S.S.T.
Studio Servizi Tecnici
Settore geologia e ambiente

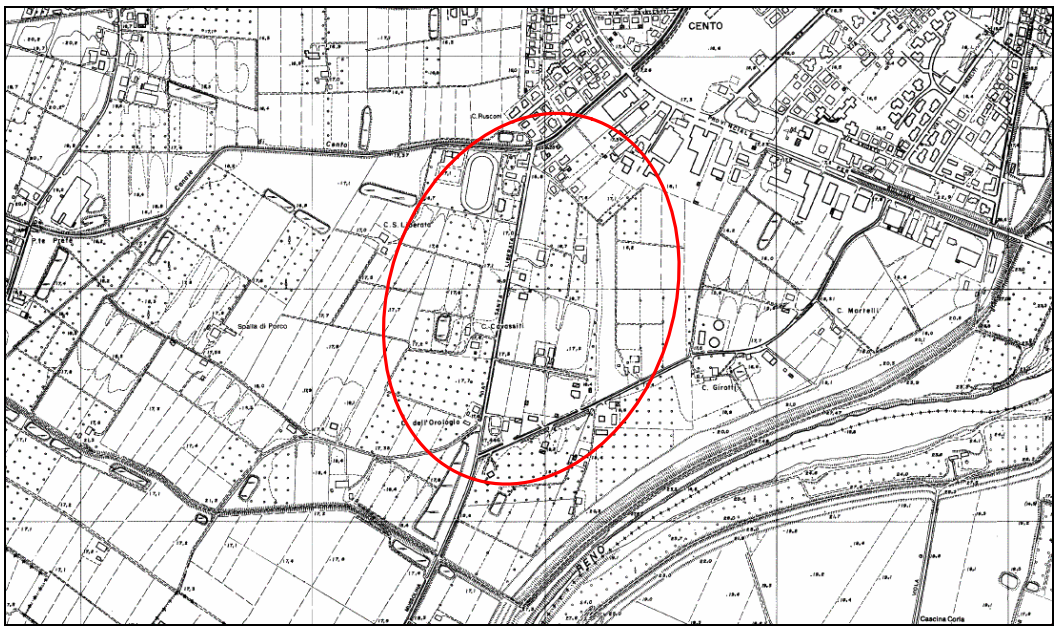
*DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE*
*Via Roma, 10*
*44021 CODIGORO (Ferrara)*
Tel e fax. 0533 / 713798 cell. 335-5240380
E-mail: thomas.veronese@tin.it

*MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMICA*

# Comune di Cento

## Provincia di Ferrara

Progetto per l'inserimento nel Piano della Ricostruzione del comune di Cento di un intervento urbanistico in via Santa Liberata censito al NTC Comune di Cento al Fg. 54 mapp. 684, 870, 1048 e 1049, mapp. 912, 913, 627 e 686, mapp. 1123 e 1124, mapp. 1123 e 1124, mapp. 996 ed infine al Fg. 53, mapp. 128 e 129.




Committenti: Sig. Dondi Enzo, via Santa Liberata, Cento FE
Sig. Dondi Sergio, via L. Pirandello, Cento FE
Sig. Dondi Federico, via Santa Liberata, Cento FE
Sig.ra Dondi Elisa, via Salieri, Cento FE
Sig.ra Dondi Valentina, via L. Pirandello, Cento FE
Sig.ra Malaguti Ida, via L. Pirandello, Cento FE

*16 Dicembre 2014*

Timbro

INDICE:

1. PREMESSA ..... **2**

NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO ..... **3**

2. MODELLAZIONE GEOLOGICA ..... **3**

2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA ..... 3
2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI ..... 6
2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI ..... 11
2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI ..... 12

3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI ..... **13**

3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA ..... 13
*Azioni simiche "Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna"* ..... *13*
*Categoria di suolo di fondazione – Secondo D.M. 14/01/08* ..... *14*
*Parametri sismici secondo "D.M. 14 gennaio 2008"* ..... *19*
*Magnitudo di progetto* ..... *22*
3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE ..... 23
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI NEI TERRENI GRANULARI ..... 26
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI COESIVI ..... 27
3.4. MISURA FREQUENZA DI RISONANZA DEPOSITI IN CAMPO LIBERO H/V ..... 31

4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI ..... **34**

4.1. ACQUISIZIONE DATI CON PROVA PENETROMETRICA STATICA ..... 35
4.2. ACQUISIZIONE DATI CON SONDAGGIO GEOGNOSTICO ..... 36
4.3. ACQUISIZIONE DATI CON PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO ..... 38
*4.3.1. Analisi Granulometrica* ..... *38*
*4.3.2.Limiti di Atterberg (Norma CNR- UNI 10014)* ..... *40*

5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE ..... **43**

6. CONCLUSIONI ..... **59**

ALLEGATO: certificati delle prove geotecniche in sito

ALLEGATO: relazione geofisica per prova H/V

ALLEGATO: Studi sismici della Regione Emilia Romagna - Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 e cartografia di riferimento

## 1. PREMESSA

Su incarico dei Sig.ri Dondi Enzo, Dondi Sergio, Dondi Federico, Sig.ra Dondi Elisa, Sig.ra Dondi Valentina e Malaguti Ida, residenti tutti a Cento (FE), si redige lo studio per ricostruire la modellazione geologica e sismica con relative indagini per l'inserimento nel Piano della Ricostruzione del comune di Cento di un intervento urbanistico in via Santa Liberata a Cento (Fe) su un'area censita al NTC del comune di Cento (FE) ai seguenti mappali: al Fg. 54 mapp. 684, 870, 1048 e 1049, mapp. 912, 913, 627 e 686, mapp. 1123 e 1124, mapp. 1123 e 1124, mapp. 996 ed infine al Fg. 53, mapp. 128 e 129.

In FIGURA 1.1 si riporta l'ubicazione dell'area di intervento.

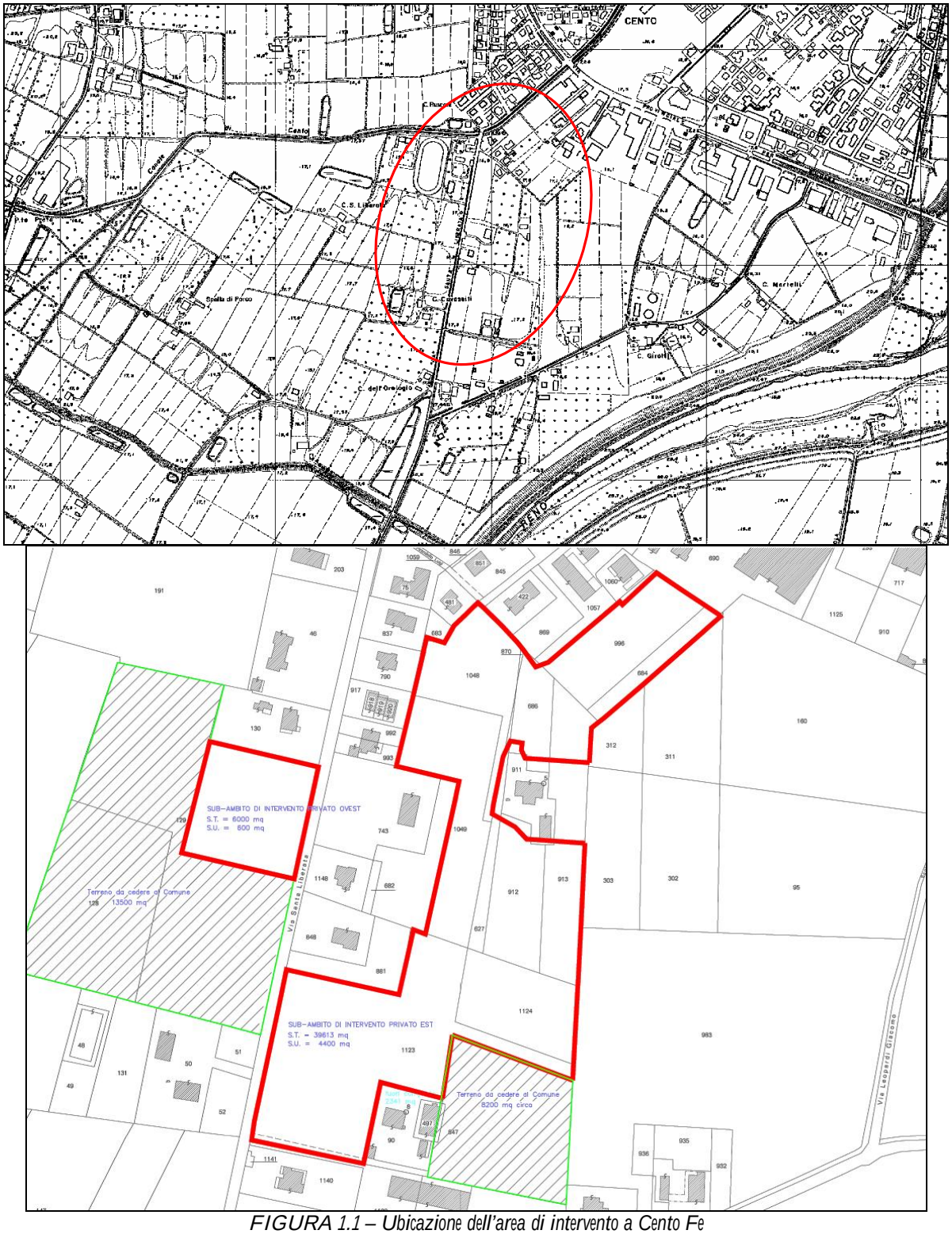



*FIGURA 1.1 – Ubicazione dell'area di intervento a Cento Fe*

Normativa e Raccomandazioni di riferimento

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. N.30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.
- Circolare Applicativa n°617 del 02/02/2009 alle NTC/2008.
- Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna "Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico" per gli studi di microzonizzazione sismica.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)

"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).

- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)

"Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)".

- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)

"Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)".

- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.

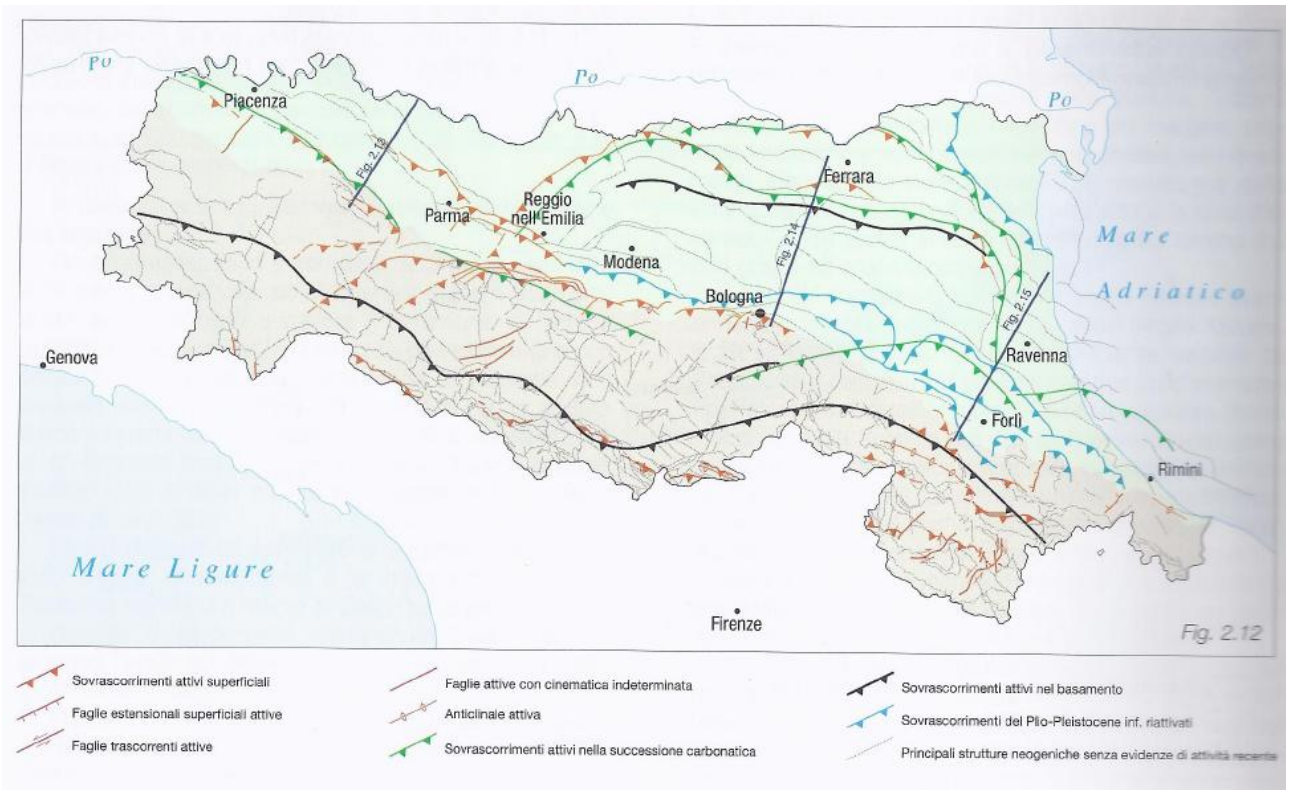
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

## 2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

### 2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA

Nella FIGURA 2.1 si riporta la mappa dei principali sovrascorrimenti attivi nel substrato roccioso emiliano-romagnolo e le sezioni passanti in prossimità di Cento.



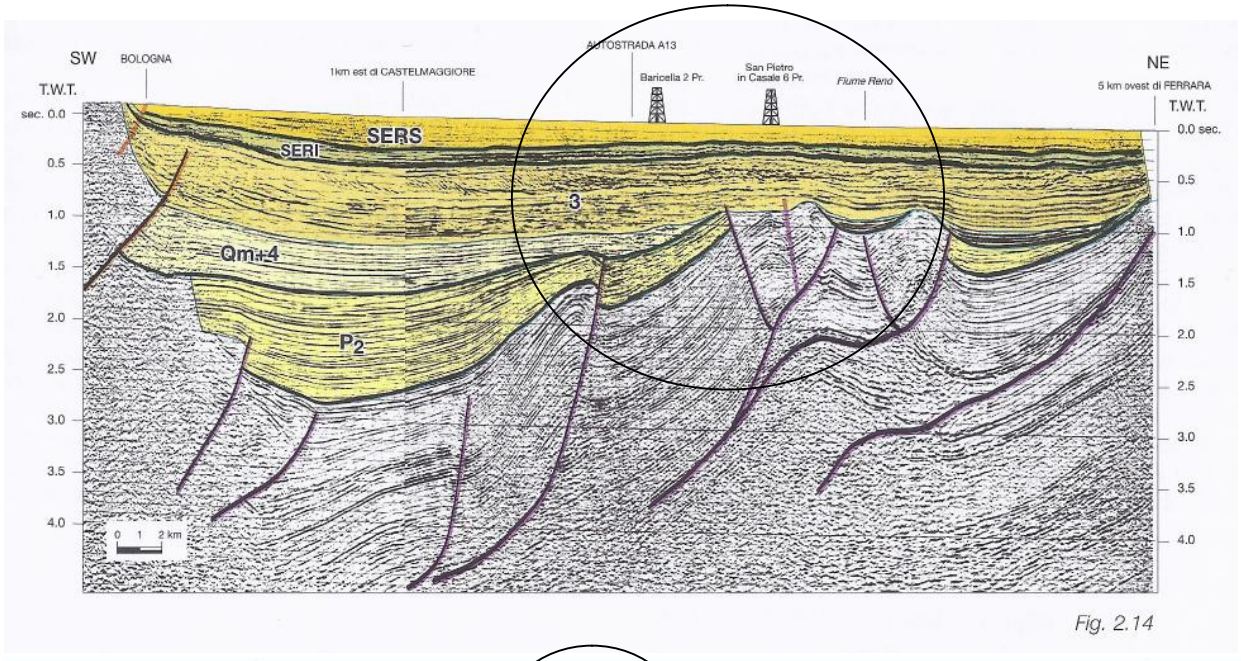



Fig. 2.14

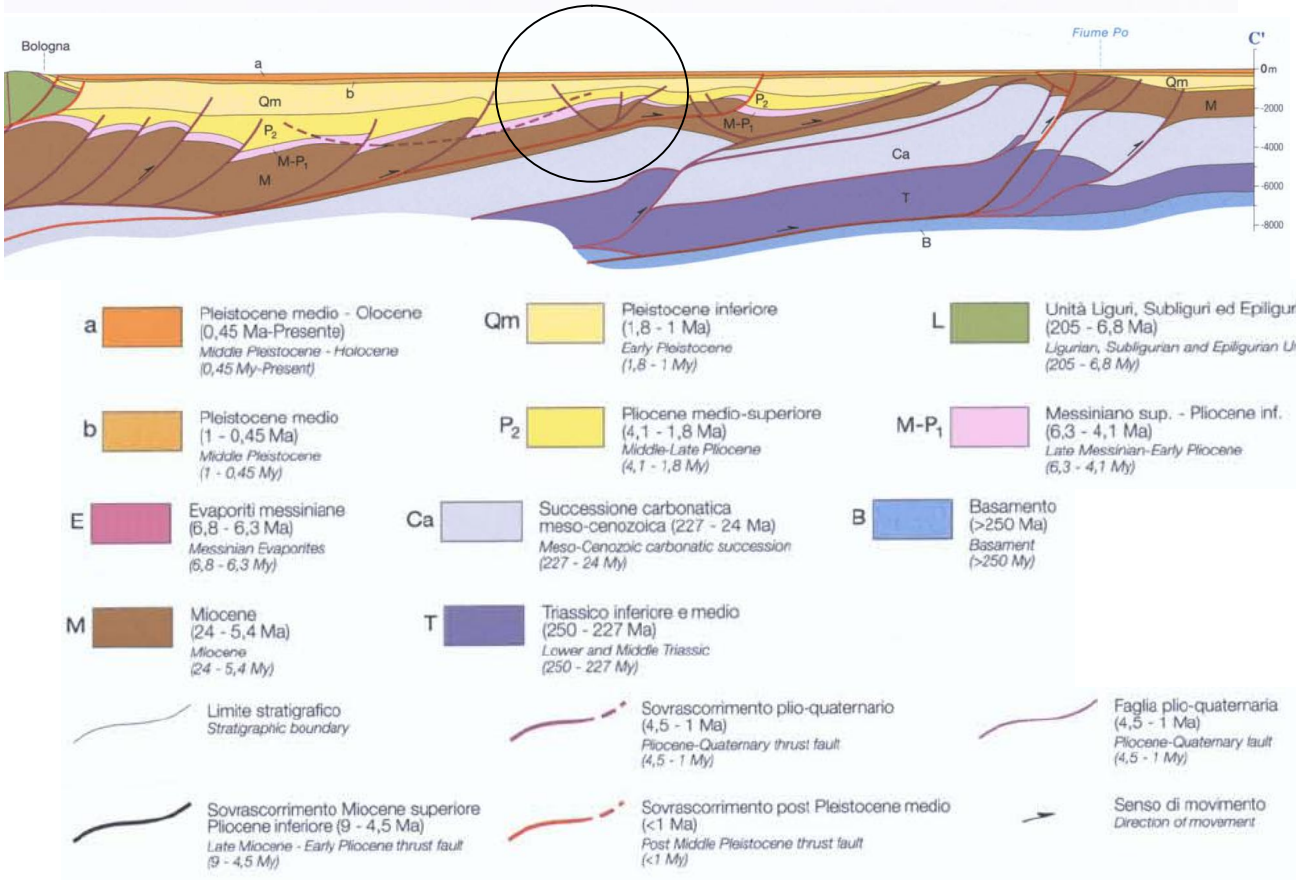



*FIGURA 2.1 – Principali strutture del substrato geologico in corrispondenza del Contese..*

Nella FIGURA 2.2 si riporta uno stralcio della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine dell'attribuzione alla Zona sismica 3, in cui Cento era stata inserita nella OPCM 3274/2003.

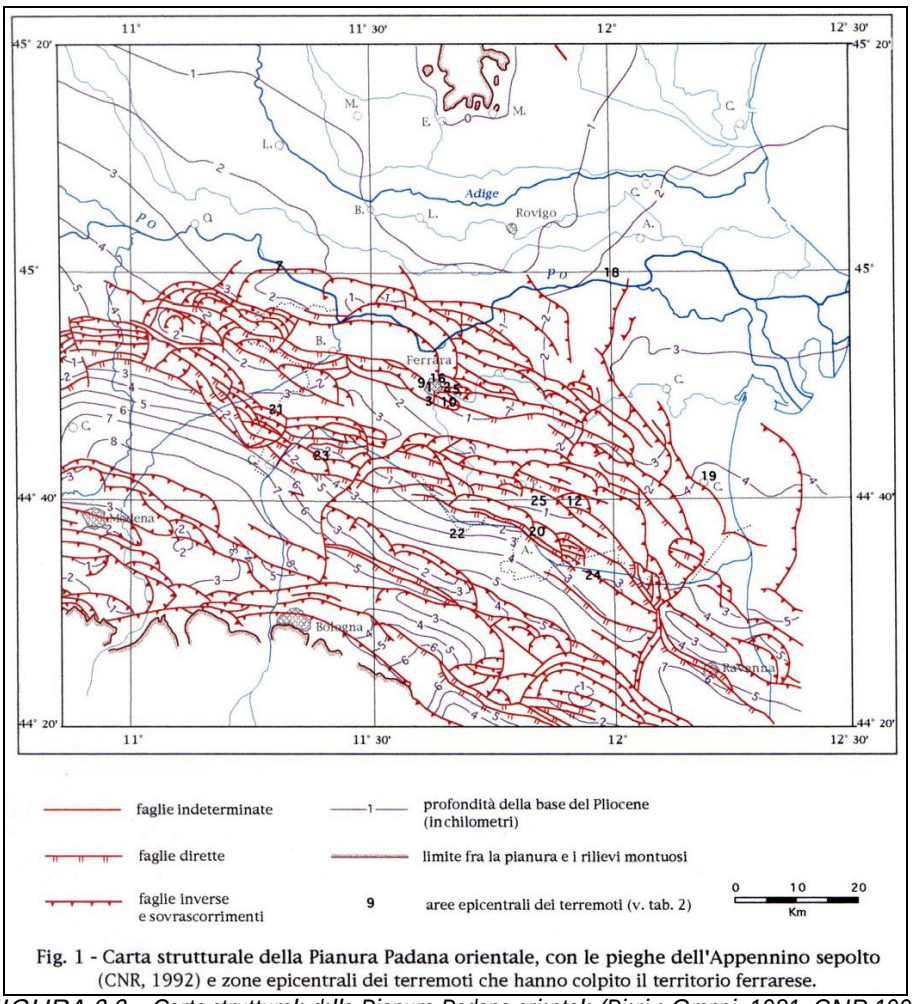



Fig. 1 - Carta strutturale della Pianura Padana orientale, con le pieghe dell'Appennino sepolto (CNR, 1992) e zone epicentrali dei terremoti che hanno colpito il territorio ferrarese.

*FIGURA 2.2 – Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR,1992)*

Si fa inoltre presente che tutto il territorio comunale di Cento ricade all'interno della zona sismogenetica 912 (FIGURA 2.3), e potenzialmente è sede epicentrale di eventi sismici.

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di M = 6,14 (INGV, Veletti e Malensise, 2004).

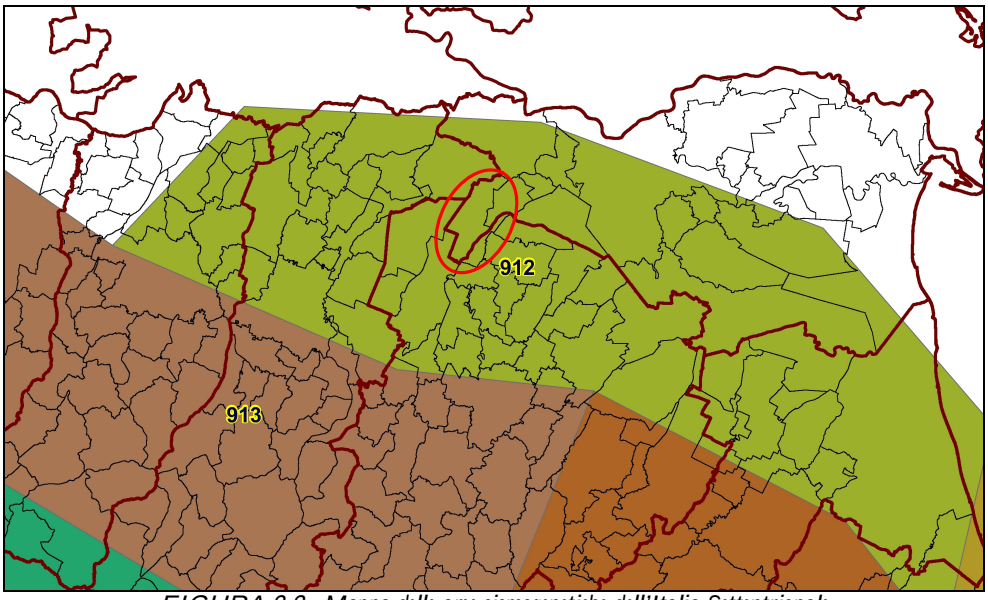



*FIGURA 2.3 - Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale*

## 2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

Generalmente i sedimenti che si rilevano a Cento sono di derivazione alluvionale, legati agli apporti dei fiumi appenninici in modo particolare al fiume Reno. Si rilevano depositi di canale e di argine prossimale con sedimenti tipici di alta e bassa energia idrodinamica.

Generalmente nel sito allo studio si rilevano sedimenti argilloso limosi, con possibile presenza di livelli torbosi; talora è possibile rilevare anche banchi sabbiosi di spessori da decimetrici a metrici a diverse profondità.

Per la validazione del modello geologico è stata eseguita una campagna di indagine, per la ricostruzione di un modello tridimensionale del terreno che permetta di definire al meglio la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame, consistente in una prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, spinta fino alla profondità -25,40 m dal p.c. con *rif. U17-13*.

Non è stato possibile eseguire la prova fino alla profondità di -30,00 m da p.c. per la presenza di terreni saturi fin dal piano campagna, con basse resistenze al taglio, che non hanno offerto un adeguato ancoraggio del penetrometro. In profondità infatti sono presenti terreni argillosi molto consistenti.

Attraverso dati bibliografici si ricava che la stratigrafia dell'area allo studio è caratterizzata da terreni coesivi fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica SCPTU1 rileva:

- da p.c. fino a -1,20 m da p.c. un banco di terreni prevalentemente coesivi consistenti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 12,2 kg/cm$^2$;
- da -1,20 m da p.c. fino a -2,30 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 7,3 kg/cm$^2$;
- da -2,30 m da p.c. fino a -4,50 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente granulari sciolti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 11,4 kg/cm$^2$;
- da -4,50 m da p.c. fino a -6,00 m da p.c. uno strato di terreni caratterizzati da sedimenti prevalentemente granulari sciolti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 8,7 kg/cm$^2$;
- da -6,00 m da p.c. fino a -7,50 m da p.c. un banco di terreni prevalentemente coesivi poco consistenti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 4,3 kg/cm$^2$;
- da -7,50 m da p.c. fino a -10,00 m da p.c. un banco di terreni caratterizzati da sedimenti prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 6,7 kg/cm$^2$;
- da -10,00 m da p.c. fino a -17,00 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistenti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 16,6 kg/cm$^2$;
- da -17,00 m da p.c. fino a -25,40 m da p.c., massima profondità d'investigazione, uno strato di terreni caratterizzati da sedimenti prevalentemente coesivi molto consistenti con valore di resistenza alla punta Rp medio di 23,0 kg/cm$^2$.

Da queste indagini e dalla fotointerpretazione aerea di immagini fotografiche in B/N del sito, si possono ricostruire i caratteri geomorfologici del sito.

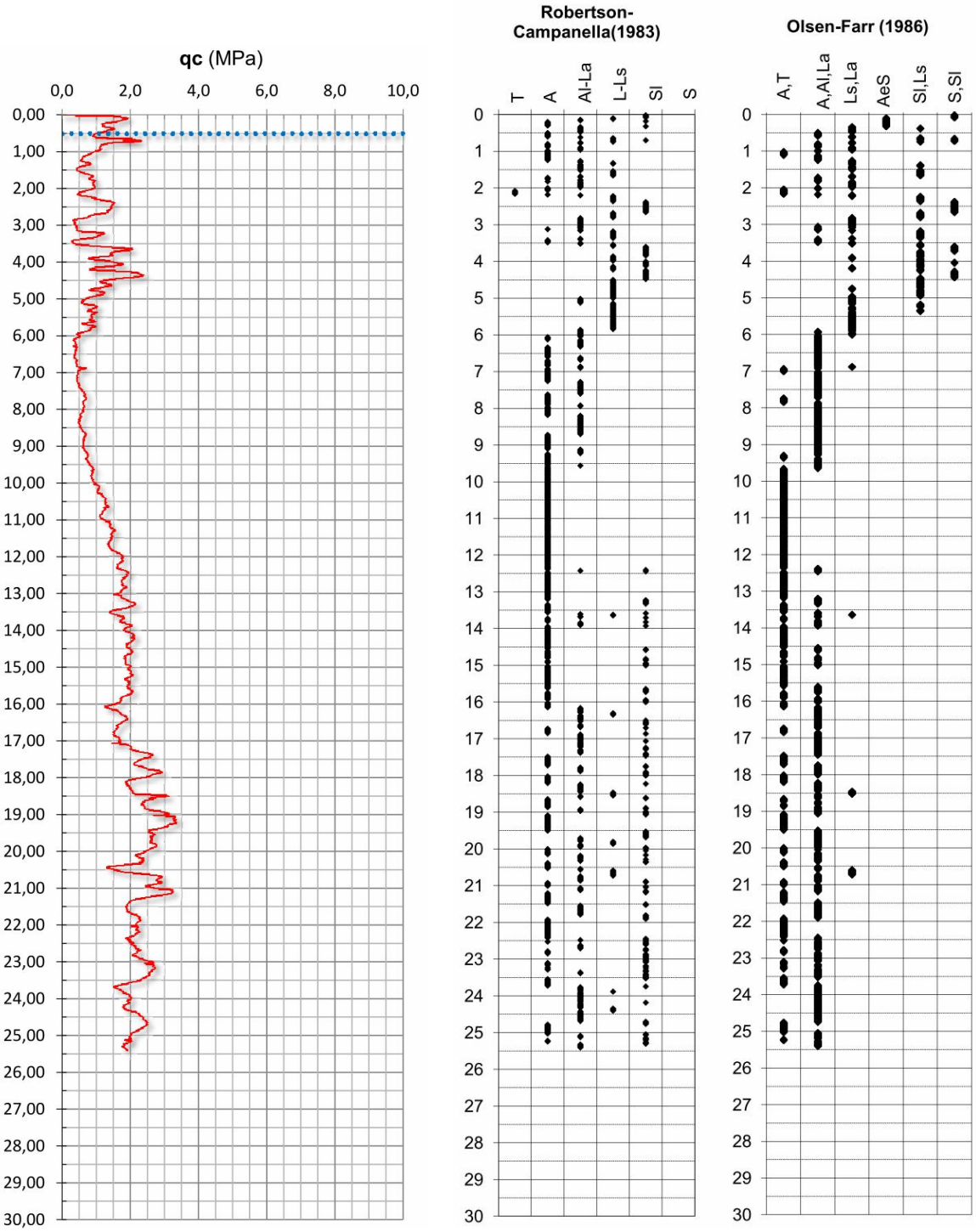



*Diagramma di resistenza e litologie*

Vista la presenza di terreni granulari nei primi 5m di terreno, si è optato per eseguire un sondaggio a carotaggio con coclea per prelevare campioni di sedimenti e classificarli.

Si è dunque effettuato un sondaggio geognostico S1 a distruzione di nucleo con l'ausilio di una sonda oleodinamica leggera munita di coclea $\phi$ 70 mm. Il sondaggio S1, schematizzato nella allegata scheda stratigrafica (SCHEDA 1), è stato spinto fino alla profondità di -4,00 m da p.c. ed è stato realizzato affianco alla prova penetrometrica statica.

La stratigrafia del sondaggio S1 rileva:

- da p.c. fino a -0,10 m da p.c. terreno vegetale;
- da -0,10 m da p.c. fino a -1,20 m da p.c. argilla e limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,20 m da p.c. fino a -1,65 m da p.c. limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,65 m da p.c. fino a -2,30 m da p.c. argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente;
- da -2,30 m da p.c. fino a -3,20 m da p.c. limo sabbioso di color grigio poco addensata;
- da -3,20 m da p.c. fino a -3,60 m da p.c. sabbia fine limosa di color grigio sciolta;
- da -3,60 m da p.c. fino a -3,90 m da p.c. sabbia media di color grigio poco addensata;
- da -3,90 m da p.c. fino a -4,00 m da p.c. sabbia media limosa di color grigio poco addensata;

In corrispondenza del sondaggio geognostico S1 sono stati prelevati 2 campioni di terreno a diverse profondità da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico; il campione C1 dalla profondità di -1,20 m da p.c. a -1,60 m da p.c. e il campione C2 dalla profondità di -2,60 m da p.c. a -2,90 m da p.c..

I campioni C1 e C2 sono dunque stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico, nello specifico ai limiti di Atterberg ed analisi granulometriche complete.

Inoltre, in prossimità dell'area candidata nel Piano della Ricostruzione, son state realizzate indagini geognostiche prese a riferimento per questa area. Sono state reperite 2 prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2 e due sondaggi geognostici S1 e S2.

In FIGURA 2.4 si riporta uno stralcio catastale della vecchia relazione con l'ubicazione delle indagini svolte in sito.

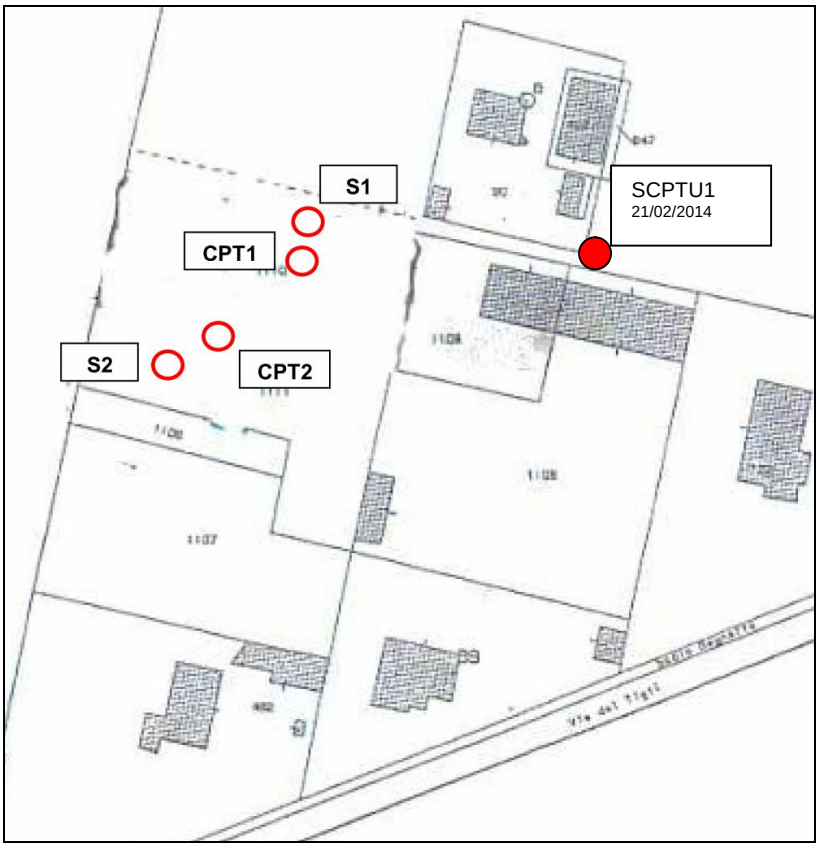
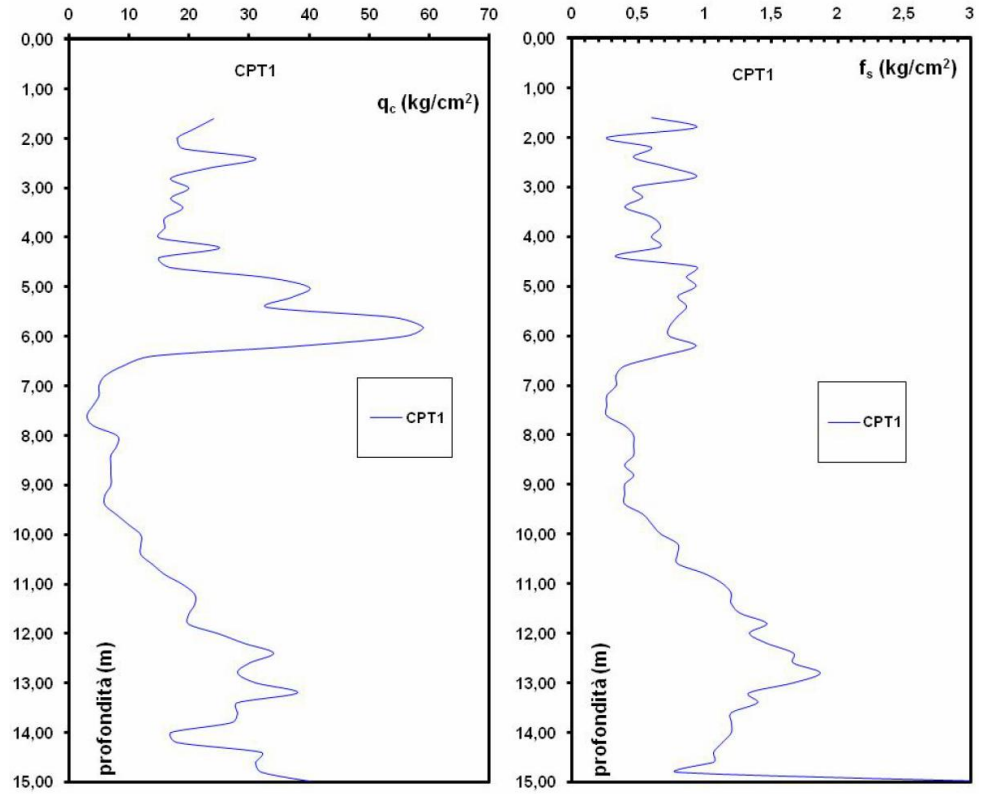
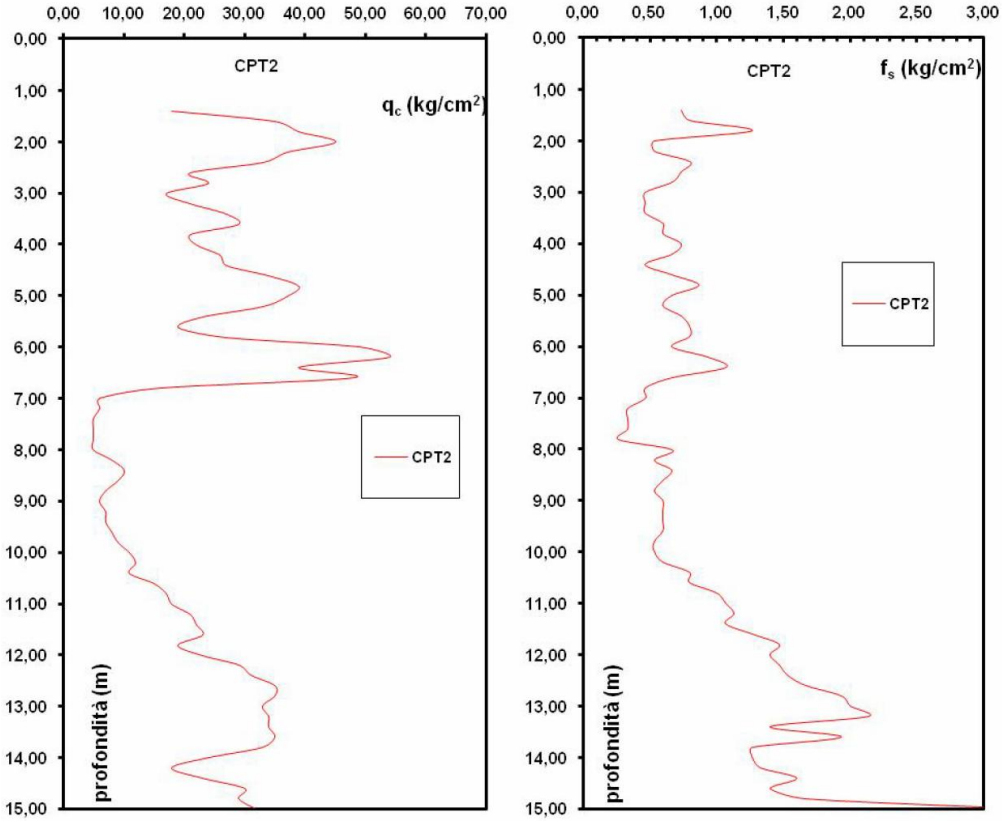


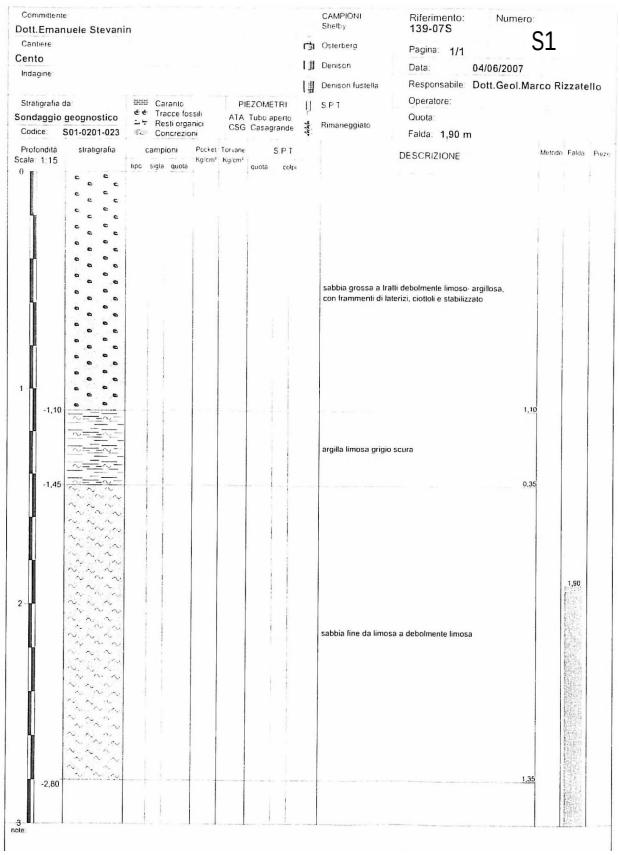

*FIGURA 2.4 – Stralcio catastale con ubicazione indagini bibliografiche*

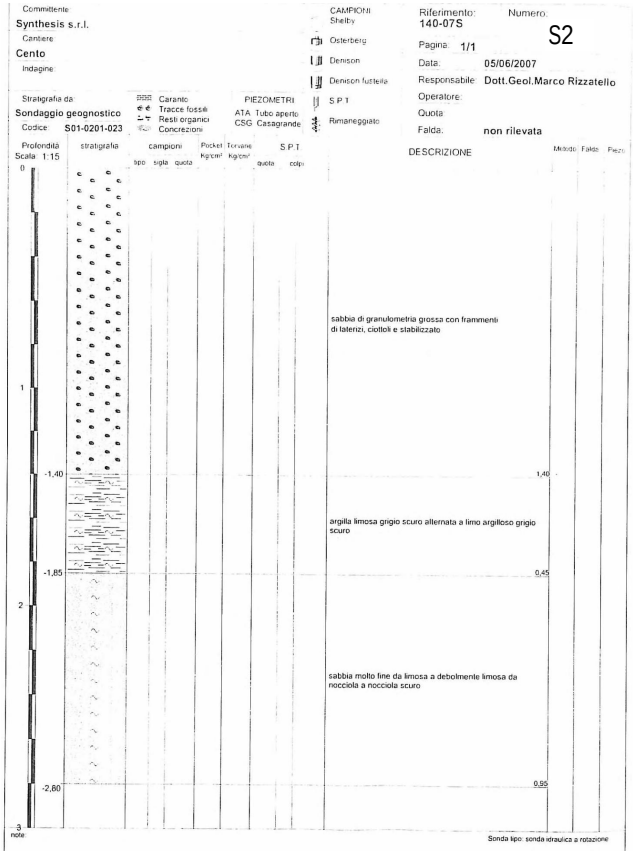
Le due prove penetrometriche statiche bibliografiche CPT1 e CPT2 sono state spinte entrambe fino alla profondità di -15,00 m da p.c., mentre i due sondaggi geognostici S1 e S2 sono stati eseguiti fino alla profondità di -2,80 m da p.c..

Successivamente vengono riportati i diagrammi di resistenza delle 2 prove bibliografiche e uno schema con le caratteristiche litologiche rilevate nei due sondaggi.






SONDAGGIO S1

| PROFONDITÀ (mt dal piano scavo) | LITOLOGIA PREVALENTE |
|---|---|
| 0.00 – 1.40 | Sabbia grossa limosa con frammenti di laterizi e ciottoli |
| 1.40 – 1.85 | Argilla limosa |
| 1.85 – 2.80 | Sabbia da limosa a debolmente limosa |

SONDAGGIO S2

| PROFONDITÀ (mt dal piano scavo) | LITOLOGIA PREVALENTE |
|---|---|
| 0.00 – 1.10 | Sabbia grossa limosa con frammenti di laterizi e ciottoli |
| 1.10 – 1.45 | Argilla limosa |
| 1.45 – 2.80 | Sabbia fine da limosa a debolmente limosa |

Come è possibile notare dalle due CPT bibliografiche svolte e dai 2 sondaggi geognostici anche in questa area prevale uno strato di terreni di copertura fino a circa -1,50/-1,80 m da p.c. caratterizzati da riporto e argille limose più in profondità e da sabbie limose e limi sabbiosi fino alla profondità di circa -7,00 m da p.c., al di sotto prevalgono sedimenti coesivi che diventano più consistenti con la profondità fino a fine prova.

## 2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Dal punto di vista geomorfologico l'assetto del territorio su cui si interviene risulta determinato essenzialmente da una dinamica di tipo fluviale che ha generato nel corso del tempo e mediante il susseguirsi di eventi, il deposito e l'accumulo dei sedimenti prevalentemente distali.

In particolare la sua evoluzione è legata al fiume Reno. Generalmente in quest'area prevalgono sedimenti alluvionali di catino interfluviale, depositatisi in ambiente di bassa energia idrodinamica, dunque prevalentemente si rinvengono terreni coesivi.

Analizzando la FIGURA 2.5, che riporta una zoomata della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara, si può notare come il sito allo studio sia ubicato in una posizione distale rispetto al paleoalveo.

Nell'area non ci sono segni topografici o tracce ben visibili, che indichino la presenza di paleoalvei minori o canali di esondazione fluviale, ma il tessuto urbano è così antropizzato che è difficile rilevare in sito questa tipologia di forme.

*Le litologie presenti non possono pertanto essere definite senza un'indagine puntuale, poiché sedimenti generalmente fini di esondazione fluviale, e sedimenti generalmente più grossolani di alveo, sono stati sovrapposti, rendendo possibile la presenza di sabbie, o limi, o argille, o torbe, o miscele binarie e ternarie degli stessi, senza il rispetto di regole fisse sulla loro presenza e sulla loro distribuzione geometrica.*

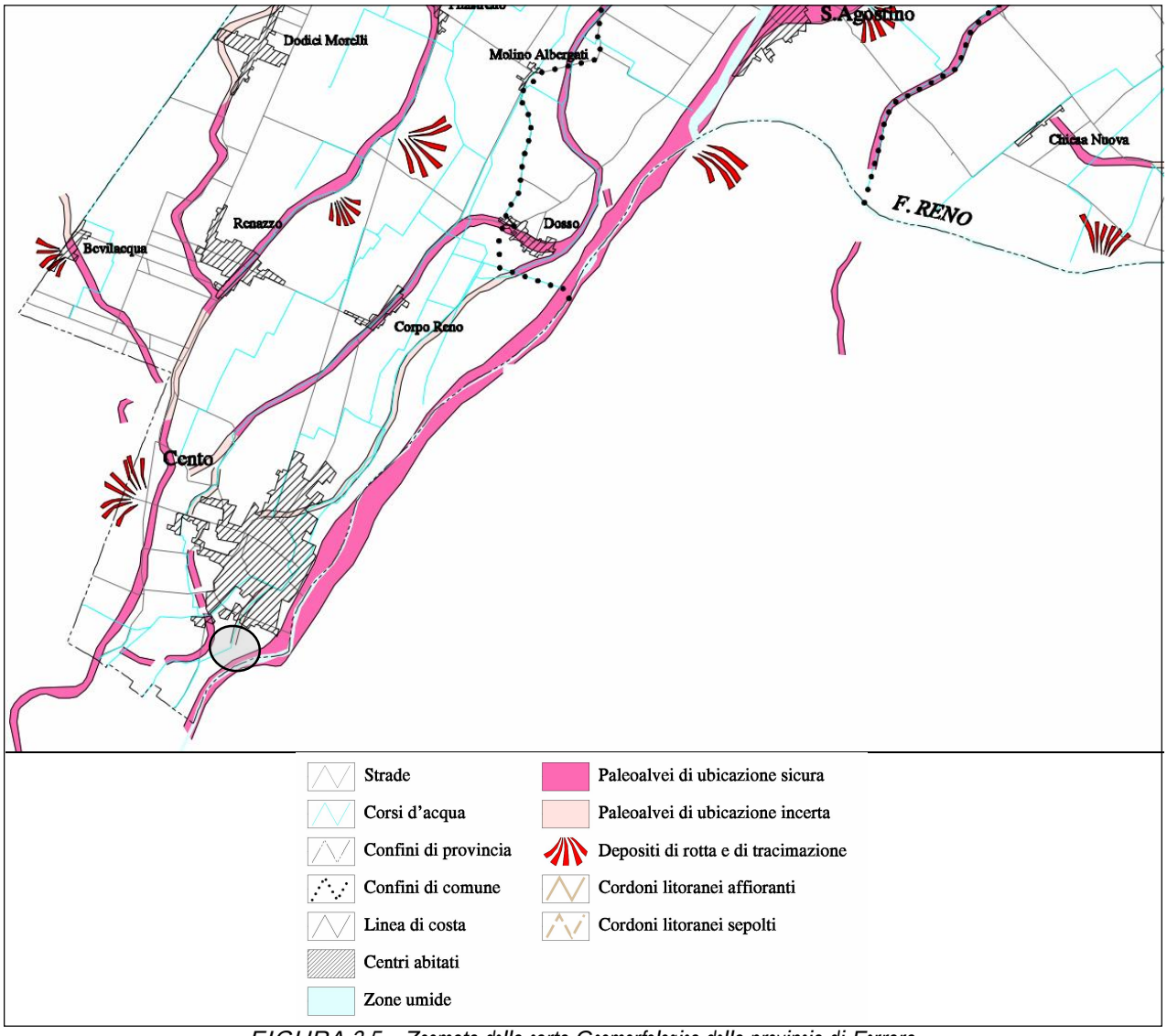



*FIGURA 2.5 – Zoomata della carta Geomorfologica della provincia di Ferrara*

## 2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, con *rif. U17-14*. Tale quota è stata rilevata in data 21/02/2014 alla profondità di -0,50 m dal p.c.. Il livello freatico potrebbe oscillare rispetto ai valori riscontrati in tal giorno, solo un monitoraggio di un anno idrogeologico permetterebbe di valutare le oscillazioni stagionali di queste quote.

Le frequenti precipitazioni di questo periodo alterano in modo significativo i livelli di falda rendendoli sempre più prossimi ai piani campagna, imbibendo i terreni superficiali.

I caratteri prevalentemente argillosi e dunque poco permeabili dei litotipi affioranti, fanno si che il territorio abbia dei coefficienti di deflusso superficiale delle acque meteoriche piuttosto alti.

La circolazione delle acque nel territorio in esame risulta governata in modo particolare dal fiume Reno che scorre poco più a sud rispetto al sito in esame.

L'area è attraversata da una serie di canalizzazioni secondarie, costituite da canalini interpoderali o interaziendali, che regolano lo scolo e l'irrigazione dell'area. Le acque meteoriche che precipitano all'interno dell'area che delimita il sito in esame vengono convogliate verso il fiume Reno e verso lo scolo Bagnetto.

In FIGURA 2.6 si riporta uno stralcio della *Carta delle aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995 e 1996 (Amministrazione provinciale di Ferrara),* dove vengono evidenziati i tracciati dei canali di scolo. Da questa carta si può inoltre evincere che l'area in esame è stata soggetta ad allagamenti persistenti (area tratteggiata) in seguito a piogge intense per un periodo da 2 fino a 4 giorni.

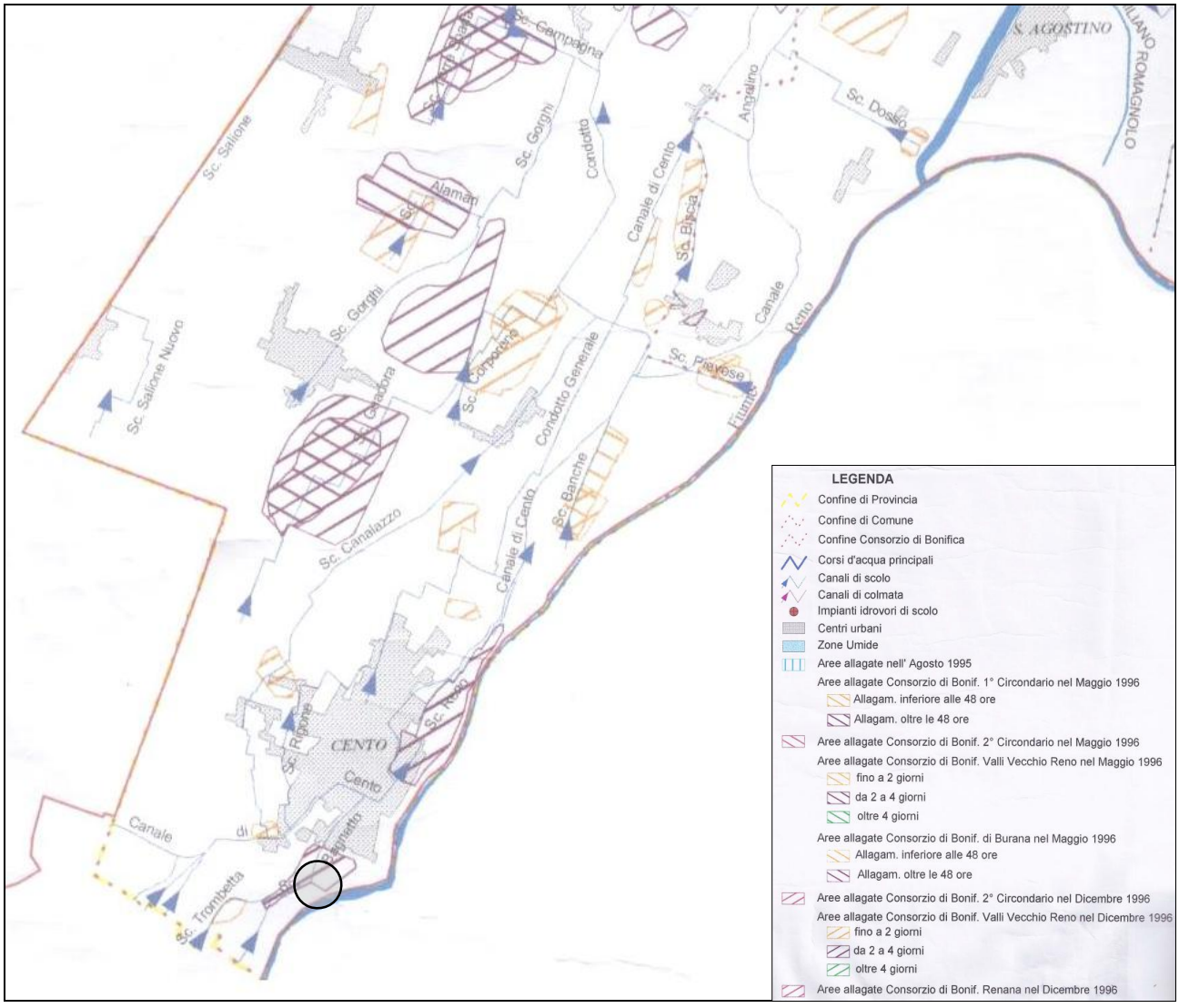



*FIGURA 2.6 – Particolare della Carta delle aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995 e 1996 (Amministrazione provinciale di Ferrara)*

# 3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

## 3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

"La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico" (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

Gli eventi del maggio 2012 hanno avuto magnitudo massima di 5,9.

*Azioni simiche "Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna"*

L'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" fornisce i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g ($a_{refg}$) per ogni comune della regione Emilia Romagna.

Per il comune di Cento vengono previste accelerazioni massime di 0.157g.

Nel medesimo atto viene specificato che in ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti (PIANURA 2), come nel caso in esame, per suoli caratterizzati da valori di $Vs_{30}$ fino a 300 m/s si dovrà adottare un fattore di amplificazione sismica F.A.=1,50 per cui l'accelerazione diventerà $A_{max}$=0,235.

Accelerazione di progetto = 0,235 g

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 m da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle.

F.A. P.G.A.

| $Vs_{30}$ | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.A. | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.1s < To < 0.5s

| $Vs_{30}$ | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.A. | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.0 | 1.0 |

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < To < 1.0s

| $Vs_{30}$ | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.A. | 2.5 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.2 | 1.0 |

In FIGURA 3.1 è riportato lo spettro di risposta secondo l'atto di indirizzo 112/2007.

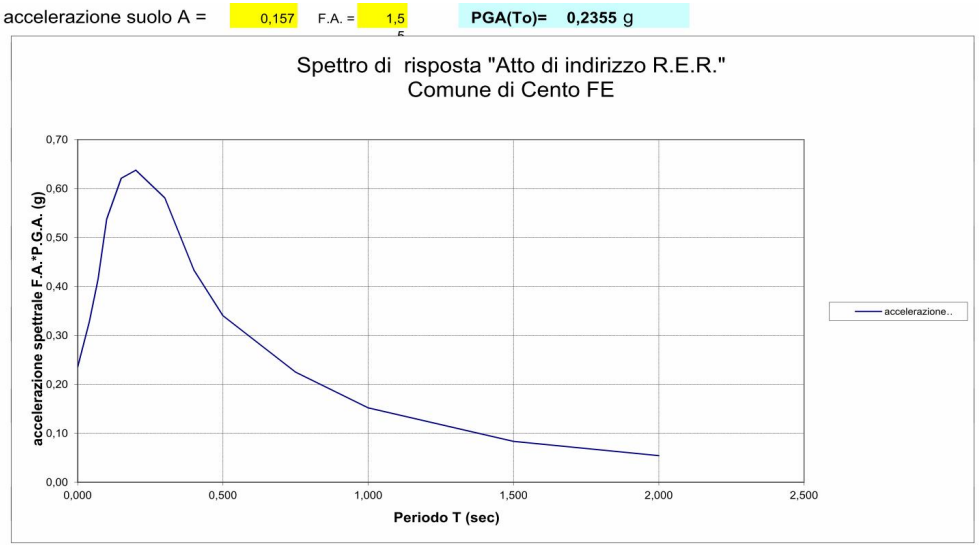



*FIGURA 3.1 – Spettro di risposta secondo atto di indirizzo con $T_R$=475 anni, smorzamento = 5%.*

*Categoria di suolo di fondazione – Secondo D.M. 14/01/08*

La categoria di suolo dipende dal valore di $Vs_{30}$. Il parametro $Vs_{30}$ rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio "S" nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 3.1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum hi/vi} \qquad \text{eq. 3.1}$$

dove,

$Vs_{30}$ : velocità media ponderata delle onde di taglio "S",

hi : spessore dello strato iesimo,

Vi : velocità delle onde di taglio "S" nello strato iesimo.

