



REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA

**CITTÀ DI CASTELFRANCO EMILIA**

PIANO  
OPERATIVO  
COMUNALE

POC4

Adottato con Deliberazione di Consiglio Comunale n° 62 del 20/07/2017  
Approvato con Deliberazione di Consiglio Comunale n° -- del --/--/2019

**Sindaco**

Stefano Reggianini

**Assessore all'Urbanistica**

Massimiliano Vigarani

**Responsabile del procedimento**

**Dirigente Settore Tecnico e Sviluppo del Territorio**

Arch. Bruno Marino

**Gruppo di Lavoro**

**Ufficio Pianificazione Territoriale e Urbanistica**

Arch. Valeria Ventura

Ing. Stefania Comini

Arch. Claudia Stanzani

P.O.C. 0 approvato con Del. C.C. n° 216 del 15/10/2010 (decaduto il 01/11/2015)

Variante ex art.14bis L.R. 20/2000 al P.O.C. approvata con Del. C. C. n° 10 del 29/01/2015

P.O.C. 1 approvato con Del. C.C. n° 53 del 06/04/2011 (decaduto il 25/05/2016)

P.O.C. 3 approvato con Del. C.C. n° 123 del 30/10/2012 (decaduto il 30/01/2018)

P.O.C. 2 approvato con Del. C.C. n° 35 del 14/03/2013 (decaduto il 08/05/2018)

P.O.C. 2 approvato con Del. C.C. n° 59 del 28/03/2014 e Variante approvata con Del. C.C. 82/2018

P.O.C. 6 (Accordo di Programma) approvato con Decreto Presidente Prov. n° 175 del 13/11/2017

P.O.C. 7 approvato con Del. C.C. n° 51 del 21/06/2018

P.O.C. 5 approvato con Del. C.C. n° 63 del 26/07/2018

P.O.C. 8 adottato con Del. C.C. n° 98 del 23/11/2017



**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E  
SISMICA**



## INDICE

- STRUTTURA DEL DOCUMENTO p. 1
- PARTE 1 – Relazione geologica, geotecnica e sismica  
ambiti 50 ANP e 58 ANP Dott. Geol. Claudio Preci p. 3
- PARTE 2 – Relazione geologica, geotecnica e sismica  
approfondimento ambito 50 ANP Dott. Geol. C. Preci p. 71
- PARTE 3 – Relazione geologica, geotecnica e sismica  
integrazione ambiti 50 ANP e 58 ANP Dott. Geol. C. Preci p. 111
- PARTE 4 – Microzonazione sismica di III livello  
ambiti 50 ANP e 58 ANP Dott. Geol. Claudio Preci p. 149
- PARTE 5 – Relazione geologica e sismica  
approfondimento Dott. Geol. Valeriano Franchi p. 169
- PARTE 6 – Relazione geologica e sismica  
integrazione Dott. Geol. Valeriano Franchi p. 307



## STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Il presente documento raccoglie la Relazione geologico–geotecnico–sismica e lo studio di Microzonazione sismica di III livello redatti dal professionista incaricato dalle proprietà degli ambiti 50 ANP e 58 ANP, Dott. Geol. Claudio Preci, e successivamente approfonditi dal Dott. Geol. Valeriano Franchi.

Il sottoscritto Arch. Bruno Marino, Dirigente del Settore Tecnico e Sviluppo del Territorio, in qualità di Responsabile del Procedimento, dichiara che i capitoli costitutivi del presente documento sono conformi agli originali assunti agli atti del Comune di Castelfranco Emilia ai protocolli di seguito elencati:

- 1) prot. 41005 del 05/12/2014 – Relazione geologica, geotecnica e sismica – ambiti 50 ANP e 58 ANP, redatta dal Dott. Geol. Claudio Preci;
- 2) prot. 41005 del 05/12/2014 – Relazione geologica, geotecnica e sismica – approfondimento ambito 50 ANP, redatta dal Dott. Geol. Claudio Preci;
- 3) e-mail in data 08/06/2016 – Relazione geologica, geotecnica e sismica – integrazione ambiti 50 ANP e 58 ANP, redatta dal Dott. Geol. Claudio Preci;
- 4) prot. 29123 del 28/06/2017 – Microzonazione sismica di III livello – ambiti 50 ANP e 58 ANP, redatta dal Dott. Geol. Claudio Preci;
- 5) prot. 29123 del 28/06/2017 – Relazione geologica e sismica – approfondimento redatto dal Dott. Geol. Valeriano Franchi;
- 6) prot. 47377 del 26/10/2017 – Relazione geologica e sismica – integrazione redatta dal Dott. Geol. Valeriano Franchi;

per Il Dirigente del  
Settore Tecnico e Sviluppo del Territorio  
**Dott.ssa Manuela BONETTINI**

---

Documento elaborato in formato PDF/A, firmato digitalmente ed inviato a mezzo PEC ai sensi delle normative vigenti in materia.



REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

"ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera"  
"ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa"  
trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)

### Localita'

CARTIERA - MADONNA DEGLI ANGELI

### Committenti

STANZANI ROBERTO E CARLA  
AZ. AGR. MAVORA  
BERGAMINI GIULIO-FORNETTI ROSA  
ANZEVINO TIZIANO

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

OTTOBRE 2014

Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel/fax : 059.823020 - Cell: 3398264394  
e-mail: precigeo@virgilio.it  
PEC: dott.claudiopreci@epap.sicurezza postale.it

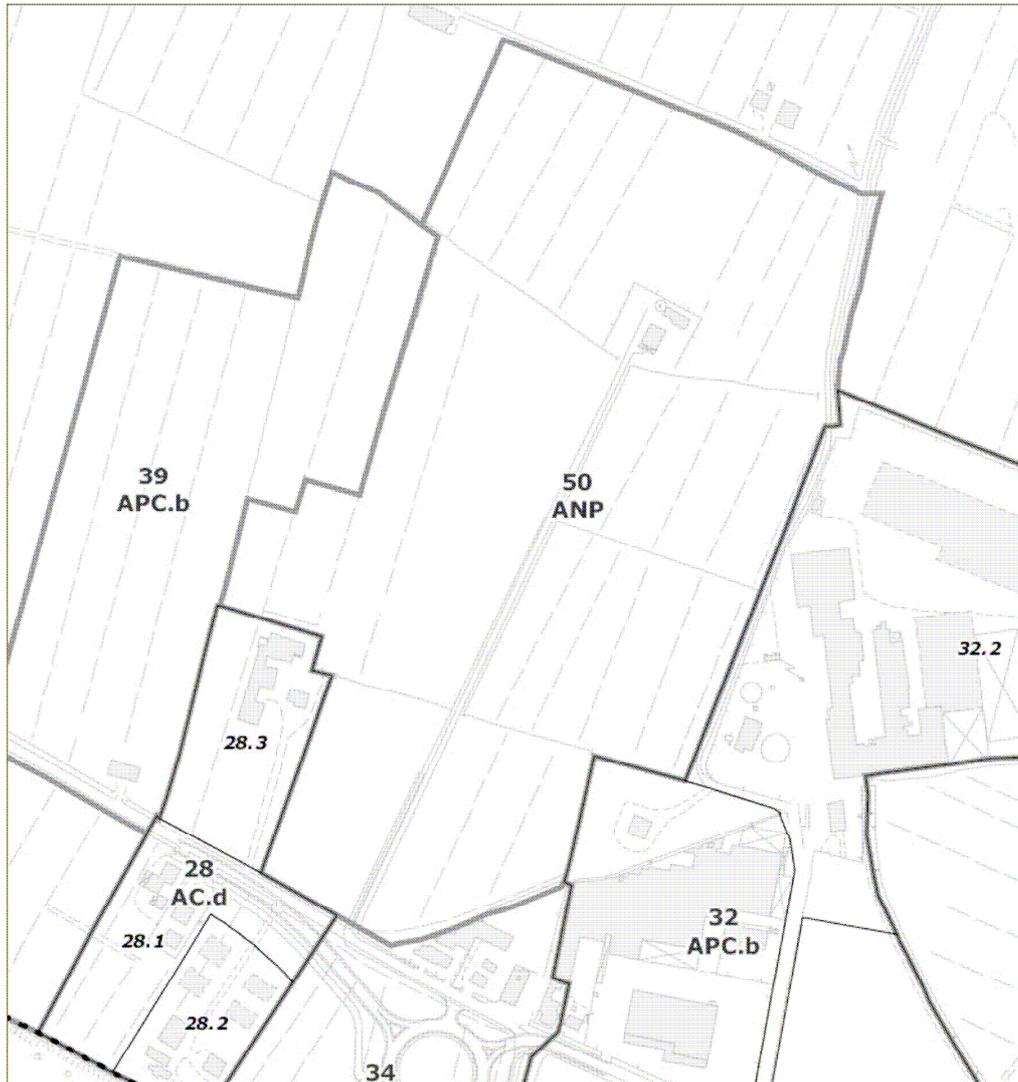
**INDICE**

<b>1. Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Modellazione geologica del sito.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Metodologia d'indagine delle prove in sito.....</b>	<b>12</b>
<b>4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno.....</b>	<b>14</b>
<b>5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito.....</b>	<b>18</b>
5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	21
5.2 Misura del microtremore sismico.....	24
5.3 Azione Sismica.....	30
<b>6. Considerazioni conclusive.....</b>	<b>42</b>
<b>Allegato A - Elaborati delle indagini geognostiche.....</b>	<b>43</b>

## 1. Premessa

La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza per verificare le caratteristiche dei terreni di alcune aree del Comune di Castelfranco Emilia individuate nel PSC come “ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera” e “ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa”, per la trasformazione attuativa dei siti disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC).

<b>Ambito n. 50 Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera</b>	<b>ANP</b>
<i>Politica generale d'ambito: consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo. Attuare le previsioni insediative in conformità allo studio urbanistico relativo all'ambito produttivo sovracomunale per cui il comune risulta candidato al riconoscimento in sede di PTCP. Coordinare gli interventi con gli ambiti produttivi esistenti per creare un'area ecologicamente attrezzata.</i>	

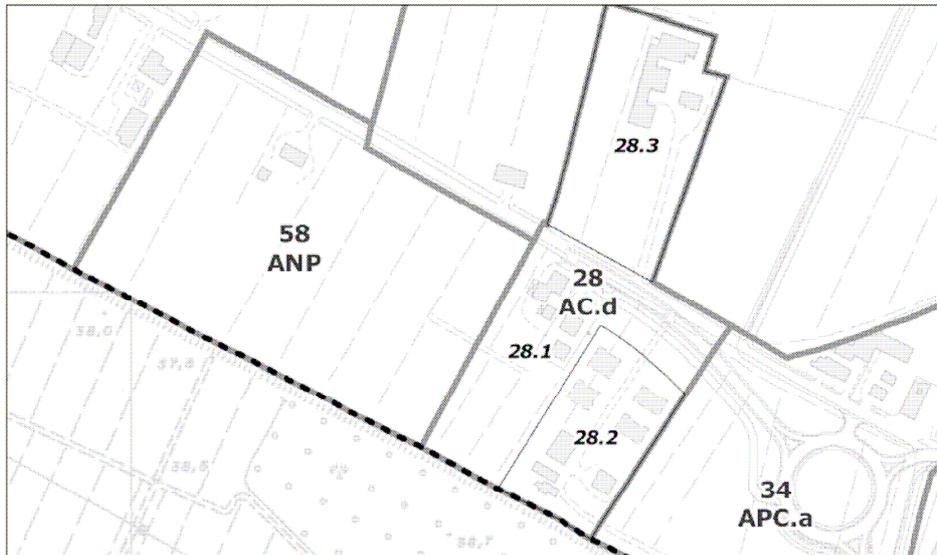


### **Localizzazione e caratteri insediativi**

L'ambito è individuato a nord della via Emilia ed è contermina agli ambiti produttivi consolidati n. 32, 34 e 39.

Attualmente l'ambito è a destinazione agricola.

<b>Ambito n. 58 Capoluogo – nuovo produttivo Graziosa</b>	<b>ANP</b>
<i>Politica generale d'ambito: consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo. Attuare le previsioni insediative in conformità allo studio urbanistico relativo all'ambito produttivo sovracomunale per cui il comune risulta candidato al riconoscimento in sede di PTCP. Coordinare gli interventi con gli ambiti produttivi esistenti per creare un'area ecologicamente attrezzata.</i>	



**Localizzazione e caratteri insediativi**

L'ambito è localizzato tra il Diversivo Muzza e la via Emilia ed è contermina all'ambito consolidato produttivo n. 39.  
Attualmente l'ambito è a destinazione agricola.

Comparto Ex Cartiera - Via Emilia				
PROPRIETA' INTERNE AL COMPARTO TOTALE (Amb. 50 e 58)				
PROPRIETA'	FOG.	MAPP.	Sup. mq.	Note e %
Stanzani Roberto e Carla	50	293	24.953	
		294	6.342	
		46	11.955	
		30 parte	1.040	intero map mq 1.939
<b>Totale</b>			<b>44.290</b>	<b>22%</b>
Elettromeccanica TIRONI	50	51	38.939	
	<b>Totale</b>			<b>38.939</b>
Az. Agricola Mavora	50	327	8.354	
		272	10.417	
		96	18.750	
<b>Totale</b>			<b>37.521</b>	<b>18%</b>
Comune di Castelfranco	50	326	41.577	
		366 parte	1.006	intero map mq 1.325
	<b>Totale</b>			<b>42.583</b>
163.333				
Bergamini Giulio - Fornetti Rosa	49	142	10.810	
	<b>Totale</b>			<b>10.810</b>
Anzevino Tiziano	49	132	1260	sub 3-6-7 Anzev (casa di Barbieri)
		133	340	
		134	410	
		135	9217	
		139	3380	
		140	3510	
		141	2820	
		170	2883	
		171	4670	
		136	40	
		137	1072	
	138	18		
<b>Totale</b>			<b>29.620</b>	<b>15%</b>
40.430				
<b>TOTALE COMPLESSIVO PROPRIETA'</b>			<b>203.763</b>	<b>100%</b>
S.T di Comparto				
Superficie Territ (ST) - AMB 50			<b>164.338</b>	
Superficie Territ (ST) - AMB 58			<b>44.771</b>	
<b>ST Totale</b>			<b>209.109</b>	

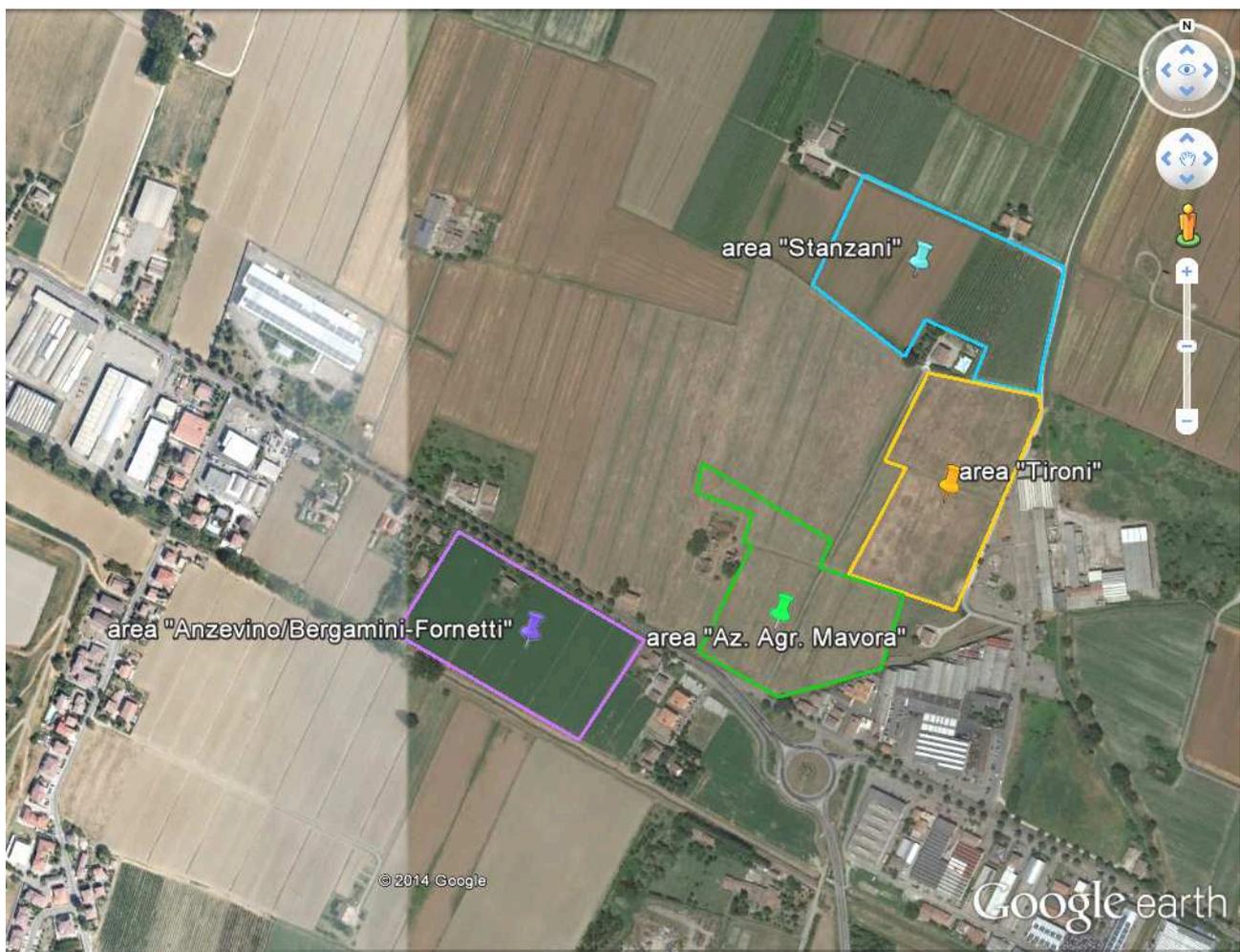
Secondo il DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Nella presente relazione vengono riportate la modellazione geologica e sismica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito. Le indagini geognostiche e la presente relazione sono conformi a quanto disposto nelle normative seguenti:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977);
- DM del 11/03/1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni ecc.";
- Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483;
- DPR 554/1999;
- DPR 328/2001;
- OPCM n. 3274 del 20/03/2003;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1677 del 24/10/2005;
- DAL Delibera Assemblea legislativa RER 112/2007;
- DM 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

In particolare sono stati oggetto di indagine preliminare i seguenti siti:

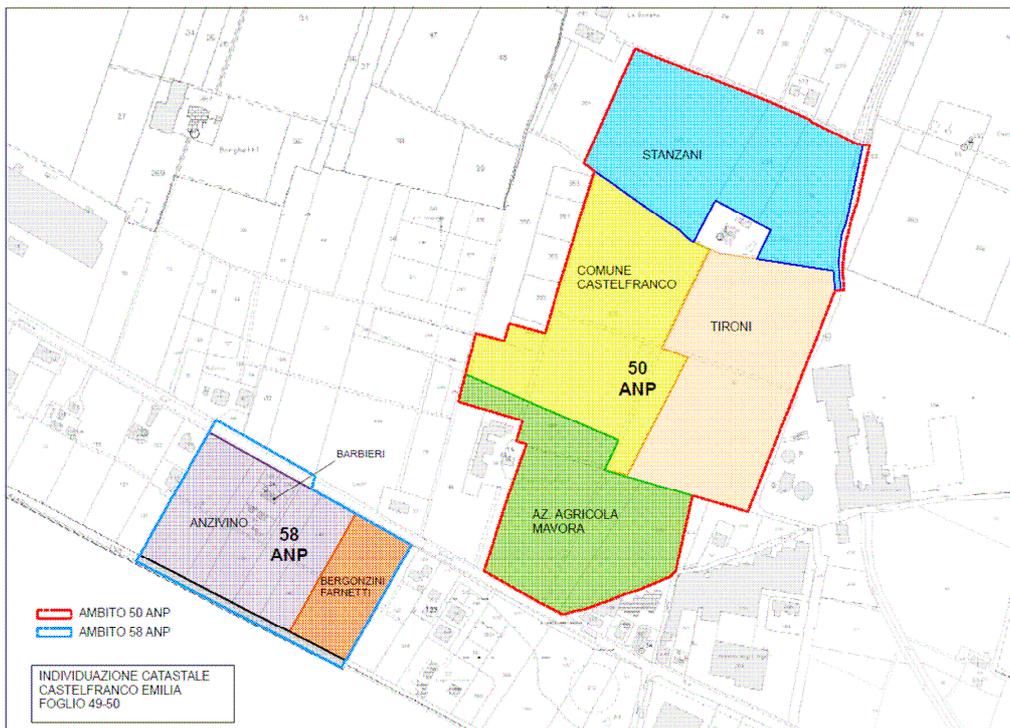
- aree di proprietà Stanzani e Az. Agr. Mavora (Ambito n. 50 nuovo produttivo della Cartiera);
- aree di proprietà Anzevino e Bergamini-Fornetti (Ambito n. 58 nuovo produttivo Graziosa).

Per l'area di proprietà "Elettromeccanica Tironi srl" si fa riferimento alla relazione geologico geotecnica e sismica già eseguita del 29/07/2014.





I siti oggetto d'indagine sono ubicati al margine ovest dell'abitato di Castelfranco Emilia in zona Cartiera-Madonna degli Angeli, a una quota media di 38 m slm. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25.000 nella Tavola 202 SO "Nonantola" e nei CTR a scala 1:5.000 nell'elemento n. 202133 "Sant'Anna". Nell'archivio NCT comunale le aree sono censite nei foglio n. 49 e n. 50.



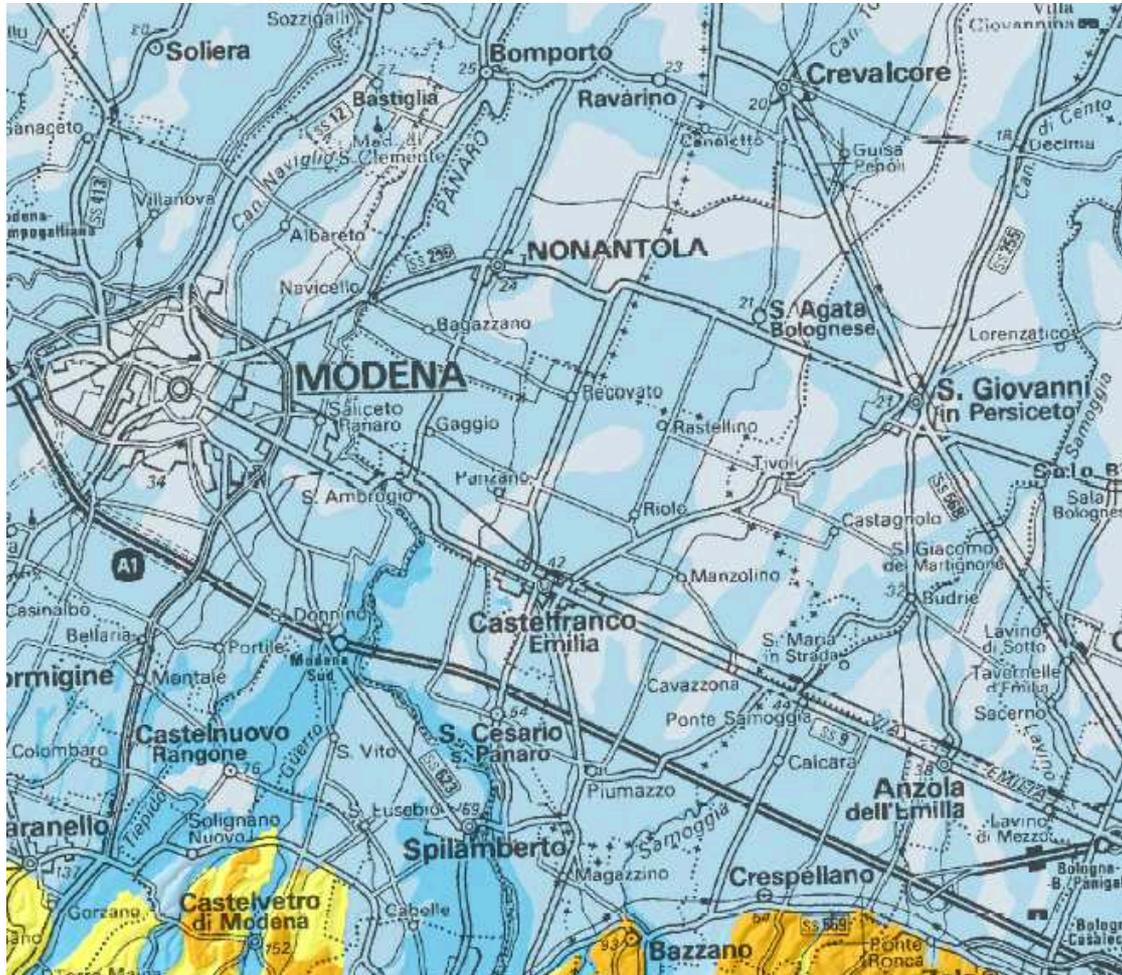


## **2. Modellazione geologica del sito**

La Pianura Padana nel suo complesso costituisce un grande bacino sedimentario che, sin dal mesozoico, è stato caratterizzato da una notevole subsidenza con grande accumulo di sedimenti, raggiungendo i massimi apporti nel pliocene e nel quaternario, prima con sedimentazione marina e successivamente, dal pleistocene medio, con sedimentazione continentale. La messa in posto depositi più antichi è riconducibile all'idrodinamica fluviale determinata dall'alternarsi di fasi erosive e deposizionali, causate dalle variazioni climatiche che si sono succedute nel tempo ed in particolare del periodo interglaciale pre-Wurm (pleistocene superiore). Periodi umidi hanno portato alla deposizione dei sedimenti e alla messa in posto delle unità, periodi di minor piovosità hanno portato all'alterazione dei depositi con conseguente formazione dei suoli e all'erosione delle unità determinando la formazione di scarpate e incisioni fluviali. All'interno della pianura alluvionale sono state distinte, sulla base di sequenze litostratigrafiche tipiche determinate dalle stratigrafie dei pozzi idrici, due macro-ambienti deposizionali: la piana pedemontana, contraddistinta da depositi a sequenze prevalentemente grossolane (ghiaie) e la piana alluvionale vera e propria, caratterizzata da sequenze generalmente fini (sabbie, limi, argille). Questo tipo di pianura presenta una crescita di tipo verticale, dovuta prevalentemente a processi di tracimazione e rotta fluviale che hanno portato alla deposizione di strati suborizzontali a geometria lenticolare, probabilmente riferibili a singoli eventi alluvionali.

Il sito in esame insiste su depositi distali della conoide alluvionale del fiume Panaro e su terreni più recenti dovuti alla dinamica fluviale del Torrente Samoggia, che ha deposto una sedimentazione alluvionale in paleovalvi e ventagli di esondazione, accumulatisi sui terreni più antichi. In generale i terreni sono formati da litotipi poco consistenti negli orizzonti superficiali, prevalentemente da alternanze di limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi con locali intercalazioni

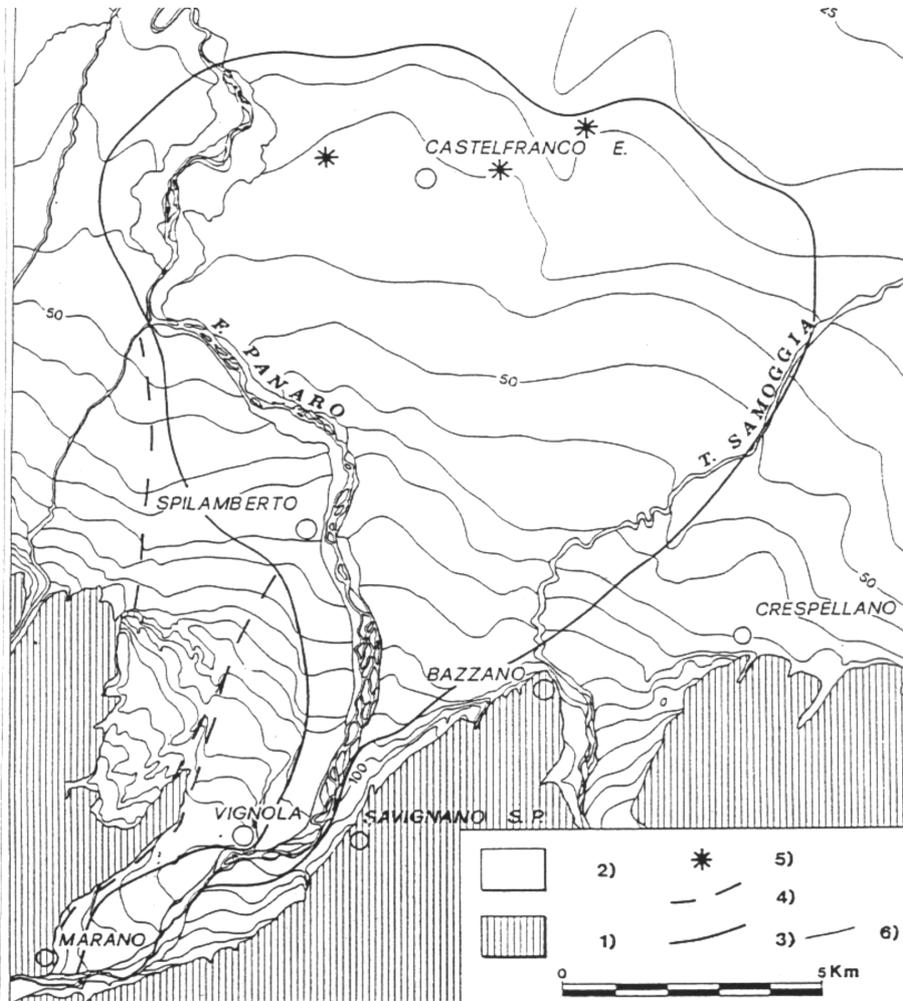
sabbiose. Il bacino principale di provenienza dei sedimenti è quello del fiume Panaro la cui conoide, che si sviluppa tutta sul fianco destro del suo corso attuale, presenta i suoi limiti intermedio (olocene) e distale (pleistocene medio e sup) qualche chilometro a valle di Castelfranco Emilia, lungo la linea Redù - Manzolino, dove raggiunge uno spessore superiore ai 250 m.



- Depositi di canale fluviale
- Depositi di argine, canale e rotta fluviale
- Depositi di piana a meandri del Po
- Depositi di canale distributore, argine e rotta
- Depositi di piana inondabile

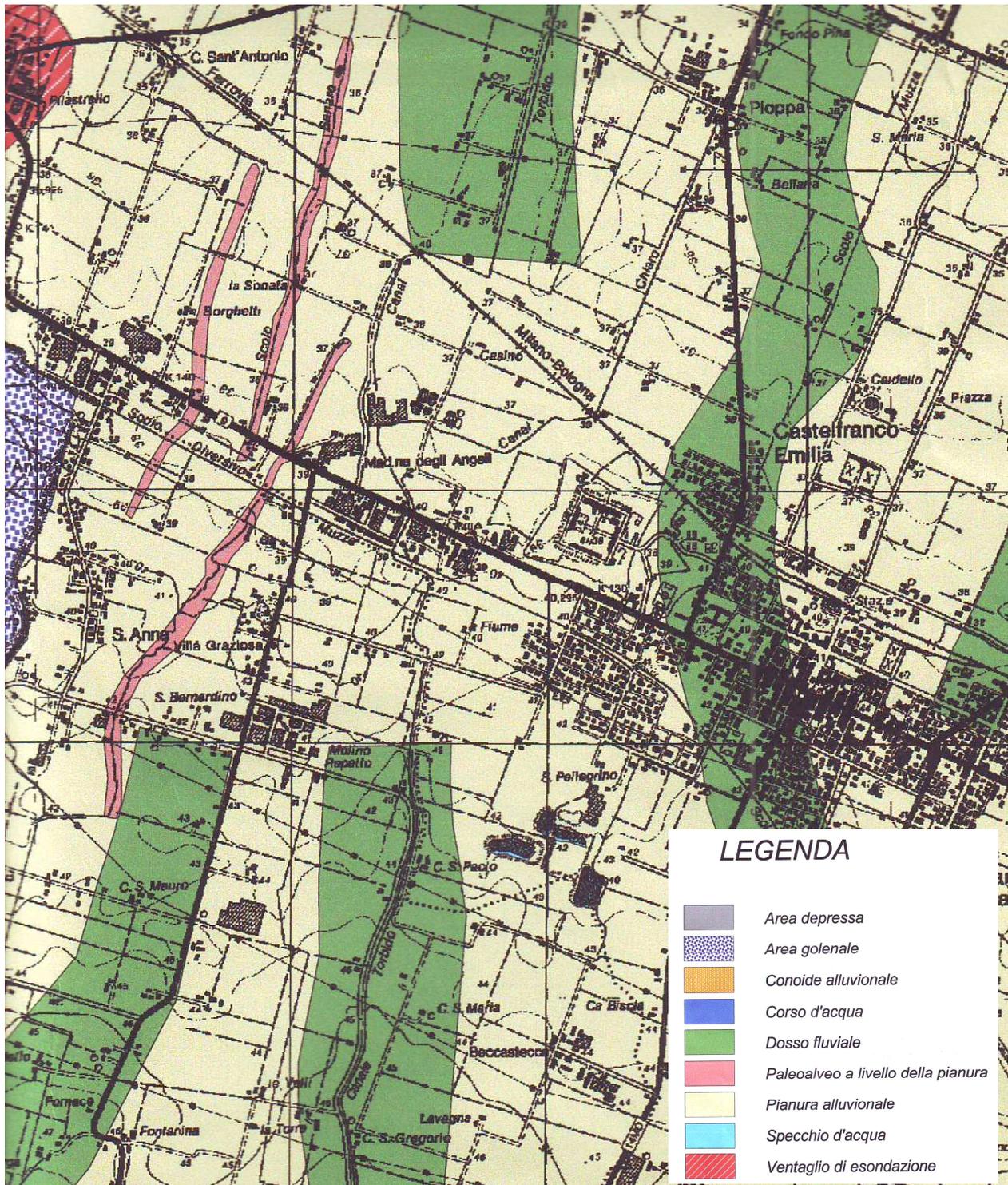
La conoide del fiume Panaro, in rappresentazione planimetrica, mostra l'usuale forma subtriangolare con l'apice che si raccorda con il solco vallivo ad una quota di 130-150 m presso Vignola e Marano, mentre la zona frontale è situata a nord del tracciato della Via Emilia, nei pressi di Castelfranco Emilia. Nel suo complesso risulta dalla sovrapposizione di più corpi alluvionali di diversa età: quelli più antichi sono databili al Pleistocene medio e superiore, mentre i più recenti, che ricoprono quasi totalmente i precedenti, sono riconducibili all'olocene post-glaciale. Il substrato su cui poggia la conoide affiora presso il margine collinare ed è costituito da formazioni marine argillose e argilloso-arenacee del pliocene-pleistocene medio: le formazioni delle Argille Azzurre e delle Sabbie Gialle, suddivise anche in Unità di Bazzano e Unità di Vignola, che per motivi strutturali vengono rapidamente sepolte, a nord di Vignola, dalle alluvioni fluviali. Da Vignola a S. Cesario i depositi alluvionali di conoide risultano costituiti quasi esclusivamente da ghiaie pulite o ghiaie con matrice fine coesiva; più a nord sono presenti

anche intercalazioni limo-argillose, che procedendo verso la Via Emilia si fanno sempre più consistenti (zona intermedia e distale). Oltre la quota di 25 m slm le ghiaie scompaiono e sono sostituite da sabbie in sottili livelli intercalati entro sequenze limo-argillose prevalenti (zona di piana alluvionale). Lo spessore dei depositi alluvionali è di qualche metro fino alle decine di metri a Vignola dove, a seguito della fase erosiva degli ultimi decenni dovuta anche all'escavazione di inertici all'interno dell'alveo, l'incisione fluviale ha portato all'affioramento del substrato. A Spilamberto la conoide alluvionale presenta uno spessore di circa 100 m, a Manzolino di oltre 250 m.

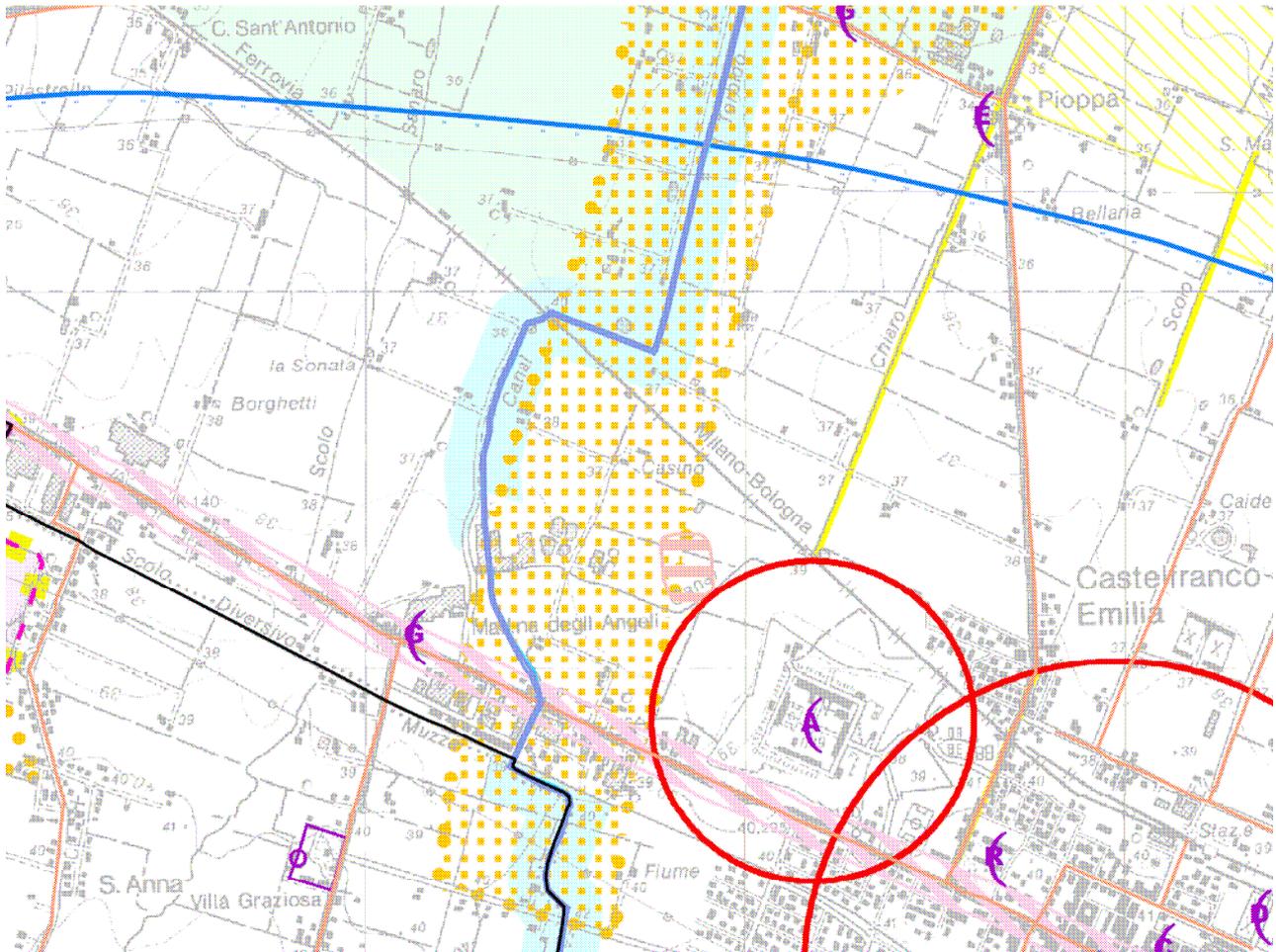


**LEGENDA:** 1) Formazioni marine prevalentemente impermeabili di età portuense e pre-pleistocenica; 2) ghiaie, sabbie, limi e argille dei depositi alluvionali di pianura, di fondovalle e degli alvei attuali; 3) limite della conoide würmiana; 4) limite delle conoidi pre-würmiane; 5) ubicazione dei fontanili, oggi praticamente scomparsi; 6) isoipse con equidistanza di 5 m (nella sola zona di pianura) (da Pellegrini et alii, 1978).

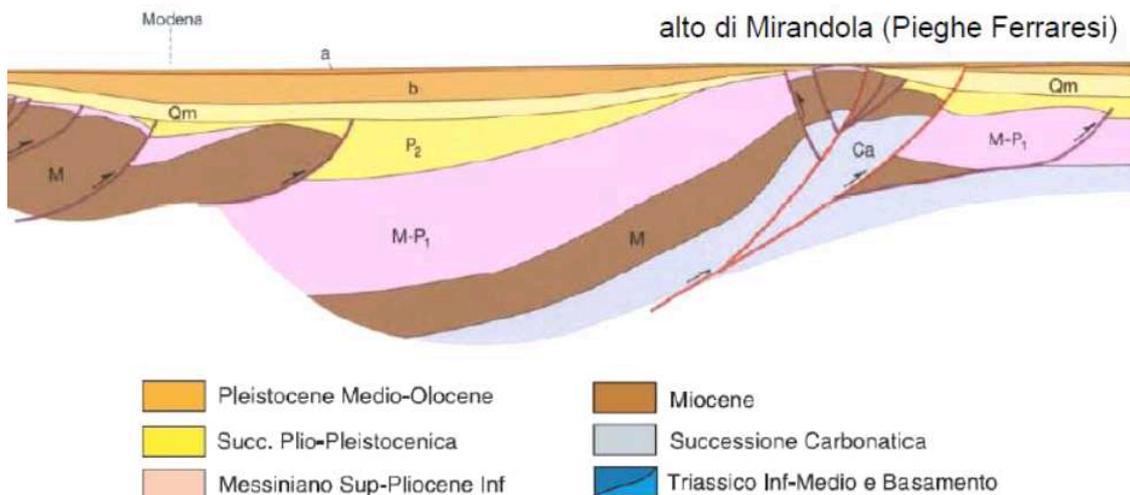
Dall'analisi geomorfologica della media pianura è possibile individuare le divagazioni che i corsi d'acqua maggiori e minori hanno subito, fino in tempi recentissimi. Diversi paleoalvei testimoniano la tendenza dei corsi d'acqua a cambiare percorso preferenziale del flusso, talvolta effettuando dei tagli di meandro. La transizione tra le aree di conoide fluviale e la media pianura è molto graduale e mal distinguibile ed è marcata da una notevole diminuzione della pendenza della superficie topografica, che causa una diminuzione dell'energia fluviale dei corsi d'acqua, provocando il passaggio ai tracciati degli alvei fluviali meandriiformi tipici della piana alluvionale a nord della via Emilia. In queste zone a nord della via Emilia fino ad alcuni decenni fa erano attivi i fontanili, detti anche fontanazzi, oggi presenti in numero estremamente ridotto a causa dell'abbassamento progressivo del livello piezometrico.



L'andamento rettilineo attuale di alcuni torrenti e canali è dovuto ad opere antropiche spesso iniziate già a partire dall'Età Romana: il drenaggio delle acque superficiali è prevalentemente esercitato da fossi scolatori artificiali che rimarkano, insieme al sistema viario, il reticolato della centuriazione. Le linee di deflusso superficiale più importanti dell'area sono lo Scolo Muzza, il Canal Chiaro e il Canal Torbido, che si incrociano al di sotto del manufatto della Cartiera. La stratigrafia dei terreni più superficiali, costituita da depositi alluvionali recenti con alternanze di limi argilloso-sabbiosi, limi argillosi, sabbie e orizzonti di ghiaie/sabbie ghiaiose, è da attribuirsi a un paleoalveo del Fiume Panaro cartografato nella Tavola 1.1.5 del PTCP (puntinato giallo), ricalcato in parte dall'attuale tracciato del canal Torbido.



Dal punto di vista strutturale, il substrato profondo di questa parte della pianura alluvionale è caratterizzata da strutture tettoniche con asse parallelo alla catena appenninica, che ne rappresentano la continuazione sepolta. Partendo dal margine appenninico, dove affiorano le formazioni argilose di età pliocenica, procedendo verso NE, si ha un rapido abbassamento dei terreni marini del substrato: all'altezza della Via Emilia la base del Pliocene è posta a profondità che può raggiungere i -3000 m, mentre quella del Quaternario i -1500 m. A nord di questa zona, separata da una faglia diretta longitudinale, si sviluppa la vasta struttura sinclinale di Reggio Emilia-Bologna che costituisce una delle più profonde depressioni della Pianura Padana.



Nell'area di Bomporto la base delle unità plioceniche è posta alla profondità di -6000 m, mentre quella delle unità quaternarie a -2000 m. Il fianco nord della sinclinale si sviluppa sino alla zona di Concordia, Mirandola e S. Felice sul Panaro, determinando un progressivo innalzamento fino a costituire una struttura notevolmente sollevata denominata Dorsale Ferrarese.

Questa dorsale, il cui asse si sviluppa lungo la linea S. Felice sul Panaro, Mirandola, Concordia e Novi, è costituita da una serie di pieghe associate a faglie e determina il sollevamento del substrato marino miocenico, sottostante la copertura quaternaria, anche a -80 metri dalla superficie topografica. Altre strutture positive, che accompagnano la dorsale principale, si riscontrano nella zona di Quarantoli e presso Sermide, nel mantovano. In generale il substrato marino di età pliocenica e plio-pleistocenica, è interessato da un complicato reticolato di faglie e tutta quest'area costituisce uno degli alti strutturali più elevati della zona assiale della Pianura Padana. La coltre alluvionale di copertura risente anch'essa della situazione profonda, sia per il suo spessore notevolmente variabile, sia per gli effetti di movimenti neotettonici.

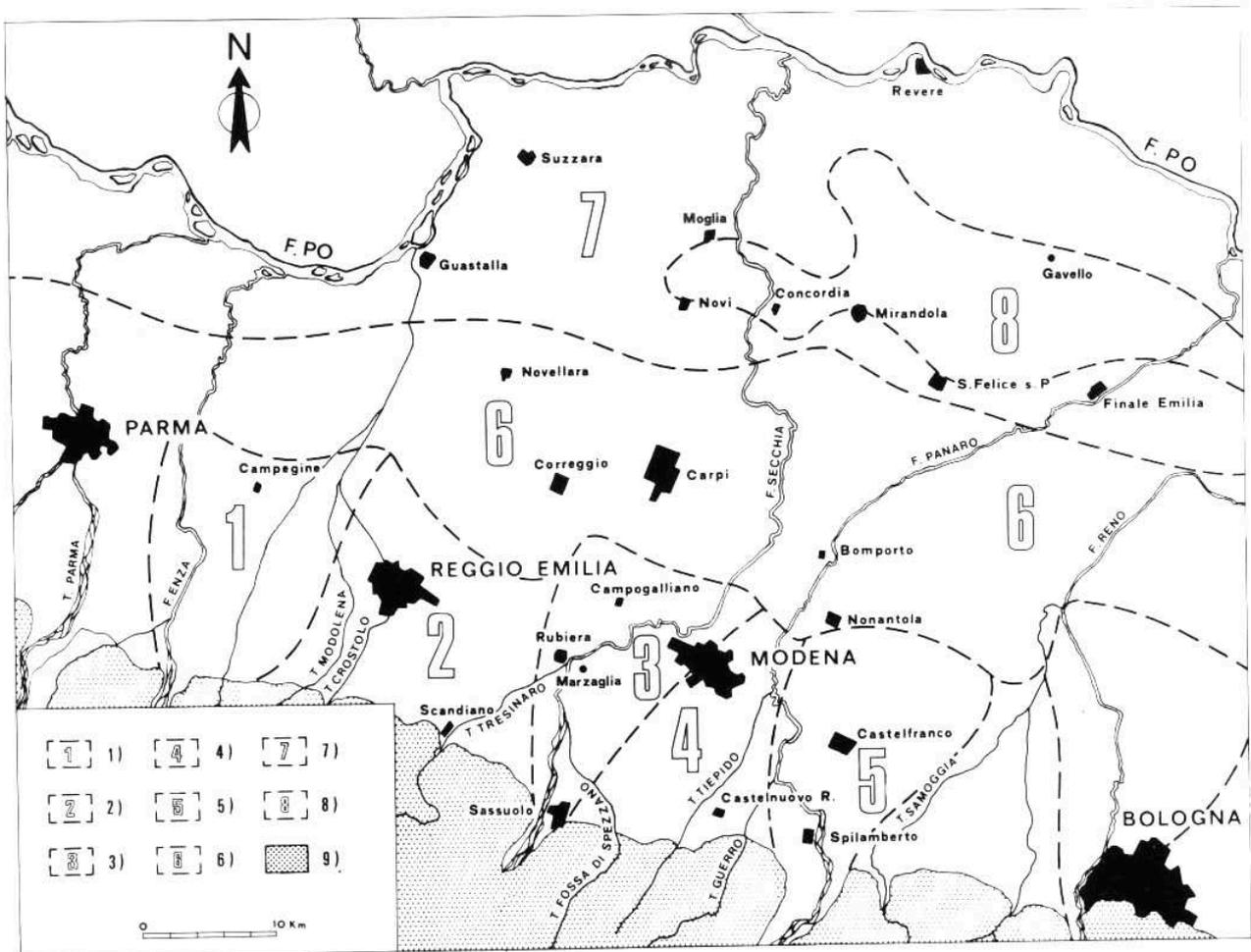


Fig. 1 - Carta indice dell'area studiata. Legenda: 1) conoide del F. Enza; 2) conoidi dei torrenti minori tra il F. Enza e il F. Secchia; 3) conoide del F. Secchia; 4) conoidi dei torrenti minori tra il F. Secchia e il F. Panaro; 5) conoide del F. Panaro; 6) settore di media pianura; 7) settore di bassa pianura con falde acquifere alimentate dal F. Po; 8) idem, con acque ad elevato contenuto alogenico, connesse con la struttura sepolta della «Dorsale ferrarese»; 9) margine collinare: affioramenti di formazioni marine prevalentemente argillose di età pleistocenica e pre-pleistocenica.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico delle acque sotterranee, l'area in esame ricade nell'unità idrogeologica della conoide del fiume Panaro, che appartiene al grande sistema acquifero della pianura Padana. L'unità idrogeologica della conoide del fiume Panaro, alimentata essenzialmente dal fronte freatico dell'alta pianura con flusso diretto verso nord-est, rappresenta uno dei più ricchi acquiferi dell'Emilia Romagna e alimenta gli acquedotti di S. Giovanni in Persiceto, Castelfranco ed in parte di Modena e Ferrara. A partire da queste zone

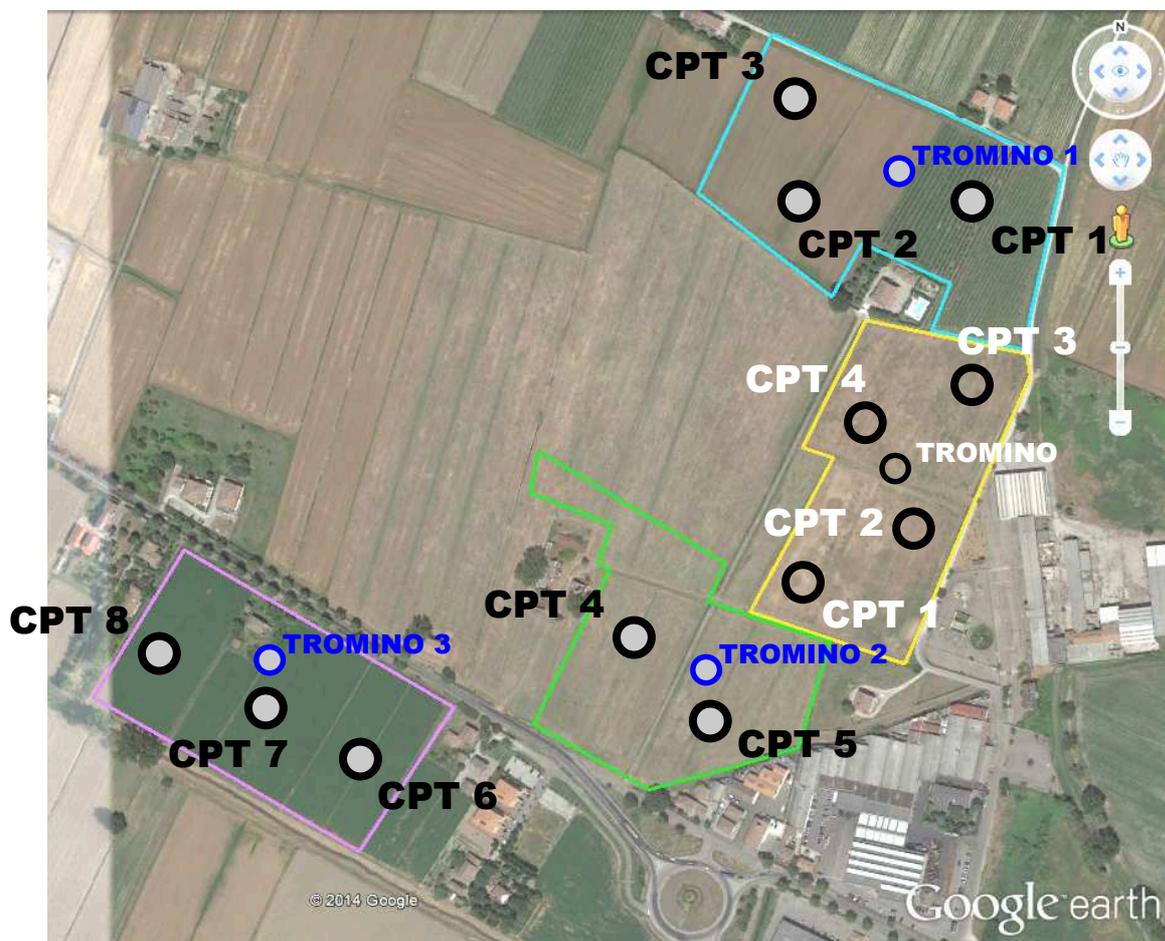
al limite tra l'alta e la media pianura, il sistema acquifero, monostrato per la parte a monte, viene frazionato a causa del comparire di corpi sedimentari lentiformi limo-argillosi, che procedendo verso la bassa pianura aumentano in numero e spessore, creando vari livelli acquiferi separati tra loro o collegati esclusivamente per il fenomeno della drenanza. Il limite inferiore dell'acquifero si individua invece al contatto fra i depositi e le argille Plioceniche che costituiscono il basamento della Pianura Padana e sono pressoché impermeabili. Dallo studio del moto della falda emergono l'elevata trasmissività delle aree di conoide, separate tra loro da marcate linee di drenaggio fluviale e alimentate dai principali corsi d'acqua della pianura, generalmente fino al limite tra la media e la bassa pianura. In particolare l'unità idrogeologica del fiume Panaro è costituita dai livelli ghiaiosi dei corpi acquiferi principali nell'alta pianura e da sabbie a varia granulometria con intercalazioni limo-argillose a bassa permeabilità nella media pianura, formata dalle alluvioni dei corsi d'acqua appenninici.

### **3. Metodologia d'indagine delle prove in sito**

L'indagine geognostica di campagna per la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita il giorno 30/09/2014 all'interno delle aree interessate dalla variante in progetto, mediante n. 8 prove penetrometriche statiche CPT che hanno raggiunto la profondità massima di -15 m rispetto all'attuale piano campagna. Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a profondità variabili da -1 m a -3 m dal piano campagna.

Inoltre in ciascuna area è stata svolta un'indagine geofisica, basata sulla registrazione a stazione singola del microtremore sismico con strumentazione TROMINO, per misurare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, valutare i possibili effetti sismici di sito e definire l'andamento della  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative vigenti.

Per l'area di proprietà "Elettromeccanica Tironi srl" si fa riferimento alla relazione geologico geotecnica e sismica già eseguita del 29/07/2014.



### 3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT

Per l'esecuzione dell'indagine di campagna si è utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG63, attrezzato con punta meccanica Begemann (punta conica standard  $\varnothing$  3.57 cm e angolo d'apertura  $60^\circ$ , con manicotto mobile di  $150 \text{ cm}^2$ , infissa nel terreno ad una velocità costante di  $2 \text{ cm/sec}$ ).

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare:

- $R_p$  resistenza alla punta in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_{lt}$  resistenza laterale totale (punta+manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_l$  resistenza laterale locale (al manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$

Successivamente il processo di discretizzazione dei parametri di campagna, ha permesso la determinazione di:

- classificazione litologica (Begemann - Schmestron)
- peso specifico medio del terreno naturale
- peso specifico efficace
- pressione litostatica eff. al centro dello strato
- coesione non drenata
- angolo d'attrito
- densità relativa
- coefficiente di compressibilità di volume
- modulo di reazione orizzontale
- permeabilità
- liquefazione

I grafici delle curve di  $R_p$  e  $R_l$  sono riportati nell'allegato A. Di seguito si descrivono alcune delle modalità seguite per la determinazione delle grandezze fisiche considerate.

- Peso specifico naturale ed efficace ( $\gamma_t$ ,  $\gamma'_t$ )

Questo parametro è determinato in base al valore medio di  $R_p$  applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Definito  $\gamma_t$  il peso specifico naturale per il terreno sotto falda e  $\gamma_w$  il peso specifico dell'acqua, si applica la relazione  $\gamma'_t = \gamma_t - \gamma_w$ , che considera la spinta di Archimede dovuta all'elemento liquido.

- Pressione litostatica efficace ( $\sigma'_v$ )

Il calcolo della pressione litostatica efficace è effettuato applicando la relazione:

$\sigma'_v = \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im} + \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im}$  riferita alla pressione relativa al punto medio dello strato considerato ( $h_m$ ). E' considerata la falda freatica se presente.

- Coesione non drenata ( $C_u$ )

Si utilizza la relazione di De Beer che consente il calcolo della  $C_u$  in base al valore di  $R_p$  per i livelli coesivi saturi (coesione non drenata apparente, cioè la resistenza al taglio dei terreni a comportamento coerente in situ).

- Angolo d'attrito ( $\theta^\circ$ )

La determinazione dell'angolo d'attrito per i terreni incoerenti segue la metodologia di Durgunoglu e Mitchell, applicando l'equazione  $\theta^\circ = f(R_p ; \sigma'_v)$ . Per i terreni coerenti in condizioni non drenate si utilizza la relazione (Durgunoglu):  $\theta^\circ = 14.4 + 4.8 \ln(q_c) - 4.5 \ln(\sigma'_v)$ .

#### Densità relativa ( $D_r$ )

Per questo parametro si utilizza il diagramma proposto da Jamiolkowski mod.

