

# *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 e Felonica (MN)  
Tel. 0386/61891-62398 \*Fax 0386/61891  
E-mail m.mantovani5@virgilio.it*

**STUDIO GEOTECNICO SUI TERRENI DI FONDAZIONE DA  
DESTINARSI AL PIANO PARTICOLAREGGIATO RESIDENZIALE  
DI VIA CREMONA A PIEVE DI CENTO (BO) - FG. 15 MAPP. 46 -  
VARIANTE AL PRG VIGENTE N° 9/2007 –**

**COMMITTENTI: SIG.RI CAMPANINI MARIA GRAZIA, CAMPANINI  
FRANCA, CAMPANINI GIANFRANCO, CAMPANINI  
GIANNI, CAMPANINI GIUSEPPE e CAMPANINI LUIGI.  
VIA MELLONI**

**40066 PIEVE DI CENTO (BO)**

**SERMIDE, GIUGNO 2018**



## **INDICE**

1) PREMESSA	Pag.	3
2) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	Pag.	6
3) ANALISI DEI VINCOLI	Pag.	6
4) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	Pag.	8
5) SUBSIDENZA	Pag.	19
6) INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDROGEOLO- LOGICO E STRATIGRAFIA LOCALE - CENNI	Pag.	20
7) RISULTATI DELLE INDAGINI EFFETTUATE – ELABORAZIONE DATI PENETROMETRICI	Pag.	22
7.a) Calcolo cedimenti	Pag.	25
7.b) FONDAZIONI SUPERFICIALI	Pag.	26
8) CARATTERIZZAZIONE SIMICA DELL'AREA	Pag.	32
8.1) Rischio liquefazione	Pag.	47
9) SPETTRO DI RISPOSTA –CEDIMENTI POST SISMICI	Pag.	69
9.1) Stima dei cedimenti permanenti post-sismici	Pag.	70
10) CONCLUSIONI	Pag.	74
CALCOLO CEDIMENTI	Pag.	76

In allegato:

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

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

Nel mese di agosto 2007, lo scrivente venne incaricato dai *SIG.RI CAMPANINI MARIA GRAZIA, CAMPANINI FRANCA, CAMPANINI GIANFRANCO, CAMPANINI GIANNI, CAMPANINI GIUSEPPE e CAMPANINI LUIGI* - Via Melloni – Pieve di Cento (BO), di eseguire uno studio geotecnico sui terreni di fondazione da destinarsi al Piano Particolareggiato Residenziale di Via Cremona a Pieve di Cento (BO) – Fg. 15 mapp. 46 – Variante al PRG vigente n. 9/2007.

Con tale studio ci si propone di ricavare le caratteristiche geotecniche e la capacità portante dei terreni di fondazione in conformità:

### **Decreto Ministeriale 17.01.2018**

Testo Unitario – Aggiornamento delle “*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.

### **Unione Reno Galliera – Piano Strutturale Comunale (PSC) - Variante in materia di riduzione del rischio sismico – Co-pianificazione ai sensi dell’art. 21 della L.R.**

#### **20/2000 con variante al PTCP.**

Approvazione Accordo di Pianificazione: delibera Cons. Prov. n. 1 del 07/01/2013

Adozione: delibera Cons. Prov. n. 4 del 14/01/2013

Approvazione: delibera Cons. Prov. n. 57 del 28/10/2013

### **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

**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 Pieve di Cento 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 Sismica 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 venne articolata mediante n. 3 prove penetrometriche statiche di cui CPT1 fu spinta fino alla profondità di m. -31,00 dall'attuale piano cantiere, mentre CPT2 e CPT3 furono spinte fino alla profondità di m. -12,00 sempre dall'attuale p. cantiere. Tutte le prove eseguite 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 suddette verticali 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°, area di base 10 cm<sup>2</sup>; manicotto laterale di frizione tipo Begemann con diametro di 36 mm., lunghezza 13,3 mm. area laterale 150,42 cm<sup>2</sup>. 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 ( $R_p/R_f$ ).

## **2) INQUADRAMETO GEOGRAFICO**

L'area oggetto del presente lavoro risulta compresa nella Tavoletta. F° 75 II S.O. "CENTO" in scala 1: 25.000 dell'Istituto Geografico Militare e più precisamente nella Sezione N° 202080 "CENTO" C.T.R. Regione Emilia Romagna in Scala 1: 10.000.

Il futuro intervento risulterà realizzato presso il Comune Censuario di Pieve di Cento (BO) in località *Predio Casino* e precisamente al Fg. 15 part. 46.

L'individuazione più precisa dell'ubicazione dell'area in esame, risulta individuata partendo dal centro dell'abitato di Pieve di Cento e si procede verso Porta Ferrara. Si imbecca Via Melloni ed al rondò si prosegue per Via Cremona (S.P. 12), si supera l'incrocio con Via Ariosto e quello che immette nell'area sportiva e successivamente si imbecca il carraio sulla sx che conduce all'area oggetto del presente rapporto.

Il sito risulta compreso nella alta pianura ferrarese con una quota media di ca. m.s.m. +15.00/+16.70

Coordinate geografiche:

Latitudine:	44° 43' 11,87" N	→	44,71996389 N
Longitudine:	11° 18' 49,82" E	→	11,31383889 E

Coordinate Piane Gauss-Boaga Roma 40  
1683284.14 m. E - 4954464.904 m. N

Coordinate UTM ED50  
Fuso 32T 683337.14 m. E - 4954644.904 m. N

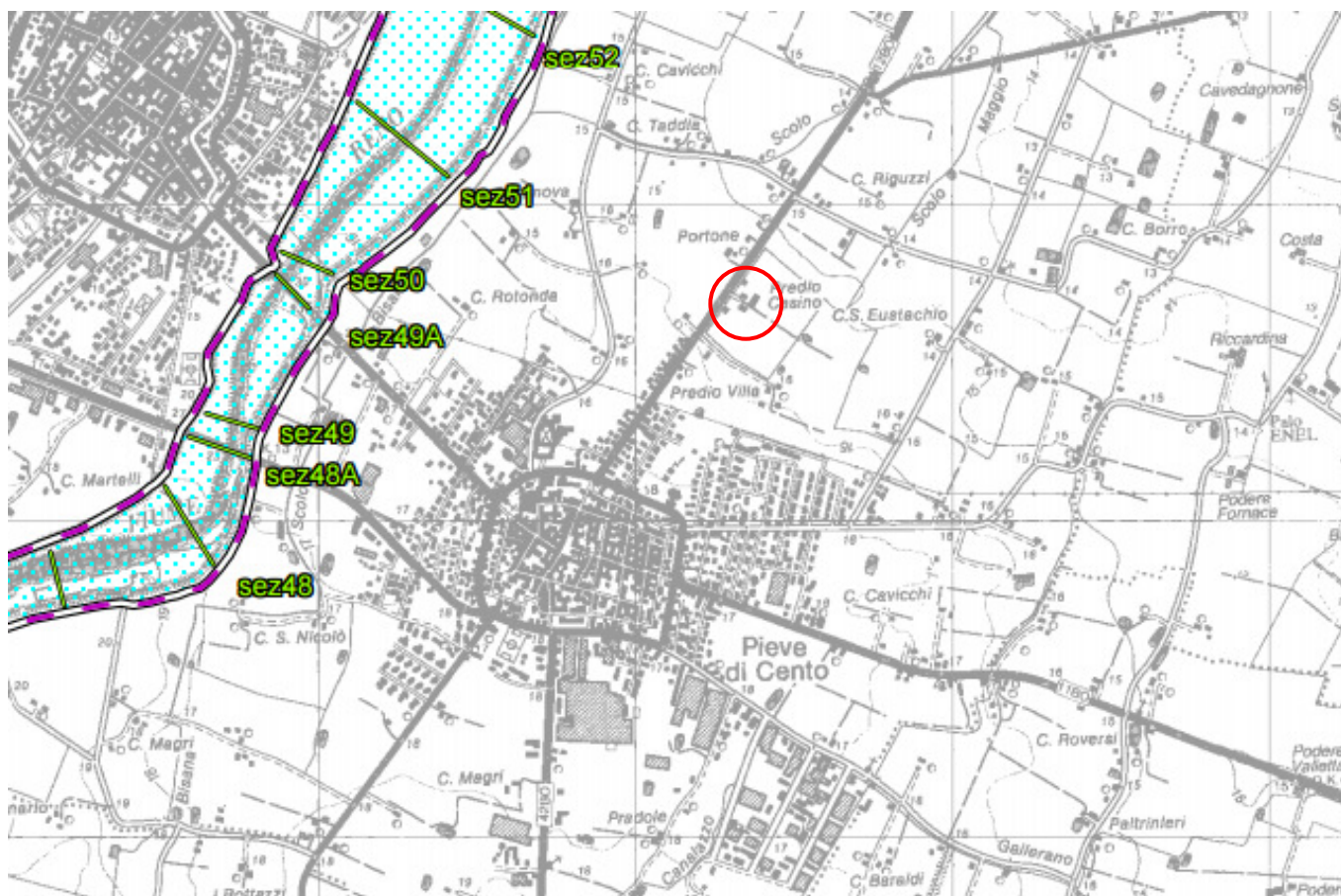
Coordinate WGS84 gps  
11°18.8303 Long. E - 44°43.1978 Latit. N

Classe d'uso:	II
Vita Nominale (V <sub>N</sub> ):	anni 50
Vita Riferimento Azione Sismica (V <sub>R</sub> ):	anni 50
Tempo ritorno:	anni 475
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

## **3) ANALISI DEI VINCOLI**

L'area in studio a riguardo del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico art.1 c.1 L.3.08.98 n.267 e s.m.i redatta dalla "AUTORITA' di BACINO del RENO" al titolo II - RISCHIO IDRAULICO E ASSETTO RETE

IDROGRAFICA - II.2 - BACINO DEL FIUME RENO - ALLEGATO: TAVOLA "B.3" *"Aree passibili di inondazione e sezioni trasversali di riferimento"* può essere interessata da eventuali inondazioni che possono verificarsi per sormonto arginale e con periodo di ritorno pari ad anni 100.



P.S.A.I. - STRALCIO TAVOLA "B.3" – scala 1: 25.000



Area oggetto dell'intervento



**Indicazione tratti passibili di sormonto arginale  
per piene con tempo di ritorno 100 anni**



### Sezioni trasversali utilizzate per lo studio idraulico



### Alveo attivo zonizzato

#### **4) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

Questa porzione di Pianura Padana ricade nell'ampio bacino subsidente padano-orientale, nel quale in tempi storici hanno divagato oltre al fiume Po, Panaro a Nord-Ovest 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 depositi 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 Pieve di Cento, San Pietro in Casale, San Giorgio di Piano e Baricella 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 “Dorsale Ferrarese”.

## **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"

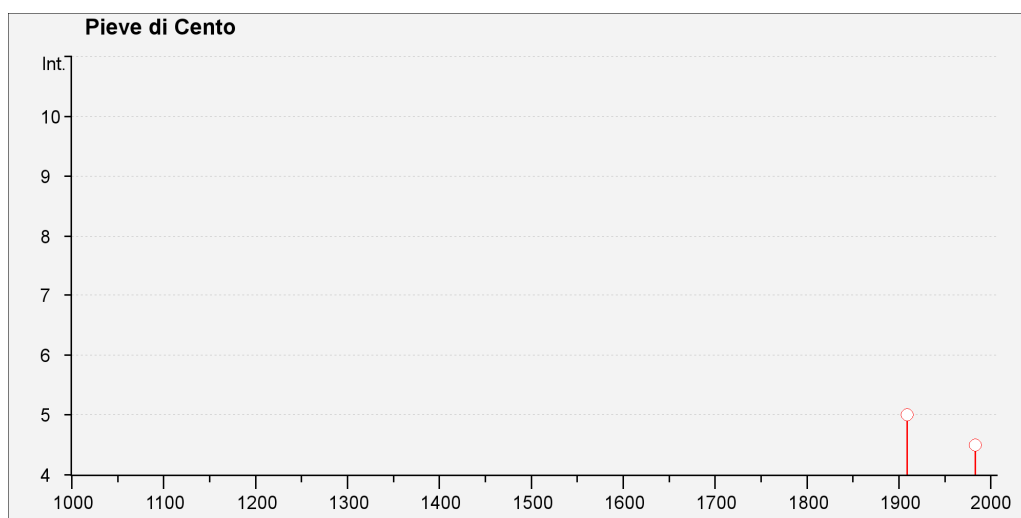
Milano, Bologna, dicembre 2011

### **Storia sismica di Pieve di Cento [44.713, 11.307]**

Numero di eventi: 5

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	<a href="#">1908 06 28 03:19</a>	Finale Emilia	15	5 4.27 ±0.53
5	<a href="#">1909 01 13 00:45</a>	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
4-5	<a href="#">1983 11 09 16:29</a>	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
NF	<a href="#">1992 04 17 11:59</a>	Montevoglio	56	4-5 4.32 ±0.18
3	<a href="#">2000 06 18 07:42</a>	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

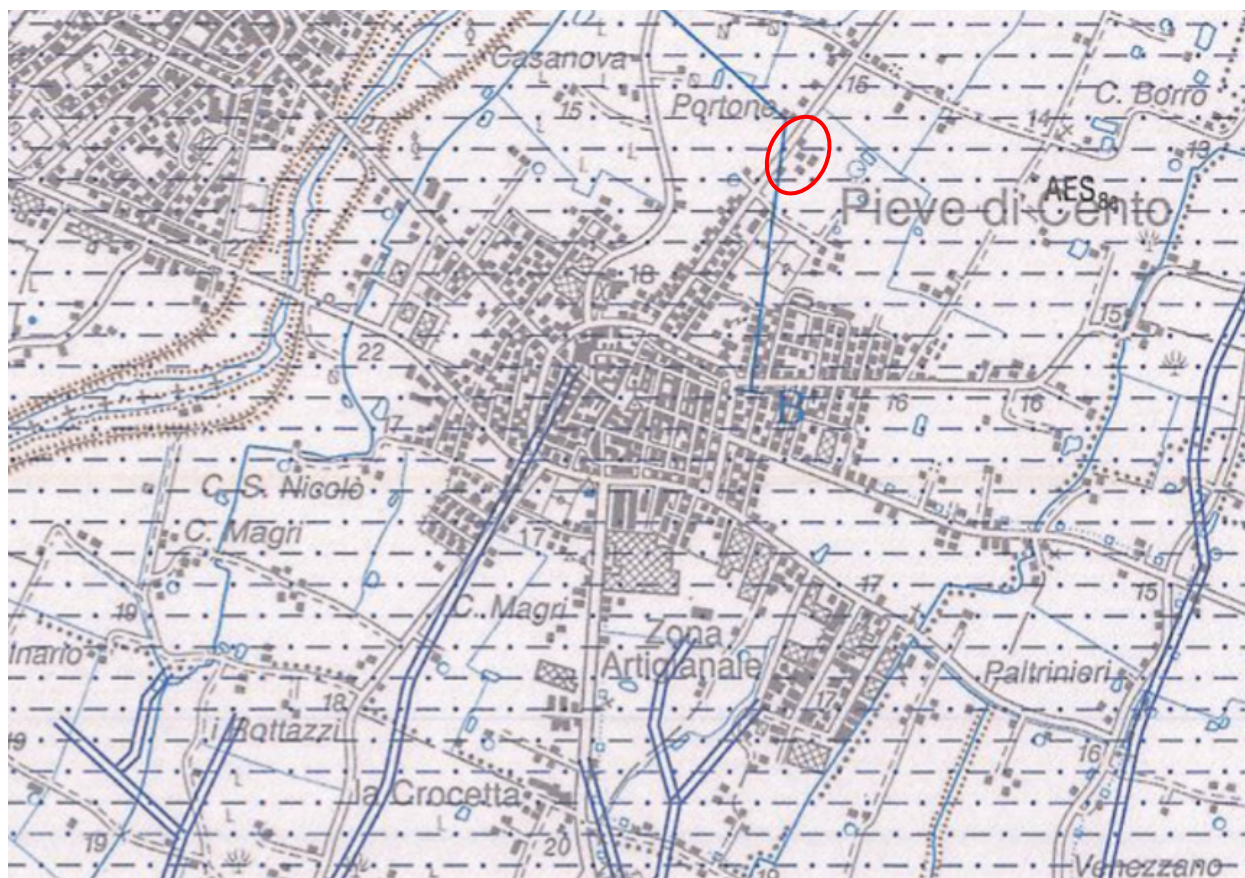
Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
<a href="#">Castello d'Argile</a>	IT	7	4km
<a href="#">Cento</a>	IT	46	2km
<a href="#">Galliera</a>	IT	4	8km
<a href="#">Renazzo</a>	IT	4	6km
<a href="#">San Giorgio di Piano</a>	IT	15	9km
<a href="#">San Pietro in Casale</a>	IT	5	8km



**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-CPTI1**





**ISPR - ESTRATTO DA "CARTA GEOLOGICA D'ITALIA" 1: 50.000**  
**FOGLIO 202 "SAN GIOVANNI IN PERSICETO"**



Area in oggetto

## UNITÀ QUATERNARIE CONTINENTALI

### SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Unità di estensione regionale comprendente i depositi alluvionali delle porzioni intravallive e i sedimenti prevalentemente alluvionali, subordinatamente deltizi, litorali e marini del sottosuolo della pianura padana. Limite inferiore inconforme, non affiorante, sulle Sabbie di Imola. Limite superiore coincidente con il piano topografico. Comprende due Sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, non affiorante, e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore). Spessore massimo di 500 m circa.

#### Unità di Modena

Ciclo di rango inferiore che costituisce la parte sommitale del Subsintema di Ravenna. E' costituita da depositi grossolani, ghiaiosi, presso le aste fluviali e da depositi fini nelle aree distali. Limite superiore sempre affiorante, coincidente con il piano topografico e definito sulla base della presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo potente meno di 100 cm, e orizzonti A/C subordinatamente A/Bw/C (colore grigio-giallastro). Si caratterizza per la buona preservazione delle forme deposizionali originarie. Ambiente alluvionale. Ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Include, concettualmente, i depositi fluviali in evoluzione  $b_1$  che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente.

Spessore di alcuni metri (<10 m).

POST-IV sec. d.C.-Attuale



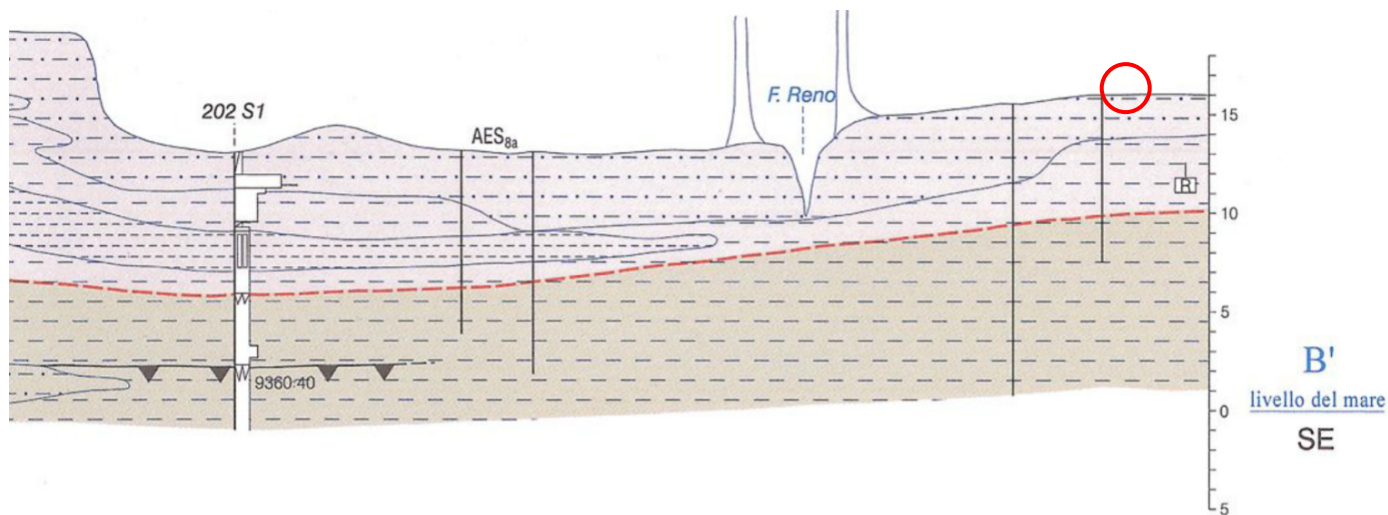
AES<sub>8a</sub>



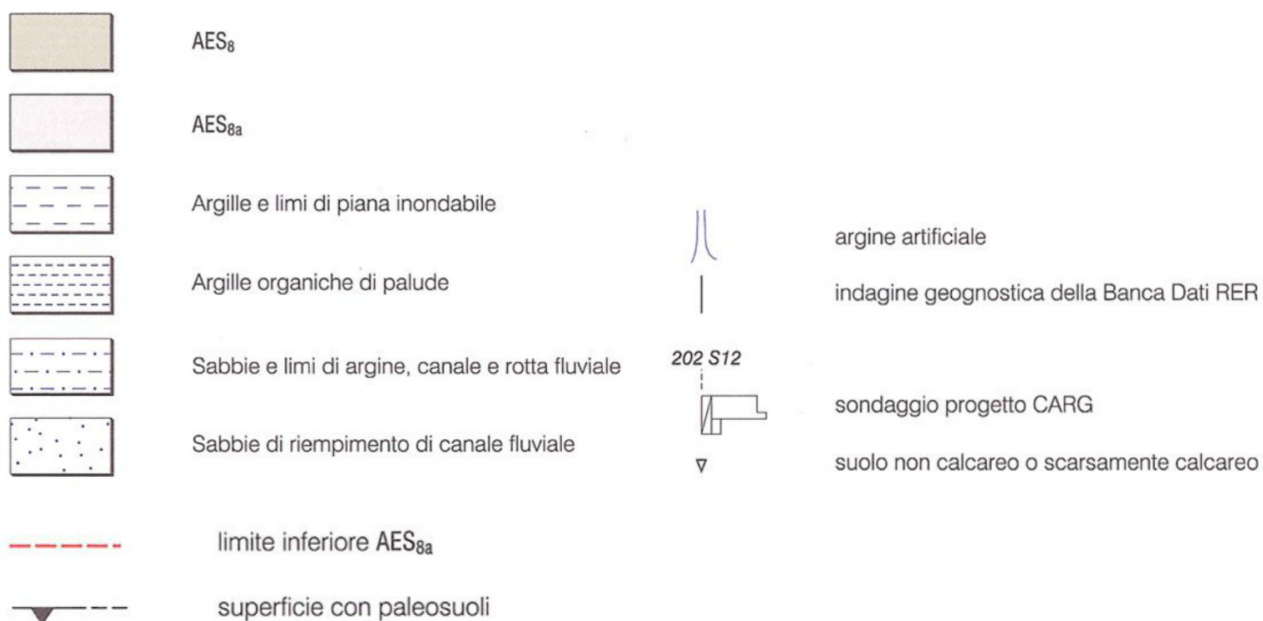
traccia di alveo fluviale abbandonato  
certa, incerta



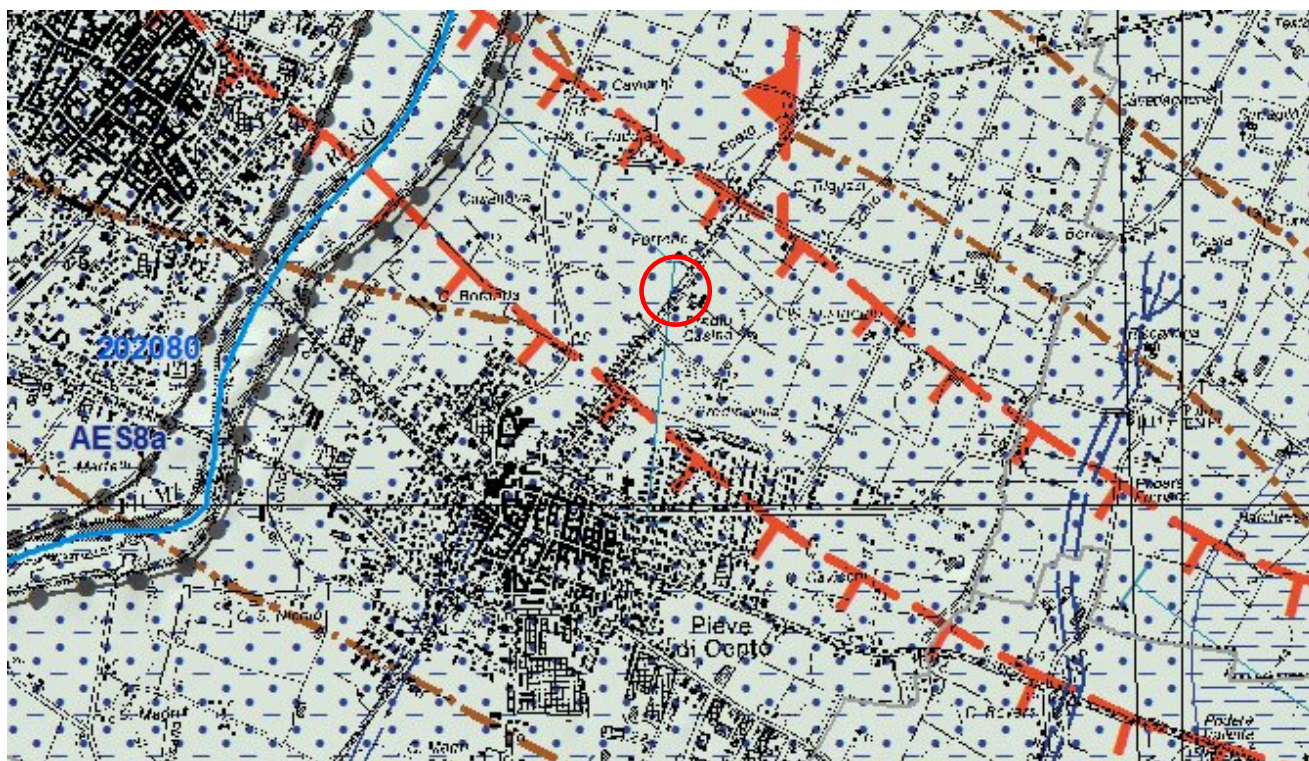
## Traccia profilo geologico Foglio 202 "S. GIOVANNI IN PERSICETO"







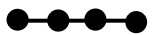


○ Area in oggetto



# **ESTRATTO DA “CARTOGRAFIA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA”**

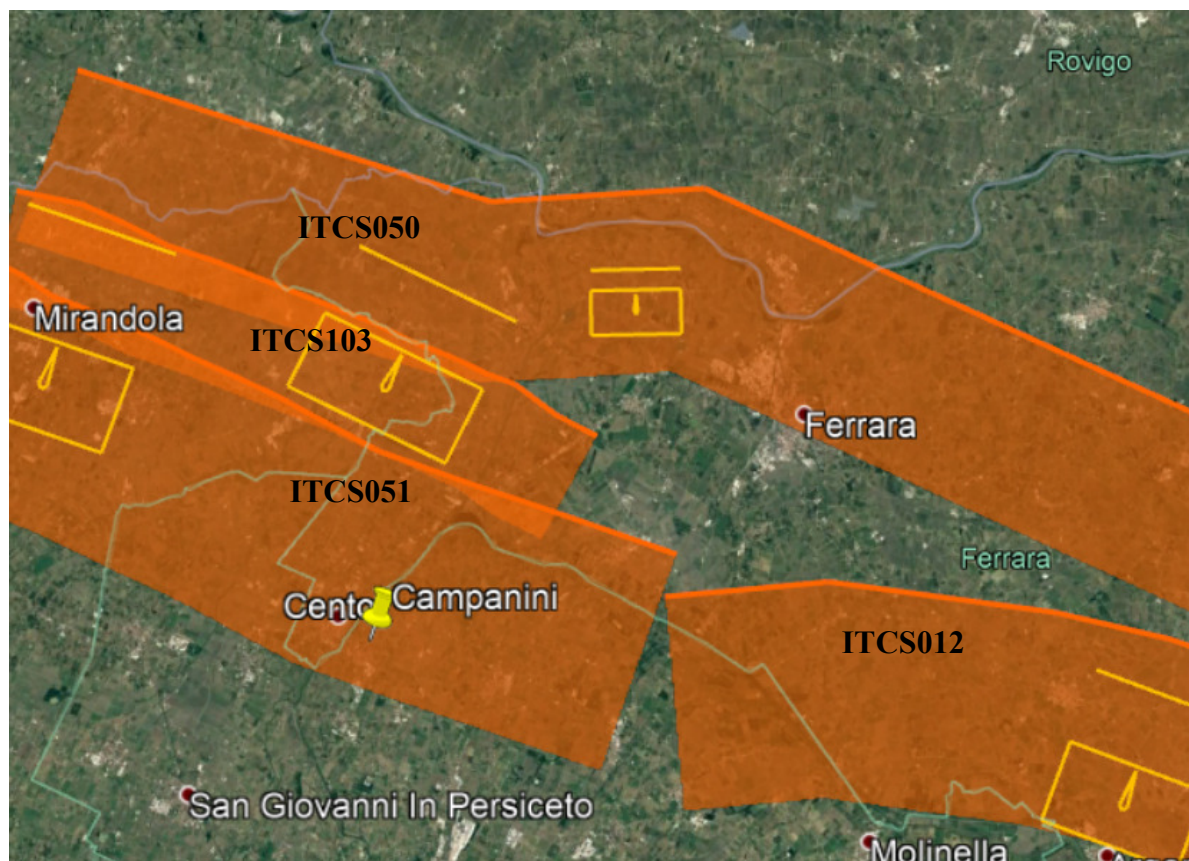


-  Area oggetto d'intervento
- 202080** Numero Sezione C.T.R. 1: 10.000
-  Isobata della base del pliocene
-  Faglia profonda diretta dedotta
-  Sovrascorrimento profondo post-tortoniano dedotto
-  Faglia profonda indeterminata dedotta
-  Limite amministrativo di Provincia
-  Argine artificiale certo

Studi più recenti (Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, MM Tiberti, E. Boschi -2008- The Database of individual Seismogenici Sources, DISS, version 3: summarizing 20 yerars of research on Italy's



*earthquake geology*) hanno individuato nell'area emiliana a sud del Po una "potenziale sorgente sismogenetica composta". La zona in oggetto risulta situata nell'area sismogenetica ITCS051 – Carpi – Poggio Renatico. Magnitudo massima attesa pari a 6,0 (Mw) Profondità min. 2 Km, max. 10 Km. Ultimo aggiornamento: 1 aprile 2015.