Il valore di $Vs_{30}$ è stato rilevato in sito attraverso misure dirette fino alla profondità di -25,40 m da p.c. e prolungato fino alla profondità di -30,00 m da p.c. attraverso il valore di velocità di Vs bibliografico estrapolato dai dati presenti nel paese di Cento sia dello scrivente sia quelli della Regione Emilia Romagna.

A tal proposito dunque è stata realizzata una prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con *rif. U17-14* spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c. prolungata con dati bibliografici fino alla profondità di -30,00 m da p.c.. Si ricorda che la $Vs_{30}$ va calcolata dal piano di posa della fondazione.

Non è stato possibile eseguire la prova fino alla profondità di -30,00 m da p.c. per la presenza di terreni coesivi molto consistenti presenti dalla profondità di -17,00 m da p.c. fino a fine prova, che presentano coesioni molto elevate esercitate lungo la batteria di aste. Attraverso dati bibliografici si ricava che la stratigrafia dell'area allo studio è caratterizzata da terreni coesivi fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

In FIGURA 3.2 è riportata l'ubicazione della prova SCPTU1 con *rif. U17-14*.

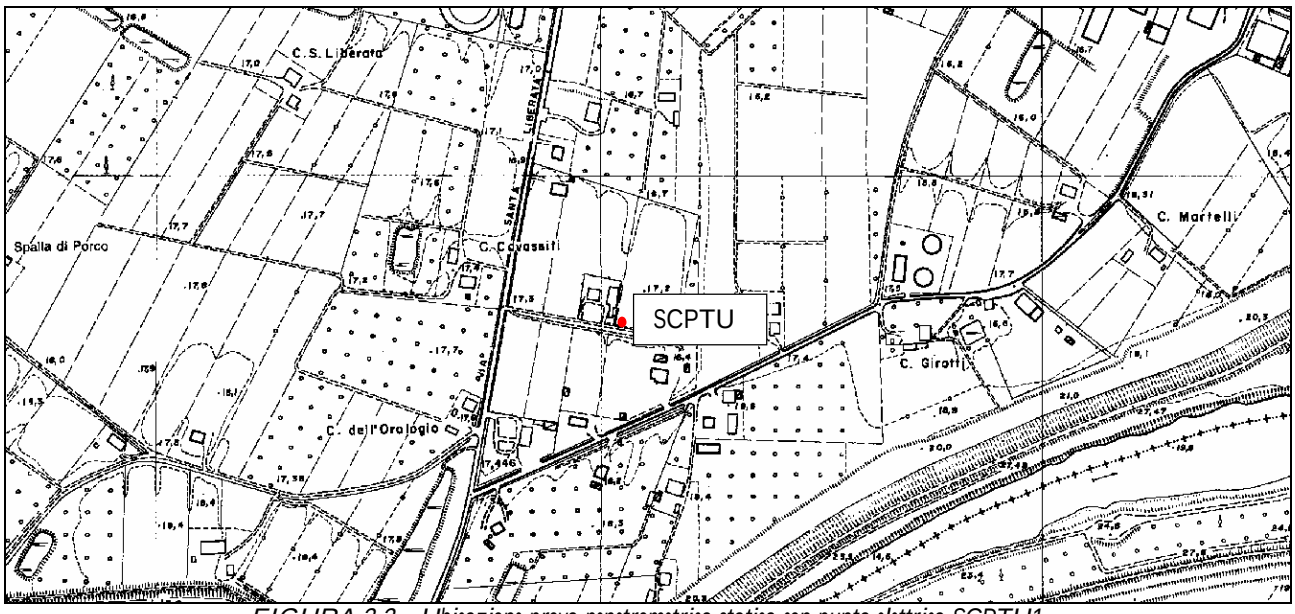



*FIGURA 3.2 – Ubicazione prova penetrometrica statica con punta elettrica SCPTU1*

La prova consiste nell'inserire sulla punta elettrica della prova penetrometrica statica con punta elettrica dei ricevitori (geofoni) che con opportuna strumentazione e una sorgente di onde in superficie possono essere misurati, a profondità diverse, in questo caso ogni metro (SCPTU1) fino alla profondità di -25,40 m da p.c., i tempi di arrivo delle onde sismiche fra la superficie (sorgente) ed i ricevitori (in profondità), analogamente a quanto avviene con il metodo geofisico cosiddetto "downhole".

La punta utilizzata prende il nome di Piezocono G1-CPL2IN (FIGURA 3.3).

In base ai tempi di arrivo conoscendo la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si può calcolare la velocità delle onde sismiche ed in particolare delle onde di taglio (Vs).

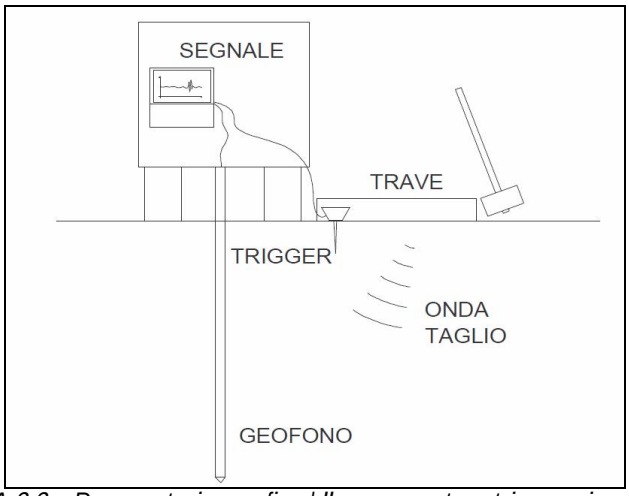



*FIGURA 3.3 – Rappresentazione grafica della prova penetrometrica con piezocono sismico*

Durante la realizzazione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con *rif. U17-14* sono state realizzate letture dirette dei tempi di arrivo delle onde di taglio S ad intervalli regolari fino alla profondità di -25,40 m da p.c. prolungata con dati bibliografici fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

Attraverso questo strumento è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde S alla profondità di 30 metri ($V_{S30}$).

Di seguito viene riportata l'elaborazione della prova SCPTU1 svolta in sito con la rappresentazione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio S ad ogni metro, la categoria di suolo di fondazione (ricavata attraverso il profilo fino alla profondità di -30 m da p.c.) e il profilo verticale di $G_0$ (che rappresenta il modulo di taglio alle piccole deformazioni).

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

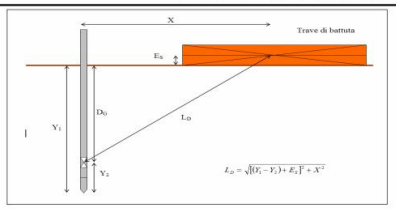
| PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA<br>PROVA DOWN HOLE SCPTU | RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|---|
| | U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

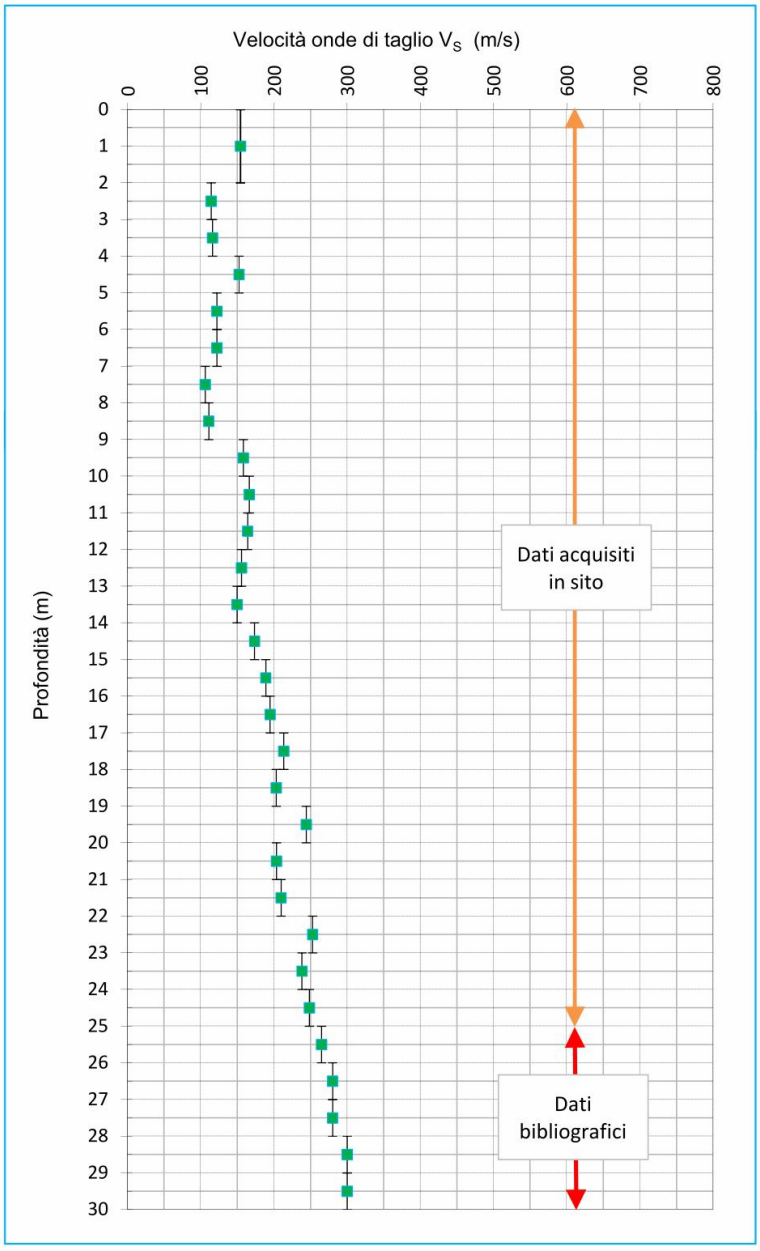
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

| | |
|---|---|
| Peso mazza battente: | 5Kg |
| Ricevitore Down Hole: | G1-cpl2IN |
| Equipaggiamento di registrazione: | D1-SISMI USB |
| Distanza centro sorgente-verticale X: | 0,25 m |
| Distanza punta-accelerometro $Y_2$: | 0,20 m |

**$Vs_{30}$= 182 m/sec Categoria suolo di fondazione = C**




| Distanza corretta $L_D$ punta elettrica | Tempo di arrivo onda S (millisecondi) | Velocità onde S dello strato (m/sec) |
|---|---|---|
| 0,000 | | |
| | | |
| 0,838 | | 154 |
| | | |
| 1,817 | 11,787 | |
| | | 114 |
| 2,811 | 20,492 | |
| | | 116 |
| 3,808 | 29,098 | |
| | | 152 |
| 4,807 | 35,656 | |
| | | 122 |
| 5,805 | 43,852 | |
| | | 122 |
| 6,805 | 52,049 | |
| | | 106 |
| 7,804 | 61,475 | |
| | | 111 |
| 8,804 | 70,492 | |
| | | 158 |
| 9,803 | 76,820 | |
| | | 166 |
| 10,803 | 82,836 | |
| | | 164 |
| 11,803 | 88,934 | |
| | | 156 |
| 12,802 | 95,361 | |
| | | 149 |
| 13,802 | 102,049 | |
| | | 173 |
| 14,802 | 107,816 | |
| | | 189 |
| 15,802 | 113,115 | |
| | | 195 |
| 16,802 | 118,252 | |
| | | 213 |
| 17,802 | 122,941 | |
| | | 203 |
| 18,802 | 127,869 | |
| | | 244 |
| 19,802 | 131,967 | |
| | | 203 |
| 20,802 | 136,885 | |
| | | 210 |
| 21,801 | 141,656 | |
| | | 253 |
| 22,801 | 145,613 | |
| | | 238 |
| 23,801 | 149,811 | |
| | | 248 |
| 24,801 | 153,837 | |
| | | 265 |
| 25,801 | | |
| | | 280 |
| 26,801 | | |
| | | 280 |
| 27,801 | | |
| | | 300 |
| 28,801 | | |
| | | 300 |
| 29,801 | | |



**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**
**PROVA DOWN HOLE SCPTU**

| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

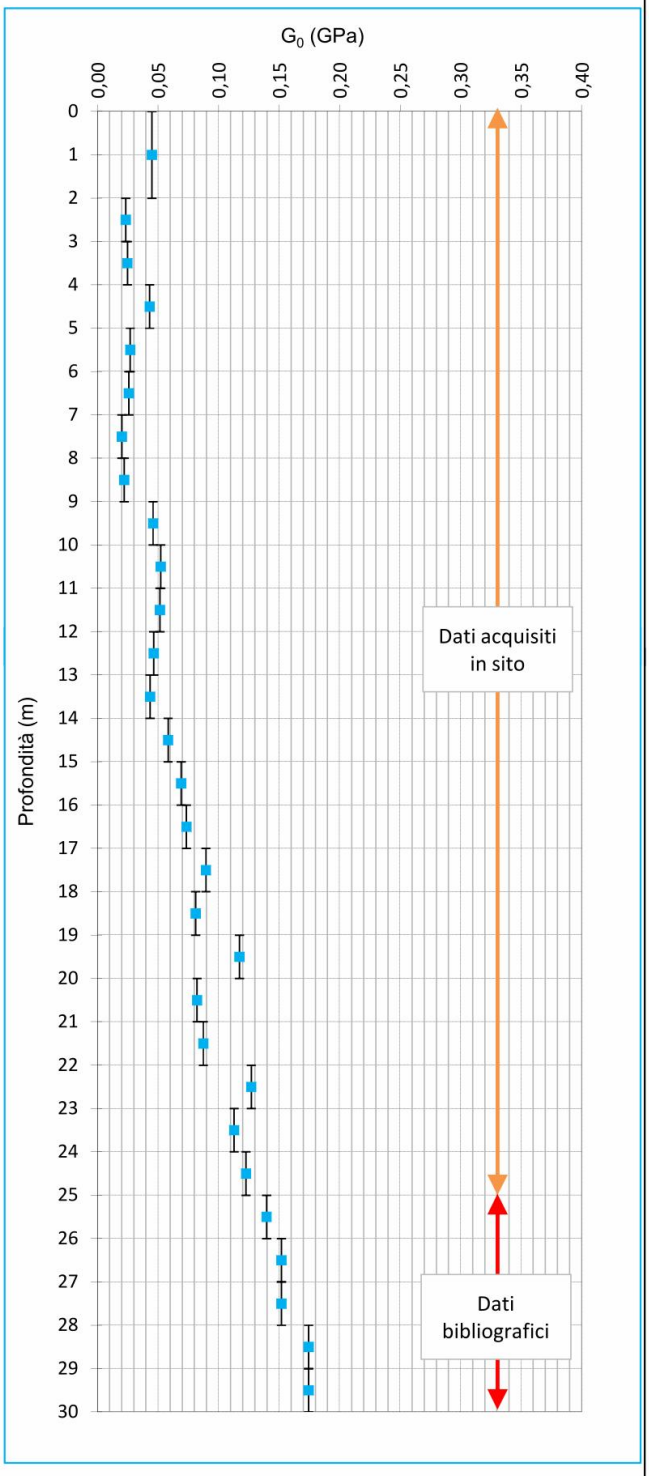
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

$G_0 = Vs^2 \rho$ → $\rho = \gamma / g$

dove:

ρ: massa volumica data dal rapporto tra il peso di volume γ e l'accelerazione di gravita g

| Profondità punta elettrica (m) | Velocità onde S dello strato (m/sec) | Peso di volume (tonn/m$^3$) | $G_0$ (GPa) |
|---|---|---|---|
| 0,0 | | | |
| | | | |
| 1,0 | 154 | 1,85 | 0,0448 |
| | | | |
| 2,0 | | | |
| | 114 | 1,75 | 0,0233 |
| 3,0 | | | |
| | 116 | 1,80 | 0,0246 |
| 4,0 | | | |
| | 152 | 1,82 | 0,0430 |
| 5,0 | | | |
| | 122 | 1,78 | 0,0270 |
| 6,0 | | | |
| | 122 | 1,70 | 0,0258 |
| 7,0 | | | |
| | 106 | 1,75 | 0,0201 |
| 8,0 | | | |
| | 111 | 1,75 | 0,0219 |
| 9,0 | | | |
| | 158 | 1,80 | 0,0458 |
| 10,0 | | | |
| | 166 | 1,85 | 0,0521 |
| 11,0 | | | |
| | 164 | 1,88 | 0,0515 |
| 12,0 | | | |
| | 156 | 1,88 | 0,0464 |
| 13,0 | | | |
| | 149 | 1,90 | 0,0433 |
| 14,0 | | | |
| | 173 | 1,90 | 0,0582 |
| 15,0 | | | |
| | 189 | 1,90 | 0,0690 |
| 16,0 | | | |
| | 195 | 1,90 | 0,0734 |
| 17,0 | | | |
| | 213 | 1,93 | 0,0895 |
| 18,0 | | | |
| | 203 | 1,93 | 0,0810 |
| 19,0 | | | |
| | 244 | 1,93 | 0,1171 |
| 20,0 | | | |
| | 203 | 1,95 | 0,0822 |
| 21,0 | | | |
| | 210 | 1,95 | 0,0873 |
| 22,0 | | | |
| | 253 | 1,95 | 0,1269 |
| 23,0 | | | |
| | 238 | 1,95 | 0,1128 |
| 24,0 | | | |
| | 248 | 1,95 | 0,1226 |
| 25,0 | | | |
| | 265 | 1,95 | 0,1396 |
| 26,0 | | | |
| | 280 | 1,90 | 0,1518 |
| 27,0 | | | |
| | 280 | 1,90 | 0,1518 |
| 28,0 | | | |
| | 300 | 1,90 | 0,1743 |
| 29,0 | | | |
| | 300 | 1,90 | 0,1743 |
| 30,0 | | | |



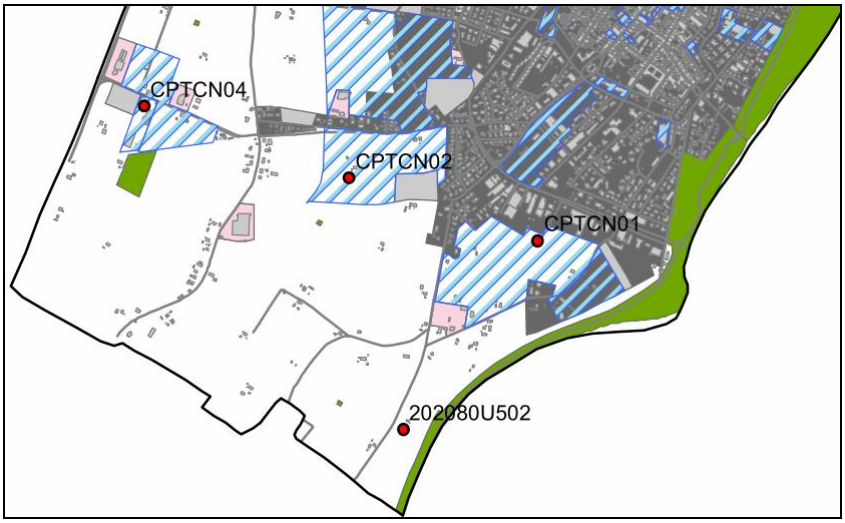

Il valore di $Vs_{30}$ risultante dalla lettura dei tempi di arrivo delle onde S fino alla profondità di 30,00 m da p.c. è di 182 m/s e quindi la Categoria di suolo di fondazione è C.

**$Vs_{30}$= 182 m/s  Categoria di suolo C**

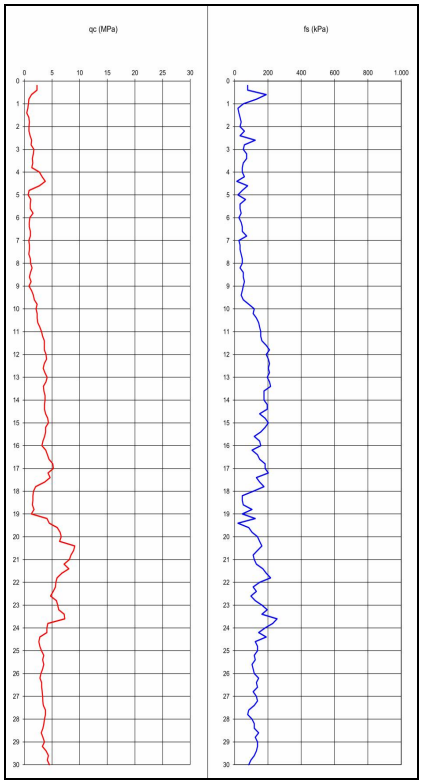
I dati bibliografici sono reperibili sul sito:

http://www.comune.cento.fe.it/sportellicomunali/territorio/pagina360.html;

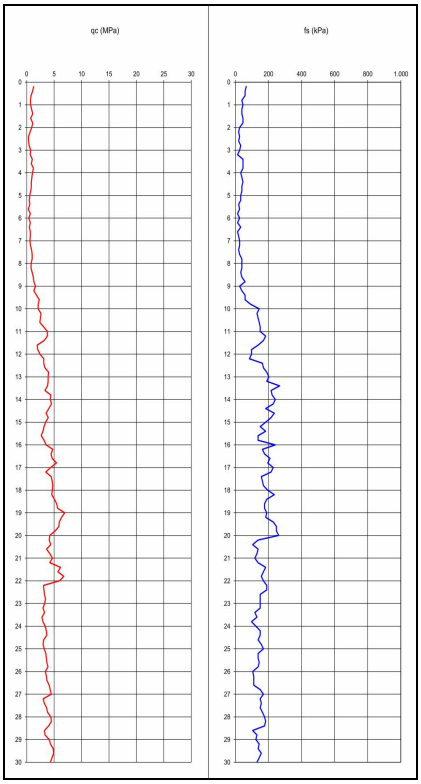
La prova geologiche bibliografiche della regione e per la redazione del PSC sono riportate successivamente:



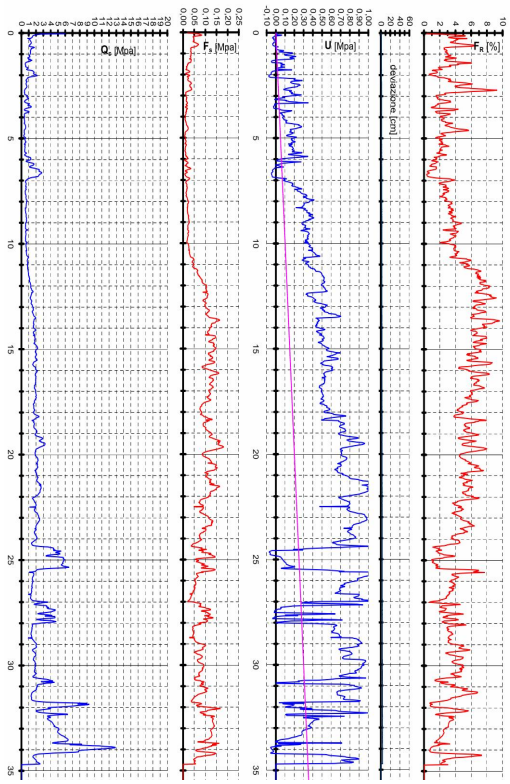

CPTCN01




CPTCN02




202080U502



*Parametri sismici secondo "D.M. 14 gennaio 2008"*

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 14/01/2008, attribuisce al comune di Cento un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente all'intervallo 0,150 – 0,175, con T=0, su suolo rigido ($Vs_{30}$>800m/sec) e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale.

In FIGURA 3.4, si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

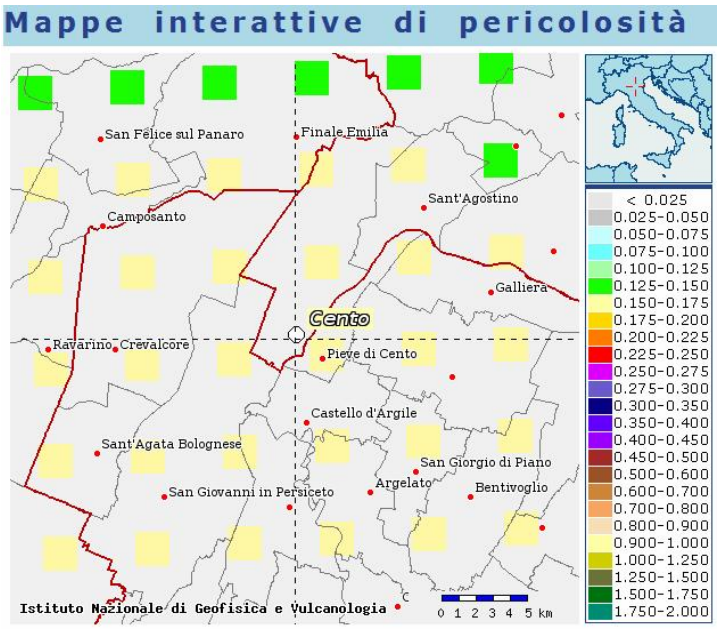



*FIGURA 3.4 – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: http://esse1-gis.mi.ingv.it*

Per la scelta della strategia di progettazione, il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, *le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR}$, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*

$a_g$ accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_o$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

$T^*_C$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di ag, Fo e T*C necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nella Tabella 3.1 tratta dalla normativa si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi Stati Limite a cui si può spingere la progettazione. In questo caso si propone lo Stato Limite di Salvaguardia della vita, ma sarà responsabilità del progettista scegliere lo stato limite più consono in base alla tipologia di progetto.

| Stati Limite | | $P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---|---|---|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

*Tabella 3.1 - D.M. 14-01-2008 Probabilità di superamento $P_{VR}$ al variare dello stato limite considerato*

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio "sito dipendente".

Come indicato nell'Allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali (ag, $F_0$ e T*c) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (FIGURA 3.5).

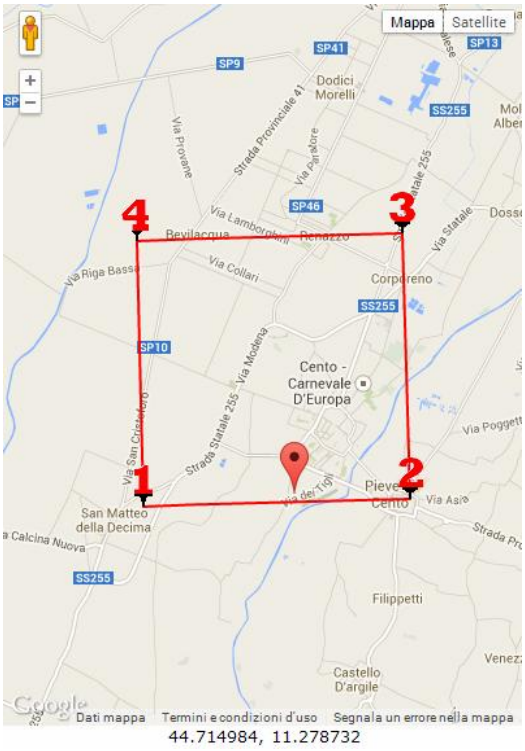



*FIGURA 3.5 – Vertici della griglia di riferimento*
*fonte: http://www.geostru.com/geoapp/Parametri-Sismici.aspx*

Si valutano i parametri spettrali ag, F0 e T*c per il sito di progetto (approccio "sito-dipendente") a titolo esemplificativo considerando l'amplificazione stratigrafica e topografica (T1) (Cap. 3.2 del D.M. 2008) la categoria del sottosuolo (C) e la classe d'uso della costruzione (II) (Cap. 2.4 del D.M. 2008).

Per le analisi di microzonizzazione sismica si utilizzano i dati di scuotimento sismico con tempi di ritorno di $T_R$=475.

## *Parametri sismici*

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.
latitudine: 44,715918
longitudine: 11,279731
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sito 1 | ID: 15841 | Lat: 44,7136Lon: 11,2400 | Distanza: 3152,174 |
| Sito 2 | ID: 15842 | Lat: 44,7149Lon: 11,3102 | Distanza: 2413,259 |
| Sito 3 | ID: 15620 | Lat: 44,7649Lon: 11,3085 | Distanza: 5900,914 |
| Sito 4 | ID: 15619 | Lat: 44,7636Lon: 11,2381 | Distanza: 6237,585 |

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

| | | |
|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 81 | % |
| Tr: | 30 | [anni] |
| ag: | 0,044 g | |
| Fo: | 2,506 | |
| Tc*: | 0,256 | [s] |

Danno (SLD):

| | | |
|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 63 | % |
| Tr: | 50 | [anni] |
| ag: | 0,056 g | |
| Fo: | 2,484 | |
| Tc*: | 0,269 | [s] |

Salvaguardia della vita (SLV):

| | | |
|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 10 | % |
| Tr: | 475 | [anni] |
| ag: | 0,157 g | |
| Fo: | 2,591 | |
| Tc*: | 0,273 | [s] |

Prevenzione dal collasso (SLC):

| | | |
|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 5 | % |
| Tr: | 975 | [anni] |
| ag: | 0,209 g | |
| Fo: | 2,536 | |
| Tc*: | 0,279 | [s] |

Coefficienti Sismici

SLO:

| | |
|---|---|
| Ss: | 1,500 |
| Cc: | 1,650 |
| St: | 1,000 |
| Kh: | 0,013 |
| Kv: | 0,007 |
| Amax: | 0,644 |
| Beta: | 0,200 |

SLD:

| | |
|---|---|
| Ss: | 1,500 |
| Cc: | 1,620 |
| St: | 1,000 |
| Kh: | 0,017 |
| Kv: | 0,008 |
| Amax: | 0,824 |
| Beta: | 0,200 |

SLV:

| | |
|---|---|
| Ss: | 1,460 |
| Cc: | 1,610 |
| St: | 1,000 |

Kh: 0,055
Kv: 0,027
Amax: 2,247 (Amax/g=0,229g)
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,380
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,081
Kv: 0,040
Amax: 2,835
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru software - www.geostru.com

*Magnitudo di progetto*

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di M = 6,14. Nei tempi storici erano stati stimati eventi con magnitudo di 5,6. Durante gli eventi del maggio 2012 si sono liberate energie sismiche sulla dorsale ferrarese con magnitudo di 5,9 (che è stato stimato da Picotti, 2013, come evento con $T_R$ di 1000 anni). Conservativamente lo scrivente adotterà per le analisi della liquefazione delle sabbie la magnitudo di 6,14.

Magnitudo di progetto
M = 6,14 Mw

In FIGURA 3.6 sono riportati i sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici relativamente recenti; i terremoti storici in questa area allo studio sono decisamente più bassi.

| Comune | Lat. | Lon. | Imax | Mw |
|---|---|---|---|---|
| ARGENTA | 44.61459 | 11.83658 | 9 | 6,1 |
| ARGENTA | 44.61459 | 11.83658 | 9 | 6,1 |
| BONDENO | 44.88857 | 11.41666 | 8 | 5,6 |
| CENTO | 44.72685 | 11.28937 | 7 | 5,2 |
| CODIGORO | 44.83096 | 12.10568 | <= 6 | 4,8 |
| **COMACCHIO** | **44.69444** | **12.18290** | **7** | **5,2** |
| COPPARO | 44.89391 | 11.82986 | 8 | 5,6 |
| FERRARA | 44.83559 | 11.61842 | 8 | 5,6 |
| FORMIGNANA | 44.84187 | 11.85894 | 8 | 5,6 |
| JOLANDA DI SAVOIA | 44.88518 | 11.97726 | 7 | 5,2 |
| LAGOSANTO | 44.76249 | 12.13965 | 7 | 5,2 |
| MASI TORELLO | 44.79369 | 11.79704 | 8 | 5,6 |
| MASSA FISCAGLIA | 44.80818 | 12.01334 | 7 | 5,2 |
| MESOLA | 44.92060 | 12.23033 | <= 6 | 4,8 |
| MIGLIARINO | 44.77058 | 11.93149 | 8 | 5,6 |
| MIRABELLO | 44.82534 | 11.46031 | 8 | 5,6 |
| OSTELLATO | 44.74516 | 11.94085 | 8 | 5,6 |
| POGGIO RENATICO | 44.76571 | 11.48392 | 8 | 5,6 |
| PORTOMAGGIOR | 44.69759 | 11.80509 | 8 | 5,6 |
| RO | 44.94634 | 11.76146 | 8 | 5,6 |
| SANT'AGOSTINO | 44.79258 | 11.38519 | 8 | 5,6 |
| VIGARANO MAINARDA | 44.84191 | 11.49759 | 8 | 5,6 |
| VOGHIERA | 44.75737 | 11.75011 | 8 | 5,6 |
| TRESIGALLO | 44.81771 | 11.89393 | 8 | 5,6 |
| GORO | 44.85334 | 12.30076 | <= 6 | 4.8 |
| MIGLIARO | 44.79835 | 11.97311 | 7 | 5.2 |
| Mw=0,430Imax+2.182 | | | | |

*FIGURA 3.6 - Sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici*

## 3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza. Vale comunque la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area non si verificherà un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, la verifica di almeno una di queste circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo di momento Mw inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;
3. Accelerazioni massime al paino campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
   - -frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità PI>10;
   - FC $\geq$ 35% e resistenza $(N_1)_{60}>20$;
   - FC $\leq$ 5% e resistenza $(N_1)_{60}>25$

   Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella FIGURA 3.7 da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c<3,5$ o $U_c>3,5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna.
6. Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di M>7.
7. Un ulteriore motivo di esclusione dalla verifica di liquefazione è dato dal valore della densità relativa Dr del deposito. Gibbs ha eseguito diversi studi su risultati di vari autori stabilendo che una densità relativa pari a 70% è valore limite tra terreni liquefacibili e non liquefacibili (*"Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile"* di Nunziante Marino, Maggioli Editore, 2006), di conseguenza tutti i terreni con Dr > 70% vengono automaticamente esclusi dalla verifica alla liquefazione.

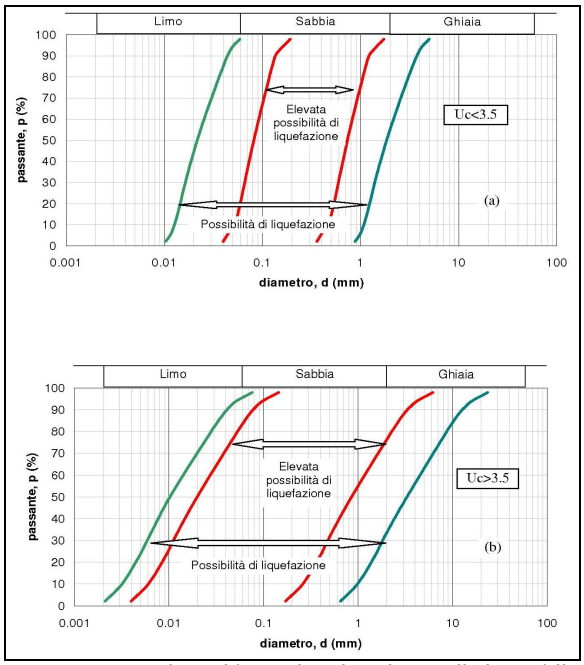



*FIGURA 3.7 - Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno*

Il D.M. 14/01/2008 ha riassunto in questi 5 punti i casi in cui non è prevista liquefazione:

> ***7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione***
>
> La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:
>
> 1. eventi sismici attesi di magnitudo $M$ inferiore a 5;
> 2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1$g$;
> 3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
> 4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $q_{c1N}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
> 5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo che analizzando ogni strato da 2 cm individuato dalla prova CPTU, ne verifica la potenzialità di liquefazione.

Ai fini del calcolo è stata considerata la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con *rif. U17-14* spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c..

Per questo calcolo si è considerata una magnitudo di 6,14 e un'accelerazione di progetto *di 0,23g*

Utilizzando i dati di input (D.M. 14 gennaio 2008) visualizzati in FIGURA 3.8, se ne deduce che nell'area di studio il fenomeno della liquefazione è un effetto di sito atteso per tre strati sabbiosi.

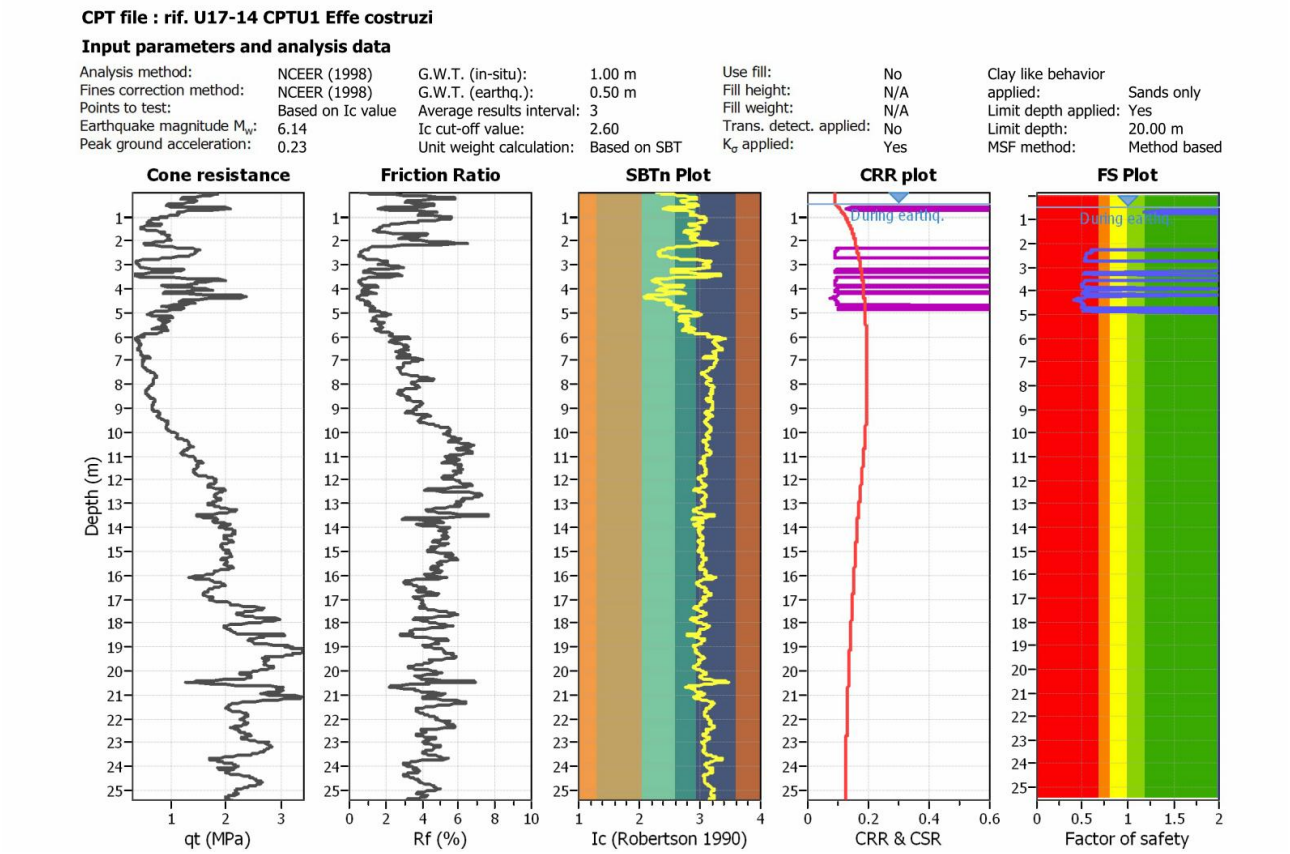



*FIGURA 3.8: Dati di input e sintesi dell'analisi sulla liquefazione delle sabbie.*

In FIGURA 3.9, si riporta il diagramma del CRR e del CSR, dove si evidenziano strati in cui il fattore di resistenza alla liquefazione è inferiore a 1,00.

Nella stessa figura è riportato il valore dell'indice del potenziale di liquefazione IPL calcolato per la prova penetrometrica statica con punta elettrica analizzata.

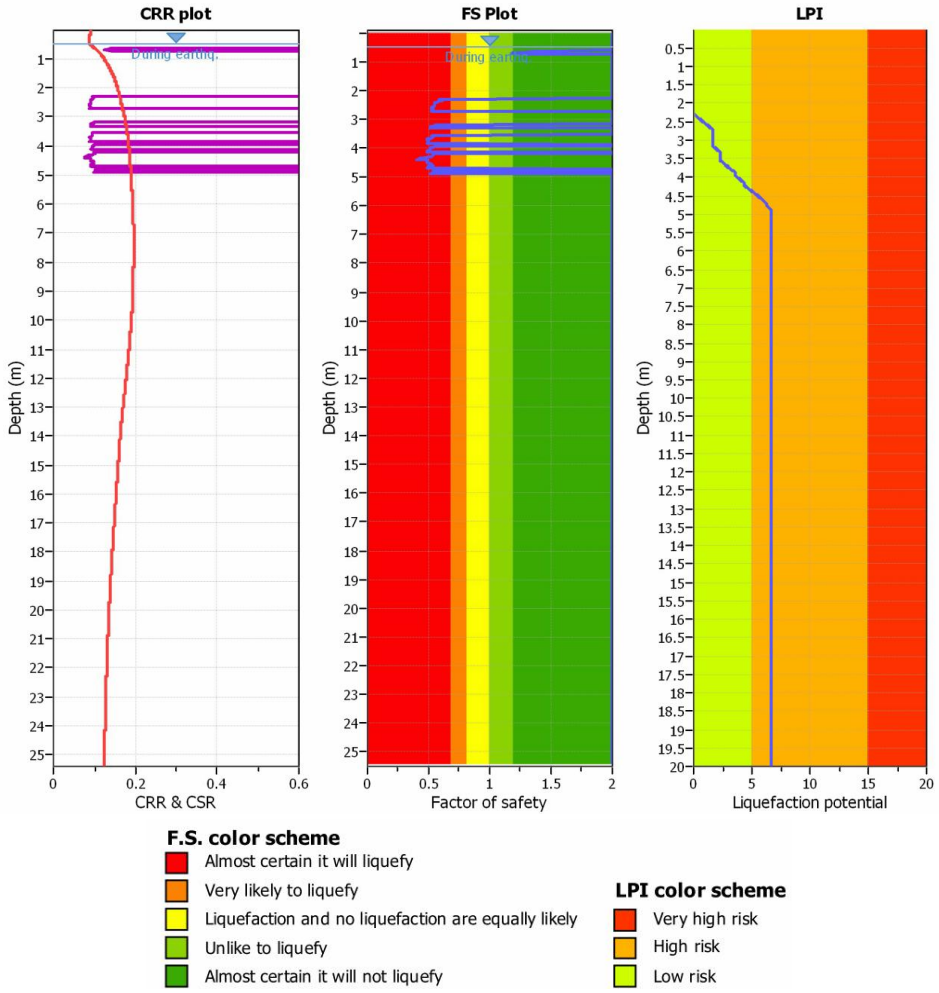



*FIGURA 3.9: Particolare dell'analisi condotta con PGA=0,23g e Mw=6,14*

Per quantificare il tipo di ripercussioni sulle strutture costruite in un determinato sito, dal punto di vista ingegneristico, si ricorre al calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione, $I_L$, definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz\,, \qquad \text{eq. 3.2}$$

in cui *z* è la profondità dal piano di campagna in metri e *w(z)=10-0.5z*

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

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

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

Con il software si calcola nei primi 20,00 m, il valore del potenziale di liquefazione per tutti gli strati incoerenti.

I terreni in esame risultano avere un *alto* rischio di liquefazione ($I_{PL}$ = 6,64) se sollecitati da un sisma di Mw=6,14 ed una accelerazione di 0,23g.

In base alla Tabella 3.2 e 3.3 si può affermare dunque che i terreni in esame hanno un potenziale di liquefazione Alto pari a 6,64.

| Potenziale Liquefazione $I_{PL}$ | Classificazione |
|---|---|
| $I_{PL} = 0$ | *Non liquefacibile* |
| $0 < I_{PL} \leq 2$ | *Basso* |
| $2 < I_{PL} \leq 5$ | *Moderato* |
| $5 < I_{PL} \leq 15$ | *Alto* |
| $I_{PL} \geq 15$ | *Molto Alto* |

*Tabella 3.2 – Classificazione indice potenziale liquefazione*

| CPTU | Potenziale Liquefazione $I_{PL}$ |
|---|---|
| CPTU1 | *6,64* |

*Tabella 3.3 – Indice potenziale liquefazione calcolato per la SCPTU1*

Considerata la presenza di suoli di categoria S2 (sabbie sature liquefacibili) e valutato che IPL è maggiore di 2, si procederà nel capitolo 6 ad una analisi di risposta sismica locale.

## 3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI NEI TERRENI GRANULARI

Dell'elaborazione completa dei cedimenti post sismici si riporta solo il risultato finale; sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con *rif. U17-14* spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c..

Dalle elaborazioni informatiche, si ricava che con una Magnitudo di 6,14 e P.G.A. di 0,23g, alcuni dei livelli hanno il fattore di resistenza alla liquefazione inferiore a 1,00, determinando cedimenti post sismici nei terreni granulari pari a 6,92 cm (Tabella 3.4).

| CPTU | Cedimenti postsismici (cm) |
|---|---|
| CPTU1 | *6,92* |

*Tabella 3.4 – Cedimenti post-sismici*

La presenza di terreni liquefacibili con indice di potenziale di liquefazione talora attorno a 4, pur essendo moderato, può rendere necessario il ricorso a sistemi di consolidamento dei terreni di fondazione, che possono essere di tipo attivo o di tipo passivo.

Lo scrivente ritiene che in questo contesto stratigrafico e sismico, il ricorso a sistemi passivi sia sufficiente (sistemi atti a consentire la dissipazione delle sovrapressioni neutre, dovute al sisma). I sistemi passivi possono contemplare pali in ghiaia, dreni, trincee o pozzi.

## 3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI COESIVI

Per l'Atto di Indirizzo nr.112/2007 ,nei depositi coesivi molto soffici (cu $\leq$ 70kPa) e plastici (Ip $\geq$ 30%) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 0.3$

durante il terremoto di riferimento deve essere stimato il cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulatesi durante il terremoto.

Tale rapporto può essere valutato dal grafico riportato in FIGURA 3.10 in funzione della deformazione indotta dal terremoto di progetto negli strati di terreno.

Tale deformazione è valutabile utilizzando la seguente espressione:

deformazione (%) $$\gamma_{max} = 0.65 \cdot a_{g,rif} \cdot S \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$ eq. (3.3)

$a_{grif}$= accelerazione di riferimento per il comune allo studio (Cento $a_{rif}$=0,157g)

S= fattore di amplificazione funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs e dunque della stratigrafia dei terreni (nel caso in esame F.A.=1,5 – PIANURA2);

$s_{vo}$= carico litostatico in termini di tensioni totali a metà dello strato considerato

rd= 1-0,015z (da Atto indirizzo, n.112/2007)

G= valore ridotto di Go funzione dell'accelerazione $a_{max}$.

Go=modulo di taglio alle piccole deformazioni.

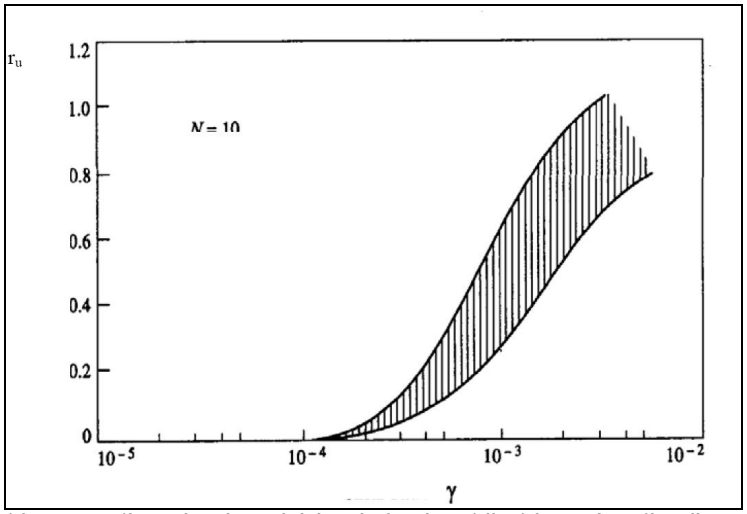
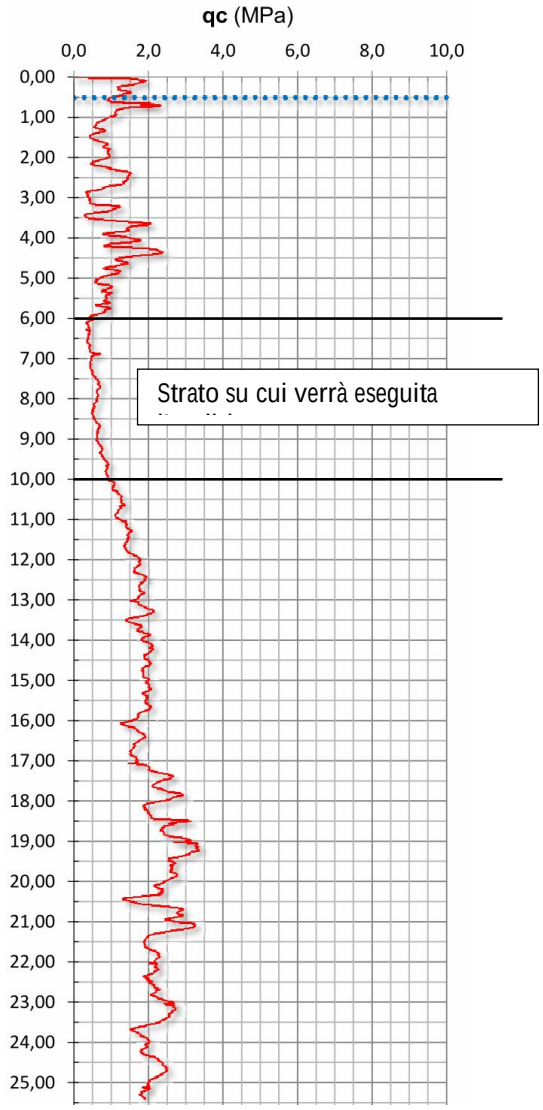
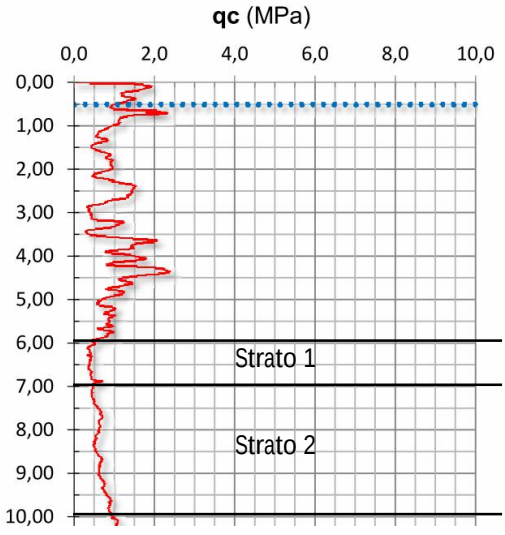



*FIGURA 3.10: Valore del rapporto di pressione interstiziale $r_u$ in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto*

Per il calcolo dei cedimenti post-sismici per terreni coesivi soffici, si è fatto ricorso a dati bibliografici per caratterizzare lo strato di argille moderatamente consistenti presenti da -6,00 m da p.c. fino a 10,00 m da p.c..




La stratigrafia rilevata dalla prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, è caratterizzata da uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi poco consistenti con un valore di Rp medio pari a 4,3 kg/cm$^2$, presente tra -6,00 m da p.c. e -7,50 m da p.c. (Strato1) e da uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con un valore di Rp medio pari a 6,7 kg/cm$^2$, presente dalla profondità di -7,50 m da p.c. fino a -10,00 m da p.c. (Strato2).



Questi 2 strati immersi in falda presentano valori di coesione media rispettivamente pari a 20 kPa e 31kPa per cui inferiori al valore di riferimento normativo (Cu ≤ 70kPa); supponendo di avere un indice di plasticità Ip superiore al 30% (valore di riferimento normativo) in via del tutto conservativa si procede al calcolo dei cedimenti post-sismici nei terreni coesivi soffici.

Pertanto, una volta soddisfatte le condizioni iniziali di calcolo (IP ≥ 30 e Cu ≤ 70 kPa), si necessita verificare che il valore di $r_u$ sia maggiore o minore di 0,3.

Il modulo di taglio a piccole deformazioni $G_0$ per i terreni coesivi è stato determinato interpolando il valore di resistenza alla punta media dei 2 strati coesivi (strato 1 - 430 kPa e strato 2- 670 kPa) ed il valore di PGA (0,157g x 1,50 = 0,235g), per cui il rapporto $G/G_0$ è pari a 0,44 (FIGURA 3.11).

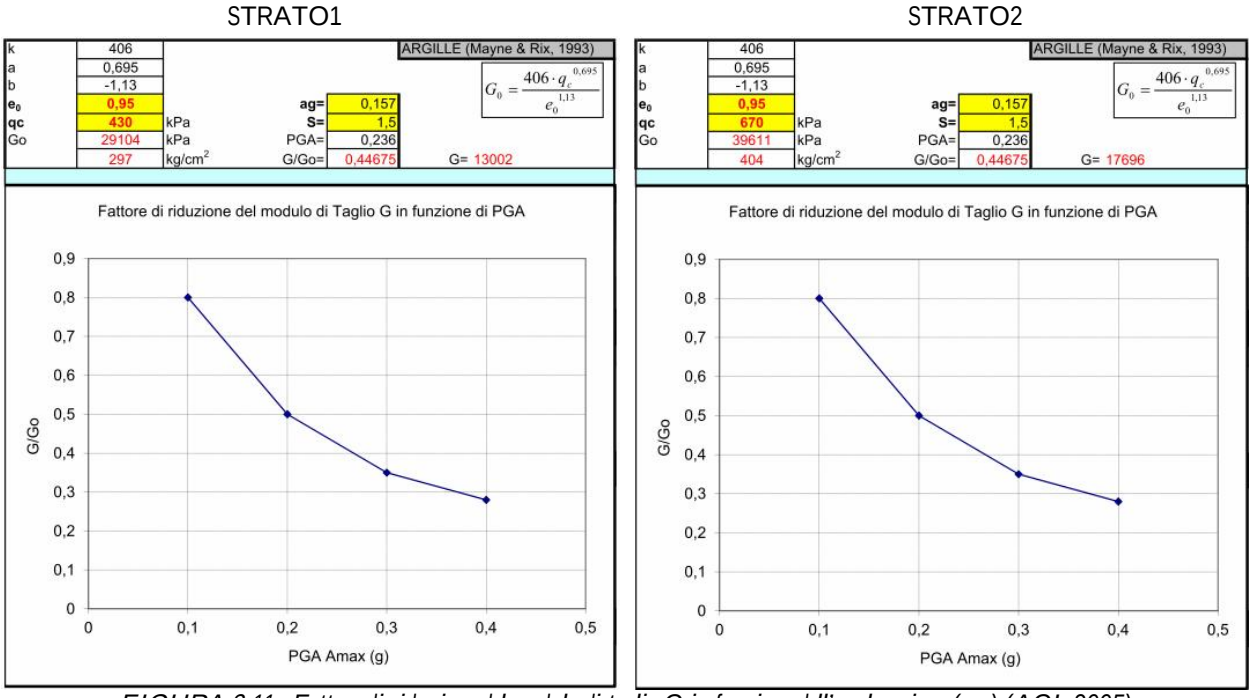
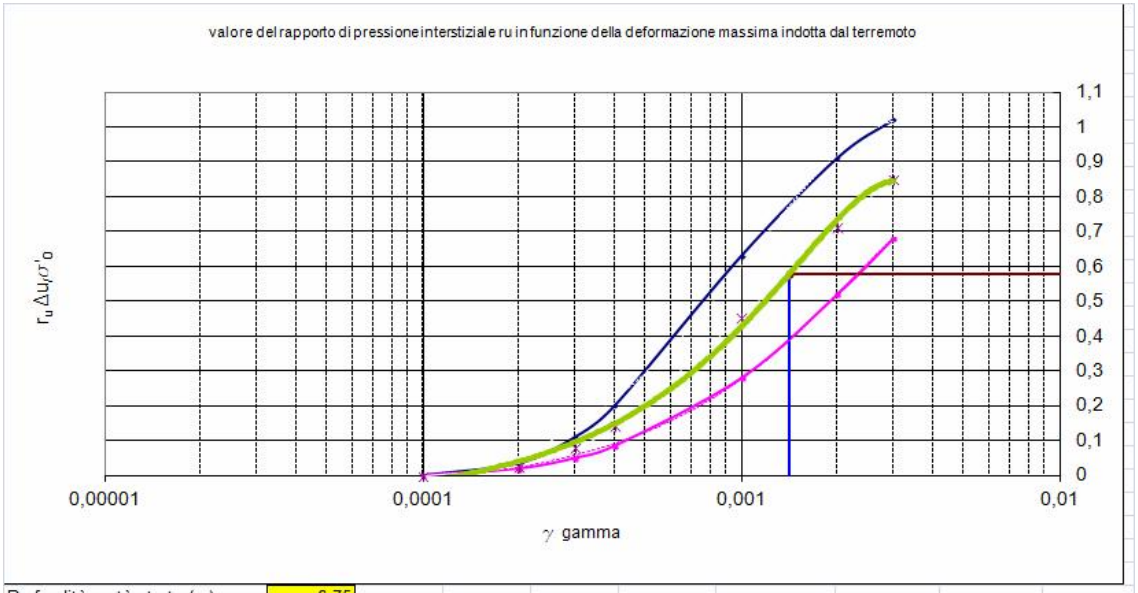



*FIGURA 3.11 - Fattore di riduzione del modulo di taglio G in funzione dell'accelerazione ($a_{g,rif}$) (AGI, 2005)*

Il modulo di taglio alle basse deformazioni Go si ottiene con le correlazione da Rp e indice dei vuoti proposta da Mayne e Rix (1993). I valori ricavati sono molto prossimi a quelli misurati con la prova SCPTU. L'indice dei vuoti $e_o$ è stato estrapolato attraverso edometrie di prove bibliografiche eseguite sulla medesima unità geologica a Cento.