- Coefficiente di compressibilità di volume ( $M_v$ )

Si utilizzano le correlazioni di Buisman e Sanglerat che collegano il parametro al valore di  $R_p$ .

- Modulo di reazione orizzontale ( $K_o$ )

E' ricavato utilizzando la relazione:  $K_o = Ch \cdot R_p / C_k$  dove  $Ch$  varia fra 0.1 a 0.3 e  $C_k$  dipende dal tipo di terreno e varia da 1 a 4.

- Calcolo della permeabilità ( $K_p$ )

Questo parametro è determinato in base ai parametri di  $q_c$  e di  $Fr$ , applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Campo di validità da  $10^{-2} \text{ cm/s}$  per le sabbie e  $10^{-8} \text{ cm/s}$  per le argille.

### ▪ Liquefazione

Per la verifica alla suscettibilità alla liquefazione si utilizza il metodo di Seed e Idriss (1982), che confronta le caratteristiche meccaniche dei terreni ottenute in base ai risultati delle prove in sito e l'eventuale potenzialità nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie. Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco, in cui in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) e in ascissa la resistenza del terreno stimata mediante le prove in sito. Per i terreni coerenti non viene effettuata nessuna verifica per la suscettibilità alla liquefazione. Per i terreni incoerenti vengono calcolati il coefficiente  $C_2$  (rapporto di sforzo ciclico del terreno) ed il coefficiente  $C_1$  (relativo alla curva di magnitudo in caso di evento sismico). Per  $C_1 > C_2$  non si ha la liquefazione, viceversa il livello di terreno esaminato è suscettibile alla liquefazione.

### 3.2 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico

Una strategia efficace di difesa dai terremoti necessita di accurate valutazioni preventive della vulnerabilità sismica, determinata essenzialmente dall'instabilità dei suoli (frane, liquefazione dei terreni) e dagli effetti di sito. Gli effetti di sito sono amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche e topografiche, che portano al fenomeno della risonanza del terreno. Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici (fenomeno della doppia risonanza), si produce un'amplificazione delle onde sismiche molto grande e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo: l'amplificazione sismica è infatti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto. Il rumore sismico generato dai fenomeni atmosferici (moti oceanici, del vento ecc.) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre; è detto anche microtremore, poichè riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche degli edifici e del sottosuolo, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore, analogamente a quanto avviene durante un terremoto, che si può immaginare come un episodio di rumore fortissimo con ampiezze sino a  $10^{10}$  volte maggiori del microtremore. La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO<sup>®</sup>, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. La tecnica maggiormente consolidata per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico generato in un sito, è quella dell'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti del moto sismico orizzontali e verticali (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V - Nogoshi e Igarashi, 1970). Il codice utilizzato per la creazione di curve H/V sintetiche si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie di Rayleigh e Love in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (Aki, 1964 - Ben-Menahem e Singh, 1981), considerando che l'onda sismica viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due mezzi (litotipi) a rigidità differente, con la determinazione di un contrasto di impedenza. L'onda riflessa interferisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza), quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore H del primo strato: la frequenza fondamentale di risonanza F relativa alle onde S risulta pari a  $F = V_s / 4H$ .

### 4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine di campagna ha permesso di effettuare un riconoscimento di massima dei terreni attraversati e di ottenere indicazioni sulla parametrizzazione geotecnica dei terreni studiati, di seguito riportata.

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 1

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m <sup>3</sup>	Gamma' kg/m <sup>3</sup>	Sigma'V kg/cm <sup>2</sup>	CU kg/cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	K oriz kg/cm <sup>3</sup>	Perm. cm/sec
1.40 Argilla limosa consisten	1842	1842	0.258	0.894	28	0	0.0110	1.8143	2.6e-5
3.40 Limo argilloso plastico	1785	1135	0.485	0.596	23	0	0.0142	0.8267	1.2e-4
6.60 Limo argilloso soffice	1693	1043	0.819	0.293	17	0	0.0195	0.4458	1.2e-4

10.60	Limo argilloso plastico	1781	1131	1.271	0.539	18	0	0.0144	0.8033	1.2e-4
11.00	Ghiaia sabbiosa sciolta	1650	1000	1.311	0.000	20	16	0.0189	1.3250	1.9e-1
13.00	Limo argilloso plastico	1843	1193	1.550	0.833	19	0	0.0151	1.2133	1.7e-4
15.00	Limo argilloso soffice	1767	1117	1.773	0.461	15	0	0.0148	0.7333	1.6e-4

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 2

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
1.00	Argilla torbosa consiste	1820	1820	0.182	0.771	29	0	0.0128	1.5600	4.3e-6
1.60	Argilla limosa soffice	1713	1713	0.285	0.369	23	0	0.0196	0.7667	3.9e-6
3.20	Limo argilloso plastico	1820	1170	0.472	0.758	24	0	0.0141	1.0417	5.2e-4
6.40	Limo argilloso soffice	1670	1020	0.798	0.248	16	0	0.0218	0.3833	1.1e-4
7.20	Sabbia sciolta	1700	1050	0.882	0.000	20	15	0.0317	0.7875	8.7e-2
7.60	Limo argil-sabbioso scio	1700	1050	0.924	0.304	16	0	0.0189	0.4667	2.0e-3
8.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1050	1.050	0.000	24	49	0.0109	4.0778	8.8e-3
10.00	Sabbia ghiaiosa media ad	1750	1100	1.182	0.000	26	70	0.0056	5.9083	1.1e-1
10.20	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.205	0.000	28	90	0.0032	10.5500	5.9e-1

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 3

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
1.00	Argilla limosa plastica	1797	1797	0.180	0.661	28	0	0.0149	1.3400	4.1e-6
3.00	Limo argil-sabbioso adde	1828	1828	0.545	0.798	24	0	0.0143	1.1000	1.3e-3
3.60	Limo argil-sabbioso adde	1780	1130	0.613	0.569	21	0	0.0144	0.8000	8.0e-4
6.80	Limo argilloso soffice	1703	1053	0.950	0.309	16	0	0.0187	0.4750	4.9e-4
8.20	Limo argil-sabbioso adde	1835	1185	1.116	0.808	20	0	0.0146	1.1524	1.5e-3
9.80	Limo argil-sabbioso scio	1739	1089	1.290	0.392	16	0	0.0161	0.6083	7.5e-4
10.40	Limo argilloso plastico	1767	1117	1.357	0.482	17	0	0.0148	0.7333	1.1e-4
10.80	Limo argil-sabbioso adde	1899	1249	1.407	1.255	21	0	0.0126	1.7667	6.1e-4
15.00	Limo argilloso plastico	1812	1162	1.895	0.648	17	0	0.0140	0.9905	1.4e-4

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 4

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
1.20	Argilla limosa soffice	1737	1737	0.208	0.440	25	0	0.0185	0.9000	3.8e-5
4.60	Limo argil-sabbioso scio	1718	1068	0.571	0.366	19	0	0.0175	0.5255	2.7e-3
5.60	Sabbia argilloso-limosa	1650	1000	0.671	0.000	19	15	0.0532	0.6267	5.9e-3
8.60	Limo argil-sabbioso scio	1704	1054	0.988	0.311	16	0	0.0186	0.4800	1.2e-3
9.20	Sabbia argill-limosa add	1750	1100	1.054	0.000	25	65	0.0069	4.8167	1.2e-2
9.40	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.077	0.000	30	100	0.0021	15.6000	7.3e-1

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 5

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
0.60	Limo argil-sabbioso adde	1841	1841	0.110	0.894	32	0	0.0150	1.2000	1.4e-3
4.00	Argilla limosa soffice	1705	1055	0.469	0.338	20	0	0.0201	0.7235	4.1e-5
6.20	Limo argil-sabbioso scio	1696	1046	0.699	0.306	18	0	0.0193	0.4545	1.3e-3
7.80	Sabbia lim. mediamente a	1750	1100	0.875	0.000	23	39	0.0121	2.0625	4.4e-2
8.20	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	0.921	0.000	30	100	0.0025	13.4500	6.8e-1

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 6

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
1.40	Limo argilloso consisten	1943	1943	0.272	1.772	31	0	0.0093	2.3810	3.7e-4
2.40	Limo argilloso soffice	1747	1097	0.382	0.461	23	0	0.0157	0.6400	1.1e-4
4.00	Limo argil-sabbioso scio	1769	1119	0.561	0.528	21	0	0.0147	0.7417	7.4e-4
4.60	Limo argilloso soffice	1720	1070	0.625	0.369	19	0	0.0174	0.5333	2.3e-4
7.60	Limo argilloso molto sof	1655	1005	0.927	0.214	15	0	0.0235	0.3467	2.6e-4
8.20	Limo argil-sabbioso adde	2034	1384	1.010	3.233	28	0	0.0051	4.3778	2.7e-3
8.60	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.056	0.000	29	100	0.0026	12.9000	6.8e-1

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 7

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60 Limo argilloso consisten	1950	1950	0.312	1.847	31	0	0.0089	2.4833	2.9e-4
4.00 Limo argilloso plastico	1795	1145	0.587	0.633	22	0	0.0141	0.8833	2.0e-4
8.20 Limo argilloso soffice	1706	1056	1.030	0.313	16	0	0.0184	0.4857	2.5e-4
12.20 Limo argil-sabbioso scio	1707	1057	1.453	0.295	14	0	0.0183	0.4900	1.2e-3
12.80 Sabbia argil-limoso adde	1700	1050	1.516	0.000	20	15	0.0244	1.8222	1.6e-2
13.40 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.585	0.000	27	86	0.003110	0.8667	6.3e-1

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 8

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60 Limo argilloso molto con	1989	1989	0.318	2.403	32	0	0.0069	3.2250	5.3e-4
3.60 Argilla limosa plastica	1792	1142	0.547	0.623	22	0	0.0154	1.3000	5.4e-6
8.80 Limo argil-sabbioso scio	1714	1064	1.100	0.330	16	0	0.0178	0.5128	2.0e-3
9.20 Sabbia sciolta	1700	1050	1.142	0.000	20	15	0.0263	0.9500	7.4e-2
11.00 Limo argil-sabbioso scio	1716	1066	1.334	0.322	15	0	0.0177	0.5185	5.5e-4
12.40 Limo argilloso plastico	1789	1139	1.493	0.561	17	0	0.0142	0.8476	3.1e-4
14.20 Limo argil-sabbioso scio	1770	1120	1.695	0.476	16	0	0.0147	0.7481	1.5e-3
14.60 Sabbia limosa addensata	1800	1150	1.741	0.000	26	74	0.0042	8.0250	3.2e-2
15.00 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.787	0.000	27	89	0.002612	6.250	4.7e-1

Si è proceduto alla parametrizzazione dell'indagine geognostica CPT secondo il metodo di Searle, che permette una definizione più dettagliata dei vari livelli di terreno studiati.

Sulla base dell'indagine di campagna e delle successive discretizzazioni è stato possibile schematizzare i valori medi di resistenza alla punta  $R_p$  e resistenza laterale  $R_l$ , espressi in  $\text{kg/cm}^2$ , e il rapporto  $q_c/f_s$ .

## Dati medi prova discretizzata CPT n. 1

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/f_s$
1.40	18.14	1.33	13.61
3.40	12.40	0.72	17.22
6.60	6.69	0.38	17.64
10.60	12.05	0.70	17.30
11.00	26.50	0.27	99.37
13.00	18.20	1.01	18.08
15.00	11.00	0.61	17.93

## Dati medi prova discretizzata CPT n. 2

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/f_s$
1.00	15.60	1.87	8.36
1.60	7.67	0.64	11.90
3.20	15.62	0.74	21.07
6.40	5.75	0.33	17.47
7.20	15.75	0.23	67.50
7.60	7.00	0.27	26.25
8.80	61.17	1.78	34.41
10.00	118.17	1.56	75.96
10.20	211.00	0.67	316.50

## Dati medi prova discretizzata CPT n. 3

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/f_s$
1.00	13.40	1.19	11.29
3.00	16.50	0.68	24.26
3.60	12.00	0.53	22.50
6.80	7.12	0.34	21.11
8.20	17.29	0.70	24.86
9.80	9.12	0.41	22.35
10.40	11.00	0.64	17.07
10.80	26.50	1.23	21.49
15.00	14.86	0.85	17.53

Dati medi prova discretizzata CPT n. 4

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.20	9.00	0.59	15.28
4.60	7.88	0.29	27.53
5.60	9.40	0.29	32.05
8.60	7.20	0.30	24.18
9.20	96.33	2.64	36.43
9.40	312.00	0.60	520.00

Dati medi prova discretizzata CPT n. 5

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	18.00	0.73	24.55
4.00	7.24	0.47	15.50
6.20	6.82	0.28	24.46
7.80	41.25	0.78	52.66
8.20	269.00	0.63	424.74

Dati medi prova discretizzata CPT n. 6

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.40	35.71	1.82	19.63
2.40	9.60	0.56	17.14
4.00	11.12	0.50	22.25
4.60	8.00	0.42	18.95
7.60	5.20	0.27	19.50
8.20	65.67	2.49	26.38
8.60	258.00	0.60	430.00

Dati medi prova discretizzata CPT n. 7

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.60	37.25	1.98	18.78
4.00	13.25	0.72	18.49
8.20	7.29	0.38	19.29
12.20	7.35	0.31	23.97
12.80	27.33	0.69	39.68
13.40	217.33	0.60	362.22

Dati medi prova discretizzata CPT n. 8

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.60	48.38	2.39	20.23
3.60	13.00	1.10	11.82
8.80	7.69	0.29	26.09
9.20	19.00	0.30	63.33
11.00	7.78	0.36	21.43
12.40	12.71	0.65	19.63
14.20	11.22	0.45	24.84
14.60	160.50	3.40	47.21
15.00	252.50	1.17	216.43

Allo scopo di definire un modello geotecnico per il sito in esame in base alle elaborazioni delle indagini effettuate, si riporta di seguito una descrizione litostratigrafica delle diverse aree. Per l'area di proprietà "Elettromeccanica Tironi srl" si fa riferimento alla relazione geologico geotecnica e sismica già eseguita del 29/07/2014.

### Area Stanzani - CPT n. 1/2/3

La stratigrafia risulta costituita in prevalenza da terreni a consistenza da bassa a media, con alternanze di limi argillosi da soffici a plastici ( $C_u = 0.25 \div 0.83 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\varphi = 15^\circ \div 24^\circ$ ) e limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati ( $C_u = 0.30 \div 0.81 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\varphi = 16^\circ \div 21^\circ$ ).

In corrispondenza della CPT n. 2 da -6.40 m a -10 m si riscontrano livelli di sabbie sciolte ( $\varphi = 20^\circ$ ;  $Dr = 15\%$ ), passanti a sabbie limose/ghiaiose e ghiaie mediamente addensate ( $\varphi = 24^\circ \div 28^\circ$ ;  $Dr = 49\% \div 90\%$ ). Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta alla profondità di -3 m dal piano campagna (settembre 2014).

Area Az. Agr. Mavora - CPT n. 4/5

- dal piano campagna alla quota media di -8 m: terreni a bassa consistenza, con alternanze di limi argillosi soffici e limi argilloso-sabbiosi sciolti ( $C_u = 0.30 \div 0.36 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\varphi = 16^\circ \div 20^\circ$ ) e livelli di sabbie limose ( $\varphi = 19^\circ \div 23^\circ$ ;  $Dr = 15\% \div 39\%$ );
- da -8 m a -9.40 m: ghiaie mediamente addensate ( $\varphi = 30^\circ$ ;  $Dr = 100\%$ ).

Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta alla profondità di -1 m dal piano campagna (settembre 2014).

Area Anzevino e Bergamini-Fornetti - CPT n. 6/7/8

- dal piano campagna a quota -13/-14 m: alternanze di limi argillosi da soffici a plastici e limi argilloso-sabbiosi sciolti ( $C_u = 0.21 \div 0.63 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\varphi = 14^\circ \div 22^\circ$ ), con livelli discontinui di sabbie sciolte ( $\varphi = 20^\circ$ ;  $Dr = 15\%$ ) e ghiaie ( $\varphi = 29^\circ$ ;  $Dr = 100\%$ );
- da -13/-14 m a -15 m: ghiaie mediamente addensate ( $\varphi = 27^\circ$ ;  $Dr = 86\% \div 89\%$ ).

Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta alla profondità di -1.80 m dal piano campagna (settembre 2014).

In generale, in base alle indagini effettuate, si è riscontrato che i terreni più superficiali al di sopra del livello di falda si presentano lievemente sovraconsolidati per effetto dell'essiccamento e sono seguiti da litotipi limo-argillosi a consistenza bassa o medio-bassa.

Inoltre risulta discontinua la presenza del primo livello ghiaioso a -8/-9 m circa dal piano campagna, che non viene più individuato al margine nord dell'area esaminata.

Viste le variazioni litostratigrafiche riscontrate e le mediocri caratteristiche geotecniche dei terreni, si ritiene necessario che in fase esecutiva vengano eseguite opportune indagini geognostiche su ogni lotto previsto, per integrare in dettaglio la modellazione geologico geotecnica definita in questa fase preliminare.

**5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito**

La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare, con maggiore dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedimenti di microzonazione sismica. Tale procedimento è volto a prevedere e mitigare gli effetti di un evento sismico in una zona di dimensioni urbane, considerando la morfologia superficiale e del substrato, la sua costituzione, la presenza e la profondità della falda freatica e l'eventuale presenza di faglie.

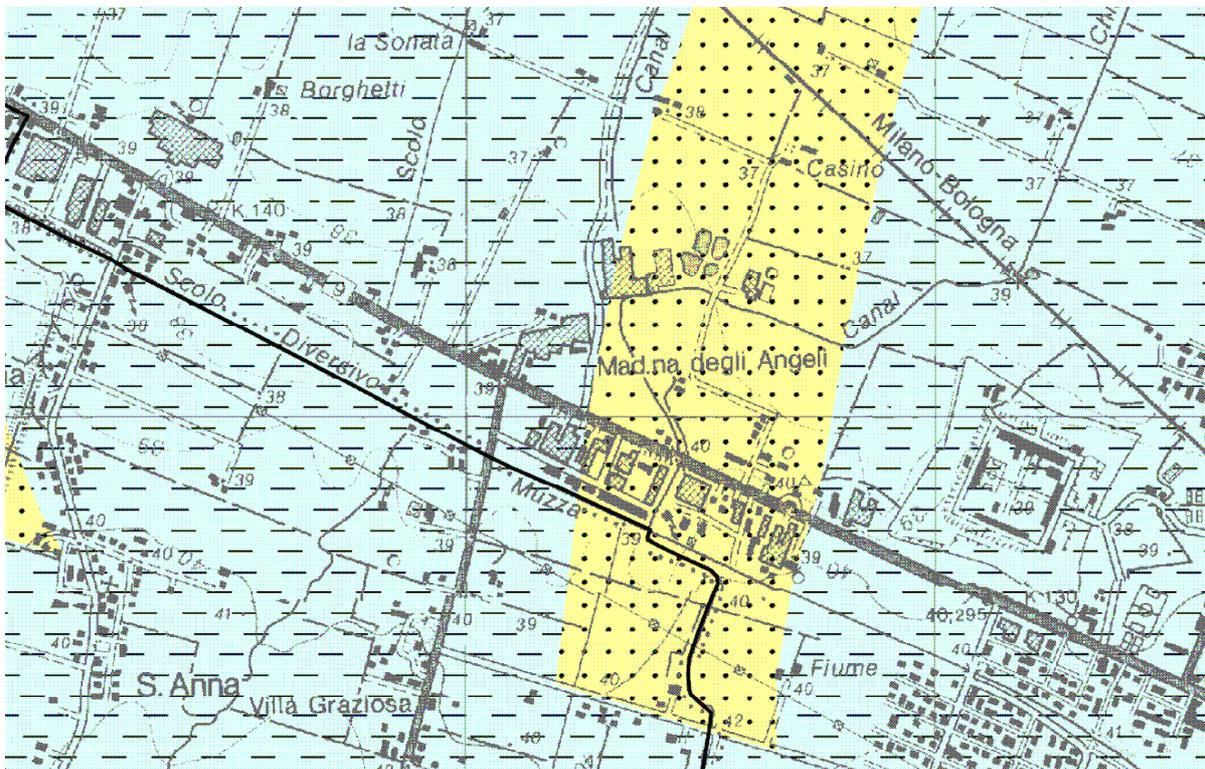
Questa analisi recepisce le indicazioni applicative della Delibera di Giunta Regionale n. 1677 del 24/10/2005 attualmente in vigore. Si considera inoltre la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia Romagna riportata nella OPCM n. 3274 del 20/03/2003, secondo cui il comune di Castelfranco Emilia rientra in zona 3. L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter. Si riporta di seguito un elenco degli eventi sismici più significativi per la storia sismica del sito di indagine:

Anno	Me	Gi	AREA	Imx	Io	Lat	Lon	Maw
1561	11	24	FERRARA	65	55	44.78	11.45	4.63
1570	11	17	FERRARA	80	75	44.82	11.63	5.48
1574	3	17	FINALE EMILIA	70	70	44.833	11.294	5.12
1586	1	12	SPILAMBERTO		60	44.583	11	4.83
1666	4	14	BOLOGNA		60	44.5	11.333	4.83
1695	2	28	FERRARA	55	55	44.836	11.618	4.63
1743	5	29	FERRARA	65	65	44.836	11.618	5.03
1779	6	4	BOLOGNESE	70	65	44.45	11.52	4.97
1780	2	6	BOLOGNESE	65	55	44.62	11.32	4.85
1787	7	16	FERRARA	65	55	44.83	11.62	4.63
1796	10	22	EMILIA ORIENTALE	70	70	44.62	11.67	5.63

1801	10	8	BOLOGNA	55	55	44.498	11.34	4.63
1811	7	15	SASSUOLO	70	70	44.572	10.728	5.24
1834	10	4	BOLOGNA	60	55	44.6	11.37	4.63
1850	9	18	MODENA	60	60	44.614	10.965	4.83
1878	3	12	BOLOGNESE	60	60	44.42	11.55	4.83
1881	1	24	BOLOGNESE	70	65	44.32	11.35	5.14
1889	3	8	BOLOGNA	60	60	44.518	11.237	4.83
1908	6	28	FINALE EMILIA SUD	60	44.8	11.3	4.83	
1909	1	13	BASSA PADANA	65	65	44.579	11.688	5.53
1922	5	24	CENTO	45	35	44.862	11.517	4.5
1923	6	28	FORMIGINE	60	60	44.595	10.799	5.21
1929	4	20	BOLOGNESE	80	70	44.47	11.13	5.55
1931	6	10	MODENESE	40	40	44.541	11.021	4.84
1934	9	18	VIGNOLA	40	40	44.495	11.012	4.5
1967	10	1	FORMIGINE	50	44.567	10.95	4.52	
1986	12	6	BONDENO	60	60	44.879	11.334	4.56
1996	10	15	CORREGGIO	70	70	44.782	10.683	5.44
2012	1	25	POVIGLIO	44.854	10.538	4.9		
2012	5	20	FINALE EMILIA	44.89	11.23	5.9		
2012	5	20	FERRARESE	44.831	11.49	5.1		
2012	5	29	MEDOLLA/BASSA MODENESE	44.85	11.09	5.8		

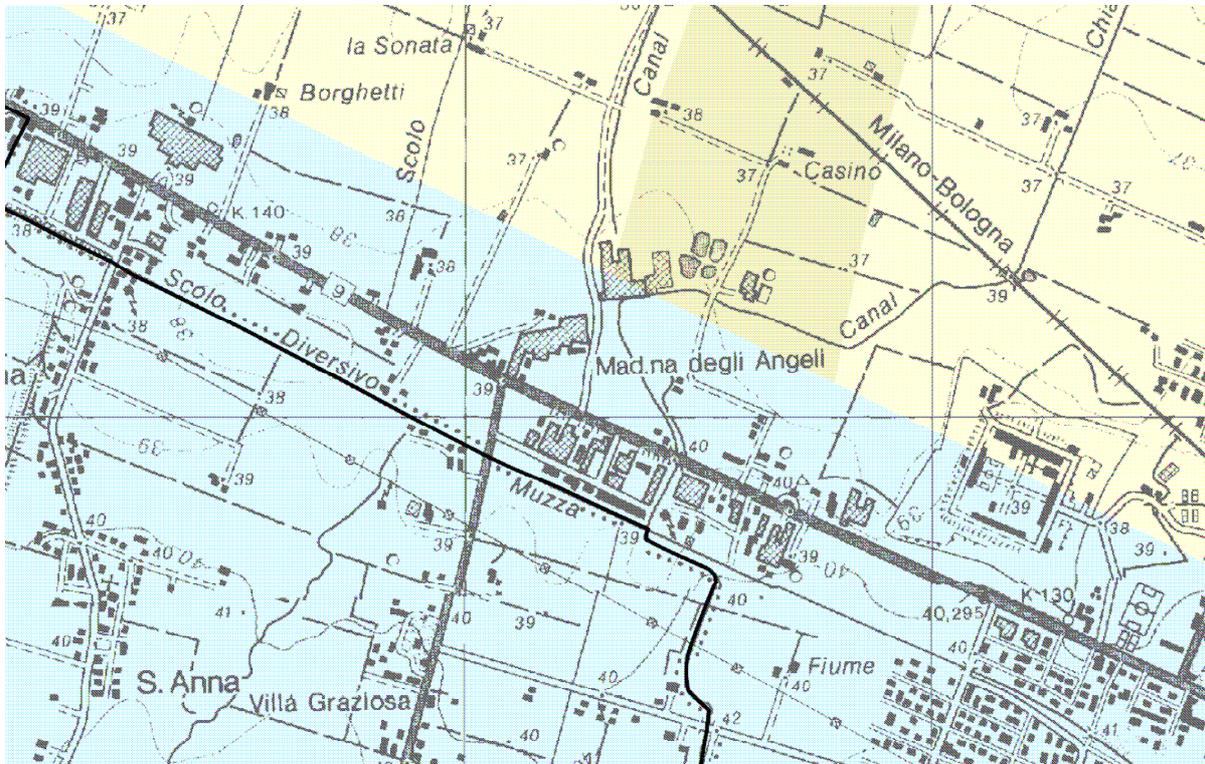
(Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI- INGV, Bologna)

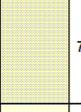
Nel quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali - Tavola 2 a.5 a scala 1:25'000, il territorio in esame insiste su "limi e argille di piana alluvionale". Pertanto in caso di sisma si possono attendere "amplificazione, possibili cedimenti".



Depositi che possono determinare effetti locali	
	<b>ghiaie di conoide</b> effetti attesi: amplificazione; studi: valutazione amplificazione
	<b>sabbie di canale</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi
	<b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b> effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti; studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi
	<b>sabbie sepolte del Po</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi

In relazione al rischio sismico, nelle Carte delle Sicurezze del Territorio del PTCP della Provincia di Modena, Tavola 2.2 a.5 a scala 1:25'000, il territorio in esame è classificato come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti". Sono pertanto richiesti la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi, con approfondimenti di II livello per la microzonazione sismica e di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.



	<b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; microzonazione sismica: approfondimenti di II livello.
	<b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico; microzonazione sismica: approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione</b> studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; microzonazione sismica: approfondimenti di III livello.
	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti</b> studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; microzonazione sismica: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti

### 5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove SPT e da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (o IL) di Iwasaki et al. (1982). Le prove CPT sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI (o IL) è un parametro di sintesi che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica e dei parametri di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili. Le classi di potenziale di liquefazione, secondo la proposta di Sonmez (2003), sono le seguenti:

LPI	potenziale di liquefazione
0	non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$15 < LPI$	molto alto

L'elaborazione dell'indagine di campagna fornisce una verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti, individuati con la discretizzazione dei dati delle prove penetrometriche. Il calcolo viene eseguito secondo le modalità riportate nel par. 3.1, considerando un evento sismico avente una magnitudo pari al grado 5.5 della scala Richter, compatibile con i dati storici esistenti per l'area in esame (Servizio Geologico RER - INGV).

Per l'area di proprietà "Elettromeccanica Tironi srl" si fa riferimento alla relazione geologico geotecnica e sismica già eseguita del 29/07/2014.

#### Area Stanzani - CPT n. 1/2/3

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.40 Argilla limosa consisten	Terreno coerente		
3.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.60 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
10.60 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
11.00 Ghiaia sabbiosa sciolta	0.1873	0.1439	no
13.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
15.00 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.00 Argilla torbosa consiste	Terreno coerente		
1.60 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
3.20 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.40 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
7.20 Sabbia sciolta	0.1469	0.1377	no
7.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
8.80 Sabbia argil-limosa adde	0.3086	0.1409	no
10.00 Sabbia ghiaiosa media ad	0.5571	0.1425	no
10.20 Ghiaia mediamente addens	3.5724	0.1427	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 3

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.00 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
3.00 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
3.60 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
6.80 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
8.20 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
9.80 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
10.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
10.80 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
15.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel/fax: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo@virgilio.it

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Stanzani" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi sopra riportate (LPI = 0). In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007 e all'Ordinanza RER 70/2012, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle dell'allegato A2 della DAL RER 112/2007.

#### Area Az. Agr. Mavora - CPT n. 4/5

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 4

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.20 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
4.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
5.60 Sabbia argilloso-limosa	0.0837	0.1390	si
8.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
9.20 Sabbia argill-limosa add	0.4773	0.1456	no
9.40 Ghiaia mediamente addens	62.4672	0.1458	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 5

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.60 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
4.00 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
6.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
7.80 Sabbia lim. mediamente a	0.3072	0.1496	no
8.20 Ghiaia mediamente addens	51.9339	0.1498	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata sull'Area "Az. Agr. Mavora" evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità per la CPT n. 4. In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007 e all'Ordinanza RER 70/2012, in presenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame devono essere valutati con metodologie di III livello.

La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione. L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

- $z_{crit}$  indica la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie;
- $F(z)$  è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità in funzione del valore che assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL;
- $w(z)$  è un fattore di peso della profondità.

Tradizionalmente la profondità "critica" è assunta pari a 20 m, ma recentemente Özocak e Sert (2010) hanno proposto di assumere per terremoti di magnitudo ordinaria la profondità critica pari a 10 m.

Pertanto

- per  $z_{crit} = 20$  m è  $w(z) = 10 - 0.5z$ ;
- per  $z_{crit} = 10$  m è  $w(z) = 20 - 2z$ .

Ad una data quota  $z$  la variabile  $F(z) = F$  vale:

- $F = 1 - FSL$  se  $FSL \leq 0.95$
- $F = 0$  se  $FSL \geq 1.2$

- $F(z) = 2 \cdot 10^6 \exp(-18.427 \text{ FSL})$  per  $1.2 > \text{FSL} > 0.95$

dove FSL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata e definito come  $\text{FSL} = (\text{CRR}_{7.5}/\text{CSR}) \cdot \text{MSF}$ ; MSF è il fattore di scala della magnitudo, ricavabile dalla tabella seguente:

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

(da: DAL RER 112/2007; Università di Firenze - Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU, marzo 2013)

In relazione ai livelli potenzialmente soggetti a liquefazione individuati, alla magnitudo utilizzata (M 5.5 e MSF = 1.43) e considerando una profondità critica pari a 10 m, si ottengono i seguenti valori di LPI per la verticale della CPT eseguita nell'area in esame:

Indagine	LPI <sub>1</sub>	LPI <sub>2</sub>
CPT 1	5.36	0

Pertanto, sulle due indagini CPT considerate, l'area in esame presenta un  $\text{LPI}_{\text{MEDIO}} = 2.68$  che secondo la classificazione di Sonmez (2003) determina un potenziale di liquefazione "moderato" per  $2 < \text{LPI} \leq 5$ .

#### Area Anzevino e Bergamini-Fornetti - CPT n. 6/7/8

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 6

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.40 Limo argilloso consisten		Terreno coerente	
2.40 Limo argilloso soffice		Terreno coerente	
4.00 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
4.60 Limo argilloso soffice		Terreno coerente	
7.60 Limo argilloso molto sof		Terreno coerente	
8.20 Limo argil-sabbioso adde		Terreno coerente	
8.60 Ghiaia mediamente addens	25.5606	0.1407	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 7

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60 Limo argilloso consisten		Terreno coerente	
4.00 Limo argilloso plastico		Terreno coerente	
8.20 Limo argilloso soffice		Terreno coerente	
12.20 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
12.80 Sabbia argil-limosa adde	0.1816	0.1443	no
13.40 Ghiaia mediamente	2.5466	0.1447	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 8

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60 Limo argilloso molto con		Terreno coerente	
3.60 Argilla limosa plastica		Terreno coerente	
8.80 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
9.20 Sabbia sciolta	0.1537	0.1397	no
11.00 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
12.40 Limo argilloso plastico		Terreno coerente	
14.20 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
14.60 Sabbia limosa addensata	0.8412	0.1448	no
15.00 Ghiaia mediamente addens	4.1930	0.1450	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Anzivino/Bergonzini-Farnetti" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi sopra riportate (LPI = 0). In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007 e all'Ordinanza RER 70/2012, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle dell'allegato A2 della DAL RER 112/2007.

La valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. Per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito. Un'indicazione dei cedimenti post-sismici nel caso di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici ( $c_u \leq 70 \text{ kPa}/0.7 \text{ kg/cm}^2$ ) con spessore  $\geq 5 \text{ m}$ , in cui si preveda un incremento delle pressioni interstiziali  $r_u \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento, può essere valutata tramite le indicazioni della DAL RER 112/2007, dove per un generico strato di spessore H il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$$

con  $\varepsilon_{vr}$  (%) deformazione volumetrica post-ciclica determinata dalla formula

$$\varepsilon_{vr} = \alpha C_r * (1 + e_0) * \log(1/1 - r_u)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale;  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 * C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione;  $r_u$  è il rapporto di pressione interstiziale

Tabella 2 – Rapporto di pressione interstiziale  $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  in funzione di  $\gamma_{max}$

$\gamma_{max}$ [%]	$r_u$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Considerando prove edometriche di laboratorio, limiti di Atterberg e analisi granulometriche di terreni aventi le stesse caratteristiche litologiche di quelli del territorio in esame, il valore di  $\varepsilon_{vr}$  può essere stimato in  $3 * 10^{-3}$ . In base alla formula  $\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$  considerando uno spessore medio di 10 m, si ottiene un valore teorico stimato di 3 cm.

## 5.2 Misura del microtremore sismico

La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. L'elaborazione dei dati, acquisiti con tempi di registrazione di 14 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz, permette di evidenziare, sottoforma di picchi nello spettro del rapporto H/V, i contrasti di impedenza tra litotipi a rigidità diversa che determinano possibili fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

**TROMINO – AREA STANZANI – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA**

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 09:29:23 Fine registrazione: 30/09/14 09:43:24

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

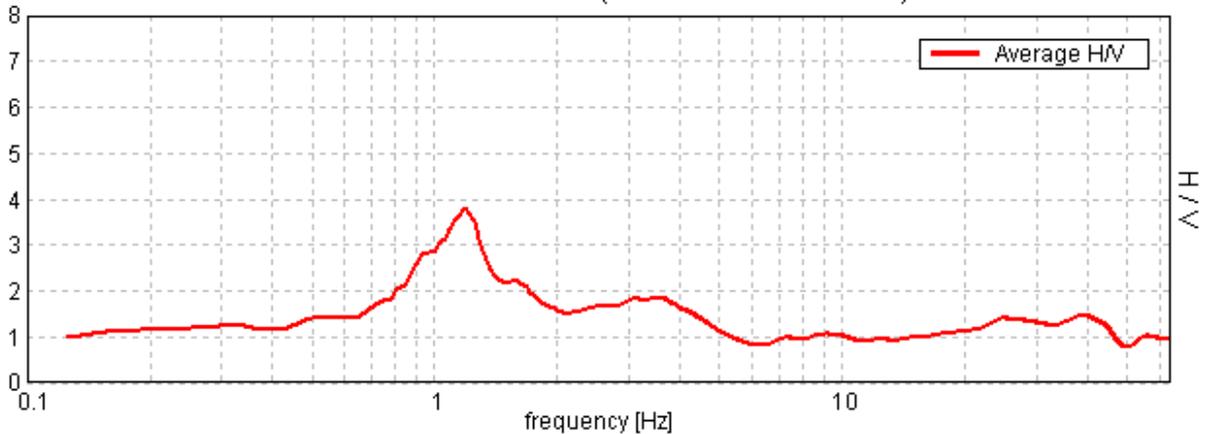
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

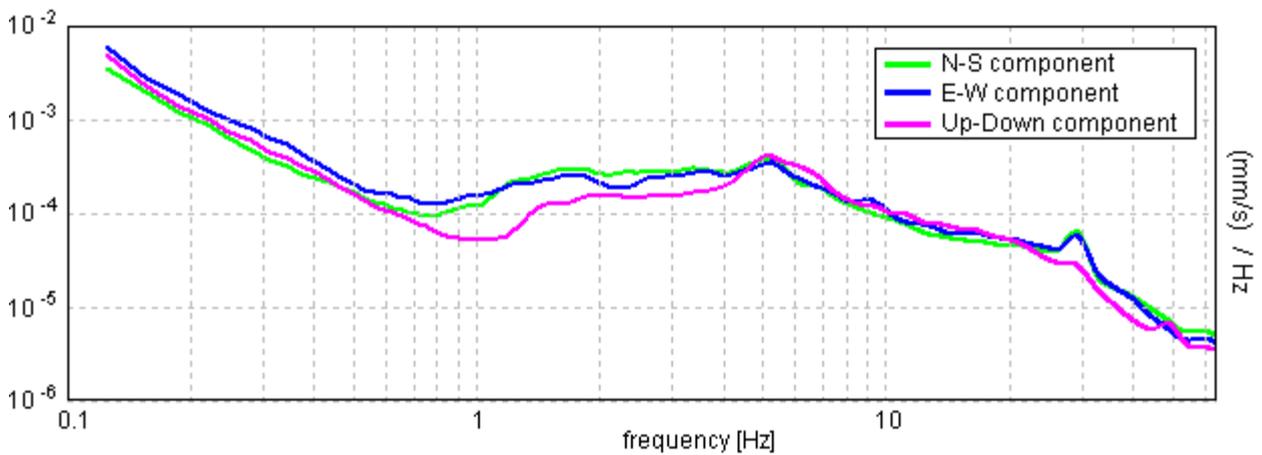
Lisciamento: 10%

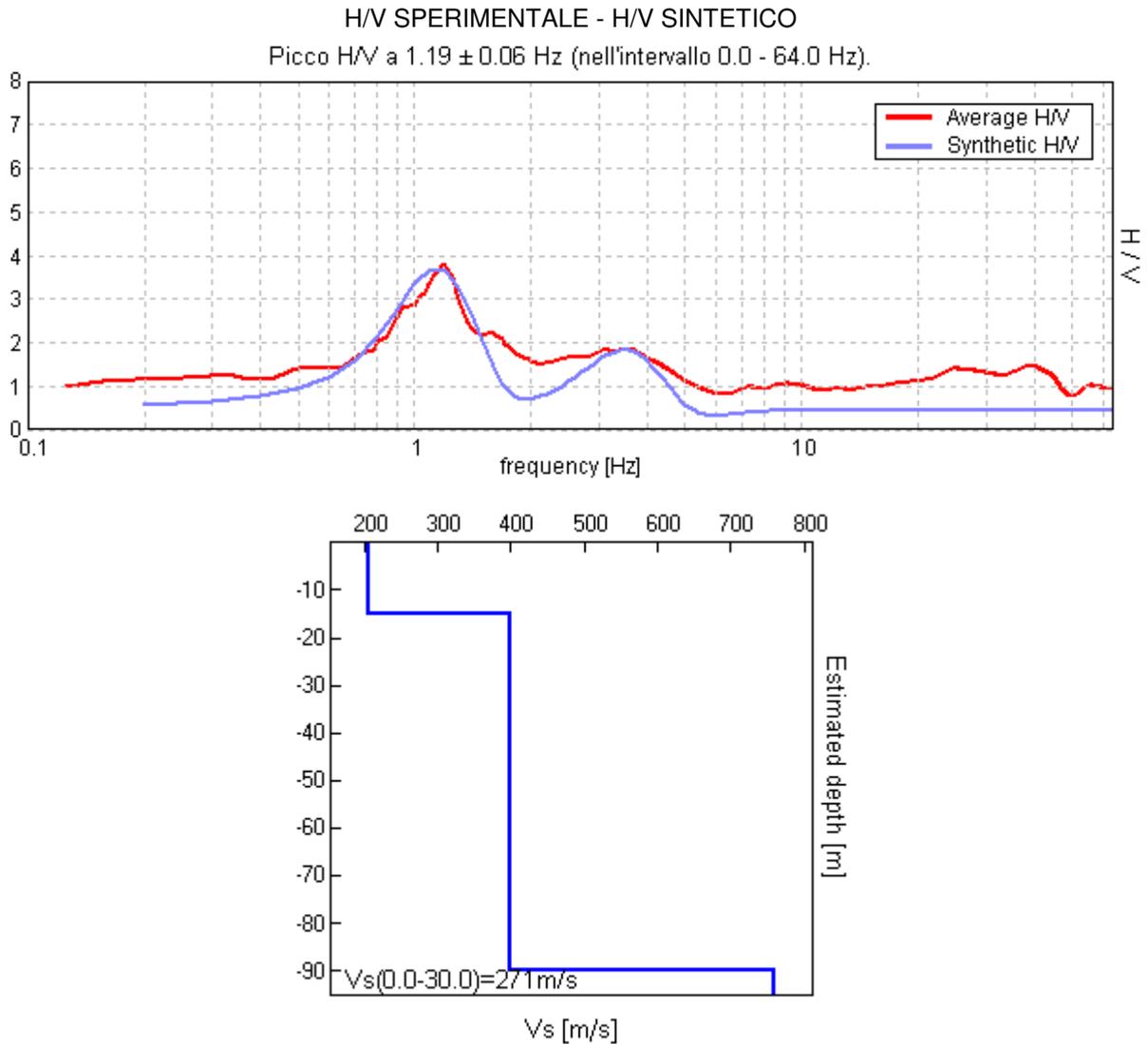
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR**

Picco H/V a  $1.19 \pm 0.06$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
15.00	205
90.00	400
inf.	760

$$V_{s30} = 271 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un primo picco mediamente a 3.5 Hz, riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire da profondità maggiori di -15 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geonostiche cui si fa riferimento. Si individua un secondo picco a circa 1.20 Hz ( $1.19 \pm 0.06$  Hz) corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 271$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

**TROMINO – AREA AZ. AGR. MAVORA – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA**

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 13:05:12 Fine registrazione: 30/09/14 13:19:13

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 74% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

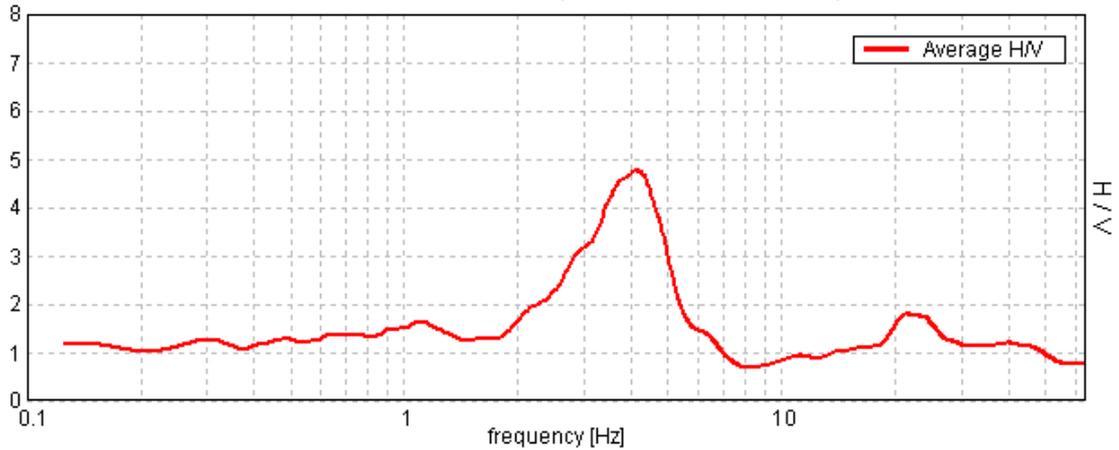
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

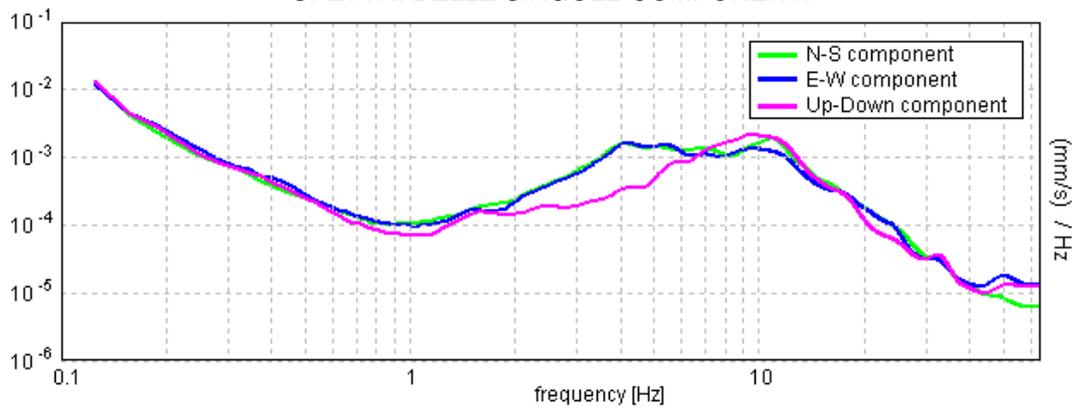
Lisciamento: 10%

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR**

Picco H/V a  $4.09 \pm 0.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

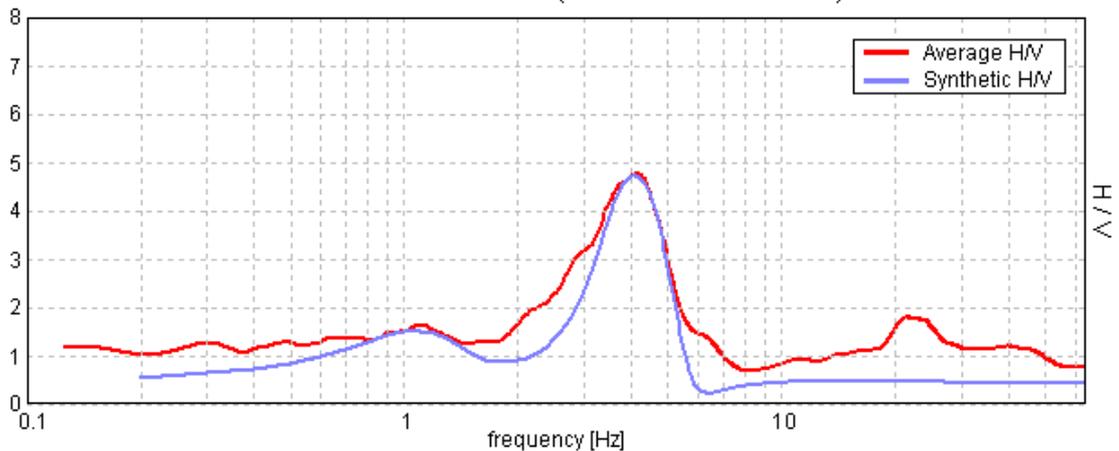


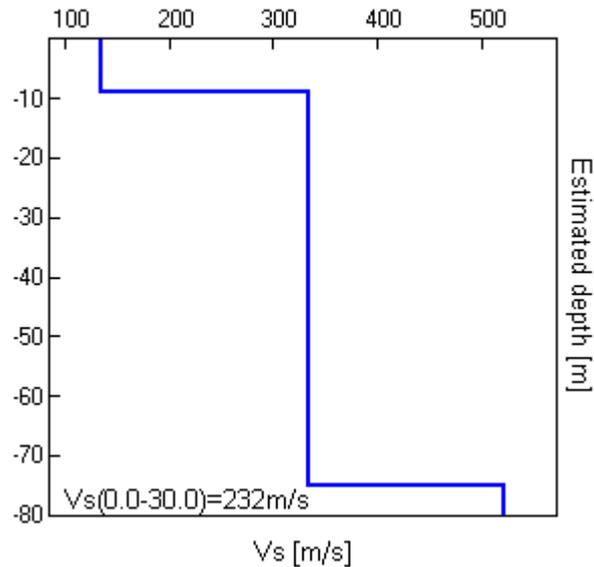
**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



**H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO**

Picco H/V a  $4.09 \pm 0.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
9.00	136
75.00	333
inf.	520

**Vs<sub>30</sub> = 232 m/s**

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 4 Hz ( $4.09 \pm 0.24$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di circa -9 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 232$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine sarebbe riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

Considerando tuttavia la presenza di livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, si ritiene opportuno classificare l'area in esame in categoria S2, che comprende "Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti".

### **TROMINO – AREA ANZEVINO/BERGAMINI-FORNETTI – AMBITO N. 58 NUOVO PRODUTTIVO GRAZIOSA**

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 17:35:48 Fine registrazione: 30/09/14 17:49:49

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 71% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

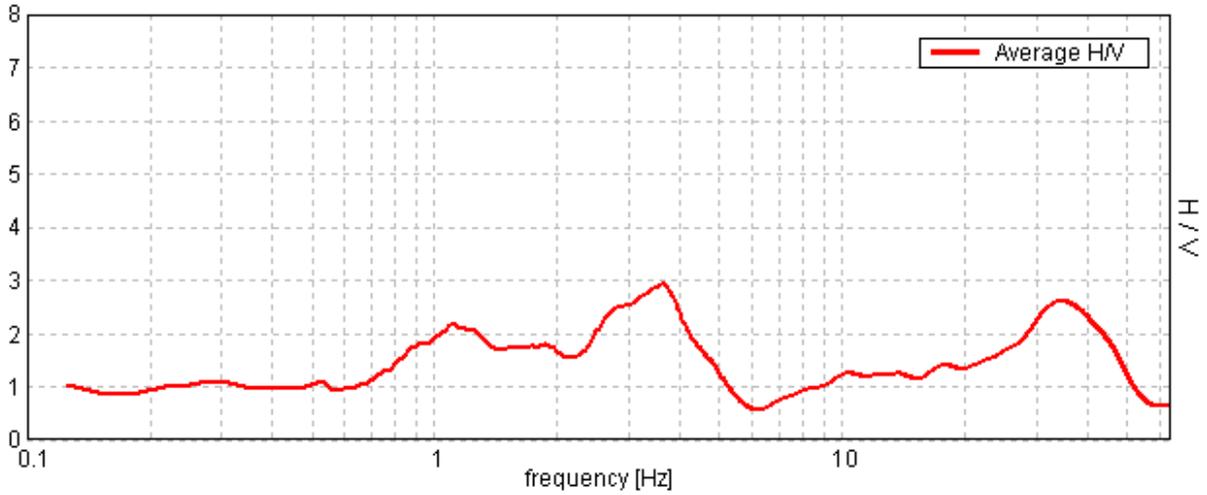
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

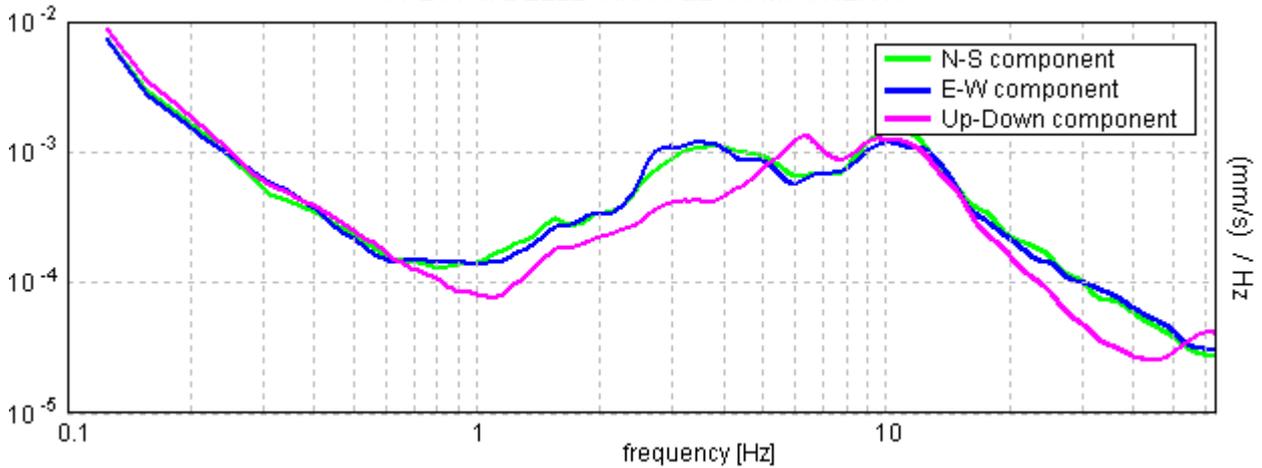
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Picco H/V a  $3.63 \pm 8.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

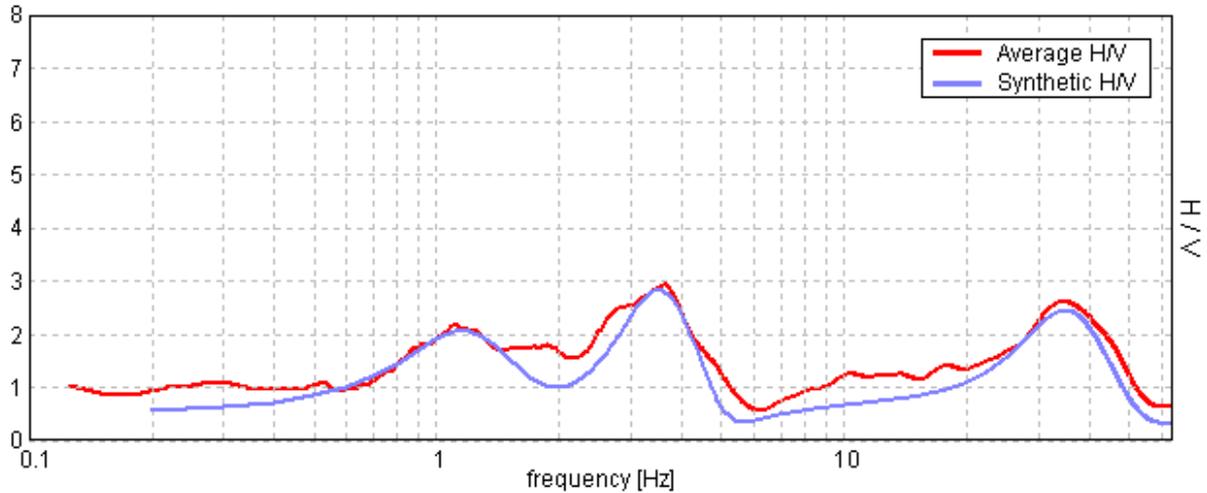


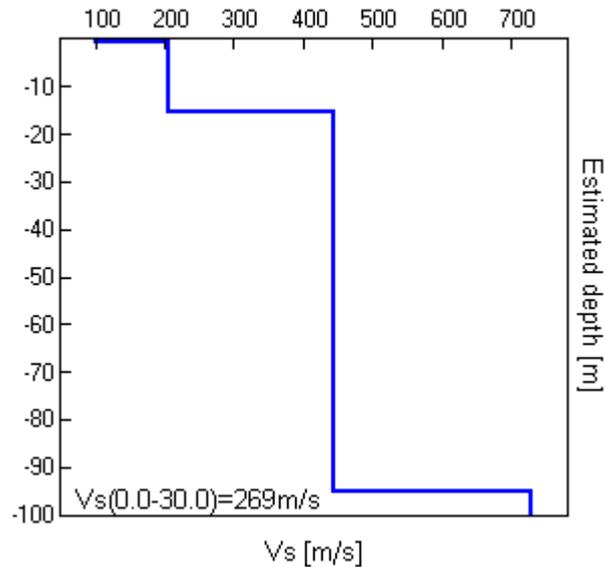
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $3.63 \pm 8.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
0.70	100
15.50	206
95.00	445
inf.	730

**Vs<sub>30</sub> = 269 m/s**

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 3.60 Hz ( $3.63 \pm 8.03$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di circa -15 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua anche un secondo picco alla frequenza di circa 1.20 Hz, tipica del Bacino Sedimentario Padano. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 269$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

### 5.3 Azione Sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);

▪ per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;  
Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  = 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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- $F_0$  e  $T_{c^*}$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare la vita di riferimento  $VR$  della costruzione, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche. La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

<b>Vita nominale per diversi tipi di opere - TIPI DI COSTRUZIONE</b>	<b>Vita Nominale</b>
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni

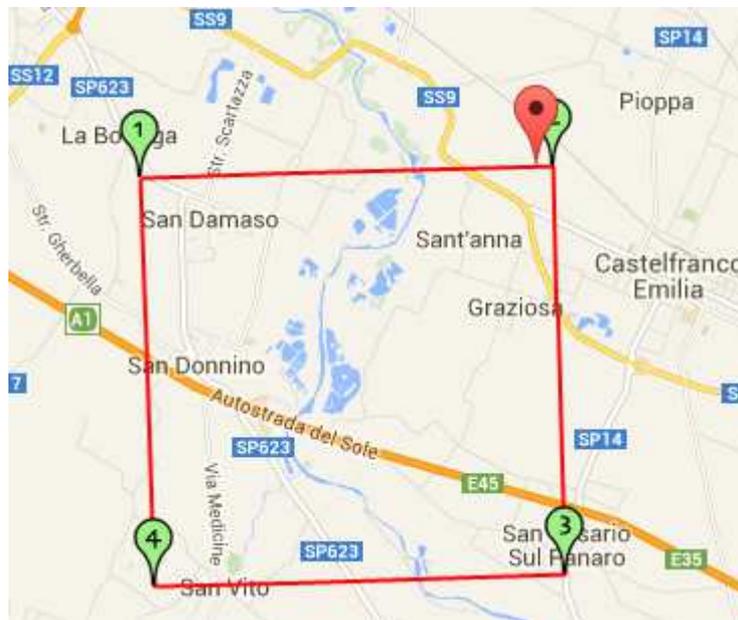
In presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in classi d'uso:

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

<b>CLASSE D'USO</b>			
I	II	III	IV
<b>Coefficiente d'uso <math>C_u</math></b>			
0.7	1	1.5	2

Di seguito vengono riportati i dati sismici per le diverse aree esaminate, ottenuti in relazione alle caratteristiche dell'opera considerate e i grafici degli spettri elastici SLU-SLE.

