

**COMMISSARIO DELEGATO**

EMERGENZA SISMA REGIONE EMILIA-ROMAGNA AI SENSI DELL'ART.1 COMMA 2 DEL D.L. N. 74/2012

STRUTTURA TECNICA COMMISSARIO DELEGATO

**REGIONE EMILIA-ROMAGNA**  
**SPOGLIATOIO AD USO SCOLASTICO CAMPO DI**  
**CALCIO - STADIO DI FINALE EMILIA**

**PROGETTO PRELIMINARE**



COMMITTENTE

Comune di Finale Emilia (MO)

R.U.P.

Ing. Mauro Monti

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. Nico Boschetti  
Ing. Saverio Colella  
Arch. Rita Bencivenni  
Arch. Riccardo Castaldini

PROGETTISTA

Arch. Alfiero Moretti

ELABORATO:

**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA**

Bologna, Marzo 2016

TAVOLA:

**2.**

SCALA:

-



# COMUNE DI FINALE EMILIA

Provincia di Modena

41034 - Via Monte Grappa, 6 Centralino 0535/788111

C.F. e P.I.V.A. 00226970366

Prot.n.



Spett.le  
S.T.C.D.  
REGIONE EMILIA ROMAGNA

Via della Fiera, 8  
40127 BOLOGNA (BO)

03 MAR 2016

**OGGETTO:** Programma delle OO.PP. e dei BB.CC.

Campo sportivo Robinson, Finale Emilia (MO) - N.ordine 599.

Vista vostra richiesta di integrazione (vs. id. CR/2016/1288 del 14/01/2016 e ns. prot. 1221 del 14/01/2016), si trasmette in duplice copia:

- *Studio geologico geotecnico e sismico relativo ai terreni di fondazione.*

Si rimane in attesa di sottoscrivere la convezione con la S.T.C.D. affinché si faccia carico di curare la nomina del R.U.P., redazione della progettazione esecutiva, fase della realizzazione dell'opera in oggetto come da nostra richiesta prot. 2843 del 28/01/2016 e vs. prot. CR/2016/3822 del 28/01/2016.

Distinti saluti  
Finale Emilia, 26/02/2016

REGIONE EMILIA-ROMAGNA: GIUNTA

CR.2016. 0009693  
del 29/02/2016



Responsabile Area LL.PP.

Arch. Francesca Mazzarella



# GEOLOGIA AMBIENTALE ED IDROGEOLOGICA

*indagini geologiche e geotecniche  
consulenze  
analisi di laboratorio e prove in sito*



*Dott. Geol. MARCO MANTOVANI  
Viale Rinascita, 12 - 46028 Sermide (MN)  
Tel. 0386/61891-62398 \*Fax 0386/61891  
E-mail m.mantovani5@virgilio.it*

03 MAR 2016

**STUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO E SISMICO  
RELATIVO AI TERRENI DI FONDAZIONE A RIGUARDO  
DELLA REALIZZAZIONE DI NUOVI SPOGLIATOI  
CAMPO DI CALCIO STADIO FINALE EMILIA - VIA DI  
SOTTO, FINALE EMILIA (MO) - FG. 67 MAPP. 226**

**COMMITTENTE: COMUNE DI FINALE EMILIA  
41034 FINALE EMILIA (MO)**



SERMIDE, GENNAIO 2016



NS-PROT. 6569 del 26.02.2016

## INDICE

1) PREMESSA	Pag.	3
2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag.	6
3) SUBSIDENZA	Pag.	14
4) CENNI STRATIGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	Pag.	15
5) ELABORAZIONE DATI PENETROMETRICI	Pag.	16
5.a) Calcolo cedimenti	Pag.	19
5.b) FONDAZIONI SUPERFICIALI	Pag.	20
6) VALUTAZIONE RISCHIO SISMICO	Pag.	21
6.1) Cenni sulle tecniche sismiche utilizzate	Pag.	21
6.2) Operazioni di acquisizione dati	Pag.	23
6.3) Lavoro di campagna	Pag.	24
6.4) Interpretazione geofisica onde Vs tecnica Masw "Vs30"	Pag.	24
6.5) Calcolo azione sismica di progetto	Pag.	28
6.6) Caratteristiche del sito	Pag.	33
6.6) Rischio Liquefazione	Pag.	33
7) ANALISI TERZO LIVELLO	Pag.	44
7.1) Stima dei cedimenti permanenti post-sismici dei terreni coesivi – granulari non liquefacibili	Pag.	45
7.2) Analisi RSL	Pag.	48
8) CONCLUSIONI	Pag.	51
CALCOLO CEDIMENTI	Pag.	53

In allegato:

- *Planimetria punti prova;*
- *Tabulati prove penetrometriche.*

## **1) P R E M E S S A**

Nel mese di Dicembre 2015, lo scrivente veniva incaricato dal *COMUNE DI FINALE EMILIA (MO)*, con determinazione N. 895 del 21 dicembre 2015 e con disciplinare di conferimento di incarico del 30 dicembre 2015, di eseguire uno studio geologico, geotecnico e sismico riguardante i terreni di fondazione relativi ai “*nuovi spogliatoi campo di calcio stadio Finale Emilia*”, da erigersi in Via di Sotto a Finale Emilia – Fg.67 mapp. 226.

Legislazione:

### **Decreto Ministeriale 14.01.2008**

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

### **Eurocodice 8 (1998)**

### **Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

### **Eurocodice 7.1 (1997)**

Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

### **Eurocodice 7.2 (2002)**

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

### **Eurocodice 7.3 (2002)**

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI.

### **Regione Emilia Romagna. Deliberazione della Giunta Regionale 21 Dicembre 2015, n. 2193**

Art. 16 della L.R. n. 20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di micronizzazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112.

### **C.N.R. - Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali – U.O.S. Milano. Settembre 2015**

Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna

### **P.T.C.P 2009 Provincia di Modena**

Adottato con D.C.P n. 112 del 22/07/2008 e approvato con D.C.P. n. 46 del 18/03/2009. Carte 2. Carte delle Sicurezze del Territorio. 2.2 Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali. Tavola 2.2 a.3. Scala 1: 25.000

**Regione Emilia Romagna. Deliberazione dell'Assemblea Legislativa del 2 maggio 2007, n. 112**

Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1 della L.R. 20/00 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (proposta della Giunta regionale in data 10 gennaio 2007, n. 1).

**Regione Emilia Romagna. Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione a seguito dei terremoti del 20 e 29 Maggio 2012 n° 70 del 13 / 11 / 2012**

Mappe delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica dei 17 Comuni con IMCS  $\geq 6$

**Regione Emilia Romagna. Determinazione Dirigenziale n. 12418 del 02/10/2012.**

Approvazione degli elaborati cartografici concernenti la delimitazione delle aree nelle quali si sono manifestati gravi effetti di liquefazione a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e degli indirizzi per interventi di consolidamento dei terreni.

**Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile 2 giugno 2012 n. 0002**

Procedure per la valutazione della sicurezza e dell'agibilità sismica degli edifici ad uso produttivo in conseguenza degli eventi sismici che hanno colpito il territorio delle province di Bologna, Modena, Ferrara, Reggio Emilia, Mantova e Rovigo nel mese di maggio 2012.

**Regione Emilia Romagna. Ordinanza n. 51 del 5 Ottobre 2012**

Criteri e modalità di assegnazione di contributi per la riparazione e il ripristino con miglioramento sismico di edifici e unità immobiliari ad uso abitativo che hanno subito danni significativi dagli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e che sono stati dichiarati inagibili.

**Regione Emilia Romagna .Ordinanza n. 86 del 6 dicembre 2012**

Criteri e modalità di assegnazione di contributi per la riparazione, il ripristino con miglioramento sismico o la demolizione e ricostruzione di edifici e unità immobiliari ad uso abitativo che hanno subito danni gravi a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e che sono stati dichiarati inagibili (ESITO E1, E2 o E3)

Inoltre, il territorio comunale di Finale Emilia in base alla Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di

normative tecniche per le costruzioni in zona sismica – in cui il territorio comunale viene individuato in **Zona 3**. Da evidenziare che tale categoria risulta confermata anche con la Ordinanza n. 3519 del 28 aprile 2006 del Presidente del Consiglio dei Ministri – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone –.

L'indagine è stata articolata mediante n. 02 prova penetrometriche statiche (CPT1 e CPT2), di cui CPT1 è stata spinta fino alla profondità di m. -20,80 dall'attuale p. campagna, mentre CPT2 è stata spinta fino alla profondità di m. -11,80 sempre rispetto all'attuale p. cantiere. Esse risultano ubicate come indicato nello schema planimetrico allegato.

Le prove penetrometriche sono state eseguite allo scopo di determinare la resistenza alla punta  $R_p$  del terreno di fondazione e per un approccio all'analisi di risposta sismica locale.

Per le succitate prove penetrometriche statiche è stato usato un penetrometro statico con spinta massima nominale di 20 Ton. e operante secondo le norme AGI. Esso risulta munito di speciale punta Begemann, con le seguenti caratteristiche: diametro punta 35,7 mm., angolo di apertura  $60^\circ$ , area di base  $10 \text{ cm}^2$ ; manicotto laterale di frizione tipo Begemann con diametro di 36 mm., lunghezza 13,3 mm. area laterale  $150,42 \text{ cm}^2$ . Tale punta ha permesso di valutare la  $R_p$  (resistenza alla punta) e la  $R_f$  (resistenza laterale locale): i valori ottenuti sono negli allegati diagrammi, assieme ai rispettivi valori del rapporto Begemann ( $R_p/R_f$ ). Negli allegati sono diagrammati i risultati ottenuti dalla prova penetrometrica effettuata.

Inoltre si è effettuato n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la **procedura tipo MASW**. Mediante tale metodologia è possibile eseguire la valutazione delle velocità  $V_{s30}$  di sito al fine di classificare il terreno di fondazione secondo le tabelle allegate al D.M. 14/01/08.

L'acquisizione dei dati è avvenuta secondo le modalità "*common-shot gathers*", utilizzando strumentazione "Geometrics" costituita da un sismografo modulare GEODE 3-1000 a 12 canali, con collegati 12 geofoni verticali GEOSPACE (GS11D) con frequenza di 4,5 Hz e puntale da 3".

## **2) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO**

L'area oggetto del presente lavoro risulta compresa nella Tav. N° 184SE "FINALE EMILIA" della C.T.R. Regione Emilia Romagna in Scala 1: 25.000 e più precisamente nell'Elemento N° 184161 "FINALE EMILIA EST" sempre C.T.R.: Regione Emilia Romagna in Scala 1: 5.000.

Il futuro intervento risulterà realizzato presso il Comune Censuario di Finale Emilia (MO) e precisamente identificato al Fg. 67, mapp. 226.

L'individuazione più precisa dell'ubicazione dell'area in esame, risulta individuata nella zona centro Nord dell'abitato Finalese: precisamente nell'area sportiva che si trova percorrendo Via Rotta (S.S. n. 468) fino all'incrocio con Via di Sotto dove insiste l'impianto sportivo. Il sito risulta compreso nella bassa pianura modenese con una quota media di ca. m.s.m. +11.00/+12.00.

Questa porzione di Pianura Padana ricade nell'ampio bacino subsidente padano-orientale, nel quale in tempi storici hanno divagato oltre al fiume Po, anche in tempi storici, Secchia a Sud, Panaro a Sud-Est e Reno Sud, generando in gran parte l'assetto morfologico e altimetrico del territorio.

I terreni affioranti sono di origine continentale e riferibili all'Olocene (forse continentale del Quaternario). La loro genesi risulta chiaramente attribuibile all'ambiente fluviale instauratosi ed alle loro leggi idrodinamiche. Siamo in presenza di alternanze litologiche argillose-limose-torbose ed a sabbie medio-fini, la cui disposizione e percentuale risulta in stretta correlazione con i bacini idrografici creatisi.

Infatti, l'azione modellatrice dei corsi d'acqua, genera precisi cicli di sedimentazione: i sedimenti più grossolani (sabbie medio-fini) costituiscono l'alveo del fiume, mentre i sedimenti più fini (argille e limi) vengono trasportati e deposti in zone più distanti dal percorso del fiume, ovvero nella sua zona di esondazione. I sedimenti fini sono più compressibili e plastici rispetto a quelli granulosi che formano il letto del fiume e così, in questo modo, si formano i dislivelli tra corsi d'acqua e territorio circostante.

La conoscenza dello schema geologico di questi terreni superficiali, con età olocenica e pleistocenica, si basa oltre che sui dati raccolti in situ (sondaggi e perforazioni di pozzi) anche sui dati forniti da pozzi E.N.I. per la ricerca di idrocarburi, relativamente vicini all'area in studio e ubicati in Mirandola, Novi di Modena, Camposanto e Rio Saliceto e pubblicati da E.N.I. in "Acque Dolci Sotterranee", 1972.

Le indicazioni emerse da queste terebrazioni sono significative solamente ai fini della geologia di superficie. In essi si identifica molto facilmente, come questi terreni siano stati interessati da una forte subsidenza post-pliocenica, la quale ha permesso un notevole accumulo di sedimenti alluvionali. Solamente in tempi recenti la subsidenza si è attenuata mantenendosi sui livelli attuali. Precisamente al di sotto delle alluvioni fluviali, ad una profondità compresa tra 400 m (c/o Bomporto) e 80 m (c/o Mirandola), è posto il tetto del substrato marino di età pre-olocenica. Questo è



caratterizzato da tre elementi strutturali quali la *Zona delle Pieghe Appenniniche*, la *Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia* e la *Dorsale Ferrarese* (anticlinale).

La zona delle *Pieghe Appenniniche* risulta costituita da una successione di anticlinali e sinclinali con vergenza verso gli appendici. Risultano spesso fagliate con sovrascorrimenti sul fianco Nord. La *sinclinale* nell'area di Bomporto raggiunge la sua massima depressione portando la base del Quaternario a circa 2.500,3.000 m e quella del Pliocene a circa 6.000 m. Questa si raccorda a nord mediante una monoclinale con la *dorsale*, che con ogni probabilità è costituita da una serie di pieghe associate a faglie che nel complesso costituiscono una struttura fortemente sollevata (Gasperi G. e Pellegrini M., 1981). Le massime culminazioni di questa si hanno a S. Felice s/P, Camurana di Medolla, Mirandola, S. Possidonio, Vallalta di Concordia e Novi di Modena

Per quanto riguarda la struttura geologica dei sedimenti appartenenti a profondità maggiore, questa è legata agli studi eseguiti con varie metodologie geofisiche negli ultimi 30 anni dall'Agip.

Queste ricerche effettuate, sia in quest'area che in altre limitrofe, sono state di tipo gravimetrico, magnetico, sismico a riflessione e a rifrazione ed elettro-tellurico. Esse hanno messo in luce l'andamento e l'assetto degli strati fino a una profondità di oltre 5.000 m. Per una miglior comprensione si osservino i profili strutturali, che meglio indicano tale situazione. Le notizie emerse da queste indagini indicano che la base dei sedimenti quaternari si trova a ca. m. 100 nell'area Nord del comune mentre si individua a ca. m. 2000 - 2500 nella zona Sud. Essi sembra siano caratterizzati da una certa tranquillità tettonica. I terreni più antichi, cioè quelli pliocenici (loro base nell'area a Nord 400-500 m, mentre nell'area Sud la base è individuata a ca. m. 5.000-6.000) e pre-pliocenici, sono risultati immergenti dalle Alpi con un assetto monoclinale che rappresenta la continuazione di quelli affioranti nei monti Lessini e le pieghe appenniniche riconducibili ai tre archi principali, ovvero *Arco del Monferrato* (da Torino a Tortona), *Arco delle Pieghe Emiliane* (estensione dall'Appennino Vogherese a San Colombano e a Sud fino alla linea del Sillaro), *Arco delle Pieghe Ferraresi e Romagnole* (situate nella parte Nord-Est dell'Appennino Emiliano Orientale). Inoltre, le lacune riscontrate nei sondaggi (probabilmente tra Paleogene e Neogene) non sono accompagnate da discordanze apprezzabili. Inoltre sotto l'aspetto tettonico essi risultano fortemente fratturati, come evidenziano tutte le linee di faglia tracciate. A conferma di ciò, anche dalla lettura della Carta Degli elementi Tettonici significativi, emerge che il territorio interessato dal presente studio non risulta interessato da una tranquillità tettonica. Infatti, esso è caratterizzato da disturbi tettonici apprezzabili, come risulta dalle rete di faglie e accavallamenti descritti e precisamente quelli riferiti all'Arco delle Pieghe Ferraresi - Romagnole.

L'unità caratterizzante di queste pieghe nell'area in oggetto è la *Dorsale Ferrarese*. Risulta costituita da pieghe, pieghe-faglie e faglie molto inclinate ad orientamento WNW-ESE, vergenti verso NNE. Le sue culminazioni principali sono costituite dalle anticlinali di Ficarolo, di Poggio Rusco, di Mirandola e di Novi - Correggio. La peculiarità di questo sistema di pieghe è che risulta costituire un alto strutturale del substrato calcareo Mesozoico, con limitati o assenti sedimenti Terziari, asportati dai processi erosivi riferiti agli eventi dell'emersione avvenuta nel Pliocene

medio. Ai suoi lati si sono individuate due zone a forte subsidenza: una nell'area del delta a Nord e l'altra nel Ravennate a Sud. In particolare a Sud della Dorsale si evidenzia il bacino Emiliano Romagnolo dove la base del Pliocene si approfondisce rapidamente. Infine, lo studio di questa importante unità Tettonica ha evidenziato la sua appartenenza alla continuazione dell'Appennino Settentrionale.

Comunque si vuole sottolineare come il territorio in esame risulta recepire in modo chiaro e netto, tutta quella "dinamicità strutturale" generata dall'energia liberata come magnitudo, da eventi tellurici che si sono e possono originarsi da questa situazione tettonica e limitrofa. Si veda estratto catalogo eventi sismici alla pagina seguente riferiti alla zona di riferimento, ovvero Zona Sismogenetica ZS9 – Zona 912.

### **INGV - Database Macrosismico Italiano**

versione DBMI11a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi

raccolta e validazione dei dati a cura di A. Rovida, R. Azzaro, E. Ercolani, C. Mirto, F. Bernardini, C. Gasparini, C. Meletti, A. Tertulliani, V. Castelli, P. Albini

DBMI11 è stato realizzato nell'ambito delle attività del Tema Trasversale Coordinato  
5.1

"Banche dati e metodi macrosismici"

Milano, Bologna, dicembre 2011

#### **Storia sismica di Finale Emilia (da INGV – CPTI 11, dicembre 2011) [44.833, 11.294]**

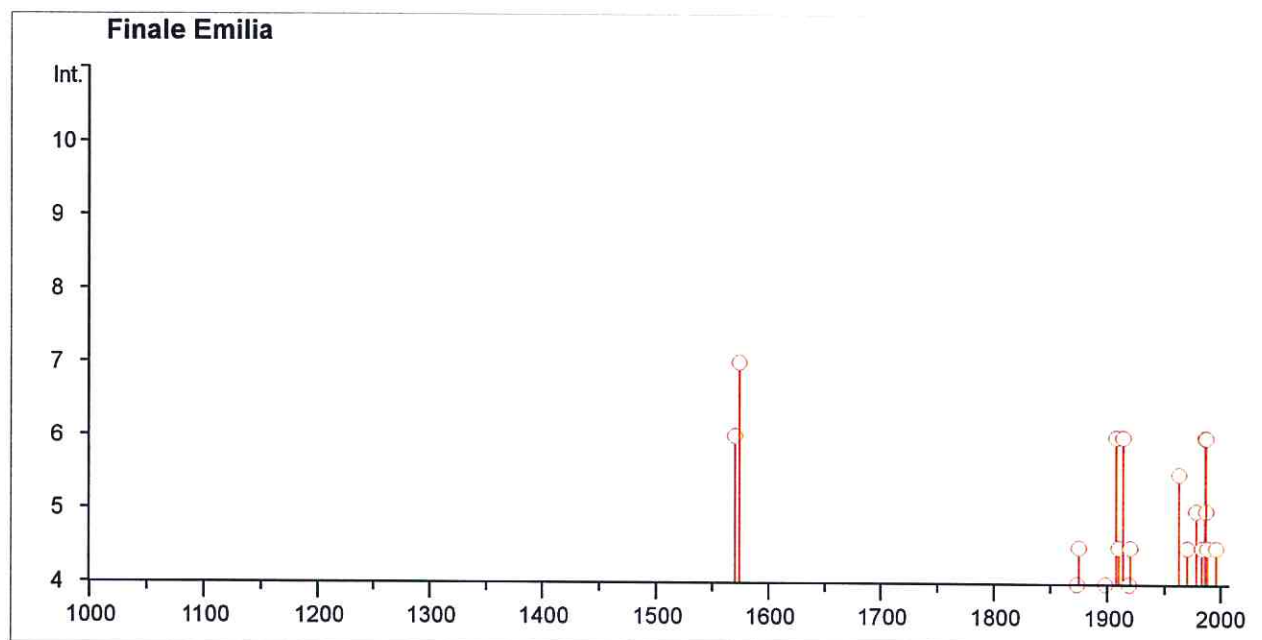
Numero di eventi: 34

Effetti

In occasione del terremoto del:

I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
F	<u>1505 01 03 02:00</u>	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25
6	<u>1570 11 17 19:10</u>	Ferrara	60	7-8 5.46 ±0.25
7	<u>1574 03 17 03:40</u>	FINALE EMILIA	4	6 4.72 ±0.34
3	<u>1873 03 12 20:04</u>	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10
4	<u>1873 06 29 03:58</u>	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11
4-5	<u>1875 03 17 23:51</u>	Romagna sud-orientale	144	5.93 ±0.16
3	<u>1879 04 27 04:06</u>	Valle del Senio	20	7 5.05 ±0.50
F	<u>1881 01 24 16:14</u>	Bolognese	38	7 5.16 ±0.30

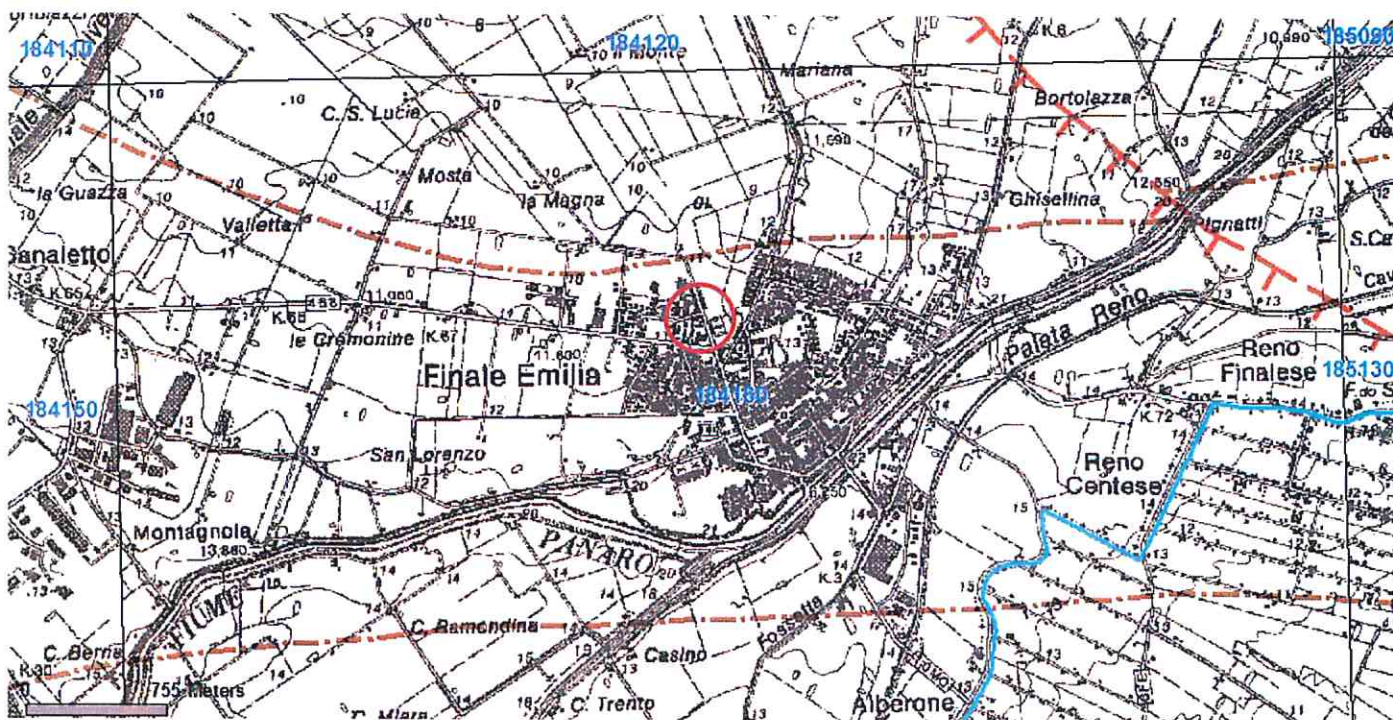
Effetti		In occasione del terremoto del:		
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
F	<u>1881 02 14 09:00</u>	Bolognese	21	
3	<u>1887 02 23 05:21</u>	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
4	<u>1898 03 04 21:05</u>	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09
NF	<u>1904 11 17 05:02</u>	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
6	<u>1908 06 28 03:19</u>	Finale Emilia	15	5 4.27 ±0.53
4-5	<u>1910 03 22 23:29</u>	Bassa modenese	15	5 4.30 ±0.34
6	<u>1914 10 27 09:22</u>	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
2	<u>1916 08 16 07:06</u>	Alto Adriatico	257	6.14 ±0.14
4	<u>1919 06 29 15:06</u>	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
4-5	<u>1920 09 07 05:55</u>	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
3	<u>1922 05 24 21:17</u>	Ferrarese	7	4 4.34 ±0.25
3	<u>1926 01 01 18:04</u>	Slovenia	63	7-8 5.85 ±0.18
NF	<u>1950 09 05 04:08</u>	GRAN SASSO	386	8 5.68 ±0.07
NF	<u>1957 08 27 11:54</u>	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21
5-6	<u>1963 04 05 13:49</u>	Finale Emilia	6	4-5 4.09 ±0.34
NF	<u>1965 11 09 15:35</u>	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25
4-5	<u>1970 11 02 08:42</u>	Bassa modenese	3	4-5 4.09 ±0.34
5	<u>1978 12 25 22:53</u>	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
4-5	<u>1983 11 09 16:29</u>	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
6	<u>1986 12 06 17:07</u>	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
5	<u>1987 05 02 20:43</u>	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
6	<u>1987 05 08 11:10</u>	Bassa modenese	17	6 4.57 ±0.23
4-5	<u>1988 03 15 12:03</u>	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
4-5	<u>1996 10 15 09:56</u>	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
3-4	<u>2000 06 18 07:42</u>	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
NF	<u>2002 11 13 10:48</u>	Franciacorta	770	5-6 4.29 ±0.09



**CPTI11 è citabile come:**

**A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, doi:10.6092/INGV.IT-CPTI11**

**ESTRATTO DA "CARTOGRAFIA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA"**



Area oggetto d'intervento

184160

Elemento Sezione C.T.R. 1: 10.000



Isobata della base del pliocene

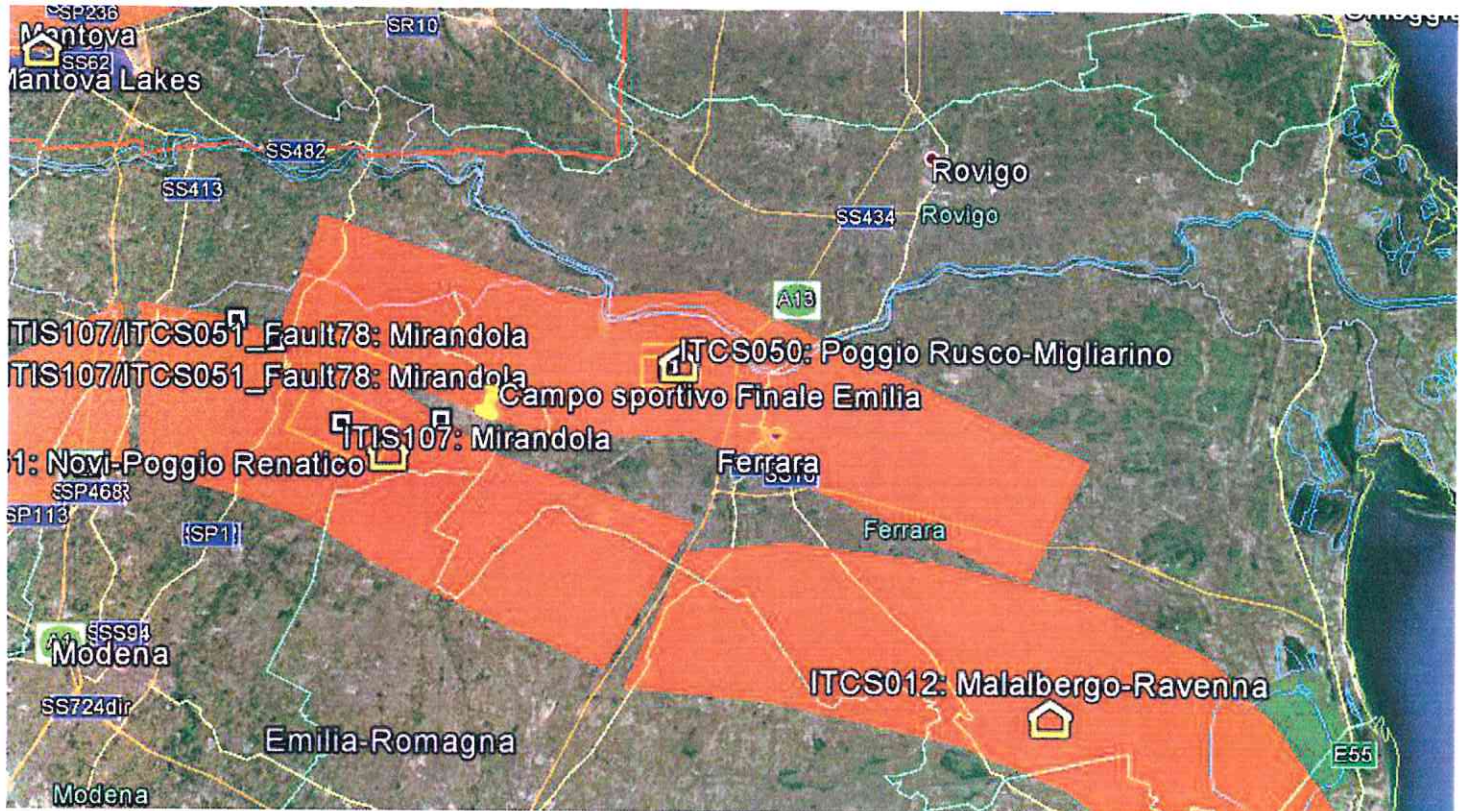


faglia profonda diretta dedotta



Limite amministrativo di Provincia

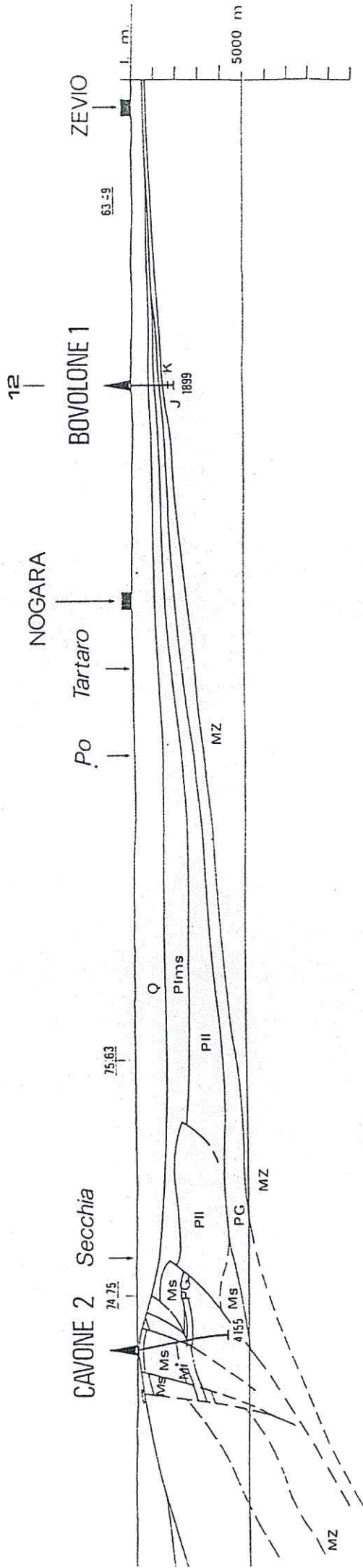
Studi più recenti (Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, MM Tiberti, E. Boschi -2008- The Database of individual Seismogenic Sources, DISS, version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology) hanno individuato nell'area emiliana a sud del Po una "potenziale sorgente sismogenetica composta" (ITCS051 Novi-Poggio Renatico) con Magnitudo massima attesa (Mw) a 5,9 profondità min. 3 Km, max. 10 Km. Ultimo aggiornamento: 30 agosto 2007. La zona in oggetto risulta situata nella posizione intermedia della ITCS050 a Nord e della ITCS051 a Sud.



