

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

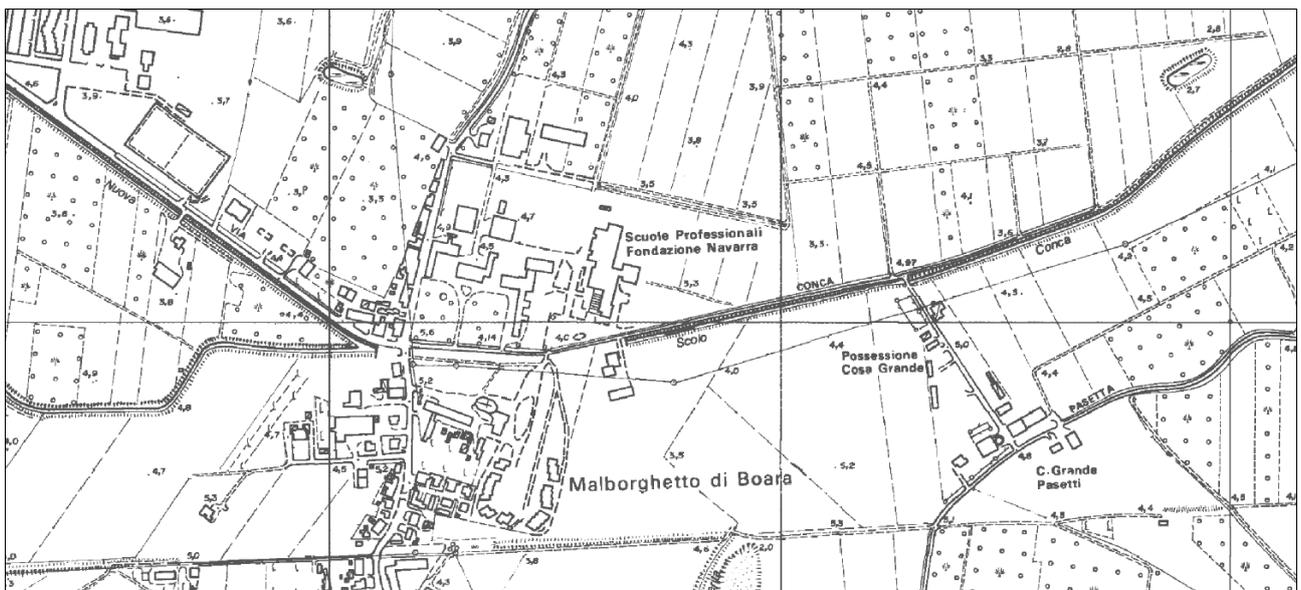
E-mail: thomas.veronese@tin.it

MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Comune Ferrara

Opere di urbanizzazione primaria per realizzazione complesso residenziale, in via Conca/piazzale Luciano Chiappini, Loc Malborghetto di Boara (Fe); riferimenti catastali foglio 113 mappali 57 e 299 del comune di Ferrara (Fe).

Accordo POC scheda n. 7 ANS-03



Committente: Fondazione per l'agricoltura F.lli Navarra

Sede in : via Conca n. 73/B

44123 Ferrara Fe

15 Ottobre 2015

S.S.T. SETTORE GEOLOGIA E AMBIENTE

Geotecnica; Studio terreni di fondazione; Stabilità dei versanti; Rilevamento geologico; Rilievi topografici; Geofisica - Contributi allo Studio di Impatto Ambientale; Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità e di realizzazione dei P.R.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di acquiferi per la tutela e per l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; subirrigazioni.



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
2.2.1 CAMPAGNA D'INDAGINI	6
2.2. CARATTERI GEOMORFOLOGICI.....	10
2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	11
3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI.....	12
3.1 DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA.....	12
<i>Categoria di suolo</i>	12
<i>Azioni sismiche "Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna"</i>	17
<i>Magnitudo di progetto</i>	18
3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	18
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI NEI TERRENI GRANULARI.....	22
4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI	23
4.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	24
5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	26
5.1. ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE SATURE	35

1. PREMESSA

Su incarico della Fondazione per l'agricoltura F.Ili Navarra, con sede in via Conca n. 73/B a Ferrara (Fe), si redige lo studio per ricostruire la modellazione geologica e sismica per il progetto di "Opere di urbanizzazione primaria per realizzazione complesso residenziale" in via Conca/piazzale Luciano Chiappini, Loc Malborghetto di Boara (Fe); riferimenti catastali foglio 113 mappali 57 e 299 del comune di Ferrara (Fe).

Accordo POC scheda n. 7 ANS-03

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

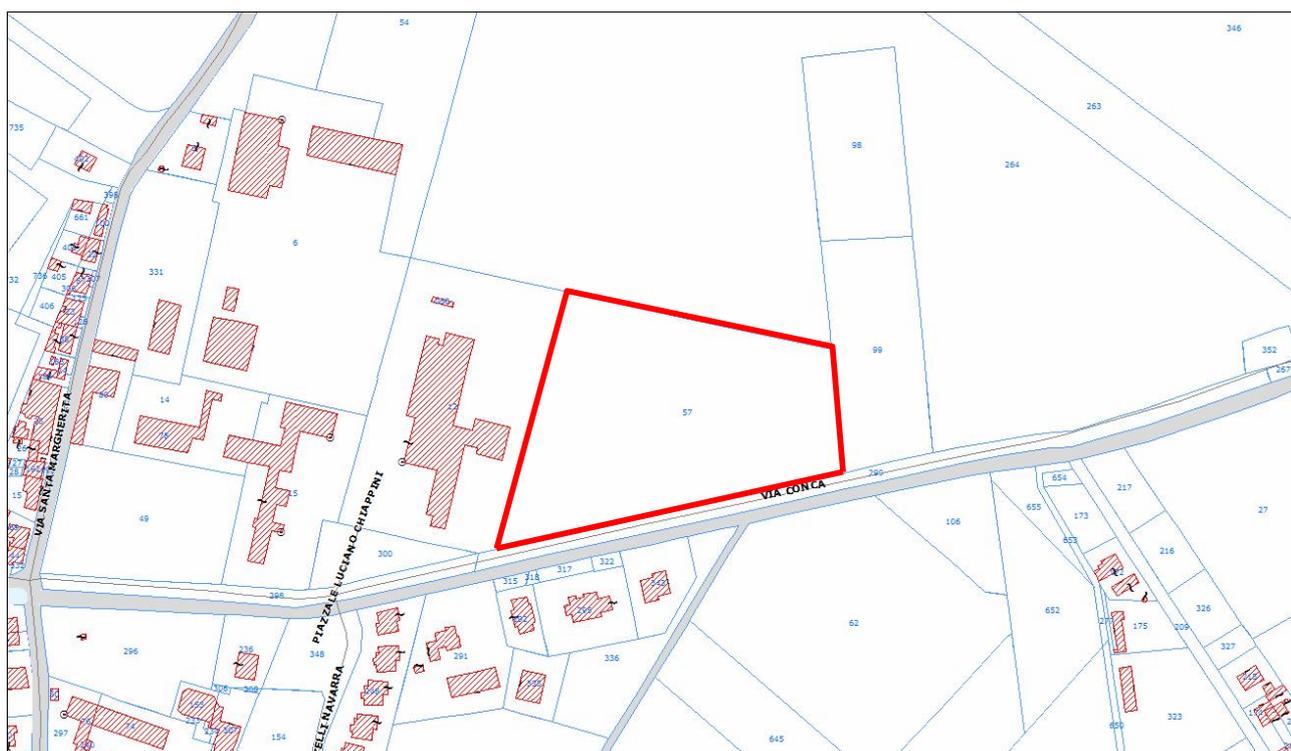
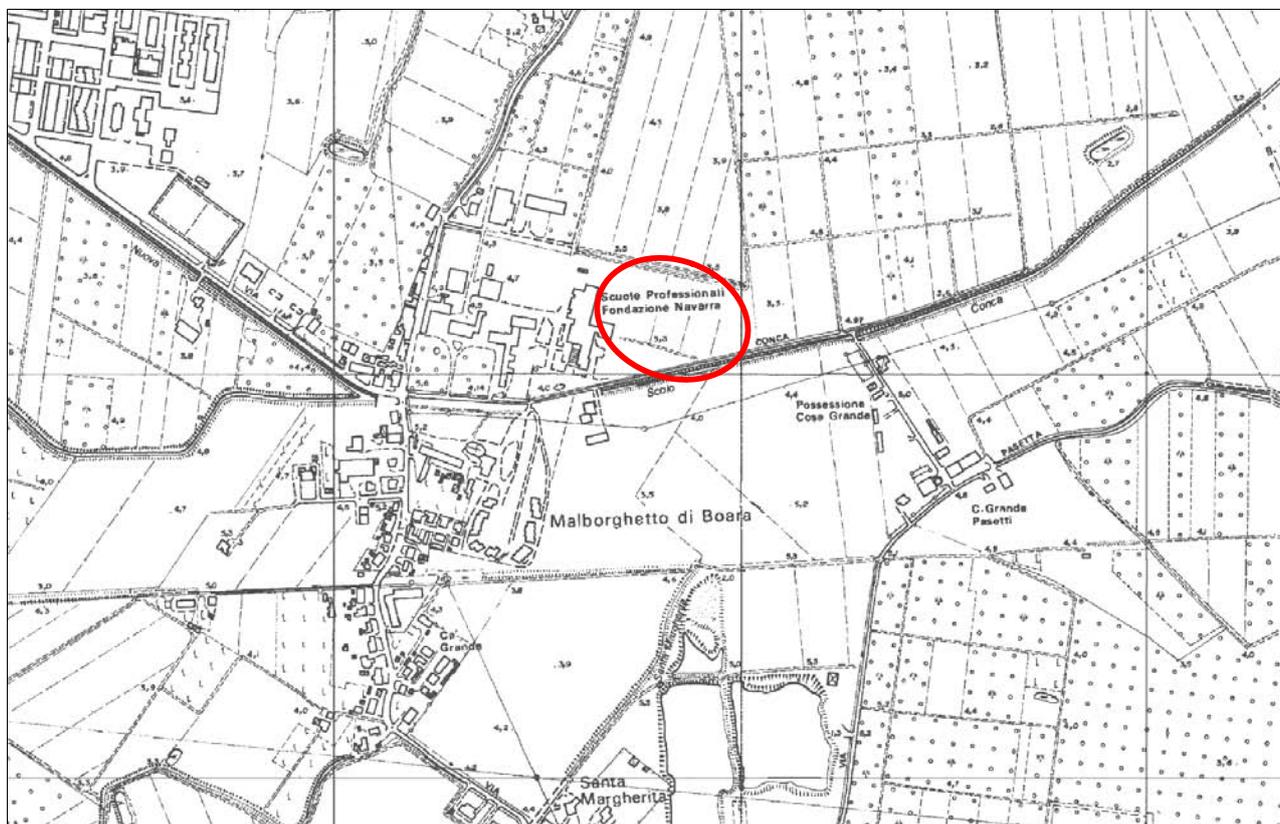


FIGURA 1.1 – Planimetria dell'area di intervento a Ferrara

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

La Pianura Padana è un'area a basso rilievo morfologico ricoperta da un ingente spessore di sedimenti terrigeni Plio-Pleistocenici.

A grande scala, nella Pianura Padana si distinguono a nord le pieghe del Subalpino e, nella parte meridionale, tre strutture principali ad arco, costituite dai thrust più avanzati della catena appenninica. Da ovest a est: l'arco del Monferrato, l'arco Emiliano (Mirandola) e l'arco di Ferrara. Quest'ultimo si può suddividere in tre gruppi minori: le pieghe ferraresi, le pieghe romagnole e più a est le pieghe adriatiche, che costituiscono il vero fronte esterno (sepolto) della catena appenninica. L'arco ferrarese è sepolto al disotto di una sequenza Plio-Pleistocenica terrigena che copre la successione carbonatica mesozoica, che costituisce la vera ossatura dell'Appennino.

Nella FIGURA 2.1 viene riportata la mappa geologico-strutturale, dove si possono notare le principali strutture tettoniche sepolte in Pianura Padana.

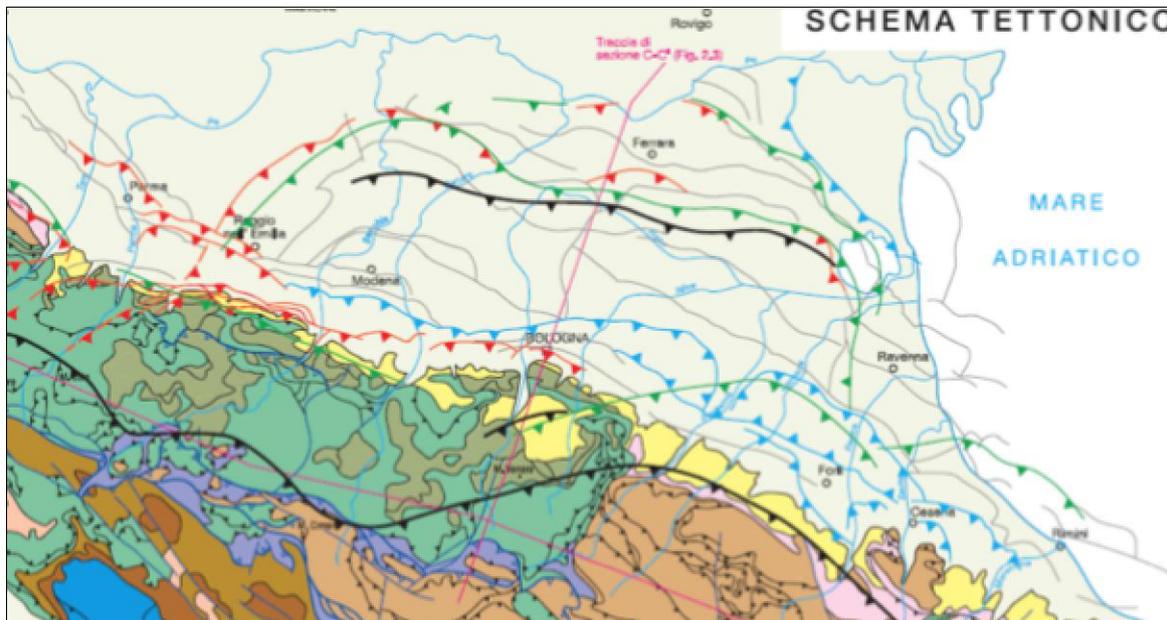


FIGURA 2.1 - Mappa geologico-strutturale della Pianura Padana

Nella FIGURA 2.2 si riporta la sezione geologica passante per Occhiobello, Fiume Po, e Poggio Renatico, in cui si possono apprezzare gli spessori dei sedimenti del Quaternario sopra i pliocenici medio superiore, che coincide con il passaggio dai sedimenti sciolti a quelli litificati o pseudolitificati.

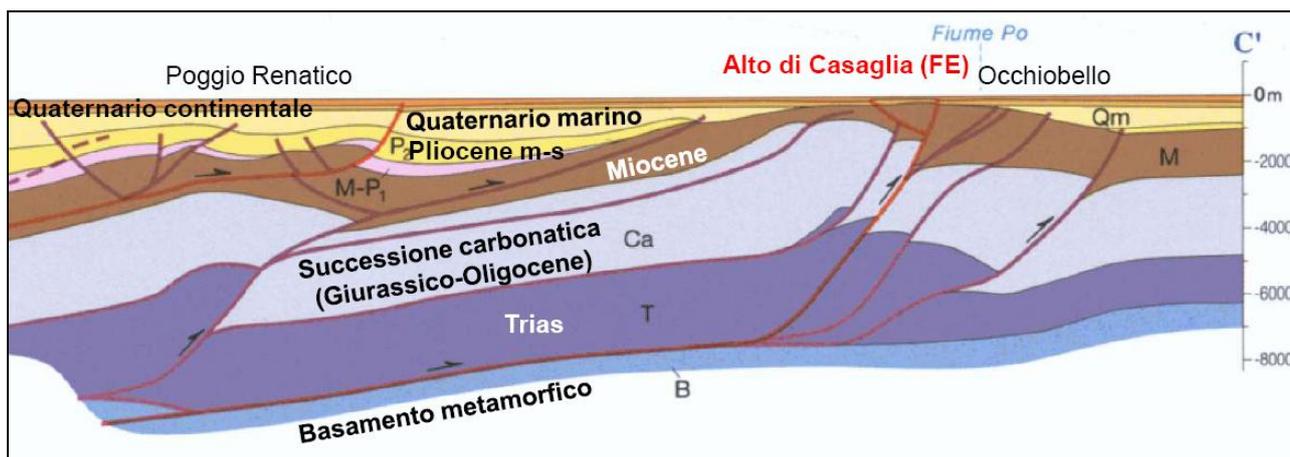


FIGURA 2.2 – Principali strutture del substrato della Padania; ben visibile in sezione la Dorsale Ferrarese.

Nella FIGURA 2.3 viene riportata la 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 della nuova attribuzione alla Zona sismica 3, in cui il comune di Ferrara è stato inserito nella OPCM 3274/2003.

Come si può notare a Ferrara, nel substrato roccioso, posto a profondità di poche centinaia di metri, sono presenti sistemi di faglie dovute a sovrascorrimenti e a fronti di accavallamento, classificate come riattivate e come soggette a possibili riattivazioni.

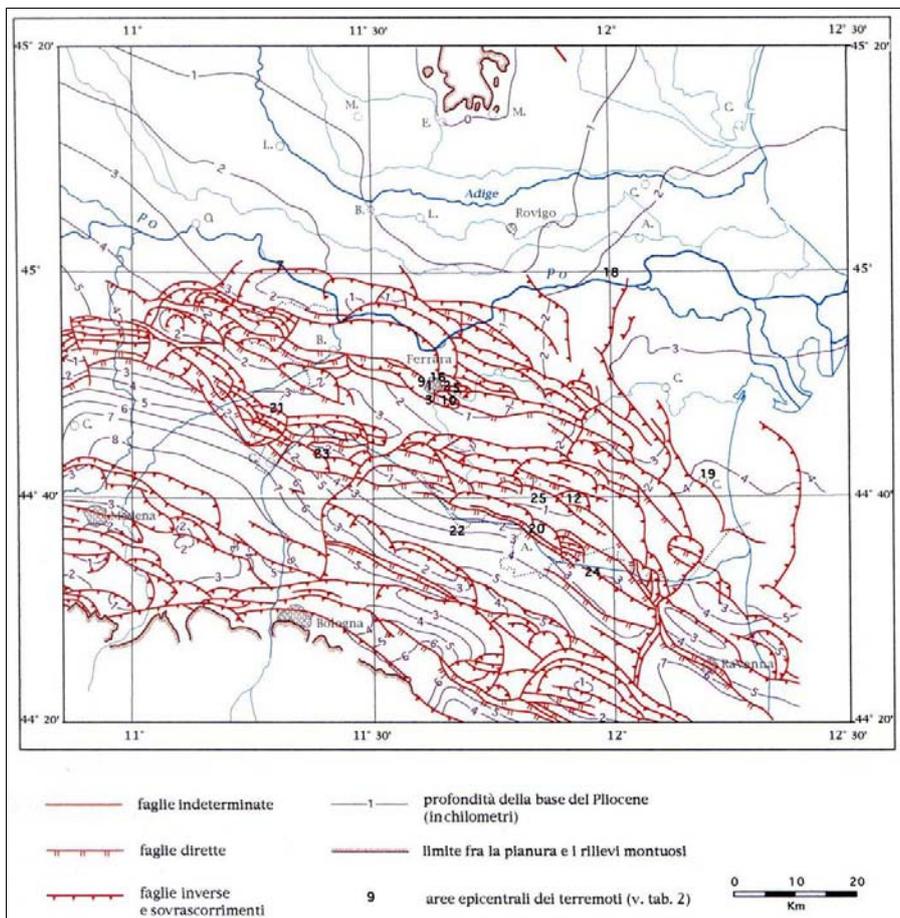


FIGURA 2.3 – Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR,1992)

Si fa inoltre presente che tutto il territorio comunale di Ferrara ricade all'interno della zona sismogenetica 912 (FIGURA 2.4), in particolare sulla Dorsale Ferrarese, dunque è potenzialmente sede epicentrale di eventi sismici.

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di $M = 6,14$.