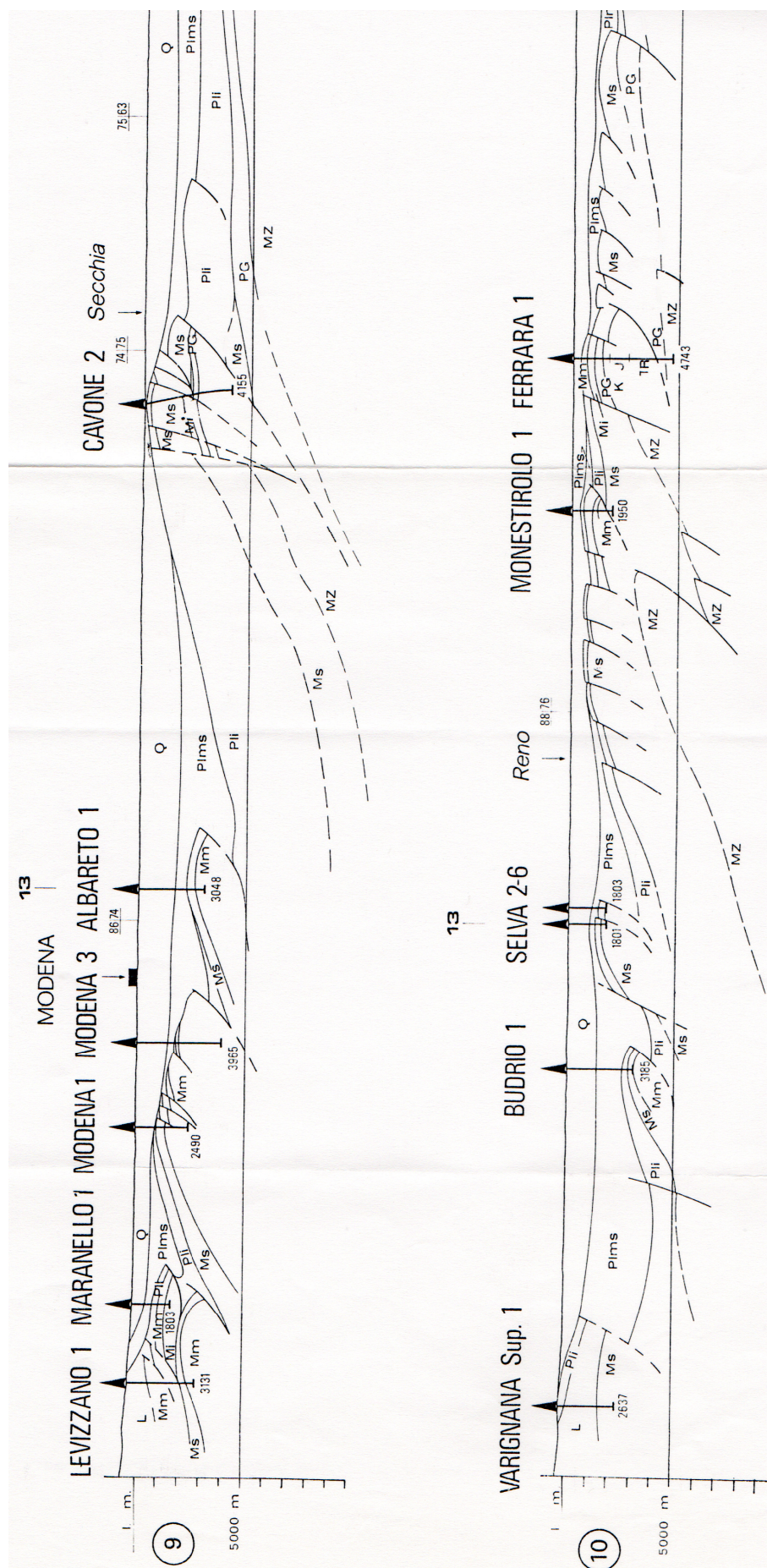


*Potenziali sorgenti sismogenetiche composte: ITCS050 (Poggio Rusco – Migliarino, ramo Nord), ITCS051(Carpi -Poggio Renatico, ramo Sud Ovest), ITCS103(Finale Emilia – Mirabello, ramo centrale), ITCS012 (Malalbergo – Ravenna, ramo Sud – Est)*

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.*

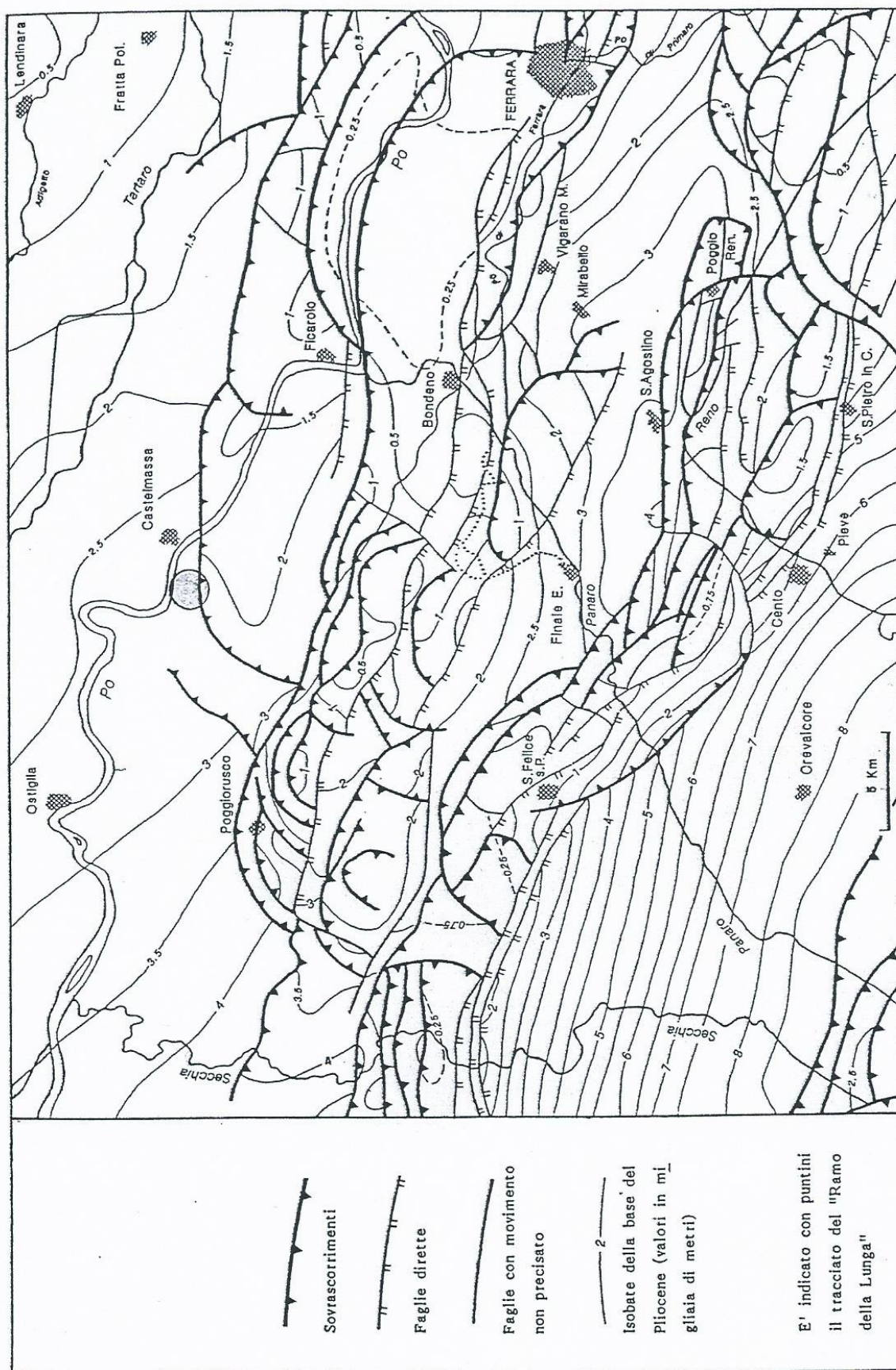




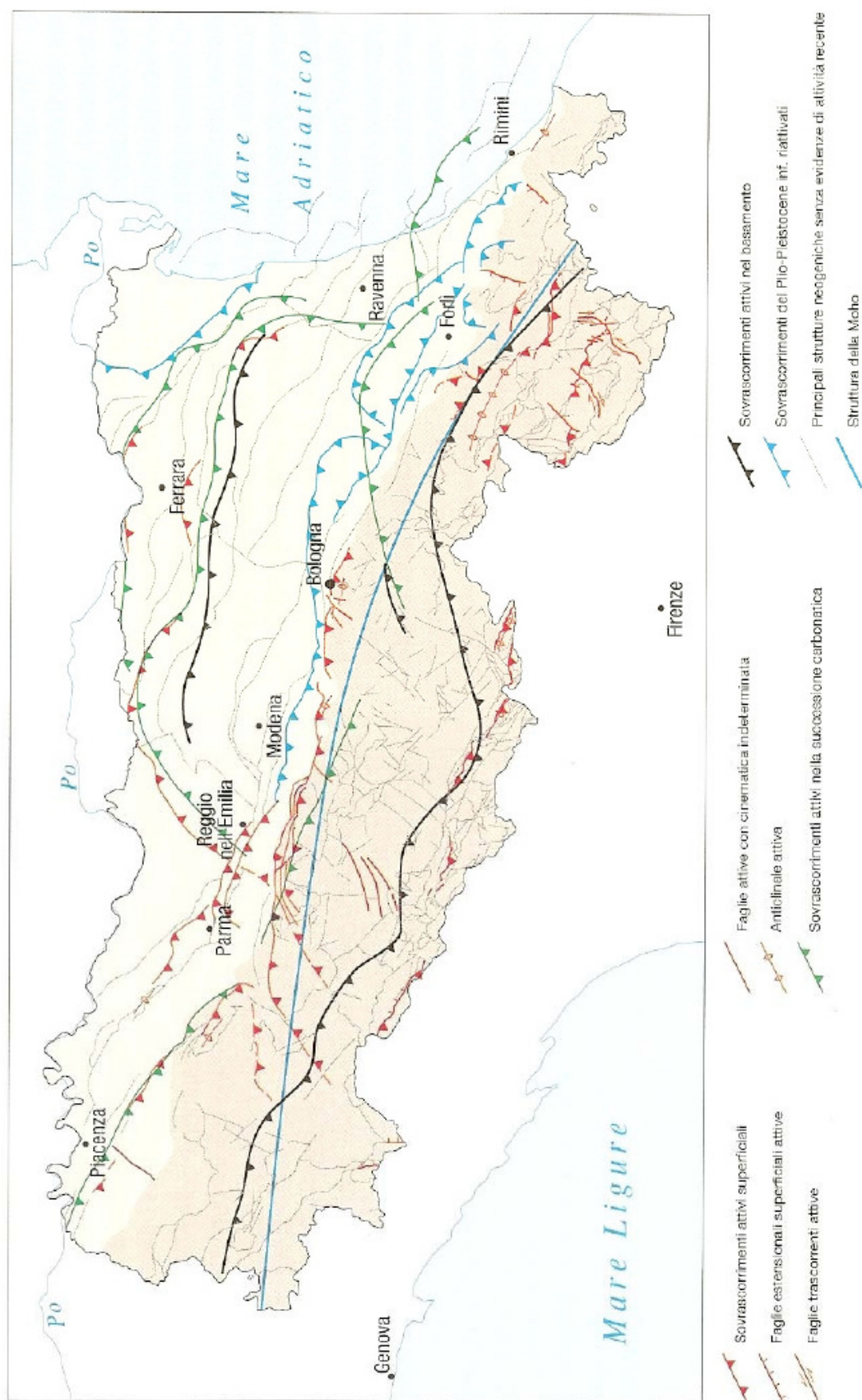
**Profilo strutturale del Pre-Pliocene – Quaternario nella pianura padana veneta.**

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





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





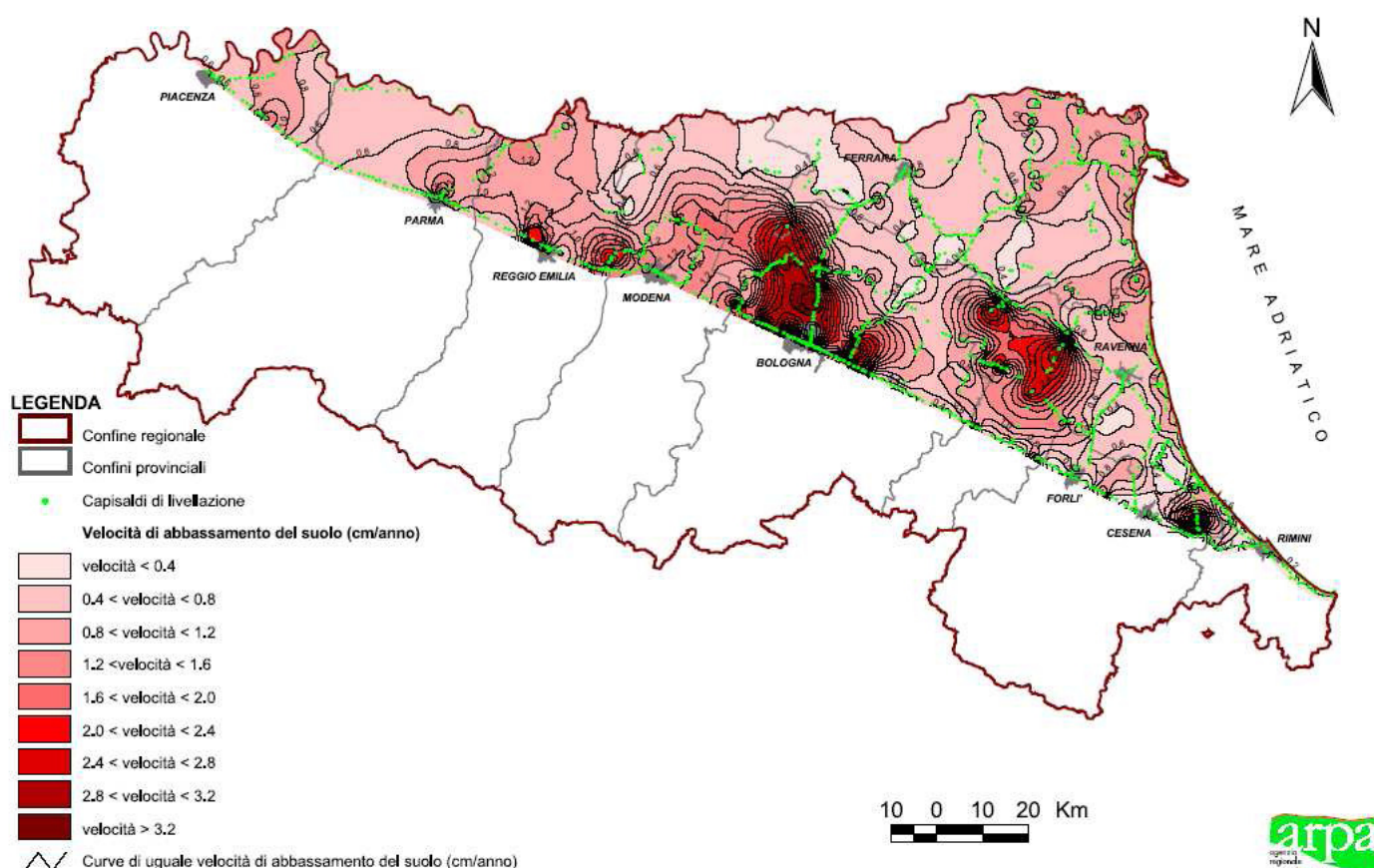
## 5) SUBSIDENZA

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.



## **6) INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDROGEOLOGICO E STRATIGRAFIA LOCALE - CENNI**

Dall'analisi dei valori di Rp ottenuti mediante le prove penetrometriche (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. m. -0.50 si ha terreno di agrario con chiari residui vegetali, gode di ottima permeabilità a causa delle pratiche agricole;
- b) da ca. m. -0.50 a ca. m. -1.20/-1.60, si hanno limi sabbiosi fini mediamente compatti, i cui valori di Rp risultano compresi tra 11-20 Kg/cm<sup>2</sup>;
- c) da ca. m. -1.20/-1.60 a ca. m. -3.80/-5.00, si hanno limi argillosi debolmente sabbiosi mediamente compatti, i cui valori di Rp sono compresi tra 7-17 Kg/cm<sup>2</sup>;
- d) da ca. m. -3.80/-5.00 a ca. m. -6.40/-8.00 si ha la presenza di argilla con limo poco compatta e plastica con scarse caratteristiche geotecniche e valori di Rp compresi tra 4-10 Kg/cm<sup>2</sup>;
- e) da ca. m. -6.40/-8.00 a ca. m. -22.00 si ha la presenza di limi argillosi con orizzonti sabbiosi fini ed i cui valori di Rp sono compresi tra 9-39 Kg/cm<sup>2</sup>;
- f) da ca. m. -22.00 e fino alla profondità indagata di m. -31.00, si ha la presenza di sabbie medio fini mediamente addensate, i cui valori di Rp risultano compresi tra compresi tra 27-95 Kg/cm<sup>2</sup>.

Dalla terebrazione di un pozzo infisso nella vicina area sportiva la quest'ultimo strato continua fino alla profondità di m. -35.00, poi la litologia prosegue con argilla fino a m. -46.00 e banco di sabbia tra m. -46.00 e m. -55.00.

Alla pag. seguente schema stratigrafico.

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, come risulta dalle prove statiche effettuate.

Al termine delle singole prove è stato misurato un livello della falda freatica compreso tra m. -2.18 e m. -2.37 dall'attuale p.c. Si ricorda che tale valore, risulta soggetto sia alle variazioni meteoriche, sia al locale litotipo riscontrato.

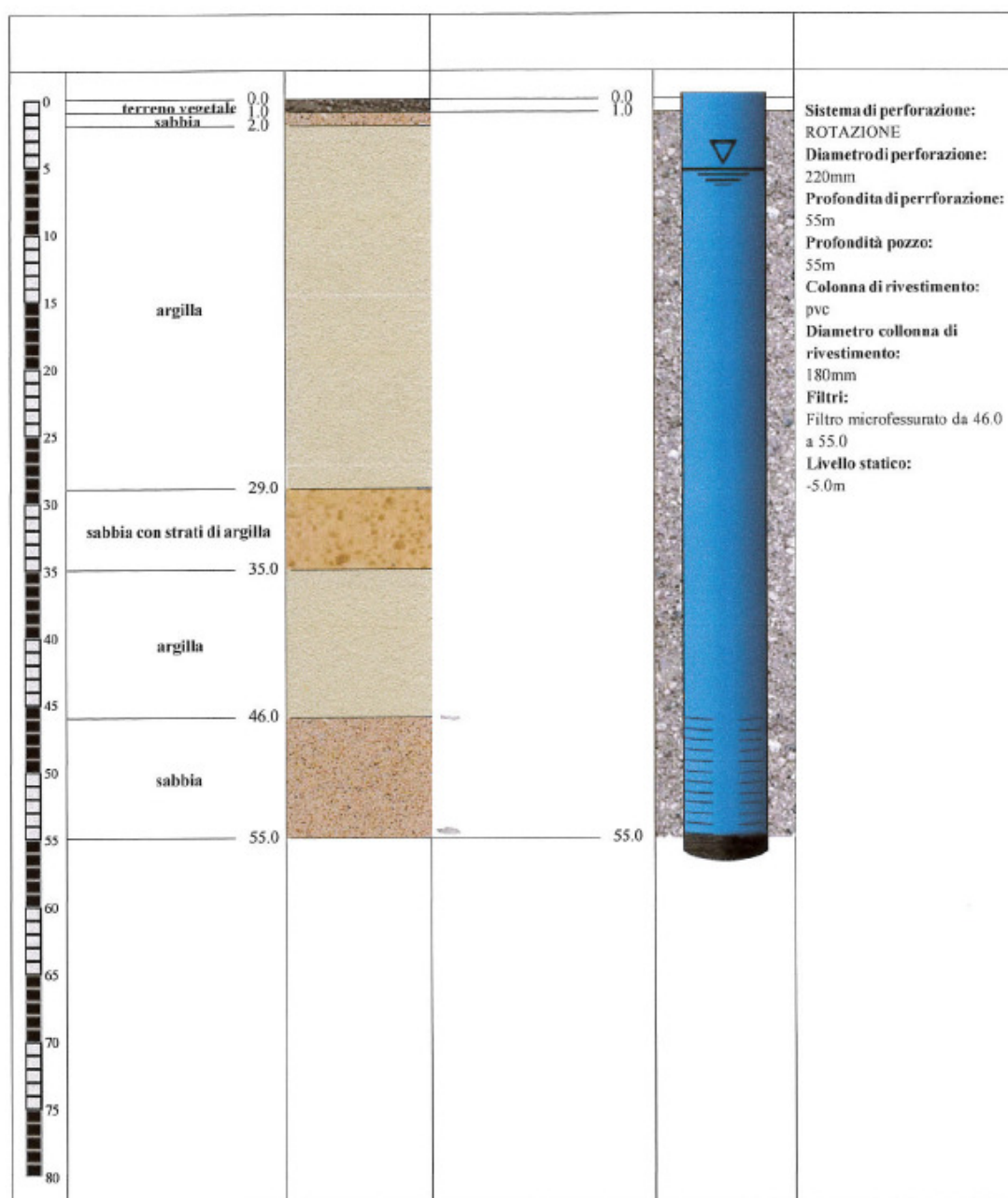
Risulta ipotizzabile una oscillazione di falda dell'ordine di 1,0-1,5 metri. Gradiente idraulico pari a ca. 0,02%.



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.

Infine, si ricorda che gli strati limoso argilloso riscontrati offrono una buona difesa verticale alla falde presenti.

**Pozzo realizzato in loc. PIEVE DI CENTO (FE) IMPIANTI SPORTIVI in data 15/01/2014**



## **7) RISULTATI DELLE INDAGINI EFFETTUATE - ELABORAZIONE DATI PENETROMETRICI**

Il tentativo del calcolo della portanza fondazione / terreno, vista la classificazione del comune di *Sermide e Felonica* in Zona Sismica 3, è stata effettuata come indicato dal D.M. 17 gennaio 2018, 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:

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

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

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

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

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 kg/cm<sup>2</sup> circa. Oltre i 4.5 kg/cm<sup>2</sup> 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  $\Phi$ :

$$c' = (2/3) \times c;$$
$$\Phi' = \alpha \tan[(2/3) \times \phi];$$

- b) rottura di tipo generale: probabile nei terreni che abbiano una  $D_r \text{ \%} \geq 70$  e/o una coesione maggiore
- c) rottura di tipo intermedio: probabile nei terreni con  $D_r \text{ \%} \geq 20$  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  $\phi$ .

**Concludendo e sostituendo si ottiene con Terzaghi**

$$Q_{lim} = c \times N_c \times s_c + \gamma_1 \times D \times N_q + 0.5 \times \gamma_2 \times B \times N_y \times s_y;$$

Dove:

$$c = 0,46 \text{ Kg/cm}^2;$$

$$\text{Angolo di attrito } (^\circ) = 0;$$

$$\text{correzione Terzaghi} = 2/3$$

$$\text{coefficiente di sicurezza per la coesione} = 1,0 \text{ ( Approccio 2);}$$

$$N_c = 5,71;$$

$$s_c = 1,0 \text{ (fondazione non quadrata);}$$

$$\gamma_1 = 2000 \text{ Kg/m}^3 = 2,10 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3 = 0,00200 \text{ Kg/cm}^3$$

$$D = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm};$$

$$N_q = 1,0;$$

$$\gamma_2 = 2000 \text{ Kg/m}^3 = 2,00 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3 = 0,00200 \text{ Kg/cm}^3$$

$$B = 6,00 \text{ m} = 600 \text{ cm};$$

$$N_y = 0;$$

$$s_y = 1,0.$$

$$Z_y = 1,0$$

$$\text{coefficiente di sicurezza globale} = 2,3 \text{ (App. 2)}$$

$$Q_{lim} = [(0,46/1,0) \times 2/3 \times 5,71 \times 1,0 + 0,0020 \times 50 \times 1 + 0,5 \times 0,0020 \times 600 \times 0 \times 1,0] / 2,3 =$$

$$Q_{lim} = [1,75107 + 0,100 + 0] / 2,3 = 1,85107 / 2,3 = 0,8048 \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,81 \text{ Kg/cm}^2$$

### **7.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. -0,50 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 sopracitata;
- 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. 2,824 in CPT1, 2,747 in CPT2 e cm. 2,888 in CPT3.

Cedimento verificato SLE secondo teoria della elasticità pari a cm. 3,71. ipotizzando una fondazione rigida.

## ***7.b) FONDAZIONI SUPERFICIALI***

## DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale Della Rinascita, 12-46028 Sermide e Felonica (MN)-m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

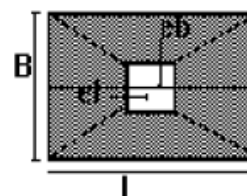
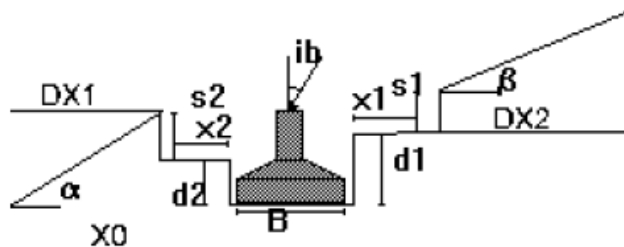
Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: GIUGNO 2018

Riferimenti:

### Geometria della fondazione

Fondazione n.	1
Larghezza o diametro base B (m):	6
Lunghezza della base L (m):	10
Profondità di posa lato destro d1(m):	0,5
Profondità di posa lato sinistro d2(m):	0,5
Profondità scavo destro s1 (m):	0
Profondità scavo sinistro s2(m):	0
Inclinazione pendio a valle $\alpha(^{\circ})$ :	0
Inclinazione pendio a monte $\beta(^{\circ})$ :	0
Distanza bordo scavo destro x1(m):	0
Distanza bordo scavo sinistro x2(m):	0
Inclinazione base lato B( $^{\circ}$ ):	0
Inclinazione base lato L( $^{\circ}$ ):	0
Inclinazione carico lato B $ib(^{\circ})$ :	11,35
Inclinazione carico lato L ( $^{\circ}$ ):	11,35
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:	Platea



## DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale Della Rinascita, 12-46028 Sermide e Felonica (MN)-m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: GIUGNO 2018

Riferimenti:

### Parametri geotecnici del terreno di fondazione

Strato n.

1

Descrizione litologica:

Argilla mediamente consistente	
Angolo di attrito (°):	0
Densità relativa (%):	0
Coesione(kg/cm <sup>2</sup> ):	0,46
Peso di volume sopra falda(kg/mc):	2000
Peso di volume sotto falda(kg/mc):	2000
Modulo di Young o edometrico (terreni coesivi) (kg/cm <sup>2</sup> ):	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 (cm <sup>2</sup> /s):	
Numero di colpi Spt medio:	
Resistenza alla punta media (C.P.T.)(kg/cm <sup>2</sup> ):	0
R.Q.D. (%)	
Limite di liquidità (%):	
Contenuto naturale d'acqua (%):	
Fattore di portanza N <sub>q</sub> :	1
Fattore di portanza N <sub>c</sub> :	5,71
Fattore di portanza N <sub>y</sub> :	0
Comportamento meccanico:	Livello coesivo
Caratteristiche idrogeologiche:	Livello permeabile



## DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale Della Rinascita, 12-46028 Sermide e Felonica (MN)-m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: GIUGNO 2018

Riferimenti:

### Riassunto del calcolo della portanza delle fondazioni

Secondo il D.M. 14.01.2008 App.II

Fondazione n. ....	1
Larghezza della fondazione (m):	6
Lunghezza della fondazione (m):	10
Profondità di posa lato destro(m):	0,5
Profondità di posa lato sinistro (m):	0,5

Metodo di calcolo:	Terzaghi tensioni ammissibili
--------------------	-------------------------------

#### Fattori di forma

Sc:	1	Sq:	1	Sy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori di profondità

Dc:	1	Dq:	1	Dy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori inclinazione carico

Ic:	1	Iq:	1	Iy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori inclinazione pendio

Gc:	1	Gq:	1	Gy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori inclinazione base

Bc:	1	Bq:	1	By:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori correttivi per gli effetti cinematici del sisma

Zc:	1	Zq:	1	Zy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### RISULTATO

Coefficiente di sicurezza globale:	2,3
Correzione di Terzaghi:	applicata
Carico limite (kg/cm <sup>2</sup> ):	1,85
Carico ammissibile(kg/cm <sup>2</sup> ):	0,81
Carico di verifica dei cedimenti (kg/cm <sup>2</sup> ):	0,81
Profondità del cuneo efficace (m):	3
Accelerazione sismica orizzontale (g):	0,233

## DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale Della Rinascita, 12-46028 Sermide e Felonica (MN)-m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: GIUGNO 2018

Riferimenti:

### 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):	6
Lunghezza della fondazione (m):	10
Profondità di posa lato destro (m):	0,5
Profondità di posa lato sinistro (m):	0,5

Metodo di calcolo:	Terzaghi stato limite ultimo
--------------------	------------------------------

#### Fattori di forma

Sc:	1	Sq:	1	Sy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori di profondità

Dc:	1	Dq:	1	Dy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori inclinazione carico

Ic:	1	Iq:	1	Iy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori inclinazione pendio

Gc:	1	Gq:	1	Gy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori inclinazione base

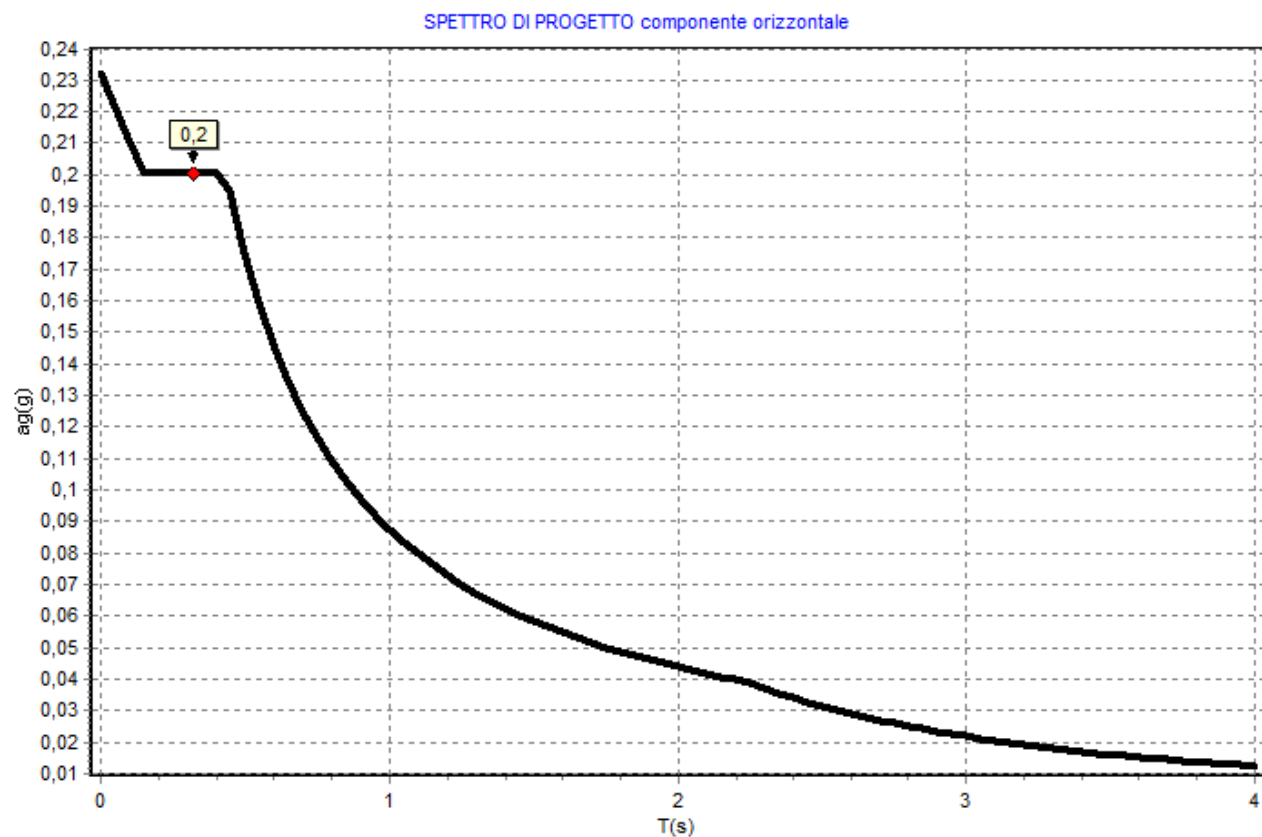
Bc:	1	Bq:	1	By:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### Fattori correttivi per gli effetti cinematici del sisma

Zc:	1	Zq:	1	Zy:	1
-----	---	-----	---	-----	---

#### 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 Terzaghi:	applicata
Capacità portante S.L.U. (kg/cmq):	0,81
Profondità del cuneo efficace (m):	3
Accelerazione sismica orizzontale (g):	0,233



Accel.sismica max terreno(g):0,232 Coef.sismico orizzontale struttura (khi)(g):0,2 Inclinazione del carico dovuta al sisma(^):11,336  
Categoria sottosuolo:C Categoria topografica:T1Fattore di amplificazione spettrale F0:2,59 Periodo inizio velocità costante tc\*(s):0,27

## **8) CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA**

La micronizzazione sismica consiste nell'individuazione delle risposte sismiche locali nell'ambito di una zona con dimensioni pari all'estensione di un territorio comunale di medie dimensioni.