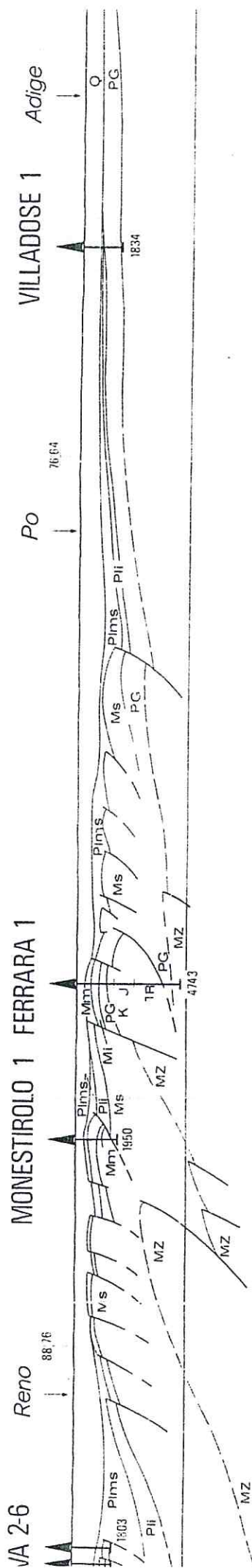
*Potenziali sorgenti sismogenetiche composte: ITCS050 (Poggio Rusco – Migliarino, ramo Nord), ITCS051 (Novi -Poggio Renatico, ramo Sud Ovest), ITCS012 (Malalbergo – Ravenna, ramo Sud – Est)*

Il composto sismogenetico Source risulta una interpretazione degli eventi rotture – terremoto tra la struttura dedotta dalla superficie regionale e dalle caratteristiche geologiche del sottosuolo. Questo modello non risulta essere capace di individuare un terremoto di dimensioni specifiche, ma il suo potenziale sismico può essere stimato dai cataloghi dei terremoti esistenti. I poligoni rappresentativi sono in forma libera e contengono con larghi margini la potenziale struttura attiva.

*DISS Working Group (2015). Archivio di singoli sismogenetiche Sources (DISS), Versione 3.2.0.: Una compilation di potenziali fonti per i terremoti più grandi di M 5.5 in Italia e nelle zone circostanti <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Tutti i diritti riservati; DOI: 10,6092 / INGV.IT-DISS3.2.0.*

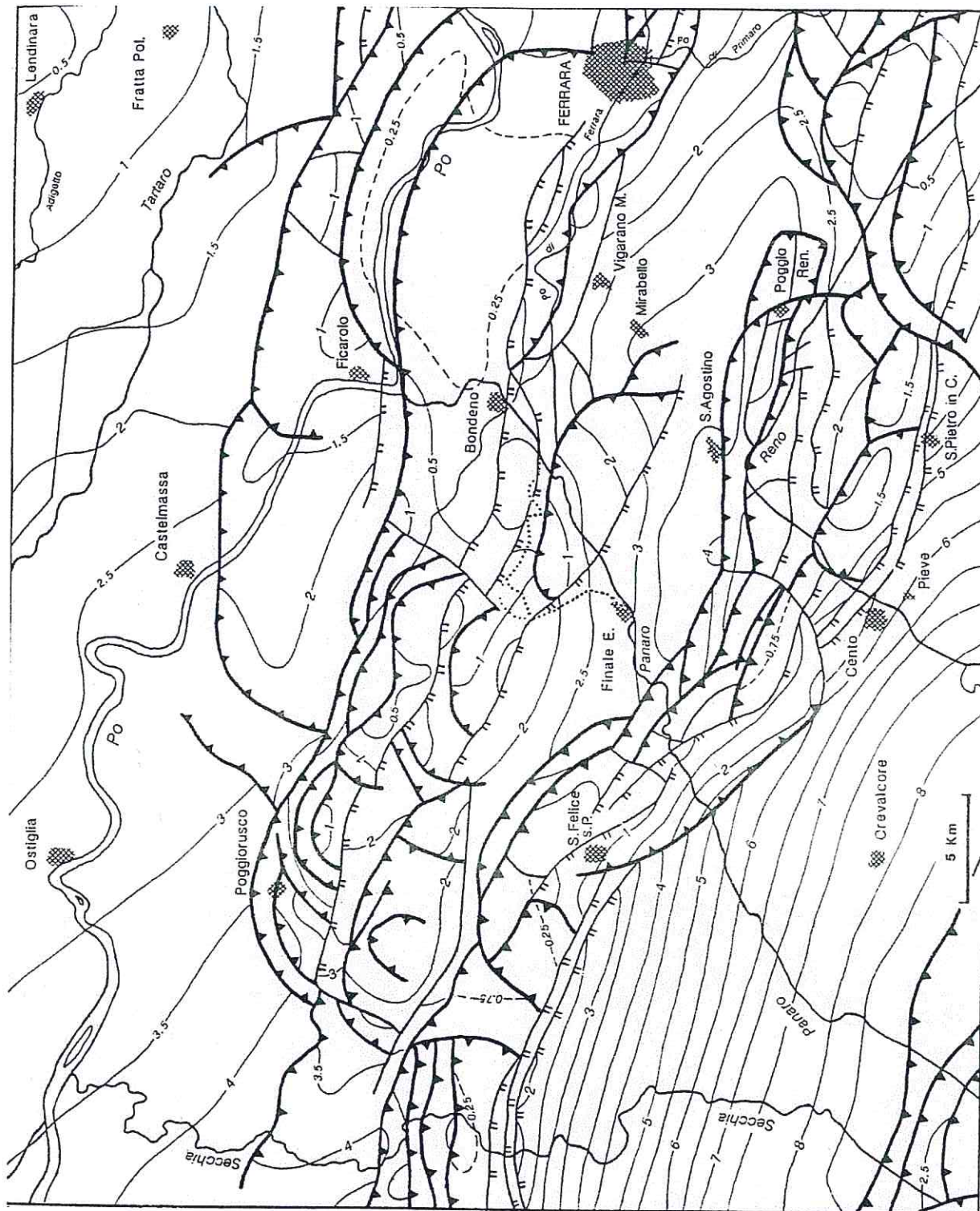


3



**Profilo strutturale del Pre-Pliocene - Quaternario nella pianura padana veneta.**

Q = quaternario; PliMs = Pliocene medio superiore; Pli = Pliocene; PG = Paleogene  
 Ms = Miocene superiore; Mm = Miocene medio; Mi = Miocene inferiore; MZ = Mesozoico  
 (K = Cretacico; J = Giurassico)



Sovrascorrimenti

Faglie dirette

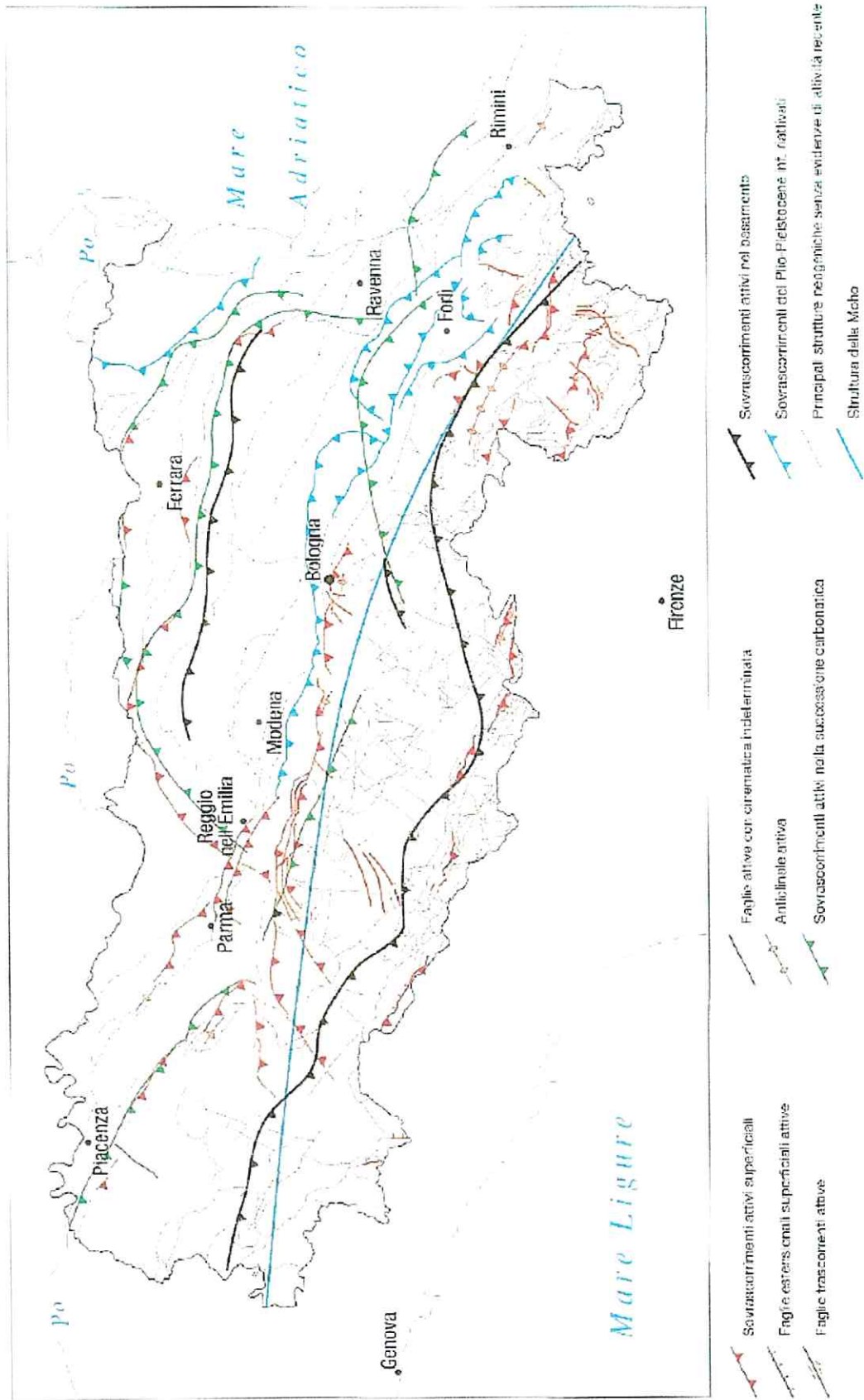
Faglie con movimento  
non precisato

Isobare della base del  
Pliocene (valori in mi-  
gliaia di metri)

E' indicato con puntini  
il tracciato del "Ramo  
della Lunga"

Carta strutturale della base del Pliocene (da C.N.R., 1986, *Structural model of Italy*)





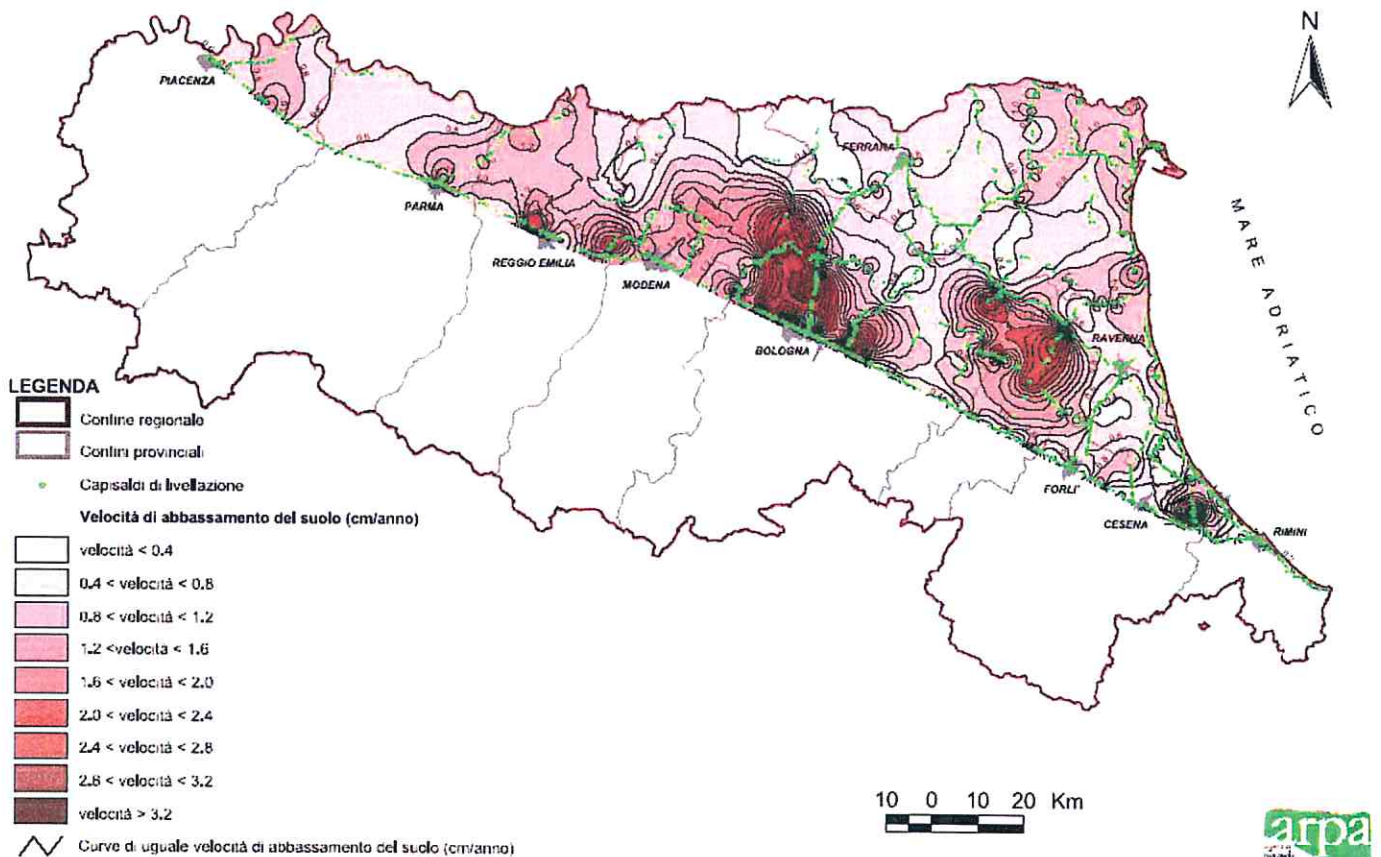
### 3) SUBSIDENZA

L'area di pianura della regione Emilia Romagna è soggetta ad un fenomeno di subsidenza naturale determinato sia da movimenti tettonici sia dalla costipazione dei sedimenti che hanno determinato la formazione dell'attuale Pianura Padana.

A tale fenomeno, che può raggiungere punte massime di circa 2-3 cm/anno (vedi carta degli abbassamenti) rimanendo, in genere, molto al di sotto di tali valori, si affianca in molte zone un fenomeno di subsidenza artificiale che presenta, invece, velocità di abbassamento del suolo molto più elevate. Tra le varie cause antropiche che possono essere individuate all'origine del fenomeno, sono la massa delle aree urbanizzate (specialmente le città) che grava sul suolo ed il prelievo di acqua dal sottosuolo, che attualmente appare la causa predominante, determinando punte di abbassamento di diversi cm/anno. Non deve essere comunque sottovalutata la subsidenza indotta dall'estrazione di idrocarburi da formazioni geologiche profonde, sensibile nel settore adriatico della regione, una pratica diffusa i cui effetti non sono stati ancora sufficientemente documentati.

Nella figura di seguito allegata si può confrontare il presente dato con quelli relativi al resto della Pianura emiliano-romagnola. Si può notare come nella porzione di pianura piacentina interessata dal monitoraggio siano stati rilevati valori del tasso di subsidenza bassi e comunque inferiori a quelli rilevati nelle altre provincie. Pertanto i livelli di subsidenza rilevati non costituiscano una criticità di primaria importanza per il territorio comunale.

Dalla fine degli anni '90 è stata istituita una rete regionale di controllo della subsidenza, che consta di 59 punti, 12 dei quali posti in zone ritenute stabili.



#### **4) CENNI STRATIGRAFICI ED IDROGEOLOGICI**

Dall'analisi dei valori di Rp ottenuti mediante le due prove penetrometriche statiche (si veda allegati relativi), dalla correlazione con sondaggi geognostici eseguiti nelle vicinanze ed analizzando il rapporto Schmertmann 1978, si può ipotizzare la seguente successione stratigrafica:

- a) dall'attuale piano campagna e per uno spessore di ca. cm. -80/-100 si ha terreno vegetale misto a riporto, variamente addensato;
- b) da ca. m. -0,80/-1,00 a ca. m. -9,00 in CPT1/m. -10,40 in CPT2, si hanno argille limose localmente organiche plastiche e poco compatte, di piana alluvionale a modesta energia idrodinamica, i cui valori di Rp sono compresi tra 9-20 Kg/cm<sup>2</sup>;
- c) da ca. m. -9,00 in CPT1/m. -10,40 in CPT2 a ca. m. -14,00 si hanno terreni sabbioso medio fine mediamente addensati, i cui valori di Rp sono compresi tra 23-103 Kg/cm<sup>2</sup>;
- d) da ca. m. -14,00 a ca. m. -15,20 si hanno limi argillosi plastici e poco compatti, con valori di Rp compresi tra 10-19 Kg/cm<sup>2</sup>;
- e) da ca. m. -15,20 e fino alla profondità indagata di ca. m. -20,80, si ha la presenza di sabbie medio grosse ben addensate e compatte, i cui valori di Rp sono compresi tra 58-247 Kg/cm<sup>2</sup>.

Nelle tabelle alla pagina seguente sono riportati i parametri geotecnici riassuntivi e più caratteristici delle due CPT effettuate.

Nelle verticali eseguite gli strati di terreno indagato a carattere limoso argilloso hanno presentato attrito laterale scarso, mentre i livelli a matrice sabbiosa hanno dimostrato un buon attrito laterale.

Al termine della prova è stato misurato un livello della falda freatica compreso tra m. -2,93 in CPT1 e m. -2,89 in CPT2, rispetto all'attuale p. cantiere. Comunque il livello della falda superficiale risulta soggetto sia alle variazioni meteoriche e sia al locale litotipo riscontrato.

Risulta ipotizzabile una oscillazione di falda dell'ordine di 1,0-1,5 metri. Gradiente idraulico pari a ca. 0,02%.

Si evidenzia che il sito in esame non risulta compreso all'interno delle aree in cui sono stati osservati gravi effetti di liquefazione e perimetrato dalla Regione Emilia Romagna con Determinazione del Dirigente n. 12418 del 02 ottobre 2012.

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Quota(m): p.c.

Sigla: FINE\CPT1

Note: AREA A PRATO

**Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)***qc = resistenza alla punta fs = attrito laterale specifico*

Lunghezza della prova (m): 20,8

Profondità di partenza (m): 0,2

Profondità della falda (m): 2,93

Passo di lettura (cm): 20

Area della punta (cmq): 10

Area del manicotto (cmq): 150

Costante strumentale: 10

Tipo di penetrometro: a punta elettrica

Fattore a (piezocono): 0,5

Fattore b (piezocono): 0,00726

Prof. (m)

qc (kg/cmq)

fs (kg/cmq)

Descrizione litologica

Prof. (m)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Descrizione litologica
0,6	14,64	0,31	Argilla organica
1	28,94	0,46	Sabbia e limo
1,4	9,94	0,1	Argilla organica
3,4	12,67	1,2	Argilla organica
4	8,69	0,33	Argilla organica
4,4	10,47	0,42	Argilla inorganica consistente
4,8	10	0,87	Argilla organica
5,2	12	0,59	Argilla organica
9	10,06	0,64	Argilla organica
9,6	23,09	0,96	Argilla inorganica molto consistente
10	41,94	2,04	Argilla inorganica molto consistente
10,6	25,73	1,29	Argilla sabbiosa o limosa
11,4	35,26	1,61	Argilla sabbiosa o limosa
17,2	45,19	1,6	Sabbia e limo
17,8	125,35	3,24	Sabbia e limo
18,2	159,63	3,75	Sabbia e limo
18,6	184,16	3,68	Sabbia addensata
19	161,21	2,12	Sabbia addensata
19,4	159,48	3,23	Sabbia e limo
20,2	205,85	3,17	Sabbia addensata
20,6	147,42	3,2	Sabbia addensata
20,8	144	3,4	Sabbia e limo

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN) - m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Sigla: FINE\CPT1

Note: AREA A PRATO

Quota(m):

**Parametri geotecnici**

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
0,6	3,9E-6	0,01		2,09			0,874	53	2,5	146		0,06
1	2,4E-5		32	2,06	73	73				219	61	0,17
1,4	0,00022	0,05		1,78			0,571	35	0,33	114		0,24
3,4	1,9E-18	0,06		1,91			0,733	46	0,36	134		0,47
4	8,6E-9	0,08		1,94			0,489	32	0,53	107		0,64
4,4	1,1E-9	0,08		1,94			0,544	35	0,57	114		0,69
4,8	2,2E-17	0,08		1,94			0,542	35	3,92	114		0,73
5,2	6,9E-11	0,08		1,94			0,657	42	4,68	128		0,76
9	2,2E-13	0,09		1,94			0,528	35	2,67	114		0,96
9,6	1,1E-9	0,07		1,95			1,277	39	6,32	190		1,17
10	6,5E-11	0,06		2,03			2,385	71	13,1	275		1,22
10,6	5E-11	0,07		1,96			1,249	44	5,55	205		1,27
11,4	2E-10	0,07		1,99			1,7	60	7,65	246		1,34
17,2	1,2E-8		34	2	32	113				287	46	1,66
17,8	4,6E-7		39	2,15	63	313				535	77	1,98
18,2	1,2E-6		40	2,19	71	400				622	86	2,04

Profondità della falda (m): 2,93

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; D<sub>r</sub>=densità relativa; E<sub>y</sub>=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G<sub>0</sub>=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
18,6	4,6E-6		40	2,21	75	460				678	90	2,09
19	6,6E-5		40	2,18	70	403				624	86	2,14
19,4	4,1E-6		40	2,18	69	398				620	86	2,18
20,2	2,8E-5		41	2,22	77	515				726	95	2,26
20,6	2,4E-6		39	2,16	65	368				591	84	2,33
20,8	1,1E-6		39	2,15	64	360				583	83	2,36

Profondità della falda (m):

2,93

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rappporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Quota(m): p.c.

Sigla: FINE\CPT2

Note: AREA A PRATO

## Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)

*qc = resistenza alla punta fs = attrito laterale specifico*

Lunghezza della prova (m): 11,8

Profondità di partenza (m): 0,2

Profondità della falda (m): 2,89

Passo di lettura (cm): 20

Area della punta (cmq): 10

Area del manicotto (cmq): 150

Costante strumentale: 10

Tipo di penetrometro: a punta elettrica

Fattore a (piezocono): 0,5

Fattore b (piezocono): 0,00726

Prof. (m)

qc (kg/cmq)

fs (kg/cmq)

Descrizione litologica

Prof. (m)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Descrizione litologica
0,4	19,4	0,72	Argilla inorganica molto consistente
0,8	54,68	1,59	Sabbia e limo
10,4	11,44	0,74	Argilla organica
10,8	25,87	1,13	Argilla sabbiosa o limosa
11,6	33,39	1,02	Argilla sabbiosa o limosa
11,8	46	1,27	Sabbia e limo

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**  
 VIALE DELLA RINASCITA, 12  
 46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA      Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016      Quota(m): p.c.

Sigla: FINE\CPT2

Note: AREA A PRATO

**Parametri geotecnici**

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
0,4	5,2E-9		30	2,04	85	48				169	69	0,04
0,8	1,6E-7		35	2,16	85	138				324	71	0,12
10,4	5,8E-14		28	1,77	15	28				121	22	0,79
10,8	5,7E-10		32	1,96	20	65				205	32	1,26
11,6	7,5E-8		33	1,99	27	83				237	38	1,32
11,8	2,6E-7		34	2,03	38	115				290	48	1,37

Profondità della falda (m):

2,89

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.



## 5) ELABORAZIONE DATI PENETROMETRICI

Il tentativo del calcolo delle portanze fondazione / terreno, vista la classificazione del comune di *Finale Emilia* in Zona Sismica 3, è stata effettuata come indicato dal D.M. 14 gennaio 2008, e precisamente tramite Approccio 2 con metodo di calcolo proposto da Terzaghi, sia per quanto riguarda le Tensioni Ammissibili, sia per quanto riguarda S.L.U. (stato limite ultimo). Combinazione delle azioni: sismica. Tabelle di calcolo alla pagine seguente.

**La formula di Terzaghi ha la seguente forma:**

$$Q_{lim} = c \times N_c \times s_c + y_1 \times D \times N_q + 0.5 \times y_2 \times B \times N_y \times s_y;$$

in cui:

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_y$  = fattori adimensionali di portanza legati rispettivamente al contributo di terreni con coesione, al terreno posto sopra al piano di posa della fondazione e agli strati di coesione nulla;

Terzaghi per questi fattori propone le seguenti relazioni:

$$N_q = a^{2 / [2 \times \cos^2(45 + \varphi/2)]}$$

$$\text{Dove: } a = \exp[(0.75 \times P_i - \varphi/2) \times \text{tg}(\varphi)];$$

$$N_c = (N_q - 1) \times \text{cotg}(\varphi)$$

$$N_y = [\text{tg}(\varphi)/2] \times [(K_p/\cos^2(\varphi) - 1)]$$

dove:

$K_p$  = fattore di portanza proposto da Terzaghi, approssimabile con la seguente relazione:

$$K_p = A_0 + A_1 \times \varphi + A_2 \times \varphi^2 + A_3 \times \varphi^3 + A_4 \times \varphi^4;$$

in cui:

$A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  = fattori del polinomio interpolatore.

(si tenga presente però che lo stesso Terzaghi consiglia di utilizzare il valore di  $N_y$  ricavato da Meyerhof);

$c$  = coesione del terreno;

$y_1$  = peso di volume medio del terreno sopra il piano di posa;

$y_2$  = peso di volume sotto il piano di posa;  
B = larghezza della fondazione (dimensione del lato corto);  
D = profondità di posa della fondazione;  
sc, sy = fattori di forma dati da:

sc = 1.0 per fondazioni nastriformi;  
sc = 1.3 per fondazioni quadrate;  
sy = 1.0 per fondazioni nastriformi;  
sy = 0.8 per fondazioni quadrate.

La formula di Terzaghi fornisce generalmente valori di portanza sovrastimati tranne nel caso di terreni coesivi sovraconsolidati; deve essere utilizzata solo per fondazioni molto superficiali, dove cioè sia verificata la disuguaglianza:

$$D < B.$$

### **Correzione di Terzaghi della portanza limite.**

Tutte le equazioni per il calcolo della capacità portante presentate in precedenza si basano sul presupposto che il terreno di fondazione abbia un comportamento descrivibile dalla legge di Coulomb:

$$T = c + P_{ef} \times \operatorname{tg}(\varphi);$$

in cui:

T = resistenza al taglio del terreno;  
 $P_{ef}$  = pressione efficace del terreno.