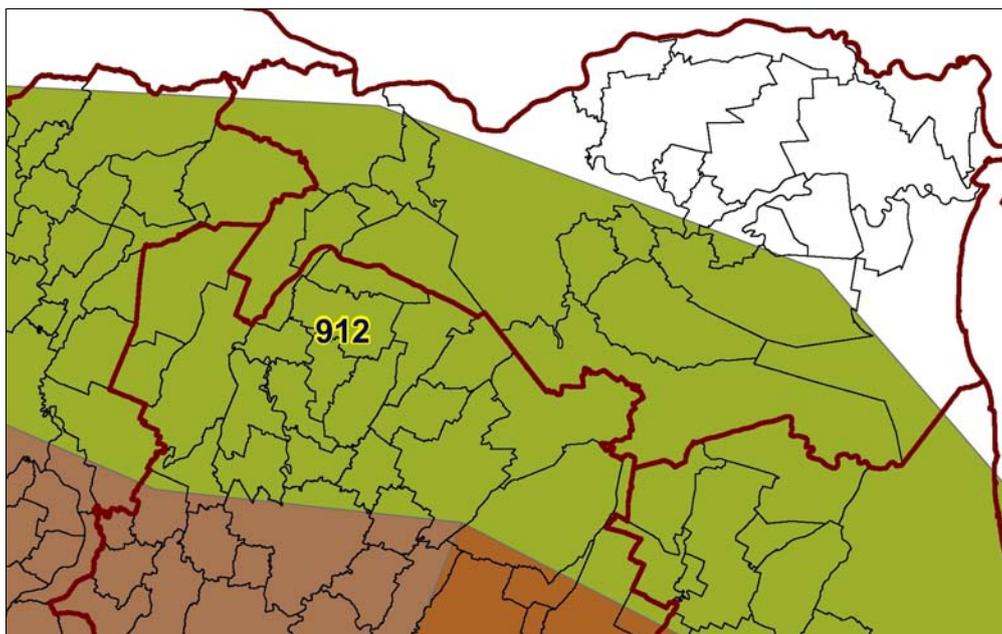


FIGURA 2.4 - Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale

2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

La formazione dell'ambiente, nella sua configurazione attuale, è relativamente recente e consegue a ripetute variazioni dei rapporti di equilibrio tra livello del mare, apporti solidi dei corsi d'acqua, entità di subsidenza e, non ultimo, l'intervento umano. Nell'attuale configurazione fisica del territorio sono riconoscibili le tracce sia della sua evoluzione naturale che quella operata dall'uomo. Tra le più evidenti e più importanti nel disegnare l'assetto morfologico si possono elencare i paleoalvei, i coni di esondazione, i cordoni dunari testimoni della veloce progradazione verso est della linea di costa, ed infine si individuano quelle aree particolarmente depresse che erano sede di bacini palustri. Per ogni struttura geomorfologica corrisponde, in linea di massima, una caratteristica classe litologica; la granulometria e la storia tensionale, strettamente legata alla storia geologica, ne condizionano le caratteristiche meccaniche ed idrauliche.

Generalmente i sedimenti che si rilevano in questa zona del comune di Ferrara sono di tipo alluvionale.

I depositi possono essere di canale ed argine prossimale con sedimenti ad alta energia idrodinamica e di canale distale con sedimenti a bassa energia idrodinamica.

2.2.1 CAMPAGNA D'INDAGINI

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 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e sismocono SCPTU1 e SCPTU2, spinte entrambe fino alla profondità di -30,00 m da p.c. realizzate dal dott. Geol. Marco Condotta nell'anno 2012 per la Costruzione del Quadro Conoscitivo del POC.

In FIGURA 2.5 si riporta uno stralcio planimetrico della provincia di Ferrara con l'ubicazione delle indagini eseguite in sito dal dott. Geol. Marco Condotta.



FIGURA 2.5 – Immagine satellitare con ubicazione indagini (fonte: google earth)

La prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 rileva:

DA	A	qcm	litol.	consistenza ed addensamento
m	m	MPa	(-)	(-)
0,0	1,2	2,77	Al-La	consistenti
1,2	2,5	3,10	L-Ls	poco addensati
2,5	6,0	0,57	A	moderatamente consistenti
6,0	6,5	3,51	SI	poco addensati
6,5	9,0	0,95	A	moderatamente consistenti
9,0	23,0	12,38	S	addensati
23,0	27,2	22,94	S	molto addensati
27,2	30,0	1,66	A	consistenti

Legenda Litologia

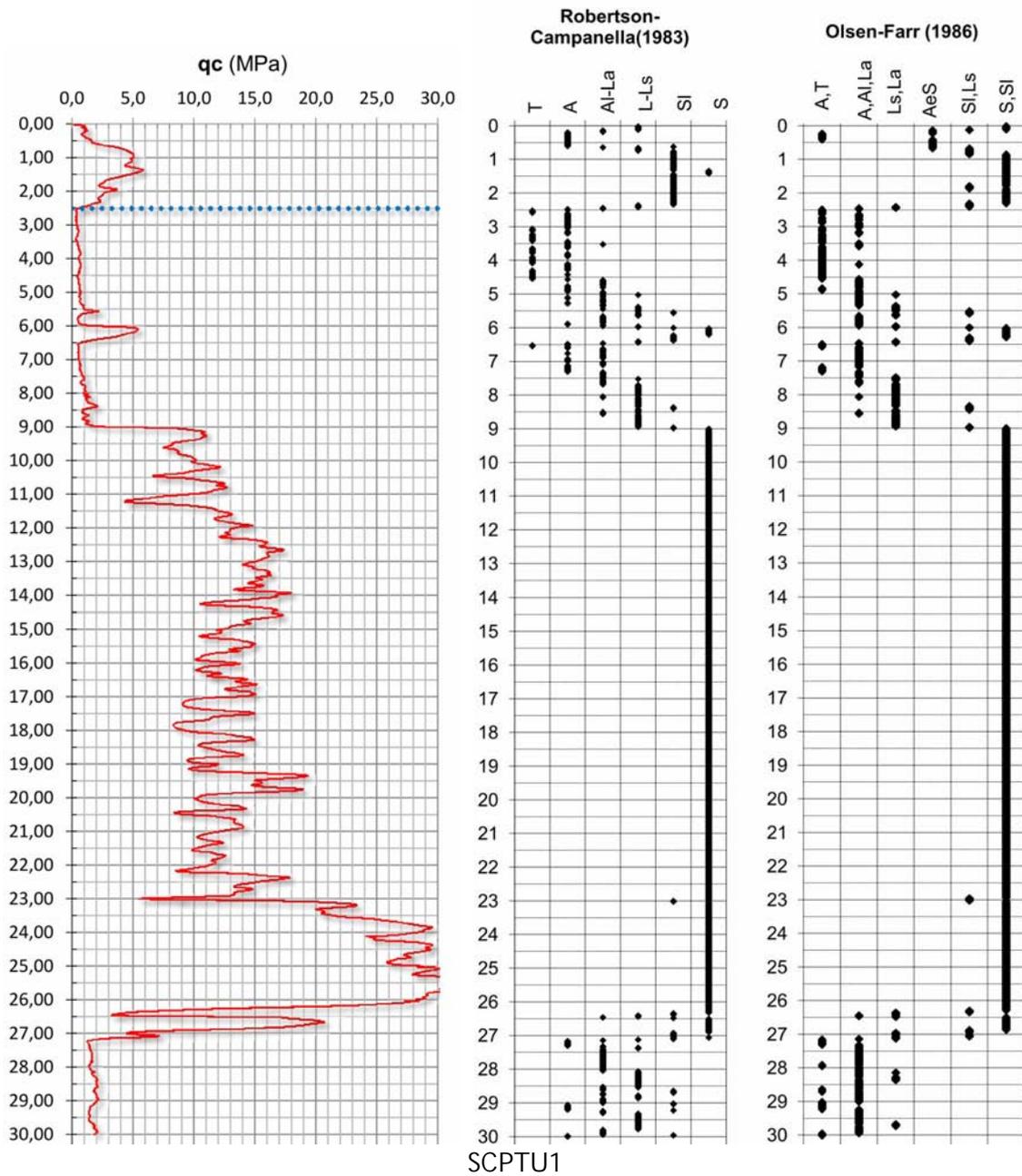
RIP	Riporto
T	Torba
A	Argilla
AL-La	Argilla Limosa - Limo Argilloso
L-Ls	Limo - Limo Sabbioso
SI	Sabbia Limosa
S	Sabbia

La prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU2 rileva:

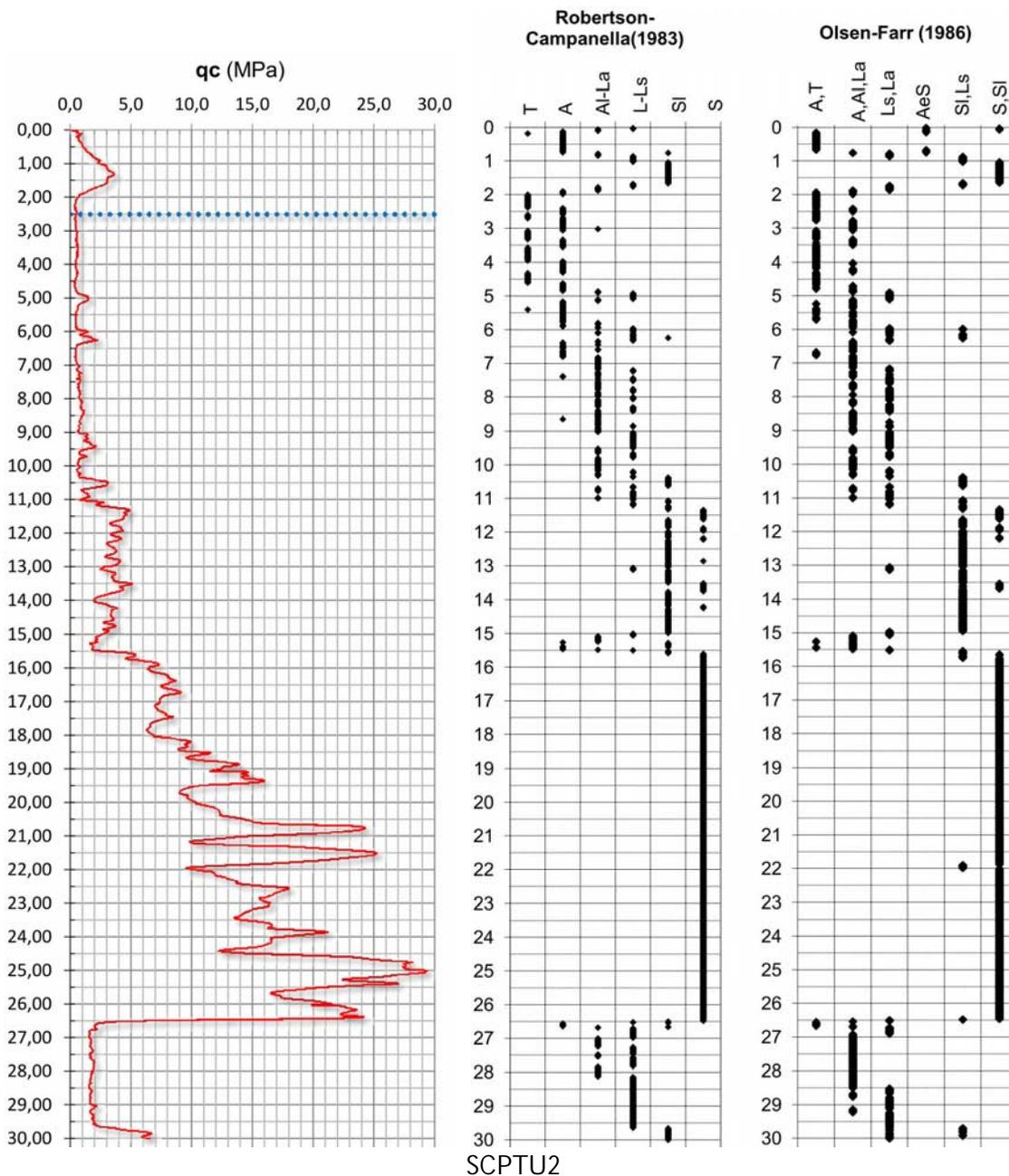
DA	A	qcm	litol.	consistenza ed addensamento
m	m	MPa	(-)	(-)
0,0	2,0	1,85	Al-La	consistenti
2,0	6,0	0,53	A	moderatamente consistenti
6,0	11,0	0,97	Al-La	moderatamente consistenti
11,0	15,5	3,30	S	poco addensati
15,5	24,5	12,37	S	addensati
24,5	26,5	22,49	S	molto addensati
26,5	29,6	1,78	A	consistenti
29,6	30,0	4,92	S	moderatamente addensati

Legenda Litologia

RIP	Riporto
T	Torba
A	Argilla
AL-La	Argilla Limosa - Limo Argilloso
L-Ls	Limo - Limo Sabbioso
SI	Sabbia Limosa
S	Sabbia



SCPTU1
 Diagrammi di resistenza e valutazioni litologiche



SCPTU2

Diagrammi di resistenza e valutazioni litologiche

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

2.2. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

La formazione dei terreni su cui sorge il sito è legata generalmente alla presenza di ambienti deposizionali fluviali-distali e palustri al di fuori del dosso fluviale storico del Fiume Po di Ferrara; in questi ambienti di bassa energia idrodinamica, le acque dolci di esondazione fluviale sedimentavano terreni fini quali argille e limi, dove gli allagamenti persistevano, le acque dolci e poco profonde favorivano lo sviluppo di canneti e flora acquatica che depositandosi sul fondo accumulavano spessori sempre maggiori di quelle che poi sarebbero diventate torbe.

Nel sito di intervento però si notano tracce di paleoalvei minori dovute a divagazioni secondarie e un piccolo ramo passa appunto sul lotto d'intervento tagliando l'area da nord a sud, testimoniato dai sedimenti granulari riscontrati nei primi due metri delle CPT eseguite.

Si propone nella FIGURA 2.4 uno stralcio della Carta geomorfologica di Ferrara, dove si possono notare le forme geomorfologiche sopra citate; si può inoltre notare come l'area allo studio è situata poco più a nord del paleoalveo del fiume Po di Ferrara mostrando dunque una stratigrafia del terreno caratterizzata prevalentemente da sedimenti coesi di bassa energia idrodinamica.

Le litologie presenti non possono 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.

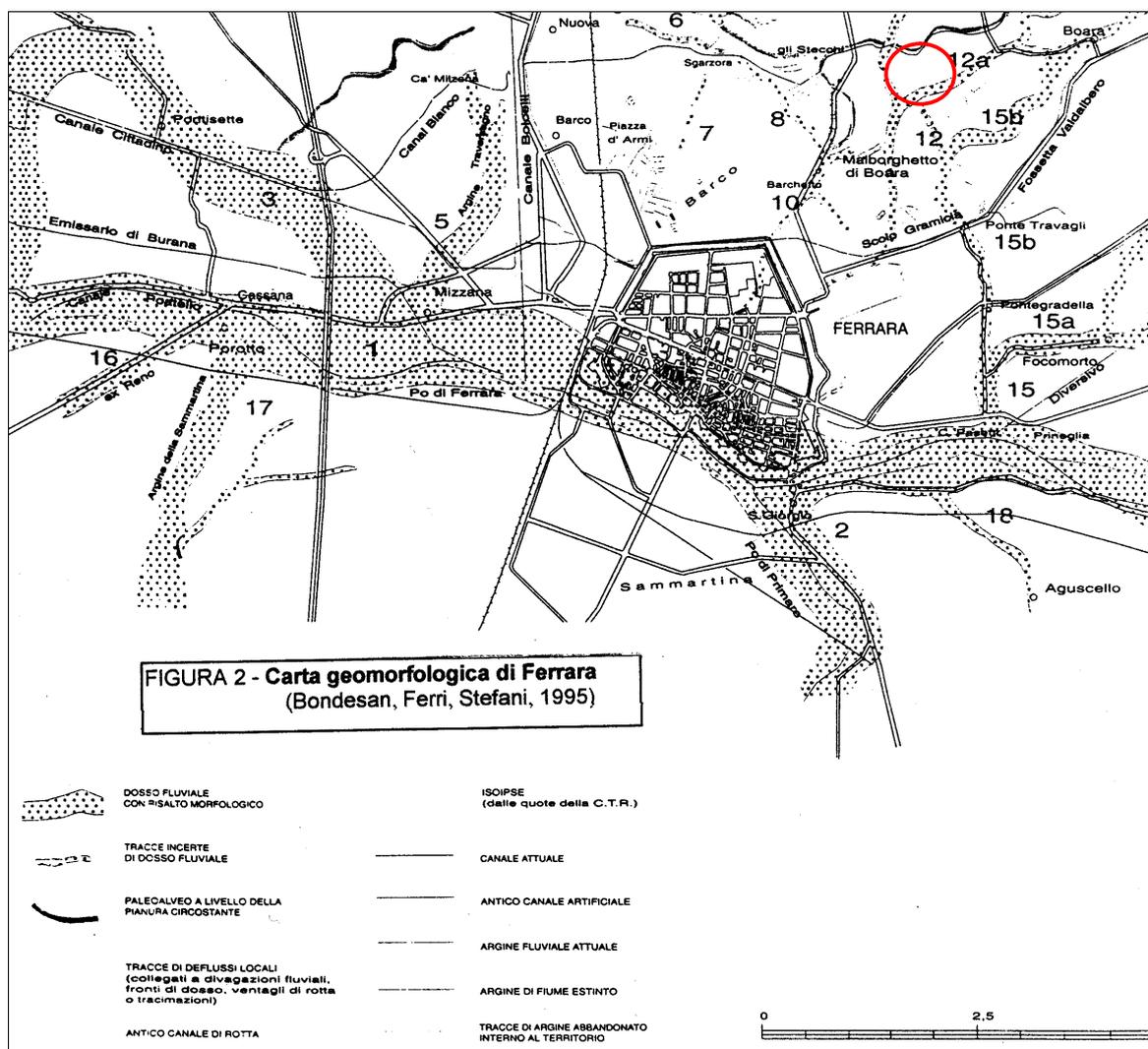


FIGURA 2.6 – Carta Geomorfologica del territorio comunale di Ferrara

In FIGURA 2.7 si riporta una zoomata della carta geomorfologica della provincia di Ferrara con l'ubicazione del sito in esame.

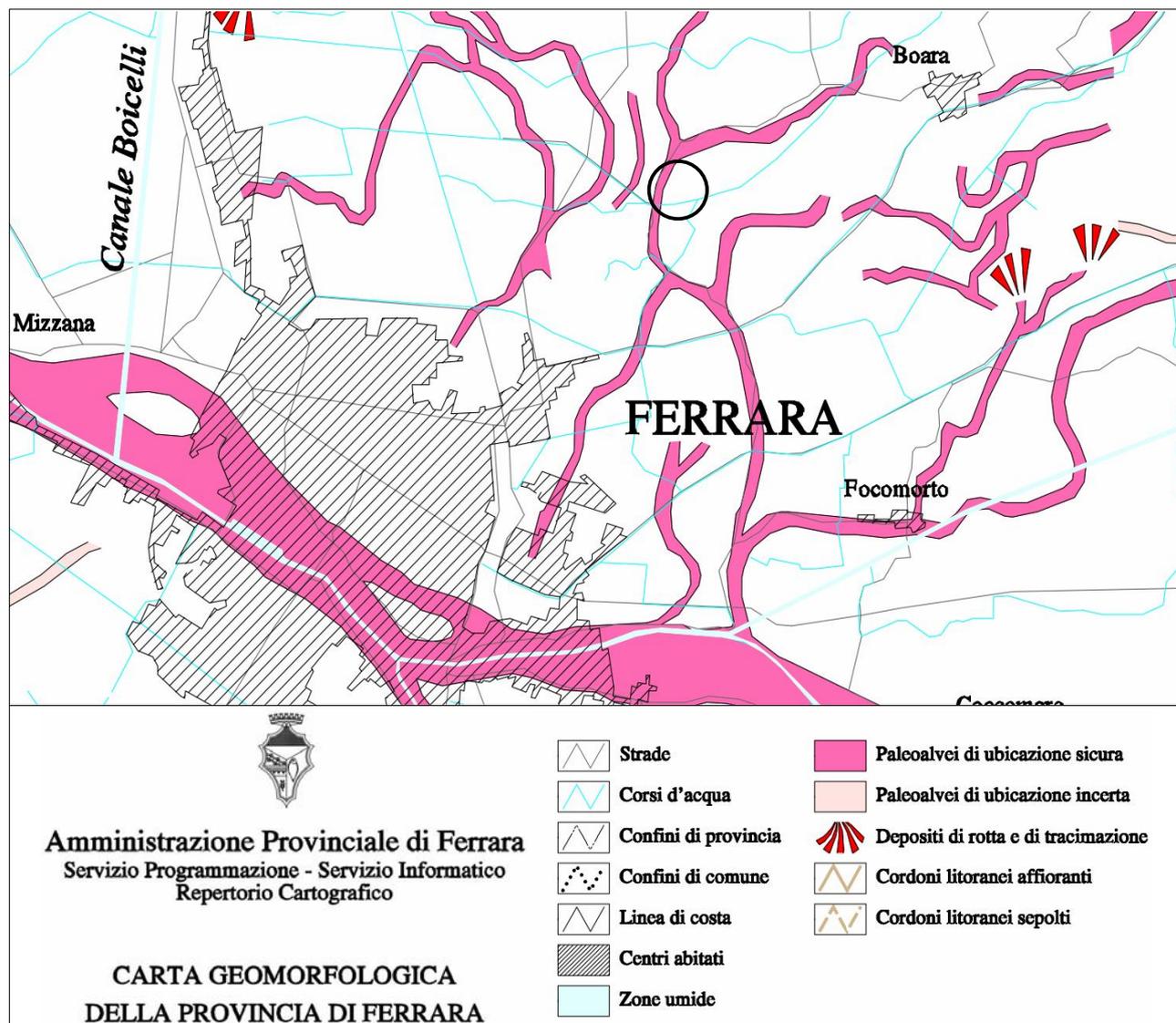


FIGURA 2.7 – Stralcio della Carta Geomorfologica del territorio comunale di Ferrara

2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica piezocono e sismocono SCPTU.