La determinazione del rischio sismico in quest'area di pianura *Bolognese* limitrofa a quella *Ferrarese* risulta individuata a carattere locale con tutti quegli elementi territoriali identificabili nella morfologia e nelle caratteristiche geologico - tecniche, le quali possono provocare possibili fenomeni di amplificazione sismica.

In occasione di eventi sismici, le locali condizioni geologiche e tettoniche di un'area possono produrre effetti diversi, i quali possono essere distinti in:

- effetti di amplificazione locale: questi sono rappresentati da morfologie sepolte e da particolari caratteristiche geotecniche i quali possono esaltare le azioni sismiche trasmesse al terreno;
- effetti di instabilità dovuti a fenomeni cosismici: sono rappresentati da fenomeni d'instabilità causati dal raggiungimento della resistenza al taglio del terreno. Nel caso dei terreni in oggetto si possono verificare per i terreni granulari sopra falda, possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale; mentre per i terreni granulari saturi sono possibili rifluimenti parziali o generalizzati a causa di fenomeni di liquefazione.

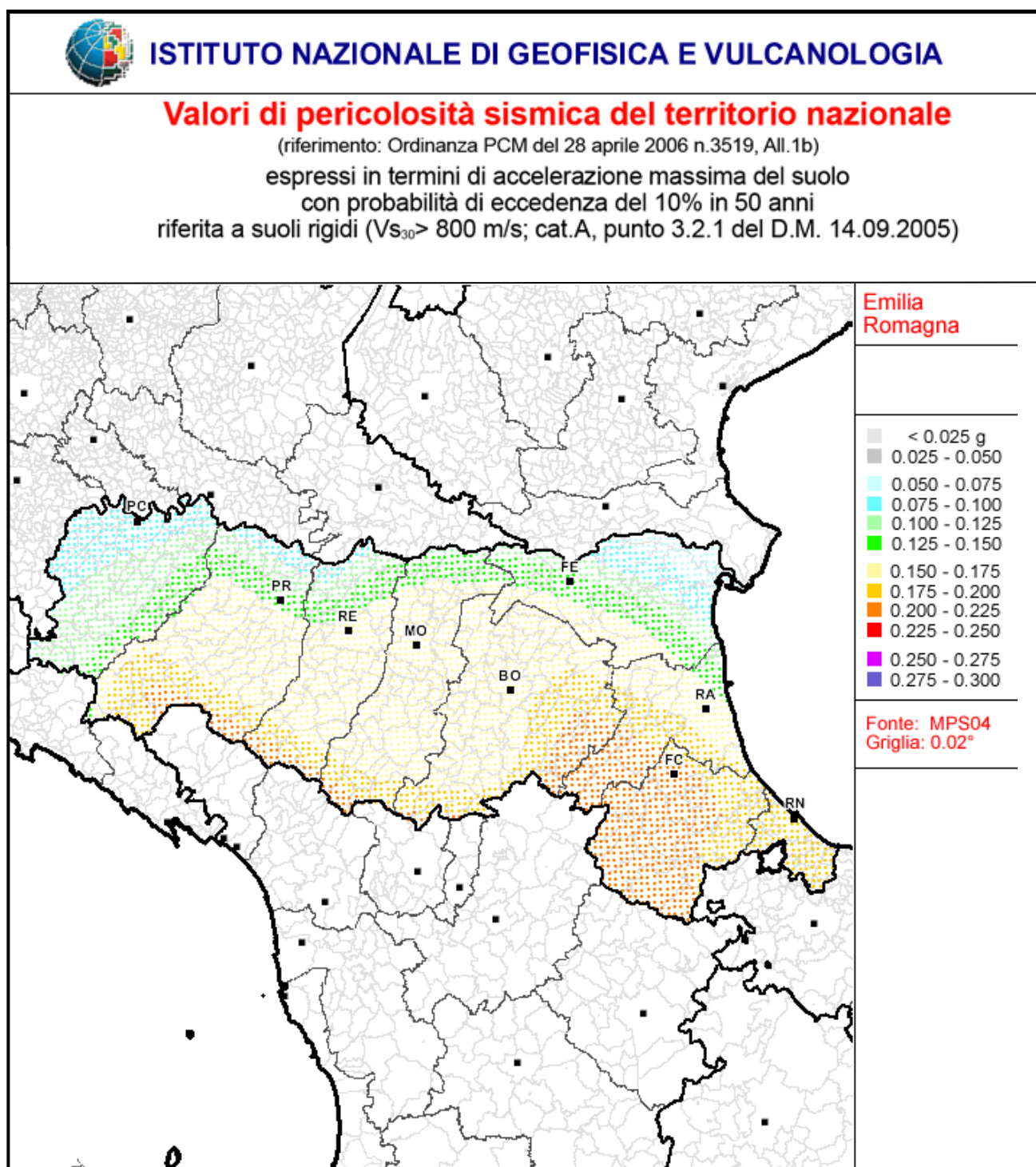
Con quanto sopra indicato si vuole sottolineare che il rischio sismico in questa parte della *Provincia di Bologna* non risulta relativamente basso, in quanto:

- non si è relativamente distanti dai centri sismici dei terremoti più significativi, intesi come aree sorgenti. Eventi sismici di maggio 2012, con ipocentro nelle immediate vicinanze.
- la frequenza di eventi sismici non risulta contenuta;
- la quantità di energia liberata, come magnitudo, generalmente non risulta relativamente bassa: come hanno dimostrato gli eventi del maggio 2012.

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.

**Pieve di Cento 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**.

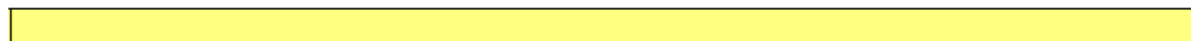


Stratigrafia della copertura			
N.	da (m)	a (m)	Vs(m/s)
1	0,00	0,20	262
2	0,20	0,40	209
3	0,40	0,60	216
4	0,60	0,80	209
5	0,80	1,00	196
6	1,00	1,20	203
7	1,20	1,40	209
8	1,40	1,60	131
9	1,60	1,80	140
10	1,80	2,00	114
11	2,00	2,20	105
12	2,20	2,40	131
13	2,40	2,60	131
14	2,60	2,80	114
15	2,80	3,00	105
16	3,00	3,20	114
17	3,20	3,40	140
18	3,40	3,60	131
19	3,60	3,80	148
20	3,80	4,00	140
21	4,00	4,20	123
22	4,20	4,40	131
23	4,40	4,60	114
24	4,60	4,80	148
25	4,80	5,00	105
26	5,00	5,20	114
27	5,20	5,40	114
28	5,40	5,60	114
29	5,60	5,80	105
30	5,80	6,00	114
31	6,00	6,20	105
32	6,20	6,40	85
33	6,40	6,60	148
34	6,60	6,80	114
35	6,80	7,00	131
36	7,00	7,20	131
37	7,20	7,40	222
38	7,40	7,60	184
39	7,60	7,80	123
40	7,80	8,00	190
41	8,00	8,20	203
42	8,20	8,40	123
43	8,40	8,60	140
44	8,60	8,80	203
45	8,80	9,00	131
46	9,00	9,20	148
47	9,20	9,40	148
48	9,40	9,60	155
49	9,60	9,80	196
50	9,80	10,00	209
51	10,00	10,20	227
52	10,20	10,40	216
53	10,40	10,60	227

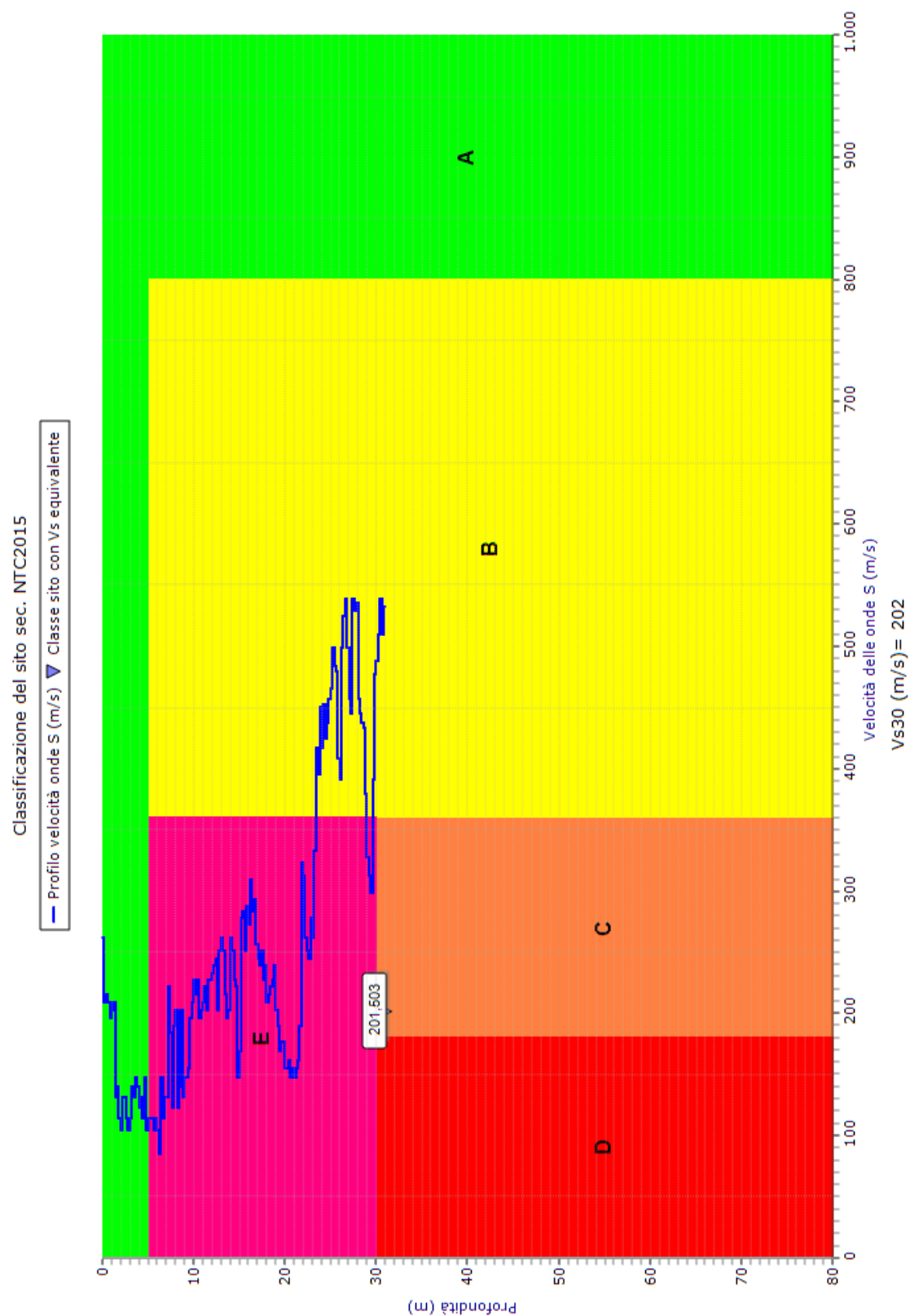


N.	da (m)	a (m)	Vs(m/s)
54	10,60	10,80	196
55	10,80	11,00	203
56	11,00	11,20	209
57	11,20	11,40	222
58	11,40	11,60	203
59	11,60	11,80	227
60	11,80	12,00	227
61	12,00	12,20	233
62	12,20	12,40	239
63	12,40	12,60	245
64	12,60	12,80	203
65	12,80	13,00	251
66	13,00	13,20	262
67	13,20	13,40	251
68	13,40	13,60	216
69	13,60	13,80	196
70	13,80	14,00	203
71	14,00	14,20	262
72	14,20	14,40	251
73	14,40	14,60	227
74	14,60	14,80	222
75	14,80	15,00	148
76	15,00	15,20	169
77	15,20	15,40	278
78	15,40	15,60	283
79	15,60	15,80	251
80	15,80	16,00	288
81	16,00	16,20	273
82	16,20	16,40	309
83	16,40	16,60	283
84	16,60	16,80	293
85	16,80	17,00	256
86	17,00	17,20	245
87	17,20	17,40	239
88	17,40	17,60	251
89	17,60	17,80	227
90	17,80	18,00	239
91	18,00	18,20	209
92	18,20	18,40	216
93	18,40	18,60	222
94	18,60	18,80	227
95	18,80	19,00	239
96	19,00	19,20	203
97	19,20	19,40	190
98	19,40	19,60	169
99	19,60	19,80	177
100	19,80	20,00	177
101	20,00	20,20	155
102	20,20	20,40	155
103	20,40	20,60	162
104	20,60	20,80	148
105	20,80	21,00	155
106	21,00	21,20	148
107	21,20	21,40	155
108	21,40	21,60	162

N.	da (m)	a (m)	Vs(m/s)
109	21,60	21,80	190
110	21,80	22,00	323
111	22,00	22,20	313
112	22,20	22,40	262
113	22,40	22,60	251
114	22,60	22,80	245
115	22,80	23,00	278
116	23,00	23,20	262
117	23,20	23,40	333
118	23,40	23,60	417
119	23,60	23,80	396
120	23,80	24,00	450
121	24,00	24,20	417
122	24,20	24,40	453
123	24,40	24,60	425
124	24,60	24,80	437
125	24,80	25,00	457
126	25,00	25,20	465
127	25,20	25,40	499
128	25,40	25,60	484
129	25,60	25,80	480
130	25,80	26,00	408
131	26,00	26,20	391
132	26,20	26,40	499
133	26,40	26,60	525
134	26,60	26,80	539
135	26,80	27,00	499
136	27,00	27,20	457
137	27,20	27,40	445
138	27,40	27,60	539
139	27,60	27,80	529
140	27,80	28,00	536
141	28,00	28,20	457
142	28,20	28,40	445
143	28,40	28,60	437
144	28,60	28,80	433
145	28,80	29,00	379
146	29,00	29,20	328
147	29,20	29,40	313
148	29,40	29,60	299
149	29,60	29,80	391
150	29,80	30,00	477
151	30,00	30,20	488
152	30,20	30,40	510
153	30,40	30,60	539
154	30,60	30,80	510
155	30,80	31,00	532







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.

Inoltre, in base a quest'ultima ordinanza si ha un profilo stratigrafico del suolo di fondazione appartenente alla categoria **C** ( $V_{s30}$  pari a 202 m/s) – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti....., con valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec < 180 m/s (ovvero  $15 < N_{spt30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina) – Deposito di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti -.

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO					
Categoria sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	Vs (m/s)	Nspt	Cu (kPa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	$\geq 800$		
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ( $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	$\geq 360$ $\leq 800$	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	$\geq 180$ $\leq 360$	>15 <50	>50 <250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ( $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	< 180	<15	>70
<b>E</b>	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ( $V_{s30} > 800$ m/s).	Fino a 20 m	$\approx C$ e D	$\approx C$ e D	$\approx C$ e D

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 Pieve di Cento risulta sempre identificata nella fascia di 0,150 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. -31.00 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 Massima Orizzontale del Sito risulta pari a **0,2326**. 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 calcolati tramite media ponderata risultano così indicati:

$$a_g (g) = 0,157 \quad F_0 = 2,591 \quad T_c = 0,273 \quad S_s = 1,456 \quad C_c = 1,611$$

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 della Giunta Regionale 21 Dicembre 2015, n. 2193*

Accel. Mass. Orizzontale di picco al suolo per  $T = 0$  pari a 0,158 g, accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastica, pari a 0,229 g, quindi:

$$F.A. = 1,45$$

- *Decreto Ministeriale 17.01.2018*

Accel. Mass. Orizzontale di picco al suolo per  $T = 0$  pari a 0,157 g, accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastica, pari a 0,229 g, quindi:

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

- *Decreto Ministeriale 17.01.2018 con coordinate geografiche di CPT1*

Accel. Mass. Orizzontale di picco al suolo per  $T = 0$  pari a 0,1603 g, accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastica, pari a 0,2326 g, quindi:

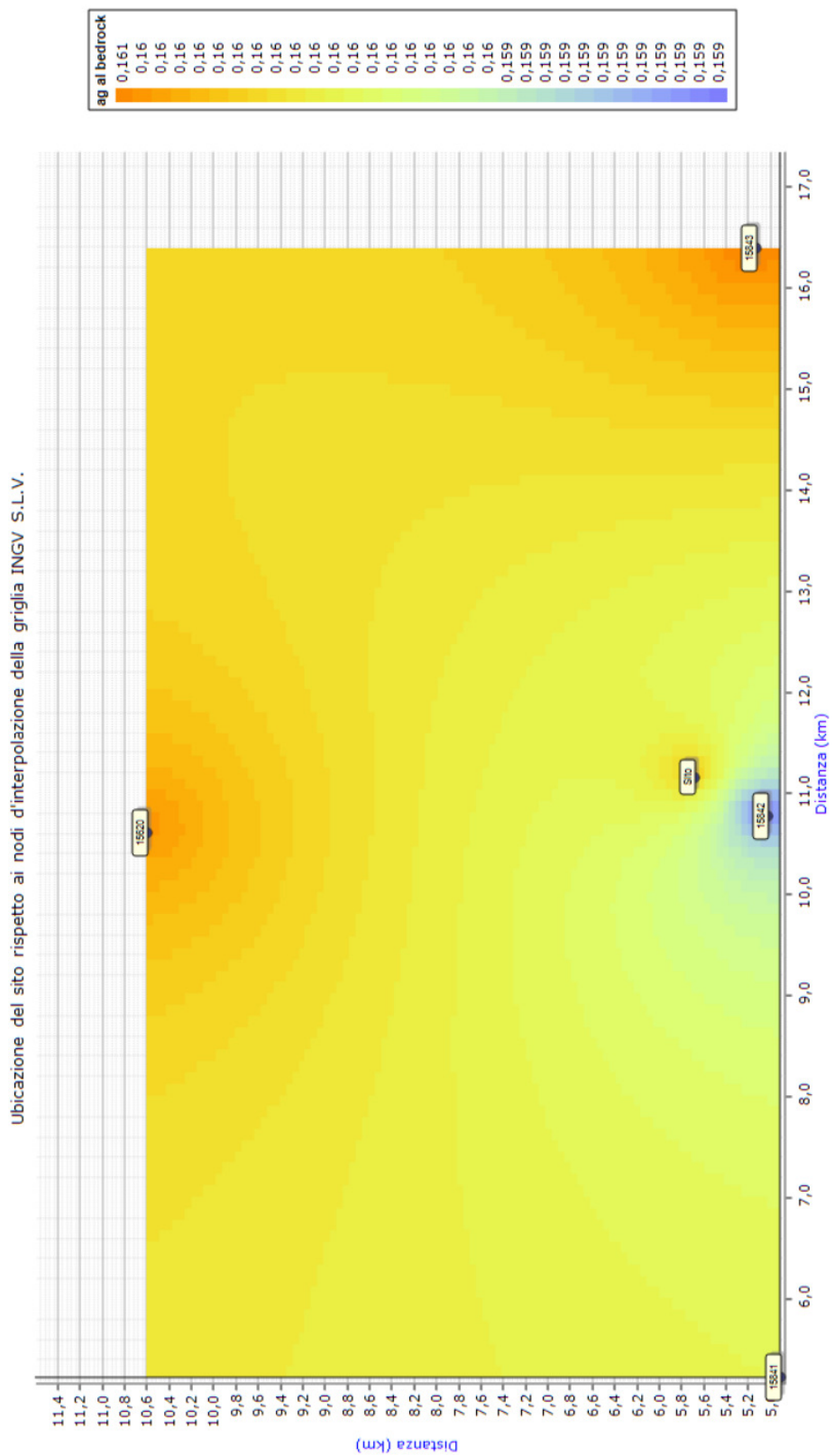
$$\mathbf{F.A. = 1,45}$$

STATO LIMITE	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
SLO	30	0,044	2,501	0,257
SLD	50	0,056	2,485	0,270
SLV	475	0,157	2,591	0,273
SLC	975	0,210	2,536	0,280

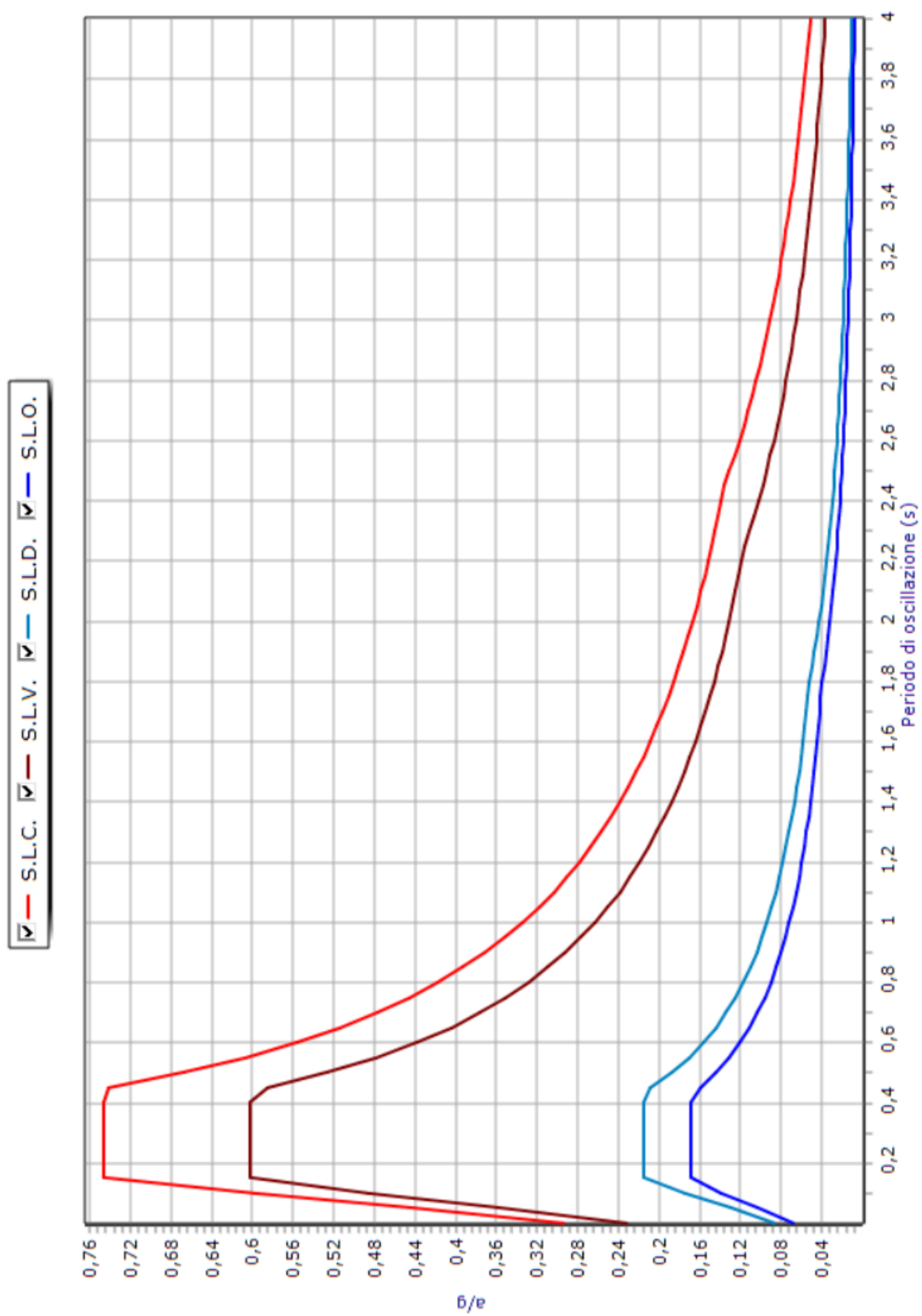
Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascun **SL**  
(da NTC vers. 1.03)

*Posizione del sito rispetto ai nodi d'interpolazione della griglia INGV*

### Posizione del sito rispetto ai nodi d'interpolazione della griglia INGV



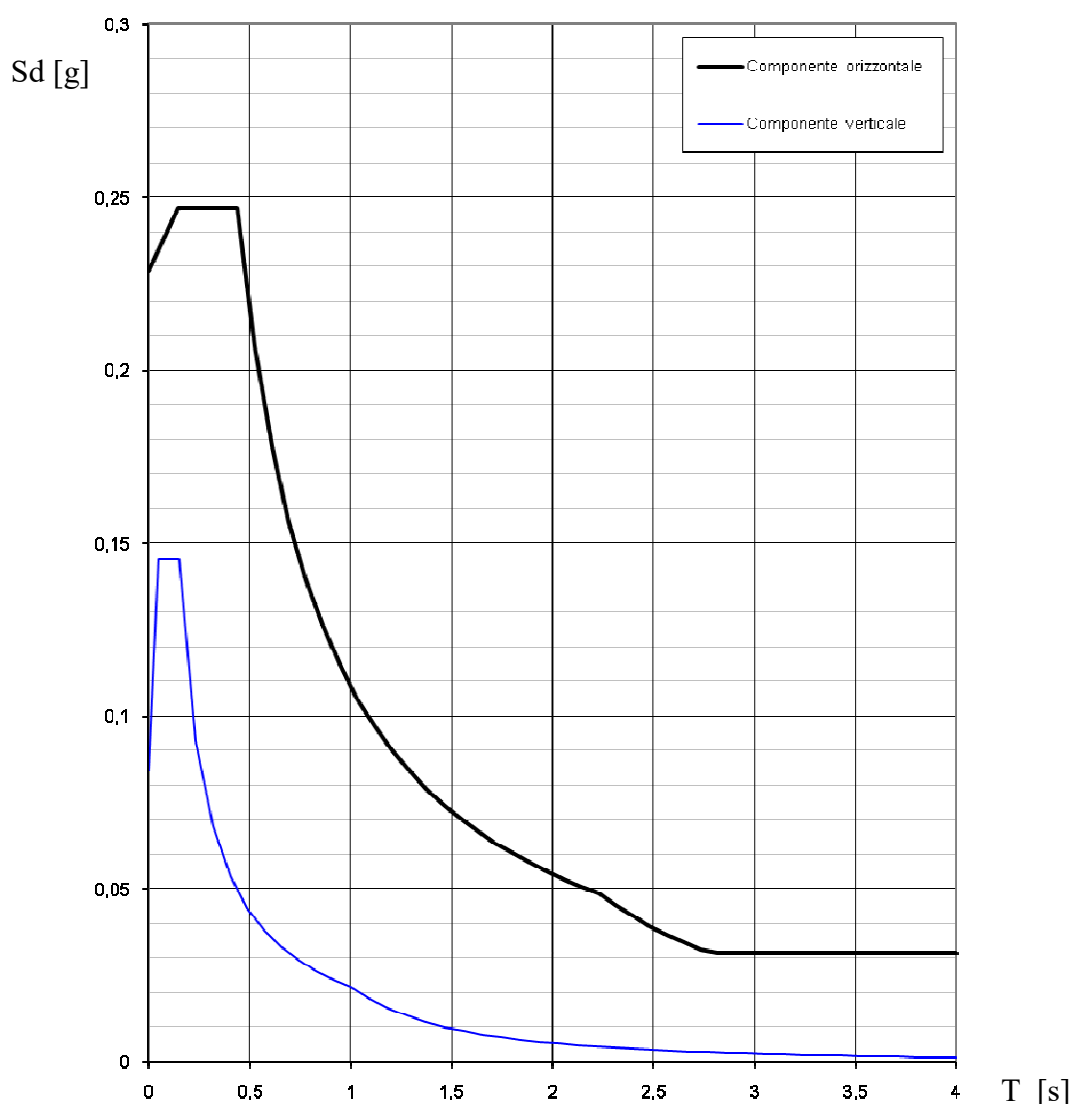
Spettro di risposta elastico orizzontale dell'accelerazione





Stato	agh base(g)	F0	Tc <sup>e</sup>	agv base(g)	Fv	Tr(anni)	Pr(%)	agh max(g)	khs	kvs	beta	khi	kvi	T(s)
S.L.C.	0,2139	2,54	0,28	0,2139	1,59	975	0,05	0,2939	0,082	0,041	0,28	0,249	0,113	0,32
S.L.V.	0,1603	2,59	0,27	0,1603	1,4	475	0,1	0,2326	0,056	0,028	0,24	0,201	0,075	0,32
S.L.D.	0,0576	2,49	0,27	0,0576	0,81	50	0,63	0,0864	0,017	0,009	0,20	0,215	0,023	0,32
S.L.O.	0,0451	2,50	0,26	0,0451	0,72	30	0,81	0,0676	0,014	0,007	0,20	0,169	0,016	0,32

## PARAMETRI SISMICI

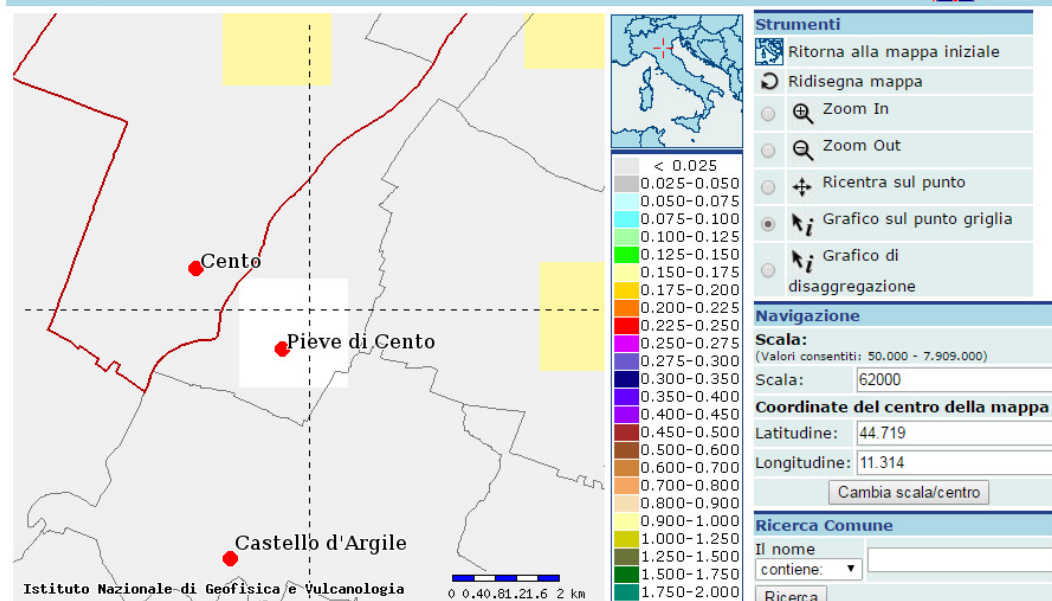


*Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale per lo stato limite: SLV  
 (da NTC vers. 1.03)*

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



**Selezione mappa**

☒ Visualizza punti della griglia riferiti a:

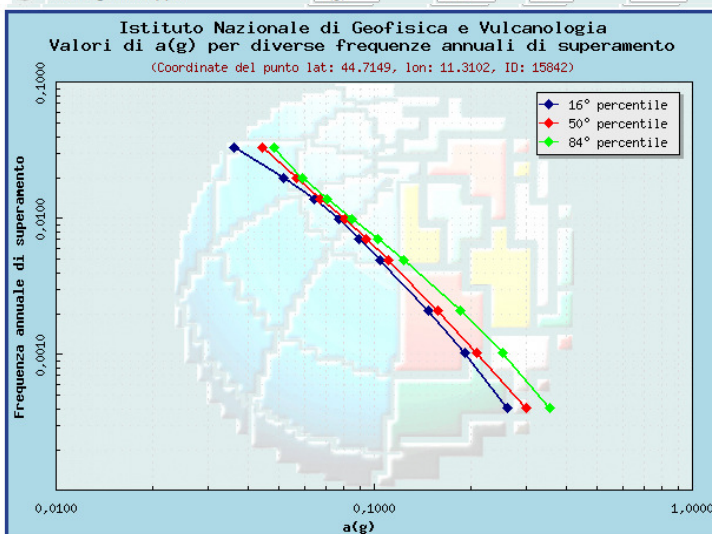
☐ Ridisegna mappa

Parametro dello scuotimento:

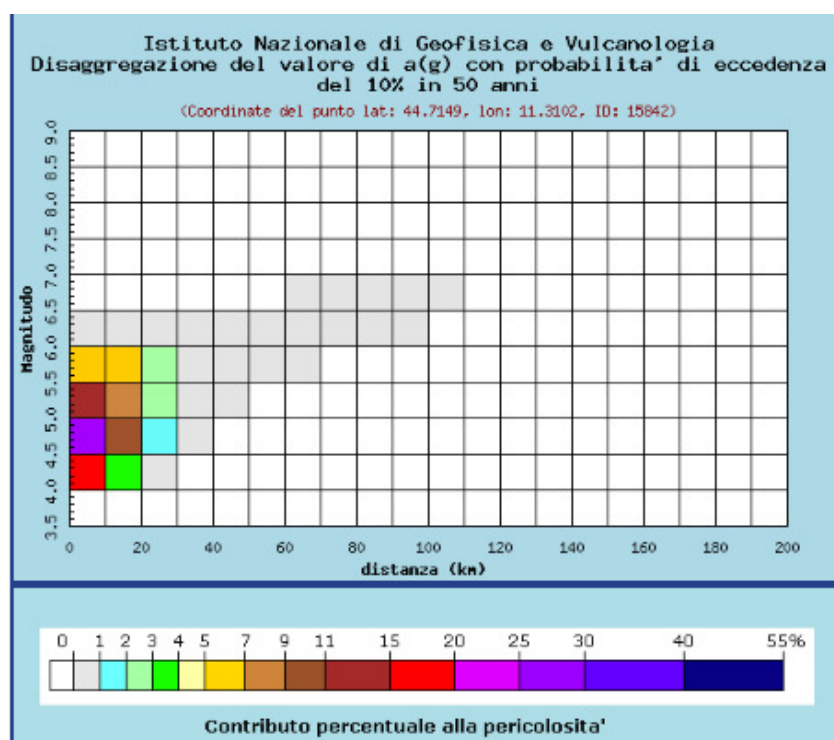
Probabilità in 50 anni:

Percentile:

Periodo spettrale (sec):



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 44.7149, lon: 11.3102, ID: 15842)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2619	0.2980	0.3544
0.0010	0.1926	0.2099	0.2517
0.0021	0.1479	0.1574	0.1857
0.0050	0.1042	0.1103	0.1237
0.0071	0.0891	0.0936	0.1021
0.0099	0.0768	0.0803	0.0848
0.0139	0.0645	0.0672	0.0709
0.0200	0.0517	0.0565	0.0593
0.0333	0.0360	0.0444	0.0481



Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.7149, lon: 11.3102, ID: 15842)											
Distanza in km	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	15.000	26.300	13.700	6.190	0.699	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.780	10.100	8.860	6.190	0.901	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.198	1.460	2.390	2.330	0.367	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.033	0.390	0.632	0.096	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.028	0.181	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	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

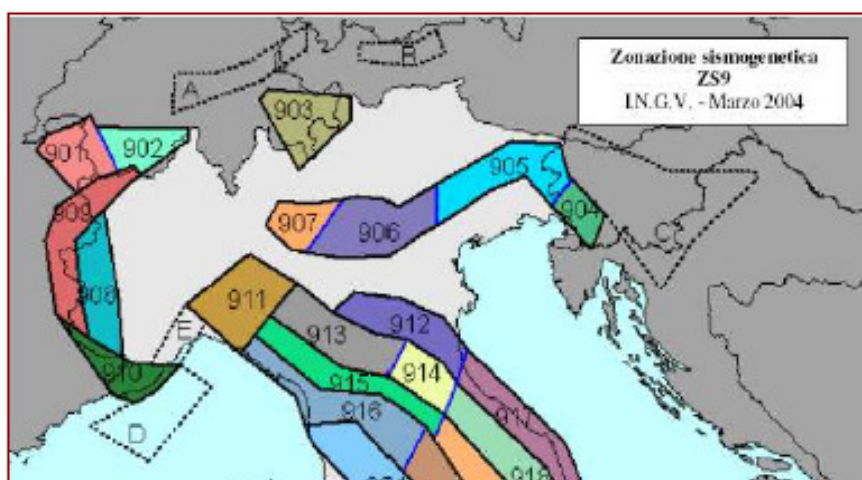
Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.980	9.650	0.725

## **8.1) 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: **M<sub>w</sub> = 6,14**.

Dello stesso ordine di grandezza rispetto al valore registrato durante il sisma del 20 maggio 2012 (magnitudo momento M<sub>w</sub> = 6,0 – magnitudo locale M<sub>L</sub> = 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 rigidezza 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.

