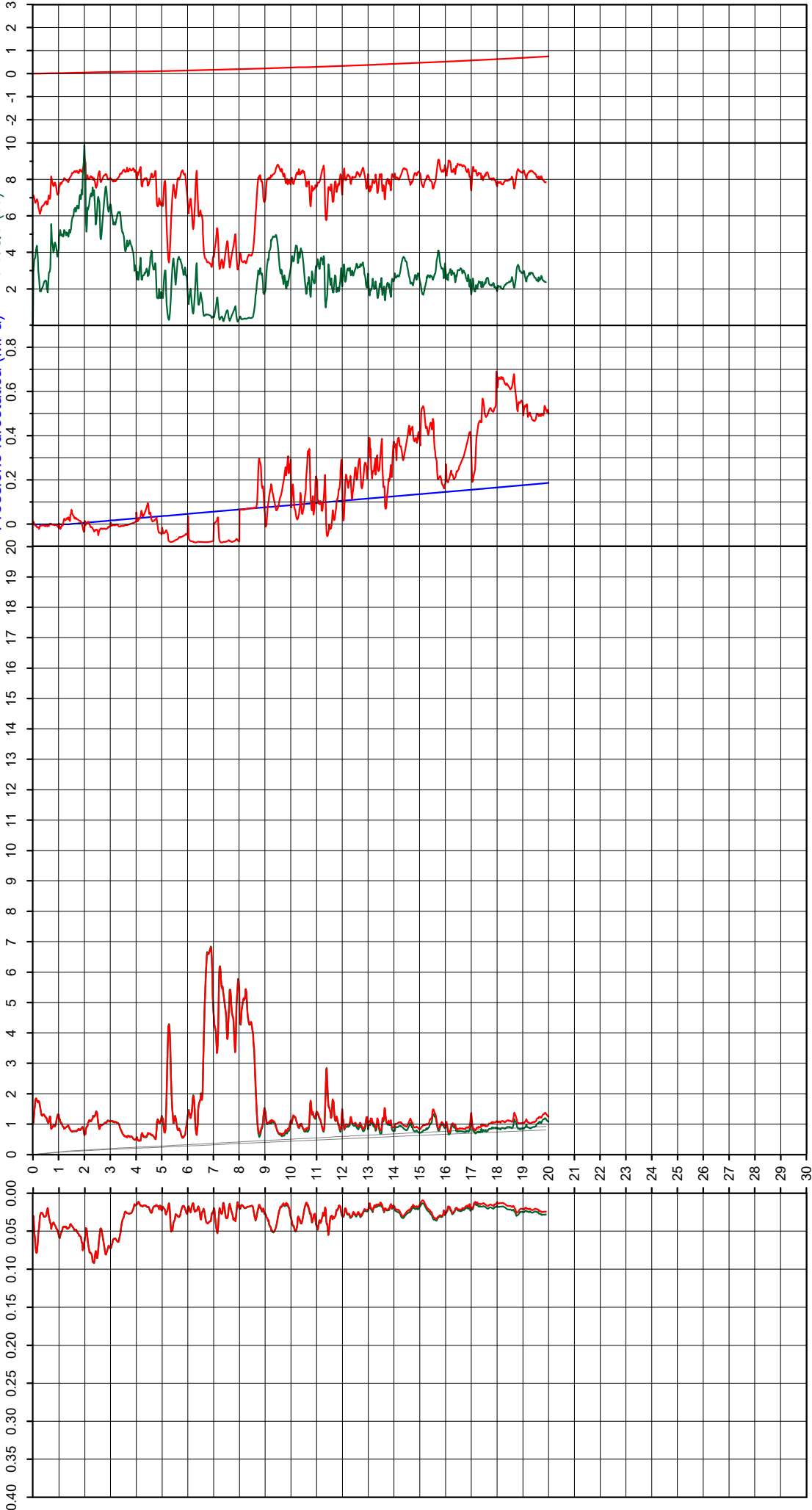
2

Profondità  
(m)

Attrito Laterale corretto FT (MPa)  
Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)  
Resistenza alla Punta Qc (MPa)

Pressione Interstiziale  
Penetrometrica (MPa)  
Pressione Idrostatica (MPa)  
Indice di Comportamento Ic  
FT/QT (%)  
Deviazione (m)



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

Falda

1.40 m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
31-gen-2020  
31-gen-2020

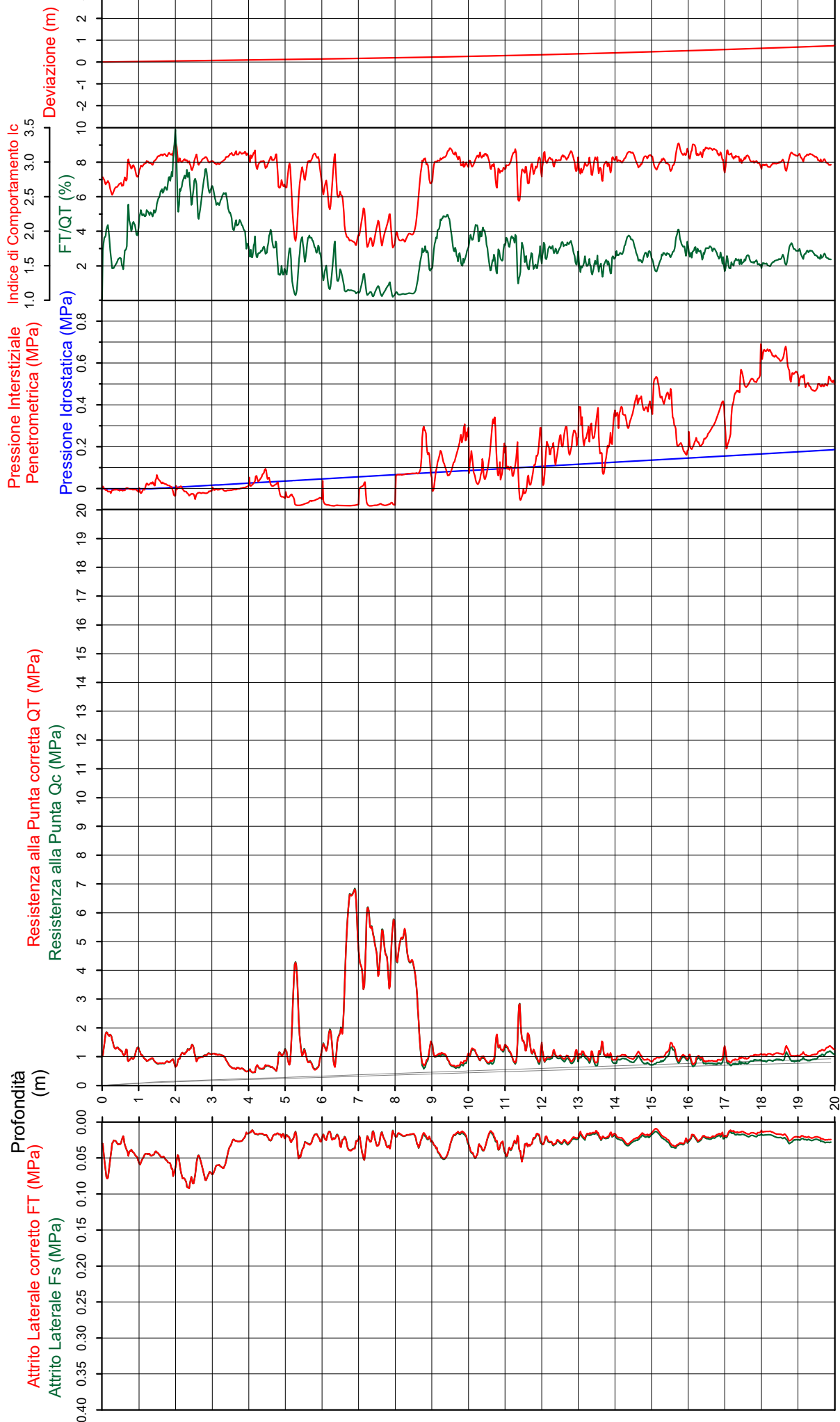
CPTU

2

Profondità  
(m)

Attrito Laterale corretto FT (MPa)  
Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)  
Resistenza alla Punta Qc (MPa)



Vs20
133

[illegible]



## CPTU

2

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

11 marzo 2020  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Fusignano  
1.40



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

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

www.geo55.com

Vs20
133

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 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	Coazione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	Robertson 19		m				%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	
11.3	12.3	0.42	4.4	3.02	argilla-argilla limosa	10.30	==		Plastica	.	.	0.72	2.41	65.1	144
8.9	9.5	0.25	3.5	3.04	argilla-argilla limosa	10.70	==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.59	1.95	51.8	126
13.6	14.2	0.34	3.0	2.87	limo argilloso-argilla limosa	11.10	==		Plastica	.	.	0.82	2.95	78.4	145
9.7	10.0	0.32	4.2	3.09	argilla-argilla limosa	11.30	==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.64	2.11	56.0	135
20.8	21.1	0.28	1.7	2.60	sabbia limosa-limo sabbioso	11.40	==		Sciolti	15.6	32.1	.	.	78.7	155
13.9	13.9	0.31	2.6	2.86	limo argilloso-argilla limosa	11.90	==		Plastica	.	.	0.84	3.34	71.4	142
10.0	9.6	0.26	3.4	3.04	argilla-argilla limosa	12.90	==		Plastica	.	.	0.65	1.88	58.3	133
10.5	9.5	0.18	2.3	2.95	limo argilloso-argilla limosa	14.10	==		Plastica	.	.	0.68	1.81	47.7	127
10.2	8.9	0.25	3.2	3.05	argilla-argilla limosa	14.70	==		Plastica	.	.	0.66	1.60	59.8	133
9.2	7.8	0.15	2.3	3.02	argilla-argilla limosa	15.30	==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.61	1.40	42.0	120
12.1	10.0	0.28	3.0	3.00	argilla-argilla limosa	15.70	==		Plastica	.	.	0.75	1.52	71.0	141
9.2	7.2	0.19	3.1	3.12	argilla-argilla limosa	17.70	==		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.61	1.21	55.5	125
10.8	8.0	0.15	1.9	2.98	argilla-argilla limosa	18.60	==		Plastica	.	.	0.69	1.29	44.0	126
12.7	9.3	0.18	1.9	2.92	limo argilloso-argilla limosa	18.70	==		Plastica	.	.	0.78	1.56	51.7	136
10.7	7.6	0.21	2.9	3.09	argilla-argilla limosa	19.50	==		Plastica	.	.	0.69	1.39	60.4	133
12.6	8.8	0.23	2.6	3.00	argilla-argilla limosa		==		Plastica	.	.	0.78	1.36	62.6	140

Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falcone  
Localita' Fusignano  
Committente Comune di Fusignano  
Data 11-mar-20

Numero prova 2  
Quota falda 1.40

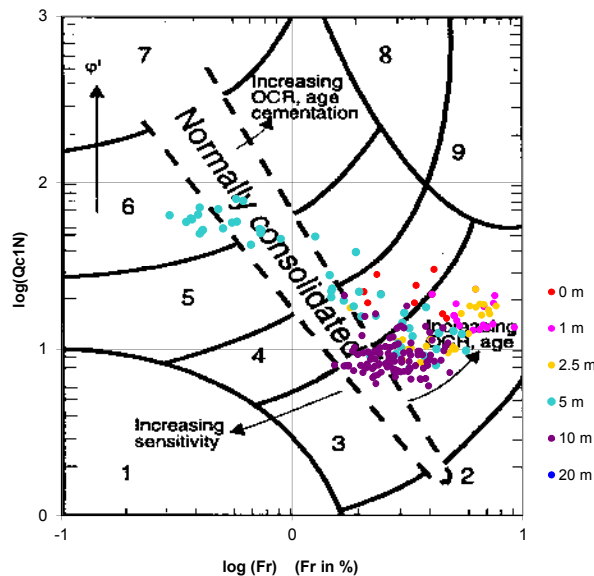


**Società di  
Geologia  
Territoriale**

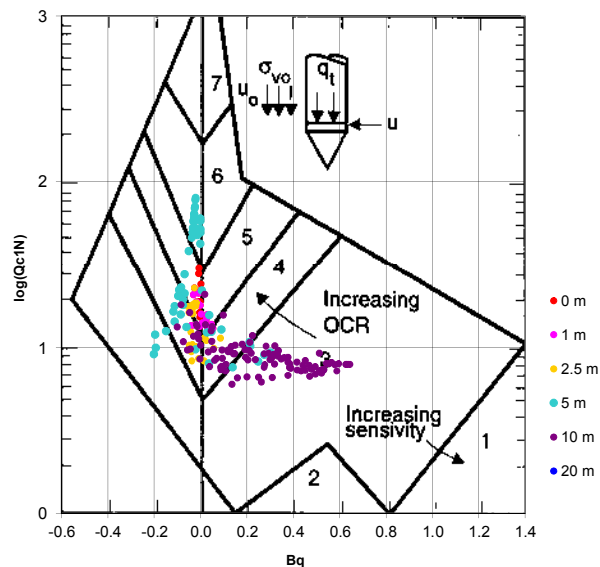
S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

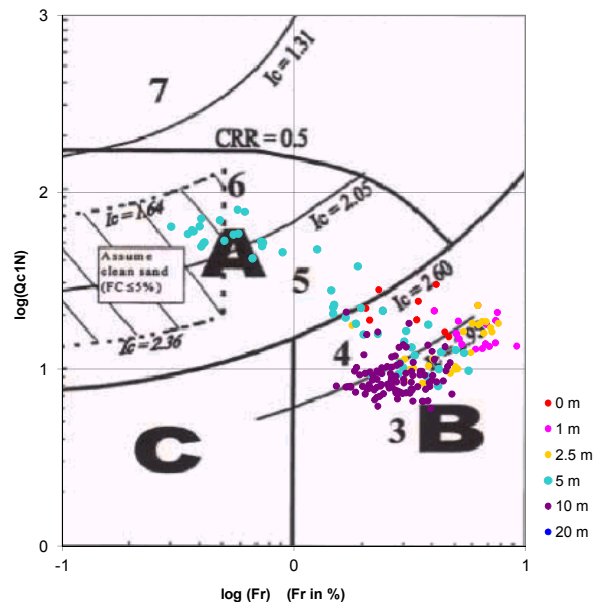
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)**



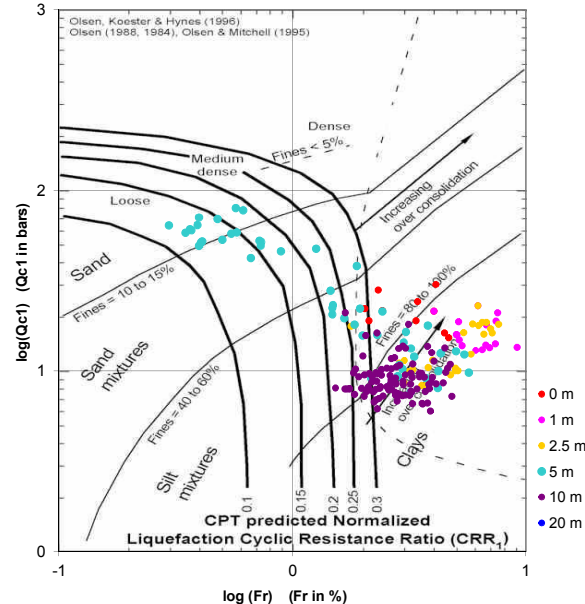
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)**



**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 limosa – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilità

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  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas.  
di Van Zulphen Albert & C.  
www.geo55.com

## CPTU

2

Profondità (m)

8.00

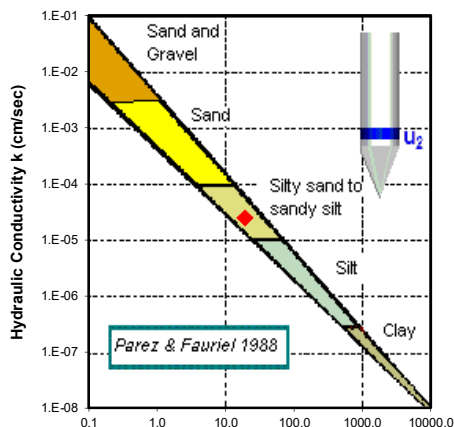
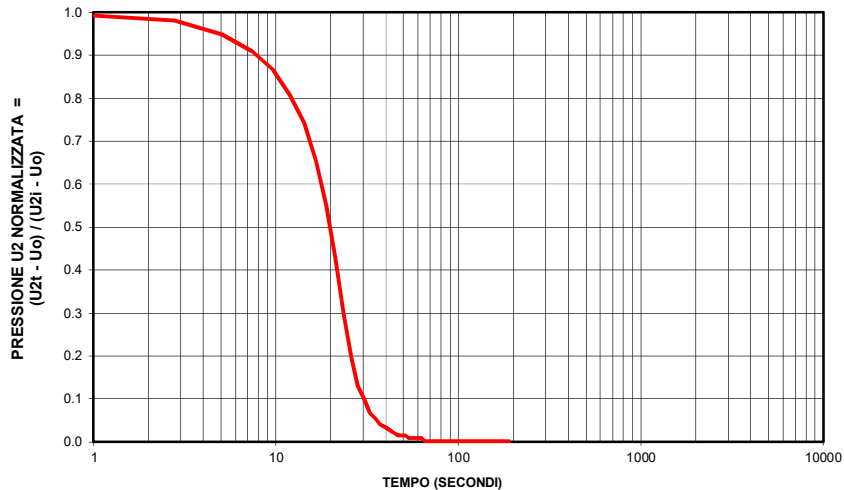
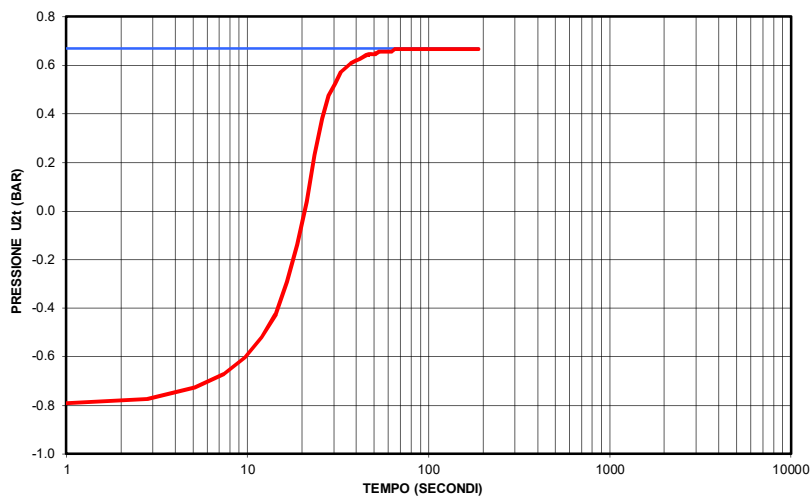
Tmax (sec)	65.0
Tmin (sec)	0.5

Profondita Falda m	1.30
--------------------------	------

Ultima lettura Uo oppure Ufalda (bar)	0.670
---	-------

(Parez & Fauriel 1988)		
T50 (sec)	Permeabilità Kh (cm/sec)	Litologia
19	2.47E-05	sabbia limosa a limo sabbioso

T(sec.)	U2(bar)	T(sec)Umin=0	Uidro(bar)	Norm.U2
0.5	-0.80	0.0	0.670	1.000
2.8	-0.77	2.3	0.670	0.981
5.1	-0.73	4.6	0.670	0.949
7.4	-0.67	6.9	0.670	0.910
9.7	-0.60	9.2	0.670	0.865
12.0	-0.52	11.5	0.670	0.807
14.3	-0.42	13.8	0.670	0.743
16.6	-0.29	16.1	0.670	0.652
18.9	-0.14	18.4	0.670	0.550
21.2	0.04	20.7	0.670	0.427
23.5	0.23	23.0	0.670	0.299
25.8	0.38	25.3	0.670	0.196
28.1	0.48	27.6	0.670	0.131
30.4	0.52	29.9	0.670	0.099
32.7	0.57	32.2	0.670	0.067
35.0	0.59	34.5	0.670	0.054
37.3	0.61	36.8	0.670	0.041
39.6	0.62	39.1	0.670	0.035
42.0	0.63	41.5	0.670	0.028
44.3	0.64	43.8	0.670	0.022
46.6	0.65	46.1	0.670	0.015
48.9	0.65	48.4	0.670	0.015
51.2	0.65	50.7	0.670	0.015
53.5	0.66	53.0	0.670	0.009
55.8	0.66	55.3	0.670	0.009
58.1	0.66	57.6	0.670	0.009
60.4	0.66	59.9	0.670	0.009
62.7	0.66	62.2	0.670	0.009
65.0	0.67	64.5	0.670	0.003
67.3	0.67	66.8	0.670	0.003
127.9	0.67	127.4	0.670	0.003
188.5	0.67	188.0	0.670	0.003



### Tipologia di dissipazione

Burns & Maine 1998  
(Penetrometers for Soil Permeability and  
Georgia Institute of Technology; Chemical Detection;  
Report no. GIT-CEEGEO-98-1)

Tipologia 4

$T_{Umax} / T_{50}$

NA

Comune  
Via  
Località  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

Falda  
foro chiuso a 0.50m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
31-gen-2020  
31-gen-2020

## CPTU

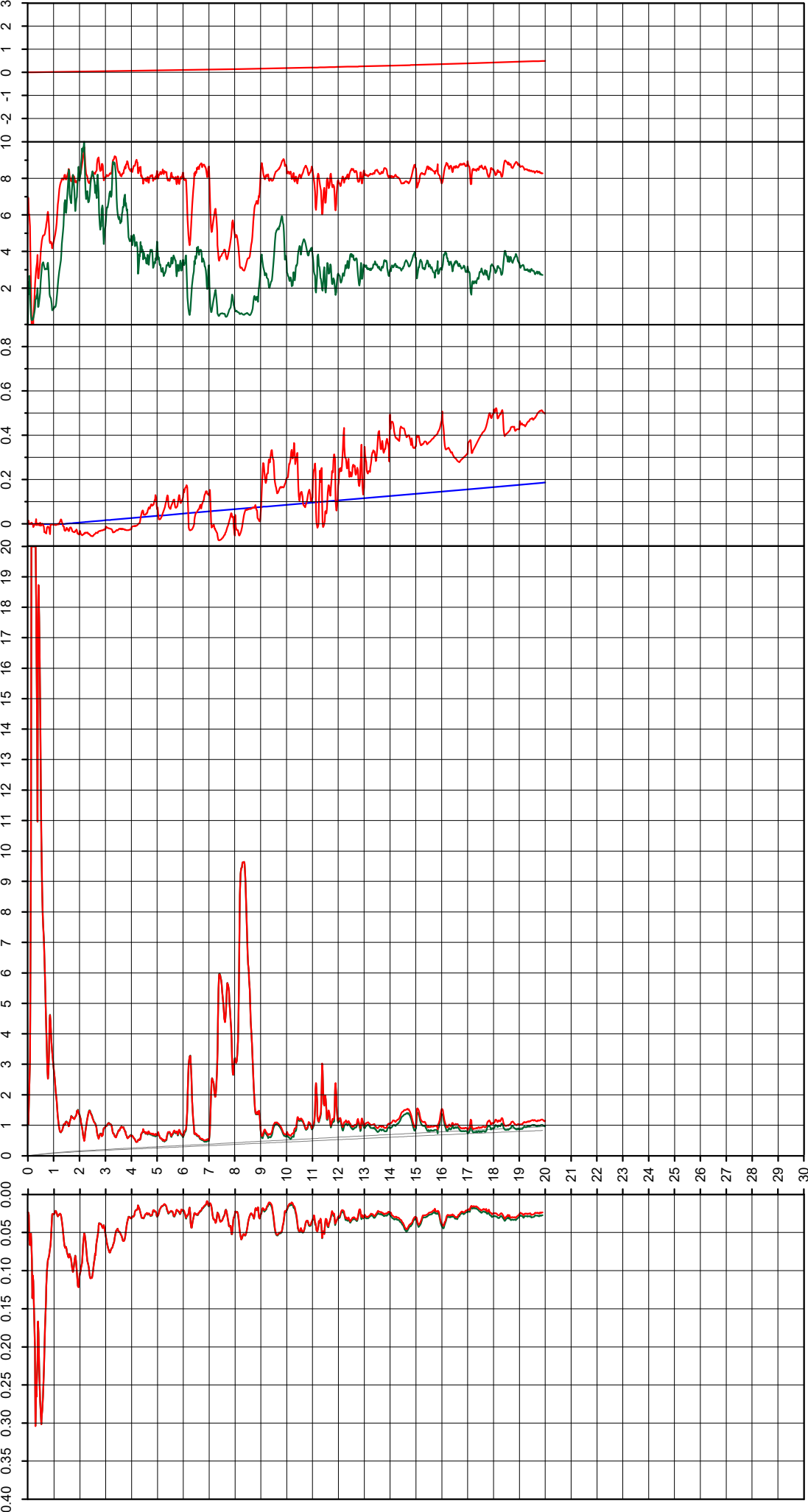
3

Profondità  
(m)

Attrito Laterale corretto FT (MPa)  
Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)  
Resistenza alla Punta Qc (MPa)

Pressione Interstiziale  
Penetrometrica (MPa)  
Pressione Idrostatica (MPa)  
Indice di Comportamento Ic  
FT/QT (%)  
Deviazione (m)





Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

Falda

foro chiuso a 0.50m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
31-gen-2020  
31-gen-2020

## CPTU

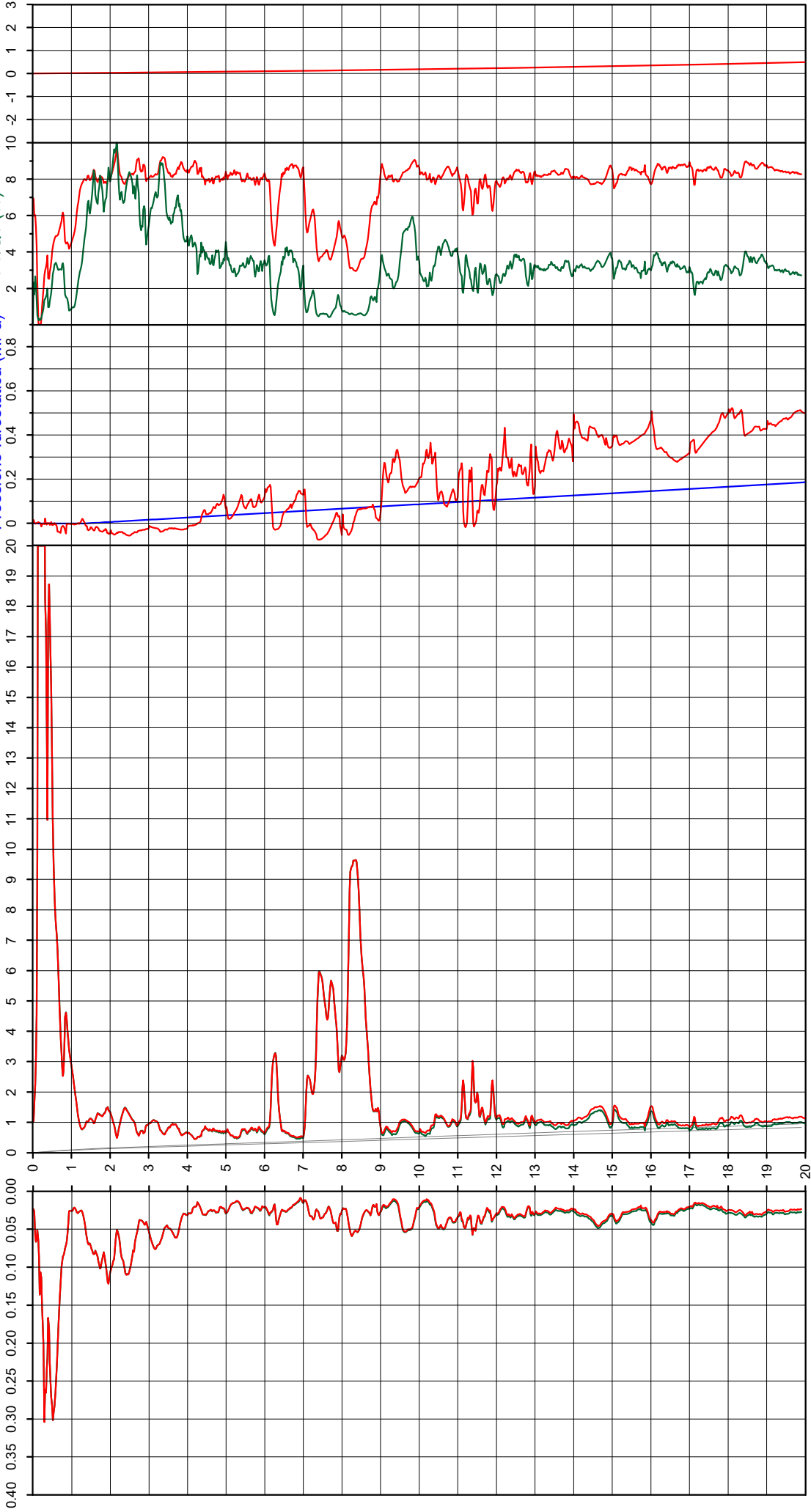
3

Profondità  
(m)