Tale quota è stata rilevata in data 09/10/2012 alla profondità di -2,50 m dal p.c. per entrambe le prove SCPTU.

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.

La circolazione delle acque dell'area risulta essere governata in modo particolare dal Condotto Conca che scorre da ovest verso est rispetto all'area allo studio; lo scolo Conca risulta essere tombinato da via Santa Margherita fino alla fine delle abitazioni di via Conca, dove s'immette lo scolo S. Margherita.

Le acque meteoriche che precipitano all'interno dell'area che delimita il sito in esame vengono recapitate in parte verso lo scolo Conca ed in parte alle opere di urbanizzazione cittadina.

In FIGURA 2.8 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 posta vicino ad aree che sono state soggette ad allagamenti persistenti in seguito a piogge intense (area tratteggiata) ma che si trova al di fuori di esse.

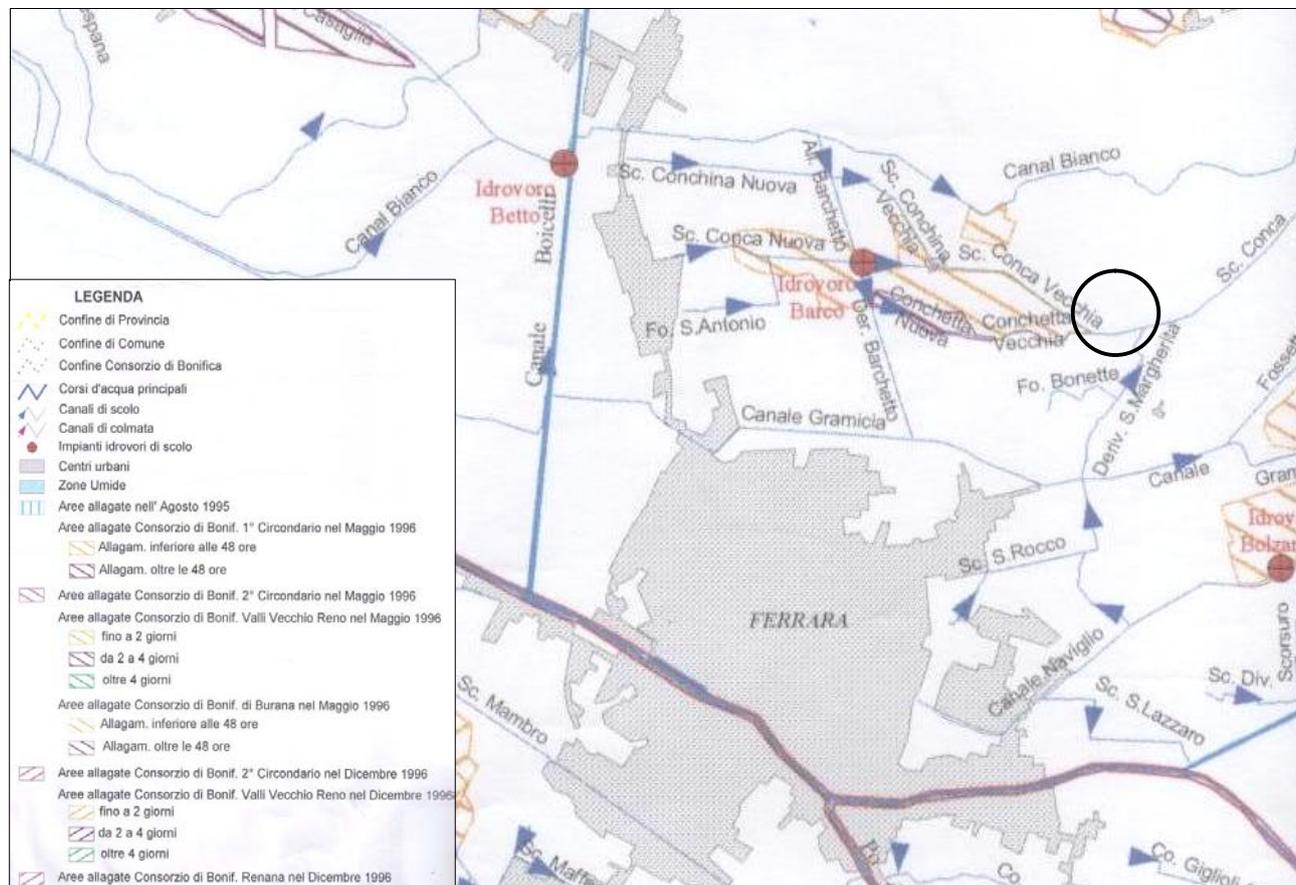


FIGURA 2.8 - Carta delle aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995 e 1996 (Amministrazione provinciale di Ferrara)

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 M_L massima 5,9.

Categoria di suolo

La categoria di suolo dipende dal valore di V_{s30} . Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio “S” nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

dove,

V_{s30} : velocità media ponderata delle onde di taglio "S",

h_i : spessore dello strato i esimo,

v_i : velocità delle onde di taglio "S" nello strato i esimo.

Il valore di V_{s30} viene di seguito calcolato attraverso le 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e sismocono SCPTU1 e SCPTU2 realizzate dal dott. Geol. Marco Condotta nell'anno 2012 per la realizzazione del Quadro Conoscitivo del POC, spinte fino alla profondità di -30,00 m da p.c. e nuovamente rielaborate dallo scrivente.

Si ricorda che la V_{s30} va calcolata dal piano di posa della fondazione.

In FIGURA 3.1 è riportato uno stralcio catastale con l'ubicazione delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica e sismocono SCPTU1 e SCPTU2.

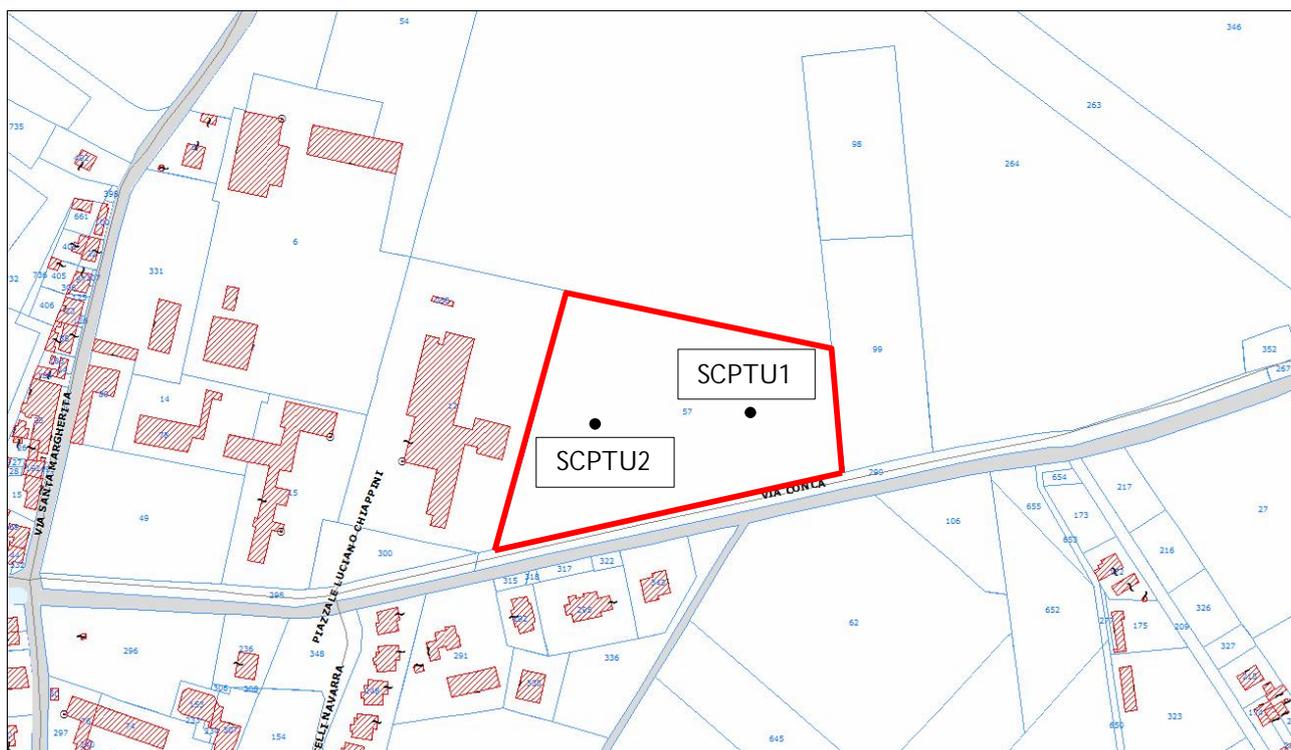


FIGURA 3.1 – Stralcio catastale della provincia di Ferrara con ubicazione prove SCPTU

La prova consiste nell'inserire sulla punta elettrica della prova penetrometrica statica dei ricevitori (geofoni) che con opportuna strumentazione e una sorgente di onde in superficie possono essere misurati, a profondità diverse, in questo caso ad ogni metro fino alla profondità di -30,00 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 3.2).

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 (V_s).

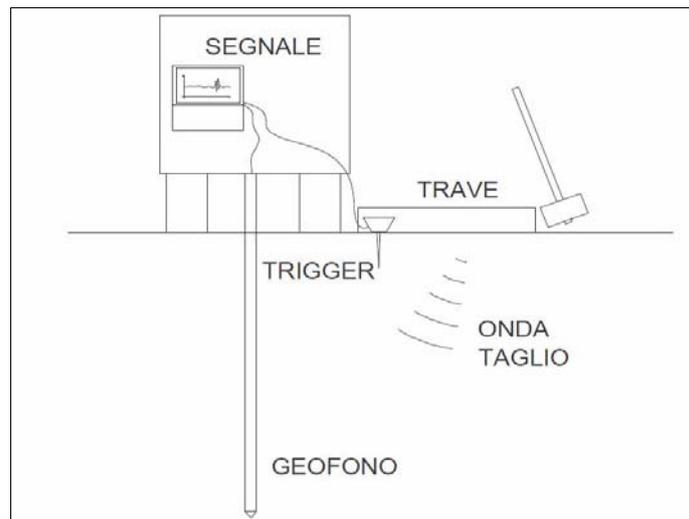
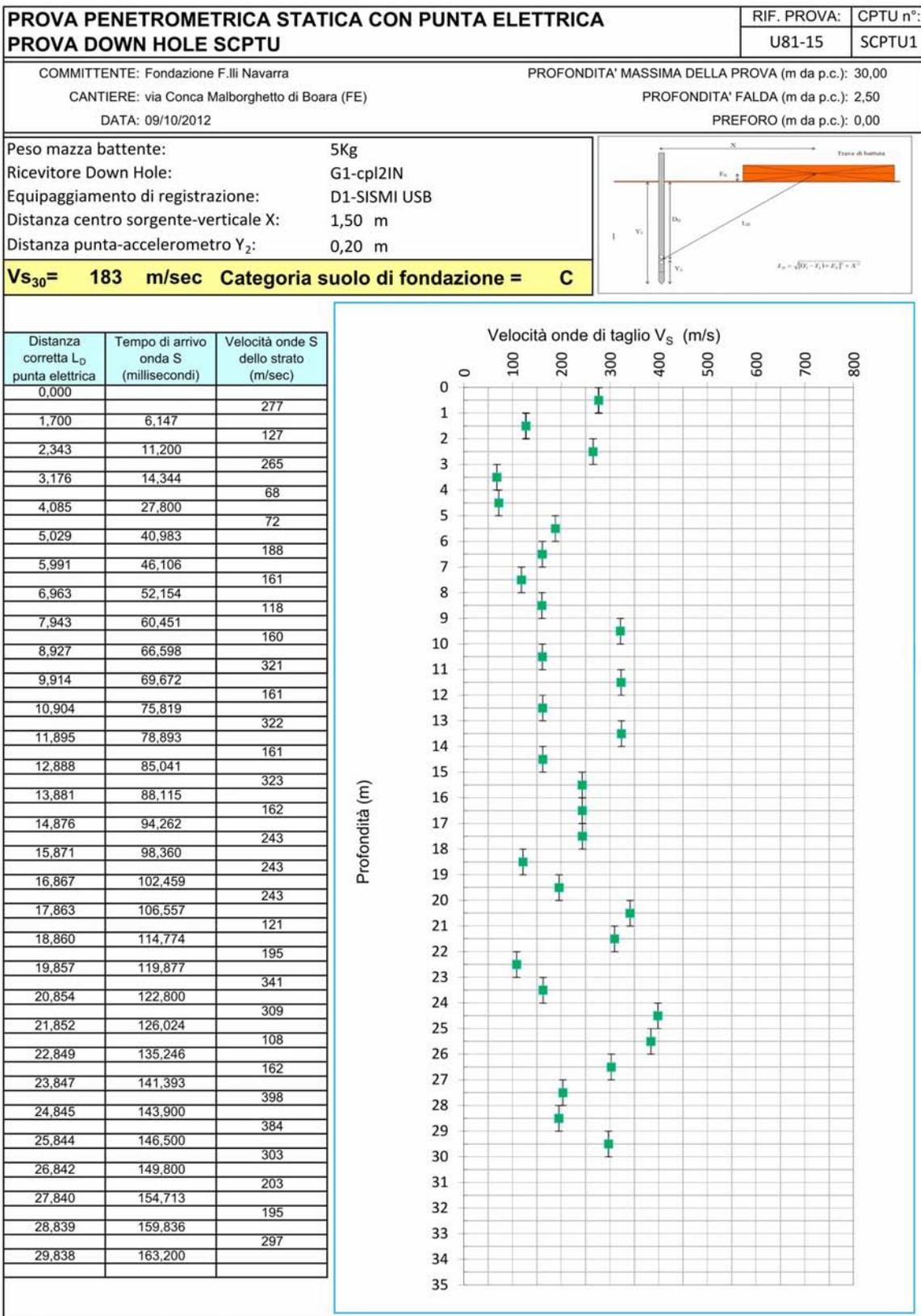


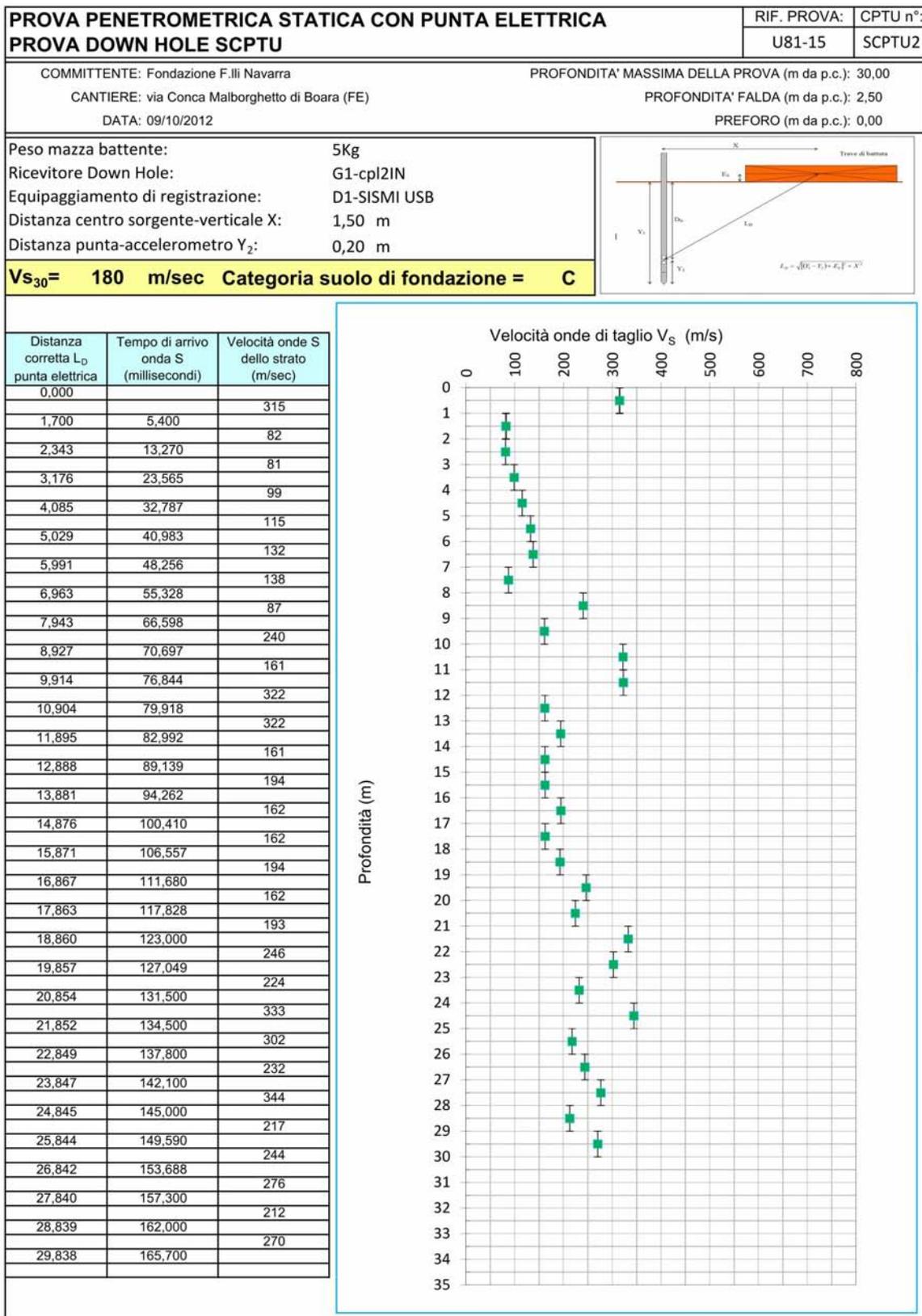
FIGURA 3.2 – Rappresentazione grafica della prova penetrometrica con piezocono sismico

Durante la realizzazione delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica e sismocono SCPTU sono state realizzate letture dirette dei tempi di arrivo delle onde di taglio S ad intervalli regolari 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 delle prove svolte in sito con la rappresentazione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio S ad ogni metro e la categoria di suolo di fondazione (ricavata attraverso il profilo fino alla profondità di -30 m da p.c.) delle due prove SCPTU eseguite in sito.





Il valore di Vs₃₀ calcolato risulta:

Vs30 = 183 m/s SCPTU1 - Categoria di suolo C
 Vs30 = 180 m/s SCPTU2 - Categoria di suolo C

Azioni sismiche "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 Ferrara vengono previste accelerazioni massime di 0.132g.

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 V_{s30} fino a 300 m/s si dovrà adottare un fattore di amplificazione sismica F.A.=1,50 per cui l'accelerazione diventerà $A_{max}=0,198$.

$$Vs30 = 183 \div 180 \text{ m/s} \quad F.A.=1,5$$

Accelerazione di progetto = 0,198 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.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

In FIGURA 3.3 è riportato lo spettro di risposta secondo l'atto di indirizzo 112/2007.

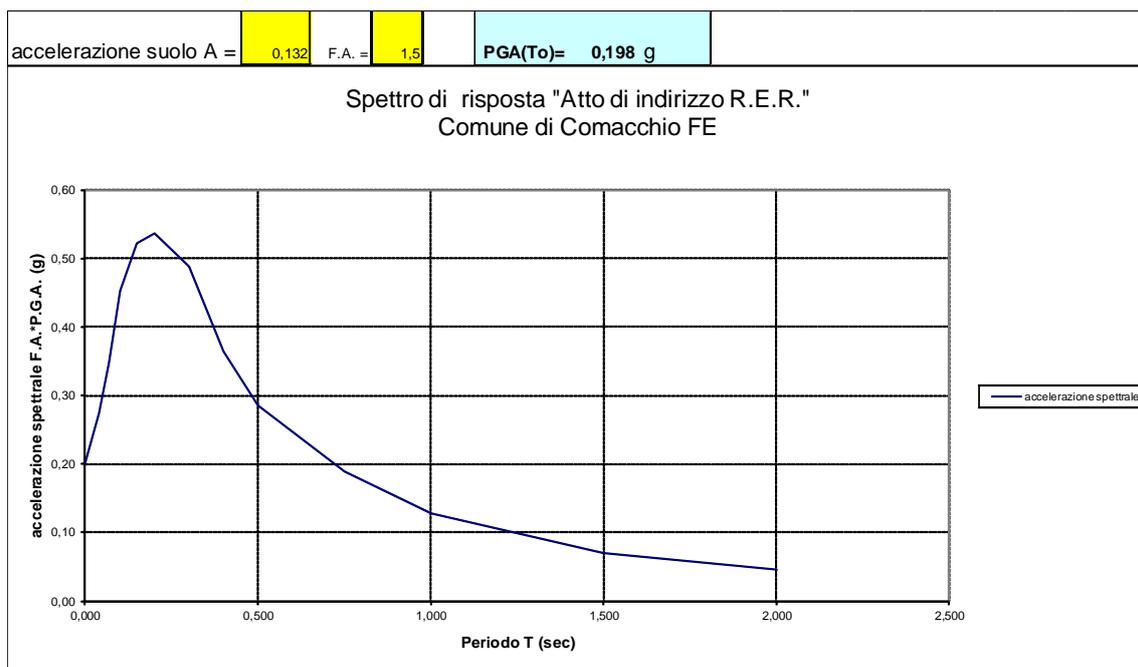


FIGURA 3.3 – Spettro di risposta secondo atto di indirizzo con $T_R=475$ anni, smorzamento = 5%.