### Area Stanzani



Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Latitudine (WGS84): 44,6084400 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11,0297400 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,6093800 [°]  
 Longitudine (ED50): 11,0307400 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	5354,67
2	16282	44,609490	11,033290	202,61
3	16504	44,559510	11,035330	5557,51
4	16503	44,558040	10,965210	7715,06

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,512	0,271
SLV	475	0,164	2,424	0,289
SLC	975	0,216	2,415	0,292

Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,084
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,726	0,895	2,349	2,945
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

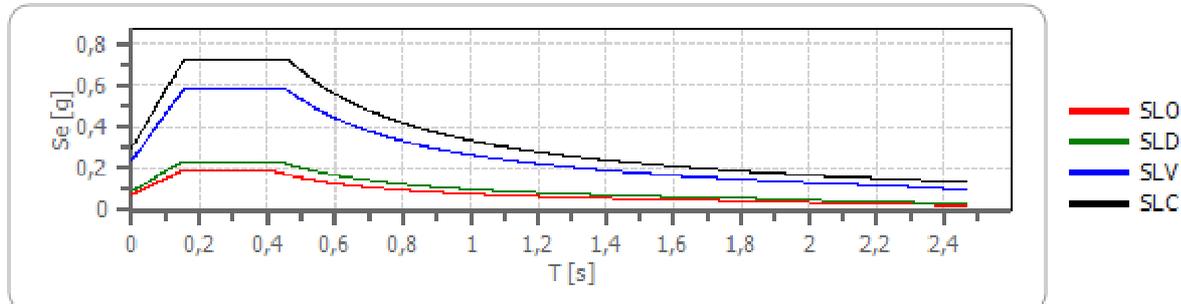
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

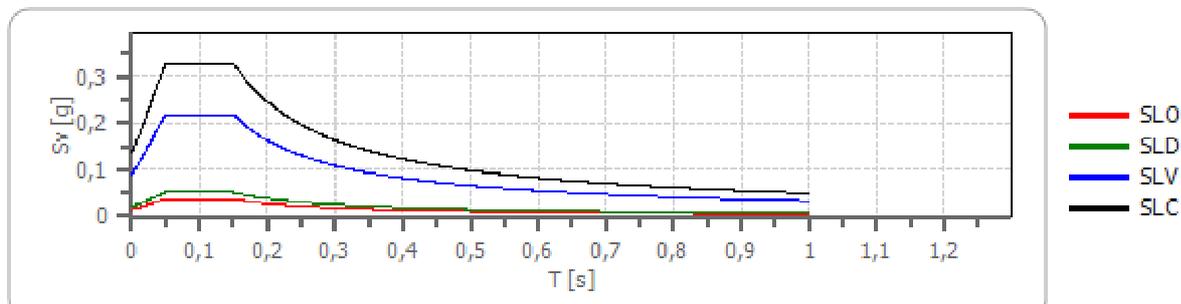
1,000

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



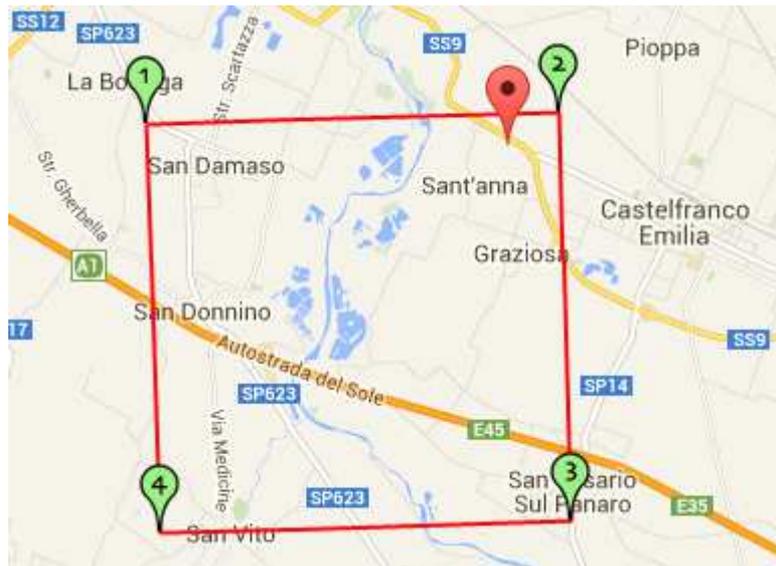
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,797	0,074	0,184
SLD	1,0	0,061	2,512	0,271	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,843	0,091	0,229
SLV	1,0	0,164	2,424	0,289	1,460	1,580	1,000	1,460	1,000	0,152	0,457	2,256	0,239	0,580
SLC	1,0	0,216	2,415	0,292	1,390	1,580	1,000	1,390	1,000	0,154	0,461	2,464	0,300	0,725

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,037
SLD	1,0	0,061	2,512	0,271	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,051
SLV	1,0	0,164	2,424	0,289	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,090	0,217
SLC	1,0	0,216	2,415	0,292	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,136	0,327

**Area Anzevino e Bergamini-Fornetti**



Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Latitudine (WGS84): 44,6043700 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11,0237800 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,6053100 [°]  
 Longitudine (ED50): 11,0247800 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	4890,89
2	16282	44,609490	11,033290	818,05
3	16504	44,559510	11,035330	5161,02
4	16503	44,558040	10,965210	7063,39

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,510	0,270
SLV	475	0,164	2,414	0,292
SLC	975	0,214	2,411	0,296

Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

## Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,083
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,730	0,900	2,343	2,923
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

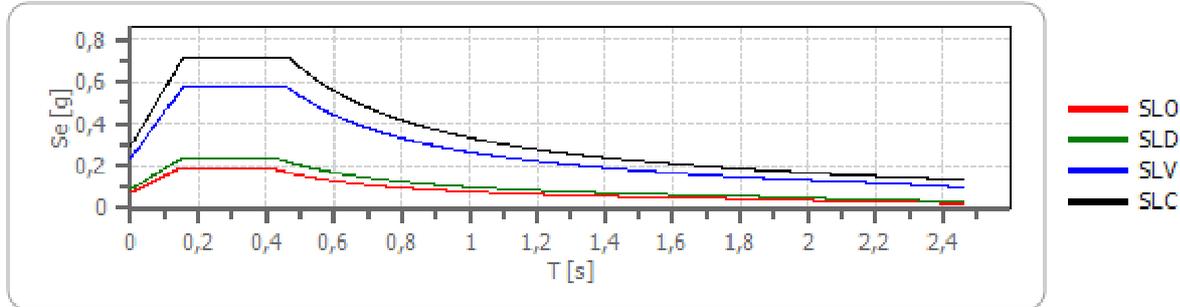
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$ :

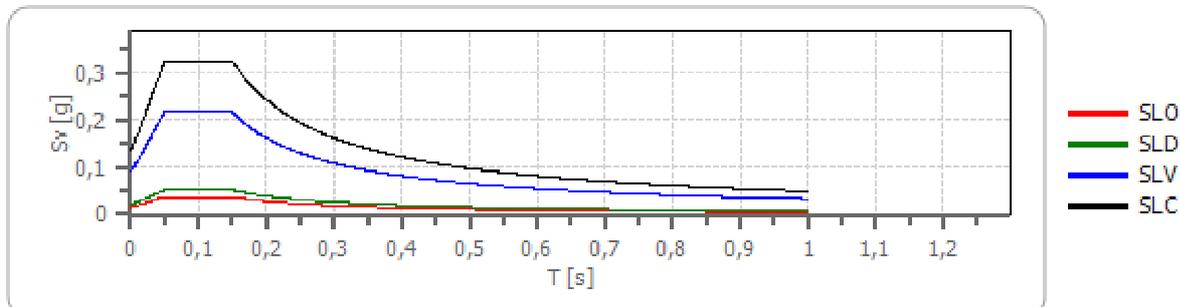
1,000

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,050	2,481	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,798	0,074	0,185
SLD	1,0	0,061	2,510	0,270	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,845	0,092	0,230
SLV	1,0	0,164	2,414	0,292	1,460	1,580	1,000	1,460	1,000	0,154	0,461	2,255	0,239	0,577
SLC	1,0	0,214	2,411	0,296	1,390	1,570	1,000	1,390	1,000	0,155	0,465	2,458	0,298	0,719

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,050	2,481	0,255	1	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,037
SLD	1,0	0,061	2,510	0,270	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,051
SLV	1,0	0,164	2,414	0,292	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,089	0,216
SLC	1,0	0,214	2,411	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,134	0,323

In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007 e all'Ordinanza RER 70/2012, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle dell'allegato A2 della DAL RER 112/2007. Tali tabelle sono formulate per l'ambito "PIANURA 2", ovvero per una situazione di pianura caratterizzata da profilo stratigrafico con 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 ( $\geq 100$  m da p.c.):

## F.A. P.G.A.

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

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$ 

$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

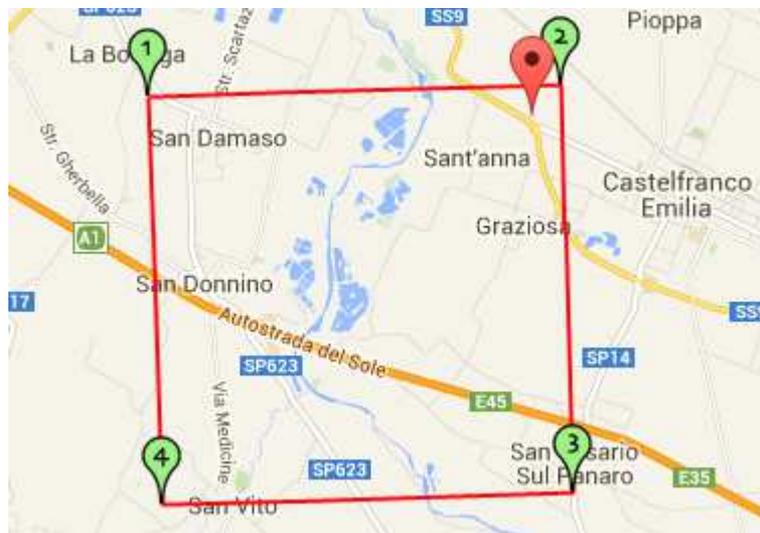
F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$ 

$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Considerando la  $V_{s30}$  delle aree considerate pari a  $V_{s30} = 271$  m/s e  $V_{s30} = 269$  m/s, si indicano per entrambe i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.5
- F.A. I.S.  $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.7$
- F.A. I.S.  $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.3$

## Area Az. Agr. Mavora



Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1  
 Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLC: 975 [anni]

Latitudine (WGS84):	44,6045700 [°]
Longitudine (WGS84):	11,0276100 [°]
Latitudine (ED50):	44,6055100 [°]
Longitudine (ED50):	11,0286100 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	5191,75
2	16282	44,609490	11,033290	576,91
3	16504	44,559510	11,035330	5143,10
4	16503	44,558040	10,965210	7285,41

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,510	0,270
SLV	475	0,164	2,417	0,291
SLC	975	0,215	2,412	0,295

## Coefficients sismici stabilità di pendii e fondazioni

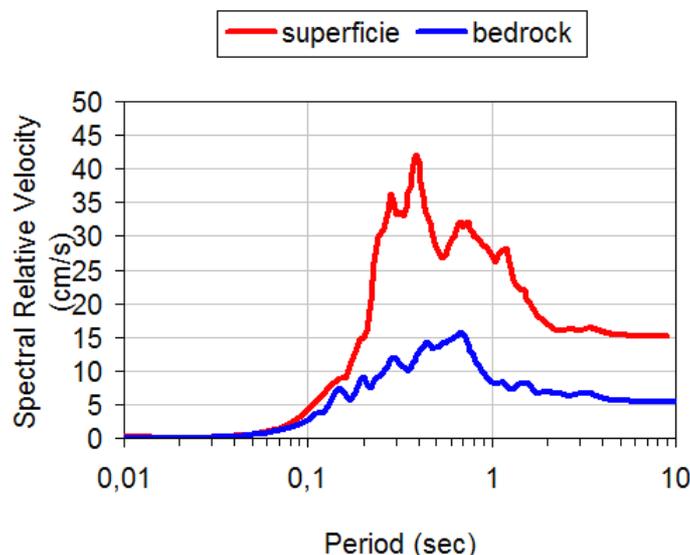
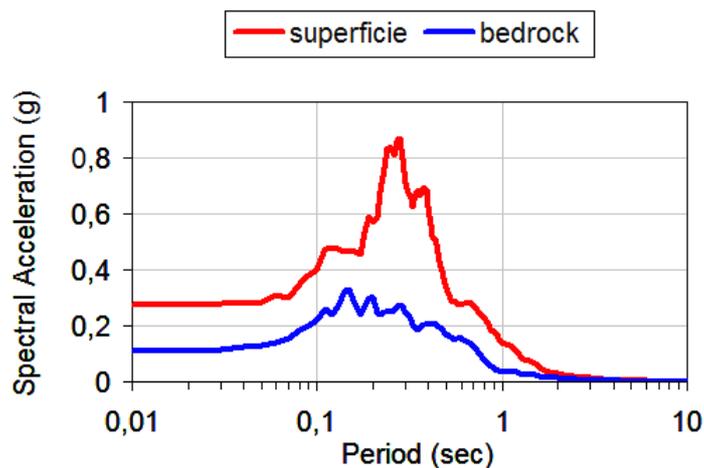
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,084
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,728	0,899	2,345	2,930
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

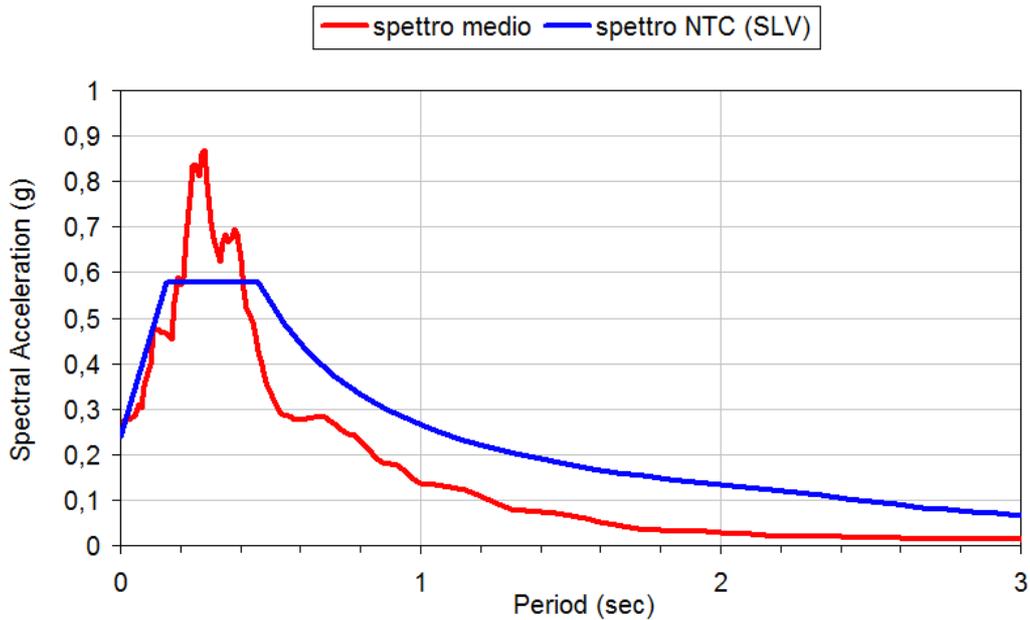
In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007 e all'Ordinanza RER 70/2012, in presenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame devono essere valutati con metodologie di III livello.

I segnali di riferimento utilizzati per il comune in oggetto sono forniti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale e sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di  $a_{refg}$  del comune. Tali segnali (n. 3 accelerogrammi) sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database - ISESD" attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD. Nel caso in esame questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Mediante l'analisi di terzo livello, sviluppata con l'utilizzo del software EERA, vengono forniti:

- gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento  $\zeta = 5\%$ ;
- i valori di amplificazione in termini di PGA/PGA<sup>0</sup> e SI/ SI<sup>0</sup>





**RISULTATI PER MICROZONAZIONE SISMICA III LIVELLO**

fattore di amplificazione

FA 1	2,598
FA 2	2,657
FA 3	2,724
<b>FA (media)</b>	<b>2,66</b>

fattore di amplificazione Intensità di Housner

	superficie (SI)	bedrock (Slo)
SI 0,1 - 0,5	1092,76	412,88
SI 0,5 - 1,0	875,32	380,93
SI 0,2 - 2,0	2285,93	875,20

SI/Slo 0,1 - 0,5	2,65
SI/Slo 0,5 - 1,0	2,30
SI/Slo 0,2 - 2,0	2,61

fattore di amplificazione PGA

PGA 1	0,249
PGA 2	0,295
PGA 3	0,278
<b>PGA (media)</b>	<b>0,274</b>
<b>PGA/PGAo</b>	<b>1,681</b>

**fattori di amplificazione da DAL 112/2007**

**FA PGA = 1,5**

**FA IS 0,1 - 0,5 = 1,8**

**FA IS 0,5 - 1,0 = 2,3**

Comune di Castelfranco Emilia

PGA da DAL 112/2007

0,163

Pertanto:

- F.A. medio = 2.66
- F.A. P.G.A. = 1.681
- F.A. I.S.  $0.1\text{ s} < T_0 < 0.5\text{ s}$  = 2.65
- F.A. I.S.  $0.5\text{ s} < T_0 < 1.0\text{ s}$  = 2.30
- F.A. I.S.  $0.2\text{ s} < T_0 < 2.0\text{ s}$  = 2.61

## **6. Considerazioni conclusive**

La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza per verificare le caratteristiche dei terreni di alcune aree del Comune di Castelfranco Emilia individuate nel PSC come “ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera” e “ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa”, per la trasformazione attuativa dei siti disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC).

In particolare sono stati oggetto di indagine preliminare i seguenti siti:

- aree di proprietà Stanzani e Az. Agr. Mavora (Ambito n. 50 nuovo produttivo della Cartiera);
- aree di proprietà Anzevino e Bergamini-Fornetti (Ambito n. 58 nuovo produttivo Graziosa).

Per l'area di proprietà “Elettromeccanica Tironi srl” si fa riferimento alla relazione geologico geotecnica e sismica già eseguita del 29/07/2014.

Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni:

- la stratigrafia delle aree esaminate è costituita in generale da depositi alluvionali recenti scarsamente compatti, con alternanze di limi argilloso-sabbiosi sciolti e limi argillosi da soffici a plastici, con possibili livelli di sabbie sciolte.
- Alla profondità di -8/-9 m sono presenti orizzonti di ghiaie mediamente addensate, riscontrati in maniera continua nell'area “Az. Agr. Mavora” (CPT n. 4 e n. 5) e in modo discontinuo nelle altre zone. A partire da -13/-15 m si individuano altri orizzonti di ghiaie mediamente addensate presenti più uniformemente nelle aree in esame.
- I terreni più superficiali, al di sopra del livello di falda, si presentano lievemente sovraconsolidati per effetto dell'essiccamento.
- Al momento dell'esecuzione dell'indagine (settembre 2014) è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale, per risalita all'interno dei fori di prova, a profondità comprese tra -1 m e -3 m dal piano campagna.
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche per le aree “Stanzani” e “Anzevino e Bergamini-Fornetti”, la verifica alla liquefazione effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità ( $LPI = 0$ ). Pertanto i fattori di amplificazione sismica sono stati valutati secondo le tabelle dell'allegato A2 della DAL RER 112/2007.
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica per l'area “Az. Agr. Mavora”, la verifica alla liquefazione effettuata evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità ( $LPI_{MEDI0} = 2.68$ ). Pertanto i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame sono stati valutati con metodologie di III livello.
- In base alle elaborazioni delle indagini sismiche HVSR, si individuano frequenze fondamentali di vibrazione del sito comprese mediamente tra 3.50 Hz e 4 Hz, riconducibili alle variazioni di profondità del primo passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua inoltre una seconda frequenza fondamentale a circa 1.10/1.20 Hz, tipica del Bacino Sedimentario Padano.
- In relazione alla classificazione sismica le aree esaminate sono in zona 3 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria C che comprende “Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)”.
- Per l'area “Az. Agr. Mavora”, considerando la presenza di livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, si ritiene opportuno classificare il terreno in categoria S2, che comprende “Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti”.

Da quanto sopra riportato, si ritengono sufficientemente documentate le condizioni geologiche geotecniche e sismiche del sito in esame, in relazione alla variante al P.O.C. in progetto (ai sensi del DM 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni; Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 “Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”).

Viste le variazioni litostratigrafiche riscontrate e le mediocri caratteristiche geotecniche dei terreni, si ritiene necessario che in fase esecutiva vengano eseguite opportune indagini geognostiche su ogni lotto previsto, per integrare in dettaglio la modellazione geologico geotecnica definita in questa fase preliminare.

#### ALLEGATI

A. Elaborati delle indagini geognostiche

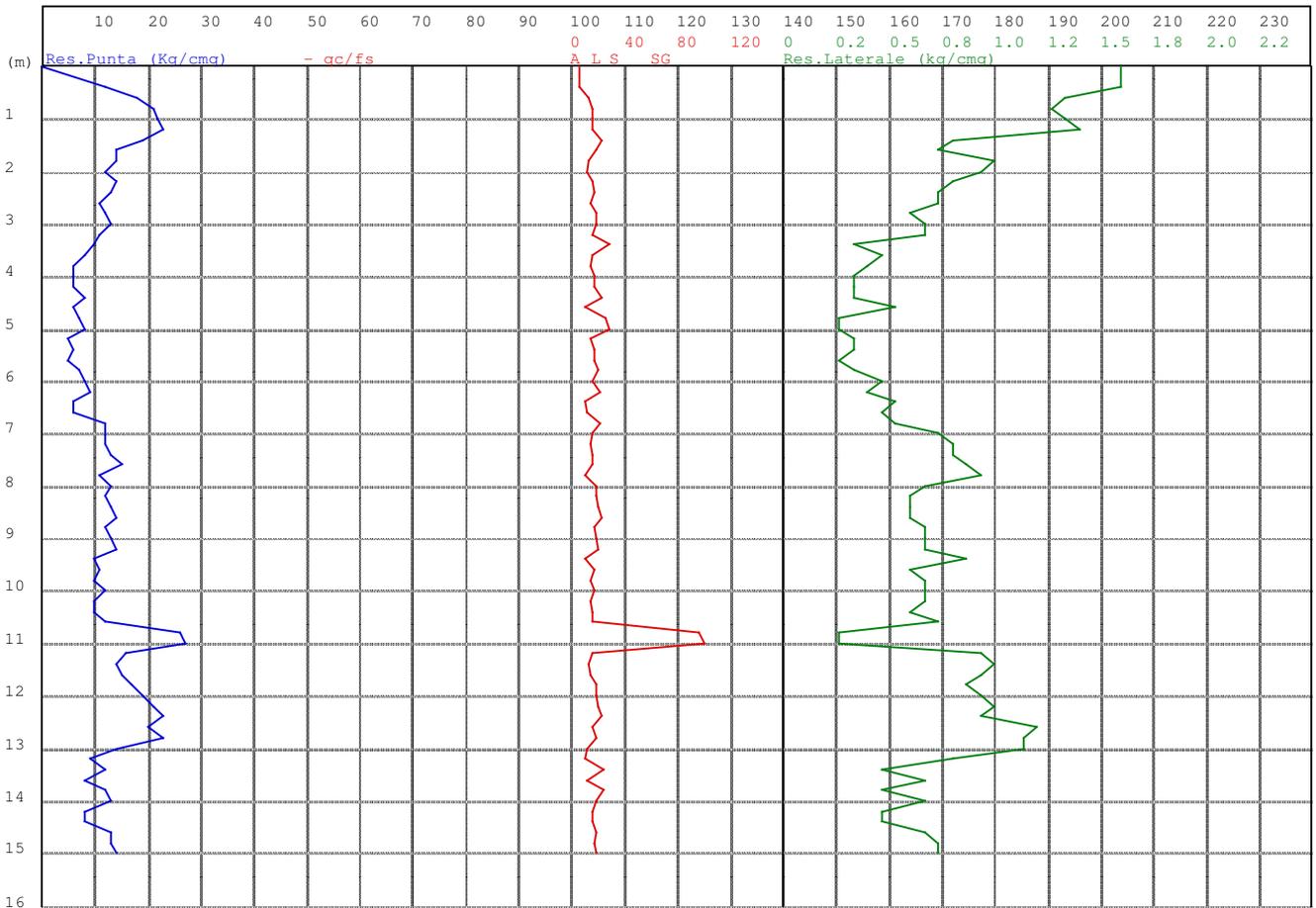
Modena, 20 ottobre 2014

dott. geol. Claudio Preci



ELABORATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO **A**



qc: 1 cm = 10 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.40		Argilla limosa consistente	1842	1842	0.258	0.894	28	0	0.011024	1.8143	2.6e-5
		Limo argilloso plastico	1785	1135	0.485	0.596	23	0	0.014248	0.8267	1.2e-4
3.40	FALDA										
6.60		Limo argilloso soffice	1693	1043	0.819	0.293	17	0	0.019523	0.4458	1.2e-4
		Limo argilloso plastico	1781	1131	1.271	0.539	18	0	0.014352	0.8033	1.2e-4
10.60		Ghiaia sabbiosa sciolta	1650	1000	1.311	0.000	20	16	0.018868	1.3250	1.9e-1
11.00		Limo argilloso plastico	1843	1193	1.550	0.833	19	0	0.015136	1.2133	1.7e-4
13.00		Limo argilloso soffice	1767	1117	1.773	0.461	15	0	0.014782	0.7333	1.6e-4
15.00											

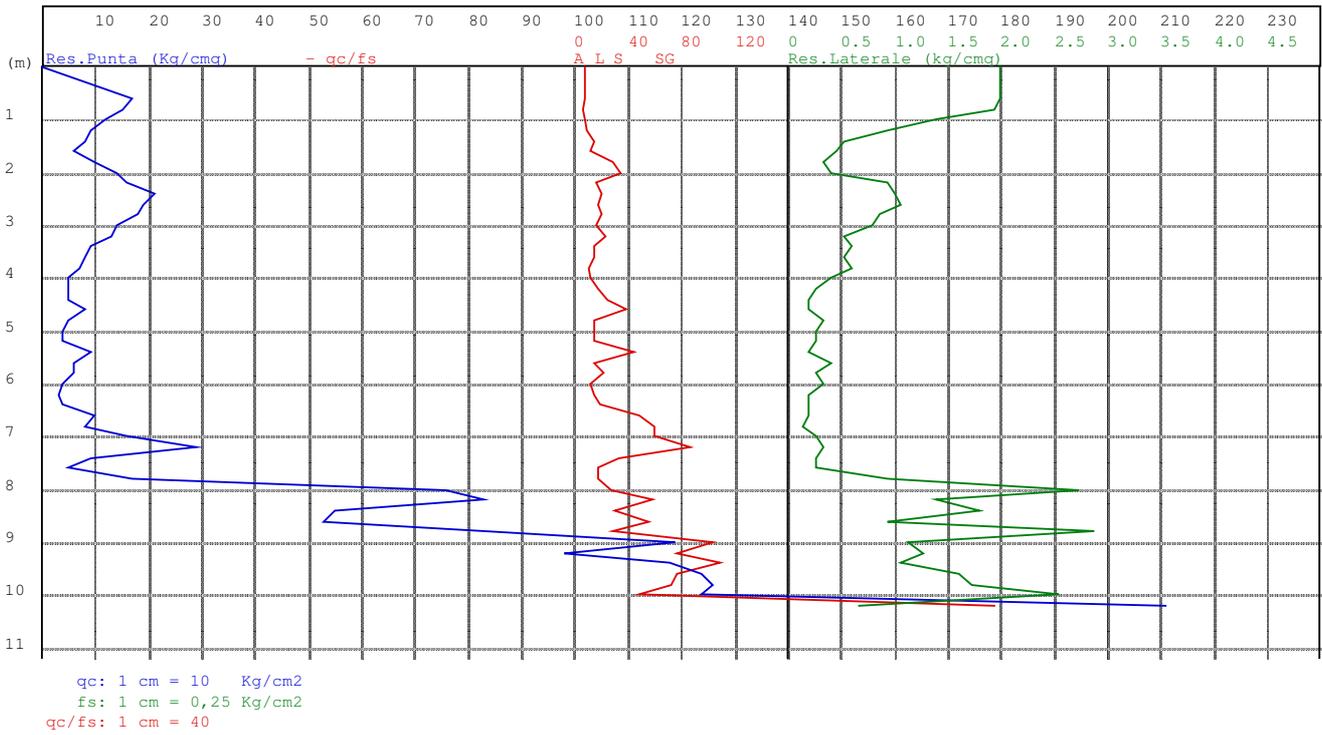
RELAZIONE TECNICA

CPT n°1 data:30/09/2014 elaborato n°907  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 3.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.40	12.00	1.60	7.50
0.60	18.00	1.33	13.50
0.80	21.00	1.27	16.58
1.00	22.00	1.33	16.50
1.20	23.00	1.40	16.43
1.40	19.00	0.80	23.75
1.60	14.00	0.73	19.09
1.80	14.00	1.00	14.00
2.00	12.00	0.93	12.86
2.20	14.00	0.80	17.50
2.40	13.00	0.73	17.73
2.60	11.00	0.73	15.00
2.80	12.00	0.60	20.00
3.00	13.00	0.67	19.50
3.20	11.00	0.67	16.50
3.40	10.00	0.33	30.00
3.60	8.00	0.47	17.14
3.80	6.00	0.40	15.00
4.00	6.00	0.33	18.00
4.20	6.00	0.33	18.00
4.40	8.00	0.33	24.00
4.60	6.00	0.53	11.25
4.80	7.00	0.27	26.25
5.00	8.00	0.27	30.00
5.20	5.00	0.33	15.00
5.40	6.00	0.33	18.00
5.60	5.00	0.27	18.75
5.80	7.00	0.33	21.00
6.00	8.00	0.47	17.14
6.20	9.00	0.40	22.50
6.40	6.00	0.53	11.25
6.60	6.00	0.47	12.86
6.80	12.00	0.53	22.50
7.00	12.00	0.73	16.36
7.20	12.00	0.80	15.00
7.40	13.00	0.80	16.25
7.60	15.00	0.87	17.31
7.80	11.00	0.93	11.79
8.00	13.00	0.67	19.50
8.20	12.00	0.60	20.00
8.40	13.00	0.60	21.67
8.60	14.00	0.60	23.33
8.80	12.00	0.67	18.00
9.00	13.00	0.67	19.50
9.20	14.00	0.67	21.00
9.40	10.00	0.87	11.54
9.60	11.00	0.60	18.33
9.80	10.00	0.67	15.00
10.00	12.00	0.67	18.00
10.20	10.00	0.67	15.00
10.40	10.00	0.60	16.67
10.60	12.00	0.73	16.36
10.80	26.00	0.27	97.50
11.00	27.00	0.27	101.25
11.20	16.00	0.93	17.14
11.40	14.00	1.00	14.00
11.60	15.00	0.93	16.07
11.80	17.00	0.87	19.62
12.00	19.00	0.93	20.36
12.20	21.00	1.00	21.00
12.40	23.00	0.93	24.64
12.60	20.00	1.20	16.67
12.80	23.00	1.13	20.29
13.00	14.00	1.13	12.35
13.20	9.00	0.80	11.25
13.40	12.00	0.47	25.71
13.60	8.00	0.67	12.00
13.80	12.00	0.47	25.71
14.00	13.00	0.67	19.50
14.20	8.00	0.47	17.14
14.40	8.00	0.47	17.14
14.60	13.00	0.67	19.50
14.80	13.00	0.73	17.73
15.00	14.00	0.73	19.09



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.00		Argilla torbosa consistente	1820	1820	0.182	0.771	29	0	0.012821	1.5600	4.3e-6
1.60		Argilla limosa soffice	1713	1713	0.285	0.369	23	0	0.019565	0.7667	3.9e-6
		Limo argilloso plastico	1820	1170	0.472	0.758	24	0	0.014124	1.0417	5.2e-4
3.20		Limo argilloso soffice	1670	1020	0.798	0.248	16	0	0.021773	0.3833	1.1e-4
6.40		Sabbia sciolta	1700	1050	0.882	0.000	20	15	0.031746	0.7875	8.7e-2
7.20		Limo argil-sabbioso sciolto	1700	1050	0.924	0.304	16	0	0.018921	0.4667	2.0e-3
7.60		Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	1.050	0.000	24	49	0.010899	4.0778	8.8e-3
8.80		Sabbia ghiaiosa media addensata	1750	1100	1.182	0.000	26	70	0.005642	5.9083	1.1e-1
10.00		Ghiaia mediamente	1800	1150	1.205	0.000	28	90	0.003160	10.5500	5.9e-1

RELAZIONE TECNICA

CPT n°2 data:30/09/2014 elaborato n°908

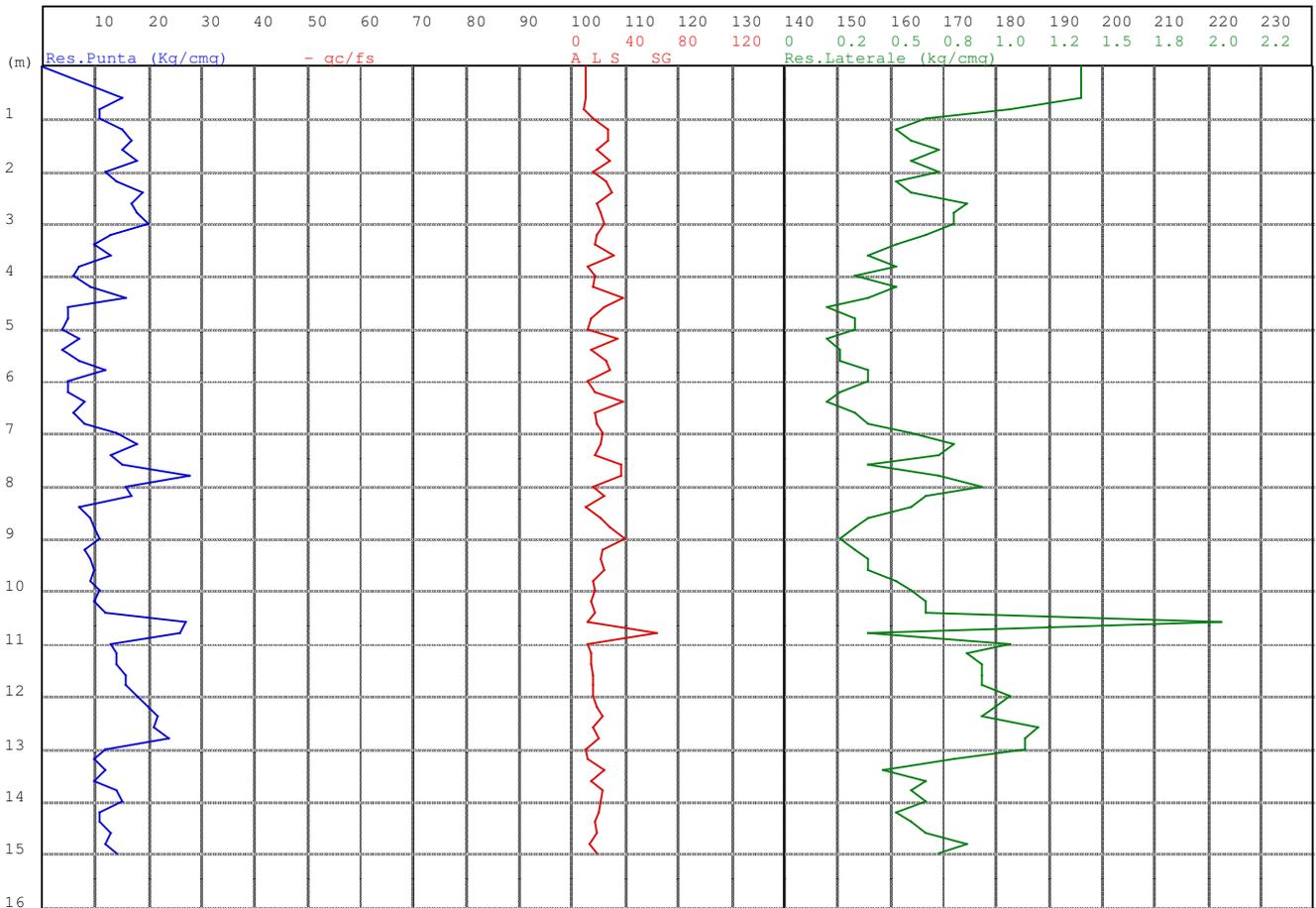
Cantiere: Castelfranco Emilia

Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 3.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	17.00	2.00	8.50
0.80	15.00	1.93	7.76
1.00	12.00	1.40	8.57
1.20	9.00	0.93	9.64
1.40	8.00	0.53	15.00
1.60	6.00	0.47	12.86
1.80	10.00	0.33	30.00
2.00	14.00	0.40	35.00
2.20	16.00	0.93	17.14
2.40	21.00	1.00	21.00
2.60	19.00	1.07	17.81
2.80	18.00	0.87	20.77
3.00	14.00	0.80	17.50
3.20	13.00	0.53	24.38
3.40	9.00	0.60	15.00
3.60	8.00	0.53	15.00
3.80	7.00	0.60	11.67
4.00	5.00	0.40	12.50
4.20	5.00	0.27	18.75
4.40	5.00	0.20	25.00
4.60	8.00	0.20	40.00
4.80	5.00	0.33	15.00
5.00	4.00	0.27	15.00
5.20	4.00	0.27	15.00
5.40	9.00	0.20	45.00
5.60	6.00	0.40	15.00
5.80	6.00	0.27	22.50
6.00	4.00	0.33	12.00
6.20	3.00	0.20	15.00
6.40	4.00	0.20	20.00
6.60	10.00	0.20	50.00
6.80	8.00	0.13	60.00
7.00	16.00	0.27	60.00
7.20	29.00	0.33	87.00
7.40	9.00	0.27	33.75
7.60	5.00	0.27	18.75
7.80	17.00	0.93	18.21
8.00	76.00	2.73	27.80
8.20	83.00	1.40	59.29
8.40	55.00	1.80	30.56
8.60	53.00	0.93	56.79
8.80	83.00	2.87	28.95
9.00	119.00	1.13	105.00
9.20	98.00	1.27	77.37
9.40	118.00	1.07	110.63
9.60	124.00	1.60	77.50
9.80	126.00	1.73	72.69
10.00	124.00	2.53	48.95
10.20	211.00	0.67	316.50



qc: 1 cm = 10 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.00		Argilla limosa plastica	1797	1797	0.180	0.661	28	0	0.014925	1.3400	4.1e-6
		Limo argil-sabbioso addensato medio									
3.00			1828	1828	0.545	0.798	24	0	0.014345	1.1000	1.3e-3
	FALDA										
3.60		Limo argil-sabbioso addensato medio	1780	1130	0.613	0.569	21	0	0.014368	0.8000	8.0e-4
		Limo argilloso soffice									
6.80			1703	1053	0.950	0.309	16	0	0.018698	0.4750	4.9e-4
		Limo argil-sabbioso addensato medio									
8.20			1835	1185	1.116	0.808	20	0	0.014646	1.1524	1.5e-3
		Limo argil-sabbioso sciolto									
9.80			1739	1089	1.290	0.392	16	0	0.016101	0.6083	7.5e-4
		Limo argil-sabbioso sciolto									
10.40		Limo argilloso plastico	1767	1117	1.357	0.482	17	0	0.014782	0.7333	1.1e-4
		Limo argil-sabbioso addensato medio									
10.80			1899	1249	1.407	1.255	21	0	0.012579	1.7667	6.1e-4
		Limo argilloso plastico									
			1812	1162	1.895	0.648	17	0	0.014022	0.9905	1.4e-4
15.00											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°3 data:30/09/2014 elaborato: n° 909

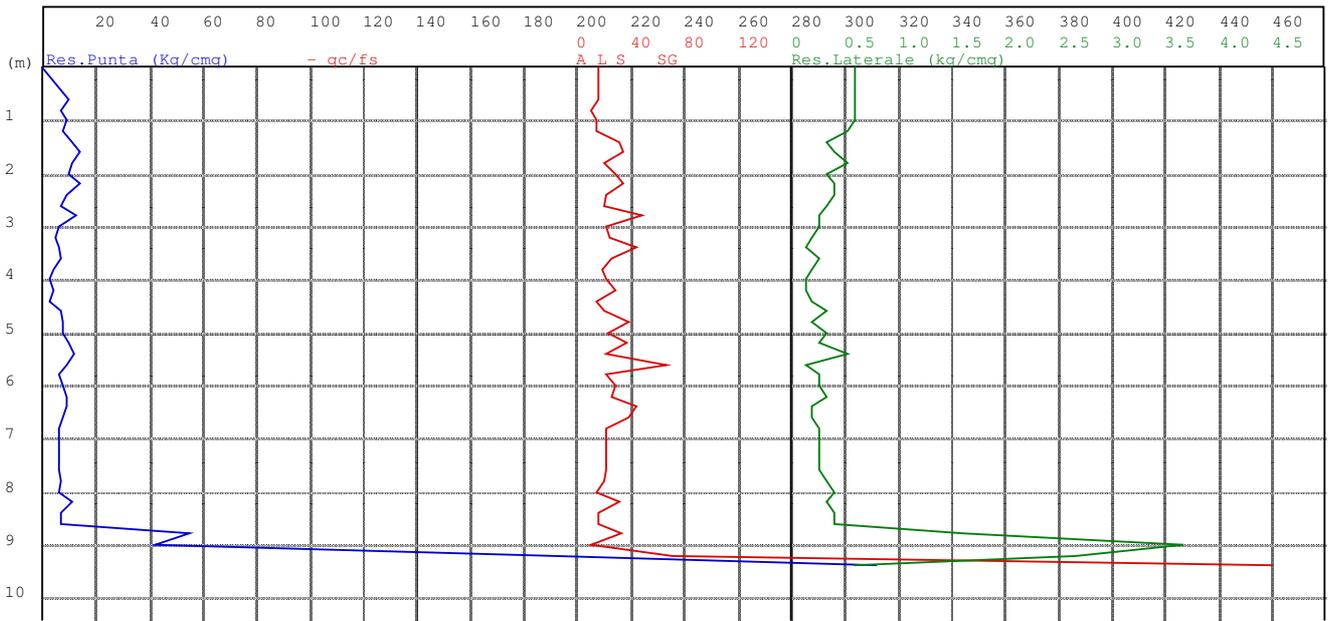
Cantiere: Castelfranco Emilia

Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

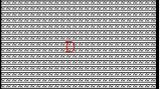
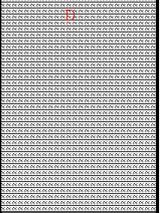
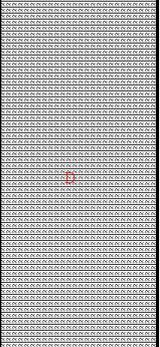
Quota livello di falda : 3.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	15.00	1.40	10.71
0.80	11.00	1.07	10.31
1.00	11.00	0.67	16.50
1.20	15.00	0.53	28.13
1.40	17.00	0.60	28.33
1.60	15.00	0.73	20.45
1.80	18.00	0.60	30.00
2.00	12.00	0.73	16.36
2.20	14.00	0.53	26.25
2.40	19.00	0.60	31.67
2.60	17.00	0.87	19.62
2.80	18.00	0.80	22.50
3.00	20.00	0.80	25.00
3.20	13.00	0.67	19.50
3.40	10.00	0.53	18.75
3.60	13.00	0.40	32.50
3.80	7.00	0.53	13.13
4.00	6.00	0.33	18.00
4.20	9.00	0.53	16.88
4.40	16.00	0.40	40.00
4.60	5.00	0.20	25.00
4.80	5.00	0.33	15.00
5.00	4.00	0.33	12.00
5.20	7.00	0.20	35.00
5.40	4.00	0.27	15.00
5.60	7.00	0.27	26.25
5.80	12.00	0.40	30.00
6.00	5.00	0.40	12.50
6.20	5.00	0.27	18.75
6.40	8.00	0.20	40.00
6.60	6.00	0.33	18.00
6.80	8.00	0.40	20.00
7.00	14.00	0.60	23.33
7.20	18.00	0.80	22.50
7.40	13.00	0.73	17.73
7.60	15.00	0.40	37.50
7.80	28.00	0.73	38.18
8.00	16.00	0.93	17.14
8.20	17.00	0.67	25.50
8.40	7.00	0.60	11.67
8.60	9.00	0.40	22.50
8.80	10.00	0.33	30.00
9.00	11.00	0.27	41.25
9.20	8.00	0.33	24.00
9.40	9.00	0.40	22.50
9.60	10.00	0.40	25.00
9.80	9.00	0.53	16.88
10.00	11.00	0.60	18.33
10.20	10.00	0.67	15.00
10.40	12.00	0.67	18.00
10.60	27.00	2.07	13.06
10.80	26.00	0.40	65.00
11.00	13.00	1.07	12.19
11.20	14.00	0.87	16.15
11.40	14.00	0.93	15.00
11.60	16.00	0.93	17.14
11.80	16.00	0.93	17.14
12.00	18.00	1.07	16.88
12.20	20.00	1.00	20.00
12.40	22.00	0.93	23.57
12.60	21.00	1.20	17.50
12.80	24.00	1.13	21.18
13.00	12.00	1.13	10.59
13.20	10.00	0.80	12.50
13.40	12.00	0.47	25.71
13.60	10.00	0.67	15.00
13.80	14.00	0.60	23.33
14.00	15.00	0.67	22.50
14.20	11.00	0.53	20.63
14.40	11.00	0.60	18.33
14.60	13.00	0.67	19.50
14.80	12.00	0.87	13.85
15.00	14.00	0.73	19.09



qc: 1 cm = 20 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.20		Argilla limosa soffice	1737	1737	0.208	0.440	25	0	0.018519	0.9000	3.8e-5
		Limo argil-sabbioso sciolto									
4.60		Limo argil-sabbioso sciolto	1718	1068	0.571	0.366	19	0	0.017520	0.5255	2.7e-3
5.60		Sabbia argilloso-limosa sciolta	1650	1000	0.671	0.000	19	15	0.053191	0.6267	5.9e-3
8.60		Limo argil-sabbioso sciolto	1704	1054	0.988	0.311	16	0	0.018568	0.4800	1.2e-3
9.20		Sabbia argill-limosa addensata	1750	1100	1.054	0.000	25	65	0.006920	4.8167	1.2e-2
9.40		Ghiaia mediamente	1800	1150	1.077	0.000	30	100	0.002137	15.6000	7.3e-1

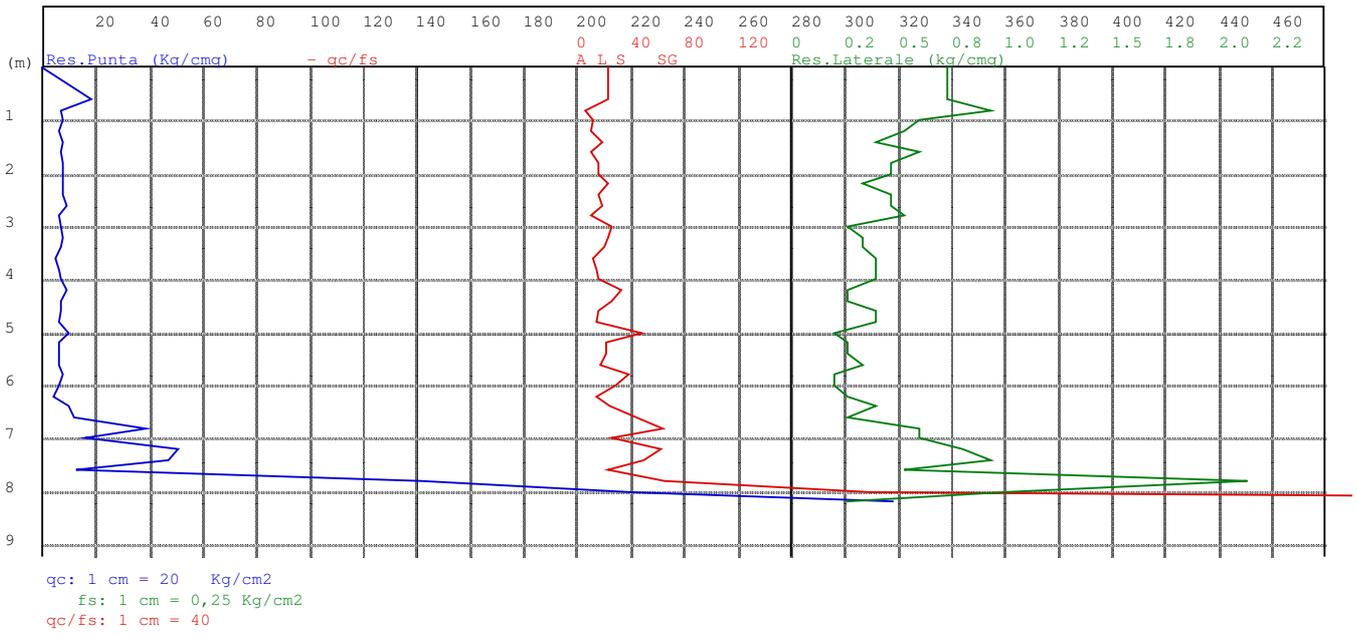
RELAZIONE TECNICA

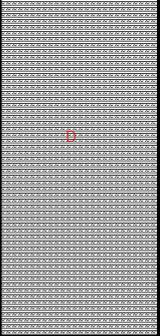
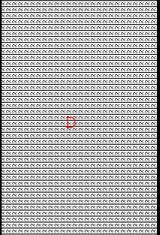
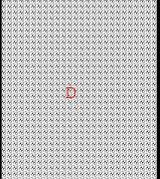
CPT n°4 data:30/09/2014 elaborato n°910  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.40

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	10.00	0.60	16.67
0.80	7.00	0.60	11.67
1.00	9.00	0.60	15.00
1.20	8.00	0.53	15.00
1.40	11.00	0.33	33.00
1.60	14.00	0.40	35.00
1.80	11.00	0.53	20.63
2.00	10.00	0.33	30.00
2.20	14.00	0.40	35.00
2.40	9.00	0.40	22.50
2.60	7.00	0.33	21.00
2.80	13.00	0.27	48.75
3.00	6.00	0.27	22.50
3.20	5.00	0.20	25.00
3.40	6.00	0.13	45.00
3.60	7.00	0.27	26.25
3.80	4.00	0.20	20.00
4.00	3.00	0.13	22.50
4.20	4.00	0.13	30.00
4.40	3.00	0.20	15.00
4.60	7.00	0.33	21.00
4.80	8.00	0.20	40.00
5.00	8.00	0.33	24.00
5.20	10.00	0.27	37.50
5.40	12.00	0.53	22.50
5.60	9.00	0.13	67.50
5.80	6.00	0.27	22.50
6.00	8.00	0.27	30.00
6.20	9.00	0.33	27.00
6.40	9.00	0.20	45.00
6.60	8.00	0.20	40.00
6.80	6.00	0.27	22.50
7.00	6.00	0.27	22.50
7.20	6.00	0.27	22.50
7.40	6.00	0.27	22.50
7.60	6.00	0.27	22.50
7.80	7.00	0.33	21.00
8.00	6.00	0.40	15.00
8.20	11.00	0.33	33.00
8.40	7.00	0.40	17.50
8.60	7.00	0.40	17.50
8.80	55.00	1.60	34.38
9.00	42.00	3.67	11.45
9.20	192.00	2.67	72.00
9.40	312.00	0.60	520.00



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm3	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
0.60		Limo argil-sabbioso Argilla limosa soffice	1841	1841	0.110	0.894	32	0	0.015015	1.2000	1.4e-3
	FALDA										
			1705	1055	0.469	0.338	20	0	0.020082	0.7235	4.1e-5
4.00		Limo argil-sabbioso sciolto	1696	1046	0.699	0.306	18	0	0.019264	0.4545	1.3e-3
6.20		Sabbia lim. mediamente addensata	1750	1100	0.875	0.000	23	39	0.012121	2.0625	4.4e-2
7.80		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	0.921	0.000	30	100	0.002478	13.4500	6.8e-1

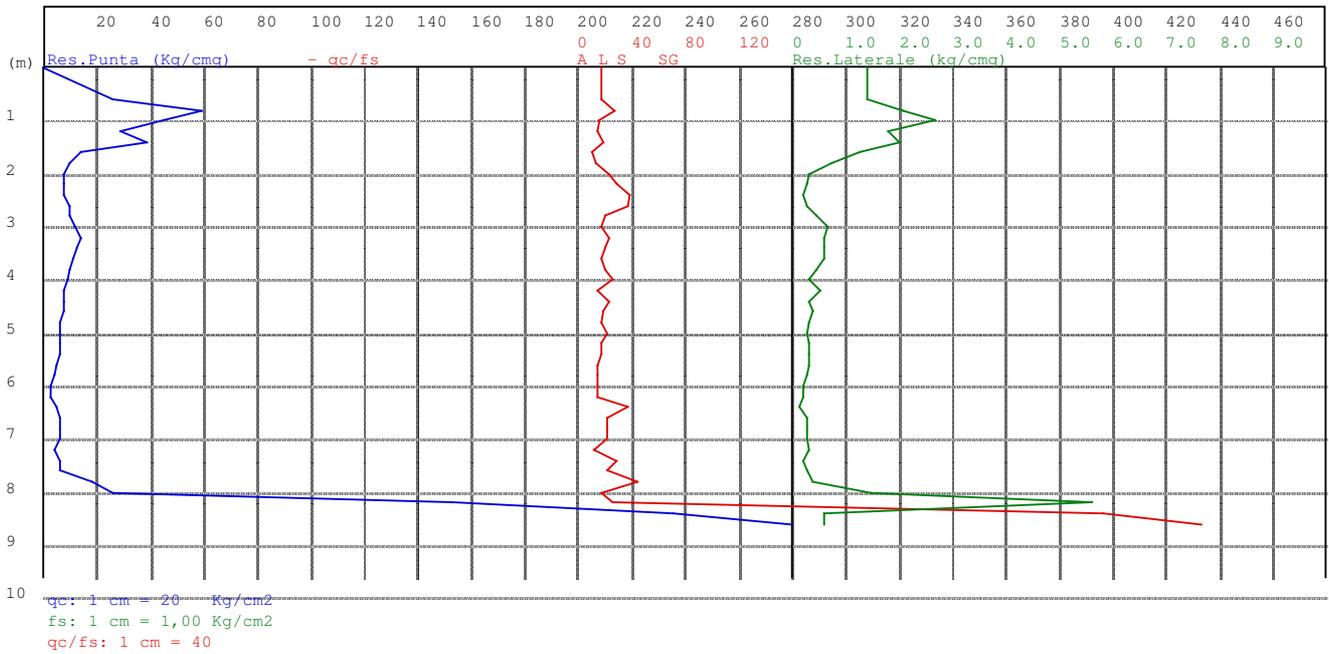
RELAZIONE TECNICA

CPT n°5 data:30/09/2014 elaborato n° 911  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	18.00	0.73	24.55
0.80	7.00	0.93	7.50
1.00	8.00	0.60	13.33
1.20	6.00	0.53	11.25
1.40	8.00	0.40	20.00
1.60	7.00	0.60	11.67
1.80	8.00	0.47	17.14
2.00	8.00	0.47	17.14
2.20	8.00	0.33	24.00
2.40	8.00	0.47	17.14
2.60	9.00	0.47	19.29
2.80	6.00	0.53	11.25
3.00	7.00	0.27	26.25
3.20	8.00	0.33	24.00
3.40	7.00	0.33	21.00
3.60	5.00	0.40	12.50
3.80	6.00	0.40	15.00
4.00	7.00	0.40	17.50
4.20	9.00	0.27	33.75
4.40	7.00	0.27	26.25
4.60	7.00	0.40	17.50
4.80	6.00	0.40	15.00
5.00	10.00	0.20	50.00
5.20	6.00	0.27	22.50
5.40	6.00	0.27	22.50
5.60	6.00	0.33	18.00
5.80	8.00	0.20	40.00
6.00	6.00	0.20	30.00
6.20	4.00	0.27	15.00
6.40	10.00	0.40	25.00
6.60	12.00	0.27	45.00
6.80	39.00	0.60	65.00
7.00	16.00	0.60	26.67
7.20	51.00	0.80	63.75
7.40	47.00	0.93	50.36
7.60	13.00	0.53	24.38
7.80	142.00	2.13	66.56
8.00	220.00	1.00	220.00
8.20	318.00	0.27	1192.50



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.40		Limo argilloso consistente	1943	1943	0.272	1.772	31	0	0.009333	2.3810	3.7e-4
		Limo argilloso soffice									
2.40		Limo argil-sabbioso sciolto	1747	1097	0.382	0.461	23	0	0.015688	0.6400	1.1e-4
4.00		Limo argil-sabbioso sciolto	1769	1119	0.561	0.528	21	0	0.014721	0.7417	7.4e-4
4.60		Limo argilloso soffice	1720	1070	0.625	0.369	19	0	0.017361	0.5333	2.3e-4
7.60		Limo argilloso molto soffice	1655	1005	0.927	0.214	15	0	0.023509	0.3467	2.6e-4
8.20		Limo argil-sabbioso addensato medio	2034	1384	1.010	3.233	28	0	0.005076	4.3778	2.7e-3
8.60		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.056	0.000	29	100	0.002584	12.9000	6.8e-1