Attrito Laterale corretto FT (MPa)  
Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)  
Resistenza alla Punta Qc (MPa)

Pressione Interstiziale  
Penetrometrica (MPa)  
Pressione Idrostatica (MPa)  
Indice di Comportamento Ic  
FT/QT (%)  
Deviazione (m)



Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

11 marzo 2020  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Fusignano  
1.40

foro chiuso a 0.50m



Società di  
Geologia  
Territoriale

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

www.geo55.com

Vs20
138

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia)	Densità Relativa	Angolo Attrito ↓	Coesione non drenato Cu	OCR	Modulo Edometrico M	Velocità Vs
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	Robertson 19	basato su Fr vs Qc1N	m			Consistenza (Argilla)	Tatsuoka 1990	Kulhawy & Mayne 1990	Benassi	Marchi / SGT	Benassi	Robertson & Cabal 2009 m/sec
										%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	
25.0	42.5	0.48	2.0	2.43	sabbia limosa-limo sabbioso	0.10	=====		Mediamente Addensata	38.8	43.8	.	.	105.1	161
292.6	497.5	0.89	0.3	1.10	ghiaia-sabbia	0.20	o:::o:::o:::o:::o:::o		Molto addensato	>90	53.1	.	.	884.4	238
191.2	273.5	2.20	1.3	1.67	sabbia-sabbia limosa		=====		Molto addensato	>90	49.0	.	.	657.3	271
						0.50	=====								
88.7	146.7	2.79	3.2	2.16	sabbia densa a sabbia argillosa	0.60	UUUUUUUUUUUUUU		fortemente sovraconsolidato	79.7	44.3	.	.	518.0	256
37.5	63.7	0.81	2.0	2.24	sabbia limosa-limo sabbioso		=====		Mediamente Addensata	52.1	39.1	.	.	155.0	168
						1.10	=====								
11.4	19.4	0.73	6.6	2.97	argilla-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.72	10.78	63.7	149
						2.10	=====								
7.9	13.4	0.66	9.2	3.21	argilla-argilla limosa	2.30	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.54	3.99	41.2	143
12.8	21.8	0.99	8.0	3.01	argilla-argilla limosa	2.60	=====		Plastica	.	.	0.79	8.42	69.3	163
7.6	13.0	0.48	6.8	3.13	argilla-argilla limosa	3.00	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.53	4.66	42.4	133
10.3	17.4	0.69	7.1	3.04	argilla-argilla limosa	3.20	=====		Plastica	.	.	0.67	5.13	56.6	148
8.1	13.7	0.56	7.7	3.14	argilla-argilla limosa	3.80	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.55	4.15	43.8	137
6.2	10.6	0.32	5.8	3.15	argilla-argilla limosa	4.10	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.44	2.57	42.5	119
5.0	8.5	0.20	4.8	3.17	argilla-argilla limosa	4.30	=====		Fluido-plastica (Molto Soffice)	.	.	0.36	2.04	32.4	106
7.2	12.0	0.26	4.0	3.01	argilla-argilla limosa	4.90	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.50	2.37	41.9	117
6.1	9.8	0.19	3.6	3.06	argilla-argilla limosa	5.40	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.43	2.48	37.5	108
7.5	11.3	0.23	3.6	3.00	argilla-argilla limosa	6.10	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.52	2.53	43.9	118
22.1	29.2	0.30	1.8	2.48	sabbia limosa-limo sabbioso	6.40	=====		Sciolta	26.3	33.5	.	.	87.2	149
6.0	8.5	0.19	3.9	3.12	argilla-argilla limosa	7.00	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.43	2.26	37.7	109
19.8	25.1	0.26	1.4	2.50	sabbia limosa-limo sabbioso	7.30	=====		Sciolta	21.3	32.7	.	.	70.4	143
51.1	59.6	0.30	0.6	1.97	sabbia-sabbia limosa	7.80	=====		Mediamente Addensata	49.9	37.2	.	.	157.7	170
33.6	39.4	0.34	1.1	2.25	sabbia limosa-limo sabbioso	8.10	=====		Mediamente Addensata	36.2	35.1	.	.	110.4	162
76.7	84.1	0.45	0.6	1.85	sabbia-sabbia limosa	8.60	=====		Mediamente Addensata	61.3	38.9	.	.	236.5	191
27.9	31.5	0.26	1.1	2.35	sabbia limosa-limo sabbioso	8.80	=====		Sciolta	28.9	34.0	.	.	92.8	153
13.1	15.0	0.24	2.2	2.76	limo argilloso-argilla limosa	9.00	=====		Plastica	.	.	0.80	3.17	57.2	135
7.6	8.7	0.17	2.9	3.03	argilla-argilla limosa	9.50	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.52	1.51	42.2	115
10.7	11.9	0.48	5.3	3.09	argilla-argilla limosa	9.70	=====		Plastica	.	.	0.69	2.31	61.0	147
7.9	8.6	0.25	3.9	3.10	argilla-argilla limosa		=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.54	2.01	46.0	121

Vs20
138

qt	Qc1N	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990	H	Litologia grafica	Falda	Addensamento (Sabbia)	Densità Relativa	Angolo Attrito	Coesione non drenato Cu	OCR	Modulo Edometrico M	Velocità Vs
	Idriss & Boulanger 2004				basato su Fr vs Qc1N										
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	Robertson 1990		m		idrica	Consistenza (Argilla)	Tatsuoka 1990	Kulhavy & Mayne 1990	Benassi	Marchi / SGT	Benassi	Robertson & Cabal 2009
										%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
						10.40									
10.8	11.2	0.40	4.5	3.06	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.69	2.39	62.4	143
						11.10									
19.6	19.7	0.44	2.7	2.73	limo argilloso-argilla limosa	11.20			Plastica	.	.	1.06	3.69	103.7	163
11.9	11.9	0.38	3.8	3.00	argilla-argilla limosa	11.30			Plastica	.	.	0.74	2.22	68.8	145
20.1	19.9	0.45	2.6	2.72	limo argilloso-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.07	4.02	101.5	164
						11.50									
13.7	13.5	0.36	3.2	2.91	limo argilloso-argilla limosa				Plastica	.	.	0.83	2.59	80.2	149
						11.70									
14.2	13.8	0.28	2.4	2.84	limo argilloso-argilla limosa	11.90			Plastica	.	.	0.85	2.00	68.5	143
13.4	12.9	0.30	2.7	2.88	limo argilloso-argilla limosa	12.10			Plastica	.	.	0.81	2.59	70.4	144
10.5	9.7	0.28	3.4	3.04	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.68	1.67	61.2	136
						13.40									
9.5	8.3	0.24	3.4	3.10	argilla-argilla limosa				Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.62	1.49	55.2	131
						13.90									
11.3	9.8	0.28	3.1	3.02	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.72	1.60	66.3	139
						14.40									
14.7	12.5	0.40	3.3	2.94	limo argilloso-argilla limosa	14.70			Plastica	.	.	0.87	2.10	85.9	155
12.3	10.1	0.33	3.5	3.04	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.76	2.10	71.3	145
						15.40									
9.6	7.6	0.23	3.4	3.12	argilla-argilla limosa				Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.63	1.33	56.0	131
						15.80									
11.9	9.4	0.32	3.6	3.07	argilla-argilla limosa	16.20			Plastica	.	.	0.75	1.37	69.3	144
9.5	7.1	0.22	3.4	3.14	argilla-argilla limosa				Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.63	1.27	55.5	129
						17.70									
11.0	7.7	0.26	3.4	3.12	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.70	1.25	63.8	138

Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falcone  
Localita' Fusignano  
Committente Comune di Fusignano  
Data 11-mar-20

Numero prova 3  
Quota falda 1.40

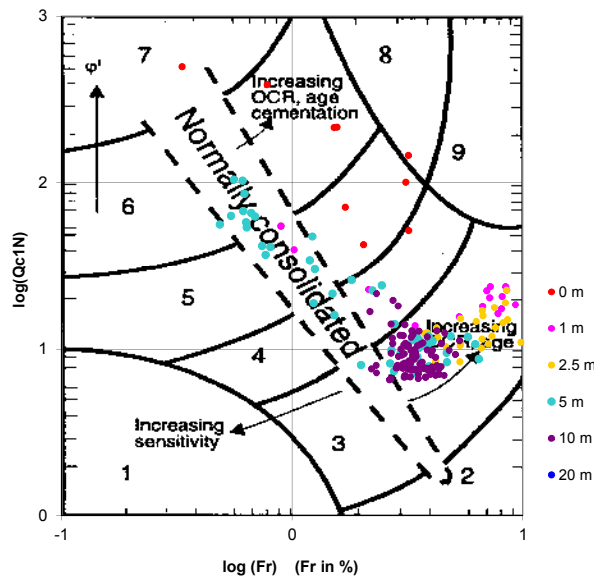


**Società di  
Geologia  
Territoriale**

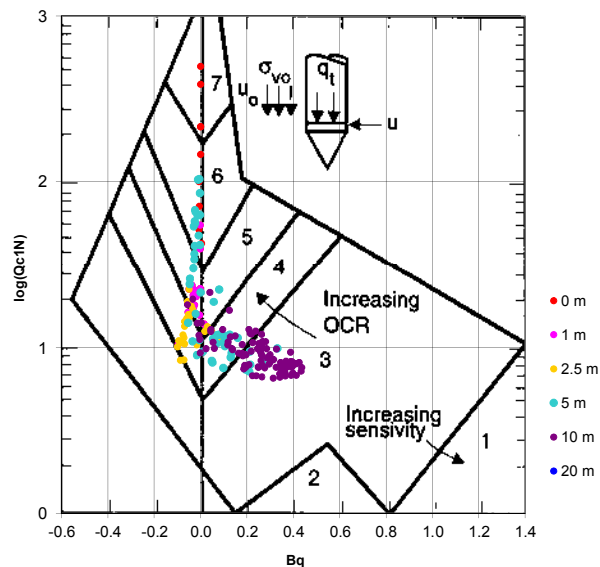
S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

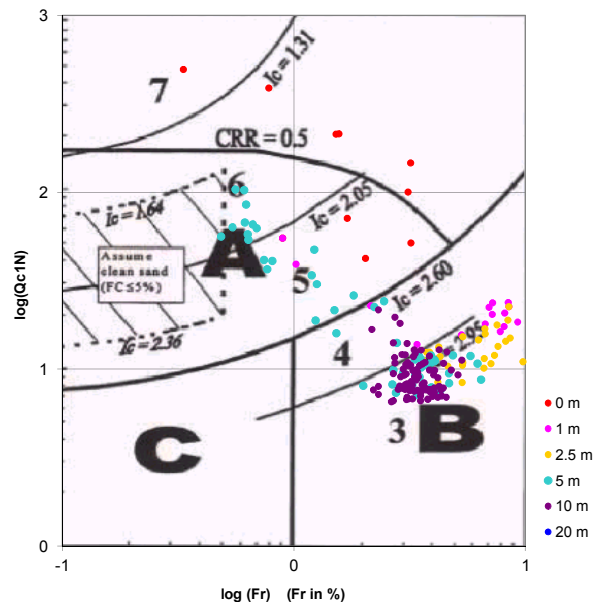
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)**



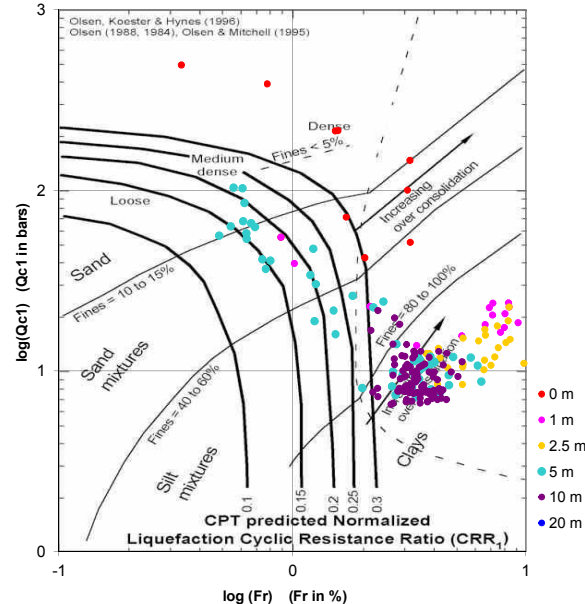
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)**



**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 limosa – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilità

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  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas.  
di Van Zulphen Albert & C.  
www.geo55.com

## CPTU

3

Profondità (m)

8.00

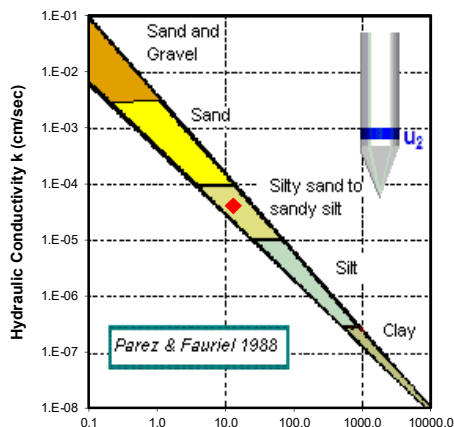
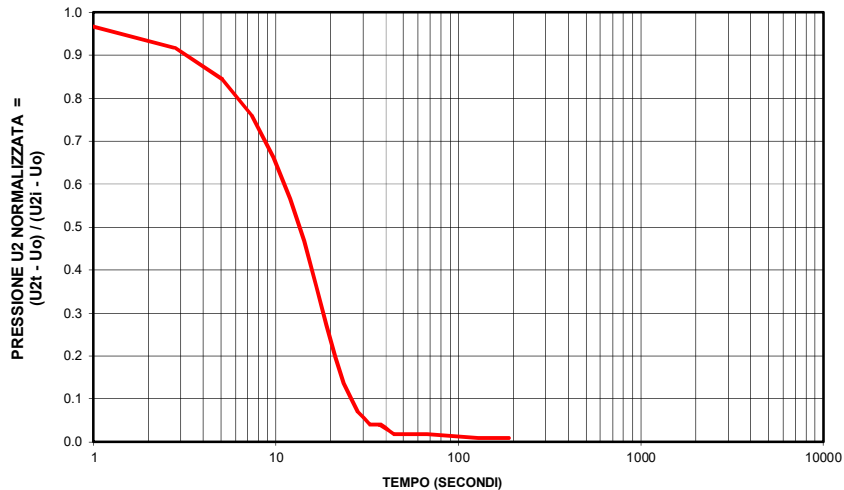
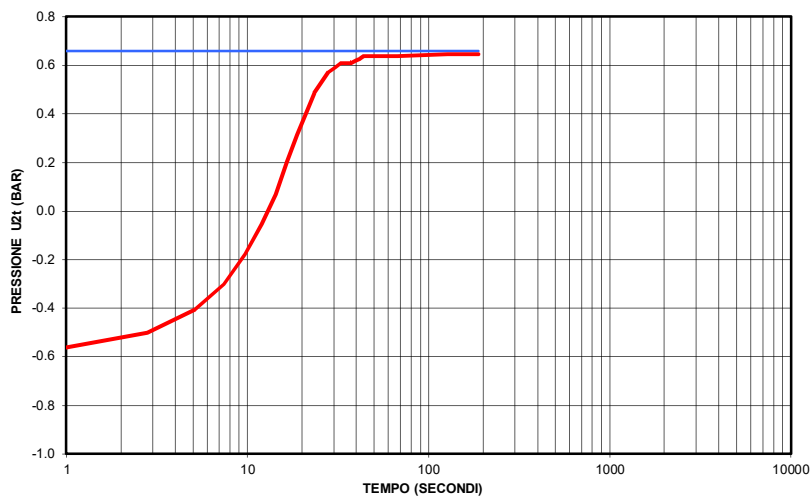
Tmax (sec)	127.9
Tmin (sec)	0.5

Profondita Falda m	1.40
--------------------------	------

Ultima lettura Uo oppure Ufalda (bar)	0.660
---	-------

(Parez & Fauriel 1988)		
T50 (sec)	Permeabilità Kh (cm/sec)	Litologia
13	4.04E-05	sabbia limosa a limo sabbioso

T(sec.)	U2(bar)	T(sec)Umin=0	Uidro(bar)	Norm.U2
0.5	-0.60	0.0	0.660	1.000
2.8	-0.50	2.3	0.660	0.918
5.1	-0.40	4.6	0.660	0.843
7.4	-0.30	6.9	0.660	0.760
9.7	-0.18	9.2	0.660	0.663
12.0	-0.05	11.5	0.660	0.565
14.3	0.07	13.8	0.660	0.468
16.6	0.20	16.1	0.660	0.363
18.9	0.32	18.4	0.660	0.273
21.2	0.41	20.7	0.660	0.198
23.5	0.49	23.0	0.660	0.138
25.8	0.53	25.3	0.660	0.100
28.1	0.57	27.6	0.660	0.070
30.4	0.59	29.9	0.660	0.055
32.7	0.61	32.2	0.660	0.040
35.0	0.61	34.5	0.660	0.040
37.3	0.61	36.8	0.660	0.040
39.6	0.62	39.1	0.660	0.033
41.9	0.63	41.4	0.660	0.025
44.2	0.64	43.7	0.660	0.018
46.5	0.64	46.0	0.660	0.018
48.8	0.64	48.3	0.660	0.018
51.1	0.64	50.6	0.660	0.018
53.4	0.64	52.9	0.660	0.018
55.8	0.64	55.3	0.660	0.018
58.1	0.64	57.6	0.660	0.018
60.4	0.64	59.9	0.660	0.018
62.7	0.64	62.2	0.660	0.018
65.0	0.64	64.5	0.660	0.018
67.3	0.64	66.8	0.660	0.018
127.9	0.65	127.4	0.660	0.010
188.4	0.65	187.9	0.660	0.010



### Tipologia di dissipazione

Burns & Maine 1998  
(Penetrometers for Soil Permeability and  
Georgia Institute of Technology; Chemical Detection;  
Report no. GIT-CEEGEO-98-1)

Tipologia 4

T<sub>Umax</sub> / T<sub>50</sub>

NA

Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falco  
Localita' Fusignano  
Committente Comune di Fusignano



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

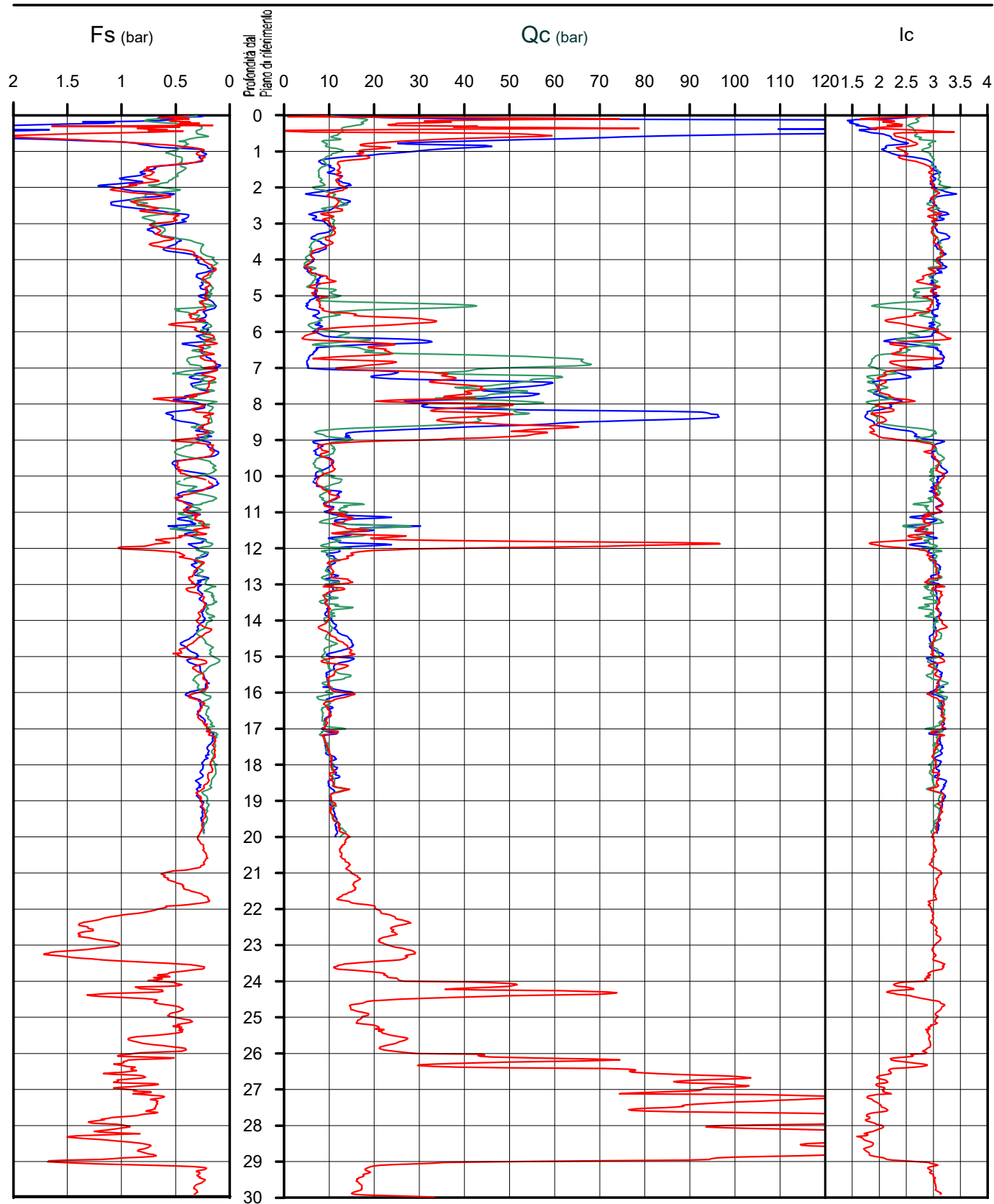
S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)

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

## LEGENDA

CPT 1  
CPT 2  
CPT 3

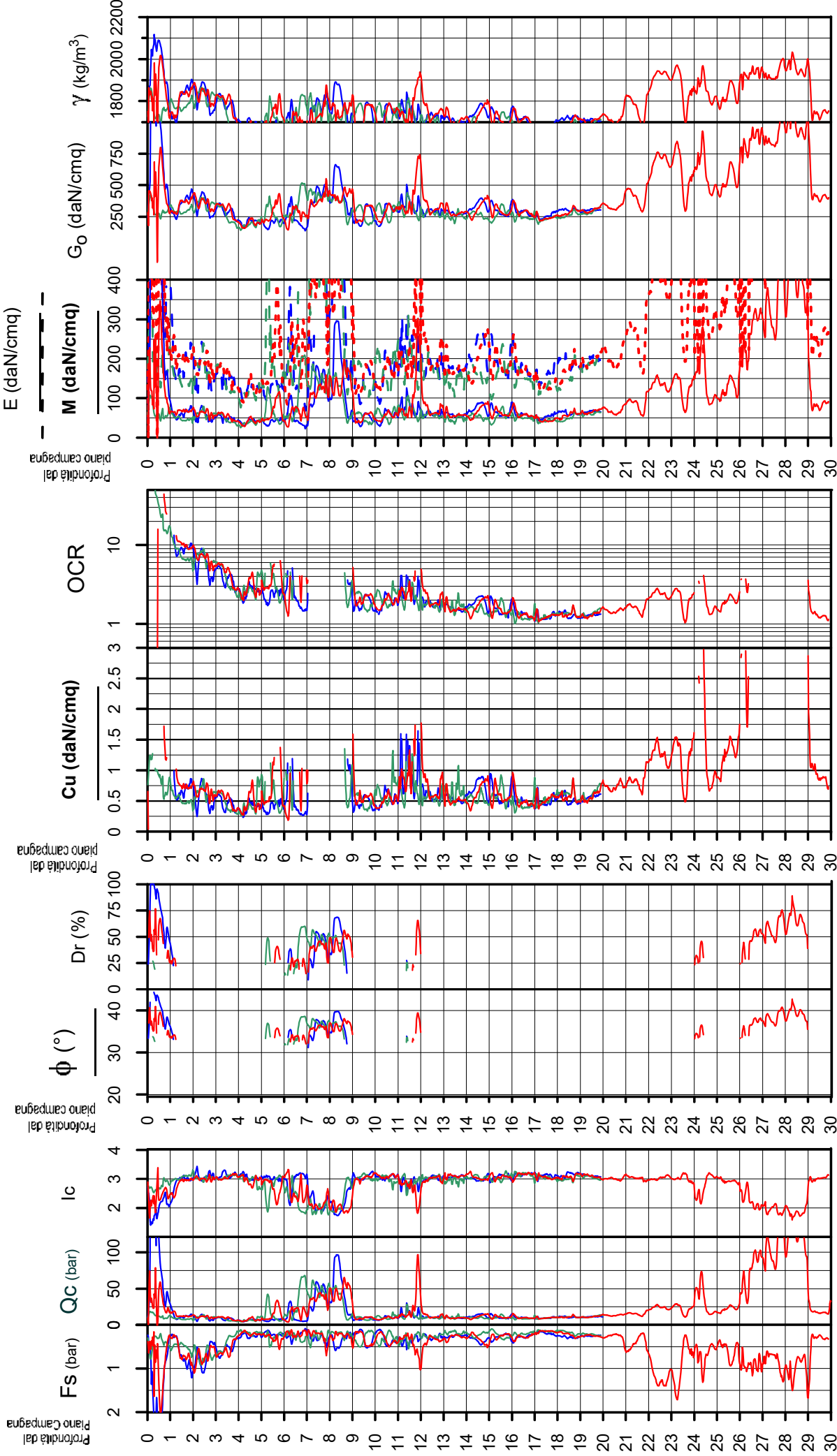


Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falco  
Localita' Fusignano  
Committente Comune di Fusign.

## PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1  
CPT 2  
CPT 3

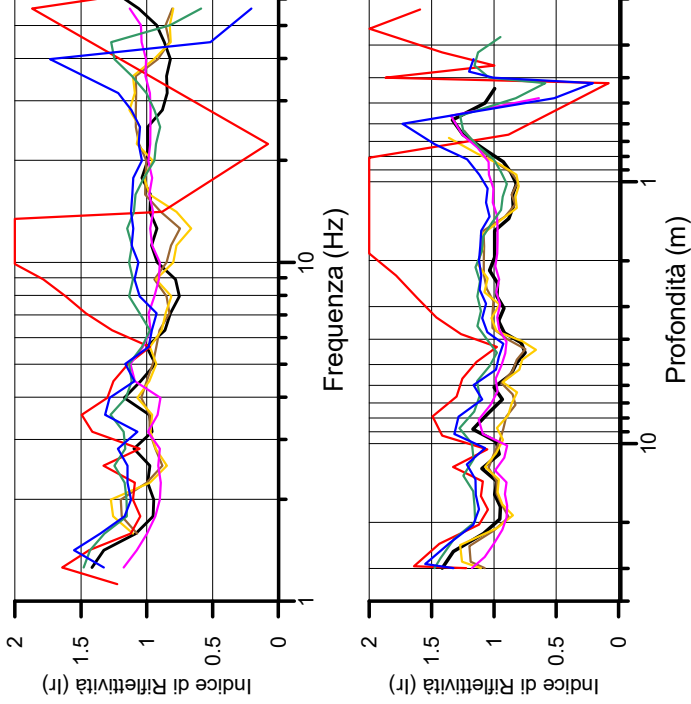
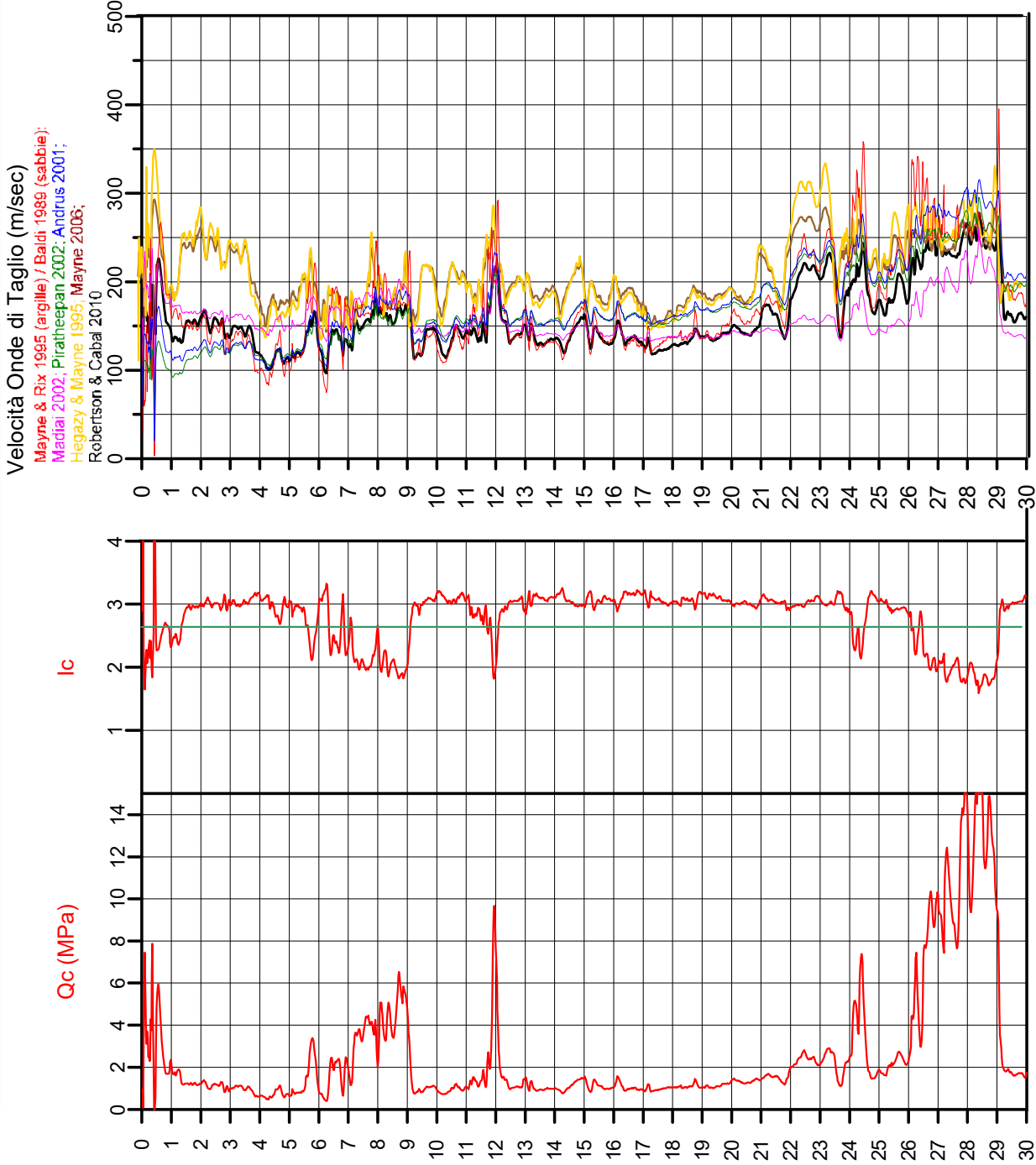
**SGT** Società di  
Geologia  
Territoriale  
S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com





Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falcone  
Localita' Fusignano  
Data 11-mar-20

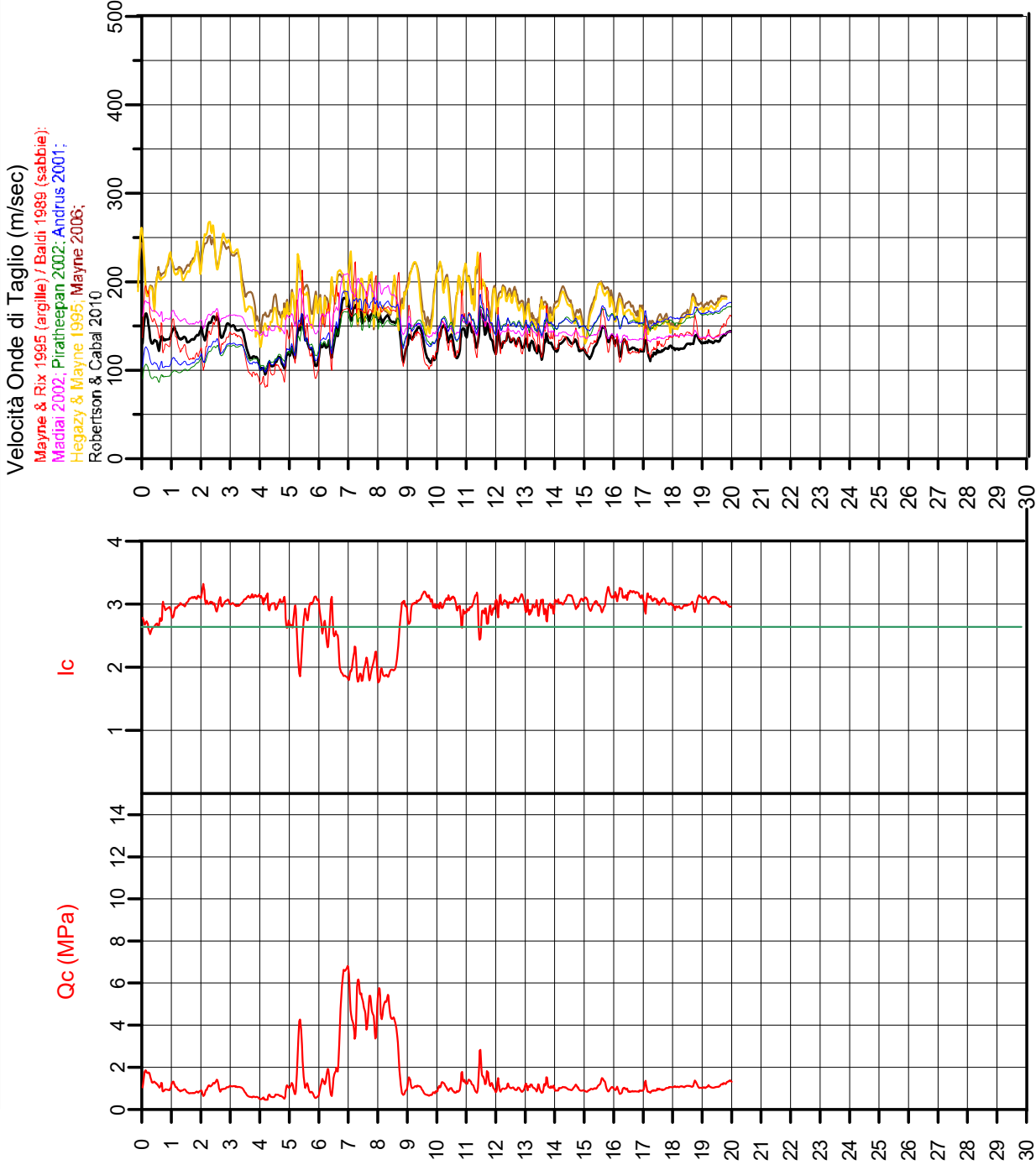
CPT 1



Autore	Vs30
Andrus et.al. 2001SF = 1	165
Piratheepan 2002	160
Madiai 2002	156
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	149
Hegazy & Mayne 1995	202
Mayne 2006	203
Robertson Cabal 2010	153

Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falcone  
Localita' Fusignano  
Data 11-mar-20

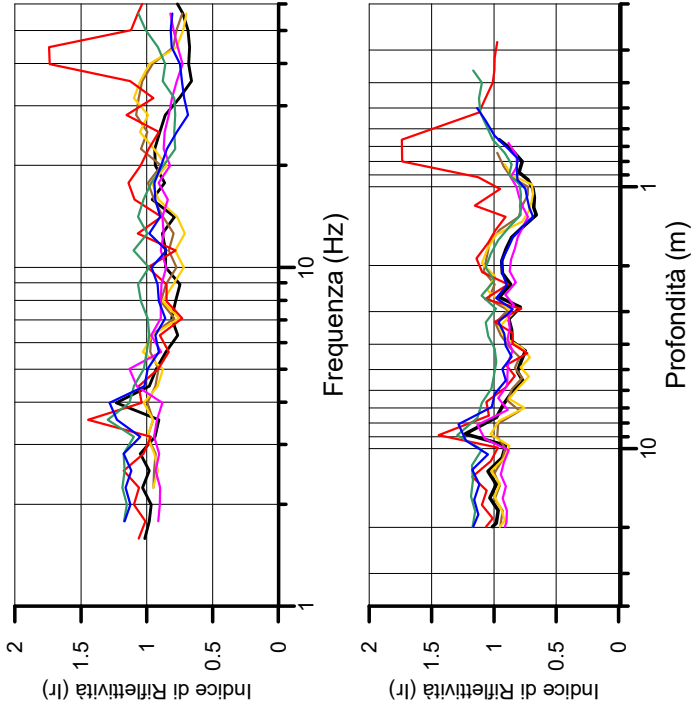
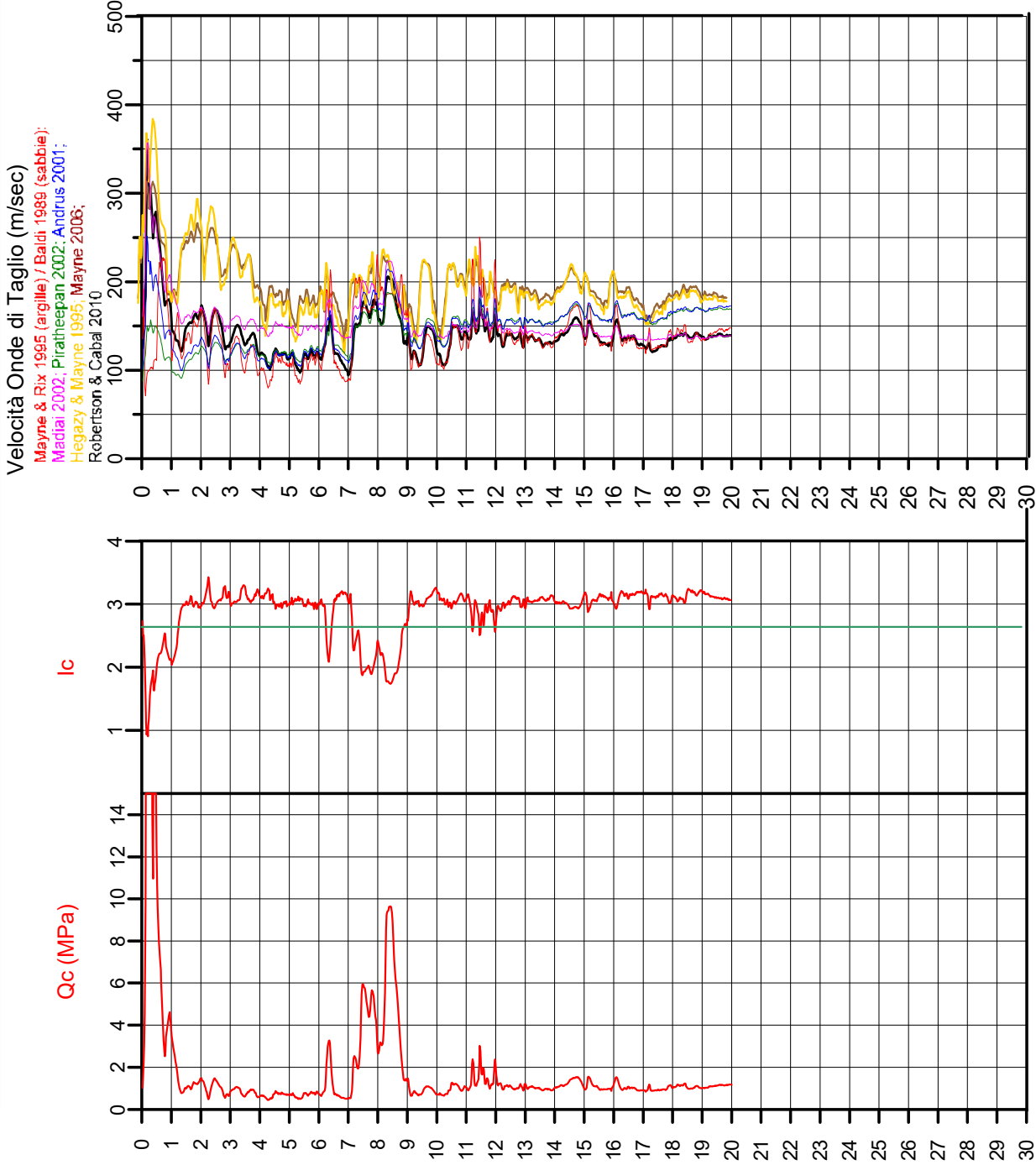
CPT 2



Autore	Vs20
Andrus et.al. 2001SF = 1	141
Piratheepan 2002	137
Madiai 2002	151
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	134
Hegazy & Mayne 1995	183
Mayne 2006	178
Robertson Cabal 2010	133

Comune Fusignano  
Via Borsellino & Falcone  
Localita' Fusignano  
Data 11-mar-20

CPT 3



Autore	Vs20
Andrus et.al. 2001SF = 1	145
Piratheepan 2002	142
Madiai 2002	152
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	132
Hegazy & Mayne 1995	194
Mayne 2006	189
Robertson Cabal 2010	138

**VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO**  
CON RIFERIMENTO AL PROGETTO  
SECONDO LE NTC 2018



**Ubicazione del sito**

Comune  
Località

Fusignano  
Fusignano

Google Earth (WGS84)

NTC2018 (ED50)

Longitudine (° decimali)

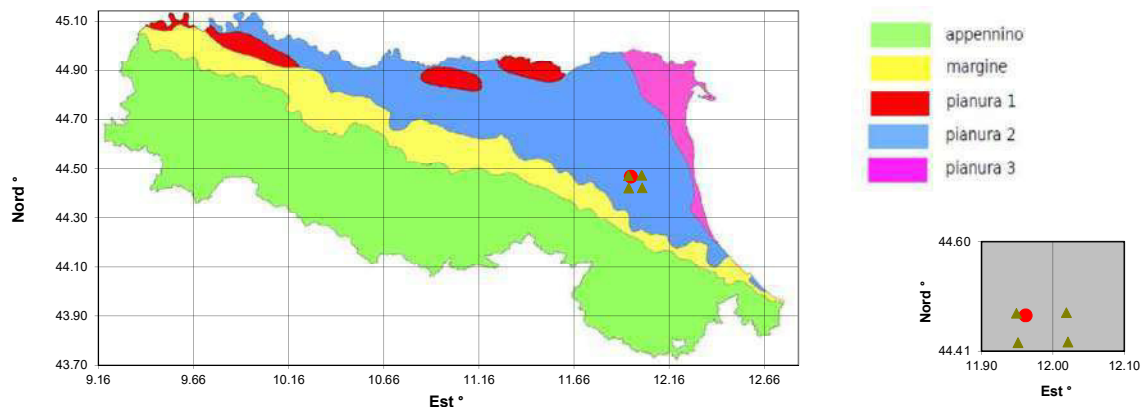
**11.960617**

**11.961759**

Latitudine (° decimali)

**44.469778**

**44.471528**



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

ID	Distanza al punta di interesse di (km)	Longitudine	Latitudine
16961	1.083	11.949	44.475
16962	4.568	12.019	44.476
17183	5.243	11.951	44.425
17184	6.910	12.021	44.426

Tipi di Costruzione			
1	Costruzione Temporanee e provvisorie	<= 10	<b>50</b>
2	Costruzioni con livelli de prestazioni ordinari	>= 50	
3	Costruzioni con livelli de prestazioni elevati	>= 100	

Classe d'uso		Coefficiente Cu	Progetto Coefficiente Cu
1	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.	0.7	<b>2</b>
2	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1	
3	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.	1.5	
4	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	2	

**Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_r = V_n * C_u = 100$  anni**

Stati Limiti		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r = 100$ anni $P_v$	Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_r$ (anni)
SLO	Stato Limite di Operatività	81%	60
SLD	Stato Limite di Danno	63%	101
SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%	949
SLC	Stato Limite di prevenzione del Colasso	5%	1950

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

	$a_g$ (in g/10)	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$
1. STATO LIMITE DI OPERATIVITA'	0.699	0.070	2.462	0.279
2. STATO LIMITE DEL DANNO	0.883	0.088	2.442	0.288
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	<b>2.239</b>	<b>0.224</b>	<b>2.457</b>	<b>0.292</b>
4. STATO LIMITE DI PREVENZIONE DEL COLASSO	2.894	0.289	2.409	0.307

Valori applicati	$a_g$ (in g/10)	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	<b>2.239</b>	<b>0.224</b>	<b>2.457</b>	<b>0.292</b>



# VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 1

			TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)		165 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)		160 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiati 2002)		156 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie))		149 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)		203 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006)		202 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)		153 m/sec	D

TIPO DI SUOLO STIMATO
D

## ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018

## 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 949

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.239 m/sec2	0.224 g
Amplificazione per tipo di suolo	D	Ss	1.56	
Amplificazione topografica		ST	1.00	
S totale		Ss * ST	1.56	
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	3.491 m/sec2	0.349 g

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

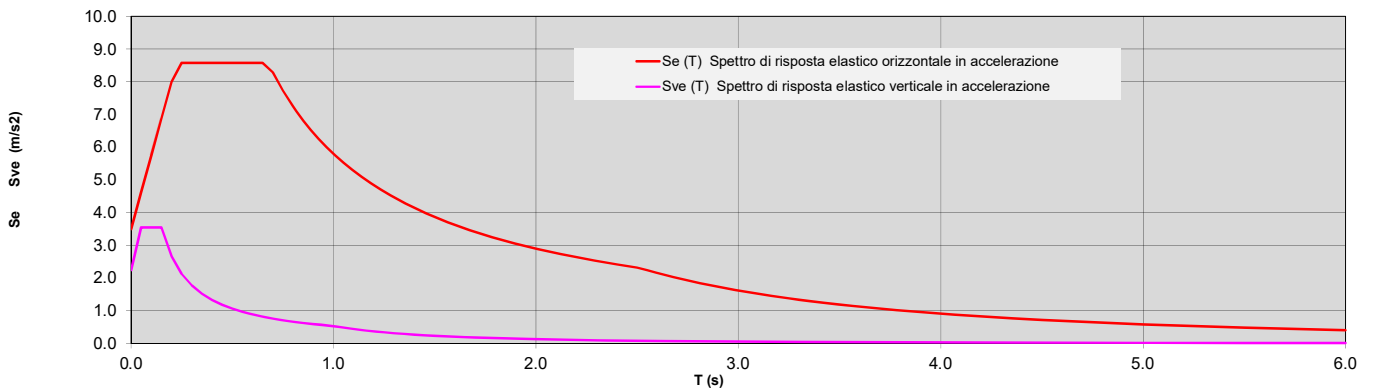
## PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO

TIPO DI SUOLO	D	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.23	0.05
Tc		0.68	0.15
Td		2.51	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

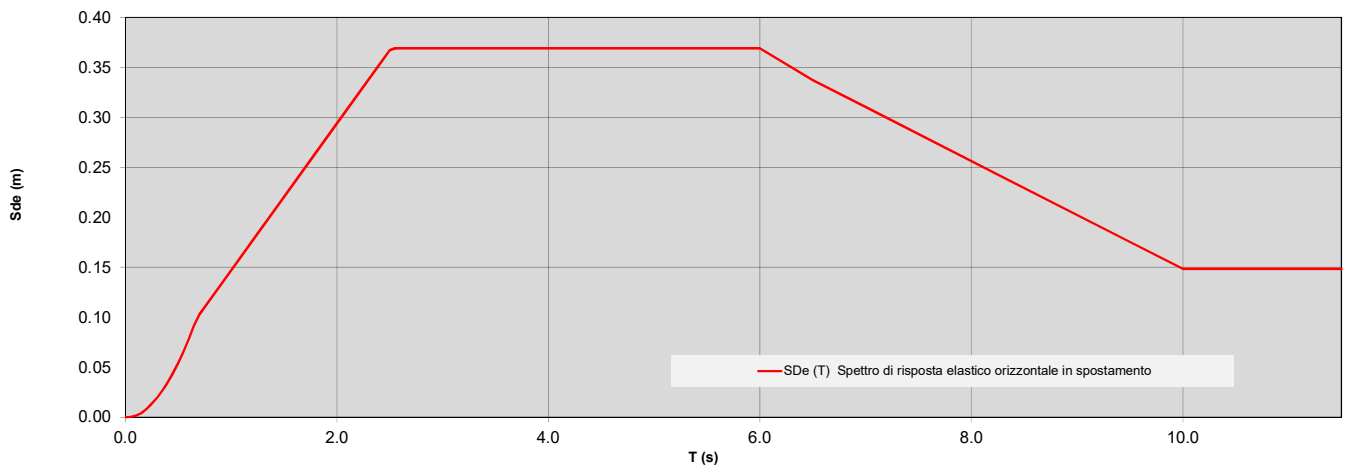
## PARAMETRI DI PICCO

Accelerazione orizzontale massima	ag	3.491 m/sec²
Velocità orizzontale massima	vg	0.38 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.15 m

## Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec2)



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



## PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO D

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	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.070	2.462	0.279	1.80	1.00	0.126	0.22	0.66	1.88	6.00	10.00	0.20	0.025	0.013	0.24	0.030	0.015
del Danno	0.088	2.442	0.288	1.80	1.00	0.159	0.22	0.67	1.95	6.00	10.00	0.20	0.032	0.016	0.24	0.038	0.019
Salvaguardia della Vita	0.224	2.457	0.292	1.57	1.00	0.353	0.23	0.68	2.50	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055
Prevenzione del Colosso	0.289	2.409	0.307	1.35	1.00	0.392	0.23	0.69	2.76	6.00	10.00	0.28	0.110	0.055	0.31	0.121	0.061

Comune  
Via  
Localita'  
Committente

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano

## VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 2

			TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)		141 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)		137 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiati 2002)		151 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie))		134 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)		178 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006)		183 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2008) (m/sec)		133 m/sec	D

TIPO DI SUOLO STIMATO
D

## ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018

## 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 949

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.239 m/sec <sup>2</sup>	0.224 g
Amplificazione per tipo di suolo	D	Ss	1.56	
Amplificazione topografica		ST	1.00	
S totale		Ss * ST	1.56	
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	3.491 m/sec <sup>2</sup>	0.349 g

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

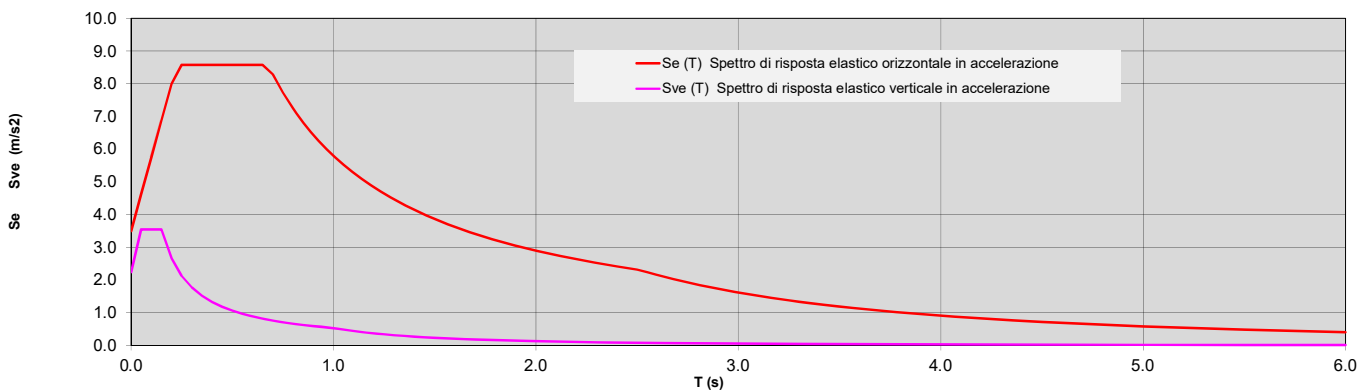
## PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO

TIPO DI SUOLO	D	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.23	0.05
Tc		0.68	0.15
Td		2.51	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