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
--

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 piano 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 3.4 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 D_r 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 $D_r > 70\%$ vengono automaticamente esclusi dalla verifica alla liquefazione.

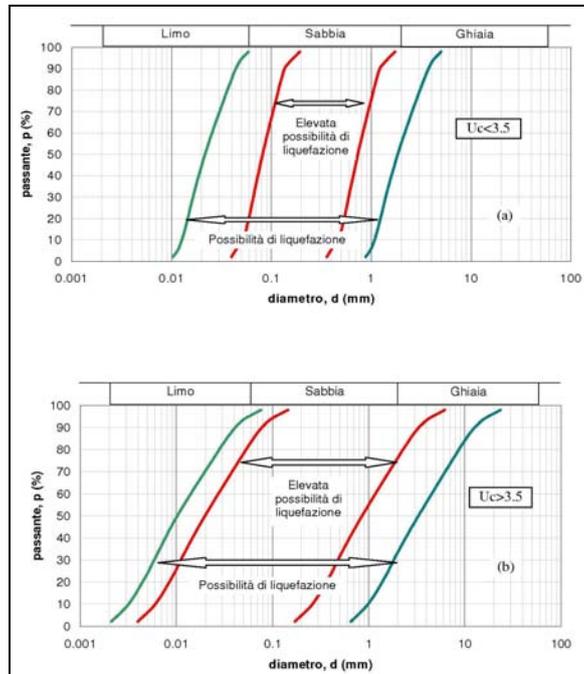


FIGURA 3.4 - Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno

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 0,1g;
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 si è fatto riferimento alla prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 e SCPTU2 realizzate dal dott. Geol. Marco Condotta nell'anno 2012 per la realizzazione del Quadro Conoscitivo del POC, spinte fino alla profondità di -30,00 m da p.c. e nuovamente rielaborate dallo scrivente.

I dati di input che caratterizzano le energie sismiche adottate sono:

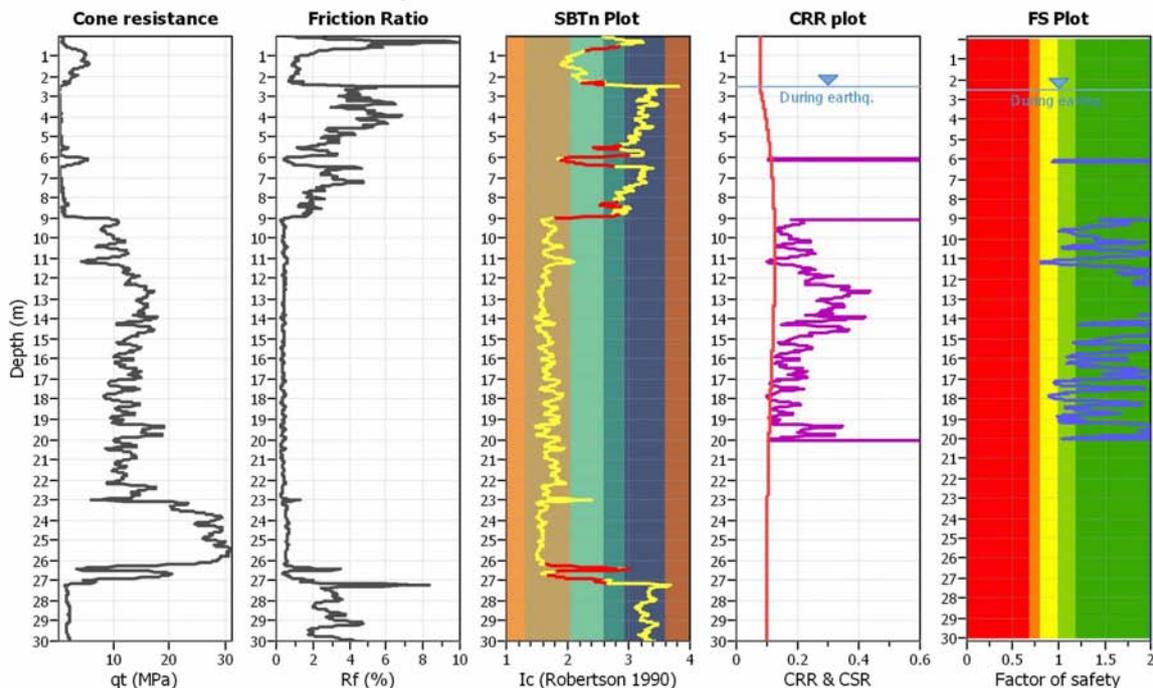
- P.G.A. = $0,132 \text{ g} \times 1,50 = 0,198 \text{ g} \approx 0,20 \text{ g}$
- $M_w = 6,14$

Utilizzando i dati di input (secondo il D.M. 14 gennaio 2008) visualizzati in FIGURA 3.5, se ne deduce che nell'area di studio, il fenomeno della liquefazione non è un effetto di sito atteso.

CPT file : SCPTU 1 Malborghetto_09-10-12

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT file : SCPTU 2 Malborghetto_10-10-12 D

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based

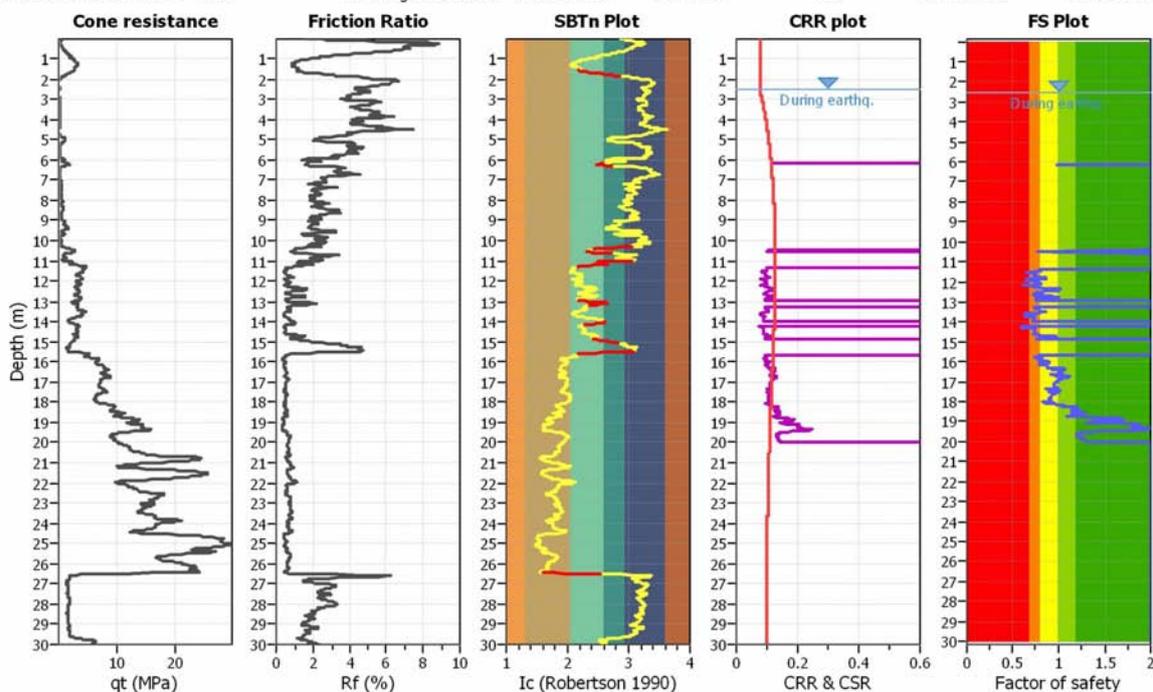


FIGURA 3.5 – Dati input e metodi di calcolo adottati – CPTU

In FIGURA 3.6, 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 analizzata.

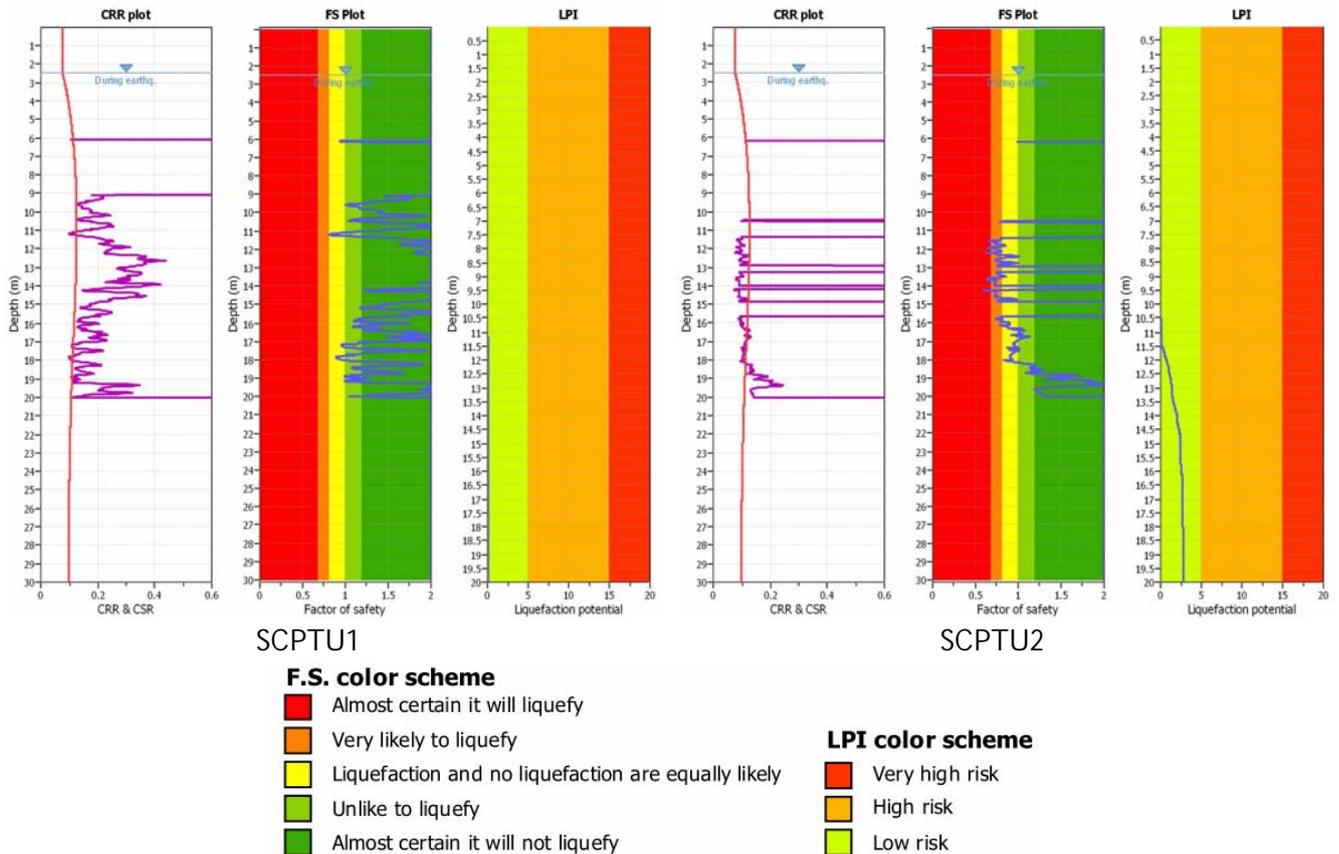


FIGURA 3.6 – Particolare dell'analisi condotta con $PGA=0,20g$ e $Mw=6,14$

Dei calcoli effettuati si riporta solo la sintesi dei risultati finali.

Inoltre è stato verificato l'indice del potenziale di liquefazione, I_L , definito dalla seguente relazione:

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

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 da p.c. per le 2 SCPTU il valore del potenziale di liquefazione per tutti gli strati incoerenti (Metodo Iwasaki).

In base alle Tabelle 3.1 e 3.2 l'indice del potenziale di liquefazione risulta BASSO per entrambe le prove.

Potenziale Liquefazione I_{PL}	Classificazione
$I_{PL} = 0$	<i>Non liquefacibile</i>
$0 < I_{PL} \leq 5$	<i>Basso</i>
$5 < I_{PL} \leq 15$	<i>Alto</i>
$I_{PL} \geq 15$	<i>Molto Alto</i>

Tabella 3.1 – Classificazione indice potenziale liquefazione

Prove	Potenziale Liquefazione I_{PL}
SCPTU1	0,16
SCPTU2	2,76

Tabella 3.2 – Indice potenziale liquefazione calcolato per le 2 SCPTU

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 le 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e sismocono SCPTU1 e SCPTU2 spinte entrambe fino alla profondità di 30,00 m da p.c..

Dalle elaborazioni informatiche, si ricava che con una Magnitudo di 6.14 e accelerazione P.G.A. di 0,20g, solo alcuni dei livelli hanno il fattore di resistenza alla liquefazione inferiore a 1,25 (EC-8), determinando cedimenti post sismici pari a 3,18 cm per la prova SCPTU1 e 17,90 cm per la prova SCPTU2 (Tabelle 3.3).

Prove	Cedimenti (cm)
CPTU1	3,18
CPTU2	17,90

Tabella 3.3 – Cedimenti post-sismici

Note tecniche: è stata operata con il software C-Liq la funzione di "taglio delle zone di transizione". Le motivazioni sono di seguito riportate: *Robertson e Campanella (1983) hanno dimostrato che la resistenza alla punta conica è influenzata dal suolo, sia quello posto anteriormente che posteriormente ad essa. Nei suoli rigidi la zona di influenza è larga (più di 15 volte il diametro della punta conica), mentre nei suoli molli la zona d'influenza è minore (minore del diametro della punta). Ahmadi e Robertson hanno dimostrato che la dimensione della zona d'influenza diminuisce con l'aumentare dello sforzo (es. le sabbie dense si comportano più similmente alle sabbie sciolte ad alti valori di sforzo).*

La zona d'influenza anteriore e posteriore al cono durante la penetrazione influenzerà la resistenza al cono a ogni interfaccia (confine) tra due tipi di suoli con significative differenze di rigidità. Per questo motivo è spesso importante identificare la transizione tra due tipi di suoli per evitare possibili errate interpretazioni. Questo problema è incominciato a divenire sempre più importante con i software che forniscono le interpretazioni di ogni dato puntiforme dalle CPT. Quando i dati delle CPT sono raccolti a intervalli separati (solitamente ogni 20-50mm), parecchi dati puntuali sono "in transizione" quando la punta passa attraverso l'interfaccia tra due differenti tipi di suolo (per esempio dalla sabbia all'argilla e viceversa). È possibile individuare la transizione da un tipo di suolo a un altro usando il tasso di cambio dell' I_c . quando la CPT è in transizione dalla sabbia all'argilla l' $SBT I_c$ si muoverà da valori più bassi della sabbia verso valori più alti dell'argilla. Robertson e Wride (1998) hanno suggerito che il limite approssimativo tra un suolo con comportamento simile alla sabbia e uno con comportamento simile all'argilla è intorno a $I_c=2.60$. Da qui, quando il tasso di cambio dell' I_c è rapido e attraversa il valore definito di 2.60, la punta è verosimilmente in transizione tra un suolo con comportamento sabbioso e uno con comportamento argilloso o viceversa. I profili dell' I_c possono fornire un semplice strumento per identificare e rimuovere queste zone di transizione.

Alcuni Software, quali CLiq (<http://www.geologismiki.gr/Products/CLiq.html>) includono strumenti per identificare e rimuovere le zone di transizione.

4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

Sono state considerate le 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono SCPTU1 e SCPTU2 realizzate dal dott. Geol. Marco Condotta nell'anno 2012 per la realizzazione del Quadro Conoscitivo del POC, spinte fino alla profondità di -30,00 m da p.c. e nuovamente rielaborate dallo scrivente.

In FIGURA 4.1 viene riportato uno stralcio catastale con l'ubicazione delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica SCPTU eseguite in sito e uno stralcio di progetto.

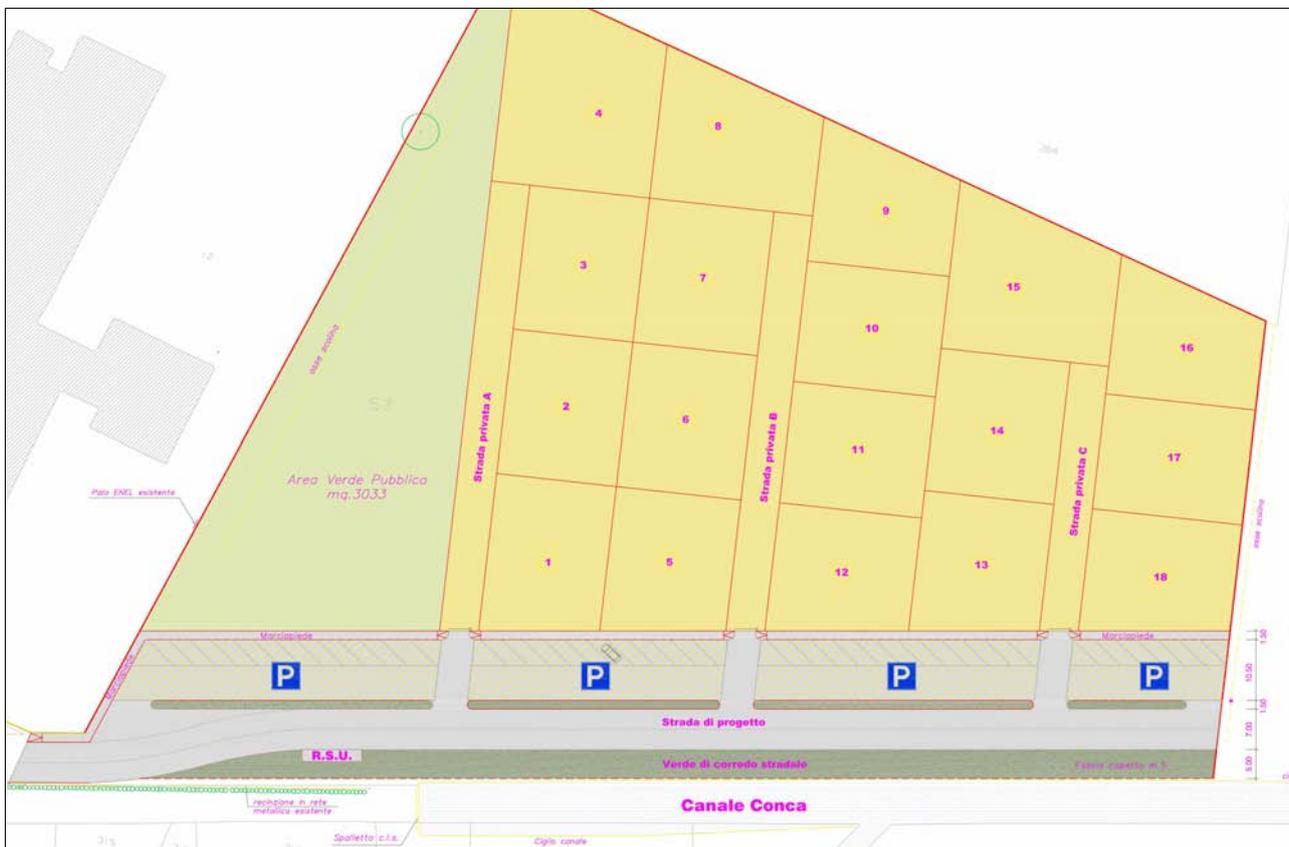
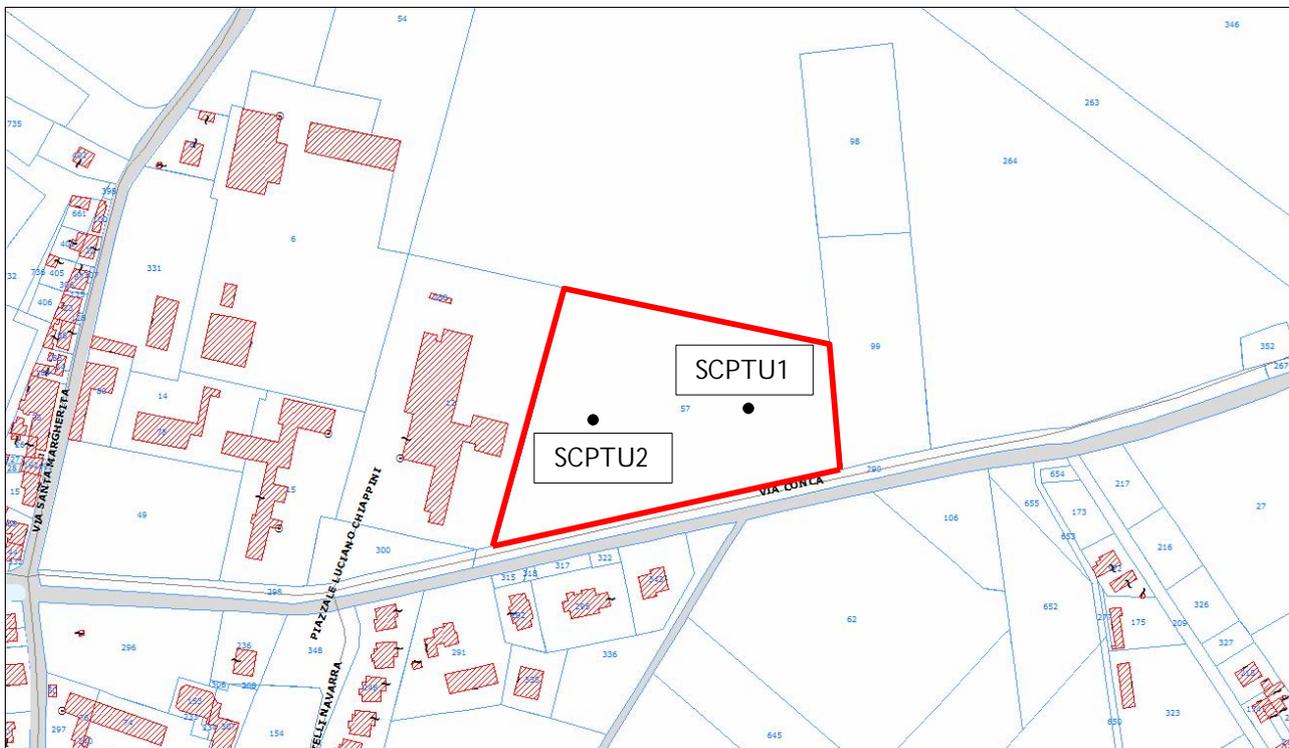