I dati sperimentali confermano che il campo della sua validità è limitato all'intervallo di  $Q_{ammissibile}$  che va da 0 a  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  circa. Oltre i  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  la relazione sforzi - resistenza al taglio non è più di tipo lineare, ma assume una forma più complessa. L'uso delle formule per il calcolo della portanza fuori dal campo di validità dell'equazione conduce a valori della  $Q_{lim}$  sovrastimati.

Terzaghi (1943) ha proposto una correzione da applicare ai parametri coesione e angolo d'attrito del terreno, nei casi in cui risulti dal calcolo una  $Q_{amm} < 4.5 \text{ kg/cm}^2$ . In pratica ha suggerito di utilizzare nel calcolo valori ridotti di  $\Phi$  e c, calcolati come segue:

$$c' = (2/3) \times c;$$
$$\Phi' = \alpha \operatorname{tang} [(2/3) \times \varphi].$$

Lo stesso tipo di correzione viene proposta da Terzaghi per terreni dove è prevedibile una rottura del terreno di tipo locale. Nella pratica per distinguere fra terreni con rottura di tipo locale e generale si può utilizzare il seguente criterio:

- a) rottura di tipo locale: probabile nei terreni che abbiano una densità relativa ( $D_r$  %) inferiore a 20 e/o una coesione ( $c$ ) minore di  $0.25 \text{ kg/cm}^2$ ; in questo caso si consiglia di procedere al calcolo della  $Q_{lim}$  adottando i valori ridotti di  $c$  e  $\Phi$ :

$$c' = (2/3) \times c;$$
$$\Phi' = \alpha \text{ tang}[(2/3) \times \varphi];$$

- b) rottura di tipo generale: probabile nei terreni che abbiano una  $D_r$  %  $\geq 70$  e/o una coesione maggiore
- c) rottura di tipo intermedio: probabile nei terreni con  $D_r$  %  $\geq 20$  e  $< 70$  e/o con una  $c \geq 0.25 \text{ kg/cm}^2$  e  $c < 1 \text{ kg/cm}^2$ : in questo caso si procede a interpolazione fra i valori ridotti  $c'$  e  $\Phi'$  e quelli reali  $c$  e  $\varphi$ .

### **Concludendo e sostituendo si ottiene con Terzaghi**

$$Q_{lim} = c \times N_c \times s_c + y_1 \times D \times N_q + 0.5 \times y_2 \times B \times N_y \times s_y;$$

Dove:

$$c = 0,55 \text{ Kg/cm}^2;$$

correzione Terzaghi =  $2/3$

coefficiente di sicurezza per la coesione = 1,0 (Approccio 2);

$$N_c = 5,71$$

$s_c = 1,0$  (fondazione nastriforme);

$$y_1 = 2000 \text{ Kg/m}^3 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3 = 0,0020 \text{ Kg/cm}^3$$

$$D = 1,0 \text{ m} = 100 \text{ cm};$$

$$N_q = 1;$$

$$y_2 = 2000 \text{ Kg/m}^3 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3 = 0,0020 \text{ Kg/cm}^3$$

$$B = 1,0 \text{ m} = 100 \text{ cm};$$

$$N_y = 0;$$

$$s_y = 1,0.$$

coefficiente di sicurezza globale = 2,3 (App. 2)

$$Q_{lim} = [(0,55/1,0) \times 2/3 \times 5,71 \times 1,0 + 0,0020 \times 100 \times 1 + 0,5 \times 0,0020 \times 100 \times 0 \times 1,0] / 2,3 =$$

$$Q_{lim} = [2,0937 + 0,20 + 0] / 2,3 = 2,2937 / 2,3 = 0,9972 \text{ Kg/cm}^2 \approx 1,00 \text{ Kg/cm}^2$$

### 5.a) Calcolo cedimenti

Attraverso l'esame delle prove penetrometriche è stato, inoltre possibile valutare i cedimenti nei punti indagati. Per tale calcolo si è proceduto applicando la teoria del Boussinesq ed ipotizzando la fondazione superficiale (consigliata nastriforme), posata ad una profondità di ca. m. -1,00 dall'attuale piano cantiere, ovvero fino a riscontrare il terreno naturale sottostante al riporto, si è quindi proceduto come segue:

- a) si è calcolata la propagazione del carico in profondità, secondo la teoria sopraccitata;
- b) si sono distinti gli strati interessati in intervalli omogenei sia litologicamente che meccanicamente: per ognuno di essi è stato valutato il valore medio di  $R_p$  ed in seguito calcolato il coefficiente di compressibilità volumetrica  $M_v$ ;
- c) infine si è calcolato il cedimento teorico per ciascuno degli intervalli considerati per mezzo della relazione di Terzaghi-Buisman:

$$\Delta H = H_o \times \Delta q \times M_v$$

dove:  $\Delta H$  = cedimento;  
 $H_o$  = intervalli omogenei considerati;  
 $\Delta q$  = incremento di portanza alle diverse profondità;  
 $M_v$  = coefficiente di compressibilità volumetrica.

I cedimenti calcolati sono risultati pari a cm. 2,507 in CPT1 e cm. 2,425 in CPT2  
Cedimento verificato SLE secondo teoria della elasticità pari a cm. 2,73.  
ipotizzando una fondazione rigida.

## **5.b) FONDAZIONI SUPERFICIALI**

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

VIALE DELLA RINASCITA, 12-46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

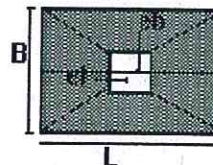
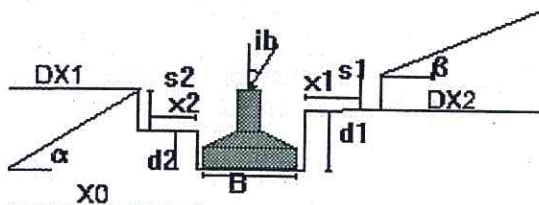
Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: GENNAIO 2016

Riferimenti: AREA A PRATO

## Geometria della fondazione

Fondazione n.	1
Larghezza o diametro base B (m):	1
Lunghezza della base L (m):	10
Profondità di posa lato destro d1(m):	1
Profondità di posa lato sinistro d2(m):	1
Profondità scavo destro s1(m):	0
Profondità scavo sinistro s2(m):	0
Inclinazione pendio a valle a(°):	0
Inclinazione pendio a monte b(°):	0
Distanza bordo scavo destro x1(m):	0
Distanza bordo scavo sinistro x2(m):	0
Inclinazione base lato B(°):	0
Inclinazione base lato L(°):	0
Inclinazione carico lato B da sisma $i_b$ (°):	0
Inclinazione carico lato L da sisma (°):	0
Eccentricità carico su B in condizioni statiche(m):	0
Eccentricità carico su L in condizioni statiche(m):	0
Eccentricità carico su B in condizioni sismiche(m):	0
Eccentricità carico su L in condizioni sismiche(m):	0
Peso di volume del cls (kg/mc):	2500
Peso di volume terrapieno (kg/mc):	1800
Altezza del terrapieno Ht (m):	0
Larghezza sommità terrapieno Ls(m):	0
Tipologia fondazionale:	Nastriforme



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

VIALE DELLA RINASCITA, 12-46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: GENNAIO 2016

Riferimenti: AREA A PRATO

**Parametri geotecnici del terreno di fondazione**

Strato n. \_\_\_\_\_

1

Descrizione litologica:

Argilla mediamente consistente	
Angolo di attrito (°):	0
Densità relativa (%):	0
Coesione(kg/cmq):	0,55
Peso di volume sopra falda(kg/mc):	2000
Peso di volume sotto falda(kg/mc):	2000
Modulo di Young o edometrico (terreni coesivi) (kg/cmq):	40
Coefficiente di Poisson:	0,4
O.C.R.:	1
Indice di compressione:	
Indice di compressione secondaria:	
Indice di ricomprensione:	
Indice dei vuoti iniziale:	
Coefficiente di consolidazione verticale (cmq/s):	
Numero di colpi Spt medio:	
Resistenza alla punta media (C.P.T.)(kg/cmq):	0
R.Q.D. (%)	
Limite di liquidità (%):	
Contenuto naturale d'acqua (%):	
Fattore di portanza Nq:	1
Fattore di portanza Nc:	5,71
Fattore di portanza Ny:	0
Comportamento meccanico:	Livello coesivo
Caratteristiche idrogeologiche:	Livello impermeabile

DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

VIALE DELLA RINASCITA, 12-46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: GENNAIO 2016

Riferimenti: AREA A PRATO

**Riassunto del calcolo della portanza delle fondazioni**

Secondo il D.M. 14.01.2008 App.II

Fondazione n. ....	1
Larghezza della fondazione (m):	1
Lunghezza della fondazione (m):	10
Profondità di posa lato destro(m):	1
Profondità di posa lato sinistro (m):	1

Metodo di calcolo:

Fattori di forma

Sc:  Sq:  Sy:

Fattori di profondità

Dc:  Dq:  Dy:

Fattori inclinazione carico da sisma

Ic:  Iq:  Iy:

Fattori inclinazione pendio

Gc:  Gq:  Gy:

Fattori inclinazione base

Bc:  Bq:  By:

Fattori correttivi per gli effetti cinematici del sisma

Zc:  Zq:  Zy:

RISULTATO

Coefficiente di sicurezza globale:	2,3
Correzione di Terzaghi:	applicata
Carico limite (kg/cmq):	2,3
Carico ammissibile(kg/cmq):	1
Carico di verifica dei cedimenti (kg/cmq):	1
Profondità del cuneo efficace (m):	0,5
Accelerazione sismica orizzontale (g):	0,222



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

VIALE DELLA RINASCITA, 12-46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: GENNAIO 2016

Riferimenti: AREA A PRATO

**Riassunto del calcolo della portanza delle fondazioni**

Secondo il D.M. 14.01.2008 App.II Combinazione delle azioni: sismica

Fondazione n. ....	1
Larghezza della fondazione (m):	1
Lunghezza della fondazione (m):	10
Profondità di posa lato destro (m):	1
Profondità di posa lato sinistro (m):	1

Metodo di calcolo: 

## Fattori di forma

Sc:  Sq:  Sy: 

## Fattori di profondità

Dc:  Dq:  Dy: 

## Fattori inclinazione carico da sisma

Ic:  Iq:  Iy: 

## Fattori inclinazione pendio

Gc:  Gq:  Gy: 

## Fattori inclinazione base

Bc:  Bq:  By: 

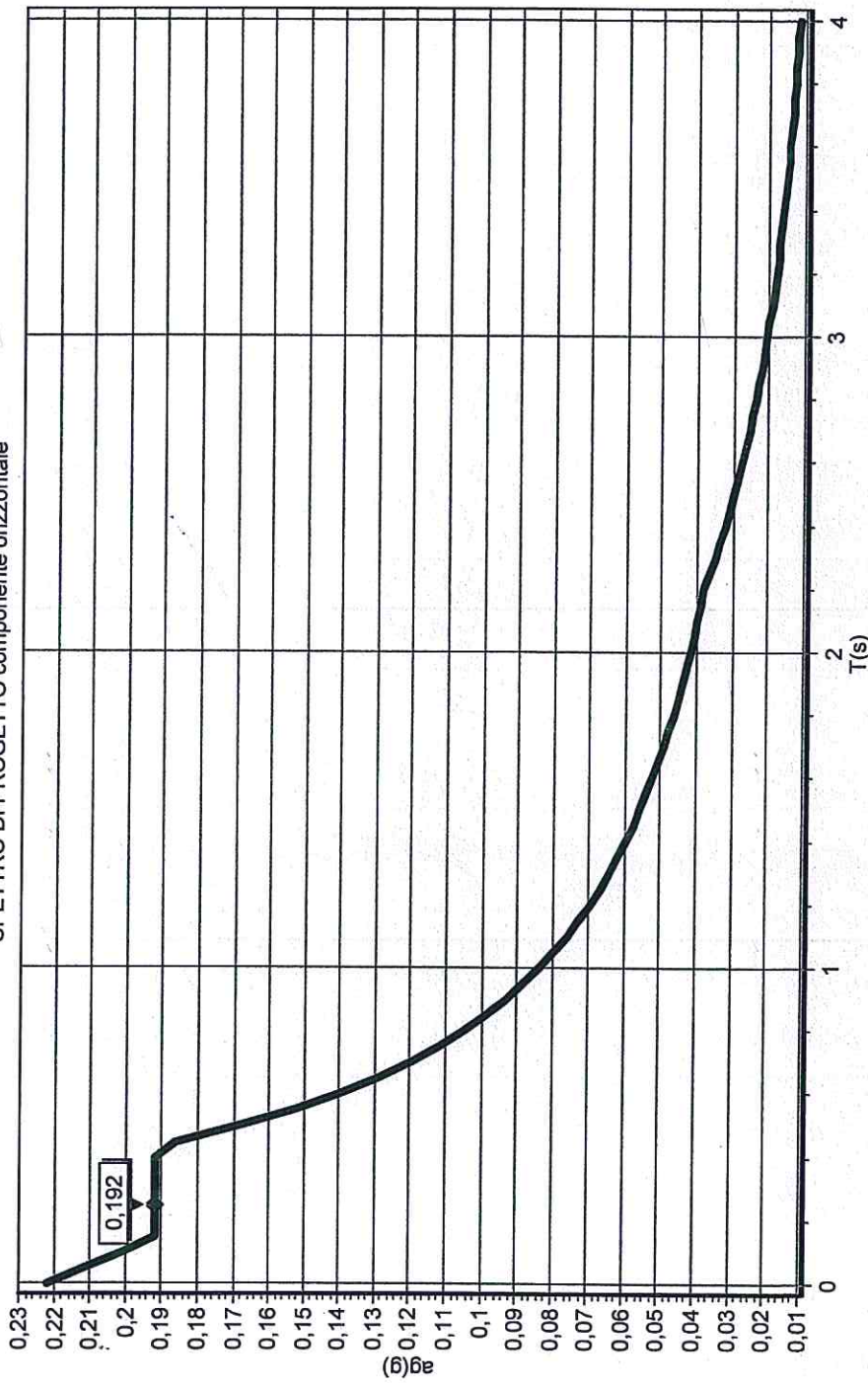
## Fattori correttivi per gli effetti cinematici del sisma

Zc:  Zq:  Zy: 

## RISULTATO

Coefficiente di sicurezza parziale per l'angolo di attrito:	1
Coefficiente di sicurezza parziale per la coesione:	1
Coefficiente di sicurezza globale:.....	2,3
Correzione di Terzagli:	applicata
Capacità portante S.L.U. (kg/cmq):	1
Profondità del cuneo efficace (m):	0,5
Accelerazione sismica orizzontale (g):	0,222

SPETTRO DI PROGETTO componente orizzontale



Accel.sismica max terreno(g):0,222 Coef.sismico orizzontale struttura (kh)(g):0,192 Inclinazione del carico dovuta al sisma( $^{\circ}$ ):10,856  
 Categoria sottosuolo:C Categoria topografica:T1Fattore di amplificazione spettrale F0:2,59 Periodo inizio velocità costante tc\*(s):0,27

## **6) VALUTAZIONE RISCHIO SISMICO**

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni è stato eseguito **n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali**, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la **procedura tipo MASW**.

Mediante tali metodologie è stato possibile eseguire la valutazione delle velocità  $V_{S30}$  di sito al fine di classificare il terreno di fondazione secondo le tabelle allegate al D.M. 14/01/08 ed Eurocodice 8, conforme OPCM 3274 del 2003 e succ. integrazioni e Ordinanza 28 aprile 2006.

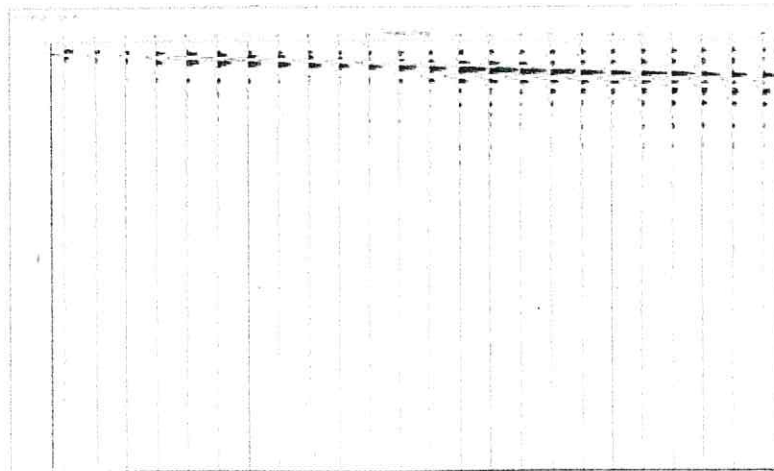
### **6.1) Cenni sulle tecniche sismiche utilizzate: sismica passiva Re.Mi e sismica attiva Masw**

Questi metodi di esplorazione geofisica consistono nella determinazione delle velocità sismiche dei vari strati del sottosuolo caratterizzati da diverse caratteristiche fisico - meccaniche.

#### **Sismica attiva Masw:**

La procedura Masw è basata sulla determinazione della velocità delle onde di superficie. Considerando che le onde di Rayleigh campionano uno spessore di sottosuolo proporzionale alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , è ragionevole ritenere di poter risalire alla rigidezza dei terreni dalla legge di variazione della  $V_r$  con  $\lambda$  (curva di dispersione). Dal punto di vista sperimentale l'acquisizione masw viene eseguita con una metodologia simile alla tecnica sismica a rifrazione. La differenza sostanziale viene dalla configurazione geometrica dei ricevitori, in genere i geofoni (minimo 12-24) vengono spazati di 1, 2 o 3 metri, aventi una frequenza di campionamento pari a 4.5 Hz. Essendo una tecnica attiva in presenza di una sorgente polarizzata, l'acquisizione masw risulta comunque possibile, essendo un metodo che utilizza una generazione energetica attiva per creare le onde sismiche, applicando le migliori metodologie di acquisizione sismica (filtri ecc.) che i moderni sismografi consentono.

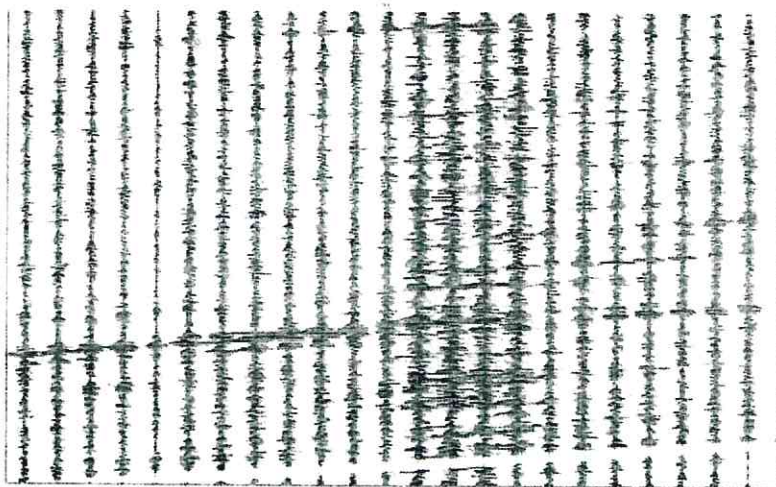
Esempio acquisizione Masw:



### **Sismica passiva Re.Mi:**

La procedura Re.Mi si basa sull'utilizzo dei microtremori (rumore naturale della terra ed artificiale), come sorgente, con tempi di acquisizione minimo di 30 sec ed ottimali di 10- 20 minuti. Vengono utilizzati minimo 12-24 geofoni da 4.5 Hz (come nella tecnica Masw) spaziatati 1-3 metri collegati al sismografo in grado di acquisire con intervalli di campionamento minimo di 30 secondi, i quali vengono sommati nella fase di interpretazione. Questa tecnica utilizzando il rumore naturale "il microtremore", soffre di una limitazione particolare: se il profilo sismico viene eseguito in presenza di una sorgente di rumore fissa "polarizzata", l'interpretazione Re.Mi risulta di difficile applicazione, in virtù del principio che il microtremore non deve essere localizzato, ma proveniente con una raggio di 360° rispetto al profilo ricevente.

Esempio acquisizione Re.Mi:



### **Interpretazione Masw e Re.Mi:**

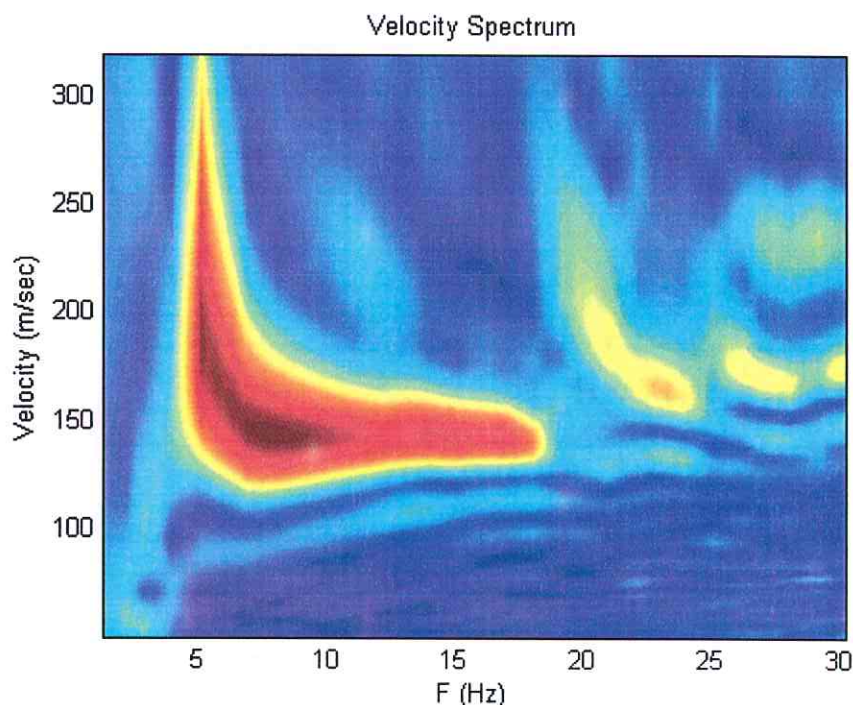
Le tecniche sopra descritte differenziano per la metodologia di acquisizione del dato di campagna, mentre la tecnica di elaborazione risulta molto simile, di seguito brevemente descritta:

Il primo passo nell'elaborazione prevede la definizione della curva di dispersione la quale gode di una certa "variabilità" giustificata nell'influenza sulle misure dalla distanza dei ricevitori, posizione della sorgente e il volume di terreno campionato.

Il secondo passo consiste nell'inversione della curva di dispersione, al fine di individuare quale sia il profilo di rigidezza che riproduce la curva sperimentale. I modelli di analisi adoperati sono molteplici, mentre il metodo utilizzato per ottenere

lo spettro delle velocità e l'inversione della curva di dispersione nel presente lavoro si basa sul metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici .

## *Phase shift*



### **6.2) Operazioni di acquisizione dati**

I profili sismici vengono eseguiti disponendo sul terreno una serie di sensori (*geofoni*), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente (sismica attiva), vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

a. Per lo studio sopra descritto è stata utilizzata la tecnica Masw:

Tale tecnica ha soddisfatto pienamente la normativa sismica vigente, fornendo come di seguito descritto, un'ottima risoluzione nei primi 30 metri p.c. delle onde Vs ed ha raggiunto una profondità di indagine tale da individuare il substrato compatto.

### **6.3) Lavoro di campagna**

Le misure di campagna sono state eseguite nel mese di Gennaio 2016. Si è eseguito 1 stendimento, con tecnica Masw per il calcolo della Vs 30 con le seguenti caratteristiche tecniche:

1. **Sismografo utilizzato:** sismografo digitale ECHO 12-24 2002 della AMBROGEO srl caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.
2. **Numero geofoni:** 24 cad. con frequenza propria 4.5 Hz distanza geofonica 2.0 m;
3. **Acquisizione** a 7651 Hz per 1 sec.
4. **Numero profili:** 1 masw;
5. **Tiri:** n. 5 cad profilo masw 1 .
  - i. Tiro n. 1 eseguito – 2.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;
  - ii. Tiro n. 2 eseguito – 4.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
  - iii. Tiro n. 3 eseguito – 6.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
  - iv. Tiro n. 4 eseguito – 8.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
  - v. Tiro n. 5 eseguito – 10.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
6. **Lunghezza singolo profilo:** 58 metri;
7. **Sorgente utilizzata:** Mazza battente kg 10 con trigger (dispositivo per il comando di avvio della registrazione);
8. **Energia utilizzata:** numero 1 colpo (masw) di mazza per tiro.

### **6.4) Interpretazione geofisica onde Vs tecnica Masw “VS 30”**

#### **Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione**

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 6.dat). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).

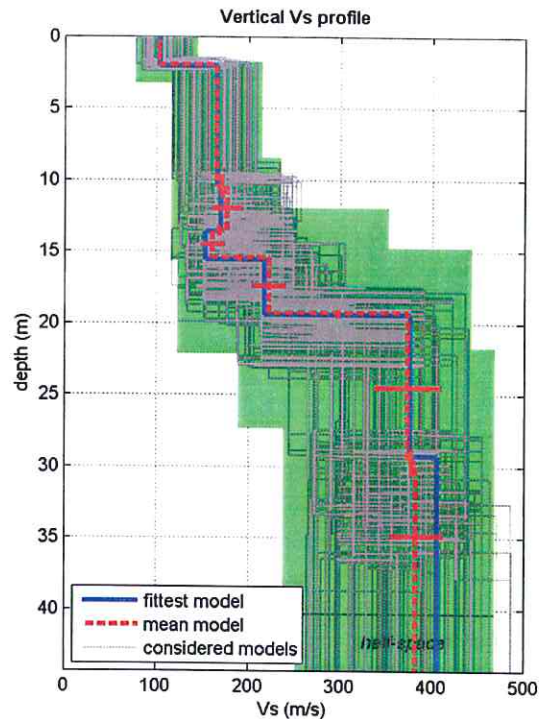
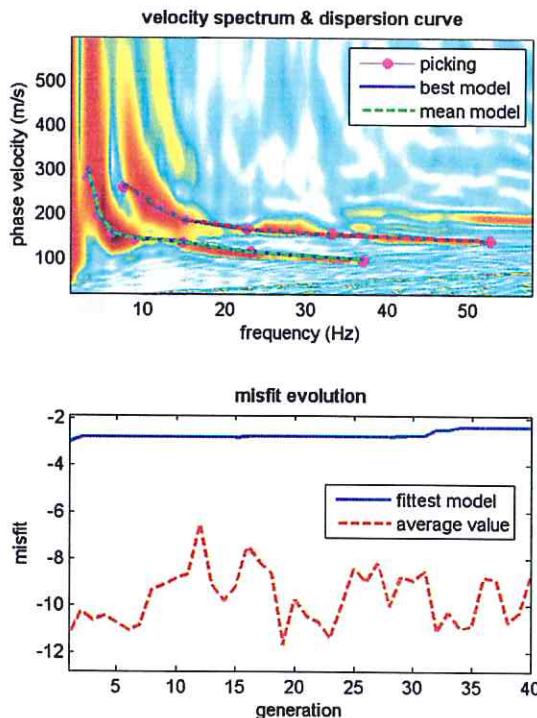
Nel caso in esame sono stati individuati un modo principale e un modo superiore, utilizzati per la successiva inversione della curva di dispersione.

### Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della Vs è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità non dovrebbe subire variazioni drastiche è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (data una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a  $\lambda/2$ ). I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono in ogni caso piuttosto ampi. Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 5 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio. Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

### Modello Vs30



dataset: 2<sub>g</sub>\_SGY  
dispersion curve: pick.cdp  
VS30 (best model): 203 m/s  
VS30 (mean model): 206 m/s

## Mean model

Vs (m/s): 103, 165, 176, 161, 193, 321, 343  
Standard deviations (m/s): 1, 2, 16, 13, 15, 32, 26  
Thickness (m): 2.0, 8.4, 3.1, 1.9, 3.8, 10.4  
Standard deviations (m/s): 0.1, 0.8, 0.3, 0.2, 0.3, 0.9  
Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.68, 1.80, 1.80, 1.78, 1.87, 2.00, 1.99  
Shear modulus (MPa): 18, 49, 56, 46, 92, 278, 291  
Analysis: Rayleigh Waves

### Approximate values for Vp and elastic moduli

Vp (m/s): 216, 342, 357, 325, 459, 785, 759  
Poisson: 0.35, 0.35, 0.34, 0.34, 0.35, 0.35, 0.33  
Bulk modulus (MPa): 55, 145, 155, 127, 270, 859, 756  
Young's modulus (MPa): 48, 132, 150, 124, 248, 752, 775  
Lamé (MPa): 43, 112, 118, 96, 209, 674, 562

### VS30 (m/s): 203

### Possible Soil Type: C

For the Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

- A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
- B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
- C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
- D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
- E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).



S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero  $10 < cuS30 < 20$  kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

### **Fattore di Frequenza:**

L'andamento della funzione di amplificazione di un sito, è periodica ed assume sempre valori maggiori o uguali all'unità, cioè l'ampiezza dello spostamento alla superficie dello strato è sempre almeno pari a quella in corrispondenza della formazione rocciosa (secondo normativa vigente  $V_s > 800$  m/s).

La *frequenza naturale* ( $F_n$ ) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:  $F_n = \omega_n / 2\pi = (V_s / 4H) * (2n-1)$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica ( $\omega$ ) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato ( $\omega_n$ ). Quando si verifica tale condizione ( $\omega = \omega_n$ ) si ha la **risonanza** dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito.

### **Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like : 0.83 Hz**

Nel caso che una sollecitazione si prolunga nel tempo essa può diventare particolarmente pericolosa per l'edificio, progettato come elastico, quando il terreno trasmette una componente del segnale sismico che abbia la stessa frequenza di oscillazione della struttura:

- Frequenza di oscillazione del terreno  $< F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  $\Rightarrow$  i danni sono "limitati"
- Frequenza di oscillazione del terreno  $= F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  $\Rightarrow$  i danni sono "illimitati".

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

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

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

- S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero  $10 < cuS30 < 20$  kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
- S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

### **Fattore di Frequenza:**

L'andamento della funzione di amplificazione di un sito, è periodica ed assume sempre valori maggiori o uguali all'unità, cioè l'ampiezza dello spostamento alla superficie dello strato è sempre almeno pari a quella in corrispondenza della formazione rocciosa (secondo normativa vigente  $V_s > 800$  m/s).