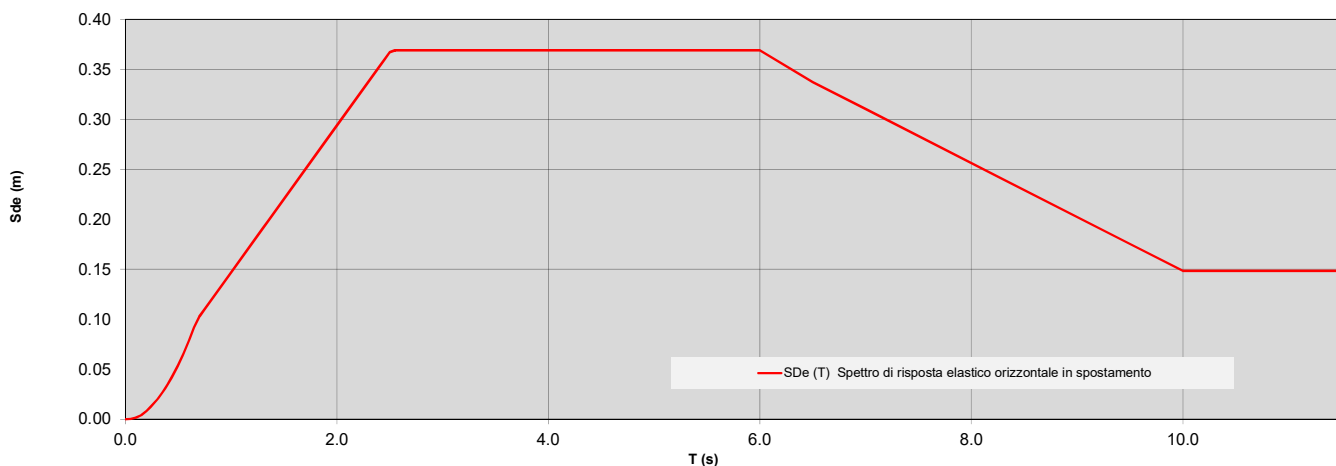
## PARAMETRI DI PICCO

Accelerazione orizzontale massima	ag	3.491 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.38 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.15 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 D

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	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.070	2.462	0.279	1.80	1.00	0.126	0.22	0.66	1.88	6.00	10.00	0.20	0.025	0.013	0.24	0.030	0.015
del Danno	0.088	2.442	0.288	1.80	1.00	0.159	0.22	0.67	1.95	6.00	10.00	0.20	0.032	0.016	0.24	0.038	0.019
Salvaguardia della Vita	0.224	2.457	0.292	1.57	1.00	0.353	0.23	0.68	2.50	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055
Prevenzione del Colosso	0.289	2.409	0.307	1.35	1.00	0.392	0.23	0.69	2.76	6.00	10.00	0.28	0.110	0.055	0.31	0.121	0.061

Comune  
Via  
Localita'  
Committente

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano

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

			TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)		145 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)		142 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiati 2002)		152 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie))		132 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)		189 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006)		194 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)		138 m/sec	D

TIPO DI SUOLO STIMATO  
D

### ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018

### 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 949

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	2.239 m/sec2	0.224 g
Amplificazione per tipo di suolo	D	Ss	1.56	
Amplificazione topografica		ST	1.00	
S totale		Ss * ST	1.56	
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	3.491 m/sec2	0.349 g

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

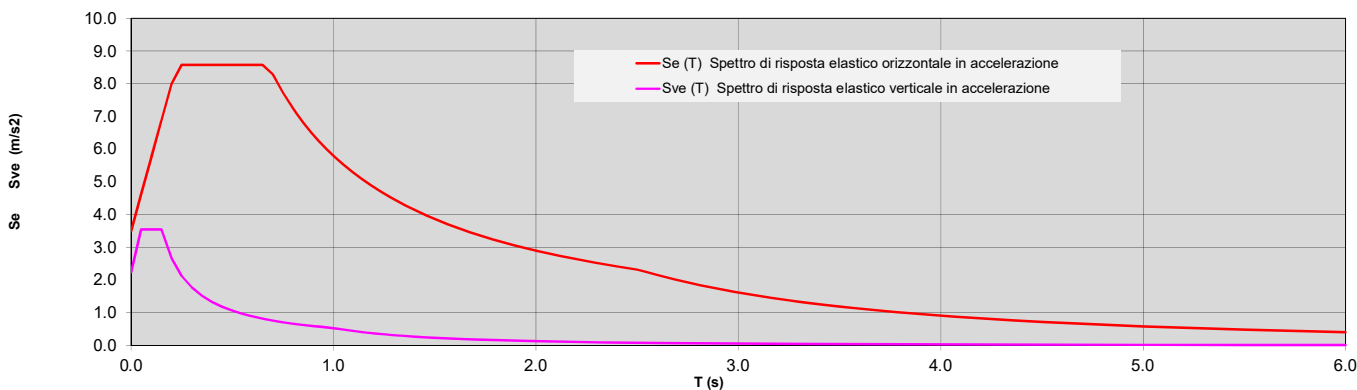
### PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO

TIPO DI SUOLO	D	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.23	0.05
Tc		0.68	0.15
Td		2.51	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

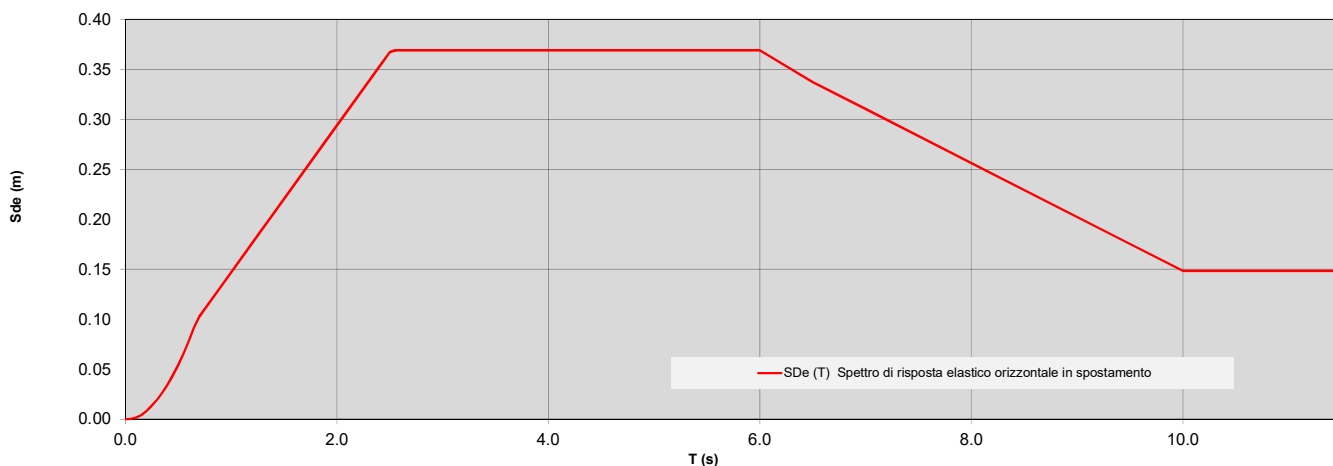
### PARAMETRI DI PICCO

Accelerazione orizzontale massima	ag	3.491 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.38 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.15 m

### Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec2)



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



### PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO D

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	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.070	2.462	0.279	1.80	1.00	0.126	0.22	0.66	1.88	6.00	10.00	0.20	0.025	0.013	0.24	0.030	0.015
del Danno	0.088	2.442	0.288	1.80	1.00	0.159	0.22	0.67	1.95	6.00	10.00	0.20	0.032	0.016	0.24	0.038	0.019
Salvaguardia della Vita	0.224	2.457	0.292	1.57	1.00	0.353	0.23	0.68	2.50	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055
Prevenzione del Colosso	0.289	2.409	0.307	1.35	1.00	0.392	0.23	0.69	2.76	6.00	10.00	0.28	0.110	0.055	0.31	0.121	0.061

**VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO**  
CON RIFERIMENTO AL PROGETTO  
SECONDO LE NTC 2018



**Ubicazione del sito**

Comune  
Località

Fusignano  
Fusignano

Google Earth (WGS84)

NTC2018 (ED50)

Longitudine (° decimali)

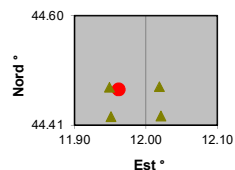
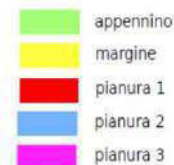
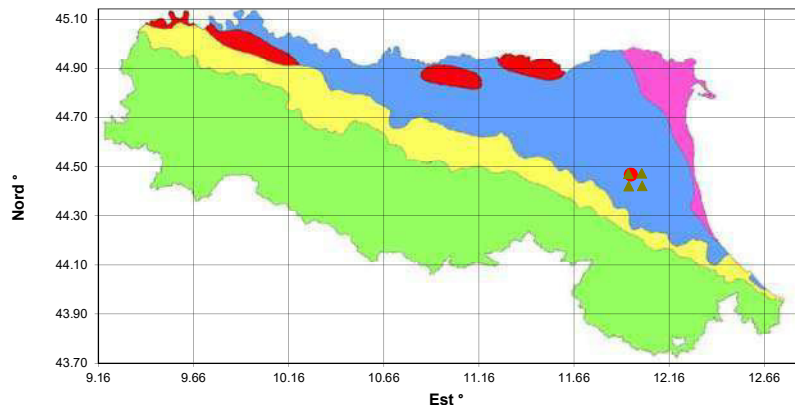
**11.960617**

**11.961759**

Latitudine (° decimali)

**44.469778**

**44.471528**



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

ID	Distanza al punta di interesse di (km)	Longitudine	Latitudine
16961	1.083	11.949	44.475
16962	4.568	12.019	44.476
17183	5.243	11.951	44.425
17184	6.910	12.021	44.426

**Tipi di Costruzione**

1	Costruzione Temporanee e provvisorie	< = 10	<b>50</b>
2	Costruzioni con livelli de prestazioni ordinari	> = 50	
3	Costruzioni con livelli de prestazioni elevati	> = 100	

Classe d'uso		Coefficiente Cu	Progetto Coefficiente Cu
1	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.	0.7	<b>2</b>
2	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1	
3	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.	1.5	
4	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	2	

**Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_r = V_n * C_u = 100$  anni**

Stati Limiti		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r = 100$ anni $P_{vr}$	Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_r$ (anni)
SLO	Stato Limite di Operatività	81%	60
SLD	Stato Limite di Danno	63%	101
SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%	949
SLC	Stato Limite di prevenzione del Colasso	5%	1950

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

	$a_g$ (in g/10)	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$
1. STATO LIMITE DI OPERATIVITA'	0.699	0.070	2.462	0.279
2. STATO LIMITE DEL DANNO	0.883	0.088	2.442	0.288
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	<b>2.239</b>	<b>0.224</b>	<b>2.457</b>	<b>0.292</b>
4. STATO LIMITE DI PREVENZIONE DEL COLASSO	2.894	0.289	2.409	0.307

**Valori applicati**

	$a_g$ (in g/10)	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$
2. STATO LIMITE DEL DANNO	<b>0.883</b>	<b>0.088</b>	<b>2.442</b>	<b>0.288</b>



Comune  
Via  
Localita'  
Committente

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano

## VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 1

			TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)		165 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)		160 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiati 2002)		156 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie))		149 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)		203 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006)		202 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)		153 m/sec	D

TIPO DI SUOLO STIMATO
D

## ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018

## 2. STATO LIMITE DEL DANNO Tr = 101

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	0.883 m/sec2	0.088 g
Amplificazione per tipo di suolo	D	Ss	1.80	
Amplificazione topografica		ST	1.00	
S totale		Ss * ST	1.80	
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	1.59 m/sec2	0.159 g

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

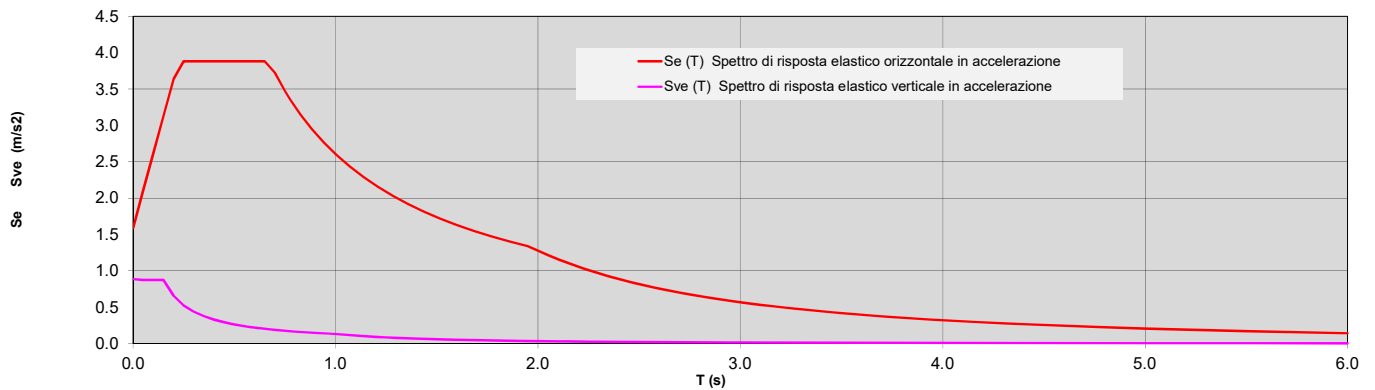
## PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO

TIPO DI SUOLO	D	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.22	0.05
Tc		0.67	0.15
Td		1.96	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

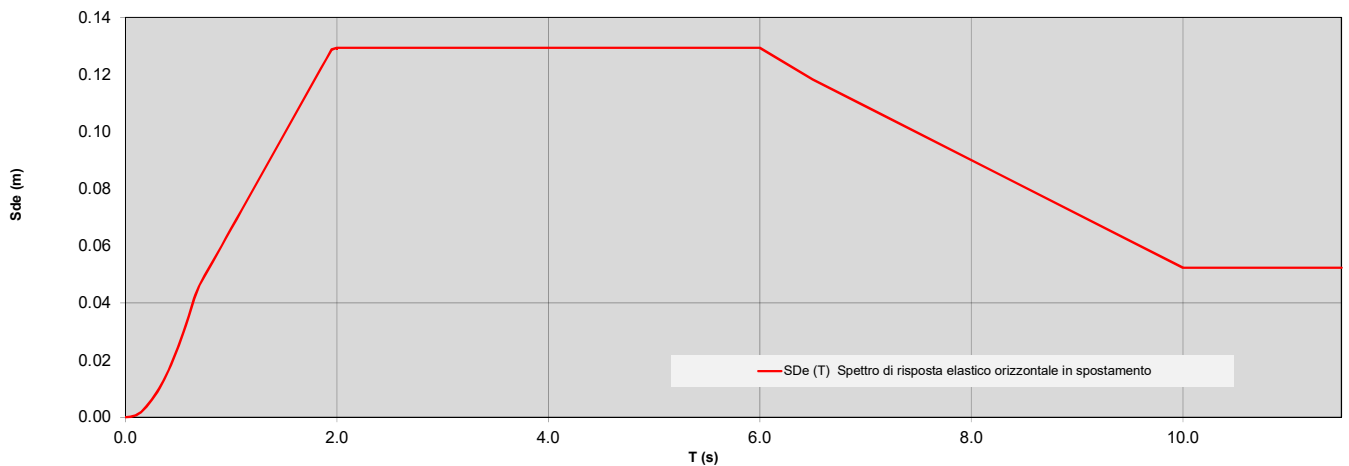
## PARAMETRI DI PICCO

Accelerazione orizzontale massima	ag	1.590 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.17 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.05 m

## Spettro di risposta elastico allo 2. STATO LIMITE DEL DANNO in accelerazione (m/sec2)



## Spettro di risposta elastico allo 2. STATO LIMITE DEL DANNO in spostamento (m)



## PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO D

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	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.070	2.462	0.279	1.80	1.00	0.126	0.22	0.66	1.88	6.00	10.00	0.20	0.025	0.013	0.24	0.030	0.015
del Danno	0.088	2.442	0.288	1.80	1.00	0.159	0.22	0.67	1.95	6.00	10.00	0.20	0.032	0.016	0.24	0.038	0.019
Salvaguardia della Vita	0.224	2.457	0.292	1.57	1.00	0.353	0.23	0.68	2.50	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055
Prevenzione del Colosso	0.289	2.409	0.307	1.35	1.00	0.392	0.23	0.69	2.76	6.00	10.00	0.28	0.110	0.055	0.31	0.121	0.061

## VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 2

			TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)		141 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)		137 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiati 2002)		151 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie))		134 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)		178 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006)		183 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)		133 m/sec	D

TIPO DI SUOLO STIMATO
D

## ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018

## 2. STATO LIMITE DEL DANNO Tr = 101

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	0.883 m/sec2	0.088 g
Amplificazione per tipo di suolo	D	Ss	1.80	
Amplificazione topografica		ST	1.00	
S totale		Ss * ST	1.80	
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	1.59 m/sec2	0.159 g

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

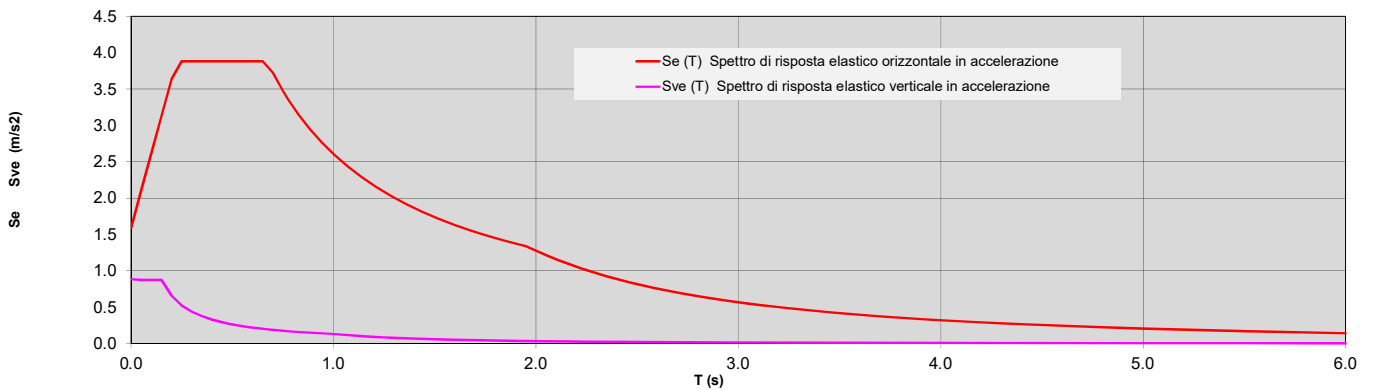
## PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO

TIPO DI SUOLO	D	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.22	0.05
Tc		0.67	0.15
Td		1.96	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

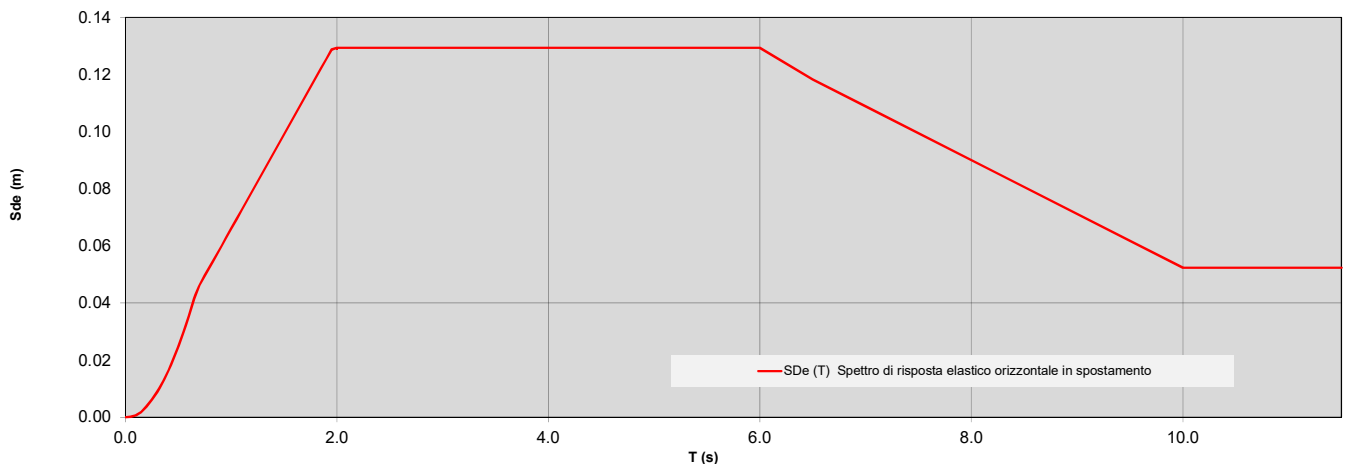
## PARAMETRI DI PICCO

Accelerazione orizzontale massima	ag	1.590 m/sec²
Velocità orizzontale massima	vg	0.17 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.05 m

## Spettro di risposta elastico allo 2. STATO LIMITE DEL DANNO in accelerazione (m/sec2)



## Spettro di risposta elastico allo 2. STATO LIMITE DEL DANNO in spostamento (m)



## PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO D

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	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.070	2.462	0.279	1.80	1.00	0.126	0.22	0.66	1.88	6.00	10.00	0.20	0.025	0.013	0.24	0.030	0.015
del Danno	0.088	2.442	0.288	1.80	1.00	0.159	0.22	0.67	1.95	6.00	10.00	0.20	0.032	0.016	0.24	0.038	0.019
Salvaguardia della Vita	0.224	2.457	0.292	1.57	1.00	0.353	0.23	0.68	2.50	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055
Prevenzione del Colosso	0.289	2.409	0.307	1.35	1.00	0.392	0.23	0.69	2.76	6.00	10.00	0.28	0.110	0.055	0.31	0.121	0.061

Comune  
Via  
Localita'  
Committente

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano

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

			TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)		145 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)		142 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiati 2002)		152 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie))		132 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)		189 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006)		194 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)		138 m/sec	D

TIPO DI SUOLO STIMATO
D

### ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018

### 2. STATO LIMITE DEL DANNO Tr = 101

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	0.883 m/sec2	0.088 g
Amplificazione per tipo di suolo	D	Ss	1.80	
Amplificazione topografica		ST	1.00	
S totale		Ss * ST	1.80	
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	1.59 m/sec2	0.159 g

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

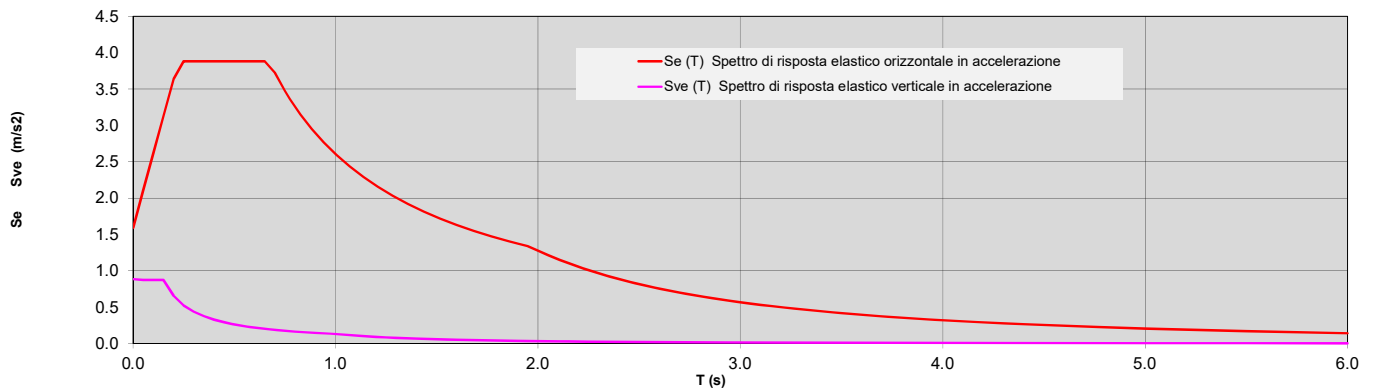
### PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO

TIPO DI SUOLO	D	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.22	0.05
Tc		0.67	0.15
Td		1.96	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

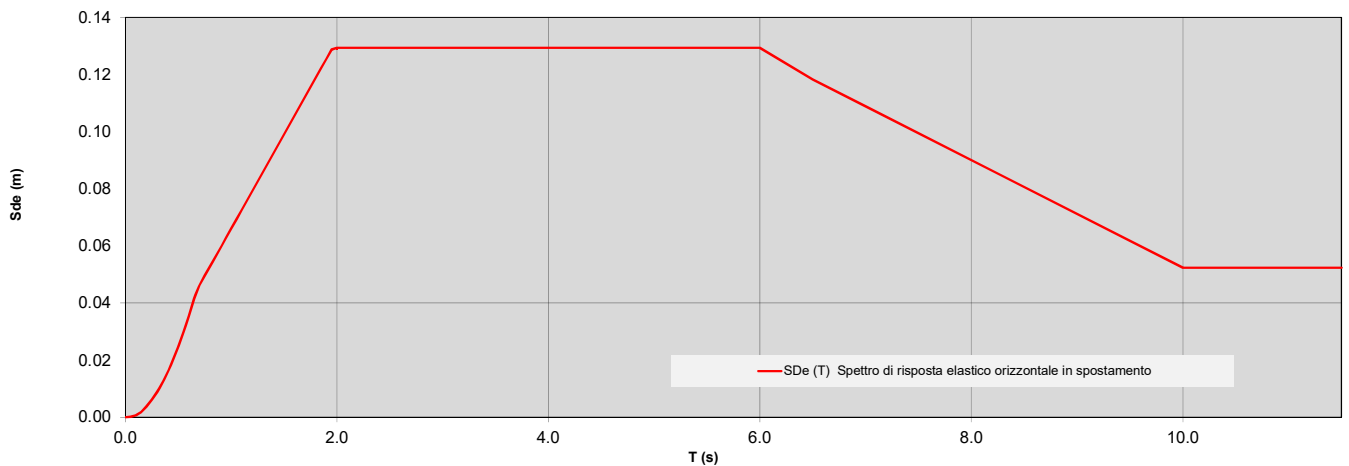
### PARAMETRI DI PICCO

Accelerazione orizzontale massima	ag	1.590 m/sec²
Velocità orizzontale massima	vg	0.17 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.05 m

### Spettro di risposta elastico allo 2. STATO LIMITE DEL DANNO in accelerazione (m/sec2)



### Spettro di risposta elastico allo 2. STATO LIMITE DEL DANNO in spostamento (m)



### PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO D

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	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per ag/g	Kht terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kvt terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.070	2.462	0.279	1.80	1.00	0.126	0.22	0.66	1.88	6.00	10.00	0.20	0.025	0.013	0.24	0.030	0.015
del Danno	0.088	2.442	0.288	1.80	1.00	0.159	0.22	0.67	1.95	6.00	10.00	0.20	0.032	0.016	0.24	0.038	0.019
Salvaguardia della Vita	0.224	2.457	0.292	1.57	1.00	0.353	0.23	0.68	2.50	6.00	10.00	0.28	0.099	0.049	0.31	0.109	0.055
Prevenzione del Colosso	0.289	2.409	0.307	1.35	1.00	0.392	0.23	0.69	2.76	6.00	10.00	0.28	0.110	0.055	0.31	0.121	0.061

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

CPT  
Fada presunta  
1 metri

latitudine 44.471528° longitudine 11.961759° tipo di suolo	amax substrato (m/sec2) 2.239 D amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.559 3.491 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA
amax substrato (m/sec2) 2.239 D amplificazione 1.559 3.491 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	amax substrato (m/sec2) 2.239 D amplificazione 1.559 3.491 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA

latitudine 44.471528° longitudine 11.961759° tipo di suolo	amax substrato (m/sec2) 2.239 D amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.559 3.491 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA
amax substrato (m/sec2) 2.239 D amplificazione 1.559 3.491 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	amax substrato (m/sec2) 2.239 D amplificazione 1.559 3.491 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA

SGT

Società di Geologia Territoriale

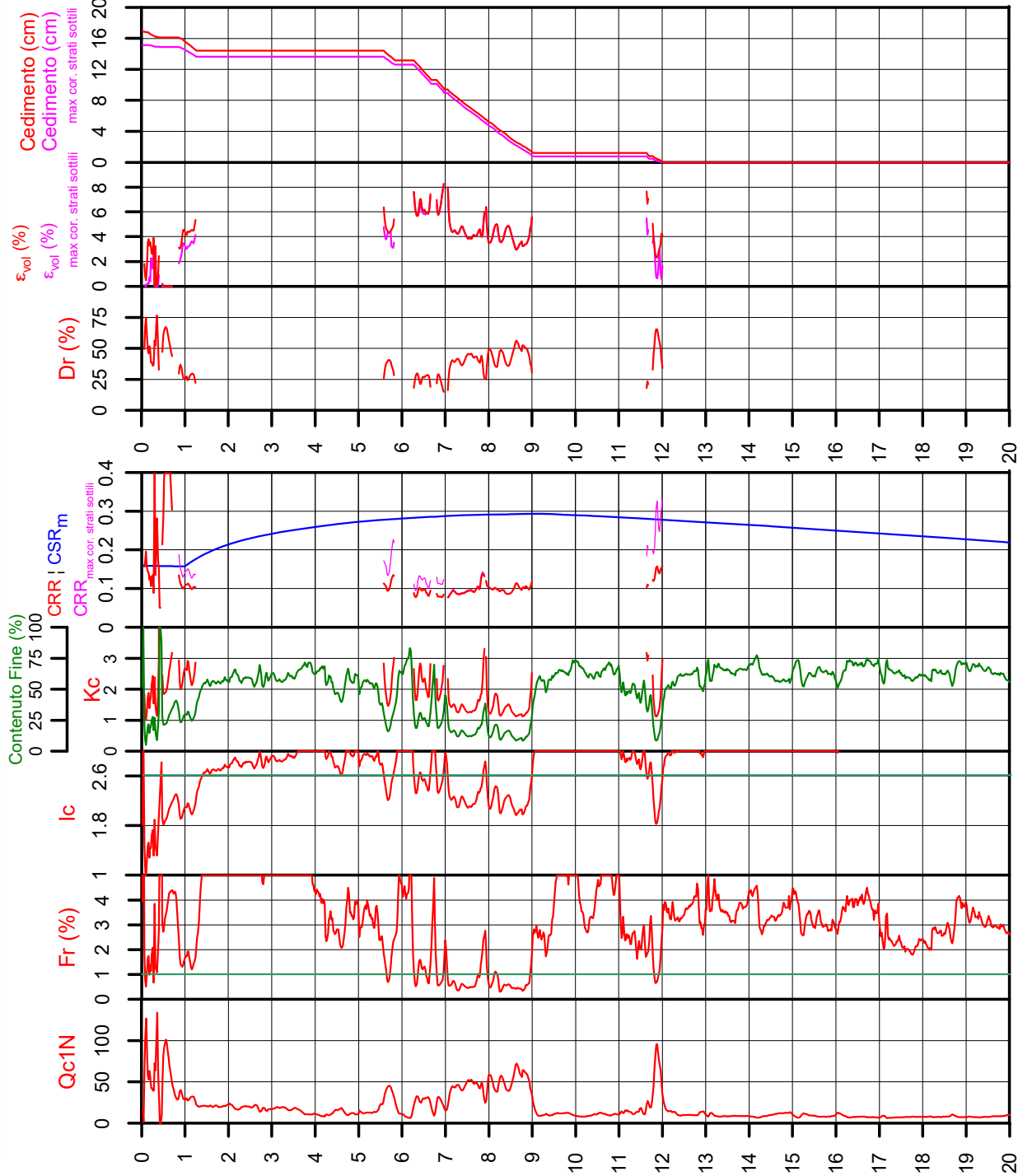
S.G.T. sas

di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50

48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICADI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDAAGI 2005

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Ikriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - 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: Fslq = 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 1980
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	17	1692
Cedimento totale considerando strati sottili	15	156

### 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 Fslq e la profondità.

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005	POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	(con correzione per strati sottili)
14.1	11.4
IL <= 5	BASSO
5 < IL <= 15	ELEVATO
IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	(con correzione per strati sottili)
14.1	11.4
IL <= 2	BASSA
2 < IL <= 5	MODERATA
5 < IL <= 15	ELEVATA
IL > 15	MOLTO ALTA

### INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	(con correzione per strati sottili)
23	20
PPBI <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA
15 < PPBI <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
35 < PPBI <= 65	LIQUEFAZIONE NON LIQUEFAZIONE
65 < PPBI <= 85	UGUALMENTE IMPROBABILE
PPBI > 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
	LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

CPT

2

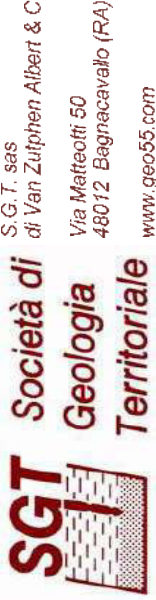
Fada presunta  
1 metri

NTC 2018

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.239
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.559
tipo di suolo	D	amax al p.c. (m/sec2)	3.491
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA			

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.239
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.700
Stato di riferimento	Planura 3	amax al p.c. (m/sec2)	3.807
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140



## PROCEDURA

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

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Itriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - 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: Fslq = 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 1980
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	12	207
Cedimento totale considerando strati sottili	12	206

### 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)
11.4	10.5
IL <= 5	BASSO
5 < IL <= 15	ELEVATO
IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

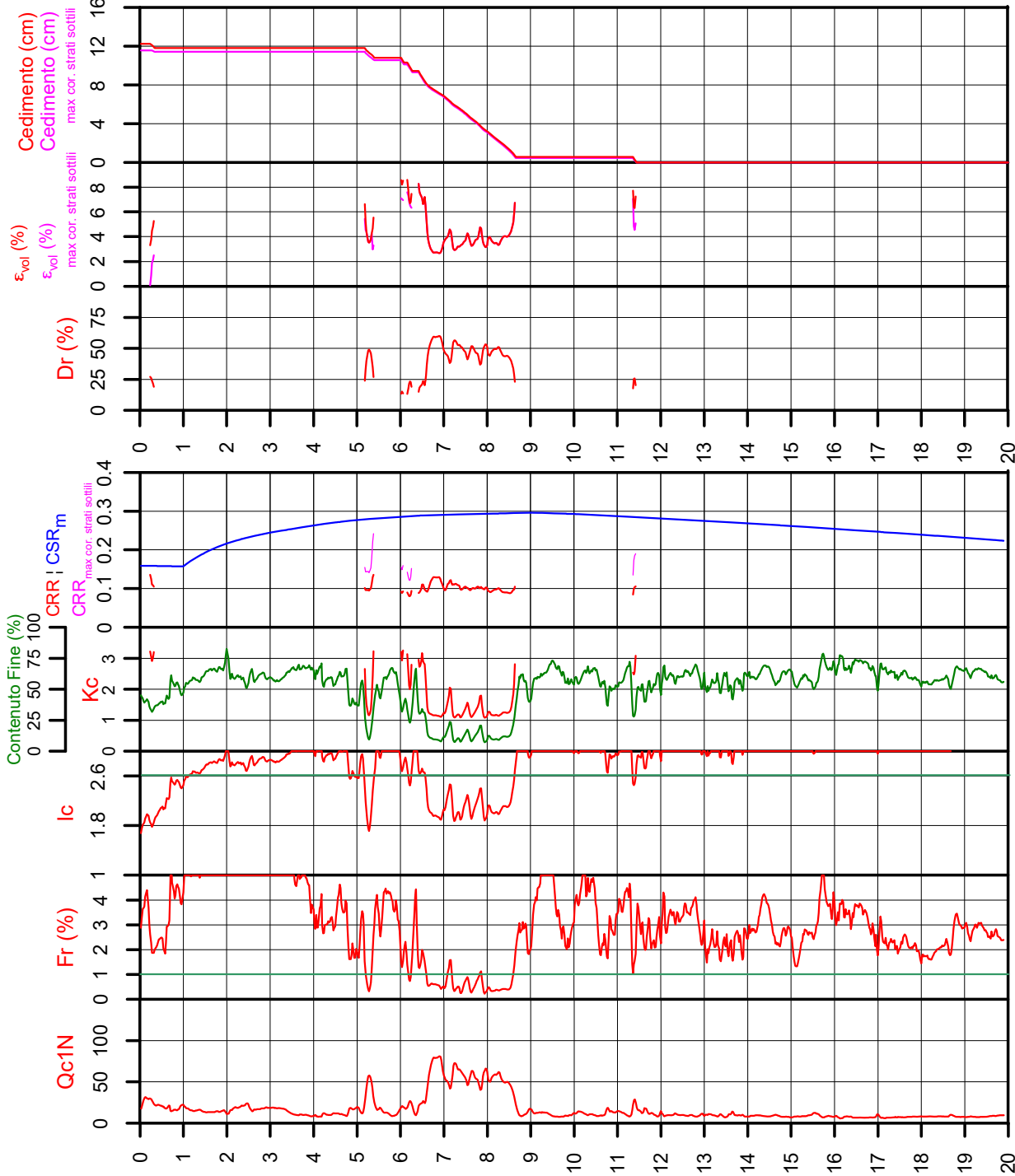
E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

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)
11.4	10.5
IL <= 2	BASSA
2 < IL <= 5	MODERATA
5 < IL <= 15	ELEVATA
IL > 15	MOLTO ALTA

### INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)

senza correzione per strati sottili	(con correzione per strati sottili)	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
17	17	%
PPBI <= 15	PPBI <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA
15 < PPBI <= 35	15 < PPBI <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
35 < PPBI <= 65	35 < PPBI <= 65	LIQUEFAZIONE NON LIQUEFAZIONE
65 < PPBI <= 85	65 < PPBI <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
PPBI > 85	PPBI > 85	LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

CPT

Fada presunta  
1 metri

NTC 2018

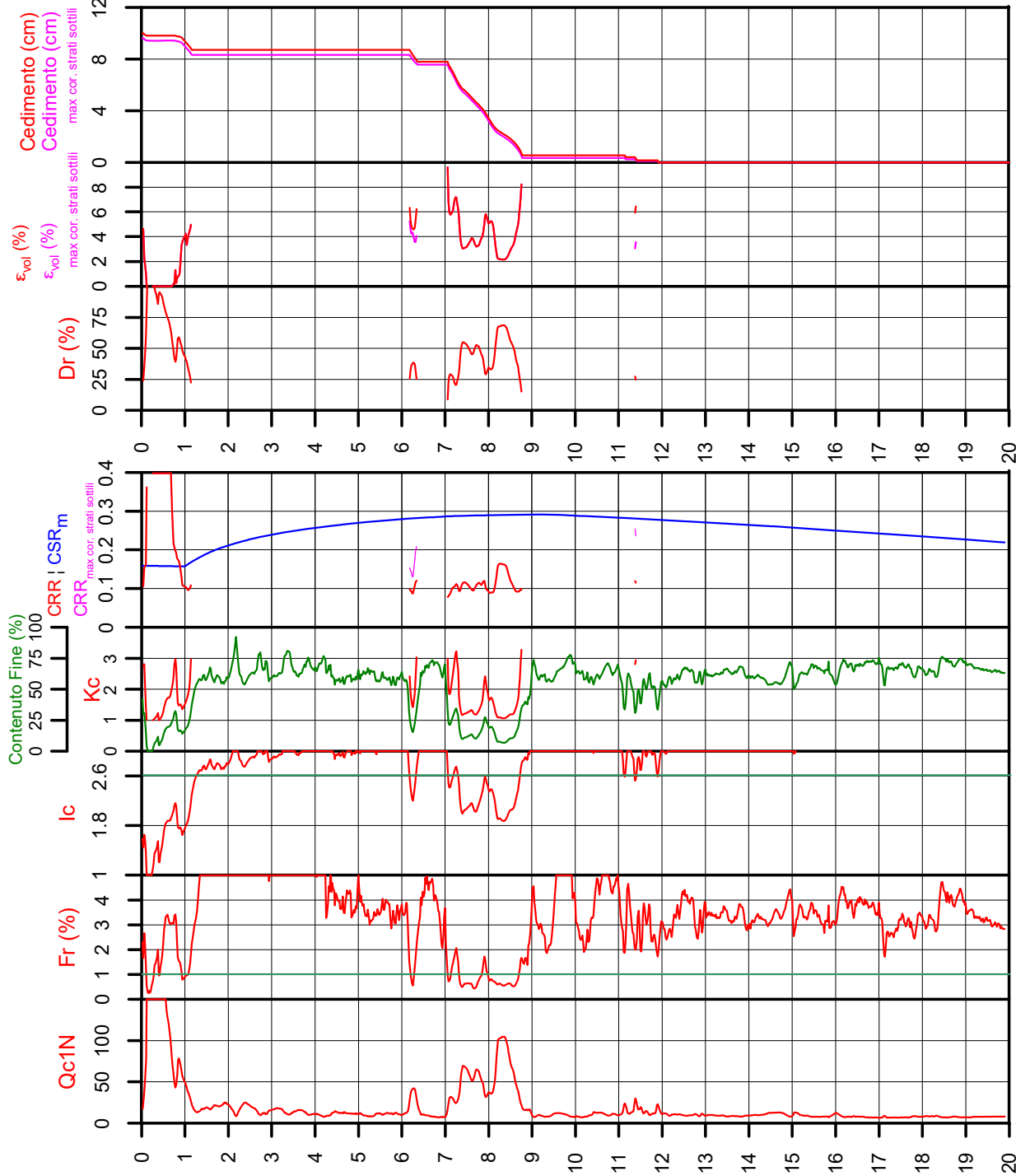
latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.239
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.559
tipo di suolo	D	amax al p.c. (m/sec2)	3.491
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA			

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.239
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.700
Stadio di riferimento	Planura 3	amax al p.c. (m/sec2)	3.807
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019



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 Itriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - 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: Fslq = 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 1980
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	10	117
Cedimento totale considerando strati sottili	10	117

### 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 Fslq e la profondità.

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005	POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	(con correzione per strati sottili)
8.2	7.8
L <= 5	BASSO
5 < IL <= 15	ELEVATO
IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	(con correzione per strati sottili)
8.3	7.8
L <= 2	BASSA
2 < IL <= 5	MODERATA
5 < IL <= 15	ELEVATA
IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	(con correzione per strati sottili)
15	14
PPBI <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
15 < PPBI <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
35 < PPBI <= 65	LIQUEFAZIONE NON LIQUEFAZIONE
65 < PPBI <= 85	UGUALMENTE IMPOSSIBILE
PPBI > 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Fusignano

Via  
Borsellino & Falcone

Localita'  
Fusignano

Committente  
Comune di Fusignano

Data  
11-mar-20

CPT

Falda presunta1 metri

NTC 2018

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
tipo di suolo D

amplificazione topografica 1.000  
3. STATO LIMITE  
SALVAGUARDIA DELLA VITA

amax substrato (m/sec2) 2.239  
fattore amplificazione 1.569  
amax al p.c. (m/sec2) 3.491  
magnitudo 6.140

amax substrato (m/sec2) 2.239  
fattore amplificazione 1.700  
amax al p.c. (m/sec2) 3.807  
magnitudo 6.140

DGR Emilia-Romagna 636 / 2019

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

SGT

Società di  
Geologia  
Territoriale

Qc1N

Fr (%)

Ic

Contenuto Fine (%)

$CSR_{mi}$  CSR7.5

$\epsilon_{vol}$  (%)

$\epsilon_{vol}$  (%)

Cedimento (cm)

Cedimento (cm)

0 50 100

0 1 2 3 4

1.8 2.6

25 50 75

0 0.1 0.2 0.3 0.4

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

0 4 8 12 16 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

max cor. strati sottili

max cor. strati sottili

max cor. strati sottili

max cor. strati sottili

max cor. strati sottili

max cor. strati sottili

Calcolo del Cedimento e dell'Indice di Spostamento Laterale (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tubaoki 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)
Cedimento totale	17.5	193
Cedimento totale correzione strati sottili	15.1	154

Valutazione dell'Indice I<sub>L</sub> del Potenziale di Liquefazione (SOMMEZ 2003)

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

Indice I <sub>L</sub> del Potenziale di Liquefazione (Sommez 2005)	Potenziale di Liquefazione
senza correzione per strati sottili	BASSA
con correzione per strati sottili	
senza correzione per strati sottili	
14.1	11.3
	5 < IL <= 15
	MODERATA
	ELEVATA
	MOLTO ALTA

Probabilità di Liquefazione PPbI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Indice PPbI di Probabilità di Liquefazione (Facciorusso 2009)

Probabilità di Liquefazione PPbI (Facciorusso & Vannucchi 2009)		Giudizio di Pericolosità
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%
		PPbI <= 15
24	20	15 < PPbI <= 35
		35 < PPbI <= 65
		65 < PPbI <= 85
		PPbI > 85

Comune  
Fusignano

Via  
Borsellino & Falcone

Localita'  
Fusignano

Committente  
Comune di Fusignano

Data  
11-mar-20

CPT

2

Falda presunta 1 metri

SGT

Società di Geologia Territoriale

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

NTC 2018

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
tipo di suolo D

amax substrato (m/sec2) 2.239  
fattore amplificazione 1.569  
amax al p.c. (m/sec2) 3.491  
magnitudo 6.140

amplificazione topografica 1.000  
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA

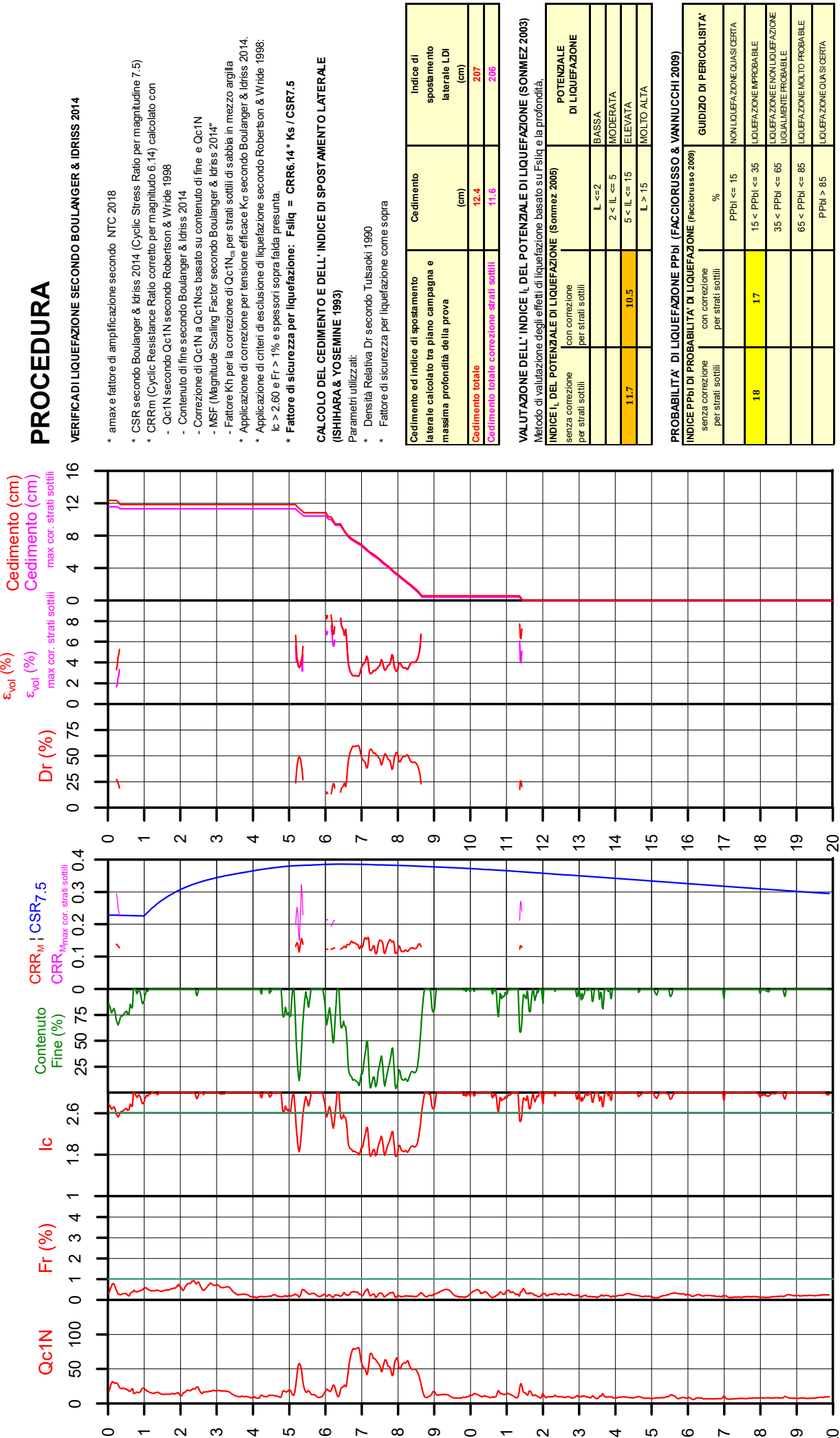
altitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
Studio di riferimento Pianura 3

amax substrato (m/sec2) 2.239  
fattore amplificazione 1.700  
amax a p.c. (m/sec2) 3.807  
magnitudo 6.140

DGR Emilia-Romagna 636 / 2019

amax substrato (m/sec2) 2.239  
longitudine 11.961759°  
Studio di riferimento Pianura 3

amax substrato (m/sec2) 2.239  
fattore amplificazione 1.700  
amax a p.c. (m/sec2) 3.807  
magnitudo 6.140





Comune

Via

Localita'

Committente

Data

Fusignano

Borsellino & Falcone

Fusignano

Comune di Fusignano

11-mar-20

CPT

3

Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.471528°

longitudine 11.961759°

tipo di suolo

amplificazione topografica

3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA

amax substrato (m/sec2)

2.239

D

1.000

1.000

amplificazione 1.569

amax al p.c. (m/sec2)

3.491

magnitudo

6.140

DGR Emilia-Romagna 636 / 2019

latitudine 44.471528°

longitudine 11.961759°

Studio di riferimento

amplificazione topografica

amplificazione 1.700

amax substrato (m/sec2)

2.239

fattore amplificazione

1.000

amax al p.c. (m/sec2)

3.807

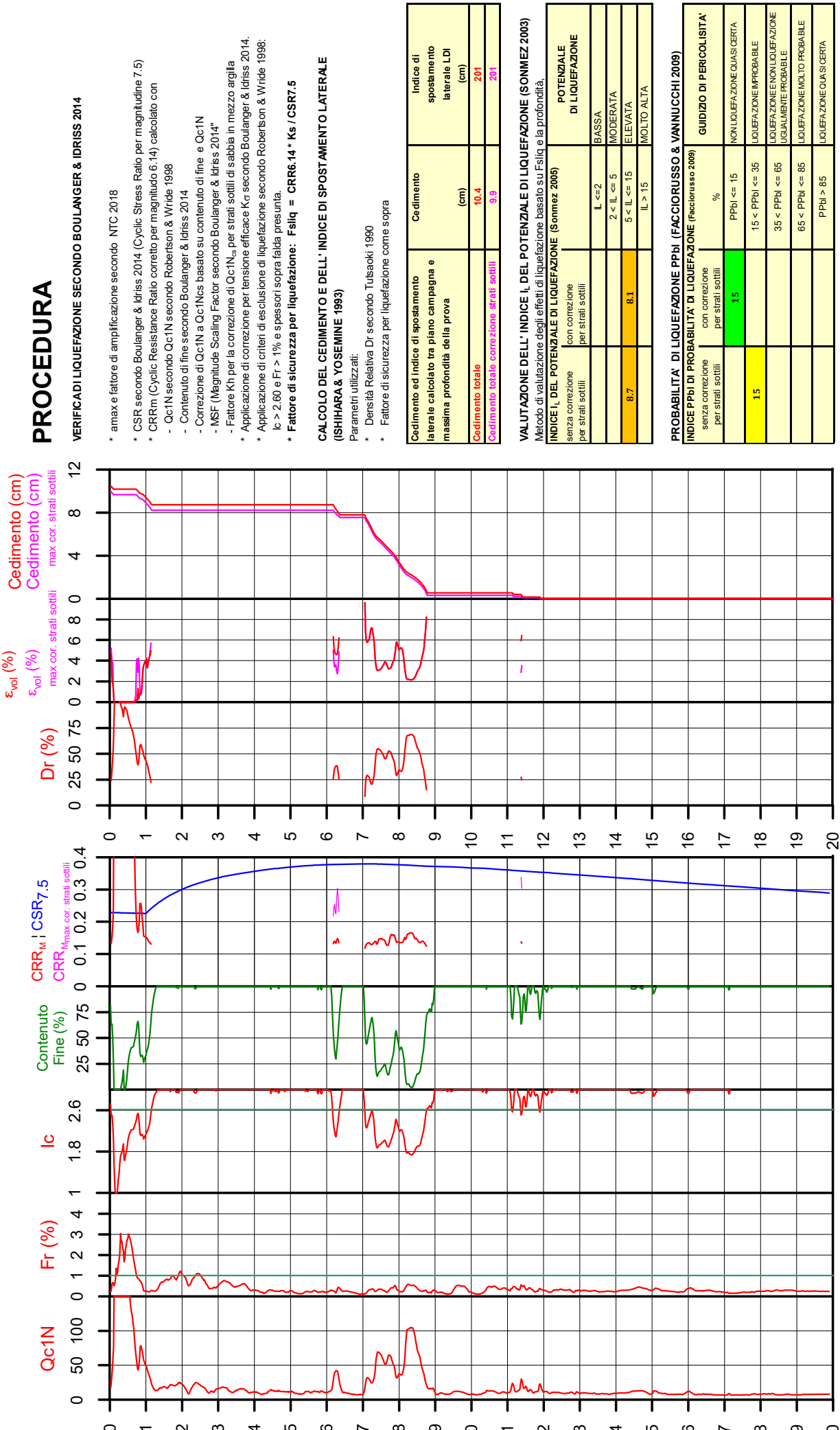
magnitudo

6.140

SGT

Società di Geologia Territoriale

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



Comune

Via

Localita'

Committente

Data

Fusignano

Borsellino & Falcone

Fusignano

Comune di Fusignano

11-mar-20

CPT

1

Falda presunta

1 metri

NTC 2018

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.238
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.568
tipo di suolo	D	amax al p.c. (m/sec2)	3.491
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140
3. STATO LIMITE SALVAGUARDARE LA VITA			

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.238
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.568
tipo di riferimento	Pianura 3	amax al p.c. (m/sec2)	3.491
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140
3. STATO LIMITE SALVAGUARDARE LA VITA			

SGT

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 ROBERSTON & CABAL 2009

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione 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 Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = 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	16	171
Cedimento considerando strati sottili	14	154

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

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

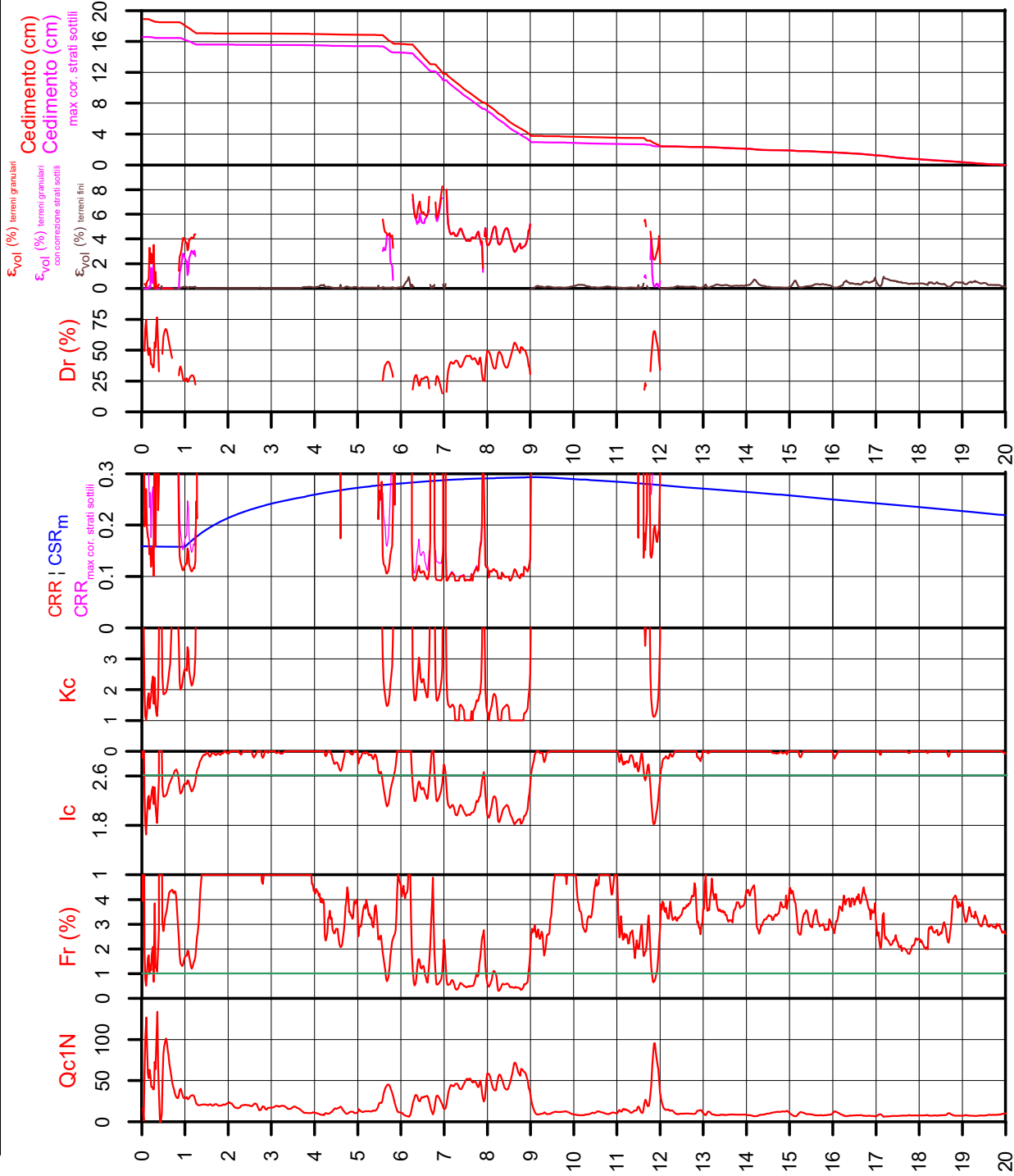
Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	3	19
Cedimento considerando strati sottili	3	17

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 Fslq e la profondità.