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max} \cdot \sigma_v \cdot rd}{G \cdot \sigma'_v}$$

*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* = 1-0.0015*z* 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 31.00 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'innescare 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.)*.

L'indice del potenziale di liquefazione è il parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel deposito e può essere così calcolato:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

dove  $20(15)$  è la profondità critica entro la quale si ritengono significativi gli effetti della liquefazione e  $w(z)$  è una funzione di pesi, linearmente decrescente con la profondità, che tiene conto della profondità dello strato liquefacibile, attribuendo peso maggiore agli strati più superficiali ed è data da:

$$w(z) = 10 - 0.5z$$

Ad una data quota  $z$ , il fattore  $F(z) = F$  vale:

$F = 1-FL$  se  $FL \leq 1.0$

$F = 0$  se  $FL > 1.0$

dove  $FL$  è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (CSR) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR). Cioè in pratica si ha:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}.$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1.25 secondo l'Eurocodice 8).

La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche e statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da indagine geofisica.

La grandezza CSR viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

$a_{\max}$	= accelerazione sismica massima;
$g$	= accelerazione di gravità = 980.7 cm/s <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 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)

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

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

2) *Liao & Whitman (1986)*

$$\begin{aligned} rd &= 1 - 0.00765h_{media} \text{ per } h_{media} \leq 9.15\text{m} \\ rd &= 1.174 - 0.0267h_{media} \text{ per } 9.15 < h_{media} \leq 23\text{m} \\ rd &= 0.774 - 0.008h_{media} \text{ per } 23 < h_{media} \leq 30\text{m} \\ rd &= 0.5 \text{ per } h_{media} > 30\text{m} \end{aligned}$$

3) *Blake (1996)*

$$\begin{aligned} rd &= \frac{\alpha}{\beta} \\ \alpha &= 1.0 - 0.4113\sqrt{h_{media}} + 0.04052h_{media} + 0.001753h_{media}^{1.5} \\ \beta &= 1.0 - 0.4177\sqrt{h_{media}} + 0.05729h_{media} - 0.00620h_{media}^{1.5} + 0.001210h_{media}^2 \end{aligned}$$

4) *Boulanger & Idriss (2004)*

$$\begin{aligned} rd &= \exp(\alpha + \beta) \\ \alpha &= -1.012 - 1.126\text{sen}\left(\frac{h_{media}}{11.73} + 5.133\right) \\ \beta &= M_w \left[ 0.106 + 0.118\text{sen}\left(\frac{h_{media}}{11.28}\right) + 5.142 \right] \end{aligned}$$

in cui  $M_w$  è la magnitudo momento del sisma di riferimento.

Nel metodo di Boulanger e Idriss per CPTU, quello usato nel presente rapporto, il parametro CRR viene calcolato con la seguente espressione:

$$CRR = \exp \left[ \frac{qc_{1ncs}}{540} + \sqrt{\frac{qc_{1ncs}}{67}} - \left( \frac{qc_{1ncs}}{80} \right)^3 + \left( \frac{qc_{1ncs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Il parametro  $qc_{1n}$  deve essere stimato in maniera iterativa. Si procede secondo il seguente schema:

1. Si stima inizialmente  $qc_{1n}$ , ponendo  $qc_{1n} = \frac{qc}{98.1}$ ;
2. Si calcola il fattore correttivo  $C_Q$  con la seguente espressione:  $C_Q = \left( \frac{98.1}{\sigma'} \right)^\alpha$   
dove  $\sigma'$  (kPa) = pressione litostatica verticale efficace e  
 $\alpha = 1.338 - 0.294 \times qc_{1n}^{0.264}$

3. Si ricalcola  $qc_{1n}$  con la relazione  $qc_{1n} = C_Q \frac{qc}{98.1}$
4. Si ripetono i passi 2 e 3 fino a quando la differenza fra valori di  $C_Q$  calcolati in due cicli successivi non è inferiore a un certo valore (per es. 0.001).

Se il valore di  $C_Q$  è maggiore di 1.7, si pone  $C_Q = 1.7$ .

La grandezza  $qc_{1ncs}$  si ottiene da  $qc_{1n}$ , introducendo una correzione  $K_c$  per la percentuale di fine presente correlata all'indice di tipo  $I_c$ , secondo il seguente schema:

$I_c \leq 1.64$	$K_c = 1.0$
$1.64 < I_c \leq 2.60$	$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.403I_c^4$
$1.64 < I_c \leq 2.36$ FF < 0.5	$K_c = 1.0$

$$qc_{1ncs} = K_c \times qc_{1n}$$

Una volta calcolato il valore dell'indice del potenziale di liquefazione per la verticale considerata, è possibile associare al sito corrispondente una classe di pericolosità, secondo le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

$$\begin{aligned}
 I_L = 0 & \text{ Non liquefacibile } (F_L \geq 1.2) \\
 0 < I_L \leq 2 & \text{ Potenziale basso} \\
 2 < I_L \leq 5 & \text{ Potenziale moderato} \\
 5 < I_L \leq 15 & \text{ Potenziale alto} \\
 15 < I_L & \text{ Potenziale molto alto}
 \end{aligned}$$

### ***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, riconfermata nella DGR 2193/2015 individua tale profondità in m. -20.00 dal p. c. Le verticali effettuate sul sito evidenziano la presenza di **terreni a matrice granulare potenzialmente liquefacibili, a partire da ca:**

- da m. -22,00 e fino alla profondità indagata di m. -31,00 in CPT1.

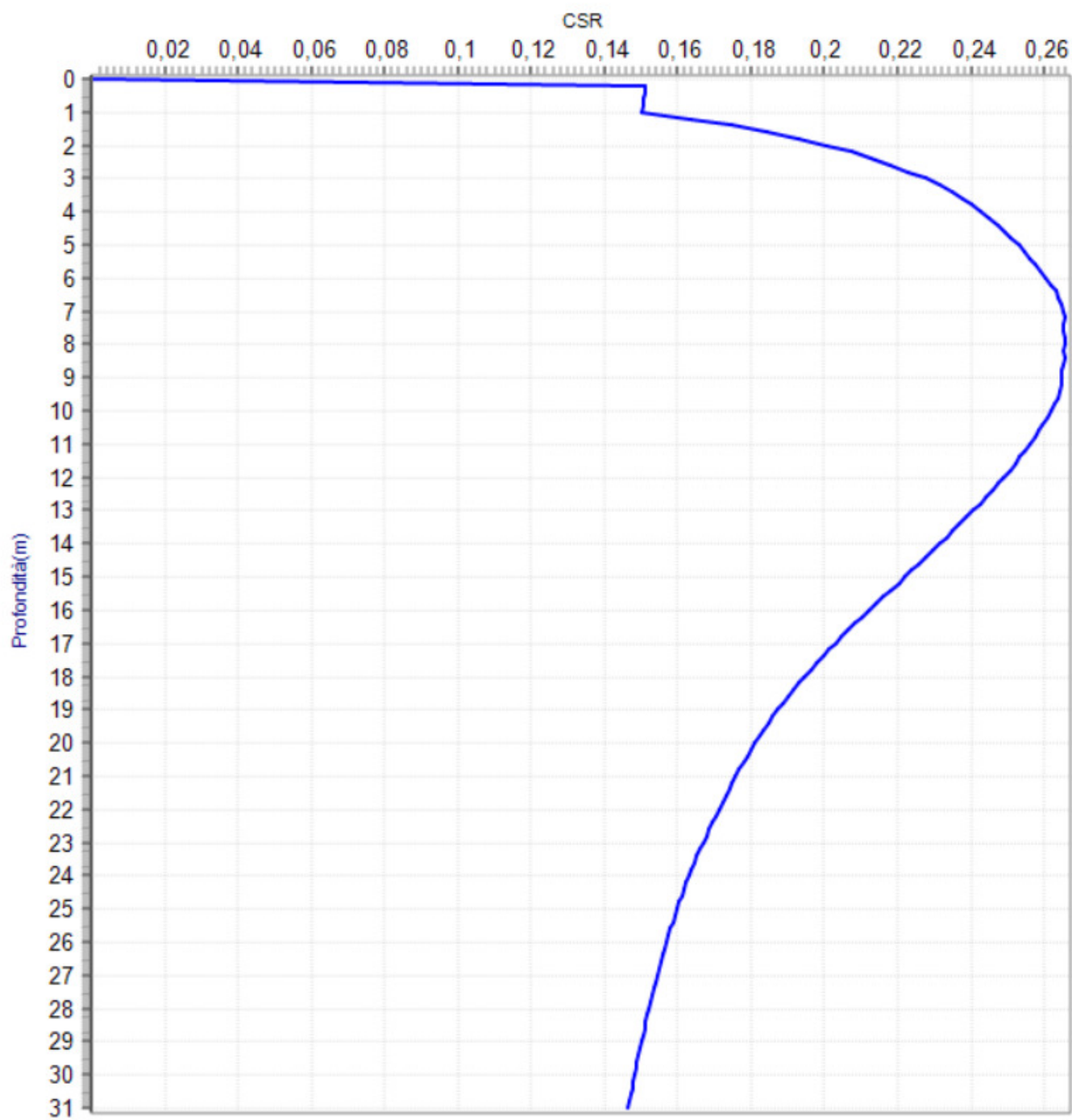
Da evidenziare che tali strati risulterebbero potenzialmente suscettibili a liquefazione in condizioni dinamiche.

Profilo CSR							
N.	da (m)	a (m)	Gamma(kN/mc)	sigma(kPa)	sigma(kPa)	rd	CSR
1	0,00	0,20	21,19	4,238	4,238	1,0	0,151
2	0,20	0,40	19,72	8,182	8,182	0,999	0,151
3	0,40	0,60	20,4	12,262	12,262	0,997	0,151
4	0,60	0,80	19,72	16,206	16,206	0,996	0,151
5	0,80	1,00	19,13	20,032	20,032	0,994	0,15
6	1,00	1,20	18,93	23,818	21,856	0,993	0,164
7	1,20	1,40	18,84	27,586	23,662	0,991	0,175
8	1,40	1,60	18,34	31,254	25,368	0,99	0,184
9	1,60	1,80	17,27	34,708	26,86	0,988	0,193
10	1,80	2,00	17,85	38,278	28,468	0,987	0,201
11	2,00	2,20	17,56	41,79	30,018	0,985	0,207
12	2,20	2,40	18,74	45,538	31,804	0,984	0,213
13	2,40	2,60	18,34	49,206	33,51	0,982	0,218
14	2,60	2,80	17,46	52,698	35,04	0,981	0,223
15	2,80	3,00	17,46	56,19	36,57	0,979	0,228
16	3,00	3,20	17,76	59,742	38,16	0,978	0,231
17	3,20	3,40	18,25	63,392	39,848	0,977	0,235
18	3,40	3,60	19,03	67,198	41,692	0,975	0,238
19	3,60	3,80	18,74	70,946	43,478	0,974	0,24
20	3,80	4,00	18,54	74,654	45,224	0,972	0,243
21	4,00	4,20	18,05	78,264	46,872	0,971	0,245
22	4,20	4,40	18,34	81,932	48,578	0,97	0,247
23	4,40	4,60	17,76	85,484	50,168	0,968	0,249
24	4,60	4,80	18,74	89,232	51,954	0,967	0,251
25	4,80	5,00	17,46	92,724	53,484	0,965	0,253
26	5,00	5,20	17,76	96,276	55,074	0,964	0,255
27	5,20	5,40	17,76	99,828	56,664	0,962	0,256
28	5,40	5,60	17,76	103,38	58,254	0,961	0,258
29	5,60	5,80	17,46	106,872	59,784	0,959	0,259
30	5,80	6,00	17,76	110,424	61,374	0,957	0,26
31	6,00	6,20	17,36	113,896	62,884	0,956	0,262
32	6,20	6,40	16,58	117,212	64,238	0,954	0,263
33	6,40	6,60	18,74	120,96	66,024	0,952	0,264
34	6,60	6,80	17,76	124,512	67,614	0,95	0,265
35	6,80	7,00	18,25	128,162	69,302	0,948	0,265
36	7,00	7,20	18,25	131,812	70,99	0,946	0,266
37	7,20	7,40	19,82	135,776	72,992	0,944	0,265
38	7,40	7,60	19,52	139,68	74,934	0,942	0,265
39	7,60	7,80	17,95	143,27	76,562	0,939	0,266
40	7,80	8,00	19,33	147,136	78,466	0,937	0,266
41	8,00	8,20	19,13	150,962	80,33	0,934	0,265
42	8,20	8,40	17,95	154,552	81,958	0,931	0,266
43	8,40	8,60	18,44	158,24	83,684	0,928	0,265
44	8,60	8,80	19,52	162,144	85,626	0,925	0,265
45	8,80	9,00	17,85	165,714	87,234	0,922	0,265
46	9,00	9,20	18,34	169,382	88,94	0,919	0,265
47	9,20	9,40	18,64	173,11	90,706	0,915	0,264
48	9,40	9,60	18,84	176,878	92,512	0,912	0,264
49	9,60	9,80	19,72	180,822	94,494	0,908	0,263
50	9,80	10,00	19,91	184,804	96,514	0,904	0,262
51	10,00	10,20	19,91	188,786	98,534	0,9	0,261
52	10,20	10,40	19,72	192,73	100,516	0,896	0,26
53	10,40	10,60	19,91	196,712	102,536	0,891	0,259
CAMPANINI							

N.	da (m)	a (m)	Gamma(kN/mc)	sigma(kPa)	sigma(kPa)	rd	CSR
54	10,60	10,80	19,72	200,656	104,518	0,887	0,257
55	10,80	11,00	19,82	204,62	106,52	0,882	0,256
56	11,00	11,20	19,91	208,602	108,54	0,877	0,255
57	11,20	11,40	19,82	212,566	110,542	0,872	0,253
58	11,40	11,60	19,52	216,47	112,484	0,866	0,252
59	11,60	11,80	19,91	220,452	114,504	0,861	0,251
60	11,80	12,00	19,91	224,434	116,524	0,855	0,249
61	12,00	12,20	20,01	228,436	118,564	0,85	0,247
62	12,20	12,40	20,11	232,458	120,624	0,844	0,246
63	12,40	12,60	20,5	236,558	122,762	0,838	0,244
64	12,60	12,80	19,52	240,462	124,704	0,832	0,242
65	12,80	13,00	20,31	244,524	126,804	0,825	0,241
66	13,00	13,20	20,4	248,604	128,922	0,819	0,239
67	13,20	13,40	20,31	252,666	131,022	0,813	0,237
68	13,40	13,60	20,01	256,668	133,062	0,806	0,235
69	13,60	13,80	19,72	260,612	135,044	0,8	0,233
70	13,80	14,00	19,42	264,496	136,966	0,793	0,231
71	14,00	14,20	20,4	268,576	139,084	0,786	0,23
72	14,20	14,40	20,21	272,618	141,164	0,779	0,228
73	14,40	14,60	20,21	276,66	143,244	0,773	0,226
74	14,60	14,80	20,11	280,682	145,304	0,766	0,224
75	14,80	15,00	18,54	284,39	147,05	0,759	0,222
76	15,00	15,20	19,03	288,196	148,894	0,753	0,22
77	15,20	15,40	20,99	292,394	151,13	0,746	0,218
78	15,40	15,60	20,7	296,534	153,308	0,739	0,216
79	15,60	15,80	19,03	300,34	155,152	0,733	0,214
80	15,80	16,00	20,8	304,5	157,35	0,726	0,212
81	16,00	16,20	20,5	308,6	159,488	0,72	0,211
82	16,20	16,40	20,99	312,798	161,724	0,713	0,209
83	16,40	16,60	20,7	316,938	163,902	0,707	0,207
84	16,60	16,80	20,8	321,098	166,1	0,701	0,205
85	16,80	17,00	20,31	325,16	168,2	0,695	0,203
86	17,00	17,20	20,11	329,182	170,26	0,689	0,201
87	17,20	17,40	20,01	333,184	172,3	0,683	0,2
88	17,40	17,60	20,21	337,226	174,38	0,677	0,198
89	17,60	17,80	19,82	341,19	176,382	0,671	0,196
90	17,80	18,00	20,01	345,192	178,422	0,666	0,195
91	18,00	18,20	19,82	349,156	180,424	0,66	0,193
92	18,20	18,40	19,62	353,08	182,386	0,655	0,192
93	18,40	18,60	19,72	357,024	184,368	0,65	0,19
94	18,60	18,80	19,82	360,988	186,37	0,645	0,189
95	18,80	19,00	20,01	364,99	188,41	0,64	0,187
96	19,00	19,20	19,42	368,874	190,332	0,635	0,186
97	19,20	19,40	19,13	372,7	192,196	0,63	0,185
98	19,40	19,60	19,03	376,506	194,04	0,625	0,183
99	19,60	19,80	19,13	380,332	195,904	0,621	0,182
100	19,80	20,00	19,13	384,158	197,768	0,617	0,181
101	20,00	20,20	18,64	387,886	199,534	0,612	0,18
102	20,20	20,40	18,64	391,614	201,3	0,608	0,179
103	20,40	20,60	18,84	395,382	203,106	0,604	0,178
104	20,60	20,80	18,44	399,07	204,832	0,6	0,177
105	20,80	21,00	18,64	402,798	206,598	0,597	0,176
106	21,00	21,20	18,34	406,466	208,304	0,593	0,175
107	21,20	21,40	18,64	410,194	210,07	0,59	0,174
108	21,40	21,60	18,84	413,962	211,876	0,586	0,173
CAMPANINI							



N.	da (m)	a (m)	Gamma(kN/mc)	sigma(kPa)	sigma(kPa)	rd	CSR
109	21,60	21,80	19,42	417,846	213,798	0,583	0,172
110	21,80	22,00	21,19	422,084	216,074	0,579	0,171
111	22,00	22,20	19,23	425,93	217,958	0,576	0,17
112	22,20	22,40	19,03	429,736	219,802	0,573	0,169
113	22,40	22,60	20,21	433,778	221,882	0,57	0,169
114	22,60	22,80	19,03	437,584	223,726	0,567	0,168
115	22,80	23,00	19,03	441,39	225,57	0,565	0,167
116	23,00	23,20	20,7	445,53	227,748	0,562	0,166
117	23,20	23,40	21,29	449,788	230,044	0,559	0,165
118	23,40	23,60	19,72	453,732	232,026	0,557	0,165
119	23,60	23,80	19,62	457,656	233,988	0,554	0,164
120	23,80	24,00	19,91	461,638	236,008	0,552	0,163
121	24,00	24,20	19,72	465,582	237,99	0,549	0,162
122	24,20	24,40	19,91	469,564	240,01	0,547	0,162
123	24,40	24,60	19,72	473,508	241,992	0,545	0,161
124	24,60	24,80	19,82	477,472	243,994	0,543	0,161
125	24,80	25,00	19,91	481,454	246,014	0,54	0,16
126	25,00	25,20	19,91	485,436	248,034	0,538	0,159
127	25,20	25,40	20,11	489,458	250,094	0,536	0,159
128	25,40	25,60	20,01	493,46	252,134	0,534	0,158
129	25,60	25,80	20,01	497,462	254,174	0,532	0,158
130	25,80	26,00	19,62	501,386	256,136	0,531	0,157
131	26,00	26,20	19,52	505,29	258,078	0,529	0,157
132	26,20	26,40	20,01	509,292	260,118	0,527	0,156
133	26,40	26,60	20,11	513,314	262,178	0,525	0,155
134	26,60	26,80	20,21	517,356	264,258	0,523	0,155
135	26,80	27,00	20,01	521,358	266,298	0,522	0,154
136	27,00	27,20	19,82	525,322	268,3	0,52	0,154
137	27,20	27,40	19,72	529,266	270,282	0,519	0,154
138	27,40	27,60	20,21	533,308	272,362	0,517	0,153
139	27,60	27,80	20,11	537,33	274,422	0,516	0,153
140	27,80	28,00	20,11	541,352	276,482	0,514	0,152
141	28,00	28,20	19,82	545,316	278,484	0,513	0,152
142	28,20	28,40	19,72	549,26	280,466	0,511	0,151
143	28,40	28,60	19,62	553,184	282,428	0,51	0,151
144	28,60	28,80	19,62	557,108	284,39	0,508	0,151
145	28,80	29,00	19,33	560,974	286,294	0,507	0,15
146	29,00	29,20	21,19	565,212	288,57	0,506	0,15
147	29,20	29,40	20,99	569,41	290,806	0,504	0,149
148	29,40	29,60	19,03	573,216	292,65	0,503	0,149
149	29,60	29,80	19,42	577,1	294,572	0,502	0,149
150	29,80	30,00	19,82	581,064	296,574	0,501	0,148
151	30,00	30,20	19,91	585,046	298,594	0,499	0,148
152	30,20	30,40	19,91	589,028	300,614	0,498	0,148
153	30,40	30,60	20,11	593,05	302,674	0,497	0,147
154	30,60	30,80	19,91	597,032	304,694	0,496	0,147
155	30,80	31,00	20,01	601,034	306,734	0,495	0,147



Profilo CRR da CPT									
N.	da (m)	a (m)	qc(qt)(MPa)	fs(kPa)	Gamma(kN/mc	CSR	CRR	Fs	Ic
1	0,00	0,20	2,94	71,61	21,19	0,151			
2	0,20	0,40	2,06	85,35	19,72	0,151			
3	0,40	0,60	2,16	46,11	20,40	0,151			
4	0,60	0,80	2,06	46,11	19,72	0,151			
5	0,80	1,00	1,86	51,99	19,13	0,15			
6	1,00	1,20	1,96	58,86	18,93	0,164	0,145	0,882	2,5
7	1,20	1,40	2,06	51,99	18,84	0,175	0,146	0,837	2,45
8	1,40	1,60	0,98	39,24	18,34	0,184			
9	1,60	1,80	1,08	19,62	17,27	0,193	0,121	0,627	2,6
10	1,80	2,00	0,78	32,37	17,85	0,201			
11	2,00	2,20	0,69	26,49	17,56	0,207			
12	2,20	2,40	0,98	26,49	18,74	0,213			
13	2,40	2,60	0,98	58,86	18,34	0,218			
14	2,60	2,80	0,78	26,49	17,46	0,223			
15	2,80	3,00	0,69	46,11	17,46	0,228			
16	3,00	3,20	0,78	32,37	17,76	0,231			
17	3,20	3,40	1,08	39,24	18,25	0,235			
18	3,40	3,60	0,98	26,49	19,03	0,238			
19	3,60	3,80	1,18	65,73	18,74	0,24			
20	3,80	4,00	1,08	46,11	18,54	0,243			
21	4,00	4,20	0,88	46,11	18,05	0,245			
22	4,20	4,40	0,98	51,99	18,34	0,247			
23	4,40	4,60	0,78	51,99	17,76	0,249			
24	4,60	4,80	1,18	51,99	18,74	0,251			
25	4,80	5,00	0,69	46,11	17,46	0,253			
26	5,00	5,20	0,78	58,86	17,76	0,255			
27	5,20	5,40	0,78	58,86	17,76	0,256			
28	5,40	5,60	0,78	51,99	17,76	0,258			
29	5,60	5,80	0,69	51,99	17,46	0,259			
30	5,80	6,00	0,78	39,24	17,76	0,26			
31	6,00	6,20	0,69	26,49	17,36	0,262			
32	6,20	6,40	0,49	65,73	16,58	0,263			
33	6,40	6,60	1,18	78,48	18,74	0,264			
34	6,60	6,80	0,78	51,99	17,76	0,265			
35	6,80	7,00	0,98	71,61	18,25	0,265			
36	7,00	7,20	0,98	58,86	18,25	0,266			
37	7,20	7,40	2,26	91,23	19,82	0,265			
38	7,40	7,60	1,67	85,35	19,52	0,265			
39	7,60	7,80	0,88	65,73	17,95	0,266			
40	7,80	8,00	1,77	58,86	19,33	0,266			
41	8,00	8,20	1,96	58,86	19,13	0,265			
42	8,20	8,40	0,88	51,99	17,95	0,266			
43	8,40	8,60	1,08	71,61	18,44	0,265			
44	8,60	8,80	1,96	78,48	19,52	0,265			
45	8,80	9,00	0,98	32,37	17,85	0,265			
46	9,00	9,20	1,18	39,24	18,34	0,265			
47	9,20	9,40	1,18	65,73	18,64	0,264			
48	9,40	9,60	1,28	71,61	18,84	0,264			
49	9,60	9,80	1,86	98,10	19,72	0,263			
50	9,80	10,00	2,06	104,97	19,91	0,262			
51	10,00	10,20	2,35	98,10	19,91	0,261			
52	10,20	10,40	2,16	78,48	19,72	0,26			
53	10,40	10,60	2,35	98,10	19,91	0,259			
CAMPANINI									