La *frequenza naturale* ( $F_n$ ) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:  $F_n = \omega_n / 2\pi = (V_s / 4H) * (2n-1)$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica ( $\omega$ ) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato ( $\omega_n$ ). Quando si verifica tale condizione ( $\omega = \omega_n$ ) si ha la *risonanza* dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito.

### **Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like : 0.83 Hz**

Nel caso che una sollecitazione si prolunga nel tempo essa può diventare particolarmente pericolosa per l'edificio, progettato come elastico, quando il terreno trasmette una componente del segnale sismico che abbia la stessa frequenza di oscillazione della struttura:

- Frequenza di oscillazione del terreno  $< F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  $\Rightarrow$  i danni sono "limitati"
- Frequenza di oscillazione del terreno  $= F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  $\Rightarrow$  i danni sono "illimitati".

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

**freq. Naturale edificio  $\approx 10$  Hz / numero piani**

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

**freq. naturale edificio  $\approx$  freq. fondamentale di risonanza del sito**

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

- S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero  $10 < cuS30 < 20$  kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
- S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

### **Fattore di Frequenza:**

L'andamento della funzione di amplificazione di un sito, è periodica ed assume sempre valori maggiori o uguali all'unità, cioè l'ampiezza dello spostamento alla superficie dello strato è sempre almeno pari a quella in corrispondenza della formazione rocciosa (secondo normativa vigente  $V_s > 800$  m/s).

La *frequenza naturale* ( $F_n$ ) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:  $F_n = \omega_n / 2\pi = (V_s / 4H) * (2n-1)$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica ( $\omega$ ) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato ( $\omega_n$ ). Quando si verifica tale condizione ( $\omega = \omega_n$ ) si ha la **risonanza** dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito.

### **Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like : 0.83 Hz**

Nel caso che una sollecitazione si prolunga nel tempo essa può diventare particolarmente pericolosa per l'edificio, progettato come elastico, quando il terreno trasmette una componente del segnale sismico che abbia la stessa frequenza di oscillazione della struttura:

- Frequenza di oscillazione del terreno  $< F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  $\rightarrow$  i danni sono "limitati"
- Frequenza di oscillazione del terreno =  $F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  $\rightarrow$  i danni sono "illimitati".

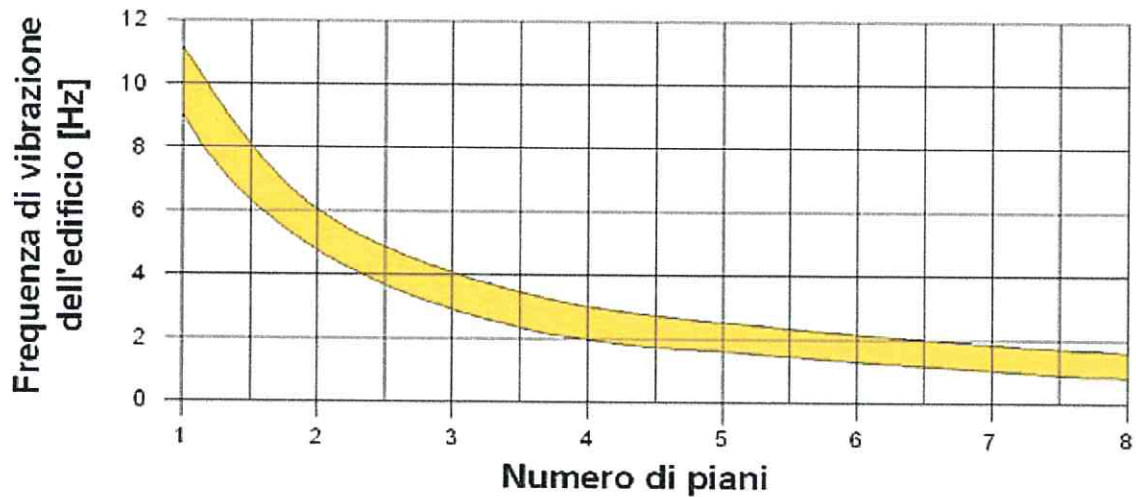
Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

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



#### Fattore di Amplificazione sismico locale:

La normativa nazionale e regionale propone, per la definizione delle amplificazioni sismiche locali, l'impiego di apposite tabelle (come sopra citate) riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche del territorio nazionale. Tuttavia è consentita la stima del fattore di amplificazione sismico locale mediante una apposita indagine sismica del sito, come è stato fatto per il caso in esame.

Con il termine di risposta sismica locale si intende l'insieme delle modifiche che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

La teoria assume un livello di riferimento "sismico" pari alla velocità  $V_s$  misurata nel substrato roccioso (800 m/s) o in alternativa ad un livello (come nel nostro sito) in cui la  $V_s$  dello strato superficiale vada in risonanza con uno strato sismico profondo da cui è stato calcolato quanto segue:

Fattore di amplificazione sismico locale	$F_a = 1.25$
Fattore di amplificazione sismico di picco	$F_a = 2.10$
Periodo	1.2 s

#### 6.5) Calcolo azione sismica di progetto

##### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C	Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50 anni	Coefficiente $c_u$ : 1



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

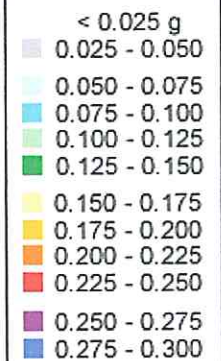
## Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

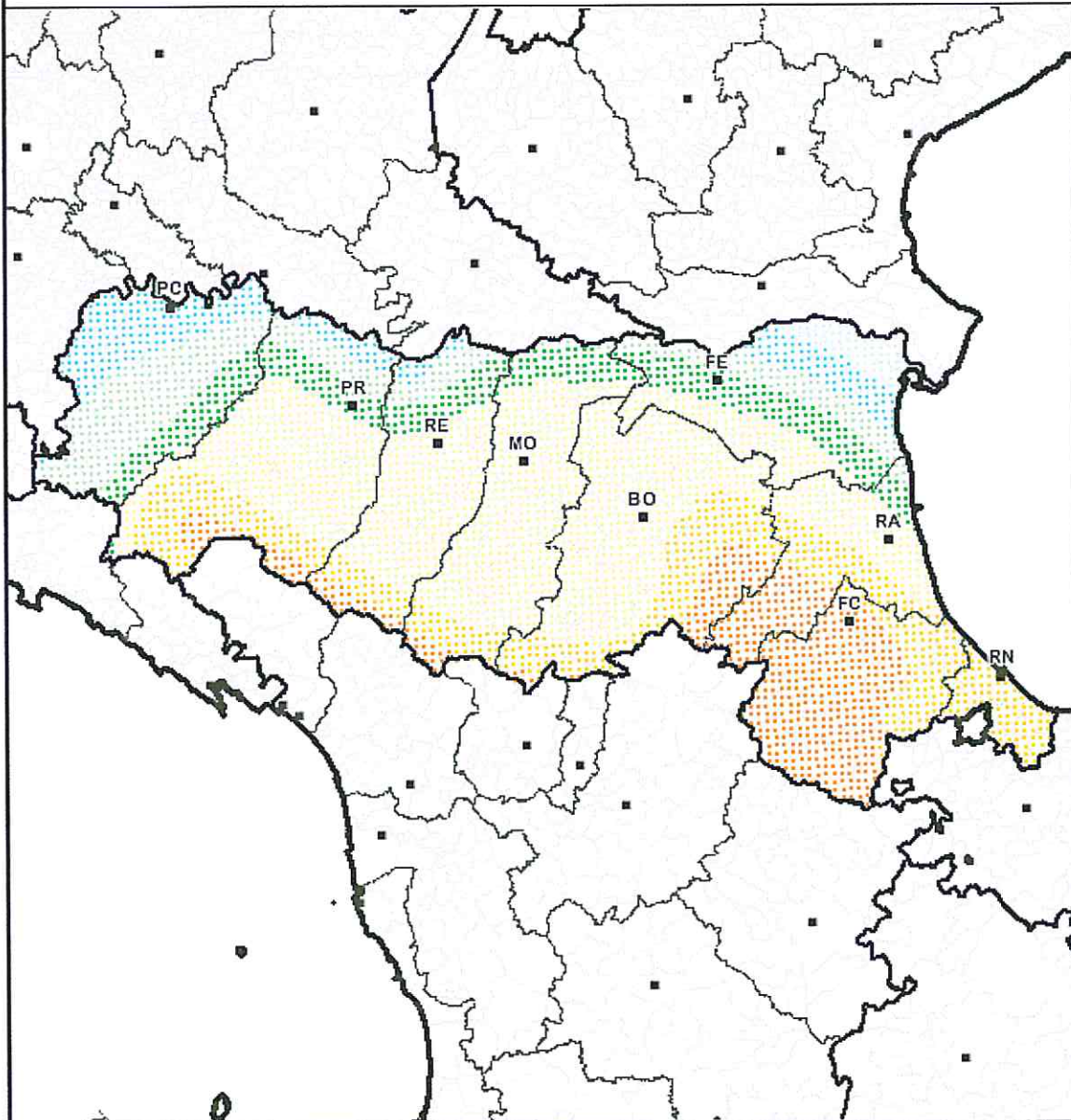
espressi in termini di accelerazione massima del suolo  
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

Emilia  
Romagna



Fonte: MPS04  
Griglia: 0.02°



**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento:	81	%		
Tr:	45	[anni]	ag:	0,044 g
Fo:	2,504	Tc*:		0,259 [s]

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento:	63	%		
Tr:	50	[anni]	ag:	0,052 g
Fo:	2,507	Tc*:		0,265 [s]

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento:	10	%		
Tr:	475	[anni]	ag:	0,193 g
Fo:	2,577	Tc*:		0,271 [s]

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento:	5	%		
Tr:	975	[anni]	ag:	0,225 g
Fo:	2,507	Tc*:		0,279 [s]

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica – ha suddiviso il territorio italiano in 4 zone sismiche distinte con i numeri 1, 2, 3 e 4: il grado di rischio decresce passando dalla zona 1 alla zona 4.

**Finale Emilia risulta identificato in Zona 3.** Tale inclusione evidenzia una certa pericolosità sismica. Con questa zonizzazione si ha che  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, espresso come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  – si veda O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006-) risulta nel caso di probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni  $0,05 < a_g \leq 0,15 g$  mentre quando l'accelerazione orizzontale risulta come massima convenzionale di ancoraggio dello spettro si risposta elastico, assume pari a **0,15 g**.

Inoltre, in base a quest'ultima ordinanza si ha un profilo stratigrafico del suolo di fondazione appartenente alla categoria C ( $V_{s30}$  pari a 203 m/sec) – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti....., con valori di  $V_s$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec < 180 m/s (ovvero  $15 < N_{STP30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{U30} < 250$  kPa nei terreni a

grana fina) e **S2** – Deposito di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti -.

L'Ordinanza n. 3519 del 28 aprile 2006 della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elementi delle medesime – evidenzia la pericolosità sismica di riferimento per il territorio italiano.

Tale pericolosità risulta espressa in termini di accelerazione massima al suolo -  $a_g$  – con probabilità di accelerazione in 50 anni riferita a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{S30} > 800$  m/s. (suolo di categoria A, di cui al punto 3.2.1 del D.M. 14 settembre 2005). Le stime delle incertezze sono espresse mediante la distribuzione dei valori corrispondenti al 50mo percentile del valore di  $a_g$ .

Nella mappa di pericolosità al 50mo di percentile, l'area indagata nel comune di Finale Emilia risulta sempre identificata nella fascia di 0,125 g – 0,175 g.

La scala di analisi per una micronizzazione sismica in questa specifica casistica, risulta quella di aver eseguito indagini di campagna in dettaglio effettuando un approccio di tipo quantitativo in quanto si sono individuati alcuni parametri fisici.

Negli allegati è stata usata la prova penetrometriche CPT1 infissa fino a m. - 20.80 nella quale si sono determinate le accelerazioni sismiche (g), la velocità onde S (m/s) e la stima del rischio di liquefazione.

Per la caratterizzazione del sito da un punto di vista sismico, ovvero la determinazione della velocità delle onde S del terreno, si è usata la procedura di Barrow e Stokoe (1983). Tale procedura risulta consigliata nel manuale Internazionale TC4 per la zonazione dei rischi geotecnici ed essa risulta valida per tutti i tipi di terreno. Con tale criterio la Accelerazione Sismica Orizzontale massima del Sito risulta pari a **0,2221 g**. La categoria topografica risulta individuata in **T1**.

Quindi, in base alla elaborazione INGV “Spettri NTC ver. 1.0.3, i parametri sismici per tempi di ritorno pari a 475 anni (D.M. 14/01/2008) calcolati tramite media ponderata risultano così indicati:

$$a_g (g) = 0,149 \quad F_0 = 2,588 \quad T_C = 0,270 \quad S_S = 1,469$$

Per quanto riguarda il fattore di amplificazione (**FA**), questo si rapporta tra il valore di PGA del sito ed il valore di accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico orizzontale per lo stato limite SLV, si hanno queste indicazioni, secondo:

- Regione Emilia Romagna. Deliberazione dell'Assemblea Legislativa del 2 maggio 2007, n. 112

Accel. Mass. Orizzontale di picco al suolo per  $T = 0$  pari a 0,149 g, accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastica, pari a 0,218 g, quindi:

$$F.A. = 1,46$$

- *Decreto Ministeriale 14.01.2008*

Accel. Mass. Orizzontale di picco al suolo per  $T = 0$  pari a 0,149 g, accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastica, pari a 0,218 g, quindi:

$$F.A. = 1,46$$

- *Decreto Ministeriale 14.01.2008 con coordinate geografiche di CPT1*

Accel. Mass. Orizzontale di picco al suolo per  $T = 0$  pari a 0,1517 g, accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastica, pari a 0,2221 g, quindi:

$$F.A. = 1,46$$

STATO LIMITE	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_C$ (s)
SLO	30	0,039	2,562	0,252
SLD	50	0,051	2,476	0,268
SLV	475	0,149	2,588	0,270
SLC	975	0,200	2,537	0,277

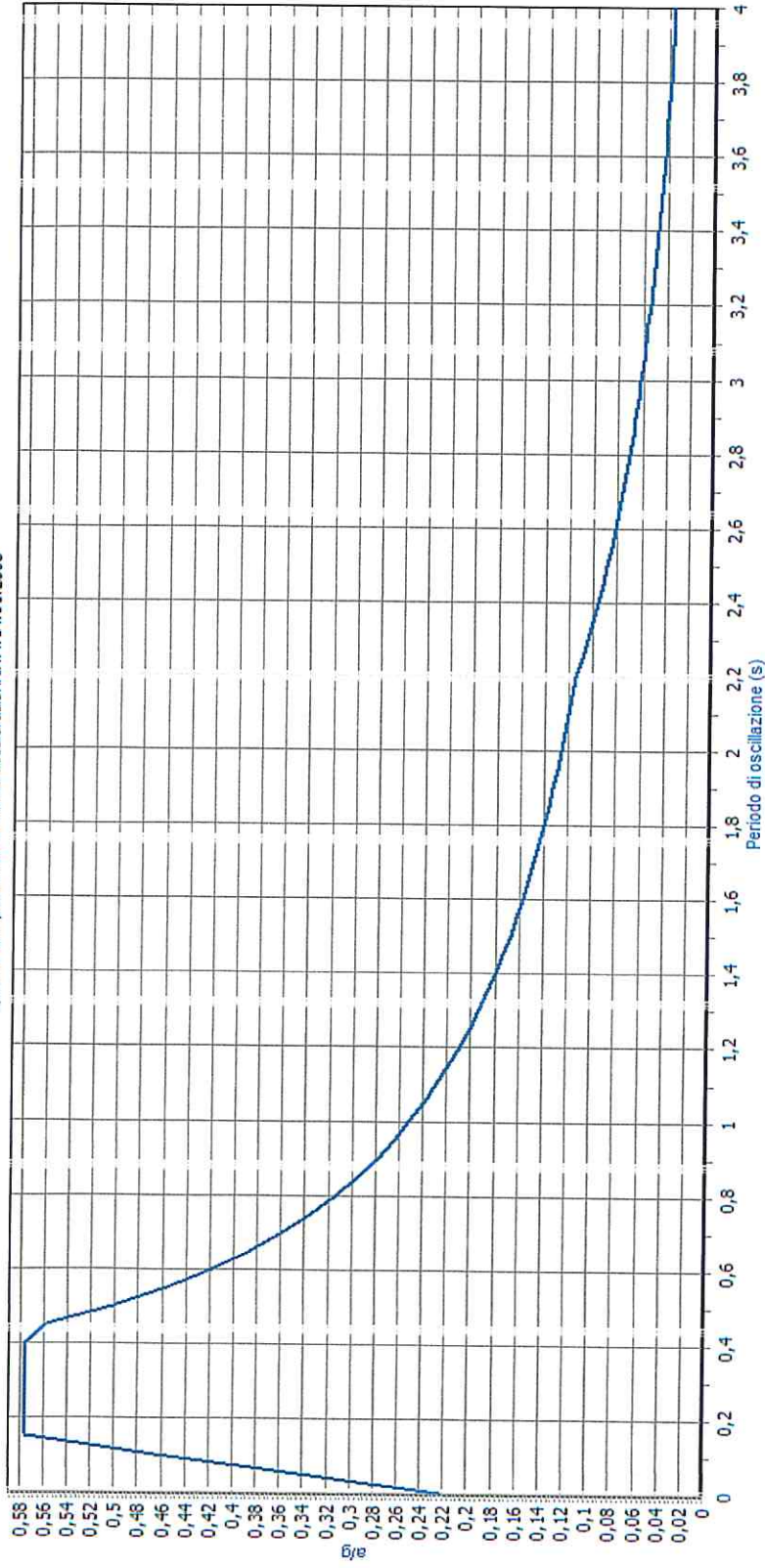
Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascun SL  
(da NTC 2008 vers. 1.03)



latitudine: 44,83708611      longitudine: 11,28936333

ag bedrock(g): 0,1517	cat. sott.: sublo: Categoria C	cat. topogr.: Categoria T1	Componente orizz. tale	prob. superamento: %: 10	periodo rif. (anni): 50
Tempo ritorno(anni): 475	F0: 2,59	Tc(s): 0,27	Ss: 1,46	St: 1,0	ag max(g): 0,2221

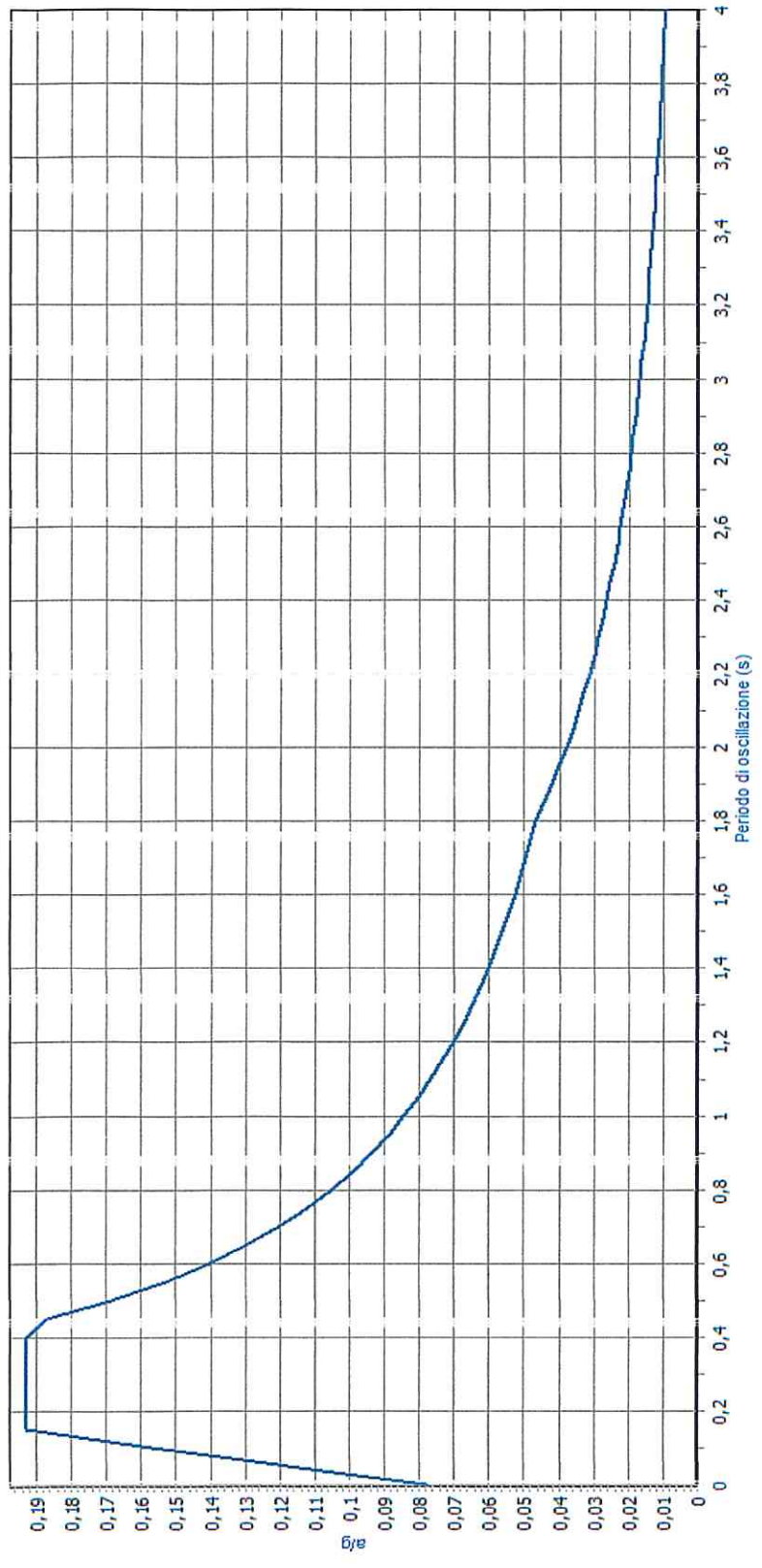
Spettro di risposta elastico delle accelerazioni D.M. 14.01.2008

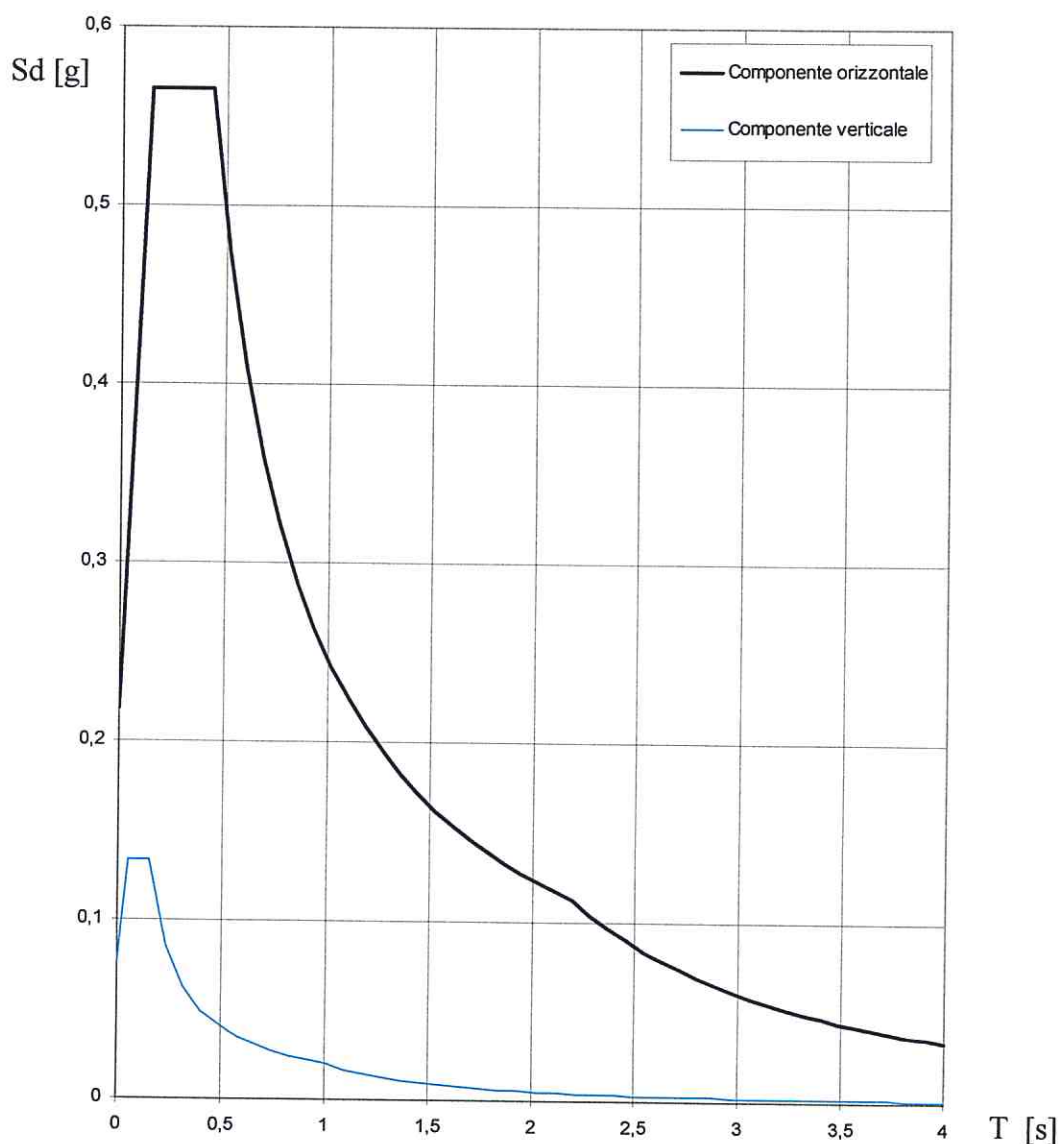


latitudine: 44,83768611    longitudine: 11,28838333

ag bedrock(g): 0,0519	cat.topogr.: Categoria T1	Componente orizz. tale	prob. superamento: 63	periodo rif. (anni): 50
Tempo ritorno (anni): 50	F0: 2,48	Ss: 1,5	St: 1,0	ag max(g): 0,0776
	Tc(s): 0,27			

Spettro di risposta elastico delle accelerazioni D.M. 14.01.2008



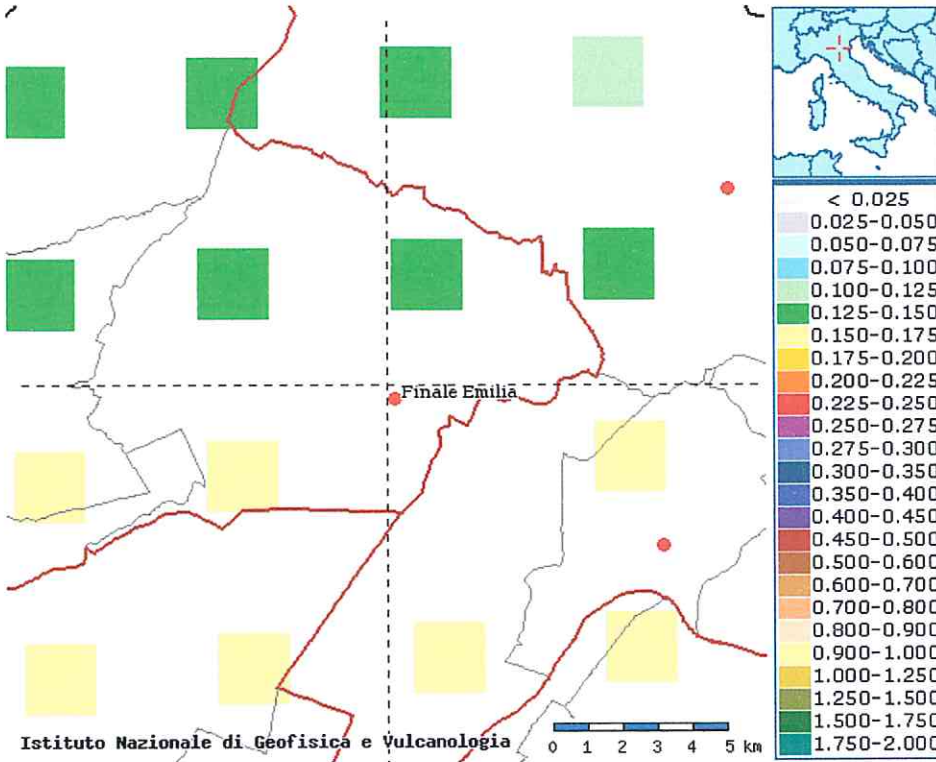


*Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale per lo stato limite: SLV  
(da NTC 2008 vers. 1.03)*

Infine si allegano le mappe interattive di pericolosità sismica di INGV del punto più vicino (si veda grafici alla pagina seguente) e precisamente:

- Disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (grafico e tabulato numerico), che consente di determinare il contributo di varie sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica dell'area oggetto di studio. Precisamente si sono presi in considerazione i terremoti con  $M$  compresa tra 4,0 e 6,0 rapportati ad una distanza con raggio di ca. Km. 30.
- Valori di  $a(g)$  per diverse frequenze annuali di superamento (grafico e tabulato numerico), in rapporto ai percentili 16°, 50°, 84°.