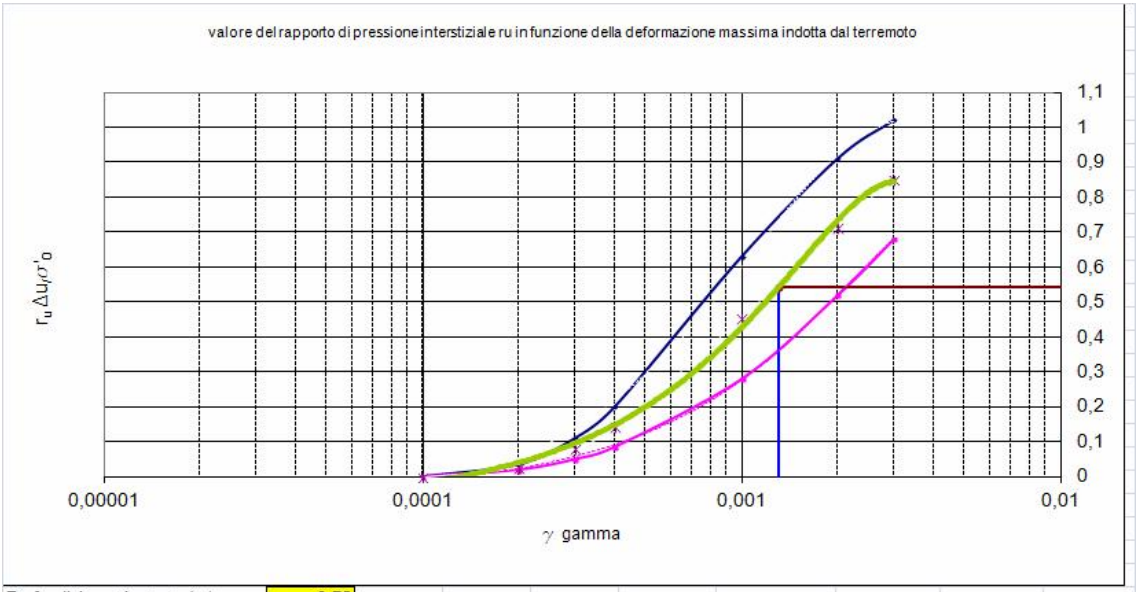
In FIGURA 3.12 si ricava il valore finale del rapporto di pressione interstiziale $r_u$ per i due strati analizzati.




| | | |
|---|---|---|
| Profondità metà strato (m): | 6,75 | m |
| carico litostatico efficace $\sigma'_o$ | 64,37 | kPa |
| profondità falda da p.c. (m) | 0,5 | m |
| carico litostatico totale $\sigma_0$ | 126,87 | kPa |

Strato 1

| arif | S | sigma vo | Go | G/Go | G | rd | gamma max | $r_{u\ medio}$ | $r_{u\ minimo}$ | $r_{u\ massimo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a/g | | kPa | kPa | | kPa | | % | $\Delta u/\sigma'_0$ | $\Delta u/\sigma'_0$ | $\Delta u/\sigma'_0$ |
| 0,157 | 1,5 | 126,87 | 29104,42 | 0,44675 | 13002 | 0,9483625 | 0,0014165 | 0,578 | 0,387 | 0,685 |




| | | |
|---|---|---|
| Profondità metà strato (m): | 8,75 | m |
| carico litostatico efficace $\sigma'_o$ | 79,37 | kPa |
| profondità falda da p.c. (m) | 0,5 | m |
| carico litostatico totale $\sigma_0$ | 161,87 | kPa |

Strato 2

| arif | S | sigma vo | Go | G/Go | G | rd | gamma max | $r_{u\ medio}$ | $r_{u\ minimo}$ | $r_{u\ massimo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a/g | | kPa | kPa | | kPa | | % | $\Delta u/\sigma'_0$ | $\Delta u/\sigma'_0$ | $\Delta u/\sigma'_0$ |
| 0,157 | 1,5 | 161,87 | 39611,41 | 0,44675 | 17696 | 0,9330625 | 0,0013065 | 0,542 | 0,359 | 0,664 |

*FIGURA 3.12 – Valori di $r_u$ per i 2 strati*

Come si può notare, il rapporto di pressione interstiziale medio per i due strati è superiore a 0,3:

$$r_u = \Delta u / \sigma'_{v0} = 0{,}57/0{,}54 > 0{,}30$$

pertanto, in base alle condizioni descritte dall'Atto di indirizzo n°112/2007, occorre procedere al calcolo del cedimento post sismico in questi 2 strati di terreno coesivo.

Per il calcolo del cedimento post-sismico si ricorre all'equazione 3.4:

$$\Delta H = H \cdot \frac{\alpha \cdot Cr}{1+e_0} \cdot \log\left(\frac{1}{1-\frac{\Delta u}{\sigma'_0}}\right) \qquad \text{eq. 3.4}$$

Sostituendo con i seguenti valori:

Strato 1

H = 1,50 m

$\alpha$ = 1,25 (valore compreso tra 1 e 1,5)

$e_0$ = 0,95

$(\Delta u/\sigma'_0)$ = 0,578 (FIGURA 3.12)

Strato 2

H = 2,50 m

$\alpha$ = 1,25 (valore compreso tra 1 e 1,5)

$e_0$ = 0,95

$(\Delta u/\sigma'_0)$ = 0,542 (FIGURA 3.12)

Sulla base di dati bibliografici si ricava il coefficiente di compressibilità del terreno Cc, da cui poi si ricava il Cr:

Cc=0,15 Cr = 0,225 x 0,15 = 0,033 (FIGURA 3.13)

Sostituendo, si ricava che il cedimento totale della curva media, dato dalla somma dei due strati è:

**D**H = 2,98cm

**CEDIMENTO POST-SISMICO IN TERRENI COESIVI SOFFICI CON Cu<70kPa e IP>30%**

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

Strato 1

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Spessore strato H = | | 150 | cm | |
| Cc= | | 0,15 | | |
| Cr= | | 0,0330 | | |
| $e_0$= | | 0,95 | | |
| Calcolo del cedimento post-sismico nei terreni coesivi soffici | | | | |
| **minimo** | **DH=** | **0,67** | **cm** | rapporto $r_u$= 0,387 |
| **medio** | **DH=** | **1,19** | **cm** | rapporto $r_u$= 0,578 |
| **massimo** | **DH=** | **1,59** | **cm** | rapporto $r_u$= 0,685 |

**CEDIMENTO POST-SISMICO IN TERRENI COESIVI SOFFICI CON Cu<70kPa e IP>30%**

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

Strato 2

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Spessore strato H = | | 250 | cm | |
| Cc= | | 0,15 | | |
| Cr= | | 0,0330 | | |
| $e_0$= | | 0,95 | | |
| Calcolo del cedimento post-sismico nei terreni coesivi soffici | | | | |
| **minimo** | **DH=** | **1,02** | **cm** | rapporto $r_u$= 0,359 |
| **medio** | **DH=** | **1,79** | **cm** | rapporto $r_u$= 0,542 |
| **massimo** | **DH=** | **2,50** | **cm** | rapporto $r_u$= 0,664 |

## 3.4. MISURA FREQUENZA DI RISONANZA DEPOSITI IN CAMPO LIBERO H/V

E' stata commissionata alla ditta TeamGeofisica srl, su incarico dello scrivente, una campagna d'indagine geofisica finalizzata alla determinazione della frequenza di risonanza dei terreni dell'area in oggetto. Il metodo utilizzato si basa sull'analisi dei rapporti spettrali del rumore sismico ambientale (Microtremori noto anche come "Nakamura"). L'indagine è stata effettuata in data 24 febbraio 2014.

Si allega la relazione specialistica, che fa parte integrante di questo lavoro. Qui si propone solo il risultato finale delle misurazioni effettuate dal dott. Nasser Abu Zeid.

Le due coppie di prove H/V sono ubicate nella FIGURA 3.13.

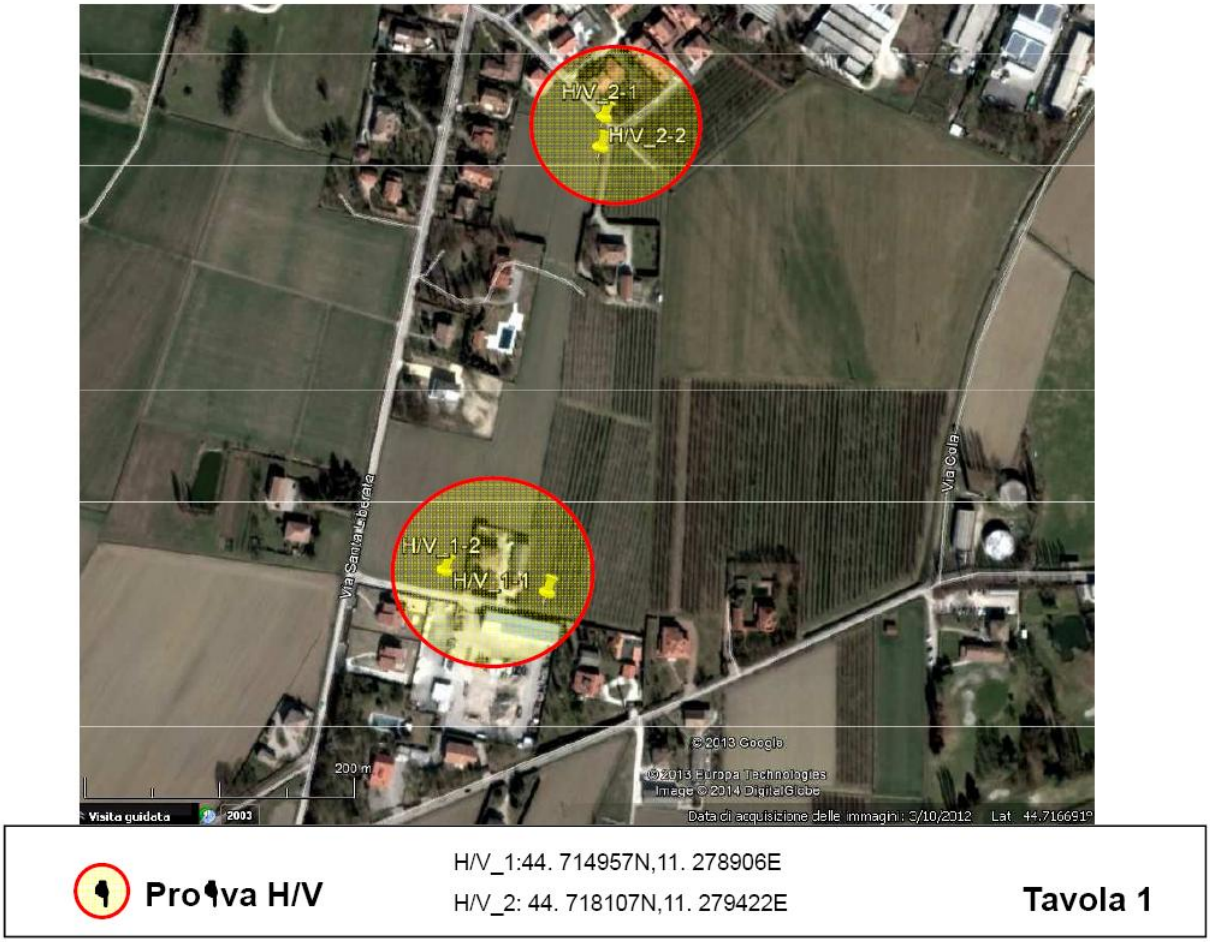



FIGURA 3.13. – Ubicazione delle prove H/V

I risultati ottenuti, utilizzando il codice di calcolo Geopsy (vers. 2.5, 2013), sono riportati in FIGURA 3.14 Mentre le frequenze di risonanze ottenute sono riportate in Tabella 1.

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

- la frequenza di risonanza con rapporto H/V intorno/superiore a 2, tipica dell'area è denominata F0 (Tabella 1), risulta essere intorno a 0,64Hz. Questo valore corrisponde ad un periodo di risonanza intorno a 1,6 secondi e suggerisce la presenza di discontinuità acustica collocata a profondità compresa tra 155 e 200 m,
- La frequenza di risonanza (F1), pari a 0,83 Hz/periodo 1,2 secondi, risulta stabile ed indica la presenza di una seconda discontinuità acustica più superficiale a profondità 120-130 metri.

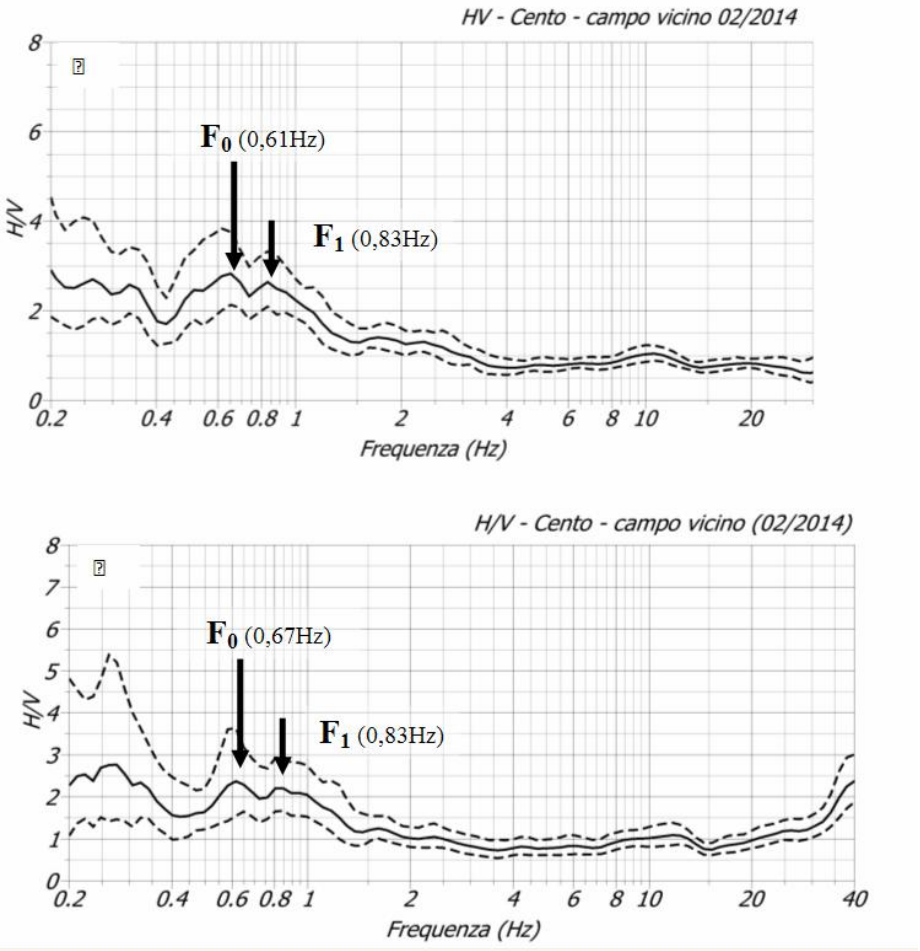



*FIGURA 3.14. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libro. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F0: frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come si può*

Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR.

| prova H/V | Frequenza (Hz) | Valore Frequenza | Periodo $T_0$(sec) | Ampiezza (A) |
|---|---|---|---|---|
| 1* | $F_0$ | **0,61 ± 0,03** | **1,6** | **2,4** |
| 1* | $F_1$ | **0,84 ± 0,03** | **1,2** | **2,2** |
| 2* | $F_0$ | 0, 67 ± 0,02 | **1,5** | **2,8** |
| 2* | $F_1$ | **0,83 ± 0,00** | **1,2** | **2,6** |
| 1,2*prove effettuate in campo libero | | | | |

## 4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

Uno dei motivi di pericolosità geologica del territorio, deriva in questi luoghi, dall'interazione tra opere di fondazione e terreni compressibili, su cui le costruzioni in elevazione possono creare condizioni di instabilità del complesso opera-terreno.

Si rende quindi necessario fare alcune valutazioni per verificare le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione, utilizzando in via indicativa, i dati derivabili dalle indagini specifiche eseguite per la modellazione geologica.

E' dunque stata considerata la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con *rif.U17-14,* spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c.. Inoltre per conoscere con adeguato dettaglio le caratteristiche lito-stratigrafiche del sito, è stata effettuata un'indagine geognostica con particolare riguardo per i terreni più superficiali consistente in un sondaggio geognostico S1 a distruzione di nucleo spinto fino alla profondità di -4,00 m da p.c. ed è stato realizzato affianco alla prova penetrometrica statica.

In FIGURA 4.1 viene riportata una planimetria catastale con la rappresentazione delle aree del comune di Cento candidate a POC con l'ubicazione della prova SCPTU1 e del sondaggio S1 eseguiti in sito.

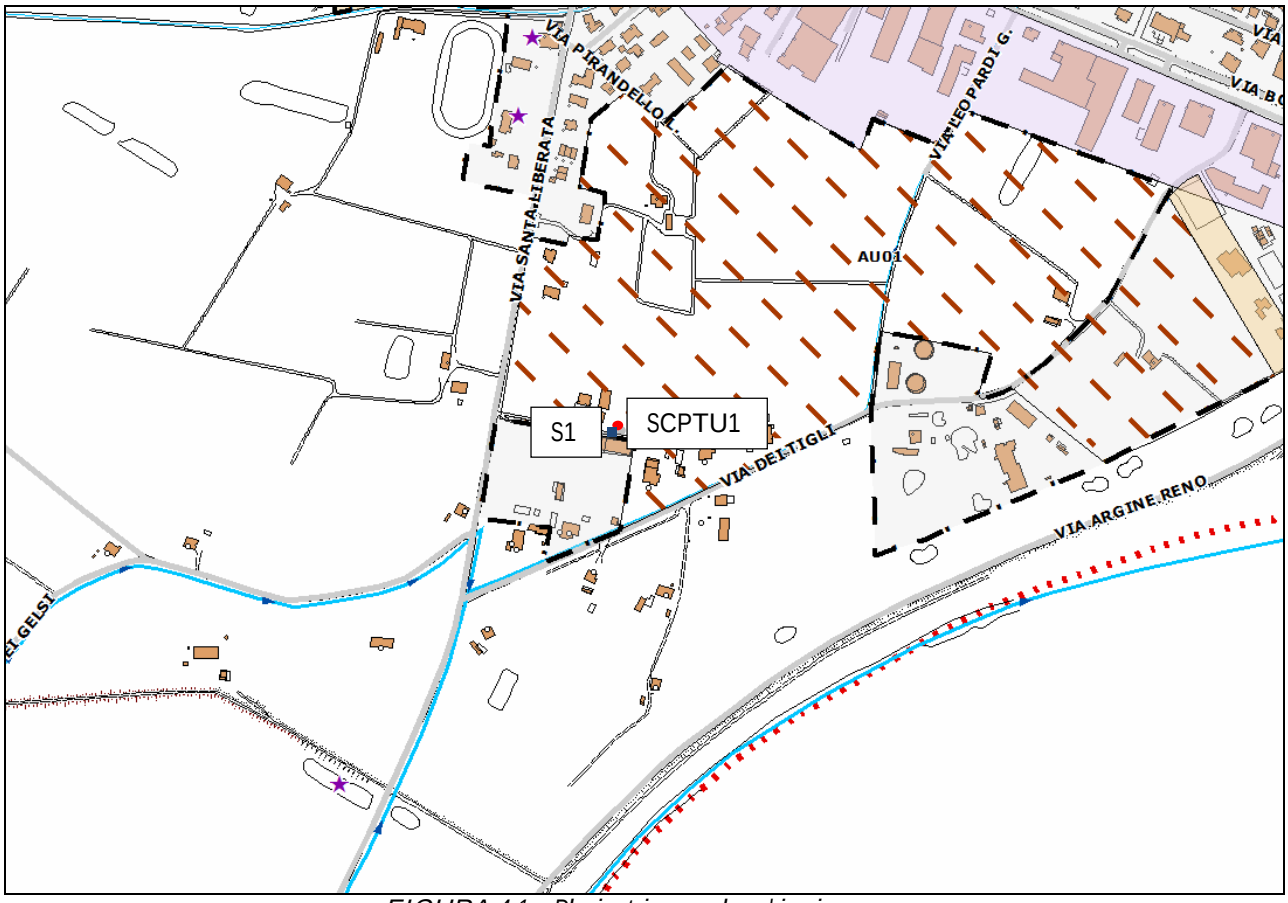



*FIGURA 4.1 – Planimetria generale e ubicazione prova*

Negli Allegati sono inserite, per le CPT eseguite, le seguenti schede: a) diagrammi di resistenza, b) valutazioni litologiche, c) tabelle parametri geotecnici.

## 4.1. ACQUISIZIONE DATI CON PROVA PENETROMETRICA STATICA

L'esecuzione della prova penetrometrica è avvenuta con un Penetrometro Statico con punta elettrica con piezocono.

Si allegano i *diagrammi delle resistenze* dal cui confronto si possono evincere le differenze di comportamento dei terreni nei vari strati incontrati; le *interpretazioni litologiche*, in base alle valutazioni stratigrafiche fornite da Douglas-Olsen (1981), Robertson-Campanella (1983) e Olsen-Farr (1986).

Le caratteristiche geotecniche dei terreni ricavate dai risultati della penetrometria statica sono riportate in tabella *parametri geotecnici*.

Nelle tabelle viene fatta distinzione fra i terreni di natura coesiva e quelli di natura granulare.

Per i terreni di natura coesiva vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro qc (Mpa), la resistenza laterale Fs (MPa), il peso di volume $\gamma'$ (kN/m³), la coesione non drenata Cu (kPa), il grado di sovraconsolidazione OCR, dei moduli di deformazione non drenati Eu50 (MPa) corrispondenti rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50 e 25 %, del modulo di deformazione edometrico Mo (Mpa).

Per i terreni di natura granulare vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro qc (MPa), la resistenza laterale Fs (MPa), la densità relativa Dr (%), dell'angolo di attrito interno efficace $\phi$' (°), i moduli di deformazione drenati E'25 (MPa) e del modulo di deformazione edometrico Mo (MPa).

Nella Tabella 4.1 si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1.

| Identificativo | U17-14 |
|---|---|
| Emissione | feb-14 |
| Pagina | 1 di 2 |

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**

**PARAMETRI GEOTECNICI**

| | | | |
|---|---|---|---|
| -Committente | **EFFE costruzioni s.r.l.** | -Prova n° | **CPTU1** |
| -Cantiere | **POC via Santa Liberata, Cento (Fe)** | -Data prova | **21/02/2014** |
| -Quota p.c. | **17,20** m s.l.m. | -Prof. preforo | **0,00** m |
| -Livello di falda | **0,50** m da p.c. | -Prof. finale | **25,40** m |

| | | | | | | | MATERIALI COESIVI | | | | | | MATERIALI GRANULARI | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DA | A | qcm | fsm | deltaU | litol. | Peso Vol. | Cu (qc) | OCR (qc) | OCR (U) | $M_0$ | Eu50 | CR | Dr | $Fl'_{DM}$ | Fl'Schm. | | | | E'25 | $M_0$ |
| m | m | MPa | MPa | MPa | (-) | kN/m3 | KPa | (-) | (-) | MPa | MPa | (-) | (%) | (°) | (°) | | | | MPa | MPa |
| **0,0** | **1,2** | 1,22 | 0,04 | 0,03 | **AL** | 20,00 | 69 | 20 | 9 | 4,31 | 11,69 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **1,2** | **2,3** | 0,73 | 0,02 | 0,11 | **LA** | 20,00 | 41 | 17 | 7 | 3,07 | 6,741 | 0,10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **2,3** | **4,5** | 1,14 | 0,01 | 0,04 | **SL** | 19,00 | - | - | - | - | - | - | <20 | 30 | 29 | 32 | 35 | 39 | 3,43 | 5,48 |
| **4,5** | **6,0** | 0,87 | 0,01 | 0,01 | **LS** | 20,00 | - | - | - | - | - | - | <20 | 29 | 26 | 30 | 33 | 37 | 2,47 | 3,96 |
| **6,0** | **7,5** | 0,43 | 0,01 | 0,13 | **A** | 17,50 | 20 | 2 | 4 | 2,13 | 10,87 | 0,30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **7,5** | **10,0** | 0,67 | 0,03 | 0,18 | **A** | 17,50 | 31 | 3 | 4 | 3,09 | 15,44 | 0,29 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **10,0** | **17,0** | 1,66 | 0,09 | 0,19 | **A** | 17,50 | 82 | 4 | 7 | 5,25 | 30,17 | 0,15 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **17,0** | **25,4** | 2,30 | 0,11 | 0,47 | **A** | 17,50 | 111 | 4 | 5 | 6,84 | 43,38 | 0,18 | - | - | - | - | - | - | - | - |

*Tabella 4.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata*

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con *rif. U17-14*. Tale quota è stata rilevata in data 21/02/2014 alla profondità di -0,50 m dal p.c..

Il livello freatico potrebbe oscillare rispetto ai valori riscontrati in tal giorno, solo un monitoraggio di un anno idrogeologico permetterebbe di valutare le oscillazioni stagionali di queste quote.

## 4.2. ACQUISIZIONE DATI CON SONDAGGIO GEOGNOSTICO

La stratigrafia del sondaggio S1 rileva:

- da p.c. fino a -0,10 m da p.c. terreno vegetale;
- da -0,10 m da p.c. fino a -1,20 m da p.c. argilla e limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,20 m da p.c. fino a -1,65 m da p.c. limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,65 m da p.c. fino a -2,30 m da p.c. argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente;
- da -2,30 m da p.c. fino a -3,20 m da p.c. limo sabbioso di color grigio poco addensata;
- da -3,20 m da p.c. fino a -3,60 m da p.c. sabbia fine limosa di color grigio sciolta;
- da -3,60 m da p.c. fino a -3,90 m da p.c. sabbia media di color grigio poco addensata;
- da -3,90 m da p.c. fino a -4,00 m da p.c. sabbia media limosa di color grigio poco addensata;

Di seguito si riportano le foto del sondaggio S1 e la scheda stratigrafica.



Da p.c. a -0,80 m



da -0,80 m a -1,60 m



Da -1,60 m a -2,40 m



da -2,40 m a -3,20



da -3,20 m a -4,00

**Dott. Geol.**
**Thomas Veronese**
**Via Romea, 80**
**44023 Vaccolino (FE)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Inizio Esecuzione 21/02/2014 | Fine Esecuzione // | Metodo Perfor. Sondaggio a coclea | Sondaggio S1 |
| Quota p.c. | | Attrezzo Sonda oleodinamica | |
| Committente Effe Costruzioni srl | | Località Cento Fe | |
| Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN] | Foto | Livello Acqua | Prof. Foro / Prof. Riv. / Assistente T. Veronese |
| | | Data 21-02-14 / Mt. p.c. 0.50 | 4.00 / Operatore L. Lunghi |

| MT. | QUOTA DA P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI tipo | num | PROF | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | % R.Q.D. | P.P. kg/cm2 | T.V. kg/cm2 | S.P.T. N1 | N2 | N3 | Liv. acqua | Piezometro |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ,10 | | | | | Terreno vegetale | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | Argilla e limo di colore nocciola poco consistente | | | | | | | ,50 | |
| | 1,20 | | | C1 | 1,2-1.60 | | | | | | | | | |
| | | | | | | Limo di colore nocciola poco consistente | | | | | | | | |
| | 1,65 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | Argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente | | | | | | | | |
| | 2,30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | C2 | 2,6-2.90 | Limo sabbioso di color grigio poco addensato | | | | | | | | |
| 3 | 3,20 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Sabbia fine limosa di color grigio sciolta | | | | | | | | |
| | 3,60 | | | | | Sabbia media di color grigio poco addensata | | | | | | | | |
| | 3,90 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4,00 | | | | | Sabbia media limosa di color grigio poco addenstata | | | | | | | | |



## 4.3. ACQUISIZIONE DATI CON PROVE di LABORATORIO GEOTECNICO

In corrispondenza del sondaggio geognostico S1 sono stati prelevati 2 campioni di terreno a diverse profondità da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico; il campione C1 dalla profondità di -1,20 m da p.c. a -1,60 m da p.c. e il campione C2 dalla profondità di -2,60 m da p.c. a -2,90 m da p.c..

I campioni C1 e C2 sono dunque stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico, nello specifico ai limiti di Atterberg ed analisi granulometriche complete.

### *4.3.1. Analisi Granulometrica*

Una terra è costituita da un insieme di grani di forma e dimensioni differenti. Scopo dell'analisi granulometrica è quello di determinare la distribuzione percentuale dei grani, per massa, secondo le loro dimensioni. La determinazione va eseguita mediante crivelli e setacci per la frazione solida di dimensioni maggiori di 0,075 mm (ghiaie e sabbie), per quella di dimensioni inferiori (limi e argille) si ricorre all'analisi per sedimentazione. La distribuzione ottenuta viene rappresentata graficamente mediante una curva che prende il nome di "Curva granulometrica" (*AGI, Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, 1994*).

Successivamente si riporta la curva granulometrica dei 2 campioni analizzati, in ascissa si riporta il diametro delle particelle, espresso in mm, mentre in ordinata la percentuale di passante.

Dalla curva granulometrica ottenuta per sedimentazione, si può distinguere la percentuale di argilla rispetto al limo ed alle sabbie.

**ANALISI GRANULOMETRICA**
**(per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422**

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE) | | |
| CANTIERE: | Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI | | |
| CAMPIONE: | C1 da 1.20 a 1.60 m | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140524 | rev.00 del: | 27/02/14 |

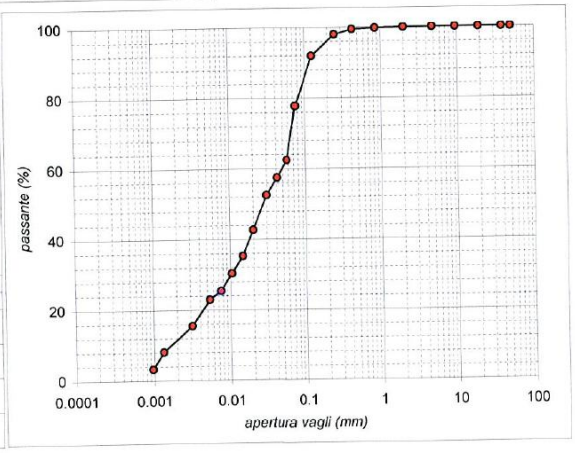
Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 286

Aspetto del campione: **Limo sabbioso e argilloso marrone**

| TIPO VAGLIO | apertura (mm) | trattenuto (g) | trattenuto (%) | cum. tratt. (%) | passante (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| crivello | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 38.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 19.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 9.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 4.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| setaccio | 2.0 | 0.12 | 0.05 | 0.05 | 99.95 |
| setaccio | 0.850 | 0.45 | 0.19 | 0.24 | 99.76 |
| setaccio | 0.425 | 0.78 | 0.33 | 0.57 | 99.43 |
| setaccio | 0.250 | 3.36 | 1.42 | 1.99 | 98.01 |
| setaccio | 0.125 | 14.31 | 6.03 | 8.02 | 91.98 |
| setaccio | 0.075 | 33.78 | 14.24 | 22.26 | 77.74 |
| calcolato | 0.0572 | 36.30 | 15.31 | 37.57 | 62.43 |
| calcolato | 0.0415 | 11.69 | 4.93 | 42.50 | 57.50 |
| calcolato | 0.0301 | 11.69 | 4.93 | 47.43 | 52.57 |
| calcolato | 0.0199 | 23.39 | 9.86 | 57.30 | 42.70 |
| calcolato | 0.0145 | 17.54 | 7.40 | 64.69 | 35.31 |
| calcolato | 0.0105 | 11.69 | 4.93 | 69.62 | 30.38 |
| calcolato | 0.0075 | 11.69 | 4.93 | 74.55 | 25.45 |
| calcolato | 0.0054 | 5.85 | 2.47 | 77.02 | 22.98 |
| calcolato | 0.0032 | 17.54 | 7.40 | 84.42 | 15.58 |
| calcolato | 0.0013 | 17.54 | 7.40 | 91.81 | 8.19 |
| calcolato | 0.0010 | 11.69 | 4.93 | 96.74 | 3.26 |
| | fondo | 7.72 | 3.26 | 100.00 | 0.00 |
| | TOTALE | 237.15 | | ϕ max (mm) = | 2.24 |

| Passante effettivo setaccio 0.075 (g) | | 50 |
|---|---|---|
| t° C | Tempo (s) | Lettura |
| 19 | 30 | 29 |
| 19 | 60 | 27 |
| 19 | 120 | 25 |
| 19 | 300 | 21 |
| 19 | 600 | 18 |
| 19 | 1200 | 16 |
| 19 | 2400 | 14 |
| 19 | 4800 | 13 |
| 19 | 14400 | 10 |
| 19 | 86400 | 7 |
| 19 | 172800 | 5 |

| Rapporti granulometrici | | |
|---|---|---|
| | USCS | AGI |
| GHIAIA | > 4,75 mm 0.0% | > 2,00 mm 0.1% |
| SABBIA | > 0,075 mm 22.3% | > 0,06 mm 34.8% |
| LIMO | > 2 μ 66.1% | > 2 μ 53.5% |
| ARGILLA | < 2 μ 11.6% | < 2 μ 11.6% |



**ANALISI GRANULOMETRICA**
**(per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422**

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE) | | |
| CANTIERE: | Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI | | |
| CAMPIONE: | C2 da 2.60 a 2.90 m | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140525 | rev.00 del: | 27/02/14 |

Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 286

Aspetto del campione: **Sabbia con limo grigio**

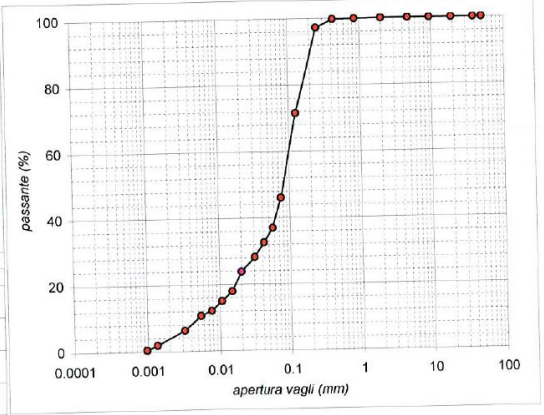
| TIPO VAGLIO | apertura (mm) | trattenuto (g) | trattenuto (%) | cum. tratt. (%) | passante (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| crivello | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 38.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 19.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 9.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 4.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| setaccio | 2.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| setaccio | 0.850 | 0.24 | 0.10 | 0.10 | 99.90 |
| setaccio | 0.425 | 0.36 | 0.15 | 0.25 | 99.75 |
| setaccio | 0.250 | 6.12 | 2.55 | 2.80 | 97.20 |
| setaccio | 0.125 | 61.50 | 25.64 | 28.45 | 71.55 |
| setaccio | 0.075 | 61.11 | 25.48 | 53.93 | 46.07 |
| calcolato | 0.0572 | 21.76 | 9.07 | 63.00 | 37.00 |
| calcolato | 0.0420 | 10.51 | 4.38 | 67.38 | 32.62 |
| calcolato | 0.0307 | 10.51 | 4.38 | 71.77 | 28.23 |
| calcolato | 0.0201 | 10.51 | 4.38 | 76.15 | 23.85 |
| calcolato | 0.0148 | 14.02 | 5.84 | 82.00 | 18.00 |
| calcolato | 0.0107 | 7.01 | 2.92 | 84.92 | 15.08 |
| calcolato | 0.0077 | 7.01 | 2.92 | 87.84 | 12.16 |
| calcolato | 0.0055 | 3.50 | 1.46 | 89.30 | 10.70 |
| calcolato | 0.0032 | 10.51 | 4.38 | 93.69 | 6.31 |
| calcolato | 0.0014 | 10.51 | 4.38 | 98.07 | 1.93 |
| calcolato | 0.0010 | 3.50 | 1.46 | 99.53 | 0.47 |
| | fondo | 1.13 | 0.47 | 100.00 | 0.00 |
| | TOTALE | 239.82 | | ϕ max (mm) = | 1.02 |

Passante effettivo setaccio 0.075 (g): 50

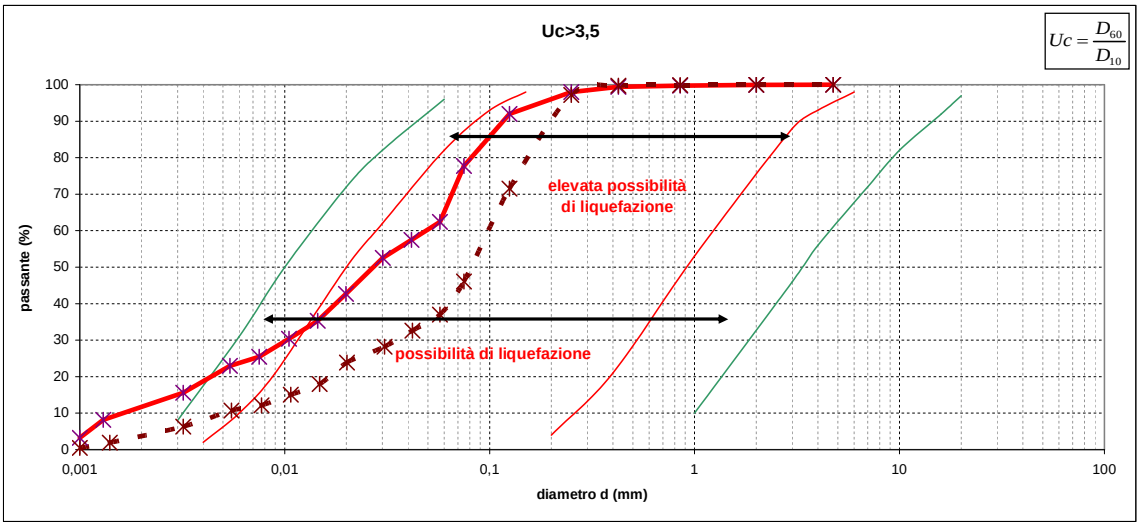
| t° C | Tempo (s) | Lettura |
|---|---|---|
| 19 | 30 | 29 |
| 19 | 60 | 26 |
| 19 | 120 | 23 |
| 19 | 300 | 20 |
| 19 | 600 | 16 |
| 19 | 1200 | 14 |
| 19 | 2400 | 12 |
| 19 | 4800 | 11 |
| 19 | 14400 | 8 |
| 19 | 86400 | 5 |
| 19 | 172800 | 4 |

Rapporti granulometrici

| | USCS | AGI |
|---|---|---|
| GHIAIA | > 4,75 mm 0.0% | > 2,00 mm 0.0% |
| SABBIA | > 0,075 mm 53.9% | > 0,06 mm 61.4% |
| LIMO | > 2 μ 42.2% | > 2 μ 34.7% |
| ARGILLA | < 2 μ 3.9% | < 2 μ 3.9% |




Le curve granulometriche sono state inserite nei grafici seguenti, dove emerge che i campioni di sedimento granulare analizzato hanno il carattere predisponente alla liquefazione, anche se vi è in entrambi i casi una coda significativa di sedimenti fini che escono dal fuso liquefacibile.




| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| campione n C1 | dimensione granuli (mm) | | 0,001 | 0,0013 | 0,0032 | 0,0054 | 0,0075 | 0,0105 | 0,0145 | 0,0199 | 0,0301 | 0,0415 | 0,0572 | 0,075 | 0,125 | 0,25 | 0,425 | 0,85 | 2 | 4,75 | $D_{60}$ | $D_{10}$ | Uc |
| prof. -1,20/-1,60 | % passante | | 3,26 | 8,19 | 15,58 | 22,98 | 25,45 | 30,38 | 35,31 | 42,7 | 52,57 | 57,5 | 62,43 | 77,74 | 91,98 | 98,01 | 99,43 | 99,76 | 99,95 | 100 | 0,05 | 0,002 | 25,0 |
| campione n C2 | dimensione granuli (mm) | | 0,001 | 0,0014 | 0,0032 | 0,0055 | 0,0077 | 0,0107 | 0,0148 | 0,0201 | 0,0307 | 0,042 | 0,0572 | 0,075 | 0,125 | 0,25 | 0,425 | 0,85 | 2 | 4,75 | $D_{60}$ | $D_{10}$ | Uc |
| prof. -2,60/-2,90 | % passante | | 0,47 | 1,93 | 6,31 | 10,7 | 12,16 | 15,08 | 18 | 23,85 | 28,23 | 32,62 | 37 | 46,07 | 71,55 | 97,2 | 99,75 | 99,9 | 100 | 100 | 0,1 | 0,005 | 20,0 |

Nella curva continua è rappresentato il campione C1 e nella curva tratteggiata il campione C2.

*4.3.2.Limiti di Atterberg (Norma CNR- UNI 10014)*

Il comportamento dei terreni a grana fine è fortemente influenzato dal contenuto d'acqua nei pori. Diventa perciò molto importante sia conoscere il contenuto d'acqua di un deposito naturale sia confrontare questo contenuto d'acqua con alcuni valori di contenuto d'acqua caratteristici, che costituiscono i limiti di comportamento del terreno stesso.

I limiti di Atterberg sono dei contenuti di acqua determinati in laboratorio che rappresentano abbastanza bene dei passaggi critici di comportamento del terreno. Facendo aumentare con continuità il contenuto d'acqua w si noterà che il terreno argilloso passa da quello di solido fragile a quello di semisolido, quindi a quello plastico e infine a quello fluido; a queste variazioni possono essere abbinate delle variazioni di risposta deformazionale del terreno. Il contenuto d'acqua che separa il passaggio dal solido fragile al semisolido è detto limite di ritiro, quello dal semisolido al plastico è detto limite di plasticità, quello dallo stato plastico allo stato fluido è il limite di liquidità; la differenza fra il limite di liquidità e il limite di plasticità è detto indice di plasticità e indica il campo di contenuto d'acqua nel quale il terreno è allo stato plastico. I limiti di Atterberg costituiscono una prova importante perché presentano una notevole fedeltà nei risultati sperimentali nonostante l'apparecchiatura sperimentale di prova risulti molto semplice.

L'analisi è stata effettuata sul campione di terreno C1 e C2; i risultati sono riportati in Tabella 4.4.

| Limiti | | C1 (1,20-1,60m) | C2 (2,60-2,90m) |
|---|---|---|---|
| Umidità Naturale | Wn | 27 | 27 |
| Limite Liquido | LL | 29 | 25 |
| Limite Plastico | LP | 20 | 21 |
| Indice Plastico | IP | 9 | 5 |
| Indice di consistenza | Ic | 0.24 | 0.31 |

*Tabella 4.2 – Limiti di Atterberg*

# LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)

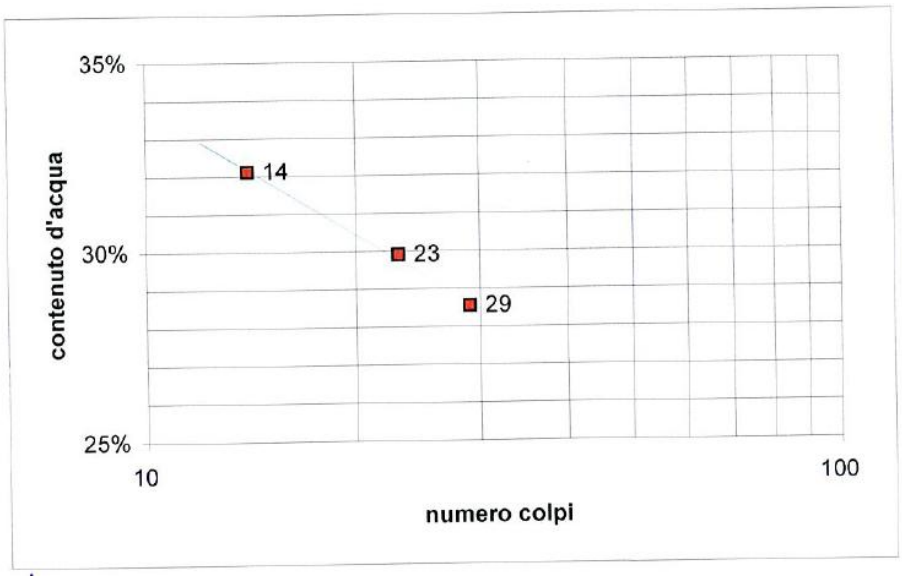
| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | **VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)** | | |
| CANTIERE: | **Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI** | | |
| CAMPIONE: | **C1 da 1.20 a 1.60 m** | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140526 | rev.0 del: | 27/02/14 |

codice int. Strum.: 344- 480.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE: **Limo sabbioso e argilloso marrone**

| | LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | UMIDITA' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| impasto | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| N° colpi | 14 | 23 | 29 | | | |
| massa umida+ tara (g) | 39.21 | 43.23 | 46.16 | 8.35 | 9.09 | 988.38 |
| massa secca+ tara (g) | 30.23 | 33.86 | 36.41 | 7.31 | 7.95 | 843.66 |
| acqua contenuta (g) | 8.98 | 9.37 | 9.75 | 1.04 | 1.14 | 144.72 |
| tara (g) | 2.27 | 2.53 | 2.26 | 2.24 | 2.35 | 311.70 |
| peso secco (g) | 27.96 | 31.33 | 34.15 | 5.07 | 5.60 | 531.96 |
| contenuto d'acqua | 32.1% | 29.9% | 28.6% | 20.5% | 20.4% | 27.2% |

| | | |
|---|---|---|
| **Umidità Naturale** | **Wn =** | **27%** |
| **Limite Liquido** | **LL =** | **29%** |
| **Limite Plastico** | **LP =** | **20%** |
| **Indice Plastico** | **IP =** | **9%** |
| **Indice di Consistenza** | **Ic =** | **0.24** |



## LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)

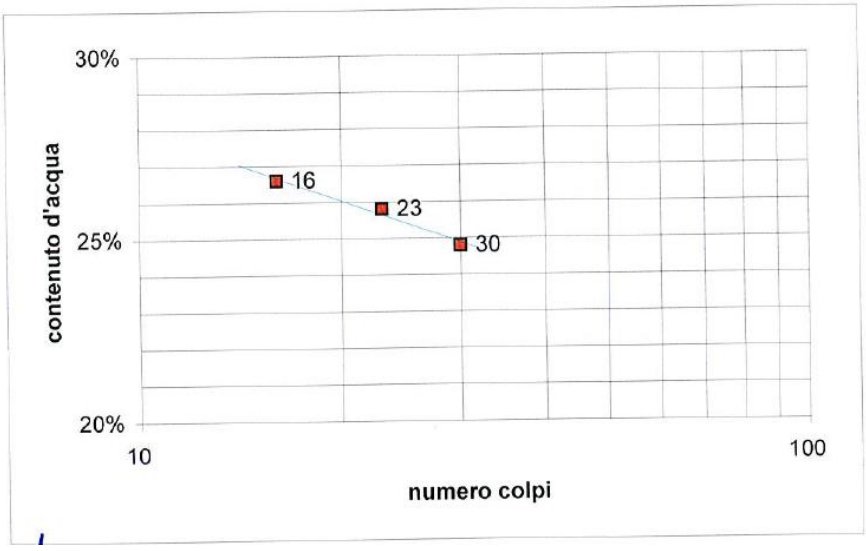
| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | **VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)** | | |
| CANTIERE: | **Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI** | | |
| CAMPIONE: | **C2 da 2.60 a 2.90 m** | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140527 | rev.0 del: | 27/02/14 |

codice int. Strum.: 344- 480.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE: **Sabbia con limo grigio**

| | LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | UMIDITA' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| impasto | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| N° colpi | 16 | 23 | 30 | | | |
| massa umida+ tara (g) | 52.90 | 43.57 | 48.57 | 11.16 | 11.41 | 1129.50 |
| massa secca+ tara (g) | 42.29 | 35.12 | 39.38 | 9.63 | 9.84 | 956.13 |
| acqua contenuta (g) | 10.61 | 8.45 | 9.19 | 1.53 | 1.57 | 173.37 |
| tara (g) | 2.40 | 2.37 | 2.32 | 2.33 | 2.24 | 310.36 |
| peso secco (g) | 39.89 | 32.75 | 37.06 | 7.30 | 7.60 | 645.77 |
| contenuto d'acqua | 26.6% | 25.8% | 24.8% | 21.0% | 20.7% | 26.8% |

| | | |
|---|---|---|
| **Umidità Naturale** | **Wn =** | **27%** |
| **Limite Liquido** | **LL =** | **25%** |
| **Limite Plastico** | **LP =** | **21%** |
| **Indice Plastico** | **IP =** | **5%** |
| **Indice di Consistenza** | **Ic =** | **-0.31** |



## 5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La funzione di amplificazione di un sito fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto "filtrante" di un deposito di terreno sulle onde sismiche. Essa mette in evidenza in quale campo di frequenze la presenza del terreno può indurre effetti significativi di amplificazione del moto sismico incidente o, viceversa, se tali effetti possano addirittura tradursi in un'attenuazione delle ampiezze in superficie.

La conoscenza della sola funzione di amplificazione non è comunque sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie di un deposito. In termini applicativi, scopo finale di un'analisi di risposta sismica locale è infatti quello di disporre di uno spettro di risposta dell'accelerazione (associato ad un terremoto presunto ed ad un dato fattore di smorzamento strutturale), che includa realisticamente l'effetto di amplificazione del sottosuolo. Ciò premesso la funzione di amplificazione (o meglio la funzione di trasferimento) rappresenta comunque un indispensabile elemento per determinare il moto in superficie. Si riporta di seguito lo schema del processo che porta alla determinazione del moto sismico alla superficie di un deposito di terreno su basamento roccioso, a cui è applicata l'eccitazione sismica rappresentata, anziché da un'onda armonica stazionaria, da un moto irregolare come nel caso di un sisma reale.

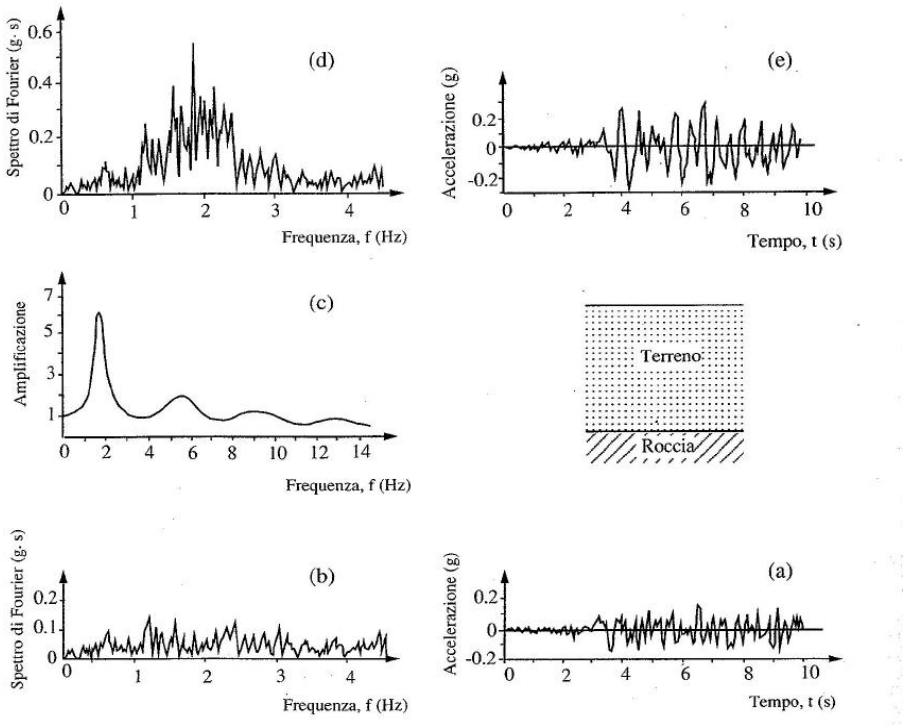
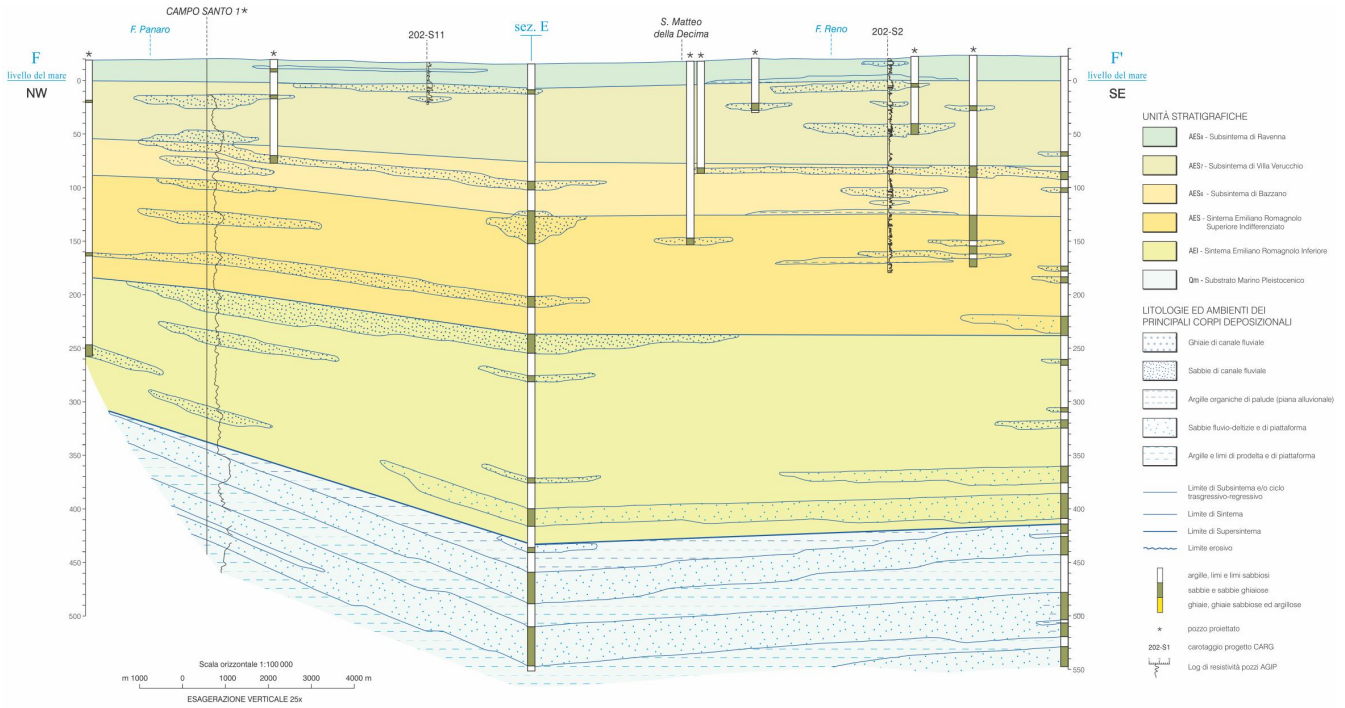
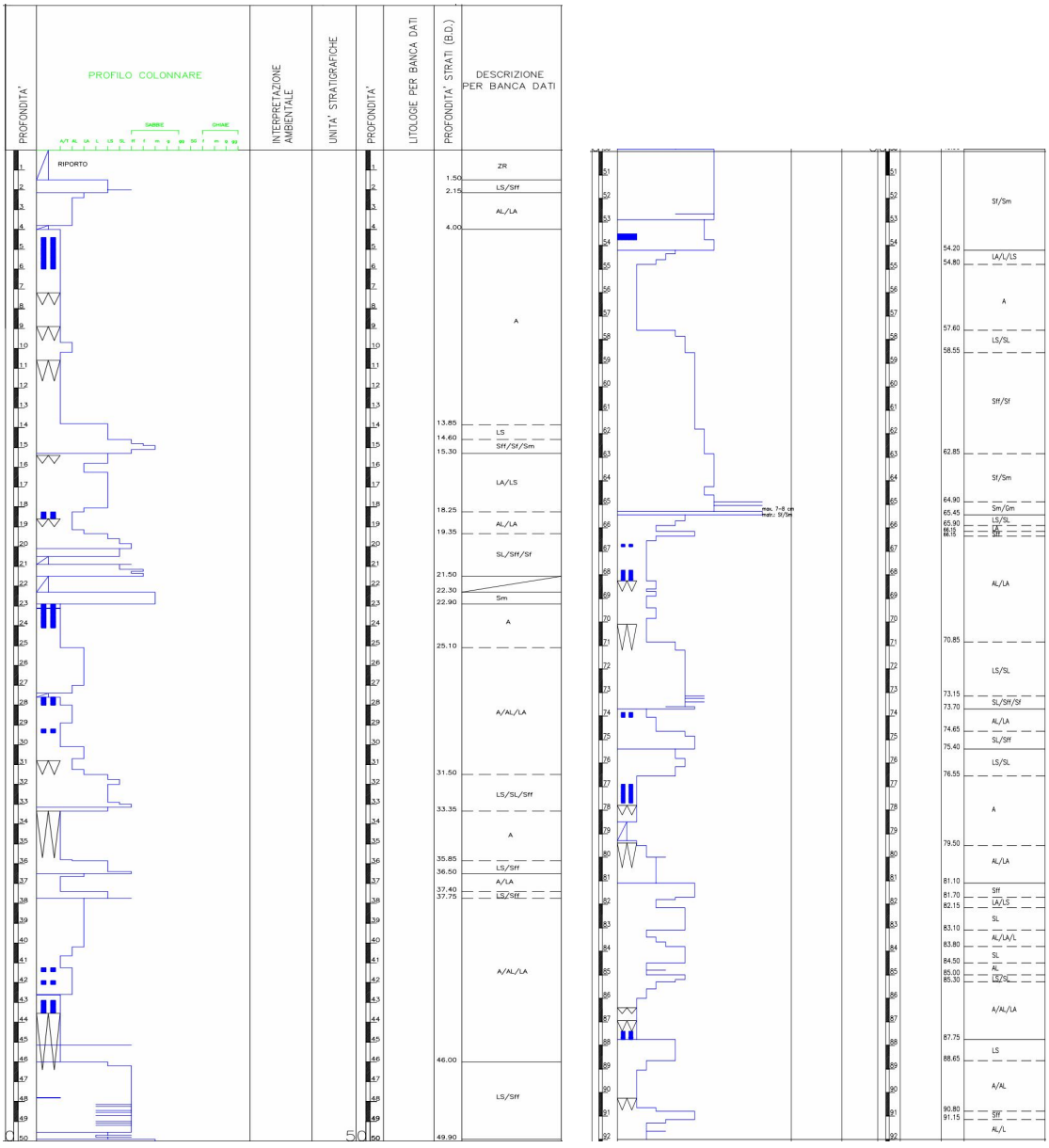


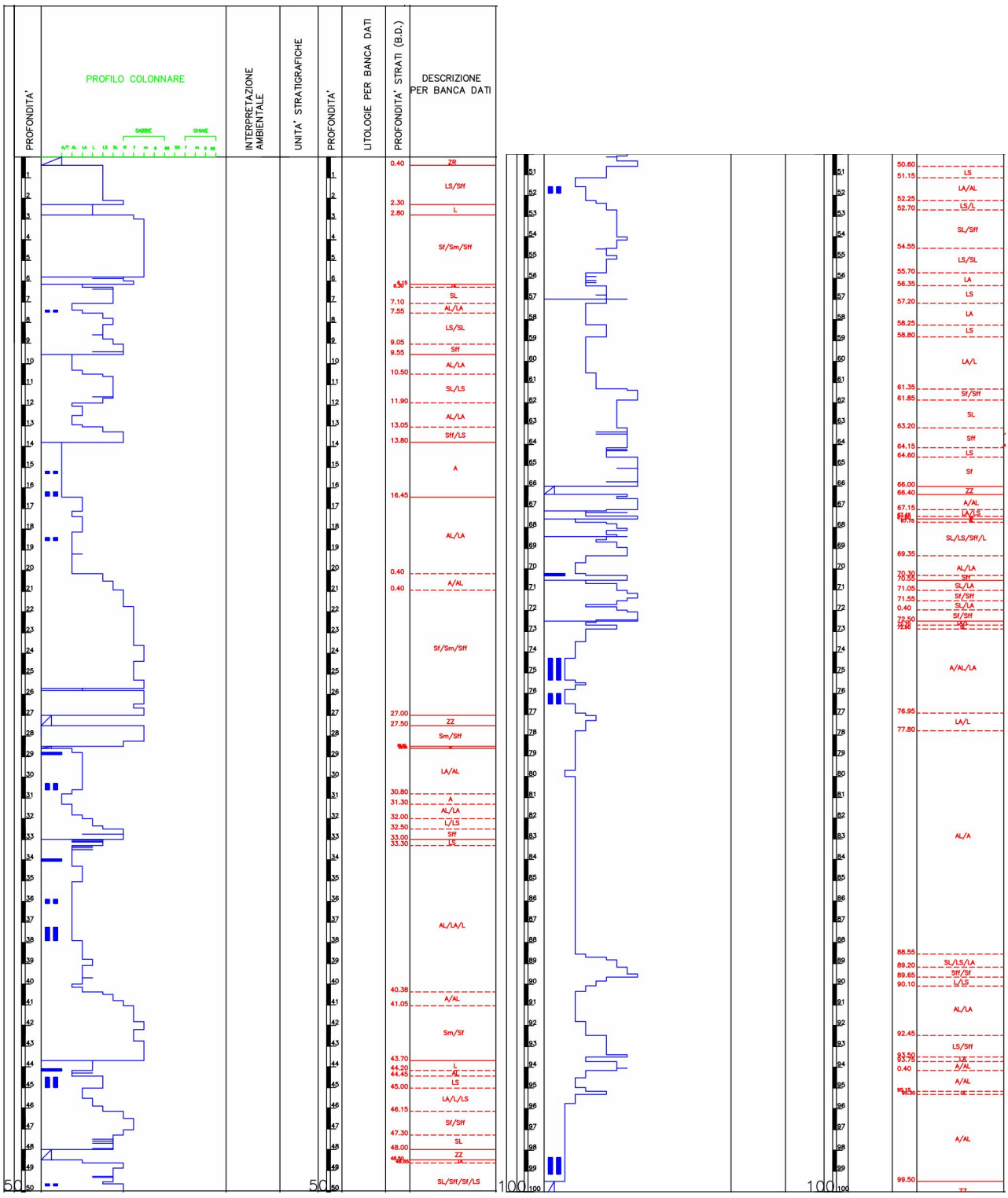

*Fig. 4.1*. Schema di calcolo della risposta di un banco omogeneo eccitato da un segnale sismico.