FIGURA 4.1 – Stralcio catastale con ubicazione indagini – Stralcio di progetto

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

4.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

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 γ' (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 ϕ' (°), 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 le prove penetrometriche statiche SCPTU:

Identificativo		PROVA PENETROMETRICA STATICA																
Emissione		PARAMETRI GEOTECNICI																
Pagina																		
-Committente		Fondazione F.lli Navarra										-Prova n°					SCPTU1	
-Cantiere		via Conca Malborghetto di Boara (FE)										-Data prova					09/10/2012	
-Quota p.c.		3,50 m s.l.m.										-Prof. preforo					0,00 m	
-Livello di falda		2,50 m da p.c.										-Prof. finale					30,00 m	
DA	A	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI										
		qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	Cu	OCR	OCR	Mo	Eu50	CR	Dr	FI'DM	FI' Bolton	FI'Schm.	E'25	Mo
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m3	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)	(%)	(°)	(°)	(°)	MPa	MPa
0,0	1,2	2,77	0,07	0,00	AI-La	18,15	92	20	-	5,39	15,72	0,05	-	-	-	-	-	-
1,2	2,5	3,10	0,03	0,00	L-Ls	20,00	64	11	#####	4,12	13,82	0,11	44	34	31	34 37 39 41	8,14	13,02
2,5	6,0	0,57	0,02	0,07	A	17,50	28	3	7	2,09	10,31	0,24	-	-	-	-	-	-
6,0	6,5	3,51	0,03	-0,01	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	36	33	29	33 35 38 41	9,68	15,48
6,5	9,0	0,95	0,02	0,10	A	17,50	44	3	7	3,52	19,37	0,23	-	-	-	-	-	-
9,0	23,0	12,38	0,05	0,02	S	20,00	-	-	-	-	-	-	64	35	32	37 39 41 43	30,96	44,25
23,0	27,2	22,94	0,14	0,02	S	20,00	-	-	-	-	-	-	77	36	32	39 40 42 44	58,85	66,22
27,2	30,0	1,66	0,06	0,46	A	17,50	77	1	4	5,27	44,76	0,34	-	-	-	-	-	-

Identificativo	U81-15
Emissione	ott-15
Pagina	1 di 0

PROVA PENETROMETRICA STATICA

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	Fondazione F.Ili Navarra	-Prova n°	SCPTU2
-Cantiere	via Conca Malborghetto di Boara (FE)	-Data prova	09/10/2012
-Quota p.c.	3,50 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,00 m
-Livello di falda	2,50 m da p.c.	-Prof. finale	30,00 m

DA	A	qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
							Cu (qc)	OCR (qc)	OCR (U)	M ₀	Eu50	CR	Dr (%)	FI _{DM} (°)	FI _{Bottom} (°)	FI _{Schm.} (°)	E'25	M ₀			
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m ³	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)						MPa	MPa		
0,0	2,0	1,85	0,05	0,00	Al-La	18,00	75	19	-	4,47	12,93	0,06	-	-	-	-	-	-	-		
2,0	6,0	0,53	0,02	0,03	A	17,50	28	3	8	1,92	9,43	0,24	-	-	-	-	-	-	-		
6,0	11,0	0,97	0,02	0,09	Al-La	18,00	44	3	7	3,55	19,58	0,25	-	-	-	-	-	-	-		
11,0	15,5	3,30	0,03	-0,06	S	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	30	27	30	33	36	39	8,51	13,61
15,5	24,5	12,37	0,08	0,01	S	20,00	-	-	-	-	-	-	58	34	31	36	38	40	43	30,93	42,95
24,5	26,5	22,49	0,13	0,06	S	20,00	-	-	-	-	-	-	79	36	32	39	41	42	44	56,22	64,84
26,5	29,6	1,78	0,05	0,47	A	17,50	84	2	4	5,48	47,69	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,6	30,0	4,92	0,09	0,17	S	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	25	29	33	36	39	12,30	19,69

Tabella 4.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica piezocono e sismocono SCPTU.

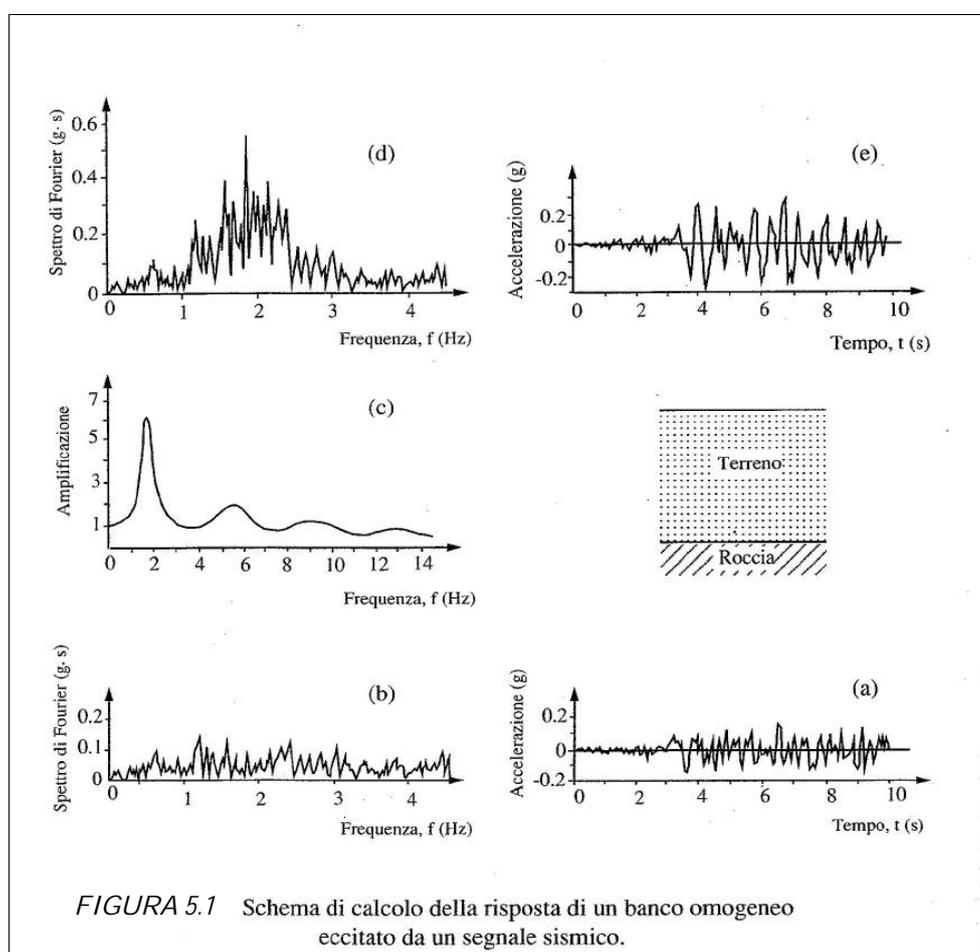
Tale quota è stata rilevata in data 09/10/2012 alla profondità di -2,50 m dal p.c. per entrambe le prove SCPTU.

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.

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.



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 V_s e attribuendo delle curve di decadimento del modulo G_0 espresse come rapporto G/G_0 in funzione dello sforzo di taglio e delle curve di smorzamento D sempre in funzione del diverso stato di sforzo di taglio. Tali curve derivano da indagini fatti su campioni di terreno prelevati sotto la città di Ferrara e nei dintorni.

Il modello stratigrafico e geofisico profondo, sulla base dei dati riportati in questa relazione, è il seguente:

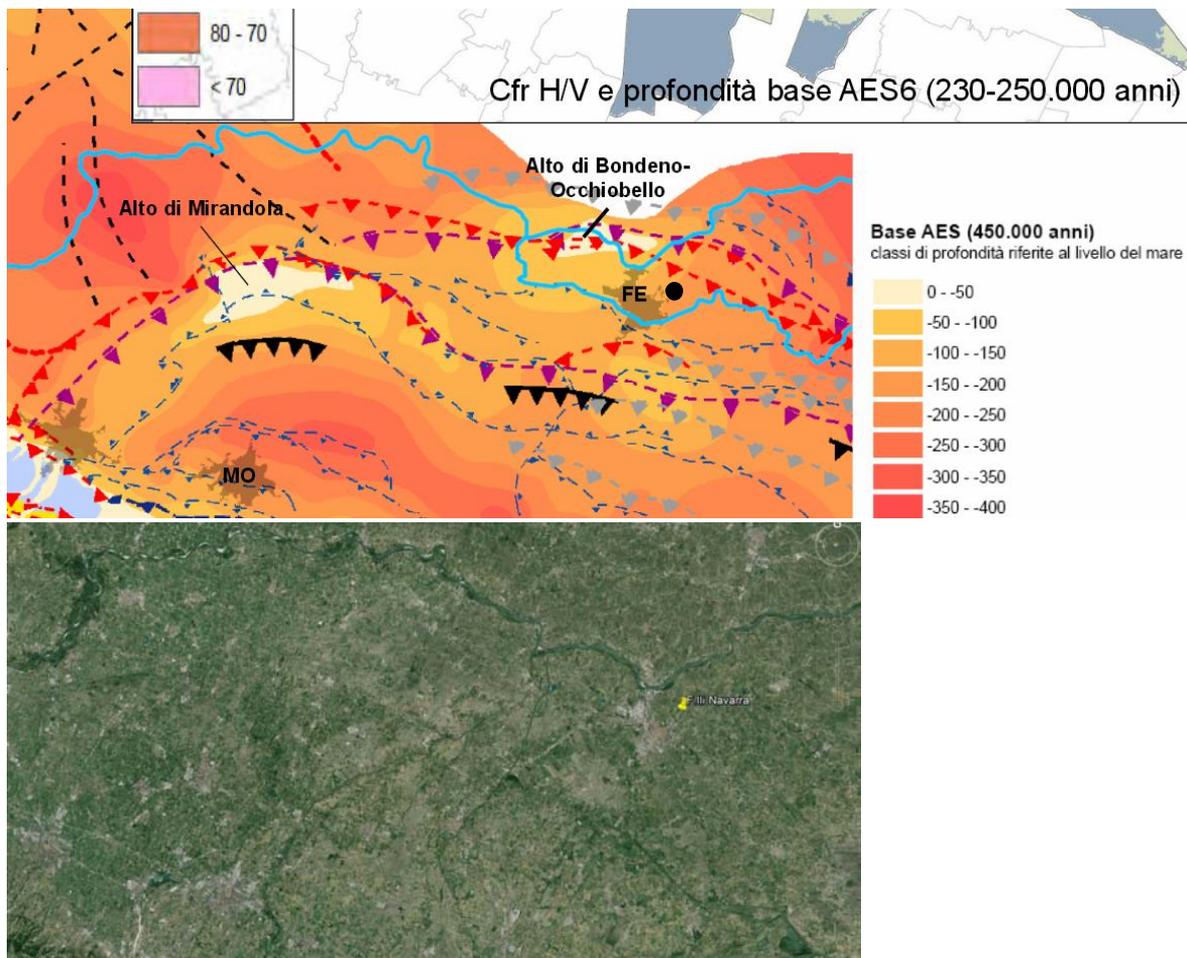


FIGURA 5.2. – profondità presunta del bed rock sismico

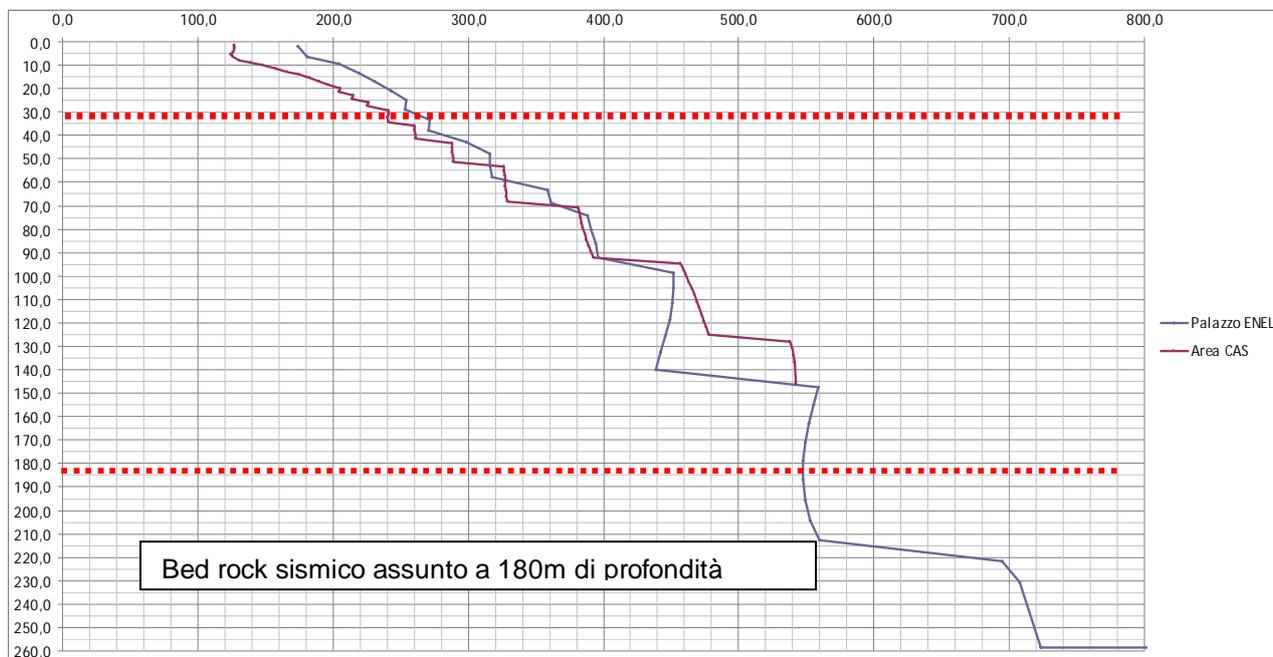


FIGURA 5.3. – profilo di Vs adottato tra 30m e 180m di profondità.

Nel sito allo studio la base del Subsistema indifferenziato si colloca a circa 150-200m di profondità. Sovrapponendo due profili profondi di Vs, fatti in due settori diversi della città, si trova una certa corrispondenza di dati. Pertanto tale profilo verrà utilizzato anche nel caso allo studio. Il bedrock sismico viene assunto a circa 180m di profondità, sulla base della FIGURA 5.4., in cui è riportata una sezione geologica passante per Ferrara.

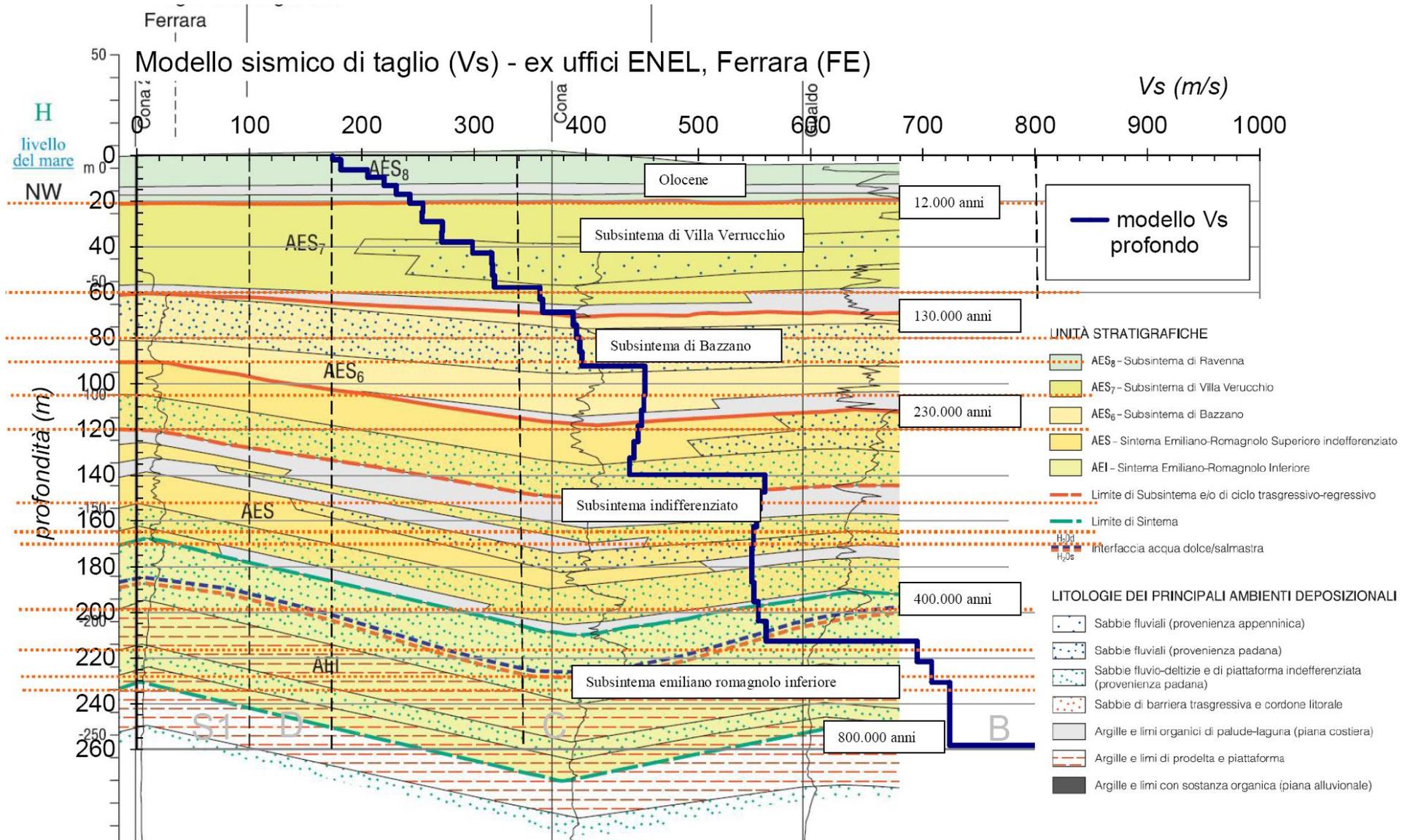


FIGURA 5.4 - modello stratigrafico profondo e modello geofisico profondo adottato per l'analisi di risposta sismica locale.

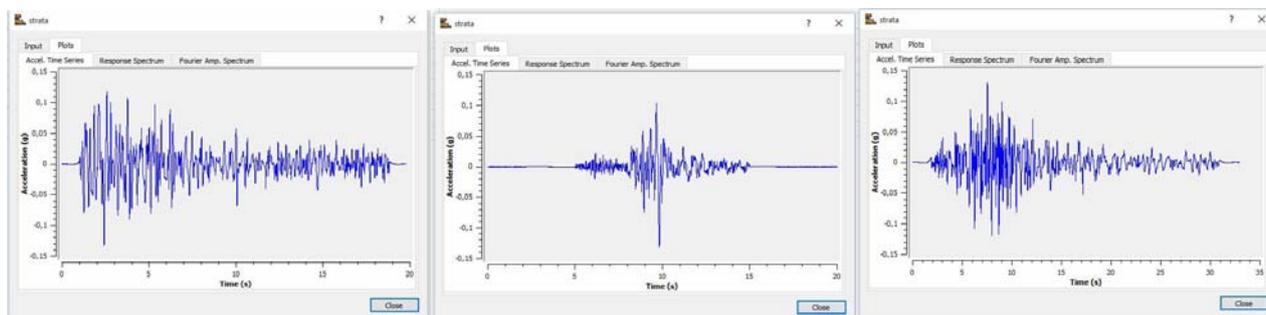
Ora invece si riportano le schermate con evidenziati i dati di Input per l'analisi di RSL, eseguita con il software STRATA.