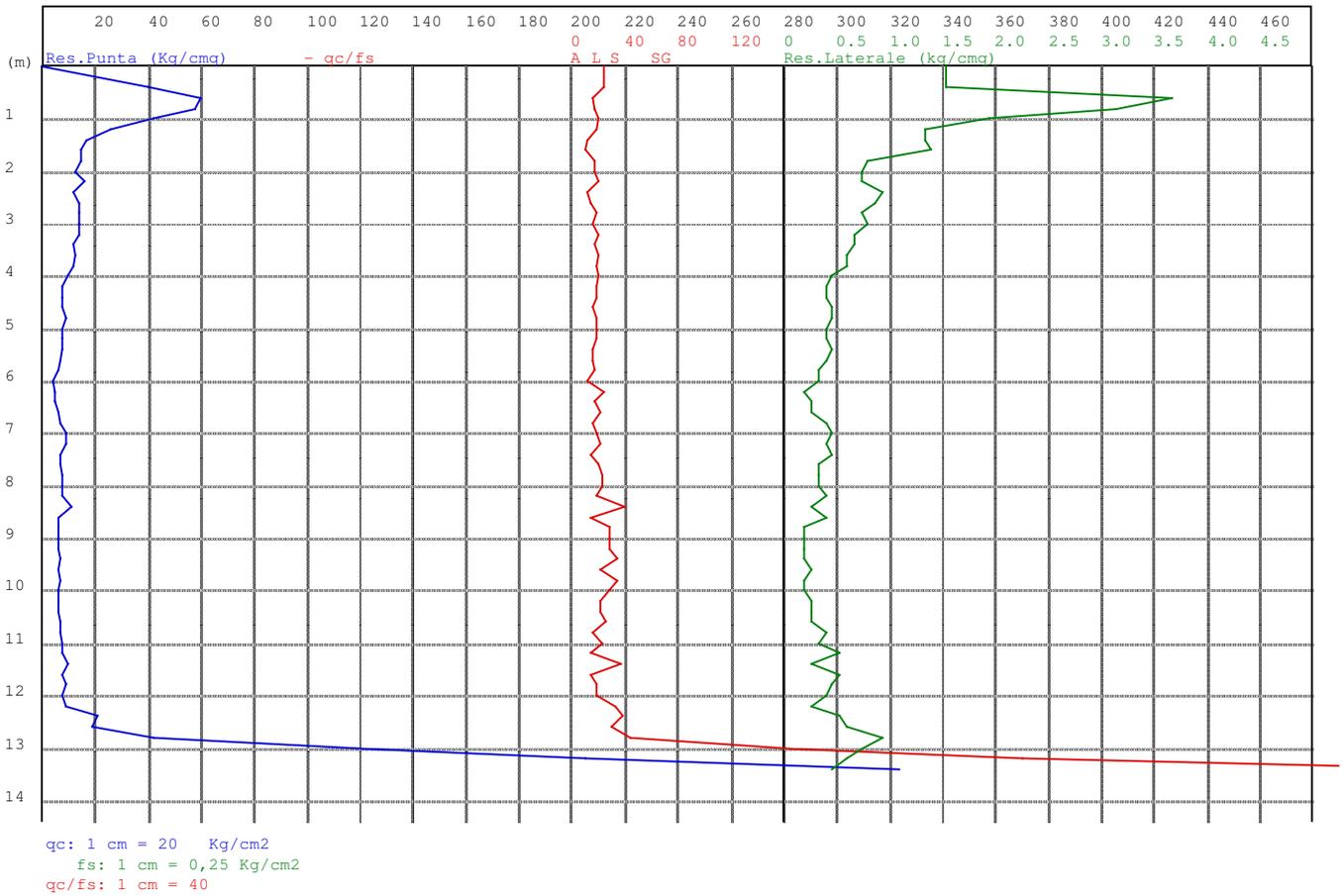
RELAZIONE TECNICA

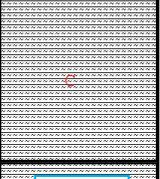
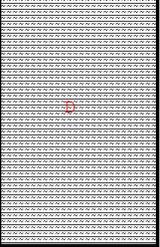
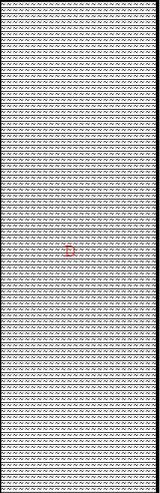
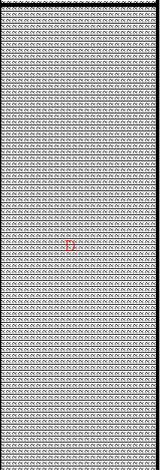
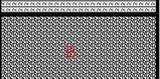
CPT n°6 data:30/09/2014 elaborato n° 912  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	26.00	1.40	18.57
0.80	59.00	2.07	28.55
1.00	45.00	2.67	16.88
1.20	29.00	1.80	16.11
1.40	39.00	2.00	19.50
1.60	14.00	1.27	11.05
1.80	10.00	0.73	13.64
2.00	8.00	0.33	24.00
2.20	8.00	0.27	30.00
2.40	8.00	0.20	40.00
2.60	10.00	0.27	37.50
2.80	10.00	0.47	21.43
3.00	12.00	0.67	18.00
3.20	14.00	0.60	23.33
3.40	13.00	0.60	21.67
3.60	11.00	0.60	18.33
3.80	10.00	0.47	21.43
4.00	9.00	0.33	27.00
4.20	8.00	0.53	15.00
4.40	8.00	0.33	24.00
4.60	8.00	0.40	20.00
4.80	6.00	0.33	18.00
5.00	6.00	0.27	22.50
5.20	6.00	0.33	18.00
5.40	6.00	0.33	18.00
5.60	5.00	0.33	15.00
5.80	4.00	0.27	15.00
6.00	3.00	0.20	15.00
6.20	3.00	0.20	15.00
6.40	5.00	0.13	37.50
6.60	6.00	0.27	22.50
6.80	6.00	0.27	22.50
7.00	6.00	0.27	22.50
7.20	4.00	0.33	12.00
7.40	6.00	0.20	30.00
7.60	6.00	0.27	22.50
7.80	18.00	0.40	45.00
8.00	26.00	1.47	17.73
8.20	153.00	5.60	27.32
8.40	236.00	0.60	393.33
8.60	280.00	0.60	466.67



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60		Limo argilloso consistente	1950	1950	0.312	1.847	31	0	0.008949	2.4833	2.9e-4
		Limo argilloso plastico									
4.00		Limo argilloso plastico	1795	1145	0.587	0.633	22	0	0.014074	0.8833	2.0e-4
		Limo argilloso soffice	1706	1056	1.030	0.313	16	0	0.018423	0.4857	2.5e-4
8.20		Limo argil-sabbioso sciolto	1707	1057	1.453	0.295	14	0	0.018318	0.4900	1.2e-3
12.20		Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	1.516	0.000	20	15	0.024390	1.8222	1.6e-2
12.80		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.585	0.000	27	86	0.003067	10.8667	6.3e-1
13.40		Ghiaia mediamente addensata									

RELAZIONE TECNICA

CPT n°7 data:30/09/2014 elaborato n°913

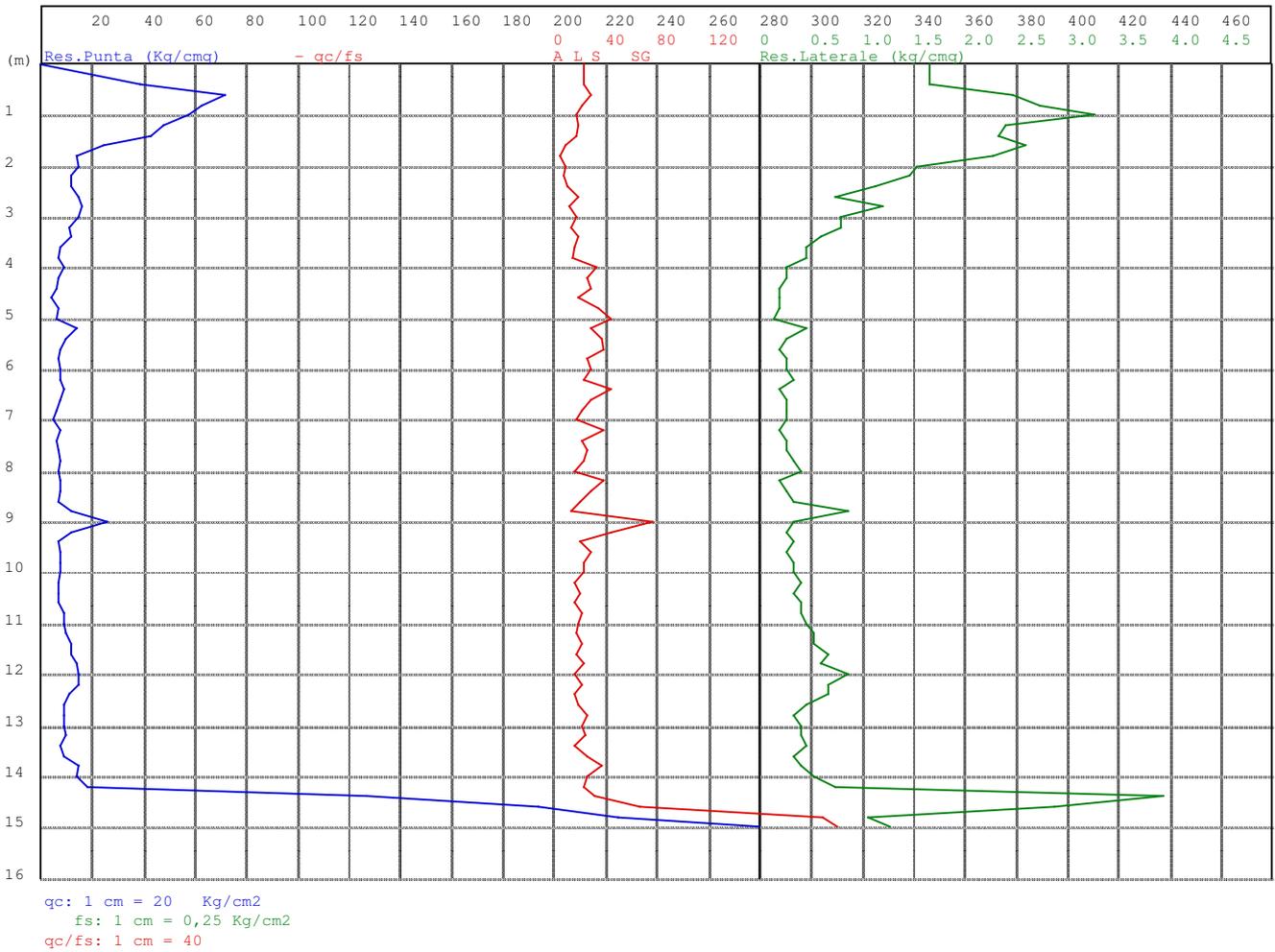
Cantiere: Castelfranco Emilia

Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.40	40.00	1.53	26.09
0.60	60.00	3.67	16.36
0.80	58.00	3.13	18.51
1.00	42.00	1.93	21.72
1.20	26.00	1.33	19.50
1.40	17.00	1.33	12.75
1.60	15.00	1.40	10.71
1.80	15.00	0.80	18.75
2.00	13.00	0.73	17.73
2.20	16.00	0.73	21.82
2.40	12.00	0.93	12.86
2.60	14.00	0.87	16.15
2.80	14.00	0.73	19.09
3.00	14.00	0.80	17.50
3.20	14.00	0.67	21.00
3.40	12.00	0.67	18.00
3.60	13.00	0.60	21.67
3.80	12.00	0.60	20.00
4.00	10.00	0.47	21.43
4.20	8.00	0.40	20.00
4.40	8.00	0.40	20.00
4.60	8.00	0.47	17.14
4.80	9.00	0.47	19.29
5.00	8.00	0.40	20.00
5.20	8.00	0.40	20.00
5.40	8.00	0.47	17.14
5.60	7.00	0.40	17.50
5.80	6.00	0.33	18.00
6.00	4.00	0.33	12.00
6.20	5.00	0.20	25.00
6.40	5.00	0.27	18.75
6.60	6.00	0.27	22.50
6.80	7.00	0.40	17.50
7.00	9.00	0.47	19.29
7.20	9.00	0.40	22.50
7.40	7.00	0.47	15.00
7.60	7.00	0.33	21.00
7.80	8.00	0.33	24.00
8.00	8.00	0.33	24.00
8.20	8.00	0.40	20.00
8.40	11.00	0.27	41.25
8.60	6.00	0.40	15.00
8.80	6.00	0.20	30.00
9.00	6.00	0.20	30.00
9.20	6.00	0.20	30.00
9.40	7.00	0.20	35.00
9.60	6.00	0.27	22.50
9.80	7.00	0.20	35.00
10.00	6.00	0.20	30.00
10.20	6.00	0.27	22.50
10.40	6.00	0.27	22.50
10.60	7.00	0.27	26.25
10.80	7.00	0.40	17.50
11.00	8.00	0.33	24.00
11.20	8.00	0.53	15.00
11.40	10.00	0.27	37.50
11.60	8.00	0.53	15.00
11.80	9.00	0.47	19.29
12.00	8.00	0.40	20.00
12.20	9.00	0.27	33.75
12.40	21.00	0.53	39.38
12.60	19.00	0.60	31.67
12.80	42.00	0.93	45.00
13.00	123.00	0.73	167.73
13.20	205.00	0.60	341.67
13.40	324.00	0.47	694.29



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60		Lino argilloso molto consistente	1989	1989	0.318	2.403	32	0	0.006891	3.2250	5.3e-4
	FALDA	Argilla limosa plastica									
3.60		Lino argil-sabbioso sciolto	1792	1142	0.547	0.623	22	0	0.015385	1.3000	5.4e-6
8.80		Lino argil-sabbioso sciolto	1714	1064	1.100	0.330	16	0	0.017789	0.5128	2.0e-3
9.20		Sabbia sciolta	1700	1050	1.142	0.000	20	15	0.026316	0.9500	7.4e-2
11.00		Lino argil-sabbioso sciolto	1716	1066	1.334	0.322	15	0	0.017666	0.5185	5.5e-4
12.40		Lino argilloso plastico	1789	1139	1.493	0.561	17	0	0.014171	0.8476	3.1e-4
14.20		Lino argil-sabbioso sciolto	1770	1120	1.695	0.476	16	0	0.014675	0.7481	1.5e-3
14.60		Sabbia limosa addensata	1800	1150	1.741	0.000	26	74	0.004154	8.0250	3.2e-2
15.00		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.787	0.000	27	89	0.002640	12.6250	4.7e-1

RELAZIONE TECNICA

CPT n°8 data:30/09/2014 elaborato n° 914  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.40	39.00	1.67	23.40
0.60	72.00	2.47	29.19
0.80	63.00	2.73	23.05
1.00	58.00	3.27	17.76
1.20	48.00	2.40	20.00
1.40	43.00	2.33	18.43
1.60	25.00	2.60	9.62
1.80	14.00	2.27	6.18
2.00	15.00	1.53	9.78
2.20	12.00	1.47	8.18
2.40	12.00	1.13	10.59
2.60	15.00	0.73	20.45
2.80	16.00	1.20	13.33
3.00	15.00	0.80	18.75
3.20	11.00	0.80	13.75
3.40	12.00	0.60	20.00
3.60	8.00	0.47	17.14
3.80	7.00	0.47	15.00
4.00	9.00	0.27	33.75
4.20	7.00	0.27	26.25
4.40	6.00	0.20	30.00
4.60	4.00	0.20	20.00
4.80	7.00	0.20	35.00
5.00	6.00	0.13	45.00
5.20	14.00	0.47	30.00
5.40	10.00	0.27	37.50
5.60	8.00	0.20	40.00
5.80	7.00	0.27	26.25
6.00	8.00	0.27	30.00
6.20	8.00	0.33	24.00
6.40	9.00	0.20	45.00
6.60	8.00	0.27	30.00
6.80	6.00	0.27	22.50
7.00	5.00	0.27	18.75
7.20	8.00	0.20	40.00
7.40	6.00	0.27	22.50
7.60	7.00	0.27	26.25
7.80	8.00	0.33	24.00
8.00	7.00	0.40	17.50
8.20	8.00	0.20	40.00
8.40	8.00	0.27	30.00
8.60	7.00	0.33	21.00
8.80	12.00	0.87	13.85
9.00	26.00	0.33	78.00
9.20	12.00	0.27	45.00
9.40	7.00	0.33	21.00
9.60	8.00	0.27	30.00
9.80	8.00	0.33	24.00
10.00	8.00	0.33	24.00
10.20	7.00	0.40	17.50
10.40	7.00	0.33	21.00
10.60	7.00	0.40	17.50
10.80	9.00	0.40	22.50
11.00	9.00	0.47	19.29
11.20	10.00	0.53	18.75
11.40	12.00	0.53	22.50
11.60	12.00	0.67	18.00
11.80	14.00	0.60	23.33
12.00	15.00	0.87	17.31
12.20	15.00	0.67	22.50
12.40	11.00	0.67	16.50
12.60	9.00	0.47	19.29
12.80	9.00	0.33	27.00
13.00	9.00	0.40	22.50
13.20	10.00	0.40	25.00
13.40	8.00	0.47	17.14
13.60	9.00	0.33	27.00
13.80	15.00	0.40	37.50
14.00	14.00	0.53	26.25
14.20	18.00	0.73	24.55
14.40	127.00	3.93	32.29
14.60	194.00	2.87	67.67
14.80	225.00	1.07	210.94
15.00	280.00	1.27	221.05

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

"ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera"  
trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)

### Localita'

CARTIERA - MADONNA DEGLI ANGELI

### Committente

ELETTROMECCANICA TIRONI SRL

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



di Claudio Preci e C.  
Consulenze e Servizi per la Geologia e l'Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel - fax 059.823020 Cell 339.8264394  
e-mail precigeo@virgilio.it  
geowork@pec.it  
www.geowork.biz

### Data

LUGLIO 2014

**INDICE**

<b>1. Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Modellazione geologica del sito.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Metodologia d'indagine delle prove in sito.....</b>	<b>9</b>
<b>4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno.....</b>	<b>12</b>
<b>5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito.....</b>	<b>14</b>
5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	17
5.2 Misura del microtremore sismico.....	18
5.3 Azione Sismica.....	20
<b>6. Considerazioni conclusive.....</b>	<b>25</b>
<b>Allegato A - Elaborati delle indagini geognostiche.....</b>	<b>26</b>

## 1. Premessa

La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza per verificare le caratteristiche dei terreni di un'area del Comune di Castelfranco Emilia e individuata nel PSC del Comune di Castelfranco come "ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera", per la trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC).

### Ambito n. 50 Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera

ANP

*Politica generale d'ambito: consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo. Attuare le previsioni insediative in conformità allo studio urbanistico relativo all'ambito produttivo sovracomunale per cui il comune risulta candidato al riconoscimento in sede di PTCP. Coordinare gli interventi con gli ambiti produttivi esistenti per creare un'area ecologicamente attrezzata.*



#### Localizzazione e caratteri insediativi

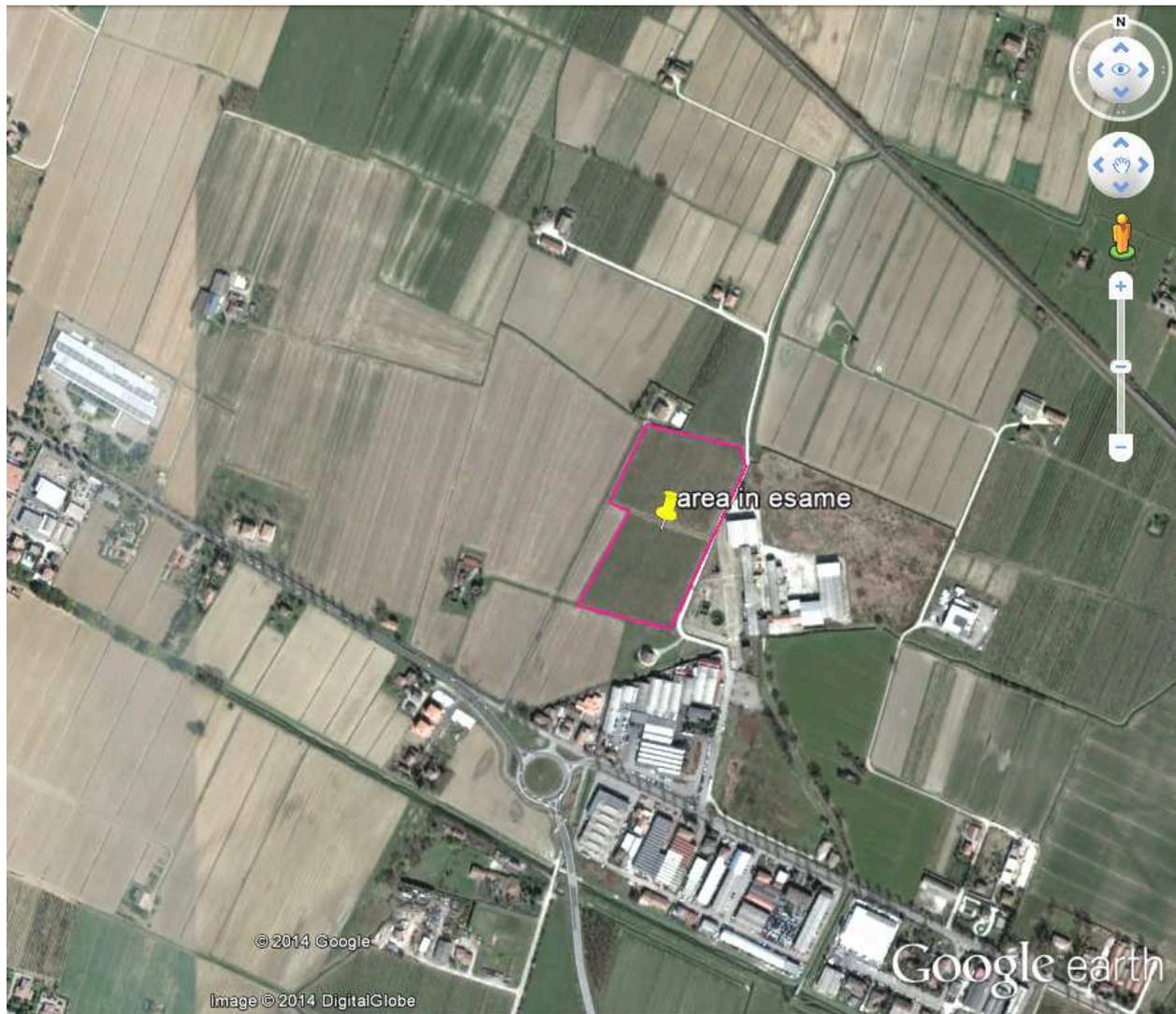
L'ambito è individuato a nord della via Emilia ed è contermina agli ambiti produttivi consolidati n. 32, 34 e 39.

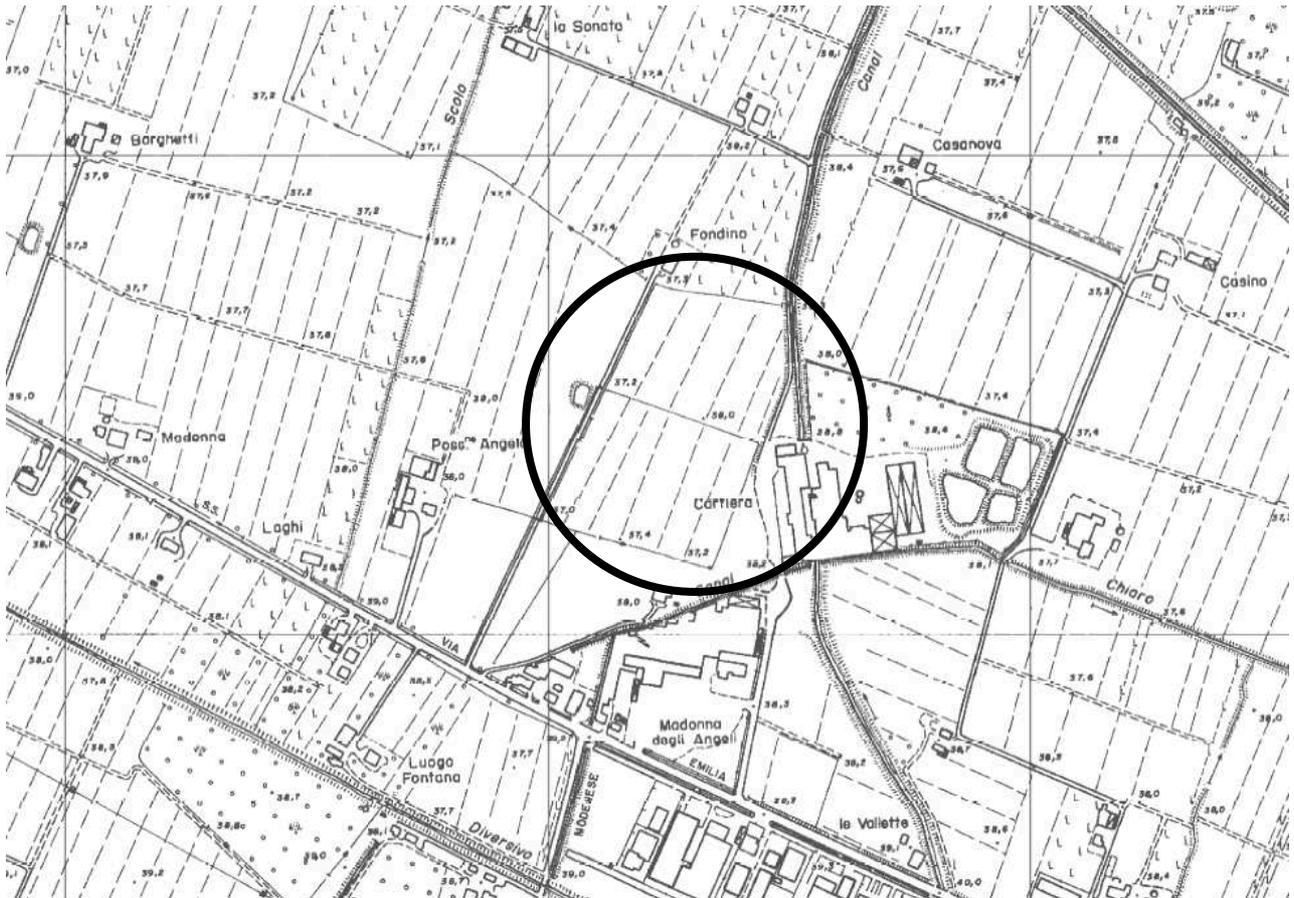
Attualmente l'ambito è a destinazione agricola.

Secondo il DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Nella presente relazione vengono riportate la modellazione geologica e sismica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, con particolare riferimento alla individuazione dei parametri geotecnici caratteristici del terreno studiato.

Le indagini geognostiche e la presente relazione sono conformi a quanto disposto nelle normative seguenti:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977);
- DM del 11/03/1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni ecc.";
- Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483;
- DPR 554/1999;
- DPR 328/2001;
- OPCM n. 3274 del 20/03/2003;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1677 del 24/10/2005
- DAL Delibera Assemblea legislativa RER 112/2007;
- DM 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".



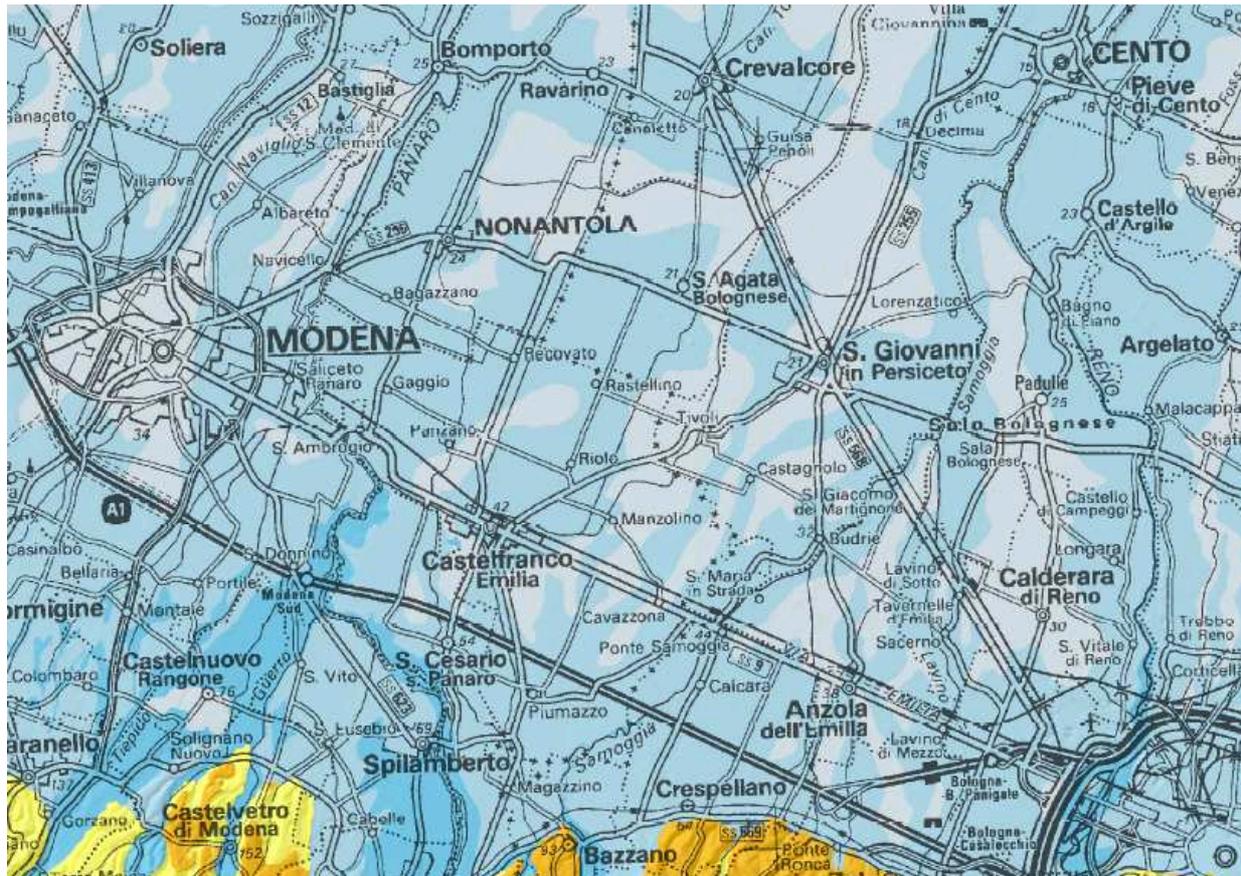


L'area oggetto d'indagine è ubicata al margine ovest dell'abitato di Castelfranco Emilia in zona Cartiera-Madonna degli Angeli, a una quota media di 38 m s.l.m. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25.000 nella Tavola 202 SO "Nonantola" e nei CTR a scala 1:5.000 nell'elemento n. 202133 "Sant'Anna". Nell'archivio NCT comunale l'area è censita nel foglio n. 50, particella n. 51.



## 2. Modellazione geologica del sito

La Pianura Padana nel suo complesso costituisce un grande bacino sedimentario che, sin dal mesozoico, è stato caratterizzato da una notevole subsidenza con grande accumulo di sedimenti, raggiungendo i massimi apporti nel pliocene e nel quaternario, prima con sedimentazione marina e successivamente, dal pleistocene medio, con sedimentazione continentale. La messa in posto depositi più antichi è riconducibile all'idrodinamica fluviale determinata dall'alternarsi di fasi erosive e deposizionali, causate dalle variazioni climatiche che si sono succedute nel tempo ed in particolare del periodo interglaciale pre-Wurm (pleistocene superiore). Periodi umidi hanno portato alla deposizione dei sedimenti e alla messa in posto delle unità, periodi di minor piovosità hanno portato all'alterazione dei depositi con conseguente formazione dei suoli e all'erosione delle unità determinando la formazione di scarpate e incisioni fluviali.

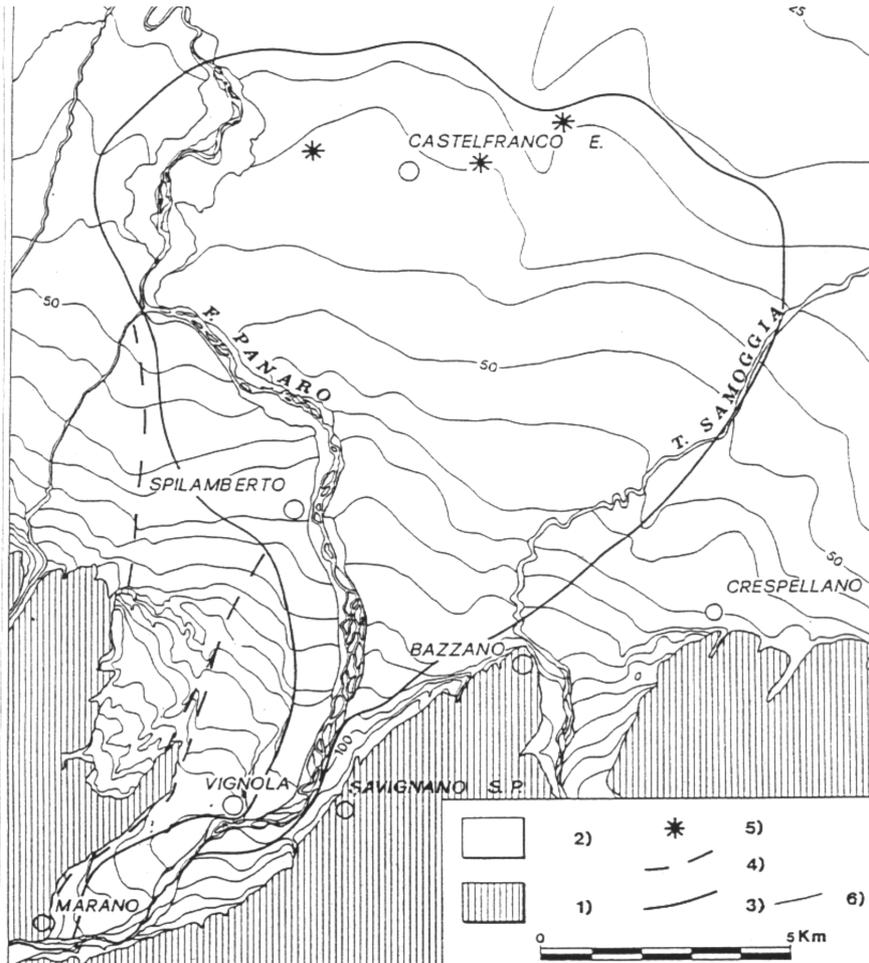


- Depositi di canale fluviale
- Depositi di argine, canale e rotta fluviale
- Depositi di piana a meandri del Po
- Depositi di canale distributore, argine e rotta
- Depositi di piana inondabile

All'interno della pianura alluvionale sono state distinte, sulla base di sequenze litostratigrafiche tipiche determinate dalle stratigrafie dei pozzi idrici, due macro-ambienti deposizionali: la piana pedemontana, contraddistinta da depositi a sequenze prevalentemente grossolane (ghiaie) e la piana alluvionale vera e propria, caratterizzata da sequenze generalmente fini (sabbie, limi, argille). Questo tipo di pianura presenta una crescita di tipo verticale, dovuta prevalentemente a processi di tracimazione e rotta fluviale che hanno portato alla deposizione di strati suborizzontali a geometria lenticolare, probabilmente riferibili a singoli eventi alluvionali.

Il sito in esame insiste su depositi distali della conoide alluvionale del fiume Panaro e su terreni più recenti dovuti alla dinamica fluviale del Torrente Samoggia, che ha deposto una

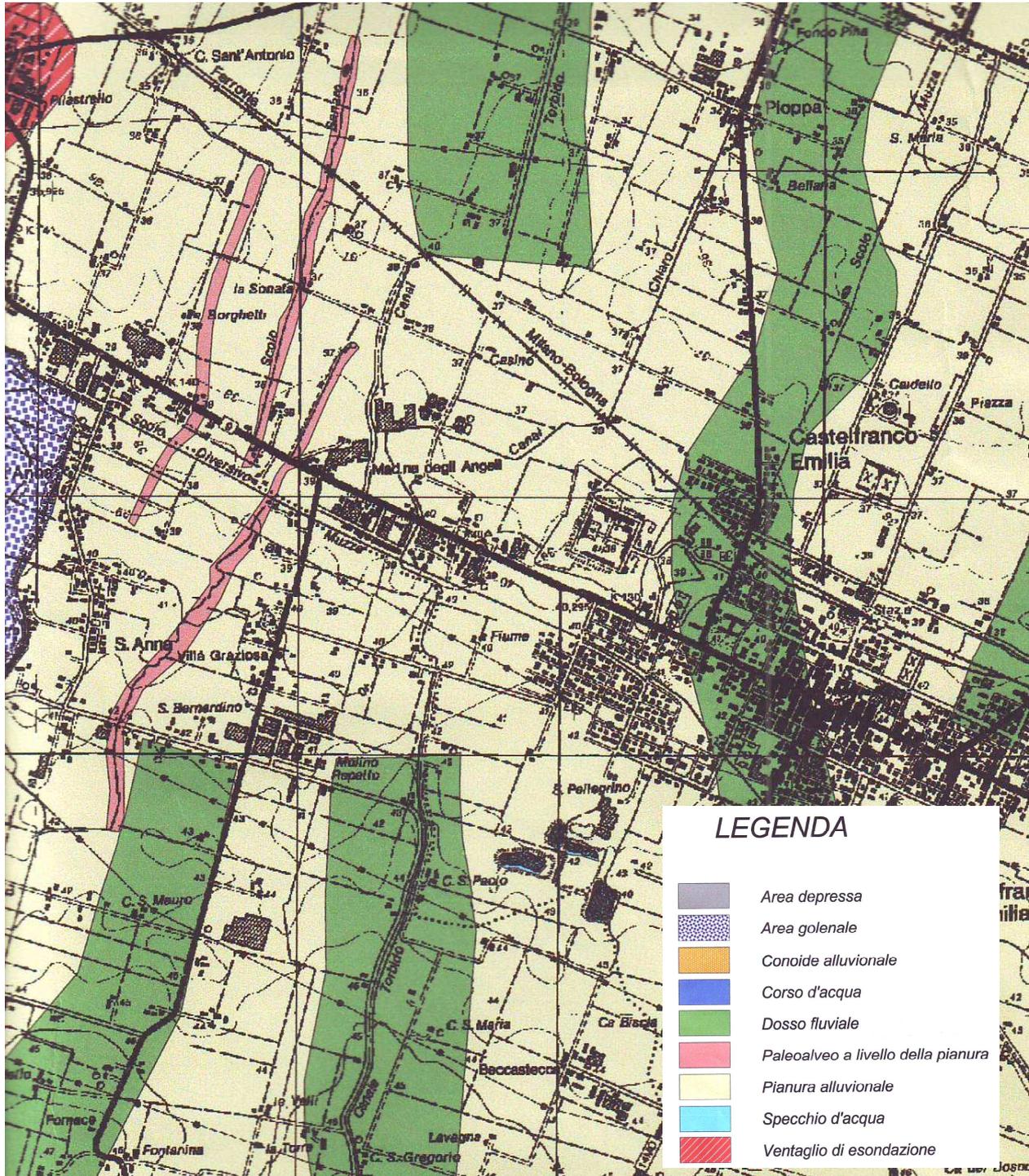
sedimentazione alluvionale in paleoalvei e ventagli di esondazione, accumulatisi sui terreni più antichi. In generale i terreni sono formati da litotipi poco consistenti negli orizzonti superficiali, prevalentemente da alternanze di limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi con locali intercalazioni sabbiose. Il bacino principale di provenienza dei sedimenti è quello del fiume Panaro la cui conoide, che si sviluppa tutta sul fianco destro del suo corso attuale, presenta i suoi limiti intermedio (olocene) e distale (pleistocene medio e sup) qualche chilometro a valle di Castelfranco Emilia, lungo la linea Redù - Manzolino, dove raggiunge uno spessore superiore ai 250 m. La conoide del fiume Panaro, in rappresentazione planimetrica, mostra l'usuale forma subtriangolare con l'apice che si raccorda con il solco vallivo ad una quota di 130-150 m presso Vignola e Marano, mentre la zona frontale è situata a nord del tracciato della Via Emilia, nei pressi di Castelfranco Emilia.



**LEGENDA:** 1) Formazioni marine prevalentemente impermeabili di età portuense e pre-pleistocenica; 2) ghiaie, sabbie, limi e argille dei depositi alluvionali di pianura, di fondovalle e degli alvei attuali; 3) limite della conoide würmiana; 4) limite delle conoidi pre-würmiane; 5) ubicazione dei fontanili, oggi praticamente scomparsi; 6) isoipse con equidistanza di 5 m (nella sola zona di pianura) (da Pellegrini et alii, 1978).

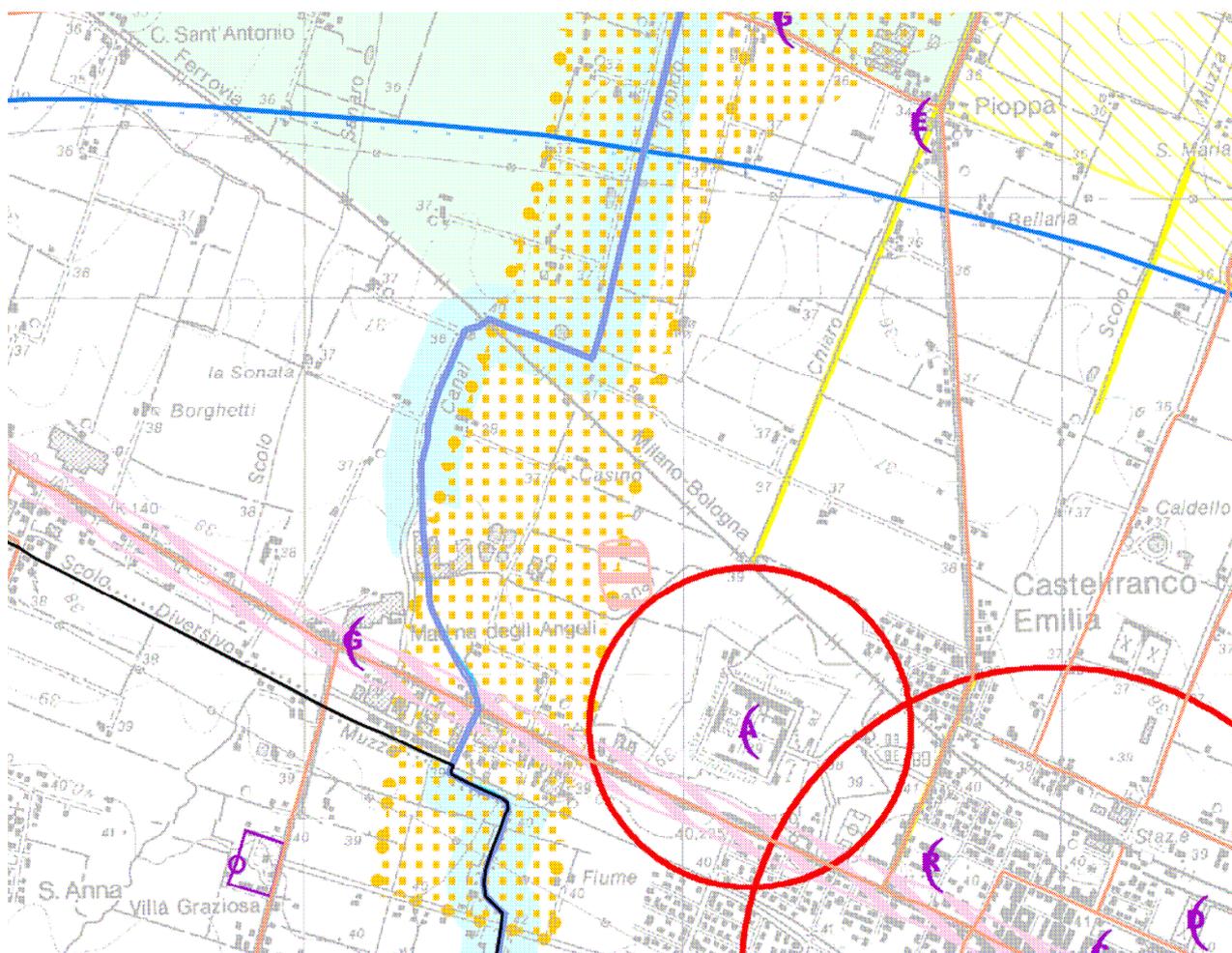
Nel suo complesso risulta dalla sovrapposizione di più corpi alluvionali di diversa età: quelli più antichi sono databili al Pleistocene medio e superiore, mentre i più recenti, che ricoprono quasi totalmente i precedenti, sono riconducibili all'olocene post-glaciale. Il substrato su cui poggia la conoide affiora presso il margine collinare ed è costituito da formazioni marine argillose e argilloso-arenacee del pliocene-pleistocene medio: le formazioni delle Argille Azzurre e delle Sabbie Gialle, suddivise anche in Unità di Bazzano e Unità di Vignola, che per motivi strutturali vengono rapidamente sepolte, a nord di Vignola, dalle alluvioni fluviali. Da Vignola a S. Cesario i depositi alluvionali di conoide risultano costituiti quasi esclusivamente da ghiaie pulite o ghiaie con matrice fine coesiva; più a nord sono presenti anche intercalazioni limo-argillose, che

procedendo verso la Via Emilia si fanno sempre più consistenti (zona intermedia e distale). Oltre la quota di 25 m s.l.m. le ghiaie scompaiono e sono sostituite da sabbie in sottili livelli intercalati entro sequenze limo-argillose prevalenti (zona di piana alluvionale). Lo spessore dei depositi alluvionali è di qualche metro fino alle decine di metri a Vignola dove, a seguito della fase erosiva degli ultimi decenni dovuta anche all'escavazione di inerti all'interno dell'alveo, l'incisione fluviale ha portato all'affioramento del substrato. A Spilamberto la conoide alluvionale presenta uno spessore di circa 100 m, a Manzolino di oltre 250 m.



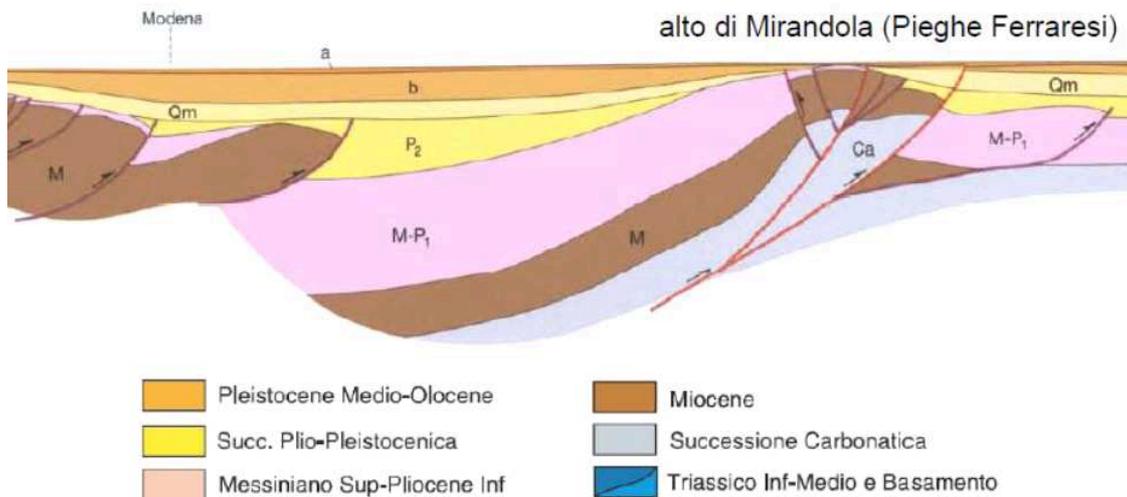
Dall'analisi geomorfologica della media pianura è possibile individuare le divagazioni che i corsi d'acqua maggiori e minori hanno subito, fino in tempi recentissimi. Diversi paleoalvei testimoniano la tendenza dei corsi d'acqua a cambiare percorso preferenziale del flusso, talvolta

effettuando dei tagli di meandro. La transizione tra le aree di conoide fluviale e la media pianura è molto graduale e mal distinguibile ed è marcata da una notevole diminuzione della pendenza della superficie topografica, che causa una diminuzione dell'energia fluviale dei corsi d'acqua, provocando il passaggio ai tracciati degli alvei fluviali meandrici tipici della piana alluvionale a nord della via Emilia. L'andamento rettilineo attuale di alcuni torrenti e canali è dovuto ad opere antropiche spesso iniziate già a partire dall'Età Romana: il drenaggio delle acque superficiali è prevalentemente esercitato da fossi scolatori artificiali che rimarcano, insieme al sistema viario, il reticolato della centuriazione. Le linee di deflusso superficiale più importanti dell'area sono lo Scolo Muzza, il Canal Chiaro e il Canal Torbido, che si incrociano al di sotto del manufatto della Cartiera. La stratigrafia dei terreni più superficiali, costituita da depositi alluvionali recenti con alternanze di limi argilloso-sabbiosi, limi argillosi, sabbie e orizzonti di ghiaie/sabbie ghiaiose, è da attribuirsi a un paleoalveo del Fiume Panaro cartografato nella Tavola 1.1.5 del PTCP (puntinato giallo), ricalcato in parte dall'attuale tracciato del canal Torbido.



I depositi di conoide alluvionale, per le caratteristiche di elevata permeabilità e trasmissività, costituiscono un'unità idrogeologica ben definita che appartiene al grande sistema acquifero della Pianura Padana, rispetto al quale occupa una posizione marginale, essendo situato al margine meridionale dell'alta pianura ai piedi dei primi rilievi della catena appenninica. L'unità idrogeologica della conoide del fiume Panaro, alimentata essenzialmente dal fronte freatico dell'alta pianura con flusso diretto verso nord-est, rappresenta uno dei più ricchi acquiferi dell'Emilia Romagna e alimenta gli acquedotti di S. Giovanni in Persiceto, Castelfranco ed in parte di Modena e Ferrara. In queste zone a nord della via Emilia fino ad alcuni decenni fa erano attivi i fontanili, detti anche fontanazzi, oggi presenti in numero estremamente ridotto a causa dell'abbassamento progressivo del livello piezometrico.

Dal punto di vista strutturale, il substrato profondo di questa parte della pianura alluvionale è caratterizzata da strutture tettoniche con asse parallelo alla catena appenninica, che ne rappresentano la continuazione sepolta. Partendo dal margine appenninico, dove affiorano le formazioni argilose di età pliocenica, procedendo verso NE, si ha un rapido abbassamento dei terreni marini del substrato: all'altezza della Via Emilia la base del Pliocene è posta a profondità che può raggiungere i -3000 m, mentre quella del Quaternario i -1500 m. A nord di questa zona, separata da una faglia diretta longitudinale, si sviluppa la vasta struttura sinclinale di Reggio Emilia-Bologna, che costituisce una delle più profonde depressioni della Pianura Padana: nell'area di Bomporto la base delle unità plioceniche è posta alla profondità di -6000 m, mentre quella delle unità quaternarie a -2000 m. Il fianco nord della sinclinale si sviluppa sino alla zona di Concordia, Mirandola e S. Felice sul Panaro, determinando un progressivo innalzamento fino a costituire una struttura notevolmente sollevata denominata Dorsale Ferrarese.

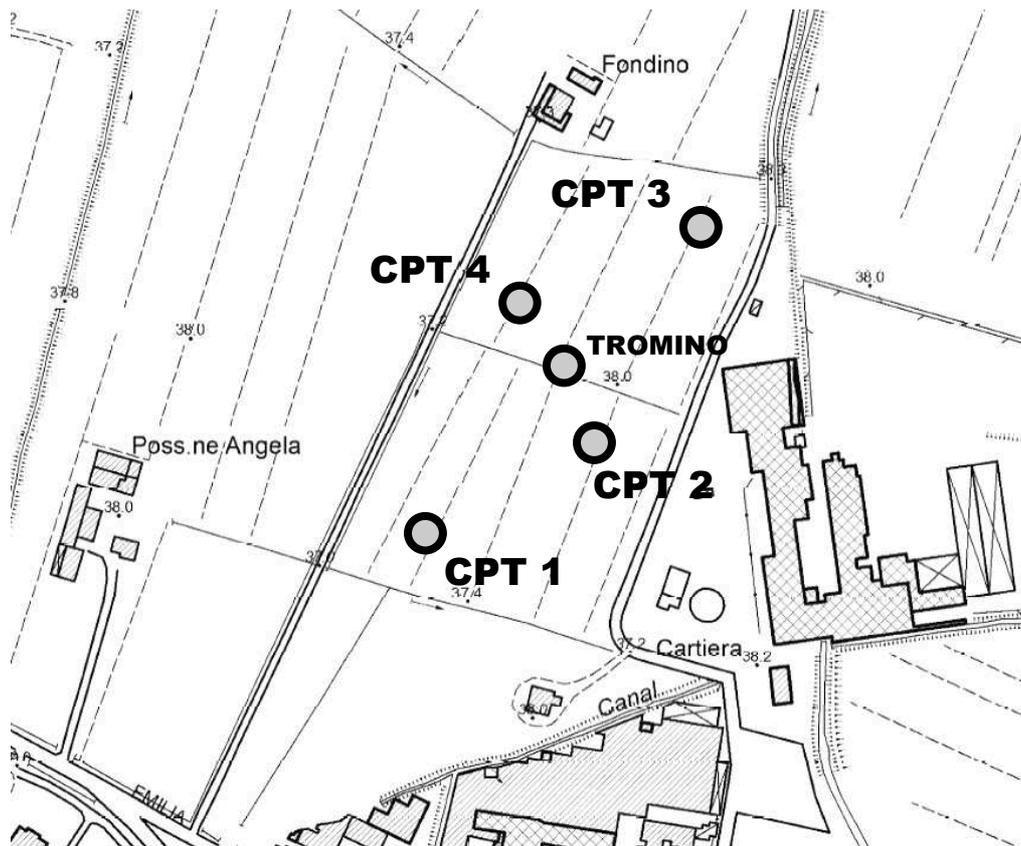


Questa dorsale, il cui asse si sviluppa lungo la linea S. Felice sul Panaro, Mirandola, Concordia e Novi, è costituita da una serie di pieghe associate a faglie e determina il sollevamento del substrato marino miocenico, sottostante la copertura quaternaria, anche a -80 metri dalla superficie topografica. Altre strutture positive, che accompagnano la dorsale principale, si riscontrano nella zona di Quarantoli e presso Sermide, nel mantovano. In generale il substrato marino di età pliocenica e plio-pleistocenica, è interessato da un complicato reticolato di faglie e tutta quest'area costituisce uno degli alti strutturali più elevati della zona assiale della Pianura Padana. La coltre alluvionale di copertura risente anch'essa della situazione profonda, sia per il suo spessore notevolmente variabile, sia per gli effetti di movimenti neotettonici.

### 3. Metodologia d'indagine delle prove in sito

L'indagine geognostica di campagna per la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita il giorno 23/07/2014 all'interno dell'area interessata dall'intervento in progetto, mediante n. 4 prove penetrometriche statiche CPT che hanno raggiunto la profondità massima di -16 m rispetto all'attuale piano campagna. Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a una profondità media di -1.80 m dal piano campagna.

Inoltre è stata svolta nel sito un'indagine geofisica, basata sulla registrazione a stazione singola del microtremore sismico con strumentazione TROMINO, per misurare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, valutare i possibili effetti sismici di sito e definire l'andamento della  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative vigenti.



### 3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT

Per l'esecuzione dell'indagine di campagna si è utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG63, attrezzato con punta meccanica Begemann (punta conica standard  $\varnothing$  3.57 cm e angolo d'apertura  $60^\circ$ , con manicotto mobile di  $150 \text{ cm}^2$ , infissa nel terreno ad una velocità costante di  $2 \text{ cm/sec}$ ).

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare:

- $R_p$  resistenza alla punta in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_{lt}$  resistenza laterale totale (punta+manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_l$  resistenza laterale locale (al manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$

Successivamente il processo di discretizzazione dei parametri di campagna, ha permesso la determinazione di:

- classificazione litologica (Begemann - Schmestron)
- peso specifico medio del terreno naturale
- peso specifico efficace
- pressione litostatica eff. al centro dello strato
- coesione non drenata
- angolo d'attrito
- densità relativa
- coefficiente di compressibilità di volume
- modulo di reazione orizzontale
- permeabilità
- liquefazione

I grafici delle curve di  $R_p$  e  $R_l$  sono riportati nell'allegato A. Di seguito si descrivono alcune delle modalità seguite per la determinazione delle grandezze fisiche considerate.

- Peso specifico naturale ed efficace ( $\gamma_t$ ,  $\gamma'_t$ )

Questo parametro è determinato in base al valore medio di  $R_p$  applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Definito  $\gamma_t$  il peso specifico naturale per il terreno sotto falda e  $\gamma_w$  il peso specifico dell'acqua, si applica la relazione  $\gamma'_t = \gamma_t - \gamma_w$ , che considera la spinta di Archimede dovuta all'elemento liquido.

- Pressione litostatica efficace ( $\sigma'_v$ )

Il calcolo della pressione litostatica efficace è effettuato applicando la relazione:

$\sigma'_v = \sum \gamma_i \cdot h_{im} + \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im}$  riferita alla pressione relativa al punto medio dello strato considerato ( $h_m$ ). E' considerata la falda freatica se presente.

- Coesione non drenata ( $C_u$ )

Si utilizza la relazione di De Beer che consente il calcolo della  $C_u$  in base al valore di  $R_p$  per i livelli coesivi saturi (coesione non drenata apparente, cioè la resistenza al taglio dei terreni a comportamento coerente in situ).

- Angolo d'attrito ( $\theta^\circ$ )

La determinazione dell'angolo d'attrito per i terreni incoerenti segue la metodologia di Durgunoglu e Mitchell, applicando l'equazione  $\theta^\circ = f(R_p; \sigma'_v)$ . Per i terreni coerenti in condizioni non drenate si utilizza la relazione (Durgunoglu):  $\theta^\circ = 14.4 + 4.8 \ln(q_c) - 4.5 \ln(\sigma'_v)$ .

- Densità relativa ( $D_r$ )

Per questo parametro si utilizza il diagramma proposto da Jamiolkowski mod.

- Coefficiente di compressibilità di volume ( $M_v$ )

Si utilizzano le correlazioni di Buisman e Sanglerat che collegano il parametro al valore di  $R_p$ .

- Modulo di reazione orizzontale ( $K_o$ )

E' ricavato utilizzando la relazione:  $K_o = Ch \cdot R_p / C_k$  dove  $Ch$  varia fra 0.1 a 0.3 e  $C_k$  dipende dal tipo di terreno e varia da 1 a 4.

- Calcolo della permeabilità ( $K_p$ )

Questo parametro è determinato in base ai parametri di  $q_c$  e di  $Fr$ , applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Campo di validità da  $10^{-2}$  cm/s per le sabbie e  $10^{-8}$  cm/s per le argille.