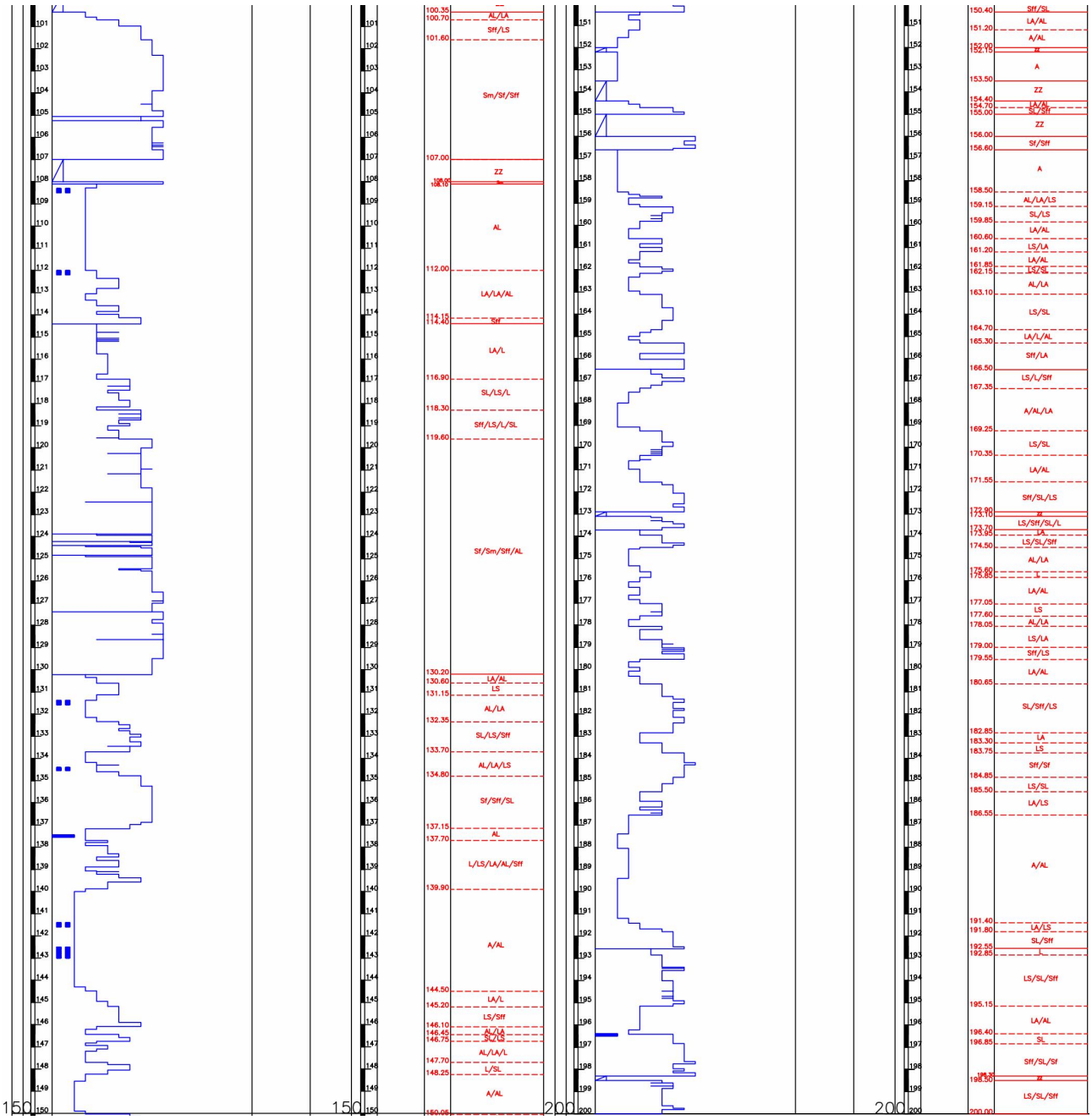
Nel caso allo studio è stata ricostruita la sequenza stratigrafica fino al bed-rock sismico, attribuendo ad ogni strato i valori di peso di volume, di Vs e attribuendo delle curve di decadimento del modulo Go espresse come rapporto G/Go in funzione dello sforzo di taglio e delle curve di smorzamento D sempre in funzione del diverso stato di sforzo di taglio. Tali curve sono state ricavate dai lavori svolti dal prof. Johan Facciorusso per la Regione Emilia Romagna a San Carlo e a Mirabello; alcune curve derivano da prove di colonna risonante fatte eseguire dallo scrivente su terreni di Dosso e di Bondeno.

Il modello stratigrafico profondo con due sondaggi della Regione Emilia Romagna ed il modello di Vs vengono riportati di seguito:

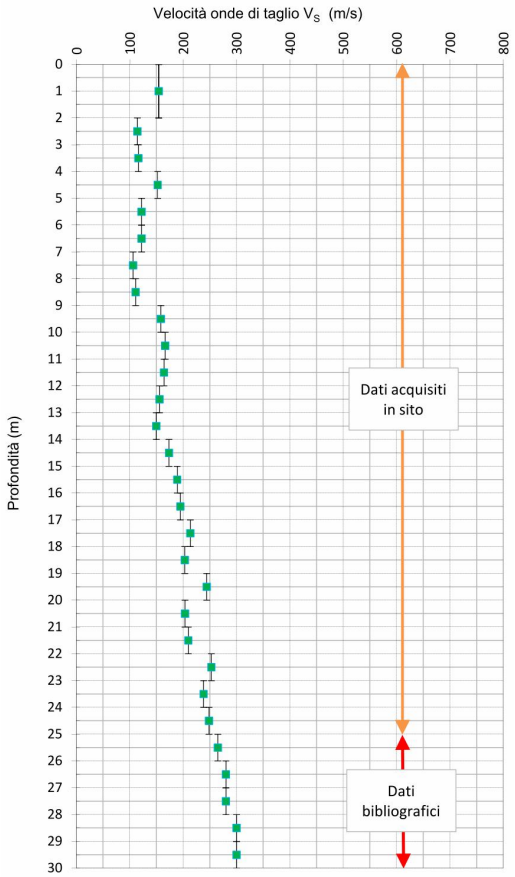

CAMPO SANTO 1*
F. Panaro
202-S11
sez. E
S. Matteo della Decima
F. Reno
202-S2
F
livello del mare
NW
F'
livello del mare
SE
UNITÀ STRATIGRAFICHE
AES8 - Subsintema di Ravenna
AES7 - Subsintema di Villa Verucchio
AES6 - Subsintema di Bazzano
AES - Sintema Emiliano Romagnolo Superiore Indifferenziato
AEI - Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore
Qm - Substrato Marino Pleistocenico
LITOLOGIE ED AMBIENTI DEI PRINCIPALI CORPI DEPOSIZIONALI
Ghiaie di canale fluviale
Sabbie di canale fluviale
Argille organiche di palude (piana alluvionale)
Sabbie fluvio-deltizie e di piattaforma
Argille e limi di prodelta e di piattaforma
Limite di Subsintema e/o ciclo trasgressivo-regressivo
Limite di Sintema
Limite di Supersintema
Limite erosivo
argille, limi e limi sabbiosi
sabbie e sabbie ghiaiose
ghiaie, ghiaie sabbiose ed argillose
pozzo proiettato
202-S1
carotaggio progetto CARG
Log di resistività pozzi AGIP
Scala orizzontale 1:100 000
m 1000 0 1000 2000 3000 4000 m
ESAGERAZIONE VERTICALE 25x


PROFONDITA'
PROFILO COLONNARE
SABBIE
GHIAIE
INTERPRETAZIONE AMBIENTALE
UNITA' STRATIGRAFICHE
PROFONDITA'
LITOLOGIE PER BANCA DATI
PROFONDITA' STRATI (B.D.)
DESCRIZIONE PER BANCA DATI
RIPORTO
ZR
LS/Sff
AL/LA
A
LS
Sff/Sf/Sm
LA/LS
AL/LA
SL/Sff/Sf
Sm
A
A/AL/LA
LS/SL/Sff
A
LS/Sff
A/LA
LS/Sff
A/AL/LA
LS/Sff
Sf/Sm
LA/L/LS
A
LS/SL
Sff/Sf
Sf/Sm
Sm/Gm
LS/SL
LA
Sff
AL/LA
LS/SL
SL/Sff/Sf
AL/LA
SL/Sff
LS/SL
A
AL/LA
Sff
LA/LS
SL
AL/LA/L
SL
AL
LS/SL
A/AL/LA
LS
A/AL
Sff
AL/L

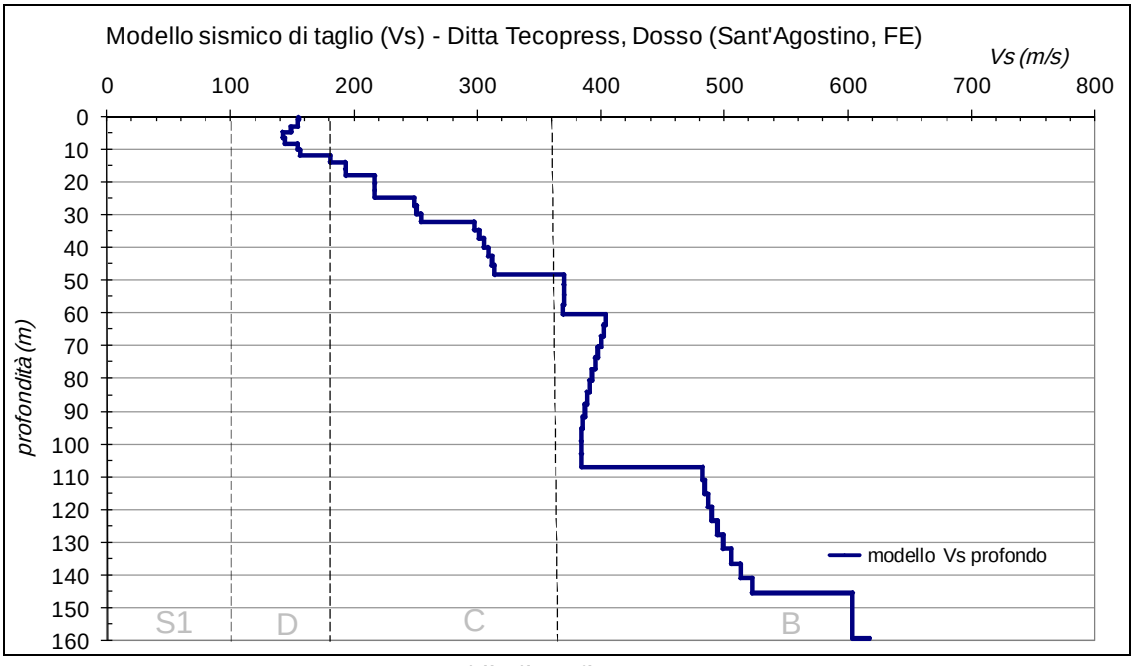

PROFONDITA'
PROFILO COLONNARE
SABBIE
GHIAIE
INTERPRETAZIONE AMBIENTALE
UNITA' STRATIGRAFICHE
PROFONDITA'
LITOLOGIE PER BANCA DATI
PROFONDITA' STRATI (B.D.)
DESCRIZIONE PER BANCA DATI
ZR
LS/Sff
L
Sf/Sm/Sff
SL
AL/LA
LS/SL
Sff
AL/LA
SL/LS
AL/LA
Sff/LS
A
AL/LA
A/AL
Sf/Sm/Sff
ZZ
Sm/Sff
LA/AL
A
AL/LA
L/LS
Sff
LS
AL/LA/L
A/AL
Sm/Sf
L
AL
LS
LA/L/LS
Sf/Sff
SL
ZZ
SL/Sff/Sf/LS
LS
LA/AL
LS/L
SL/Sff
LS/SL
LA
LS
LA
LS
LA/L
Sf/Sff
SL
Sff
LS
Sf
ZZ
A/AL
SL/LS/Sff/L
AL/LA
Sff
SL/LA
Sf/Sff
SL/LA
Sf/Sff
A/AL/LA
LA/L
AL/A
SL/LS/LA
Sff/Sf
L/LS
AL/LA
LS/Sff
LA
A/AL
A/AL
A/AL




Per il modello di Vs fino al bedrock sismico si è fatto riferimento ad una prova ESAC fatta eseguire dallo scrivente a Dosso, pochi chilometri a nord di Cento (FE).
Per il mdoello di Vs fino a 30m si fa invece riferimento alla misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso il cono sismico effettuato in sito.




*Modello di Vs fino a 30m di profondità*




*Modello di Vs fino a 160m.*

Si sintetizza il profilo geologico fino a 300m di profondità e i valori di Vs attribuiti ai vari strati, per ricostruire il modello di input per la RSL.

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

| Committente | Località |
|---|---|
| EFFE Costruzioni | CENTO FE |

| Campioni | Foto | Livello Acqua | | Prof. Foro | Prof. Riv. | Assistente |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] | | Data | Mt. p.c. | | | Geol Veronese T |
| Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN] | | 21/02/14 | 0.5 | | | Operatore |

| MT. | QUOTA DA P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI tipo | num | PROF | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | % R.Q.D. | P.P. kg/cm2 | T.V. kg/cm2 | S.P.T. N1 | N2 | N3 | Liv. acqua | Piezometro |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | Vs 154 m/sec | | | | | | | 50 | |
| 2 | 2.00 | | | | | Vs 115 m/sec | | | | | | | | |
| 3 | 4.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 5.00 | | | | | Vs 152 m/sec | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | Vs 115 m/sec | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 9.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | Vs 157 m/sec | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 14.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | Vs 186 m/sec | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 17.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | Vs 215 m/sec | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 22.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | Vs 246 m/sec | | | | | | | | |
| 24 | 25.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | Vs 275 m/sec | | | | | | | | |
| 26 | 28.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | | Vs 300 m/sec | | | | | | | | |
| 28 | 31.50 | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 33.50 | | | | | Vs 300 m/sec | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | | Vs 310 m/sec | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | | | | | | | | | | | | | | |
| 39 | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | 46.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 47 | | | | | | Vs 360 m/sec | | | | | | | | |
| 48 | | | | | | | | | | | | | | |
| 49 | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | | | | | | | | |
| 54 | | | | | | | | | | | | | | |
| 55 | 55.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 56 | | | | | | Vs 360 m/sec | | | | | | | | |
| 57 | | | | | | | | | | | | | | |
| 58 | 58.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 59 | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | | |
| 61 | | | | | | | | | | | | | | |
| 62 | | | | | | | | | | | | | | |
| 63 | | | | | | Vs 400 m/sec | | | | | | | | |
| 64 | | | | | | | | | | | | | | |
| 65 | | | | | | | | | | | | | | |
| 66 | 66.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 67 | | | | | | | | | | | | | | |
| 68 | | | | | | | | | | | | | | |
| 69 | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 | | | | | | Vs 400 m/sec | | | | | | | | |
| 71 | 71.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 72 | | | | | | | | | | | | | | |
| 73 | | | | | | | | | | | | | | |
| 74 | | | | | | | | | | | | | | |
| 75 | | | | | | Vs 395 m/sec | | | | | | | | |
| 76 | 76.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 77 | | | | | | | | | | | | | | |
| 78 | | | | | | | | | | | | | | |
| 79 | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | | | | | | | | |
| 81 | | | | | | | | | | | | | | |
| 82 | | | | | | | | | | | | | | |
| 83 | | | | | | | | | | | | | | |
| 84 | | | | | | | | | | | | | | |
| 85 | | | | | | | | | | | | | | |
| 86 | | | | | | | | | | | | | | |
| 87 | | | | | | | | | | | | | | |
| 88 | | | | | | | | | | | | | | |
| 89 | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 | | | | | | | | | | | | | | |
| 91 | | | | | | | | | | | | | | |
| 92 | | | | | | | | | | | | | | |
| 93 | | | | | | | | | | | | | | |
| 94 | | | | | | | | | | | | | | |
| 95 | | | | | | | | | | | | | | |
| 96 | | | | | | | | | | | | | | |
| 97 | | | | | | | | | | | | | | |
| 98 | | | | | | | | | | | | | | |
| 99 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 101.00 | | | | | Vs 390 m/sec | | | | | | | | |

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

| Committente | Località |
|---|---|
| EFFE Costruzioni | CENTO FE |

| Campioni | Foto | Livello Acqua | | Prof. Foro | Prof. Riv. | Assistente |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] | | Data | Mt. p.c. | | | Geol Veronese T |
| Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN] | | 21/02/14 | 0.5 | | | Operatore |

| MT. | QUOTA DA P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI tipo | CAMPIONI num | CAMPIONI PROF | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | % R.Q.D. | P.P. kg/cm2 | T.V. kg/cm2 | S.P.T. N1 | S.P.T. N2 | S.P.T. N3 | Liv. acqua | Piezometro |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 101.00 | | | | | Vs 390 m/sec | | | | | | | | |
| | 108.00 | | | | | Vs 400 m/sec | | | | | | | | |
| | 117.00 | | | | | Vs 485 m/sec | | | | | | | | |
| | 130.00 | | | | | Vs 520 m/sec | | | | | | | | |
| | 192.00 | | | | | Vs 600 m/sec | | | | | | | | |
| | 220.00 | | | | | Vs 700 m/sec | | | | | | | | |

| Committente | Località |
|---|---|
| EFFE Costruzioni | CENTO FE |

| Campioni | Foto | Livello Acqua | | Prof. Foro | Prof. Riv. | Assistente |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] | | Data | Mt. p.c. | | | Geol Veronese T |
| Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN] | | 21/02/14 | 0.5 | | | Operatore |

| MT. | QUOTA DA P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI tipo | CAMPIONI num | CAMPIONI PROF | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | % R.Q.D. | P.P. kg/cm2 | T.V. kg/cm2 | S.P.T. N1 | S.P.T. N2 | S.P.T. N3 | Liv. acqua | Piezometro |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 201 | | | | | | | | | | | | | | |
| 202 | | | | | | | | | | | | | | |
| 203 | | | | | | | | | | | | | | |
| 204 | | | | | | | | | | | | | | |
| 205 | | | | | | | | | | | | | | |
| 206 | | | | | | | | | | | | | | |
| 207 | | | | | | | | | | | | | | |
| 208 | | | | | | | | | | | | | | |
| 209 | | | | | | | | | | | | | | |
| 210 | | | | | | | | | | | | | | |
| 211 | | | | | | | | | | | | | | |
| 212 | | | | | | | | | | | | | | |
| 213 | | | | | | | | | | | | | | |
| 214 | | | | | | | | | | | | | | |
| 215 | | | | | | | | | | | | | | |
| 216 | | | | | | | | | | | | | | |
| 217 | | | | | | | | | | | | | | |
| 218 | | | | | | | | | | | | | | |
| 219 | | | | | | | | | | | | | | |
| 220 | 220.00 | | | | | Vs 700 m/sec | | | | | | | | |
| 221 | | | | | | | | | | | | | | |
| 222 | | | | | | | | | | | | | | |
| 223 | | | | | | | | | | | | | | |
| 224 | | | | | | | | | | | | | | |
| 225 | | | | | | | | | | | | | | |
| 226 | | | | | | | | | | | | | | |
| 227 | | | | | | | | | | | | | | |
| 228 | | | | | | | | | | | | | | |
| 229 | | | | | | | | | | | | | | |
| 230 | | | | | | | | | | | | | | |
| 231 | | | | | | | | | | | | | | |
| 232 | | | | | | | | | | | | | | |
| 233 | | | | | | | | | | | | | | |
| 234 | | | | | | | | | | | | | | |
| 235 | 235.00 | | | | | Vs 740 m/sec | | | | | | | | |
| 236 | | | | | | | | | | | | | | |
| 237 | | | | | | | | | | | | | | |
| 238 | | | | | | | | | | | | | | |
| 239 | | | | | | | | | | | | | | |
| 240 | | | | | | | | | | | | | | |
| 241 | | | | | | | | | | | | | | |
| 242 | | | | | | | | | | | | | | |
| 243 | | | | | | | | | | | | | | |
| 244 | | | | | | | | | | | | | | |
| 245 | | | | | | | | | | | | | | |
| 246 | | | | | | | | | | | | | | |
| 247 | | | | | | | | | | | | | | |
| 248 | | | | | | | | | | | | | | |
| 249 | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | | | | | | | | | | | |
| 251 | | | | | | | | | | | | | | |
| 252 | | | | | | | | | | | | | | |
| 253 | | | | | | | | | | | | | | |
| 254 | | | | | | | | | | | | | | |
| 255 | | | | | | | | | | | | | | |
| 256 | | | | | | | | | | | | | | |
| 257 | | | | | | | | | | | | | | |
| 258 | | | | | | | | | | | | | | |
| 259 | | | | | | | | | | | | | | |
| 260 | | | | | | | | | | | | | | |
| 261 | | | | | | | | | | | | | | |
| 262 | | | | | | | | | | | | | | |
| 263 | | | | | | | | | | | | | | |
| 264 | | | | | | | | | | | | | | |
| 265 | | | | | | | | | | | | | | |
| 266 | | | | | | | | | | | | | | |
| 267 | | | | | | | | | | | | | | |
| 268 | | | | | | | | | | | | | | |
| 269 | | | | | | | | | | | | | | |
| 270 | | | | | | Vs 780 m/sec | | | | | | | | |
| 271 | | | | | | | | | | | | | | |
| 272 | | | | | | | | | | | | | | |
| 273 | | | | | | | | | | | | | | |
| 274 | | | | | | | | | | | | | | |
| 275 | | | | | | | | | | | | | | |
| 276 | | | | | | | | | | | | | | |
| 277 | | | | | | | | | | | | | | |
| 278 | | | | | | | | | | | | | | |
| 279 | | | | | | | | | | | | | | |
| 280 | | | | | | | | | | | | | | |
| 281 | | | | | | | | | | | | | | |
| 282 | | | | | | | | | | | | | | |
| 283 | | | | | | | | | | | | | | |
| 284 | | | | | | | | | | | | | | |
| 285 | | | | | | | | | | | | | | |
| 286 | | | | | | | | | | | | | | |
| 287 | | | | | | | | | | | | | | |
| 288 | | | | | | | | | | | | | | |
| 289 | | | | | | | | | | | | | | |
| 290 | | | | | | | | | | | | | | |
| 291 | | | | | | | | | | | | | | |
| 292 | | | | | | | | | | | | | | |
| 293 | | | | | | | | | | | | | | |
| 294 | | | | | | | | | | | | | | |
| 295 | | | | | | | | | | | | | | |
| 296 | | | | | | | | | | | | | | |
| 297 | | | | | | | | | | | | | | |
| 298 | | | | | | | | | | | | | | |
| 299 | 300.00 | | | | | | | | | | | | | |

I dati stratigrafici sono stati derivati dai carotaggi profondi pubblicati sul sito della Regione. Le velocità delle Vs sono state assegnate agli strati litologici seguendo la progressione di crescita che la Vs segue fino a 160m di profondità.

Ora invece si riportano le schermate con evidenziati i dati Input per l'analisi di RSL, eseguita con il software STRATA.

Soil Types

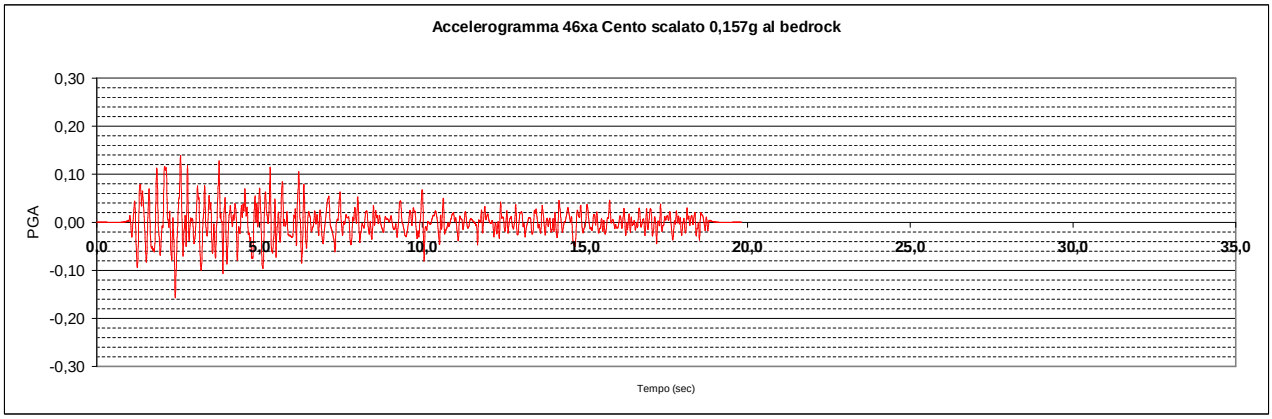
| | Name | Unit Weight (kN/m³) | G/G_max Model | Damping Model |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 18.50 | BondCR2 AL | BondCR2 AL |
| 2 | 2 | 17.50 | Ost 1 Dosso SL | Ost 1 Dosso SL |
| 3 | 3 | 18.00 | Ost 1 Dosso SL | Ost 1 Dosso SL |
| 4 | 4 | 17.00 | Ost 4 Dosso AOT | Ost 4 Dosso AOT |
| 5 | 5 | 18.50 | M1C2 | M1C2 |
| 6 | 6 | 19.00 | Ost 6 Dosso A | Ost 6 Dosso A |
| 7 | 7 | 19.00 | Ost 6 Dosso A | Ost 6 Dosso A |
| 8 | 8 | 19.00 | Ost 6 Dosso A | Ost 6 Dosso A |
| 9 | 9 | 19.00 | Ost 6 Dosso A | Ost 6 Dosso A |
| 10 | 10 | 19.50 | Ost 6 Dosso A | Ost 6 Dosso A |
| 11 | 11 | 20.00 | S10C2 | S10C2 |
| 12 | 12 | 20.00 | Ost 6 Dosso A | Ost 6 Dosso A |
| 13 | 13 | 20.00 | S10C2 | S10C2 |
| 14 | 14 | 20.00 | Ost 6 Dosso A | Ost 6 Dosso A |
| 15 | 15 | 20.50 | Idriss (1990), Sand | Idriss (1990), Sand |
| 16 | 16 | 20.50 | Idriss (1990), Clay | Idriss (1990), Clay |
| 17 | 17 | 21.00 | Idriss (1990), Sand | Idriss (1990), Sand |
| 18 | 18 | 20.50 | Idriss (1990), Clay | Idriss (1990), Clay |
| 19 | 19 | 21.00 | Idriss (1990), Sand | Idriss (1990), Sand |
| 20 | 20 | 21.00 | Idriss (1990), Clay | Idriss (1990), Clay |
| 21 | 21 | 21.00 | Idriss (1990), Sand | Idriss (1990), Sand |
| 22 | 22 | 21.00 | Idriss (1990), Clay | Idriss (1990), Clay |
| 23 | 23 | 22.00 | Idriss (1990), Clay | Idriss (1990), Clay |
| 24 | 24 | 22.00 | Idriss (1990), Sand | Idriss (1990), Sand |
| 25 | 25 | 22.00 | Idriss (1990), Clay | Custom |

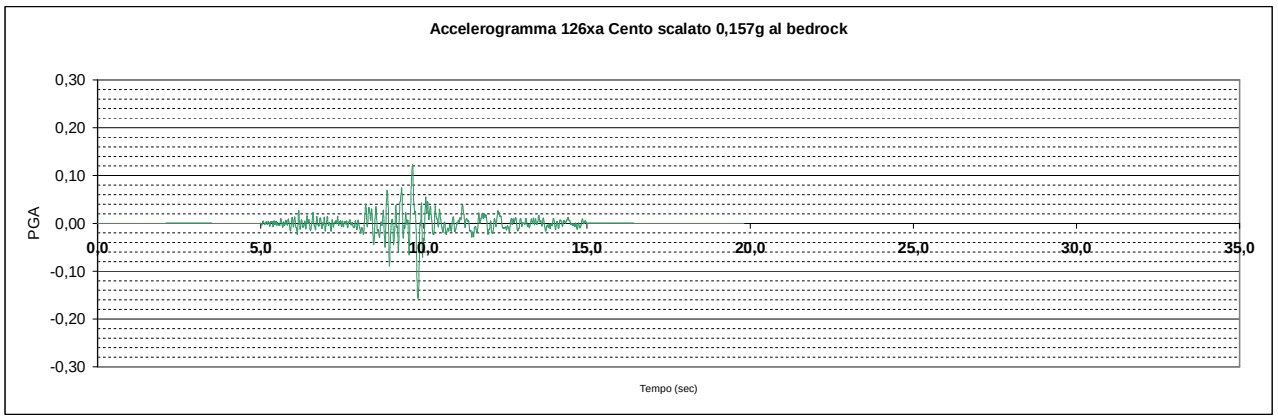
General Settings | Soil Types | Soil Profile | Motion(s)

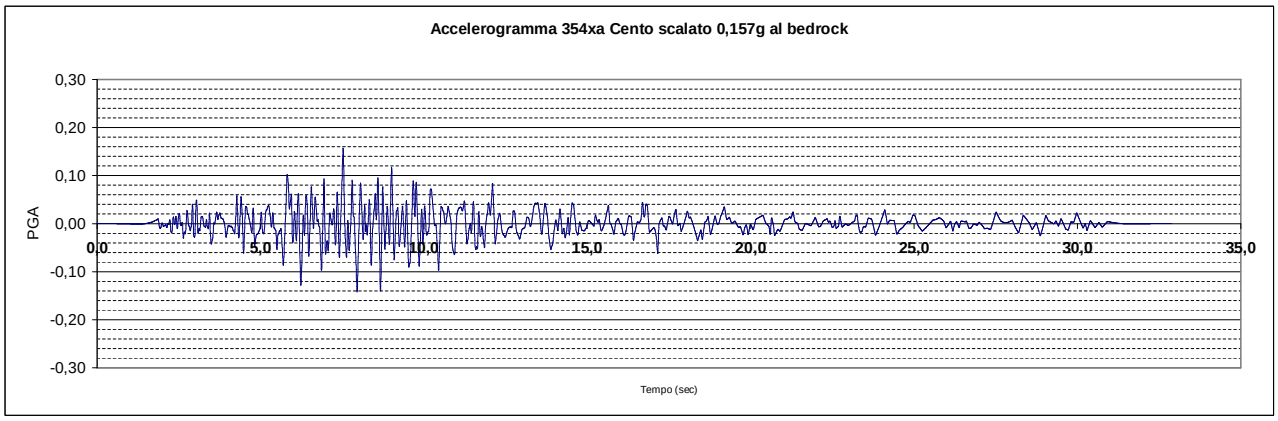
Site Profile

| | Depth (m) | Thickness (m) | Soil Type | Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 2.00 | 1 | 154.00 |
| 2 | 2.00 | 2.00 | 2 | 115.00 |
| 3 | 4.00 | 1.00 | 3 | 152.00 |
| 4 | 5.00 | 4.00 | 4 | 115.00 |
| 5 | 9.00 | 5.00 | 5 | 157.00 |
| 6 | 14.00 | 3.00 | 6 | 186.00 |
| 7 | 17.00 | 5.00 | 7 | 215.00 |
| 8 | 22.00 | 3.00 | 8 | 246.00 |
| 9 | 25.00 | 3.00 | 9 | 275.00 |
| 10 | 28.00 | 3.50 | 10 | 300.00 |
| 11 | 31.50 | 2.00 | 11 | 300.00 |
| 12 | 33.50 | 12.50 | 12 | 310.00 |
| 13 | 46.00 | 9.00 | 13 | 360.00 |
| 14 | 55.00 | 3.00 | 14 | 360.00 |
| 15 | 58.00 | 8.00 | 15 | 400.00 |
| 16 | 66.00 | 5.00 | 16 | 400.00 |
| 17 | 71.00 | 5.00 | 17 | 395.00 |
| 18 | 76.00 | 25.00 | 18 | 390.00 |
| 19 | 101.00 | 7.00 | 19 | 400.00 |
| 20 | 108.00 | 9.00 | 20 | 485.00 |
| 21 | 117.00 | 13.00 | 21 | 520.00 |
| 22 | 130.00 | 62.00 | 22 | 600.00 |
| 23 | 192.00 | 28.00 | 23 | 700.00 |
| 24 | 220.00 | 15.00 | 24 | 740.00 |
| 25 | 235.00 | 65.00 | 25 | 780.00 |
| 26 | 300.00 | Half-Space | Bedrock | 800.00 |

Si riportano i tre accelerogrammi al bedrock forniti dalla Regione Emilia Romagna e scalati per il comune di Cento a 0,157g ($T_R$=475anni):



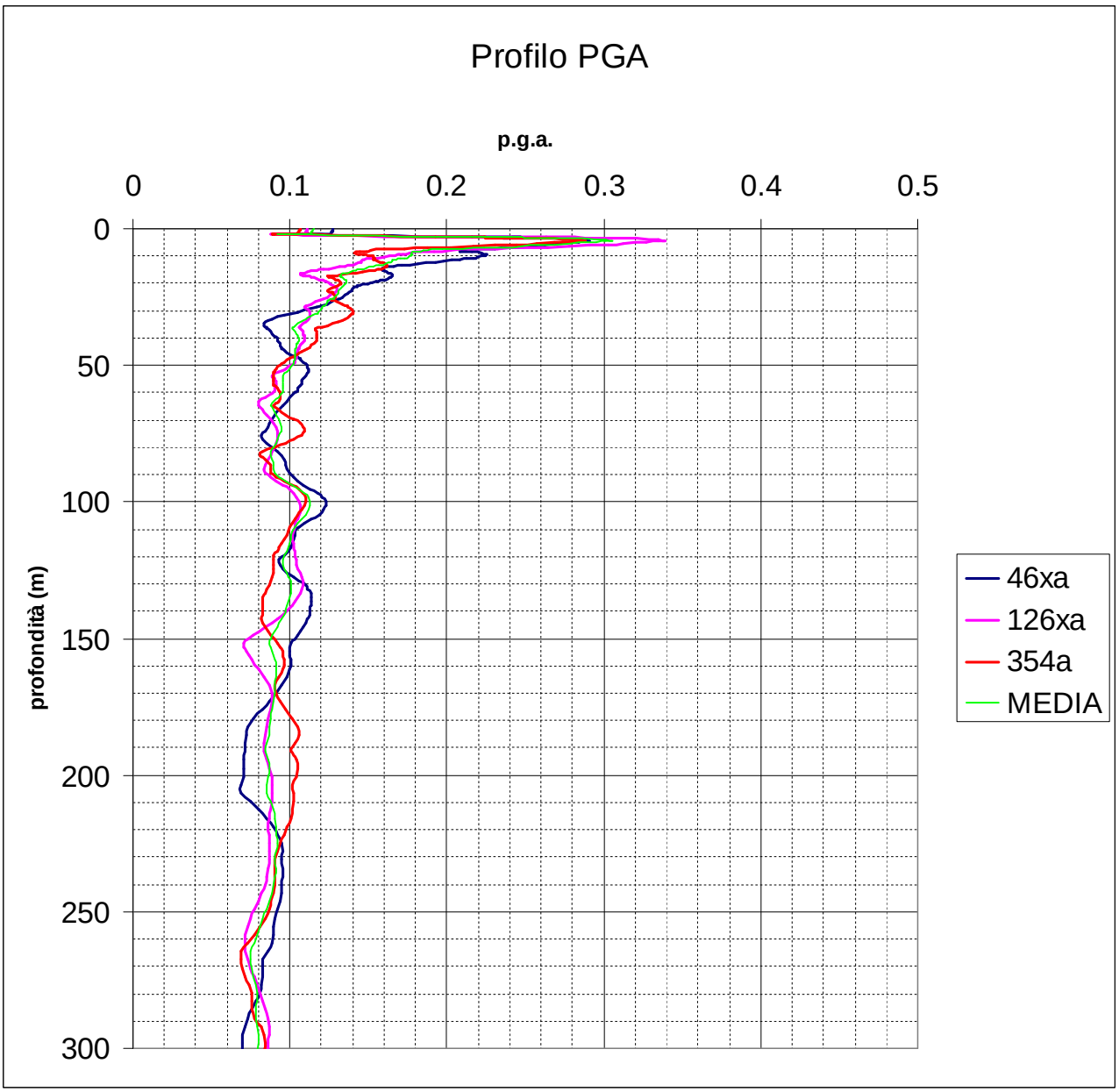




Utilizzando il codice STRATA si ottengono i risultati riportati di seguito.

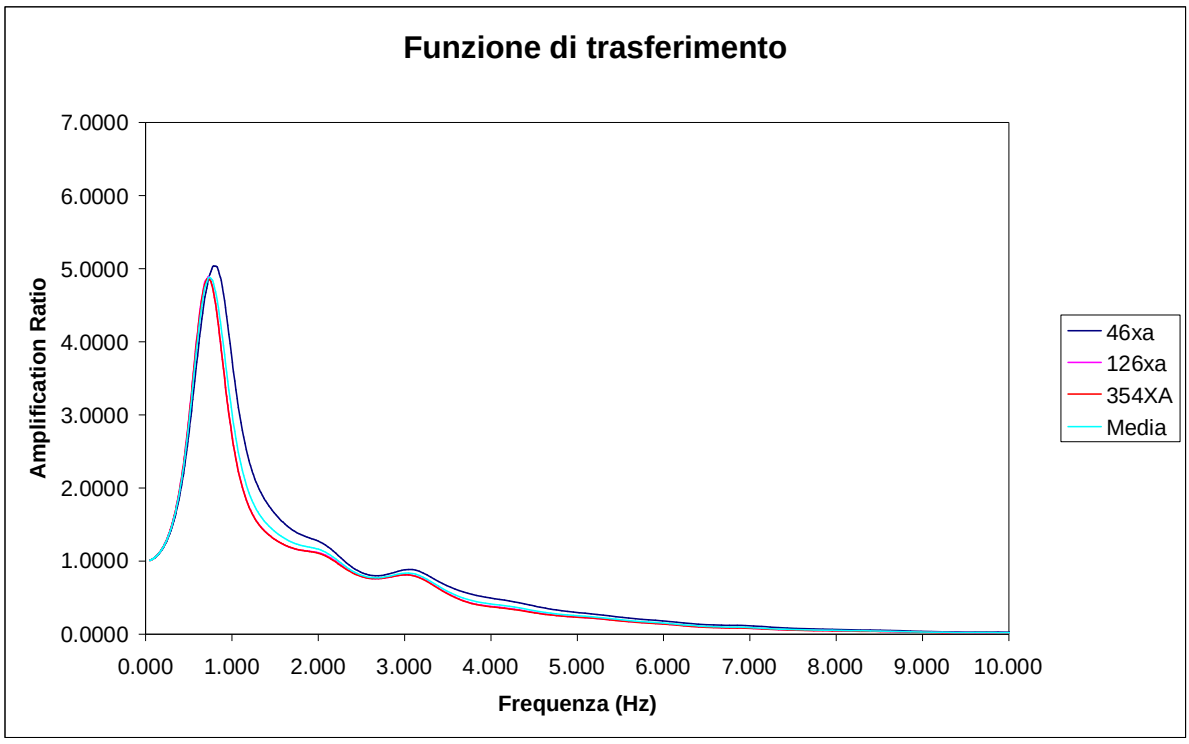
Nel grafico che segue è riportato profilo di PGA dal bedrock fino al piano campagna:

Come si può notare negli ultimi 30metri, ed in particolare negli ultimi 30metri si ha una netta amplificazione del picco massimo di accelerazione. In superficie si ottengono i seguenti valori di PGA:




| | | | F.A. |
|---|---|---|---|
| P.G.A. bedrock | | 0.157 | |
| P.G.A. superficie | 46xa | 0.128 | **0.81** |
| P.G.A. superficie | 126xa | 0.111 | **0.71** |
| P.G.A. superficie | 354xa | 0.107 | **0.68** |
| P.G.A. superficie | Strata Media | 0.115 | **0.73** |

La funzione di trasferimento che regola queste amplificazioni è la seguente:

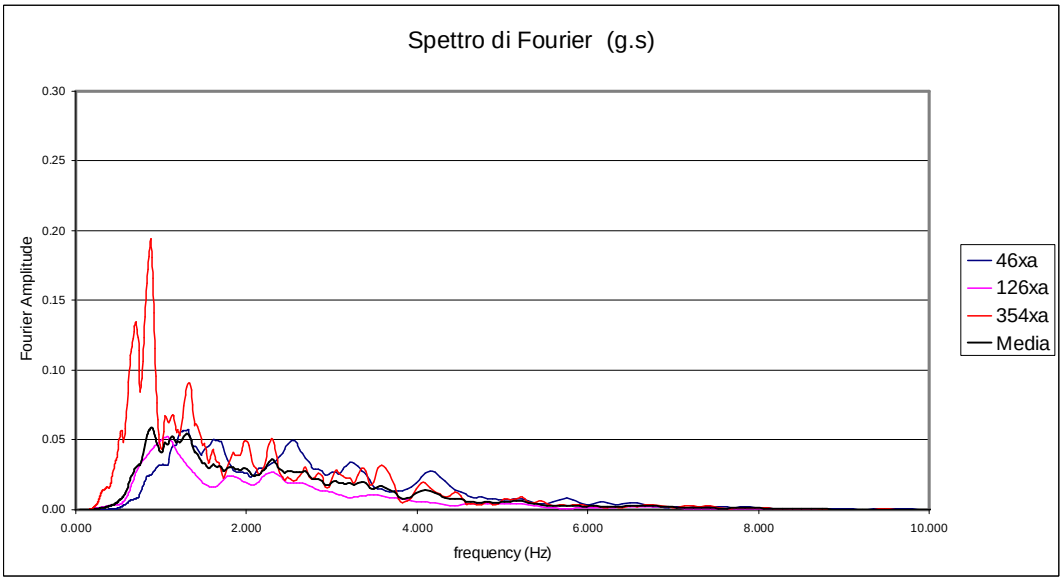


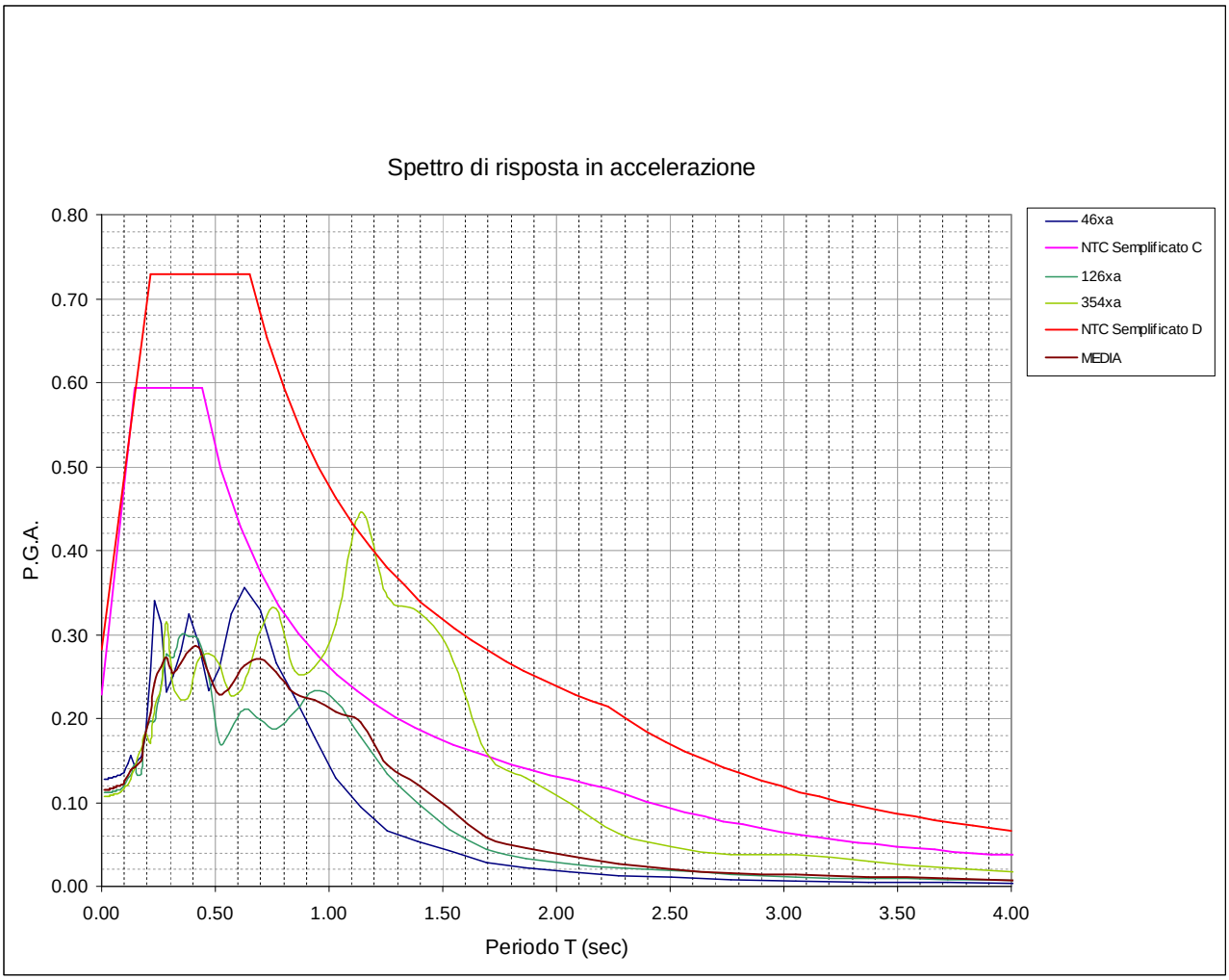

Con il prodotto tra la funzione di trasferimento del deposito e lo spettro di Fourier del moto al bedrock (prodotto frequenza per frequenza) si ottiene lo spettro di Fourier del moto in superficie.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 46xa | massima amplificazione | 5.036 | per Frequenza (Hz) | 0.788 |
| 126xa | massima amplificazione | 4.891 | per Frequenza (Hz) | 0.727 |
| 354xa | massima amplificazione | 4.867 | per Frequenza (Hz) | 0.727 |

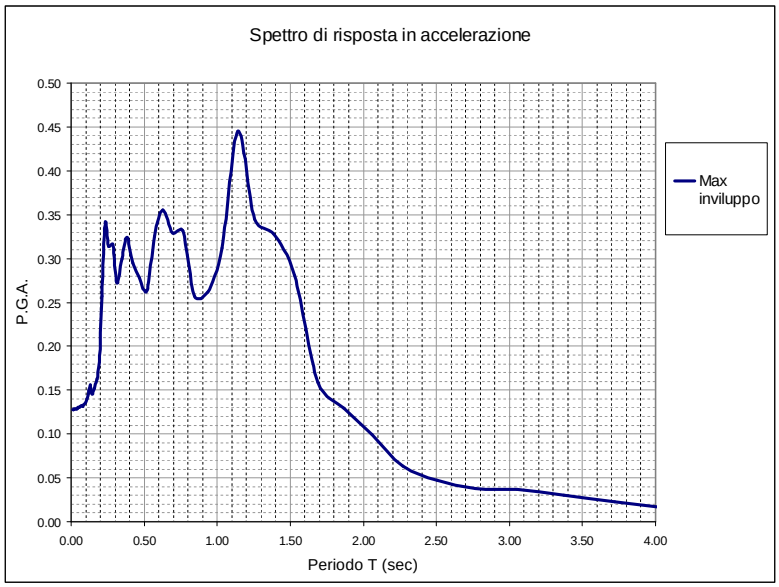
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Media Strata | massima amplificazione | 4.882 | per Frequenza (Hz) | 0.737 |

Lo spettro di Fourier in superficie è qui riportato:






Nel caso si ricorra a 3 accelerogrammi, si prenderà lo spettro più conservativo.



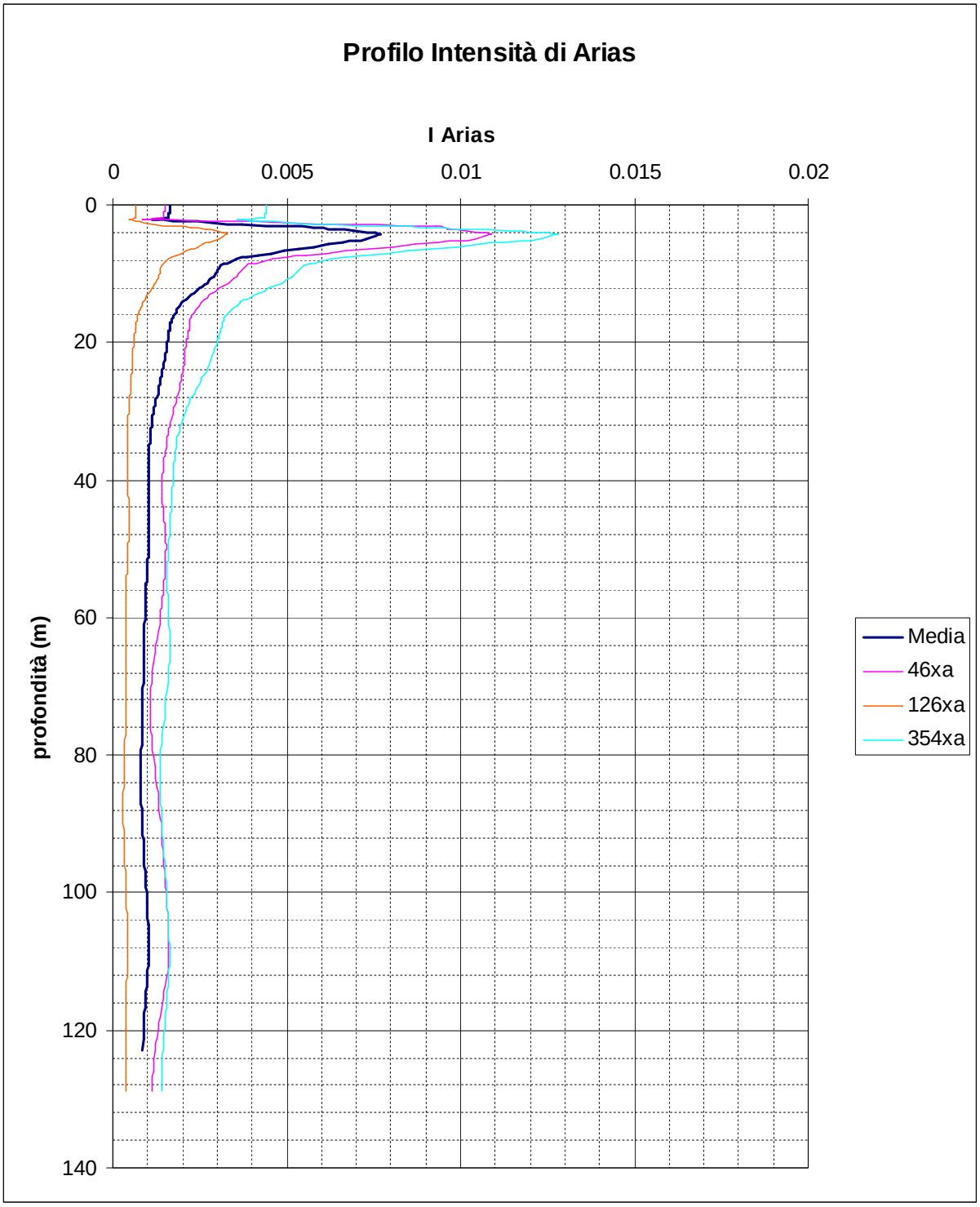

| T (sec) | 46xa | 126xa | 354xa | Media | Max Inviluppo |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.01 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.13 |
| 0.01 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.13 |
| 0.01 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.13 |
| 0.01 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.01 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.02 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.02 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.02 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.02 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.02 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.03 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.03 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.03 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.04 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.04 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.04 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.05 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.05 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.06 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.07 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.07 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.08 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.09 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 0.10 | 0.14 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.14 |
| 0.11 | 0.14 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.14 |
| 0.12 | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 0.15 |
| 0.13 | 0.16 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.16 |
| 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.15 |
| 0.16 | 0.15 | 0.13 | 0.15 | 0.14 | 0.15 |
| 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.16 | 0.15 | 0.16 |
| 0.19 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| 0.21 | 0.26 | 0.20 | 0.17 | 0.21 | 0.26 |
| 0.23 | 0.34 | 0.20 | 0.21 | 0.24 | 0.34 |
| 0.26 | 0.31 | 0.24 | 0.24 | 0.26 | 0.31 |
| 0.29 | 0.23 | 0.28 | 0.32 | 0.27 | 0.32 |
| 0.32 | 0.25 | 0.27 | 0.24 | 0.25 | 0.27 |
| 0.35 | 0.28 | 0.30 | 0.22 | 0.27 | 0.30 |
| 0.38 | 0.32 | 0.30 | 0.23 | 0.28 | 0.32 |
| 0.42 | 0.29 | 0.29 | 0.27 | 0.29 | 0.29 |
| 0.47 | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 0.25 | 0.28 |
| 0.52 | 0.26 | 0.17 | 0.26 | 0.23 | 0.26 |
| 0.57 | 0.33 | 0.19 | 0.23 | 0.24 | 0.33 |
| 0.63 | 0.36 | 0.21 | 0.24 | 0.26 | 0.36 |
| 0.70 | 0.33 | 0.20 | 0.30 | 0.27 | 0.33 |
| 0.77 | 0.27 | 0.19 | 0.33 | 0.25 | 0.33 |
| 0.85 | 0.23 | 0.21 | 0.26 | 0.23 | 0.26 |
| 0.93 | 0.18 | 0.23 | 0.26 | 0.22 | 0.26 |
| 1.03 | 0.13 | 0.22 | 0.31 | 0.21 | 0.31 |
| 1.14 | 0.09 | 0.18 | 0.45 | 0.20 | 0.45 |
| 1.26 | 0.07 | 0.13 | 0.34 | 0.14 | 0.34 |
| 1.39 | 0.05 | 0.10 | 0.33 | 0.12 | 0.33 |
| 1.53 | 0.04 | 0.07 | 0.28 | 0.09 | 0.28 |
| 1.69 | 0.03 | 0.04 | 0.16 | 0.06 | 0.16 |
| 1.86 | 0.02 | 0.03 | 0.13 | 0.05 | 0.13 |
| 2.06 | 0.02 | 0.03 | 0.10 | 0.04 | 0.10 |
| 2.27 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.03 | 0.06 |
| 2.51 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 |
| 2.77 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| 3.05 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.04 |
| 3.37 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.03 |
| 3.72 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 4.10 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 4.53 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 5.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |

Questi dati andranno valutati anche in base allo smorzamento che può derivare dalla rigidezza della struttura che si andrà a progettare o a valutare, ovvero in base al suo fattore di struttura q.

Le valutazioni a cui si è pervenuti in questo studio sono per un q=1 (ovvero per un coefficiente di smorzamento $\xi$ del 5%).

Lo strutturista potrà effettuare una RSL più vicina alla realtà in quanto potrà tenere conto anche del fattore di struttura.

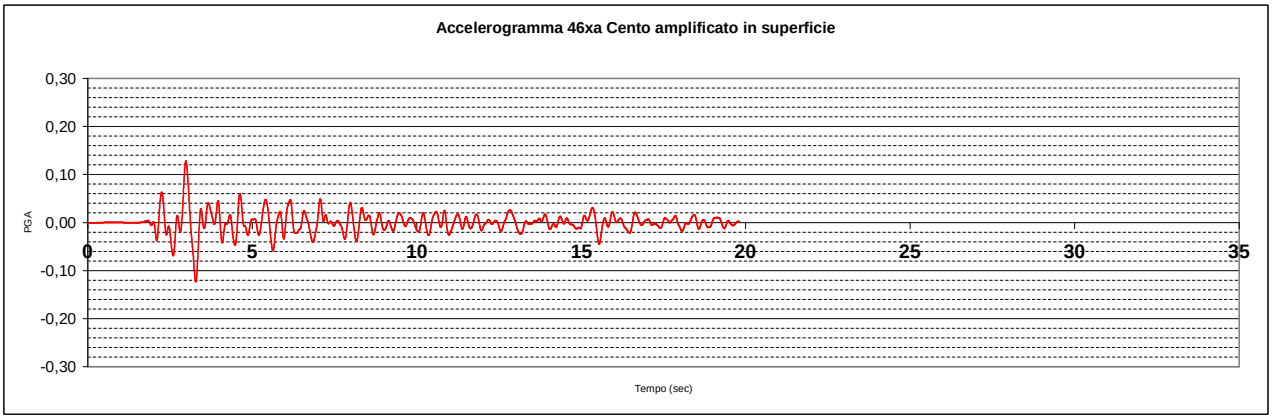
Il profilo dell'Intensità di ARIAS è riportato nella seguente figura.