Soil Types					Site Profile				
Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model		Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	
1	1	18.15	BondCR1 AL	BondCR1 AL	1	0.00	1.00	1	190.00
2	2	19.00	FE Sh5	FE Sh5	2	1.00	1.50	2	180.00
3	3	16.00	FE Sh2	FE Sh2	3	2.50	2.00	3	75.00
4	4	17.50	BondCR2 AL	BondCR2 AL	4	4.50	1.50	4	150.00
5	5	18.50	FE Sh5	FE Sh5	5	6.00	0.50	5	160.00
6	6	17.50	FE Sh1	FE Sh1	6	6.50	2.50	6	160.00
7	7	18.50	BondCR3 S	BondCR3 S	7	9.00	2.00	7	200.00
8	8	19.00	BondCR4	BondCr4	8	11.00	12.00	8	230.00
9	9	19.50	BondCR4	BondCr4	9	23.00	4.00	9	350.00
10	10	18.50	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	10	27.00	6.00	10	180.00
11	11	19.50	BondCR4	BondCr4	11	33.00	22.00	11	350.00
12	12	19.50	FE Sh4	FE Sh4	12	55.00	5.00	12	320.00
13	13	20.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	13	60.00	20.00	13	380.00
14	14	20.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	14	80.00	10.00	14	400.00
15	15	20.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	15	90.00	15.00	15	450.00
16	16	20.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	16	105.00	15.00	16	440.00
17	17	20.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	17	120.00	20.00	17	438.00
18	18	20.50	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	18	140.00	10.00	18	558.00
19	19	21.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	19	150.00	10.00	19	554.00
20	20	20.50	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	20	160.00	5.00	20	552.00
21	21	20.50	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	21	165.00	15.00	21	550.00
22	22	21.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	22	180.00	Half-Space	Bedrock	800.00

Per la definizione del moto sismico al bedrock sismico si ricorre alla terna di accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia Romagna scalati per il comune di Ferrara. Si rammenta che le analisi nella pianificazione territoriale si operano con tempo di ritorno di $T_R=475$ anni. L'analisi che si conduce è di tipo lineare equivalente (EQL).

La falda freatica viene assunta a -2,5m dal p.c. (massima quota a cui è stata misurata).

Di seguito si riportano i tre accelerogrammi spettrocompatibili forniti dalla Regione per il comune di Ferrara.

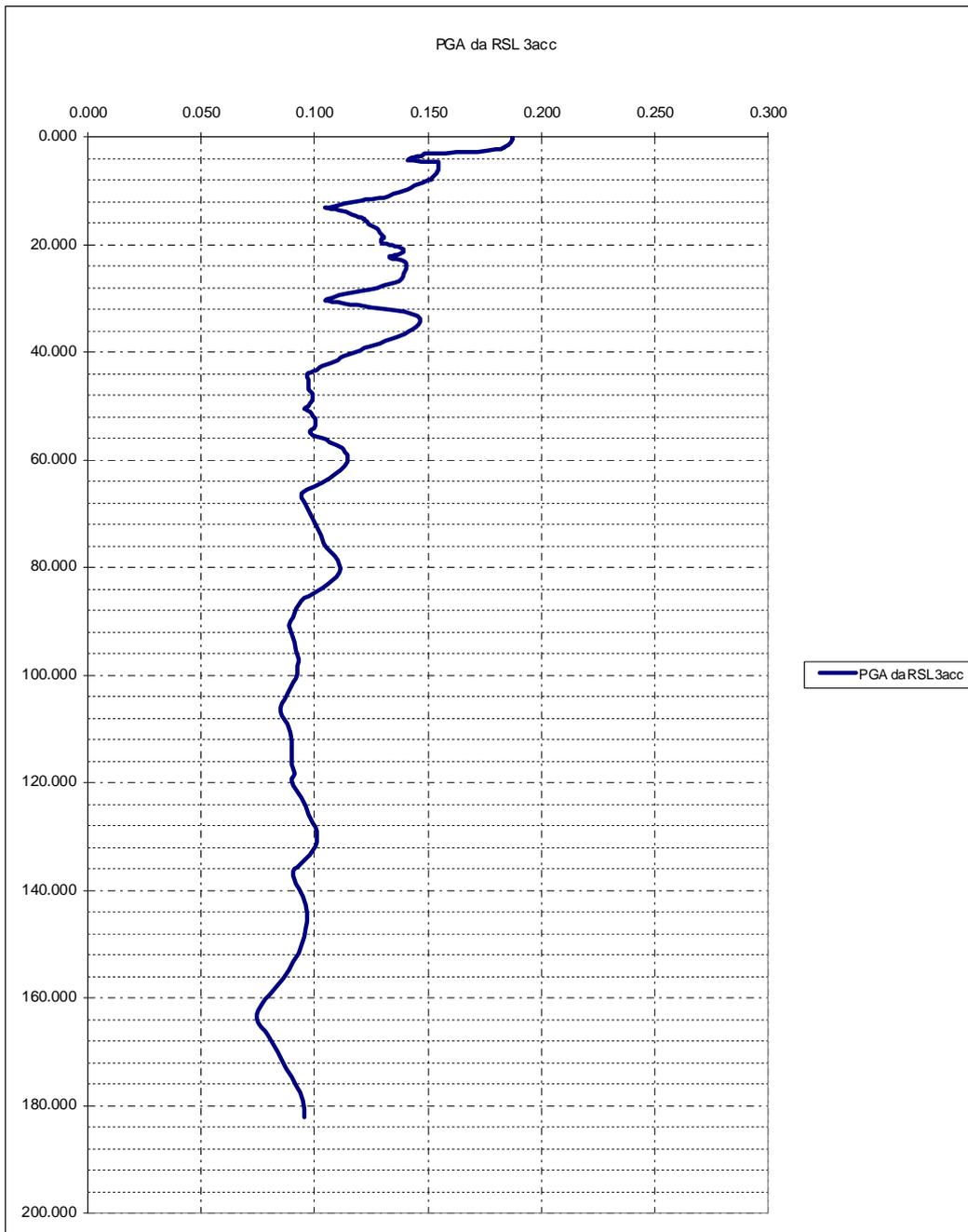


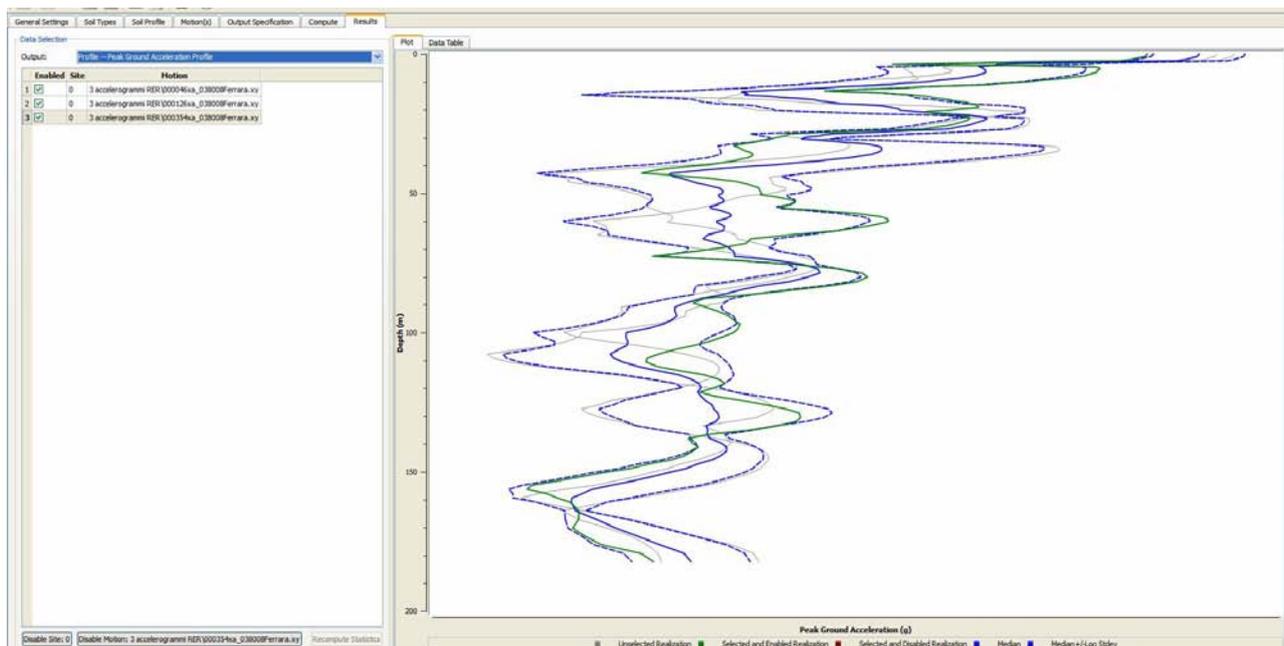
Utilizzando il codice STRATA, con una analisi di tipo equivalente lineare, si ottengono i risultati riportati di seguito.

Si ricorda, che avendo fatto ricorso ad un gruppo di tre accelerogrammi, si farà riferimento non al valore medio ma all'involuppo massimo dei risultati per i tre moti sismici.

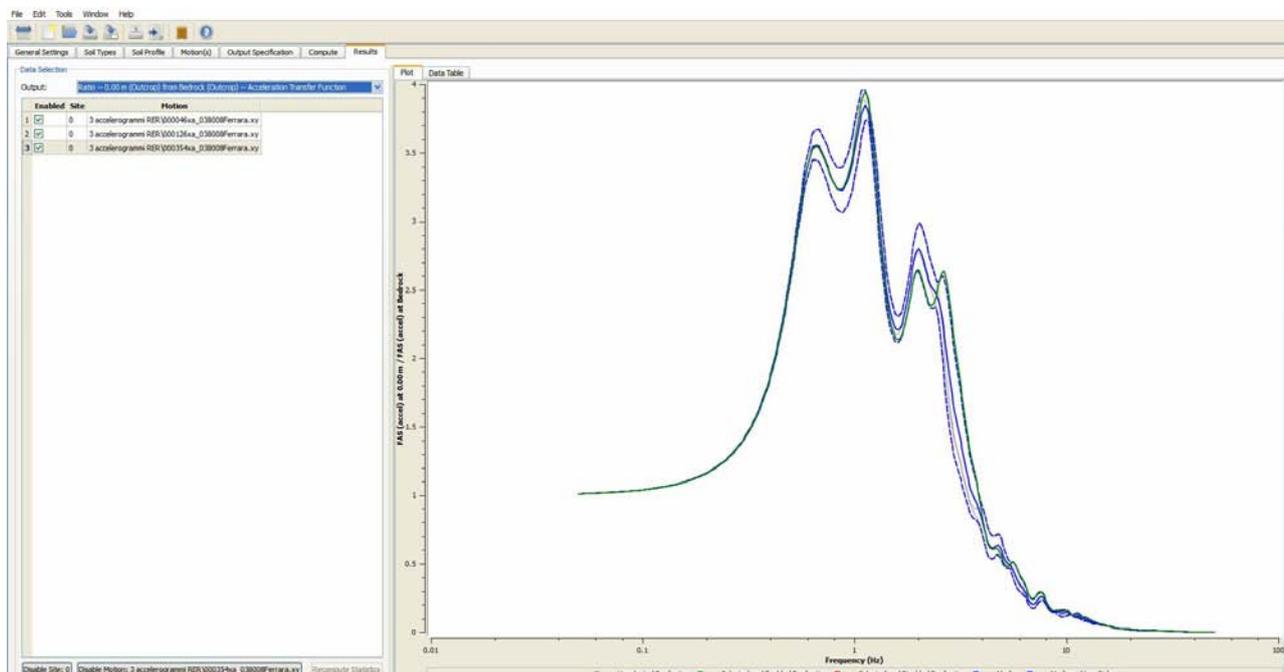
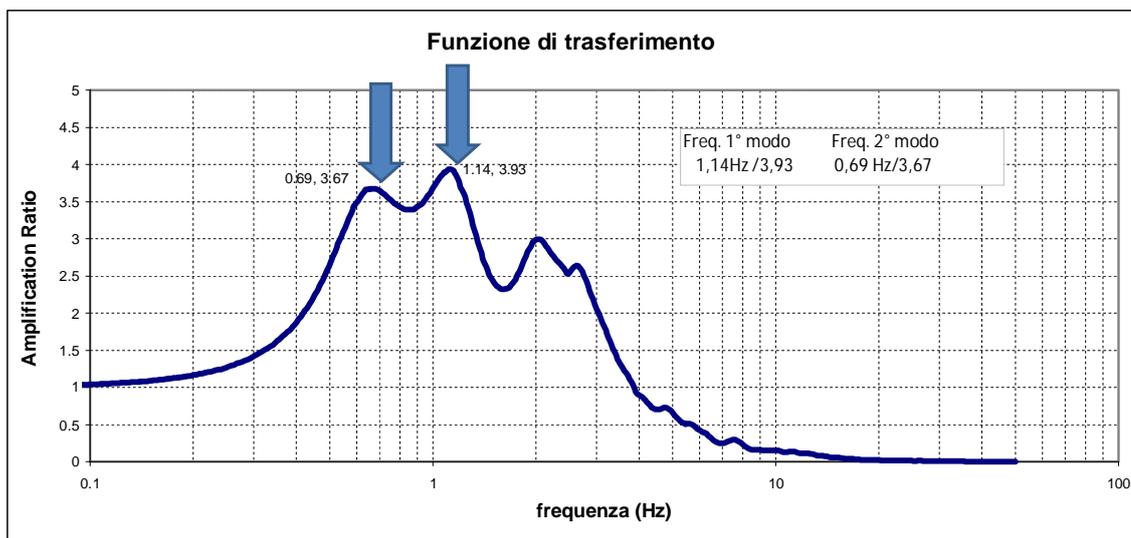
Nel grafico che segue è riportato profilo di PGA ricavata dall'involuppo massimo, ricavato dall'analisi dei 3 accelerogrammi, dal bedrock fino al piano campagna. Come si può notare negli ultimi 40metri, i processi amplificativi prevalgono su quelli dissipativi e si ha una amplificazione dell'accelerazione. In superficie si ottengono i seguenti valori di PGA:

$$F.A.=0,187/0,132=1,42$$

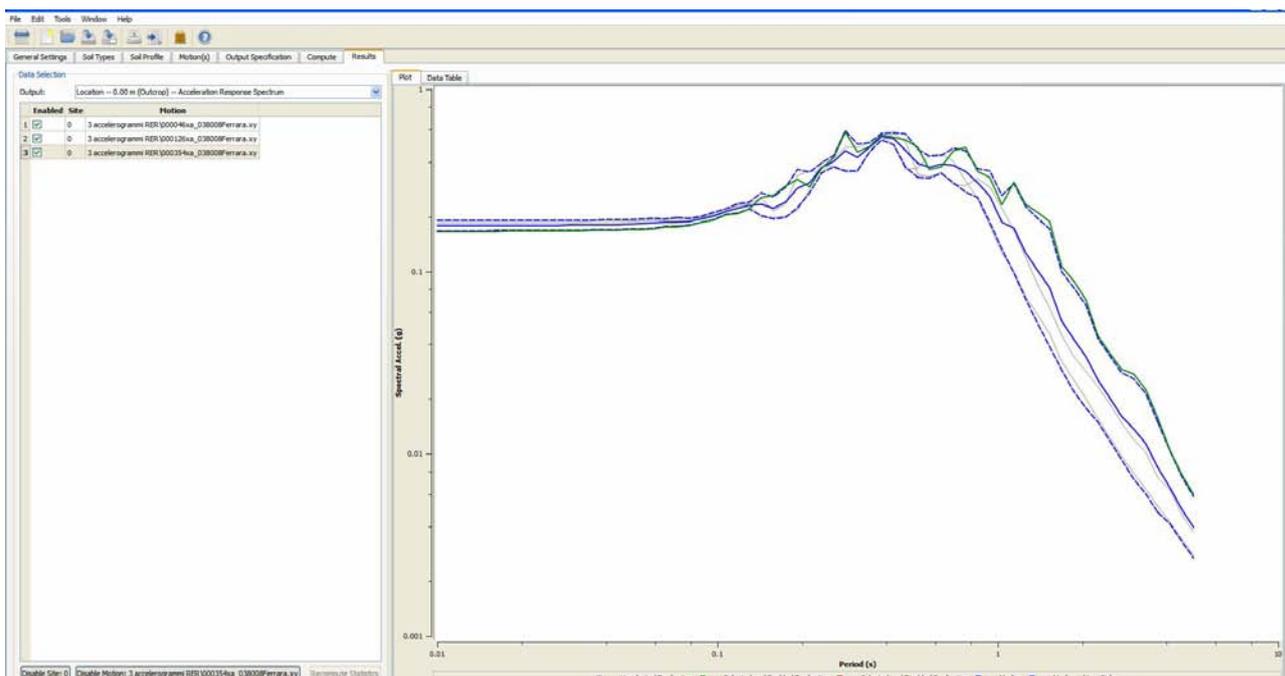
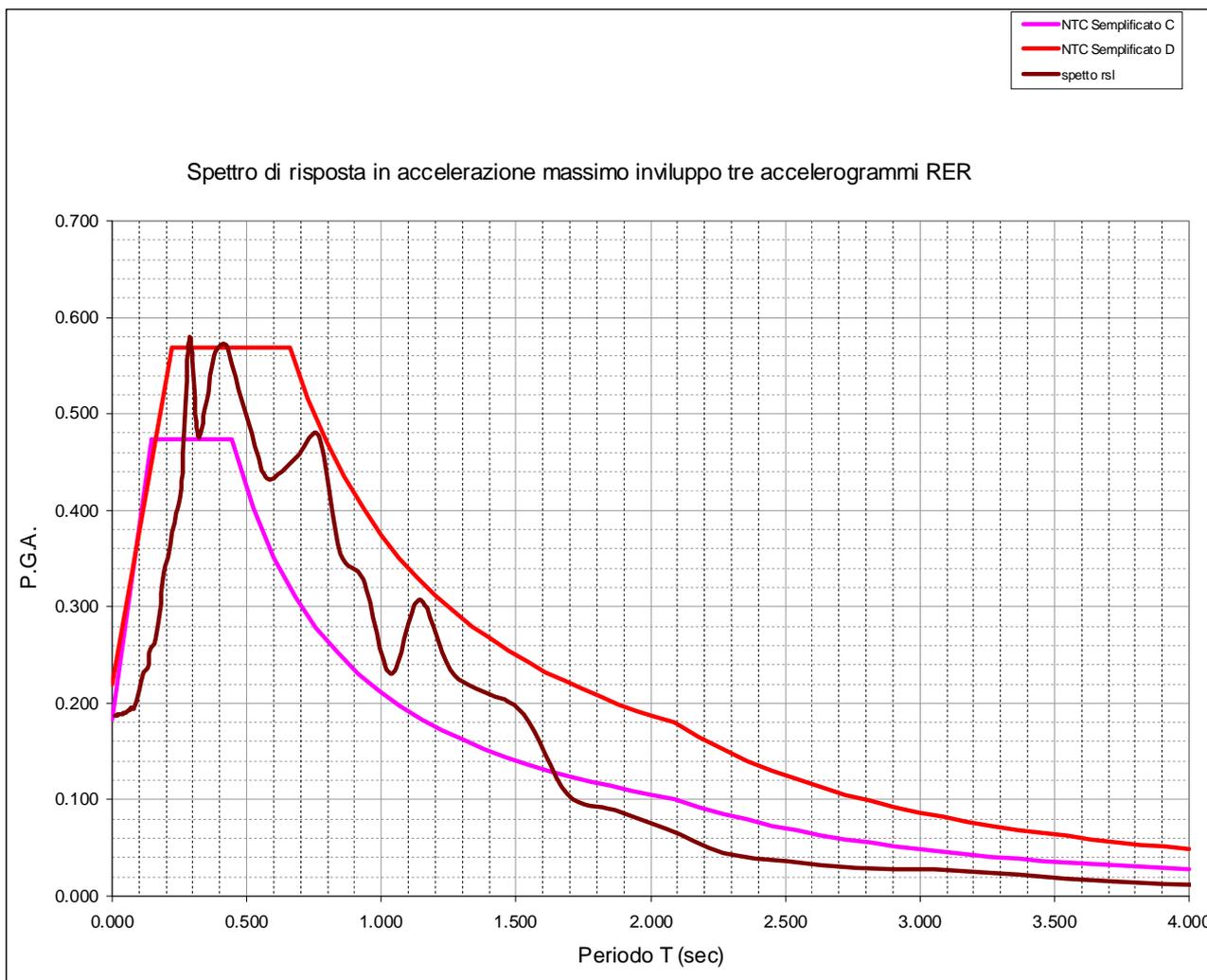




La funzione di trasferimento che regola queste amplificazioni è la seguente:



Si riporta ora lo spettro in accelerazione medio ricavato dalla analisi di RSL condotta con i 3+7 accelerogrammi.