- Liquefazione

Per la verifica alla suscettibilità alla liquefazione si utilizza il metodo di Seed e Idriss (1982), che confronta le caratteristiche meccaniche dei terreni ottenute in base ai risultati delle prove in sito e l'eventuale potenzialità nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie. Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco, in cui in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) e in ascissa la resistenza del terreno stimata mediante le prove in sito. Per i terreni coerenti non viene effettuata nessuna verifica per la suscettibilità alla liquefazione. Per i terreni incoerenti vengono calcolati il coefficiente  $C_2$  (rapporto di sforzo ciclico del terreno) ed il coefficiente  $C_1$  (relativo alla curva di magnitudo in caso di evento sismico). Per  $C_1 > C_2$  non si ha la liquefazione, viceversa il livello di terreno esaminato è suscettibile alla liquefazione.

### 3.2 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico

Una strategia efficace di difesa dai terremoti necessita di accurate valutazioni preventive della vulnerabilità sismica, determinata essenzialmente dall'instabilità dei suoli (frane, liquefazione dei terreni) e dagli effetti di sito. Gli effetti di sito sono amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche e topografiche, che portano al fenomeno della risonanza del terreno. Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici (fenomeno della doppia risonanza), si produce un'amplificazione delle onde sismiche molto grande e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo: l'amplificazione sismica è infatti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto. Il rumore sismico generato dai fenomeni atmosferici (moti oceanici, del vento ecc.) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre; è detto anche microtremore, poichè riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche degli edifici e del sottosuolo, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore, analogamente a quanto avviene durante un terremoto, che si può immaginare come un episodio di rumore fortissimo con ampiezze sino a  $10^{10}$  volte maggiori del microtremore. La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la

stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. La tecnica maggiormente consolidata per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico generato in un sito, è quella dell'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti del moto sismico orizzontali e verticali (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V - Nogoshi e Igarashi, 1970). Il codice utilizzato per la creazione di curve H/V sintetiche si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie di Rayleigh e Love in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (Aki, 1964 - Ben-Menahem e Singh, 1981), considerando che l'onda sismica viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due mezzi (litotipi) a rigidità differente, con la determinazione di un contrasto di impedenza. L'onda riflessa interferisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza), quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore H del primo strato: la frequenza fondamentale di risonanza F relativa alle onde S risulta pari a  $F = V_s / 4H$ .

#### 4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine di campagna ha permesso di effettuare un riconoscimento di massima dei terreni attraversati e di ottenere indicazioni sulla parametrizzazione geotecnica dei terreni studiati, di seguito riportata.

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 1

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU FI kg/cm2	DR °	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
1.80 Argilla plastica	1769	1769	0.318	0.540	24	0	0.0180	1.1111	1.1e-6
3.20 Limo argil-sabbioso adde	1775	1125	0.476	0.555	22	0	0.0145	0.7714	8.0e-4
7.00 Limo argil-sabbioso scio	1685	1035	0.869	0.272	16	0	0.0203	0.4211	1.8e-3
7.80 Sabbia sciolta	1700	1050	0.953	0.000	21	15	0.0244	1.0250	7.8e-2
8.00 Limo argil-sabbioso adde	1841	1191	0.977	0.851	21	0	0.0150	1.2000	4.4e-3
8.40 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.023	0.000	30	100	0.0023	14.6250	7.1e-1

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 2

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU FI kg/cm2	DR °	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
1.80 Argilla plastica	1753	1753	0.316	0.484	24	0	0.0182	1.0000	7.7e-7
8.20 Limo argil-sabbioso scio	1727	1077	1.005	0.370	17	0	0.0169	0.5604	1.9e-3
9.40 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.143	0.000	27	84	0.0039	8.6083	2.8e-1

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 3

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU FI kg/cm2	DR °	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
0.80 Limo argil-sabbioso adde	1927	1927	0.154	1.592	34	0	0.0104	2.1333	2.2e-3
1.40 Argilla torbosa consiste	1753	1753	0.259	0.487	25	0	0.0182	1.0000	5.7e-7
2.60 Limo argilloso plastico	1810	1160	0.399	0.713	25	0	0.0140	0.9778	3.6e-4
9.00 Limo argil-sabbioso scio	1708	1058	1.075	0.315	16	0	0.0183	0.4917	7.5e-4
12.60 Limo argilloso plastico	1807	1157	1.492	0.645	18	0	0.0140	0.9593	2.7e-4
16.00 Limo argilloso soffice	1750	1100	1.866	0.398	14	0	0.0155	0.6549	2.4e-4

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 4

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU FI kg/cm2	DR °	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
0.80 Argilla limosa molto con	1896	1896	0.152	1.292	33	0	0.0077	2.6000	3.3e-5
1.80 Argilla limosa plastica	1737	1737	0.325	0.434	23	0	0.0185	0.9000	2.6e-6
3.40 Limo argilloso plastico	1785	1135	0.507	0.593	22	0	0.0143	0.8250	3.3e-4
6.80 Limo argil-sabbioso scio	1719	1069	0.870	0.354	17	0	0.0174	0.5294	2.6e-3
8.40 Sabbia argil-limosa adde	1700	1050	1.038	0.000	20	15	0.0351	1.2667	1.4e-2
8.80 Ghiaia molto sciolta	1650	1000	1.078	0.000	21	23	0.0172	1.4500	3.2e-1
9.40 Sabbia ghiaiosa media ad	1750	1100	1.144	0.000	23	41	0.0134	2.4833	1.1e-1
9.80 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.190	0.000	30	100	0.0021	115.7250	6.6e-1

Si è proceduto alla parametrizzazione dell'indagine geognostica CPT secondo il metodo di Searle, che permette una definizione più dettagliata dei vari livelli di terreno studiati.

Sulla base dell'indagine di campagna e delle successive discretizzazioni è stato possibile schematizzare i valori medi di resistenza alla punta  $R_p$  e resistenza laterale  $R_l$ , espressi in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , e il rapporto  $q_c/f_s$ .

Dati medi prova discretizzata CPT n. 1

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/f_s$
1.80	11.11	1.12	9.93
3.20	11.57	0.51	22.50
7.00	6.32	0.25	25.71
7.80	20.50	0.32	64.74
8.00	18.00	0.60	30.00
8.40	292.50	0.60	487.50

Dati medi prova discretizzata CPT n. 2

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/f_s$
1.80	10.00	1.06	9.44
8.20	8.41	0.32	25.88
9.40	172.17	1.33	129.13

Dati medi prova discretizzata CPT n. 3

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/f_s$
0.80	32.00	1.22	26.30
1.40	10.00	1.33	7.50
2.60	14.67	0.73	20.00
9.00	7.38	0.33	22.41
12.60	14.39	0.75	19.23
16.00	9.82	0.52	18.98

Dati medi prova discretizzata CPT n. 4

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/f_s$
0.80	26.00	2.28	11.39
1.80	9.00	0.80	11.25
3.40	12.38	0.63	19.80
6.80	7.94	0.29	27.36
8.40	19.00	0.49	38.64
8.80	29.00	0.20	145.00
9.40	49.67	0.67	74.50
9.80	314.50	0.80	393.13

In base alle elaborazioni delle indagini effettuate, è possibile suddividere la stratigrafia dell'area nelle seguenti unità:

#### Area centrale CPT n. 1-2-4

- dal piano campagna a quota -9 m: alternanze di limi argillosi plastici e limi argilloso sabbiosi da sciolti a mediamente addensati ( $C_u = 0.35 \div 0.59 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ;  $\varphi = 16^\circ \div 24^\circ$ ) con livelli di sabbie ( $\varphi = 20^\circ \div 21^\circ$ ;  $D_r = 15\%$ );
- da -9 m a -10 m: ghiaie e/o sabbie ghiaiose mediamente addensate ( $\varphi = 21^\circ \div 30^\circ$ ;  $D_r = 23\% \div 100\%$ ).

#### Area nord CPT n. 3

- dal piano campagna a quota -16 m: alternanze di limi argillosi da soffici a plastici e limi argilloso-sabbiosi sciolti ( $C_u = 0.31 \div 0.71 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ;  $\varphi = 14^\circ \div 25^\circ$ ).

I terreni più superficiali, al di sopra del livello di falda, si presentano lievemente sovraconsolidati per effetto dell'essiccamento.

Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta alla profondità di -1.80 m dal piano campagna (luglio 2014). Sulla base di precedenti indagini geognostiche eseguite nei dintorni dell'area oggetto di studio, si può stimare che il livello statico della prima falda libera superficiale possa raggiungere a seconda della stagionalità valori compresi tra -1.0 m e -2.20 m dal piano campagna.

Allo scopo di definire un modello geotecnico per il sito in esame in base alle elaborazioni delle indagini effettuate, nella tabella seguente sono riportati i principali parametri geotecnici

caratteristici delle unità litologiche individuate. Per il parametro  $\varphi_K$  si considera la legge di correzione di Terzaghi ( $\tan \varphi_K = 0.67 \tan \varphi$ ):

#### SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Unità	Profondità -m da p.c.	$\gamma_t$ kg/m <sup>3</sup>	$\gamma'_t$ kg/m <sup>3</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	$\varphi^\circ$	Densità Dr% (livelli incoerenti)
1	0 - 9	1725	1075	0.35	11	/
2	9 - 10	1750	1100	/	14	60
3	10 - 16	1775	1125	0.40	11	/

#### 5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito

La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare, con maggiore dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedimenti di microzonazione sismica. Tale procedimento è volto a prevedere e mitigare gli effetti di un evento sismico in una zona di dimensioni urbane, considerando la morfologia superficiale e del substrato, la sua costituzione, la presenza e la profondità della falda freatica e l'eventuale presenza di faglie.

Questa analisi recepisce le indicazioni applicative della Delibera di Giunta Regionale n. 1677 del 24/10/2005 attualmente in vigore. Si considera inoltre la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia Romagna riportata nella OPCM n. 3274 del 20/03/2003, secondo cui il comune di Castelfranco Emilia rientra in zona 3. L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter. Si riporta di seguito un elenco degli eventi sismici più significativi per la storia sismica del sito di indagine:

Anno	Me	Gi	AREA	l <sub>mx</sub>	l <sub>o</sub>	Lat	Lon	M <sub>aw</sub>
1561	11	24	FERRARA	65	55	44.78	11.45	4.63
1570	11	17	FERRARA	80	75	44.82	11.63	5.48
1574	3	17	FINALE EMILIA	70	70	44.833	11.294	5.12
1586	1	12	SPILAMBERTO	60	44.583	11	4.83	
1666	4	14	BOLOGNA	60	44.5	11.333	4.83	
1695	2	28	FERRARA	55	55	44.836	11.618	4.63
1743	5	29	FERRARA	65	65	44.836	11.618	5.03
1779	6	4	BOLOGNESE	70	65	44.45	11.52	4.97
1780	2	6	BOLOGNESE	65	55	44.62	11.32	4.85
1787	7	16	FERRARA	65	55	44.83	11.62	4.63
1796	10	22	EMILIA ORIENTALE	70	70	44.62	11.67	5.63
1801	10	8	BOLOGNA	55	55	44.498	11.34	4.63
1811	7	15	SASSUOLO	70	70	44.572	10.728	5.24
1834	10	4	BOLOGNA	60	55	44.6	11.37	4.63
1850	9	18	MODENA	60	60	44.614	10.965	4.83
1878	3	12	BOLOGNESE	60	60	44.42	11.55	4.83
1881	1	24	BOLOGNESE	70	65	44.32	11.35	5.14
1889	3	8	BOLOGNA	60	60	44.518	11.237	4.83
1908	6	28	FINALE EMILIA SUD	60	44.8	11.3	4.83	
1909	1	13	BASSA PADANA	65	65	44.579	11.688	5.53
1922	5	24	CENTO	45	35	44.862	11.517	4.5

1923	6	28	FORMIGINE	60	60	44.595	10.799	5.21
1929	4	20	BOLOGNESE	80	70	44.47	11.13	5.55
1931	6	10	MODENESE	40	40	44.541	11.021	4.84
1934	9	18	VIGNOLA	40	40	44.495	11.012	4.5
1967	10	1	FORMIGINE	50	44.567	10.95	4.52	
1986	12	6	BONDENO	60	60	44.879	11.334	4.56
1996	10	15	CORREGGIO	70	70	44.782	10.683	5.44
2012	1	25	POVIGLIO			44.854	10.538	4.9
2012	5	20	FINALE EMILIA			44.89	11.23	5.9
2012	5	20	FERRARESE			44.831	11.49	5.1
2012	5	29	MEDOLLA/BASSA MODENESE			44.85	11.09	5.8

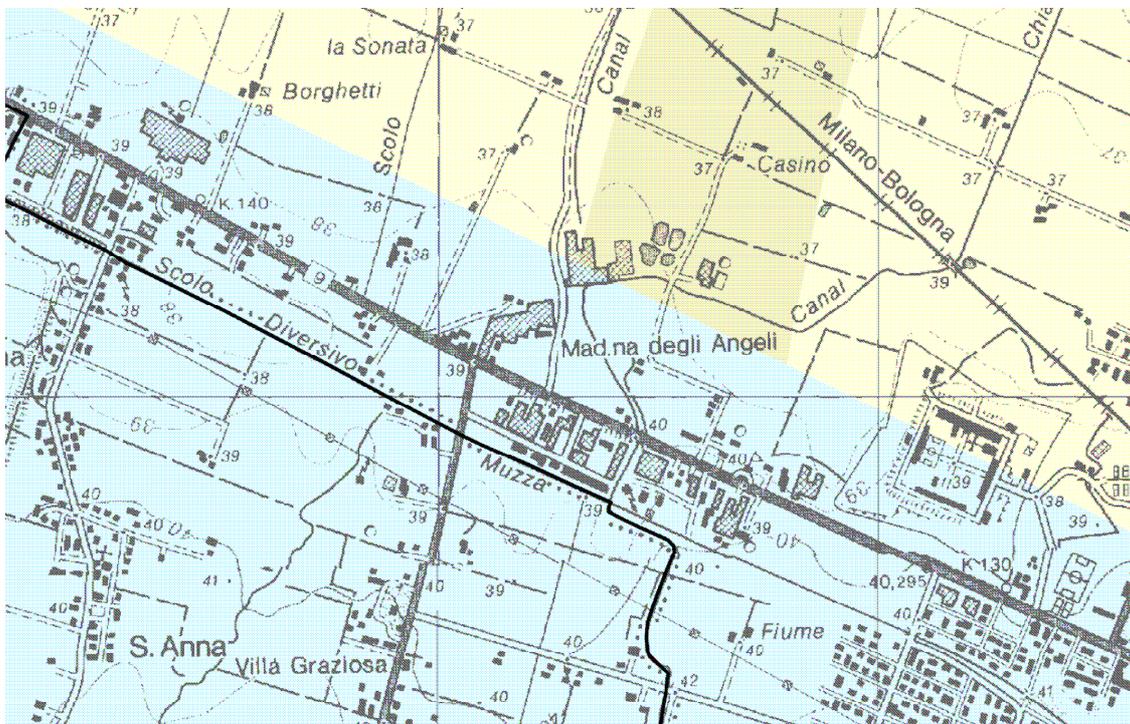
(Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI- INGV, Bologna)

Nel quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali - Tavola 2 a.5 a scala 1:25'000, si indica che l'area in esame insiste su "limi e argille di piana alluvionale". Pertanto in caso di sisma si possono attendere "amplificazione, possibili cedimenti".



Depositi che possono determinare effetti locali	
	<p><b>ghiaie di conoide</b>                      effetti attesi: amplificazione;                      studi: valutazione amplificazione</p>
	<p><b>sabbie di canale</b>                      effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti;                      studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi</p>
	<p><b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b>                      effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti;                      studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi</p>
	<p><b>sabbie sepolte del Po</b>                      effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti;                      studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi</p>

In relazione al rischio sismico, nelle Carte delle Sicurezze del Territorio del PTCP della Provincia di Modena, Tavola 2.2 a.5 a scala 1:25'000, l'area in esame è classificata come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti". Sono pertanto richiesti la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi, con approfondimenti di II livello per la microzonazione sismica e di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.



5	<p><b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b></p> <p><u>studi</u>*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico;  <u>microzonazione sismica</u>*: approfondimenti di II livello.</p>
6	<p><b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b></p> <p><u>studi</u>*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico;  <u>microzonazione sismica</u>*: approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.</p>
7	<p><b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione</b></p> <p><u>studi</u>*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi;  <u>microzonazione sismica</u>*: approfondimenti di III livello.</p>
8	<p><b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti</b></p> <p><u>studi</u>*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi;  <u>microzonazione sismica</u>*: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di <u>III livello</u> per la stima degli eventuali cedimenti</p>

### 5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove SPT e da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (o IL) di Iwasaki et al. (1982). Le prove CPT sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI (o IL) è un parametro di sintesi che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica e dei parametri di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili. Le classi di potenziale di liquefazione, secondo la proposta di Sonmez (2003), sono le seguenti:

LPI	potenziale di liquefazione
0	non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$15 < LPI$	molto alto

L'elaborazione dell'indagine di campagna fornisce una verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti, individuati con la discretizzazione dei dati delle prove penetrometriche. Il calcolo viene eseguito secondo le modalità riportate nel par. 3.1, considerando un evento sismico avente una magnitudo pari al grado 5.5 della scala Richter, compatibile con i dati storici esistenti per l'area in esame (Servizio Geologico RER - INGV).

#### Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.80 Argilla plastica	Terreno coerente		
3.20 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
7.00 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
7.80 Sabbia sciolta	0.1742	0.1374	no
8.00 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
8.40 Ghiaia mediamente addens	63.4712	0.1384	no

#### Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.80 Argilla plastica	Terreno coerente		
8.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
9.40 Ghiaia mediamente addens	1.8304	0.1396	no

#### Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 3

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
1.40 Argilla torbosa consiste	Terreno coerente		
2.60 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
9.00 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
12.60 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
16.00 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		

#### Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 4

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Argilla limosa molto con	Terreno coerente		
1.80 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
3.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.80 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
8.40 Sabbia argil-limosa adde	0.1593	0.1378	no
8.80 Ghiaia molto sciolta	0.2153	0.1386	no
9.40 Sabbia ghiaiosa media ad	0.3208	0.1396	no
9.80 Ghiaia mediamente addens	62.1406	0.1401	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi sopra riportate (LPI = 0). In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007 e all'Ordinanza RER 70/2012, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle dell'allegato A2 della DAL RER 112/2007. La valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. Per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito. Un'indicazione dei cedimenti post-sismici nel caso di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici ( $c_u \leq 70 \text{ kPa}/0.7 \text{ kg/cm}^2$ ) con spessore  $\geq 5 \text{ m}$ , in cui si preveda un incremento delle pressioni interstiziali  $r_u \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento, può essere valutata tramite le indicazioni della DAL RER 112/2007, dove per un generico strato di spessore H il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$$

con  $\varepsilon_{vr}$  (%) deformazione volumetrica post-ciclica determinata dalla formula

$$\varepsilon_{vr} = \alpha C_r * (1 + e_0) * \log(1/1 - r_u)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale;  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 * C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione;  $r_u$  è il rapporto di pressione interstiziale

Tabella 2 – Rapporto di pressione interstiziale  $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  in funzione di  $\gamma_{max}$

$\gamma_{max}$ [%]	$r_u$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Considerando prove edometriche di laboratorio, limiti di Atterberg e analisi granulometriche di terreni aventi le stesse caratteristiche litologiche di quelli del sito in esame, il valore di  $\varepsilon_{vr}$  può essere stimato in  $3.12 \cdot 10^{-3}$ . In base alla formula  $\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$  considerando uno spessore medio di 8 m, si ottiene un valore teorico stimato di 2.5 cm.

## 5.2 Misura del microtremore sismico

La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. L'elaborazione dei dati, acquisiti con tempi di registrazione di 14 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz, permette di evidenziare, sottoforma di picchi nello spettro del rapporto H/V, i contrasti di impedenza tra litotipi a rigidità diversa che determinano possibili fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

### TROMINO – ELETTRMECCANICA TIRONI SRL – CASTELFRANCO EMILIA, VIA CARTIERA

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 23/07/14 09:23:02 Fine registrazione: 23/07/14 09:37:03

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 76% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

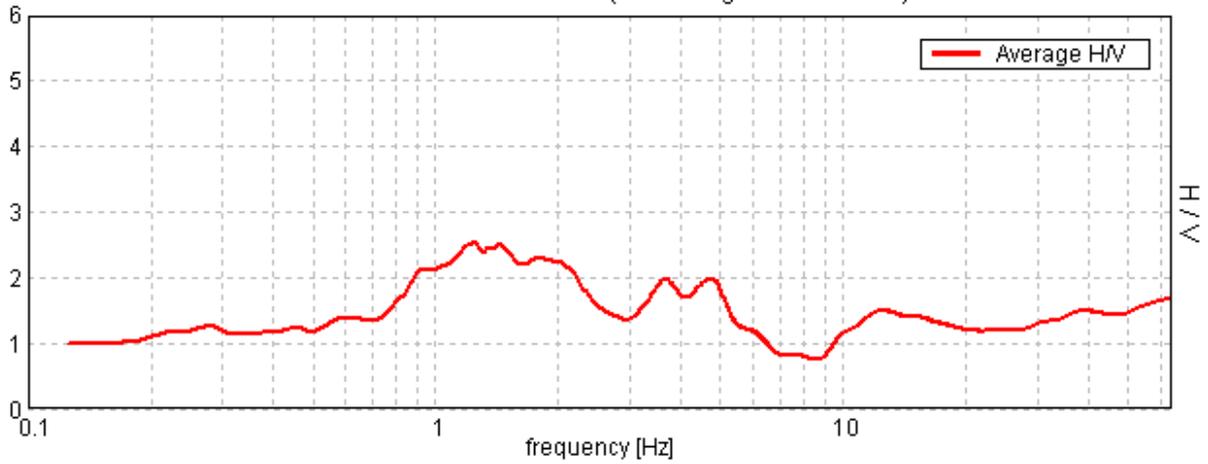
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

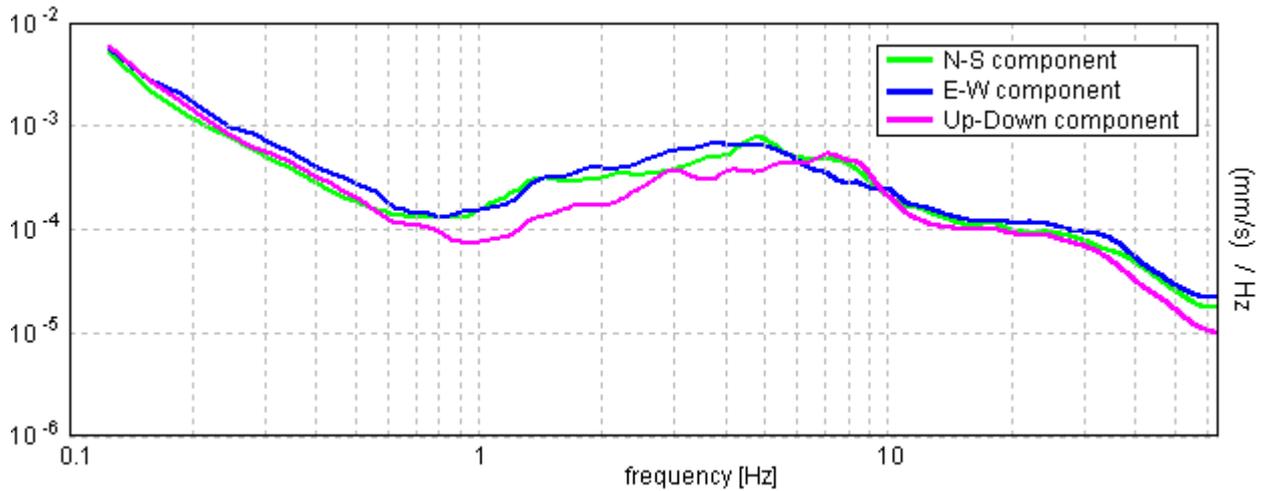
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Max. H/V at 1.25 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

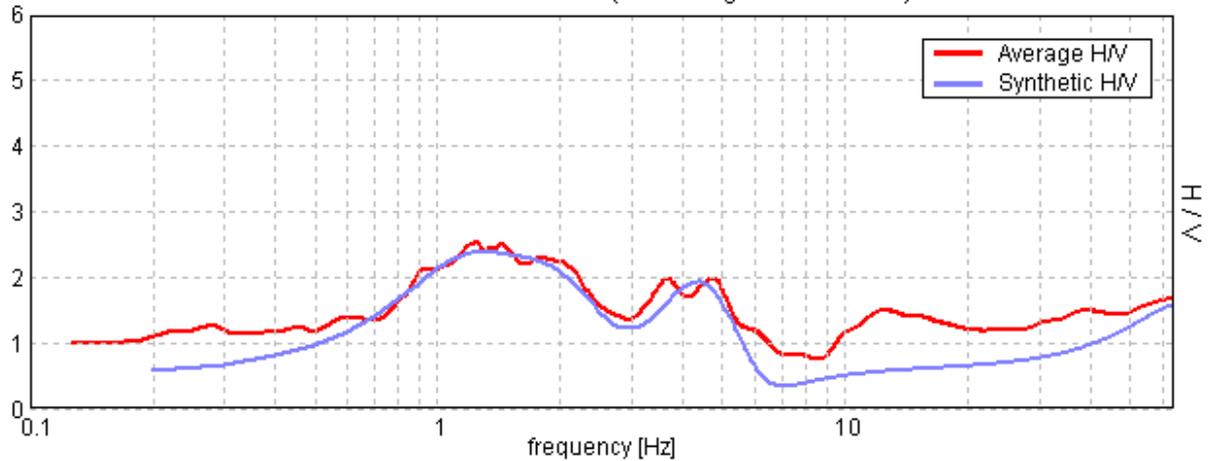


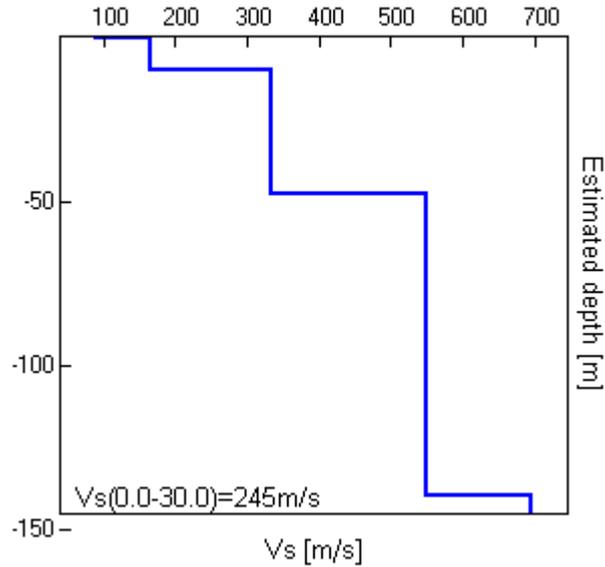
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Max. H/V at 1.25 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
0.30	90
10.00	164
48.00	333
140.00	550
inf.	695

$$V_{s30} = 245 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un primo picco mediamente a 4.5 Hz, riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di -9/-10 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento.

Si individua un secondo picco a circa 1.25 Hz ( $1.25 \pm 0.18$  Hz) corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano.

Per evitare la risonanza terreno-struttura con conseguenti fenomeni di amplificazione in caso di evento sismico, sarà opportuna una progettazione che preveda frequenze di oscillazione delle strutture diverse da quelle individuate. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 245$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

### 5.3 Azione Sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un

sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  = 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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- $F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche. La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

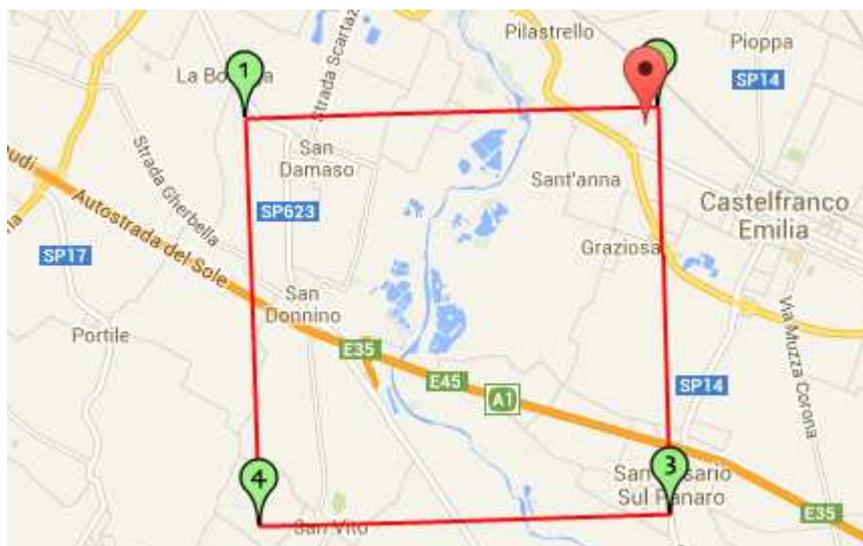
<b>Vita nominale per diversi tipi di opere - TIPI DI COSTRUZIONE</b>	<b>Vita Nominale</b>
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni

In presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in classi d'uso:

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

CLASSE D'USO			
I	II	III	IV
Coefficiente d'uso Cu			
0.7	1	1.5	2

Di seguito vengono riportati i dati sismici, ottenuti in relazione alle caratteristiche dell'opera considerate e i grafici degli spettri elastici SLU-SLE.



Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Latitudine (WGS84):	44,6061000 [°]
Longitudine (WGS84):	11,0301600 [°]
Latitudine (ED50):	44,6070400 [°]
Longitudine (ED50):	11,0311600 [°]

Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	5387,63
2	16282	44,609490	11,033290	319,85
3	16504	44,559510	11,035330	5295,86
4	16503	44,558040	10,965210	7548,18

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,511	0,270
SLV	475	0,164	2,422	0,290
SLC	975	0,216	2,414	0,293

Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,084
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,726	0,896	2,347	2,940
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

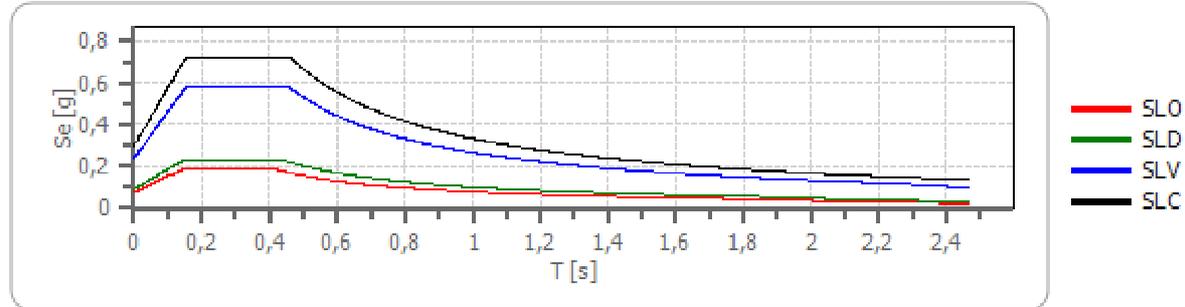
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

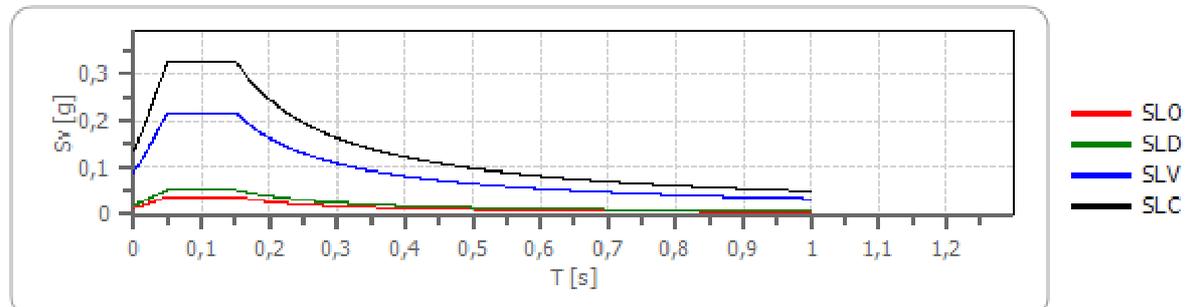
1,000

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,798	0,074	0,184
SLD	1,0	0,061	2,511	0,270	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,844	0,091	0,229
SLV	1,0	0,164	2,422	0,290	1,460	1,580	1,000	1,460	1,000	0,153	0,458	2,256	0,239	0,580
SLC	1,0	0,216	2,414	0,293	1,390	1,570	1,000	1,390	1,000	0,153	0,460	2,463	0,300	0,724

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1	1,650	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,037
SLD	1,0	0,061	2,511	0,270	1	1,620	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,051
SLV	1,0	0,164	2,422	0,290	1	1,580	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,090	0,217
SLC	1,0	0,216	2,414	0,293	1	1,570	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,135	0,326

In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007 e all'Ordinanza RER 70/2012, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle dell'allegato A2 della DAL RER 112/2007. Tali tabelle sono formulate per l'ambito "PIANURA 2", ovvero per una situazione di pianura caratterizzata da profilo stratigrafico con 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 ( $\geq 100$  m da p.c.):

## F.A. P.G.A.

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

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$ 

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

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$ 

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

Considerando la  $V_{S30}$  del sito pari a  $V_{S30} = 245$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.5
- F.A. I.S.  $0.1 s < T_0 < 0.5 s$  = 1.8
- F.A. I.S.  $0.5 s < T_0 < 1.0 s$  = 2.3

## 6. Considerazioni conclusive

La presente relazione ha studiato le caratteristiche dei terreni di un'area del Comune di Castelfranco Emilia e individuata nel PSC del Comune di Castelfranco come "ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera", per la trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC).

Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni:

- La stratigrafia dell'area è costituita da depositi alluvionali recenti scarsamente compatti, con alternanze di limi argilloso-sabbiosi e limi argillosi, con livelli di sabbie.
- A partire dalla profondità di -9/-10 m sono presenti orizzonti di ghiaie e sabbie ghiaiose addensate, non riscontrate nella porzione più a nord del sito (CPT 3).
- I terreni più superficiali, al di sopra del livello di falda, si presentano lievemente sovraconsolidati per effetto dell'essiccamento.
- Al momento dell'esecuzione dell'indagine (luglio 2014), è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale, per risalita all'interno dei fori di prova, alla profondità di -1.80 m dal piano campagna.
- In riferimento a precedenti indagini geognostiche eseguite nei dintorni dell'area oggetto di studio, si stima che il livello statico della prima falda libera superficiale possa raggiungere a seconda della stagionalità valori compresi tra -1.0 m e -2.20 m dal piano campagna.
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, la verifica alla liquefazione effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità (LPI = 0).
- Dall'elaborazione della registrazione del microtremore sismico, nel grafico H/V si individua un primo picco mediamente a 4.5 Hz, riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di -9/-10 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua un secondo picco a circa 1.25 Hz ( $1.25 \pm 0.18$  Hz) corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano

- Per evitare la risonanza terreno-struttura con conseguenti fenomeni di amplificazione in caso di evento sismico, sarà opportuna una progettazione che preveda frequenze di oscillazione delle strutture diverse da quelle individuate.
  - In relazione alla classificazione sismica l'area rientra in zona 3 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".
- Da quanto sopra riportato, si ritengono sufficientemente documentate le condizioni geologiche geotecniche e sismiche del sito in esame, in relazione all'intervento in progetto (ai sensi del DM 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni; Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni").

## ALLEGATI

### A. Elaborati delle indagini geognostiche

Modena, 29 luglio 2014

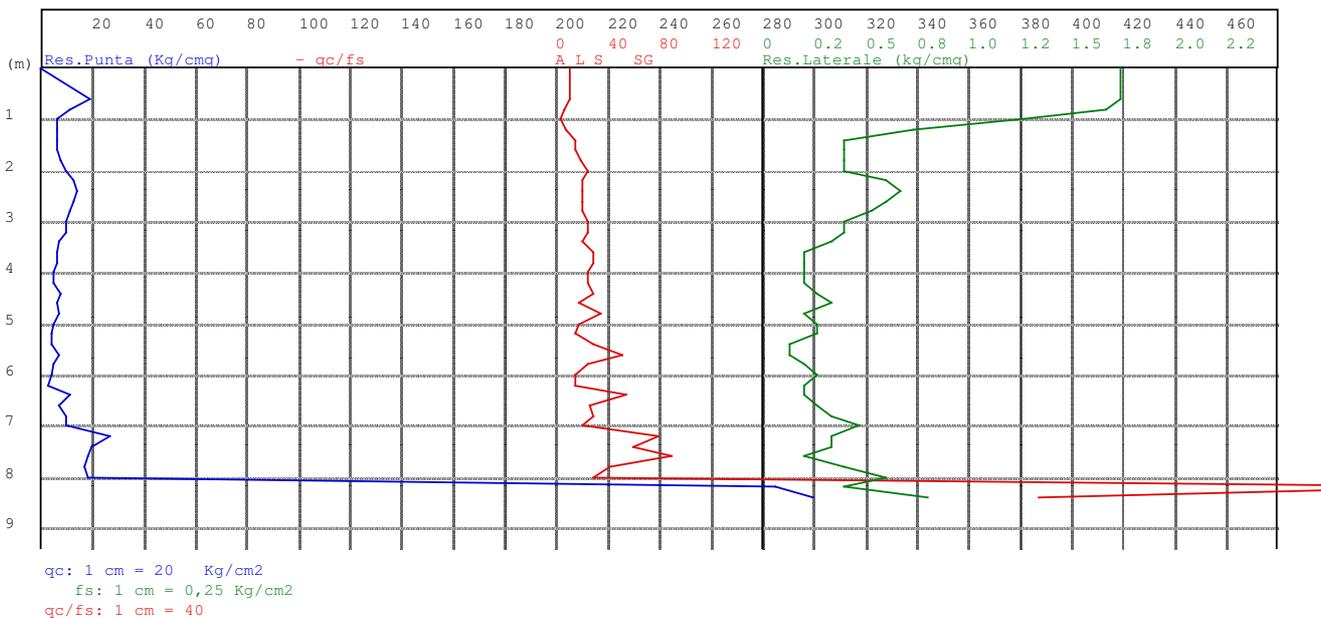
dott. geol. Claudio Preci

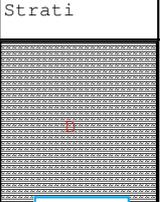
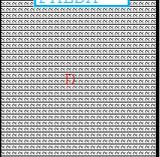
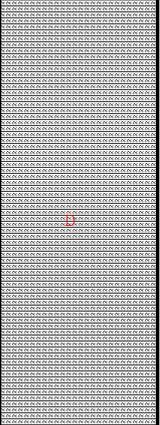


ELABORATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO **A**

CPT n°1 data:23/07/2014 elaborato n° 899  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm3	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.80		Argilla plastica	1769	1769	0.318	0.540	24	0	0.018000	1.1111	1.1e-6
	FALDA										
3.20		Limo argil-sabbioso addensato medio	1775	1125	0.476	0.555	22	0	0.014524	0.7714	8.0e-4
7.00		Limo argil-sabbioso sciolto	1685	1035	0.869	0.272	16	0	0.020327	0.4211	1.8e-3
7.80		Sabbia sciolta	1700	1050	0.953	0.000	21	15	0.024390	1.0250	7.8e-2
8.00		Limo argil-sabbioso	1841	1191	0.977	0.851	21	0	0.015015	1.2000	4.4e-3
8.40		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.023	0.000	30	100	0.002279	14.6250	7.1e-1

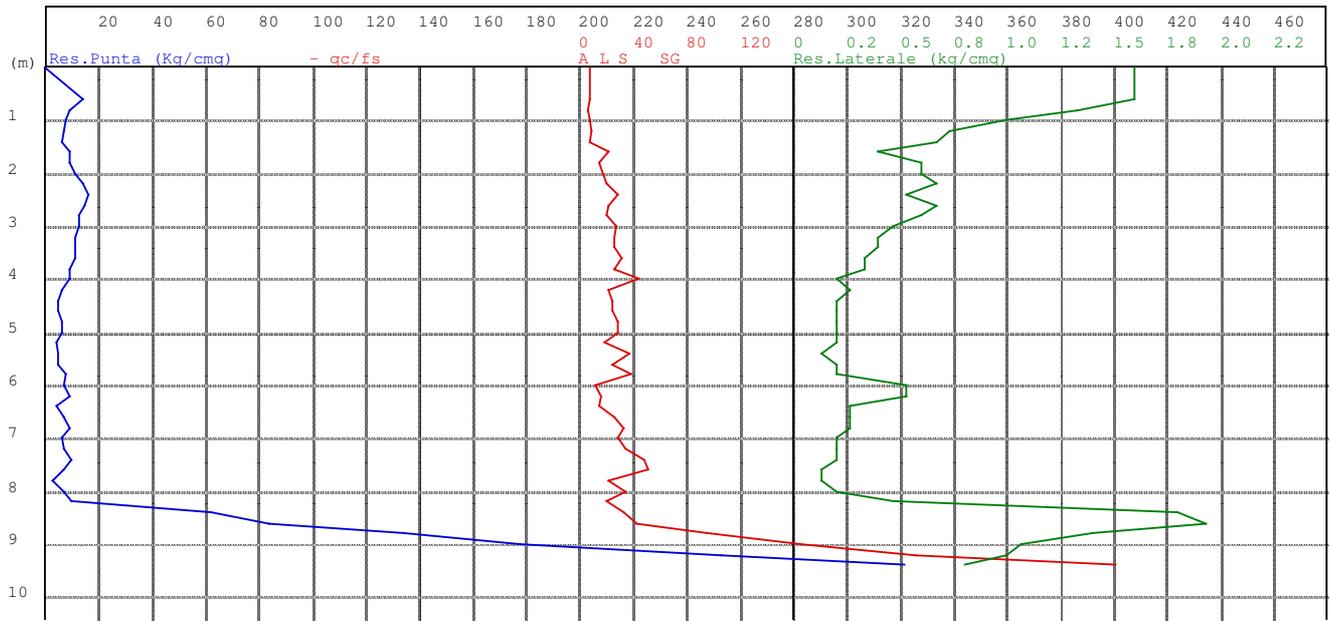
RELAZIONE TECNICA

CPT n°1 data:23/07/2014 elaborato n° 899  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl

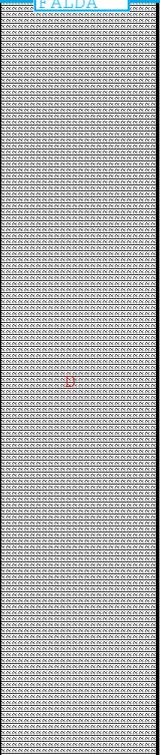
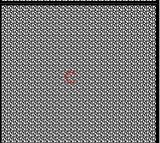
Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	19.00	1.73	10.96
0.80	11.00	1.67	6.60
1.00	6.00	1.27	4.74
1.20	6.00	0.73	8.18
1.40	6.00	0.40	15.00
1.60	6.00	0.40	15.00
1.80	8.00	0.40	20.00
2.00	10.00	0.40	25.00
2.20	13.00	0.60	21.67
2.40	14.00	0.67	21.00
2.60	13.00	0.60	21.67
2.80	11.00	0.53	20.63
3.00	10.00	0.40	25.00
3.20	10.00	0.40	25.00
3.40	7.00	0.33	21.00
3.60	6.00	0.20	30.00
3.80	6.00	0.20	30.00
4.00	5.00	0.20	25.00
4.20	5.00	0.20	25.00
4.40	8.00	0.27	30.00
4.60	6.00	0.33	18.00
4.80	7.00	0.20	35.00
5.00	5.00	0.27	18.75
5.20	4.00	0.27	15.00
5.40	4.00	0.13	30.00
5.60	7.00	0.13	52.50
5.80	5.00	0.20	25.00
6.00	4.00	0.27	15.00
6.20	3.00	0.20	15.00
6.40	11.00	0.20	55.00
6.60	7.00	0.27	26.25
6.80	10.00	0.33	30.00
7.00	10.00	0.47	21.43
7.20	27.00	0.33	81.00
7.40	20.00	0.33	60.00
7.60	18.00	0.20	90.00
7.80	17.00	0.40	42.50
8.00	18.00	0.60	30.00
8.20	285.00	0.40	712.50
8.40	300.00	0.80	375.00



qc: 1 cm = 20 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	K oriz Kg/cm <sup>3</sup>	Perm. cm/sec
1.80		Argilla plastica	1753	1753	0.316	0.484	24	0	0.018182	1.0000	7.7e-7
	FALDA										
8.20		Limo argil-sabbioso sciolto	1727	1077	1.005	0.370	17	0	0.016855	0.5604	1.9e-3
9.40		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.143	0.000	27	84	0.003872	8.6083	2.8e-1

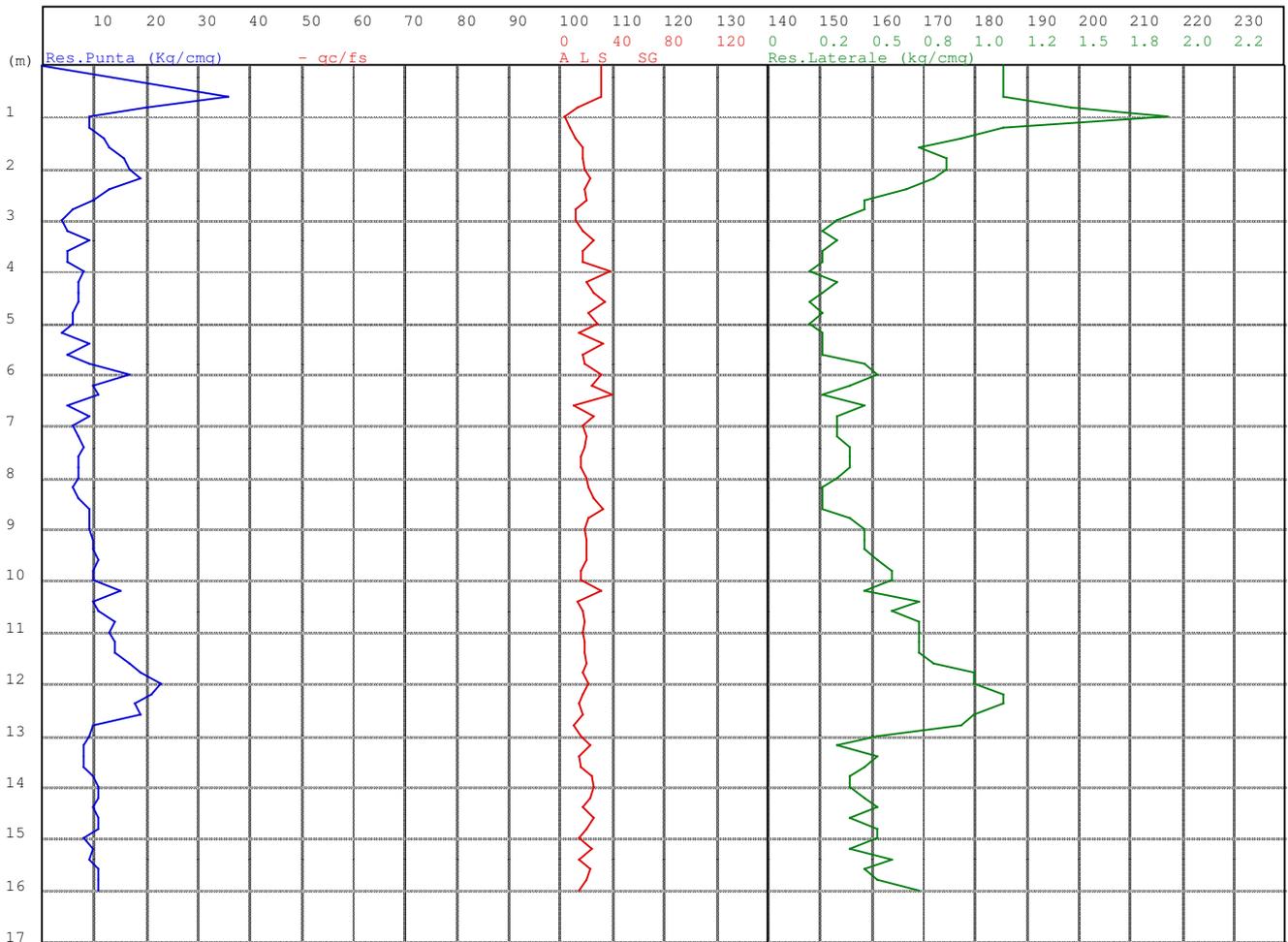
RELAZIONE TECNICA

CPT n°2 data:23/07/2014 elaborato n°900  
 Cantiere: v. Cartiera . Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committent: Elettromeccanica Tironi srl

Quota livello di falda: 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	14.00	1.60	8.75
0.80	9.00	1.33	6.75
1.00	8.00	1.00	8.00
1.20	7.00	0.73	9.55
1.40	6.00	0.67	9.00
1.60	9.00	0.40	22.50
1.80	9.00	0.60	15.00
2.00	11.00	0.60	18.33
2.20	14.00	0.67	21.00
2.40	16.00	0.53	30.00
2.60	15.00	0.67	22.50
2.80	13.00	0.60	21.67
3.00	13.00	0.47	27.86
3.20	11.00	0.40	27.50
3.40	11.00	0.40	27.50
3.60	11.00	0.33	33.00
3.80	9.00	0.33	27.00
4.00	9.00	0.20	45.00
4.20	6.00	0.27	22.50
4.40	5.00	0.20	25.00
4.60	5.00	0.20	25.00
4.80	6.00	0.20	30.00
5.00	6.00	0.20	30.00
5.20	4.00	0.20	20.00
5.40	5.00	0.13	37.50
5.60	5.00	0.20	25.00
5.80	8.00	0.20	40.00
6.00	7.00	0.53	13.21
6.20	9.00	0.53	16.98
6.40	4.00	0.27	15.00
6.60	7.00	0.27	26.25
6.80	9.00	0.27	33.75
7.00	6.00	0.20	30.00
7.20	7.00	0.20	35.00
7.40	10.00	0.20	50.00
7.60	7.00	0.13	52.50
7.80	3.00	0.13	22.50
8.00	7.00	0.20	35.00
8.20	10.00	0.47	21.43
8.40	62.00	1.80	34.44
8.60	84.00	1.93	43.45
8.80	134.00	1.40	95.71
9.00	178.00	1.07	166.88
9.20	253.00	1.00	253.00
9.40	322.00	0.80	402.50



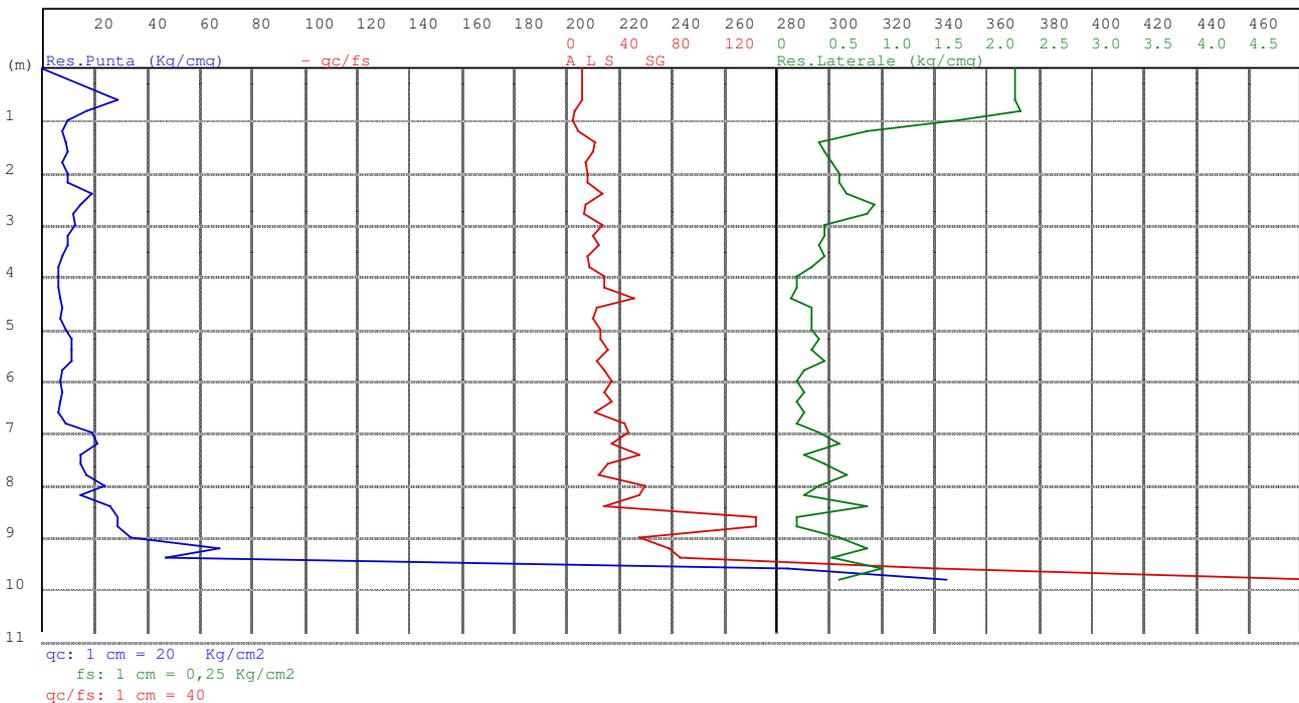
qc: 1 cm = 10 Kg/cm<sup>2</sup>  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm<sup>2</sup>  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
0.80		Limo argil-sabbioso addensato medio	1927	1927	0.154	1.592	34	0	0.010417	2.1333	2.2e-3
1.40		Argilla torbosa consistente	1753	1753	0.259	0.487	25	0	0.018182	1.0000	5.7e-7
		Limo argilloso plastico									
2.60		Limo argil-sabbioso sciolto	1810	1160	0.399	0.713	25	0	0.014010	0.9778	3.6e-4
9.00		Limo argilloso plastico	1708	1058	1.075	0.315	16	0	0.018277	0.4917	7.5e-4
12.60		Limo argilloso soffice	1807	1157	1.492	0.645	18	0	0.014001	0.9593	2.7e-4
16.00		Limo argilloso soffice	1750	1100	1.866	0.398	14	0	0.015514	0.6549	2.4e-4

RELAZIONE TECNICA

CPT n°3 data: 23/07/2014 elaborato n° 901  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR.POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl  
 Quota livello di falda : 1.80  
 Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	36.00	1.13	31.76
0.80	20.00	1.47	13.64
1.00	9.00	1.93	4.66
1.20	9.00	1.13	7.94
1.40	12.00	0.93	12.86
1.60	13.00	0.73	17.73
1.80	16.00	0.87	18.46
2.00	17.00	0.87	19.62
2.20	19.00	0.80	23.75
2.40	13.00	0.67	19.50
2.60	10.00	0.47	21.43
2.80	6.00	0.47	12.86
3.00	4.00	0.33	12.00
3.20	5.00	0.27	18.75
3.40	9.00	0.33	27.00
3.60	5.00	0.27	18.75
3.80	5.00	0.27	18.75
4.00	8.00	0.20	40.00
4.20	7.00	0.33	21.00
4.40	7.00	0.27	26.25
4.60	7.00	0.20	35.00
4.80	6.00	0.27	22.50
5.00	6.00	0.20	30.00
5.20	4.00	0.27	15.00
5.40	9.00	0.27	33.75
5.60	5.00	0.27	18.75
5.80	9.00	0.47	19.29
6.00	17.00	0.53	31.88
6.20	10.00	0.40	25.00
6.40	11.00	0.27	41.25
6.60	5.00	0.47	10.71
6.80	9.00	0.33	27.00
7.00	6.00	0.33	18.00
7.20	7.00	0.33	21.00
7.40	8.00	0.40	20.00
7.60	7.00	0.40	17.50
7.80	7.00	0.40	17.50
8.00	7.00	0.33	21.00
8.20	6.00	0.27	22.50
8.40	7.00	0.27	26.25
8.60	9.00	0.27	33.75
8.80	9.00	0.40	22.50
9.00	9.00	0.47	19.29
9.20	10.00	0.47	21.43
9.40	10.00	0.47	21.43
9.60	11.00	0.53	20.63
9.80	10.00	0.60	16.67
10.00	10.00	0.60	16.67
10.20	15.00	0.47	32.14
10.40	10.00	0.73	13.64
10.60	11.00	0.60	18.33
10.80	14.00	0.73	19.09
11.00	13.00	0.73	17.73
11.20	14.00	0.73	19.09
11.40	14.00	0.73	19.09
11.60	17.00	0.80	21.25
11.80	19.00	1.00	19.00
12.00	23.00	1.00	23.00
12.20	21.00	1.13	18.53
12.40	18.00	1.13	15.88
12.60	19.00	1.00	19.00
12.80	10.00	0.93	10.71
13.00	9.00	0.53	16.88
13.20	8.00	0.33	24.00
13.40	8.00	0.53	15.00
13.60	8.00	0.47	17.14
13.80	10.00	0.40	25.00
14.00	11.00	0.40	27.50
14.20	11.00	0.47	23.57
14.40	10.00	0.53	18.75
14.60	11.00	0.40	27.50
14.80	11.00	0.53	20.63
15.00	8.00	0.53	15.00
15.20	10.00	0.40	25.00
15.40	9.00	0.60	15.00
15.60	11.00	0.47	23.57
15.80	11.00	0.53	20.63
16.00	11.00	0.73	15.00



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
0.80		Argilla limosa molto consistente	1896	1896	0.152	1.292	33	0	0.007692	2.6000	3.3e-5
		Argilla limosa plastica	1737	1737	0.325	0.434	23	0	0.018519	0.9000	2.6e-6
1.80	FALDA										
3.40		Limo argilloso plastico	1785	1135	0.507	0.593	22	0	0.014255	0.8250	3.3e-4
		Limo argil-sabbioso sciolto	1719	1069	0.870	0.354	17	0	0.017440	0.5294	2.6e-3
6.80		Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	1.038	0.000	20	15	0.035088	1.2667	1.4e-2
8.40		Ghiaia molto sciolta	1650	1000	1.078	0.000	21	23	0.017241	1.4500	3.2e-1
8.80		Sabbia ghiaiosa media addensata	1750	1100	1.144	0.000	23	41	0.013423	2.4833	1.1e-1
9.40		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.190	0.000	30	100	0.002120	15.7250	6.6e-1

RELAZIONE TECNICA

CPT n°4 data:23/07/2014 elaborato n°902  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	29.00	2.27	12.79
0.80	17.00	2.33	7.29
1.00	10.00	1.73	5.77
1.20	8.00	0.87	9.23
1.40	9.00	0.40	22.50
1.60	10.00	0.47	21.43
1.80	8.00	0.53	15.00
2.00	10.00	0.60	16.67
2.20	10.00	0.60	16.67
2.40	19.00	0.67	28.50
2.60	15.00	0.93	16.07
2.80	12.00	0.87	13.85
3.00	13.00	0.47	27.86
3.20	10.00	0.47	21.43
3.40	10.00	0.40	25.00
3.60	8.00	0.47	17.14
3.80	6.00	0.33	18.00
4.00	6.00	0.20	30.00
4.20	6.00	0.20	30.00
4.40	7.00	0.13	52.50
4.60	8.00	0.33	24.00
4.80	7.00	0.33	21.00
5.00	9.00	0.33	27.00
5.20	11.00	0.40	27.50
5.40	11.00	0.33	33.00
5.60	11.00	0.47	23.57
5.80	8.00	0.27	30.00
6.00	7.00	0.20	35.00
6.20	8.00	0.27	30.00
6.40	7.00	0.20	35.00
6.60	6.00	0.27	22.50
6.80	9.00	0.20	45.00
7.00	19.00	0.40	47.50
7.20	21.00	0.60	35.00
7.40	15.00	0.27	56.25
7.60	15.00	0.47	32.14
7.80	17.00	0.67	25.50
8.00	24.00	0.40	60.00
8.20	15.00	0.27	56.25
8.40	26.00	0.87	30.00
8.60	29.00	0.20	145.00
8.80	29.00	0.20	145.00
9.00	34.00	0.60	56.67
9.20	68.00	0.87	78.46
9.40	47.00	0.53	88.13
9.60	284.00	1.00	284.00
9.80	345.00	0.60	575.00



REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## INTEGRAZIONE

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007; DGR 2193/2015;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

"ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera"  
"ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa"  
trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)

### Localita'

CARTIERA - MADONNA DEGLI ANGELI

### Committenti

ELETTROMECCANICA TIRONI SRL  
STANZANI ROBERTO E CARLA  
AZ. AGR. MAVORA  
BERGAMINI GIULIO-FORNETTI ROSA  
ANZEVINO TIZIANO

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

MAGGIO 2016

Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel: 059.823020 - Cell: 3398264394  
e-mail: precigeo@virgilio.it

**INDICE**

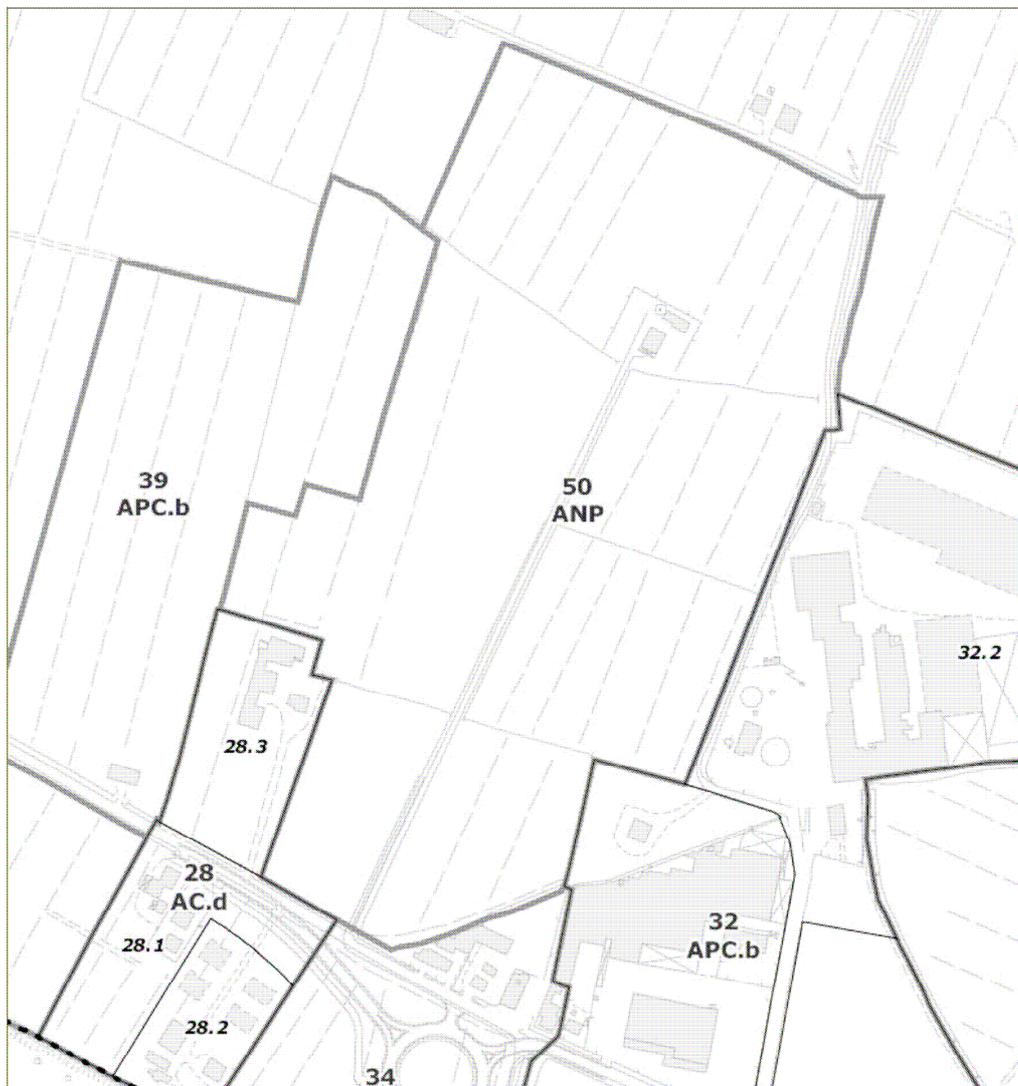
<b>1. Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito.....</b>	<b>6</b>
2.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	9
2.2 Misura del microtremore sismico.....	13
2.3 Azione Sismica.....	21
<b>3. Considerazioni conclusive.....</b>	<b>36</b>

## 1. Premessa

La presente integrazione alle relazioni geologico-geotecniche e sismiche del 29/07/2014 e del 20/10/2014 è stata eseguita come adeguamento alla Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 2193 del 21/12/2015, in base alla richiesta dell'Amministrazione Comunale di Castelfranco Emilia - Settore Tecnico e Sviluppo del Territorio del 6/05/2016 con prot. 27418/2016.