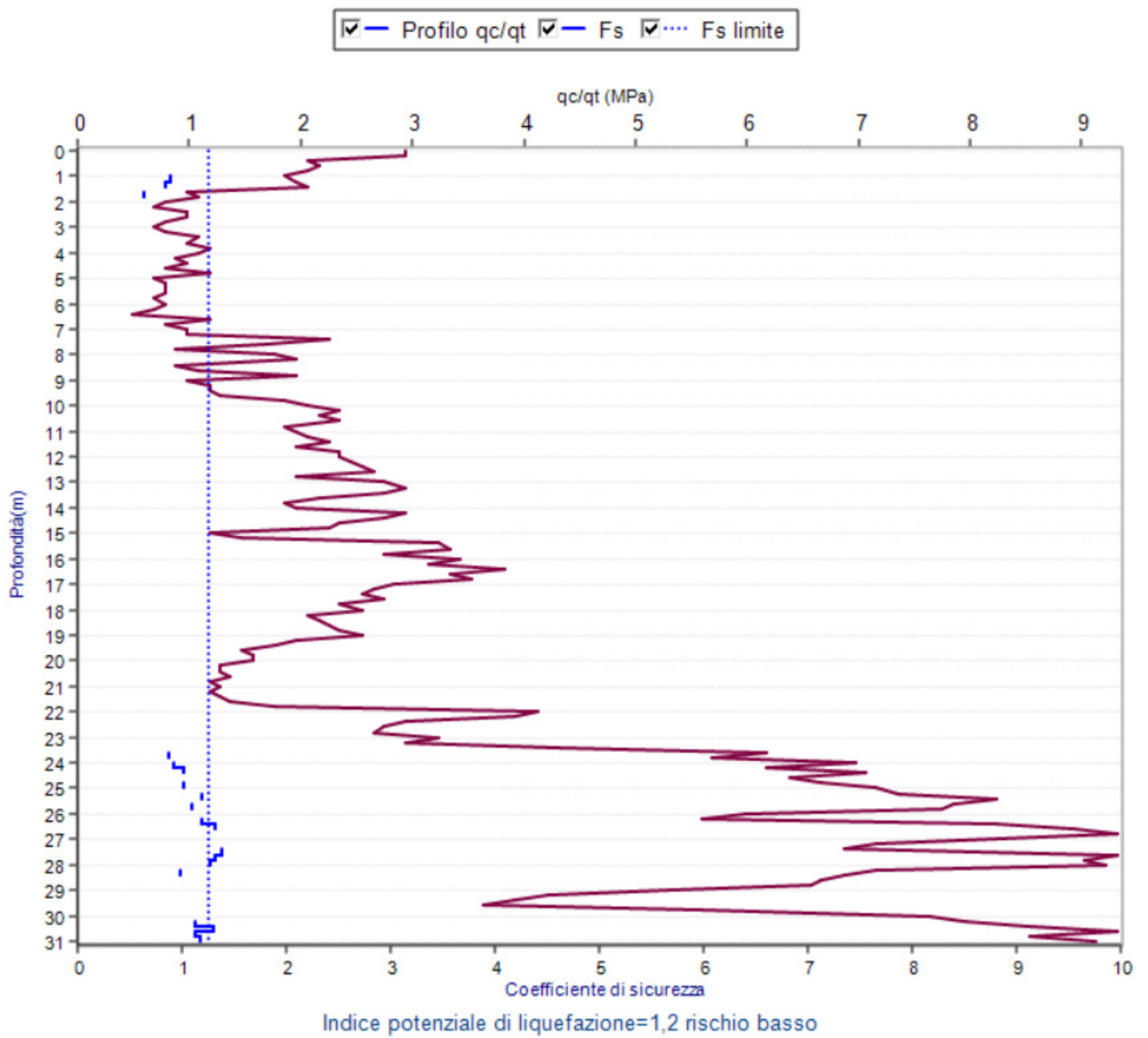
N.	da (m)	a (m)	qc(qt)(MPa)	fs(kPa)	Gamma(kN/mc	CSR	CRR	Fs	Ic
54	10,60	10,80	1,86	104,97	19,72	0,257			
55	10,80	11,00	1,96	117,72	19,82	0,256			
56	11,00	11,20	2,06	110,85	19,91	0,255			
57	11,20	11,40	2,26	104,97	19,82	0,253			
58	11,40	11,60	1,96	85,35	19,52	0,252			
59	11,60	11,80	2,35	98,10	19,91	0,251			
60	11,80	12,00	2,35	91,23	19,91	0,249			
61	12,00	12,20	2,45	91,23	20,01	0,247			
62	12,20	12,40	2,55	85,35	20,11	0,246			
63	12,40	12,60	2,65	144,21	20,50	0,244			
64	12,60	12,80	1,96	91,23	19,52	0,242			
65	12,80	13,00	2,75	98,10	20,31	0,241			
66	13,00	13,20	2,94	110,85	20,40	0,239			
67	13,20	13,40	2,75	117,72	20,31	0,237			
68	13,40	13,60	2,16	104,97	20,01	0,235			
69	13,60	13,80	1,86	98,10	19,72	0,233			
70	13,80	14,00	1,96	85,35	19,42	0,231			
71	14,00	14,20	2,94	117,72	20,40	0,23			
72	14,20	14,40	2,75	117,72	20,21	0,228			
73	14,40	14,60	2,35	124,59	20,21	0,226			
74	14,60	14,80	2,26	117,72	20,11	0,224			
75	14,80	15,00	1,18	104,97	18,54	0,222			
76	15,00	15,20	1,47	110,85	19,03	0,22			
77	15,20	15,40	3,24	242,31	20,99	0,218			
78	15,40	15,60	3,34	144,21	20,70	0,216			
79	15,60	15,80	2,75	65,73	19,03	0,214			
80	15,80	16,00	3,43	169,71	20,80	0,212			
81	16,00	16,20	3,14	150,09	20,50	0,211			
82	16,20	16,40	3,83	189,33	20,99	0,209			
83	16,40	16,60	3,34	144,21	20,70	0,207			
84	16,60	16,80	3,53	150,09	20,80	0,205			
85	16,80	17,00	2,84	137,34	20,31	0,203			
86	17,00	17,20	2,65	130,47	20,11	0,201			
87	17,20	17,40	2,55	104,97	20,01	0,2			
88	17,40	17,60	2,75	104,97	20,21	0,198			
89	17,60	17,80	2,35	104,97	19,82	0,196			
90	17,80	18,00	2,55	117,72	20,01	0,195			
91	18,00	18,20	2,06	117,72	19,82	0,193			
92	18,20	18,40	2,16	91,23	19,62	0,192			
93	18,40	18,60	2,26	91,23	19,72	0,19			
94	18,60	18,80	2,35	91,23	19,82	0,189			
95	18,80	19,00	2,55	91,23	20,01	0,187			
96	19,00	19,20	1,96	65,73	19,42	0,186			
97	19,20	19,40	1,77	58,86	19,13	0,185			
98	19,40	19,60	1,47	65,73	19,03	0,183			
99	19,60	19,80	1,57	110,85	19,13	0,182			
100	19,80	20,00	1,57	91,23	19,13	0,181			
101	20,00	20,20	1,28	71,61	18,64	0,18			
102	20,20	20,40	1,28	78,48	18,64	0,179			
103	20,40	20,60	1,37	78,48	18,84	0,178			
104	20,60	20,80	1,18	71,61	18,44	0,177			
105	20,80	21,00	1,28	85,35	18,64	0,176			
106	21,00	21,20	1,18	51,99	18,34	0,175			
107	21,20	21,40	1,28	65,73	18,64	0,174			
108	21,40	21,60	1,37	78,48	18,84	0,173			
CAMPANINI									

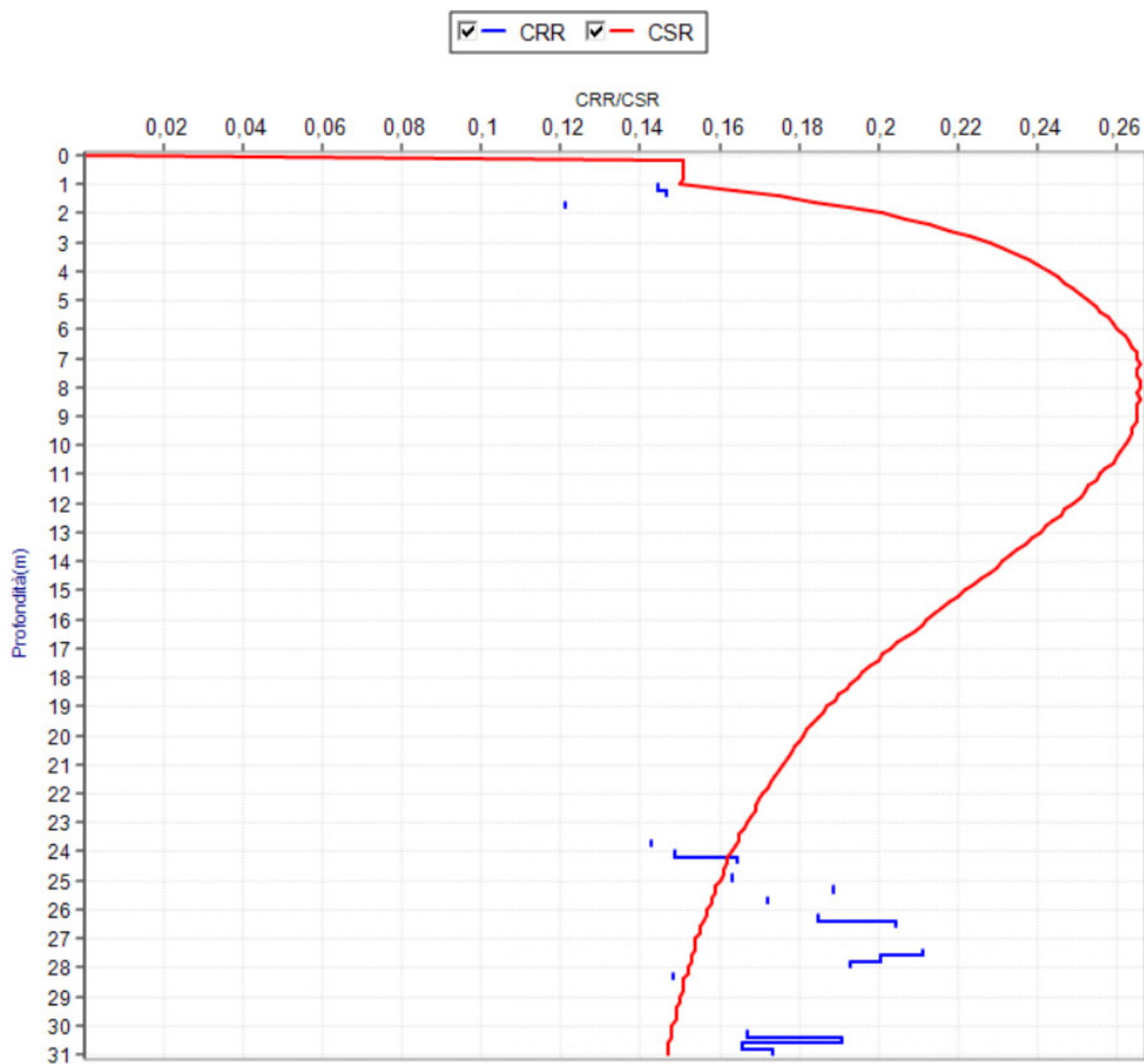


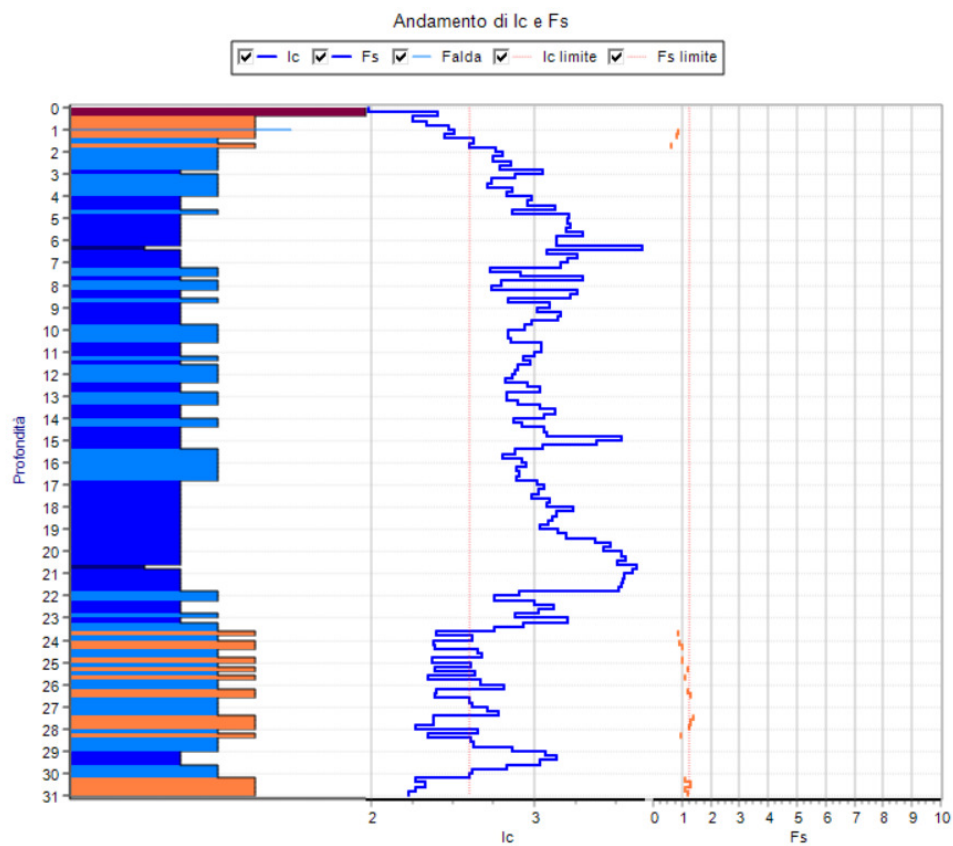
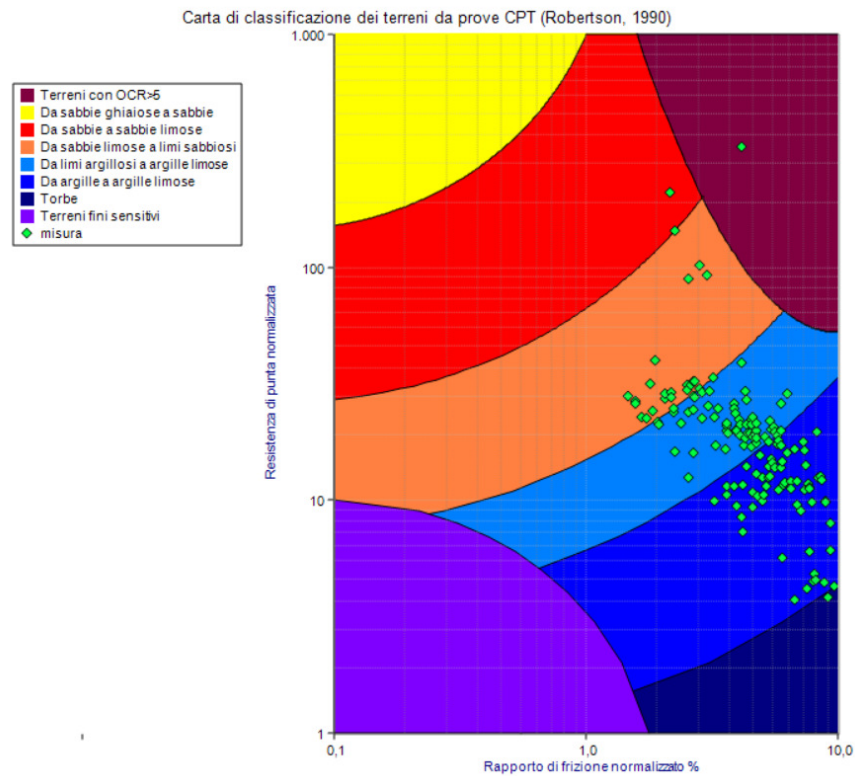
N.	da (m)	a (m)	qc(qt)(MPa)	fs(kPa)	Gamma(kN/mc	CSR	CRR	Fs	Ic
109	21,60	21,80	1,77	156,96	19,42	0,172			
110	21,80	22,00	4,12	156,96	21,19	0,171			
111	22,00	22,20	3,92	78,48	19,23	0,17			
112	22,20	22,40	2,94	91,23	19,03	0,169			
113	22,40	22,60	2,75	117,72	20,21	0,169			
114	22,60	22,80	2,65	71,61	19,03	0,168			
115	22,80	23,00	3,24	71,61	19,03	0,167			
116	23,00	23,20	2,94	183,45	20,70	0,166			
117	23,20	23,40	4,32	176,58	21,29	0,165			
118	23,40	23,60	6,18	222,69	19,72	0,165			
119	23,60	23,80	5,69	91,23	19,62	0,164	0,143	0,87	2,39
120	23,80	24,00	6,97	176,58	19,91	0,163			
121	24,00	24,20	6,18	104,97	19,72	0,162	0,149	0,918	2,38
122	24,20	24,40	7,06	144,21	19,91	0,162	0,164	1,014	2,39
123	24,40	24,60	6,38	156,96	19,72	0,161			
124	24,60	24,80	6,67	189,33	19,82	0,161			
125	24,80	25,00	7,16	137,34	19,91	0,16	0,163	1,021	2,37
126	25,00	25,20	7,36	183,45	19,91	0,159			
127	25,20	25,40	8,24	196,20	20,11	0,159	0,189	1,188	2,39
128	25,40	25,60	7,85	228,57	20,01	0,158			
129	25,60	25,80	7,75	150,09	20,01	0,158	0,172	1,088	2,35
130	25,80	26,00	5,98	130,47	19,62	0,157			
131	26,00	26,20	5,59	183,45	19,52	0,157			
132	26,20	26,40	8,24	196,20	20,01	0,156	0,185	1,185	2,39
133	26,40	26,60	8,93	228,57	20,11	0,155	0,204	1,319	2,39
134	26,60	26,80	9,32	281,55	20,21	0,155			
135	26,80	27,00	8,24	222,69	20,01	0,154			
136	27,00	27,20	7,16	222,69	19,82	0,154			
137	27,20	27,40	6,87	248,19	19,72	0,154			
138	27,40	27,60	9,32	235,44	20,21	0,153	0,211	1,379	2,38
139	27,60	27,80	9,03	222,69	20,11	0,153	0,2	1,31	2,38
140	27,80	28,00	9,22	156,96	20,11	0,152	0,193	1,268	2,27
141	28,00	28,20	7,16	169,71	19,82	0,152			
142	28,20	28,40	6,87	104,97	19,72	0,151	0,148	0,982	2,35
143	28,40	28,60	6,67	117,72	19,62	0,151			
144	28,60	28,80	6,57	117,72	19,62	0,151			
145	28,80	29,00	5,30	169,71	19,33	0,15			
146	29,00	29,20	4,22	196,20	21,19	0,15			
147	29,20	29,40	3,92	203,07	20,99	0,149			
148	29,40	29,60	3,63	110,85	19,03	0,149			
149	29,60	29,80	5,59	163,83	19,42	0,149			
150	29,80	30,00	7,65	156,96	19,82	0,148			
151	30,00	30,20	7,95	163,83	19,91	0,148			
152	30,20	30,40	8,53	124,59	19,91	0,148	0,167	1,128	2,27
153	30,40	30,60	9,32	189,33	20,11	0,147	0,191	1,299	2,33
154	30,60	30,80	8,53	124,59	19,91	0,147	0,166	1,129	2,27
155	30,80	31,00	9,12	124,59	20,01	0,147	0,174	1,18	2,23

CAMPANINI









Al termine delle singole prove è stato misurato un livello della falda freatica compreso tra m. -2.18 e m. -2.37 dall'attuale p.c. 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 Potenziale di Liquefazione pari a 1,2** (*Potenziale basso - Delib. Della Giunta Regionale 21 Dicembre 2015, n. 2193*), e rapportata ad una **magnitudo di riferimento pari a 6,14**, magnitudo di riferimento come stabilito dalla ZS 912 (si veda tavole allegate), ag max pari a 0,2326 g e falda superficiale posta a m. -1,00 dall'attuale p.c..

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<sub>max</sub>** attesa al suolo per il sito d'indagine.

*Nel diagramma sono riportate delle curve limite, diverse in funzione della **ag<sub>max</sub>** 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.*

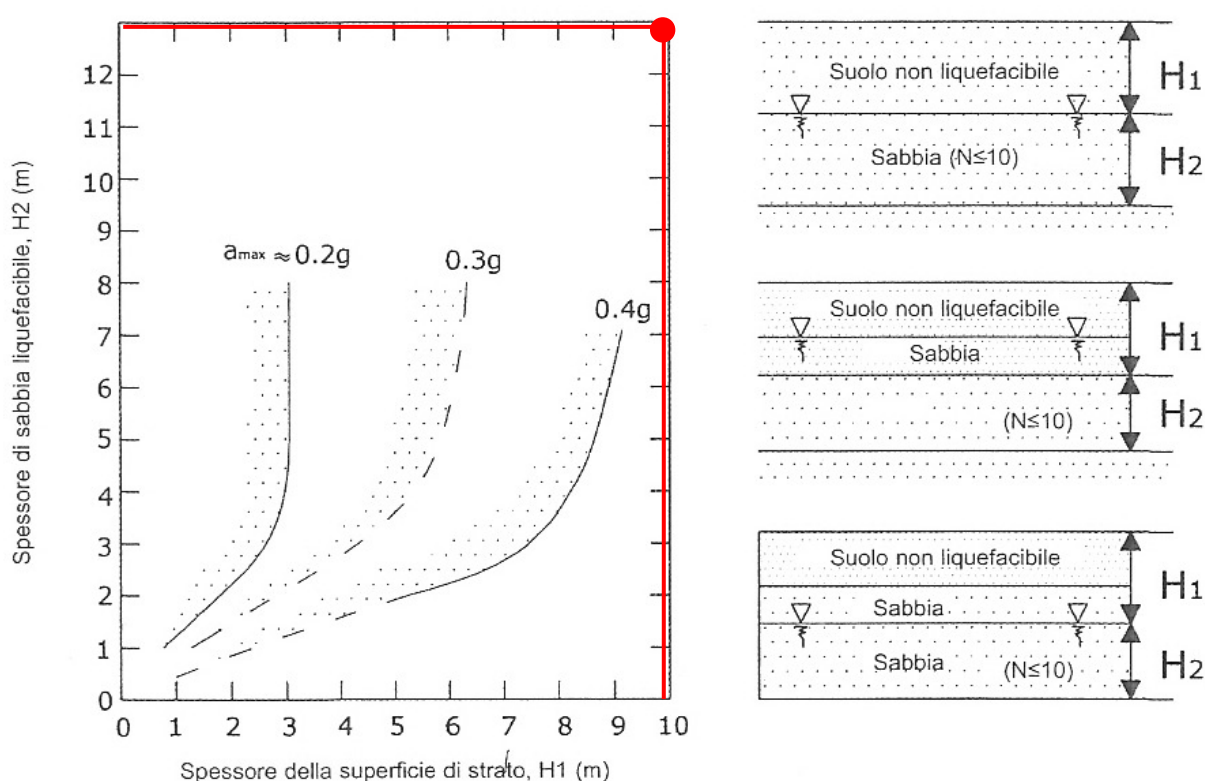
Nel nostro caso i dati rilevati per il sito sono:

- spessore **H1** dello strato non liquefacibile sovrastante: 22,00 metri;
- spessore **H2** dello strato liquefacibile: 10 metri;

- l'accelerazione massima **ag<sub>max</sub>** attesa al suolo per il sito d'indagine: 0.2326 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  $a_{g_{max}} > a$  circa 0.30 g; tale dato non risulta atteso per il sito d'indagine.

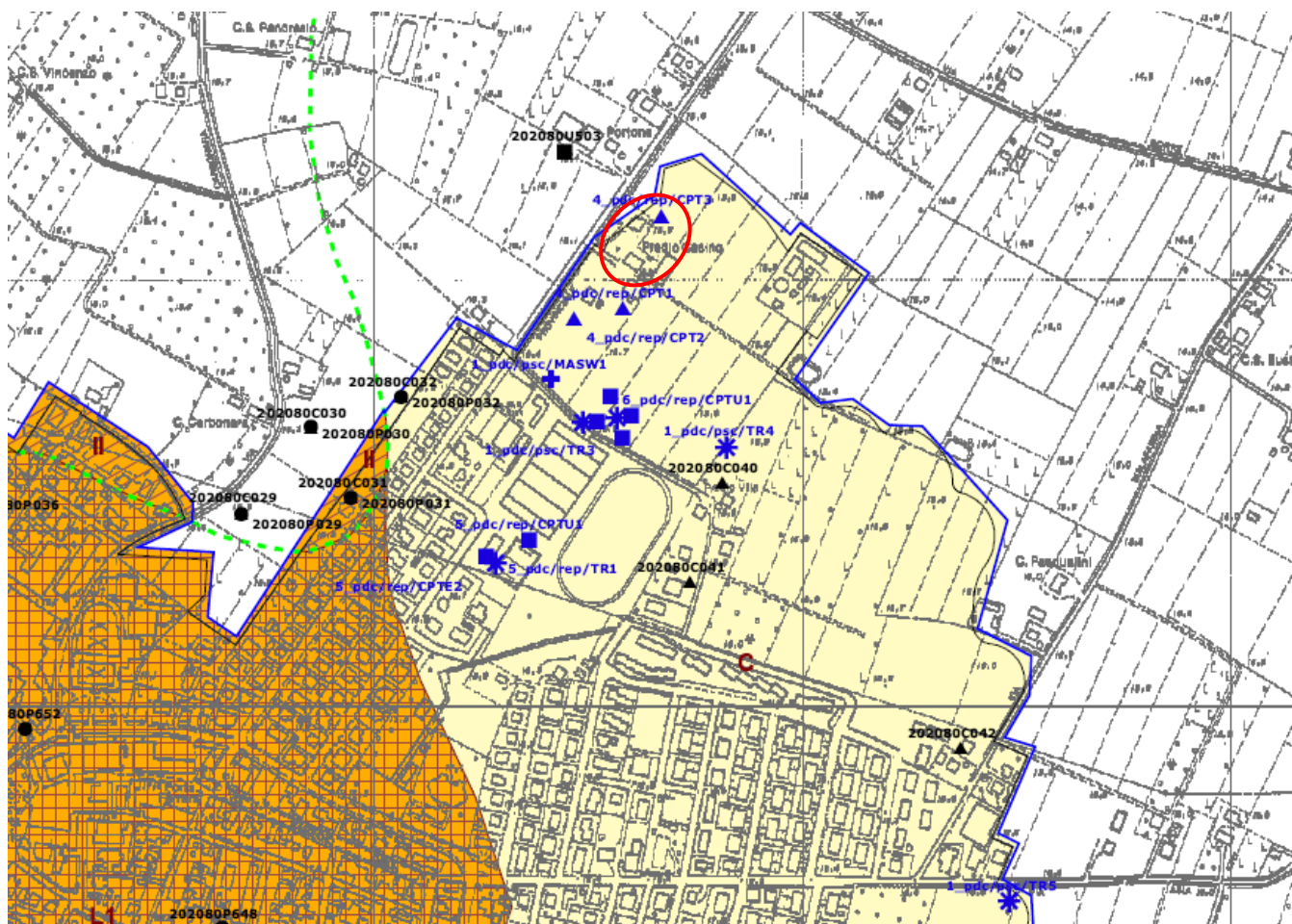
Nel grafico sottostante relazione fra lo spessore dello strato liquefacibile e lo spessore dello strato sovrapposto (Ishihara, 1985).



Alle pagg. seguenti stralci delle Tavv. riguardanti “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica” come previsto dalla LR 20/2000 e DGR. n. 2193/2015. Lo studio è risultato specifico per i i Comuni dell’Unione Reno-Galliera.

Queste evidenziano come l’area oggetto dello studio sia soggetta solamente all’analisi semplificata di secondo livello e sia identificata nel contesto “Pianura 2”





Stralcio TAV. 1 - Carta della pericolosità sismica: Tavola comunale delle aree suscettibili di effetti locali – scala 1: 5.000 – Aggiornamento Ottobre 2013

○ Area oggetto del presente studio

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

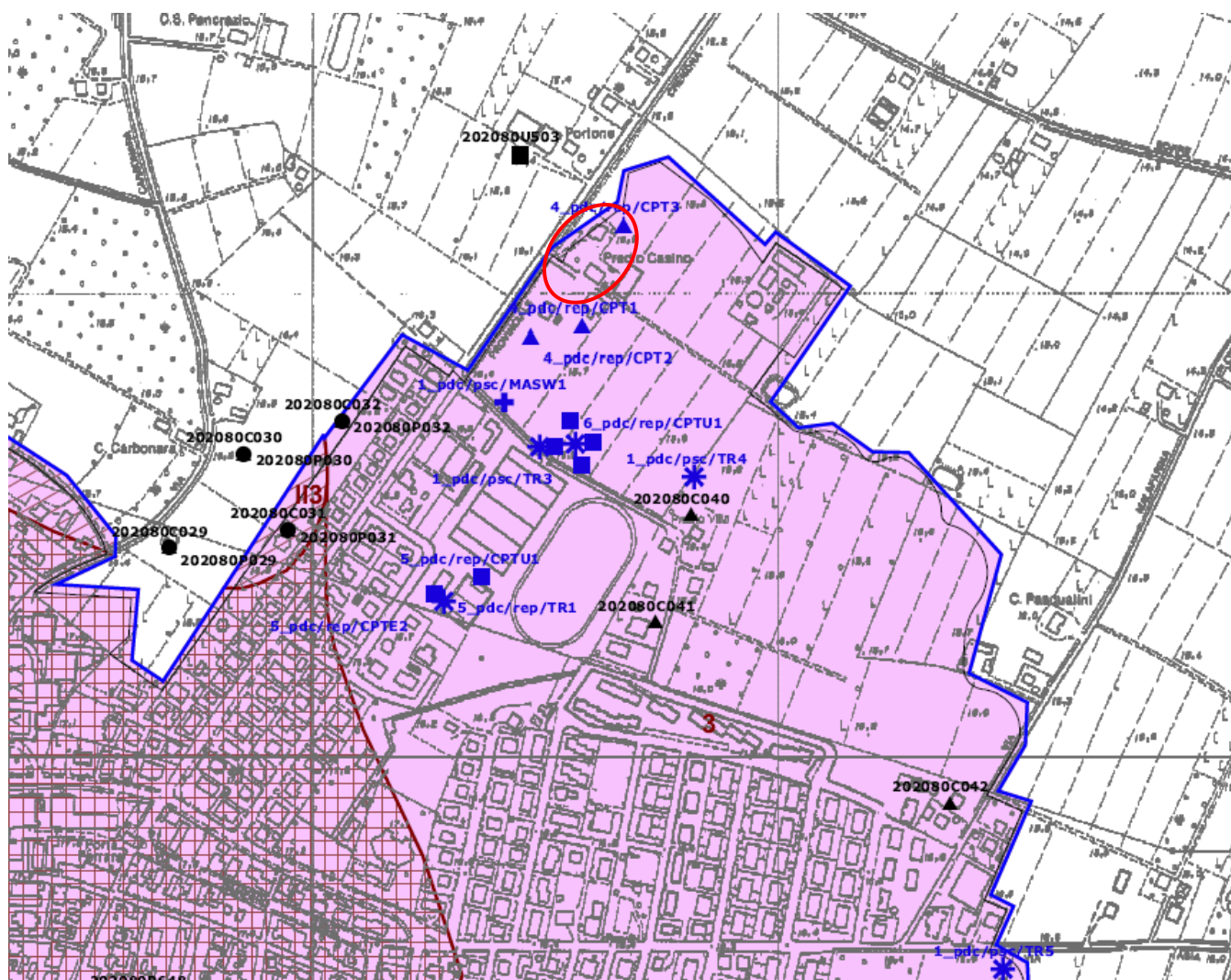


Aree che necessitano dell'analisi semplificata (secondo livello)

**APPROFONDIMENTI SULLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI:  
AREE OMOGENEE DI PERICOLOSITA' SISMICA**



C = POSSIBILITA' DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E DI CEDIMENTI POST SISMA  
[equivalente a C (PTCP) = Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche  
e a potenziali cedimenti]



Stralcio TAV. 2 - Carta della Microzonazione sismica semplificata – scala 1: 5.000 –  
Aggiornamento Ottobre 2013

○ Area oggetto del presente studio

#### MICROZONAZIONE SEMPLIFICATA: ZONE OMOGENEE



CONTESTO= "PIANURA 2" [VS30 = 200 m/s]  
AMPLIFICAZIONE = FA (Pga) = 1.5  
FA SI (0.1s-0.5s) = 1.8  
FA SI (0.5s-1s) = 2.5  
LIQUEFAZIONE = NON RISCONTRATA

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (secondo livello di approfondimento) - 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 ALL. A2.

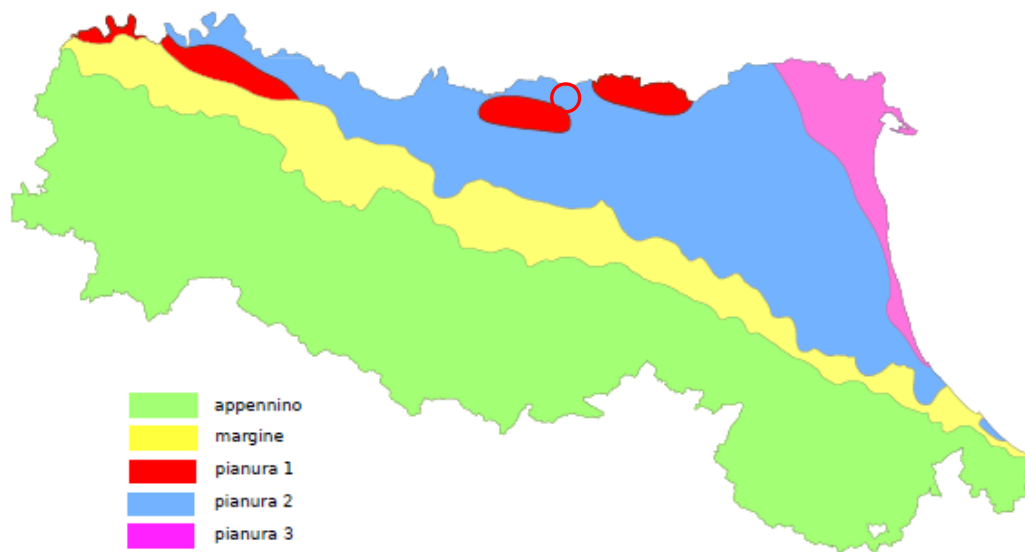
**Contesto riscontrato: “Pianura 2”**

*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)*

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

$V_{s30}(m=s) \rightarrow$	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 202 m/s, si hanno  $F_{PGA} = 1.5$ ;  $F.A. SI1 = 1.8$ ;  $F.A. SI2 = 2.4$ ;  $F.A. SI3 = 2.5$ .