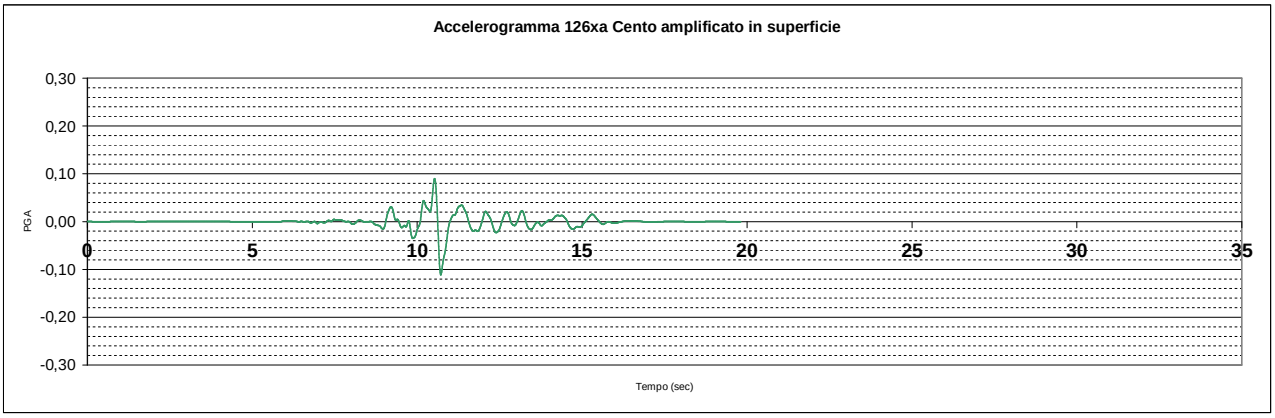


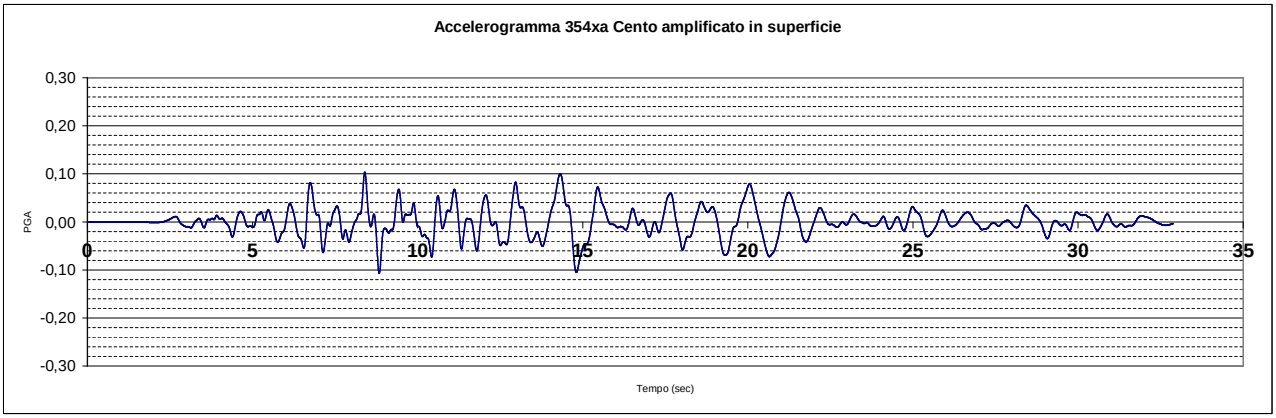

Gli accelerogrammi in superficie, visibilmente smorzati dallo strato sabbioso superficiale, sono riportati di seguito. E' importante notare che uno studio di RSL deve tener conto delle caratteristiche geotecniche intrinseche dei terreni del sito allo studio. Tali terreni vanno sottoposti alle idonee prove di laboratorio per ottenere i parametri di decadimento del modulo Go e dello smorzamento D che tali sedimenti sono in grado di offrire alla variazione delle deformazioni di taglio indotte dal sisma.

Quindi il ricorso a dati bibliografici risulta essere di ausilio per dare indicazioni di massima, ma non sostituiscono una vera analisi di Risposta Sismica Locale. Per esempio si osservi nel profilo delle PGA come le amplificazioni portano a PGA di circa 0,30g a circa 6m di profondità, sollecitando in modo molto importante la base del deposito sabbioso. Poi quest'ultimo attenua e smorza l'azione sismica riducendola e deamplificando sulla superficie del terreno l'accelerazione liberato al bedrock sismico (F.A. <1).

Questo per dire che le curve attribuite ai materiali hanno un ruolo fondamentale, e non si ritiene sufficiente il ricorso a dati bibliografici, almeno fino a quanto l'utilizzo di queste RSL non sia stato pienamente digerito e sperimentato da noi utilizzatori finali, con anni di esperienza, ancora tutta da maturare.



## 6. CONCLUSIONI

- Per la mitigazione del rischio sismico dell'area D1.4. candidata ad essere inserita nel Piano della Ricostruzione di Cento, per un intervento urbanistico residenziale in via Santa Liberata a Cento (Fe), è stata eseguita una campagna di indagine consistente in:

1) una prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c., con *rif.U 17-14*,

2) un sondaggio geognostico con prelievo di campioni disturbati

3) analisi di laboratorio geotecnico

4) misura della frequenza di risonanza del sito mediante prova H/V.

Non è stato possibile eseguire la prova SCPTU fino alla profondità di -30,00 m da p.c. per la presenza di terreni saturi fin dal piano campagna, con basse resistenze al taglio, che non hanno offerto un adeguato ancoraggio del penetrometro. In profondità infatti sono presenti terreni argillosi molto consistenti, che offrono alti attriti laterali lungo la batteria delle aste, sollecitando gli ancoraggi oltre la resistenza del terreno superficiale troppo bagnato. Nel sito erano già presenti due prove CPT a 15m di profondità. Nell'intorno dell'area sono invece presenti indagini a circa 35m raccolte nella banca dati regionale. Attraverso questi dati bibliografici si ricava che la stratigrafia dell'area allo studio è caratterizzata da terreni coesivi fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

- Dal punto di vista geomorfologico l'assetto del territorio su cui si interviene risulta determinato essenzialmente da una dinamica di tipo fluviale che ha generato nel corso del tempo e mediante il susseguirsi di eventi, il deposito e l'accumulo di sedimenti a bassa energia idrodinamica (sedimenti alluvionali distali).

L'area presenta criticità idrauliche; di fatto è stata soggetta ad allagamenti persistenti in seguito a precipitazioni intense per un periodo da 2 fino a 4 giorni. Le frequenti precipitazioni di questo periodo alterano in modo significativo i livelli di falda rendendoli sempre più prossimi ai piani campagna, imbibendo i terreni superficiali. Gli ultimi allagamenti persistenti risalgono all'ottobre del 2005 con lo straripamento del canale di Cento.

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, con *rif. U17-14*. Tale quota è stata rilevata in data 21/02/2014 alla profondità di -0,50 m dal p.c.. Il livello freatico potrebbe oscillare rispetto ai valori riscontrati in tal giorno, solo un monitoraggio di un anno idrogeologico permetterebbe di valutare le oscillazioni stagionali di queste quote.

L'area è attraversata da una serie di canalizzazioni secondarie, costituite da canalini interpoderali o interaziendali, che regolano lo scolo e l'irrigazione dell'area. Le acque meteoriche che precipitano all'interno dell'area che delimita il sito in esame vengono convogliate verso il fiume Reno e verso lo scolo Bagnetto.

- Le prove penetrometriche prima, ed il sondaggio poi, hanno evidenziato la presenza di sabbie limoso-argillose presenti da 2,3m fino a circa 5,0m dal p.c.. I fusi non ricadono interamente tra quelli liquefacibili. In ogni caso, viste le alte energie sismiche attese, non si può escludere che tali depositi siano suscettibili di liquefazione. Di fatto il 20 maggio 2012 ed il 29 maggio 2012 non si sono evidenziate problematicità o evidenze di liquefazione.
- L'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" fornisce i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (arefg) per ogni comune della regione Emilia Romagna, per il comune di Cento vengono previste accelerazioni massime al bedrock sismico di 0.157g.
- Il valore di $Vs_{30}$ misurato è di 182m/sec per cui il sito è soggetto ad amplificazione sismica. Tale amplificazione è fornita dall'Atto di Indirizzo 112/2007 della R.E.R. ed altresì, è calcolabile con i procedimenti dettati dal D.M. 14/01/2008.

Secondo l'Atto di Indirizzo regionale in ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti (PIANURA 2), come nel caso in esame, per suoli caratterizzati da valori di $Vs_{30}$

fino a 300 m/s si dovrà adottare un fattore di amplificazione sismica F.A.=1,50 per cui l'accelerazione diventerà P.G.A.=0,235g.

- Secondo il vigente D.M. 14/01/2008 l'accelerazione sitospecifica è stata calcolata in 0,157g, l'amplificazione sismica Ss è stata invece calcolata in 1,46, per cui P.G.A. = 0,229g.

-La magnitudo massima attesa nei tempi di ritorno adottati è di 6,14 Mw, dato che l'area allo studio ricade all'interno della zona sismogenetica 912. Gli eventi sismici del maggio 2012 hanno dato valori di 5,9.

- Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo C-Liq che analizzando ogni strato da 20 cm individuato dalla prova penetrometrica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, ne verifica la potenzialità di liquefazione.

Dai calcoli emerge che nell'area di studio il fenomeno della liquefazione è un effetto di sito atteso. Dall'elaborazione dell'indagine è emerso che il sito esaminato mostra un alto indice del potenziale di liquefazione (IPL=6,64).

Dalle elaborazioni informatiche, si è inoltre ricavato che con una Magnitudo di 6.14, si determinano cedimenti post sismici nei terreni granulari saturi pari a 6,92 cm.

- Ricorrendo ad una sommaria analisi di risposta sismica locale (limitata dal fatto che è basata sostanzialmente su dati bibliografici e non su misure dirette), si constata che alla base dello strato sabbioso arrivano accelerazioni di circa 0,30g, che poi vengono velocemente smorzate per il dumping delle sabbie limoso argillose rilevate da -2,3m fino a -5,0m dal p.c.; dunque il problema della liquefazione viene confermato.

- Gli accelerogrammi in superficie, visibilmente smorzati dallo strato sabbioso superficiale, evidenziano accelerazioni inferiori a quelle liberate al bedrock sismico. Si ha in affioramento, una deamplificazione. E' importante notare che uno studio di RSL deve tener conto delle caratteristiche geotecniche intrinseche dei terreni del sito allo studio. Tali terreni vanno sottoposti alle idonee prove di laboratorio per ottenere i parametri di decadimento del modulo Go e dello smorzamento D, che tali sedimenti sono in grado di offrire alla variazione delle deformazioni al taglio indotte dal sisma. Il ricorso a dati bibliografici risulta essere di ausilio per dare indicazioni di massima, ma non sostituiscono una vera analisi di Risposta Sismica Locale. Per esempio si osservi nel profilo delle PGA come le amplificazioni portano a PGA di circa 0,30g a circa 6m di profondità, sollecitando in modo molto importante la base del deposito sabbioso. Poi quest'ultimo attenua e smorza l'azione sismica riducendola e deamplificando sulla superficie del terreno l'accelerazione liberato al bedrock sismico (F.A. <1). Questo per dire che le curve attribuite ai materiali hanno un ruolo fondamentale, e non si ritiene sufficiente il ricorso a dati bibliografici, almeno fino a quanto l'utilizzo di queste RSL non sia stato pienamente digerito e sperimentato da noi utilizzatori finali, con anni di esperienza, ancora tutta da maturare.

- Il cedimento post-sismico in terreni coesivi soffici risulta pari a 2,98 cm ricavato dall'analisi di 2 strati di terreni immersi in falda presenti da -6,00 m da p.c. fino a 10,00 m da p.c.. Nello specifico uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi poco consistenti con un valore di Rp medio pari a 4,3 kg/cm$^2$, presente tra -6,00 m da p.c. e -7,50 m da p.c. (Strato1) e uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con un valore di Rp medio pari a 6,7 kg/cm$^2$, presente tra -7,50 m da p.c. e -10,00 m da p.c. (Strato2).

- N.B. Si fa presente che la liquefazione delle sabbie non è un fenomeno escludente l'edificabilità, ma è solo un fattore condizionante, per cui occorrerà, in fase progettuale, definire delle soluzioni tecniche che limitino l'accadimento di problematiche legate all'instabilità dei terreni. L'Allegato 4 alla Determinazione del Dirigente n° 12418 del 02/10/2012 approvata dalla Giunta Regionale, descrive per esempio una panoramica delle possibilità tecniche già adottate in diversi paesi soggetti a queste problematiche. Occorre imparare a convivere con il rischio sismico adottando idonee soluzioni tecniche, che non lo facciano temere.

Codigoro, lì 16/12/2014

Dott. Geol. Thomas Veronese

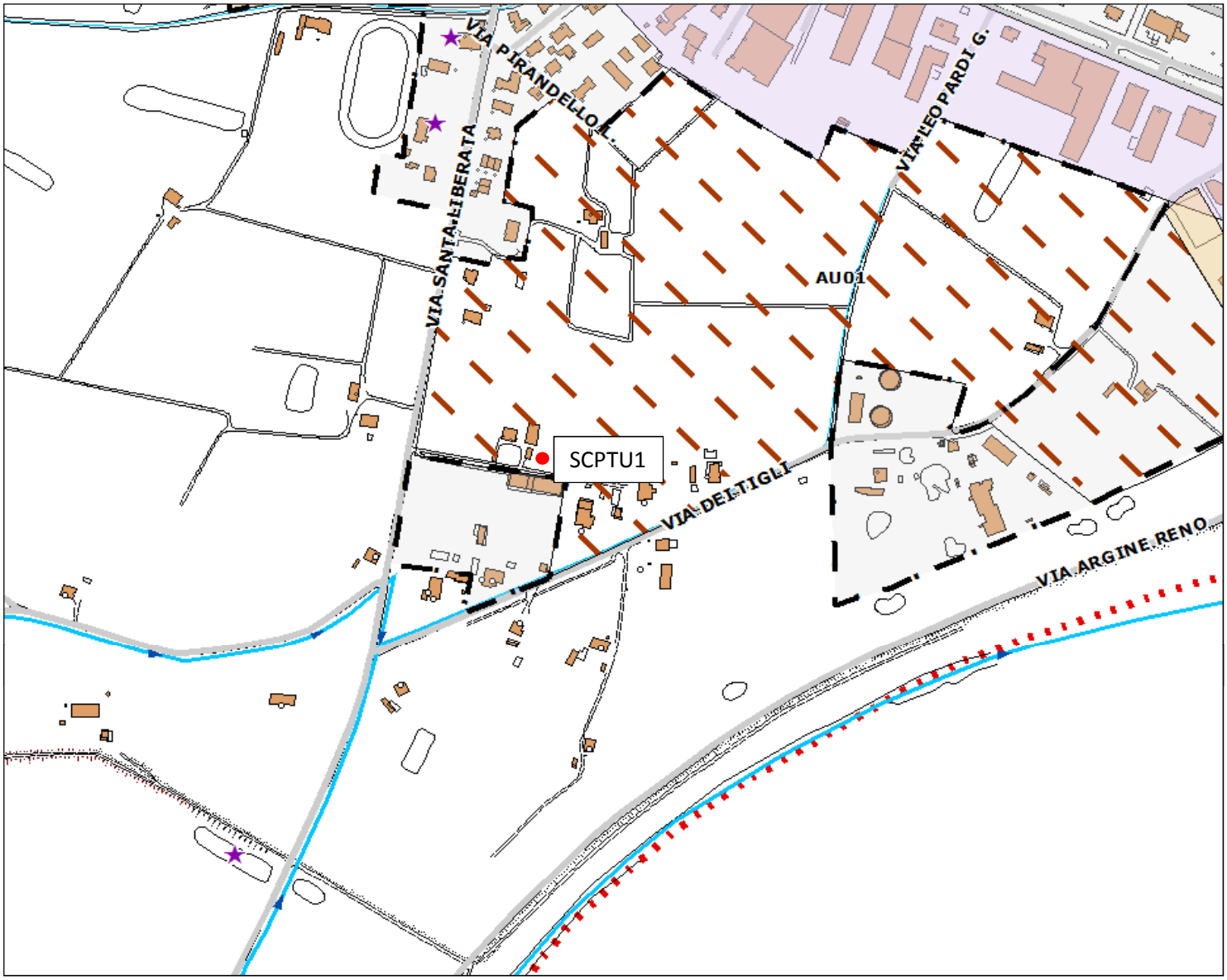
DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

| PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA<br>UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI | RIF. PROVA: | |
|---|---|---|
| | U17-14 | |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.

CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)

DATA: 21/02/2014








SCPTU1

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
# LETTURE DI CAMPAGNA

| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

| Prof. (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,02 | 1,45 | 5,50 | 39,06 | 0,34 | 1,82 | 0,90 | 37,08 | 136,75 | 0,55 | 3,62 | 1,90 | 13,94 | 73,48 | 0,83 | 5,42 | 0,86 | 17,39 | 53,50 | 1,14 | 7,22 | 0,43 | 14,25 | 236,65 | 1,40 |
| 0,04 | 1,55 | 14,51 | 12,42 | 0,34 | 1,84 | 0,90 | 32,53 | 145,63 | 0,55 | 3,64 | 2,05 | 13,72 | 65,71 | 0,85 | 5,44 | 0,84 | 16,61 | 52,39 | 1,14 | 7,24 | 0,43 | 14,25 | 237,75 | 1,40 |
| 0,06 | 1,79 | 19,83 | 9,09 | 0,34 | 1,86 | 0,90 | 26,08 | 150,06 | 0,54 | 3,66 | 1,97 | 10,83 | 62,38 | 0,84 | 5,46 | 0,84 | 15,50 | 52,39 | 1,14 | 7,26 | 0,44 | 14,48 | 238,86 | 1,40 |
| 0,08 | 1,92 | 25,16 | 5,76 | 0,34 | 1,88 | 0,90 | 24,19 | 162,28 | 0,55 | 3,68 | 1,74 | 8,38 | 62,38 | 0,85 | 5,48 | 0,85 | 13,61 | 51,28 | 1,12 | 7,28 | 0,45 | 14,36 | 239,98 | 1,41 |
| 0,10 | 1,85 | 36,49 | 2,44 | 0,34 | 1,90 | 0,91 | 26,41 | 166,72 | 0,56 | 3,70 | 1,56 | 7,61 | 62,38 | 0,85 | 5,50 | 0,87 | 13,72 | 50,16 | 1,14 | 7,30 | 0,48 | 14,36 | 245,53 | 1,41 |
| 0,12 | 1,77 | 45,71 | 0,22 | 0,38 | 1,92 | 0,94 | 29,51 | 197,80 | 0,56 | 3,72 | 1,46 | 7,60 | 63,49 | 0,85 | 5,52 | 0,86 | 14,27 | 50,16 | 1,14 | 7,32 | 0,49 | 14,14 | 242,20 | 1,41 |
| 0,14 | 1,70 | 52,71 | 2,00 | 0,27 | 1,94 | 0,94 | 32,84 | 208,90 | 0,55 | 3,74 | 1,41 | 8,38 | 64,60 | 0,85 | 5,54 | 0,82 | 14,27 | 49,05 | 1,14 | 7,34 | 0,49 | 14,14 | 235,54 | 1,42 |
| 0,16 | 1,65 | 60,16 | 5,34 | 0,40 | 1,96 | 0,95 | 33,62 | 207,79 | 0,55 | 3,76 | 1,41 | 8,83 | 65,71 | 0,86 | 5,56 | 0,78 | 14,71 | 47,95 | 1,14 | 7,36 | 0,49 | 14,92 | 231,10 | 1,44 |
| 0,18 | 1,57 | 67,27 | 8,66 | 0,42 | 1,98 | 0,95 | 35,40 | 203,35 | 0,54 | 3,78 | 1,44 | 8,82 | 66,82 | 0,85 | 5,58 | 0,86 | 13,05 | 52,39 | 1,14 | 7,38 | 0,48 | 15,14 | 235,54 | 1,43 |
| 0,20 | 1,40 | 71,61 | 9,77 | 0,38 | 2,00 | 0,88 | 36,40 | 186,70 | 0,56 | 3,80 | 1,48 | 9,71 | 65,71 | 0,88 | 5,60 | 0,96 | 16,05 | 53,50 | 1,15 | 7,40 | 0,50 | 15,14 | 234,43 | 1,42 |
| 0,22 | 1,25 | 72,39 | 8,66 | 0,31 | 2,02 | 0,82 | 37,83 | 197,80 | 0,57 | 3,82 | 1,43 | 10,16 | 60,15 | 0,89 | 5,62 | 0,90 | 17,60 | 51,28 | 1,14 | 7,42 | 0,53 | 16,25 | 238,86 | 1,45 |
| 0,24 | 1,16 | 68,05 | 8,66 | 0,38 | 2,04 | 0,74 | 39,16 | 194,46 | 0,57 | 3,84 | 1,24 | 8,71 | 60,15 | 0,89 | 5,64 | 0,74 | 14,38 | 50,16 | 1,14 | 7,44 | 0,54 | 16,58 | 246,64 | 1,43 |
| 0,26 | 1,19 | 68,94 | 5,34 | 0,40 | 2,06 | 0,66 | 37,72 | 182,25 | 0,58 | 3,86 | 0,99 | 7,15 | 56,83 | 0,89 | 5,66 | 0,58 | 10,38 | 46,84 | 1,16 | 7,46 | 0,57 | 16,58 | 249,96 | 1,47 |
| 0,28 | 1,17 | 67,27 | 4,22 | 0,36 | 2,08 | 0,59 | 36,83 | 156,73 | 0,58 | 3,88 | 0,84 | 7,70 | 55,72 | 0,89 | 5,68 | 0,60 | 9,38 | 52,39 | 1,18 | 7,48 | 0,57 | 18,14 | 252,19 | 1,46 |
| 0,30 | 1,16 | 63,61 | 1,33 | 0,38 | 2,10 | 0,50 | 36,05 | 153,40 | 0,57 | 3,90 | 0,76 | 11,70 | 56,83 | 0,89 | 5,70 | 0,78 | 10,49 | 60,15 | 1,16 | 7,50 | 0,60 | 18,36 | 251,08 | 1,47 |
| 0,32 | 1,27 | 55,50 | 3,55 | 0,41 | 2,12 | 0,47 | 32,50 | 151,18 | 0,60 | 3,92 | 0,87 | 17,26 | 61,26 | 0,90 | 5,72 | 0,95 | 13,49 | 60,15 | 1,18 | 7,52 | 0,63 | 18,14 | 255,52 | 1,47 |
| 0,34 | 1,40 | 51,72 | 19,09 | 0,40 | 2,14 | 0,45 | 29,94 | 151,18 | 0,59 | 3,94 | 1,19 | 16,81 | 69,04 | 0,89 | 5,74 | 0,96 | 15,38 | 57,94 | 1,17 | 7,54 | 0,62 | 19,25 | 262,18 | 1,48 |
| 0,36 | 1,50 | 50,05 | 33,52 | 0,41 | 2,16 | 0,48 | 24,94 | 155,62 | 0,58 | 3,96 | 1,37 | 15,03 | 71,25 | 0,91 | 5,76 | 0,87 | 12,93 | 56,83 | 1,18 | 7,56 | 0,66 | 20,25 | 268,84 | 1,46 |
| 0,38 | 1,50 | 45,72 | 50,16 | 0,40 | 2,18 | 0,55 | 21,27 | 157,84 | 0,59 | 3,98 | 1,42 | 16,25 | 67,93 | 0,90 | 5,78 | 0,81 | 12,93 | 55,72 | 1,17 | 7,58 | 0,66 | 20,81 | 273,28 | 1,49 |
| 0,40 | 1,36 | 42,60 | 64,60 | 0,38 | 2,20 | 0,69 | 19,82 | 153,40 | 0,60 | 4,00 | 1,52 | 14,81 | 67,93 | 0,91 | 5,80 | 0,80 | 14,49 | 56,83 | 1,16 | 7,60 | 0,65 | 22,03 | 271,05 | 1,47 |
| 0,42 | 1,29 | 41,94 | 61,26 | 0,38 | 2,22 | 0,82 | 18,60 | 128,98 | 0,59 | 4,02 | 1,61 | 11,23 | 81,25 | 0,91 | 5,82 | 0,83 | 16,71 | 55,72 | 1,16 | 7,62 | 0,63 | 23,58 | 272,16 | 1,49 |
| 0,44 | 1,29 | 42,27 | 52,39 | 0,38 | 2,24 | 0,95 | 16,38 | 110,11 | 0,58 | 4,04 | 1,76 | 11,79 | 69,04 | 0,91 | 5,84 | 0,79 | 17,15 | 54,61 | 1,17 | 7,64 | 0,65 | 25,36 | 277,72 | 1,49 |
| 0,46 | 1,22 | 43,82 | 54,61 | 0,38 | 2,26 | 0,98 | 14,71 | 103,45 | 0,59 | 4,06 | 1,77 | 13,23 | 56,83 | 0,93 | 5,86 | 0,74 | 18,38 | 53,50 | 1,17 | 7,66 | 0,67 | 26,58 | 282,15 | 1,49 |
| 0,48 | 1,11 | 44,82 | 46,84 | 0,40 | 2,28 | 0,94 | 11,82 | 102,34 | 0,60 | 4,08 | 1,66 | 13,12 | 54,61 | 0,93 | 5,88 | 0,65 | 15,37 | 52,39 | 1,17 | 7,68 | 0,69 | 27,25 | 247,75 | 1,49 |
| 0,50 | 0,99 | 45,60 | 40,18 | 0,38 | 2,30 | 1,12 | 11,59 | 101,23 | 0,60 | 4,10 | 1,43 | 9,67 | 54,61 | 0,91 | 5,90 | 0,57 | 12,82 | 51,28 | 1,16 | 7,70 | 0,69 | 28,59 | 258,85 | 1,48 |
| 0,52 | 0,93 | 43,38 | 35,74 | 0,42 | 2,32 | 1,26 | 13,14 | 99,01 | 0,59 | 4,12 | 1,16 | 7,01 | 52,39 | 0,93 | 5,92 | 0,46 | 11,82 | 51,28 | 1,17 | 7,72 | 0,67 | 29,59 | 268,84 | 1,49 |
| 0,54 | 0,92 | 43,16 | 32,41 | 0,42 | 2,34 | 1,40 | 14,70 | 87,91 | 0,60 | 4,14 | 0,96 | 8,01 | 51,28 | 0,93 | 5,94 | 0,43 | 10,59 | 54,61 | 1,18 | 7,74 | 0,66 | 30,48 | 271,05 | 1,48 |
| 0,56 | 0,89 | 42,72 | 33,52 | 0,42 | 2,36 | 1,48 | 16,47 | 76,81 | 0,59 | 4,16 | 0,87 | 10,45 | 51,28 | 0,93 | 5,96 | 0,45 | 9,93 | 66,82 | 1,18 | 7,76 | 0,63 | 30,81 | 287,71 | 1,49 |
| 0,58 | 0,93 | 40,94 | 33,52 | 0,42 | 2,38 | 1,51 | 13,70 | 75,70 | 0,60 | 4,18 | 0,80 | 13,01 | 51,28 | 0,93 | 5,98 | 0,49 | 10,70 | 77,92 | 1,17 | 7,78 | 0,62 | 31,25 | 288,82 | 1,48 |
| 0,60 | 0,97 | 40,39 | 35,74 | 0,42 | 2,40 | 1,50 | 13,03 | 74,59 | 0,60 | 4,20 | 0,83 | 14,23 | 54,61 | 0,93 | 6,00 | 0,49 | 11,70 | 75,70 | 1,19 | 7,80 | 0,60 | 31,58 | 294,36 | 1,48 |
| 0,62 | 1,05 | 39,83 | 40,18 | 0,43 | 2,42 | 1,46 | 10,14 | 72,36 | 0,62 | 4,22 | 1,23 | 14,34 | 67,93 | 0,91 | 6,02 | 0,51 | 15,04 | 67,93 | 1,16 | 7,82 | 0,61 | 30,47 | 301,03 | 1,50 |
| 0,64 | 1,98 | 43,16 | 56,83 | 0,42 | 2,44 | 1,43 | 8,14 | 72,36 | 0,60 | 4,24 | 1,74 | 16,34 | 65,71 | 0,93 | 6,04 | 0,44 | 13,70 | 70,15 | 1,19 | 7,84 | 0,61 | 28,47 | 301,03 | 1,49 |
| 0,66 | 2,13 | 38,94 | 63,49 | 0,38 | 2,46 | 1,43 | 8,36 | 70,15 | 0,60 | 4,26 | 2,03 | 17,23 | 62,38 | 0,93 | 6,06 | 0,38 | 13,26 | 71,25 | 1,18 | 7,86 | 0,61 | 26,92 | 302,14 | 1,51 |
| 0,68 | 1,78 | 31,94 | 56,83 | 0,36 | 2,48 | 1,43 | 9,03 | 65,71 | 0,62 | 4,28 | 2,21 | 15,56 | 63,49 | 0,93 | 6,08 | 0,33 | 11,93 | 75,70 | 1,19 | 7,88 | 0,62 | 25,92 | 288,82 | 1,51 |
| 0,70 | 2,30 | 26,94 | 44,62 | 0,34 | 2,50 | 1,41 | 7,92 | 63,49 | 0,62 | 4,30 | 2,23 | 11,32 | 80,14 | 0,97 | 6,10 | 0,33 | 11,37 | 85,69 | 1,20 | 7,90 | 0,63 | 24,03 | 283,26 | 1,51 |
| 0,72 | 2,09 | 36,39 | 46,84 | 0,37 | 2,52 | 1,43 | 8,81 | 59,05 | 0,63 | 4,32 | 2,32 | 11,99 | 79,03 | 0,97 | 6,12 | 0,32 | 10,04 | 94,56 | 1,21 | 7,92 | 0,63 | 23,03 | 276,61 | 1,49 |
| 0,74 | 1,51 | 35,17 | 45,73 | 0,36 | 2,54 | 1,41 | 9,58 | 55,72 | 0,64 | 4,34 | 2,38 | 10,88 | 77,92 | 0,96 | 6,14 | 0,34 | 9,59 | 104,55 | 1,20 | 7,94 | 0,62 | 22,69 | 273,28 | 1,51 |
| 0,76 | 1,37 | 45,29 | 45,73 | 0,38 | 2,56 | 1,39 | 8,58 | 54,61 | 0,64 | 4,36 | 2,34 | 10,65 | 75,70 | 0,98 | 6,16 | 0,38 | 9,15 | 113,44 | 1,21 | 7,96 | 0,62 | 23,03 | 273,28 | 1,51 |
| 0,78 | 1,25 | 47,08 | 44,62 | 0,37 | 2,58 | 1,34 | 6,91 | 54,61 | 0,64 | 4,38 | 2,26 | 10,21 | 73,48 | 0,95 | 6,18 | 0,39 | 9,26 | 115,65 | 1,21 | 7,98 | 0,62 | 23,69 | 273,28 | 1,51 |
| 0,80 | 1,19 | 52,75 | 46,84 | 0,38 | 2,60 | 1,31 | 6,14 | 56,83 | 0,64 | 4,40 | 2,09 | 9,21 | 72,36 | 0,96 | 6,20 | 0,38 | 9,26 | 123,43 | 1,21 | 8,00 | 0,59 | 22,91 | 271,05 | 1,51 |
| 0,82 | 1,12 | 56,09 | 55,72 | 0,34 | 2,62 | 1,32 | 6,58 | 57,94 | 0,63 | 4,42 | 1,85 | 8,43 | 70,15 | 0,99 | 6,22 | 0,39 | 9,15 | 130,09 | 1,23 | 8,02 | 0,60 | 23,92 | 261,06 | 1,51 |
| 0,84 | 1,12 | 56,31 | 64,60 | 0,36 | 2,64 | 1,33 | 8,13 | 53,50 | 0,64 | 4,44 | 1,63 | 8,32 | 69,04 | 0,99 | 6,24 | 0,40 | 9,26 | 135,64 | 1,21 | 8,04 | 0,61 | 23,58 | 259,95 | 1,51 |
| 0,86 | 1,12 | 52,41 | 72,36 | 0,37 | 2,66 | 1,27 | 9,13 | 47,95 | 0,64 | 4,46 | 1,45 | 8,76 | 66,82 | 0,98 | 6,26 | 0,40 | 9,48 | 138,96 | 1,23 | 8,06 | 0,58 | 23,36 | 252,19 | 1,53 |
| 0,88 | 1,10 | 49,51 | 72,36 | 0,38 | 2,68 | 1,11 | 8,79 | 45,73 | 0,64 | 4,48 | 1,30 | 9,21 | 64,60 | 1,00 | 6,28 | 0,32 | 8,93 | 137,85 | 1,24 | 8,08 | 0,56 | 23,25 | 254,41 | 1,54 |
| 0,90 | 1,11 | 46,40 | 73,48 | 0,37 | 2,70 | 0,96 | 7,57 | 45,73 | 0,64 | 4,50 | 1,17 | 9,54 | 63,49 | 1,00 | 6,30 | 0,42 | 12,48 | 181,15 | 1,25 | 8,10 | 0,54 | 23,03 | 252,19 | 1,53 |
| 0,92 | 1,13 | 42,20 | 72,36 | 0,38 | 2,72 | 0,85 | 7,02 | 46,84 | 0,67 | 4,52 | 1,10 | 10,65 | 62,38 | 1,00 | 6,32 | 0,42 | 12,82 | 181,15 | 1,25 | 8,12 | 0,54 | 22,70 | 249,96 | 1,54 |
| 0,94 | 1,11 | 41,64 | 69,04 | 0,36 | 2,74 | 0,80 | 6,90 | 46,84 | 0,68 | 4,54 | 1,14 | 11,31 | 63,49 | 1,00 | 6,34 | 0,40 | 12,82 | 181,15 | 1,25 | 8,14 | 0,53 | 22,36 | 254,41 | 1,51 |
| 0,96 | 1,06 | 42,31 | 65,71 | 0,37 | 2,76 | 0,77 | 7,35 | 47,95 | 0,68 | 4,56 | 1,24 | 12,87 | 65,71 | 1,00 | 6,36 | 0,39 | 13,26 | 181,15 | 1,25 | 8,16 | 0,54 | 21,81 | 262,18 | 1,51 |
| 0,98 | 0,95 | 46,64 | 65,71 | 0,38 | 2,78 | 0,73 | 8,35 | 47,95 | 0,67 | 4,58 | 1,37 | 16,31 | 60,15 | 1,00 | 6,38 | 0,39 | 13,59 | 180,04 | 1,25 | 8,18 | 0,54 | 20,92 | 272,16 | 1,53 |
| 1,00 | 0,90 | 49,42 | 71,25 | 0,38 | 2,80 | 0,61 | 7,90 | 45,73 | 0,67 | 4,60 | 1,45 | 15,75 | 56,83 | 0,99 | 6,40 | 0,39 | 14,04 | 183,36 | 1,28 | 8,20 | 0,55 | 18,81 | 269,95 | 1,53 |
| 1,02 | 0,87 | 49,42 | 76,81 | 0,38 | 2,82 | 0,46 | 7,23 | 43,51 | 0,67 | 4,62 | 1,44 | 14,87 | 53,50 | 1,00 | 6,42 | 0,39 | 13,59 | 185,59 | 1,25 | 8,22 | 0,51 | 17,36 | 266,62 | 1,51 |
| 1,04 | 0,84 | 48,42 | 81,25 | 0,40 | 2,84 | 0,35 | 7,56 | 42,40 | 0,69 | 4,64 | 1,34 | 11,42 | 54,61 | 1,01 | 6,44 | 0,38 | 13,04 | 187,81 | 1,28 | 8,24 | 0,49 | 16,25 | 263,29 | 1,53 |
| 1,06 | 0,78 | 45,64 | 81,25 | 0,40 | 2,86 | 0,33 | 7,12 | 49,05 | 0,71 | 4,66 | 1,25 | 9,86 | 53,50 | 1,01 | 6,46 | 0,38 | 12,48 | 187,81 | 1,29 | 8,26 | 0,49 | 15,36 | 259,95 | 1,54 |
| 1,08 | 0,75 | 41,98 | 82,35 | 0,38 | 2,88 | 0,35 | 7,23 | 55,72 | 0,67 | 4,68 | 1,14 | 10,08 | 52,39 | 1,01 | 6,48 | 0,36 | 12,04 | 187,81 | 1,28 | 8,28 | 0,49 | 14,70 | 257,74 | 1,53 |
| 1,10 | 0,68 | 37,42 | 81,25 | 0,41 | 2,90 | 0,37 | 8,12 | 60,15 | 0,67 | 4,70 | 1,02 | 9,53 | 50,16 | 1,01 | 6,50 | 0,36 | 12,04 | 187,81 | 1,28 | 8,30 | 0,49 | 14,36 | 256,63 | 1,54 |
| 1,12 | 0,61 | 31,64 | 77,92 | 0,42 | 2,92 | 0,35 | 7,67 | 62,38 | 0,67 | 4,72 | 0,87 | 10,53 | 47,95 | 1,02 | 6,52 | 0,34 | 12,26 | 186,70 | 1,29 | 8,32 | 0,49 | 15,03 | 261,06 | 1,54 |
| 1,14 | 0,59 | 27,20 | 75,70 | 0,42 | 2,94 | 0,37 | 7,33 | 64,60 | 0,67 | 4,74 | 0,79 | 11,42 | 46,84 | 1,01 | 6,54 | 0,34 | 12,26 | 187,81 | 1,29 | 8,34 | 0,48 | 15,70 | 262,18 | 1,54 |
| 1,16 | 0,58 | 26,08 | 77,92 | 0,42 | 2,96 | 0,35 | 7,22 | 66,82 | 0,69 | 4,76 | 0,82 | 12,08 | 47,95 | 1,03 | 6,56 | 0,34 | 12,26 | 188,92 | 1,31 | 8,36 | 0,48 | 15,70 | 267,73 | 1,54 |
| 1,18 | 0,58 | 23,19 | 76,81 | 0,43 | 2,98 | 0,37 | 5,89 | 73,48 | 0,71 | 4,78 | 1,04 | 11,97 | 53,50 | 1,03 | 6,58 | 0,34 | 11,93 | 192,25 | 1,31 | 8,38 | 0,50 | 15,03 | 273,28 | 1,51 |
| 1,20 | 0,58 | 21,86 | 76,81 | 0,43 | 3,00 | 0,39 | 5,67 | 77,92 | 0,71 | 4,80 | 1,18 | 15,63 | 53,50 | 1,03 | 6,60 | 0,38 | 11,70 | 195,58 | 1,32 | 8,40 | 0,51 | 14,92 | 272,16 | 1,54 |
| 1,22 | 0,54 | 21,53 | 74,59 | 0,45 | 3,02 | 0,44 | 8,20 | 103,45 | 0,71 | 4,82 | 1,22 | 18,63 | 49,05 | 1,06 | 6,62 | 0,40 | 11,26 | 198,91 | 1,32 | 8,42 | 0,53 | 15,36 | 266,62 | 1,53 |
| 1,24 | 0,54 | 20,86 | 73,48 | 0,45 | 3,04 | 0,40 | 10,65 | 105,66 | 0,72 | 4,84 | 1,22 | 16,96 | 47,95 | 1,03 | 6,64 | 0,42 | 11,37 | 197,80 | 1,31 | 8,44 | 0,53 | 15,70 | 251,08 | 1,51 |
| 1,26 | 0,60 | 19,53 | 73,48 | 0,45 | 3,06 | 0,39 | 11,42 | 112,33 | 0,73 | 4,86 | 1,20 | 15,41 | 45,73 | 1,03 | 6,66 | 0,40 | 11,93 | 194,46 | 1,32 | 8,46 | 0,51 | 16,70 | 236,65 | 1,53 |
| 1,28 | 0,70 | 18,75 | 71,25 | 0,46 | 3,08 | 0,42 | 11,31 | 112,33 | 0,73 | 4,88 | 1,10 | 13,30 | 44,62 | 1,05 | 6,68 | 0,42 | 12,04 | 213,34 | 1,33 | 8,48 | 0,54 | 17,47 | 233,32 | 1,53 |
| 1,30 | 0,79 | 18,42 | 69,04 | 0,45 | 3,10 | 0,42 | 12,64 | 110,11 | 0,73 | 4,90 | 0,99 | 11,29 | 42,40 | 1,06 | 6,70 | 0,40 | 13,04 | 213,34 | 1,34 | 8,50 | 0,55 | 18,47 | 244,42 | 1,53 |
| 1,32 | 0,82 | 18,64 | 65,71 | 0,45 | 3,12 | 0,42 | 14,20 | 110,11 | 0,72 | 4,92 | 0,90 | 9,85 | 42,40 | 1,05 | 6,72 | 0,40 | 13,70 | 210,01 | 1,32 | 8,52 | 0,56 | 19,25 | 245,53 | 1,54 |
| 1,34 | 0,81 | 18,19 | 62,38 | 0,45 | 3,14 | 0,46 | 14,31 | 112,33 | 0,73 | 4,94 | 0,80 | 9,40 | 40,18 | 1,06 | 6,74 | 0,40 | 14,26 | 212,23 | 1,32 | 8,54 | 0,56 | 19,58 | 237,75 | 1,53 |
| 1,36 | 0,71 | 15,42 | 59,05 | 0,46 | 3,16 | 0,57 | 14,53 | 116,76 | 0,75 | 4,96 | 0,75 | 11,29 | 41,29 | 1,05 | 6,76 | 0,42 | 14,81 | 210,01 | 1,33 | 8,56 | 0,57 | 20,58 | 234,43 | 1,51 |
| 1,38 | 0,60 | 11,41 | 56,83 | 0,49 | 3,18 | 0,91 | 12,09 | 134,53 | 0,73 | 4,98 | 0,70 | 11,96 | 41,29 | 1,07 | 6,78 | 0,42 | 15,48 | 208,90 | 1,34 | 8,58 | 0,60 | 21,58 | 239,98 | 1,54 |
| 1,40 | 0,52 | 8,86 | 56,83 | 0,45 | 3,20 | 1,21 | 13,75 | 115,65 | 0,76 | 5,00 | 0,68 | 11,96 | 41,29 | 1,05 | 6,80 | 0,42 | 15,70 | 212,23 | 1,34 | 8,60 | 0,62 | 21,81 | 243,31 | 1,54 |
| 1,42 | 0,46 | 9,19 | 56,83 | 0,46 | 3,22 | 1,24 | 14,31 | 95,68 | 0,76 | 5,02 | 0,59 | 11,62 | 40,18 | 1,07 | 6,82 | 0,43 | 15,93 | 216,66 | 1,33 | 8,62 | 0,66 | 21,70 | 235,54 | 1,54 |
| 1,44 | 0,43 | 7,31 | 62,38 | 0,49 | 3,24 | 1,16 | 11,86 | 89,02 | 0,76 | 5,04 | 0,64 | 13,28 | 49,05 | 1,08 | 6,84 | 0,45 | 16,04 | 231,10 | 1,34 | 8,64 | 0,66 | 22,47 | 233,32 | 1,57 |
| 1,46 | 0,42 | 7,31 | 63,49 | 0,49 | 3,26 | 1,08 | 9,31 | 85,69 | 0,78 | 5,06 | 0,57 | 12,61 | 47,95 | 1,07 | 6,86 | 0,56 | 15,93 | 246,64 | 1,32 | 8,66 | 0,67 | 23,36 | 233,32 | 1,54 |
| 1,48 | 0,43 | 7,42 | 65,71 | 0,49 | 3,28 | 1,02 | 7,86 | 84,58 | 0,78 | 5,08 | 0,56 | 12,95 | 47,95 | 1,08 | 6,88 | 0,68 | 15,48 | 177,82 | 1,32 | 8,68 | 0,68 | 24,26 | 247,75 | 1,54 |
| 1,50 | 0,43 | 7,64 | 70,15 | 0,49 | 3,30 | 1,02 | 8,73 | 86,80 | 0,78 | 5,10 | 0,55 | 13,06 | 46,84 | 1,07 | 6,90 | 0,53 | 17,48 | 158,95 | 1,33 | 8,70 | 0,67 | 24,81 | 233,32 | 1,54 |
| 1,52 | 0,47 | 7,42 | 74,59 | 0,49 | 3,32 | 0,96 | 8,40 | 73,48 | 0,80 | 5,12 | 0,61 | 12,50 | 49,05 | 1,08 | 6,92 | 0,48 | 19,93 | 175,60 | 1,34 | 8,72 | 0,65 | 25,48 | 226,65 | 1,54 |
| 1,54 | 0,55 | 7,98 | 80,14 | 0,49 | 3,34 | 0,80 | 8,18 | 62,38 | 0,80 | 5,14 | 0,74 | 13,17 | 52,39 | 1,08 | 6,94 | 0,45 | 20,48 | 191,14 | 1,34 | 8,74 | 0,62 | 25,81 | 233,32 | 1,55 |
| 1,56 | 0,58 | 7,64 | 85,69 | 0,49 | 3,36 | 0,61 | 7,28 | 56,83 | 0,81 | 5,16 | 0,91 | 14,17 | 55,72 | 1,08 | 6,96 | 0,45 | 19,70 | 197,80 | 1,34 | 8,76 | 0,62 | 27,04 | 237,75 | 1,57 |
| 1,58 | 0,65 | 8,42 | 93,45 | 0,49 | 3,38 | 0,44 | 6,95 | 55,72 | 0,81 | 5,18 | 1,01 | 13,84 | 56,83 | 1,10 | 6,98 | 0,45 | 19,37 | 200,02 | 1,34 | 8,78 | 0,63 | 27,04 | 238,86 | 1,54 |
| 1,60 | 0,73 | 9,75 | 104,55 | 0,50 | 3,40 | 0,32 | 8,17 | 59,05 | 0,81 | 5,20 | 1,03 | 15,39 | 54,61 | 1,11 | 7,00 | 0,45 | 19,70 | 202,24 | 1,36 | 8,80 | 0,62 | 27,15 | 239,98 | 1,54 |
| 1,62 | 0,78 | 13,20 | 117,88 | 0,51 | 3,42 | 0,29 | 8,73 | 69,04 | 0,80 | 5,22 | 0,99 | 13,61 | 53,50 | 1,11 | 7,02 | 0,45 | 18,48 | 236,65 | 1,34 | 8,82 | 0,62 | 27,04 | 241,09 | 1,55 |
| 1,64 | 0,85 | 14,98 | 122,32 | 0,51 | 3,44 | 0,27 | 8,51 | 77,92 | 0,81 | 5,24 | 0,94 | 10,61 | 53,50 | 1,11 | 7,04 | 0,44 | 17,48 | 232,21 | 1,34 | 8,84 | 0,62 | 26,59 | 245,53 | 1,57 |
| 1,66 | 0,89 | 17,20 | 120,10 | 0,52 | 3,46 | 0,30 | 8,95 | 85,69 | 0,82 | 5,26 | 0,86 | 11,72 | 51,28 | 1,11 | 7,06 | 0,43 | 16,70 | 234,43 | 1,36 | 8,86 | 0,62 | 25,70 | 243,31 | 1,57 |
| 1,68 | 0,88 | 21,09 | 115,65 | 0,53 | 3,48 | 0,32 | 9,39 | 89,02 | 0,82 | 5,28 | 0,75 | 11,72 | 49,05 | 1,10 | 7,08 | 0,43 | 15,59 | 233,32 | 1,36 | 8,88 | 0,61 | 25,48 | 239,98 | 1,54 |
| 1,70 | 0,83 | 27,20 | 112,33 | 0,53 | 3,50 | 0,41 | 9,62 | 93,45 | 0,81 | 5,30 | 0,77 | 11,16 | 52,39 | 1,11 | 7,10 | 0,43 | 15,36 | 234,43 | 1,36 | 8,90 | 0,61 | 25,26 | 242,20 | 1,57 |
| 1,72 | 0,78 | 31,86 | 111,22 | 0,54 | 3,52 | 0,55 | 10,62 | 101,23 | 0,82 | 5,32 | 0,73 | 10,39 | 65,71 | 1,11 | 7,12 | 0,44 | 15,03 | 236,65 | 1,36 | 8,92 | 0,61 | 25,26 | 241,09 | 1,54 |
| 1,74 | 0,79 | 36,64 | 117,88 | 0,54 | 3,54 | 0,80 | 10,84 | 97,90 | 0,81 | 5,34 | 0,91 | 10,16 | 71,25 | 1,11 | 7,14 | 0,44 | 14,48 | 236,65 | 1,37 | 8,94 | 0,61 | 24,70 | 242,20 | 1,55 |
| 1,76 | 0,89 | 39,53 | 134,53 | 0,53 | 3,56 | 1,03 | 12,06 | 89,02 | 0,82 | 5,36 | 1,01 | 12,05 | 63,49 | 1,12 | 7,16 | 0,43 | 14,36 | 233,32 | 1,38 | 8,96 | 0,61 | 24,03 | 243,31 | 1,54 |
| 1,78 | 0,96 | 39,19 | 135,64 | 0,54 | 3,58 | 1,29 | 11,72 | 93,45 | 0,82 | 5,38 | 0,96 | 13,72 | 57,94 | 1,11 | 7,18 | 0,43 | 14,25 | 232,21 | 1,40 | 8,98 | 0,61 | 23,70 | 244,42 | 1,58 |
| 1,80 | 0,94 | 38,08 | 135,64 | 0,54 | 3,60 | 1,65 | 12,50 | 91,24 | 0,82 | 5,40 | 0,90 | 16,16 | 54,61 | 1,14 | 7,20 | 0,42 | 14,25 | 234,43 | 1,38 | 9,00 | 0,61 | 23,59 | 243,31 | 1,57 |