# Mappe interattive di pericolosità sismica



**Strumenti**

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

**Navigazione**

**Scala:**  
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)

Scala: 124000

**Coordinate del centro della mappa**

Latitudine: 44.837  
Longitudine: 11.289

[Cambia scala/centro](#)

**Ricerca Comune**

Il nome contiene:

[Ricerca](#)

**Selezione mappa**

Visualizza punti della griglia riferiti a:

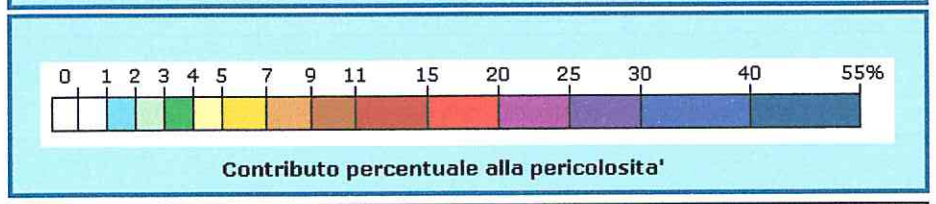
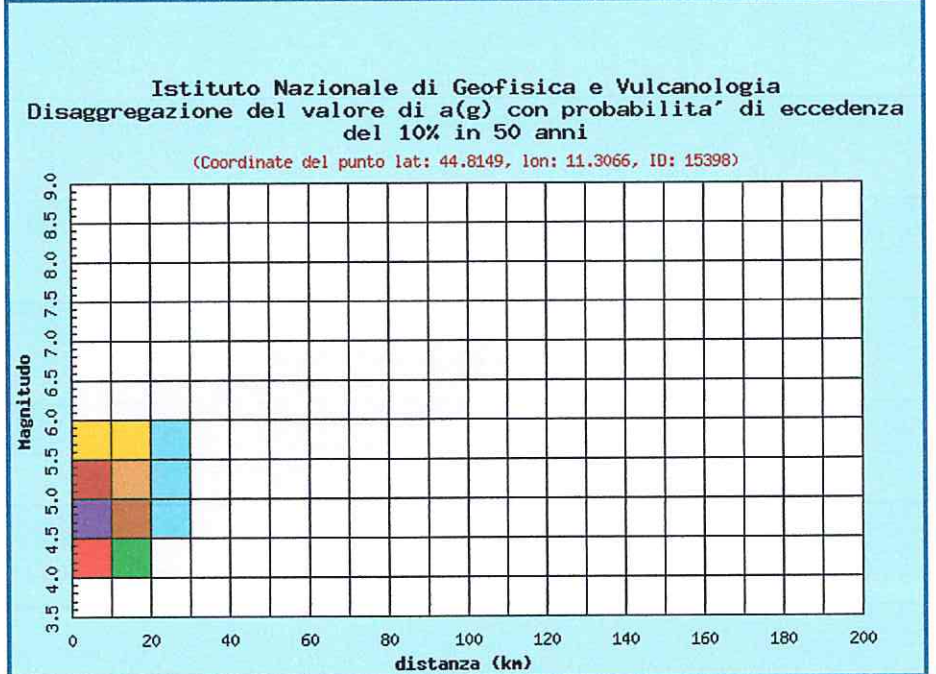
Ridisegna mappa

Parametro dello scuotimento:

Probabilità in 50 anni:

Percentile:

Periodo spettrale (sec):

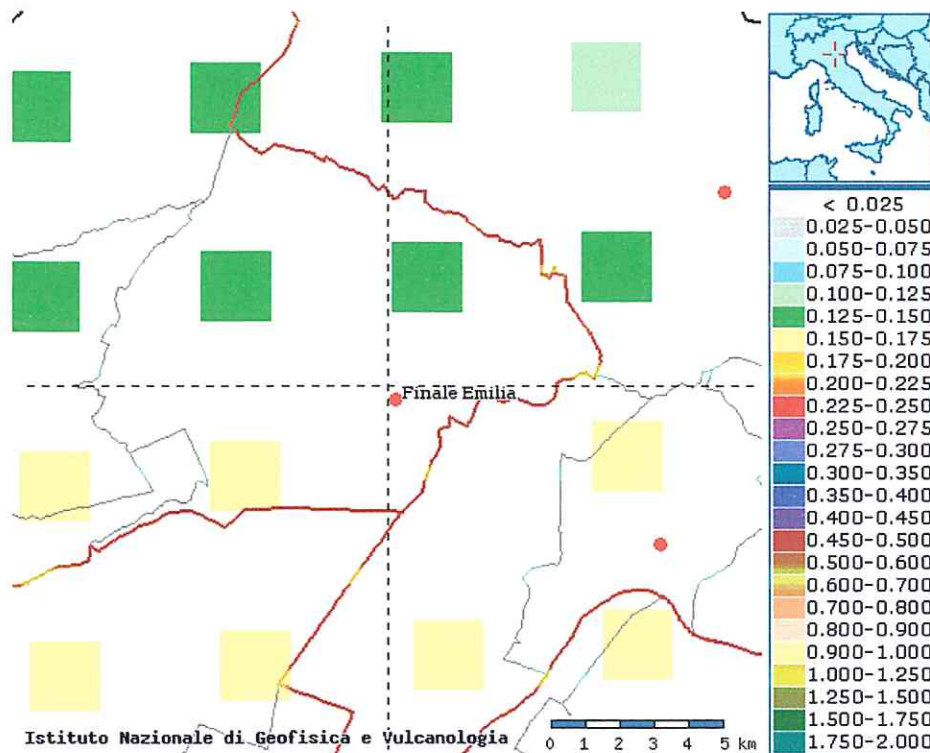


Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.8149, lon: 11.3066, ID: 15398)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	15.800	27.400	14.000	6.220	0.695	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

10-20	0.000	3.860	9.890	8.300	5.580	0.793	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.204	1.290	1.960	1.980	0.352	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.064	0.435	0.661	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.040	0.187	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.014	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.022	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	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
4.960	9.390	0.647

# Mappe interattive di pericolosità sismica



## Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto
- griglia
- Grafico di disaggregazione

## Navigazione

**Scala:**  
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)

Scala: 124000

## Coordinate del centro della mappa

Latitudine: 44.837

Longitudine: 11.289

[Cambia scala/centro](#)

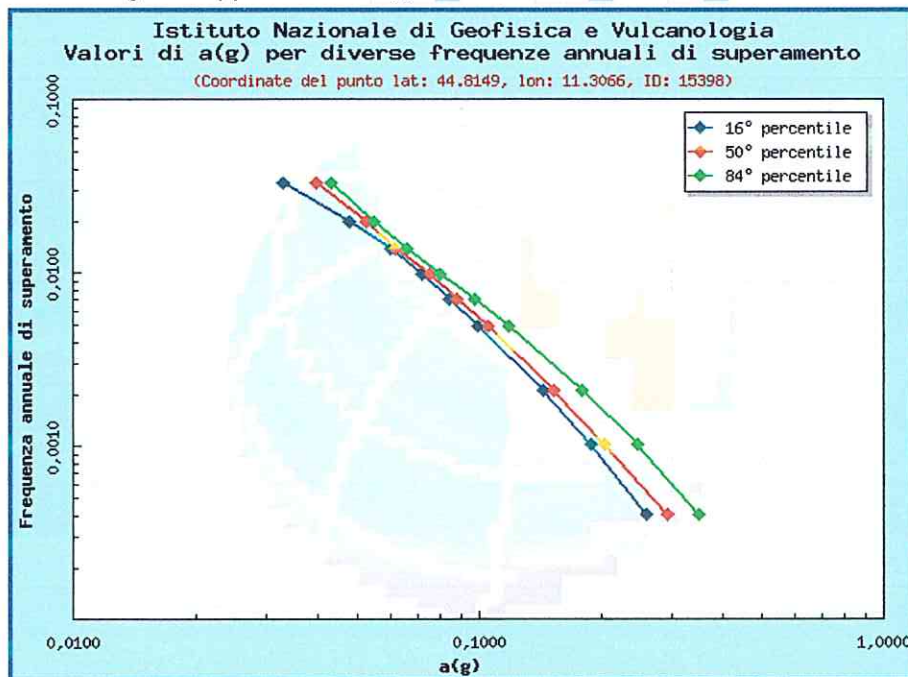
## Selezione mappa

- Visualizza punti della griglia riferiti a:
 

Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Periodo Percentile: spettrale (sec):
a(g)	10%	50
- Ridisegna mappa

## Ricerca Comune

Il nome contiene:



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 44.8149, lon: 11.3066, ID: 15398)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2588	0.2927	0.3478
0.0010	0.1889	0.2045	0.2453

0.0021	0.1437	0.1522	0.1797
0.0050	0.0989	0.1046	0.1186
0.0071	0.0840	0.0880	0.0973
0.0099	0.0721	0.0751	0.0799
0.0139	0.0603	0.0618	0.0662
0.0200	0.0477	0.0524	0.0546
0.0333	0.0329	0.0395	0.0433

## **6.6) Caratteristiche del sito**

Coordinate geografiche:

Latitudine: 44° 50' 13,51" N → 44,83708611 N

Longitudine: 11° 17' 21,78" E → 11,28938333 E

Coordinate Piane Gauss-Boaga Roma 40

1637763,379 m. E - 4983021,186 m. N

Coordinate UTM ED50

Fuso 32T 637816,379 m. E - 4983201,186 m. N

Classe: 3

Vita Nominale: anni 50

Tempo ritorno: anni 475

Categoria sottosuolo: C

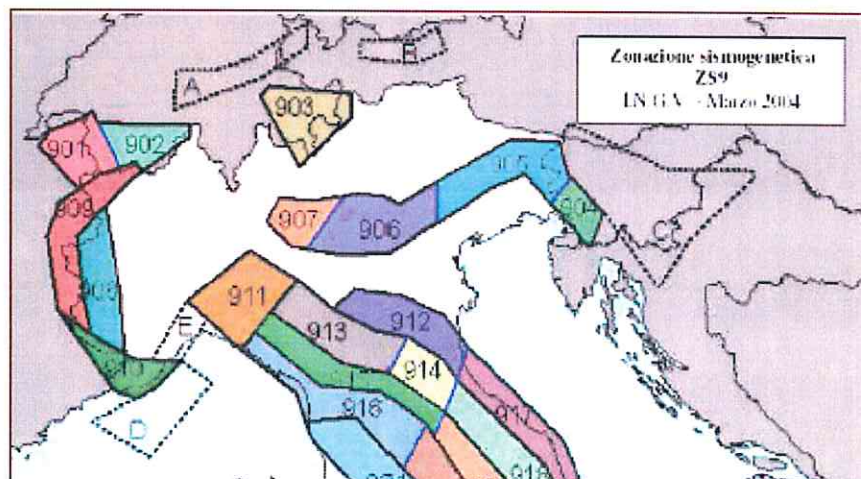
Categoria topografica: T1

## **6.7) Rischio Liquefazione**

### ***Magnitudo di Riferimento***

Con riferimento al Rapporto Conclusivo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (aprile 2004 - vedi Tav.10) il territorio in esame ricade all'interno della zona sismogenetica **ZS 912** (Dorsale Ferrarese) per la quale viene previsto il seguente valore massimo della Magnitudo Momento: **Mw = 6,14**.

Dello stesso ordine di grandezza rispetto al valore registrato durante il sisma del 20 maggio 2012 (magnitudo momento Mw = 6,0 - magnitudo locale ML = 5,9).





### **Verifica del potenziale di liquefazione**

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Nel contesto considerato, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo argillosa.

*In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove deve essere realizzata la costruzione.*

Le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze dei parametri più significativi ed alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica, hanno preso avvio a partire dai terremoti di Niigata dell'Alaska (1964). Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento; a tali criteri hanno fatto seguito metodi più raffinati e complessi capaci di tenere conto di un numero di parametri sempre più elevato.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione della pressione effettiva della risposta sismica locale e su prove di laboratorio molto sofisticate e complesse. Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli strati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e quelli indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione.

A tal fine richiedono la precisazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, valutati questi ultimi o con prove dinamiche di laboratorio o con prove in situ.

La loro applicazione richiede quindi:

- la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ ed in laboratorio;
- calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte.

La verifica del coefficiente di sicurezza **FL**, viene determinata ad ogni quota *z* del deposito compresa nei primi **15-20 m** (profondità da verificare in rapporto alla normativa vigente nel sito indagato), mediante l'applicazione della seguente formula:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$

dove:

- **CRR** = Cyclic Resistance Ratio, indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico, normalizzata rispetto alla pressione verticale efficace  $\sigma'v$  ;
- **CSR** = Cyclic Stress Ratio, indica la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

$$CSR = 0,65 \frac{a \max}{G} \cdot \frac{\sigma v}{\sigma' v} \cdot rd$$

$a \max$  = accelerazione di picco al piano di campagna

$g$  = accelerazione di gravità

$\sigma v$  = tensione totale verticale nel sottosuolo

$\sigma' v$  = tensione efficace verticale nel sottosuolo

$rd$  =  $1-0.0015z$  coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità di interesse per tenere in conto la deformabilità del sottosuolo (Iwasaki 1978)

Nell'ipotesi di propagazione verticale di onde sismiche di taglio la colonna di terreno di altezza  $z$  si muove rigidamente in direzione orizzontale. Poiché in realtà la colonna di terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido.

1. **MSF** = fattore di correzione della magnitudo

Dal rapporto tra il numeratore con il denominatore, se il risultato è **FL >1,00** il deposito viene considerato **non liquefacibile**, se inferiore **liquefacibile** .

La stima del rischio di liquefazione è stata elaborata impiegando il software Liquef Ver. 3.0 della ProgramGeo.

I risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di calcolo suddetto ai dati forniti dalla CPT1 eseguita e spinta sino a 30.80 metri dal p.c. sono riportati in allegato.

### **Calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione**

L'indice del potenziale di liquefazione **IL**, è stato introdotto da *Iwasaki et al. [1982]* allo scopo di fornire una misura integrale degli effetti della liquefazione per una singola verticale (per i quali sono disponibili al variare della profondità  $z$  i valori del fattore di sicurezza **FL**). *Quando  $FL < 1$  lo strato di terreno è liquefacibile*, ma questa situazione non comporta necessariamente il collasso o una perdita di funzionalità delle strutture interagenti con il terreno, in quanto *le effettive conseguenze dell'insorgere del fenomeno della liquefazione dipendono dall'estensione del fenomeno stesso, dalla profondità a cui si verifica e dalle condizioni del piano di campagna (inclinazione, presenza di incisioni che comportino la presenza di sforzi di taglio statici, ecc.)* .

$a_{max}$	= accelerazione sismica massima;
$g$	= accelerazione di gravità = $980.7 \text{ cm/s}^2$ ;
$\sigma_{v0}$	= pressione verticale totale alla profondità $z$ dal p.c.;
$\sigma_{v0}'$	= pressione verticale efficace alla profondità $z$ dal p.c.;
$r_d$	= coefficiente funzione della profondità dal p.c.;
MSF	= coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma, ricavabile con la relazione $MSF = \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-3.3}$ se $M \leq 7.5$ o con la formula $MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$ se $M > 7.5$ .

La grandezza  $r_d$  può essere valutata attraverso alcune correlazioni empiriche note in letteratura.

1) *Seed (1971)*

$$rd = 1 - 0.01h_{media} \text{ per } h_{media} \text{ (profondità media dello strato)} < 10\text{m}$$

$$rd = 1.15 - 0.025h_{media} \text{ per } h_{media} \geq 10\text{m}$$

2) *Liao & Whitman (1986)*

$$rd = 1 - 0.00765h_{media} \text{ per } h_{media} \leq 9.15\text{m}$$

$$rd = 1.174 - 0.0267h_{media} \text{ per } 9.15 < h_{media} \leq 23\text{m}$$

$$rd = 0.774 - 0.008h_{media} \text{ per } 23 < h_{media} \leq 30\text{m}$$

$$rd = 0.5 \text{ per } h_{media} > 30\text{m}$$

3) *Blake (1996)*

$$rd = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\alpha = 1.0 - 0.4113\sqrt{h_{media}} + 0.04052h_{media} + 0.001753h_{media}^{1.5}$$

$$\beta = 1.0 - 0.4177\sqrt{h_{media}} + 0.05729h_{media} - 0.00620h_{media}^{1.5} + 0.001210h_{media}^2$$

4) *Boulanger & Idriss (2004)*

$$rd = \exp(\alpha + \beta)$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \operatorname{sen}\left(\frac{h_{media}}{11.73} + 5.133\right)$$

$a_{max}$	= accelerazione sismica massima;
$g$	= accelerazione di gravità = $980.7 \text{ cm/s}^2$ ;
$\sigma_{v0}$	= pressione verticale totale alla profondità $z$ dal p.c.;
$\sigma_{v0}'$	= pressione verticale efficace alla profondità $z$ dal p.c.;
$r_d$	= coefficiente funzione della profondità dal p.c.;
MSF	= coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma, ricavabile con la relazione $MSF = \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-3.3}$ se $M \leq 7.5$ o con la formula $MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$ se $M > 7.5$ .

La grandezza  $r_d$  può essere valutata attraverso alcune correlazioni empiriche note in letteratura.

1) Seed (1971)

$$rd = 1 - 0.01h_{media} \text{ per } h_{media} \text{ (profondità media dello strato)} < 10\text{m}$$

$$rd = 1.15 - 0.025h_{media} \text{ per } h_{media} \geq 10\text{m}$$

2) Liao & Whitman (1986)

$$rd = 1 - 0.00765h_{media} \text{ per } h_{media} \leq 9.15\text{m}$$

$$rd = 1.174 - 0.0267h_{media} \text{ per } 9.15 < h_{media} \leq 23\text{m}$$

$$rd = 0.774 - 0.008h_{media} \text{ per } 23 < h_{media} \leq 30\text{m}$$

$$rd = 0.5 \text{ per } h_{media} > 30\text{m}$$

3) Blake (1996)

$$rd = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\alpha = 1.0 - 0.4113\sqrt{h_{media}} + 0.04052h_{media} + 0.001753h_{media}^{1.5}$$

$$\beta = 1.0 - 0.4177\sqrt{h_{media}} + 0.05729h_{media} - 0.00620h_{media}^{1.5} + 0.001210h_{media}^2$$

4) Boulanger & Idriss (2004)

$$rd = \exp(\alpha + \beta)$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \operatorname{sen}\left(\frac{h_{media}}{11.73} + 5.133\right)$$

$0 < I_L \leq 2$  Potenziale basso  
 $2 < I_L \leq 5$  Potenziale moderato  
 $5 < I_L \leq 15$  Potenziale alto  
 $15 < I_L$  Potenziale molto alto

### **Risultati della verifica del rischio di liquefazione**

La presenza di terreni incoerenti in falda acquifera (libera, semilibera e prigioniera) porta ad una loro suscettibilità a fenomeni di liquefazione se risultano sottoposte a sollecitazioni di taglio ad andamento ciclico irregolare, ovvero in condizioni dinamiche. L'OPCM 3274/2003 indica che la verifica della suscettibilità alla liquefazione deve avvenire per una profondità di m. -15,00 dal p.c. mentre la Deliberazione dell'Assemblea Legislativa del 2 maggio 2007, n. 112, (Regione Emilia Romagna) individua tale profondità in m. -20,00 dal p. c.

Le verticali effettuate sul sito evidenziano la presenza di terreni granulari a partire da ca:

- m. -09,20 a ca. m. -14,20 in CPT1;
- m. -15,40 e fino alla profondità indagata di m. -20,80 in CPT1.
- m. -10,60 e fino alla profondità indagata di m. -11,80 in CPT2;

Da evidenziare che tali strati risulterebbero potenzialmente suscettibili a liquefazione in condizioni dinamiche.

Al termine delle prove è stato misurato un livello della falda freatica a ca. m. -2,93 in CPT1 e m. -2,89 in CPT2 dall'attuale p. cantiere. Comunque, il livello della falda superficiale risulta soggetto sia alle variazioni meteoriche e sia al locale litotipo riscontrato.

Nei diagrammi allegati risulta riportato l'analisi del rischio di liquefazione. Essa è stata determinata col metodo di *Boulanger & Idriss (2004)*, ed il sito è risultato con **Indice di Liquefazione pari a 1,4** (Indice potenziale di liquefazione basso). *Delib. Della Giunta Regionale 21 Dicembre 2015, n. 2193*, ma rapportata ad una **magnitudo di riferimento pari a 6,14**, magnitudo di riferimento come stabilito dalla ZS 912 (si veda tavole allegate) e falda superficiale posta a m. -1,00 dall'attuale p.c..

Per le elaborazioni originali si veda in allegato.

In base ai risultati ottenuti, si ritiene comunque utile valutare nel dettaglio, utilizzando il metodo ed il grafico di *Ishihara (1985)*, gli effetti della liquefazione dei terreni in relazione alle strutture interagenti con il sottosuolo.

### **Valutazione degli effetti della liquefazione**

Il verificarsi di fenomeni di liquefazione non necessariamente produce perdita di funzionalità o collasso delle strutture interagenti con il terreno. Quando il fenomeno è innescato, riduzioni significative di capacità portante e cedimenti rilevanti sono in funzione di diversi parametri tra cui lo spessore e l'estensione areale dello strato liquefatto, lo spessore di materiale non soggetto a liquefazione che ricopre lo strato liquefatto, la pendenza del terreno e l'eventuale prossimità di una superficie libera.

*La presenza di strati superficiali non liquefacibili (perché non suscettibili a liquefazione - coesivi - o perché fuori falda), se sufficientemente più spessi di quelli liquefacibili, possono prevenire la liquefazione di strati sottostanti, o per lo meno attenuarne gli effetti.*

Utilizzando il grafico di Ishihara (1985), di seguito riportato, è possibile mettere in relazione:

- lo spessore **H1** dello strato non liquefacibile sovrastante;
- lo spessore **H2** dello strato liquefacibile;
- l'accelerazione massima  $ag_{max}$  attesa al suolo per il sito d'indagine.

*Nel diagramma sono riportate delle curve limite, diverse in funzione della  $ag_{max}$  attesa, che separano la zona dei casi in cui la liquefazione può provocare danni sulle strutture esistenti da quella in cui i danni non si sono osservati.*

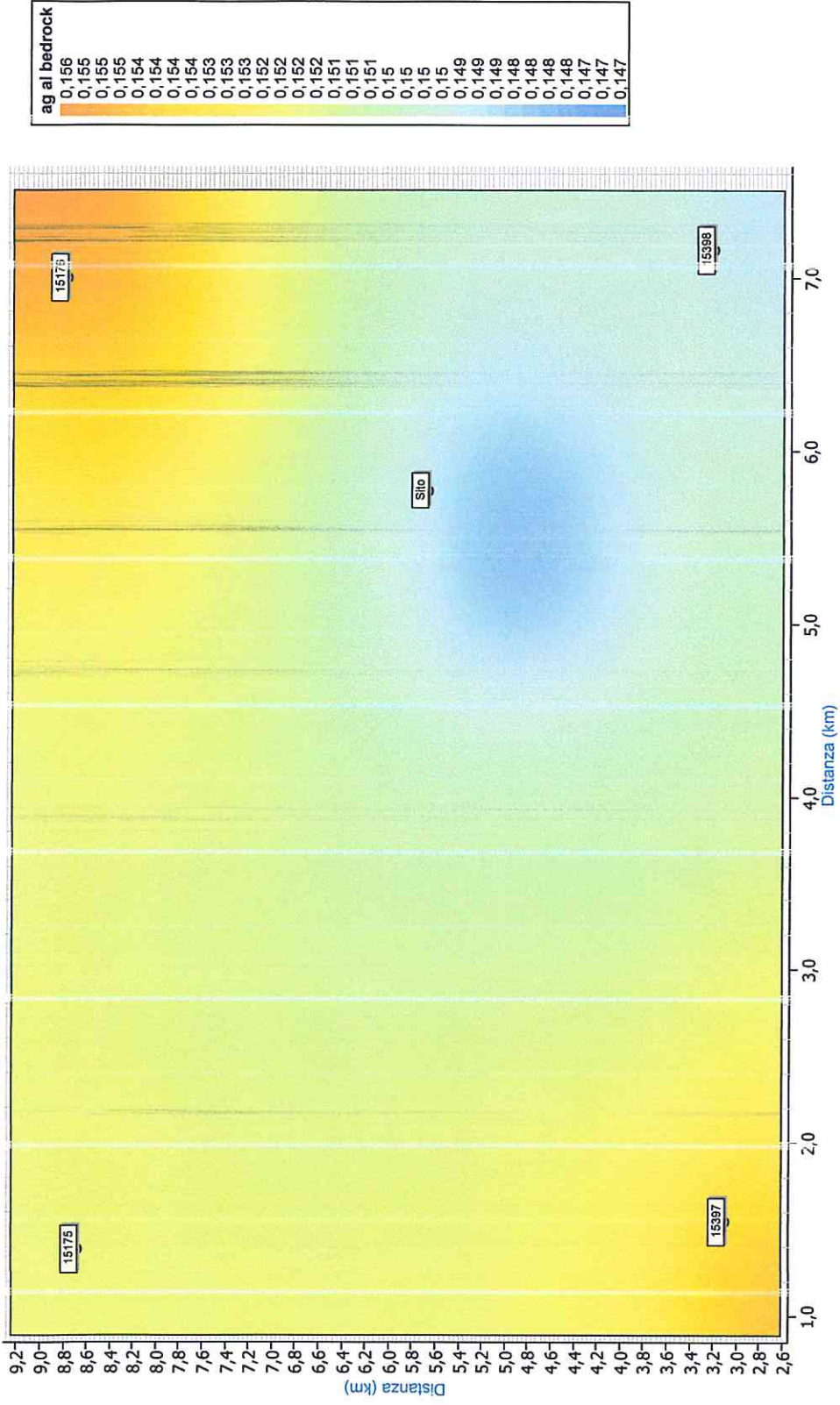
Nel nostro caso i dati rilevati per il sito sono:

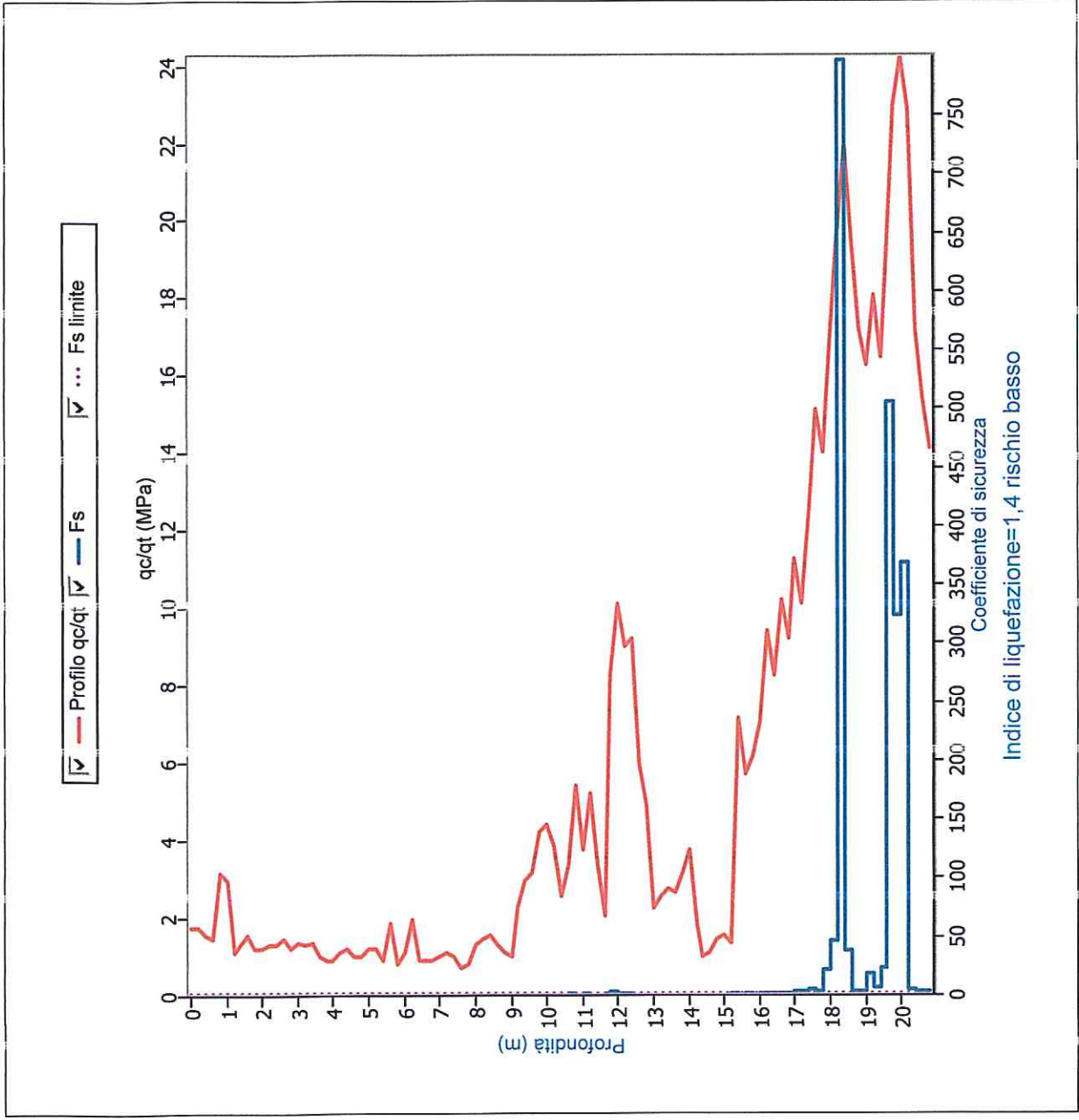
- spessore **H1** dello strato non liquefacibile sovrastante: 9.20 metri;
- spessore **H2** dello strato liquefacibile: 5.00 metri;
- l'accelerazione massima **agmax** attesa al suolo per il sito d'indagine: 0.2221 g.

Riportando i dati sul grafico si osserva che lo strato liquefacibile potrà estendersi in superficie, provocando ripercussioni alle strutture sovrastanti, in presenza di una accelerazione di  $ag_{max} > a$  circa 0.4 g ; tale dato non risulta atteso per il sito d'indagine. Si evidenzia che lo spessore di sabbia liquefacibile stimato è risultato pari a m. 5,00.