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

## **9) SPETTRO DI RISPOSTA – CEDIMENTI POST SISMICI**

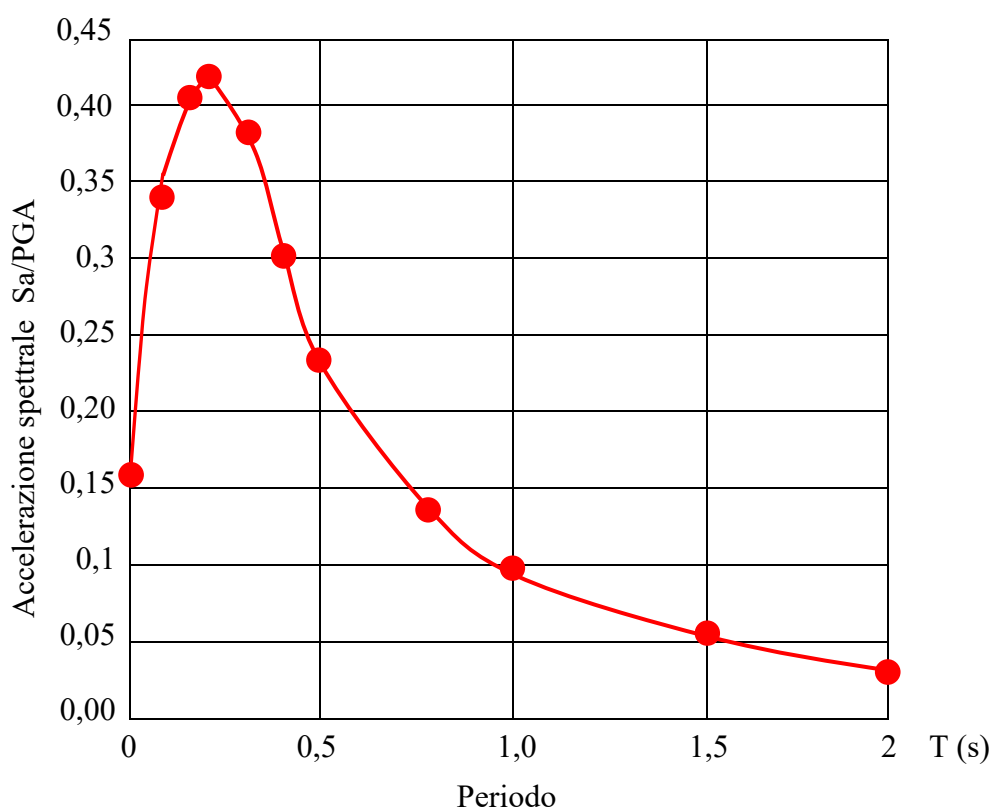
L'area oggetto di studio risulta costituita nel primo sottosuolo da terreni che potrebbero essere soggetti a potenziale liquefazione (se saturi) e a densificazione. Tale livello di analisi è quindi finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale.

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. 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 quest'ultima deliberazione è possibile ricavare 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 0,158.

<b>T (s)</b>	<b>Sa/PGA</b>
0.00000	0.15800
0.10000	0.34918
0.15000	0.41467
0.20000	0.42234
0.30000	0.38212
0.40000	0.30836
0.50000	0.23929
0.75000	0.14583
1.00000	0.10111
1.50000	0.05737
2.00000	0.03915

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





Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento 5%) per il comune di PIEVE DI CENTO

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

#### **a) terreni coesivi**

Per quanto riguarda i **depositi coesivi**, la stima dei cedimenti è stata eseguita come indicato DGR 2193/2015 – All. A3 - B3. *Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi soffici*

L'equazione usata per il calcolo dei cedimenti post-sismici è la seguente (Yasuhara e Andersen, 1991):

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

dove:

- $C_r$  è l'indice di ricompressione, che si assume pari all'indice di rigonfiamento  $C_s$ , determinabile con prova edometrica, pari a 0,036;
- $\alpha = 1.5$  è un coefficiente empirico che tiene conto della particolare storia di carico ciclico;

$e_0$  è l'indice dei vuoti naturale in sito dell'argilla, pari a 0.763;  
 $\frac{\Delta u}{p'_0} = r_u$  è il rapporto fra l'incremento di pressione interstiziale indotta dallo scuotimento sismico e la tensione media efficace iniziale;

Per la stima del rapporto di sovrappressione interstiziale può essere utilizzata la seguente relazione empirica (Matsui et al., 1980):

$$r_u = \frac{\Delta u}{p'_0} = \beta \cdot \left[ \log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} \right] \quad \text{in cui}$$

$\beta \cong 0.45$  è un coefficiente sperimentale,  
 $\gamma_{\max}$  è la deformazione di taglio massima in semplice ampiezza indotta dal terremoto, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{\max} = \frac{a_{\max}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

$G$  è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo  $\gamma_{\max}$ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidità iniziale  $G_0 (= \rho \cdot V_s^2)$ , utilizzando la legge di variazione  $G(\gamma)/G_0$  ottenuta con prove dinamiche di laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili (si veda ad es. Figura 4 da AGI (2005).

$\gamma_v$  è la deformazione di soglia volumetrica, determinabile con prove dinamiche di laboratorio, o in prima approssimazione con la relazione empirica (Matsui et al. 1980):  $\gamma_v = A (OCR - 1) + B$  in cui OCR è il rapporto di sovraconsolidazione e A e B sono coefficienti sperimentali che, in assenza di determinazione diretta, possono essere stimati in funzione dell'indice di plasticità,  $I_P$  (Tabella 1).

Tabella 1 - Valori suggeriti per i coefficienti A e B

IP(%)	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

## b) terreni granulari saturi

In particolare, per quanto riguarda i **depositi granulari saturi**, la stima dei cedimenti è stata eseguita come indicato DGR 2193/2015 – All. A3 – B1. *Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari saturi.*

La deformazione volumetrica,  $\varepsilon_v$  (espressa in decimali), può essere stimata mediante le seguenti espressioni (Idriss e Boulanger, 2008):

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp \left( 2.551 - 1.147 \cdot (q_{c1Ncs})^{0.264} \right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max}) \quad \text{con } q_{c1Ncs} \geq 21$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp \left( -0.369 \cdot \sqrt{(N_1)_{60cs}} \right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max})$$

in cui  $\gamma_{max}$  (decimale) è la massima deformazione di taglio indotta dall'azione sismica, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{max} = \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot I_d \cdot \frac{1}{G}$$

dove  $G$  è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo  $\gamma$ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidezza iniziale  $G_0 (= \rho \cdot V_s^2)$ , utilizzando la legge di variazione  $G(\gamma)/G_0$  ottenuta con prove dinamiche in laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili (si veda ad es. Figura 4 da AGI, 2005).

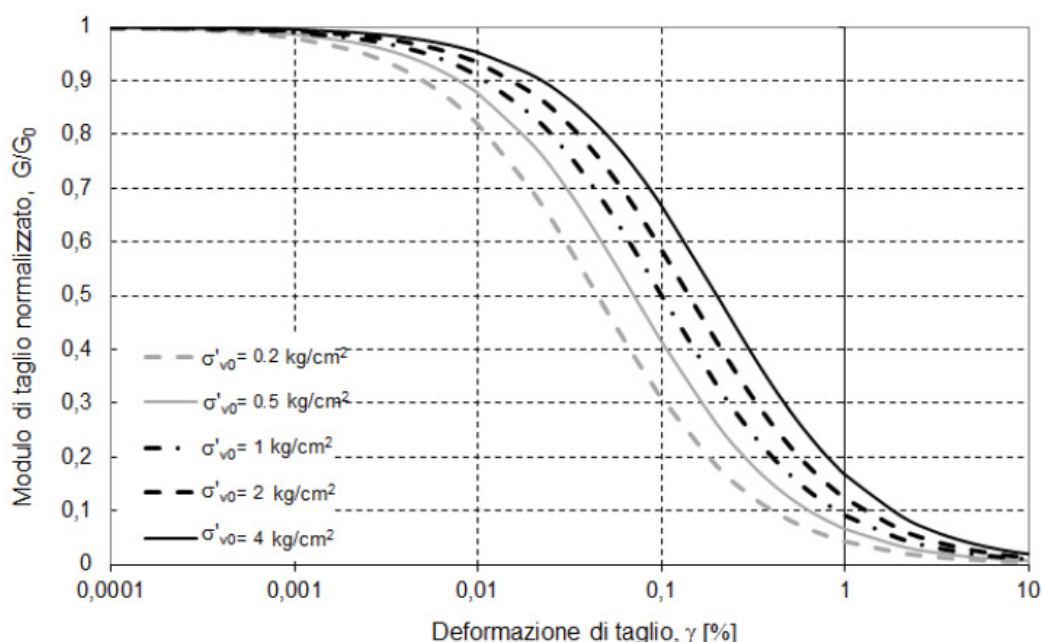


Figura 4 – Curve  $G/G_0 - \gamma$  di letteratura per sabbie (AGI, 2005)

Per questa tipologia di calcolo si è considerata una profondità di posa delle fondazioni a m. -0,60 dall'attuale piano campagna e per una profondità massima di m. 10,00.

**Valutazione cedimenti in CPT1 – CPT2 – CPT3**

STRATO CONSIDERATO COESIVO: da m. -0,50 a m. -10,00 (H tot. = 9,50 m)

Terreni coesivi

$$\varepsilon_v = 0,008093368$$

$$\Delta H = 0,008093 \times 950 \text{ cm} = 7,688 \text{ cm}$$

STRATO INCOERENTE SATURO con FL > 1

da m. -0,00 a m. - 0,00 (H tot = 0,00 m)

Terreni granulari saturi

$$\varepsilon_v = 0,055$$

$$\text{Ne consegue: } \Delta H = 0,055 \times 0 \text{ cm} = 0 \text{ cm}$$

**Cedimento totale postsismico in CPT1 – CPT2 – CPT3**

**(calcolato da -0,50 a -10,00 m da p.c.) pari a 7,688 cm.**

## **10) CONCLUSIONI**

Dall'esposizione dei paragrafi precedenti risulta che, inizialmente si ha terreno agrario con chiari residui vegetali.

Successivamente la sequenza litologica riscontrata, individua la presenza di un livello limoso sabbioso fine mediamente addensato e dalle discrete caratteristiche geotecniche.

Proseguendo si ha la presenza di limi argillosi debolmente sabbiosi anch'essi dalle discrete caratteristiche geotecniche.

Continuando si ha la presenza di argilla con limo poco compatta e plastica e dalle scarse caratteristiche geotecniche.

Seguitando si hanno limi argillosi con orizzonti sabbiosi fini dalle discrete caratteristiche geotecniche.

Infine si ha la presenza di sabbie medio fini mediamente addensate e dalle ottime caratteristiche geotecniche.

Quindi, in base a queste considerazioni ed ai calcoli eseguiti, le portanze fondazione/terreno risultano così indicate per le tre verticali effettuate - CPT1, CPT2 e CPT3.

Carico limite	= 1,85 Kg/cm <sup>2</sup>	= 18,5 ton/m <sup>2</sup>
Carico ammissibile	= 0,81 Kg/cm <sup>2</sup>	= 8,10 ton/m <sup>2</sup>
Carico S.L.U. – App.II	= 0,81 Kg/cm <sup>2</sup>	= 8,10 ton/m <sup>2</sup>
Carico di esercizio S.L.E	= 0,81 Kg/cm <sup>2</sup>	= 8,10 ton/m <sup>2</sup>
Carico S.L.U. - Sismica	= 0,81 Kg/cm <sup>2</sup>	= 8,10 ton/m <sup>2</sup>

La fondazione diretta superficiale (consigliata platea) risulta individuata a ca. cm. -50 rispetto all'attuale piano cantiere, ovvero fino a riscontrare il terreno naturale sottostante quello agrario e/o riporto..

I cedimenti calcolati sono risultati pari a cm. 2,824 in CPT1, 2,747 in CPT2 e cm. 2,888 in CPT3.

Cedimento verificato SLE secondo teoria della elasticità pari a cm. 3,71 ipotizzando una fondazione rigida.

Ced. Post sismici (D.G.R. 2193/2015) pari a cm. 7,688 in CPT1, CPT2 e CPT3.

Al termine delle singole prove è stato misurato un livello della falda freatica compreso tra m. -2.18 e m. -2.37 dall'attuale p.c. Si ricorda che tale valore, risulta soggetto sia alle variazioni meteoriche, sia al locale litotipo riscontrato.

Il modulo di reazione di Winkler risulta pari a 1,21 Kg/cm<sup>3</sup>. (secondo il metodo di Bowles).



Per quanto riguarda  $a_g$ , secondo il D.M. 17 gennaio 2018, il sito risulta individuato nella Classe C e con accelerazione orizzontale di picco pari a **0,158 g** (D.G.R. 2193/2015), **0,157 g** (D.M. 17/01/2018) e **0,1603 g** (D.M. 17/01/2018 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**;

**SLC:  $g = 0,2139$ ;**

**SLV:  $g = 0,1603$ ;**

**SLD:  $g = 0,0576$ ;**

**SLO:  $g = 0,0451$ .**

**F.A. = 1,45 (D.G.R. 2193/2015)**

**F.A. = 1,46 (D.M. 17/01/2018)**

**F.A. = 1,45 (D. M. 17/01/2018 con coordinate geografiche di CPT1)**

**I.L. = 1,2** (Indice Potenziale liquefazione basso) con  $M = 6,14$ ,  $a_g$  massima orizzontale in superficie pari a 0,2326 g e falda superficiale posta a m. -1.00 dall'attuale p.c.

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,      Giugno 2018

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.
090	020	0,704	0,0125	0,792
340	009	0,192	0,0202	1,319
160	007	0,117	0,0219	0,410
360	014	0,059	0,0143	0,303
CEDIMENTO TOTALE cm.				2,824

Penetrometer Test n. 01  
 Qamm. = 0,81 Kg/cm<sup>2</sup>  
 D = -0,50 m. dall'attuale p. cantiere  
 fondazione a platea

## CALCOLO CEDIMENTI – CPT2

Spess. cm.	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta Q$ Kg/cm <sup>2</sup>	MV 1/ $\alpha$ Rp	$\Delta H$ cm.
110	015	0,608	0,0133	0,889
220	012	0,208	0,0167	0,764
420	007	0,100	0,0219	0,926
200	014	0,059	0,0143	0,168
CEDIMENTO TOTALE cm.				2,747

Penetrometer Test n. 02  
 Qamm. = 0,81 Kg/cm<sup>2</sup>  
 D = -0,50 m. dall'attuale p. cantiere  
 fondazione a platea

### **CALCOLO CEDIMENTI – CPT3**

Spess. cm.	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta Q$ Kg/cm <sup>2</sup>	MV 1/ $\alpha$ Rp	$\Delta H$ cm.
090	017	0,768	0,0127	0,878
380	012	0,183	0,0162	1,124
160	008	0,161	0,0208	0,536
180	013	0,083	0,0154	0,229
160	023	0,059	0,0127	0,121
CEDIMENTO TOTALE cm.				2,888

Penetrometer Test n. 03

Qamm. = 0,81 Kg/cm<sup>2</sup>

D = -0,50 m. dall'attuale p. cantiere  
fondazione a platea

## DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale Della Rinascita, 12-46028 Sermide e Felonica (MN)-m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: GIUGNO 2018

Riferimenti:

### Riassunto del calcolo dei cedimenti

Fondazione n. .... 1

#### Verifica allo Stato Limite d'Esercizio

Larghezza della fondazione (m):	6
Lunghezza della fondazione (m):	10
Carico applicato sulla fondazione (kg/cm <sup>2</sup> ):	0,806

#### Livelli incoerenti

Metodo di calcolo dei cedimenti nei livelli incoerenti:	Teoria dell'elasticità
Tempo di calcolo dei cedimenti secondari (anni):	30
Carico statico o pulsante (Burland e Burbridge):	n.c.
Nspt crescente o decrescente (Burland e Burbridge):	n.c.

	Vertice sinistro	Punto centrale	Vertice destro
Cedimento immediato (mm):	0	0	0
Cedimento secondario (mm):	0	0	0
Somma ced. incoerenti (mm):	0	0	0

#### Livelli coesivi

Metodo di calcolo dei cedimenti nei livelli coesivi:	Teoria dell'elasticità
Tempo di calcolo cedimenti di consolidazione(anni):	20

	Vertice sinistro	Punto centrale	Vertice destro
Ced.di consolidazione (mm):	0	37,1	0
Cedimento secondario (mm):	0	0	0
Somma ced. coesivi (mm):	0	37,1	0

#### Cedimenti complessivi (incoerenti+coesivi)

	Vertice sinistro	Punto centrale	Vertice destro
Cedimento complessivo (mm):	0	37,1	0
Max cedim. differenziale(mm):	0		
Massima distorsione (%):	0		

Fondazione rigida o flessibile: Fondazione rigida

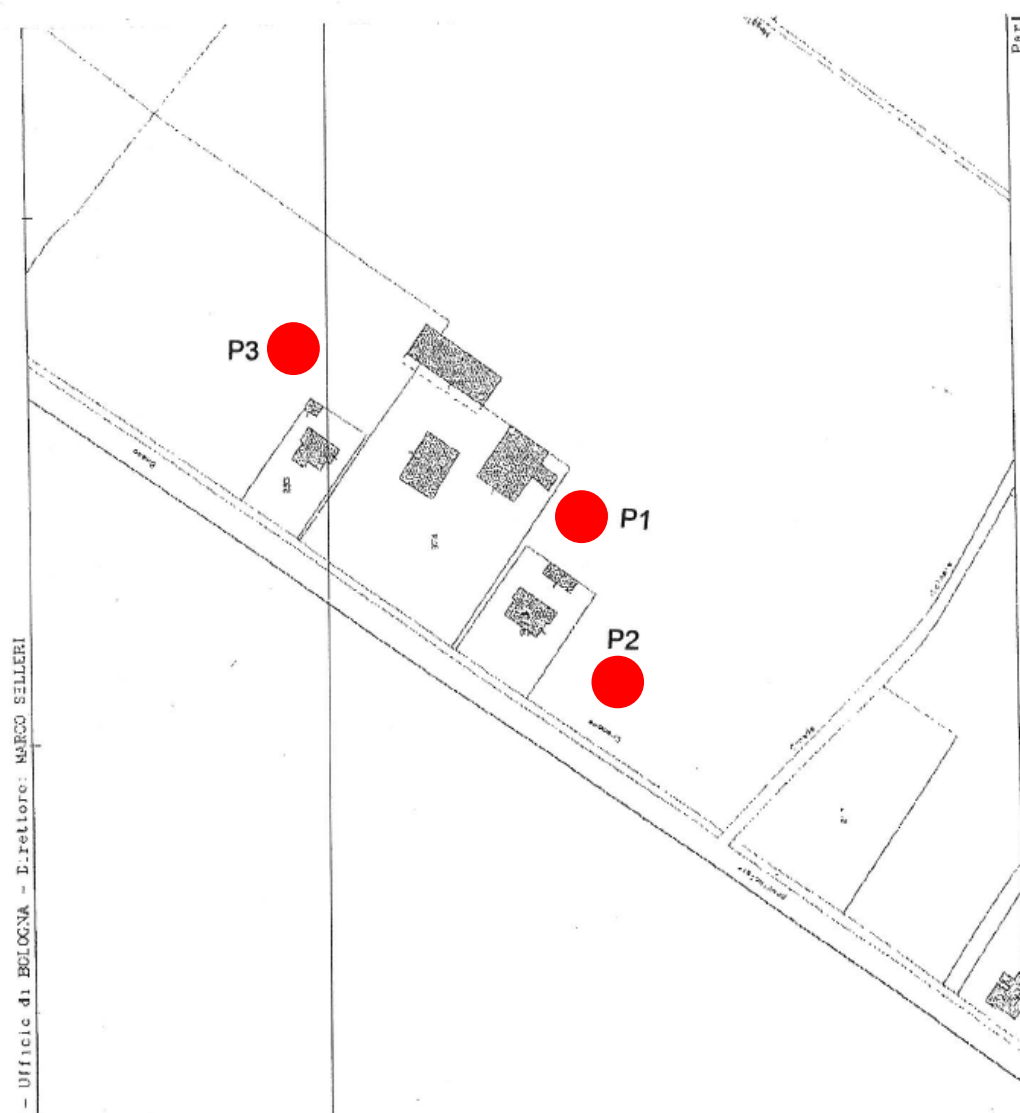
#### Verifica allo Stato Limite di Danno

Cedimento indotto dal sisma (mm):	0
-----------------------------------	---

ALL. 1

UBICAZIONE PROVE

scala 1: 0000



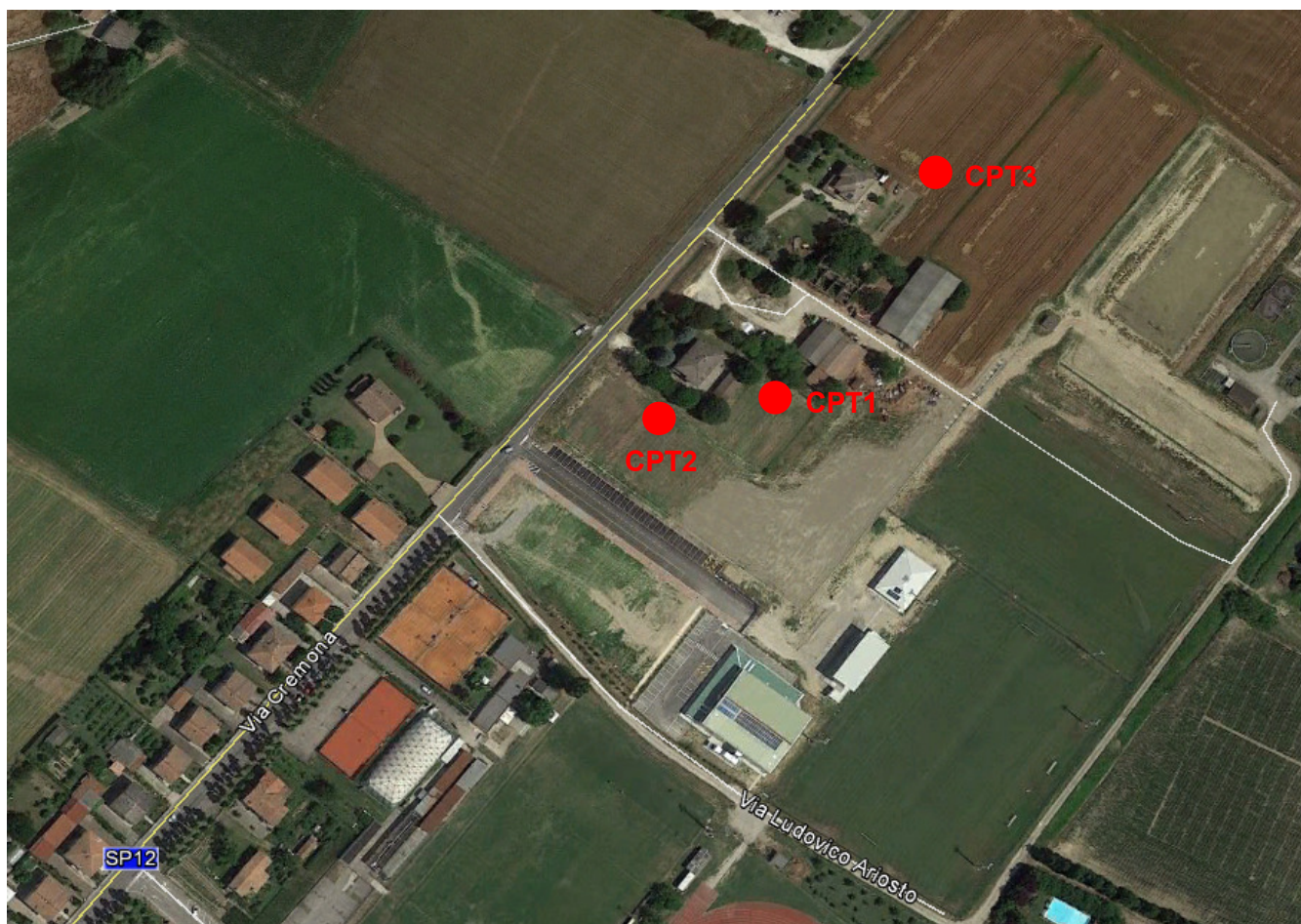
LEGENDA



PROVA PENETROMETRICA STATICA

ESTRATTO DI MAPPA COMUNE PIEVE DI CENTO: FG. 15 Part. 46

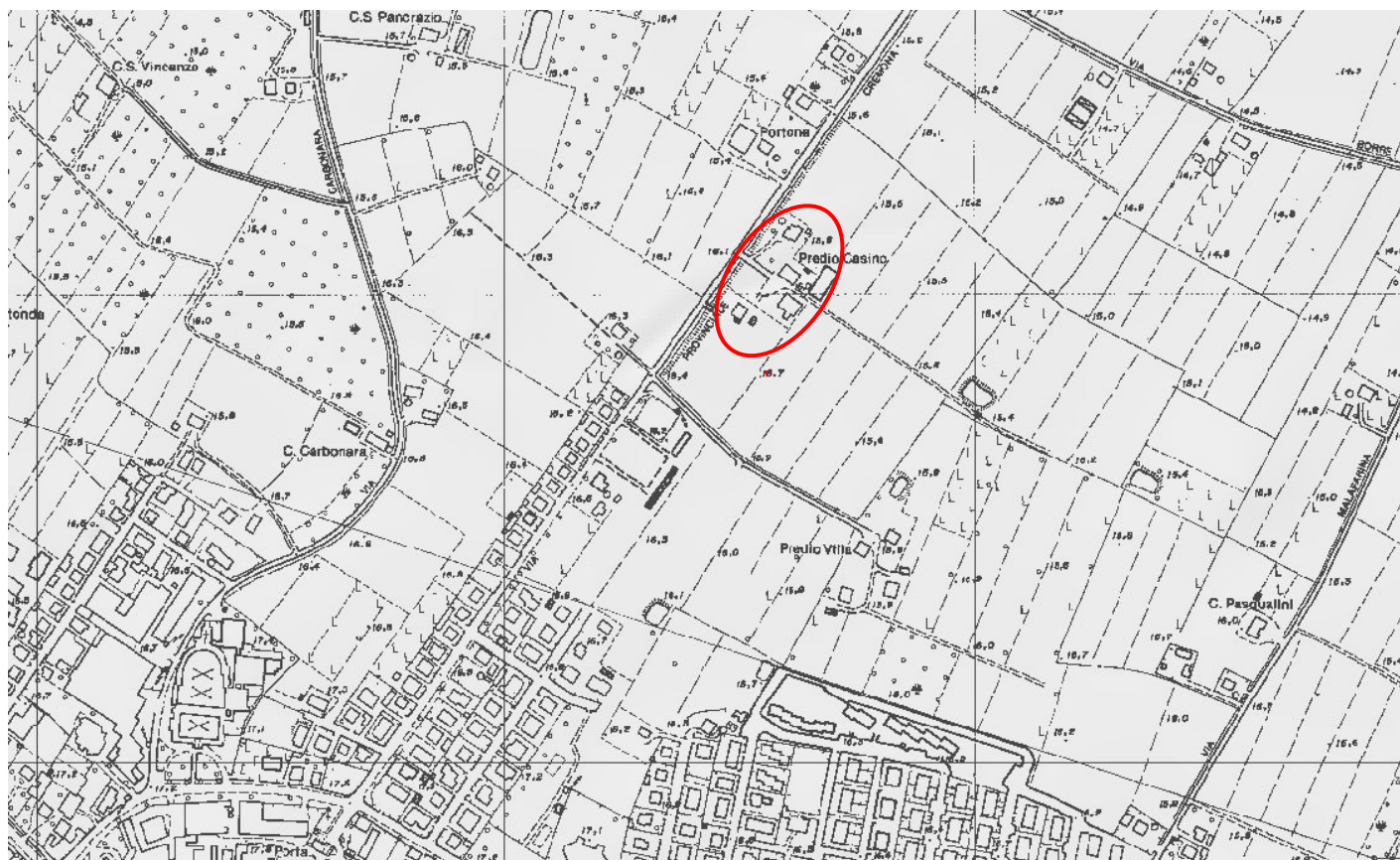




Da Google Earth: panoramica dell'area oggetto dell'intervento



PROVA PENETROMETRICA STATICA



ESTRATTO CTR R.E.R. - SEZIONE 202080 "CENTO"



AREA OGGETTO DEL PRESENTE LAVORO

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)

- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI	Attrezzatura: CPT 20 TON
Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO	
Data: AGOSTO 2007	Quota(m): p.c.
Note:	Sigla: CA\IP1
<b>Tabulato della prova</b>	

Prof. (m)	Rp (kg/cmq)	Rp+Rl (kg/cmq)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	u (kg/cmq)	fs/qc%
0,2	29,97	39,96	29,97	0,73		
0,4	21	32,01	21	0,87		
0,6	22,02	34,96	22,02	0,47		
0,8	21	28,03	21	0,47		
1	18,96	25,99	18,96	0,53		
1,2	19,98	28,03	19,98	0,6		
1,4	21	29,97	21	0,53		
1,6	9,99	18,04	9,99	0,4		
1,8	11,01	17,02	11,01	0,2		
2	7,95	11,01	7,95	0,33		
2,2	7,03	12,03	7,03	0,27		
2,4	9,99	13,97	9,99	0,27		
2,6	9,99	13,97	9,99	0,6		0,01
2,8	7,95	17,02	7,95	0,27		
3	7,03	11,01	7,03	0,47		0,01
3,2	7,95	14,98	7,95	0,33		
3,4	11,01	16	11,01	0,4		
3,6	9,99	16	9,99	0,27		
3,8	12,03	16	12,03	0,67		0,01
4	11,01	21	11,01	0,47		
4,2	8,97	16	8,97	0,47		0,01
4,4	9,99	17,02	9,99	0,53		0,01
4,6	7,95	16	7,95	0,53		0,01
4,8	12,03	19,98	12,03	0,53		
5	7,03	14,98	7,03	0,47		0,01
5,2	7,95	14,98	7,95	0,6		0,01
5,4	7,95	17,02	7,95	0,6		0,01
5,6	7,95	17,02	7,95	0,53		0,01
5,8	7,03	14,98	7,03	0,53		0,01
6	7,95	16	7,95	0,4		
6,2	7,03	13,05	7,03	0,27		
6,4	4,99	8,97	4,99	0,67		0,01
6,6	12,03	22,02	12,03	0,8		0,01
6,8	7,95	19,98	7,95	0,53		0,01
7	9,99	18,04	9,99	0,73		0,01
7,2	9,99	21	9,99	0,6		0,01
7,4	23,04	32,01	23,04	0,93		
7,6	17,02	30,99	17,02	0,87		0,01
7,8	8,97	22,02	8,97	0,67		0,01
8	18,04	28,03	18,04	0,6		
8,2	19,98	28,95	19,98	0,6		
8,4	8,97	18,04	8,97	0,53		0,01
8,6	11,01	18,96	11,01	0,73		0,01
8,8	19,98	30,99	19,98	0,8		
9	9,99	22,02	9,99	0,33		
9,2	12,03	17,02	12,03	0,4		