Come si può notare lo spettro in accelerazione ricavato dall'involuppo massimo dei tre spettri, è molto ben contenuto dallo spettro semplificato della categoria di suolo di fondazione D.

periodo T	46xa	126xa	354xa	media	max involuppo
0.01	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.01	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.01	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.01	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.01	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.02	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.02	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.02	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.02	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.02	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.03	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.03	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.03	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.04	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.04	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.04	0.18	0.19	0.17	0.18	0.19
0.05	0.19	0.19	0.17	0.18	0.19
0.05	0.19	0.19	0.17	0.18	0.19
0.06	0.19	0.19	0.17	0.18	0.19
0.07	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19
0.07	0.19	0.20	0.18	0.19	0.20
0.08	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19
0.09	0.20	0.20	0.19	0.19	0.20
0.10	0.21	0.20	0.19	0.20	0.21
0.11	0.22	0.21	0.20	0.21	0.22
0.12	0.23	0.23	0.21	0.22	0.23
0.13	0.23	0.24	0.22	0.23	0.24
0.14	0.20	0.25	0.26	0.23	0.26
0.16	0.20	0.21	0.26	0.22	0.26
0.17	0.20	0.23	0.29	0.24	0.29
0.19	0.22	0.34	0.32	0.29	0.34
0.21	0.28	0.36	0.29	0.31	0.36
0.23	0.40	0.35	0.37	0.37	0.40
0.26	0.37	0.42	0.42	0.40	0.42
0.29	0.35	0.48	0.58	0.46	0.58
0.32	0.35	0.48	0.45	0.42	0.48
0.35	0.45	0.51	0.48	0.48	0.51
0.38	0.56	0.52	0.56	0.55	0.56
0.42	0.49	0.57	0.54	0.53	0.57
0.47	0.36	0.51	0.53	0.46	0.53
0.52	0.37	0.34	0.48	0.39	0.48
0.57	0.44	0.33	0.36	0.37	0.44
0.63	0.44	0.35	0.38	0.39	0.44
0.70	0.40	0.30	0.46	0.38	0.46
0.77	0.31	0.30	0.48	0.35	0.48
0.85	0.25	0.32	0.35	0.31	0.35
0.93	0.18	0.29	0.33	0.26	0.33
1.03	0.13	0.22	0.23	0.19	0.23
1.14	0.10	0.17	0.31	0.17	0.31
1.26	0.07	0.12	0.23	0.13	0.23
1.39	0.06	0.08	0.21	0.10	0.21
1.53	0.05	0.06	0.19	0.08	0.19
1.69	0.03	0.04	0.11	0.05	0.11
1.86	0.03	0.03	0.09	0.04	0.09
2.06	0.02	0.03	0.07	0.03	0.07
2.27	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04
2.51	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04
2.77	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03
3.05	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03
3.37	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
3.72	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
4.10	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
4.53	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
5.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01

Valori dello spettro da RSL

NTC2008 C		NTC2008 D	
0.000	0.182	0.000	0.219
0.148	0.474	0.220	0.569
0.445	0.474	0.659	0.569
0.523	0.403	0.727	0.515
0.601	0.351	0.795	0.471
0.680	0.310	0.863	0.434
0.758	0.278	0.931	0.402
0.836	0.252	0.999	0.375
0.914	0.231	1.067	0.351
0.992	0.213	1.135	0.330
1.070	0.197	1.203	0.311
1.149	0.184	1.271	0.295
1.227	0.172	1.339	0.280
1.305	0.162	1.407	0.266
1.383	0.153	1.475	0.254
1.461	0.144	1.543	0.243
1.539	0.137	1.611	0.233
1.618	0.130	1.679	0.223
1.696	0.124	1.747	0.214
1.774	0.119	1.815	0.206
1.852	0.114	1.883	0.199
1.930	0.109	1.951	0.192
2.008	0.105	2.018	0.186
2.086	0.101	2.086	0.180
2.178	0.093	2.178	0.165
2.269	0.086	2.269	0.152
2.360	0.079	2.360	0.140
2.451	0.073	2.451	0.130
2.542	0.068	2.542	0.121
2.633	0.063	2.633	0.113
2.724	0.059	2.724	0.105
2.815	0.056	2.815	0.099
2.907	0.052	2.907	0.093
2.998	0.049	2.998	0.087
3.089	0.046	3.089	0.082
3.180	0.044	3.180	0.077
3.271	0.041	3.271	0.073
3.362	0.039	3.362	0.069
3.453	0.037	3.453	0.066
3.544	0.035	3.544	0.062
3.636	0.033	3.636	0.059
3.727	0.032	3.727	0.056
3.818	0.030	3.818	0.054
3.909	0.029	3.909	0.051
4.000	0.028	4.000	0.049

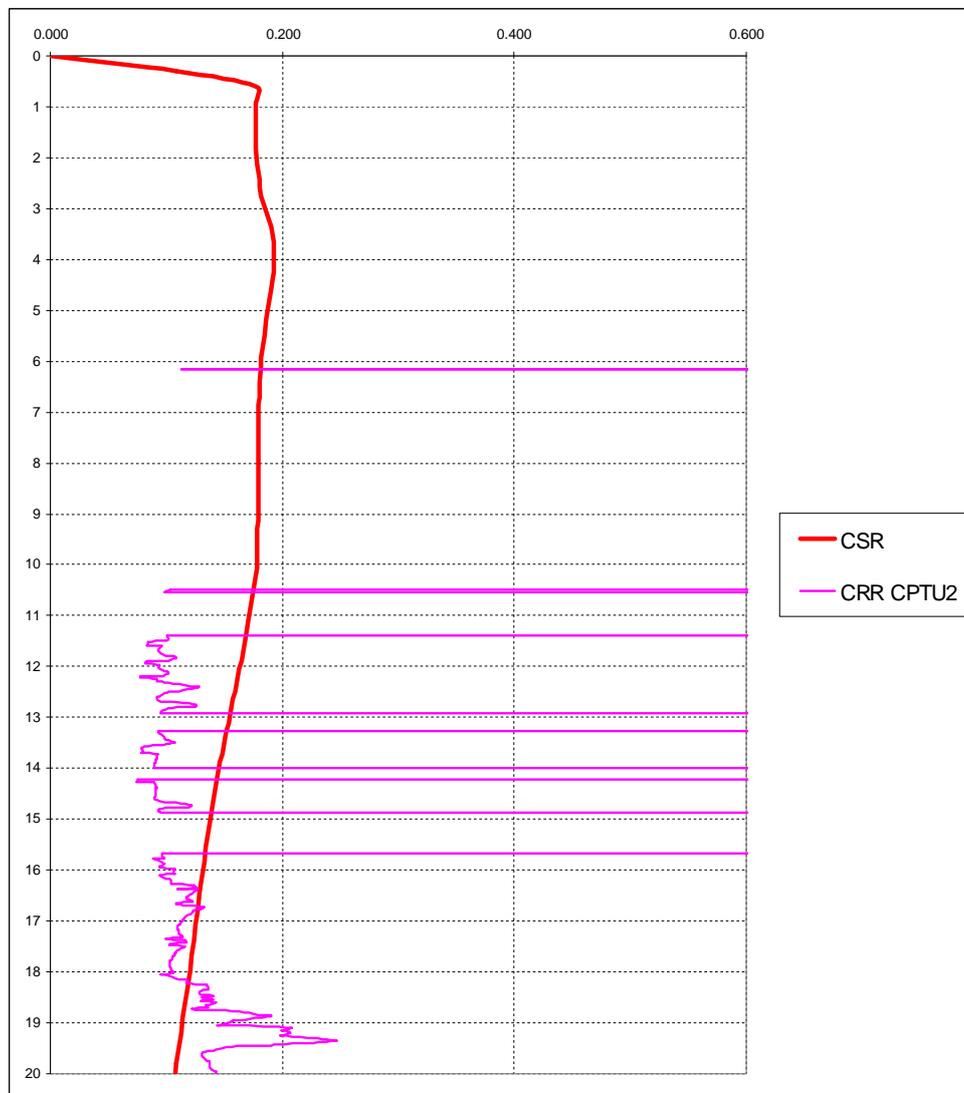
Valori dello spettro semplificato C e dello spettro D

Questi dati andranno valutati in sede progettuale degli edifici, 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 ξ del 5%). Lo strutturista potrà effettuare una RSL più vicina alla realtà in quanto potrà tenere conto anche del fattore di struttura.

5.1. ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE SATURE

Con STRATA è possibile ricavare direttamente la curva della CSR (sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma) in funzione del profilo di PGA, stimata con la RSL.

Sovrapponendo il grafico della CRR (resistenza del deposito agli sforzi di taglio ciclico) per la prova SCPTU2, con il grafico della CSR, è possibile visualizzare le porzioni di terreno che hanno fattore di resistenza alla liquefazione inferiori ad 1.



Come si può notare, il problema della liquefazione delle sabbie è presente sul sito allo studio.

Non vi sono significative differenze tra il calcolo delle azioni sismiche attraverso la RSL e lo spettro semplificato D.

L'indice del potenziale di liquefazione fa ricadere però il sito, in una categoria a "Basso" rischio. Lo spessore di più di 11m di terreni non liquefacibili, tutela gli eventuali edifici in superficie. Non sono cioè attesi effetti di collasso dei terreni di fondazione a causa della liquefazione delle sabbie in profondità; il sito è ben pianeggiante, non sono attesi fenomeni di scivolamenti laterali; per edifici ordinari con fondazioni superficiali, i progettisti valuteranno come intervenire; a parere dello scrivente non dovrebbero servire interventi di mitigazione per gli effetti di sito come la liquefazione delle sabbie.

Per edifici pesanti, che debbano ricorrere eventualmente a pali di fondazione, da attestare nei banchi sabbiosi, invece il tema della liquefacibilità dei medesimi andrà attentamente studiata per il dimensionamento delle opere di fondazione profonde.

Codigoro, li 15/10/2015

Thomas Veronese
Dott. Geologo Thomas Veronese

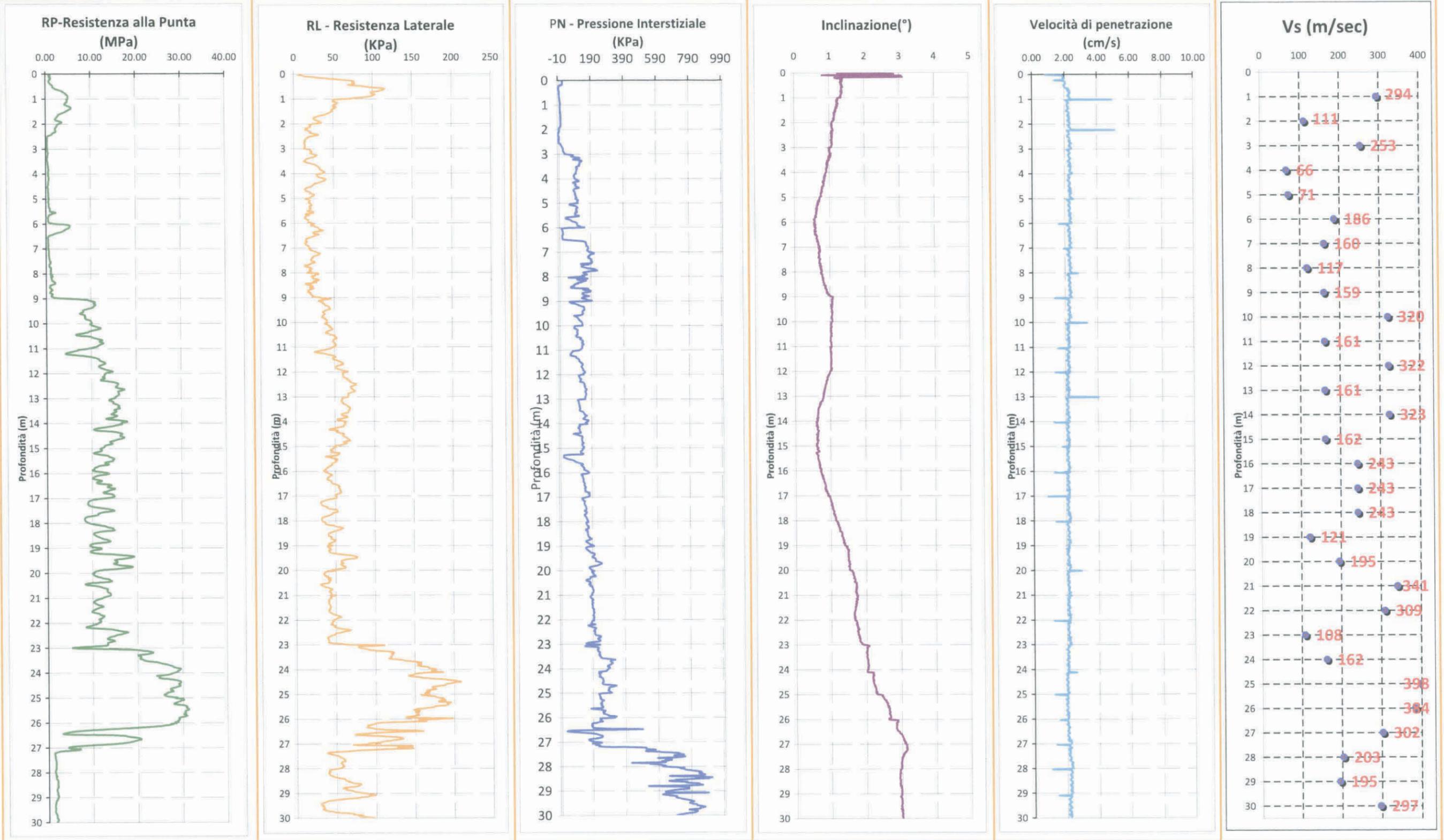


Committente: Fondazione Navarra
Cantiere: Via Conca-Malborghetto di Boara (FE)
Data: 9/10/2012

ID Prova: SCPTU 1
Profondità falda: foro chiuso a mt 2,30 da p.c.
Preforo:-

Profondità massima raggiunta: 30 mt
Punta sismica: Tecnopenta G1-CPL2IN - SISMI
n° Dissipazioni eseguite: 0

GRAFICI PROVA SCPTU 1





Committente: Fondazione Navarra
 Cantiere: Malborghetto di Boara (FE)
 Data: 9/10/2012

ID Prova: SCPTU 1
 Profondità falda: foro chiuso a mt 2,30 da p.c.
 Preforo:-

Profondità massima raggiunta: 30 mt
 Punta sismica: Tecnopenta G1-CPL2IN - SISMI
 n° Dissipazioni eseguite: 0

Vs 30 e ANAGRAFICA PROVA SCPTU 1

prof. (p)	prof.(cs)	Dist (L)	Tempo (t)	VsP	L2-L1	t2-t1	VsL			Vs30
m	m	m	sec	m/sec	m	sec	m/sec			
0.00	0.00	0.00	0.0000							
1.00	0.70	1.81	0.0061	294	1.81	0.0061	294	0.70	0.00238	
2.00	1.70	2.37	0.0112	212	0.56	0.0051	111	1.00	0.00904	
3.00	2.70	3.16	0.0143	221	0.80	0.0031	253	1.00	0.00395	
4.00	3.70	4.05	0.0278	146	0.89	0.0135	66	1.00	0.01517	
5.00	4.70	4.98	0.0410	122	0.93	0.0132	71	1.00	0.01418	
6.00	5.70	5.93	0.0461	129	0.95	0.0051	186	1.00	0.00538	
7.00	6.70	6.90	0.0522	132	0.97	0.0060	160	1.00	0.00626	
8.00	7.70	7.87	0.0605	130	0.97	0.0083	117	1.00	0.00851	
9.00	8.70	8.86	0.0666	133	0.98	0.0061	159	1.00	0.00627	
10.00	9.70	9.84	0.0697	141	0.98	0.0031	320	1.00	0.00312	
11.00	10.70	10.83	0.0758	143	0.99	0.0061	161	1.00	0.00623	
12.00	11.70	11.82	0.0789	150	0.99	0.0031	322	1.00	0.00311	
13.00	12.70	12.81	0.0850	151	0.99	0.0061	161	1.00	0.00620	
14.00	13.70	13.80	0.0881	157	0.99	0.0031	323	1.00	0.00310	
15.00	14.70	14.79	0.0943	157	0.99	0.0061	162	1.00	0.00619	
16.00	15.70	15.79	0.0984	160	0.99	0.0041	243	1.00	0.00412	
17.00	16.70	16.78	0.1025	164	0.99	0.0041	243	1.00	0.00412	
18.00	17.70	17.78	0.1066	167	1.00	0.0041	243	1.00	0.00412	
19.00	18.70	18.77	0.1148	164	1.00	0.0082	121	1.00	0.00825	
20.00	19.70	19.77	0.1199	165	1.00	0.0051	195	1.00	0.00512	
21.00	20.70	20.77	0.1228	169	1.00	0.0029	341	1.00	0.00293	
22.00	21.70	21.76	0.1260	173	1.00	0.0032	309	1.00	0.00323	
23.00	22.70	22.76	0.1352	168	1.00	0.0092	108	1.00	0.00925	
24.00	23.70	23.76	0.1414	168	1.00	0.0061	162	1.00	0.00616	
25.00	24.70	24.76	0.1439	172	1.00	0.0025	398	1.00	0.00251	
26.00	25.70	25.75	0.1465	176	1.00	0.0026	384	1.00	0.00261	
27.00	26.70	26.75	0.1498	179	1.00	0.0033	302	1.00	0.00331	
28.00	27.70	27.75	0.1547	179	1.00	0.0049	203	1.00	0.00492	
29.00	28.70	28.75	0.1598	180	1.00	0.0051	195	1.00	0.00513	
30.00	29.70	29.75	0.1632	182	1.00	0.0034	297	1.00	0.00337	
								29.70	0.16824	177



prof. (p): profondità piezocono
 prof.(cs): profondità cono sismico
 D1: distanza fra la sorgente del rumore S - geofono triassiale (L)
 Tempo (t): tempo d'arrivo dell'onda a S
 VsP: velocità del suono nel percorso fra S ed L - Vs puntuale alla profondità
 Vsi: velocità del suono nel percorso fra S ed L
 VsL: Vs per ogni livello (L2 - L1)/(t2 - t1)

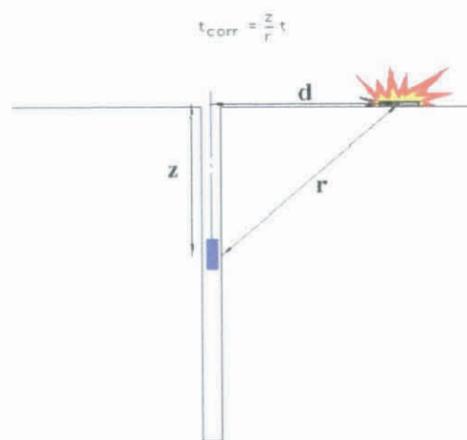


Figura 1 - Schema di down hole con metodo diretto

Coordinate geografiche:
 Latitudine: 44,857402°
 Longitudine: 11,657248°
 Elevazione: 2 m

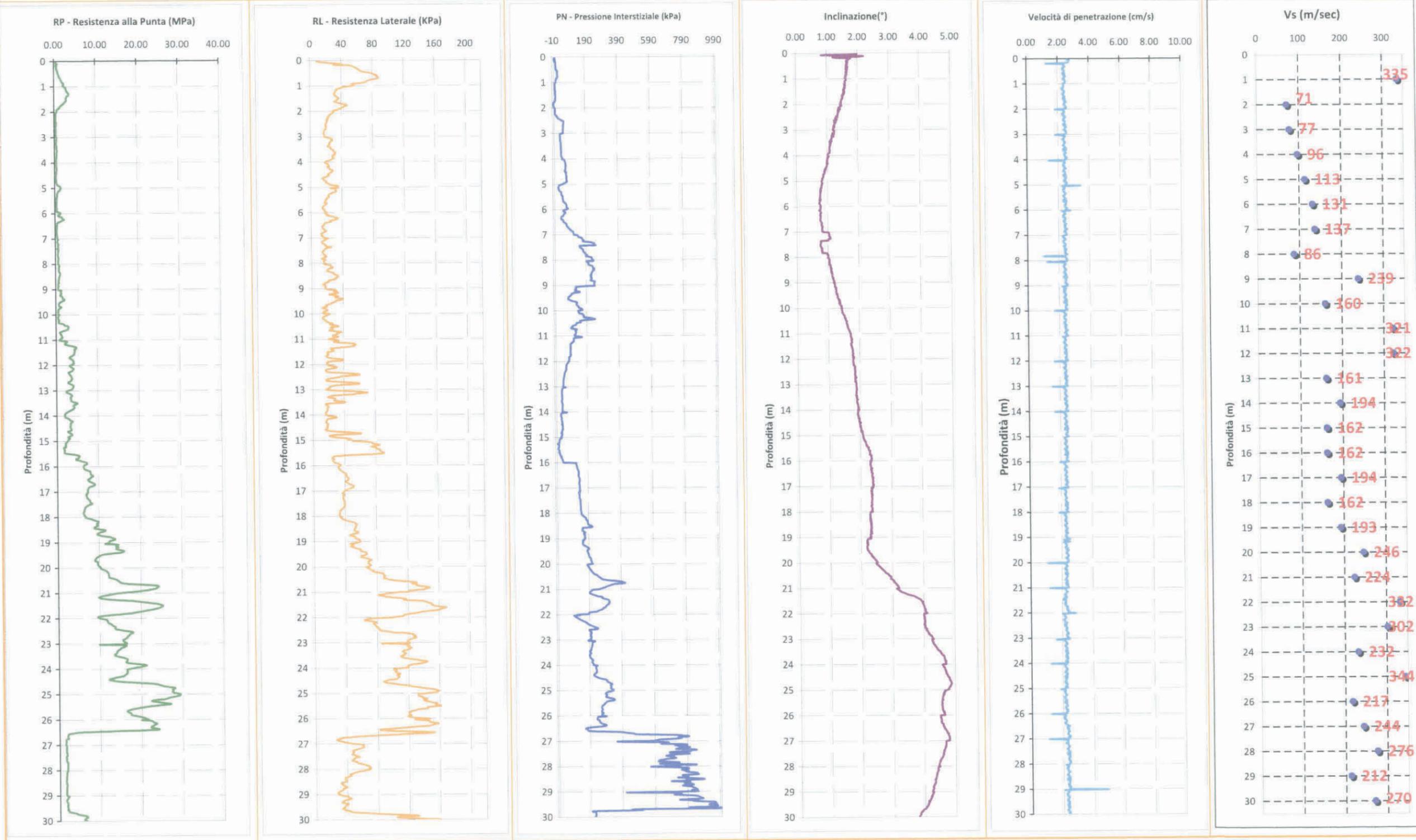


Committente: Fondazione Navarra
Cantiere: Via Conca-Malborghetto di Boara (FE)
Data: 10/10/2012