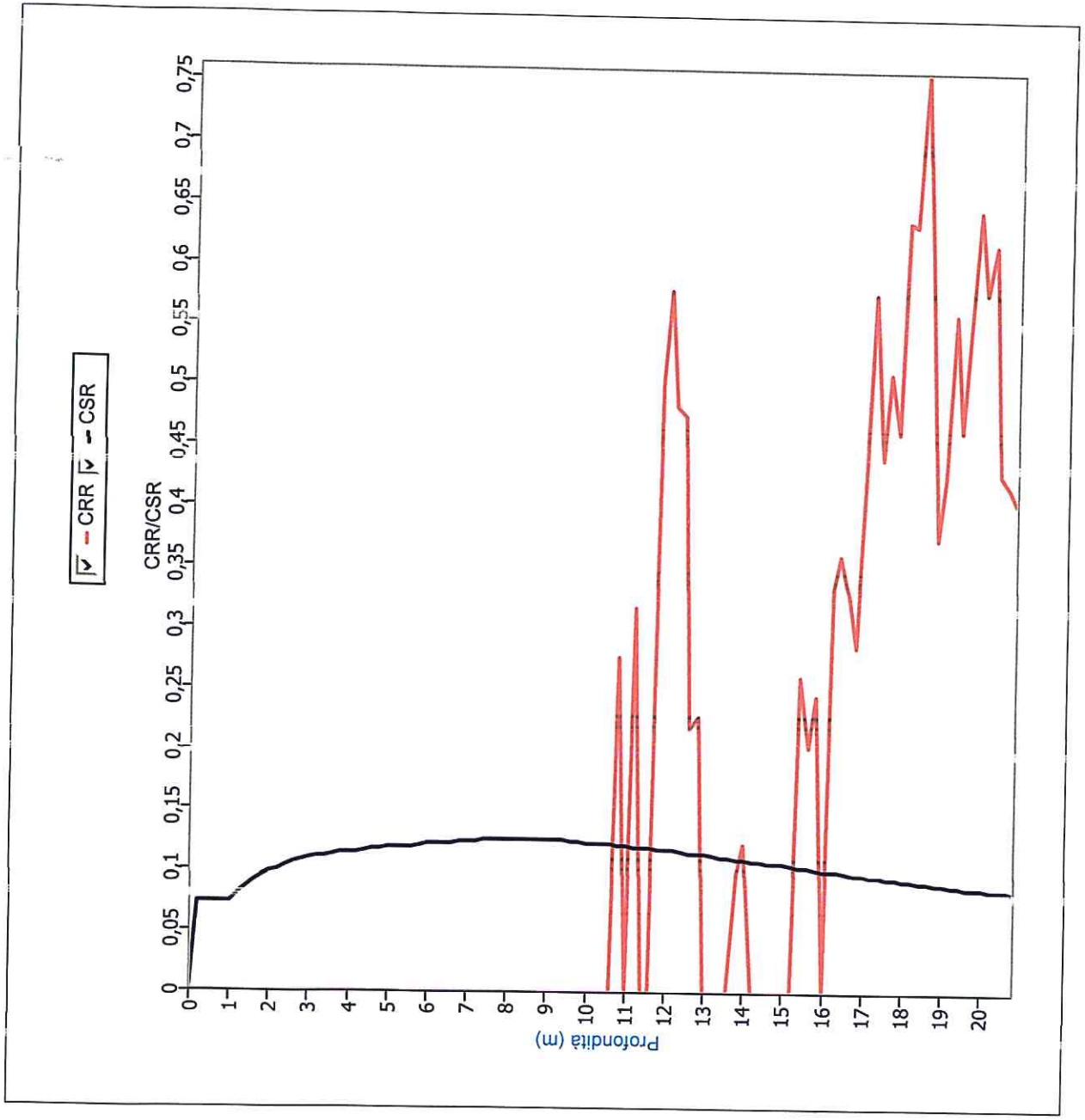
Nel grafico sottostante relazione fra lo spessore dello strato liquefacibile e lo spessore dello strato sovrapposto (Ishihara, 1985).

Ubicazione del sito rispetto ai nodi d'interpolazione della griglia INGV

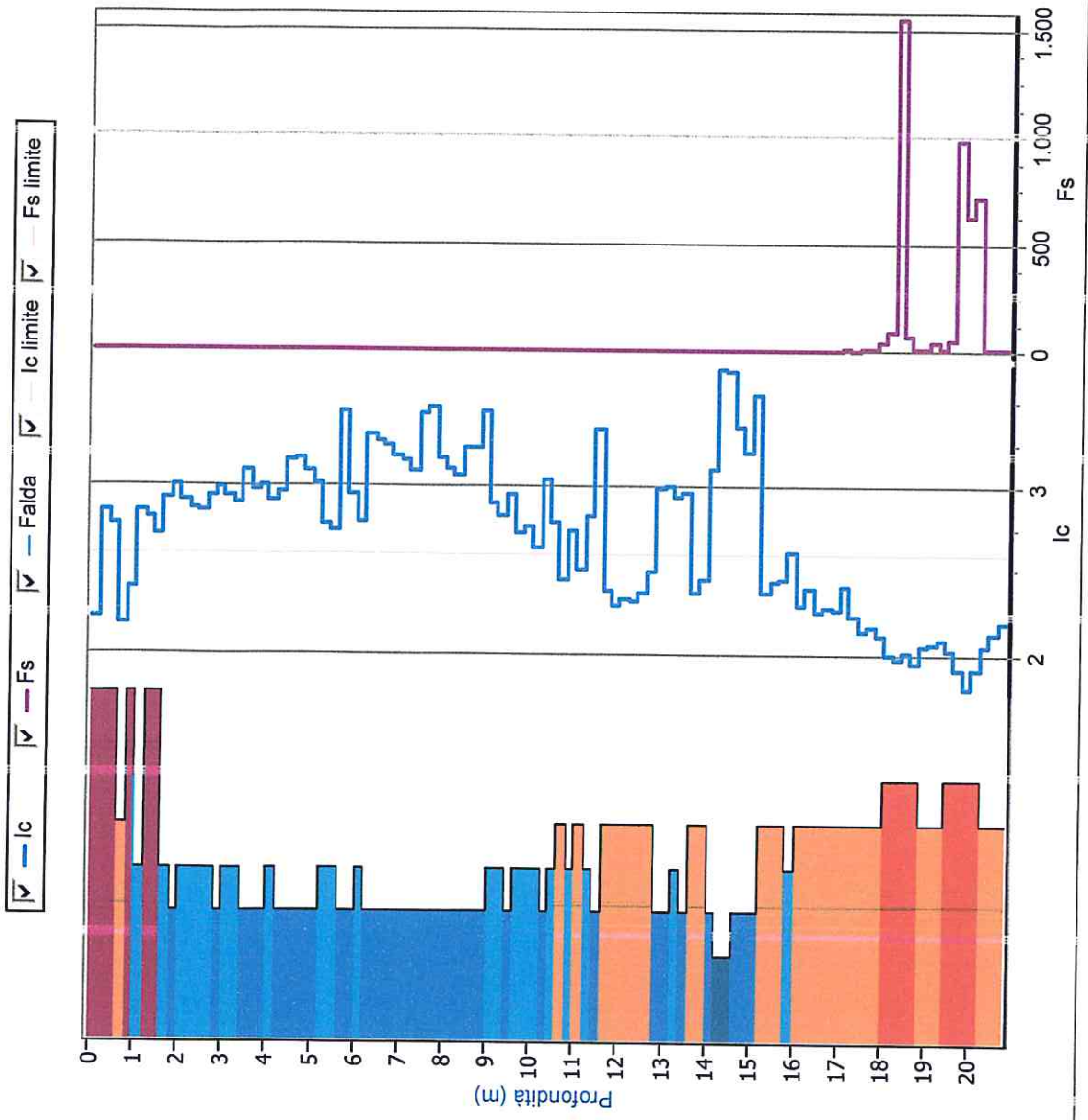




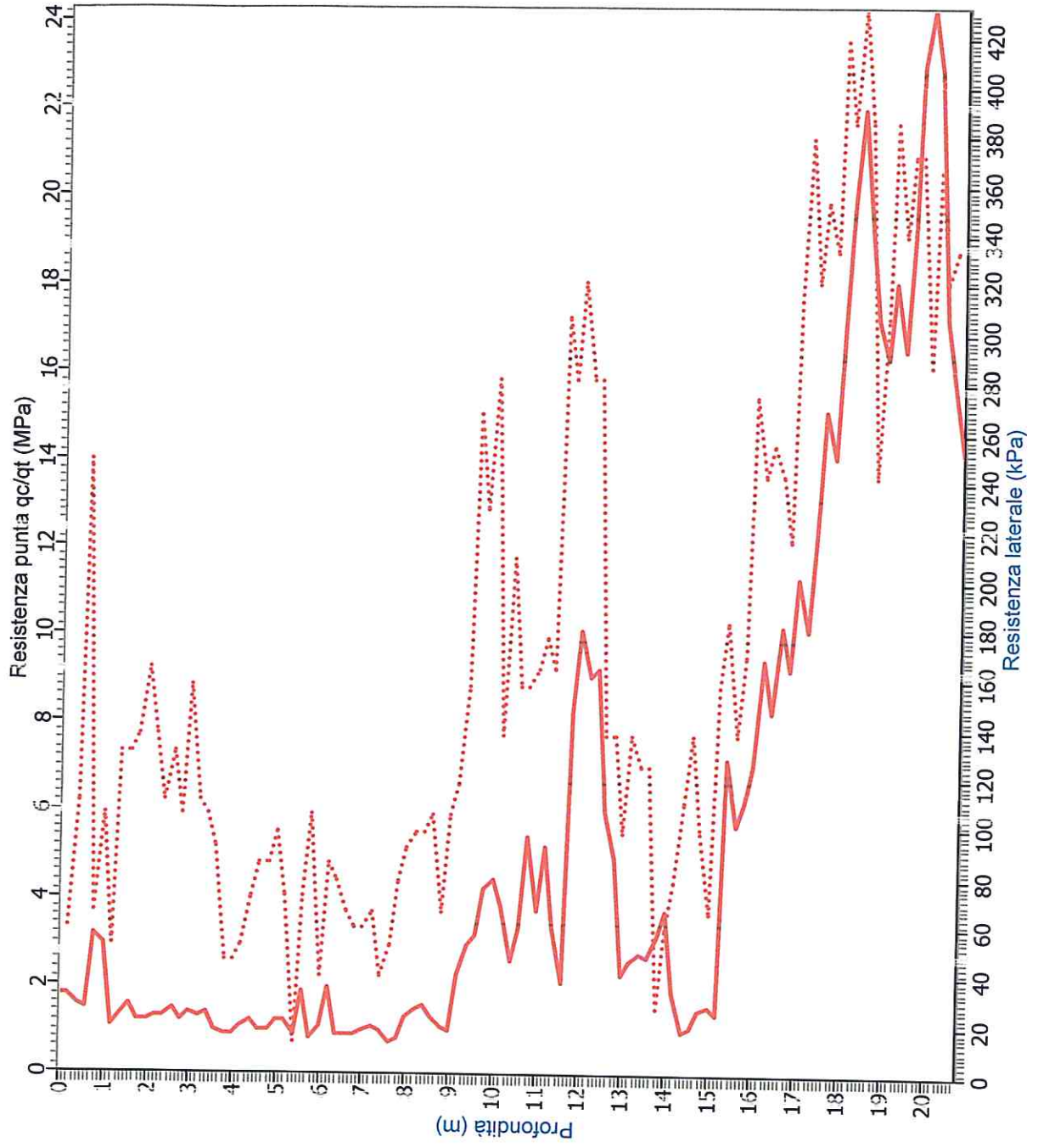




Andamento di Ic e Fs



— Profilo qc/qt (MPa) |····· Profilo fs (kPa)



### **Valutazione degli effetti della liquefazione**

Il verificarsi di fenomeni di liquefazione non necessariamente produce perdita di funzionalità o collasso delle strutture interagenti con il terreno. Quando il fenomeno è innescato, riduzioni significative di capacità portante e cedimenti rilevanti sono in funzione di diversi parametri tra cui lo spessore e l'estensione areale dello strato liquefatto, lo spessore di materiale non soggetto a liquefazione che ricopre lo strato liquefatto, la pendenza del terreno e l'eventuale prossimità di una superficie libera.

*La presenza di strati superficiali non liquefacibili (perché non suscettibili a liquefazione - coesivi - o perché fuori falda), se sufficientemente più spessi di quelli liquefacibili, possono prevenire la liquefazione di strati sottostanti, o per lo meno attenuarne gli effetti.*

Utilizzando il grafico di Ishihara (1985), di seguito riportato, è possibile mettere in relazione:

- lo spessore **H1** dello strato non liquefacibile sovrastante;
- lo spessore **H2** dello strato liquefacibile;
- l'accelerazione massima  $ag_{max}$  attesa al suolo per il sito d'indagine.

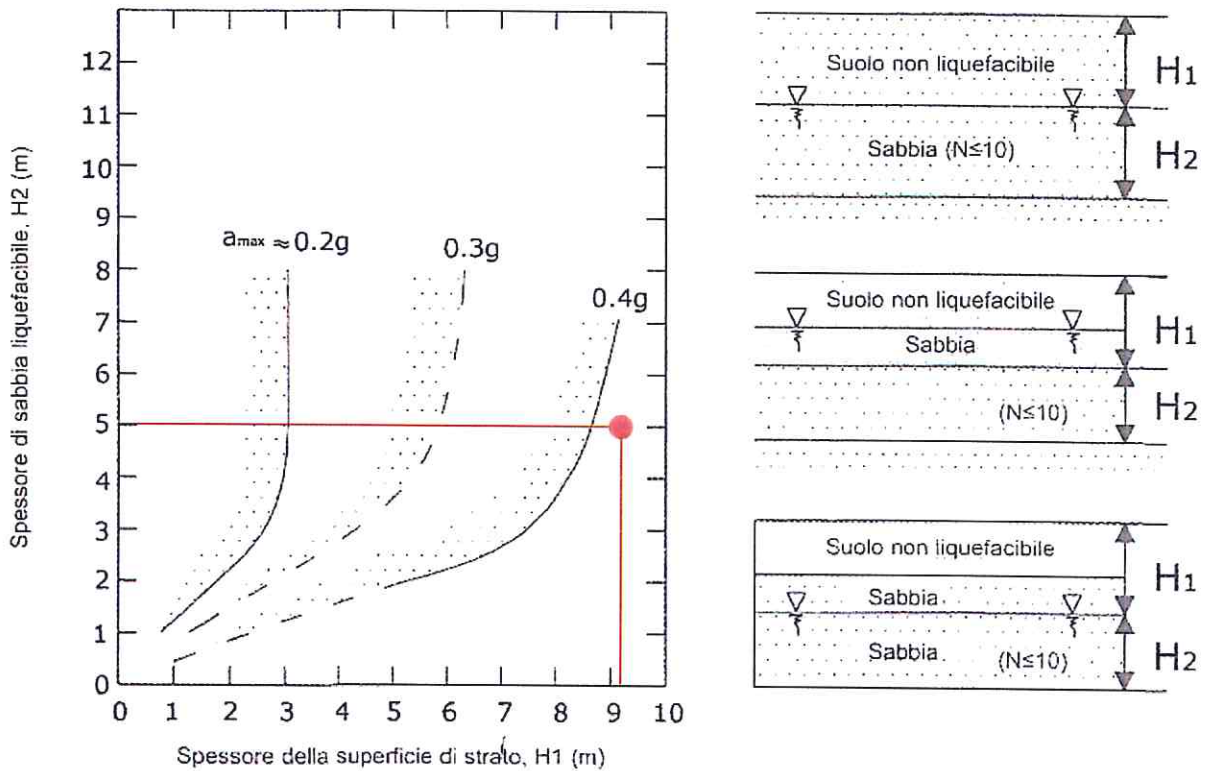
*Nel diagramma sono riportate delle curve limite, diverse in funzione della  $ag_{max}$  attesa, che separano la zona dei casi in cui la liquefazione può provocare danni sulle strutture esistenti da quella in cui i danni non si sono osservati.*

Nel nostro caso i dati rilevati per il sito sono:

- spessore **H1** dello strato non liquefacibile sovrastante: 9.20 metri;
- spessore **H2** dello strato liquefacibile: 5.00 metri;
- l'accelerazione massima  $ag_{max}$  attesa al suolo per il sito d'indagine: 0.2221 g.

Riportando i dati sul grafico si osserva che lo strato liquefacibile potrà estendersi in superficie, provocando ripercussioni alle strutture sovrastanti, in presenza di una accelerazione di  $ag_{max} > a$  circa 0.4 g ; tale dato non risulta atteso per il sito d'indagine. Si evidenzia che lo spessore di sabbia liquefacibile stimato è risultato pari a m. 5,00.

Nel grafico sottostante relazione fra lo spessore dello strato liquefacibile e lo spessore dello strato sovrapposto (Ishihara, 1985).



L'Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n. 70 del 13 novembre 2012 nella "MICROZONAZIONE SISMICA – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – scala 1: 10.000 – versione 2.1 del 02 marzo 2015 - Comune di Finale Emilia (MO) (2° di 2)" il sito in oggetto dello studio risulta compreso nelle aree verificate come "Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione." LQ2 – Substrato a profondità  $\geq 120$  m. Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m. dal piano campagna.

Nella carta tematica della "MICROZONAZIONE SISMICA – Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione – scala 1: 10.000 – versione 1.1 del 02 marzo 2015 - Comune di Finale Emilia (MO) (2° di 2)", il sito in oggetto dello studio risulta compreso nelle aree verificate come **Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione. LQ2.** FAPGA = 1.5; FH 0.1 – 0.5s = 1.8; FH 0.5 – 1.0s = 2.5 *Stima con abachi DAL 112/2007. Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna.*

In entrambe le cartografie di riferimento, per le aree comprese nelle zone suscettibili di amplificazione e liquefazione viene indicato che *Questa tipologia di indicazione, suggerisce che "Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.*



# Legenda

**A1**

Zona suscettibile di amplificazione.

FAPGA = 1.5

FH 0.1 - 0.5s = 1.8

FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abachi DAL 112/2007

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.

**LQ1**

FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abachi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

**LQ2**

FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abachi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).

stima IL 10 m		stima IL 15-20 m	
1.2	◇	Rischio di liquefazione basso ( $0.0 < IL < 2.0$ )	□ 1.5
2.8	◇	Rischio di liquefazione moderato ( $2.0 \leq IL < 5.0$ )	■ 3.3
5.4	◇	Rischio di liquefazione elevato ( $5.0 \leq IL < 15.0$ )	■ 6.4

Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL

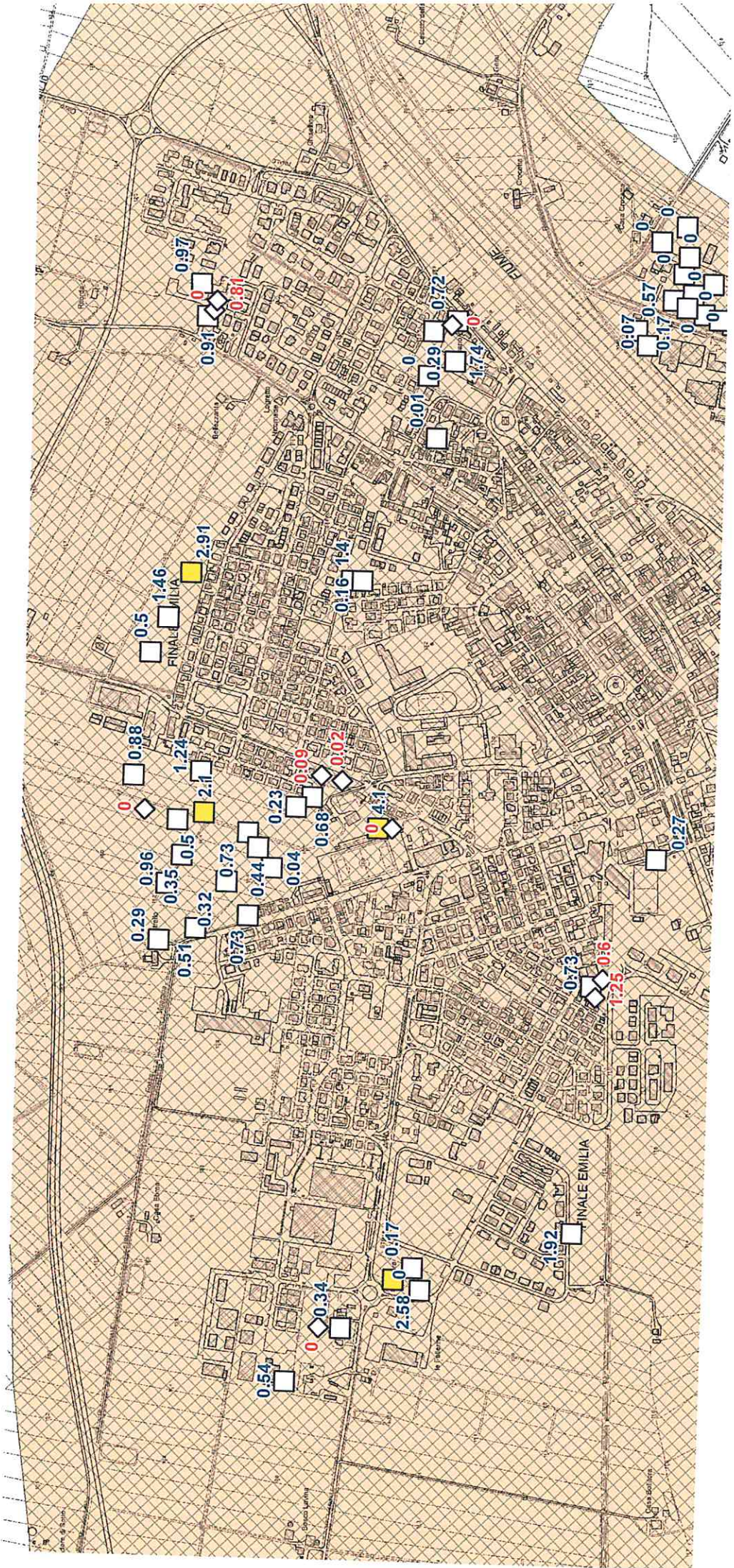
Fonte dei dati:

Ambiti di studio individuati sulla base degli Strumenti Urbanistici generali dei Comuni.

Base topografica: Carta Tecnica Regionale edizione 2011, dai contenuti del Database Topografico Regionale 2008

Aggiornamenti: 2010-2011 - Periodo di rilievo: 1976-2008.

Dati geognostici da banca dati della Regione Emilia-Romagna.





La stima con abachi (DAL 112/2007) riferita al sito in oggetto risulta "In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze da sabbie e peliti, con spessori anche deca metrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri) con substrato profondo ( $\geq 100$  m. da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle.

F.A. P.G.A.

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITÀ SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITÀ SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

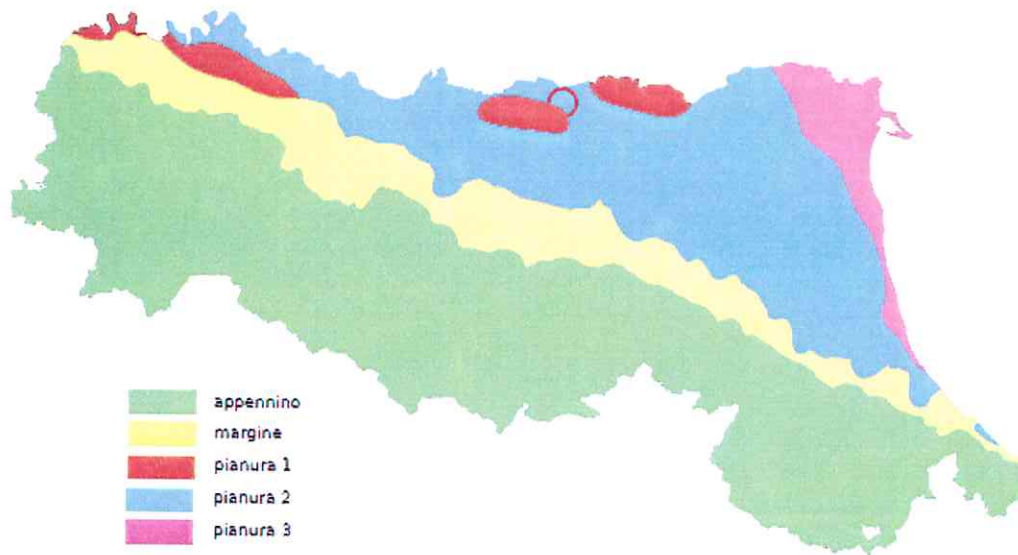
Quindi, per  $V_{S30}$  pari 203 m/s, e prendendo in esame la colonna  $V_{S30} = 200$ , ovvero quella col valore  $V_{S30}$  più prossimo, si hanno FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA, SI1, SI2 e SI3** relativa alla Pianura 2. (C.N.R. Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali - U.O.S. Milano. Settembre 2015 - Regione Emilia Romagna. D.G.R. 21 Dicembre 2015, n. 2193)

$V_{S30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Il sito indagato ha presentato  $V_{S30}$  pari 203 m/s, e prendendo in esame la colonna  $V_{S30} = 200$ , ovvero quella col valore più prossimo, si hanno FAPGA = 1.7; F.A. SI1 = 2.0; F.A. SI2 = 3.0; F.A. SI3 = 3.3.

*PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m. da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m. da p.c. (R.E.R. D.G.R. 21 Dicembre 2015, n. 2193 – all. A2 1.2)*



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia Romagna (C.N.R. - Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali – U.O.S. Milano. Settembre 2015)

○ Area oggetto del presente studio

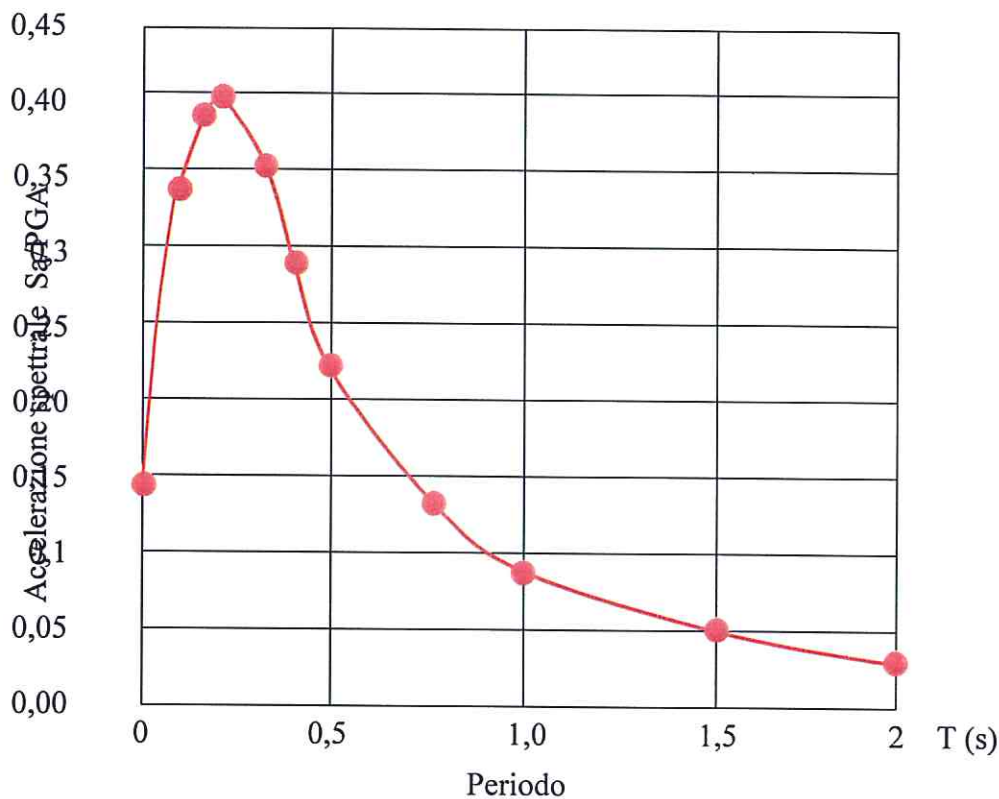
## **7) ANALISI TERZO LIVELLO (Delib. Ass. Leg. 2 maggio 2007, n. 112 all. 3)**

L'area oggetto di studio risulta costituita nel primo sottosuolo da terreni che potrebbero essere soggetti a potenziale liquefazione (se saturi) e a densificazione. Tale livello di analisi è quindi finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale.

La legislazione regionale indica una classificazione comunale definita ai sensi dell'Allegato 2 della Deliberazione di Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 02/05/2007, in cui sono riportati i valori di  $a_g$  (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) per ogni comune dell'Emilia Romagna. Per il comune di *Finale Emilia* il valore di accelerazione di picco al suolo ( $T = 0$ ), tempo di ritorno = 475 anni, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  è pari a 0.149  $g$ . Nella stessa norma in Allegato A4 è fornito lo spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari 5%) in Emilia-Romagna, il quale è stato rivisto in R.E.R. D.G.R. 21 Dicembre 2015, n. 2193 All. A4. Da tale spettro normalizzato è possibile ottenere lo spettro di risposta a probabilità uniforme del comune in oggetto, moltiplicando i valori di questo (All. A4 – Tab. 1) al valore  $a_{refg}$  che è pari a 0,149.

T (s)	Sa/PGA
0.00000	0.14900
0.10000	0.32929
0.15000	0.38859
0.20000	0.39577
0.30000	0.35809
0.40000	0.28897
0.50000	0.22424
0.75000	0.13666
1.00000	0.09475
1.50000	0.05376
2.00000	0.03668

*Tabella indicante i valori che definiscono lo spettro normalizzato previsto per il comune di Finale Emilia (derivato dallo spettro rappresentativo dell'Emilia Romagna)*



Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento 5%) per il comune di Finale Emilia

### 7.1) Stima dei cedimenti permanenti post-sismici

#### a) terreni coesivi

Per quanto riguarda i **depositi coesivi**, la stima dei cedimenti è stata eseguita come indicato D.A.L. 112/2007

L'equazione usata per il calcolo dei cedimenti post-sismici è la seguente:

$$\Delta H = H \frac{\alpha C_r}{1+e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

dove: H = spessore dello strato considerato;

$\alpha$  = costante sperimentale, assunta, in prima approssimazione, uguale a 1;

$e_0$  = indice dei vuoti iniziale (da prova edometrica eseguita su campione prelevato nelle vicinanze con valore pari a 0.665);

$C_r$  = indice di riconsolidazione postciclica:  $C_r = 0.225 C_c$ ;

$C_c$  = indice di compressione (da prova edometrica eseguita nelle vicinanze e con valore pari a 0.14);

$\Delta u/\sigma'_0$  = rapporto di pressione interstiziale ( $ru$ ), è stato valutato in funzione della deformazione massima  $T_{max}$  indotta dal terremoto, dove:

$$T_{\max} = 0.65 \frac{a_{\max} \sigma_{v0}}{g \sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF};$$

- con:  $a_{\max}$  = accelerazione sismica massima;  
 $g$  = accelerazione di gravità pari a 980,7 cm/sec<sup>2</sup>;  
 $\sigma_{v0}$  = pressione verticale totale alla profondità  $z$  dal p.c.;  
 $\sigma_{v0}'$  = pressione verticale efficace alla profondità  $z$  dal p.c.;  
 $r_d$  = coefficiente in funzione della profondità dal p.c., così identificato:  
 $r_d = 1 - 0,00765z$  per  $z \leq 9,15$  m  
 $r_d = 1,174 - 0,00267z$  per  $9,15 < z \leq 23$  m  
 $r_d = 0,774 - 0,008z$  per  $23 < z \leq 30$  m  
 $r_d = 0,15$   $z > 30$  m

MSF = coefficiente correttivo in funzione della magnitudo del sisma.