Le precedenti suddette relazioni geologico-geotecniche e sismiche sono state presentate per conto dei committenti, per verificare le caratteristiche dei terreni di alcune aree del Comune di Castelfranco Emilia individuate nel PSC come "ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera" e "ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa", per la trasformazione attuativa dei siti disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC).

Ambito n. 50 Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera	ANP
<i>Politica generale d'ambito: consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo. Attuare le previsioni insediative in conformità allo studio urbanistico relativo all'ambito produttivo sovracomunale per cui il comune risulta candidato al riconoscimento in sede di PTCP. Coordinare gli interventi con gli ambiti produttivi esistenti per creare un'area ecologicamente attrezzata.</i>	



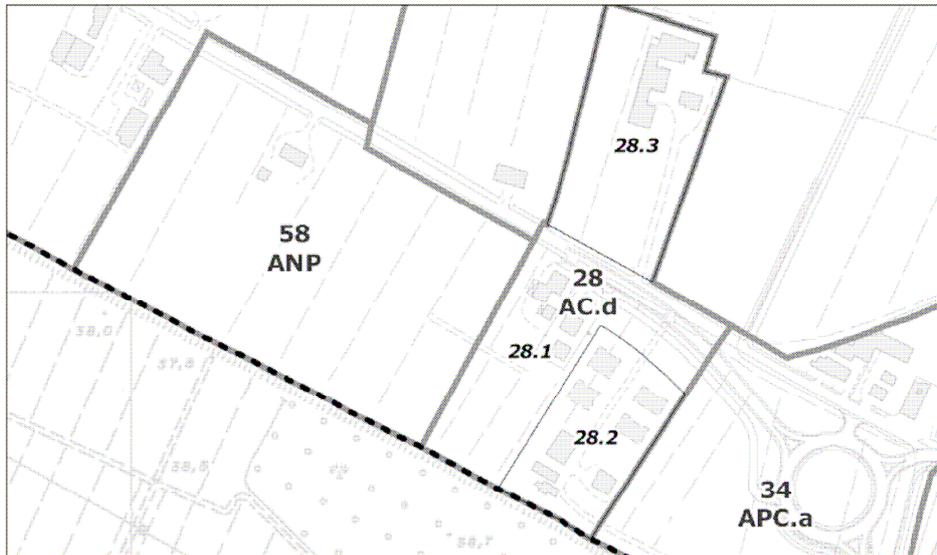
### Localizzazione e caratteri insediativi

L'ambito è individuato a nord della via Emilia ed è contermina agli ambiti produttivi consolidati n. 32, 34 e 39.

Attualmente l'ambito è a destinazione agricola.

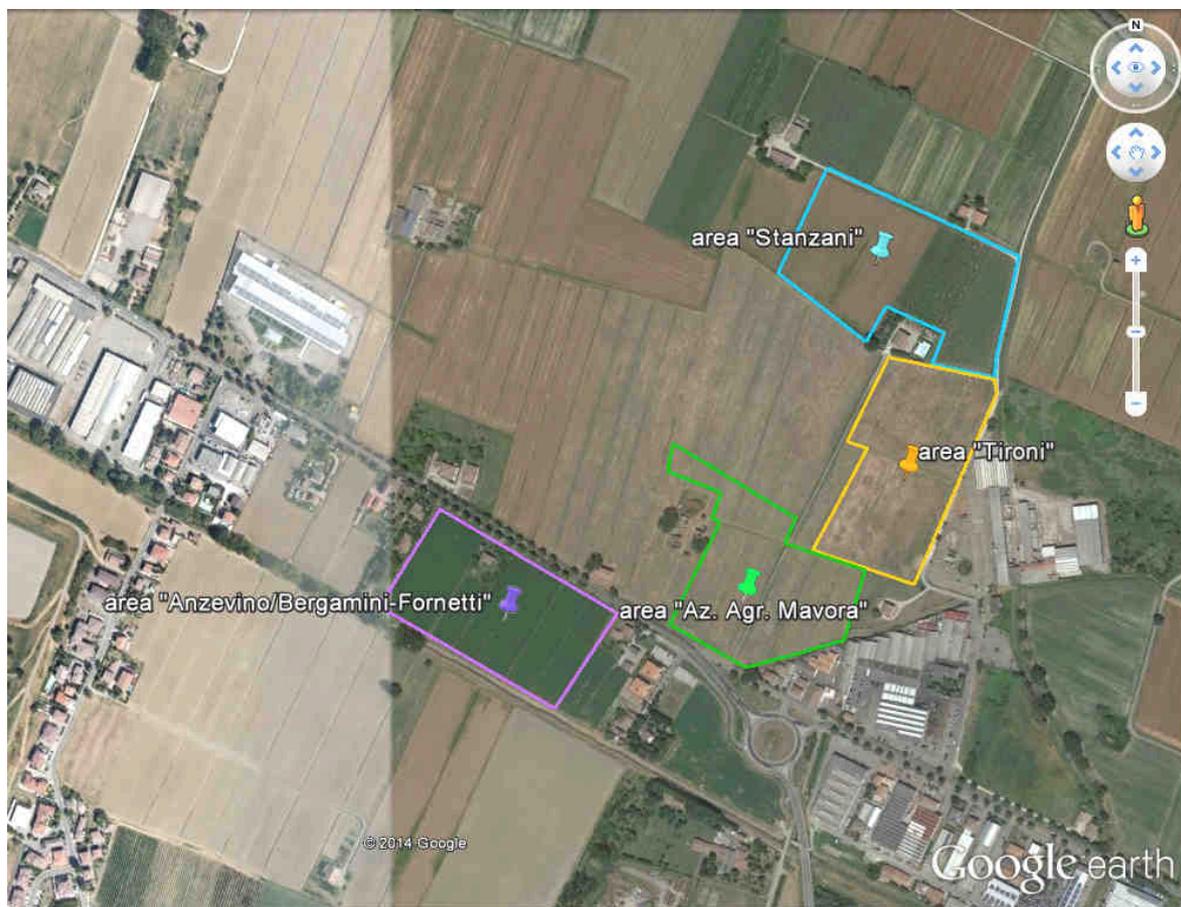
**Ambito n. 58 Capoluogo – nuovo produttivo Graziosa****ANP**

*Politica generale d'ambito: consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo. Attuare le previsioni insediative in conformità allo studio urbanistico relativo all'ambito produttivo sovracomunale per cui il comune risulta candidato al riconoscimento in sede di PTCP. Coordinare gli interventi con gli ambiti produttivi esistenti per creare un'area ecologicamente attrezzata.*

**Localizzazione e caratteri insediativi**

L'ambito è localizzato tra il Diversivo Muzza e la via Emilia ed è contermina all'ambito consolidato produttivo n. 39.

Attualmente l'ambito è a destinazione agricola.

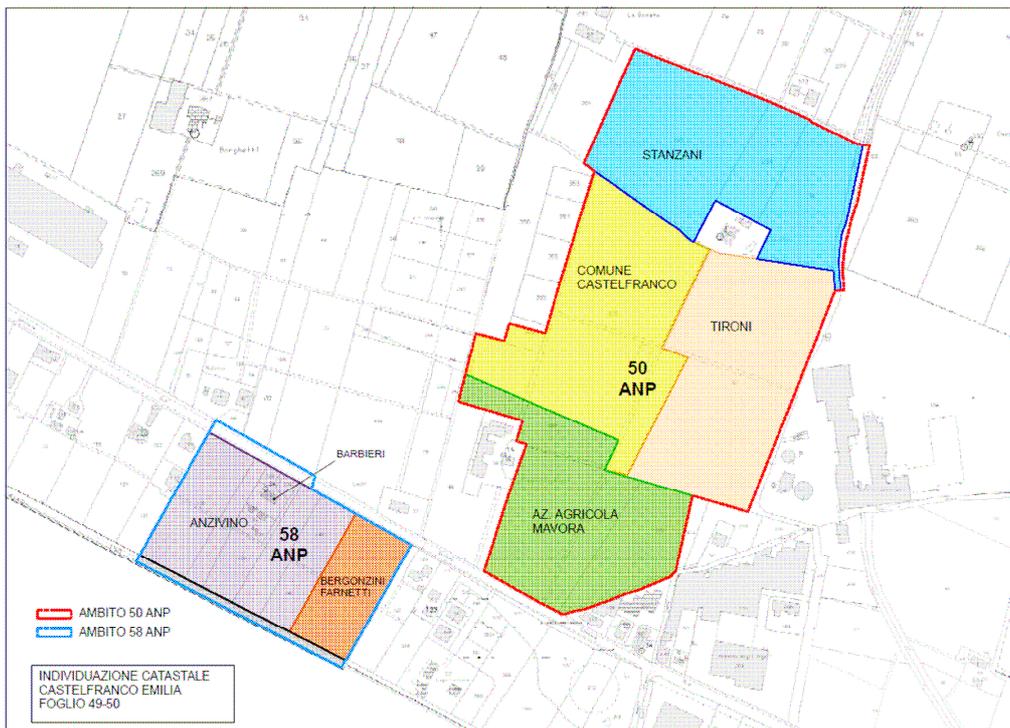


Secondo il DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Per quanto riguarda la modellazione geologica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, si fa riferimento alla relazione del 29/07/2014 (area di proprietà "Elettromeccanica Tironi") e alla relazione del 20/10/2014 (aree di proprietà "Stanzani", "Az. Agr. Mavora" e "Anzevino/Bergamini-Fornetti"). Nella presente integrazione viene riportata la modellazione sismica per le diverse aree di indagine, aggiornata ai sensi della DGR RER n. 2193 del 21/12/2015.

Comparto Ex Cartiera - Via Emilia					
PROPRIETA' INTERNE AL COMPARTO TOTALE (Amb. 50 e 58)					
PROPRIETA'	FOG.	MAPP.	Sup. mq.	Note e %	
Stanzani Roberto e Carla	50	293	24.953		
		294	6.342		
		46	11.955		
		30 parte	1.040	intero map mq 1.939	
<b>Totale</b>			<b>44.290</b>	<b>22%</b>	
Elettromeccanica TIRONI	50	51	38.939		
	<b>Totale</b>			<b>38.939</b>	<b>19%</b>
Az. Agricola Mavora	50	327	8.354		
		272	10.417		
		96	18.750		
<b>Totale</b>			<b>37.521</b>	<b>18%</b>	
Comune di Castelfranco	50	326	41.577		
		366 parte	1.006	intero map mq 1.325	
<b>Totale</b>			<b>42.583</b>	<b>21%</b>	
164.337					
Bergamini Giulio - Fornetti Rosa	49	142	10.810		
	<b>Totale</b>			<b>10.810</b>	<b>5%</b>
	Anzevino Tiziano	49	132	1260	sub 3-5-7 Anzev (casa di Barbieri)
			133	340	
			134	410	
			135	9217	
			139	3380	
			140	3510	
			141	2820	
			170	2883	
			171	4670	
		136	40		
	137	1072			
	138	18			
<b>Totale</b>			<b>29.620</b>	<b>15%</b>	
40.430					
<b>TOTALE COMPLESSIVO PROPRIETA'</b>			<b>203.763</b>	<b>100%</b>	
S.T di Comparto					
Superficie Territ (ST) - AMB 50			<b>164.338</b>		
Superficie Territ (ST) - AMB 58			<b>44.771</b>		
<b>ST Totale</b>			<b>209.109</b>		



I siti oggetto d'indagine sono ubicati al margine ovest dell'abitato di Castelfranco Emilia in zona Cartiera-Madonna degli Angeli, a una quota media di 38 m slm. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25.000 nella Tavola 202 SO "Nonantola" e nei CTR a scala 1:5.000 nell'elemento n. 202133 "Sant'Anna". Nell'archivio NCT comunale le aree sono censite nei foglio n. 49 e n. 50.





## **2. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito**

La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare, con maggiore dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedimenti di microzonazione sismica. Tale procedimento è volto a prevedere e mitigare gli effetti di un evento sismico in una zona di dimensioni urbane, considerando la morfologia superficiale e del substrato, la sua costituzione, la presenza e la profondità della falda freatica e l'eventuale presenza di faglie.

Questa analisi recepisce le indicazioni applicative della Delibera di Giunta Regionale n. 2193/2015 attualmente in vigore. Si considera inoltre la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia Romagna riportata nella OPCM n. 3274 del 20/03/2003, secondo cui il comune di Castelfranco Emilia rientra in zona 3. L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter. Si riporta di seguito un elenco degli eventi sismici più significativi per la storia sismica del sito di indagine:

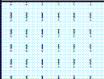
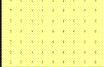
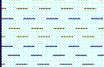
Anno	Me	Gi	AREA	Imx	lo	Lat	Lon	Maw
1561	11	24	FERRARA	65	55	44.78	11.45	4.63
1570	11	17	FERRARA	80	75	44.82	11.63	5.48
1574	3	17	FINALE EMILIA	70	70	44.833	11.294	5.12
1586	1	12	SPILAMBERTO	60	44.583	11		4.83
1666	4	14	BOLOGNA	60	44.5	11.333		4.83

1695	2	28	FERRARA	55	55	44.836	11.618	4.63
1743	5	29	FERRARA	65	65	44.836	11.618	5.03
1779	6	4	BOLOGNESE	70	65	44.45	11.52	4.97
1780	2	6	BOLOGNESE	65	55	44.62	11.32	4.85
1787	7	16	FERRARA	65	55	44.83	11.62	4.63
1796	10	22	EMILIA ORIENTALE	70	70	44.62	11.67	5.63
1801	10	8	BOLOGNA	55	55	44.498	11.34	4.63
1811	7	15	SASSUOLO	70	70	44.572	10.728	5.24
1834	10	4	BOLOGNA	60	55	44.6	11.37	4.63
1850	9	18	MODENA	60	60	44.614	10.965	4.83
1878	3	12	BOLOGNESE	60	60	44.42	11.55	4.83
1881	1	24	BOLOGNESE	70	65	44.32	11.35	5.14
1889	3	8	BOLOGNA	60	60	44.518	11.237	4.83
1908	6	28	FINALE EMILIA SUD	60	44.8	11.3	4.83	
1909	1	13	BASSA PADANA	65	65	44.579	11.688	5.53
1922	5	24	CENTO	45	35	44.862	11.517	4.5
1923	6	28	FORMIGINE	60	60	44.595	10.799	5.21
1929	4	20	BOLOGNESE	80	70	44.47	11.13	5.55
1931	6	10	MODENESE	40	40	44.541	11.021	4.84
1934	9	18	VIGNOLA	40	40	44.495	11.012	4.5
1967	10	1	FORMIGINE	50	44.567	10.95	4.52	
1986	12	6	BONDENO	60	60	44.879	11.334	4.56
1996	10	15	CORREGGIO	70	70	44.782	10.683	5.44
2012	1	25	POVIGLIO		44.854	10.538	4.9	
2012	5	20	FINALE EMILIA		44.89	11.23	5.9	
2012	5	20	FERRARESE		44.831	11.49	5.1	
2012	5	29	MEDOLLA/BASSA MODENESE		44.85	11.09	5.8	

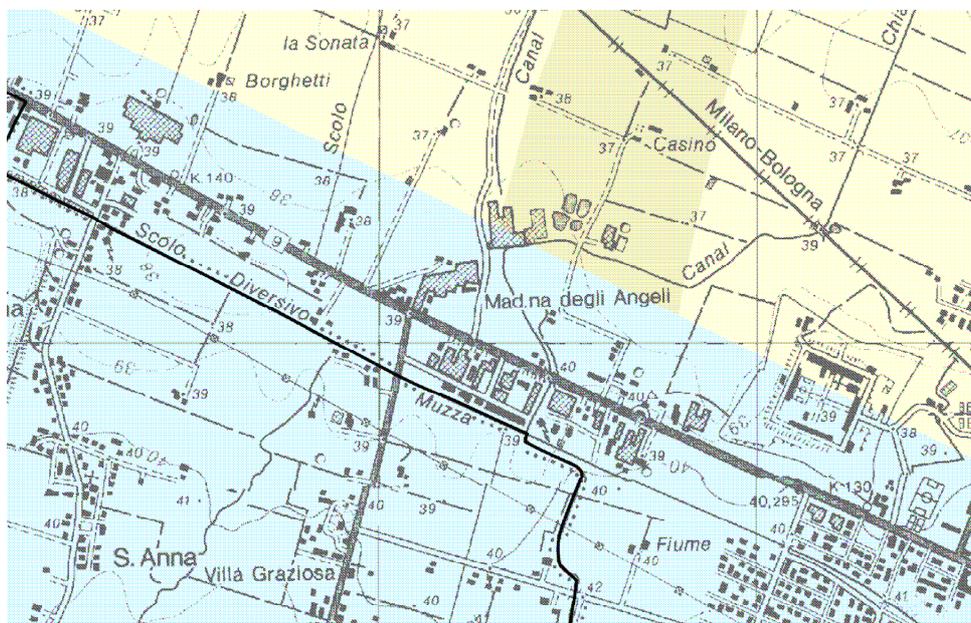
(Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI- INGV, Bologna)

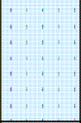
Nel quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali - Tavola 2 a.5 a scala 1:25'000, il territorio in esame insiste su "limi e argille di piana alluvionale". Pertanto in caso di sisma si possono attendere "amplificazione, possibili cedimenti".



Depositi che possono determinare effetti locali	
	<b>ghiaie di conoide</b> effetti attesi: amplificazione; studi: valutazione amplificazione
	<b>sabbie di canale</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi
	<b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b> effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti; studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi
	<b>sabbie sepolte del Po</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi

In relazione al rischio sismico, nelle Carte delle Sicurezze del Territorio del PTCP della Provincia di Modena, Tavola 2.2 a.5 a scala 1:25'000, il territorio in esame è classificato come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti". Sono pertanto richiesti la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi, con approfondimenti di II livello per la microzonazione sismica e di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.



	<b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; microzonazione sismica*: approfondimenti di II livello.
	<b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico; microzonazione sismica*: approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione</b> studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; microzonazione sismica*: approfondimenti di III livello.
	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti</b> studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; microzonazione sismica*: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti

## 2.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove SPT e da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (o IL) di Iwasaki et al. (1982). Le prove CPT sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI (o IL) è un parametro di sintesi che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica e dei parametri di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili. Le classi di potenziale di liquefazione, secondo la proposta di Sonmez (2003), sono le seguenti:

LPI	potenziale di liquefazione
0	non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$15 < LPI$	molto alto

L'elaborazione dell'indagine di campagna fornisce una verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti, individuati con la discretizzazione dei dati delle prove penetrometriche, in base al metodo di Seed e Idriss (1982), che confronta le caratteristiche meccaniche dei terreni ottenute in base ai risultati delle prove in sito e l'eventuale potenzialità nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie. Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco, in cui in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) e in ascissa la resistenza del terreno stimata mediante le prove in sito. Per i terreni coerenti non viene effettuata nessuna verifica per la suscettibilità alla liquefazione. Per i terreni incoerenti vengono calcolati il coefficiente  $C_2$  (rapporto di sforzo ciclico del terreno) ed il coefficiente  $C_1$  (relativo alla curva di magnitudo in caso di evento sismico). Per  $C_1 > C_2$  non si ha la liquefazione, viceversa il livello di terreno esaminato è suscettibile alla liquefazione.

Si considera un evento sismico avente una magnitudo pari al grado 5.5 della scala Richter, compatibile con i dati storici esistenti per l'area in esame (Servizio Geologico RER - INGV).

### Area Elettromeccanica Tironi - CPT n. 1/2/3/4 relazione del 29/07/2014

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.80 Argilla plastica	Terreno coerente		
3.20 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
7.00 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
7.80 Sabbia sciolta	0.1742	0.1374	no
8.00 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
8.40 Ghiaia mediamente addens	63.4712	0.1384	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.80 Argilla plastica	Terreno coerente		
8.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
9.40 Ghiaia mediamente addens	1.8304	0.1396	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 3

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
1.40 Argilla torbosa consiste	Terreno coerente		
2.60 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
9.00 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo@virgilio.it

12.60 Limo argilloso plastico	Terreno coerente
16.00 Limo argilloso soffice	Terreno coerente

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 4

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Argilla limosa molto con	Terreno coerente		
1.80 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
3.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.80 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
8.40 Sabbia argil-limosa adde	0.1593	0.1378	no
8.80 Ghiaia molto sciolta	0.2153	0.1386	no
9.40 Sabbia ghiaiosa media ad	0.3208	0.1396	no
9.80 Ghiaia mediamente addens	62.1406	0.1401	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Elettromeccanica Tironi" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi sopra riportate (LPI = 0). In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.

#### Area Stanzani - CPT n. 1/2/3 relazione del 20/10/2014

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.40 Argilla limosa consisten	Terreno coerente		
3.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.60 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
10.60 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
11.00 Ghiaia sabbiosa sciolta	0.1873	0.1439	no
13.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
15.00 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.00 Argilla torbosa consiste	Terreno coerente		
1.60 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
3.20 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.40 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
7.20 Sabbia sciolta	0.1469	0.1377	no
7.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
8.80 Sabbia argil-limosa adde	0.3086	0.1409	no
10.00 Sabbia ghiaiosa media ad	0.5571	0.1425	no
10.20 Ghiaia mediamente addens	3.5724	0.1427	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 3

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.00 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
3.00 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
3.60 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
6.80 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
8.20 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
9.80 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
10.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
10.80 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
15.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Stanzani" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi sopra riportate (LPI = 0). In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.

**Area Az. Agr. Mavora - CPT n. 4/5 relazione del 20/10/2014**

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 4

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.20 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
4.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
5.60 Sabbia argilloso-limosa	0.0837	0.1390	si
8.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
9.20 Sabbia argill-limosa add	0.4773	0.1456	no
9.40 Ghiaia mediamente addens	62.4672	0.1458	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 5

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.60 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
4.00 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
6.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
7.80 Sabbia lim. mediamente a	0.3072	0.1496	no
8.20 Ghiaia mediamente addens	51.9339	0.1498	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata sull'Area "Az. Agr. Mavora" evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità per la CPT n. 4. In base alle NTC, alla DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in presenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame devono essere valutati con metodologie di III livello.

La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione. L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

- $z_{crit}$  indica la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie;
- $F(z)$  è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità in funzione del valore che assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL;
- $w(z)$  è un fattore di peso della profondità.

Tradizionalmente la profondità "critica" è assunta pari a 20 m, ma recentemente Özocak e Sert (2010) hanno proposto di assumere per terremoti di magnitudo ordinaria la profondità critica pari a 10 m.

Pertanto

- per  $z_{crit} = 20$  m è  $w(z) = 10 - 0.5z$ ;
- per  $z_{crit} = 10$  m è  $w(z) = 20 - 2z$ .

Ad una data quota  $z$  la variabile  $F(z) = F$  vale:

- $F = 1 - FSL$  se  $FSL \leq 0.95$
- $F = 0$  se  $FSL \geq 1.2$
- $F(z) = 2 \cdot 10^6 \exp(-18.427 FSL)$  per  $1.2 > FSL > 0.95$

dove FSL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata e definito come  $FSL = (CRR_{7.5}/CSR) \cdot MSF$ ; MSF è il fattore di scala della magnitudo, ricavabile dalla tabella seguente:

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

(da: DAL RER 112/2007; Università di Firenze - Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU, marzo 2013)

In relazione ai livelli potenzialmente soggetti a liquefazione individuati, alla magnitudo utilizzata ( $M$  5.5 e  $MSF = 1.43$ ) e considerando una profondità critica pari a 10 m, si ottengono i seguenti valori di LPI per la verticale della CPT eseguita nell'area in esame:

Indagine	LPI <sub>1</sub>	LPI <sub>2</sub>
CPT 1	5.36	0

Pertanto, sulle due indagini CPT considerate, l'area in esame presenta un  $LPI_{MEDI0} = 2.68$  che secondo la classificazione di Sonmez (2003) determina un potenziale di liquefazione "moderato" per  $2 < LPI \leq 5$ .

#### Area Anzevino e Bergamini-Fornetti - CPT n. 6/7/8 relazione del 20/10/2014

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 6

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.40 Limo argilloso consisten		Terreno coerente	
2.40 Limo argilloso soffice		Terreno coerente	
4.00 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
4.60 Limo argilloso soffice		Terreno coerente	
7.60 Limo argilloso molto sof		Terreno coerente	
8.20 Limo argil-sabbioso adde		Terreno coerente	
8.60 Ghiaia mediamente addens	25.5606	0.1407	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 7

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60 Limo argilloso consisten		Terreno coerente	
4.00 Limo argilloso plastico		Terreno coerente	
8.20 Limo argilloso soffice		Terreno coerente	
12.20 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
12.80 Sabbia argil-limosa adde	0.1816	0.1443	no
13.40 Ghiaia mediamente	2.5466	0.1447	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 8

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60 Limo argilloso molto con		Terreno coerente	
3.60 Argilla limosa plastica		Terreno coerente	
8.80 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
9.20 Sabbia sciolta	0.1537	0.1397	no
11.00 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
12.40 Limo argilloso plastico		Terreno coerente	
14.20 Limo argil-sabbioso scio		Terreno coerente	
14.60 Sabbia limosa addensata	0.8412	0.1448	no
15.00 Ghiaia mediamente addens	4.1930	0.1450	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Anzivino/Bergonzini-Farnetti" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi sopra riportate ( $LPI = 0$ ). In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni

predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.

La valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. Per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito. Un'indicazione dei cedimenti post-sismici nel caso di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici ( $c_u \leq 70 \text{ kPa}/0.7 \text{ kg/cm}^2$ ) con spessore  $\geq 5 \text{ m}$ , in cui si preveda un incremento delle pressioni interstiziali  $r_u \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento, può essere valutata tramite le indicazioni della DAL RER 112/2007, dove per un generico strato di spessore H il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$$

con  $\varepsilon_{vr}$  (%) deformazione volumetrica post-ciclica determinata dalla formula

$$\varepsilon_{vr} = \alpha C_r * (1 + e_0) * \log(1/1 - r_u)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale;  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 * C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione;  $r_u$  è il rapporto di pressione interstiziale

Tabella 2 – Rapporto di pressione interstiziale  $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  in funzione di  $\gamma_{max}$

$\gamma_{max}$ [%]	$r_u$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Considerando prove edometriche di laboratorio, limiti di Atterberg e analisi granulometriche di terreni aventi le stesse caratteristiche litologiche di quelli del territorio in esame, il valore di  $\varepsilon_{vr}$  può essere stimato in  $3 \cdot 10^{-3}$ . In base alla formula  $\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$  considerando uno spessore medio di 10 m, si ottiene un valore teorico stimato di 3 cm, indicativo per le diverse aree esaminate.

## 2.2 Misura del microtremore sismico

La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. L'elaborazione dei dati, acquisiti con tempi di registrazione di 14 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz, permette di evidenziare, sottoforma di picchi nello spettro del rapporto H/V, i contrasti di impedenza tra litotipi a rigidità diversa che determinano possibili fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

## TROMINO – AREA ELETTROMECCANICA TIRONI SRL – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 23/07/14 09:23:02 Fine registrazione: 23/07/14 09:37:03

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 76% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

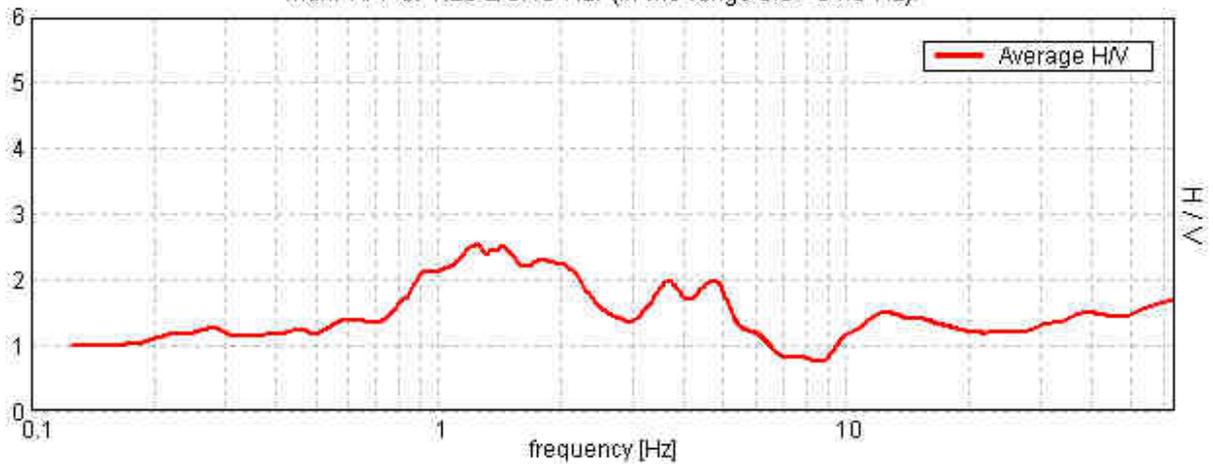
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamiento: Triangular window

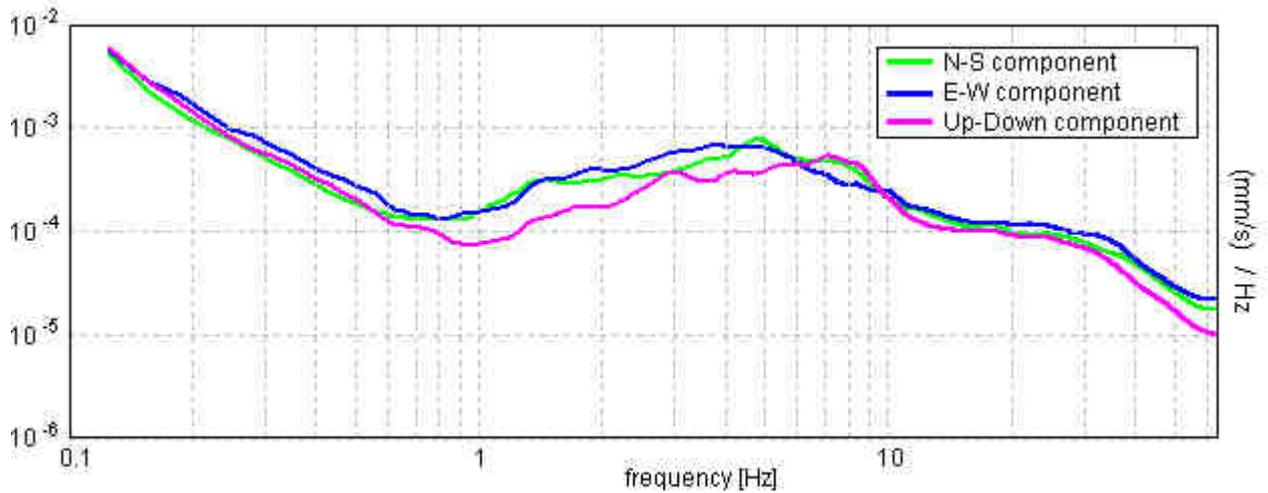
Lisciamiento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Max. H/V at  $1.25 \pm 0.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

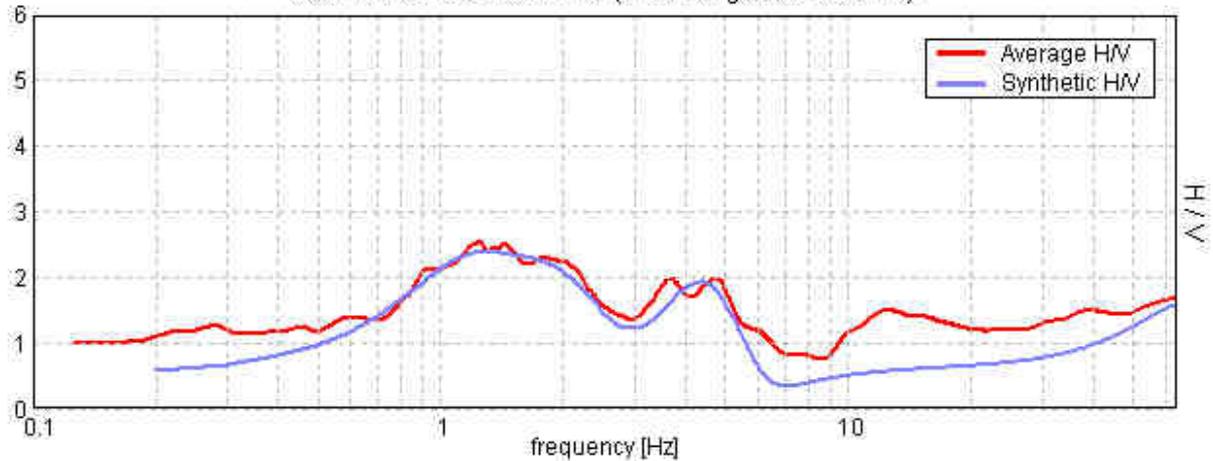


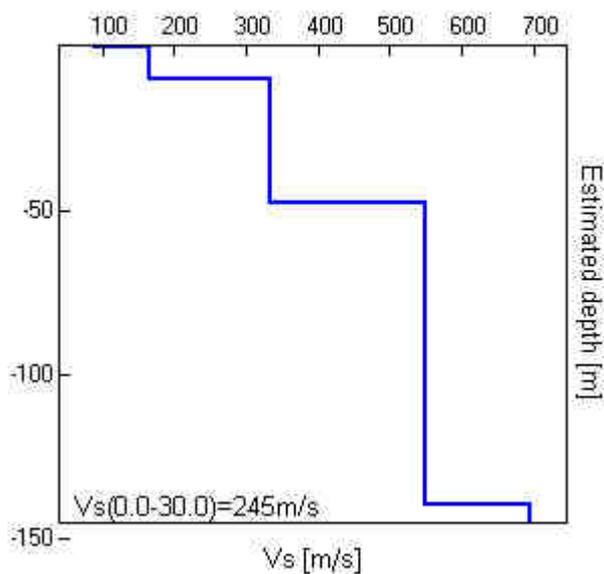
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Max. H/V at  $1.25 \pm 0.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
0.30	90
10.00	164
48.00	333
140.00	550
inf.	695

**Vs<sub>30</sub> = 245 m/s**

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un primo picco mediamente a 4.5 Hz, riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di -9/-10 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento.

Si individua un secondo picco a circa 1.25 Hz (1.25 ± 0.18 Hz) corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano.

Per evitare la risonanza terreno-struttura con conseguenti fenomeni di amplificazione in caso di evento sismico, sarà opportuna una progettazione che preveda frequenze di oscillazione delle strutture diverse da quelle individuate. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di Vs<sub>30</sub> = 245 m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs<sub>30</sub> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT<sub>30</sub> < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu<sub>30</sub> < 250 kPa nei terreni a grana fina)".

### **TROMINO – AREA STANZANI – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA**

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 09:29:23 Fine registrazione: 30/09/14 09:43:24

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

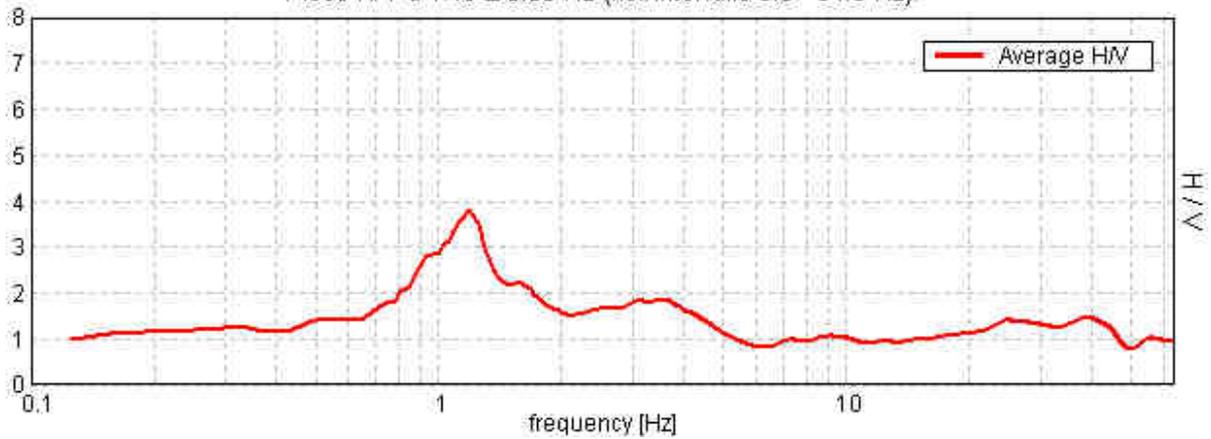
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

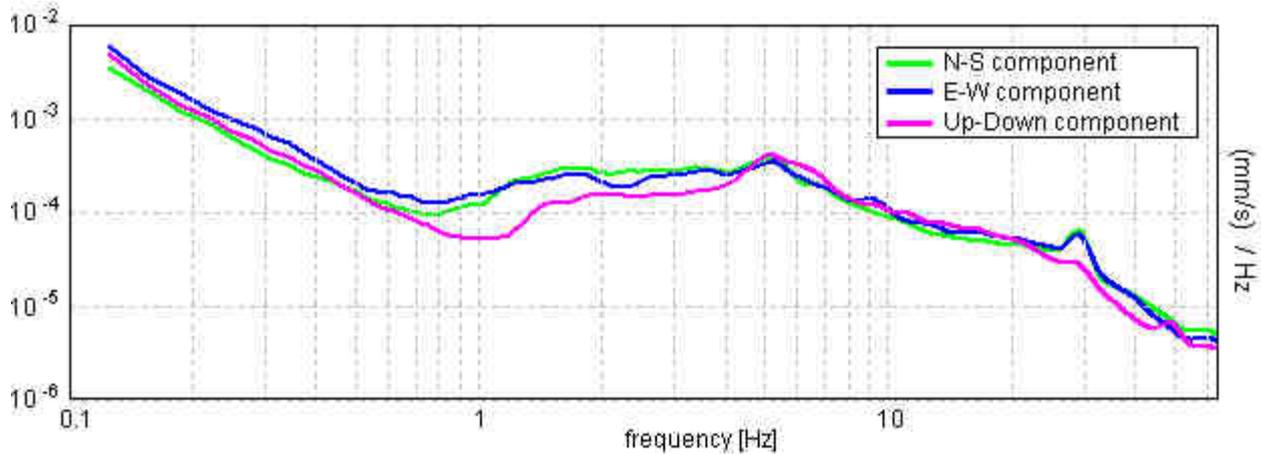
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Picco H/V a  $1.19 \pm 0.06$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)

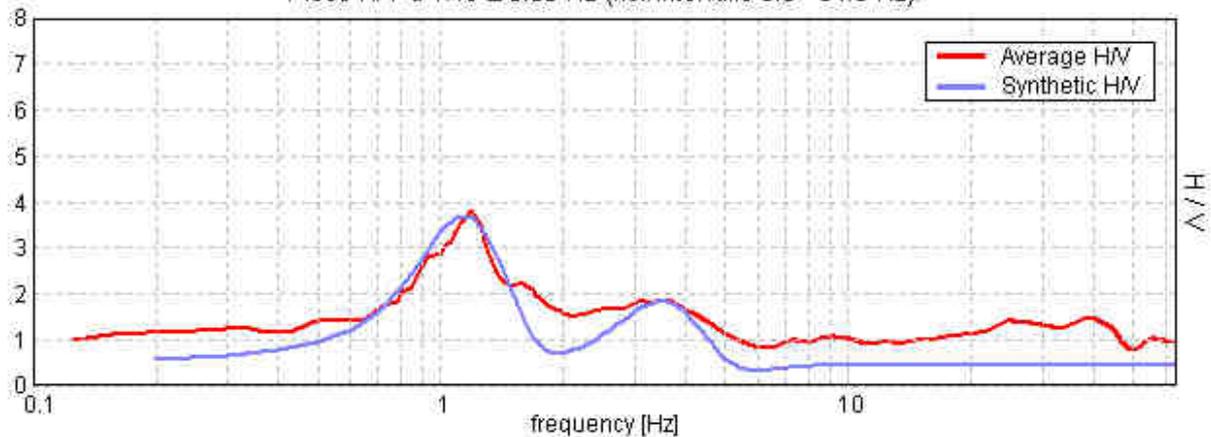


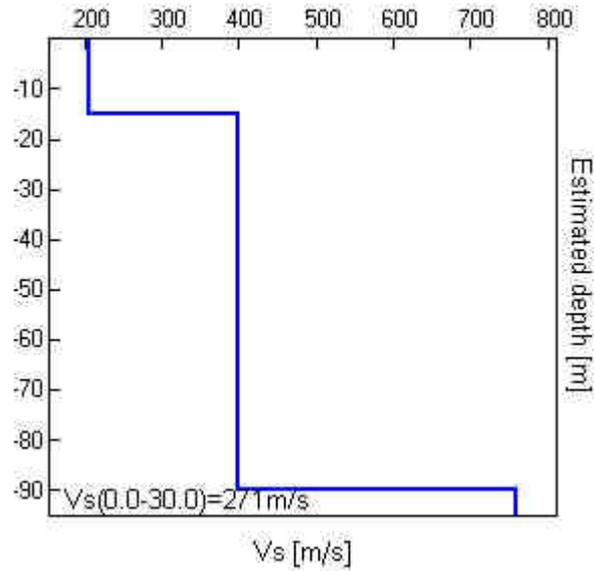
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $1.19 \pm 0.06$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
15.00	205
90.00	400
inf.	760

$$V_{s30} = 271 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un primo picco mediamente a 3.5 Hz, riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire da profondità maggiori di -15 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua un secondo picco a circa 1.20 Hz ( $1.19 \pm 0.06$  Hz) corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 271$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

### TROMINO – AREA AZ. AGR. MAVORA – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 13:05:12 Fine registrazione: 30/09/14 13:19:13

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 74% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

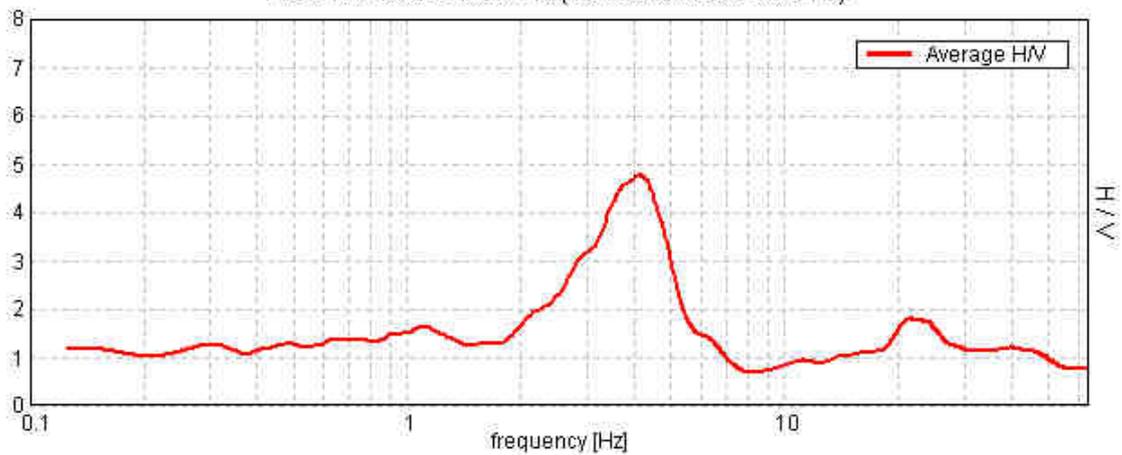
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

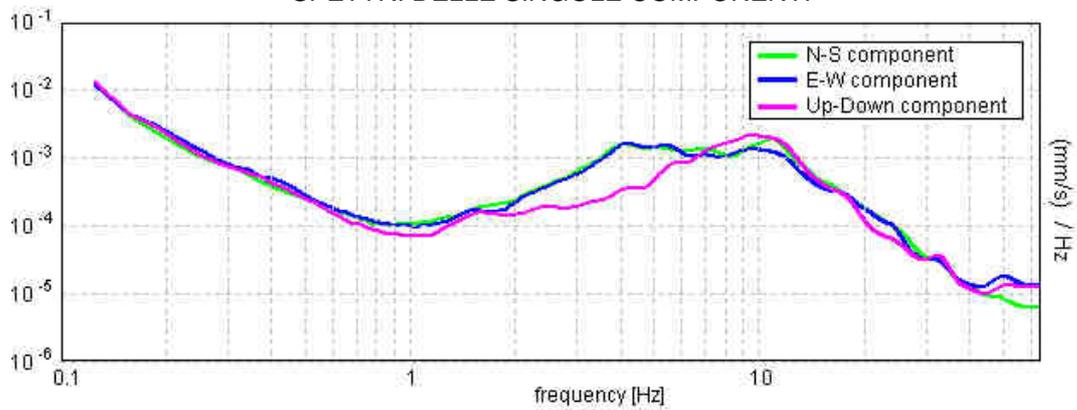
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Picco H/V a  $4.09 \pm 0.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

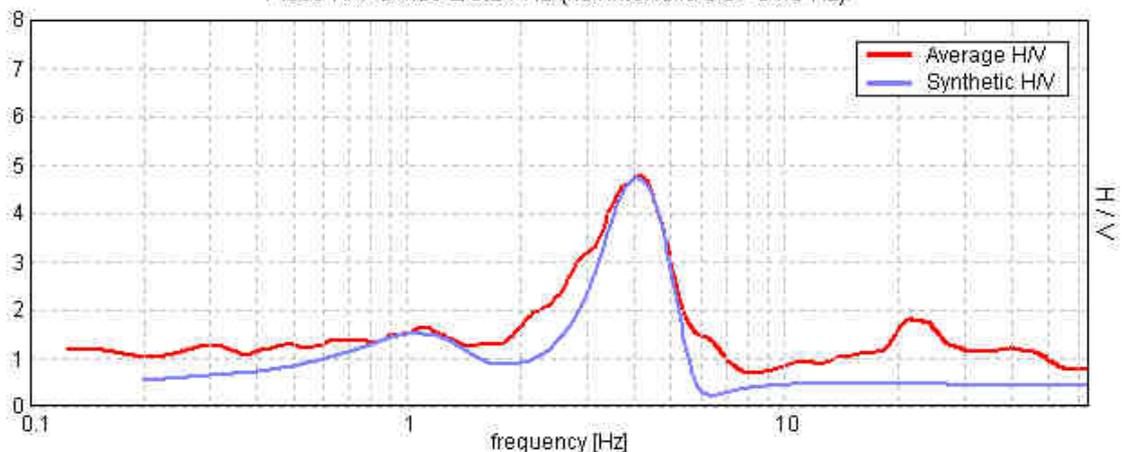


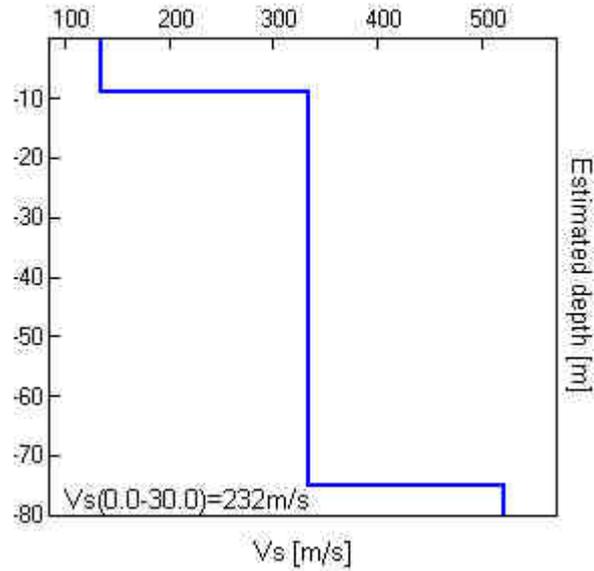
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $4.09 \pm 0.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
9.00	136
75.00	333
inf.	520

$$V_{s30} = 232 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 4 Hz ( $4.09 \pm 0.24$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di circa -9 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 232$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine sarebbe riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

Considerando tuttavia la presenza di livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, si ritiene opportuno classificare l'area in esame in categoria S2, che comprende "Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti".