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	POTENZIALE DI ROTTURA		
		IL <= 2	2 < IL <= 5	5 < IL <= 15
		BASSO	MODERATO	ELEVATO
12.3	9.8			ESTREMAMENTE ELEVATO



# PROCEDURA

## VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERSTON &amp; CABAL 2009

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6,14 secondo k1riss e Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo k1riss e Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ns per granulometria calcolato da lo secondo Robertson e Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ns per strati sottili di sabbia in mezzo agglia
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

**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

Indice di spostamento laterale LDI		
Indice di spostamento laterale LDI		
Cedimento di indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento terreni granulari	Indice di spostamento laterale LDI
per terreni granulari	(cm)	(cm)
<b>Cedimento</b>	<b>12</b>	<b>206</b>
<b>Cedimento considerando strati sottili</b>	<b>11</b>	<b>204</b>

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

Parametri utilizzati:

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

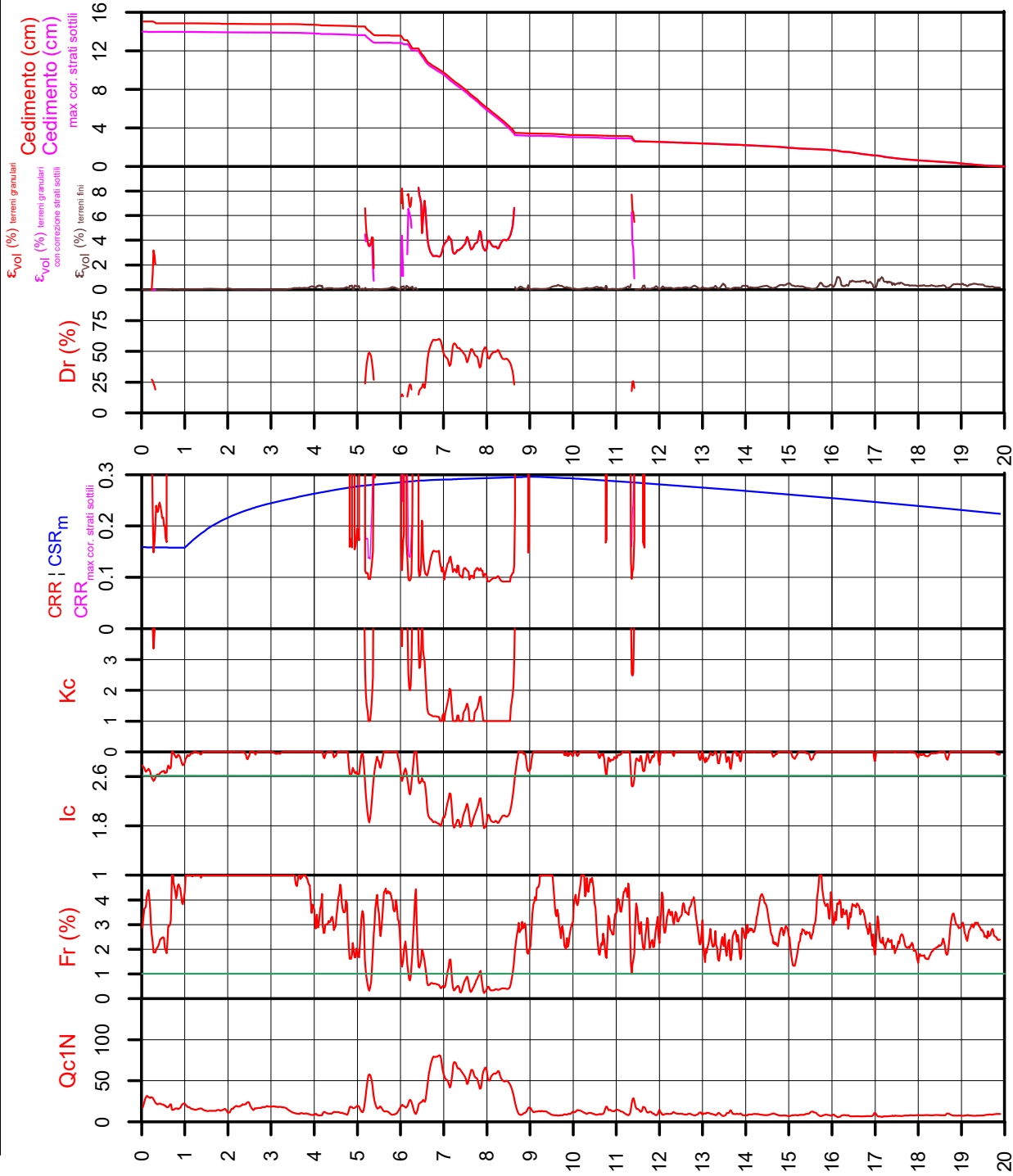
Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento laterali fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
<b>Cedimento</b>	<b>3</b>	<b>15</b>
<b>Cedimento considerando strati sottili</b>	<b>3</b>	<b>14</b>

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

### Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $F_{slq}$ e la profondità,

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

INDICE I <sub>1</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	
		IL <= 2
		2 < IL <= 5
		MODERATO
11.4	9.4	5 < IL <= 15
		ELEVATO
		IL > 15
		ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

CPT 3

Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
tipo di suolo

ammax substrato (m/sec2) 2.238  
fattore amplificazione D  
amplificazione topografica 1.000

3. STATO LIMITE  
SALVAGUARDARE LA VITA

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
tipo di riferimento

ammax substrato (m/sec2) 2.238  
fattore amplificazione 1.568  
ammax al p.c. (m/sec2) 3.491

amplificazione topografica 1.000  
magnitudo 6.140

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

ammax substrato (m/sec2) 2.238  
fattore amplificazione 1.706  
ammax al p.c. (m/sec2) 3.807  
magnitudo 6.140

SGT

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 Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = 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	9	105
Cedimento considerando strati sottili	9	104

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

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

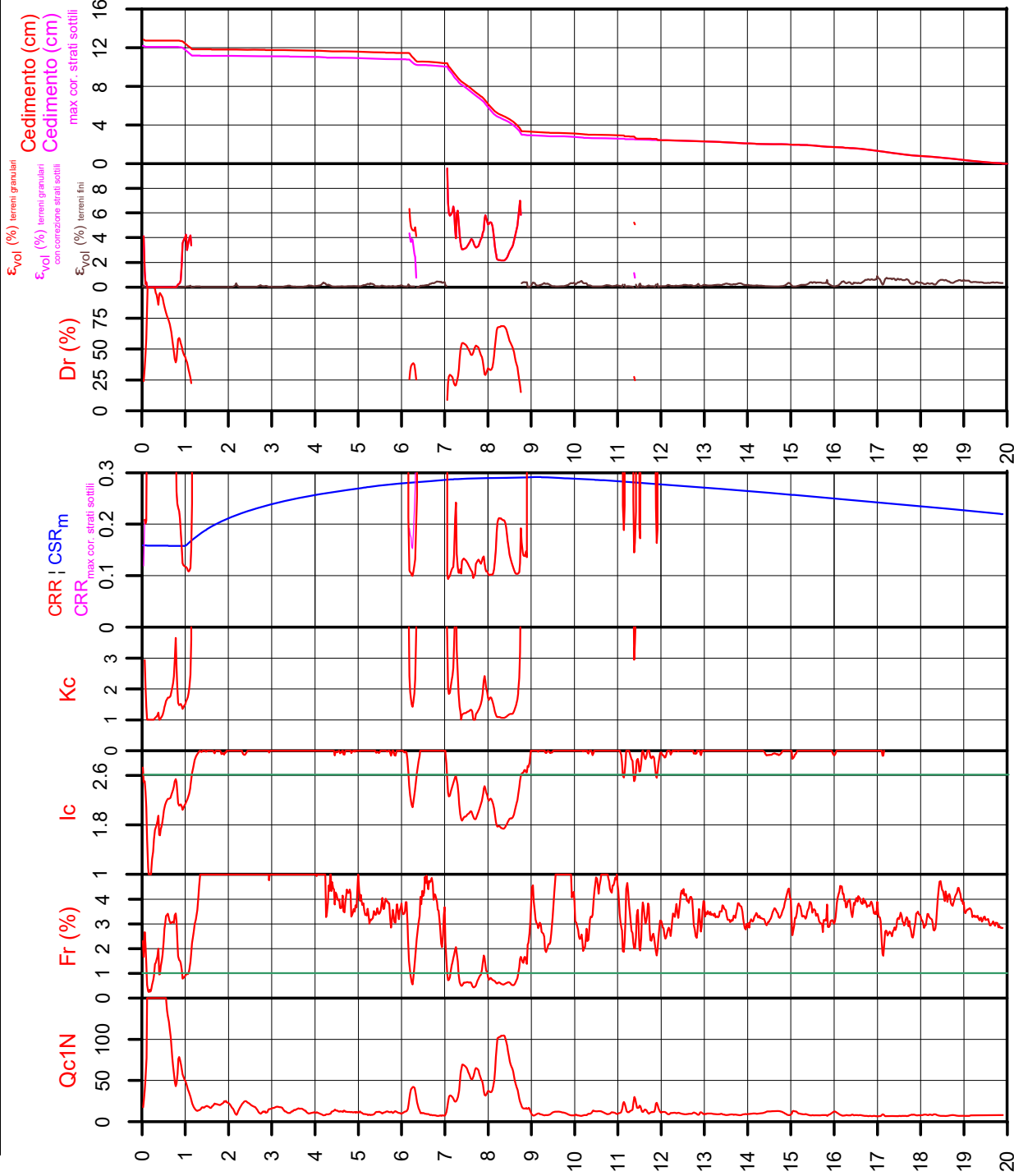
Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	4	13
Cedimento considerando strati sottili	4	12

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 Fslq 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	
	IL <= 2	BASSO
	2 < IL <= 5	MODERATO
7.4	5 < IL <= 15	ELEVATO
	IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



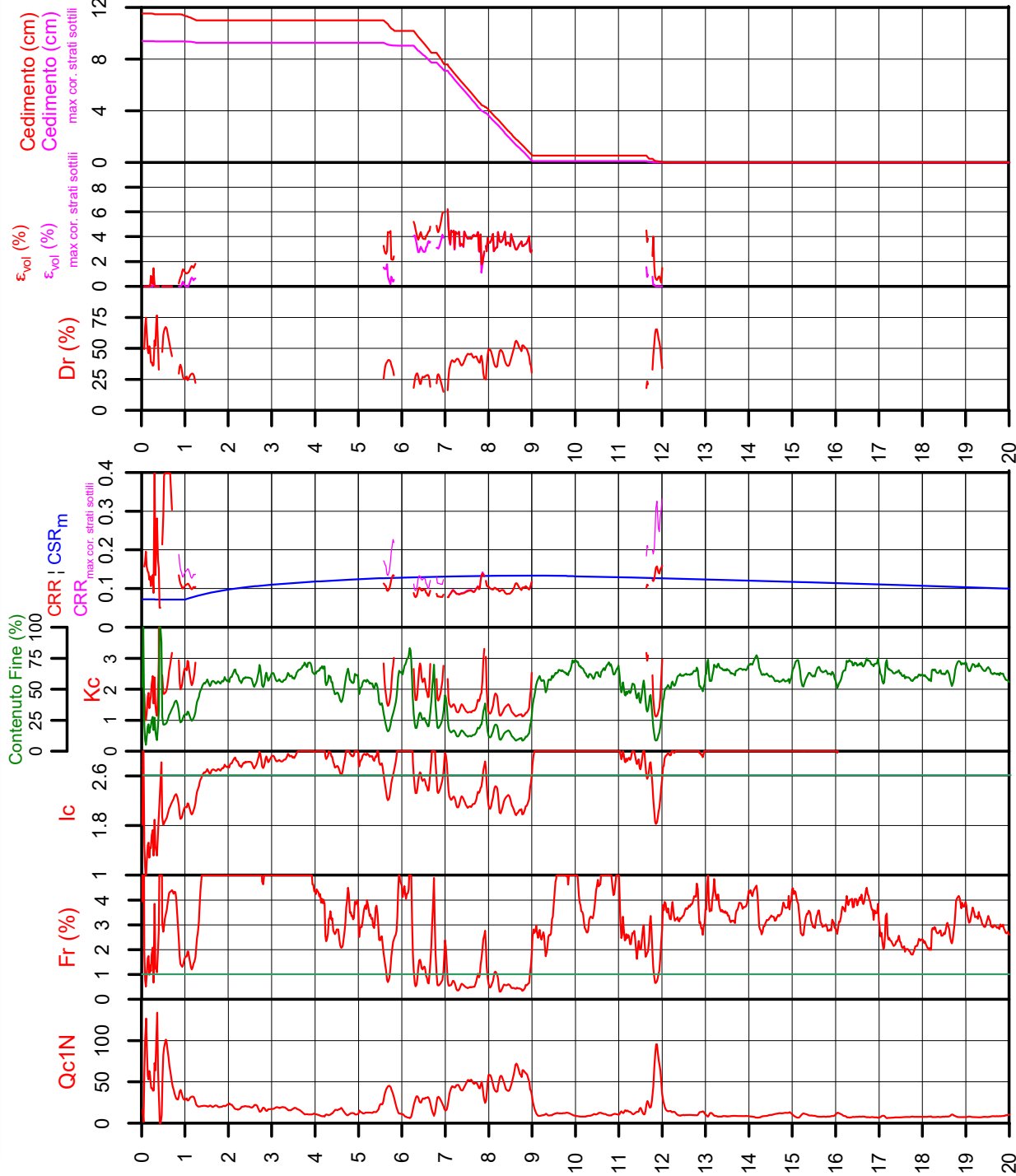


Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

CPT  
Fada presunta  
1 metri

NTC 2018	latitudine 44.471528° longitudine 11.961759° tipo di suolo	amax substrato (m/sec2) 0.883 fattore amplificazione 1.800 D amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000 1.590 2. STATO LIMITE DEL DANNO	6.140
----------	--	---	-------

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019	latitudine 44.471528° longitudine 11.961759° Stadio di riferimento Pianura 3 amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000 magnitudo	6.140
-------------------------------	---	-------



## PROCEDURA

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

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Itriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con:
  - Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - 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: Fslq = 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 1980
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	12	144
Cedimento totale considerando strati sottili	9	131

### 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 Fslq e la profondità.

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005	POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	4.7
con correzione per strati sottili	3.4
L <= 5	BASSO
5 < IL <= 15	ELEVATO
IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	4.7
con correzione per strati sottili	3.4
L <= 2	BASSA
2 < IL <= 5	MODERATA
5 < IL <= 15	ELEVATA
IL > 15	MOLTO ALTA

### INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	15
con correzione per strati sottili	12
%	
PPBI <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA
15 < PPBI <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
35 < PPBI <= 65	LIQUEFAZIONE NON LIQUEFAZIONE
65 < PPBI <= 85	UGUALMENTE IMPOSSIBILE
PPBI > 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
	LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

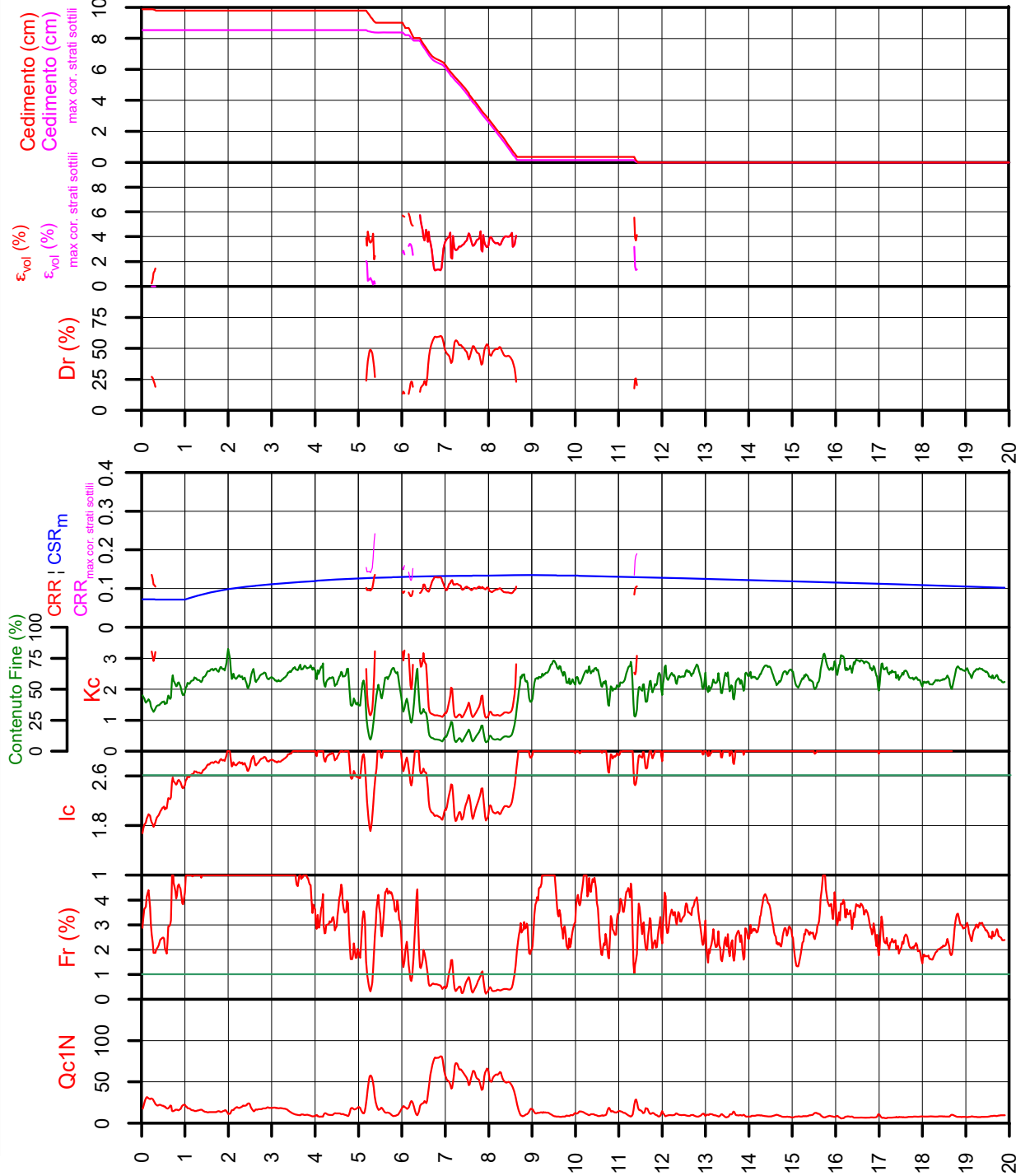
CPT  
Fada presunta  
1 metri

2

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	0.883
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.800
tipo di suolo	D	amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2)	1.590
2. STATO LIMITE DEL DANNO	1.000	magnitudo	6.140

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	0.883
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.700
Stadio di riferimento	Planura 3	amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2)	1.501
2. STATO LIMITE DEL DANNO	1.000	magnitudo	6.140



## PROCEDURA

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

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 secondo Itriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - 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: Fslq = 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 1980
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	10	169
Cedimento totale considerando strati sottili	9	154

### VALUTAZIONE DELL' INDICE L 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 L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005	POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	3.9
con correzione per strati sottili	3.1
L <= 5	BASSO
5 < IL <= 15	ELEVATO
IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

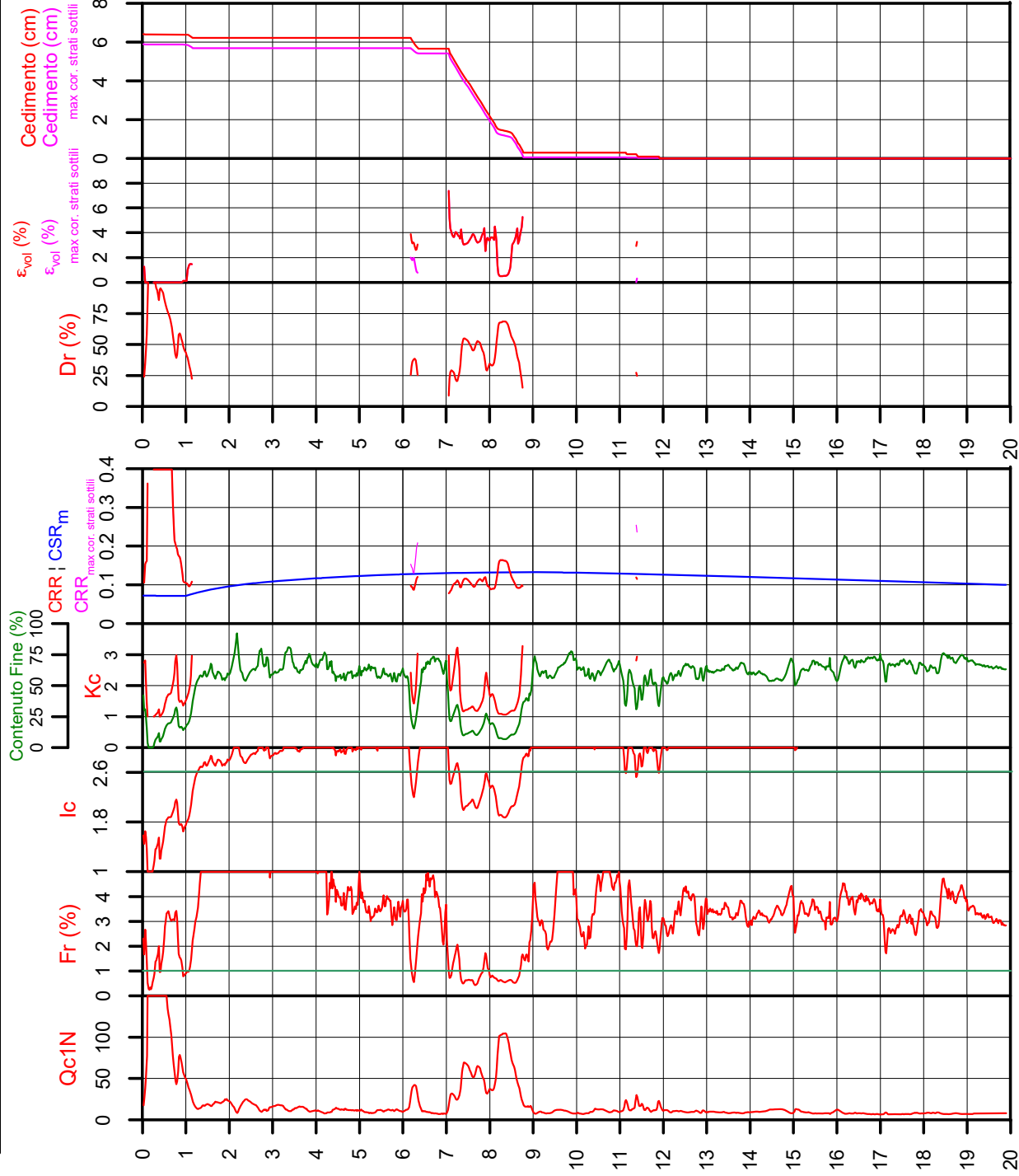
E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

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

INDICE L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	3.9
con correzione per strati sottili	3.1
L <= 2	BASSA
2 < IL <= 5	MODERATA
5 < IL <= 15	ELEVATA
IL > 15	MOLTO ALTA

### INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)

senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
12	11	PPBI <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA
		15 < PPBI <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPBI <= 65	LIQUEFAZIONE NON LIQUEFAZIONE
		65 < PPBI <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPBI > 85	LIQUEFAZIONE QUA SI CERTA



# PROCEDURA

VERIFICADILIQUEFAZIONE SECONDO BOU L'ANGER &amp; IDRISSE 2014

- \*  $a_{max}$  e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR secondo Boulanger & Idriss 2014 (Cyclic Stress Ratio per magnitudine 7.5)
- \*  $CR_{Rm}$  (Cyclic Resistance Ratio corretto per magnitudine 6.14) calcolato con
  - $Qc1N$  secondo  $Qc1N$  secondo Robertson & Wride 1998
  - Contenuto di fine secondo Boulanger & Idriss 2014
  - Correzione di  $Qc1N$  a  $Qc1N_{cs}$  basato su contenuto di fine e  $Qc1N$
  - $MSF$  (Magnitude Scaling Factor secondo Boulanger & Idriss 2014\*)
- Fattore  $K_h$  per la correzione di  $Qc1N_{cs}$  per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di correzione per tensione efficace  $K_v$  secondo Boulanger & Idriss 2014;
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - $I_c > 2.60$  e  $Fr > 1\%$  e spessori sopra falda presunta.
- \* **Fattore di sicurezza per liquefazione:**  $F_{slq} = CSR_{6.14}^* / CSR_{7.5}$

**CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE  
(ISHIHARA & YOSEMINI 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>11.5</b>	<b>147</b>
<b>Cedimento totale correzione strati sottili</b>	<b>9.1</b>	<b>124</b>

VALUTAZIONE DELL'INDICE I<sub>1</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SONMEZ 2003)

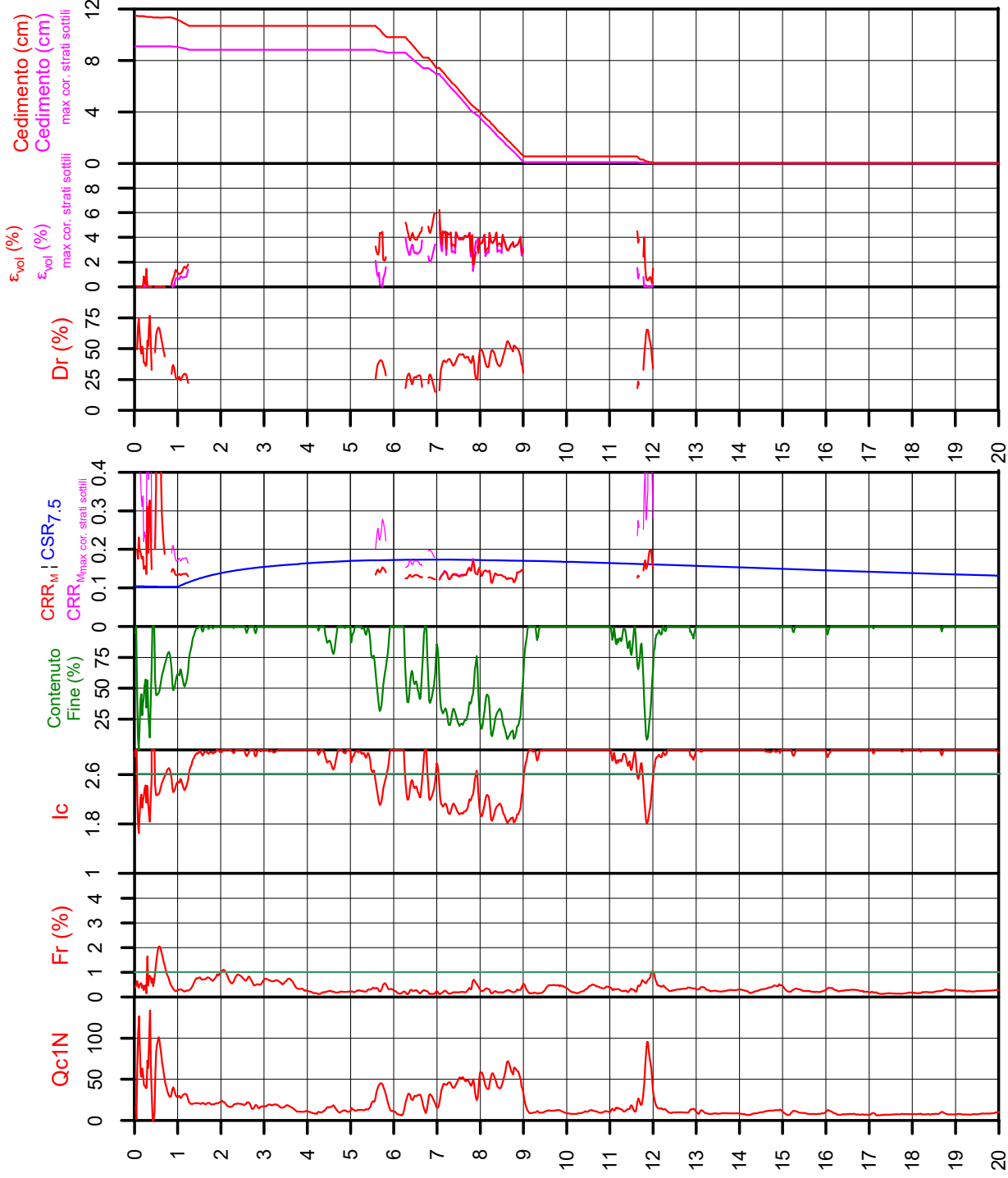
Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Esig e la profondità

INDICE I <sub>1</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Gomez 2005)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correlazione per strati sottili	con correlazione per strati sottili	
3.9	2.6	BASSA MODERATA ELEVATA MOLTO ALTA

## PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE Ppbl (FACCIORUSSO &amp; VANNUCCHI 2009)

## INDICE PPbI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciolo et al. 2009)

INDELLI PER IL PUNTO DI VISTA DEL PUNTO (a seconda della)		GIUDIZIO DI PERCOLISITA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
14	11	PPbi <= 15	
		15 < PPbi <= 35	
		35 < PPbi <= 65	
		65 < PPbi <= 85	
		PPbi > 85	





Comune  
Fusignano

Via  
Borsellino & Falcone

Localita'  
Fusignano

Committente  
Comune di Fusignano

Data  
11-mar-20

CPT

2

Falda presunta 1 metri

SGT

Società di Geologia Territoriale

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

NTC 2018

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
tipo di suolo D

amax substrato (m/sec2) 0.883  
fattore amplificazione 1.800  
amax al p.c. (m/sec2) 1.590  
magnitudo 6.140

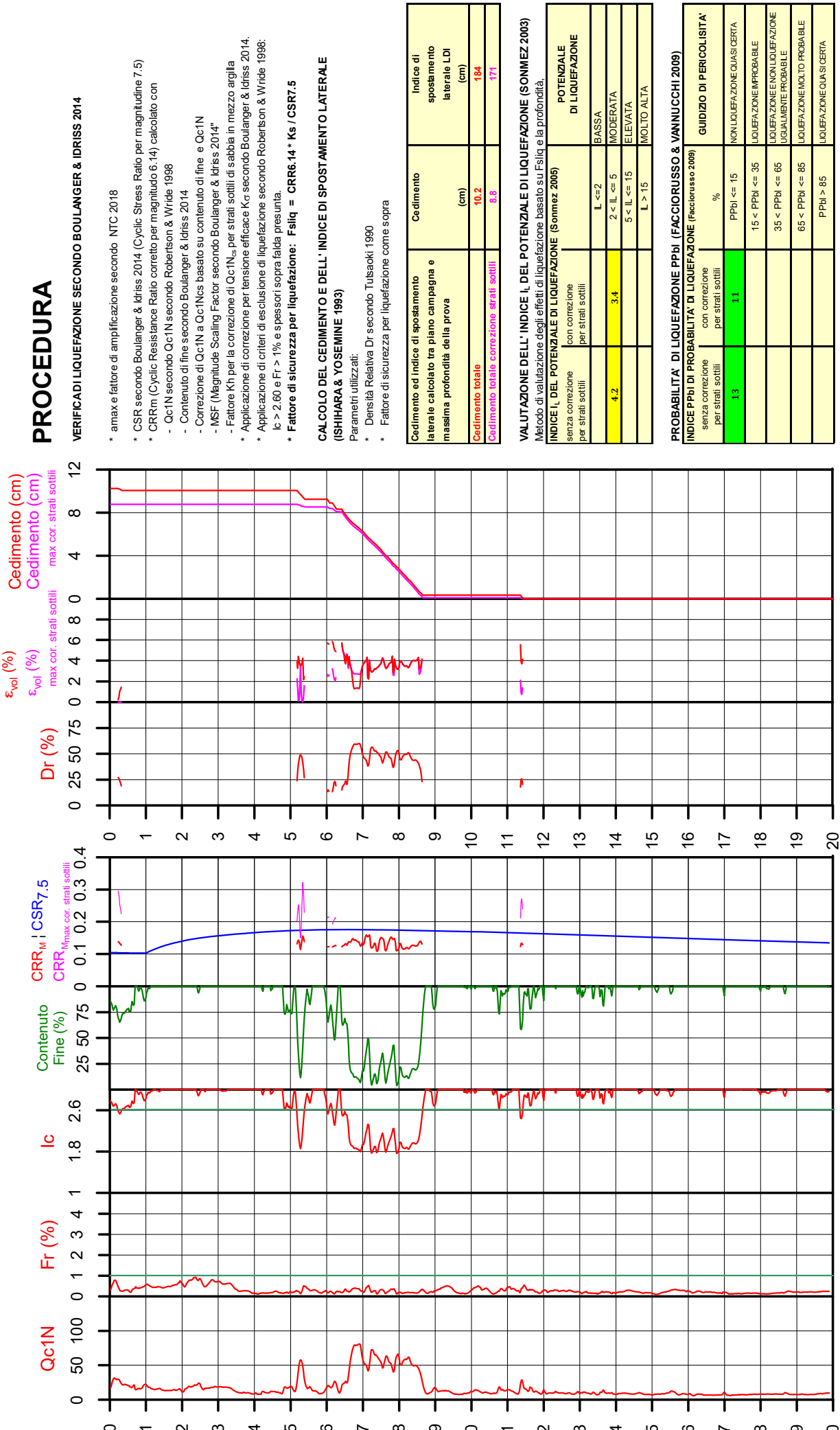
amplificazione topografica 1.000  
2. STATO LIMITE DEL DANNO

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
Studio di riferimento Pianura 3

amax substrato (m/sec2) 0.883  
fattore amplificazione 1.700  
amax a p.c. (m/sec2) 1.501  
magnitudo 6.140

amplificazione topografica 1.000  
magnitudo 6.140

DGR Emilia-Romagna 636 / 2019



Comune  
Fusignano

Via  
Borsellino & Falcone

Localita'  
Fusignano

Committente  
Comune di Fusignano

Data  
11-mar-20

CPT

3

Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
tipo di suolo D

amax substrato (m/sec2) 0.883  
fattore amplificazione 1.800  
amax al p.c. (m/sec2) 1.590  
magnitudo 6.140

amplificazione topografica 1.000  
2. STATO LIMITE DEL DANNO

DGR Emilia-Romagna 636 / 2019

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
Studio di riferimento Pianura 3

amax substrato (m/sec2) 0.883  
fattore amplificazione 1.700  
amax a p.c. (m/sec2) 1.501  
magnitudo 6.140

amplificazione topografica 1.000  
magnitudo 6.140

SGT

Società di Geologia Territoriale

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

Qc1N

Fr (%)

Ic

Contenuto Fine (%)

$CR_{m1}$

$CR_{mmax}$

Dr (%)

$\epsilon_{vol}$  (%)

Cedimento (cm)

Cedimento (cm)

0 50 100

0 1 2 3 4

1.8 2.6

25 50 75

0 0.1 0.2 0.3 0.4

0 25 50 75

0 2 4 6 8

0 2 4 6 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Calcolo del Cedimento e dell'Indice di Spostamento Laterale (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tubaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	6.6	161
Cedimento totale correzione strati sottili	6.0	161

Valutazione dell'Indice I<sub>L</sub> del Potenziale di Liquefazione (SOMMEZ 2003)

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SOMMEZ 2003)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	2.1	BASSA MODERATA ELEVATA MOLTO ALTA
con correzione per strati sottili	1.8	

Probabilità di Liquefazione PPbI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Indice PPbI di Probabilità di Liquefazione (Facciorusso 2009)

INDICE PPbI DI LIQUEFAZIONE PPbI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)		GIUDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	9	%
con correzione per strati sottili	8	PPbI <= 15
		15 < PPbI <= 35
		35 < PPbI <= 65
		65 < PPbI <= 85
		PPbI > 85

PROCEDURA

VERIFICADI LIQUEFAZIONE SECONDO BOULANGER & IDRIS 2014

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR secondo Boulanger & Idriss 2014 (Cyclic Stress Ratio per magnitudine 7.5)
- \* CRRm (Cyclic Resistance Ratio corretto per magnitudo 6.14) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Contenuto di fine secondo Boulanger & Idriss 2014
  - Correzione di Qc1N a Qc1Ncs basato su contenuto di fine e Qc1N
  - MSF (Magnitude Scaling Factor secondo Boulanger & Idriss 2014)
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di correzione per tensione efficace Kcs secondo Boulanger & Idriss 2014.
- \* 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:  $Fslit = CRR6.14 \cdot Ks / CSR7.5$

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

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tubaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	6.6	161
Cedimento totale correzione strati sottili	6.0	161

VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SOMMEZ 2003)

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SOMMEZ 2003)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	2.1	BASSA MODERATA ELEVATA MOLTO ALTA
con correzione per strati sottili	1.8	

PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Indice PPbI di Probabilità di Liquefazione (Facciorusso 2009)

INDICE PPbI DI LIQUEFAZIONE PPbI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)		GIUDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	9	%
con correzione per strati sottili	8	PPbI <= 15
		15 < PPbI <= 35
		35 < PPbI <= 65
		65 < PPbI <= 85
		PPbI > 85

Comune

Via

Localita'

Committente

Data

Fusignano

Borsellino & Falcone

Fusignano

Comune di Fusignano

11-mar-20

CPT

1

Falda presunta

1 metri

NTC 2018

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.238
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.568
tipo di suolo	D	amax al p.c. (m/sec2)	3.491
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140
3. STATO LIMITE SALVAGUARDARE LA VITA			

latitudine	44.471528°	amax substrato (m/sec2)	2.238
longitudine	11.961759°	fattore amplificazione	1.568
tipo di riferimento	Pianura 3	amax al p.c. (m/sec2)	3.491
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	6.140
3. STATO LIMITE SALVAGUARDARE LA VITA			

SGT

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 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione 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 Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = 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	16	171
Cedimento considerando strati sottili	14	154

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

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

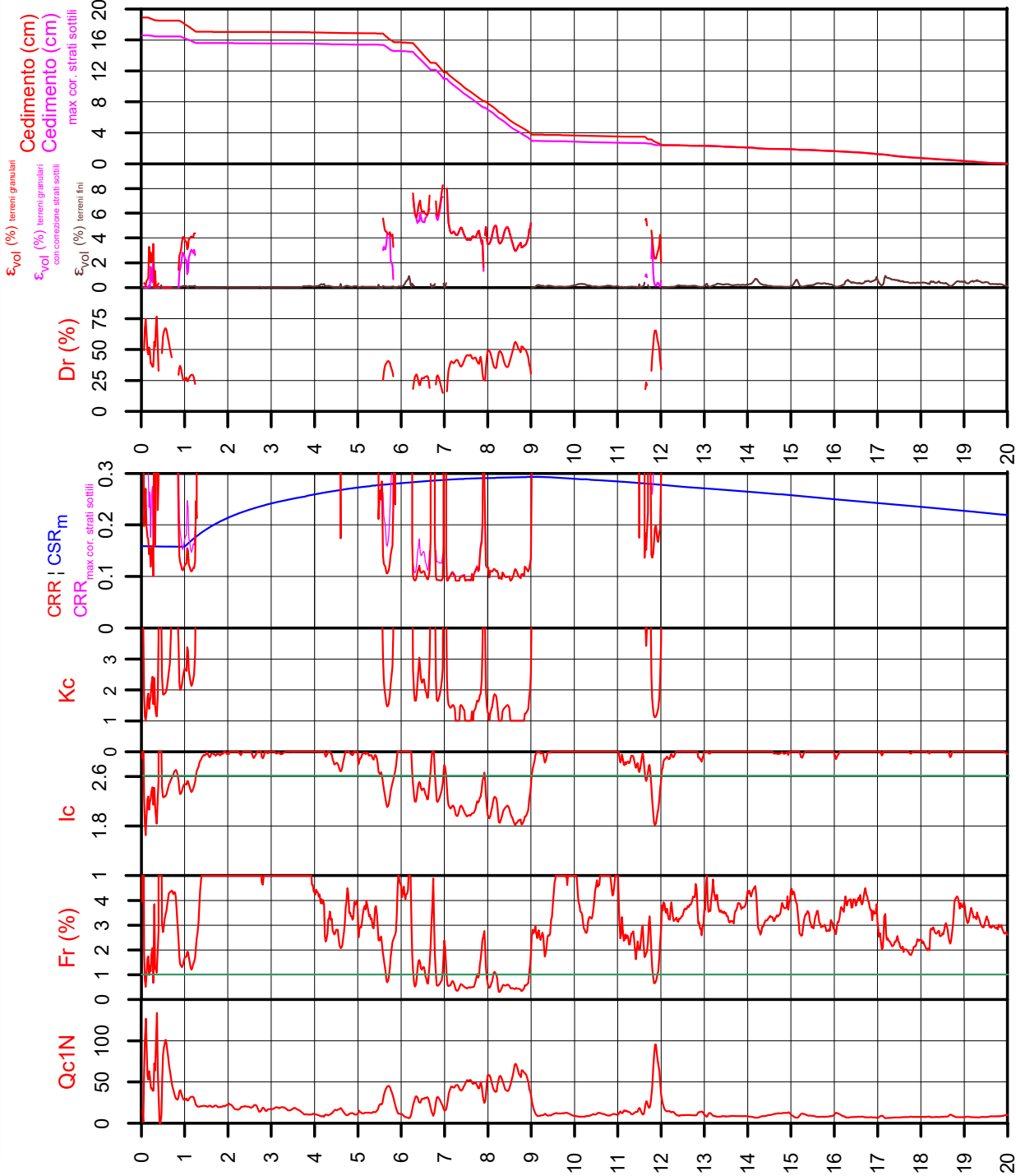
Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	3	19
Cedimento considerando strati sottili	3	17

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 Fslq e la profondità.

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	POTENZIALE DI ROTTURA		
		IL <= 2	2 < IL <= 5	5 < IL <= 15
		BASSO	MODERATO	ELEVATO
12.3	9.8			ESTREMAMENTE ELEVATO







Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Fusignano  
Borsellino & Falcone  
Fusignano  
Comune di Fusignano  
11-mar-20

CPT 3

Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
tipo di suolo  
amplificazione topografica  
2. STATO LIMITE DEL DANNO

amax substrato (m/sec2)  
fattore amplificazione  
D  
amax al p.c. (m/sec2)  
magnitudo

0.833  
1.800  
1.000  
1.590  
6.140

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

latitudine 44.471528°  
longitudine 11.961759°  
Studio di riferimento  
amplificazione topografica  
amax al p.c. (m/sec2)  
magnitudo

0.833  
1.706  
1.000  
1.590  
6.140

ammax substrato (m/sec2)  
fattore amplificazione  
amax al p.c. (m/sec2)  
magnitudo

0.833  
1.706  
1.000  
1.590  
6.140

SGT

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 Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = 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 laterale LDI (cm)
Cedimento	5	39
Cedimento considerando strati sottili	4	38

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	5	10
Cedimento considerando strati sottili	5	9

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 Fslq e la profondità.

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

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE con correzione per strati sottili		POTENZIALE DI ROTTURA
1.2	1.0	BASSO
	IL <= 2	MODERATO
	2 < IL <= 5	ELEVATO
	5 < IL <= 15	ESTREMAMENTE ELEVATO
	IL > 15	

## FUSIGNANO VIA BORSELLINO E FALCONE, PALESTRA SCOLASTICA T1

Instrument: TEN-0017/01-07

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 11/03/20 12:33:11 End recording: 11/03/20 13:41:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 1h08'24". Analyzed 50% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

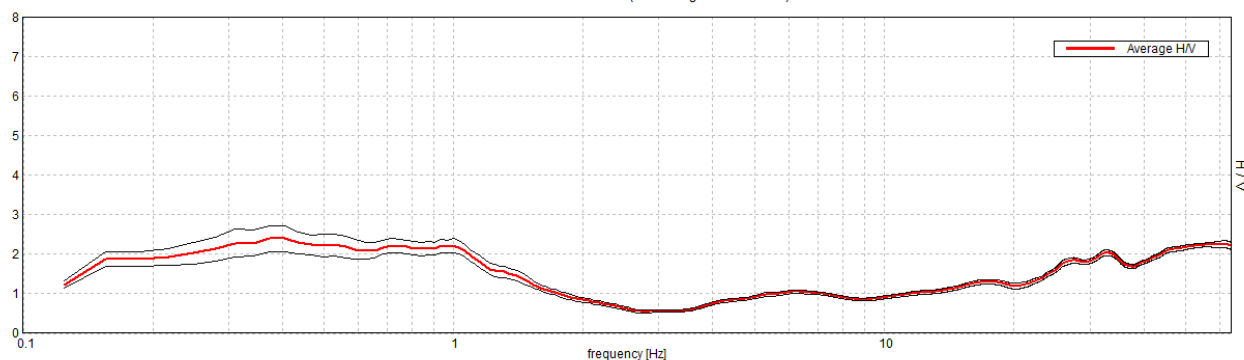
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

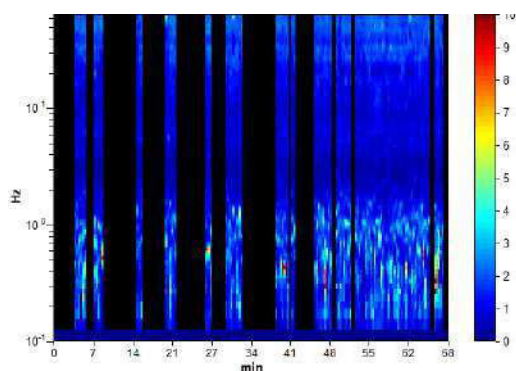
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

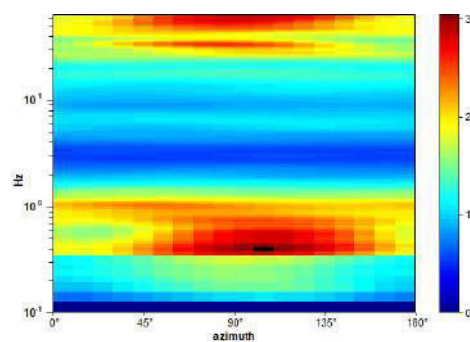
Max. H/V at  $0.41 \pm 0.07$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



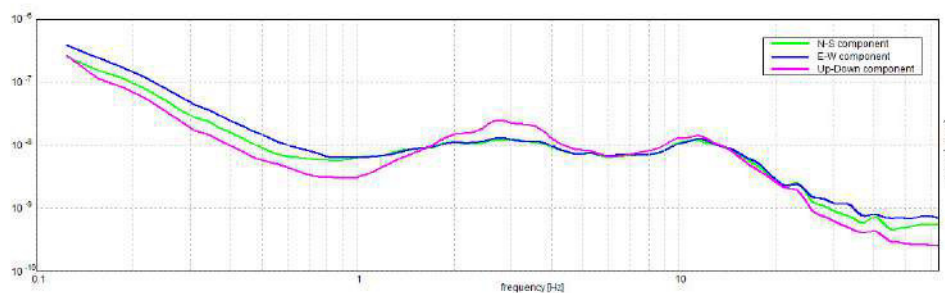
### H/V TIME HISTORY



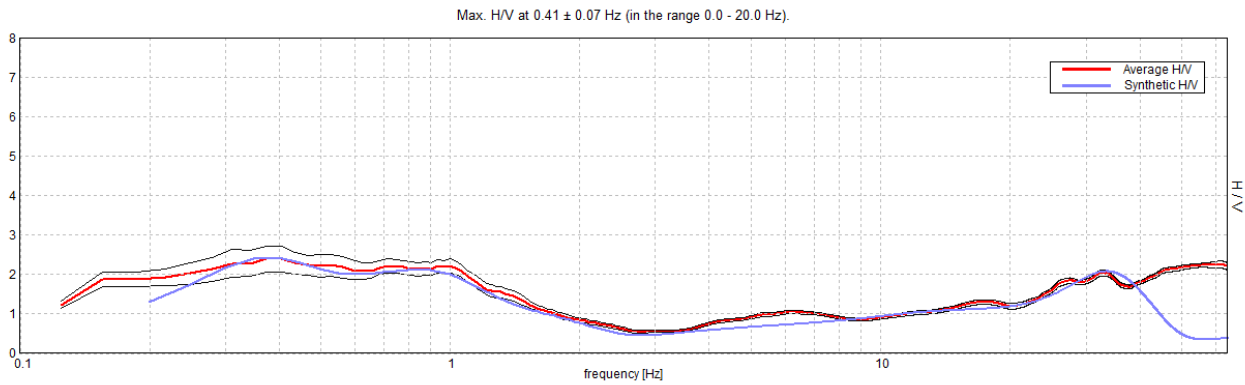
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

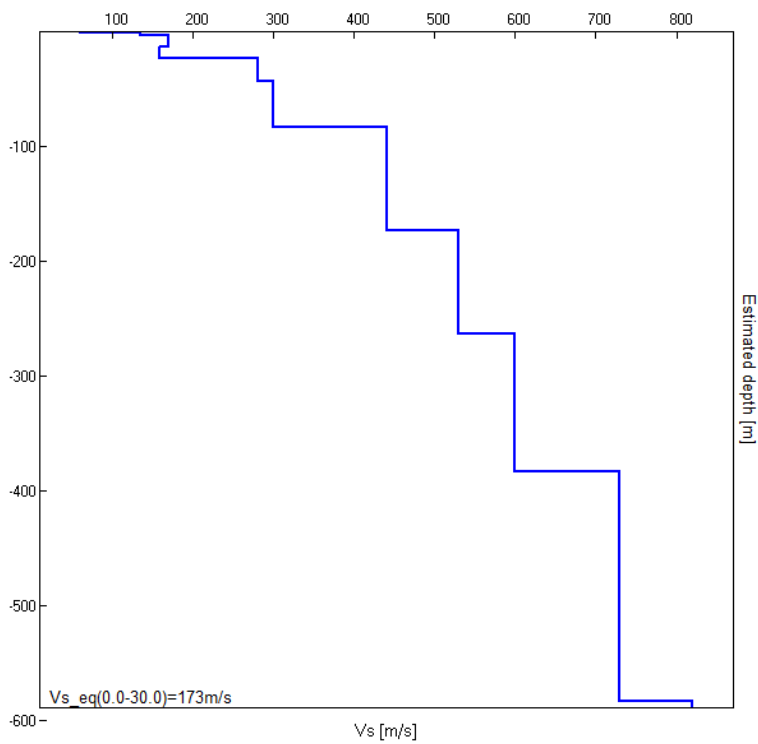


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.45	0.45	60	0.35
2.45	2.00	135	0.40
12.45	10.00	170	0.40
23.45	11.00	159	0.40
43.45	20.00	280	0.40
83.45	40.00	300	0.40
173.45	90.00	440	0.40
263.45	90.00	530	0.40
383.45	120.00	600	0.35
583.45	200.00	730	0.35
inf.	inf.	820	0.35

Vs\_eq(0.0-30.0)=173m/s



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

Max. H/V at  $0.41 \pm 0.07$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.41 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$828.8 > 200$	<b>OK</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 20 times	<b>OK</b>	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.563 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.39 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.17911  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07276 < 0.08125$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3272 < 2.5$	<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



## **PROVE PENETROMETRICHE CON PUNTA SISMICA ("CONO SISMICO")**

### **RELAZIONE TECNICA**

LOCALITA' FUSIGNANO  
VIA BORSELLINO & FALCONE  
PLESSO SCOLASTICO

Progetto per realizzazione di una nuova palestra nel plesso  
scolastico di Fusignano

---

#### **INDICE**

<b>1.</b>	<b>INDICAZIONI GENERALI .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>AZIONE SISMICA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>ELABORATI .....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>PROVA PENETROMETRICA SISMICA ("CONO SISMICO") .....</b>	<b>5</b>
4.1.	<i>Modalità operative.....</i>	5
4.1.1.	Sorgente di energia .....	5
4.1.2.	Apparato di ricezione.....	5
4.1.3.	Operazioni di campagna .....	6
4.1.4.	Acquisizione dati .....	6
4.2.	<i>Elaborazione dati.....</i>	8
4.3.	<i>Elaborazione dei log di <math>V_p</math>, <math>V_s</math> e dei Moduli Elastici Dinamici.....</i>	9
4.4.	<i>Elaborati prova penetrometrica sismica ("cono sismico") .....</i>	12
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>13</b>

## INDAGINE GEOFISICA

### PROVE PENETROMETRICHE CON PUNTA SISMICA ("CONO SISMICO")

#### 1. INDICAZIONI GENERALI

Per la realizzazione della nuova palestra e annessi spogliatoi, allo scopo di caratterizzare dal punto di vista elastico il materiale sedimentario interessato dall'opera, è stata realizzata, in corrispondenza della prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono, CPTU n.1, anche una indagine geofisica integrata che è consistita in n° 1 prova penetrometrica con punta sismica ("cono sismico") per determinare, in maniera puntiforme per intervalli di ogni metro in profondità, le velocità delle onde di taglio (S) e delle onde di compressione (P).