#### b) terreni granulari saturi non liquefacibili

In particolare, per quanto riguarda i **depositi granulari saturi**, la stima dei cedimenti è stata eseguita in accordo con quanto prescritto al **punto (B)** del citato Allegato A3, tenendo presente però che in questo specifico caso si tratta di **terreni non liquefacibili (FL > 1)**.

L'espressione utilizzata per il calcolo dei cedimenti post-sismici è dunque la seguente:

$$\Delta H = H \frac{\alpha Cr}{1+e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma_0'}} \right)$$

dove:  $H$  = spessore dello strato considerato;

$\alpha$  = costante sperimentale, assunta, in prima approssimazione, uguale a 1;

$e_0$  = indice dei vuoti iniziale (da prove edometriche eseguite su analoghi litotipi, prelevati nelle immediate vicinanze del lotto è stato ottenuto il valore di:  $e_0=0.888$ );

$Cr$  = indice di riconsolidazione postciclica:  $Cr = 0.225 Cc$ ;

$Cc$  = indice di compressione (da prove edometriche eseguite su analoghi litotipi, prelevati nelle immediate vicinanze del lotto è stato ottenuto il valore di:  $Cc = 0.16$ );

$u/\sigma_0'$  = rapporto di pressione interstiziale ( $ru$ ) che, per terreni non liquefacibili ( $FL > 1$ ) come in questo caso, può essere ricavato con la relazione:  
 $\Delta u/\sigma_0' = FL^{-7}$ ;

$FL$  = fattore di sicurezza alla liquefazione, ottenuto dalle "verifiche alla liquefazione"

L'espressione utilizzata per il calcolo dei cedimenti post-sismici dei terreni granulari non liquefacibili diviene dunque:

$$\Delta H = H \frac{0.036}{1.78} \log \left( \frac{1}{1 - F_L^{-7}} \right)$$

Per questa tipologia di calcolo si è considerata una profondità di posa delle fondazioni a m. -1,00 dall'attuale piano campagna e per una profondità massima di m. 10,00.

### Valutazione cedimenti in CPT1

STRATO CONSIDERATO COESIVO: da m. -1,00 a m. -9,20 (H tot. = 8,20 m)  
Terreni coesivi saturi  
 $T_{\max} \% = 0,188 \times 10^{-3}$ , di cui  $r_u = 0,4$   
 **$\Delta H = 5,022$  cm**

STRATO INCOERENTE SATURO con  $FL > 1$   
da m. -9,20 a m. - 10,00 (H tot = 0.80 m)

Per lo strato considerato si ottiene un valore di FL medio = 1,6475, da cui  $F_L^{-7} = 0,03$   
Ne consegue:  **$\Delta H = 0,026$  cm**

**Cedimento totale postsismico in CPT1**  
**(calcolato da -1,00 a -10,00 m da p.c.) pari a 5,048 cm.**

### Valutazione cedimenti in CPT2

STRATO CONSIDERATO COESIVO: da m. -1,00 a m. -10,00 (H tot. = 9,00 m)  
Terreni coesivi saturi  
 $T_{\max} \% = 0,188 \times 10^{-3}$ , di cui  $r_u = 0,4$   
 **$\Delta H = 5,512$  cm**

STRATO INCOERENTE SATURO con  $FL > 1$   
da m. -0,00 a m. - 00,00 (H tot = 0.00 m)

Per lo strato considerato si ottiene un valore di FL medio = 1,6475, da cui  $F_L^{-7} = 0,03$   
Ne consegue:  **$\Delta H = 0,000$  cm**

**Cedimento totale postsismico in CPT2**  
**(calcolato da -1,00 a -10,00 m da p.c.) pari a 5,512 cm.**

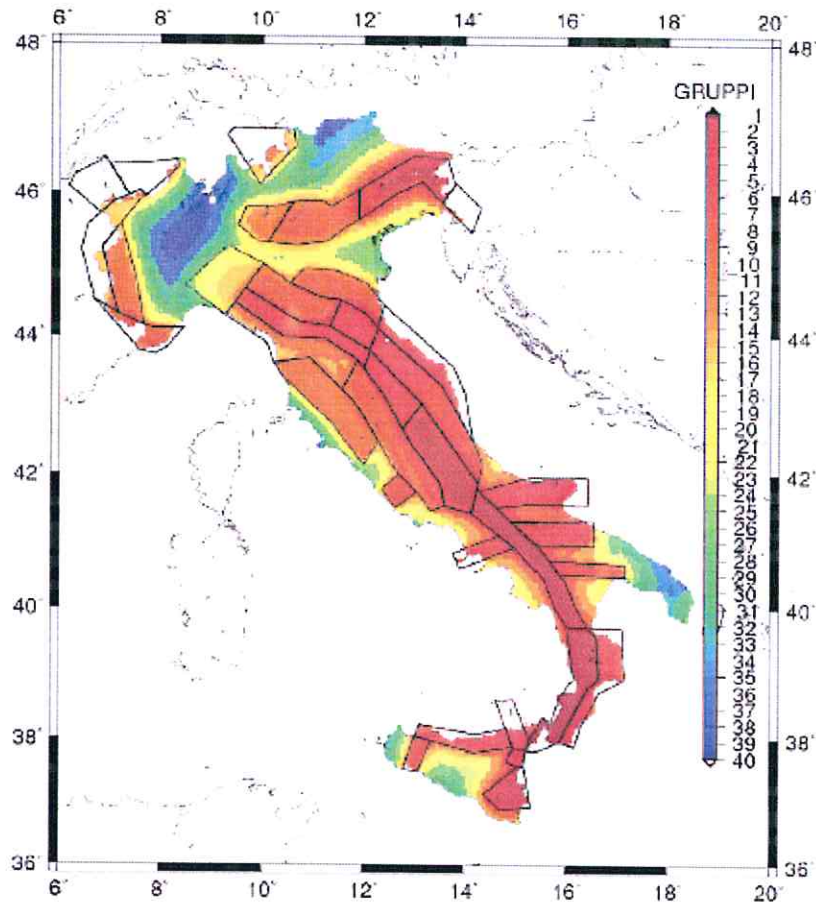
## **7.2) Analisi RSL**

Per quanto riguarda l'analisi RSL, questa è stata condotta tramite codice di calcolo *SEISM-HOME (SElection of Input Strong-Motion for HOMogeneous MEsozones)*. Tale metodologia è stata sviluppata grazie ad una collaborazione tra i settori Strutture in muratura e monumenti e Geotecnica e sismologia applicata di EUCENTRE.

SEISM-HOME consente di definire l'input sismico, da impiegare per analisi dinamiche di strutture o sistemi geotecnici, in un qualsiasi sito del territorio italiano, in termini di accelerogrammi reali spettro-compatibili rapportati agli spettri di risposta delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08, 2008). Secondo la normativa italiana e la letteratura tecnica internazionale più avanzata, gli accelerogrammi reali sono da preferire, per le analisi dinamiche non lineari, rispetto agli accelerogrammi artificiali, ibridi e sintetici.

L'input sismico in termini di registrazioni accelerometriche è stato definito a partire dai risultati dello studio di pericolosità sismica condotto sul territorio nazionale dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1.mi.ingv.it/>) e recepito dalle NTC 14/01/08.

Il lavoro è stato svolto per il periodo di ritorno di 475 anni. Data la notevole variabilità delle forme spettrali previste dalle NTC08, il territorio italiano è stato suddiviso in aree omogenee dal punto di vista delle forme degli spettri di risposta prescritti dalle NTC 2008 (mesozonazione). Queste aree sono state individuate sulla base di alcuni parametri, ovvero la deviazione spettrale media tra gli spettri del gruppo (definita come in Iervolino et al. 2008) e la variazione dei due parametri  $T^*c$  e  $F0$  contemplati dalle NTC 2008 per la definizione degli spettri. L'operazione di mesozonazione ha permesso di identificare 40 gruppi spettrali, riportati nella Figura alla pagina seguente con diversi colori.



*Distribuzione geografica dei gruppi di spettri (mesozonazione del territorio Italiano) definiti per un periodo di ritorno di 475 anni (la numerazione corrisponde all'ordine con cui sono stati identificati, a partire da quelli con ordinate spettrali massime). La mappa è sovrapposta alla zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004).*

La sovrapposizione di questi risultati con la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004) mostra buona corrispondenza in termini di dislocazione geografica. Per ogni gruppo è stato quindi definito uno spettro di risposta di riferimento, utilizzato per la selezione degli accelerogrammi reali mediante il codice di calcolo ASCONA (Corigliano et al., 2012).

La selezione delle registrazioni accelerometriche su ciascuno spettro di riferimento è stata condotta imponendo il soddisfacimento della spettro-compatibilità secondo le indicazioni delle NTC 2008 e limitando il valore dei fattori di scala. Gli accelerogrammi sono stati scalati linearmente alla componente orizzontale del picco di accelerazione  $a_g$  oppure, laddove questo non abbia portato a risultati soddisfacenti, le registrazioni sono state scalate rispetto all'ordinata spettrale corrispondente a  $T^*c$  (definito dalle NTC 2008) dello spettro di riferimento.



Gli accelerogrammi selezionati sugli spettri di riferimento di ciascun gruppo, opportunamente scalati, risultano spettro-compatibili con tutti gli spettri del gruppo. Per ottenere questo risultato, gli accelerogrammi sono scalati utilizzando due fattori di scala: il primo necessario per passare dallo spettro di riferimento ai singoli spettri (e quindi calcolato come rapporto tra le ordinate spettrali rispetto a cui gli accelerogrammi sono stati scalati per ottenere la spettrocompatibilità per lo spettro di riferimento), il secondo utilizzato per il raggiungimento della spettro-compatibilità (laddove non fosse verificata), imponendo cioè che il massimo scarto negativo sia pari al 10%, come prescritto dalle NTC 2008. Nonostante tali operazioni, i fattori di scala finali, ottenuti come prodotto del fattore di scala di ASCONA con i due di SEISM-HOME sono risultati contenuti tra 0.31 a 3.5. La bontà dell'adattamento degli spettri di risposta degli accelerogrammi selezionati rispetto allo spettro di riferimento è controllata dai valori di scarto massimo, scarto medio, deviazione spettrale media e massima e dal fattore di scala finale.

Quindi il codice di calcolo SEISM-HOME permette di ottenere, per il sito di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi reali (disponibili sul sito web <http://www.eucentre.it/seismhome.html>) che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC 2008 e dalla Circolare NTC (2009), per il periodo di ritorno di 475 anni e per suolo di categoria A con superficie topografica orizzontale. L'input sismico viene fornito in tempi molto rapidi e può essere utilizzato direttamente nelle analisi ingegneristiche.

*Dati riassuntivi con le caratteristiche principali delle accelerazioni spettro-compatibili allo spettro di risposta definitiva su suolo di categoria A per il Comune di Finale Emilia (Gruppo 8 ID NTC 15397 long.11.2360 lat.44.8140) con periodo di ritorno di 475 anni (azione sismica definita dal DM 14/01/2008).*

Magnitudo (Mw)	Epic. Distance (Km)	SF - ASCONA	SF1	SF2	SF - TOT	SOURCE FILE NAME
6.00	24.00	2.55	1.01	1.00	2.57%	ESD 000764xa.cor
6.87	11.00	0.64	1.01	1.00	0.64%	ESD 000182xa.cor
6.20	32.00	1.57	1.01	1.00	1.58%	ESD 000234ya.cor
6.19	38.63	2.69	1.01	1.00	2.71%	NGA 0455y.txt
6.69	61.26	2.14	1.01	1.00	2.16%	NGA 1033y.txt
6.60	36.18	1.54	1.01	1.00	1.55%	KNET1 SAG0010503201053.NS
6.30	101.74	0.37	1.01	1.00	0.37%	ITACA 20090406_ 013239ITDPC_ASS_NSC.DAT

## 8) CONCLUSIONI

Dall'esposizione dei paragrafi precedenti risulta che inizialmente si ha terreno vegetale misto a riporto, variamente addensato.

Successivamente la sequenza stratigrafica riscontrata, individua la presenza di argille limose localmente organiche plastiche e poco compatte dalle discrete caratteristiche geotecniche.

Proseguendo i terreni riscontrati risultano composti da sabbie medio fini, mediamente addensate e dalle buone caratteristiche geotecniche.

Avanzando le terebrazioni hanno evidenziato la presenza di limi argillosi plastici e poco compatti dalle sufficienti caratteristiche geotecniche.

Infine, la sequenza litologica riscontrata, individua la presenza di sabbie medio grosse ben addensate e compatte e dalle buone caratteristiche geotecniche.

Quindi, in base a queste considerazioni ed ai calcoli eseguiti, le portanze fondazione/terreno risultano così indicate per le due prove penetrometriche effettuate - CPT1 e CPT2 - :

Carico limite	= 2,30 Kg/cm <sup>2</sup>	= 23,0 ton/m <sup>2</sup>
Carico ammissibile	= 1,00 Kg/cm <sup>2</sup>	= 10,0 ton/m <sup>2</sup>
Carico S.L.U. – App.II	= 1,00 Kg/cm <sup>2</sup>	= 10,0 ton/m <sup>2</sup>
Carico S.L.U. - Sismica	= 1,00 Kg/cm <sup>2</sup>	= 10,0 ton/m <sup>2</sup>
Carico di esercizio S.L.E	= 1,00 Kg/cm <sup>2</sup>	= 10,0 ton/m <sup>2</sup>

La fondazione diretta superficiale (consigliata nastriforme) risulta individuata a ca. cm. -100 rispetto all'attuale piano cantiere, ovvero fino a riscontrare il terreno naturale sottostante il riporto.

I cedimenti calcolati sono risultati pari a cm. 2,507 in CPT1 e cm. 2,425 in CPT2

Cedimento verificato SLE secondo teoria della elasticità pari a cm. 2,73. ipotizzando una fondazione rigida.

Ced. Post sismici (D.A.L. 112/2007) pari a cm. 5,048 in CPT1 e cm. 5,512 in CPT2.

Al termine della prova è stato misurato un livello della falda freatica compreso tra m. -2,93 in CPT1 e m. -2,89 in CPT2 dall'attuale p. cantiere. Comunque il livello della falda superficiale risulta soggetto sia alle variazioni meteoriche e sia al locale litotipo riscontrato.

Il modulo di reazione di Winkler risulta pari a 1,49 Kg/cm<sup>3</sup>. (secondo il metodo di Bowles).

Per quanto riguarda  $a_g$ , secondo il D.M. 14 gennaio 2008, il sito risulta individuato nella Classe C e con accelerazione orizzontale di picco pari a **0,149 g**

**(D.A.L. 112/2007), 0,149 g (D.M. 14/01/2008) e 0,1517 g (D.M. 14/01/2008 con coordinate geografiche in CPT1); periodo di riferimento pari ad anni 50 di vita nominale e probabilità di superamento pari al 10%.**

Categoria topografica individuata: **T1**;

**SLV: g = 0,192 (tramite CPT1)                      g = 0,193 (tramite MASW)**

Accelerazione sismica **SLD** orizzontale:  
**g = 0,0519 (tramite CPT1)                      g = 0,052 (tramite MASW)**

**F.A. = 1,46 (D.A.L. 112/2007)                      F.A. = 1,46 (D.M. 14/01/2008)**

**F.A. = 1,46 (D.A.L. 112/2007 con coordinate geografiche di CPT1)**

**I.L. = 1,4 (Indice Potenziale liquefazione basso) con M = 6,14**

Il sito in esame non risulta compreso all'interno delle aree in cui sono stati osservati gravi effetti di liquefazione e perimetrato dalla Regione Emilia Romagna con Determinazione del Dirigente n. 12418 del 02 ottobre 2012.

Infine, nei par. di riferimento e tabelle allegate risulta meglio descritto quanto sopra riportato. Qualora i dati costruttivi ipotizzati dovessero variare significativamente i parametri esposti dovranno essere riverificati.

Sermide,        Gennaio    2016

dott. geol. Marco Mantovani



### CALCOLO CEDIMENTI – CPT1

Spess. cm.	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta Q$ Kg/cm <sup>2</sup>	MV 1/ $\alpha$ Rp	$\Delta H$ cm.
240	013	0,315	0,0154	1,164
440	010	0,138	0,0200	1,214
120	013	0,070	0,0154	0,129

CEDIMENTO TOTALE cm. 2,507

Penetrometer Test n. 01  
Qamm. = 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
D = -1.00 m. dall'attuale p. campagna  
fondazione nastriforme

### CALCOLO CEDIMENTI – CPT1

Spess. cm.	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta Q$ Kg/cm <sup>2</sup>	MV 1/ $\alpha$ Rp	$\Delta H$ cm.
260	012	0,306	0,0187	1,488
540	011	0,070	0,0248	0,937

CEDIMENTO TOTALE cm. 2,425

Penetrometer Test n. 02  
Qamm. = 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
D = -1.00 m. dall'attuale p. campagna  
fondazione nastriforme

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

VIALE DELLA RINASCITA, 12-46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: GENNAIO 2016

Riferimenti: AREA A PRATO

**Riassunto del calcolo dei cedimenti**Fondazione n. .... **Verifica allo Stato Limite d'Esercizio**

Larghezza della fondazione (m):	<input type="text" value="1"/>
Lunghezza della fondazione (m):	<input type="text" value="10"/>
Carico applicato sulla fondazione (kg/cmq):	<input type="text" value="1"/>

**Livelli incoerenti**

Metodo di calcolo dei cedimenti nei livelli incoerenti:	<input type="text" value="Teoria dell'elasticità"/>
Tempo di calcolo dei cedimenti secondari (anni):	<input type="text" value="30"/>
Carico statico o pulsante (Burland e Burbridge):	<input type="text" value="n.c."/>
Nspt crescente o decrescente (Burland e Burbridge):	<input type="text" value="n.c."/>

	Vertice sinistro	Punto centrale	Vertice destro
Cedimento immediato (mm):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Cedimento secondario (mm):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Somma ced. incoerenti (mm):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**Livelli coesivi**

Metodo di calcolo dei cedimenti nei livelli coesivi:	<input type="text" value="Teoria dell'elasticità"/>
Tempo di calcolo cedimenti di consolidazione(anni):	<input type="text" value="20"/>

	Vertice sinistro	Punto centrale	Vertice destro
Ced. di consolidazione (mm):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="27,3"/>	<input type="text" value="0"/>
Cedimento secondario (mm):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Somma ced. coesivi (mm):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="27,3"/>	<input type="text" value="0"/>

**Cedimenti complessivi (incoerenti+coesivi)**

	Vertice sinistro	Punto centrale	Vertice destro
Cedimento complessivo (mm):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="27,3"/>	<input type="text" value="0"/>
Max cedim. differenziale(mm):	<input type="text" value="0"/>		
Massima distorsione (%):	<input type="text" value="0"/>		

Fondazione rigida o flessibile: **Verifica allo Stato Limite di Danno**Cedimento indotto dal sisma (mm):



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Quota(m): p.c.

Sigla: FINE\CPT1

Note: AREA A PRATO

**Tabulato della prova**

Prof. (m)	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp+Rl (kg/cm <sup>2</sup> )	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	fs (kg/cm <sup>2</sup> )	u (kg/cm <sup>2</sup> )	fs/qc%
0,2	18	22	18	0,6		3,33
0,4	16	25	16	1,13		7,06
0,6	15	32	15	2,53		16,87
0,8	32	70	32	0,67		2,09
1	30	40	30	1,07		3,57
1,2	11	27	11	0,53		4,82
1,4	13	21	13	1,33		10,23
1,6	16	36	16	1,33		8,31
1,8	12	32	12	1,4		11,67
2	12	33	12	1,67		13,92
2,2	13	38	13	1,4		10,77
2,4	13	34	13	1,13		8,69
2,6	15	32	15	1,33		8,87
2,8	12	32	12	1,07		8,92
3	14	30	14	1,6		11,43
3,2	13	37	13	1,13		8,69
3,4	14	31	14	1,07		7,64
3,6	10	26	10	0,93		9,3
3,8	9	23	9	0,47		5,22
4	9	16	9	0,47		5,22
4,2	11	18	11	0,53		4,82
4,4	12	20	12	0,73		6,08
4,6	10	21	10	0,87		8,7
4,8	10	23	10	0,87		8,7
5	12	25	12	1		8,33
5,2	12	27	12	0,73		6,08
5,4	9	20	9	0,13		1,44
5,6	19	21	19	0,73		3,84
5,8	8	19	8	1,07		13,38
6	11	27	11	0,4		3,64
6,2	20	26	20	0,87		4,35
6,4	9	22	9	0,8		8,89
6,6	9	21	9	0,67		7,44
6,8	9	19	9	0,6		6,67
7	10	19	10	0,6		6
7,2	11	20	11	0,67		6,09
7,4	10	20	10	0,4		4
7,6	7	13	7	0,53		7,57
7,8	8	16	8	0,8		10
8	13	25	13	0,93		7,15
8,2	15	29	15	1		6,67
8,4	16	31	16	1		6,25
8,6	13	28	13	1,07		8,23
8,8	11	27	11	0,67		6,09
9	10	20	10	1,07		10,7
9,2	23	39	23	1,2		5,22

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

<i>Prof. (m)</i>	<i>Rp (kg/cmq)</i>	<i>Rp+Rl (kg/cmq)</i>	<i>qc (kg/cmq)</i>	<i>fs (kg/cmq)</i>	<i>u (kg/cmq)</i>	<i>fs/qc%</i>
9,4	30	48	30	1,6		5,33
9,6	32	56	32	2,73		8,53
9,8	43	84	43	2,33		5,42
10	45	80	45	2,87		6,38
10,2	39	82	39	1,4		3,59
10,4	26	47	26	2,13		8,19
10,6	34	66	34	1,6		4,71
10,8	55	79	55	1,6		2,91
11	38	62	38	1,67		4,39
11,2	53	78	53	1,8		3,4
11,4	34	61	34	1,67		4,91
11,6	21	46	21	3,13		14,9
11,8	84	131	84	2,87		3,42
12	103	146	103	3,27		3,17
12,2	92	141	92	2,87		3,12
12,4	94	137	94	2,87		3,05
12,6	61	104	61	1,4		2,3
12,8	50	71	50	1,4		2,8
13	23	44	23	1		4,35
13,2	26	41	26	1,4		5,38
13,4	28	49	28	1,27		4,54
13,6	27	46	27	1,27		4,7
13,8	32	51	32	0,27		0,84
14	38	42	38	0,6		1,58
14,2	19	28	19	0,8		4,21
14,4	10	22	10	1,13		11,3
14,6	11	28	11	1,4		12,73
14,8	15	36	15	1		6,67
15	16	31	16	0,67		4,19
15,2	14	24	14	1,6		11,43
15,4	73	97	73	1,87		2,56
15,6	58	86	58	1,4		2,41
15,8	63	84	63	1,73		2,75
16	72	98	72	2,8		3,89
16,2	96	138	96	2,47		2,57
16,4	84	121	84	2,6		3,1
16,6	104	143	104	2,47		2,38
16,8	94	131	94	2,2		2,34
17	115	148	115	3,2		2,78
17,2	103	151	103	3,87		3,76
17,4	126	184	126	3,27		2,6
17,6	154	203	154	3,6		2,34
17,8	143	197	143	3,4		2,38
18	174	225	174	4,27		2,45
18,2	201	265	201	3,93		1,96
18,4	224	283	224	4,4		1,96
18,6	198	264	198	3,93		1,98
18,8	175	234	175	2,47		1,41
19	166	203	166	3,13		1,89
19,2	184	231	184	3,93		2,14
19,4	168	227	168	3,47		2,07
19,6	194	246	194	3,8		1,96
19,8	234	291	234	3,8		1,62
20	247	304	247	2,93		1,19
20,2	233	277	233	3,73		1,6
20,4	175	231	175	3,27		1,87
20,6	157	206	157	3,4		2,17



DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

<i>Prof. (m)</i>	<i>Rp (kg/cmq)</i>	<i>Rp+Rl (kg/cmq)</i>	<i>qc (kg/cmq)</i>	<i>fs (kg/cmq)</i>	<i>u (kg/cmq)</i>	<i>fs/qc%</i>
20,8	144	195	144	3,4		2,36

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

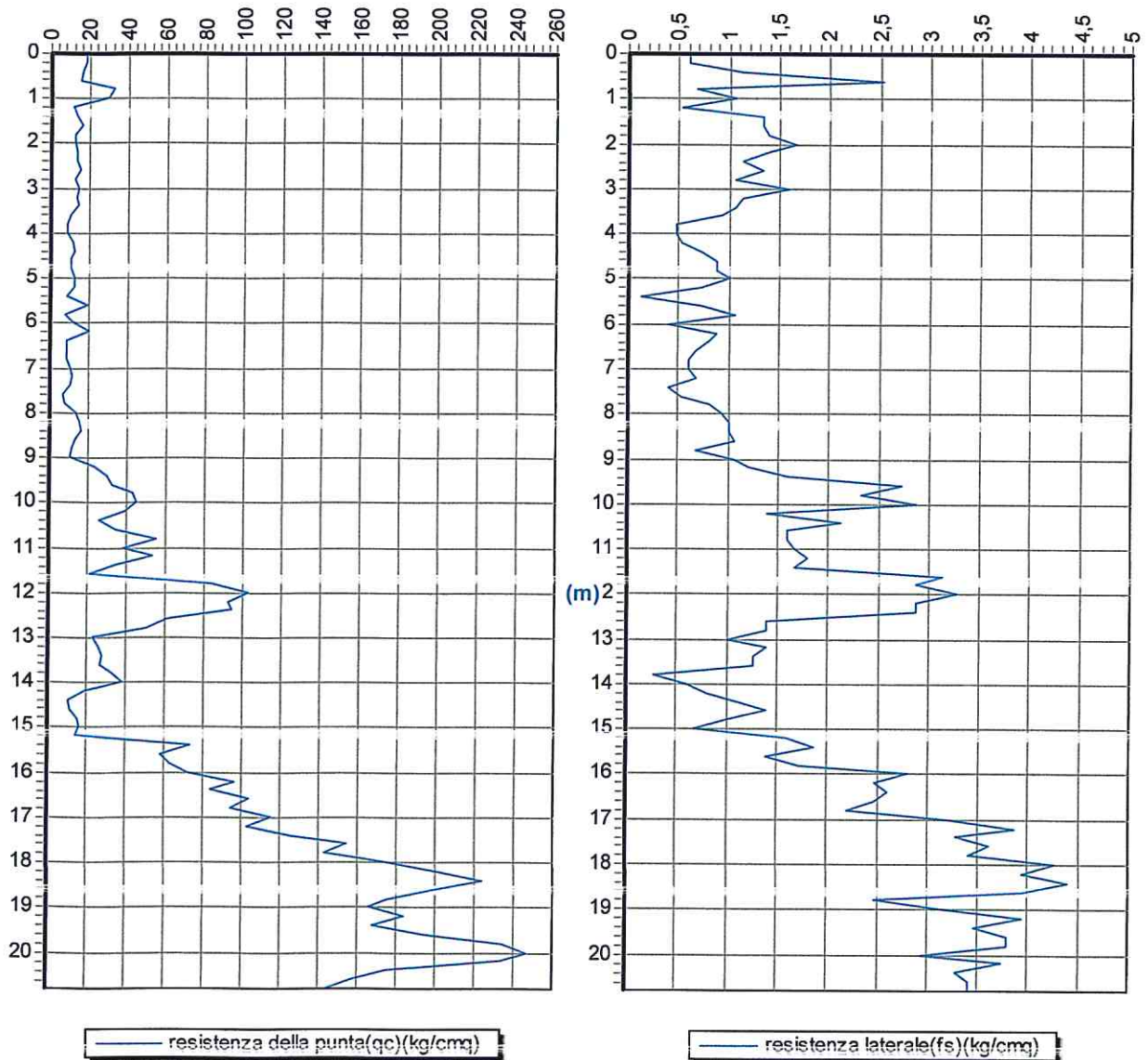
Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Note: AREA A PRATO

Quota(m):

Sigla: FINE\CPT1

## Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 2,93

DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI  
 VIALE DELLA RINASCITA, 12  
 46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Quota(m): p.c.