ID Prova: SCPTU 2
Profondità falda: foro chiuso a mt 2,60 da p.c.
Preforo:-

Profondità massima raggiunta: 30 mt
Punta sismica: Tecnopenta G1-CPL2IN - SISMI
n° Dissipazioni eseguite: 0

GRAFICI PROVA SCPTU 2





Committente: Fondazione Navarra
 Cantiere: Via Conca - Malborghetto di Boara (FE)
 Data: 10/10/2012

ID Prova: SCPTU 2
 Profondità falda: foro chiuso a mt 2,60 da p.c.
 Preforo:-

Profondità massima raggiunta: 30 mt
 Punta sismica: Tecnopenta G1-CPL2IN - SISMI
 n° Dissipazioni eseguite: 0

Vs 30 e ANAGRAFICA PROVA SCPTU 2

prof. (p)	prof.(cs)	Dist (L)	Tempo (t)	VsP	L2-L1	t2-t1	VsL		
m	m	m	sec	m/sec	m	sec	m/sec		
0.00	0.00	0.00	0.0000						
1.00	0.70	1.81	0.0054	130	1.81	0.0054	335	0.70	0.00209
2.00	1.70	2.37	0.0133	179	0.56	0.0079	71	1.00	0.01408
3.00	2.70	3.16	0.0236	134	0.80	0.0103	77	1.00	0.01295
4.00	3.70	4.05	0.0328	124	0.89	0.0092	96	1.00	0.01040
5.00	4.70	4.98	0.0410	122	0.93	0.0082	113	1.00	0.00881
6.00	5.70	5.93	0.0483	123	0.95	0.0073	131	1.00	0.00763
7.00	6.70	6.90	0.0553	125	0.97	0.0071	137	1.00	0.00732
8.00	7.70	7.87	0.0666	118	0.97	0.0113	86	1.00	0.01156
9.00	8.70	8.86	0.0707	125	0.98	0.0041	239	1.00	0.00418
10.00	9.70	9.84	0.0768	128	0.98	0.0061	160	1.00	0.00625
11.00	10.70	10.83	0.0799	135	0.99	0.0031	321	1.00	0.00311
12.00	11.70	11.82	0.0830	142	0.99	0.0031	322	1.00	0.00311
13.00	12.70	12.81	0.0891	144	0.99	0.0061	161	1.00	0.00620
14.00	13.70	13.80	0.0943	146	0.99	0.0051	194	1.00	0.00516
15.00	14.70	14.79	0.1004	147	0.99	0.0061	162	1.00	0.00619
16.00	15.70	15.79	0.1066	148	0.99	0.0061	162	1.00	0.00618
17.00	16.70	16.78	0.1117	150	0.99	0.0051	194	1.00	0.00515
18.00	17.70	17.78	0.1178	151	1.00	0.0061	162	1.00	0.00618
19.00	18.70	18.77	0.1230	153	1.00	0.0052	193	1.00	0.00519
20.00	19.70	19.77	0.1270	156	1.00	0.0040	246	1.00	0.00406
21.00	20.70	20.77	0.1315	158	1.00	0.0045	224	1.00	0.00447
22.00	21.70	21.76	0.1345	162	1.00	0.0030	332	1.00	0.00301
23.00	22.70	22.76	0.1378	165	1.00	0.0033	302	1.00	0.00331
24.00	23.70	23.76	0.1421	167	1.00	0.0043	232	1.00	0.00431
25.00	24.70	24.76	0.1450	171	1.00	0.0029	344	1.00	0.00291
26.00	25.70	25.75	0.1496	172	1.00	0.0046	217	1.00	0.00460
27.00	26.70	26.75	0.1537	174	1.00	0.0041	244	1.00	0.00411
28.00	27.70	27.75	0.1573	176	1.00	0.0036	276	1.00	0.00362
29.00	28.70	28.75	0.1620	177	1.00	0.0047	212	1.00	0.00471
30.00	29.70	29.75	0.1657	180	1.00	0.0037	270	1.00	0.00371
								29.70	0.17455



prof. (p): profondità piezometro
 prof.(cs): profondità cono sismico
 D1: distanza fra la sorgente del rumore S - geofono triassiale (L)
 Tempo (t): tempo d'arrivo dell'onda a S
 VsP: velocità del suono nel percorso fra S ed L - Vs puntuale alla profondità
 Vsi: velocità del suono nel percorso fra S ed L
 VsL: Vs per ogni livello (L2 - L1)/(t2 - t1)

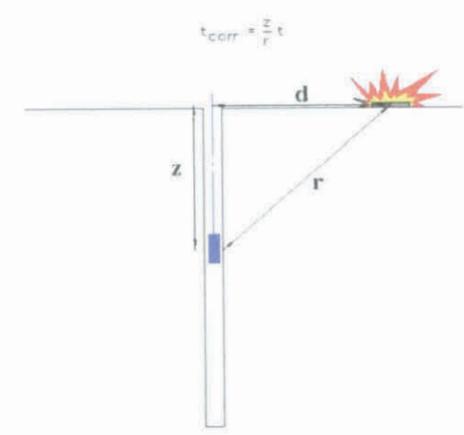


Figura 1 - Schema di down hole con metodo diretto

Coordinate geografiche:
 Latitudine: 44.857463°
 Longitudine: 11.657248°
 Elevazione: 2 metri

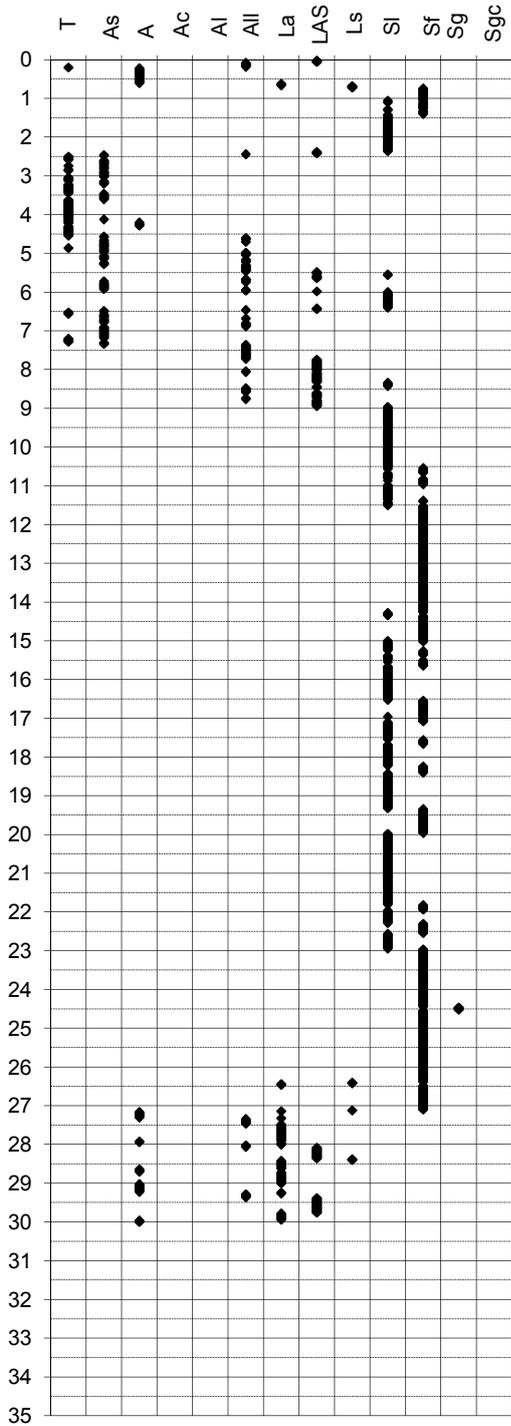
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U81-15
Emissione	ott-15
Pagina	1 di

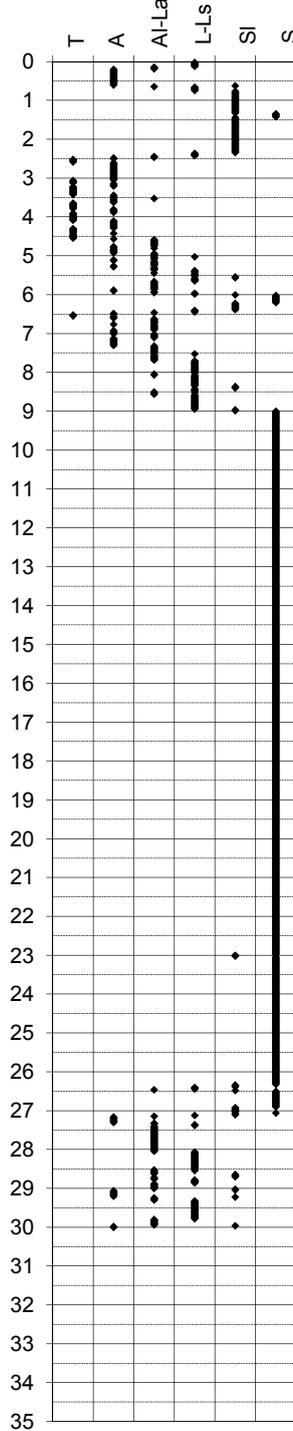
INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente	Fondazione F.Ili Navarra	-Prova n°	SCPTU1
-Cantiere	via Conca Malborghetto di Boara (FE)	-Data prova	09/10/2012
-Quota p.c.	3,50 m s.l.m.	-Prof. preforo	m
-Livello di falda	2,50 m da p.c.	-Prof. finale	30,00 m
-Attrezzatura	Punta elettrica con piezocono		

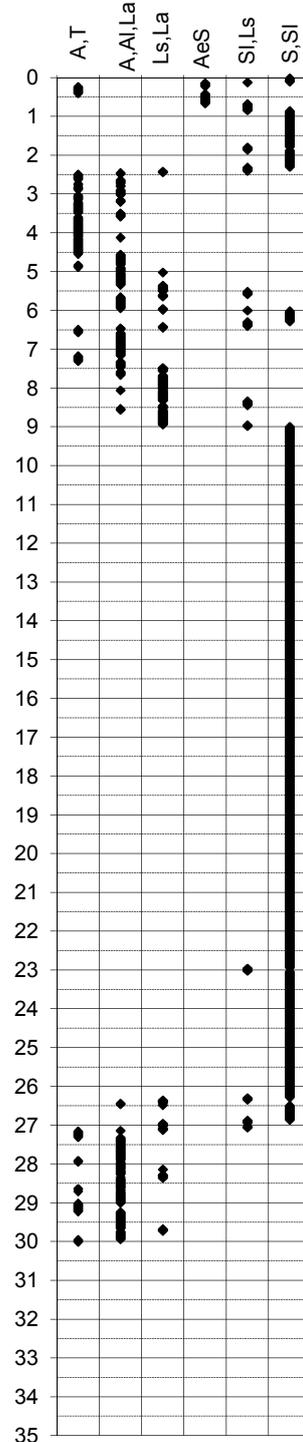
Douglas-Olsen (1981)



Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



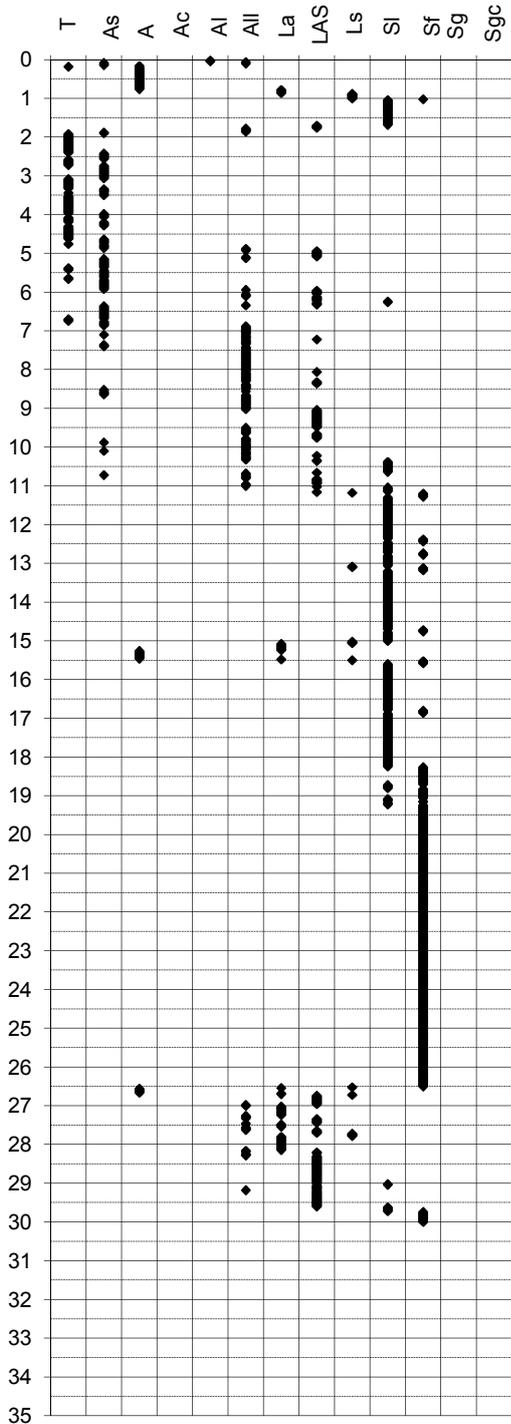
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U81-15
Emissione	ott-15
Pagina	1 di

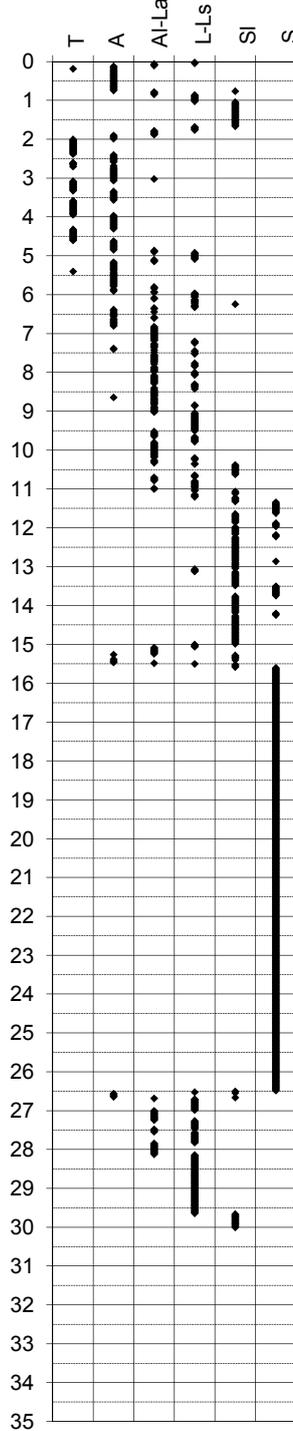
INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente	Fondazione F.Ili Navarra	-Prova n°	SCPTU2
-Cantiere	via Conca Malborghetto di Boara (FE)	-Data prova	09/10/2012
-Quota p.c.	3,50 m s.l.m.	-Prof. preforo	m
-Livello di falda	2,50 m da p.c.	-Prof. finale	30,00 m
-Attrezzatura	Punta elettrica con piezocono		

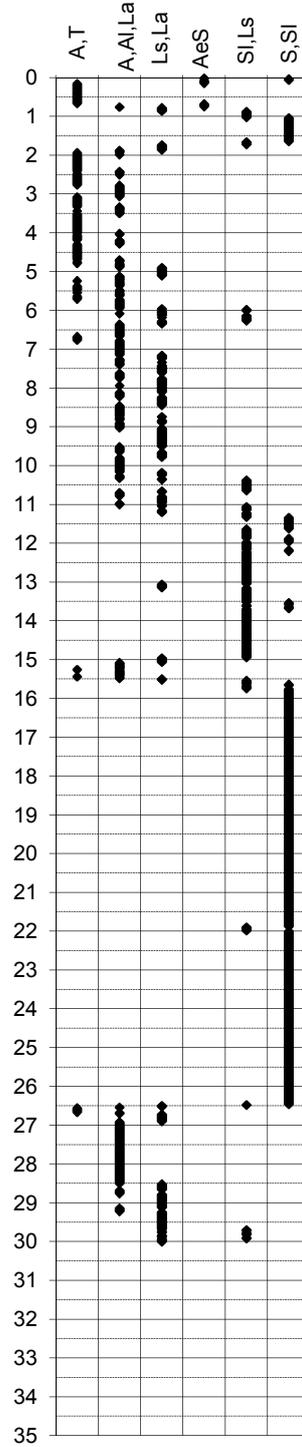
Douglas-Olsen (1981)



Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U81-15
Emissione	ott-15
Pagina	1 di 0

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	Fondazione F.lli Navarra	-Prova n°	SCPTU1
-Cantiere	via Conca Malborghetto di Boara (FE)	-Data prova	09/10/2012
-Quota p.c.	3,50 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,00 m
-Livello di falda	2,50 m da p.c.	-Prof. finale	30,00 m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI										
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M ₀ MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' _{DM} (°)	FI' _{Bottom} (°)	FI'Schm. (°)				E'25 MPa	M ₀ MPa		
0,0	1,2	2,77	0,07	0,00	Al-La	18,15	92	20	-	5,39	15,72	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2	2,5	3,10	0,03	0,00	L-Ls	20,00	64	11	#####	4,12	13,82	0,11	44	34	31	34	37	39	41	8,14	13,02		
2,5	6,0	0,57	0,02	0,07	A	17,50	28	3	7	2,09	10,31	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6,0	6,5	3,51	0,03	-0,01	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	36	33	29	33	35	38	41	9,68	15,48		
6,5	9,0	0,95	0,02	0,10	A	17,50	44	3	7	3,52	19,37	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9,0	23,0	12,38	0,05	0,02	S	20,00	-	-	-	-	-	-	64	35	32	37	39	41	43	30,96	44,25		
23,0	27,2	22,94	0,14	0,02	S	20,00	-	-	-	-	-	-	77	36	32	39	40	42	44	58,85	66,22		
27,2	30,0	1,66	0,06	0,46	A	17,50	77	1	4	5,27	44,76	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U81-15
Emissione	ott-15
Pagina	1 di 0

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	Fondazione F.lli Navarra	-Prova n°	SCPTU2
-Cantiere	via Conca Malborghetto di Boara (FE)	-Data prova	09/10/2012
-Quota p.c.	3,50 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,00 m
-Livello di falda	2,50 m da p.c.	-Prof. finale	30,00 m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI										
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M ₀ MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' _{DM} (°)	FI' _{Bottom} (°)	FI'Schm. (°)				E'25 MPa	M ₀ MPa		
0,0	2,0	1,85	0,05	0,00	Al-La	18,00	75	19	-	4,47	12,93	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	6,0	0,53	0,02	0,03	A	17,50	28	3	8	1,92	9,43	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,0	11,0	0,97	0,02	0,09	Al-La	18,00	44	3	7	3,55	19,58	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,0	15,5	3,30	0,03	-0,06	S	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	30	27	30	33	36	39	8,51	13,61		
15,5	24,5	12,37	0,08	0,01	S	20,00	-	-	-	-	-	-	58	34	31	36	38	40	43	30,93	42,95		
24,5	26,5	22,49	0,13	0,06	S	20,00	-	-	-	-	-	-	79	36	32	39	41	42	44	56,22	64,84		
26,5	29,6	1,78	0,05	0,47	A	17,50	84	2	4	5,48	47,69	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29,6	30,0	4,92	0,09	0,17	S	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	25	29	33	36	39	12,30	19,69		