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
# LETTURE DI CAMPAGNA

| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

| Prof. (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9,02 | 0,58 | 23,48 | 244,42 | 1,58 | 10,82 | 1,15 | 82,89 | 322,12 | 1,79 | 12,62 | 1,75 | 130,61 | 208,90 | 1,98 | 14,42 | 1,88 | 104,95 | 344,32 | 2,40 | 16,22 | 1,66 | 54,20 | 365,41 | 2,63 |
| 9,04 | 0,60 | 24,15 | 263,29 | 1,58 | 10,84 | 1,15 | 81,33 | 319,90 | 1,79 | 12,64 | 1,73 | 128,49 | 211,12 | 1,97 | 14,44 | 1,87 | 105,62 | 346,54 | 2,40 | 16,24 | 1,67 | 53,54 | 367,63 | 2,62 |
| 9,06 | 0,62 | 23,59 | 267,73 | 1,58 | 10,86 | 1,11 | 79,77 | 315,45 | 1,79 | 12,66 | 1,75 | 128,49 | 213,34 | 1,95 | 14,46 | 1,89 | 103,40 | 347,65 | 2,40 | 16,26 | 1,71 | 53,76 | 369,85 | 2,61 |
| 9,08 | 0,63 | 23,48 | 261,06 | 1,58 | 10,88 | 1,10 | 78,54 | 315,45 | 1,77 | 12,68 | 1,76 | 128,40 | 231,10 | 1,98 | 14,48 | 1,95 | 101,17 | 353,20 | 2,41 | 16,28 | 1,72 | 53,43 | 370,95 | 2,60 |
| 9,10 | 0,62 | 23,93 | 264,40 | 1,57 | 10,90 | 1,10 | 76,77 | 314,35 | 1,77 | 12,70 | 1,75 | 125,40 | 228,88 | 1,99 | 14,50 | 1,99 | 102,39 | 359,85 | 2,41 | 16,30 | 1,77 | 54,76 | 373,18 | 2,60 |
| 9,12 | 0,65 | 24,26 | 289,93 | 1,58 | 10,92 | 1,11 | 75,43 | 314,35 | 1,76 | 12,72 | 1,77 | 122,17 | 225,55 | 1,98 | 14,52 | 1,99 | 102,17 | 363,19 | 2,41 | 16,32 | 1,84 | 56,21 | 378,73 | 2,60 |
| 9,14 | 0,67 | 24,59 | 284,38 | 1,55 | 10,94 | 1,12 | 73,87 | 314,35 | 1,76 | 12,74 | 1,76 | 123,51 | 218,89 | 2,02 | 14,54 | 2,03 | 100,05 | 366,52 | 2,41 | 16,34 | 1,88 | 59,43 | 385,39 | 2,58 |
| 9,16 | 0,70 | 24,26 | 282,15 | 1,58 | 10,96 | 1,17 | 71,10 | 316,56 | 1,77 | 12,76 | 1,75 | 123,51 | 231,10 | 2,02 | 14,56 | 2,05 | 96,38 | 364,30 | 2,42 | 16,36 | 1,87 | 63,54 | 388,72 | 2,59 |
| 9,18 | 0,73 | 23,59 | 275,50 | 1,59 | 10,98 | 1,20 | 69,65 | 318,79 | 1,76 | 12,78 | 1,80 | 120,17 | 232,21 | 2,02 | 14,58 | 2,05 | 96,49 | 366,52 | 2,42 | 16,38 | 1,90 | 66,87 | 394,26 | 2,56 |
| 9,20 | 0,74 | 24,48 | 269,95 | 1,59 | 11,00 | 1,26 | 69,87 | 321,01 | 1,75 | 12,80 | 1,86 | 117,17 | 227,76 | 2,03 | 14,60 | 2,04 | 98,16 | 364,30 | 2,42 | 16,40 | 1,90 | 70,32 | 395,38 | 2,55 |
| 9,22 | 0,75 | 27,15 | 264,40 | 1,58 | 11,02 | 1,27 | 72,67 | 313,24 | 1,76 | 12,82 | 1,89 | 116,28 | 229,99 | 2,02 | 14,62 | 2,00 | 98,93 | 360,96 | 2,45 | 16,42 | 1,89 | 72,09 | 392,05 | 2,56 |
| 9,24 | 0,75 | 29,59 | 264,40 | 1,60 | 11,04 | 1,38 | 74,33 | 306,58 | 1,76 | 12,84 | 1,83 | 117,28 | 227,76 | 2,05 | 14,64 | 1,97 | 99,60 | 358,75 | 2,42 | 16,44 | 1,84 | 69,43 | 382,05 | 2,56 |
| 9,26 | 0,74 | 30,93 | 267,73 | 1,60 | 11,06 | 1,36 | 76,78 | 303,25 | 1,76 | 12,86 | 1,77 | 116,72 | 231,10 | 2,05 | 14,66 | 1,88 | 104,04 | 360,96 | 2,42 | 16,46 | 1,79 | 70,31 | 372,06 | 2,55 |
| 9,28 | 0,73 | 32,15 | 264,40 | 1,60 | 11,08 | 1,38 | 79,44 | 297,70 | 1,77 | 12,88 | 1,76 | 113,39 | 229,99 | 2,06 | 14,68 | 1,86 | 105,04 | 359,85 | 2,44 | 16,48 | 1,76 | 73,31 | 370,95 | 2,55 |
| 9,30 | 0,73 | 32,81 | 257,74 | 1,62 | 11,10 | 1,40 | 81,78 | 294,36 | 1,75 | 12,90 | 1,75 | 108,83 | 226,65 | 2,07 | 14,70 | 1,82 | 103,93 | 358,75 | 2,42 | 16,50 | 1,72 | 75,20 | 375,40 | 2,56 |
| 9,32 | 0,69 | 33,93 | 257,74 | 1,62 | 11,12 | 1,38 | 86,11 | 292,15 | 1,76 | 12,92 | 1,73 | 105,16 | 225,55 | 2,10 | 14,72 | 1,86 | 101,26 | 359,85 | 2,45 | 16,52 | 1,72 | 71,98 | 377,62 | 2,55 |
| 9,34 | 0,69 | 34,36 | 276,61 | 1,62 | 11,14 | 1,38 | 86,67 | 266,62 | 1,76 | 12,94 | 1,70 | 103,60 | 226,65 | 2,09 | 14,74 | 1,84 | 98,37 | 363,19 | 2,41 | 16,54 | 1,66 | 72,75 | 378,73 | 2,55 |
| 9,36 | 0,71 | 32,92 | 299,92 | 1,62 | 11,16 | 1,38 | 86,55 | 256,63 | 1,76 | 12,96 | 1,71 | 102,05 | 228,88 | 2,09 | 14,76 | 1,81 | 97,26 | 367,63 | 2,45 | 16,56 | 1,64 | 71,53 | 378,73 | 2,56 |
| 9,38 | 0,72 | 31,59 | 291,04 | 1,63 | 11,18 | 1,38 | 87,66 | 252,19 | 1,77 | 12,98 | 1,69 | 103,94 | 235,54 | 2,11 | 14,78 | 1,85 | 92,59 | 369,85 | 2,44 | 16,58 | 1,59 | 70,52 | 384,28 | 2,54 |
| 9,40 | 0,73 | 31,03 | 275,50 | 1,63 | 11,20 | 1,40 | 86,00 | 253,30 | 1,77 | 13,00 | 1,63 | 107,71 | 237,75 | 2,11 | 14,80 | 1,84 | 87,70 | 369,85 | 2,46 | 16,60 | 1,59 | 68,63 | 384,28 | 2,56 |
| 9,42 | 0,75 | 31,92 | 279,94 | 1,62 | 11,22 | 1,44 | 84,22 | 256,63 | 1,79 | 13,02 | 1,51 | 84,59 | 229,99 | 2,11 | 14,82 | 1,84 | 84,81 | 363,19 | 2,46 | 16,62 | 1,63 | 64,19 | 382,05 | 2,58 |
| 9,44 | 0,78 | 32,03 | 282,15 | 1,64 | 11,24 | 1,50 | 82,33 | 258,85 | 1,76 | 13,04 | 1,71 | 101,15 | 239,98 | 2,12 | 14,84 | 1,85 | 85,36 | 359,85 | 2,45 | 16,64 | 1,59 | 61,63 | 377,62 | 2,58 |
| 9,46 | 0,79 | 32,48 | 282,15 | 1,65 | 11,26 | 1,54 | 80,10 | 247,75 | 1,77 | 13,06 | 1,72 | 106,43 | 242,20 | 2,12 | 14,86 | 1,86 | 87,25 | 357,64 | 2,45 | 16,66 | 1,59 | 61,30 | 373,18 | 2,59 |
| 9,48 | 0,78 | 33,70 | 293,25 | 1,66 | 11,28 | 1,54 | 79,43 | 232,21 | 1,77 | 13,08 | 1,72 | 108,87 | 251,08 | 2,14 | 14,88 | 1,85 | 90,36 | 364,30 | 2,46 | 16,68 | 1,57 | 63,52 | 369,85 | 2,60 |
| 9,50 | 0,81 | 33,70 | 264,40 | 1,64 | 11,30 | 1,48 | 82,76 | 214,45 | 1,79 | 13,10 | 1,73 | 109,54 | 264,40 | 2,13 | 14,90 | 1,84 | 91,58 | 364,30 | 2,49 | 16,70 | 1,55 | 67,63 | 370,95 | 2,59 |
| 9,52 | 0,83 | 33,70 | 267,73 | 1,66 | 11,32 | 1,46 | 84,43 | 194,46 | 1,80 | 13,12 | 1,75 | 107,43 | 275,50 | 2,14 | 14,92 | 1,85 | 93,36 | 368,74 | 2,48 | 16,72 | 1,54 | 72,41 | 375,40 | 2,60 |
| 9,54 | 0,84 | 35,03 | 272,16 | 1,66 | 11,34 | 1,46 | 85,65 | 191,14 | 1,79 | 13,14 | 1,81 | 103,20 | 281,05 | 2,13 | 14,94 | 1,93 | 89,14 | 369,85 | 2,49 | 16,74 | 1,53 | 75,52 | 375,40 | 2,61 |
| 9,56 | 0,89 | 35,03 | 276,61 | 1,67 | 11,36 | 1,43 | 89,87 | 208,90 | 1,80 | 13,16 | 1,87 | 100,20 | 279,94 | 2,15 | 14,96 | 1,99 | 85,25 | 366,52 | 2,49 | 16,76 | 1,49 | 76,74 | 373,18 | 2,60 |
| 9,58 | 0,89 | 36,58 | 278,83 | 1,66 | 11,38 | 1,41 | 91,43 | 207,79 | 1,80 | 13,18 | 1,89 | 97,09 | 284,38 | 2,15 | 14,98 | 1,99 | 87,36 | 360,96 | 2,50 | 16,78 | 1,51 | 77,41 | 375,40 | 2,62 |
| 9,60 | 0,90 | 38,36 | 278,83 | 1,68 | 11,40 | 1,44 | 90,98 | 205,56 | 1,79 | 13,20 | 1,94 | 94,42 | 286,60 | 2,15 | 15,00 | 1,98 | 91,02 | 355,42 | 2,51 | 16,80 | 1,51 | 77,41 | 376,51 | 2,62 |
| 9,62 | 0,90 | 39,58 | 273,28 | 1,69 | 11,42 | 1,44 | 89,98 | 204,45 | 1,81 | 13,22 | 1,99 | 93,42 | 291,04 | 2,16 | 15,02 | 1,92 | 95,13 | 352,09 | 2,50 | 16,82 | 1,52 | 75,54 | 376,51 | 2,59 |
| 9,64 | 0,90 | 40,91 | 272,16 | 1,69 | 11,44 | 1,47 | 88,31 | 202,24 | 1,81 | 13,24 | 2,08 | 90,86 | 298,81 | 2,16 | 15,04 | 1,94 | 97,80 | 350,98 | 2,51 | 16,84 | 1,49 | 71,54 | 378,73 | 2,61 |
| 9,66 | 0,84 | 42,47 | 283,26 | 1,67 | 11,46 | 1,44 | 88,42 | 204,45 | 1,82 | 13,26 | 2,11 | 90,97 | 313,24 | 2,18 | 15,06 | 1,93 | 106,43 | 324,34 | 2,49 | 16,86 | 1,53 | 67,76 | 383,16 | 2,59 |
| 9,68 | 0,89 | 42,70 | 274,39 | 1,68 | 11,48 | 1,41 | 88,53 | 204,45 | 1,80 | 13,28 | 2,13 | 91,97 | 316,56 | 2,20 | 15,08 | 1,98 | 112,65 | 326,55 | 2,49 | 16,88 | 1,58 | 63,98 | 388,72 | 2,56 |
| 9,70 | 0,88 | 43,81 | 265,51 | 1,67 | 11,50 | 1,43 | 87,30 | 203,35 | 1,82 | 13,30 | 2,12 | 92,75 | 314,35 | 2,19 | 15,10 | 2,00 | 117,98 | 325,45 | 2,49 | 16,90 | 1,66 | 61,09 | 393,15 | 2,58 |
| 9,72 | 0,88 | 44,14 | 255,52 | 1,68 | 11,52 | 1,42 | 87,30 | 200,02 | 1,81 | 13,32 | 2,07 | 94,19 | 322,12 | 2,20 | 15,12 | 2,02 | 119,32 | 328,78 | 2,49 | 16,92 | 1,66 | 61,53 | 392,05 | 2,56 |
| 9,74 | 0,86 | 44,25 | 256,63 | 1,68 | 11,54 | 1,39 | 89,30 | 232,21 | 1,81 | 13,34 | 2,02 | 96,63 | 315,45 | 2,22 | 15,14 | 2,00 | 118,09 | 335,44 | 2,51 | 16,94 | 1,67 | 62,64 | 390,94 | 2,57 |
| 9,76 | 0,86 | 44,14 | 257,74 | 1,67 | 11,56 | 1,37 | 89,63 | 243,31 | 1,82 | 13,36 | 1,94 | 100,85 | 313,24 | 2,20 | 15,16 | 1,98 | 116,76 | 340,99 | 2,49 | 16,96 | 1,69 | 63,53 | 388,72 | 2,55 |
| 9,78 | 0,86 | 44,92 | 257,74 | 1,68 | 11,58 | 1,37 | 87,07 | 246,64 | 1,81 | 13,38 | 1,90 | 101,29 | 311,02 | 2,22 | 15,18 | 2,00 | 113,76 | 339,88 | 2,49 | 16,98 | 1,66 | 66,42 | 387,61 | 2,54 |
| 9,80 | 0,84 | 46,36 | 262,18 | 1,69 | 11,60 | 1,36 | 83,63 | 268,84 | 1,82 | 13,40 | 1,83 | 103,18 | 304,35 | 2,22 | 15,20 | 2,07 | 111,42 | 340,99 | 2,51 | 17,00 | 1,65 | 69,31 | 387,61 | 2,53 |
| 9,82 | 0,86 | 48,25 | 261,06 | 1,67 | 11,62 | 1,37 | 79,85 | 265,51 | 1,82 | 13,42 | 1,70 | 106,18 | 295,48 | 2,23 | 15,22 | 2,05 | 111,42 | 340,99 | 2,51 | 17,02 | 1,67 | 71,08 | 390,94 | 2,54 |
| 9,84 | 0,85 | 49,36 | 268,84 | 1,69 | 11,64 | 1,37 | 79,85 | 266,62 | 1,82 | 13,44 | 1,58 | 108,73 | 286,60 | 2,25 | 15,24 | 2,00 | 111,42 | 335,44 | 2,51 | 17,04 | 1,70 | 71,86 | 394,26 | 2,54 |
| 9,86 | 0,86 | 50,58 | 272,16 | 1,69 | 11,66 | 1,33 | 86,54 | 277,72 | 1,83 | 13,46 | 1,47 | 112,29 | 278,83 | 2,23 | 15,26 | 1,98 | 110,41 | 332,11 | 2,51 | 17,06 | 1,46 | 63,47 | 395,38 | 2,53 |
| 9,88 | 0,88 | 51,25 | 271,05 | 1,67 | 11,68 | 1,36 | 85,99 | 276,61 | 1,82 | 13,48 | 1,40 | 114,17 | 278,83 | 2,22 | 15,28 | 1,90 | 111,86 | 331,00 | 2,52 | 17,08 | 1,81 | 76,36 | 422,02 | 2,53 |
| 9,90 | 0,90 | 52,58 | 275,50 | 1,68 | 11,70 | 1,37 | 85,87 | 276,61 | 1,83 | 13,50 | 1,39 | 112,50 | 282,15 | 2,23 | 15,30 | 1,86 | 113,19 | 329,89 | 2,52 | 17,10 | 1,89 | 78,91 | 428,68 | 2,52 |
| 9,92 | 0,89 | 53,58 | 279,94 | 1,68 | 11,72 | 1,38 | 85,43 | 276,61 | 1,83 | 13,52 | 1,40 | 107,39 | 295,48 | 2,23 | 15,32 | 1,82 | 114,74 | 336,55 | 2,51 | 17,12 | 1,96 | 83,02 | 433,12 | 2,53 |
| 9,94 | 0,91 | 53,47 | 278,83 | 1,68 | 11,74 | 1,38 | 84,65 | 276,61 | 1,82 | 13,54 | 1,45 | 95,72 | 306,58 | 2,24 | 15,34 | 1,86 | 112,96 | 344,32 | 2,53 | 17,14 | 1,98 | 82,47 | 430,90 | 2,52 |
| 9,96 | 0,92 | 53,13 | 273,28 | 1,69 | 11,76 | 1,41 | 84,87 | 282,15 | 1,83 | 13,56 | 1,51 | 82,27 | 314,35 | 2,24 | 15,36 | 1,89 | 110,07 | 348,75 | 2,54 | 17,16 | 2,00 | 82,46 | 426,45 | 2,53 |
| 9,98 | 0,94 | 53,13 | 275,50 | 1,68 | 11,78 | 1,42 | 85,43 | 283,26 | 1,85 | 13,58 | 1,58 | 70,27 | 321,01 | 2,23 | 15,38 | 1,97 | 106,40 | 349,86 | 2,54 | 17,18 | 2,00 | 82,35 | 419,80 | 2,54 |
| 10,00 | 0,97 | 54,36 | 276,61 | 1,68 | 11,80 | 1,43 | 85,43 | 284,38 | 1,84 | 13,60 | 1,65 | 62,60 | 334,33 | 2,23 | 15,40 | 1,95 | 104,40 | 348,75 | 2,55 | 17,20 | 1,99 | 83,46 | 415,35 | 2,51 |
| 10,02 | 0,93 | 58,03 | 287,71 | 1,68 | 11,82 | 1,48 | 84,76 | 291,04 | 1,85 | 13,62 | 1,74 | 54,16 | 339,88 | 2,25 | 15,42 | 1,92 | 102,07 | 348,75 | 2,58 | 17,22 | 1,99 | 85,01 | 413,14 | 2,53 |
| 10,04 | 1,01 | 57,36 | 291,04 | 1,68 | 11,84 | 1,54 | 84,98 | 295,48 | 1,85 | 13,64 | 1,81 | 50,60 | 335,44 | 2,25 | 15,44 | 1,95 | 99,28 | 354,31 | 2,56 | 17,24 | 2,04 | 87,90 | 418,69 | 2,54 |
| 10,06 | 1,06 | 57,70 | 293,25 | 1,69 | 11,86 | 1,59 | 85,20 | 298,81 | 1,87 | 13,66 | 1,80 | 57,71 | 333,22 | 2,27 | 15,46 | 1,94 | 97,51 | 350,98 | 2,58 | 17,26 | 2,13 | 92,01 | 428,68 | 2,53 |
| 10,08 | 1,07 | 58,36 | 293,25 | 1,72 | 11,88 | 1,61 | 86,43 | 306,58 | 1,87 | 13,68 | 1,76 | 67,49 | 333,22 | 2,27 | 15,48 | 1,94 | 96,06 | 348,75 | 2,58 | 17,28 | 2,20 | 95,79 | 436,45 | 2,55 |
| 10,10 | 1,08 | 59,47 | 288,82 | 1,72 | 11,90 | 1,66 | 87,31 | 312,13 | 1,86 | 13,70 | 1,73 | 78,16 | 335,44 | 2,29 | 15,50 | 1,90 | 99,06 | 349,86 | 2,58 | 17,30 | 2,31 | 96,11 | 440,89 | 2,56 |
| 10,12 | 1,06 | 61,69 | 289,93 | 1,70 | 11,92 | 1,70 | 88,64 | 314,35 | 1,86 | 13,72 | 1,69 | 84,71 | 336,55 | 2,29 | 15,52 | 1,89 | 99,61 | 353,20 | 2,61 | 17,32 | 2,46 | 98,89 | 443,11 | 2,55 |
| 10,14 | 1,06 | 61,58 | 289,93 | 1,72 | 11,94 | 1,70 | 92,09 | 316,56 | 1,86 | 13,74 | 1,70 | 87,60 | 338,76 | 2,30 | 15,54 | 1,91 | 99,61 | 355,42 | 2,60 | 17,34 | 2,53 | 98,89 | 448,65 | 2,57 |
| 10,16 | 1,06 | 60,91 | 288,82 | 1,72 | 11,96 | 1,73 | 95,87 | 316,56 | 1,87 | 13,76 | 1,69 | 93,16 | 345,43 | 2,33 | 15,56 | 1,89 | 100,50 | 358,75 | 2,61 | 17,36 | 2,59 | 103,22 | 453,10 | 2,59 |
| 10,18 | 1,03 | 61,47 | 287,71 | 1,74 | 11,98 | 1,77 | 99,42 | 317,68 | 1,85 | 13,78 | 1,75 | 94,05 | 350,98 | 2,33 | 15,58 | 1,95 | 98,94 | 362,08 | 2,59 | 17,38 | 2,65 | 107,33 | 451,99 | 2,60 |
| 10,20 | 1,03 | 61,91 | 286,60 | 1,76 | 12,00 | 1,78 | 102,42 | 317,68 | 1,86 | 13,80 | 1,83 | 88,60 | 356,53 | 2,33 | 15,60 | 1,99 | 96,49 | 366,52 | 2,60 | 17,40 | 2,58 | 113,22 | 446,44 | 2,59 |
| 10,22 | 1,03 | 62,57 | 285,49 | 1,76 | 12,02 | 1,73 | 107,66 | 296,59 | 1,86 | 13,82 | 1,87 | 85,49 | 365,41 | 2,32 | 15,62 | 2,01 | 97,27 | 372,06 | 2,62 | 17,42 | 2,57 | 116,88 | 446,44 | 2,60 |
| 10,24 | 1,03 | 63,57 | 293,25 | 1,76 | 12,04 | 1,73 | 107,44 | 296,59 | 1,86 | 13,84 | 1,94 | 80,60 | 367,63 | 2,32 | 15,64 | 2,06 | 95,82 | 373,18 | 2,61 | 17,44 | 2,58 | 116,21 | 438,66 | 2,60 |
| 10,26 | 1,03 | 62,80 | 309,91 | 1,76 | 12,06 | 1,73 | 109,44 | 297,70 | 1,86 | 13,86 | 2,03 | 75,94 | 356,53 | 2,35 | 15,66 | 2,06 | 95,93 | 374,29 | 2,61 | 17,46 | 2,48 | 118,76 | 428,68 | 2,60 |
| 10,28 | 1,11 | 74,46 | 323,23 | 1,76 | 12,08 | 1,75 | 109,77 | 294,36 | 1,87 | 13,88 | 2,03 | 75,49 | 350,98 | 2,35 | 15,68 | 2,03 | 95,15 | 372,06 | 2,62 | 17,48 | 2,38 | 123,54 | 423,13 | 2,60 |
| 10,30 | 1,16 | 74,46 | 327,66 | 1,76 | 12,10 | 1,76 | 109,32 | 297,70 | 1,87 | 13,90 | 1,94 | 79,71 | 345,43 | 2,35 | 15,70 | 2,03 | 93,82 | 370,95 | 2,62 | 17,50 | 2,30 | 124,87 | 419,80 | 2,61 |
| 10,32 | 1,16 | 73,91 | 329,89 | 1,76 | 12,12 | 1,77 | 109,87 | 296,59 | 1,90 | 13,92 | 1,88 | 87,26 | 339,88 | 2,35 | 15,72 | 1,99 | 92,92 | 367,63 | 2,62 | 17,52 | 2,25 | 124,19 | 415,35 | 2,63 |
| 10,34 | 1,18 | 72,80 | 329,89 | 1,76 | 12,14 | 1,72 | 110,76 | 293,25 | 1,88 | 13,94 | 1,83 | 89,60 | 338,76 | 2,36 | 15,74 | 1,94 | 91,48 | 364,30 | 2,62 | 17,54 | 2,22 | 124,30 | 410,92 | 2,62 |
| 10,36 | 1,20 | 72,14 | 332,11 | 1,76 | 12,16 | 1,67 | 113,54 | 298,81 | 1,89 | 13,96 | 1,80 | 94,37 | 343,21 | 2,38 | 15,76 | 1,89 | 91,92 | 362,08 | 2,63 | 17,56 | 2,19 | 124,86 | 408,70 | 2,63 |
| 10,38 | 1,24 | 71,37 | 333,22 | 1,77 | 12,18 | 1,66 | 113,54 | 302,14 | 1,88 | 13,98 | 1,81 | 99,26 | 345,43 | 2,37 | 15,78 | 1,82 | 93,59 | 357,64 | 2,62 | 17,58 | 2,14 | 125,30 | 408,70 | 2,63 |
| 10,40 | 1,26 | 71,81 | 331,00 | 1,76 | 12,20 | 1,63 | 113,20 | 303,25 | 1,89 | 14,00 | 1,80 | 105,60 | 352,09 | 2,39 | 15,80 | 1,77 | 93,37 | 355,42 | 2,63 | 17,60 | 2,11 | 126,74 | 413,14 | 2,63 |
| 10,42 | 1,27 | 74,36 | 331,00 | 1,76 | 12,22 | 1,61 | 114,20 | 303,25 | 1,89 | 14,02 | 1,85 | 107,71 | 357,64 | 2,38 | 15,82 | 1,74 | 92,26 | 355,42 | 2,63 | 17,62 | 2,10 | 130,18 | 417,58 | 2,63 |
| 10,44 | 1,24 | 78,58 | 333,22 | 1,76 | 12,24 | 1,61 | 112,19 | 296,59 | 1,89 | 14,04 | 1,91 | 104,04 | 365,41 | 2,39 | 15,84 | 1,70 | 90,81 | 355,42 | 2,63 | 17,64 | 2,10 | 131,07 | 422,02 | 2,63 |
| 10,46 | 1,27 | 81,70 | 333,22 | 1,76 | 12,26 | 1,61 | 110,08 | 302,14 | 1,90 | 14,06 | 1,98 | 106,43 | 369,85 | 2,36 | 15,86 | 1,70 | 88,36 | 358,75 | 2,64 | 17,66 | 2,15 | 130,84 | 432,01 | 2,66 |
| 10,48 | 1,26 | 85,03 | 333,22 | 1,75 | 12,28 | 1,58 | 106,41 | 309,91 | 1,90 | 14,08 | 2,03 | 105,87 | 369,85 | 2,36 | 15,88 | 1,72 | 85,36 | 360,96 | 2,64 | 17,68 | 2,27 | 128,39 | 444,22 | 2,66 |
| 10,50 | 1,27 | 88,03 | 334,33 | 1,76 | 12,30 | 1,60 | 101,64 | 313,24 | 1,90 | 14,10 | 2,06 | 105,21 | 366,52 | 2,36 | 15,90 | 1,70 | 82,80 | 362,08 | 2,63 | 17,70 | 2,35 | 126,61 | 457,54 | 2,66 |
| 10,52 | 1,27 | 90,92 | 333,22 | 1,76 | 12,32 | 1,67 | 97,19 | 316,56 | 1,90 | 14,12 | 2,08 | 105,32 | 363,19 | 2,36 | 15,92 | 1,68 | 80,03 | 362,08 | 2,63 | 17,72 | 2,38 | 124,16 | 464,20 | 2,66 |
| 10,54 | 1,26 | 91,03 | 338,76 | 1,75 | 12,34 | 1,74 | 95,85 | 322,12 | 1,90 | 14,14 | 2,11 | 106,76 | 362,08 | 2,35 | 15,94 | 1,69 | 75,47 | 360,96 | 2,64 | 17,74 | 2,47 | 114,05 | 467,53 | 2,67 |
| 10,56 | 1,26 | 90,03 | 342,10 | 1,76 | 12,36 | 1,80 | 93,18 | 326,55 | 1,91 | 14,16 | 2,07 | 113,65 | 364,30 | 2,36 | 15,96 | 1,65 | 71,25 | 357,64 | 2,66 | 17,76 | 2,46 | 111,27 | 507,49 | 2,67 |
| 10,58 | 1,25 | 90,91 | 347,65 | 1,76 | 12,38 | 1,87 | 89,29 | 321,01 | 1,90 | 14,18 | 2,03 | 117,21 | 365,41 | 2,36 | 15,98 | 1,57 | 69,02 | 350,98 | 2,64 | 17,78 | 2,64 | 104,38 | 503,05 | 2,68 |
| 10,60 | 1,30 | 90,58 | 349,86 | 1,76 | 12,40 | 1,89 | 83,40 | 304,35 | 1,94 | 14,20 | 2,08 | 113,20 | 368,74 | 2,36 | 16,00 | 1,53 | 66,24 | 345,43 | 2,63 | 17,80 | 2,80 | 102,71 | 509,71 | 2,70 |
| 10,62 | 1,32 | 91,14 | 352,09 | 1,77 | 12,42 | 1,93 | 79,95 | 284,38 | 1,94 | 14,22 | 2,11 | 111,09 | 366,52 | 2,37 | 16,02 | 1,45 | 65,02 | 337,65 | 2,66 | 17,82 | 2,88 | 103,93 | 506,38 | 2,71 |
| 10,64 | 1,35 | 90,25 | 350,98 | 1,76 | 12,44 | 1,94 | 83,18 | 277,72 | 1,92 | 14,24 | 2,07 | 113,09 | 364,30 | 2,38 | 16,04 | 1,38 | 64,91 | 329,89 | 2,66 | 17,84 | 2,91 | 105,81 | 510,82 | 2,73 |
| 10,66 | 1,20 | 77,33 | 345,43 | 1,80 | 12,46 | 1,88 | 90,28 | 217,78 | 1,96 | 14,26 | 2,05 | 113,75 | 363,19 | 2,38 | 16,06 | 1,25 | 68,86 | 301,03 | 2,63 | 17,86 | 2,87 | 111,37 | 517,48 | 2,73 |
| 10,68 | 1,24 | 75,44 | 338,76 | 1,79 | 12,48 | 1,87 | 99,62 | 211,12 | 1,94 | 14,28 | 2,04 | 111,19 | 362,08 | 2,38 | 16,08 | 1,26 | 71,97 | 301,03 | 2,64 | 17,88 | 2,76 | 117,92 | 517,48 | 2,74 |
| 10,70 | 1,24 | 75,67 | 333,22 | 1,79 | 12,50 | 1,89 | 108,95 | 212,23 | 1,96 | 14,30 | 2,02 | 107,41 | 358,75 | 2,39 | 16,10 | 1,30 | 72,76 | 307,69 | 2,63 | 17,90 | 2,65 | 120,92 | 514,15 | 2,74 |
| 10,72 | 1,22 | 77,33 | 328,78 | 1,76 | 12,52 | 1,87 | 115,72 | 215,55 | 1,98 | 14,32 | 2,01 | 103,19 | 350,98 | 2,38 | 16,12 | 1,40 | 71,42 | 317,68 | 2,63 | 17,92 | 2,62 | 117,81 | 509,71 | 2,75 |
| 10,74 | 1,20 | 78,55 | 326,55 | 1,79 | 12,54 | 1,83 | 123,83 | 211,12 | 1,96 | 14,34 | 1,96 | 105,85 | 345,43 | 2,39 | 16,14 | 1,44 | 68,76 | 343,21 | 2,63 | 17,94 | 2,59 | 114,03 | 505,26 | 2,75 |
| 10,76 | 1,18 | 80,11 | 326,55 | 1,76 | 12,56 | 1,78 | 129,39 | 208,90 | 1,96 | 14,36 | 1,88 | 106,52 | 344,32 | 2,40 | 16,16 | 1,56 | 66,20 | 364,30 | 2,62 | 17,96 | 2,54 | 114,47 | 505,26 | 2,73 |
| 10,78 | 1,18 | 81,33 | 327,66 | 1,79 | 12,58 | 1,82 | 129,61 | 205,56 | 1,96 | 14,38 | 1,87 | 106,07 | 342,10 | 2,40 | 16,18 | 1,63 | 61,09 | 367,63 | 2,63 | 17,98 | 2,45 | 114,80 | 495,28 | 2,74 |
| 10,80 | 1,17 | 82,22 | 325,45 | 1,79 | 12,60 | 1,78 | 131,39 | 208,90 | 1,98 | 14,40 | 1,89 | 105,07 | 342,10 | 2,38 | 16,20 | 1,65 | 57,87 | 367,63 | 2,63 | 18,00 | 2,34 | 112,47 | 484,18 | 2,73 |

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
# LETTURE DI CAMPAGNA

| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

| Prof. (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18,02 | 2,16 | 114,24 | 474,19 | 2,75 | 19,82 | 2,74 | 92,26 | 566,32 | 2,70 | 21,62 | 1,90 | 75,38 | 700,98 | 2,52 | 23,42 | 2,44 | 104,40 | 799,48 | 2,35 | 25,22 | 1,84 | 87,51 | 980,68 | 2,18 |
| 18,04 | 2,08 | 110,91 | 468,64 | 2,74 | 19,84 | 2,75 | 91,93 | 567,43 | 2,70 | 21,64 | 1,93 | 75,81 | 694,98 | 2,52 | 23,44 | 2,38 | 105,27 | 792,48 | 2,35 | 25,24 | 1,79 | 86,21 | 995,82 | 2,18 |
| 18,06 | 2,00 | 108,80 | 464,20 | 2,74 | 19,86 | 2,74 | 93,93 | 564,10 | 2,70 | 21,66 | 1,97 | 76,68 | 673,48 | 2,52 | 23,46 | 2,32 | 107,00 | 788,98 | 2,35 | 25,26 | 1,81 | 81,44 | 1010,45 | 2,18 |
| 18,08 | 1,90 | 111,22 | 471,96 | 2,70 | 19,88 | 2,71 | 96,04 | 558,55 | 2,71 | 21,68 | 2,01 | 79,71 | 664,48 | 2,51 | 23,48 | 2,30 | 105,27 | 786,48 | 2,35 | 25,28 | 1,79 | 78,84 | 1019,02 | 2,18 |
| 18,10 | 1,89 | 112,33 | 470,85 | 2,71 | 19,90 | 2,64 | 98,93 | 549,66 | 2,71 | 21,70 | 2,07 | 82,74 | 664,98 | 2,51 | 23,50 | 2,27 | 104,40 | 774,48 | 2,34 | 25,30 | 1,76 | 77,98 | 1021,04 | 2,18 |
| 18,12 | 1,84 | 111,34 | 470,85 | 2,71 | 19,92 | 2,58 | 103,60 | 544,12 | 2,71 | 21,72 | 2,13 | 85,77 | 663,98 | 2,51 | 23,52 | 2,19 | 103,97 | 773,48 | 2,34 | 25,32 | 1,81 | 72,35 | 1009,94 | 2,17 |
| 18,14 | 1,84 | 106,89 | 471,96 | 2,71 | 19,94 | 2,55 | 108,59 | 541,90 | 2,72 | 21,74 | 2,19 | 89,24 | 671,48 | 2,51 | 23,54 | 2,08 | 104,84 | 773,99 | 2,34 | 25,34 | 1,83 | 69,31 | 1001,87 | 2,17 |
| 18,16 | 1,90 | 100,66 | 473,08 | 2,72 | 19,96 | 2,53 | 113,04 | 535,24 | 2,71 | 21,76 | 2,21 | 93,14 | 655,98 | 2,51 | 23,56 | 1,95 | 106,14 | 788,98 | 2,34 | 25,36 | 1,85 | 66,71 | 996,32 | 2,17 |
| 18,18 | 1,89 | 96,55 | 473,08 | 2,73 | 19,98 | 2,47 | 117,82 | 527,46 | 2,71 | 21,78 | 2,25 | 95,74 | 636,48 | 2,50 | 23,58 | 1,93 | 101,80 | 797,98 | 2,34 | 25,38 | 1,89 | 66,28 | 994,31 | 2,17 |
| 18,20 | 1,89 | 92,22 | 474,19 | 2,74 | 20,00 | 2,40 | 119,71 | 524,14 | 2,68 | 21,80 | 2,26 | 98,34 | 638,48 | 2,50 | 23,60 | 1,87 | 98,34 | 796,48 | 2,33 | 25,40 | 1,90 | 65,85 | 1008,94 | 2,17 |
| 18,22 | 1,94 | 85,33 | 476,41 | 2,74 | 20,02 | 2,40 | 119,78 | 487,51 | 2,67 | 21,82 | 2,24 | 102,24 | 652,48 | 2,50 | 23,62 | 1,73 | 98,77 | 783,48 | 2,33 | | | | | |
| 18,24 | 1,96 | 78,77 | 479,74 | 2,75 | 20,04 | 2,38 | 115,78 | 478,63 | 2,66 | 21,84 | 2,26 | 103,54 | 660,48 | 2,50 | 23,64 | 1,62 | 97,47 | 778,48 | 2,33 | | | | | |
| 18,26 | 1,99 | 73,76 | 480,85 | 2,75 | 20,06 | 2,30 | 118,78 | 468,64 | 2,67 | 21,86 | 2,29 | 103,97 | 668,98 | 2,50 | 23,66 | 1,54 | 93,57 | 766,98 | 2,33 | | | | | |
| 18,28 | 2,01 | 70,87 | 480,85 | 2,76 | 20,08 | 2,20 | 117,78 | 460,86 | 2,67 | 21,88 | 2,27 | 107,00 | 662,98 | 2,49 | 23,68 | 1,51 | 88,37 | 767,98 | 2,33 | | | | | |
| 18,30 | 1,98 | 71,98 | 480,85 | 2,77 | 20,10 | 2,15 | 114,11 | 457,54 | 2,64 | 21,90 | 2,24 | 106,57 | 663,48 | 2,49 | 23,70 | 1,55 | 81,88 | 776,98 | 2,32 | | | | | |
| 18,32 | 2,00 | 71,43 | 483,06 | 2,78 | 20,12 | 2,15 | 109,00 | 468,64 | 2,66 | 21,92 | 2,20 | 108,30 | 670,98 | 2,49 | 23,72 | 1,60 | 78,41 | 778,48 | 2,32 | | | | | |
| 18,34 | 2,01 | 71,43 | 483,06 | 2,80 | 20,14 | 2,19 | 105,55 | 478,63 | 2,63 | 21,94 | 2,19 | 109,17 | 674,48 | 2,49 | 23,74 | 1,64 | 72,78 | 791,48 | 2,32 | | | | | |
| 18,36 | 2,05 | 71,31 | 484,18 | 2,79 | 20,16 | 2,24 | 101,88 | 495,28 | 2,63 | 21,96 | 2,17 | 110,03 | 696,98 | 2,49 | 23,76 | 1,71 | 68,01 | 790,98 | 2,32 | | | | | |
| 18,38 | 2,05 | 72,31 | 485,29 | 2,79 | 20,18 | 2,29 | 96,88 | 514,15 | 2,63 | 21,98 | 2,15 | 110,90 | 723,48 | 2,49 | 23,78 | 1,74 | 66,71 | 809,98 | 2,32 | | | | | |
| 18,40 | 2,07 | 73,98 | 485,29 | 2,81 | 20,20 | 2,38 | 87,21 | 516,36 | 2,63 | 22,00 | 2,19 | 111,77 | 726,98 | 2,48 | 23,80 | 1,78 | 64,98 | 835,48 | 2,32 | | | | | |
| 18,42 | 2,08 | 77,53 | 487,51 | 2,79 | 20,22 | 2,33 | 87,09 | 503,05 | 2,62 | 22,02 | 2,01 | 97,47 | 716,48 | 2,48 | 23,82 | 1,78 | 65,41 | 853,48 | 2,31 | | | | | |
| 18,44 | 2,14 | 81,53 | 497,50 | 2,79 | 20,24 | 2,33 | 92,09 | 519,70 | 2,63 | 22,04 | 2,17 | 113,93 | 727,98 | 2,48 | 23,84 | 1,80 | 65,41 | 870,48 | 2,31 | | | | | |
| 18,46 | 2,61 | 83,64 | 589,63 | 2,79 | 20,26 | 2,37 | 95,98 | 515,25 | 2,63 | 22,06 | 2,21 | 120,43 | 748,98 | 2,48 | 23,86 | 1,86 | 64,11 | 884,98 | 2,31 | | | | | |
| 18,48 | 3,07 | 85,75 | 581,75 | 2,79 | 20,28 | 2,26 | 101,32 | 515,25 | 2,63 | 22,08 | 2,19 | 125,20 | 754,98 | 2,48 | 23,88 | 1,95 | 61,08 | 926,98 | 2,31 | | | | | |
| 18,50 | 3,11 | 84,45 | 198,91 | 2,81 | 20,30 | 2,34 | 91,76 | 506,38 | 2,62 | 22,10 | 2,17 | 127,80 | 773,98 | 2,47 | 23,90 | 1,95 | 63,25 | 941,98 | 2,31 | | | | | |
| 18,52 | 2,85 | 88,01 | 166,72 | 2,80 | 20,32 | 2,30 | 91,43 | 484,18 | 2,61 | 22,12 | 2,15 | 129,96 | 781,98 | 2,47 | 23,92 | 1,96 | 64,55 | 958,48 | 2,30 | | | | | |
| 18,54 | 2,61 | 90,34 | 301,03 | 2,80 | 20,34 | 2,10 | 93,65 | 464,20 | 2,63 | 22,14 | 2,20 | 128,66 | 788,98 | 2,47 | 23,94 | 1,97 | 67,15 | 960,48 | 2,30 | | | | | |
| 18,56 | 2,54 | 94,22 | 354,31 | 2,81 | 20,36 | 1,91 | 86,87 | 420,91 | 2,62 | 22,16 | 2,22 | 126,93 | 791,98 | 2,47 | 23,96 | 2,01 | 67,58 | 963,48 | 2,30 | | | | | |
| 18,58 | 2,66 | 103,45 | 368,74 | 2,81 | 20,38 | 1,70 | 89,19 | 390,94 | 2,63 | 22,18 | 2,26 | 125,63 | 792,98 | 2,47 | 23,98 | 2,02 | 71,05 | 966,48 | 2,30 | | | | | |
| 18,60 | 2,52 | 109,44 | 350,98 | 2,81 | 20,40 | 1,49 | 96,64 | 375,40 | 2,61 | 22,20 | 2,23 | 124,76 | 805,48 | 2,46 | 24,00 | 2,01 | 75,38 | 964,48 | 2,30 | | | | | |
| 18,62 | 2,41 | 117,22 | 388,72 | 2,81 | 20,42 | 1,34 | 99,53 | 367,63 | 2,61 | 22,22 | 2,16 | 129,09 | 822,98 | 2,46 | 24,02 | 1,99 | 78,41 | 970,48 | 2,30 | | | | | |
| 18,64 | 2,40 | 119,11 | 384,28 | 2,81 | 20,44 | 1,30 | 102,53 | 364,30 | 2,61 | 22,24 | 2,15 | 132,13 | 870,48 | 2,46 | 24,04 | 1,93 | 78,84 | 981,48 | 2,29 | | | | | |
| 18,66 | 2,38 | 124,77 | 383,16 | 2,81 | 20,46 | 1,39 | 93,53 | 380,95 | 2,62 | 22,26 | 2,14 | 132,13 | 898,98 | 2,46 | 24,06 | 1,90 | 78,41 | 978,48 | 2,29 | | | | | |
| 18,68 | 2,35 | 132,11 | 388,72 | 2,81 | 20,48 | 1,48 | 87,25 | 339,88 | 2,61 | 22,28 | 2,10 | 129,53 | 898,98 | 2,46 | 24,08 | 1,91 | 76,89 | 982,47 | 2,29 | | | | | |
| 18,70 | 2,31 | 133,44 | 394,26 | 2,81 | 20,50 | 1,54 | 77,03 | 402,04 | 2,59 | 22,30 | 2,04 | 126,93 | 927,48 | 2,46 | 24,10 | 1,96 | 74,94 | 983,97 | 2,29 | | | | | |
| 18,72 | 2,30 | 126,43 | 390,94 | 2,83 | 20,52 | 1,65 | 76,47 | 447,55 | 2,60 | 22,32 | 1,98 | 123,90 | 938,48 | 2,45 | 24,12 | 1,94 | 78,41 | 982,47 | 2,29 | | | | | |
| 18,74 | 2,38 | 117,77 | 388,72 | 2,81 | 20,54 | 1,71 | 72,80 | 553,00 | 2,60 | 22,34 | 1,88 | 123,46 | 996,48 | 2,45 | 24,14 | 1,89 | 79,71 | 983,97 | 2,28 | | | | | |
| 18,76 | 2,40 | 71,31 | 484,18 | 2,83 | 20,56 | 1,80 | 67,68 | 610,72 | 2,62 | 22,36 | 1,84 | 119,56 | 1017,48 | 2,45 | 24,16 | 1,85 | 78,41 | 987,47 | 2,28 | | | | | |
| 18,78 | 2,41 | 117,98 | 389,83 | 2,81 | 20,58 | 2,03 | 59,46 | 625,15 | 2,61 | 22,38 | 1,90 | 110,90 | 1026,98 | 2,45 | 24,18 | 1,79 | 77,98 | 981,47 | 2,28 | | | | | |
| 18,80 | 2,42 | 119,65 | 396,49 | 2,81 | 20,60 | 2,26 | 56,79 | 632,92 | 2,63 | 22,40 | 1,97 | 103,97 | 1026,98 | 2,45 | 24,20 | 1,79 | 73,64 | 970,98 | 2,28 | | | | | |
| 18,82 | 2,40 | 123,64 | 408,70 | 2,83 | 20,62 | 2,39 | 64,57 | 685,09 | 2,61 | 22,42 | 2,00 | 95,74 | 1029,48 | 2,44 | 24,22 | 1,78 | 74,51 | 962,98 | 2,28 | | | | | |
| 18,84 | 2,45 | 125,30 | 415,35 | 2,83 | 20,64 | 2,65 | 63,57 | 706,18 | 2,62 | 22,44 | 1,95 | 91,84 | 1030,48 | 2,44 | 24,24 | 1,78 | 73,64 | 955,98 | 2,27 | | | | | |
| 18,86 | 2,51 | 127,41 | 420,91 | 2,84 | 20,66 | 2,84 | 62,35 | 699,52 | 2,63 | 22,46 | 2,00 | 87,94 | 1035,97 | 2,44 | 24,26 | 1,80 | 69,75 | 945,98 | 2,27 | | | | | |
| 18,88 | 2,60 | 127,63 | 432,01 | 2,81 | 20,68 | 2,90 | 64,24 | 697,30 | 2,62 | 22,48 | 2,09 | 84,91 | 1034,47 | 2,44 | 24,28 | 1,85 | 67,58 | 926,98 | 2,27 | | | | | |
| 18,90 | 2,77 | 126,40 | 446,44 | 2,81 | 20,70 | 2,92 | 72,46 | 661,78 | 2,63 | 22,50 | 2,05 | 90,97 | 996,48 | 2,44 | 24,30 | 1,92 | 64,11 | 922,48 | 2,27 | | | | | |
| 18,92 | 2,93 | 123,51 | 453,10 | 2,80 | 20,72 | 2,86 | 88,68 | 631,81 | 2,64 | 22,52 | 2,01 | 97,04 | 932,97 | 2,43 | 24,32 | 1,93 | 66,28 | 907,98 | 2,27 | | | | | |
| 18,94 | 3,04 | 125,85 | 455,32 | 2,80 | 20,74 | 2,85 | 104,68 | 631,81 | 2,64 | 22,54 | 2,05 | 96,17 | 971,97 | 2,43 | 24,34 | 2,05 | 64,98 | 891,48 | 2,27 | | | | | |
| 18,96 | 3,10 | 129,62 | 461,98 | 2,80 | 20,76 | 2,78 | 107,00 | 669,55 | 2,63 | 22,56 | 2,13 | 92,27 | 986,97 | 2,43 | 24,36 | 2,15 | 66,28 | 878,48 | 2,26 | | | | | |
| 18,98 | 3,13 | 136,40 | 478,63 | 2,80 | 20,78 | 2,75 | 104,11 | 670,44 | 2,62 | 22,58 | 2,12 | 93,14 | 1001,47 | 2,43 | 24,38 | 2,17 | 71,91 | 860,98 | 2,26 | | | | | |
| 19,00 | 3,12 | 141,95 | 536,35 | 2,78 | 20,80 | 2,78 | 104,40 | 677,98 | 2,60 | 22,60 | 2,13 | 94,44 | 1009,97 | 2,43 | 24,40 | 2,24 | 73,64 | 839,98 | 2,26 | | | | | |
| 19,02 | 2,67 | 119,30 | 494,16 | 2,76 | 20,82 | 2,89 | 109,60 | 686,48 | 2,59 | 22,62 | 2,16 | 92,27 | 1011,97 | 2,43 | 24,42 | 2,23 | 79,28 | 836,98 | 2,26 | | | | | |
| 19,04 | 3,28 | 159,75 | 508,60 | 2,74 | 20,84 | 2,92 | 113,50 | 695,48 | 2,59 | 22,64 | 2,16 | 89,67 | 1000,97 | 2,42 | 24,44 | 2,26 | 80,58 | 833,98 | 2,26 | | | | | |
| 19,06 | 3,29 | 166,64 | 514,15 | 2,73 | 20,86 | 2,84 | 117,40 | 701,98 | 2,59 | 22,66 | 2,24 | 87,07 | 992,97 | 2,42 | 24,46 | 2,28 | 84,47 | 828,48 | 2,25 | | | | | |
| 19,08 | 3,30 | 171,75 | 513,04 | 2,75 | 20,88 | 2,75 | 121,73 | 708,98 | 2,59 | 22,68 | 2,29 | 89,67 | 987,47 | 2,42 | 24,48 | 2,33 | 87,94 | 825,98 | 2,25 | | | | | |
| 19,10 | 3,24 | 178,52 | 519,70 | 2,73 | 20,90 | 2,64 | 125,63 | 715,98 | 2,59 | 22,70 | 2,22 | 94,87 | 985,47 | 2,42 | 24,50 | 2,34 | 90,97 | 824,98 | 2,25 | | | | | |
| 19,12 | 3,29 | 177,30 | 535,24 | 2,74 | 20,92 | 2,50 | 133,86 | 710,98 | 2,58 | 22,72 | 2,19 | 95,74 | 999,97 | 2,42 | 24,52 | 2,37 | 93,57 | 822,98 | 2,25 | | | | | |
| 19,14 | 3,33 | 174,52 | 521,92 | 2,73 | 20,94 | 2,43 | 139,92 | 703,98 | 2,58 | 22,74 | 2,19 | 98,34 | 994,97 | 2,41 | 24,54 | 2,37 | 96,60 | 827,48 | 2,25 | | | | | |
| 19,16 | 3,27 | 178,29 | 525,25 | 2,72 | 20,96 | 2,54 | 142,09 | 703,98 | 2,58 | 22,76 | 2,16 | 101,37 | 1009,47 | 2,41 | 24,56 | 2,36 | 97,90 | 808,48 | 2,24 | | | | | |
| 19,18 | 3,28 | 178,62 | 529,69 | 2,73 | 20,98 | 2,67 | 144,26 | 709,98 | 2,58 | 22,78 | 2,11 | 106,14 | 1006,47 | 2,41 | 24,58 | 2,41 | 98,77 | 734,48 | 2,24 | | | | | |
| 19,20 | 3,30 | 176,29 | 535,24 | 2,72 | 21,00 | 2,67 | 133,86 | 713,98 | 2,58 | 22,80 | 2,06 | 109,60 | 1001,97 | 2,41 | 24,60 | 2,45 | 98,34 | 817,48 | 2,24 | | | | | |
| 19,22 | 3,33 | 174,50 | 529,69 | 2,70 | 21,02 | 2,91 | 141,22 | 710,48 | 2,57 | 22,82 | 2,06 | 107,00 | 987,47 | 2,41 | 24,62 | 2,46 | 100,07 | 820,98 | 2,24 | | | | | |
| 19,24 | 3,29 | 175,17 | 519,70 | 2,71 | 21,04 | 3,16 | 142,09 | 708,98 | 2,57 | 22,84 | 2,11 | 105,27 | 975,97 | 2,41 | 24,64 | 2,49 | 100,50 | 806,48 | 2,24 | | | | | |
| 19,26 | 3,16 | 184,05 | 516,36 | 2,71 | 21,06 | 3,23 | 137,76 | 705,48 | 2,57 | 22,86 | 2,21 | 103,54 | 967,48 | 2,40 | 24,66 | 2,48 | 102,67 | 793,98 | 2,24 | | | | | |
| 19,28 | 3,08 | 184,60 | 582,96 | 2,72 | 21,08 | 3,24 | 137,76 | 704,48 | 2,57 | 22,88 | 2,23 | 104,40 | 953,98 | 2,40 | 24,68 | 2,48 | 105,27 | 784,98 | 2,23 | | | | | |
| 19,30 | 3,08 | 181,59 | 577,42 | 2,72 | 21,10 | 3,22 | 135,16 | 705,98 | 2,57 | 22,90 | 2,24 | 107,43 | 935,98 | 2,40 | 24,70 | 2,49 | 107,43 | 777,98 | 2,23 | | | | | |
| 19,32 | 3,09 | 177,70 | 566,32 | 2,71 | 21,12 | 3,21 | 134,73 | 712,48 | 2,57 | 22,92 | 2,34 | 104,40 | 917,98 | 2,40 | 24,72 | 2,47 | 110,47 | 774,98 | 2,23 | | | | | |
| 19,34 | 2,97 | 177,03 | 560,76 | 2,72 | 21,14 | 3,17 | 136,03 | 721,48 | 2,56 | 22,94 | 2,39 | 102,67 | 905,48 | 2,40 | 24,74 | 2,42 | 113,50 | 773,48 | 2,23 | | | | | |
| 19,36 | 2,92 | 173,03 | 551,89 | 2,70 | 21,16 | 3,07 | 139,49 | 734,98 | 2,56 | 22,96 | 2,41 | 103,54 | 883,98 | 2,39 | 24,76 | 2,39 | 115,67 | 784,98 | 2,23 | | | | | |
| 19,38 | 2,84 | 165,58 | 547,45 | 2,72 | 21,18 | 2,93 | 145,56 | 751,98 | 2,56 | 22,98 | 2,55 | 110,90 | 852,98 | 2,39 | 24,78 | 2,34 | 116,53 | 790,98 | 2,22 | | | | | |
| 19,40 | 2,73 | 161,35 | 541,90 | 2,72 | 21,20 | 2,78 | 152,05 | 759,48 | 2,56 | 23,00 | 2,62 | 116,10 | 824,48 | 2,39 | 24,80 | 2,34 | 114,80 | 799,48 | 2,22 | | | | | |
| 19,42 | 2,56 | 160,46 | 574,09 | 2,70 | 21,22 | 2,66 | 154,22 | 766,98 | 2,56 | 23,02 | 2,67 | 120,00 | 799,98 | 2,39 | 24,82 | 2,27 | 110,03 | 803,98 | 2,22 | | | | | |
| 19,44 | 2,55 | 159,11 | 581,85 | 2,72 | 21,24 | 2,52 | 157,25 | 769,98 | 2,55 | 23,04 | 2,42 | 104,40 | 787,98 | 2,39 | 24,84 | 2,22 | 113,93 | 810,98 | 2,22 | | | | | |
| 19,46 | 2,56 | 143,67 | 580,75 | 2,71 | 21,26 | 2,38 | 156,39 | 763,98 | 2,55 | 23,06 | 2,58 | 119,13 | 746,48 | 2,38 | 24,86 | 2,23 | 111,33 | 818,98 | 2,22 | | | | | |
| 19,48 | 2,51 | 147,50 | 535,24 | 2,67 | 21,28 | 2,29 | 153,35 | 762,48 | 2,55 | 23,08 | 2,69 | 132,56 | 714,48 | 2,38 | 24,88 | 2,16 | 111,33 | 812,70 | 2,21 | | | | | |
| 19,50 | 2,64 | 138,39 | 545,23 | 2,68 | 21,30 | 2,15 | 149,02 | 764,48 | 2,55 | 23,10 | 2,66 | 139,49 | 696,48 | 2,38 | 24,90 | 2,11 | 110,90 | 830,36 | 2,21 | | | | | |
| 19,52 | 2,66 | 130,61 | 544,12 | 2,68 | 21,32 | 2,07 | 142,09 | 754,98 | 2,55 | 23,12 | 2,64 | 142,52 | 678,48 | 2,38 | 24,92 | 2,07 | 109,17 | 878,28 | 2,21 | | | | | |
| 19,54 | 2,70 | 123,39 | 540,79 | 2,70 | 21,34 | 2,01 | 134,73 | 750,48 | 2,54 | 23,14 | 2,68 | 140,36 | 683,48 | 2,38 | 24,94 | 2,04 | 111,33 | 896,95 | 2,21 | | | | | |
| 19,56 | 2,66 | 120,94 | 535,24 | 2,68 | 21,36 | 1,97 | 128,66 | 738,48 | 2,54 | 23,16 | 2,71 | 136,03 | 697,49 | 2,38 | 24,96 | 1,99 | 110,47 | 907,04 | 2,21 | | | | | |
| 19,58 | 2,64 | 122,05 | 536,35 | 2,70 | 21,38 | 1,98 | 121,73 | 731,48 | 2,54 | 23,18 | 2,69 | 132,56 | 707,48 | 2,37 | 24,98 | 2,00 | 103,10 | 935,80 | 2,21 | | | | | |
| 19,60 | 2,56 | 124,50 | 536,35 | 2,68 | 21,40 | 1,93 | 114,80 | 726,48 | 2,54 | 23,20 | 2,67 | 130,83 | 717,48 | 2,37 | 25,00 | 1,99 | 98,34 | 946,89 | 2,20 | | | | | |
| 19,62 | 2,57 | 122,61 | 541,90 | 2,70 | 21,42 | 1,92 | 108,73 | 708,48 | 2,54 | 23,22 | 2,62 | 129,96 | 736,48 | 2,37 | 25,02 | 1,96 | 94,44 | 1005,41 | 2,20 | | | | | |
| 19,64 | 2,62 | 120,50 | 544,12 | 2,70 | 21,44 | 1,91 | 101,37 | 704,98 | 2,54 | 23,24 | 2,63 | 127,80 | 739,98 | 2,37 | 25,04 | 1,99 | 88,37 | 1026,60 | 2,20 | | | | | |
| 19,66 | 2,64 | 116,16 | 545,23 | 2,70 | 21,46 | 1,91 | 94,01 | 703,48 | 2,53 | 23,26 | 2,59 | 127,80 | 763,48 | 2,37 | 25,06 | 1,99 | 86,64 | 1036,19 | 2,20 | | | | | |
| 19,68 | 2,60 | 114,72 | 544,12 | 2,68 | 21,48 | 1,89 | 88,81 | 684,48 | 2,53 | 23,28 | 2,55 | 125,20 | 769,98 | 2,36 | 25,08 | 2,01 | 85,34 | 1036,19 | 2,20 | | | | | |
| 19,70 | 2,62 | 109,94 | 546,34 | 2,70 | 21,50 | 1,85 | 84,47 | 667,48 | 2,53 | 23,30 | 2,55 | 121,30 | 783,98 | 2,36 | 25,10 | 1,92 | 76,68 | 1038,71 | 2,19 | | | | | |
| 19,72 | 2,57 | 105,83 | 543,01 | 2,70 | 21,52 | 1,86 | 81,01 | 694,48 | 2,53 | 23,32 | 2,53 | 118,70 | 798,48 | 2,36 | 25,12 | 1,83 | 74,51 | 1039,72 | 2,19 | | | | | |
| 19,74 | 2,56 | 102,82 | 545,23 | 2,68 | 21,54 | 1,88 | 77,54 | 704,98 | 2,53 | 23,34 | 2,55 | 115,23 | 791,98 | 2,36 | 25,14 | 2,02 | 89,24 | 1045,26 | 2,19 | | | | | |
| 19,76 | 2,58 | 99,94 | 549,66 | 2,70 | 21,56 | 1,89 | 75,38 | 699,98 | 2,52 | 23,36 | 2,56 | 108,73 | 794,98 | 2,36 | 25,16 | 2,02 | 88,37 | 1043,74 | 2,19 | | | | | |
| 19,78 | 2,66 | 97,60 | 559,65 | 2,70 | 21,58 | 1,89 | 74,51 | 707,48 | 2,52 | 23,38 | 2,51 | 106,57 | 797,98 | 2,35 | 25,18 | 1,97 | 87,94 | 1005,41 | 2,19 | | | | | |
| 19,80 | 2,73 | 95,05 | 566,32 | 2,70 | 21,60 | 1,90 | 74,51 | 707,98 | 2,52 | 23,40 | 2,45 | 105,70 | 801,98 | 2,35 | 25,20 | 1,91 | 88,37 | 941,33 | 2,19 | | | | | |

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
# LETTURE DI CAMPAGNA

| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

| Prof. (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° | Prof (m) | qc MPa | fs kPa | U kPa | Inc. ° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

qc = resist. alla punta (Mpa)
fs = resist. per attrito lat. (kPa)
U = pressione neutra (kPa)
Inc. = inclinazione dalla verticale (°)
Diametro punta: 3.57 cm
Area punta: 10 $cm^2$
Punta: Tecnopenta G1 CPL2In

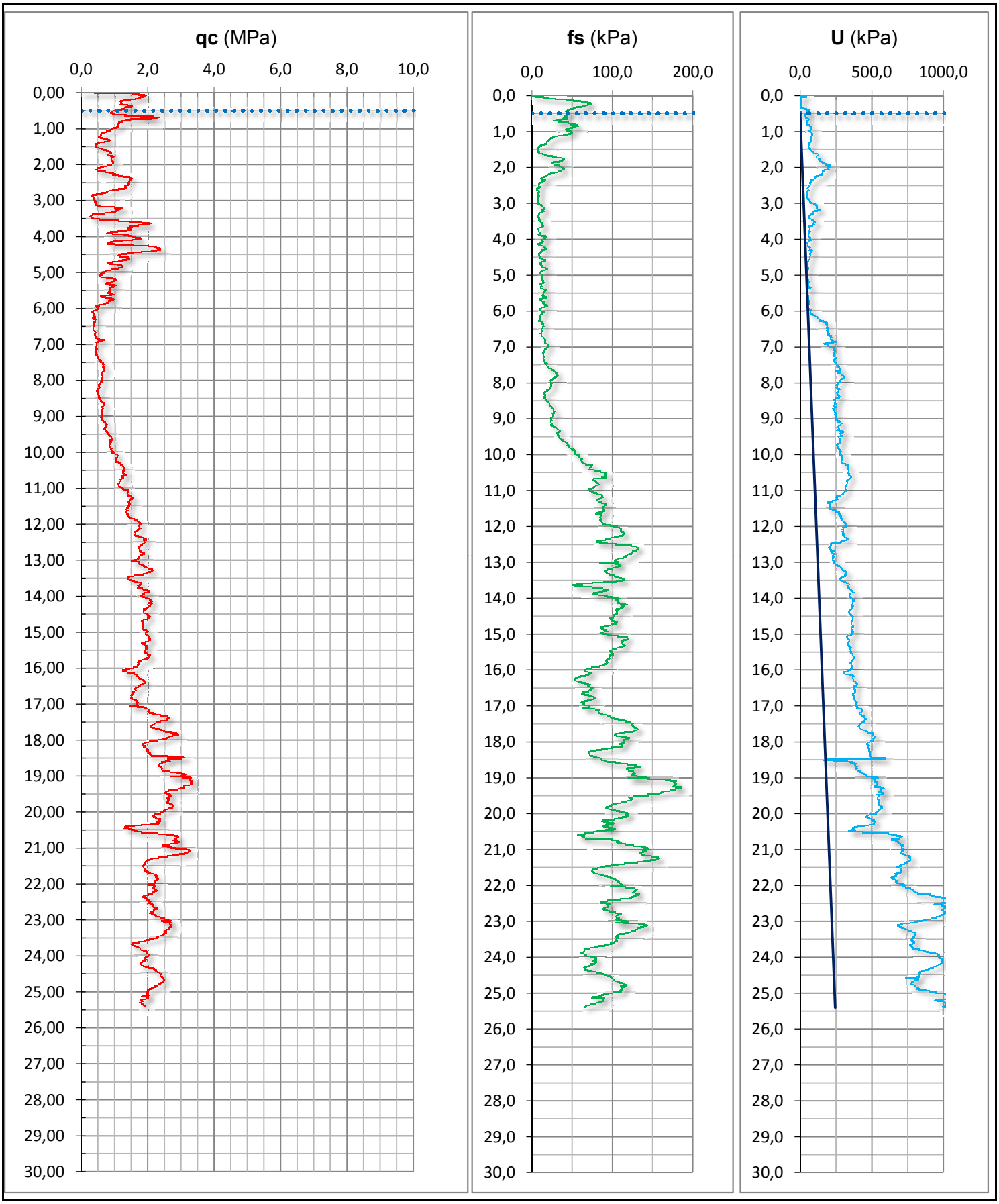
DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
# DIAGRAMMI DI RESISTENZA

| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00



Dott. Geol. Thomas Veronese

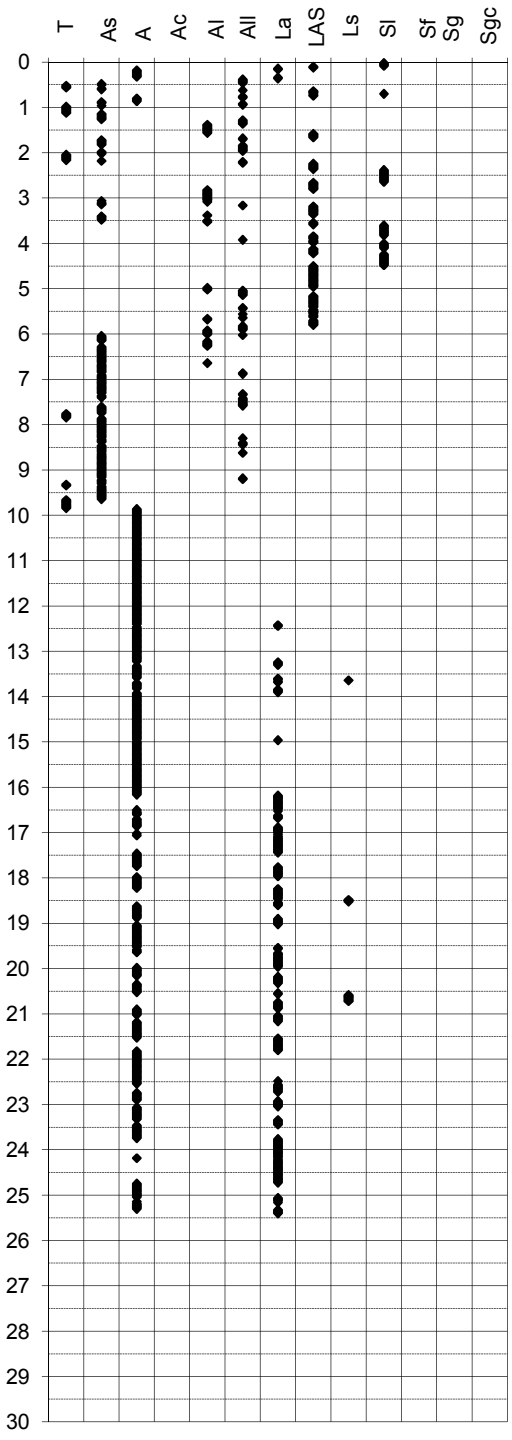
| | |
|---|---|
| Identificativo | **U17-14** |
| Emissione | feb-14 |
| Pagina | 1 di 2 |

# PROVA PENETROMETRICA STATICA

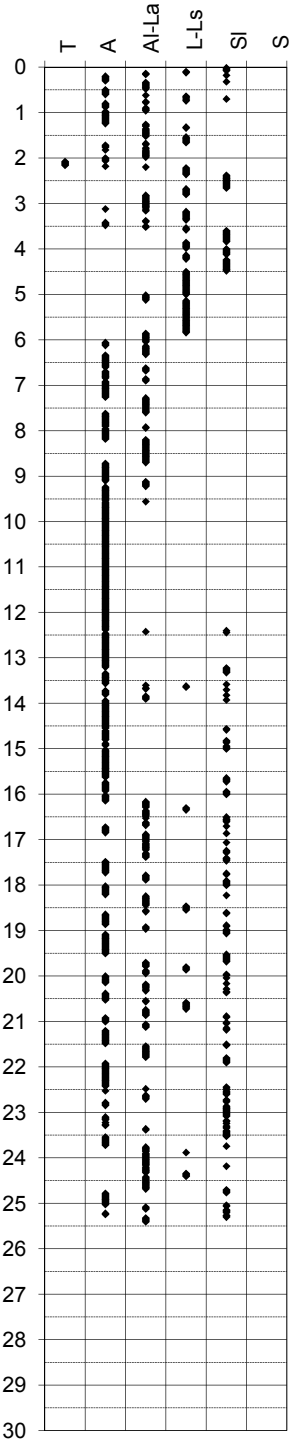
## INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

| | | | |
|---|---|---|---|
| -Committente | **EFFE costruzioni s.r.l.** | -Prova n° | **CPTU1** |
| -Cantiere | **POC via Santa Liberata, Cento (Fe)** | -Data prova | **21/02/2014** |
| -Quota p.c. | 17,20 m s.l.m. | -Prof. preforo | m |
| -Livello di falda | 0,50 m da p.c. | -Prof. finale | **25,40** m |
| -Attrezzatura | Punta elettrica con piezocono | | |

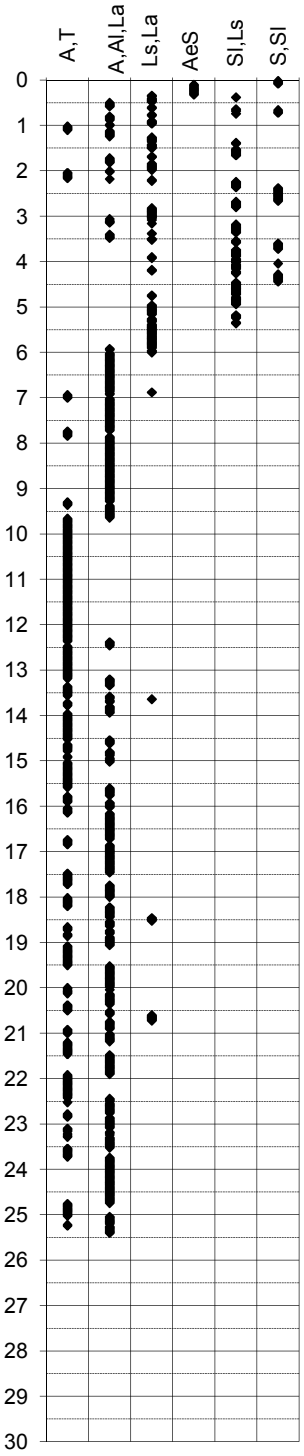
**Douglas-Olsen (1981)**




**Robertson-Campanella(1983)**




**Olsen-Farr (1986)**



Dott. Geol. Thomas Veronese

| Identificativo | U17-14 |
|---|---|
| Emissione | feb-14 |
| Pagina | 1 di 2 |

# PROVA PENETROMETRICA STATICA

## PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente **EFFE costruzioni s.r.l.**
-Cantiere **POC via Santa Liberata, Cento (Fe)**
-Quota p.c. **17,20** m s.l.m.
-Livello di falda **0,50** m da p.c.