##### 1.1 Prove penetrometriche con cono sismico

La prova con cono sismico è stata effettuata in corrispondenza della prova penetrometrica statica denominata CPTU 1, mediante l'utilizzo dell'apparecchiatura, esclusiva della Progeo S.r.l., denominata "Cono Sismico" che si applica al gruppo di spinta del penetrometro.

Il cono sismico è composto da un tubolare in acciaio (vedasi foto a lato) nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due coppie di ricevitori (uno orizzontale ed uno verticale ortogonali fra loro) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 4 ricevitori) determinando così ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione, per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

L'indagine geofisica è stata finalizzata alla determinazione della categoria del suolo di fondazione secondo la nuova Normativa antisismica, con rilevazione in dettaglio delle variazioni verticali di velocità sismica delle onde di compressione ( $V_p$ ) e delle onde di taglio ( $V_s$ ) in corrispondenza delle prove penetrometriche, nonché alla determinazione complementare (mediante le relazioni che collegano tra loro i valori di  $V_p$  e di  $V_s$ ) dei moduli e dei parametri elastici dinamici (Elasticità  $E_{din}$ , Taglio  $G_{din}$ , Compressibilità  $K_{din}$ , Coefficiente di Poisson  $\nu$ ) utili per la caratterizzazione dinamica del sottosuolo.



## 2. AZIONE SISMICA

### Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s.</i>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente a quelle definite per le categorie C o D, con spessore del substrato non superiore a 30 m.</i>

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  è definita dall'espressione

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  è definita dall'espressione

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

### 3. ELABORATI

Al termine della presente relazione tecnica sono riportati gli elaborati cartografici delle risultanze ottenute dalla prova geofisica con “Cono sismico”.

Delle prove effettuate con cono sismico sono riportati due elaborati così suddivisi:

- elaborato grafico con tabella parametri elastici e log velocità onde di taglio ( $V_s$ ) e log velocità onde di compressione ( $V_p$ );
- elaborato grafico con log velocità onde di taglio e onde di compressione e log moduli elastici dinamici (Elasticità  $E_{din}$ , Taglio  $G_{din}$ , Compressibilità  $K_{din}$ , Coefficiente di Poisson  $\nu$ ).



## **4. PROVA PENETROMETRICA SISMICA (“CONO SISMICO”)**

### **4.1. Modalità operative**

Il sistema in oggetto permette di realizzare un'indagine di tipo sismico (tecnica “down hole”) complementare alla realizzazione di una prova penetrometrica statica.

Come per la tecnica in foro di sondaggio di tipo down-hole si prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità anche se, nel caso del “cono sismico”, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali) vengono determinati, con più dettaglio e solo nel tratto interessato, (ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione) per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda e non dall'elaborazione (per ogni shot e posizione in foro della sonda ricevente) dell'intero tragitto dalla superficie al ricevitore.

#### **4.1.1. Sorgente di energia**

Nei pressi della verticale di misura, mediante l'utilizzo di un piccolo pendolo d'acciaio che sollecita un incudine reso solidale al terreno, è stato generato ad ogni step di misura (ogni metro) un treno d'onda polarizzato sia orizzontalmente sia verticalmente.

Infatti, per effettuare le operazioni di acquisizione dati, è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive simili; il generatore usato e denominato “Hammer Blow” è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore e lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.

#### **4.1.2. Apparato di ricezione**

E' stata utilizzata una sonda originale Progeo realizzata in acciaio temprato nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due coppie di ricevitori (orizzontali e verticali) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 4 ricevitori).

Importante notare che i ricevitori, essendo montati in appositi alloggiamenti isolati acusticamente dal resto della sonda (vedasi dettaglio nell'immagine alla pagina seguente), permettono di ricevere l'energia proveniente dal terreno sollecitato e non quella che si propaga lungo l'asta penetrometrica di infissione.

È possibile perciò, per ogni ordinata di penetrazione (step di misura), determinare per differenza tra i tempi sismici di propagazione ( $\Delta t$ ) fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).



#### 4.1.3. Operazioni di campagna

E' stata realizzata dapprima la prova penetrometrica statica in modo normale come da consuetudine, ultimata la quale sono state estratte tutte le aste, dopodichè è stata ripetuta la prova infiggendo la "punta sismica" originale Progeo di nuovo nel terreno nella stessa verticale e fino alla profondità raggiunta in precedenza.

Ad ogni stop di infissione (metro) è stata eseguita una misura geofisica di energizzazione e ricezione dell'energia sismica delle onde di compressione e di taglio terminata la quale è stata montata una nuova asta penetrometrica ripetendo le operazioni di emissione e ricezione dell'energia con le stesse modalità fino al termine della prova.

#### 4.1.4. Acquisizione dati

I tempi di arrivo dell'energia polarizzata sono stati opportunamente registrati mediante l'utilizzo di un P.C. e di un sismografo EG&G Geometrics Geode dotato di estremo dettaglio di campionatura (0.018 millisec) collegato tramite cavo sismico con la punta di infissione.

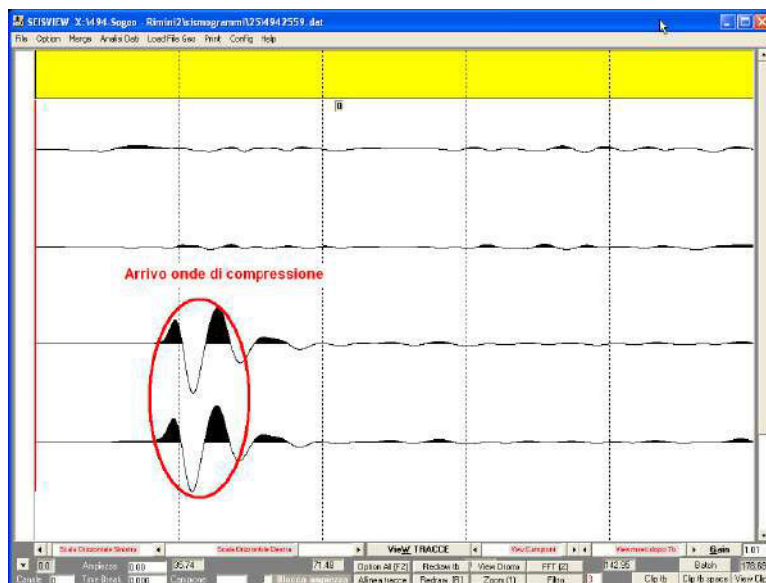
Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in profondità nel foro sono stati acquisiti ad ogni metro di profondità e, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono così realizzati:

canale 1	-	segnale del geofono orizzontale inferiore	(H2)
canale 2	-	segnale del geofono orizzontale superiore	(H1)
canale 3	-	segnale del geofono verticale inferiore	(V2)
canale 4	-	segnale del geofono verticale superiore	(V1)

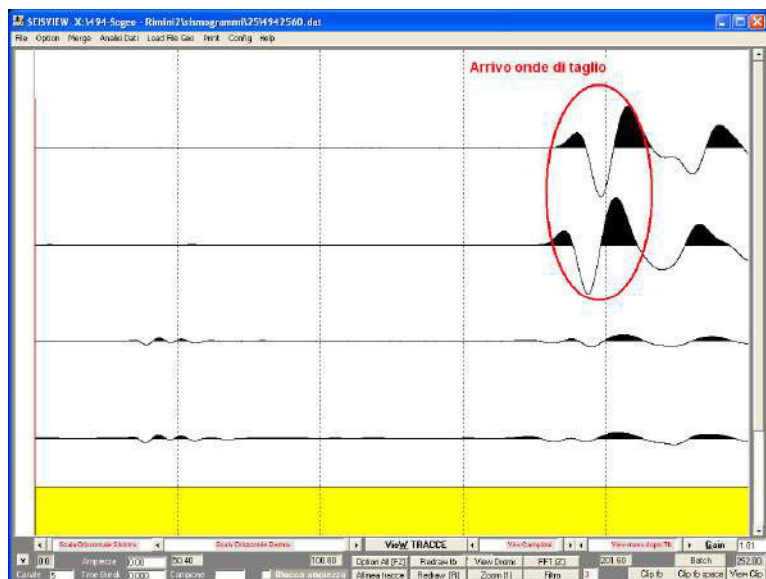
Ad ogni step di misura si sono effettuate due energizzazioni: una ortogonale rispetto alla superficie del piano campagna che ha generato un treno di onde di compressione (P) ed una parallela al piano campagna che ha generato un treno di onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (Sh).

Per ogni energizzazione si è registrato un sismogramma; quindi ci saranno sismogrammi sui quali sarà possibile determinare gli arrivi dell'onda di compressione (P) ed altri sui quali sarà possibile determinare gli arrivi dell'onda di taglio (Sh).



Un sismogramma tipico è rappresentato nell'immagine a lato nella quale si sono evidenziati gli arrivi dell'onda di compressione sui due geofoni verticali.

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.



Nell'immagine a lato è rappresentato invece un sismogramma tipico in cui si sono evidenziati gli arrivi delle onde di taglio sui geofoni orizzontali.

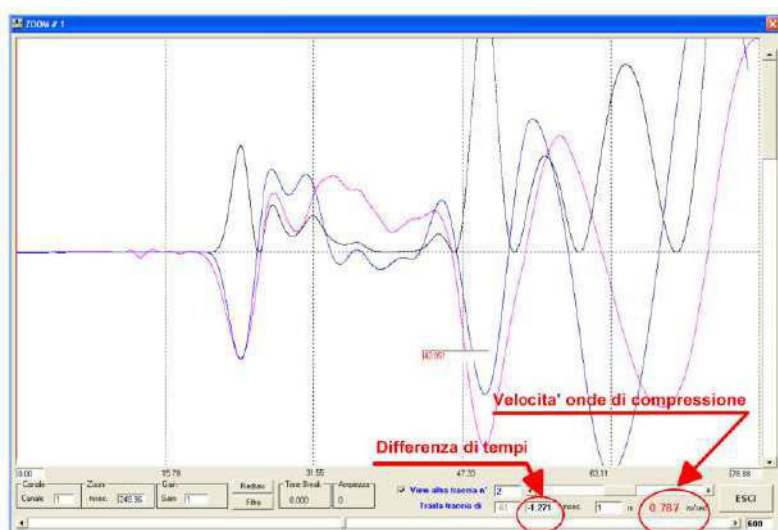
Analogamente a quanto esposto sopra, per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (S) sia sul geofono del canale 1 sia sul geofono del canale 2 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

## 4.2. Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati viene sviluppato secondo la tecnica differenziale (cross correlazione).

Infatti, avendo a disposizione una sonda ricevente (“cono sismico”) con spaziatura intergeofonica di 1 metro e un ridotto intervallo di campionamento (0.018 millisecondi) consentito dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE è possibile determinare per partizioni discrete direttamente nel tratto interessato i valori cinematici differenziali.

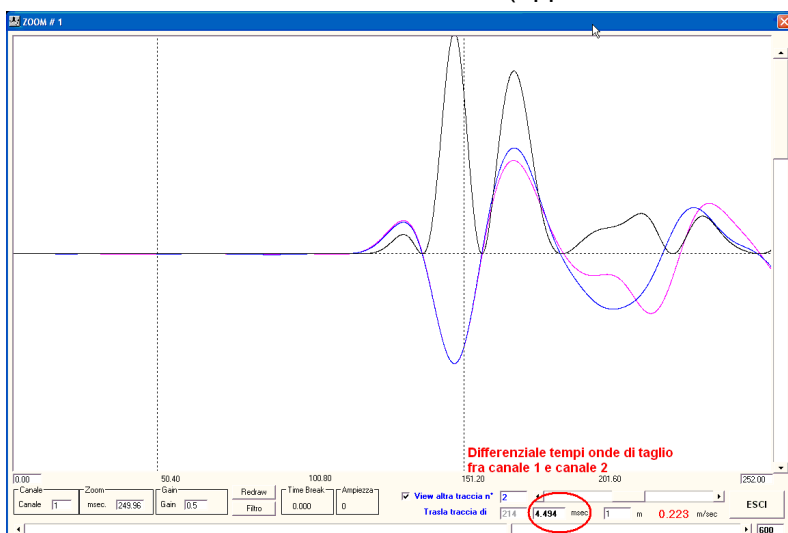
La valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio è stata effettuata mediante Cross Correlazione di cui si riporta un esempio nell'immagine qui di lato.



Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità dei tempi.

Questa metodologia è indicata e sufficientemente precisa per la valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P.

Per le onde di taglio S si procede all'analisi dell'inversione delle tracce sismografiche individuando quale sia il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di polarità), poi si affina la ricerca mediante Cross Correlazione (applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz -



1983-) e si determina così il valore del tempo differenziale fra le due tracce omologhe.

Una volta individuato il primo arrivo dell'onda di taglio (con procedura analoga per le onde di compressione) si procede con una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le varie tracce allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi e determinare la massima verosimiglianza tra le tracce.

Tale tecnica in pratica consiste nel valutare il “ritardo” di arrivo dell'onda di compressione e/o di taglio fra il geofono inferiore e quello superiore valutando unicamente su base sismografica il valore di tempo che intercorre fra i due arrivi; nell'immagine qui sopra è riportato un esempio di tale tecnica elaborativa.



#### 4.3. Elaborazione dei log di Vp, Vs e dei Moduli Elastici Dinamici

Dopo aver inserito nel programma elaborativo le geometrie di ricerca (distanza punto di energizzazione in superficie, coordinate della sonda in profondità) ed elaborato per ciascun canale di ricezione i tempi di arrivo dell'energia sismica prodotta dalla superficie topografica e registrata sulla verticale del punto di indagine secondo la tecnica differenziale (cross correlazione), sono state realizzate tabelle e diagrafie (per step di misura di metro) relative ai parametri sismici cinematici Vp e Vs ed ai corrispondenti moduli elastici dinamici che si possono ottenere dalle interrelazioni che collegano le velocità delle onde di compressione e quelle di taglio.

Infatti, per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici e/o di prove di laboratorio su campioni prelevati nei sondaggi geognostici, può essere opportuno fornire al Committente altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) che la prova penetrometrica con "Cono sismico" è in grado di fornire contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche (Vp e Vs) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998):

- Coefficiente di Poisson	( $\nu$ )	
- Peso di volume	( $\gamma_{din}$ )	in t/m <sup>3</sup>
- Modulo di Elasticità dinamico	( $E_{din}$ )	in Kg/cm <sup>2</sup>
- Modulo di Taglio dinamico	( $G_{din}$ )	in Kgcm <sup>2</sup>
- Modulo di Compressibilità dinamico	( $K_{din}$ )	in Kgcm <sup>2</sup>

Il *Coefficiente di Poisson* ( $\nu$ ), noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell'altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di Vp e di Vs il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad \nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}.$$

Il *Peso di volume* ( $\gamma_{din}$ ) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:

$$\text{Peso di volume} \quad \gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in T/m}^3).$$

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

$$\text{Densità geofisica} \quad \delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{accelerazione di gravità m/sec}),$$

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*  $E_{din}$  definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione  $V_p$ , della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Elasticità} \quad E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*  $G_{din}$  definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio  $V_s$  e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Taglio} \quad G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Compressibilità} \quad K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad (K_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

Il modulo di taglio  $G_{din}$ , oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri

caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di  $G_{din}$  dei due strati):

Rigidità sismica 
$$R = \delta_{din} \sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}} \quad (R \text{ in } t/(m^2 \cdot sec))$$

Periodo proprio 
$$T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}} \quad (T \text{ in sec})$$

Rapporto di Impedenza 
$$\lambda = \frac{\delta_{din1} \cdot G_{din1}}{\delta_{din2} \cdot G_{din2}} \quad (\lambda \text{ adimensionale})$$

Il modulo di compressibilità  $K_{din}$  o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico B o, inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità  $C_c$ .

Tutti questi parametri elastici infine possono essere utilizzati per l'applicazione del metodo degli elementi finiti a problemi geotecnici.

Tali metodi offrono notevoli vantaggi rispetto ai metodi di calcolo tradizionali come ad esempio:

- \* l'opera geotecnica può avere una forma qualsiasi;
- \* nel calcolo si può tener conto del comportamento non lineare sia del terreno sia della struttura;
- \* è possibile effettuare simulazioni per ottimizzare la costruzione dell'opera d'arte anche in condizioni sismiche.

Mediante la prova geofisica con "Cono sismico" potrà altresì essere caratterizzato il sito d'indagine secondo le classi di terreno previste dal D.M. del 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" fino alle profondità raggiunte dalla prova stessa ( $V_{s30}$  solo se la prova raggiungerà tale profondità).

#### 4.4. Elaborati prova penetrometrica sismica (“cono sismico”)

Nella documentazione cartografica riportata al termine della presente relazione sono presentate in 2 tavole distinte le tabelle numeriche e i grafici (log) relativi ai parametri geosismici e moduli elastici dinamici analizzati.

Nell'ordine e in dettaglio sono riportati in ciascuna delle 2 tavole:

##### **Tabelle**

Nella prima tavola è rappresentata la tabella numerica dei parametri geofisici intergeofonici rilevati ogni metro di profondità mediante tecnica differenziale (cross correlazione).

Più in dettaglio, sono riportati in tabella numerica i seguenti dati distinti per colonna:

1. Profondità (m);
2.  $V_p$       velocità onde di compressione (m/sec);
3.  $V_s$       velocità onde di taglio (m/sec);
4.  $\mu$         coefficiente di Poisson;
5.  $\gamma$         peso di volume ( $t/m^3$ );
6.  $E_{din}$      modulo di elasticità dinamico -Young- ( $kg/cm^2$ );
7.  $G_{din}$      modulo di taglio dinamico ( $kg/cm^2$ );
8.  $K_{din}$      modulo di compressibilità dinamico ( $kg/cm^2$ )

Alla base della tabella è riportata la legenda dei parametri rilevati.

A lato della tabella numerica sono riportati i log di velocità delle onde di taglio (in rosso) e delle onde di compressione (in verde); le scale delle diagrafie sono in m/sec.

Alla base dei log è altresì riportato in un riquadro a parte il valore di  $V_{s30}$ , e la categoria di suolo in funzione della classificazione sismica dei suoli secondo il D.M del 14/01/2008.

##### **Grafici**

Nella seconda tavola sono rappresentati i grafici dei parametri elastici dinamici relativi ai valori di velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) nonché ai valori dei moduli elastici dinamici (elasticità o di Young, taglio, compressibilità) e del coefficiente di Poisson; i log dei valori rilevati ogni metro di profondità lungo la verticale del foro sono riportati nel seguente ordine:

- velocità onde P e onde S;
- coefficiente di Poisson;
- modulo di elasticità  $E_{din}$ ;
- modulo di taglio  $G_{din}$ ;
- modulo di compressibilità  $K_{din}$ .



## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nell'area in esame si è provveduto ad eseguire anche una indagine integrata geomeccanico-geofisica allo scopo di caratterizzare al meglio, secondo la normativa antisismica (DM 17-01-2018 "Norme tecniche per le costruzioni"), la categoria dei suoli.

La caratterizzazione geofisica dei materiali in oggetto è stata affidata a n° 1 prova penetrometriche con punta sismica denominate CPTU 1.

Vista l'elaborazione, fino alla profondità adeguata (in termini di  $V_{s30}$ ), delle onde di taglio S, l'indagine può quindi soddisfare i requisiti relativi alla nuova normativa antisismica come classificazione dei terreni locali.

Infatti, l'indagine geofisica eseguita mediante l'utilizzo dell'apparecchiatura, esclusiva della Progeo S.r.l., denominata "Cono Sismico" che si applica all'attrezzatura geomeccanica di spinta del penetrometro, ha determinato, per intervalli di ogni metro fino alla profondità raggiunta, le velocità delle onde di taglio (e, in sinergia, anche quelle delle onde di compressione P per la determinazione complementare dei moduli elastici dinamici del terreno) permettendo di caratterizzare adeguatamente il deposito sedimentario sulla base della suddetta normativa antisismica.

**Alla luce di quanto sopra esposto e dall'analisi delle risultanze geofisiche applicate al sito, ovvero indagine penetrometrica con cono sismico ad onde di compressione e di taglio, si può affermare che i terreni di fondazione appartengono alla categoria D in quanto il valore di  $V_{s30}$ , eseguendo un'analisi progressiva, è risultato di 174 m/sec per il tratto compreso fra 0 e 30 m dal piano campagna.**

<b>COMMITTENTE</b>	<b>SGT SRL</b>
<b>CONO SISMICO</b>	<b>CPTU 1</b>
<b>Località</b>	<b>FUSIGNANO</b>
<b>Data acquisizione</b>	<b>11/03/2020</b>

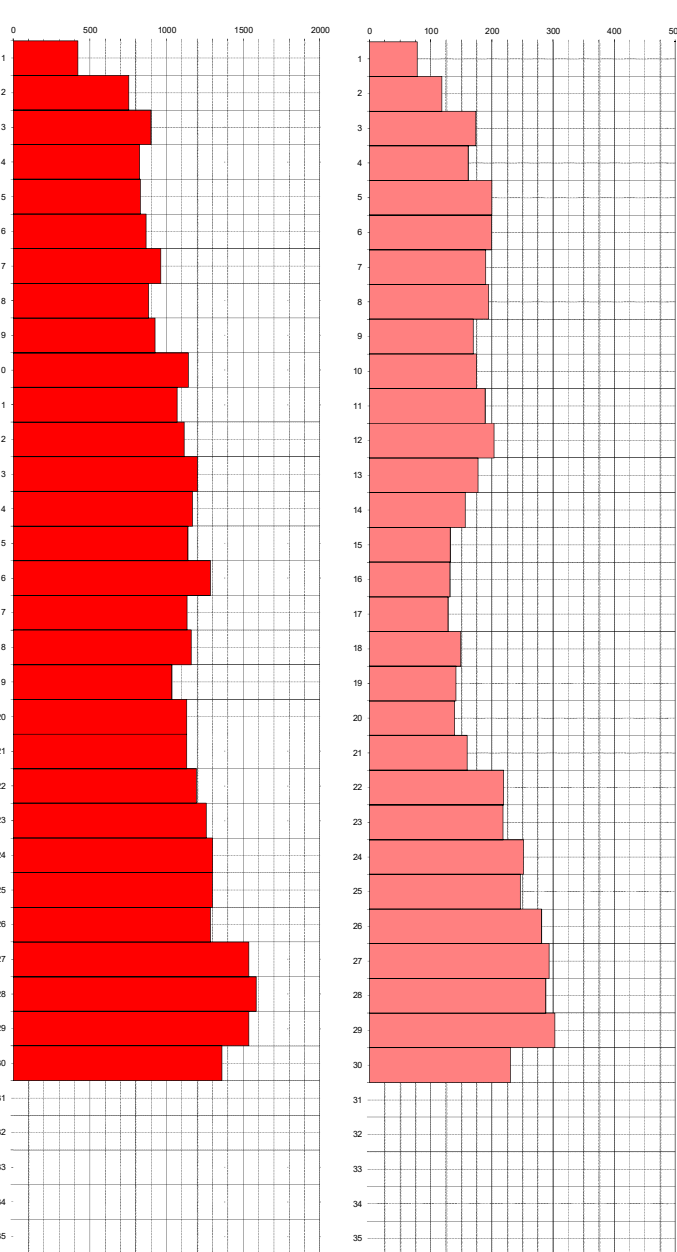
**Codice lavoro** **509-82**



VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE	VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec	m/sec

Profondità	Vp	Vs	v	γ	E <sub>din</sub>	G <sub>din</sub>	K <sub>din</sub>
m/sec.	m/sec.			T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²
0							
1	421	78	0.48	1.61	296	100	2772
2	754	118	0.49	1.80	764	257	10065
3	898	174	0.48	1.86	1688	570	14488
4	824	161	0.48	1.83	1433	484	12009
5	829	200	0.47	1.83	2193	747	11797
6	866	200	0.47	1.84	2203	748	13090
7	962	190	0.48	1.88	2056	695	16836
8	883	195	0.47	1.85	2112	716	13739
9	924	169	0.48	1.87	1617	545	15526
10	1142	175	0.49	1.94	1798	604	25006
11	1070	189	0.48	1.92	2082	702	21443
12	1115	204	0.48	1.93	2430	819	23414
13	1200	178	0.49	1.96	1877	630	27979
14	1170	156	0.49	1.95	1448	486	26573
15	1139	132	0.49	1.94	1032	345	25222
16	1285	132	0.49	1.99	1048	351	33003
17	1134	128	0.49	1.94	975	326	24994
18	1160	149	0.49	1.95	1317	441	26150
19	1035	141	0.49	1.91	1156	388	20319
20	1133	139	0.49	1.94	1144	383	24855
21	1133	159	0.49	1.94	1495	502	24697
22	1195	219	0.48	1.96	2848	961	27238
23	1258	218	0.48	1.98	2856	962	30640
24	1300	252	0.48	1.99	3810	1287	32618
25	1297	247	0.48	1.99	3657	1235	32493
26	1285	282	0.47	1.99	4737	1606	31329
27	1536	294	0.48	2.06	5355	1808	47039
28	1585	288	0.48	2.07	5201	1754	50608
29	1536	303	0.48	2.06	5698	1925	46882
30	1361	230	0.49	2.01	3225	1086	36460
31							
32							
33							
34							
35							

Legenda parametri dinamici					
<b>Tp</b>	Tempi onde di compressione	millisecondi	<b>γ</b>	Peso di volume	T/m³
<b>Ts</b>	Tempi onde di taglio	millisecondi	<b>E<sub>din</sub></b>	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
<b>Vp</b>	Velocità onde di compressione	m/sec	<b>G<sub>din</sub></b>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
<b>Vs</b>	Velocità onde di taglio	m/sec	<b>K<sub>din</sub></b>	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
<b>v</b>	Coefficiente di Poisson	-			



CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (D.M. del 14/01/2008)			
$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1,H} \frac{h_i}{V_{Si}}}$	<b>V<sub>seq</sub></b>	=	<b>174</b> m/sec
<b>CATEGORIA SUOLO</b>		=	<b>D</b>

COMMITTENTE
CONO SISMICO
Località
Data acquisizione

SGT SRL
CPTU 1
FUSIGNANO
11/03/2020



GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI