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. (m)	Rp (kg/cmq)	Rp+Rl (kg/cmq)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	u (kg/cmq)	fs/qc%
9,4	12,03	18,04	12,03	0,67		0,01
9,6	13,05	23,04	13,05	0,73		0,01
9,8	18,96	29,97	18,96	1		0,01
10	21	35,98	21	1,07		0,01
10,2	23,96	39,96	23,96	1		
10,4	22,02	37	22,02	0,8		
10,6	23,96	35,98	23,96	1		
10,8	18,96	34,05	18,96	1,07		0,01
11	19,98	35,98	19,98	1,2		0,01
11,2	21	39,04	21	1,13		0,01
11,4	23,04	39,96	23,04	1,07		
11,6	19,98	35,98	19,98	0,87		
11,8	23,96	37	23,96	1		
12	23,96	39,04	23,96	0,93		
12,2	24,97	39,04	24,97	0,93		
12,4	25,99	39,96	25,99	0,87		
12,6	27,01	39,96	27,01	1,47		0,01
12,8	19,98	42	19,98	0,93		
13	28,03	42	28,03	1		
13,2	29,97	44,95	29,97	1,13		
13,4	28,03	44,95	28,03	1,2		
13,6	22,02	39,96	22,02	1,07		
13,8	18,96	34,96	18,96	1		0,01
14	19,98	34,96	19,98	0,87		
14,2	29,97	43,02	29,97	1,2		
14,4	28,03	45,97	28,03	1,2		
14,6	23,96	42	23,96	1,27		0,01
14,8	23,04	42	23,04	1,2		0,01
15	12,03	29,97	12,03	1,07		0,01
15,2	14,98	30,99	14,98	1,13		0,01
15,4	33,03	50,05	33,03	2,47		0,01
15,6	34,05	71,05	34,05	1,47		
15,8	28,03	50,05	28,03	0,67		
16	34,96	44,95	34,96	1,73		
16,2	32,01	58	32,01	1,53		
16,4	39,04	61,98	39,04	1,93		
16,6	34,05	63	34,05	1,47		
16,8	35,98	58	35,98	1,53		
17	28,95	51,99	28,95	1,4		
17,2	27,01	48,01	27,01	1,33		
17,4	25,99	45,97	25,99	1,07		
17,6	28,03	44,04	28,03	1,07		
17,8	23,96	39,96	23,96	1,07		
18	25,99	42	25,99	1,2		
18,2	21	39,04	21	1,2		0,01
18,4	22,02	39,96	22,02	0,93		
18,6	23,04	37	23,04	0,93		
18,8	23,96	38,02	23,96	0,93		
19	25,99	39,96	25,99	0,93		
19,2	19,98	34,05	19,98	0,67		
19,4	18,04	28,03	18,04	0,6		
19,6	14,98	23,96	14,98	0,67		
19,8	16	25,99	16	1,13		0,01
20	16	33,03	16	0,93		0,01
20,2	13,05	27,01	13,05	0,73		0,01
20,4	13,05	23,96	13,05	0,8		0,01
20,6	13,97	25,99	13,97	0,8		0,01

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)

- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. (m)	Rp (kg/cmq)	Rp+Rl (kg/cmq)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	u (kg/cmq)	fs/qc%
20,8	12,03	23,96	12,03	0,73		0,01
21	13,05	23,96	13,05	0,87		0,01
21,2	12,03	24,97	12,03	0,53		
21,4	13,05	21	13,05	0,67		0,01
21,6	13,97	23,96	13,97	0,8		0,01
21,8	18,04	29,97	18,04	1,6		0,01
22	42	65,95	42	1,6		
22,2	39,96	64,02	39,96	0,8		
22,4	29,97	42	29,97	0,93		
22,6	28,03	42	28,03	1,2		
22,8	27,01	44,95	27,01	0,73		
23	33,03	44,04	33,03	0,73		
23,2	29,97	40,98	29,97	1,87		0,01
23,4	44,04	71,97	44,04	1,8		
23,6	63	90,01	63	2,27		
23,8	58	92,05	58	0,93		
24	71,05	85,02	71,05	1,8		
24,2	63	90,01	63	1,07		
24,4	71,97	87,97	71,97	1,47		
24,6	65,04	86,95	65,04	1,6		
24,8	67,99	92,05	67,99	1,93		
25	72,99	102,04	72,99	1,4		
25,2	75,03	96,02	75,03	1,87		
25,4	84	112,03	84	2		
25,6	80,02	109,99	80,02	2,33		
25,8	79	113,97	79	1,53		
26	60,96	84	60,96	1,33		
26,2	56,98	76,96	56,98	1,87		
26,4	84	112,03	84	2		
26,6	91,03	121	91,03	2,33		
26,8	95,01	129,97	95,01	2,87		
27	84	127,01	84	2,27		
27,2	72,99	107,03	72,99	2,27		
27,4	70,03	103,98	70,03	2,53		
27,6	95,01	133,03	95,01	2,4		
27,8	92,05	128,03	92,05	2,27		
28	93,99	128,03	93,99	1,6		
28,2	72,99	97,04	72,99	1,73		
28,4	70,03	96,02	70,03	1,07		
28,6	67,99	84	67,99	1,2		
28,8	66,97	85,02	66,97	1,2		
29	54,03	71,97	54,03	1,73		
29,2	43,02	69,01	43,02	2		
29,4	39,96	70,03	39,96	2,07		0,01
29,6	37	67,99	37	1,13		
29,8	56,98	74,01	56,98	1,67		
30	77,98	102,96	77,98	1,6		
30,2	81,04	104,99	81,04	1,67		
30,4	86,95	112,03	86,95	1,27		
30,6	95,01	113,97	95,01	1,93		
30,8	86,95	116	86,95	1,27		
31	92,97	112,03	92,97	1,27		



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: AGOSTO 2007

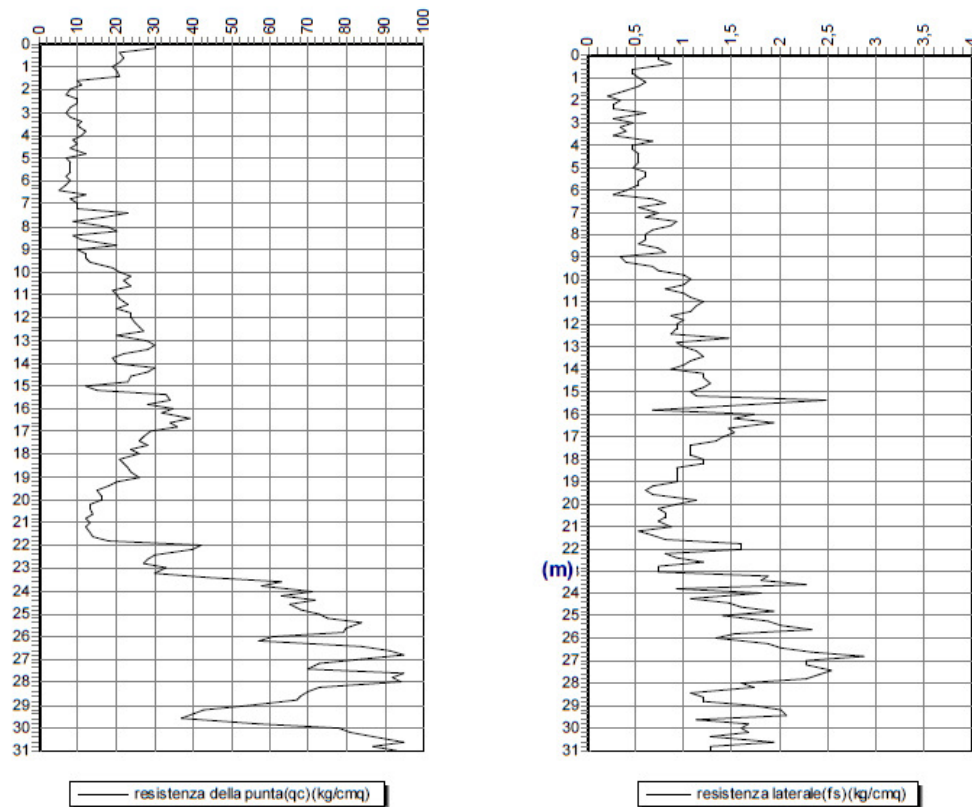
Attrezzatura: CPT 20 TON

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: CAIP1

### Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 2,37

## DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Attrezzatura: CPT 20 TON

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: AGOSTO 2007

Quota(m): p.c.

Sigla: CAIP1

Note:

### Stratigrafia

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

Lunghezza della prova (m): 31

Profondità di partenza (m): 0,2

Profondità della falda (m): 2,37

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

0,2	30	0,73	Sabbia e limo
0,4	21	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
0,6	22	0,47	Sabbia e limo
0,8	21	0,47	Sabbia e limo
1	19	0,53	Sabbia e limo
1,2	20	0,6	Sabbia e limo
1,4	21	0,53	Sabbia e limo
1,6	10	0,4	Argilla inorganica med.consistente
1,8	11	0,2	Sabbia sciolta
2	8	0,33	Argilla inorganica med.consistente
2,2	7	0,27	Argilla inorganica med.consistente
2,4	10	0,27	Sabbia e limo
2,6	10	0,6	Argilla organica
2,8	8	0,27	Argilla sabbiosa o limosa
3	7	0,47	Argilla organica
3,2	8	0,33	Argilla inorganica med.consistente
3,4	11	0,4	Argilla sabbiosa o limosa
3,6	10	0,27	Sabbia e limo
3,8	12	0,67	Argilla inorganica consistente
4	11	0,47	Argilla inorganica med.consistente
4,2	9	0,47	Argilla inorganica med.consistente
4,4	10	0,53	Argilla inorganica consistente
4,6	8	0,53	Argilla organica
4,8	12	0,53	Argilla inorganica med.consistente
5	7	0,47	Argilla organica

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (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	8	0,6	Argilla organica
5,4	8	0,6	Argilla organica
5,6	8	0,53	Argilla organica
5,8	7	0,53	Argilla organica
6	8	0,4	Argilla inorganica med.consistente
6,2	7	0,27	Argilla inorganica med.consistente
6,4	5	0,67	Argilla organica
6,6	12	0,8	Argilla organica
6,8	8	0,53	Argilla organica
7	10	0,73	Argilla organica
7,2	10	0,6	Argilla organica
7,4	23	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
7,6	17	0,87	Argilla inorganica consistente
7,8	9	0,67	Argilla organica
8	18	0,6	Argilla sabbiosa o limosa
8,2	20	0,6	Sabbia e limo
8,4	9	0,53	Argilla organica
8,6	11	0,73	Argilla organica
8,8	20	0,8	Argilla sabbiosa o limosa
9	10	0,33	Argilla sabbiosa o limosa
9,2	12	0,4	Argilla sabbiosa o limosa
9,4	12	0,67	Argilla inorganica consistente
9,6	13	0,73	Argilla inorganica consistente
9,8	19	1	Argilla inorganica consistente
10	21	1,07	Argilla inorganica molto consistente
10,2	24	1	Argilla sabbiosa o limosa
10,4	22	0,8	Argilla sabbiosa o limosa
10,6	24	1	Argilla sabbiosa o limosa
10,8	19	1,07	Argilla inorganica molto consistente
11	20	1,2	Argilla inorganica molto consistente
11,2	21	1,13	Argilla inorganica molto consistente
11,4	23	1,07	Argilla sabbiosa o limosa
11,6	20	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
11,8	24	1	Argilla sabbiosa o limosa
12	24	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
12,2	25	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
12,4	26	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
12,6	27	1,47	Argilla inorganica molto consistente
12,8	20	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
13	28	1	Argilla sabbiosa o limosa
13,2	30	1,13	Argilla sabbiosa o limosa
13,4	28	1,2	Argilla sabbiosa o limosa
13,6	22	1,07	Argilla inorganica molto consistente
13,8	19	1	Argilla inorganica consistente
14	20	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
14,2	30	1,2	Argilla sabbiosa o limosa
14,4	28	1,2	Argilla sabbiosa o limosa
14,6	24	1,27	Argilla inorganica molto consistente
14,8	23	1,2	Argilla inorganica molto consistente
15	12	1,07	Argilla organica

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. (m)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	fs (kg/cm <sup>2</sup> )	Descrizione litologica
15,2	15	1,13	Argilla organica
15,4	33	2,47	Argilla inorganica molto consistente
15,6	34	1,47	Argilla sabbiosa o limosa
15,8	28	0,67	Sabbia e limo
16	35	1,73	Argilla sabbiosa o limosa
16,2	32	1,53	Argilla sabbiosa o limosa
16,4	39	1,93	Argilla sabbiosa o limosa
16,6	34	1,47	Argilla sabbiosa o limosa
16,8	36	1,53	Argilla sabbiosa o limosa
17	29	1,4	Argilla sabbiosa o limosa
17,2	27	1,33	Argilla sabbiosa o limosa
17,4	26	1,07	Argilla sabbiosa o limosa
17,6	28	1,07	Argilla sabbiosa o limosa
17,8	24	1,07	Argilla sabbiosa o limosa
18	26	1,2	Argilla sabbiosa o limosa
18,2	21	1,2	Argilla inorganica molto consistente
18,4	22	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
18,6	23	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
18,8	24	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
19	26	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
19,2	20	0,67	Argilla sabbiosa o limosa
19,4	18	0,6	Argilla sabbiosa o limosa
19,6	15	0,67	Argilla inorganica consistente
19,8	16	1,13	Argilla organica
20	16	0,93	Argilla inorganica consistente
20,2	13	0,73	Argilla inorganica consistente
20,4	13	0,8	Argilla inorganica consistente
20,6	14	0,8	Argilla inorganica consistente
20,8	12	0,73	Argilla inorganica consistente
21	13	0,87	Argilla organica
21,2	12	0,53	Argilla inorganica med.consistente
21,4	13	0,67	Argilla inorganica consistente
21,6	14	0,8	Argilla inorganica consistente
21,8	18	1,6	Argilla organica
22	42	1,6	Argilla sabbiosa o limosa
22,2	40	0,8	Sabbia mediamente addensata
22,4	30	0,93	Sabbia e limo
22,6	28	1,2	Argilla sabbiosa o limosa
22,8	27	0,73	Sabbia e limo
23	33	0,73	Sabbia e limo
23,2	30	1,87	Argilla inorganica molto consistente
23,4	44	1,8	Argilla sabbiosa o limosa
23,6	63	2,27	Sabbia e limo
23,8	58	0,93	Sabbia mediamente addensata
24	71	1,8	Sabbia e limo
24,2	63	1,07	Sabbia mediamente addensata
24,4	72	1,47	Sabbia mediamente addensata
24,6	65	1,6	Sabbia e limo
24,8	68	1,93	Sabbia e limo
25	73	1,4	Sabbia mediamente addensata

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

<i>Prof. (m)</i>	<i>qc (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>fs (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Descrizione litologica</i>
25,2	75	1,87	Sabbia e limo
25,4	84	2	Sabbia e limo
25,6	80	2,33	Sabbia e limo
25,8	79	1,53	Sabbia mediamente addensata
26	61	1,33	Sabbia e limo
26,2	57	1,87	Sabbia e limo
26,4	84	2	Sabbia e limo
26,6	91	2,33	Sabbia e limo
26,8	95	2,87	Sabbia e limo
27	84	2,27	Sabbia e limo
27,2	73	2,27	Sabbia e limo
27,4	70	2,53	Sabbia e limo
27,6	95	2,4	Sabbia e limo
27,8	92	2,27	Sabbia e limo
28	94	1,6	Sabbia mediamente addensata
28,2	73	1,73	Sabbia e limo
28,4	70	1,07	Sabbia mediamente addensata
28,6	68	1,2	Sabbia mediamente addensata
28,8	67	1,2	Sabbia mediamente addensata
29	54	1,73	Sabbia e limo
29,2	43	2	Argilla sabbiosa o limosa
29,4	40	2,07	Argilla sabbiosa o limosa
29,6	37	1,13	Sabbia e limo
29,8	57	1,67	Sabbia e limo
30	78	1,6	Sabbia mediamente addensata
30,2	81	1,67	Sabbia mediamente addensata
30,4	87	1,27	Sabbia mediamente addensata
30,6	95	1,93	Sabbia mediamente addensata
30,8	87	1,27	Sabbia mediamente addensata
31	93	1,27	Sabbia mediamente addensata



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI		Attrezzatura: CPT 20 TON	
Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO		Data: AGOSTO 2007	Quota(m): p.c.
Sigla: CAIP1			
Note:			
Parametri geotecnici			

**Parametri geotecnici**

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cm²)	Cu (kg/cm²)	Ed co. (kg/cm²)	O. C. R.	G0 (kg/cm²)	Ed in. (kg/cm²)	s' (kg/cm²)
0,2	9,4E-7		32	2,16	85	75				224	69	0,02
0,4	1,3E-9	0,01		2,01			1,06	36	3,14	180		0,06
0,6	3E-6		31	2,08	75	55				185	62	0,1
0,8	2E-6		31	2,01	65	53				180	54	0,15
1	2,4E-7		30	1,95	56	48				169	47	0,18
1,2	1,1E-7		30	1,93	53	50				175	45	0,22
1,4	6,7E-7		31	1,92	51	53				180	44	0,26
1,6	2,4E-9	0,06		1,87			0,57	35	0,29	114		0,3
1,8	1E-5		28	1,76	22	28				121	22	0,34
2	1,5E-9	0,07		1,82			0,45	28	0,2	100		0,37
2,2	4,2E-9	0,08		1,79			0,38	25	0,16	92		0,41
2,4	3,5E-7		27	1,91	15	25				114	17	0,45
2,6	1E-12	0,07		1,87			0,56	35	0,27	114		0,47
2,8	2,6E-8	0,08		1,78			0,38	28	0,18	100		0,49
3	6,8E-14	0,08		1,78			0,38	25	0,21	92		0,5
3,2	1,5E-9	0,08		1,81			0,44	28	0,28	100		0,52

Profondità della falda (m): 2,37

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 e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cm²)	Cu (kg/cm²)	Ed co. (kg/cm²)	O. C. R.	G0 (kg/cm²)	Ed in. (kg/cm²)	s' (kg/cm²)
3,4	9,6E-9	0,07		1,86			0,53	39	0,42	121		0,53
3,6	3,5E-7		27	1,94	15	25				114	19	0,55
3,8	5,1E-12	0,07		1,91			0,67	42	0,9	128		0,57
4	8,3E-10	0,07		1,89			0,61	39	1,15	121		0,59
4,2	2,2E-11	0,08		1,84			0,49	32	0,46	107		0,61
4,4	1,6E-11	0,08		1,87			0,55	35	0,85	114		0,62
4,6	9,4E-14	0,08		1,81			0,43	28	1,45	100		0,64
4,8	4,8E-10	0,07		1,91			0,66	42	5,72	128		0,66
5	6,8E-14	0,09		1,78			0,37	25	2,67	92		0,67
5,2	3E-15	0,09		1,81			0,43	28	3,1	100		0,69
5,4	3E-15	0,09		1,81			0,43	28	3,01	100		0,71
5,6	9,4E-14	0,09		1,81			0,43	28	2,91	100		0,72
5,8	2,4E-15	0,09		1,78			0,37	25	2,35	92		0,74
6	5,2E-11	0,09		1,81			0,42	28	2,75	100		0,75
6,2	4,2E-9	0,09		1,77			0,36	25	2,22	92		0,77
6,4	1,5E-25	0,1		1,69			0,25	25	1,33	75		0,78
6,6	7,1E-14	0,08		1,91			0,65	42	4,4	128		0,8
6,8	9,4E-14	0,09		1,81			0,42	28	2,46	100		0,82
7	6,1E-15	0,08		1,86			0,54	35	3,25	114		0,83
7,2	1E-12	0,08		1,86			0,54	35	3,16	114		0,85
7,4	1,9E-9	0,07		2,02			1,12	39	7,73	190		0,87
7,6	3E-11	0,07		1,99			0,94	60	6,06	158		0,89
7,8	3,6E-15	0,09		1,83			0,47	32	2,5	107		0,91
8	3E-8	0,08		1,97			0,86	63	5,16	164		0,93

Profondità della falda (m): 2,37

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 e Felonica (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	1,1E-7		30	1,95	18	50				175	26	0,95
8,4	1,6E-12	0,09		1,83			0,47	32	2,3	107		0,96
8,6	8,3E-14	0,09		1,88			0,59	39	2,97	121		0,98
8,8	2,3E-9	0,07		1,99			0,96	34	5,38	175		1
9	3,5E-8	0,09		1,82			0,45	35	2,06	114		1,02
9,2	3,1E-8	0,09		1,87			0,55	42	2,59	128		1,03
9,4	5,1E-12	0,09		1,9			0,64	42	3,04	128		1,05
9,6	4,4E-12	0,08		1,92			0,7	46	3,31	134		1,07
9,8	1,6E-11	0,07		2,01			1,05	67	5,38	169		1,09
10	3,1E-11	0,07		2,03			1,16	36	5,99	100		1,11
10,2	1,2E-9	0,07		2,03			1,15	41	5,81	195		1,13
10,4	9,3E-9	0,08		2,01			1,05	37	5,06	185		1,15
10,6	1,2E-9	0,07		2,03			1,15	41	5,54	195		1,17
10,8	3,8E-12	0,08		2,01			1,04	67	4,77	169		1,19
11	8,5E-13	0,08		2,02			1,1	34	5	175		1,21
11,2	1E-11	0,08		2,03			1,16	36	5,22	180		1,23
11,4	1,8E-10	0,08		2,02			1,1	39	4,79	190		1,25
11,6	5,9E-10	0,08		1,99			0,95	34	3,9	175		1,27
11,8	1,2E-9	0,08		2,03			1,15	41	4,87	195		1,29
12	3,6E-9	0,08		2,03			1,15	41	4,77	195		1,31
12,2	6,6E-9	0,08		2,04			1,2	43	4,92	200		1,34
12,4	2,8E-8	0,08		2,05			1,25	44	5,08	205		1,36
12,6	7,1E-12	0,07		2,09			1,5	46	6,28	210		1,38
12,8	1,8E-10	0,08		1,99			0,94	34	3,44	175		1,4

Profondità della falda (m): 2,37

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 e Felonica (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	1,2E-8	0,08		2,07			1,34	48	5,28	214		1,42
13,2	5,4E-9	0,07		2,08			1,44	51	5,66	224		1,44
13,4	7,2E-10	0,08		2,07			1,34	48	5,07	214		1,46
13,6	7,7E-11	0,08		2,04			1,2	37	4,34	185		1,48
13,8	1,6E-11	0,08		2,01			1,02	67	3,5	169		1,5
14	5,9E-10	0,09		1,98			0,93	34	3,06	175		1,52
14,2	2,2E-9	0,08		2,08			1,44	51	5,17	224		1,54
14,4	7,2E-10	0,08		2,06			1,34	48	4,64	214		1,57
14,6	1,4E-11	0,08		2,06			1,31	41	4,46	195		1,59
14,8	1,9E-11	0,08		2,05			1,25	39	4,13	190		1,61
15	7,6E-18	0,1		1,89			0,61	42	1,65	128		1,63
15,2	1,9E-15	0,09		1,94			0,78	53	2,23	146		1,65
15,4	1,1E-15	0,07		2,14			1,83	56	6,37	237		1,67
15,6	6E-10	0,07		2,11			1,63	58	5,42	241		1,69
15,8	1,1E-6		32	1,94	15	70				214	33	1,71
16	4,9E-11	0,07		2,12			1,68	60	5,45	246		1,73
16,2	9,7E-11	0,08		2,09			1,53	54	4,77	233		1,75
16,4	4,6E-11	0,07		2,14			1,88	66	6,08	263		1,77
16,6	6E-10	0,08		2,11			1,63	58	4,99	241		1,8
16,8	7,9E-10	0,08		2,12			1,73	61	5,3	250		1,82
17	8,3E-11	0,08		2,07			1,37	49	3,92	219		1,84
17,2	5,7E-11	0,08		2,05			1,27	46	3,51	210		1,86
17,4	1,4E-9	0,08		2,04			1,22	44	3,28	205		1,88
17,6	4,4E-9	0,08		2,06			1,32	48	3,57	214		1,9

Profondità della falda (m): 2,37

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 e Felonica (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	3,7E-10	0,09		2,02			1,12	41	2,86	195		1,92
18	2E-10	0,08		2,04			1,22	44	3,14	205		1,95
18,2	2,6E-12	0,09		2,02			1,11	36	2,78	180		1,97
18,4	9,3E-10	0,09		2			1,01	37	2,43	185		1,99
18,6	1,9E-9	0,09		2,01			1,06	39	2,55	190		2,01
18,8	3,6E-9	0,09		2,02			1,11	41	2,67	195		2,03
19	1,2E-8	0,09		2,04			1,21	44	2,93	205		2,05
19,2	2,8E-8	0,09		1,98			0,91	34	2,02	175		2,07
19,4	3E-8	0,1		1,95			0,8	63	1,72	164		2,09
19,6	3,8E-10	0,1		1,94			0,75	53	1,57	146		2,11
19,8	1,3E-14	0,1		1,95			0,81	56	1,7	152		2,12
20	1,9E-12	0,1		1,95			0,81	56	1,68	152		2,14
20,2	4,4E-12	0,1		1,9			0,63	46	1,22	134		2,16
20,4	5,3E-13	0,1		1,9			0,63	46	1,21	134		2,18
20,6	3E-12	0,1		1,92			0,69	49	1,33	140		2,2
20,8	7,2E-13	0,11		1,88			0,57	42	1,04	128		2,22
21	6,3E-14	0,1		1,9			0,63	46	1,16	134		2,23
21,2	4,8E-10	0,11		1,87			0,57	42	1,02	128		2,25
21,4	2,7E-11	0,1		1,9			0,63	46	1,13	134		2,27
21,6	3E-12	0,1		1,92			0,69	49	1,25	140		2,29
21,8	5,4E-18	0,1		1,98			0,92	63	1,79	164		2,31
22	4,4E-9	0,08		2,16			2	71	4,69	275		2,33
22,2	4,9E-6		34	1,96	20	100				267	45	2,35
22,4	7,2E-8		32	1,94	15	75				224	41	2,37

Profondità della falda (m): 2,37

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 e Felonica (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)
22,6	7,2E-10	0,09		2,06			1,29	48	2,63	214		2,39
22,8	3,3E-7		32	1,94	15	68				210	41	2,41
23	2,2E-6		33	1,94	15	83				237	41	2,43
23,2	2,7E-13	0,08		2,11			1,61	51	3,35	224		2,45
23,4	1,4E-9	0,08		2,17			2,1	75	4,61	283		2,47
23,6	9,2E-9	0,07	36	2,01	34	158				352	58	2,49
23,8	2,2E-5		35	2	31	145				335	56	2,51
24	6,1E-7		36	2,03	38	178				379	62	2,53
24,2	1,6E-5		36	2,01	34	158				352	59	2,55
24,4	4,1E-6		36	2,03	38	180				382	63	2,57
24,6	8,2E-7		36	2,01	34	163				359	60	2,59
24,8	1,9E-7		36	2,02	36	170				369	61	2,61
25	6,7E-6		36	2,03	38	183				385	63	2,63
25,2	7,2E-7		36	2,03	39	188				392	65	2,66
25,4	1,1E-6		37	2,05	42	210				420	68	2,68
25,6	1,4E-7		37	2,04	40	200				407	66	2,7
25,8	6,2E-6		37	2,04	40	198				404	66	2,72
26	2,4E-6		35	2	31	153				345	59	2,74
26,2	3,4E-8		35	1,99	28	143				331	56	2,76
26,4	1,1E-6		37	2,04	41	210				420	68	2,78
26,6	5,4E-7		37	2,05	44	228				441	71	2,8
26,8	8,8E-8		37	2,06	45	238				452	72	2,82
27	3,1E-7		37	2,04	41	210				420	69	2,84
27,2	6,4E-8		36	2,02	36	183				385	65	2,86

Profondità della falda (m): 2,37

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 e Felonica (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)
27,4	8,6E-9	0,07	36	2,01	34	175				375	63	2,88
27,6	6,2E-7		37	2,06	45	238				452	73	2,9
27,8	7,8E-7		37	2,05	43	230				444	71	2,92
28	1,5E-5		37	2,05	44	235				450	73	2,94
28,2	1,2E-6		36	2,02	35	183				385	65	2,97
28,4	3E-5		36	2,01	33	175				375	64	2,99
28,6	1,2E-5		36	2	32	170				369	63	3,01
28,8	1,1E-5		36	2	32	168				366	63	3,03
29	4,6E-8		35	1,97	24	135				320	57	3,05
29,2	1,5E-10	0,00		2,16			2,02	73	3,35	279		3,07
29,4	1,8E-11	0,09		2,14			1,86	68	3,01	267		3,09
29,6	8,5E-8		33	1,94	15	93				254	50	3,11
29,8	1,3E-7		35	1,98	25	143				331	58	3,13
30	4E-6		37	2,02	36	195				401	68	3,15
30,2	3,8E-6		37	2,03	37	203				410	69	3,17
30,4	3,9E-5		37	2,03	39	218				429	71	3,19
30,6	4,3E-6		37	2,05	42	238				452	74	3,21
30,8	3,9E-5		37	2,03	39	218				429	72	3,23
31	5,5E-5		37	2,04	41	233				447	74	3,25

Profondità della falda (m): 2,37

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 e Felonica (MN)

- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI	Attrezzatura: CPT 20 TON
Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO	
Data: AGOSTO 2007	Quota(m): p.c.
Note:	Sigla: CAIP2
<b>Tabulato della prova</b>	

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	17	18	17	0,27		1,59
0,4	11	15	11	0,33		3
0,6	16	21	16	0,6		3,75
0,8	20	29	20	0,53		2,65
1	18	26	18	0,67		3,72
1,2	11	21	11	0,4		3,64
1,4	15	21	15	0,47		3,13
1,6	17	24	17	0,47		2,76
1,8	11	18	11	0,47		4,27
2	9	16	9	0,27		3
2,2	14	18	14	0,4		2,86
2,4	10	16	10	0,4		4
2,6	9	15	9	0,53		5,89
2,8	10	18	10	0,33		3,3
3	8	13	8	0,4		5
3,2	15	21	15	0,47		3,13
3,4	14	21	14	0,33		2,36
3,6	16	21	16	0,33		2,06
3,8	15	20	15	0,27		1,8
4	8	12	8	0,2		2,5
4,2	4	7	4	0,13		3,25
4,4	7	9	7	0,27		3,86
4,6	7	11	7	0,27		3,86
4,8	9	13	9	0,27		3
5	8	12	8	0,27		3,38
5,2	6	10	6	0,27		4,5
5,4	6	10	6	0,27		4,5
5,6	7	11	7	0,2		2,86
5,8	7	10	7	0,2		2,86
6	6	9	6	0,2		3,33
6,2	7	10	7	0,33		4,71
6,4	8	13	8	0,33		4,13
6,6	8	13	8	0,4		5
6,8	8	14	8	0,47		5,87
7	8	15	8	0,4		5
7,2	10	16	10	0,4		4
7,4	8	14	8	0,4		5
7,6	8	14	8	0,33		4,13
7,8	9	14	9	0,47		5,22
8	8	15	8	0,47		5,87
8,2	14	21	14	0,67		4,79
8,4	25	35	25	0,27		1,08
8,6	16	20	16	0,47		2,94
8,8	14	21	14	0,47		3,36
9	11	18	11	0,6		5,45
9,2	13	22	13	0,67		5,15



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (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	15	25	15	0,53		3,53
9,6	10	18	10	0,47		4,7
9,8	10	17	10	0,73		7,3
10	15	26	15	0,87		5,8
10,2	14	27	14	0,93		6,64
10,4	18	32	18	1,07		5,94
10,6	21	37	21	0,93		4,43
10,8	24	38	24	0,73		3,04
11	26	37	26	0,87		3,35
11,2	23	36	23	0,8		3,48
11,4	25	37	25	0,73		2,92
11,6	27	38	27	1,13		4,19
11,8	23	40	23			
12	21		21			

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: AGOSTO 2007

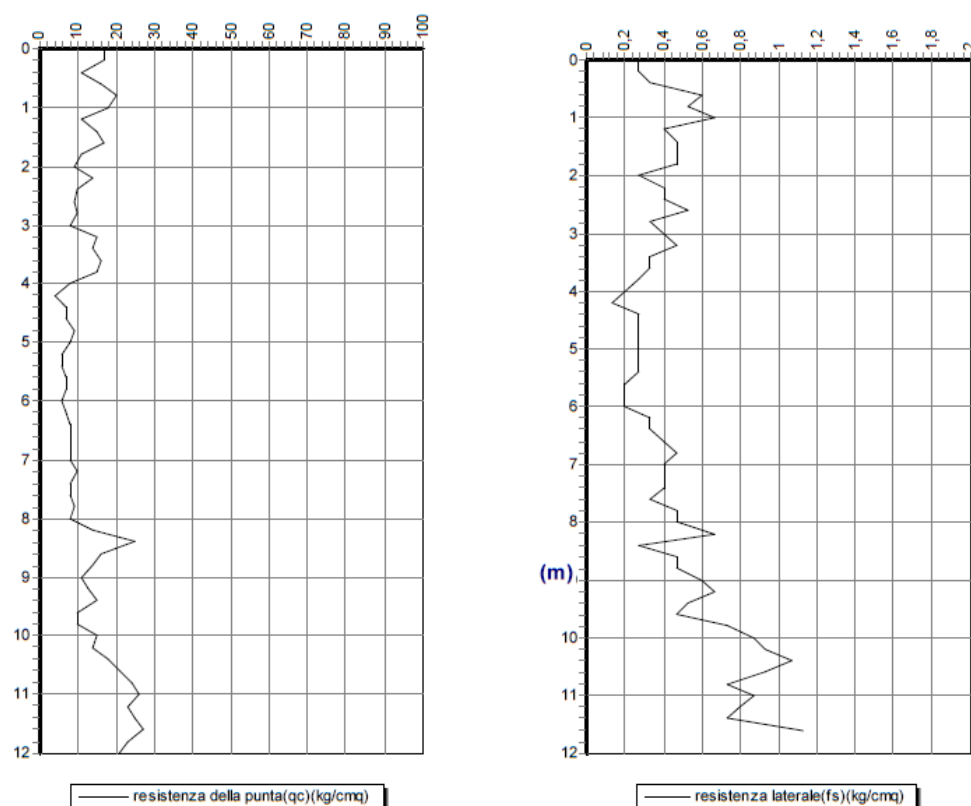
Attrezzatura: CPT 20 TON

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: CA\IP2

### Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 2,24

# **DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Attrezzatura: CPT 20 TON

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: AGOSTO 2007

Quota(m): p.c.