Sigla: FINE\CPT1

Note: AREA A PRATO

### Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)

*qc = resistenza alla punta fs = attrito laterale specifico*

Lunghezza della prova (m): 20,8

Profondità di partenza (m): 0,2

Profondità della falda (m): 2,93

Passo di lettura (cm): 20

Area della punta (cmq): 10

Area del manicotto (cmq): 150

Costante strumentale: 10

Tipo di penetrometro: a punta meccanica

Fattore a (piezocono): 0,5

Fattore b (piezocono): 0,00726

Prof. (m)      qc (kg/cmq)      fs (kg/cmq)

Descrizione litologica

Prof. (m)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Descrizione litologica
0,2	18	0,6	Argilla organica
0,4	16	1,13	Sabbia e limo
0,6	15	2,53	Argilla organica
0,8	32	0,67	Argilla organica
1	30	1,07	Argilla organica
1,2	11	0,53	Argilla inorganica consistente
1,4	13	1,33	Argilla organica
1,6	16	1,33	Argilla organica
1,8	12	1,4	Argilla organica
2	12	1,67	Argilla inorganica molto consistente
2,2	13	1,4	Argilla inorganica molto consistente
2,4	13	1,13	Argilla sabbiosa o limosa
2,6	15	1,33	Argilla sabbiosa o limosa
2,8	12	1,07	Sabbia e limo
3	14	1,6	Sabbia e limo
3,2	13	1,13	Sabbia e limo
3,4	14	1,07	Sabbia addensata
3,6	10	0,93	Sabbia addensata
3,8	9	0,47	Sabbia e limo
4	9	0,47	Sabbia addensata
4,2	11	0,53	Sabbia addensata
4,4	12	0,73	Sabbia e limo
4,6	10	0,87	Argilla organica
4,8	10	0,87	Argilla organica
5	12	1	Argilla organica

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

<i>Prof. (m)</i>	<i>qc (kg/cmq)</i>	<i>fs (kg/cmq)</i>	<i>Descrizione litologica</i>
5,2	12	0,73	Argilla inorganica consistente
5,4	9	0,13	Sabbia sciolta
5,6	19	0,73	Argilla sabbiosa o limosa
5,8	8	1,07	Argilla organica
6	11	0,4	Argilla sabbiosa o limosa
6,2	20	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
6,4	9	0,8	Argilla organica
6,6	9	0,67	Argilla organica
6,8	9	0,6	Argilla organica
7	10	0,6	Argilla organica
7,2	11	0,67	Argilla organica
7,4	10	0,4	Argilla inorganica med.consistente
7,6	7	0,53	Argilla organica
7,8	8	0,8	Argilla organica
8	13	0,93	Argilla organica
8,2	15	1	Argilla organica
8,4	16	1	Argilla inorganica molto consistente
8,6	13	1,07	Argilla organica
8,8	11	0,67	Argilla organica
9	10	1,07	Argilla organica
9,2	23	1,2	Argilla inorganica molto consistente
9,4	30	1,6	Argilla inorganica molto consistente
9,6	32	2,73	Argilla inorganica molto consistente
9,8	43	2,33	Argilla sabbiosa o limosa
10	45	2,87	Argilla inorganica molto consistente
10,2	39	1,4	Argilla sabbiosa o limosa
10,4	26	2,13	Argilla inorganica molto consistente
10,6	34	1,6	Argilla sabbiosa o limosa
10,8	55	1,6	Sabbia e limo
11	38	1,67	Argilla sabbiosa o limosa
11,2	53	1,8	Sabbia e limo
11,4	34	1,67	Argilla sabbiosa o limosa
11,6	21	3,13	Argilla inorganica molto consistente
11,8	84	2,87	Sabbia e limo
12	103	3,27	Sabbia e limo
12,2	92	2,87	Sabbia e limo
12,4	94	2,87	Sabbia e limo
12,6	61	1,4	Sabbia e limo
12,8	50	1,4	Sabbia e limo
13	23	1	Argilla sabbiosa o limosa
13,2	26	1,4	Argilla inorganica molto consistente
13,4	28	1,27	Argilla sabbiosa o limosa
13,6	27	1,27	Argilla sabbiosa o limosa
13,8	32	0,27	Sabbia mediamente addensata
14	38	0,6	Sabbia mediamente addensata
14,2	19	0,8	Argilla sabbiosa o limosa
14,4	10	1,13	Argilla organica
14,6	11	1,4	Argilla organica
14,8	15	1	Argilla organica
15	16	0,67	Argilla sabbiosa o limosa

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

<i>Prof. (m)</i>	<i>qc (kg/cmq)</i>	<i>fs (kg/cmq)</i>	<i>Descrizione litologica</i>
15,2	14	1,6	Argilla organica
15,4	73	1,87	Sabbia e limo
15,6	58	1,4	Sabbia e limo
15,8	63	1,73	Sabbia e limo
16	72	2,8	Argilla sabbiosa o limosa
16,2	96	2,47	Sabbia e limo
16,4	84	2,6	Sabbia e limo
16,6	104	2,47	Sabbia e limo
16,8	94	2,2	Sabbia e limo
17	115	3,2	Sabbia e limo
17,2	103	3,87	Sabbia e limo
17,4	126	3,27	Sabbia e limo
17,6	154	3,6	Sabbia e limo
17,8	143	3,4	Sabbia e limo
18	174	4,27	Sabbia e limo
18,2	201	3,93	Sabbia addensata
18,4	224	4,4	Sabbia addensata
18,6	198	3,93	Sabbia addensata
18,8	175	2,47	Sabbia addensata
19	166	3,13	Sabbia addensata
19,2	184	3,93	Sabbia e limo
19,4	168	3,47	Sabbia addensata
19,6	194	3,8	Sabbia addensata
19,8	234	3,8	Sabbia addensata
20	247	2,93	Sabbia addensata
20,2	233	3,73	Sabbia addensata
20,4	175	3,27	Sabbia addensata
20,6	157	3,4	Sabbia e limo
20,8	144	3,4	Sabbia e limo

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Sigla: FINE\CPT1

Note: AREA A PRATO

Quota(m):

**Parametri geotecnici**

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Ed co. (kg/cm <sup>2</sup> )	O. C. R.	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Ed in. (kg/cm <sup>2</sup> )	s' (kg/cm <sup>2</sup> )
0,2	3E-8	-0,02		1,98			0,908	63	10,67	164		0,02
0,4	1,3E-14	0,01		1,98			0,932	56	2,9	152		0,06
0,6	2,8E-35	0,02		1,97			0,872	53	1,46	146		0,1
0,8	3,5E-6		33	2,12	81	80				233	67	0,14
1	1,2E-8	0,03		2,09			1,506	51	1,46	224		0,18
1,2	1E-10	0,05		1,9			0,63	39	0,41	121		0,22
1,4	2,6E-20	0,05		1,93			0,745	46	0,44	134		0,26
1,6	7,3E-17	0,05		1,98			0,918	56	0,53	152		0,3
1,8	5,1E-23	0,06		1,91			0,682	42	0,34	128		0,34
2	1,3E-27	0,06		1,91			0,68	42	0,33	128		0,38
2,2	2,4E-21	0,06		1,93			0,736	46	0,35	134		0,41
2,4	1,8E-17	0,06		1,93			0,734	46	0,35	134		0,45
2,6	7,4E-18	0,06		1,96			0,849	53	0,43	146		0,49
2,8	7,6E-18	0,07		1,91			0,671	42	0,34	128		0,53
3	1E-22	0,07		1,95			0,785	49	0,44	140		0,57
3,2	1,8E-17	0,07		1,93			0,726	46	0,45	134		0,59

Profondità della falda (m):

2,93

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr-%	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
3,4	1,3E-15	0,07		1,95			0,783	49	0,58	140		0,61
3,6	1,8E-18	0,08		1,87			0,548	35	0,46	114		0,63
3,8	2,2E-11	0,08		1,84			0,488	32	0,52	107		0,65
4	2,2E-11	0,08		1,84			0,487	32	0,75	107		0,66
4,2	1E-10	0,08		1,89			0,603	39	0,52	121		0,68
4,4	7,2E-13	0,08		1,91			0,661	42	0,94	128		0,7
4,6	2,2E-17	0,08		1,86			0,543	35	1,69	114		0,72
4,8	2,2E-17	0,08		1,86			0,542	35	3,88	114		0,73
5	8,5E-17	0,08		1,91			0,658	42	4,8	128		0,75
5,2	7,2E-13	0,08		1,91			0,657	42	4,65	128		0,77
5,4	4,1E-5	0,08	27	1,94	15	23				107	21	0,79
5,6	4,2E-9	0,07		1,98			0,919	67	6,67	169		0,81
5,8	6,5E-26	0,09		1,81			0,42	28	2,44	100		0,82
6	9,6E-9	0,09		1,85			0,513	39	3,05	121		0,84
6,2	5,9E-10	0,07		1,99			0,967	34	6,56	175		0,86
6,4	1,1E-17	0,09		1,83			0,475	32	2,63	107		0,88
6,6	3,6E-15	0,09		1,83			0,474	32	2,56	107		0,89
6,8	7,8E-14	0,09		1,83			0,473	32	2,5	107		0,91
7	1E-12	0,09		1,86			0,53	35	2,81	114		0,93
7,2	7,1E-13	0,08		1,88			0,588	39	3,13	121		0,94
7,4	2,4E-9	0,09		1,86			0,528	35	2,67	114		0,96
7,6	2,4E-15	0,1		1,77			0,352	25	1,58	92		0,98
7,8	1,2E-19	0,09		1,8			0,41	28	1,87	100		0,99
8	9,8E-15	0,08		1,92			0,701	46	3,58	134		1,01

Profondità della falda (m):

2,93

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rappporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
8,2	6,6E-14	0,08		1,95			0,817	53	4,24	146		1,03
8,4	3,4E-13	0,08		1,97			0,874	56	4,5	152		1,05
8,6	1,2E-16	0,08		1,92			0,698	46	3,32	134		1,07
8,8	7,1E-13	0,09		1,88			0,58	39	2,58	121		1,09
9	5,1E-21	0,09		1,85			0,52	35	2,21	114		1,1
9,2	1,9E-11	0,07		2,06			1,279	39	6,66	190		1,12
9,4	1,1E-11	0,07		2,12			1,688	51	9,2	224		1,14
9,6	9,9E-18	0,06		2,13			1,803	54	9,75	233		1,17
9,8	6,4E-12	0,06		2,17			2,112	73	11,59	279		1,19
10	1E-13	0,06		2,21			2,561	77	14,39	287		1,21
10,2	1,1E-8	0,06		2,14			1,907	66	9,72	263		1,24
10,4	6,7E-17	0,07		2,08			1,447	44	6,73	205		1,26
10,6	1,3E-10	0,07		2,11			1,653	58	7,78	241		1,28
10,8	1,5E-7		35	2,06	45	138				324	53	1,3
11	4,4E-10	0,07		2,14			1,852	65	8,6	258		1,32
11,2	2,2E-8		35	2,05	43	133				317	52	1,35
11,4	5,7E-11	0,07		2,11			1,648	58	7,14	241		1,37
11,6	1,3E-31	0,08		2,03			1,147	36	4,45	180		1,39
11,8	1,8E-8		37	2,12	58	210				420	65	1,41
12	4,7E-8		38	2,15	64	258				475	71	1,43
12,2	5,9E-8		37	2,13	60	230				444	68	1,46
12,4	7,7E-8		37	2,13	60	235				450	68	1,48
12,6	1,6E-6		35	2,06	45	153				345	55	1,5
12,8	2,2E-7		35	2,03	38	125				306	50	1,52

Profondità della falda (m):

2,93

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.



# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
13	5,8E-10	0,08		2,02			1,084	39	3,64	190		1,54
13,2	9,2E-12	0,08		2,08			1,429	44	5,05	205		1,56
13,4	2,7E-10	0,08		2,06			1,334	48	4,56	214		1,59
13,6	1,4E-10	0,08		2,06			1,283	46	4,27	210		1,61
13,8	0,00041		33	1,96	21	80				233	37	1,63
14	2,5E-5		33	1,99	27	95				258	42	1,65
14,2	1E-9	0,09		1,97			0,875	67	2,53	169		1,67
14,4	3,8E-22	0,1		1,84			0,486	35	1,2	114		1,68
14,6	5,1E-25	0,1		1,86			0,544	39	1,36	121		1,7
14,8	6,6E-14	0,09		1,94			0,777	53	2,1	146		1,72
15	1,1E-9	0,09		1,93			0,72	56	1,88	152		1,74
15,2	1E-22	0,09		1,93			0,716	49	1,84	140		1,76
15,4	5,5E-7		36	2,07	47	183				385	61	1,78
15,6	9,9E-7		35	2,03	39	145				335	54	1,8
15,8	2,7E-7		36	2,05	42	158				352	57	1,82
16	2,8E-9	0,06		2,28			3,544	122	12,83	382		1,84
16,2	5,2E-7		37	2,11	56	240				455	70	1,86
16,4	6,6E-8		37	2,09	51	210				420	65	1,89
16,6	1,1E-6		38	2,12	58	260				478	72	1,91
16,8	1,3E-6		37	2,1	54	235				450	69	1,93
17	2,2E-7		38	2,14	61	288				508	75	1,95
17,2	4,3E-9		38	2,12	57	258				475	72	1,98
17,4	4,6E-7		39	2,15	63	315				538	78	2
17,6	1,2E-6		40	2,18	70	385				608	84	2,02

Profondità della falda (m):

2,93

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rappporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

# DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr-%	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
17,8	1,1E-6		39	2,17	67	358				581	82	2,05
18	7,7E-7		40	2,21	74	435				655	89	2,07
18,2	5,5E-6		41	2,23	78	503				715	93	2,09
18,4	5,3E-6		41	2,25	82	560				764	98	2,12
18,6	4,9E-6		41	2,22	77	495				709	93	2,14
18,8	4,6E-5		40	2,2	73	438				657	89	2,17
19	7,3E-6		40	2,19	71	415				636	88	2,19
19,2	2,7E-6		40	2,21	74	460				678	91	2,22
19,4	3,6E-6		40	2,18	70	420				641	88	2,24
19,6	5,4E-6		41	2,21	75	485				700	93	2,26
19,8	2E-5		41	2,25	81	585				785	99	2,29
20	0,00011		42	2,26	83	618				811	101	2,31
20,2	2,2E-5		41	2,25	81	583				783	100	2,34
20,4	7,8E-6		40	2,19	71	438				657	90	2,36
20,6	2,5E-6		40	2,17	67	393				615	86	2,39
20,8	1,1E-6		39	2,15	63	360				583	83	2,41

Profondità della falda (m):

2,93

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rappporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

VIALE DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Quota(m): p.c.

Sigla: FINEICPT2

Note: AREA A PRATO

**Tabulato della prova**

<i>Prof. (m)</i>	<i>Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Rp+Rl (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>qc (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>fs (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>u (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>fs/qc%</i>
0,2	24	32	24	1,4		5,83
0,4	21	42	21	2,67		12,71
0,6	70	110	70	2		2,86
0,8	60	90	60	1,73		2,88
1	20	46	20	0,67		3,35
1,2	9	19	9	0,4		4,44
1,4	10	16	10	0,6		6
1,6	12	21	12	1,13		9,42
1,8	15	32	15	0,93		6,2
2	12	26	12	0,87		7,25
2,2	13	26	13	0,8		6,15
2,4	12	24	12	0,73		6,08
2,6	15	26	15	0,6		4
2,8	14	23	14	0,93		6,64
3	12	26	12	1,13		9,42
3,2	13	30	13	0,87		6,69
3,4	12	25	12	1		8,33
3,6	13	28	13	0,73		5,62
3,8	10	21	10	0,87		8,7
4	8	21	8	0,6		7,5
4,2	11	20	11	0,87		7,91
4,4	11	24	11	0,87		7,91
4,6	13	26	13	0,73		5,62
4,8	11	22	11	0,73		6,64
5	12	23	12	0,6		5
5,2	14	23	14	0,87		6,21
5,4	13	26	13	0,73		5,62
5,6	10	21	10	0,53		5,3
5,8	10	18	10	0,67		6,7
6	11	21	11	0,73		6,64
6,2	13	24	13	0,73		5,62
6,4	15	26	15	0,93		6,2
6,6	14	28	14	0,8		5,71
6,8	13	25	13	0,73		5,62
7	11	22	11	0,87		7,91
7,2	12	25	12	0,6		5
7,4	10	19	10	0,73		7,3
7,6	9	20	9	0,8		8,89
7,8	10	22	10	0,53		5,3
8	9	17	9	0,6		6,67
8,2	8	17	8	0,73		9,13
8,4	10	21	10	0,87		8,7
8,6	12	25	12	1		8,33
8,8	11	26	11	0,8		7,27
9	12	24	12	0,6		5
9,2	11	20	11	0,8		7,27

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

<i>Prof. (m)</i>	<i>Rp (kg/cmq)</i>	<i>Rp+Rl (kg/cmq)</i>	<i>qc (kg/cmq)</i>	<i>fs (kg/cmq)</i>	<i>u (kg/cmq)</i>	<i>fs/qc%</i>
9,4	13	25	13	0,93		7,15
9,6	14	28	14	0,67		4,79
9,8	12	22	12	0,73		6,08
10	14	25	14	0,87		6,21
10,2	11	24	11	0,87		7,91
10,4	13	26	13	0,93		7,15
10,6	28	42	28	1,27		4,54
10,8	32	51	32	1,53		4,78
11	35	58	35	1,4		4
11,2	42	63	42	1,8		4,29
11,4	33	60	33	0,93		2,82
11,6	38	52	38	1,27		3,34
11,8	46	65	46	1,27		2,76

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

VIALE DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

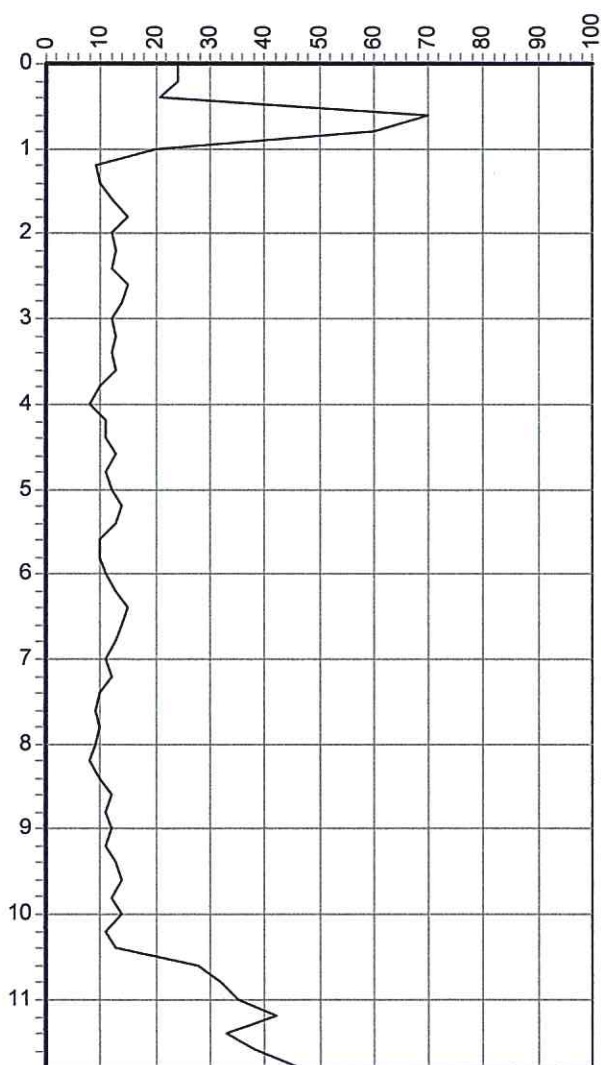
Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Note: AREA A PRATO

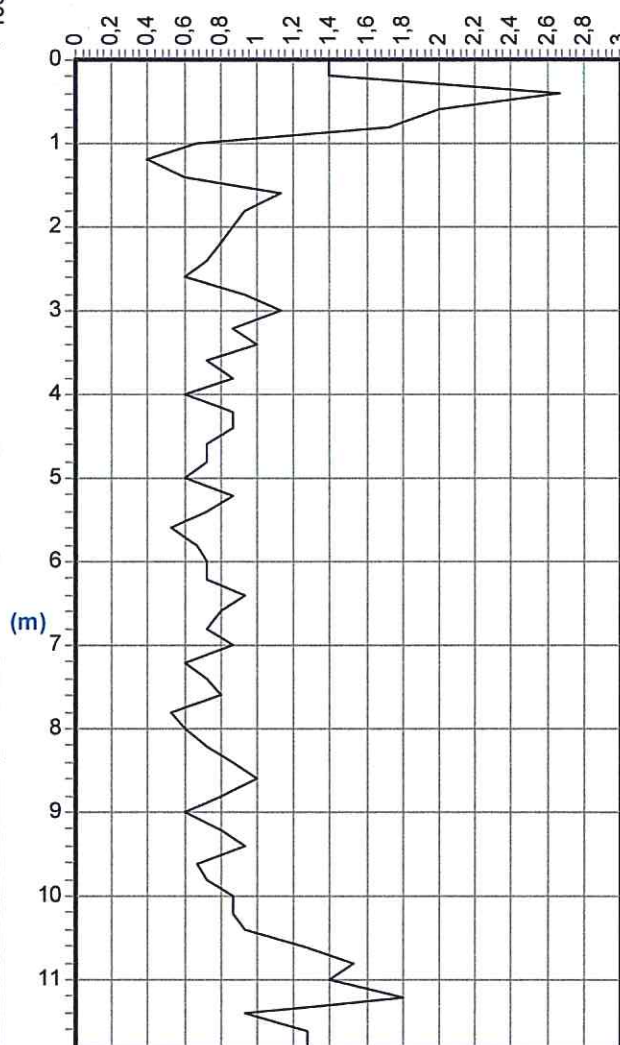
Quota(m): p.c.

Sigla: FINE\CPT2

### Grafico della prova



— resistenza della punta(qc)(kg/cmq)



— resistenza laterale(fs)(kg/cmq)

Profondità della falda dal p.c.(m): 2,89

DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

VIALE DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Quota(m): p.c.

Sigla: FINEICPT2

Note: AREA A PRATO

### Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)

*qc = resistenza alla punta fs = attrito laterale specifico*

Lunghezza della prova (m): 11,8

Profondità di partenza (m): 0,2

Profondità della falda (m): 2,89

Passo di lettura (cm): 20

Area della punta (cmq): 10

Area del manicotto (cmq): 150

Costante strumentale: 10

Tipo di penetrometro: a punta meccanica

Fattore a (piezocono): 0,5

Fattore b (piezocono): 0,00726

Prof. (m)

qc (kg/cmq)

fs (kg/cmq)

Descrizione litologica

Prof. (m)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Descrizione litologica
0,2	24	1,4	Argilla inorganica molto consistente
0,4	21	2,67	Argilla inorganica molto consistente
0,6	70	2	Sabbia e limo
0,8	60	1,73	Sabbia e limo
1	20	0,67	Argilla sabbiosa o limosa
1,2	9	0,4	Argilla inorganica med.consistente
1,4	10	0,6	Argilla organica
1,6	12	1,13	Argilla organica
1,8	15	0,93	Argilla inorganica consistente
2	12	0,87	Argilla organica
2,2	13	0,8	Argilla inorganica consistente
2,4	12	0,73	Argilla inorganica consistente
2,6	15	0,6	Argilla sabbiosa o limosa
2,8	14	0,93	Argilla organica
3	12	1,13	Argilla organica
3,2	13	0,87	Argilla organica
3,4	12	1	Argilla organica
3,6	13	0,73	Argilla inorganica consistente
3,8	10	0,87	Argilla organica
4	8	0,6	Argilla organica
4,2	11	0,87	Argilla organica
4,4	11	0,87	Argilla organica
4,6	13	0,73	Argilla inorganica consistente
4,8	11	0,73	Argilla organica
5	12	0,6	Argilla inorganica consistente

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale DELLA RINASCITA, 12

46028 SERMIDE (MN)- m.mantovani5@virgilio.it

<i>Prof. (m)</i>	<i>qc (kg/cmq)</i>	<i>fs (kg/cmq)</i>	<i>Descrizione litologica</i>
5,2	14	0,87	Argilla inorganica consistente
5,4	13	0,73	Argilla inorganica consistente
5,6	10	0,53	Argilla inorganica consistente
5,8	10	0,67	Argilla organica
6	11	0,73	Argilla organica
6,2	13	0,73	Argilla inorganica consistente
6,4	15	0,93	Argilla inorganica consistente
6,6	14	0,8	Argilla inorganica consistente
6,8	13	0,73	Argilla inorganica consistente
7	11	0,87	Argilla organica
7,2	12	0,6	Argilla inorganica consistente
7,4	10	0,73	Argilla organica
7,6	9	0,8	Argilla organica
7,8	10	0,53	Argilla inorganica consistente
8	9	0,6	Argilla organica
8,2	8	0,73	Argilla organica
8,4	10	0,87	Argilla organica
8,6	12	1	Argilla organica
8,8	11	0,8	Argilla organica
9	12	0,6	Argilla inorganica consistente
9,2	11	0,8	Argilla organica
9,4	13	0,93	Argilla organica
9,6	14	0,67	Argilla inorganica consistente
9,8	12	0,73	Argilla inorganica consistente
10	14	0,87	Argilla inorganica consistente
10,2	11	0,87	Argilla organica
10,4	13	0,93	Argilla organica
10,6	28	1,27	Argilla sabbiosa o limosa
10,8	32	1,53	Argilla sabbiosa o limosa
11	35	1,4	Argilla sabbiosa o limosa
11,2	42	1,8	Argilla sabbiosa o limosa
11,4	33	0,93	Sabbia e limo
11,6	38	1,27	Sabbia e limo
11,8	46	1,27	Sabbia e limo

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**  
 VIALE DELLA RINASCITA, 12  
 46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it

Committente: COMUNE DI FINALE EMILIA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO 20 TON

Località: VIA DI SOTTO - FINALE EMILIA

Data: FEBBRAIO 2016

Quota(m): p.c.

Sigla: FINE\CPT2

Note: AREA A PRATO

**Parametri geotecnici**

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
0,2	1,6E-12			2,08			1,4	41	17,27	195		0,02
0,4	3,6E-26			2,05			1,23	36	3,86	180		0,06
0,6	1,7E-7		36	2,16	85	175				375	71	0,1
0,8	1,6E-7		35	2,16	85	150				342	71	0,15
1	2,8E-8	0,04		2			1	34	0,84	175		0,19
1,2	4,4E-10	0,06		1,85			0,51	32	0,31	107		0,23
1,4	1E-12	0,06		1,87			0,57	35	0,31	114		0,26
1,6	9,3E-19	0,06		1,92			0,68	42	0,36	128		0,3
1,8	4,2E-13	0,05		1,97			0,86	53	0,45	146		0,34
2	6,9E-15	0,06		1,91			0,68	42	0,32	128		0,38
2,2	5,3E-13	0,06		1,93			0,74	46	0,35	134		0,42
2,4	7,2E-13	0,07		1,91			0,68	42	0,31	128		0,46
2,6	2,3E-9	0,06		1,93			0,73	53	0,36	146		0,5
2,8	7,4E-14	0,07		1,95			0,79	49	0,41	140		0,53
3	9,3E-19	0,07		1,91			0,67	42	0,35	128		0,57
3,2	6,3E-14	0,07		1,93			0,73	46	0,45	134		0,59

Profondità della falda (m):

2,89

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**  
**VIALE DELLA RINASCITA, 12**  
**46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it**

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
3,4	8,5E-17	0,07		1,91			0,67	42	0,48	128		0,61
3,6	4,4E-12	0,07		1,93			0,72	46	0,65	134		0,63
3,8	2,2E-17	0,08		1,87			0,55	35	0,6	114		0,65
4	3E-15	0,08		1,81			0,43	28	0,64	100		0,66
4,2	5,1E-16	0,08		1,89			0,6	39	0,52	121		0,68
4,4	5,1E-16	0,08		1,89			0,6	39	0,84	121		0,7
4,6	4,4E-12	0,07		1,93			0,72	46	2,41	134		0,71
4,8	8,3E-14	0,08		1,89			0,6	39	4,4	121		0,73
5	5E-11	0,08		1,91			0,66	42	4,79	128		0,75
5,2	4,1E-13	0,07		1,94			0,77	49	5,7	140		0,77
5,4	4,4E-12	0,08		1,92			0,71	46	5	134		0,79
5,6	1,6E-11	0,08		1,86			0,54	35	3,41	114		0,81
5,8	6,6E-14	0,08		1,86			0,54	35	3,32	114		0,82
6	8,3E-14	0,08		1,88			0,59	39	3,66	121		0,84
6,2	4,4E-12	0,08		1,92			0,71	46	4,46	134		0,86
6,4	4,2E-13	0,08		1,96			0,83	53	5,25	146		0,88
6,6	3E-12	0,08		1,94			0,77	49	4,65	140		0,9
6,8	4,4E-12	0,08		1,92			0,71	46	4,1	134		0,92
7	5,1E-16	0,08		1,88			0,59	39	3,18	121		0,93
7,2	5E-11	0,08		1,9			0,65	42	3,49	128		0,95
7,4	6,1E-15	0,09		1,86			0,53	35	2,65	114		0,97
7,6	1,1E-17	0,09		1,83			0,47	32	2,24	107		0,99
7,8	1,6E-11	0,09		1,86			0,53	35	2,53	114		1
8	7,8E-14	0,09		1,83			0,47	32	2,13	107		1,02

Profondità della falda (m):

2,89

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young;  
 OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

VIALE DELLA RINASCITA, 12  
46028 SERMIDE (MN)m.mantovani5@virgilio.it

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
8,2	4,5E-18	0,1		1,8			0,41	28	1,76	100		1,04
8,4	2,2E-17	0,09		1,86			0,52	35	2,36	114		1,05
8,6	8,5E-17	0,09		1,9			0,64	42	2,97	128		1,07
8,8	6,6E-15	0,09		1,88			0,58	39	2,58	121		1,09
9	5E-11	0,09		1,9			0,64	42	2,84	128		1,11
9,2	6,6E-15	0,09		1,88			0,58	39	2,47	121		1,12
9,4	9,8E-15	0,09		1,92			0,69	46	3,03	134		1,14
9,6	1,1E-10	0,08		1,94			0,75	49	3,29	140		1,16
9,8	7,2E-13	0,09		1,9			0,63	42	2,6	128		1,18
10	4,1E-13	0,08		1,94			0,75	49	3,15	140		1,2
10,2	5,1E-16	0,09		1,88			0,57	39	2,21	121		1,21
10,4	9,8E-15	0,09		1,92			0,69	46	2,73	134		1,23
10,6	2,7E-10	0,07		2,07			1,35	48	6,22	214		1,25
10,8	9,7E-11	0,07		2,1			1,55	54	7,24	233		1,27
11	2,1E-9	0,07		2,12			1,7	60	7,95	246		1,3
11,2	6,6E-10	0,06		2,16			2,06	71	9,84	275		1,32
11,4	2,1E-7		33	1,99	27	83				237	38	1,34
11,6	2,8E-8		33	2	31	95				258	42	1,36
11,8	2,6E-7		34	2,03	38	115				290	48	1,38

Profondità della falda (m):

2,89

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.