### **TROMINO – AREA ANZEVINO/BERGAMINI-FORNETTI – AMBITO N. 58 NUOVO PRODUTTIVO GRAZIOSA**

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 17:35:48 Fine registrazione: 30/09/14 17:49:49

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 71% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

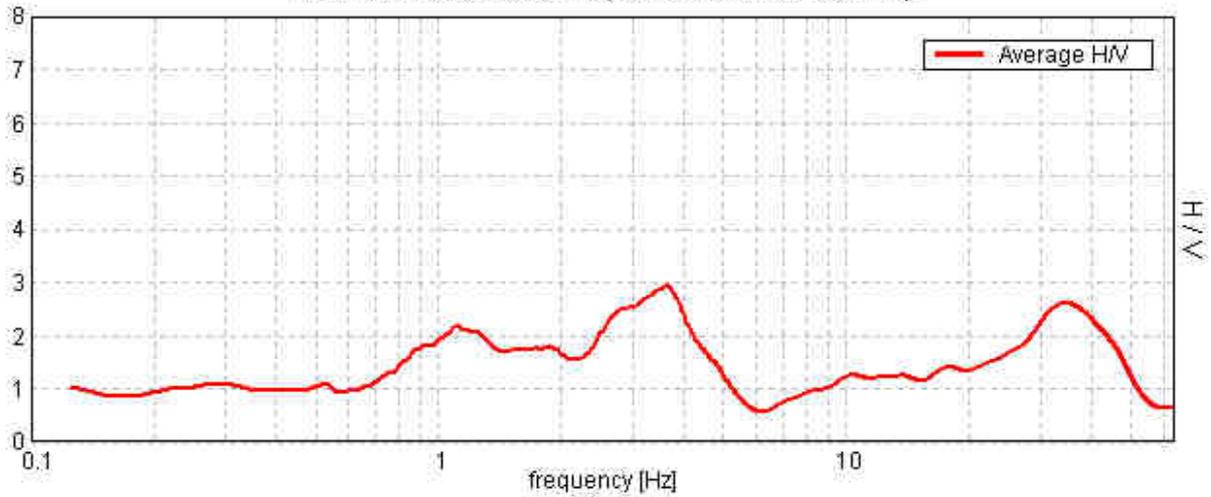
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

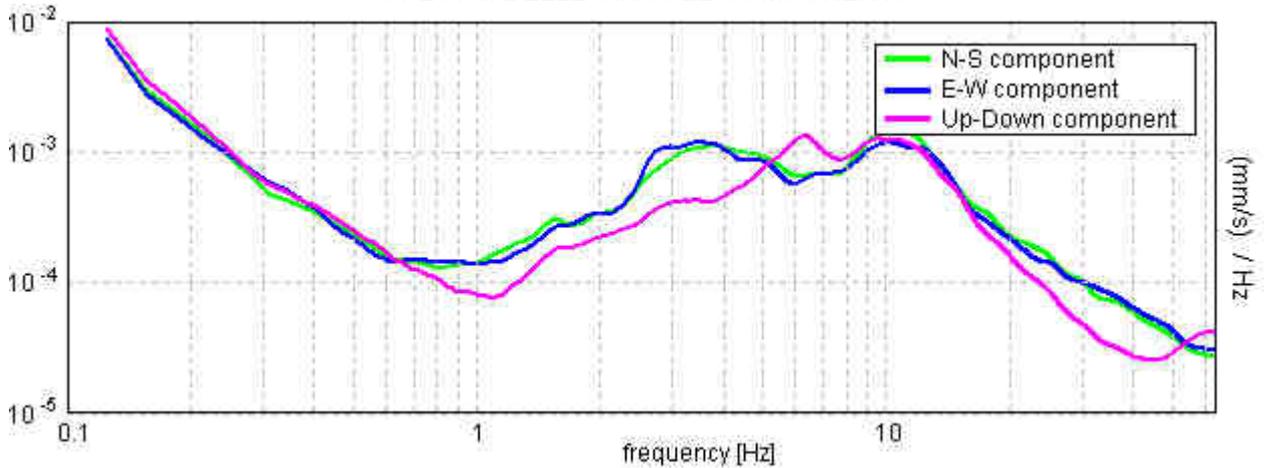
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Picco H/V a  $3.63 \pm 8.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

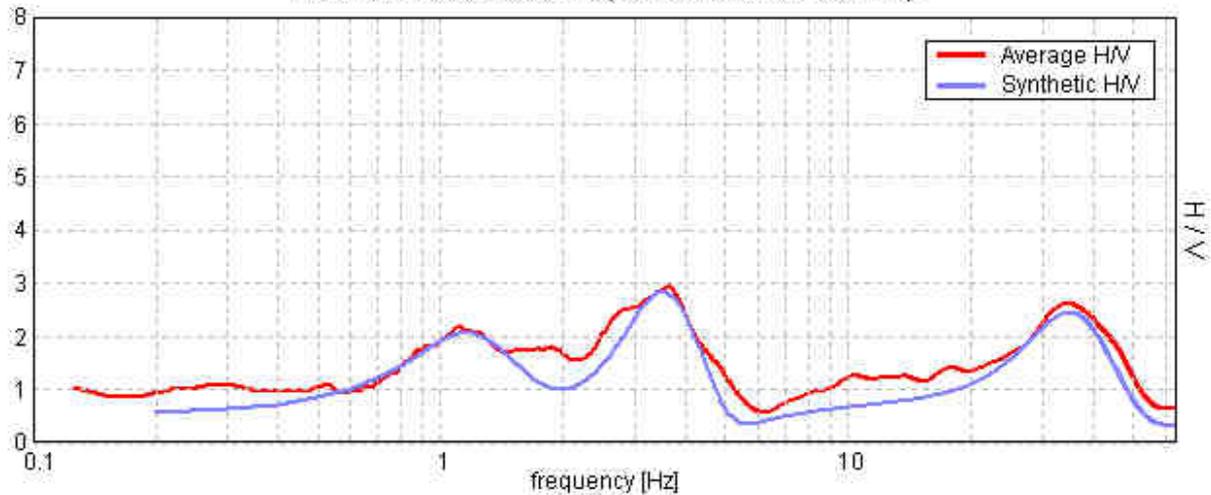


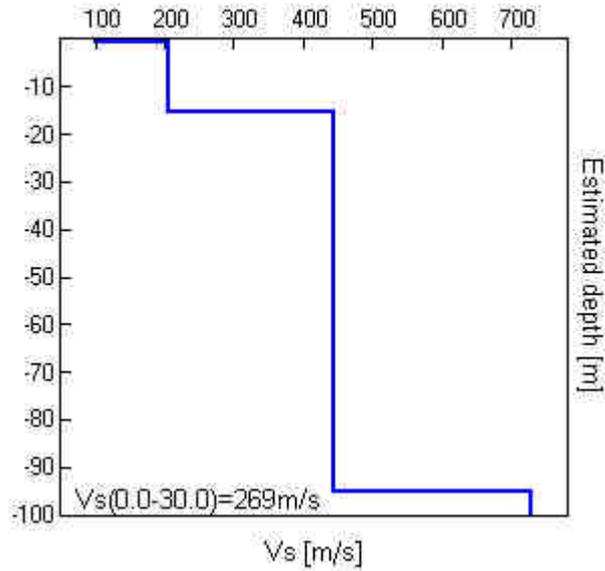
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $3.63 \pm 8.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
0.70	100
15.50	206
95.00	445
inf.	730

**Vs<sub>30</sub> = 269 m/s**

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 3.60 Hz ( $3.63 \pm 8.03$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di circa -15 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua anche un secondo picco alla frequenza di circa 1.20 Hz, tipica del Bacino Sedimentario Padano. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 269$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

### 2.3 Azione Sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);

- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  = 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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- $F_0$  e  $T_c^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare la vita di riferimento VR della costruzione, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche. La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Vita nominale per diversi tipi di opere - TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni

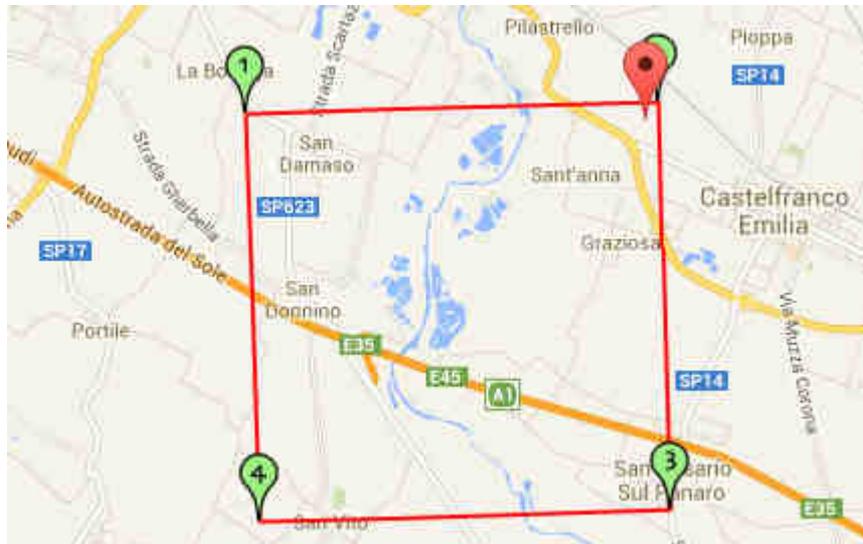
In presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in classi d'uso:

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

CLASSE D'USO			
I	II	III	IV
Coefficiente d'uso $C_u$			
0.7	1	1.5	2

Di seguito vengono riportati i dati sismici e i grafici degli spettri elastici SLU, ottenuti in relazione alle caratteristiche dell'opera considerata per un terreno di tipo C.

### Area Elettromeccanica Tironi



Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Latitudine (WGS84): 44,6061000 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11,0301600 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,6070400 [°]  
 Longitudine (ED50): 11,0311600 [°]

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	5387,63
2	16282	44,609490	11,033290	319,85
3	16504	44,559510	11,035330	5295,86
4	16503	44,558040	10,965210	7548,18

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,511	0,270
SLV	475	0,164	2,422	0,290
SLC	975	0,216	2,414	0,293

Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

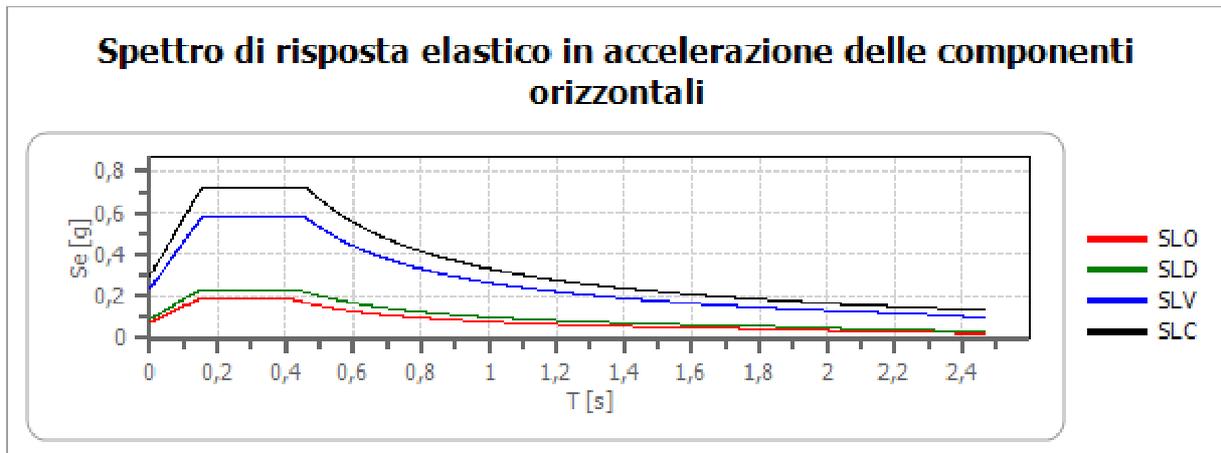
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,084
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,726	0,896	2,347	2,940
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

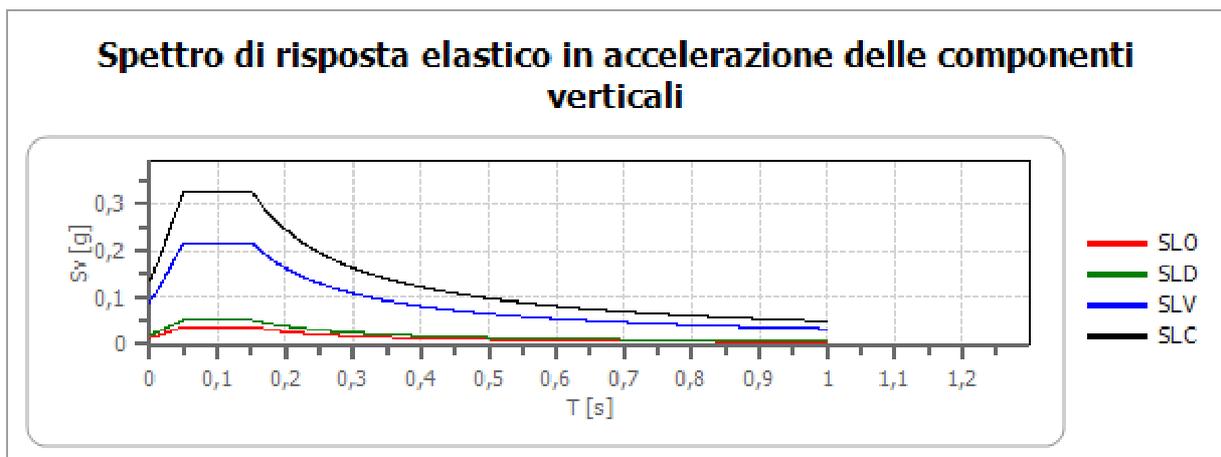
5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000



cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,798	0,074	0,184
SLD	1,0	0,061	2,511	0,270	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,844	0,091	0,229
SLV	1,0	0,164	2,422	0,290	1,460	1,580	1,000	1,460	1,000	0,153	0,458	2,256	0,239	0,580
SLC	1,0	0,216	2,414	0,293	1,390	1,570	1,000	1,390	1,000	0,153	0,460	2,463	0,300	0,724



cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1	1,650	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,037
SLD	1,0	0,061	2,511	0,270	1	1,620	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,051
SLV	1,0	0,164	2,422	0,290	1	1,580	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,090	0,217
SLC	1,0	0,216	2,414	0,293	1	1,570	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,135	0,326

In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015, relative all'ambito A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA - PIANURA 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

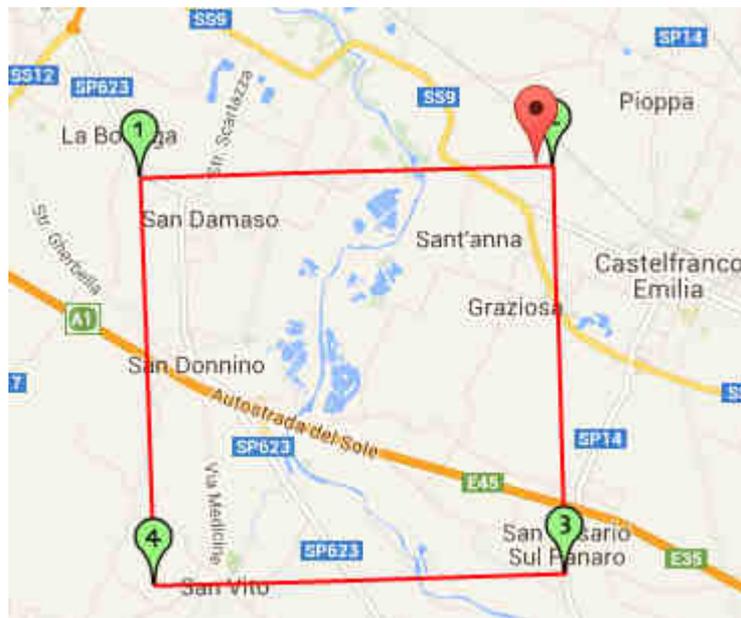
$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

Considerando la  $V_{s30}$  del sito pari a  $V_{s30} = 245$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.7
- F.A. SI 1 = 1.9
- F.A. SI 2 = 2.7
- F.A. SI 3 = 2.9

#### Area Stanzani



Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Latitudine (WGS84):	44,6084400 [°]
Longitudine (WGS84):	11,0297400 [°]
Latitudine (ED50):	44,6093800 [°]
Longitudine (ED50):	11,0307400 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	5354,67
2	16282	44,609490	11,033290	202,61
3	16504	44,559510	11,035330	5557,51
4	16503	44,558040	10,965210	7715,06

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,512	0,271
SLV	475	0,164	2,424	0,289
SLC	975	0,216	2,415	0,292

Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,084
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,726	0,895	2,349	2,945
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

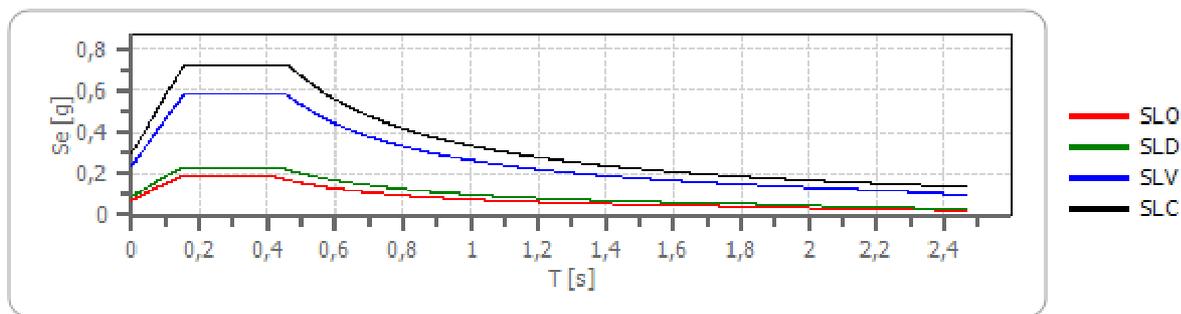
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

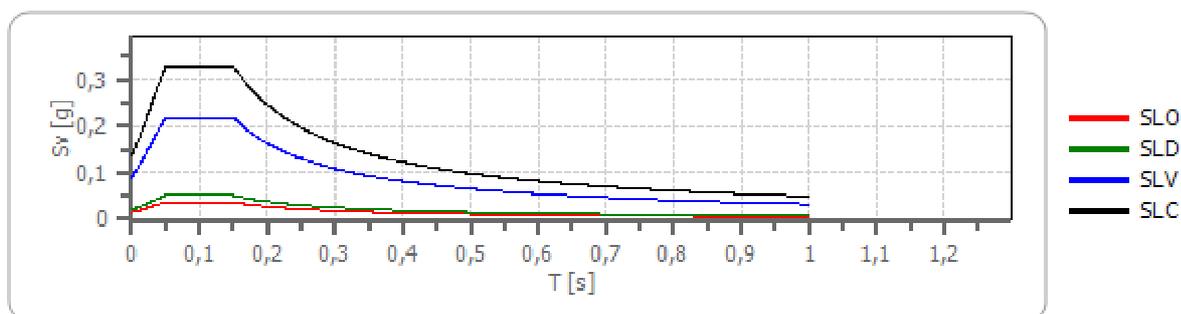
1,000

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,797	0,074	0,184
SLD	1,0	0,061	2,512	0,271	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,843	0,091	0,229
SLV	1,0	0,164	2,424	0,289	1,460	1,580	1,000	1,460	1,000	0,152	0,457	2,256	0,239	0,580
SLC	1,0	0,216	2,415	0,292	1,390	1,580	1,000	1,390	1,000	0,154	0,461	2,464	0,300	0,725

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,049	2,481	0,255	1	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,037
SLD	1,0	0,061	2,512	0,271	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,051
SLV	1,0	0,164	2,424	0,289	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,090	0,217
SLC	1,0	0,216	2,415	0,292	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,136	0,327

In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015, relative all'ambito A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA - PIANURA 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

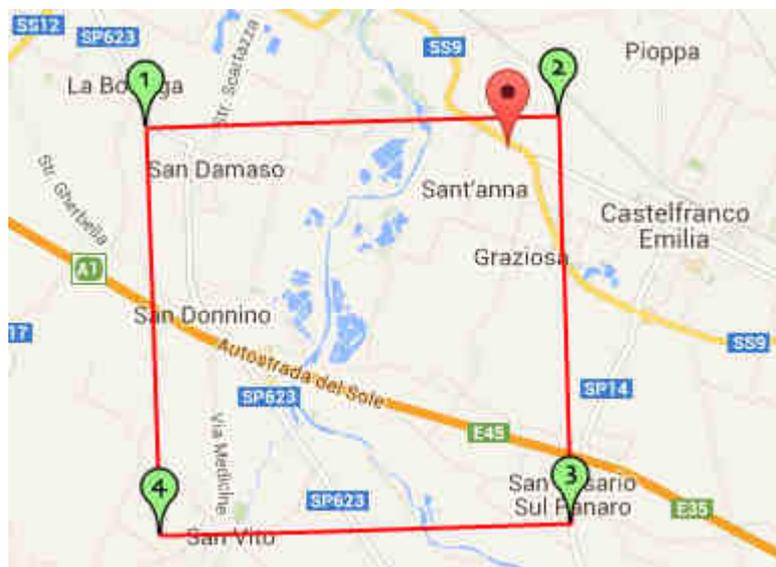
$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

Considerando la  $V_{s30}$  del sito pari a  $V_{s30} = 271$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.6
- F.A. SI 1 = 1.8
- F.A. SI 2 = 2.4
- F.A. SI 3 = 2.5

#### Area Anzevino e Bergamini-Fornetti



Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Latitudine (WGS84): 44,6043700 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11,0237800 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,6053100 [°]  
 Longitudine (ED50): 11,0247800 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	4890,89
2	16282	44,609490	11,033290	818,05
3	16504	44,559510	11,035330	5161,02
4	16503	44,558040	10,965210	7063,39

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,510	0,270
SLV	475	0,164	2,414	0,292
SLC	975	0,214	2,411	0,296

Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

## Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

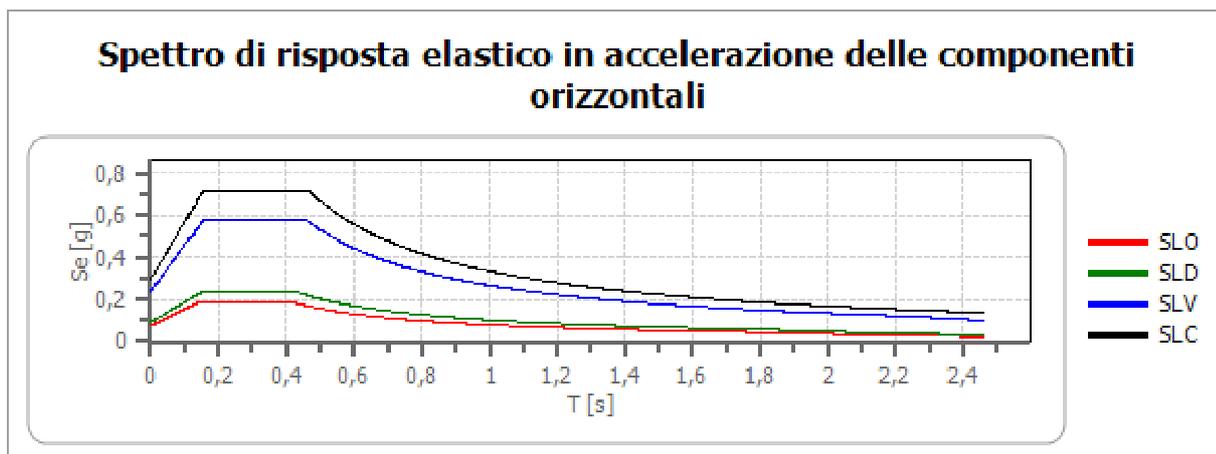
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,083
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,730	0,900	2,343	2,923
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

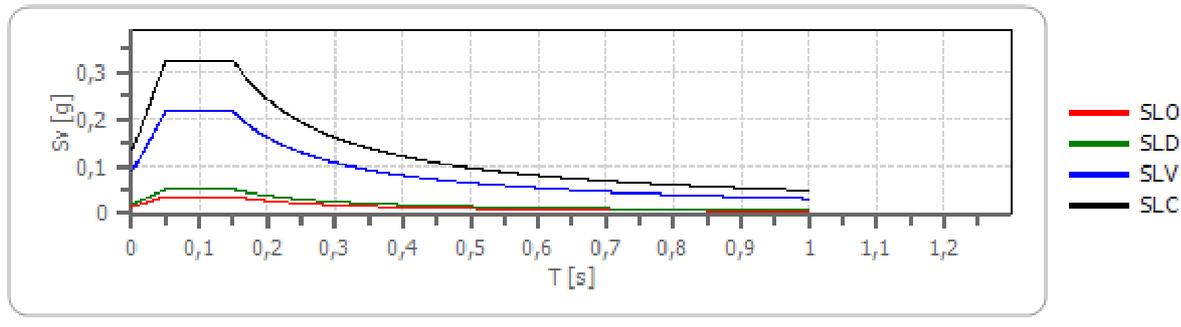
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,050	2,481	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,798	0,074	0,185
SLD	1,0	0,061	2,510	0,270	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,845	0,092	0,230
SLV	1,0	0,164	2,414	0,292	1,460	1,580	1,000	1,460	1,000	0,154	0,461	2,255	0,239	0,577
SLC	1,0	0,214	2,411	0,296	1,390	1,570	1,000	1,390	1,000	0,155	0,465	2,458	0,298	0,719

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,050	2,481	0,255	1	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,037
SLD	1,0	0,061	2,510	0,270	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,051
SLV	1,0	0,164	2,414	0,292	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,089	0,216
SLC	1,0	0,214	2,411	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,134	0,323

In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015, relative all'ambito A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA - PIANURA 2:

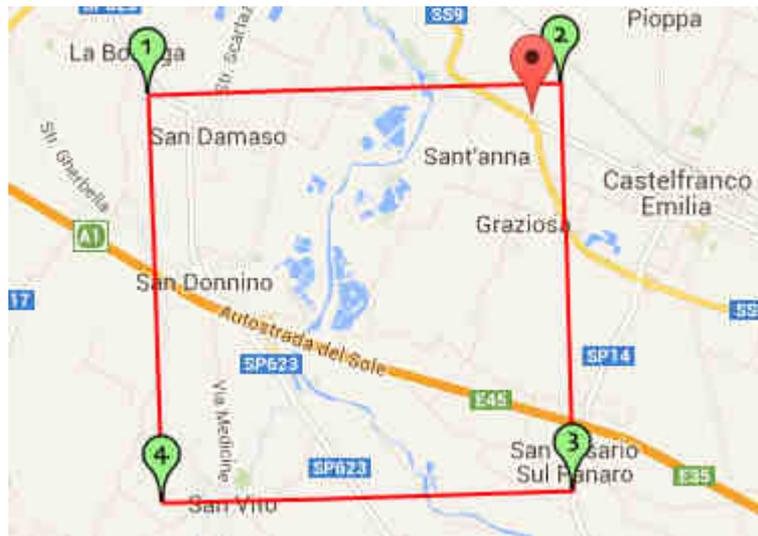
PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

Considerando la  $V_{s30}$  del sito pari a  $V_{s30} = 269$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.6
- F.A. SI 1 = 1.8
- F.A. SI 2 = 2.4
- F.A. SI 3 = 2.5

Area Az. Agr. Mavora

Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]  
 Latitudine (WGS84): 44,6045700 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11,0276100 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,6055100 [°]  
 Longitudine (ED50): 11,0286100 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16281	44,608020	10,963120	5191,75
2	16282	44,609490	11,033290	576,91
3	16504	44,559510	11,035330	5143,10
4	16503	44,558040	10,965210	7285,41

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

## Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,480	0,254
SLD	50	0,061	2,506	0,269
SLV	475	0,163	2,408	0,293
SLC	975	0,214	2,379	0,305

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,513	0,271
SLV	475	0,164	2,428	0,288
SLC	975	0,217	2,417	0,290

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,485	0,256
SLD	50	0,063	2,503	0,270
SLV	475	0,161	2,375	0,307
SLC	975	0,208	2,417	0,311

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,484	0,255
SLD	50	0,063	2,499	0,268
SLV	475	0,163	2,352	0,306
SLC	975	0,204	2,402	0,318

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,481	0,255
SLD	50	0,061	2,510	0,270
SLV	475	0,164	2,417	0,291
SLC	975	0,215	2,412	0,295

## Coefficientsi sismici stabilità di pendii e fondazioni

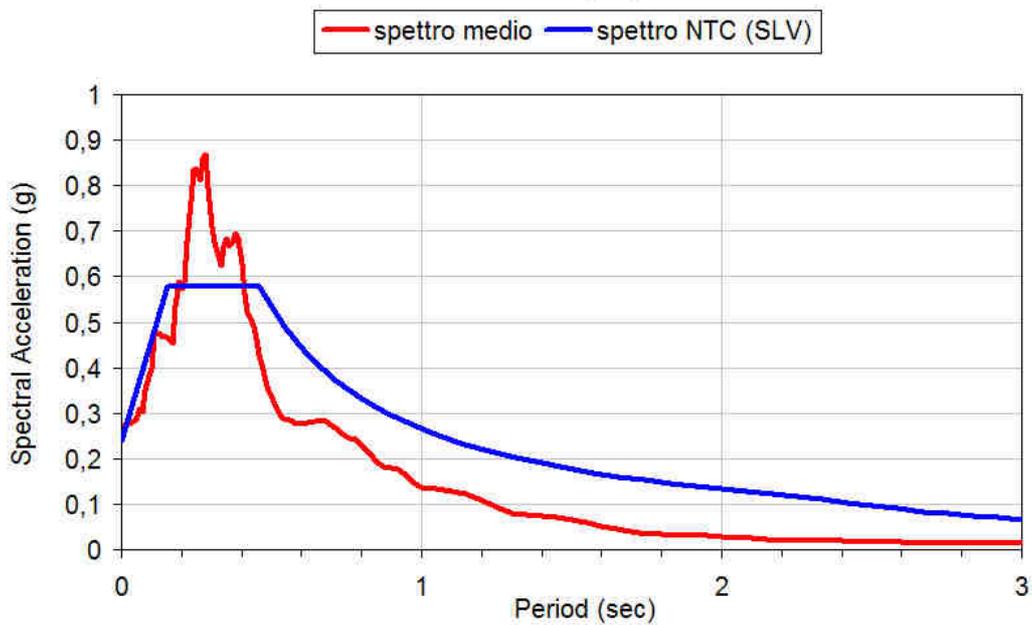
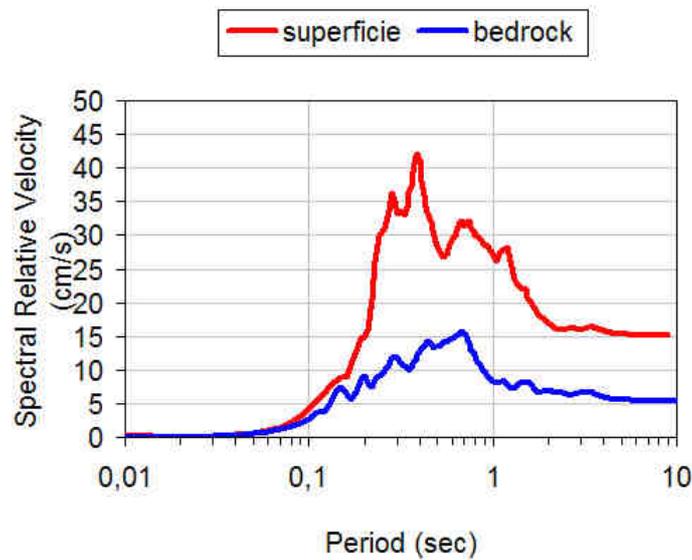
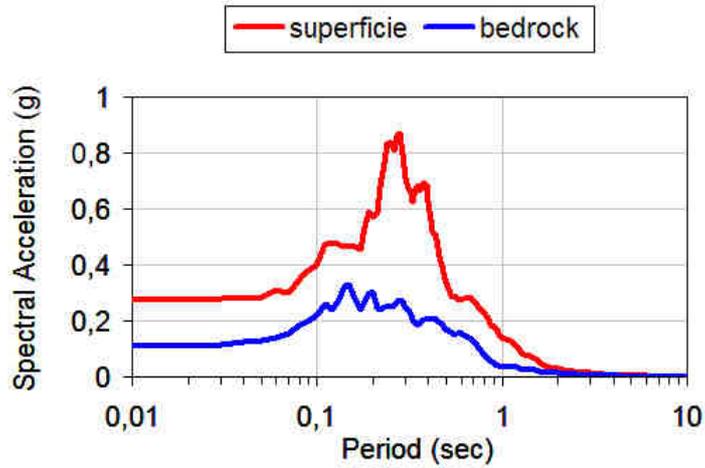
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,084
kv	0,007	0,009	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,728	0,899	2,345	2,930
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015,, in presenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame devono essere valutati con metodologie di III livello.

I segnali di riferimento utilizzati per il comune in oggetto sono forniti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale e sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di  $a_{refg}$  del comune. Tali segnali (n. 3 accelerogrammi) sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database - ISESD" attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD. Nel caso in esame questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Mediante l'analisi di terzo livello, sviluppata con l'utilizzo del software EERA, vengono forniti:

- gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento  $\zeta = 5\%$ ;
- i valori di amplificazione in termini di PGA/PGA<sup>0</sup> e SI/ SI<sup>0</sup>



<b>RISULTATI PER MICROZONAZIONE SISMICA III LIVELLO</b>		
fattore di amplificazione		
FA 1	2,598	
FA 2	2,657	
FA 3	2,724	
<b>FA (media)</b>	<b>2,66</b>	
fattore di amplificazione Intensità di Housner		
	<b>superficie (SI)</b>	<b>bedrock (Slo)</b>
<b>SI 0,1 - 0,5</b>	1092,76	412,88
<b>SI 0,5 - 1,0</b>	875,32	380,93
<b>SI 0,2 - 2,0</b>	2285,93	875,20
<b>SI/Slo 0,1 - 0,5</b>	<b>2,65</b>	
<b>SI/Slo 0,5 - 1,0</b>	<b>2,30</b>	
<b>SI/Slo 0,2 - 2,0</b>	<b>2,61</b>	
fattore di amplificazione PGA		
PGA 1	0,249	
PGA 2	0,295	
PGA 3	0,278	
<b>PGA (media)</b>	<b>0,274</b>	
<b>PGA/PGAo</b>	<b>1,671</b>	
Ag di riferimento sito in esame	0,164	

Pertanto:

- F.A. medio = 2.66
- F.A. P.G.A. = 1.671
- F.A. I.S.  $0.1 s < T_0 < 0.5 s$  = 2.65
- F.A. I.S.  $0.5 s < T_0 < 1.0 s$  = 2.30
- F.A. I.S.  $0.2 s < T_0 < 2.0 s$  = 2.61

### 3. Considerazioni conclusive

La presente integrazione alle relazioni geologico-geotecniche e sismiche del 29/07/2014 e del 20/10/2014 è stata eseguita come adeguamento alla Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 2193 del 21/12/2015, in base alla richiesta dell'Amministrazione Comunale di Castelfranco Emilia - Settore Tecnico e Sviluppo del Territorio del 6/05/2016 con prot. 27418/2016,

Le precedenti suddette relazioni geologico-geotecniche e sismiche sono state presentate per conto dei committenti, per verificare le caratteristiche dei terreni di alcune aree del Comune di Castelfranco Emilia individuate nel PSC come "ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera" e "ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa", per la trasformazione attuativa dei siti disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC).

Nella presente integrazione è stata riportata la modellazione sismica per le diverse aree di indagine, aggiornata ai sensi della DGR RER n. 2193 del 21/12/2015.

Per quanto riguarda la modellazione geologica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, si fa riferimento alla relazione del 29/07/2014 (area di proprietà "Elettromeccanica Tironi") e alla relazione del 20/10/2014 (aree di proprietà "Stanzani", "Az. Agr. Mavora" e "Anzevino/Bergamini-Fornetti").

Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni:

- la stratigrafia delle aree esaminate è costituita in generale da depositi alluvionali recenti scarsamente compatti, con alternanze di limi argilloso-sabbiosi sciolti e limi argillosi da soffici a plastici, con possibili livelli di sabbie sciolte.
- Alla profondità di -8/-9 m sono presenti orizzonti di ghiaie mediamente addensate, riscontrati in maniera continua nell'area "Az. Agr. Mavora" (CPT n. 4 e n. 5) e in modo discontinuo nelle altre zone. A partire da -13/-15 m si individuano altri orizzonti di ghiaie mediamente addensate presenti più uniformemente nelle aree in esame.
- I terreni più superficiali, al di sopra del livello di falda, si presentano lievemente sovraconsolidati per effetto dell'essiccamento.
- Al momento dell'esecuzione delle indagini è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale, per risalita all'interno dei fori di prova, a profondità comprese tra -1 m e -3 m dal piano campagna.
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche per le aree "Elettromeccanica Tironi", "Stanzani" e "Anzevino/Bergamini-Fornetti", la verifica alla liquefazione effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità (LPI = 0).
- Per tali aree, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica per l'area "Az. Agr. Mavora", la verifica alla liquefazione effettuata evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità ( $LPI_{MEDIO} = 2.68$ ).
- Per tale area i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame sono stati valutati con metodologie di III livello.
- In base alle elaborazioni delle indagini sismiche HVSR, si individuano frequenze fondamentali di vibrazione del sito comprese mediamente tra 3.50 Hz e 4.5 Hz, riconducibili alle variazioni di profondità del primo passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua inoltre una seconda frequenza fondamentale a circa 1.10/1.25 Hz, tipica del Bacino Sedimentario Padano.
- In relazione alla classificazione sismica le aree esaminate sono in zona 3 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".
- Per l'area "Az. Agr. Mavora", considerando la presenza di livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, si ritiene opportuno classificare il terreno in categoria S2, che comprende "Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti".

Da quanto sopra riportato, si ritengono sufficientemente documentate le condizioni geologiche, geotecniche e sismiche dei siti in esame, in relazione alla variante al P.O.C. in progetto ai sensi delle normative vigenti ed in particolare della DGR 2193/2015.

Si ribadisce comunque che, viste le variazioni litostratigrafiche riscontrate e le mediocri caratteristiche geotecniche dei terreni, si ritiene necessario che in fase esecutiva vengano eseguite opportune indagini geognostiche su ogni lotto previsto, per integrare in dettaglio la modellazione geologico-geotecnica definita in fase preliminare.

Modena, 11 maggio 2016

dott. geol. Claudio Preci



REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## INTEGRAZIONE 2017

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007; DGR 2193/2015;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

"ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera"  
"ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa"  
trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)

### Localita'

CARTIERA - MADONNA DEGLI ANGELI

### Committenti

ELETTROMECCANICA TIRONI SRL  
STANZANI ROBERTO E CARLA  
AZ. AGR. MAVORA  
BERGAMINI GIULIO-FORNETTI ROSA  
ANZEVINO TIZIANO

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

GIUGNO 2017

Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel: 059.823020 - Cell: 3398264394  
e-mail: precigeo@virgilio.it

## INDICE

1. Premessa.....	2
2. Cartografia di Piano - PSC comunale e Microzonazione Sismica.....	6
3. Modellazione sismica delle aree in esame.....	10
4. Considerazioni conclusive.....	18

## 1. Premessa

La presente integrazione alle relazioni geologico-geotecniche e sismiche del 29/07/2014, del 20/10/2014 e del 11/05/2016, è stata eseguita come adeguamento alla Deliberazione di Consiglio Comunale n. 83 del 29/09/2016 - ASSENSO ALLA PROPOSTA DI ACCORDO DI PROGRAMMA CON LA PROVINCIA DI MODENA PER VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE COMUNALE IN RECEPIMENTO DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO E DELLA CONDIZIONE LIMITE DI EMERGENZA - variante ex art. 40, L.R. 20/2000.

Le precedenti suddette relazioni geologico-geotecniche e sismiche sono state presentate per conto dei committenti, per verificare le caratteristiche dei terreni di alcune aree del Comune di Castelfranco Emilia individuate nel PSC come “ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera” e “ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa”, per la trasformazione attuativa dei siti disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC). Per l’area di proprietà “Elettromeccanica Tironi srl” si fa riferimento anche alla relazione geologico geotecnica e sismica del 29/07/2014.

Ambito n. 50 Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera	ANP
<i>Politica generale d’ambito: consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo. Attuare le previsioni insediative in conformità allo studio urbanistico relativo all’ambito produttivo sovracomunale per cui il comune risulta candidato al riconoscimento in sede di PTCP. Coordinare gli interventi con gli ambiti produttivi esistenti per creare un’area ecologicamente attrezzata.</i>	

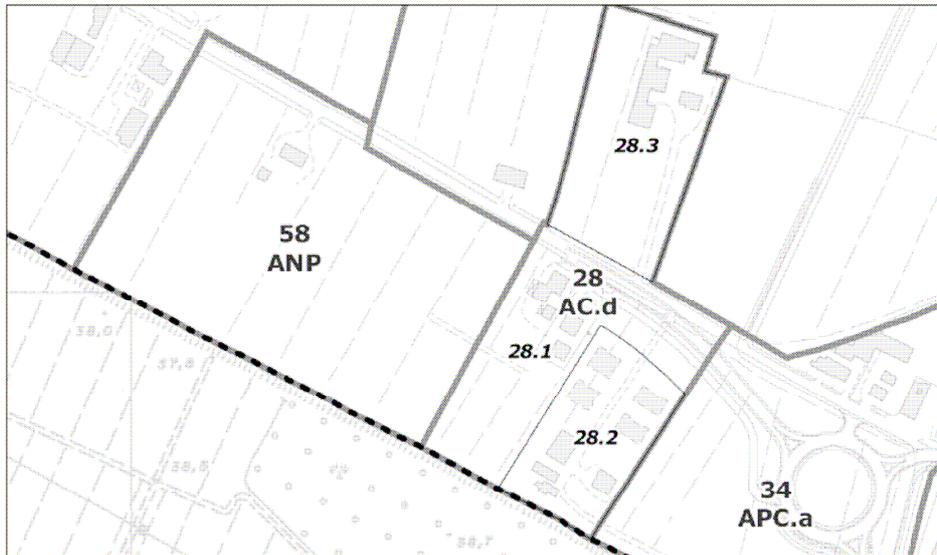


### Localizzazione e caratteri insediativi

L’ambito è individuato a nord della via Emilia ed è contermina agli ambiti produttivi consolidati n. 32, 34 e 39.

Attualmente l’ambito è a destinazione agricola.

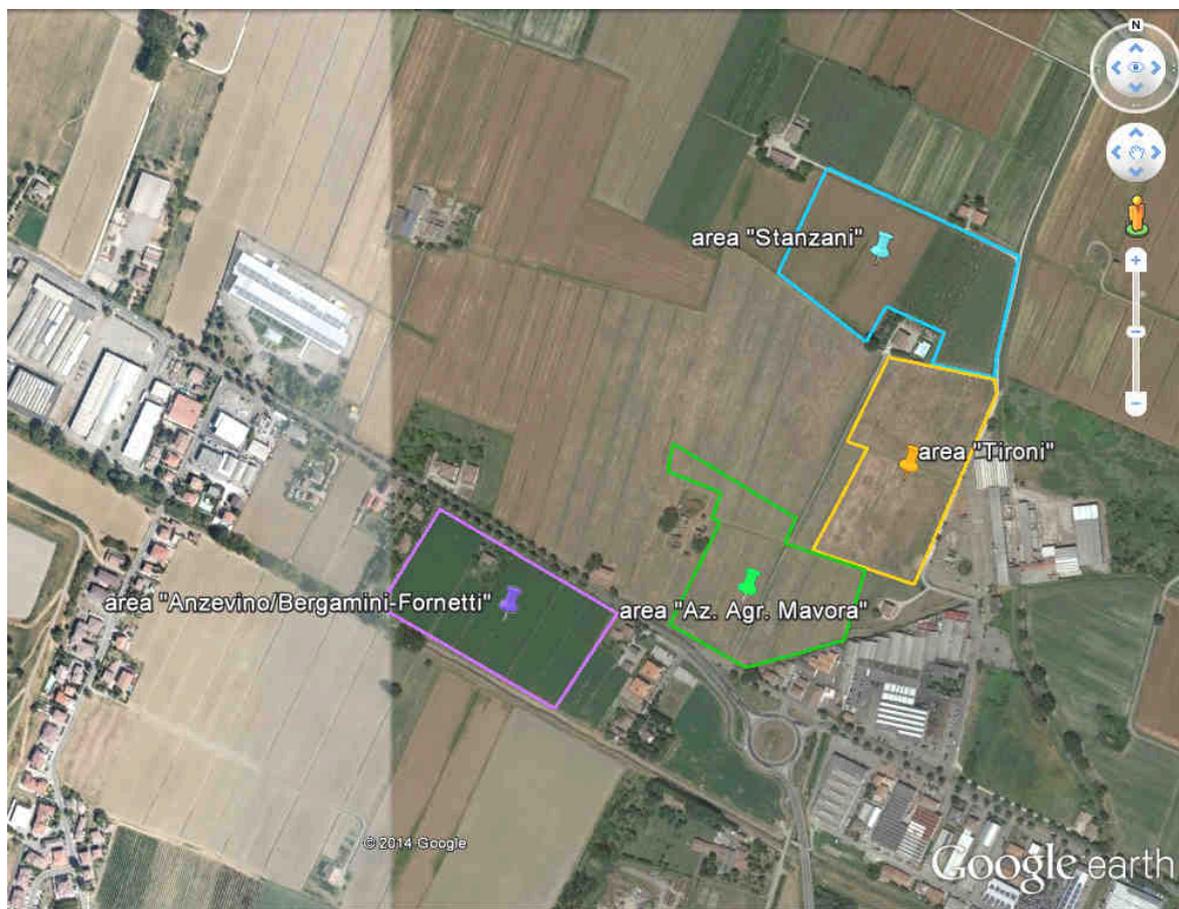
<b>Ambito n. 58 Capoluogo – nuovo produttivo Graziosa</b>	<b>ANP</b>
<i>Politica generale d'ambito: consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo. Attuare le previsioni insediative in conformità allo studio urbanistico relativo all'ambito produttivo sovracomunale per cui il comune risulta candidato al riconoscimento in sede di PTCP. Coordinare gli interventi con gli ambiti produttivi esistenti per creare un'area ecologicamente attrezzata.</i>	



#### **Localizzazione e caratteri insediativi**

L'ambito è localizzato tra il Diversivo Muzza e la via Emilia ed è contermina all'ambito consolidato produttivo n. 39.

Attualmente l'ambito è a destinazione agricola.

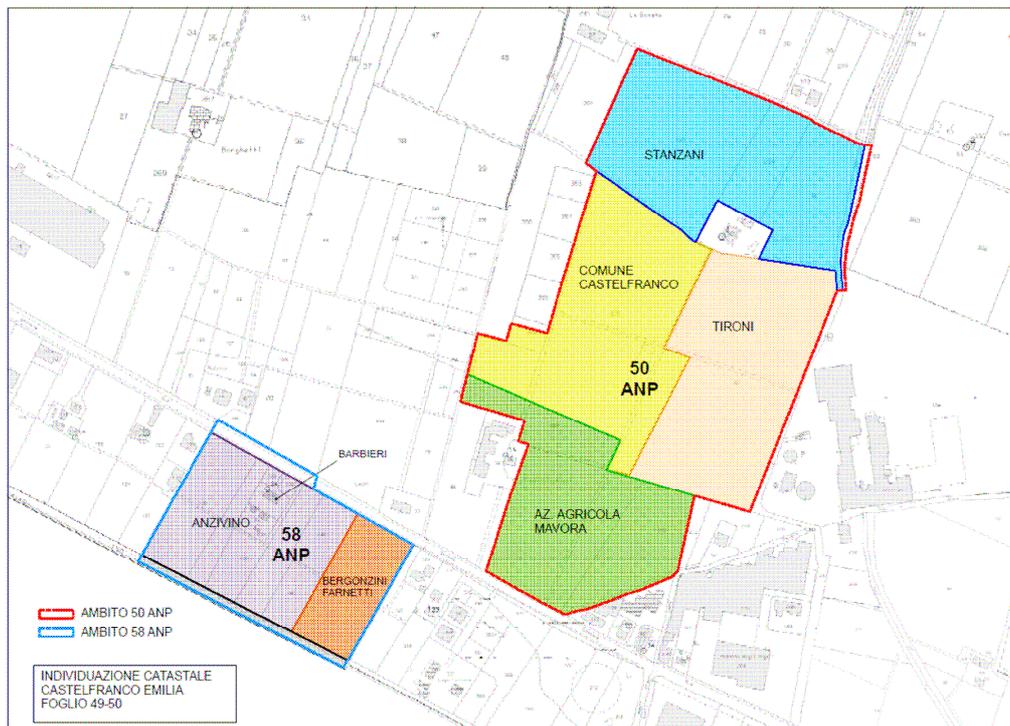


Secondo il DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Per quanto riguarda la modellazione geologica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, si fa riferimento alla relazione del 29/07/2014 (area di proprietà "Elettromeccanica Tironi") e alla relazione del 20/10/2014 (aree di proprietà "Stanzani", "Az. Agr. Mavora" e "Anzevino/Bergamini-Fornetti"). Per quanto riguarda viene riportata la modellazione sismica per le diverse aree di indagine, si fa riferimento all'integrazione aggiornata ai sensi della DGR RER n. 2193 del 21/12/2015.

Comparto Ex Cartiera - Via Emilia					
PROPRIETA' INTERNE AL COMPARTO TOTALE (Amb. 50 e 58)					
PROPRIETA'	FOG.	MAPP.	Sup. mq.	Note e %	
Stanzani Roberto e Carla	50	293	24.953		
		294	6.342		
		46	11.955		
		30 parte	1.040	intero map mq 1.939	
<b>Totale</b>		<b>44.290</b>	<b>22%</b>		
Elettromeccanica TIRONI	50	51	38.939		
	<b>Totale</b>		<b>38.939</b>	<b>19%</b>	
Az. Agricola Mavora	50	327	8.354		
		272	10.417		
		96	18.750		
<b>Totale</b>		<b>37.521</b>	<b>18%</b>		
Comune di Castelfranco	50	326	41.577		
		366 parte	1.006	intero map mq 1.325	
<b>Totale</b>		<b>42.583</b>	<b>21%</b>		
163.333					
Bergamini Giulio - Fornetti Rosa	49	142	10.810		
	<b>Totale</b>		<b>10.810</b>	<b>5%</b>	
	Anzevino Tiziano	49	132	1260	sub 3-5-7 Anzev. (casa di Barbieri)
			133	340	
			134	410	
			135	9217	
			139	3380	
			140	3510	
			141	2820	
			170	2883	
			171	4670	
		136	40		
	137	1072			
	138	18			
<b>Totale</b>		<b>29.620</b>	<b>15%</b>		
40.430					
<b>TOTALE COMPLESSIVO PROPRIETA'</b>			<b>203.763</b>	<b>100%</b>	
S.T di Comparto					
Superficie Territ (ST) - AMB 50			<b>164.338</b>		
Superficie Territ (ST) - AMB 58			<b>44.771</b>		
<b>ST Totale</b>			<b>209.109</b>		

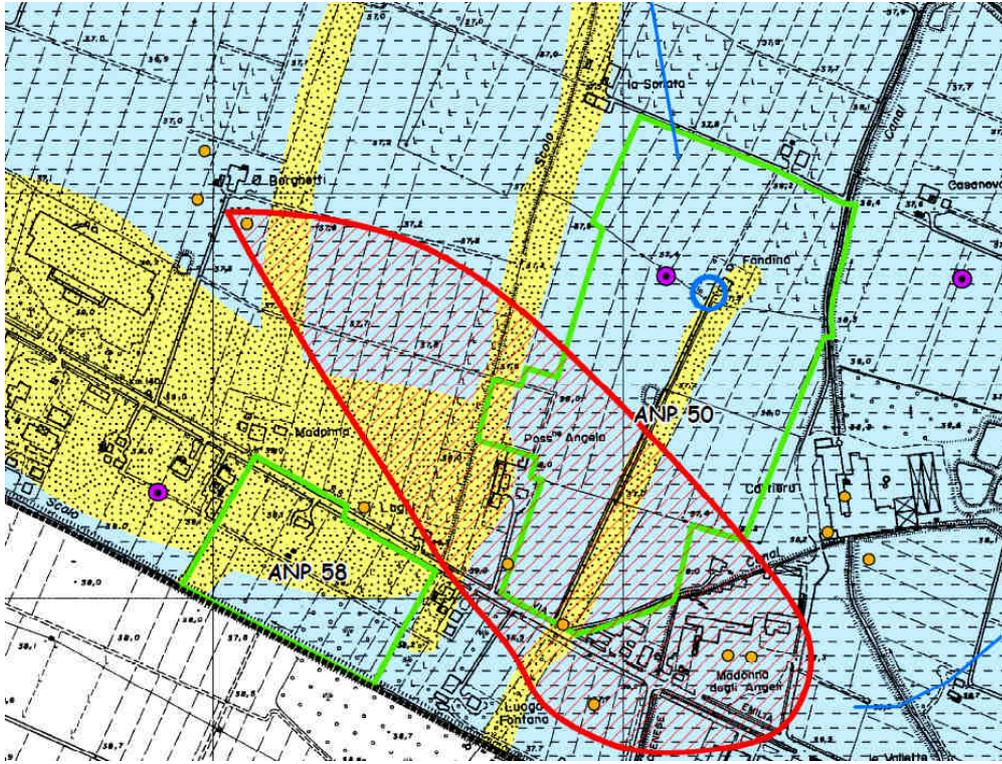


I siti oggetto d'indagine sono ubicati al margine ovest dell'abitato di Castelfranco Emilia in zona Cartiera-Madonna degli Angeli, a una quota media di 38 m slm. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25.000 nella Tavola 202 SO "Nonantola" e nei CTR a scala 1:5.000 nell'elemento n. 202133 "Sant'Anna". Nell'archivio NCT comunale le aree sono censite nei foglio n. 49 e n. 50.



**2. Cartografia di Piano - PSC comunale e Microzonazione Sismica**

Questa analisi riporta le indicazioni cartografiche e di classificazione per il territorio degli ambiti ANP 50/ANP 58, definite dal PSC comunale e dalla variante introdotta con la Deliberazione di Consiglio Comunale n. 83 del 29/09/2016.



**TAVOLA PSC/1.s**  
AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI  
ESTRATTO  
**1.S-5**  
anno 18.000

**Legenda**

**UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE**

- Prove penetrometriche (archivio)
- Prove penetrometriche (campagna geognostica agosto 2008)

**SOGGIACENZA DELLA FALDA ACQUIFERA**

- Ubicazione dei pozzi di misurazione della soggiacenza (campagna piezometrica primavera 2002)
- Bottoni dei valori misurati di soggiacenza (m)

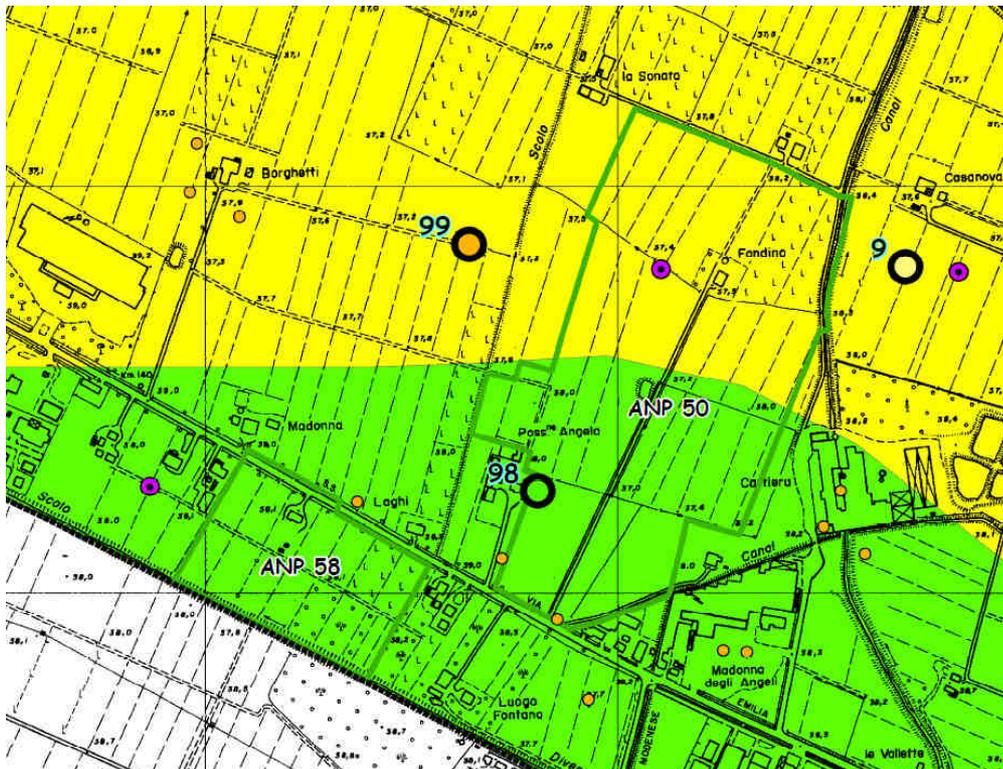
**AREE SUSCETTIBILI AD EFFETTI LOCALI**

- ▭ Aree individuate come suscettibili di cedimenti in base all'interpretazione dei dati penetrometrici. Depositi (spessore > 5 m) di terreni granulari sciolti o poco consolidati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori di  $R_p < 8 \text{ Kg/cm}^2$
- ▭ Area potenzialmente soggetta ad amplificazione litologica
- ▭ Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a possibili cedimenti
- ▭ Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione e cedimenti

**AMBITI PSC**

- ▭ Nuovi ambiti con destinazione residenziale
- ▭ Nuovi ambiti con destinazione produttiva

▭ Confine comunale



**TAVOLA PSC/2.s**  
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE  
ESTRATTO  
**2.S-5**  
anno 18.000

**Legenda**

**Ubicazione prove Re.M. (da 1.16) e MASW (Nr. 98, 99)**

- F.A. PGA = 1,4  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,5</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 1,6</math>
- F.A. PGA = 1,5  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,7</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,3</math>
- F.A. PGA = 1,5  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,8</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,3</math>
- F.A. PGA = 1,6  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,8</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,1</math>
- F.A. PGA = 1,5  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,8</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,4</math>
- F.A. PGA = 1,7  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,9</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,5</math>

**Validazione aree dei fattori di amplificazione sismica da prove Re.M. e MASW**

- ▭ F.A. PGA = 1,4  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,5</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 1,6</math>
- ▭ F.A. PGA = 1,5  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,7-1,8</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,3</math>
- ▭ F.A. PGA = 1,6  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,8</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,1-2,4</math>
- ▭ F.A. PGA = 1,7  
F.A. IS 0,1% <math>= 0,5 = 1,9</math>  
F.A. IS 0,5% <math>= 1 = 2,5</math>

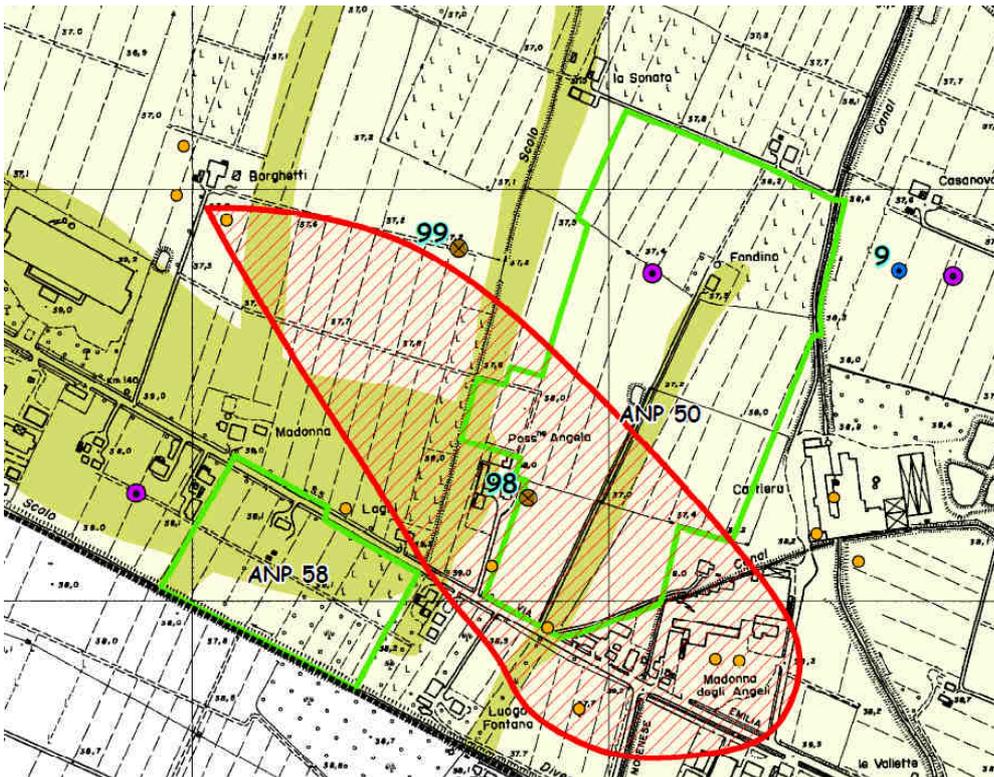
**AMBITI PSC**

- ▭ Nuovi ambiti con destinazione residenziale
- ▭ Nuovi ambiti con destinazione produttiva

**UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE**

- Prove penetrometriche (archivio)
- Prove penetrometriche (campagna geognostica agosto 2008)

▭ Confine comunale



**TAVOLA PSC/3.5**  
EFFETTI ATTESI - ZONAZIONE SISMICA  
ESTRATTO  
**3.5-S-5**  
scala 1:5.000

**Legenda**

**UBICAZIONE SONDAGGI GEONOSTICI**

- Prove penetrometriche
- Prove penetrometriche (archivio)
- Prove penetrometriche (campagna geognostica agosto 2008)
- Proporzioni sismiche
- Ubicazione prove Re.M.
- Ubicazione prove MASW

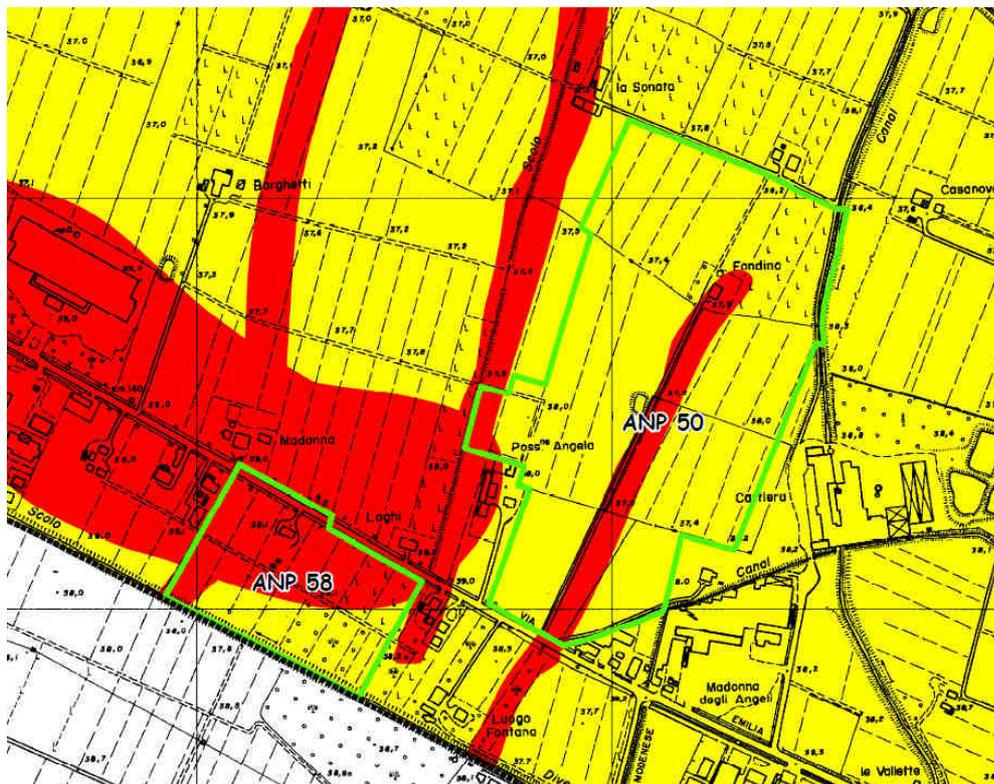
**EFFETTI ATTESI**

- Aree individuate come suscettibili di cedimenti in base all'elaborazione dei dati penetrometrici. Depositi (spessore > 3 m) di terreni granulari sciolti o poco indensati o di terreni coesivi poco consolidati, caratterizzati da valori di Rq < 10 kg/cm<sup>2</sup>.
- Studi: validazione del coefficiente di amplificazione litologica e dei cedimenti attesi. Sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti post-sisma.
- Aree potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche. Studi: validazione del coefficiente di amplificazione litologica. Approfondimenti di II livello.
- Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione. Studi: validazione del coefficiente di amplificazione litologica, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi. Sono richiesti approfondimenti di II livello.
- Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a cedimenti attesi. Studi: validazione del coefficiente di amplificazione litologica e dei cedimenti attesi. Sono richiesti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti post-sisma in presenza di terreni con scadenti caratteristiche meccaniche.