-Prova n° **CPTU1**
-Data prova **21/02/2014**
-Prof. preforo **0,00** m
-Prof. finale **25,40** m

| | | | | | | | MATERIALI COESIVI | | | | | | MATERIALI GRANULARI | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DA | A | qcm | fsm | deltaU | litol. | Peso Vol. | Cu (qc) | OCR (qc) | OCR (U) | $M_0$ | Eu50 | CR | Dr | Fl'$_{DM}$ | Fl'Schm. | | | | E'25 | $M_0$ |
| m | m | MPa | MPa | MPa | (-) | kN/m3 | KPa | (-) | (-) | MPa | MPa | (-) | (%) | (°) | (°) | | | | MPa | MPa |
| **0,0** | **1,2** | 1,22 | 0,04 | 0,03 | **AL** | 20,00 | 69 | 20 | 9 | 4,31 | 11,69 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **1,2** | **2,3** | 0,73 | 0,02 | 0,11 | **LA** | 20,00 | 41 | 17 | 7 | 3,07 | 6,741 | 0,10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **2,3** | **4,5** | 1,14 | 0,01 | 0,04 | **SL** | 19,00 | - | - | - | - | - | - | <20 | 30 | 29 | 32 | 35 | 39 | 3,43 | 5,48 |
| **4,5** | **6,0** | 0,87 | 0,01 | 0,01 | **LS** | 20,00 | - | - | - | - | - | - | <20 | 29 | 26 | 30 | 33 | 37 | 2,47 | 3,96 |
| **6,0** | **7,5** | 0,43 | 0,01 | 0,13 | **A** | 17,50 | 20 | 2 | 4 | 2,13 | 10,87 | 0,30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **7,5** | **10,0** | 0,67 | 0,03 | 0,18 | **A** | 17,50 | 31 | 3 | 4 | 3,09 | 15,44 | 0,29 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **10,0** | **17,0** | 1,66 | 0,09 | 0,19 | **A** | 17,50 | 82 | 4 | 7 | 5,25 | 30,17 | 0,15 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **17,0** | **25,4** | 2,30 | 0,11 | 0,47 | **A** | 17,50 | 111 | 4 | 5 | 6,84 | 43,38 | 0,18 | - | - | - | - | - | - | - | - |

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
# PROVA DOWN HOLE SCPTU

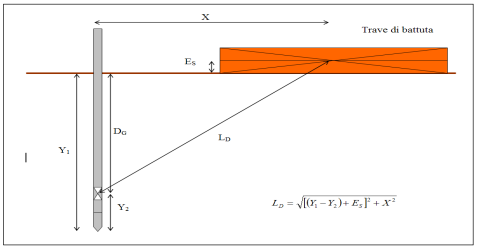
| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

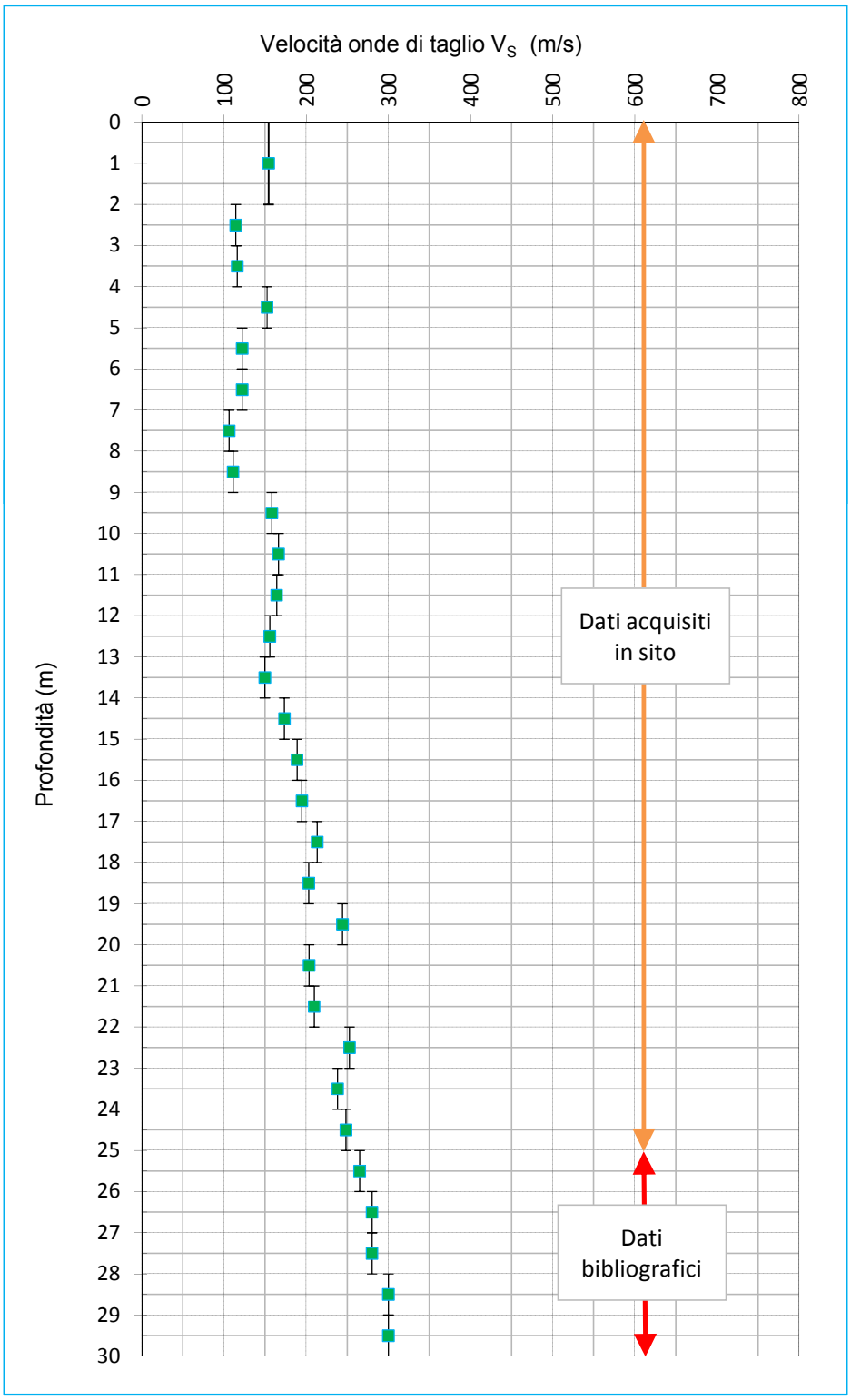
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

| | |
|---|---|
| Peso mazza battente: | 5Kg |
| Ricevitore Down Hole: | G1-cpl2IN |
| Equipaggiamento di registrazione: | D1-SISMI USB |
| Distanza centro sorgente-verticale X: | 0,25 m |
| Distanza punta-accelerometro $Y_2$: | 0,20 m |

**$Vs_{30}$= 182 m/sec Categoria suolo di fondazione = C**




| Distanza corretta $L_D$ punta elettrica | Tempo di arrivo onda S (millisecondi) | Velocità onde S dello strato (m/sec) |
|---|---|---|
| 0,000 | | |
| | | |
| 0,838 | | 154 |
| | | |
| 1,817 | 11,787 | |
| | | 114 |
| 2,811 | 20,492 | |
| | | 116 |
| 3,808 | 29,098 | |
| | | 152 |
| 4,807 | 35,656 | |
| | | 122 |
| 5,805 | 43,852 | |
| | | 122 |
| 6,805 | 52,049 | |
| | | 106 |
| 7,804 | 61,475 | |
| | | 111 |
| 8,804 | 70,492 | |
| | | 158 |
| 9,803 | 76,820 | |
| | | 166 |
| 10,803 | 82,836 | |
| | | 164 |
| 11,803 | 88,934 | |
| | | 156 |
| 12,802 | 95,361 | |
| | | 149 |
| 13,802 | 102,049 | |
| | | 173 |
| 14,802 | 107,816 | |
| | | 189 |
| 15,802 | 113,115 | |
| | | 195 |
| 16,802 | 118,252 | |
| | | 213 |
| 17,802 | 122,941 | |
| | | 203 |
| 18,802 | 127,869 | |
| | | 244 |
| 19,802 | 131,967 | |
| | | 203 |
| 20,802 | 136,885 | |
| | | 210 |
| 21,801 | 141,656 | |
| | | 253 |
| 22,801 | 145,613 | |
| | | 238 |
| 23,801 | 149,811 | |
| | | 248 |
| 24,801 | 153,837 | |
| | | 265 |
| 25,801 | | |
| | | 280 |
| 26,801 | | |
| | | 280 |
| 27,801 | | |
| | | 300 |
| 28,801 | | |
| | | 300 |
| 29,801 | | |



DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
# PROVA DOWN HOLE SCPTU

| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
|---|---|
| U17-14 | CPTU1 |

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
DATA: 21/02/2014

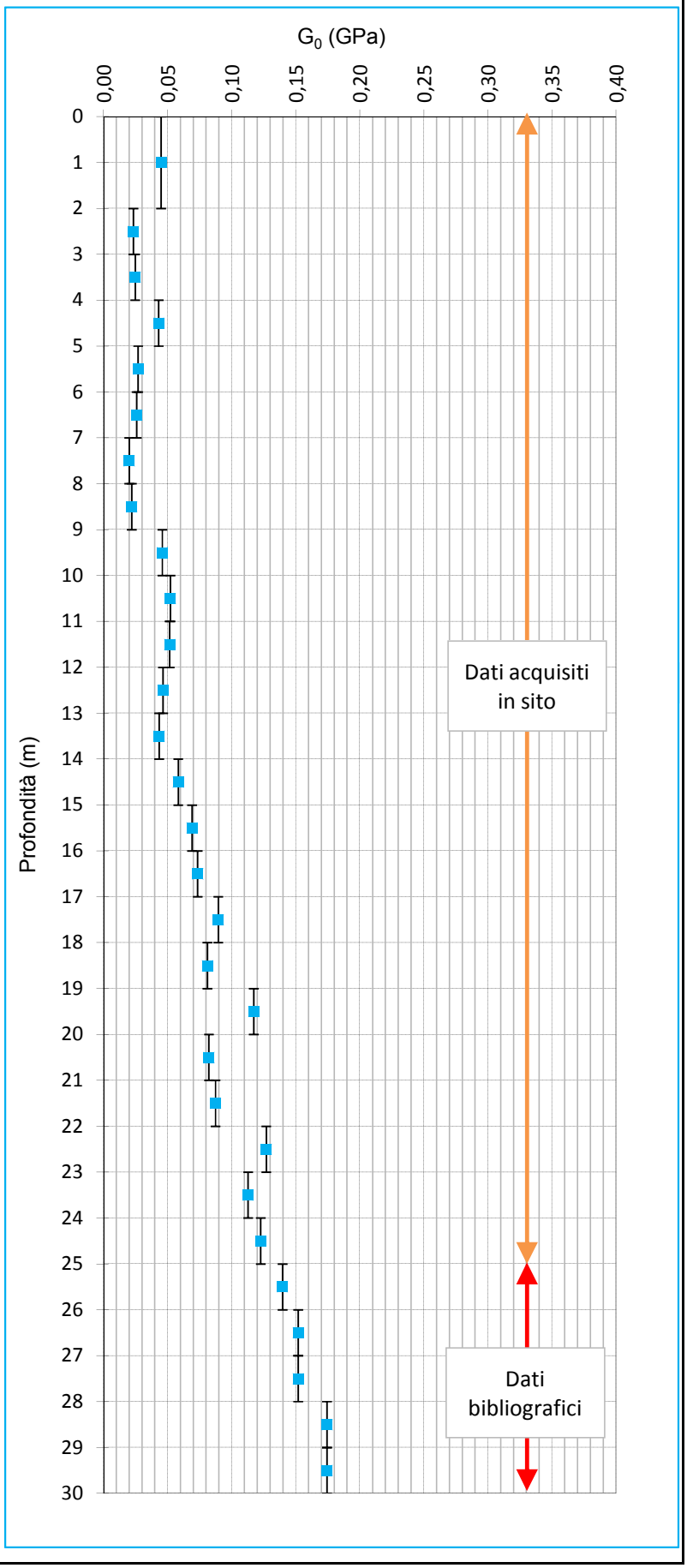
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

$G_0 = Vs^2 \rho$ → $\rho = \gamma / g$

dove:

ρ: massa volumica data dal rapporto tra il peso di volume γ e l'accelerazione di gravita g

| Profondità punta elettrica (m) | Velocità onde S dello strato (m/sec) | Peso di volume (tonn/m$^3$) | $G_0$ (GPa) |
|---|---|---|---|
| 0,0 | | | |
| | | | |
| 1,0 | 154 | 1,85 | 0,0448 |
| | | | |
| 2,0 | | | |
| | 114 | 1,75 | 0,0233 |
| 3,0 | | | |
| | 116 | 1,80 | 0,0246 |
| 4,0 | | | |
| | 152 | 1,82 | 0,0430 |
| 5,0 | | | |
| | 122 | 1,78 | 0,0270 |
| 6,0 | | | |
| | 122 | 1,70 | 0,0258 |
| 7,0 | | | |
| | 106 | 1,75 | 0,0201 |
| 8,0 | | | |
| | 111 | 1,75 | 0,0219 |
| 9,0 | | | |
| | 158 | 1,80 | 0,0458 |
| 10,0 | | | |
| | 166 | 1,85 | 0,0521 |
| 11,0 | | | |
| | 164 | 1,88 | 0,0515 |
| 12,0 | | | |
| | 156 | 1,88 | 0,0464 |
| 13,0 | | | |
| | 149 | 1,90 | 0,0433 |
| 14,0 | | | |
| | 173 | 1,90 | 0,0582 |
| 15,0 | | | |
| | 189 | 1,90 | 0,0690 |
| 16,0 | | | |
| | 195 | 1,90 | 0,0734 |
| 17,0 | | | |
| | 213 | 1,93 | 0,0895 |
| 18,0 | | | |
| | 203 | 1,93 | 0,0810 |
| 19,0 | | | |
| | 244 | 1,93 | 0,1171 |
| 20,0 | | | |
| | 203 | 1,95 | 0,0822 |
| 21,0 | | | |
| | 210 | 1,95 | 0,0873 |
| 22,0 | | | |
| | 253 | 1,95 | 0,1269 |
| 23,0 | | | |
| | 238 | 1,95 | 0,1128 |
| 24,0 | | | |
| | 248 | 1,95 | 0,1226 |
| 25,0 | | | |
| | 265 | 1,95 | 0,1396 |
| 26,0 | | | |
| | 280 | 1,90 | 0,1518 |
| 27,0 | | | |
| | 280 | 1,90 | 0,1518 |
| 28,0 | | | |
| | 300 | 1,90 | 0,1743 |
| 29,0 | | | |
| | 300 | 1,90 | 0,1743 |
| 30,0 | | | |



**Dott. Geol.**
**Thomas Veronese**
**Via Romea, 80**
**44023 Vaccolino (FE)**

| Inizio Esecuzione | Fine Esecuzione | Metodo Perfor. | Sondaggio |
|---|---|---|---|
| 21/02/2014 | // | Sondaggio a coclea | S1 |

| Quota | Attrezzo |
|---|---|
| p.c. | Sonda oleodinamica |

| Committente | Località |
|---|---|
| Effe Costruzioni srl | Cento Fe |

Campioni
Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI]
Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]

Foto

| Livello Acqua | | Prof. Foro | Prof. Riv. | Assistente |
|---|---|---|---|---|
| Data | Mt. p.c. | | | T. Veronese |
| 21-02-14 | 0.50 | 4.00 | | Operatore L. Lunghi |

| MT. | QUOTA DA P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI tipo | CAMPIONI num | CAMPIONI PROF | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | % R.Q.D. | P.P. kg/cm2 | T.V. kg/cm2 | S.P.T. N1 | S.P.T. N2 | S.P.T. N3 | Liv. acqua | Piezometro |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ,10 | | | | | Terreno vegetale | | | | | | | | |
| | | | | | | Argilla e limo di colore nocciola poco consistente | | | | | | | ,50 | |
| 1 | 1,20 | | | C1 | 1,2-1.60 | | | | | | | | | |
| | | | | | | Limo di colore nocciola poco consistente | | | | | | | | |
| | 1,65 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | Argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente | | | | | | | | |
| | 2,30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | C2 | 2,6-2.90 | Limo sabbioso di color grigio poco addensato | | | | | | | | |
| 3 | 3,20 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Sabbia fine limosa di color grigio sciolta | | | | | | | | |
| | 3,60 | | | | | Sabbia media di color grigio poco addensata | | | | | | | | |
| | 3,90 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4,00 | | | | | Sabbia media limosa di color grigio poco addenstata | | | | | | | | |

**elletipi s.r.l.**
Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387
sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

# ANALISI GRANULOMETRICA
## (per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE) | | |
| CANTIERE: | Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI | | |
| CAMPIONE: | C1 da 1.20 a 1.60 m | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140524 | rev.00 del: | 27/02/14 |

Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 286

Aspetto del campione: **Limo sabbioso e argilloso marrone**

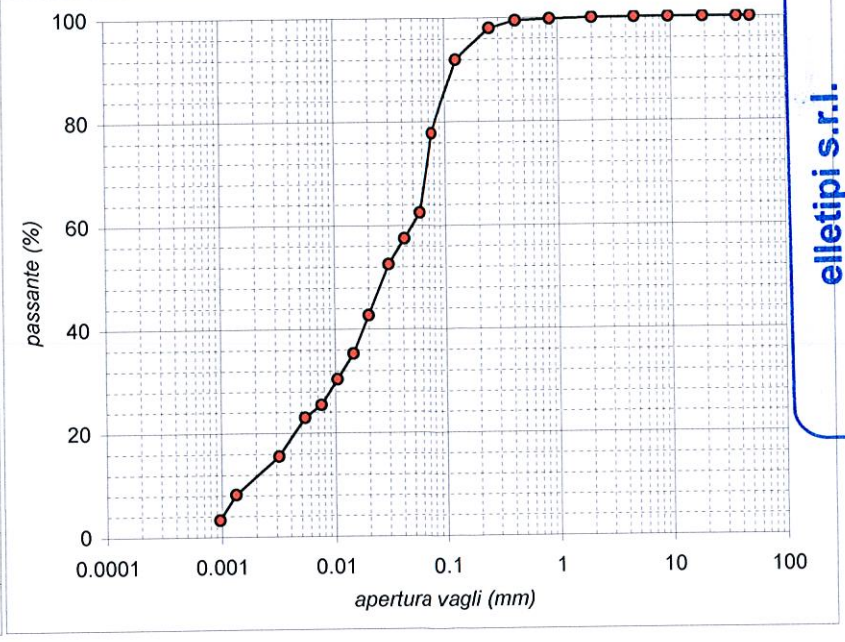
| TIPO VAGLIO | apertura (mm) | trattenuto (g) | trattenuto (%) | cum. tratt. (%) | passante (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| crivello | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 38.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 19.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 9.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 4.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| setaccio | 2.0 | 0.12 | 0.05 | 0.05 | 99.95 |
| setaccio | 0.850 | 0.45 | 0.19 | 0.24 | 99.76 |
| setaccio | 0.425 | 0.78 | 0.33 | 0.57 | 99.43 |
| setaccio | 0.250 | 3.36 | 1.42 | 1.99 | 98.01 |
| setaccio | 0.125 | 14.31 | 6.03 | 8.02 | 91.98 |
| setaccio | 0.075 | 33.78 | 14.24 | 22.26 | 77.74 |
| calcolato | 0.0572 | 36.30 | 15.31 | 37.57 | 62.43 |
| calcolato | 0.0415 | 11.69 | 4.93 | 42.50 | 57.50 |
| calcolato | 0.0301 | 11.69 | 4.93 | 47.43 | 52.57 |
| calcolato | 0.0199 | 23.39 | 9.86 | 57.30 | 42.70 |
| calcolato | 0.0145 | 17.54 | 7.40 | 64.69 | 35.31 |
| calcolato | 0.0105 | 11.69 | 4.93 | 69.62 | 30.38 |
| calcolato | 0.0075 | 11.69 | 4.93 | 74.55 | 25.45 |
| calcolato | 0.0054 | 5.85 | 2.47 | 77.02 | 22.98 |
| calcolato | 0.0032 | 17.54 | 7.40 | 84.42 | 15.58 |
| calcolato | 0.0013 | 17.54 | 7.40 | 91.81 | 8.19 |
| calcolato | 0.0010 | 11.69 | 4.93 | 96.74 | 3.26 |
| | fondo | 7.72 | 3.26 | 100.00 | 0.00 |
| | TOTALE | 237.15 | | ϕ max (mm) = | 2.24 |

| Passante effettivo setaccio 0.075 (g) | 50 |
|---|---|

| t° C | Tempo (s) | Lettura |
|---|---|---|
| 19 | 30 | 29 |
| 19 | 60 | 27 |
| 19 | 120 | 25 |
| 19 | 300 | 21 |
| 19 | 600 | 18 |
| 19 | 1200 | 16 |
| 19 | 2400 | 14 |
| 19 | 4800 | 13 |
| 19 | 14400 | 10 |
| 19 | 86400 | 7 |
| 19 | 172800 | 5 |

Rapporti granulometrici

| | USCS | AGI |
|---|---|---|
| GHIAIA | > 4,75 mm 0.0% | > 2,00 mm 0.1% |
| SABBIA | > 0,075 mm 22.3% | > 0,06 mm 34.8% |
| LIMO | > 2 μ 66.1% | > 2 μ 53.5% |
| ARGILLA | < 2 μ 11.6% | < 2 μ 11.6% |




elletipi s.r.l.
Laboratorio Autorizzato
ai sensi dell'art. 59 DPR 380/2001
Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC
con Decreto n. 9199 del 27/09/11

Il Direttore del Laboratorio Terre:
dott. geol. (dottore di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi

**elletipi s.r.l.**

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

® sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

# LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)

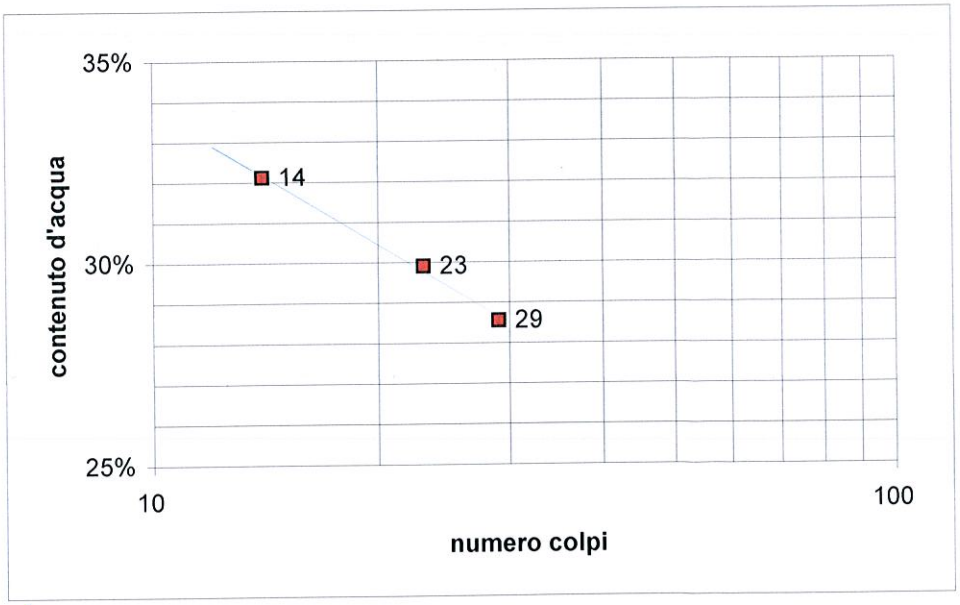
| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | **VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)** | | |
| CANTIERE: | **Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI** | | |
| CAMPIONE: | **C1 da 1.20 a 1.60 m** | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140526 | rev.0 del: | 27/02/14 |

codice int. Strum.: 344- 480.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE: **Limo sabbioso e argilloso marrone**

| | LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | UMIDITA' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| impasto | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| N° colpi | 14 | 23 | 29 | | | |
| massa umida+ tara (g) | 39.21 | 43.23 | 46.16 | 8.35 | 9.09 | 988.38 |
| massa secca+ tara (g) | 30.23 | 33.86 | 36.41 | 7.31 | 7.95 | 843.66 |
| acqua contenuta (g) | 8.98 | 9.37 | 9.75 | 1.04 | 1.14 | 144.72 |
| tara (g) | 2.27 | 2.53 | 2.26 | 2.24 | 2.35 | 311.70 |
| peso secco (g) | 27.96 | 31.33 | 34.15 | 5.07 | 5.60 | 531.96 |
| contenuto d'acqua | 32.1% | 29.9% | 28.6% | 20.5% | 20.4% | 27.2% |

| | | |
|---|---|---|
| **Umidità Naturale** | **Wn =** | **27%** |
| **Limite Liquido** | **LL =** | **29%** |
| **Limite Plastico** | **LP =** | **20%** |
| **Indice Plastico** | **IP =** | **9%** |
| **Indice di Consistenza** | **Ic =** | **0.24** |




elletipi s.r.l.
Laboratorio Autorizzato
ai sensi dell'art. 59 DPR 380/2001
Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC
con Decreto n. 9199 del 27/09/11

Il Direttore del Laboratorio terre:
dott. geol. (dottore di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi

**elletipi s.r.l.**
Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387
® sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

# ANALISI GRANULOMETRICA
## (per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE) | | |
| CANTIERE: | Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI | | |
| CAMPIONE: | C2 da 2.60 a 2.90 m | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140525 | rev.00 del: | 27/02/14 |

Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 286

Aspetto del campione: **Sabbia con limo grigio**

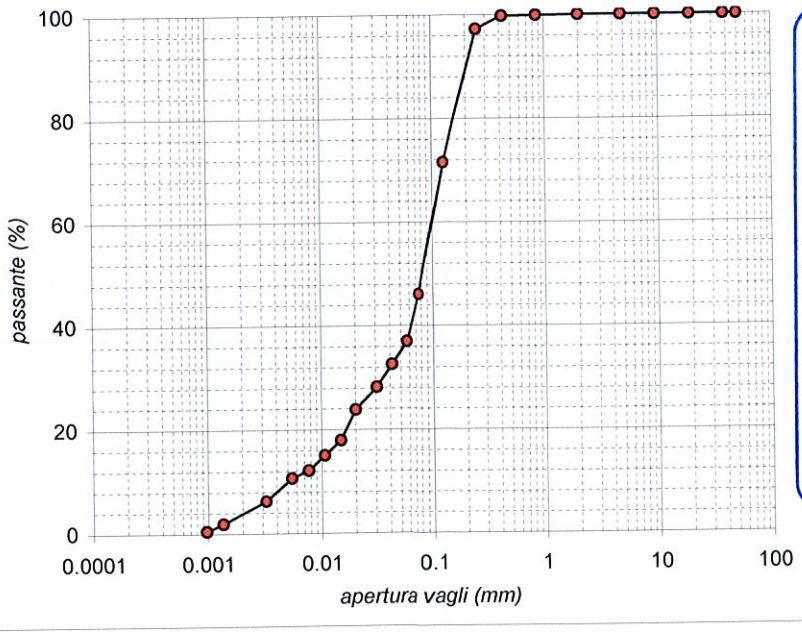
| TIPO VAGLIO | apertura (mm) | trattenuto (g) | trattenuto (%) | cum. tratt. (%) | passante (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| crivello | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 38.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 19.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 9.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| crivello | 4.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| setaccio | 2.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| setaccio | 0.850 | 0.24 | 0.10 | 0.10 | 99.90 |
| setaccio | 0.425 | 0.36 | 0.15 | 0.25 | 99.75 |
| setaccio | 0.250 | 6.12 | 2.55 | 2.80 | 97.20 |
| setaccio | 0.125 | 61.50 | 25.64 | 28.45 | 71.55 |
| setaccio | 0.075 | 61.11 | 25.48 | 53.93 | 46.07 |
| calcolato | 0.0572 | 21.76 | 9.07 | 63.00 | 37.00 |
| calcolato | 0.0420 | 10.51 | 4.38 | 67.38 | 32.62 |
| calcolato | 0.0307 | 10.51 | 4.38 | 71.77 | 28.23 |
| calcolato | 0.0201 | 10.51 | 4.38 | 76.15 | 23.85 |
| calcolato | 0.0148 | 14.02 | 5.84 | 82.00 | 18.00 |
| calcolato | 0.0107 | 7.01 | 2.92 | 84.92 | 15.08 |
| calcolato | 0.0077 | 7.01 | 2.92 | 87.84 | 12.16 |
| calcolato | 0.0055 | 3.50 | 1.46 | 89.30 | 10.70 |
| calcolato | 0.0032 | 10.51 | 4.38 | 93.69 | 6.31 |
| calcolato | 0.0014 | 10.51 | 4.38 | 98.07 | 1.93 |
| calcolato | 0.0010 | 3.50 | 1.46 | 99.53 | 0.47 |
| | fondo | 1.13 | 0.47 | 100.00 | 0.00 |
| | TOTALE | 239.82 | | ϕ max (mm) = | 1.02 |

| Passante effettivo setaccio 0.075 (g) | 50 |
|---|---|

| t° C | Tempo (s) | Lettura |
|---|---|---|
| 19 | 30 | 29 |
| 19 | 60 | 26 |
| 19 | 120 | 23 |
| 19 | 300 | 20 |
| 19 | 600 | 16 |
| 19 | 1200 | 14 |
| 19 | 2400 | 12 |
| 19 | 4800 | 11 |
| 19 | 14400 | 8 |
| 19 | 86400 | 5 |
| 19 | 172800 | 4 |

Rapporti granulometrici

| | USCS | AGI |
|---|---|---|
| GHIAIA | > 4,75 mm 0.0% | > 2,00 mm 0.0% |
| SABBIA | > 0,075 mm 53.9% | > 0,06 mm 61.4% |
| LIMO | > 2 μ 42.2% | > 2 μ 34.7% |
| ARGILLA | < 2 μ 3.9% | < 2 μ 3.9% |




elletipi s.r.l.
Laboratorio Autorizzato
ai sensi dell'art. 59 DPR 380/2001
Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC
con Decreto n. 9199 del 27/09/11

Il Direttore del Laboratorio Terre:
dott. geol. (dottore di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi

**elletipi s.r.l.**

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

® sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

# LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)

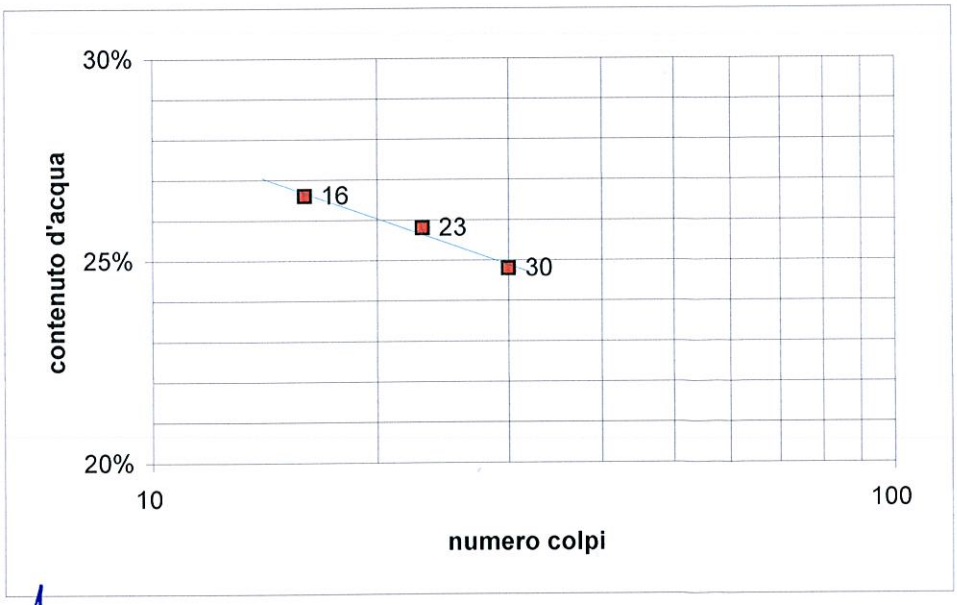
| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | **VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)** | | |
| CANTIERE: | **Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI** | | |
| CAMPIONE: | **C2 da 2.60 a 2.90 m** | | |
| COMMESSA: | 12973/14 | DURATA PROVE: | 21 - 27/02/14 |
| VERBALE ACC.: | 044/14 | DATA CONSEGNA: | 21/02/14 |
| GEO - CERT. n°: | G140527 | rev.0 del: | 27/02/14 |

codice int. Strum.: 344- 480.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE: **Sabbia con limo grigio**

| | LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | UMIDITA' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| impasto | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| N° colpi | 16 | 23 | 30 | | | |
| massa umida+ tara (g) | 52.90 | 43.57 | 48.57 | 11.16 | 11.41 | 1129.50 |
| massa secca+ tara (g) | 42.29 | 35.12 | 39.38 | 9.63 | 9.84 | 956.13 |
| acqua contenuta (g) | 10.61 | 8.45 | 9.19 | 1.53 | 1.57 | 173.37 |
| tara (g) | 2.40 | 2.37 | 2.32 | 2.33 | 2.24 | 310.36 |
| peso secco (g) | 39.89 | 32.75 | 37.06 | 7.30 | 7.60 | 645.77 |
| contenuto d'acqua | 26.6% | 25.8% | 24.8% | 21.0% | 20.7% | 26.8% |

| | | |
|---|---|---|
| **Umidità Naturale** | **Wn =** | **27%** |
| **Limite Liquido** | **LL =** | **25%** |
| **Limite Plastico** | **LP =** | **21%** |
| **Indice Plastico** | **IP =** | **5%** |
| **Indice di Consistenza** | **Ic =** | **-0.31** |




elletipi s.r.l.
Laboratorio Autorizzato
ai sensi dell'art. 59 DPR 380/2001
Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC
con Decreto n. 9199 del 27/09/11

Il Direttore del Laboratorio terre:
dott. geol. (dottore di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi




**Prova H/V**

H/V_1:44. 714957N,11. 278906E

H/V_2: 44. 718107N,11. 279422E

**Tavola 1**

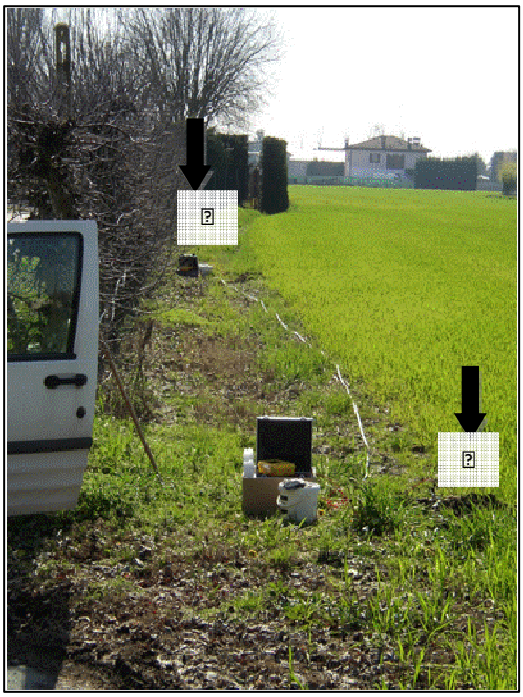
# Indagine sismica con la tecnica dei microtremori per la determinazione della frequenza di risonanza del sottosuolo dell'area sita in Via Pirandello in Comune di Cento (FE)

***Marzo 2014***

**Committente**: Studio Geologico Veronese

**Tecnico**: Dr. Nasser Abu Zeid

# Indagine sismica con la tecnica dei microtremori per la determinazione della frequenza di risonanza del sottosuolo dell'area sita in Via Pirandello in Comune di Cento (FE)



- Relazione Geofisica -

Marzo 2014

***Te.Am. Geofisica*** *s.r.l. - Via G. Fabbri, 503 - 44124 Ferrara*
Tel./Fax 0532-871495 Cap. Soc. 10.000 euro Parz. Vers.
Iscr. Reg. Impr. N. 178610 - P. IVA e Cod. Fisc. 01568060386
e-Mail: info@teamgeofisica.com WEB: www.teamgeofisica.com

# I N D I C E

**1. PREMESSA** 1

**2. TECNICA D'INDAGINE** 1

**2.1. Il metodo HVSR (Horizontal vertical spectral ratio)** 2

**3. ACQUISIZIONE DATI** 4

**4. ANALISI DATI** 5

**5. RISULTATI** 5

**6. CONCLUSIONI** 8

**BIBLIOGRAFIA** 9

## ELENCO DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 1: modello di sottosuolo ad un grado di libertà (SDOF) ..... 2
Figura 2. Tracce di rumore sismico acquisito in campo vicino e libero. Z: componente verticale, N: componente orizzontale in direzione N-S e E: componente orizzontale in direzione E-W..... 4
Figura 3. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libro. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F0: frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come si può notare i picchi delle due frequenze rilevate, F0 e F1, sono omnidirezionale..... 6
Figura 4: relazione tra frequenza di risonanza di edifici in c.a. e n. di piani degli stessi. ..... 7

Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR. 7

***Avvertenze***

*I dati forniti nella presente relazione si riferiscono esclusivamente alla situazione esistente al periodo di indagine.*
*La precisione dei metodi impiegati è limitata dagli errori sistematici delle procedure di indagine.*

*L'autore della presente relazione garantisce la riservatezza dei dati e delle informazioni contenute e si riserva, previa autorizzazione del committente dell'indagine, il diritto esclusivo della loro pubblicazione su riviste scientifiche nazionali ed internazionali.*

## 1. PREMESSA

Su incarico dello Studio Geologico Veronese di Codigoro (Ferrara) è stata effettuata in data 24 febbraio 2014 una campagna d'indagine geofisica finalizzata alla determinazione della frequenza di risonanza dei terreni dell'area sita in Via Pirandello in Comune di Cento (FE). Il metodo utilizzato si basa sull'analisi dei rapporti spettrali del rumore sismico ambientale (Microtremori noto anche come "Nakamura").

## 2. TECNICA D'INDAGINE

La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo. Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

a) onde di volume (P ed S) e
b) onde superficiali (Rayleigh "R" e Love "L").

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo "S", "R" e "L". Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d'onda risultano polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Siccome la frequenza di risonanza propria dei terreni dipende dalla sequenza dei contrasti di impedenza acustica presenti nel sottosuolo è possibile utilizzare la tecnica dei rapporto rapporti spettrali per risalire a tale parametro. Il lavoro fondamentale su questa specifica procedura fu

pubblicato da Nakamura nel 1989; per questo motivo è chiamato anche “metodo di Nakamura” (Nakamura, 1989).

### 2.1. IL METODO HVSR (HORIZONTAL VERTICAL SPECTRAL RATIO)

È ben noto che quando un’onda elastica che si propaga nel sottosuolo passando da un mezzo con impedenza acustica $Z_1=\rho_1 v_1$ (dove ρ è la densità e v la velocità di un’onda di volume -P o S-) ad un mezzo con impedenza acustica $Z_2=\rho_2 v_2$, se $Z_2<Z_1$ l’ampiezza dell’onda trasmessa nel secondo mezzo aumenta. Questo fenomeno dipende soltanto dall’angolo d’incidenza e non dalla frequenza per le onde P, cioè tutte le singole componenti sinusoidali dell’onda vengono amplificate nella stessa misura. Per le onde S si dimostra invece che ha luogo un fenomeno di risonanza. Dato un sottosuolo formato da una copertura omogenea elastica di spessore h, poggiante su un substrato rigido (nella pratica un substrato è considerato rigido quando la sua $V_{1S}$ supera 800 m/s), come in Figura 1, tali frequenze di risonanza sono date da (v. p. es. Lanzo e Silvestri, 1999):

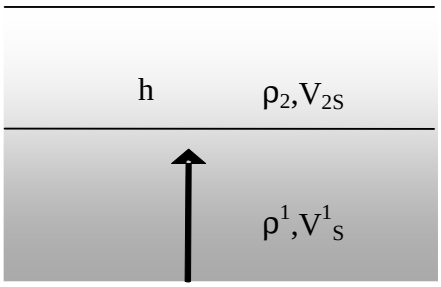



Figura 1: modello di sottosuolo ad un grado di libertà (SDOF)

$$f_n = \frac{V_{2S}(2n-1)}{4h}, n = 1,2,...\infty .$$

Ad esempio, per una copertura elastica spessa 50 m con $V_{2S}$ di 200 m/s (velocità tipica di un sedimento sciolto), $f_1$=1 Hz, $f_2$= 3 Hz e così via. Si tratta di campi di frequenze coincidenti con quelli delle costruzioni. L’ampiezza di oscillazione alle frequenze di risonanza tende all’infinito per un mezzo puramente elastico. È da notare che ciò non avviene mai nella pratica in quanto tutti i mezzi materiali hanno un comportamento visco-elastico. Ciò comporta uno smorzamento progressivo dell’ampiezza trasmessa $A(f_n)$ alla frequenza di risonanza, al crescere di questa, secondo la relazione:

$$A(f) = \frac{2}{(2n-1)} \cdot \frac{G}{\pi^2 \eta f},$$

dove G è il modulo di rigidità e η il coefficiente di viscosità.

Poiché sia le onde di Love che la componente orizzontale delle onde di Rayleigh si formano per interferenza costruttiva delle onde S, quanto detto vale con ottima approssimazione anche per tali onde, purchè il sottosuolo sia tabulare, cioè a strati piano/paralleli. Questo è un fatto particolarmente fortunato perché significa che basta registrare il rumore sismico ambientale, dove è ampiamente prevalente l'energia associata alle onde superficiali, per avere un'informazione precisa (nei limiti summenzionati) delle frequenze di risonanza. Questa infatti si ottiene con 3 semplici passaggi:

1. registrando in un punto per un certo tempo le 3 componenti del moto delle particelle del terreno (la verticale V(t) e due orizzontali ortogonali tra loro: NS(t), EW(t)) con un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse;
2. calcolandone i rispettivi spettri di Fourier V(f), NS(f) e EW(f)[1]

$$\frac{\sqrt{|NS(f)|^2 + |EW(f)|^2}}{|V(f)|}$$

3. facendo il rapporto detto per l'appunto HVSR, acronimo di Horizontal over Vertical Signal Ratio.

Si richiama l'attenzione del lettore su 2 fatti:

1. che non è possibile, conoscendo soltanto la frequenza di risonanza, determinare contemporaneamente la $V_S$ dello strato elastico e la profondità h del substrato rigido: questi due parametri del sottosuolo compaiono in un prodotto, e quindi la loro determinazione è impossibile senza informazioni di altra origine;

[1] È d'uso indicare con la stessa lettera maiuscola la trasformata di Fourier di una funzione, indicata con la lettera minuscola.

2. trattandosi di un metodo statistico, l'ampiezza alla frequenza di risonanza può essere affetta da un ampio margine di incertezza. L'ampiezza effettiva può essere stimata solo utilizzando un segnale deterministico, come quello di un terremoto.

## 3. ACQUISIZIONE DATI

L'area oggetto di indagine è stata investigata in data 24 febbraio 2014 mediante l'esecuzione di n.2 prove H/V (TAV-1) distanti tra loro di 20 metri.
Per l'acquisizione dati è stato impiegato una data logger a 24 bit collegato ad un sismometro 3D modello Sensor (S3S2, M.A.E. Apparecchiature Elettroniche srl. di Frosolone, Molise). La lunghezza temporale delle registrazioni è stata di 60 minuti. Il passo di campionamento è di 250 Hz (in figura 2 si riporta un esempio di acquisizione)

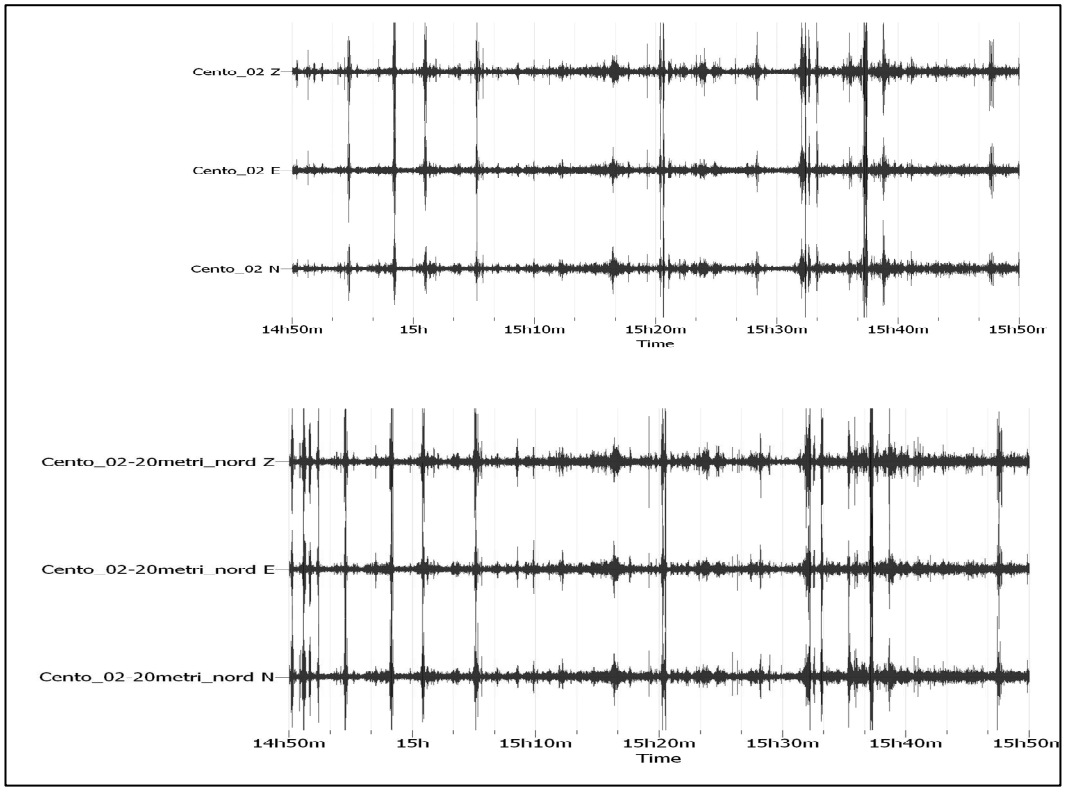



Figura 2. Tracce di rumore sismico acquisito in campo vicino e libero. Z: componente verticale, N: componente orizzontale in direzione N-S e E: componente orizzontale in direzione E-W.

## 4. ANALISI DATI

L'analisi delle serie temporali è proceduta seguendo i punti 2 e 3 del paragrafo 2.1. La figura 2 illustra il sismogramma delle due serie temporali registrate in campo vicino. È stato anche effettuata un'analisi relativa al movimento delle particelle a causa della propagazione dei segnali sismici nel terreno. Il risultato dell'analisi, riportato in figura (3) mostra l'assenza di anisotropie e conferma che il rumore sismico proviene da tutte le direzioni.

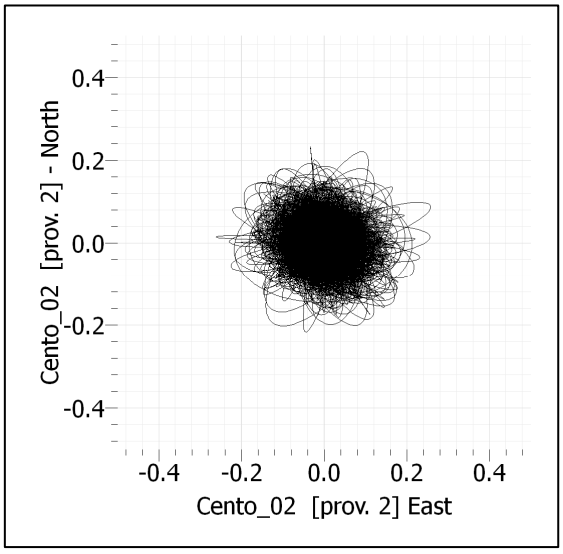



Figura 3. Distribuzione dei movimenti delle particelle del terreno sul piano X-Y. L'addensamento dei punti intorno ad un cerchio indica che il rumore sismico è isotropo. Frequenze > di 5 Hz sono state filtrate.

## 5. RISULTATI

I risultati ottenuti, utilizzando il codice di calcolo Geopsy (vers. 2.5, 2013), sono riportati in figura 4. Mentre le frequenze di risonanze ottenute sono riportate in Tabella 1.

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

1. la frequenza di risonanza con rapporto H/V intorno/superiore a 2, tipica dell'area è denominata $F_0$ (Tabella 1), risulta essere intorno a 0,67Hz. Questo valore corrisponde ad un periodo di risonanza intorno a 1,5 secondi e suggerisce la presenza di discontinuità acustica collocata a profondità compresa tra 155 e 200 m,
2. La frequenza di risonanza ($F_1$), pari a 0,84 Hz/periodo 1,2 secondi, risulta stabile ed indica la presenza di una seconda discontinuità acustica più superficiale a profondità 120-130 metri.

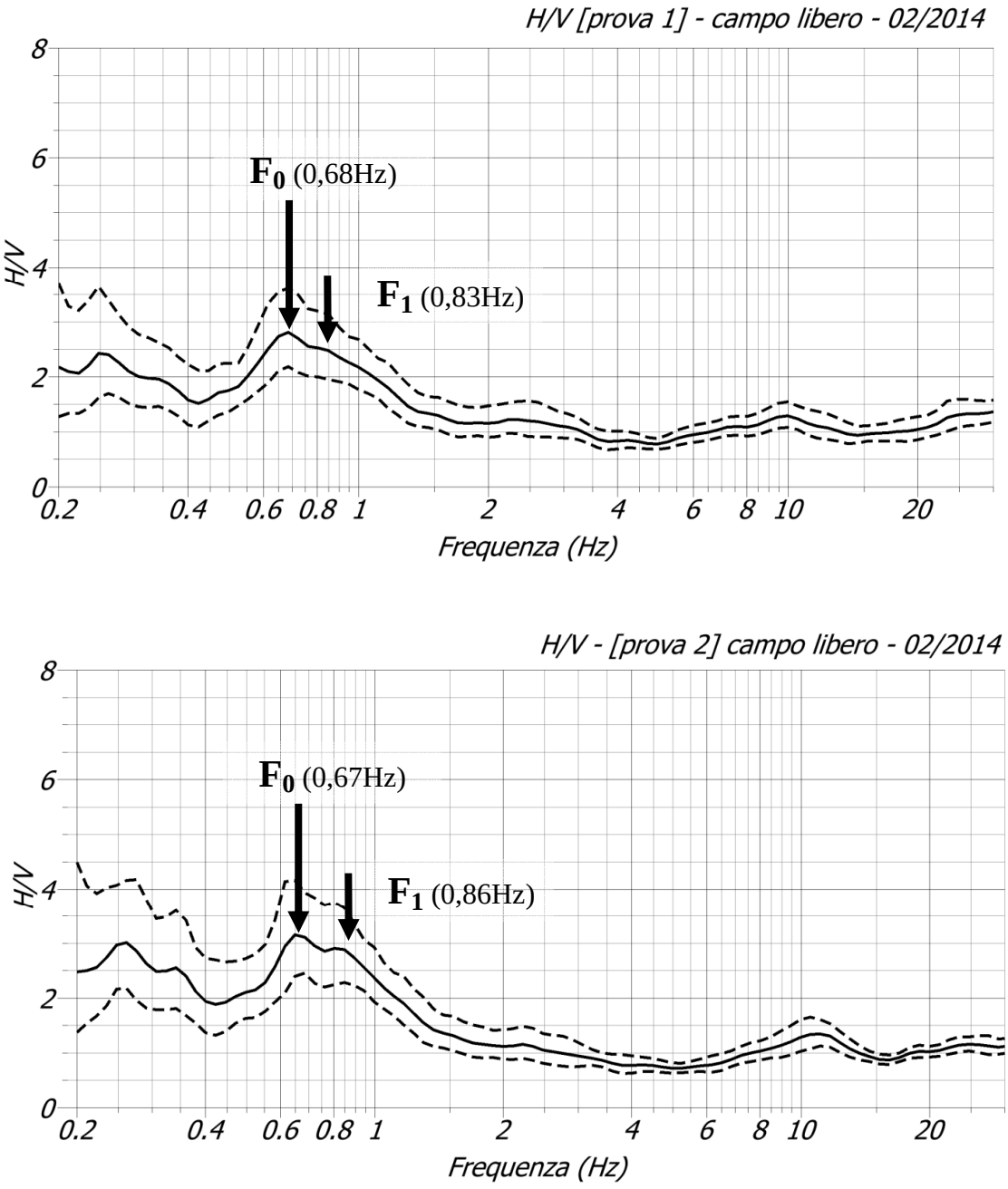



Figura 3. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libro. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F0: frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come si può notare i picchi delle due frequenze rilevate, F0 e F1, sono omnidirezionale.

Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR.

| prova H/V | Frequenza (Hz) | Valore Frequenza | Periodo $T_0$(sec) | Ampiezza (A) |
|---|---|---|---|---|
| 1* | **$F_0$** | **0,68 ± 0,00** | **1,5** | **2,8** |
| 1* | **$F_1$** | **0,83 ± 0,02** | **1,2** | **2,5** |
| 2* | **$F_0$** | **0, 67 ± 0,03** | **1,5** | **3,1** |
| 2* | **$F_1$** | **0,86 ± 0,02** | **1,2** | **2,8** |
| 1,2*prove effettuate in campo libero | | | | |

Si ritiene utile ricordare il lettore dell'importanza della determinazione della frequenza di risonanza dei terreni di fondazione per la pianificazione urbanistica/progettazione.

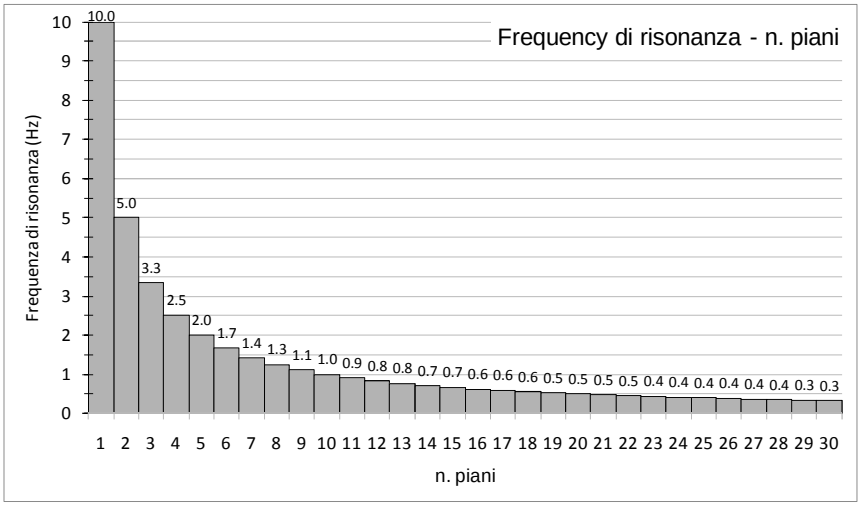



Figura 4: relazione tra frequenza di risonanza di edifici in c.a. e n. di piani degli stessi.