Sigla: CAIP2

Note:

## **Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)**

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

Lunghezza della prova (m): 12

Profondità di partenza (m): 0,2

Profondità della falda (m): 2,24

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/cm<sup>2</sup>)

fs (kg/cm<sup>2</sup>)

Descrizione litologica

0,2	17	0,27	Sabbia sciolta
0,4	11	0,33	Argilla sabbiosa o limosa
0,6	16	0,6	Argilla sabbiosa o limosa
0,8	20	0,53	Sabbia e limo
1	18	0,67	Argilla sabbiosa o limosa
1,2	11	0,4	Argilla sabbiosa o limosa
1,4	15	0,47	Argilla sabbiosa o limosa
1,6	17	0,47	Sabbia e limo
1,8	11	0,47	Argilla inorganica med.consistente
2	9	0,27	Argilla sabbiosa o limosa
2,2	14	0,4	Sabbia e limo
2,4	10	0,4	Argilla inorganica med.consistente
2,6	9	0,53	Argilla organica
2,8	10	0,33	Argilla sabbiosa o limosa
3	8	0,4	Argilla inorganica med.consistente
3,2	15	0,47	Argilla sabbiosa o limosa
3,4	14	0,33	Sabbia e limo
3,6	16	0,33	Sabbia sciolta
3,8	15	0,27	Sabbia sciolta
4	8	0,2	Sabbia e limo
4,2	4	0,13	Argilla inorganica molle
4,4	7	0,27	Argilla inorganica med.consistente
4,6	7	0,27	Argilla inorganica med.consistente
4,8	9	0,27	Argilla sabbiosa o limosa
5	8	0,27	Argilla sabbiosa o limosa

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (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	6	0,27	Argilla inorganica med.consistente
5,4	6	0,27	Argilla inorganica med.consistente
5,6	7	0,2	Argilla sabbiosa o limosa
5,8	7	0,2	Argilla sabbiosa o limosa
6	6	0,2	Argilla sabbiosa o limosa
6,2	7	0,33	Argilla inorganica med.consistente
6,4	8	0,33	Argilla inorganica med.consistente
6,6	8	0,4	Argilla inorganica med.consistente
6,8	8	0,47	Argilla organica
7	8	0,4	Argilla inorganica med.consistente
7,2	10	0,4	Argilla inorganica med.consistente
7,4	8	0,4	Argilla inorganica med.consistente
7,6	8	0,33	Argilla inorganica med.consistente
7,8	9	0,47	Argilla inorganica med.consistente
8	8	0,47	Argilla organica
8,2	14	0,67	Argilla inorganica consistente
8,4	25	0,27	Sabbia mediamente addensata
8,6	16	0,47	Sabbia e limo
8,8	14	0,47	Argilla sabbiosa o limosa
9	11	0,6	Argilla inorganica consistente
9,2	13	0,67	Argilla inorganica consistente
9,4	15	0,53	Argilla sabbiosa o limosa
9,6	10	0,47	Argilla inorganica med.consistente
9,8	10	0,73	Argilla organica
10	15	0,87	Argilla inorganica consistente
10,2	14	0,93	Argilla organica
10,4	18	1,07	Argilla inorganica molto consistente
10,6	21	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
10,8	24	0,73	Sabbia e limo
11	26	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
11,2	23	0,8	Argilla sabbiosa o limosa
11,4	25	0,73	Sabbia e limo
11,6	27	1,13	Argilla sabbiosa o limosa
11,8	23	40	Argilla inorganica molto consistente
12	21		Argilla inorganica molto consistente

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI	Attrezzatura: CPT 20 TON
Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO	Data: AGOSTO 2007
Note:	Quota(m): p.c.
	Sigla: CAIP2

**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	2,4E-5		30	2,16	85	43				158	68	0,02
0,4	1,1E-7	0,02		1,87			0,552	39	1,43	121		0,06
0,6	6,1E-9	0,03		1,95			0,803	56	1,3	152		0,1
0,8	4,1E-7		30	2	64	50				175	53	0,14
1	6,8E-9	0,04		1,98			0,9	63	0,78	164		0,18
1,2	9,6E-9	0,05		1,86			0,545	39	0,35	121		0,22
1,4	6,6E-8	0,05		1,93			0,745	53	0,45	146		0,26
1,6	2,7E-7		30	1,86	41	43				158	37	0,29
1,8	8,3E-10	0,06		1,89			0,624	39	0,31	121		0,33
2	1,1E-7	0,07		1,81			0,436	32	0,19	107		0,37
2,2	1,9E-7		29	1,78	26	35				140	26	0,4
2,4	2,4E-9	0,07		1,87			0,559	35	0,26	114		0,43
2,6	1,6E-12	0,07		1,84			0,5	32	0,25	107		0,45
2,8	3,5E-8	0,07		1,84			0,481	35	0,26	114		0,47
3	5,2E-11	0,08		1,82			0,439	28	0,26	100		0,49
3,2	6,6E-8	0,07		1,93			0,732	53	0,56	146		0,5

Profondità della falda (m): 2,24

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 e Felonica (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-6		29	1,96	20	35				140	22	0,52
3,6	3,9E-6		29	1,97	24	40				152	26	0,54
3,8	1,1E-5		29	1,96	21	38				146	24	0,56
4	7,4E-7		26	1,94	15	20				100	19	0,58
4,2	4,3E-8	0,1		1,64			0,199	20	0,15	65		0,59
4,4	4,2E-9	0,09		1,78			0,374	25	0,55	92		0,61
4,6	4,2E-9	0,09		1,78			0,373	25	1,26	92		0,62
4,8	1,1E-7	0,08		1,81			0,422	32	3,36	107		0,64
5	2,6E-8	0,09		1,78			0,371	28	2,77	100		0,66
5,2	3,6E-10	0,09		1,74			0,311	30	2,16	84		0,67
5,4	3,6E-10	0,09		1,74			0,311	30	2,1	84		0,69
5,6	1,9E-7	0,09		1,74			0,318	25	2,11	92		0,7
5,8	1,9E-7	0,09		1,74			0,317	25	2,04	92		0,72
6	3,1E-8	0,1		1,7			0,266	30	1,6	84		0,73
6,2	1,6E-10	0,09		1,78			0,366	25	2,33	92		0,75
6,4	1,5E-9	0,09		1,81			0,423	28	2,71	100		0,76
6,6	5,2E-11	0,09		1,81			0,422	28	2,64	100		0,78
6,8	1,8E-12	0,09		1,81			0,421	28	2,56	100		0,79
7	5,2E-11	0,09		1,81			0,42	28	2,49	100		0,81
7,2	2,4E-9	0,08		1,86			0,536	35	3,29	114		0,83
7,4	5,2E-11	0,09		1,8			0,418	28	2,35	100		0,84
7,6	1,5E-9	0,09		1,8			0,417	28	2,29	100		0,86
7,8	2,2E-11	0,09		1,83			0,475	32	2,63	107		0,88
8	1,8E-12	0,09		1,8			0,416	28	2,18	100		0,89

Profondità della falda (m): 2,24

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 e Felonica (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	1,1E-10	0,08		1,94			0,766	49	4,57	140		0,91
8,4	0,00016		31	1,98	26	63				200	32	0,93
8,6	1,4E-7		29	1,94	15	40				152	24	0,95
8,8	2,8E-8	0,08		1,91			0,658	49	3,5	140		0,97
9	8,6E-12	0,09		1,88			0,586	39	2,96	121		0,98
9,2	2,7E-11	0,08		1,92			0,702	46	3,63	134		1
9,4	1,4E-8	0,08		1,92			0,706	53	3,57	146		1,02
9,6	1,6E-10	0,09		1,86			0,524	35	2,41	114		1,04
9,8	6,1E-15	0,09		1,86			0,523	35	2,35	114		1,06
10	2,1E-12	0,08		1,95			0,814	53	4	146		1,07
10,2	7,4E-14	0,08		1,94			0,755	49	3,57	140		1,09
10,4	1,1E-12	0,08		2			0,988	63	4,88	164		1,11
10,6	4,3E-10	0,08		2			1,003	36	4,87	180		1,13
10,8	9,2E-8		31	1,96	20	60				195	30	1,15
11	2,8E-8	0,07		2,05			1,254	44	6,16	205		1,17
11,2	1,7E-8	0,08		2,02			1,101	39	5,12	190		1,19
11,4	1,5E-7		31	1,96	20	63				200	31	1,21
11,6	1,1E-9	0,07		2,06			1,301	46	6,06	210		1,23
11,8	0	0,07		2,05			1,272	39	5,76	190		1,25
12		0,08		2,03			1,154	36	5	180		1,27

Profondità della falda (m): 2,24

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 e Felonica (MN)

- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI	Attrezzatura: CPT 20 TON
Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO	
Data: AGOSTO 2007	Quota(m): p.c.
Note:	Sigla: CAIP3
<b>Tabulato della prova</b>	

Prof. (m)	Rp (kg/cmq)	Rp+Rl (kg/cmq)	qc (kg/cmq)	fs (kg/cmq)	u (kg/cmq)	fs/qc%
0,2	18	26	18	0,47		2,61
0,4	14	21	14	0,67		4,79
0,6	20	30	20	0,4		2
0,8	15	21	15	0,4		2,67
1	16	22	16	0,33		2,06
1,2	19	24	19	0,4		2,11
1,4	10	16	10	0,33		3,3
1,6	9	14	9	0,33		3,67
1,8	10	15	10	0,4		4
2	8	14	8	0,2		2,5
2,2	15	18	15	0,53		3,53
2,4	13	21	13	0,53		4,08
2,6	16	24	16	0,2		1,25
2,8	13	16	13	0,33		2,54
3	7	12	7	0,27		3,86
3,2	9	13	9	0,4		4,44
3,4	12	18	12	0,33		2,75
3,6	13	18	13	0,33		2,54
3,8	16	21	16	0,4		2,5
4	15	21	15	0,4		2,67
4,2	14	20	14	0,27		1,93
4,4	17	21	17	0,47		2,76
4,6	14	21	14	0,4		2,86
4,8	10	16	10	0,47		4,7
5	10	17	10	0,4		4
5,2	8	14	8	0,4		5
5,4	7	13	7	0,33		4,71
5,6	8	13	8	0,4		5
5,8	10	16	10	0,4		4
6	9	15	9	0,4		4,44
6,2	8	14	8	0,33		4,13
6,4	8	13	8	0,33		4,13
6,6	7	12	7	0,27		3,86
6,8	12	16	12	0,47		3,92
7	13	20	13	0,13		1
7,2	17	19	17	0,33		1,94
7,4	13	18	13	0,33		2,54
7,6	19	24	19	0,2		1,05
7,8	14	17	14	0,27		1,93
8	6	10	6	0,13		2,17
8,2	8	10	8	0,87		10,88
8,4	15	28	15	0,8		5,33
8,6	20	32	20	0,4		2
8,8	27	33	27	0,6		2,22
9	25	34	25	0,33		1,32
9,2	27	32	27	0,73		2,7

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (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	20	31	20	0,8		4
9,6	21	33	21	0,93		4,43
9,8	23	37	23	0,73		3,17
10	19	30	19	0,8		4,21
10,2	22	34	22	0,8		3,64
10,4	25	37	25	0,87		3,48
10,6	21	34	21	0,87		4,14
10,8	23	36	23	0,67		2,91
11	25	35	25	0,53		2,12
11,2	26	34	26	0,87		3,35
11,4	24	37	24	0,73		3,04
11,6	27	38	27	0,53		1,96
11,8	23	31	23	0,53		2,3
12	22	30	22	0,53		2,41

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: AGOSTO 2007

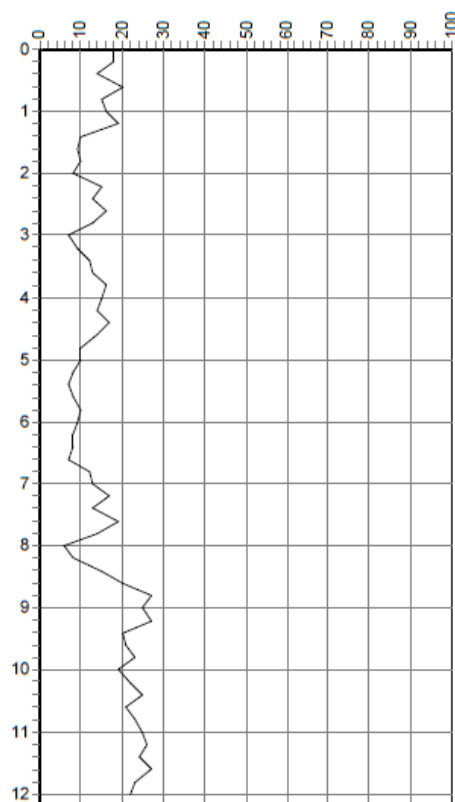
Attrezzatura: CPT 20 TON

Note:

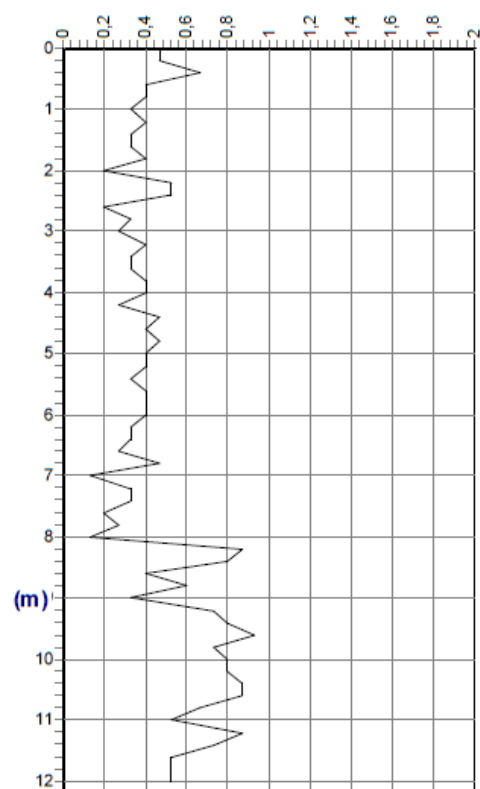
Quota(m): p.c.

Sigla: CA\IP3

## Grafico della prova



— resistenza della punta(qc)(kg/cm²)



— resistenza laterale(fs)(kg/cm²)

Profondità della falda dal p.c.(m): 2,18

**DOCT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
- m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI

Attrezzatura: CPT 20 TON

Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO

Data: AGOSTO 2007

Quota(m): p.c.

Sigla: CAIP3

Note:

**Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)**

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

Lunghezza della prova (m): 12

Profondità di partenza (m): 0,2

Profondità della falda (m): 2,18

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/cm<sup>2</sup>)

fs (kg/cm<sup>2</sup>)

Descrizione litologica

0,2	18	0,47	Sabbia e limo
0,4	14	0,67	Argilla inorganica consistente
0,6	20	0,4	Sabbia sciolta
0,8	15	0,4	Sabbia e limo
1	16	0,33	Sabbia sciolta
1,2	19	0,4	Sabbia e limo
1,4	10	0,33	Argilla sabbiosa o limosa
1,6	9	0,33	Argilla sabbiosa o limosa
1,8	10	0,4	Argilla inorganica med.consistente
2	8	0,2	Sabbia e limo
2,2	15	0,53	Argilla sabbiosa o limosa
2,4	13	0,53	Argilla sabbiosa o limosa
2,6	16	0,2	Sabbia sciolta
2,8	13	0,33	Sabbia e limo
3	7	0,27	Argilla inorganica med.consistente
3,2	9	0,4	Argilla inorganica med.consistente
3,4	12	0,33	Sabbia e limo
3,6	13	0,33	Sabbia e limo
3,8	16	0,4	Sabbia e limo
4	15	0,4	Sabbia e limo
4,2	14	0,27	Sabbia sciolta
4,4	17	0,47	Sabbia e limo
4,6	14	0,4	Sabbia e limo
4,8	10	0,47	Argilla inorganica med.consistente
5	10	0,4	Argilla inorganica med.consistente



**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (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	8	0,4	Argilla inorganica med.consistente
5,4	7	0,33	Argilla inorganica med.consistente
5,6	8	0,4	Argilla inorganica med.consistente
5,8	10	0,4	Argilla inorganica med.consistente
6	9	0,4	Argilla inorganica med.consistente
6,2	8	0,33	Argilla inorganica med.consistente
6,4	8	0,33	Argilla inorganica med.consistente
6,6	7	0,27	Argilla inorganica med.consistente
6,8	12	0,47	Argilla sabbiosa o limosa
7	13	0,13	Sabbia sciolta
7,2	17	0,33	Sabbia sciolta
7,4	13	0,33	Sabbia e limo
7,6	19	0,2	Sabbia sciolta
7,8	14	0,27	Sabbia sciolta
8	6	0,13	Sabbia e limo
8,2	8	0,87	Argilla organica
8,4	15	0,8	Argilla inorganica consistente
8,6	20	0,4	Sabbia sciolta
8,8	27	0,6	Sabbia e limo
9	25	0,33	Sabbia mediamente addensata
9,2	27	0,73	Sabbia e limo
9,4	20	0,8	Argilla sabbiosa o limosa
9,6	21	0,93	Argilla sabbiosa o limosa
9,8	23	0,73	Sabbia e limo
10	19	0,8	Argilla sabbiosa o limosa
10,2	22	0,8	Argilla sabbiosa o limosa
10,4	25	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
10,6	21	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
10,8	23	0,67	Sabbia e limo
11	25	0,53	Sabbia e limo
11,2	26	0,87	Argilla sabbiosa o limosa
11,4	24	0,73	Sabbia e limo
11,6	27	0,53	Sabbia mediamente addensata
11,8	23	0,53	Sabbia e limo
12	22	0,53	Sabbia e limo

**DOTT. GEOL. MARCO MANTOVANI**

Viale Della Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)  
 - m.mantovani5@virgilio.it

Committente: SIGG. CAMPANINI	Attrezzatura: CPT 20 TON
Località: VIA CREMONA - PIEVE DI CENTO	Data: AGOSTO 2007
Note:	Quota(m): p.c.
	Sigla: CAIP3

**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	4,8E-7		30	2,16	85	45				164	68	0,02
0,4	1,1E-10	0,01		1,95			0,81	49	2,29	140		0,06
0,6	5E-6		30	2,06	72	50				175	59	0,1
0,8	3,9E-7		29	1,93	54	38				146	45	0,14
1	3,9E-6		29	1,91	50	40				152	42	0,18
1,2	3,3E-6		30	1,92	52	48				169	45	0,22
1,4	3,5E-8	0,06		1,84			0,49	35	0,27	114		0,26
1,6	8,6E-9	0,06		1,82			0,44	32	0,22	107		0,29
1,8	2,4E-9	0,06		1,87			0,57	35	0,28	114		0,33
2	7,4E-7		26	1,73	15	20				100	16	0,37
2,2	1,4E-8	0,06		1,93			0,74	53	0,37	146		0,4
2,4	1,8E-9	0,07		1,9			0,63	46	0,32	134		0,43
2,6	8,6E-5		29	1,99	28	40				152	28	0,45
2,8	6,4E-7		29	1,96	20	33				134	22	0,47
3	4,2E-9	0,08		1,78			0,38	25	0,22	92		0,49
3,2	4,4E-10	0,07		1,84			0,5	32	0,34	107		0,5

Profondità della falda (m): 2,18

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 e Felonica (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	2,9E-7		28	1,94	15	30				128	18	0,52
3,6	6,4E-7		29	1,95	17	33				134	20	0,54
3,8	7,4E-7		29	1,97	23	40				152	25	0,56
4	3,9E-7		29	1,96	20	38				146	23	0,58
4,2	6,5E-6		29	1,95	17	35				140	21	0,6
4,4	2,7E-7		30	1,97	23	43				158	26	0,61
4,6	1,9E-7		29	1,94	15	35				140	20	0,63
4,8	1,6E-10	0,08		1,87			0,55	35	4,54	114		0,65
5	2,4E-9	0,08		1,86			0,55	35	4,38	114		0,67
5,2	5,2E-11	0,08		1,81			0,43	28	3,14	100		0,69
5,4	1,6E-10	0,09		1,78			0,37	25	2,52	92		0,7
5,6	5,2E-11	0,09		1,81			0,43	28	2,95	100		0,72
5,8	2,4E-9	0,08		1,86			0,54	35	3,87	114		0,73
6	4,4E-10	0,08		1,84			0,48	32	3,25	107		0,75
6,2	1,5E-9	0,09		1,81			0,42	28	2,68	100		0,77
6,4	1,5E-9	0,09		1,81			0,42	28	2,61	100		0,78
6,6	4,2E-9	0,09		1,77			0,36	25	2,1	92		0,8
6,8	3,3E-9	0,08		1,87			0,56	42	3,57	128		0,82
7	0,00022		29	1,94	15	33				134	22	0,83
7,2	6,2E-6		30	1,94	15	43				158	22	0,85
7,4	6,4E-7		29	1,94	15	33				134	23	0,87
7,6	0,00018		30	1,95	18	48				169	25	0,89
7,8	6,5E-6		29	1,94	15	35				140	23	0,91
8	2,7E-6		25	1,94	15	15				84	23	0,93

Profondità della falda (m): 2,18

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 e Felonica (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	3,3E-21	0,09		1,8			0,41	28	2	100		0,95
8,4	1,3E-11	0,08		1,96			0,82	53	4,63	146		0,96
8,6	5E-6		30	1,95	17	50				175	26	0,98
8,8	2,1E-6		32	1,99	27	68				210	34	1
9	6,6E-5		31	1,97	24	63				200	32	1,02
9,2	3,3E-7		32	1,98	26	68				210	34	1,04
9,4	2,3E-9	0,08		1,99			0,96	34	4,97	175		1,06
9,6	4,3E-10	0,08		2			1,01	36	5,17	180		1,08
9,8	5,5E-8		31	1,96	19	58				190	29	1,1
10	1E-9	0,08		1,98			0,9	67	4,32	169		1,12
10,2	9,3E-9	0,08		2,01			1,05	37	5,13	185		1,14
10,4	1,7E-8	0,07		2,04			1,2	43	5,92	200		1,16
10,6	1,3E-9	0,08		2			1	36	4,6	180		1,18
10,8	1,5E-7		31	1,95	17	58				190	28	1,2
11	3,1E-6		31	1,96	20	63				200	31	1,22
11,2	2,8E-8	0,07		2,05			1,25	44	5,72	205		1,24
11,4	9,2E-8		31	1,95	17	60				195	29	1,26
11,6	5,7E-6		32	1,96	21	68				210	33	1,28
11,8	1,6E-6		31	1,94	15	58				190	28	1,3
12	1E-6		31	1,94	15	55				185	28	1,32

Profondità della falda (m): 2,18

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.

Profilo del terreno da CPT					
N.	da (m)	a (m)	qc(qt)(MPa)	fs(kPa)	Gamma(kN/mc)
1	0,00	0,20	2,94	71,61	21,19
2	0,20	0,40	2,06	85,35	19,72
3	0,40	0,60	2,16	46,11	20,40
4	0,60	0,80	2,06	46,11	19,72
5	0,80	1,00	1,86	51,99	19,13
6	1,00	1,20	1,96	58,86	18,93
7	1,20	1,40	2,06	51,99	18,84
8	1,40	1,60	0,98	39,24	18,34
9	1,60	1,80	1,08	19,62	17,27
10	1,80	2,00	0,78	32,37	17,85
11	2,00	2,20	0,69	26,49	17,56
12	2,20	2,40	0,98	26,49	18,74
13	2,40	2,60	0,98	58,86	18,34
14	2,60	2,80	0,78	26,49	17,46
15	2,80	3,00	0,69	46,11	17,46
16	3,00	3,20	0,78	32,37	17,76
17	3,20	3,40	1,08	39,24	18,25
18	3,40	3,60	0,98	26,49	19,03
19	3,60	3,80	1,18	65,73	18,74
20	3,80	4,00	1,08	46,11	18,54
21	4,00	4,20	0,88	46,11	18,05
22	4,20	4,40	0,98	51,99	18,34
23	4,40	4,60	0,78	51,99	17,76
24	4,60	4,80	1,18	51,99	18,74
25	4,80	5,00	0,69	46,11	17,46
26	5,00	5,20	0,78	58,86	17,76
27	5,20	5,40	0,78	58,86	17,76
28	5,40	5,60	0,78	51,99	17,76
29	5,60	5,80	0,69	51,99	17,46
30	5,80	6,00	0,78	39,24	17,76
31	6,00	6,20	0,69	26,49	17,36
32	6,20	6,40	0,49	65,73	16,58
33	6,40	6,60	1,18	78,48	18,74
34	6,60	6,80	0,78	51,99	17,76
35	6,80	7,00	0,98	71,61	18,25
36	7,00	7,20	0,98	58,86	18,25
37	7,20	7,40	2,26	91,23	19,82
38	7,40	7,60	1,67	85,35	19,52
39	7,60	7,80	0,88	65,73	17,95
40	7,80	8,00	1,77	58,86	19,33
41	8,00	8,20	1,96	58,86	19,13
42	8,20	8,40	0,88	51,99	17,95
43	8,40	8,60	1,08	71,61	18,44
44	8,60	8,80	1,96	78,48	19,52
45	8,80	9,00	0,98	32,37	17,85
46	9,00	9,20	1,18	39,24	18,34
47	9,20	9,40	1,18	65,73	18,64
48	9,40	9,60	1,28	71,61	18,84
49	9,60	9,80	1,86	98,10	19,72
50	9,80	10,00	2,06	104,97	19,91
51	10,00	10,20	2,35	98,10	19,91
52	10,20	10,40	2,16	78,48	19,72
53	10,40	10,60	2,35	98,10	19,91
CAMPANINI					

N.	da (m)	a (m)	qc(qt)(MPa)	fs(kPa)	Gamma(kN/mc)
54	10,60	10,80	1,86	104,97	19,72
55	10,80	11,00	1,96	117,72	19,82
56	11,00	11,20	2,06	110,85	19,91
57	11,20	11,40	2,26	104,97	19,82
58	11,40	11,60	1,96	85,35	19,52
59	11,60	11,80	2,35	98,10	19,91
60	11,80	12,00	2,35	91,23	19,91
61	12,00	12,20	2,45	91,23	20,01
62	12,20	12,40	2,55	85,35	20,11
63	12,40	12,60	2,65	144,21	20,50
64	12,60	12,80	1,96	91,23	19,52
65	12,80	13,00	2,75	98,10	20,31
66	13,00	13,20	2,94	110,85	20,40
67	13,20	13,40	2,75	117,72	20,31
68	13,40	13,60	2,16	104,97	20,01
69	13,60	13,80	1,86	98,10	19,72
70	13,80	14,00	1,96	85,35	19,42
71	14,00	14,20	2,94	117,72	20,40
72	14,20	14,40	2,75	117,72	20,21
73	14,40	14,60	2,35	124,59	20,21
74	14,60	14,80	2,26	117,72	20,11
75	14,80	15,00	1,18	104,97	18,54
76	15,00	15,20	1,47	110,85	19,03
77	15,20	15,40	3,24	242,31	20,99
78	15,40	15,60	3,34	144,21	20,70
79	15,60	15,80	2,75	65,73	19,03
80	15,80	16,00	3,43	169,71	20,80
81	16,00	16,20	3,14	150,09	20,50
82	16,20	16,40	3,83	189,33	20,99
83	16,40	16,60	3,34	144,21	20,70
84	16,60	16,80	3,53	150,09	20,80
85	16,80	17,00	2,84	137,34	20,31
86	17,00	17,20	2,65	130,47	20,11
87	17,20	17,40	2,55	104,97	20,01
88	17,40	17,60	2,75	104,97	20,21
89	17,60	17,80	2,35	104,97	19,82
90	17,80	18,00	2,55	117,72	20,01
91	18,00	18,20	2,06	117,72	19,82
92	18,20	18,40	2,16	91,23	19,62
93	18,40	18,60	2,26	91,23	19,72
94	18,60	18,80	2,35	91,23	19,82
95	18,80	19,00	2,55	91,23	20,01
96	19,00	19,20	1,96	65,73	19,42
97	19,20	19,40	1,77	58,86	19,13
98	19,40	19,60	1,47	65,73	19,03
99	19,60	19,80	1,57	110,85	19,13
100	19,80	20,00	1,57	91,23	19,13
101	20,00	20,20	1,28	71,61	18,64
102	20,20	20,40	1,28	78,48	18,64
103	20,40	20,60	1,37	78,48	18,84
104	20,60	20,80	1,18	71,61	18,44
105	20,80	21,00	1,28	85,35	18,64
106	21,00	21,20	1,18	51,99	18,34
107	21,20	21,40	1,28	65,73	18,64
108	21,40	21,60	1,37	78,48	18,84
CAMPANINI					



N.	da (m)	a (m)	qc(qt)(MPa)	fs(kPa)	Gamma(kN/mc)
109	21,60	21,80	1,77	156,96	19,42
110	21,80	22,00	4,12	156,96	21,19
111	22,00	22,20	3,92	78,48	19,23
112	22,20	22,40	2,94	91,23	19,03
113	22,40	22,60	2,75	117,72	20,21
114	22,60	22,80	2,65	71,61	19,03
115	22,80	23,00	3,24	71,61	19,03
116	23,00	23,20	2,94	183,45	20,70
117	23,20	23,40	4,32	176,58	21,29
118	23,40	23,60	6,18	222,69	19,72
119	23,60	23,80	5,69	91,23	19,62
120	23,80	24,00	6,97	176,58	19,91
121	24,00	24,20	6,18	104,97	19,72
122	24,20	24,40	7,06	144,21	19,91
123	24,40	24,60	6,38	156,96	19,72
124	24,60	24,80	6,67	189,33	19,82
125	24,80	25,00	7,16	137,34	19,91
126	25,00	25,20	7,36	183,45	19,91
127	25,20	25,40	8,24	196,20	20,11
128	25,40	25,60	7,85	228,57	20,01
129	25,60	25,80	7,75	150,09	20,01
130	25,80	26,00	5,98	130,47	19,62
131	26,00	26,20	5,59	183,45	19,52
132	26,20	26,40	8,24	196,20	20,01
133	26,40	26,60	8,93	228,57	20,11
134	26,60	26,80	9,32	281,55	20,21
135	26,80	27,00	8,24	222,69	20,01
136	27,00	27,20	7,16	222,69	19,82
137	27,20	27,40	6,87	248,19	19,72
138	27,40	27,60	9,32	235,44	20,21
139	27,60	27,80	9,03	222,69	20,11
140	27,80	28,00	9,22	156,96	20,11
141	28,00	28,20	7,16	169,71	19,82
142	28,20	28,40	6,87	104,97	19,72
143	28,40	28,60	6,67	117,72	19,62
144	28,60	28,80	6,57	117,72	19,62
145	28,80	29,00	5,30	169,71	19,33
146	29,00	29,20	4,22	196,20	21,19
147	29,20	29,40	3,92	203,07	20,99
148	29,40	29,60	3,63	110,85	19,03
149	29,60	29,80	5,59	163,83	19,42
150	29,80	30,00	7,65	156,96	19,82
151	30,00	30,20	7,95	163,83	19,91
152	30,20	30,40	8,53	124,59	19,91
153	30,40	30,60	9,32	189,33	20,11
154	30,60	30,80	8,53	124,59	19,91
155	30,80	31,00	9,12	124,59	20,01