A questo proposito si riporta in Figura (4) la relazione semplificata tra il numero dei piani e la frequenza di risonanza degli stessi. Se la frequenza di risonanza dei terreni di fondazione coincide con quella dei fabbricati avviene il fenomeno della risonanza degli stessi fabbricati che può portare al loro collasso se non propriamente progettate.

## 6. CONCLUSIONI

L'indagine geofisica effettuata in data 24.02.2014 con la tecnica dei microtremori (H/V) "Nakamura" ha consentito di risalire alle frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati in campo libero che risultano essere pari a $F_0$=0,67–0,68 Hz [1,5 sec] con media intorno a 0,67 Hz [periodo medio 1,5 secondi], $F_1$=0,84 Hz [1,2 sec]. Il picco di frequenza fondamentale (0,67 Hz/1,5 sec) è associato alla presenza di una discontinuità acustica ad una profondità compresa tra 155-200 metri mentre la $F_1$ è dovuta alla presenza di una superficie di discontinuità collocata a profondità compresa tra 120-130 m.

Si sottolinea che tutti i picchi di frequenza determinate per l'area in oggetto sono incompatibili con costruzioni in c.a. superiori a 11/12 piani.

Tecnico: Dott. Nasser Abu Zeid

## BIBLIOGRAFIA

Geopsy. Software per l'eleaborazione dei dati dei microtremori. http://www.gepsy.org.

Nakamura Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremori on the ground surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

# Indagine sismica con la tecnica dei microtremori per la determinazione della frequenza di risonanza del sottosuolo dell'area sita in Via Santa Libertà in Comune di Cento (FE)

***Febbraio 2014***

**Committente**: Studio Geologico Veronese

**Tecnico**: Dr. Nasser Abu Zeid

# Indagine sismica con la tecnica dei microtremori per la determinazione della frequenza di risonanza del sottosuolo dell'area sita in Via Santa Libertà in Comune di Cento (FE)




- Relazione Geofisica -

Febbraio 2014

***Te.Am. Geofisica*** *s.r.l. - Via G. Fabbri, 503 - 44124 Ferrara*
Tel./Fax 0532-871495 Cap. Soc. 10.000 euro Parz. Vers.
Iscr. Reg. Impr. N. 178610 - P. IVA e Cod. Fisc. 01568060386
e-Mail: info@teamgeofisica.com WEB: www.teamgeofisica.com

# I N D I C E

**1. PREMESSA** 1

**2. TECNICA D'INDAGINE** 1

**2.1. Il metodo HVSR (Horizontal vertical spectral ratio)** 2

**3. ACQUISIZIONE DATI** 4

**4. ANALISI DATI** 5

**5. RISULTATI** 5

**6. CONCLUSIONI** 8

**BIBLIOGRAFIA** 9

## ELENCO DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 1: modello di sottosuolo ad un grado di libertà (SDOF) ..... 2
Figura 2. Tracce di rumore sismico acquisito in campo vicino e libero. Z: componente verticale, N: componente orizzontale in direzione N-S e E: componente orizzontale in direzione E-W..... 4
Figura 3. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libro. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F0: frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come si può notare i picchi delle due frequenze rilevate, F0 e F1, sono omnidirezionale..... 6
Figura 4: relazione tra frequenza di risonanza di edifici in c.a. e n. di piani degli stessi. ..... 7

Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR. 7

***Avvertenze***

*I dati forniti nella presente relazione si riferiscono esclusivamente alla situazione esistente al periodo di indagine.*
*La precisione dei metodi impiegati è limitata dagli errori sistematici delle procedure di indagine.*

*L'autore della presente relazione garantisce la riservatezza dei dati e delle informazioni contenute e si riserva, previa autorizzazione del committente dell'indagine, il diritto esclusivo della loro pubblicazione su riviste scientifiche nazionali ed internazionali.*

## 1. PREMESSA

Su incarico dello Studio Geologico Veronese di Codigoro (Ferrara) è stata effettuata in data 24 febbraio 2014 una campagna d'indagine geofisica finalizzata alla determinazione della frequenza di risonanza dei terreni dell'area in oggetto. Il metodo utilizzato si basa sull'analisi dei rapporti spettrali del rumore sismico ambientale (Microtremori noto anche come "Nakamura").

## 2. TECNICA D'INDAGINE

La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo. Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

a) onde di volume (P ed S) e
b) onde superficiali (Rayleigh "R" e Love "L").

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo "S", "R" e "L". Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d'onda risultano polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Siccome la frequenza di risonanza propria dei terreni dipende dalla sequenza dei contrasti di impedenza acustica presenti nel sottosuolo è possibile utilizzare la tecnica dei rapporto rapporti spettrali per risalire a tale parametro. Il lavoro fondamentale su questa specifica procedura fu

pubblicato da Nakamura nel 1989; per questo motivo è chiamato anche "metodo di Nakamura" (Nakamura, 1989).

### 2.1. IL METODO HVSR (HORIZONTAL VERTICAL SPECTRAL RATIO)

È ben noto che quando un'onda elastica che si propaga nel sottosuolo passando da un mezzo con impedenza acustica $Z_1=\rho_1 v_1$ (dove $\rho$ è la densità e v la velocità di un'onda di volume -P o S-) ad un mezzo con impedenza acustica $Z_2=\rho_2 v_2$, se $Z_2<Z_1$ l'ampiezza dell'onda trasmessa nel secondo mezzo aumenta. Questo fenomeno dipende soltanto dall'angolo d'incidenza e non dalla frequenza per le onde P, cioè tutte le singole componenti sinusoidali dell'onda vengono amplificate nella stessa misura. Per le onde S si dimostra invece che ha luogo un fenomeno di risonanza. Dato un sottosuolo formato da una copertura omogenea elastica di spessore h, poggiante su un substrato rigido (nella pratica un substrato è considerato rigido quando la sua $V_{1S}$ supera 800 m/s), come in Figura 1, tali frequenze di risonanza sono date da (v. p. es. Lanzo e Silvestri, 1999):

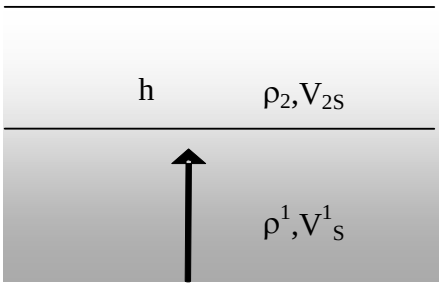



Figura 1: modello di sottosuolo ad un grado di libertà (SDOF)

$$f_n = \frac{V_{2S}(2n-1)}{4h}, n = 1,2,...\infty .$$

Ad esempio, per una copertura elastica spessa 50 m con $V_{2S}$ di 200 m/s (velocità tipica di un sedimento sciolto), $f_1$=1 Hz, $f_2$= 3 Hz e così via. Si tratta di campi di frequenze coincidenti con quelli delle costruzioni. L'ampiezza di oscillazione alle frequenze di risonanza tende all'infinito per un mezzo puramente elastico. È da notare che ciò non avviene mai nella pratica in quanto tutti i mezzi materiali hanno un comportamento visco-elastico. Ciò comporta uno smorzamento progressivo dell'ampiezza trasmessa $A(f_n)$ alla frequenza di risonanza, al crescere di questa, secondo la relazione:

$$A(f) = \frac{2}{(2n-1)} \cdot \frac{G}{\pi^2 \eta f},$$

dove G è il modulo di rigidità e $\eta$ il coefficiente di viscosità.

Poiché sia le onde di Love che la componente orizzontale delle onde di Rayleigh si formano per interferenza costruttiva delle onde S, quanto detto vale con ottima approssimazione anche per tali onde, purchè il sottosuolo sia tabulare, cioè a strati piano/paralleli. Questo è un fatto particolarmente fortunato perché significa che basta registrare il rumore sismico ambientale, dove è ampiamente prevalente l'energia associata alle onde superficiali, per avere un'informazione precisa (nei limiti summenzionati) delle frequenze di risonanza. Questa infatti si ottiene con 3 semplici passaggi:

1. registrando in un punto per un certo tempo le 3 componenti del moto delle particelle del terreno (la verticale V(t) e due orizzontali ortogonali tra loro: NS(t), EW(t)) con un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse;
2. calcolandone i rispettivi spettri di Fourier V(f), NS(f) e EW(f)[1]

$$\frac{\sqrt{|NS(f)|^2 + |EW(f)|^2}}{|V(f)|}$$

3. facendo il rapporto detto per l'appunto HVSR, acronimo di Horizontal over Vertical Signal Ratio.

Si richiama l'attenzione del lettore su 2 fatti:

1. che non è possibile, conoscendo soltanto la frequenza di risonanza, determinare contemporaneamente la $V_S$ dello strato elastico e la profondità h del substrato rigido: questi due parametri del sottosuolo compaiono in un prodotto, e quindi la loro determinazione è impossibile senza informazioni di altra origine;

[1] È d'uso indicare con la stessa lettera maiuscola la trasformata di Fourier di una funzione, indicata con la lettera minuscola.

2. trattandosi di un metodo statistico, l'ampiezza alla frequenza di risonanza può essere affetta da un ampio margine di incertezza. L'ampiezza effettiva può essere stimata solo utilizzando un segnale deterministico, come quello di un terremoto.

## 3. ACQUISIZIONE DATI

L'area oggetto di indagine è stata investigata in data 16 gennaio 2014 mediante l'esecuzione di n.2 prove H/V (TAV-1).

Per l'acquisizione dati è stato impiegato una data logger a 24 bit collegato ad un sismometro 3D modello Sensor (S3S2, M.A.E. Apparecchiature Elettroniche srl. di Frosolone, Molise). La lunghezza temporale delle registrazioni è stata di 50 minuti (prova 1) e di 30 minuti (prova 2). Il passo di campionamento è di 250 Hz (in figura 2 si riporta un esempio di acquisizione)

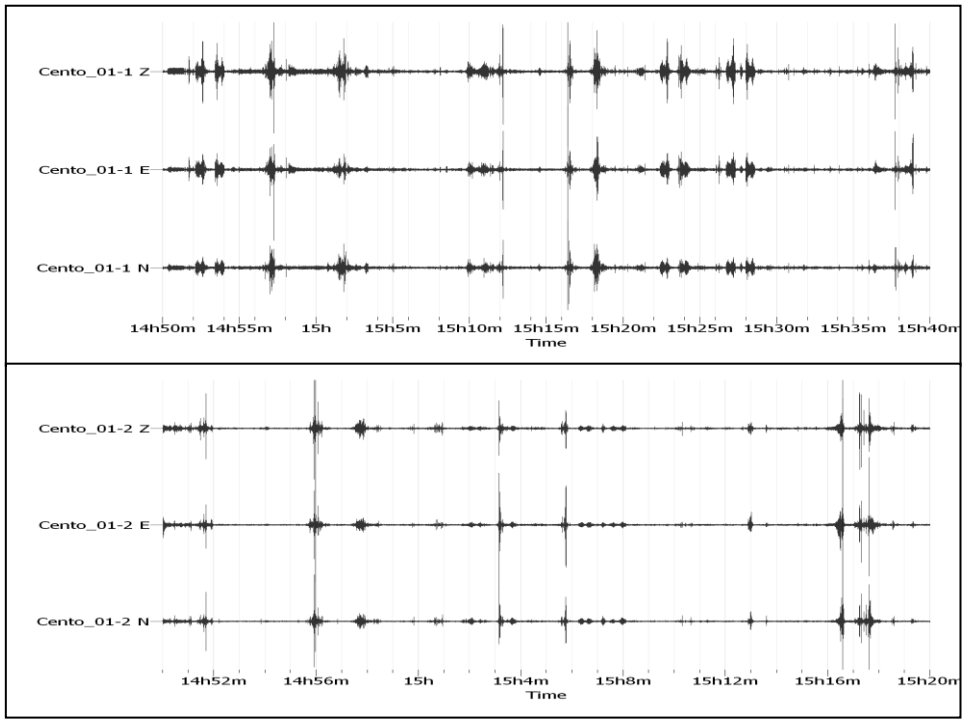
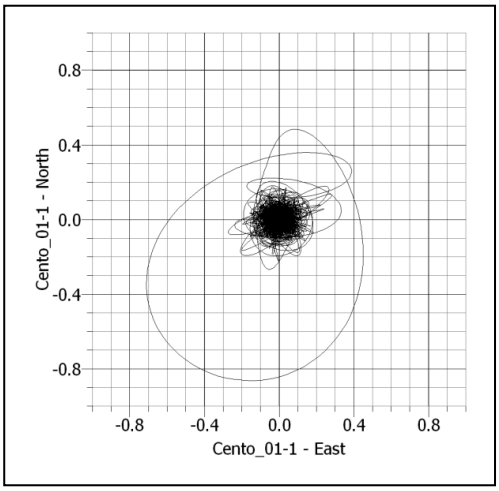



Figura 2. Tracce di rumore sismico acquisito in campo vicino e libero. Z: componente verticale, N: componente orizzontale in direzione N-S e E: componente orizzontale in direzione E-W.

## 4. ANALISI DATI

L'analisi delle serie temporali è proceduta seguendo i punti 2 e 3 del paragrafo 2.1. La figura 1 illustra il sismogramma delle due serie temporali registrate in campo vicino. È stato anche effettuata un'analisi relativa al movimento delle particelle a causa della propagazione dei segnali sismici nel terreno. Il risultato dell'analisi, riportato in figura (3) mostra l'assenza di anisotropie e conferma che il rumore sismico proviene da tutte le direzioni.

Figura 3. Distribuzione dei movimenti delle particelle del terreno sul piano X-Y. L'addensamento dei punti intorno ad un cerchio indica che il rumore sismico è isotropo. La curva intorno al cerchio è dovuta al movimento di un mezzo pesante nel piazzale della stessa Ditta.




## 5. RISULTATI

I risultati ottenuti, utilizzando il codice di calcolo Geopsy (vers. 2.5, 2013), sono riportati in figura 4. Mentre le frequenze di risonanze ottenute sono riportate in Tabella 1.

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

1. la frequenza di risonanza con rapporto H/V intorno/superiore a 2, tipica dell'area è denominata $F_0$ (Tabella 1), risulta essere intorno a 0,64Hz. Questo valore corrisponde ad un periodo di risonanza intorno a 1,6 secondi e suggerisce la presenza di discontinuità acustica collocata a profondità compresa tra 155 e 200 m,

2. La frequenza di risonanza ($F_1$), pari a 0,83 Hz/periodo 1,2 secondi, risulta stabile ed indica la presenza di una seconda discontinuità acustica più superficiale a profondità 120-130 metri.

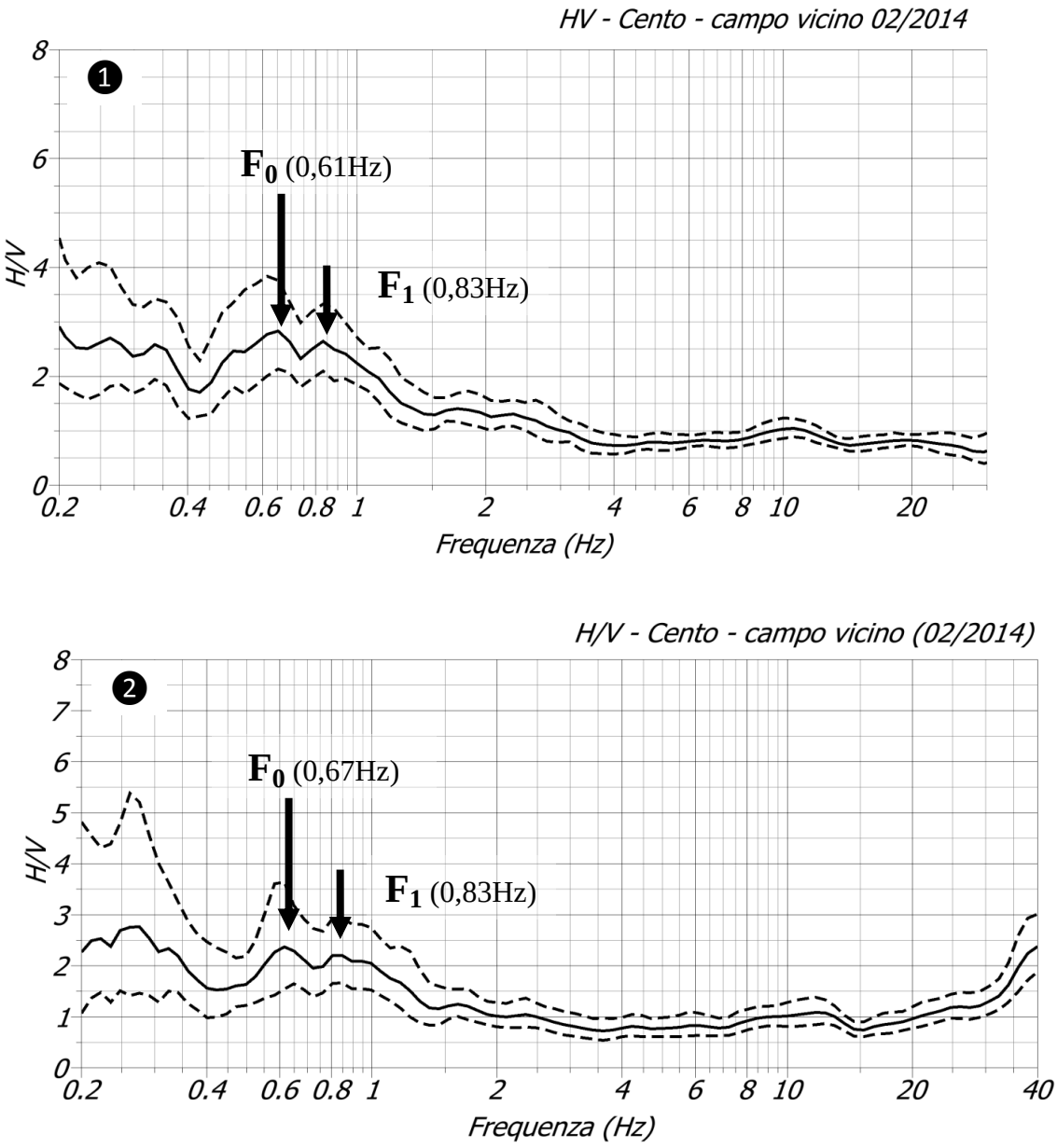



Figura 3. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libro. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F0: frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come

si può notare i picchi delle due frequenze rilevate, F0 e F1, sono omnidirezionale.

Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR.

| prova H/V | Frequenza (Hz) | Valore Frequenza | Periodo $T_0$(sec) | Ampiezza (A) |
|---|---|---|---|---|
| 1* | **$F_0$** | **0,61 ± 0,03** | **1,6** | **2,4** |
| 1* | **$F_1$** | **0,84 ± 0,03** | **1,2** | **2,2** |
| 2* | **$F_0$** | 0, 67 ± 0,02 | **1,5** | **2,8** |
| 2* | **$F_1$** | **0,83 ± 0,00** | **1,2** | **2,6** |
| 1,2*prove effettuate in campo libero | | | | |

Si ritiene utile ricordare il lettore dell'importanza della determinazione della frequenza di risonanza dei terreni di fondazione per la pianificazione urbanistica/progettazione.

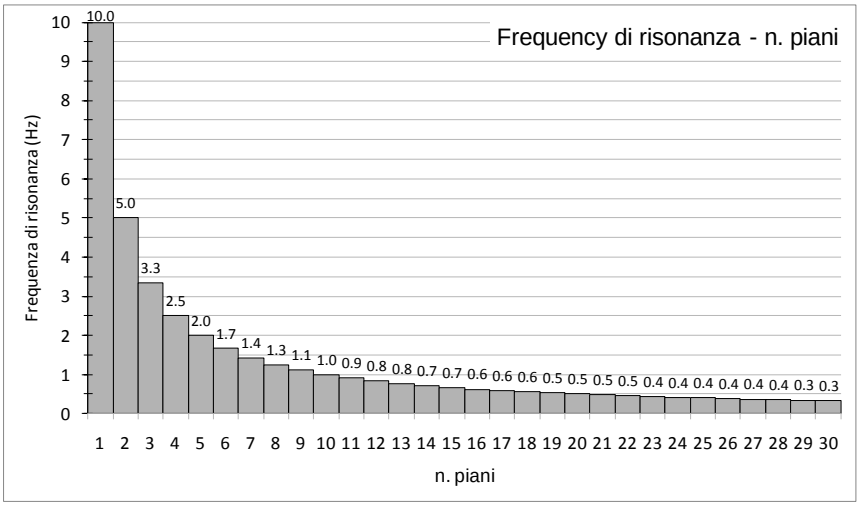



Figura 4: relazione tra frequenza di risonanza di edifici in c.a. e n. di piani degli stessi.

A questo proposito si riporta in Figura (4) la relazione semplificata tra il numero dei piani e la frequenza di risonanza degli stessi. Se la frequenza di risonanza dei terreni di fondazione coincide con quella dei fabbricati avviene

il fenomeno della risonanza degli stessi fabbricati che può portare al loro collasso se non propriamente progettate.

## 6. CONCLUSIONI

L'indagine geofisica effettuata in data 24.02.2014 con la tecnica dei microtremori (H/V) "Nakamura" ha consentito di risalire alle frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati in campo libero che risultano essere pari a $F_0$=0,61–0,67 Hz [1,5-1,6 sec] con media intorno a 0,64 Hz [periodo medio 1,5 secondi], $F_1$=0,83 Hz [1,2 sec]. Il picco di frequenza fondamentale (0,64 Hz/1,5 sec) è associato alla presenza di una discontinuità acustica ad una profondità compresa tra 155-200 metri mentre la $F_1$ è dovuta alla presenza di una superficie di discontinuità collocata a profondità compresa tra 120-130 m.

Si sottolinea che tutti i picchi di frequenza determinate per l'area in oggetto sono incompatibili con costruzioni in c.a. superiori a 11/12 piani.

Tecnico: Dott. Nasser Abu Zeid

## BIBLIOGRAFIA

Geopsy. Software per l'eleaborazione dei dati dei microtremori. http://www.gepsy.org.

Nakamura Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremori on the ground surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

RegioneEmilia-Romagna

Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Provincia di Ferrara

Comune di Cento

# ALLEGATI

## Studi sismici della Regione Emilia Romagna

## Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 e cartografia di riferimento

servizio geologico sismico e dei suoli

Servizio Pianificazione Urbanistica,
Paesaggio e uso sostenibile del territorio

*dott. Geol. Thomas Veronese*
*via Roma n°10*
*44021 Codigoro –FE-*

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

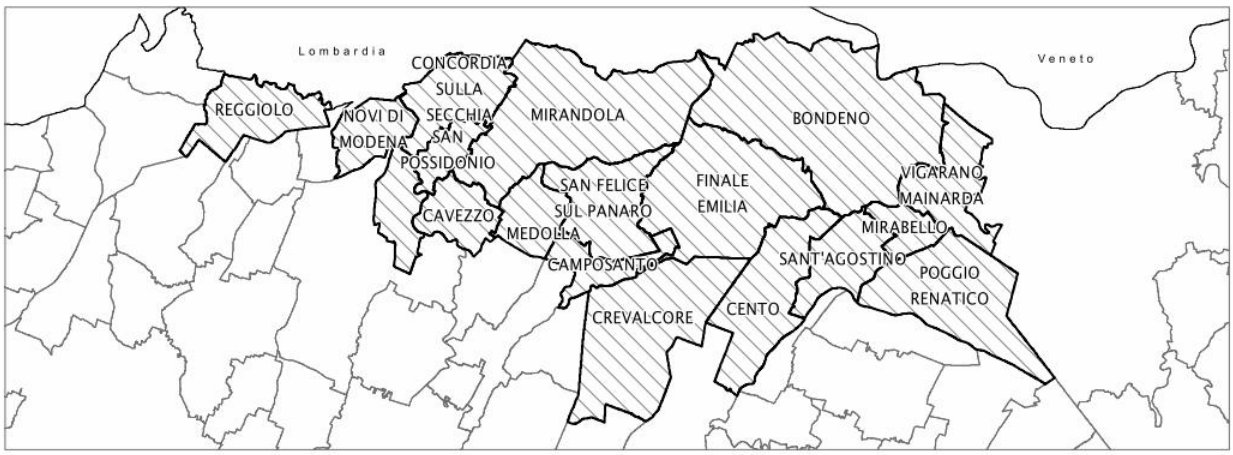
RegioneEmilia-Romagna

Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

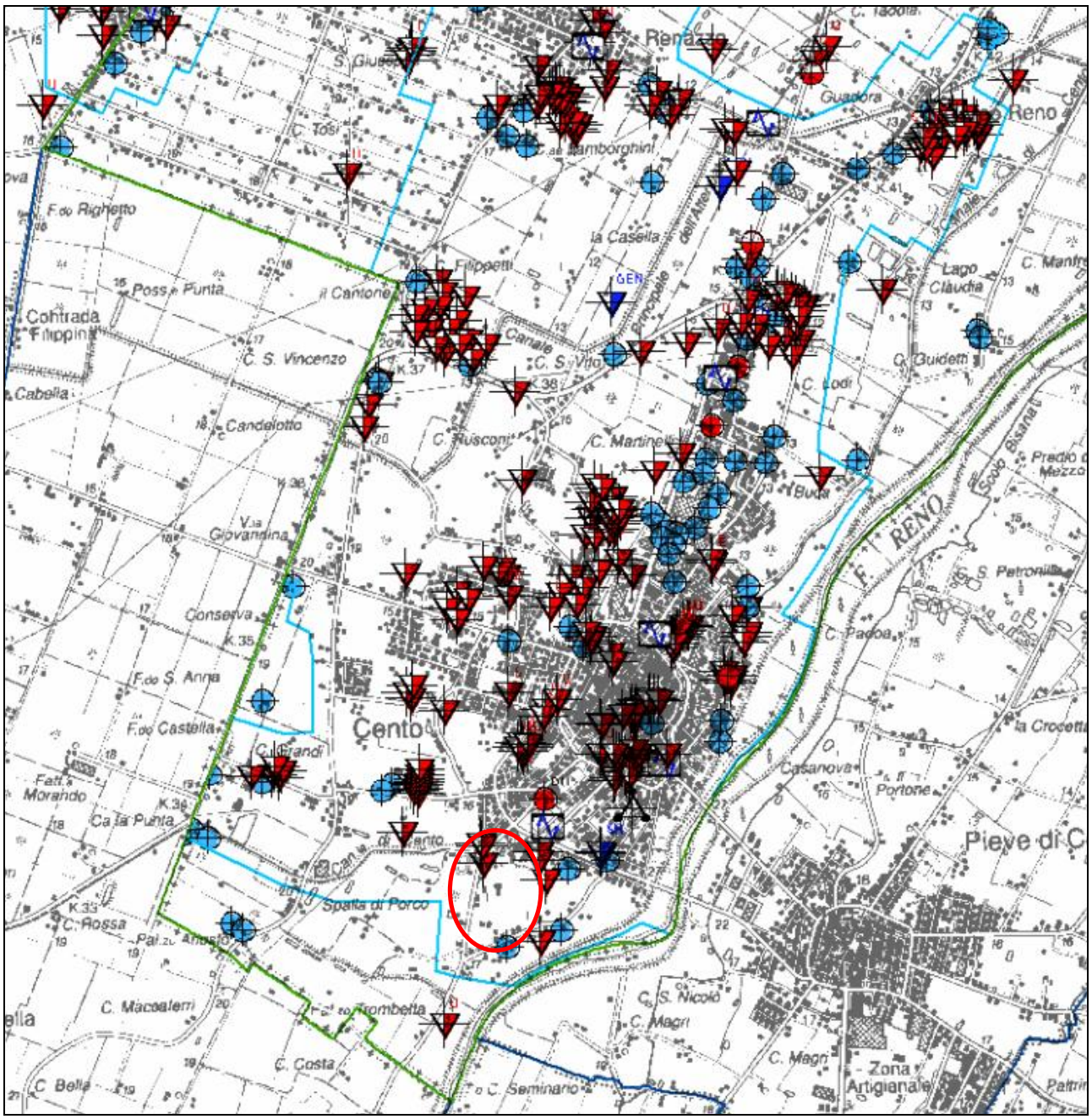
# MICROZONAZIONE SISMICA
## carta delle indagini

scala 1 : 100.000




Cento

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE




## Legenda

- T - affioramento naturale o scavo
- ESAC_SPAC - array sismico
- S - carotaggio continuo
- HVSR - misure di microtremore a stazione singola (HVSR)
- PI - perforazione per ricerca idrocarburi
- PA - pozzo per acqua
- SCPT - prova CPT con cono sismico
- CPTE - prova CPT con punta elettrica
- CPT - prova CPT con punta meccanica
- CH - prova CROSS HOLE
- DH - prova DOWN HOLE
- MASW - prova MASW
- DMT - prova dilatometrica
- DPSH - prova dinamica con penetrom. superpesante
- DL - prova dinamica con penetrometro leggero (DPL)
- DPM - prova dinamica con penetrometro medio
- DP -prova dinamica con penetrometro pesante (DPH)
- DINGEN - prova dinamica generica
- SD - sondaggio a distruzione
- SEV - sondaggio elettrico verticale
- SCPTU
- SDMT

- ambito di studio
- limite comunale
- limite provinciale
- limite regionale

Cento

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

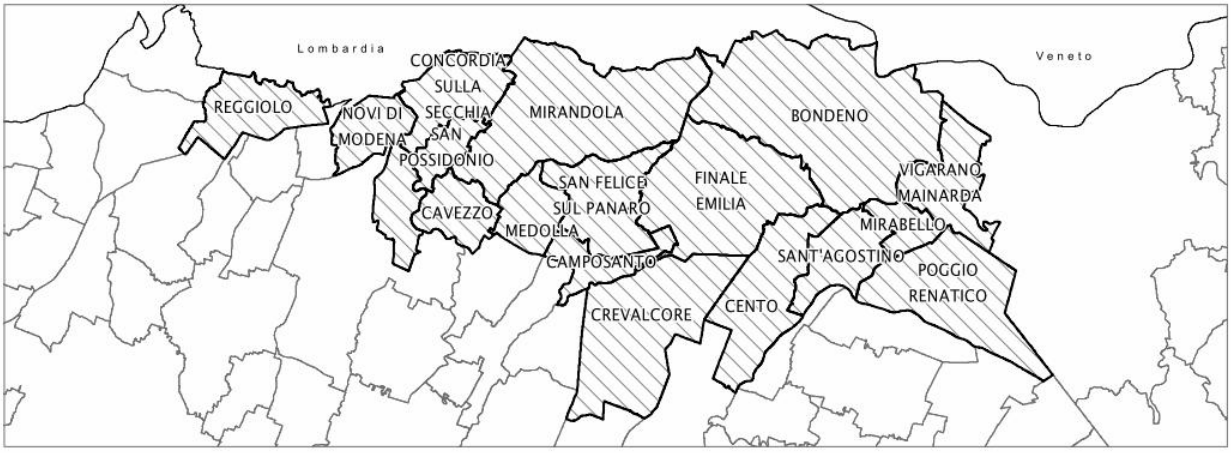
RegioneEmilia-Romagna

Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

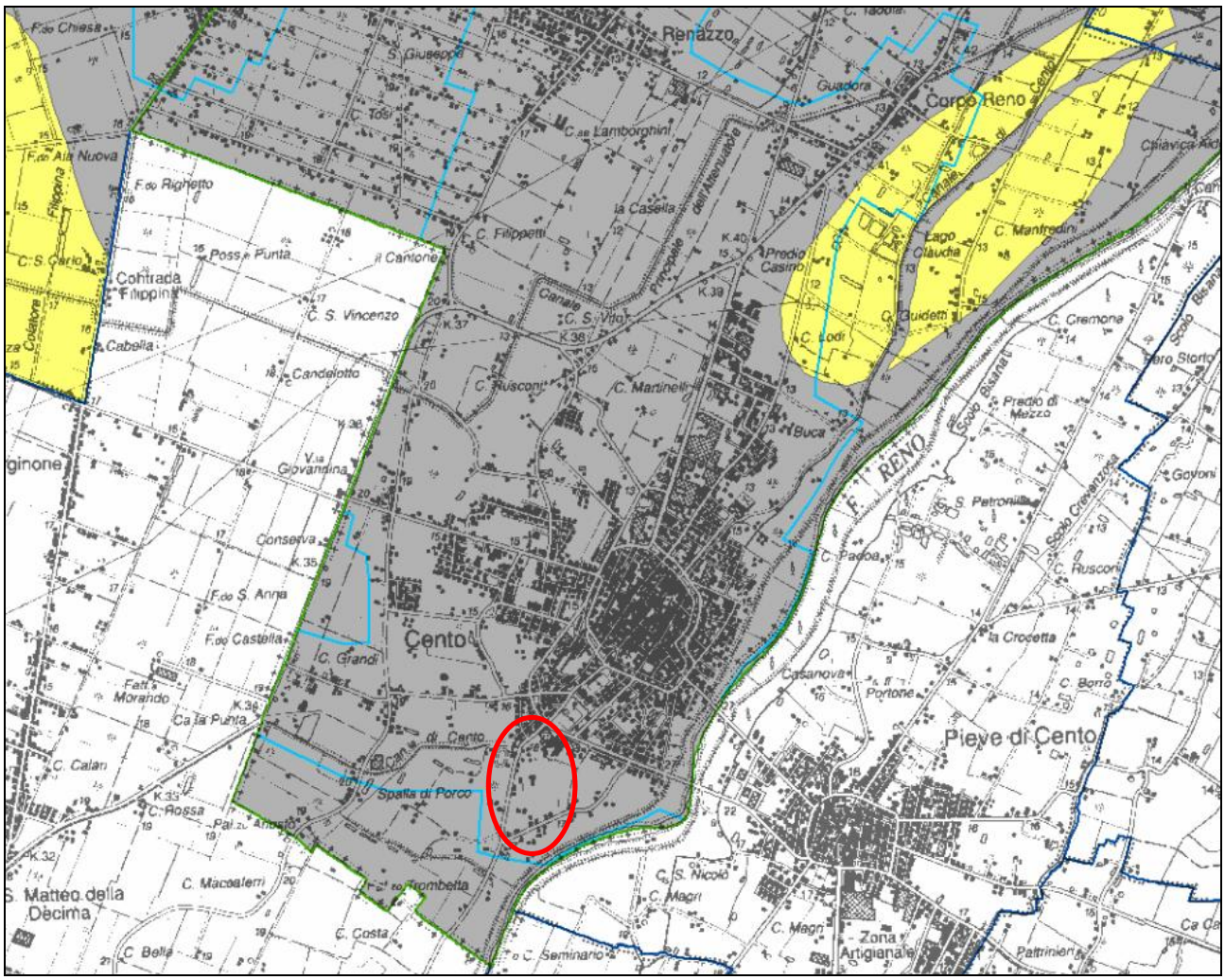
# MICROZONAZIONE SISMICA
## carta geologica di superficie

scala 1 : 100.000




Cento

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE




## *Legenda*

| | |
|---|---|
| A | Prevalenti terreni fini, limi e argille, di piana inondabile |
| S | prevalenti terreni sabbiosi di canale-argine e ventagli di rotta |
| | ambito di studio |
| | limite comunale |
| | limite provinciale |
| | limite regionale |

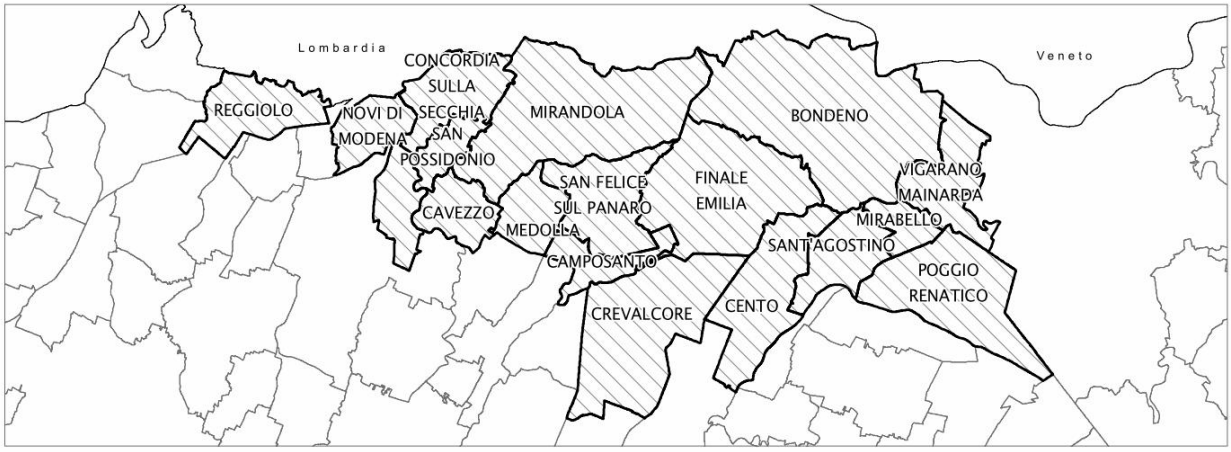
dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

RegioneEmilia-Romagna

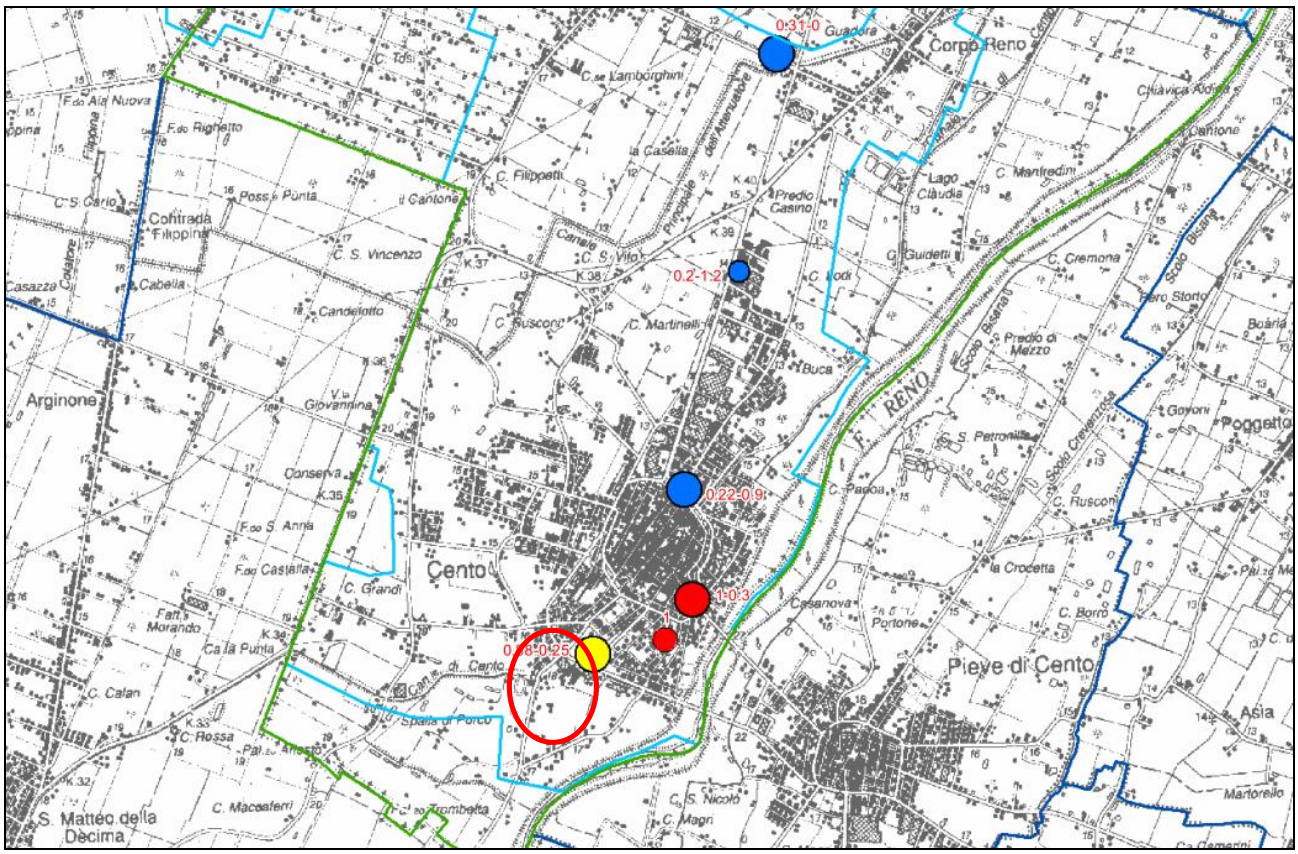
Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

# MICROZONAZIONE SISMICA
## carta delle frequenze naturali del terreno
scala 1 : 100.000



dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE




*Legenda*

| | ADBPO | UNIBAS-OGS | PSC Mirandola | UNISI | RER MS ord. 70/2012 |
|---|---|---|---|---|---|
| Fo < 0.6 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 |
| 0.6<= Fo < 0.8 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 |
| 0.8 <= Fo < 1.0 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 |
| Fo >= 1.0 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 | A < 2<br>2 <= A < 2.5<br>A >= 2.5 |

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

RegioneEmilia-Romagna

Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Provincia di Ferrara

Comune di Cento

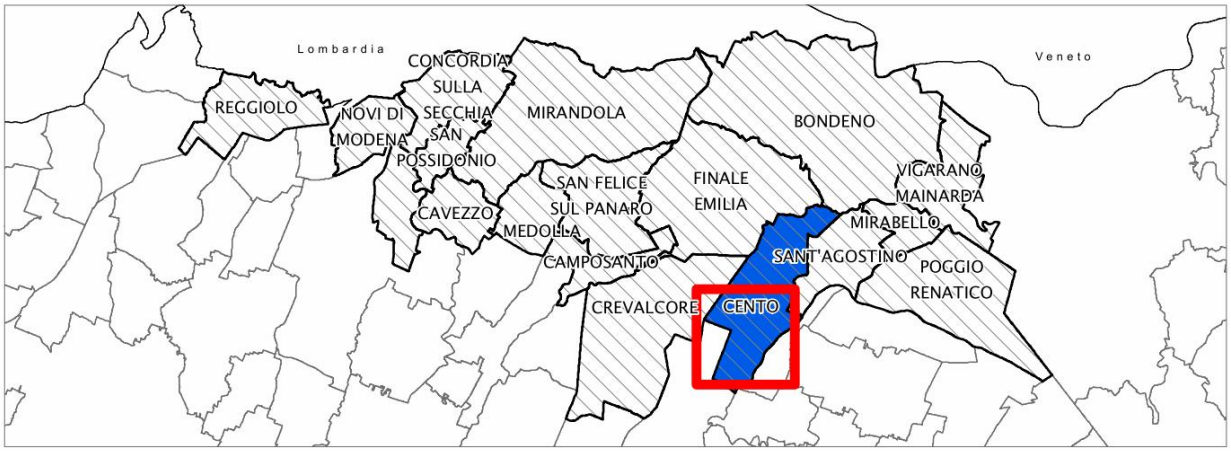
Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

# MICROZONAZIONE SISMICA
# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

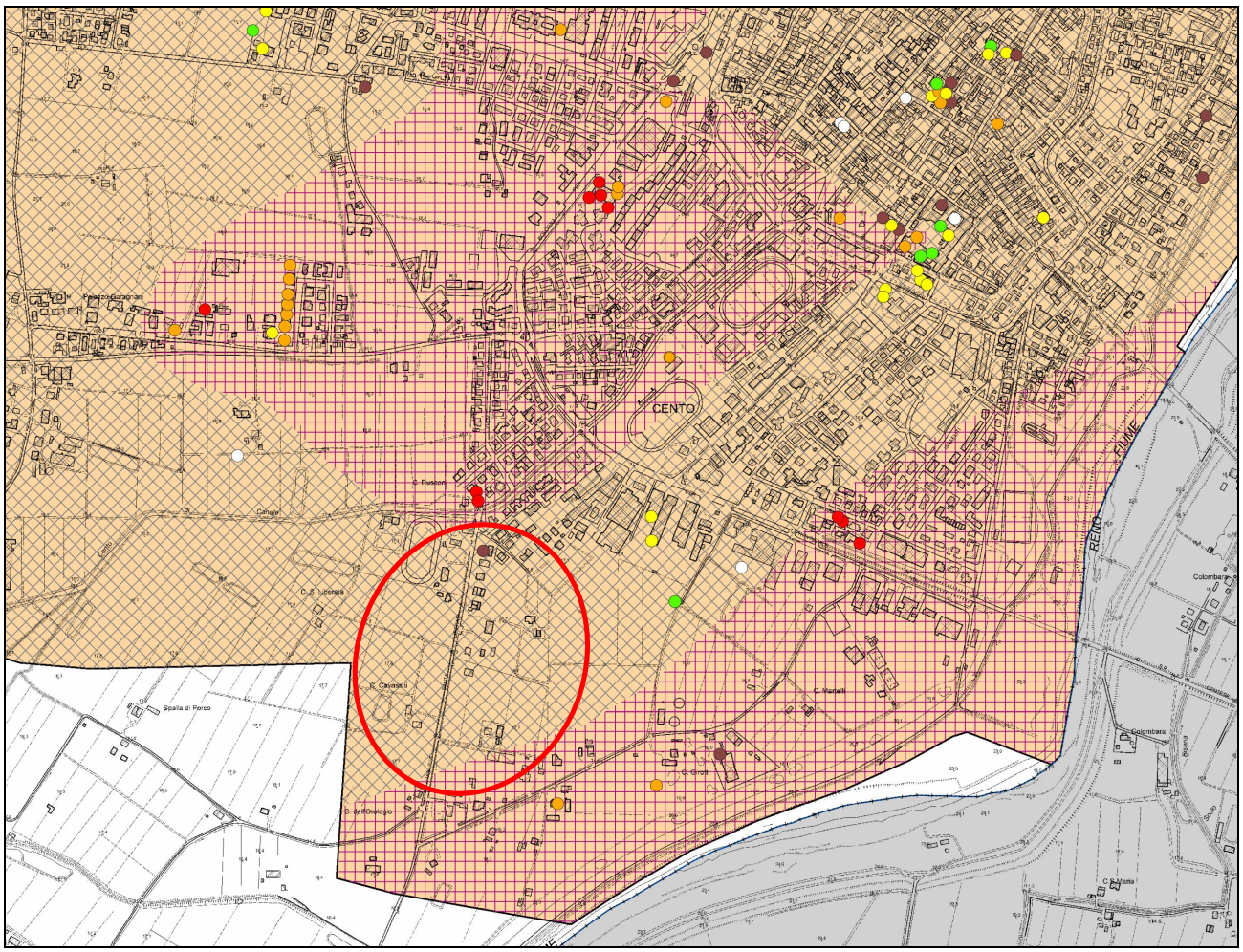
scala 1 : 10000

Versione 2.0 – 14/11/2013

## Comune di CENTO (FE)(1° di 3)



dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE




## Legenda

A1 — Zona suscettibile di amplificazione.
Substrato a profondità >= 120 m

LQ1 — Substrato a profondità >= 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 — Substrato a profondità >= 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

LQ1 — Substrato a profondità < 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 — Substrato a profondità < 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Prove geotecniche utilizzate per la stima della profondita degli orizzonti liquefacibili

- L1 - orizzonti liquefacibili (minimo 20 cm) presenti sotto falda già nei primi 5 m dal piano campagna
- L2 - orizzonti liquefacibili (minimo 1 m) presenti tra 5 m e 10 m dal piano campagna
- L3 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 10 m e 15 m dal piano campagna
- L4 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 15 m e 20 m dal piano campagna
- N - assenza di orizzonti liquefacibili (valutazione nei primi 20 m)
- X - dato non interpretabile
- punti di liquefazione
- fratture o allineamenti di punti di liquefazione

Cento

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

RegioneEmilia-Romagna

Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Provincia di Ferrara

Comune di Cento

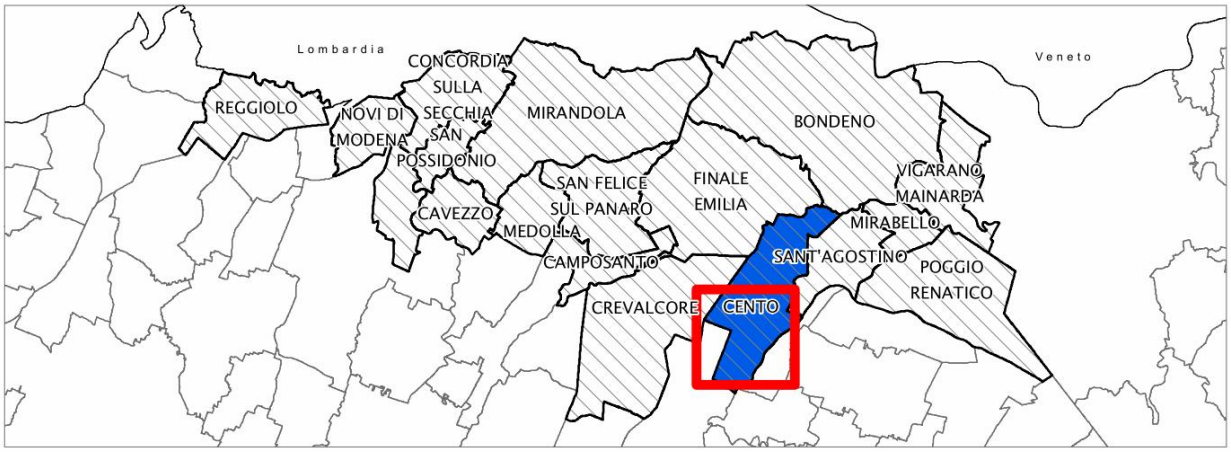
Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

# MICROZONAZIONE SISMICA
# Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione

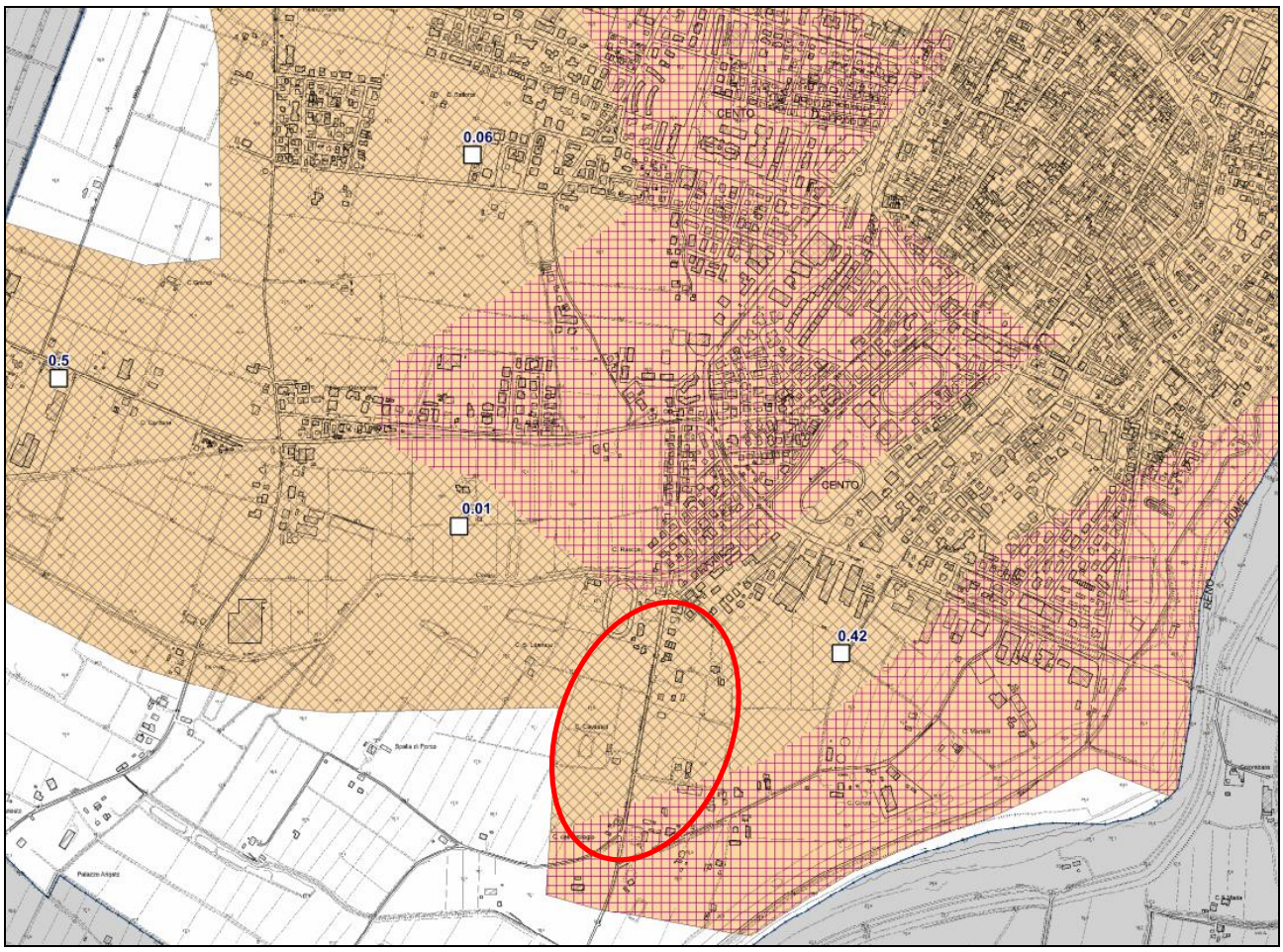
scala 1 : 10000

Versione 1.0 – 14/11/2013

## Comune di CENTO (FE)(1° di 3)



dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE




## Legenda

A1 — Zona suscettibile di amplificazione.
FAPGA = 1.5
FH 0.1 - 0.5s = 1.8
FH 0.5 - 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007

LQ1 — FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 — FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

LQ1 — FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 — FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

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

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

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

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

RegioneEmilia-Romagna

Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Provincia di Ferrara

Comune di Cento

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

# Confronto tra la Microzonazione Sismica e l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza

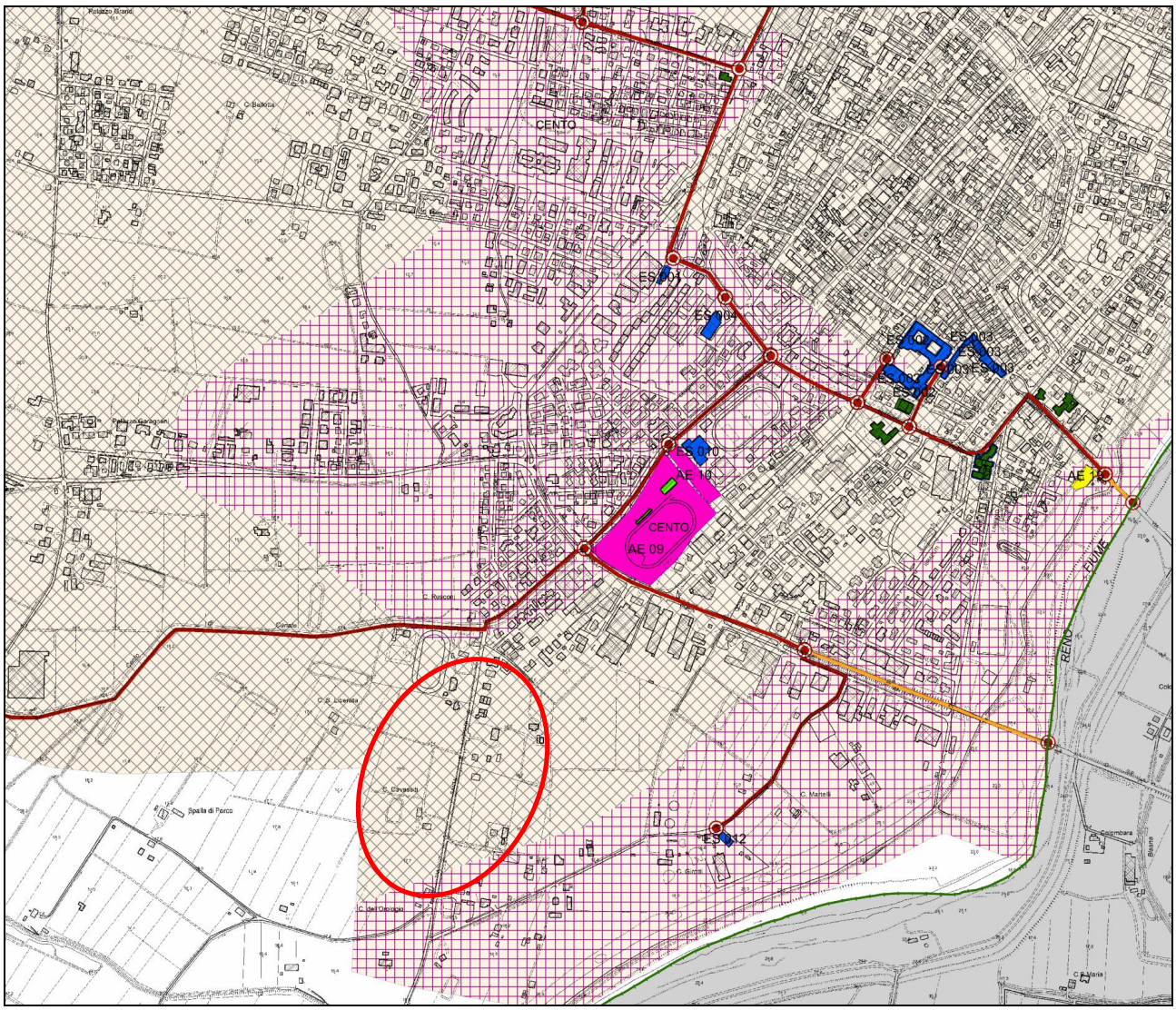
scala 1 : 10000

Versione 1.0 – 14/11/2013

## Comune di CENTO (FE)(1° di 3)



dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE




## Legenda

A1 — Zona suscettibile di amplificazione
FAPGA = 1.5
FH 0.1 – 0.5s = 1.8
FH 0.5 – 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007

LQ1 — FAPGA = 1.5; FH 0.1 – 0.5s = 1.8; FH 0.5 – 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 — FAPGA = 1.5; FH 0.1 – 0.5s = 1.8; FH 0.5 – 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

LQ1 — FAPGA = 1.7; FH 0.1 – 0.5s = 1.9; FH 0.5 – 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 — FAPGA = 1.7; FH 0.1 – 0.5s = 1.9; FH 0.5 – 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

## Sistema di gestione dell'emergenza

- Edificio strategico
- Area di emergenza (AMMASSAMENTO)
- Area di emergenza (RICOVERO)
- Infrastruttura di connessione
- Infrastruttura di accessibilità
- Aggregato strutturale interferente
- Unità strutturale interferente
- Unità strutturale non interferente
- Limiti amministrativi comunali