**AMBITI PSC**

- NUovi ambiti con destinazione residenziale
- NUovi ambiti con destinazione produttiva

Confine comunale



**VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE**

**TAVOLA PSC/4.5**  
SINTESI  
ESTRATTO  
**4.5-S-5**  
scala 1:5.000

**Legenda**

- Aree che necessitano di analisi semplificata (II livello di approfondimento)
- Aree che necessitano di analisi approfondita (III livello di approfondimento)

**AMBITI PSC**

- NUovi ambiti con destinazione residenziale
- NUovi ambiti con destinazione produttiva

Confine comunale

In base alle carte della "Valutazione della pericolosità sismica locale" del PSC comunale, sopra riportate, gli ambiti ANP 50/ANP 58, a seconda dei settori considerati, risultano classificati in parte come "Aree che necessitano di analisi semplificata (II livello di approfondimento)" e in parte come "Aree che necessitano di analisi approfondita" (III livello di approfondimento)", in base all'eventuale presenza di terreni potenzialmente liquefacibili e/o a terreni scarsamente compatti potenzialmente soggetti a cedimenti post-sismici.

**MICROZONAZIONE SISMICA**  
**CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE**  
**IN PROSPETTIVA SISMICA - MOPS**



Capoluogo - Panzano

**TAVOLA 7.1**  
 scala 1:10.000

**Legenda**

- ▭ Confine comunale
- ▭ Area oggetto di studio

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

- Zona 1: Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente fini (limi e argille), talora intercalati da sottili letti sabbiosi e sabbioso-limosi.
- Zona 2: Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente fini (limi e argille), intercalati da corpi ghiaiosi plurimetri, a partire da una profondità di circa 20 m da p.c. e talora da sottili letti sabbiosi e sabbioso-limosi.
- Zona 3: Successione stratigrafica costituita da una copertura di depositi prevalentemente limoso-argillosi, al cui interno si possono rinvenire sottili letti sabbiosi e sabbioso-limosi, sotto lo quale, a partire da circa 5-10 m da p.c., sono presenti alternanze di orizzonti plurimetri e struttura grossolana (ghiaie), in subordinate, sabbie e fine zone e argille.
- Zona 4: Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente ghiaiosi subaffioranti.

**Zone di attenzione per instabilità**

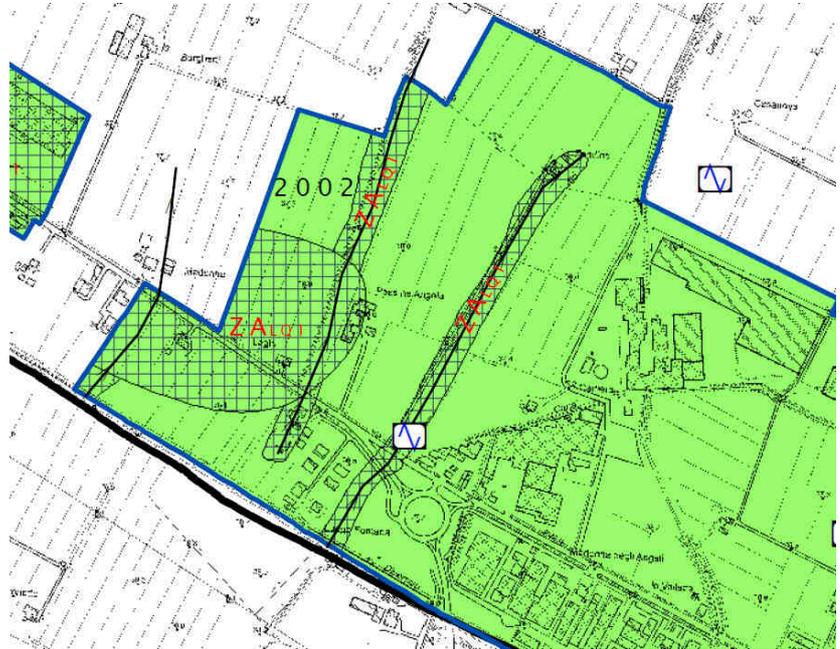
- ▭ Zona di attenzione per liquefazioni tipo 1

**Punti di misura di rumore ambientale**

- ▭ Stazione microsonora e stazione sismica

**Forme di superficie e sepolte**

- Asse di paleoalveo



**MICROZONAZIONE SISMICA**  
**CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA**  
 Livello 2 - FA<sub>acc</sub>



Capoluogo - Panzano

**TAVOLA 8.1**  
 scala 1:10.000

**Legenda**

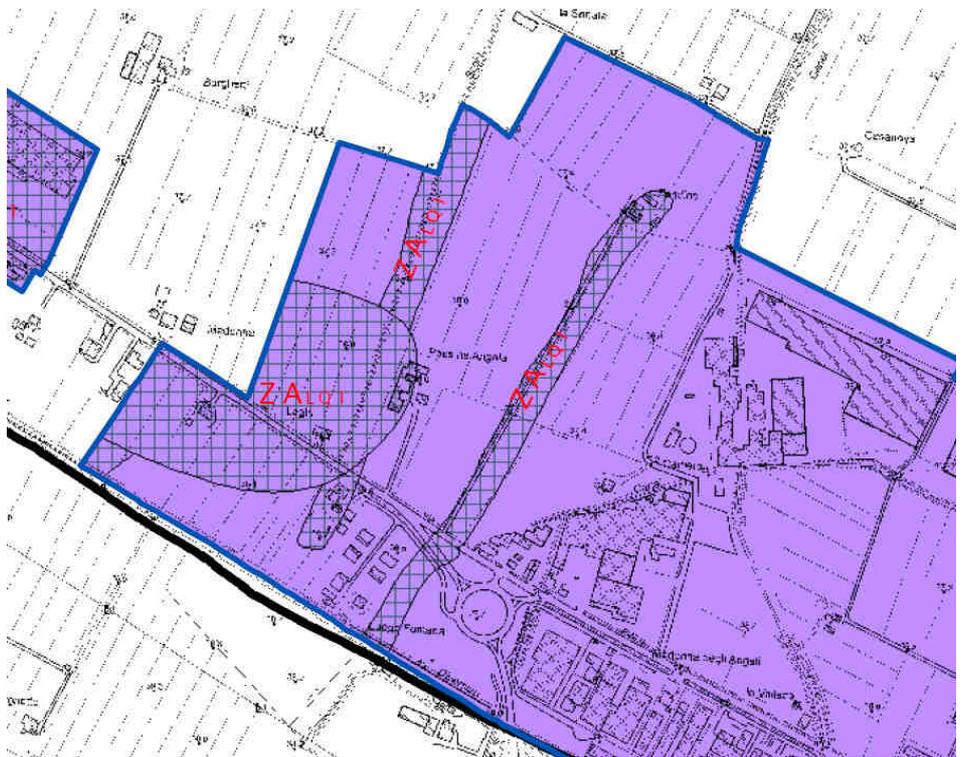
- ▭ Confine comunale
- ▭ Area oggetto di studio

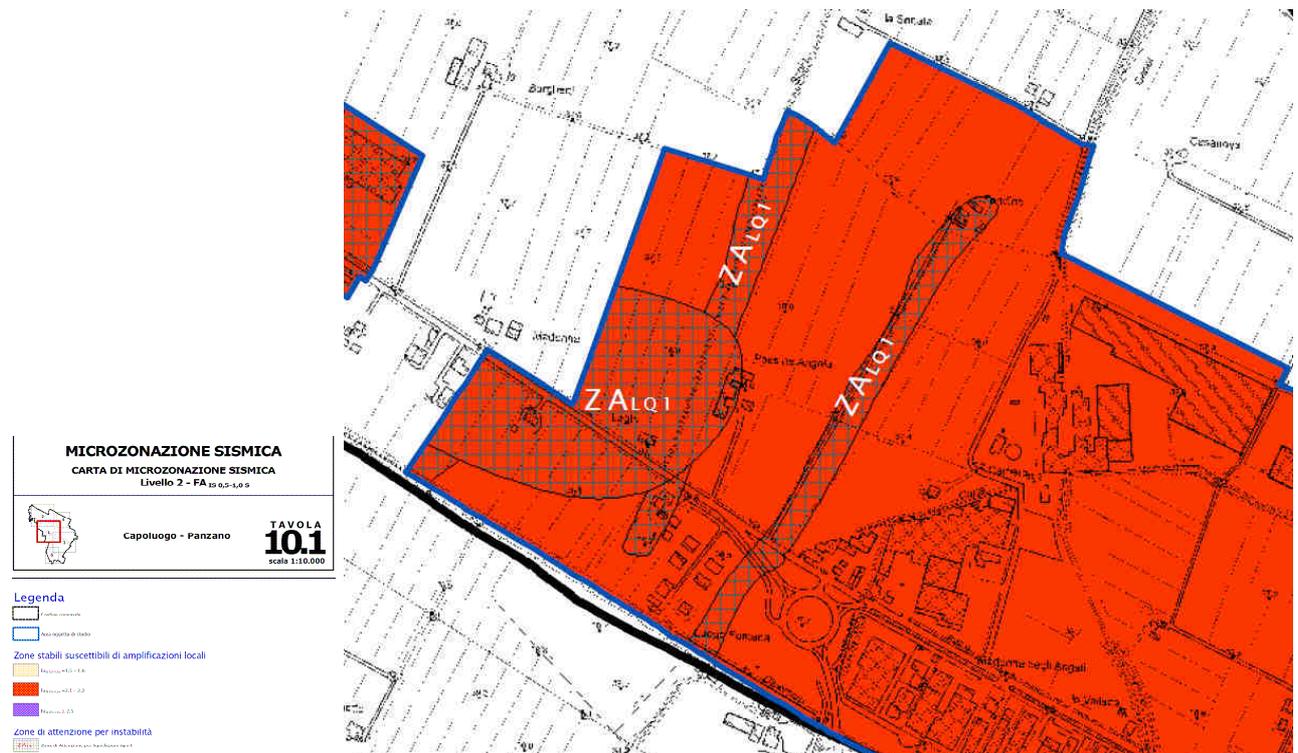
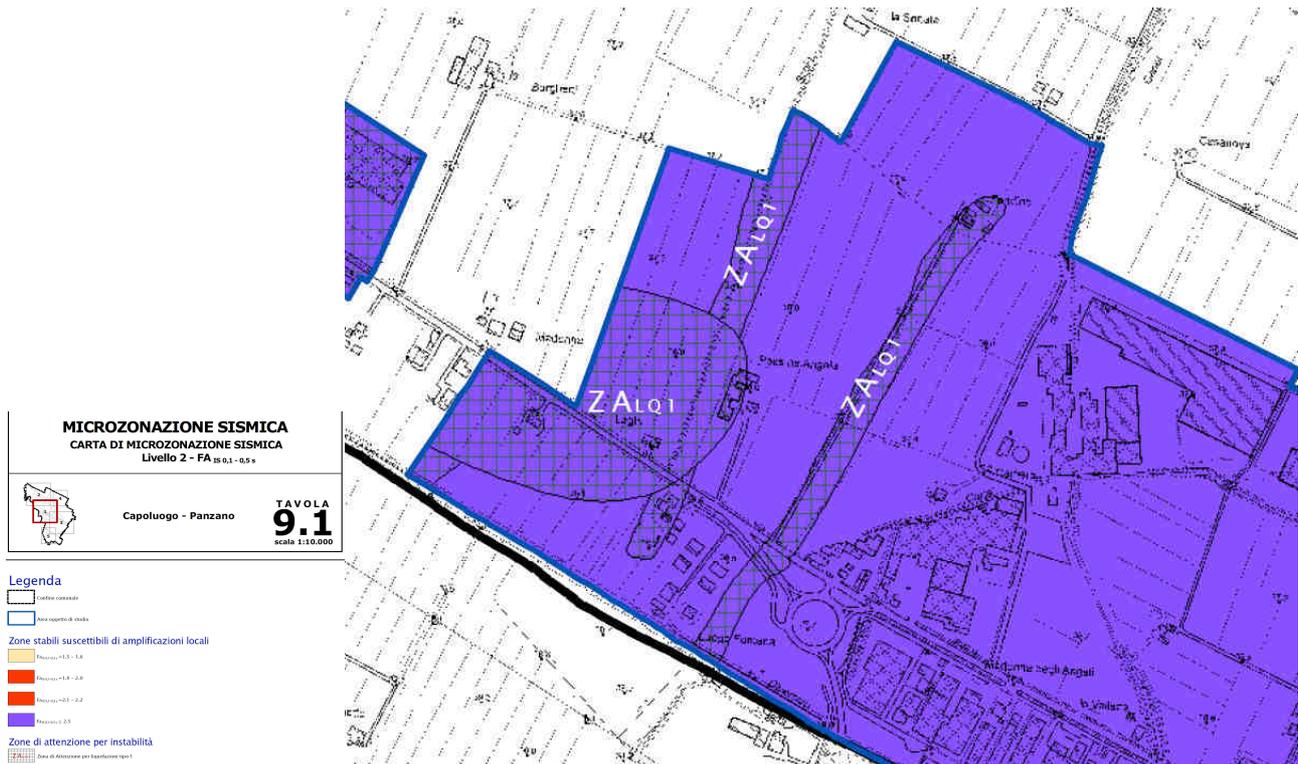
**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

- Zona 1: FA<sub>acc</sub> < 1.0
- Zona 2: FA<sub>acc</sub> > 1.0
- Zona 3: FA<sub>acc</sub> > 1.0

**Zone di attenzione per instabilità**

- ▭ Zona di attenzione per liquefazioni tipo 1



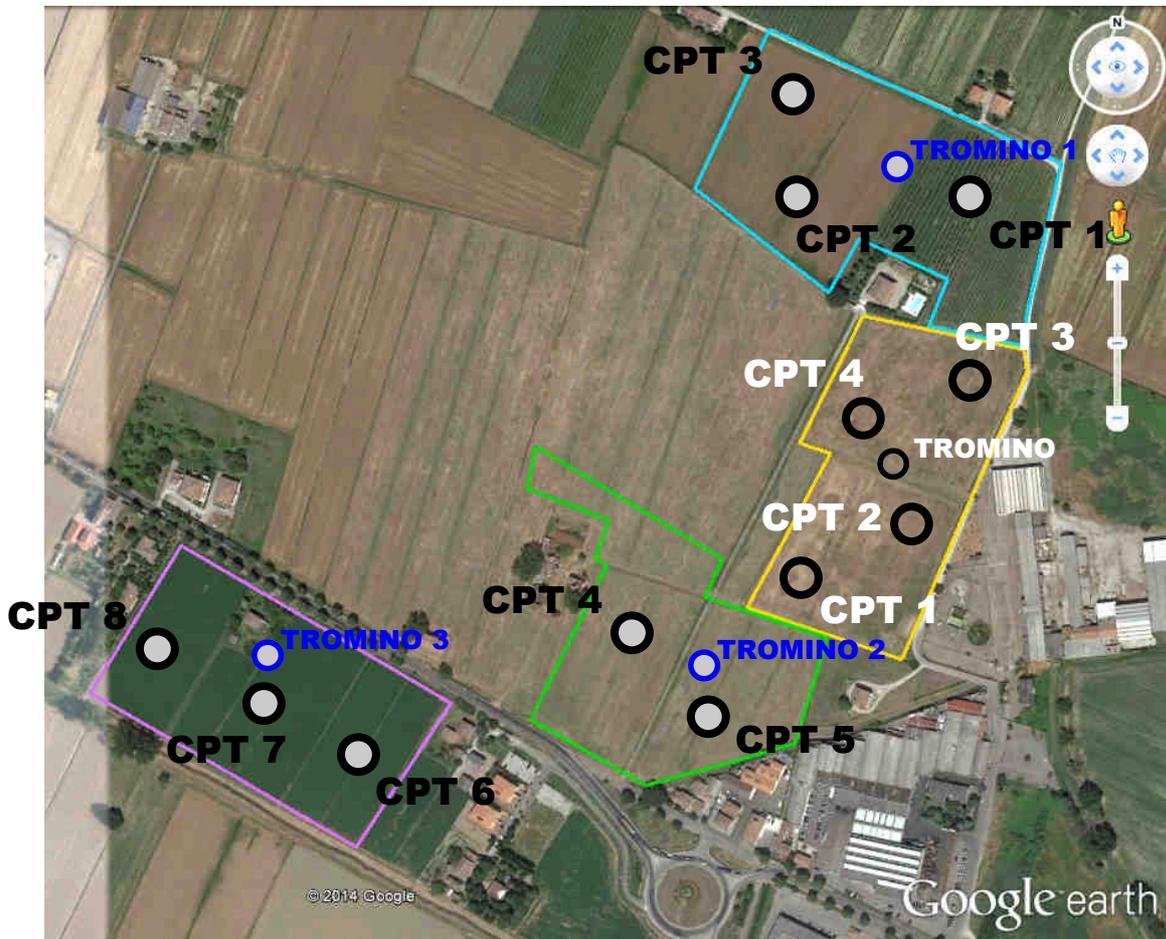


In base alle carte di Microzonazione Sismica, sopra riportate, per gli ambiti ANP 50/ANP 58 vengono anche indicati i seguenti valori per i fattori di amplificazione sismica per le aree non soggette a potenziale liquefazione:

- F.A. P.G.A. = 2.3 - 2.4
- F.A. I.S.  $0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s} \geq 2.5$
- F.A. I.S.  $0.5 \text{ s} < T_0 < 1.0 \text{ s} \geq 2.5$

### 3. Modellazione sismica delle aree in esame

In base alle indagini geognostiche e geofisiche eseguite direttamente in sito per la variante in progetto, all'interno degli ambiti interessati e secondo un dettaglio tale da permettere una caratterizzazione affidabile delle aree in esame, si riportano di seguito le conclusioni già presentate nelle relazioni geologico-geotecniche e sismiche del 29/07/2014, del 20/10/2014 e del 11/05/2016. Per l'area di proprietà "Elettromeccanica Tironi srl" si fa riferimento anche alla relazione geologico-geotecnica e sismica del 29/07/2014.



La valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. Per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito. Un'indicazione dei cedimenti post-sismici nel caso di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici ( $c_u \leq 70 \text{ kPa}/0.7 \text{ kg/cm}^2$ ) con spessore  $\geq 5 \text{ m}$ , in cui si preveda un incremento delle pressioni interstiziali  $r_u \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento, può essere valutata tramite le indicazioni della DAL RER 112/2007, dove per un generico strato di spessore  $H$  il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$$

con  $\varepsilon_{vr}$  (%) deformazione volumetrica post-ciclica determinata dalla formula

$$\varepsilon_{vr} = \alpha C_r * (1 + e_0) * \log(1/1 - r_u)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale;  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 * C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione;  $r_u$  è il rapporto di pressione interstiziale

Tabella 2 – Rapporto di pressione interstiziale  $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  in funzione di  $\gamma_{max}$

$\gamma_{max}$ [%]	$r_u$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Considerando prove edometriche di laboratorio, limiti di Atterberg e analisi granulometriche di terreni aventi le stesse caratteristiche litologiche di quelli del territorio in esame, il valore di  $\varepsilon_{vr}$  può essere stimato in  $3 \cdot 10^{-3}$ . In base alla formula  $\Delta H = \varepsilon_{vr} \cdot H$  considerando uno spessore medio di 10 m, si ottiene un valore teorico stimato di 3 cm, indicativo per le diverse aree esaminate.

### Area Elettromeccanica Tironi - CPT n. 1/2/3/4 relazione del 29/07/2014

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.80 Argilla plastica			
3.20 Limo argil-sabbioso adde			
7.00 Limo argil-sabbioso scio			
7.80 Sabbia sciolta	0.1742	0.1374	no
8.00 Limo argil-sabbioso adde			
8.40 Ghiaia mediamente addens	63.4712	0.1384	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.80 Argilla plastica			
8.20 Limo argil-sabbioso scio			
9.40 Ghiaia mediamente addens	1.8304	0.1396	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 3

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Limo argil-sabbioso adde			
1.40 Argilla torbosa consiste			
2.60 Limo argilloso plastico			
9.00 Limo argil-sabbioso scio			
12.60 Limo argilloso plastico			
16.00 Limo argilloso soffice			

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 4

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Argilla limosa molto con			
1.80 Argilla limosa plastica			
3.40 Limo argilloso plastico			
6.80 Limo argil-sabbioso scio			
8.40 Sabbia argil-limosa adde	0.1593	0.1378	no
8.80 Ghiaia molto sciolta	0.2153	0.1386	no
9.40 Sabbia ghiaiosa media ad	0.3208	0.1396	no
9.80 Ghiaia mediamente addens	62.1406	0.1401	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Elettromeccanica Tironi" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi considerate (LPI = 0). In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015, relative all'ambito A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA - PIANURA 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

Considerando la  $V_{s30}$  del sito pari a  $V_{s30} = 245$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.7
- F.A. SI 1 = 1.9
- F.A. SI 2 = 2.7
- F.A. SI 3 = 2.9

#### Area Stanzani - CPT n. 1/2/3 relazione del 20/10/2014

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.40 Argilla limosa consisten	Terreno coerente		
3.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.60 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
10.60 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
11.00 Ghiaia sabbiosa sciolta	0.1873	0.1439	no
13.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
15.00 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.00 Argilla torbosa consiste	Terreno coerente		
1.60 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
3.20 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
6.40 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
7.20 Sabbia sciolta	0.1469	0.1377	no
7.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
8.80 Sabbia argil-limoso adde	0.3086	0.1409	no
10.00 Sabbia ghiaiosa media ad	0.5571	0.1425	no
10.20 Ghiaia mediamente addens	3.5724	0.1427	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 3

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.00 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
3.00 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
3.60 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
6.80 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
8.20 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
9.80 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
10.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
10.80 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
15.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Stanzani" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di

liquefacibilità, con le ipotesi considerate ( $LPI = 0$ ). In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015, relative all'ambito A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA PIANURA 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

Considerando la  $V_{s30}$  del sito pari a  $V_{s30} = 271$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.6
- F.A. SI 1 = 1.8
- F.A. SI 2 = 2.4
- F.A. SI 3 = 2.5

### Area Anzevino e Bergamini-Fornetti - CPT n. 6/7/8 relazione del 20/10/2014

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 6

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.40 Limo argilloso consisten	Terreno coerente		
2.40 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
4.00 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
4.60 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
7.60 Limo argilloso molto sof	Terreno coerente		
8.20 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
8.60 Ghiaia mediamente addens	25.5606	0.1407	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 7

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60 Limo argilloso consisten	Terreno coerente		
4.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
8.20 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
12.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
12.80 Sabbia argil-limosa adde	0.1816	0.1443	no
13.40 Ghiaia mediamente	2.5466	0.1447	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 8

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60 Limo argilloso molto con	Terreno coerente		
3.60 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
8.80 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
9.20 Sabbia sciolta	0.1537	0.1397	no
11.00 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
12.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
14.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
14.60 Sabbia limosa addensata	0.8412	0.1448	no
15.00 Ghiaia mediamente addens	4.1930	0.1450	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica, in generale la verifica effettuata sull'Area "Anzivino/Bergonzini-Farnetti" non evidenzia livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, con le ipotesi considerate (LPI = 0). In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015, relative all'ambito A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA - PIANURA 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

Considerando la  $V_{s30}$  del sito pari a  $V_{s30} = 269$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.6
- F.A. SI 1 = 1.8
- F.A. SI 2 = 2.4
- F.A. SI 3 = 2.5

#### **Area Az. Agr. Mavora - CPT n. 4/5 relazione del 20/10/2014**

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 4

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.20 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
4.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
5.60 Sabbia argilloso-limosa	0.0837	0.1390	si
8.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
9.20 Sabbia argill-limosa add	0.4773	0.1456	no
9.40 Ghiaia mediamente addens	62.4672	0.1458	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 5

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.60 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
4.00 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
6.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
7.80 Sabbia lim. mediamente a	0.3072	0.1496	no
8.20 Ghiaia mediamente addens	51.9339	0.1498	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata sull'Area "Az. Agr. Mavora" evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità per la CPT n. 4. In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in presenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame devono essere valutati con metodologie di III livello.

La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione. L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

- $z_{crit}$  indica la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie;
- $F(z)$  è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità in funzione del valore che assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL;
- $w(z)$  è un fattore di peso della profondità.

Tradizionalmente la profondità “critica” è assunta pari a 20 m, ma recentemente Özocak e Sert (2010) hanno proposto di assumere per terremoti di magnitudo ordinaria la profondità critica pari a 10 m.

Pertanto

- per  $z_{crit} = 20$  m è  $w(z) = 10 - 0.5z$ ;
- per  $z_{crit} = 10$  m è  $w(z) = 20 - 2z$ .

Ad una data quota  $z$  la variabile  $F(z) = F$  vale:

- $F = 1 - FSL$  se  $FSL \leq 0.95$
- $F = 0$  se  $FSL \geq 1.2$
- $F(z) = 2 \cdot 10^6 \exp(-18.427 FSL)$  per  $1.2 > FSL > 0.95$

dove FSL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata e definito come  $FSL = (CRR_{7.5}/CSR) \cdot MSF$ ; MSF è il fattore di scala della magnitudo, ricavabile dalla tabella seguente:

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

(da: DAL RER 112/2007; Università di Firenze - Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU, marzo 2013)

In relazione ai livelli potenzialmente soggetti a liquefazione individuati, alla magnitudo utilizzata ( $M$  5.5 e  $MSF = 1.43$ ) e considerando una profondità critica pari a 10 m, si ottengono i seguenti valori di LPI per la verticale della CPT eseguita nell'area in esame:

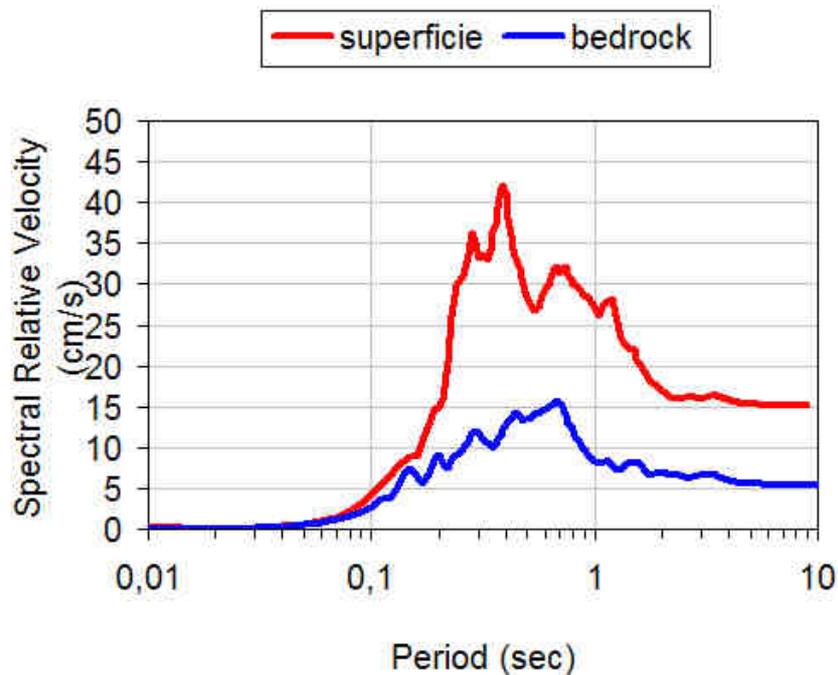
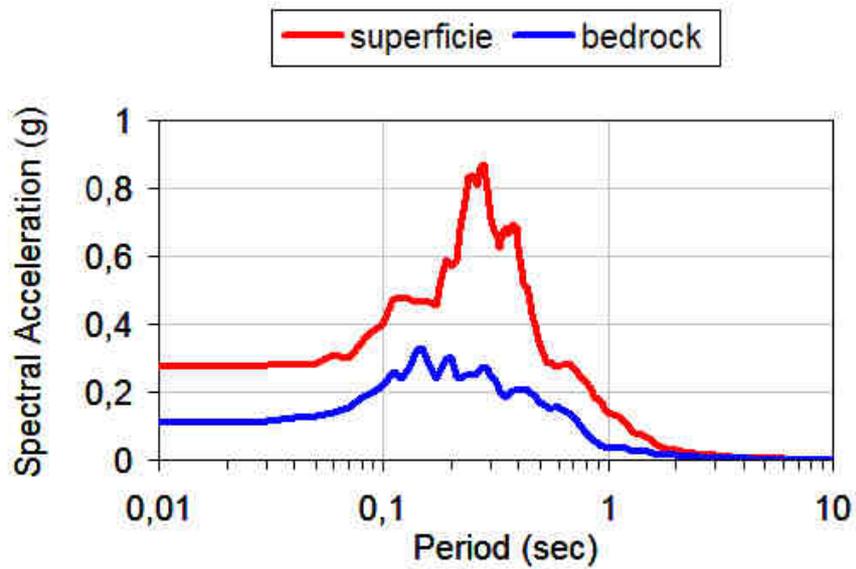
Indagine	LPI <sub>1</sub>	LPI <sub>2</sub>
CPT 1	5.36	0

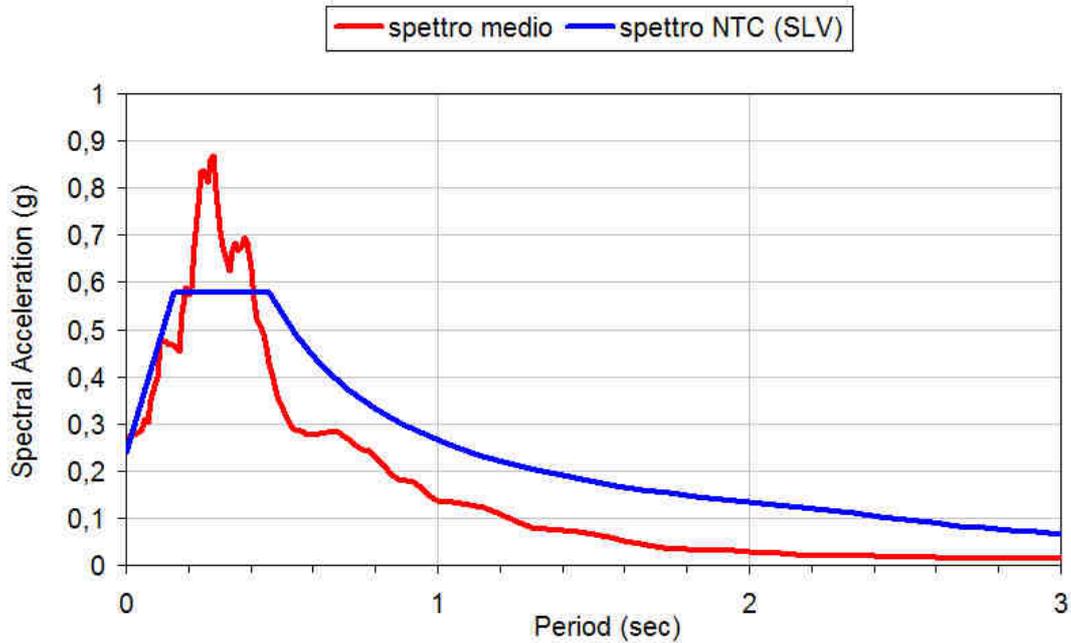
Pertanto, sulle due indagini CPT considerate, l'area in esame presenta un  $LPI_{MEDIO} = 2.68$  che secondo la classificazione di Sonmez (2003) determina un potenziale di liquefazione “moderato” per  $2 < LPI \leq 5$ .

I segnali di riferimento utilizzati per il comune in oggetto sono forniti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale e sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di  $a_{refg}$  del comune. Tali segnali (n. 3 accelerogrammi) sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica “European Strong Motion database - ISESD” attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD. Nel caso in esame questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di

probabilità di eccedenza in 50 anni. Mediante l'analisi di terzo livello, sviluppata con l'utilizzo del software EERA, vengono forniti:

- gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento  $\zeta = 5\%$ ;
- i valori di amplificazione in termini di  $PGA/PGA^0$  e  $SI/SI^0$





### RISULTATI PER MICROZONAZIONE SISMICA III LIVELLO

fattore di amplificazione

FA 1	2,598
FA 2	2,657
FA 3	2,724
<b>FA (media)</b>	<b>2,66</b>

fattore di amplificazione Intensità di Housner

	superficie (SI)	bedrock (Slo)
SI 0,1 - 0,5	1092,76	412,88
SI 0,5 - 1,0	875,32	380,93
SI 0,2 - 2,0	2285,93	875,20

SI/Slo 0,1 - 0,5	2,65
SI/Slo 0,5 - 1,0	2,30
SI/Slo 0,2 - 2,0	2,61

fattore di amplificazione PGA

PGA 1	0,249
PGA 2	0,295
PGA 3	0,278
<b>PGA (media)</b>	<b>0,274</b>
<b>PGA/PGAo</b>	<b>1,671</b>

Ag di riferimento  
sito in esame 0,164

Pertanto:

- F.A. medio = 2.66
- F.A. P.G.A. = 1.671
- F.A. I.S.  $0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s}$  = 2.65
- F.A. I.S.  $0.5 \text{ s} < T_0 < 1.0 \text{ s}$  = 2.30
- F.A. I.S.  $0.2 \text{ s} < T_0 < 2.0 \text{ s}$  = 2.61

#### 4. Considerazioni conclusive

1) La presente integrazione alle relazioni geologico-geotecniche e sismiche del 29/07/2014, del 20/10/2014 e del 11/05/2016, è stata eseguita come adeguamento alla Deliberazione di Consiglio Comunale n. 83 del 29/09/2016 - ASSENSO ALLA PROPOSTA DI ACCORDO DI PROGRAMMA CON LA PROVINCIA DI MODENA PER VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE COMUNALE IN RECEPIMENTO DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO E DELLA CONDIZIONE LIMITE DI EMERGENZA - variante ex art. 40, L.R. 20/2000.

Le precedenti suddette relazioni geologico-geotecniche e sismiche sono state presentate per conto dei committenti, per verificare le caratteristiche dei terreni di alcune aree del Comune di Castelfranco Emilia individuate nel PSC come “ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera” e “ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa”, per la trasformazione attuativa dei siti disciplinata dal POC secondo le disposizioni del PSC (IV variante al POC). Per l’area di proprietà “Elettromeccanica Tironi srl” si fa riferimento anche alla relazione geologico geotecnica e sismica del 29/07/2014.

2) In base alle indagini geognostiche e geofisiche eseguite direttamente in sito per la variante in progetto, all’interno degli ambiti interessati e secondo un dettaglio tale da permettere una caratterizzazione affidabile delle aree in esame, si riportano di seguito le conclusioni già presentate nelle relazioni geologico-geotecniche e sismiche sopra elencate.

3) Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell’area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni:

- la stratigrafia delle aree esaminate è costituita in generale da depositi alluvionali recenti scarsamente compatti, con alternanze di limi argilloso-sabbiosi sciolti e limi argillosi da soffici a plastici, con possibili livelli di sabbie sciolte.
- Alla profondità di -8/-9 m sono presenti orizzonti di ghiaie mediamente addensate, riscontrati in maniera continua nell’area “Az. Agr. Mavora” (CPT n. 4 e n. 5) e in modo discontinuo nelle altre zone. A partire da -13/-15 m si individuano altri orizzonti di ghiaie mediamente addensate presenti più uniformemente nelle aree in esame.
- I terreni più superficiali, al di sopra del livello di falda, si presentano lievemente sovraconsolidati per effetto dell’essiccamento.
- Al momento dell’esecuzione delle indagini è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale, per risalita all’interno dei fori di prova, a profondità comprese tra -1 m e -3 m dal piano campagna.
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche per le aree “Elettromeccanica Tironi”, “Stanzani” e “Anzevino/Bergamini-Fornetti”, la verifica alla liquefazione effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità ( $LPI = 0$ ).
- Per tali aree, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l’area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall’indagine geognostica per l’area “Az. Agr. Mavora”, la verifica alla liquefazione effettuata evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità ( $LPI_{MEDIO} = 2.68$ ).
- Per tale area i fattori di amplificazione sismica per l’area in esame sono stati valutati con metodologie di III livello.
- In base alle elaborazioni delle indagini sismiche HVSR, si individuano frequenze fondamentali di vibrazione del sito comprese mediamente tra 3.50 Hz e 4.5 Hz, riconducibili alle variazioni di profondità del primo passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua inoltre una seconda frequenza fondamentale a circa 1.10/1.25 Hz, tipica del Bacino Sedimentario Padano.
- In relazione alla classificazione sismica le aree esaminate sono in zona 3 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria C che comprende “Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori

superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

▪ Per l'area "Az. Agr. Mavora", considerando la presenza di livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, si ritiene opportuno classificare il terreno in categoria S2, che comprende "Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti".

4) Da quanto sopra riportato, si ritengono sufficientemente documentate le condizioni geologiche, geotecniche e sismiche dei siti in esame, in relazione alla variante al P.O.C. in progetto ai sensi delle normative vigenti e anche in riferimento alla "Valutazione della pericolosità sismica locale" del PSC comunale e alla Microzonazione Sismica comunale.

5) Si ribadisce comunque che, considerato l'assetto litostratigrafico riscontrato e le generali mediocri caratteristiche geotecniche dei terreni, si ritiene necessario che in fase esecutiva vengano eseguite opportune indagini geognostiche su ogni lotto previsto, per integrare in dettaglio la modellazione geologico-geotecnica e sismica definita in queste fasi preliminari.

Modena, 27 giugno 2017

dott. geol. Claudio Preci





REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA

**CITTÀ DI CASTELFRANCO EMILIA**

**PIANO  
OPERATIVO  
COMUNALE**

**POC4**

Adottato con Deliberazione di Consiglio Comunale n° -- del --/--/2017  
Approvato con Deliberazione di Consiglio Comunale n° -- del --/--/----

**Sindaco**

Stefano Reggianini

**Assessore all'Urbanistica**

Massimiliano Vigarani

**Responsabile del procedimento**

**Dirigente Settore Tecnico e Sviluppo del Territorio**

Arch. Bruno Marino

**Gruppo di Lavoro**

**Ufficio Pianificazione Territoriale e Urbanistica**

Arch. Valeria Ventura

Ing. Stefania Comini

Arch. Claudia Stanzani

P.O.C. Approvato con Del. C.C. n° 216 del 15/10/2010 (decaduto il 01/11/2015)

P.O.C. 1 approvato con Del. C.C. n° 53 del 06/04/2011

P.O.C. 3 approvato con Del. C.C. n° 123 del 30/10/2012

P.O.C. 2 approvato con Del. C.C. n° 59 del 28/03/2014

P.O.C. 5 adottato con Del. C.C. n° 271 del 23/12/2014

Variante ex art.14bis L.R.20/2000 al P.O.C. approvata con Del. C. C. n° 10 del 29/01/2015

P.O.C. 7 adottato con Del. C.C. n° 42 del 25/05/2017

Elaborato a cura di:

Dott. Geol. Valeriano Franchi

Dott. Geol. Alessandro Ghinoi

**Relazione**



**GEOLOGICA E SISMICA**



Dott. Geol. Valeriano Franchi  
V.le Caduti in Guerra, 1 – 41121 Modena  
Tel: 059-226540  
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Modena, 12/07/2017

## **RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA**

---

### **INDICE CONTENUTI**

#### **Ambiti 50 ANP e 58 ANP**

Premessa .....	3
1. Inquadramento geografico-fisico generale .....	5
1.1. Descrizione di massima del progetto.....	7
2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale.....	8
3. Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico .....	13
4. Indagine sismica .....	18
5. Fattori di amplificazione sismica ed effetti di sito .....	19
5.1. Amplificazione topografica.....	26
5.2. Suscettibilità alla liquefazione.....	26

#### **Ambito 39 ASP.b**

Premessa .....	30
6. Inquadramento geografico-fisico generale .....	30
6.1. Descrizione di massima del progetto.....	32
7. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale.....	34
8. Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico .....	37
9. Indagine sismica .....	42
10. Fattori di amplificazione sismica ed effetti di sito.....	46
10.1. Amplificazione topografica.....	49
10.2. Suscettibilità alla liquefazione .....	50
11. Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni .....	52

### **ALLEGATI**

## PREMESSA

La presente relazione è stata redatta a supporto della Quarta Variante al POC ai sensi dell'ex art. 40 L.R. 20/2000 del Comune di Castelfranco Emilia; in particolare vengono trattati gli aspetti geologici, geotecnici e sismici inerenti cinque aree destinate ad edifici produttivi, previste con la Variante al POC nella prima periferia ovest del Capoluogo, nell'area intersecata dagli assi viari SS9, via Cartiera e via Emilia Ovest.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, D.M. 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da D.M. 14.01.2008.

Per l'adempimento delle specifiche normative, sono stati effettuati sopralluoghi sulle aree in data 15/06/2017 al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, nonché per la loro classificazione sismica, sono state utilizzate indagini geognostiche e geofisiche eseguite, all'interno degli ambiti 50 ANP e 58 ANP, da un altro studio professionale<sup>1</sup>, per i singoli privati proprietari delle rispettive aree, e messe a disposizione dell'Amministrazione Comunale. Per l'ambito 39 APC.b sono state utilizzate le indagini geognostiche e geofisiche eseguite dallo scrivente per il precedente Piano Particolareggiato per l'area individuata come "Ambito Produttivo Cartiera" (anno 2007).

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico – fisico generale
- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale
- Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico specifiche per ogni area
- Indagine sismica specifica per ogni area
- Fattori di amplificazione sismica (DGR 2193/2015)
- Effetti di sito
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

## ALLEGATI

---

<sup>1</sup> Dott. Geol. Claudio Preci (luglio 2014) – Relazione geologico-geotecnica e sismica, Progetto "ambito n. 50 ANP Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera" trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)". Località: Cartiera – Madonna degli Angeli. Committente: Elettromeccanica Tironi srl.

Dott. Geol. Claudio Preci (ottobre 2014) – Relazione geologico-geotecnica e sismica, Progetto "ambito n. 50 ANP Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera" - "ambito n. 58 ANP Capoluogo – nuovo produttivo Graziosa" trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)". Località: Cartiera – Madonna degli Angeli. Committenti: Stanzani Roberto e Carla; Az. Agr. Mavora; Bergamini Giulio-Fornetti Rosa; Anzevino Tizziano.

Dott. Geol. Claudio Preci (maggio 2016) – Integrazione. Progetto "ambito n. 50 ANP Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera" - "ambito n. 58 ANP Capoluogo – nuovo produttivo Graziosa" trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)". Località: Cartiera – Madonna degli Angeli. Committenti: Elettromeccanica Tironi srl; Stanzani Roberto e Carla; Az. Agr. Mavora; Bergamini Giulio-Fornetti Rosa; Anzevino Tizziano.

## **Ambiti 50 ANP e 58 ANP**

## 1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO GENERALE

Le aree esaminate, individuate nel PSC all'interno degli ambiti n. 50 ANP "Capoluogo – nuovo produttivo della Cartiera" e n. 58 ANP "Capoluogo – nuovo produttivo Graziosa", per le quali è prevista la realizzazione di nuovi edifici produttivi, sono ubicate in corrispondenza della prima periferia occidentale di Castelfranco E., in un'ampia zona a cavallo della SS9, delimitata ad est e a nord da via Cartiera.

Dal punto di vista topografico si trovano in corrispondenza di un'ampia fascia pianeggiante, di alta pianura, sub-orizzontale, con una debole pendenza verso NNE, e con quote che, in corrispondenza delle tre aree, variano da 38 m s.l.m. per l'ANP 58 a 37,4 m s.l.m. per l'ANP 50.

Gli elementi idrografici più prossimi sono rappresentati dal Fiume Panaro, che dista circa 1 km in direzione ovest, dallo Scolo Muzza, 130 m a sud dell'ANP 58, e dal Canal Torbido, che delimita ad est l'ANP 50 scorrendo adiacente al tracciato di via Cartiera.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2015, da precipitazioni totali annue, in media, di 711 mm e temperature medie annue di 14,5°C<sup>2</sup>, pari, rispettivamente, ad una variazione di +15 mm e +1,3°C rispetto al periodo 1961-1990.

Nella cartografia regionale, le 4 aree sono comprese nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 202SO denominata "Nonantola" (Figura 1), nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 202130 denominata "Gaggio" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 202133 denominato "Sant'Anna" (Figura 2).

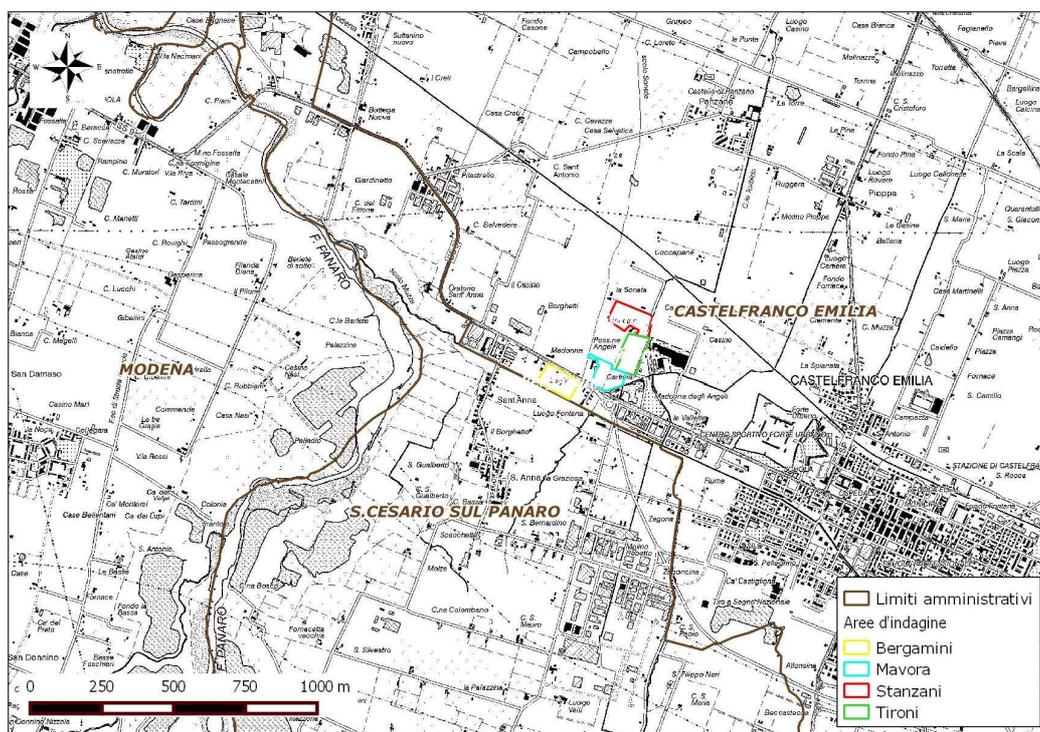


Figura 1 - Inquadramento geografico su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:25.000 – Tavola nr. 202SO denominata "Nonantola". Per comodità, le 4 aree vengono in questa sede identificate, per semplicità descrittiva, con il nome di uno dei proprietari.

<sup>2</sup> Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna - <http://www.arpa.emr.it/sim/?clima>

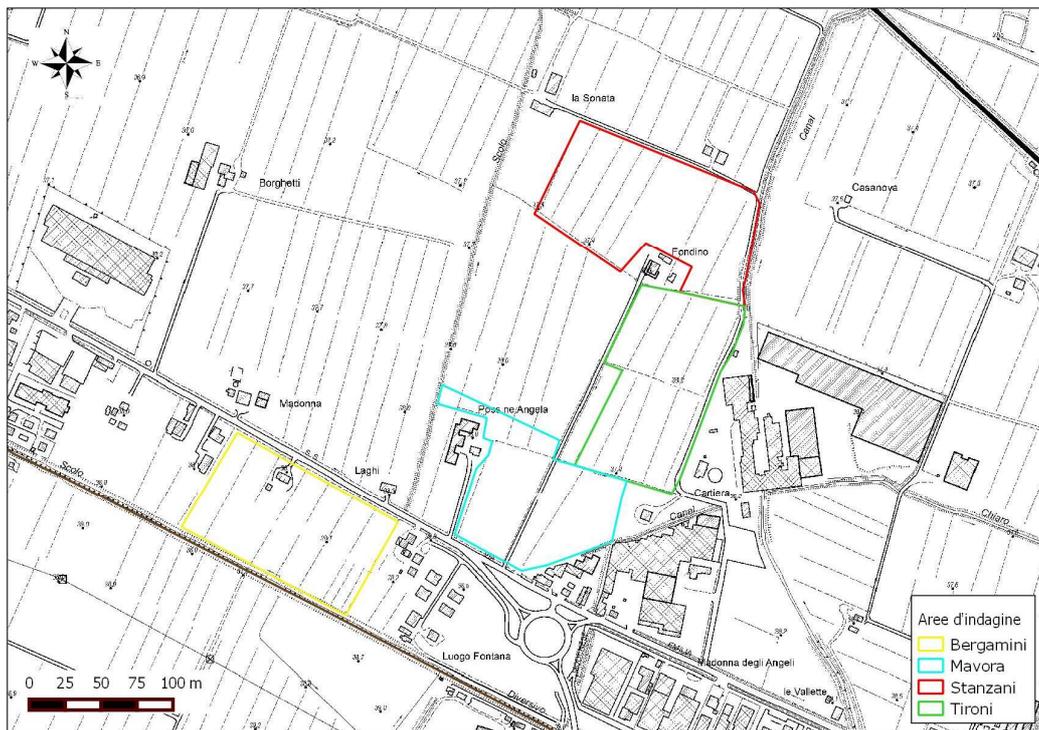


Figura 2 - Ubicazione delle 4 aree d'indagine su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:5.000 - Elemento nr. 202133 denominato "Sant'Anna".

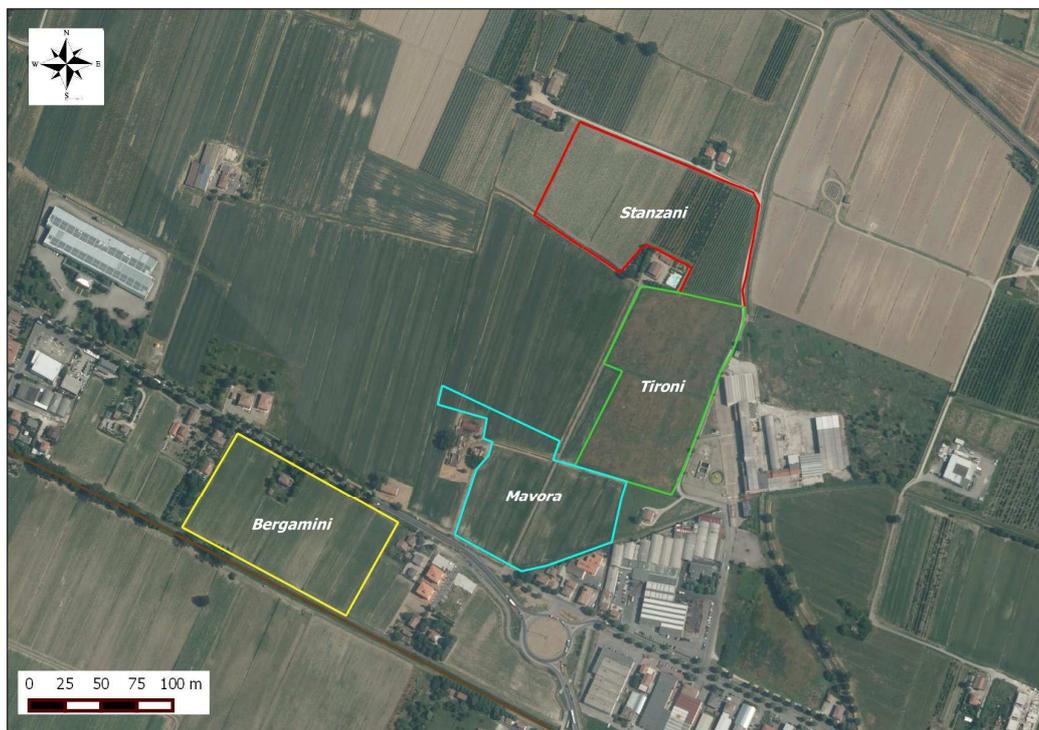


Figura 3 - Ubicazione delle 4 aree d'indagine su fotografie aeree satellitari Agea 2011.

Per semplicità descrittiva, nella relazione si manterrà la scomposizione dei due ambiti nelle aree indicate nelle figure 1-3: l'ambito 50 ANP è composto dalle aree

“Stanzani”, “Tironi” e “Mavora”; l’ambito 58 ANP è composto dalla sola area “Bergamini”.

### 1.1. Descrizione di massima del progetto

La IV Variante al POC include 3 interventi in ambiti produttivi del PSC:

50 ANP - 58 ANP - 39 APC.b

I tre interventi entro ambiti produttivi saranno attuati previa approvazione di un unico PUA, redatto in base ai criteri e alle condizioni definiti dal POC attraverso lo schema di assetto urbanistico e le schede normative.

### SINTESI DEGLI INTERVENTI NEL MACROAMBITO “CARTIERA”

#### SUPERFICI E DIRITTI EDIFICATORI ASSEGNATI

AMBITO	ST	SC mq.
<b>50 ANP</b>	<b>163.652</b>	<b>50.892,94</b>
<b>58 ANP</b>	<b>42.547</b>	<b>14.161,00</b>
39 APC.b	66.386	25.529,00

#### **50 ANP: CAPOLUOGO – Nuovo produttivo della Cartiera**

Obiettivi specifici del POC in attuazione del PSC: L’ambito è parte di un ambito produttivo sovracomunale individuato dal PTCP come ambito APS n.10 “Castelfranco Emilia – San Cesario sul Panaro”, disciplinato dall’Accordo Territoriale approvato con Del. G.P. n.283 del 16 settembre 2014. Su questo ambito sono individuate parte delle previsioni di espansione produttiva contenute nell’APS al fine di introdurre le quote di produttivo relative ai bisogni locali di riqualificazione e ammodernamento.

Sulla base di quanto previsto dalla Delibera di Giunta comunale n.148 del 18/11/2008, almeno il 50% delle aree ricomprese nell’ambito avranno valenza di P.I.P. (piano particolareggiato per gli insediamenti produttivi).

Funzioni ammesse: Usi produttivi, commercio al dettaglio (strutture con Sv comprese tra 251 e 1.500 mq.).

#### **58 ANP: CAPOLUOGO – Nuovo produttivo Graziosa**

Obiettivi specifici del POC in attuazione del PSC: Consolidare e riqualificare il sistema produttivo esistente con la realizzazione di un ambito produttivo.

L’ambito è parte di un ambito produttivo sovracomunale individuato dal PTCP come ambito APS n.10 “Castelfranco Emilia – San Cesario sul Panaro”, disciplinato dall’Accordo Territoriale approvato con Del. G.P. n.283 del 16 settembre 2014. Su questo ambito sono individuate parte delle previsioni di espansione produttiva contenute nell’APS al fine di introdurre le quote di produttivo relative ai bisogni locali di riqualificazione e ammodernamento.

Sulla base di quanto previsto dalla Delibera di Giunta comunale n.148 del 18/11/2008, almeno il 50% delle aree ricomprese nell’ambito avranno valenza di P.I.P. (piano particolareggiato per gli insediamenti produttivi).

Funzioni ammesse: Usi produttivi, commercio al dettaglio (strutture con Sv comprese tra 251 e 1.500 mq.).

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE

Per quanto riguarda la litologia superficiale, l'esame della Tavola 1.1 "Litologia di superficie" del QC del PSC di Castelfranco Emilia (Figura 4) mostra come le 4 aree d'indagine si trovino in corrispondenza di terreni superficiali composti principalmente da terreni fini, limosi.

Sostanziale accordo con il quadro delle litologie superficiali del PSC si può trovare anche nella Tavola 2a.2 del PTCP della Provincia di Modena (Figura 5) in cui, per l'area di studio viene confermata la presenza di terreni fini (limi e argille) di piana alluvionale.

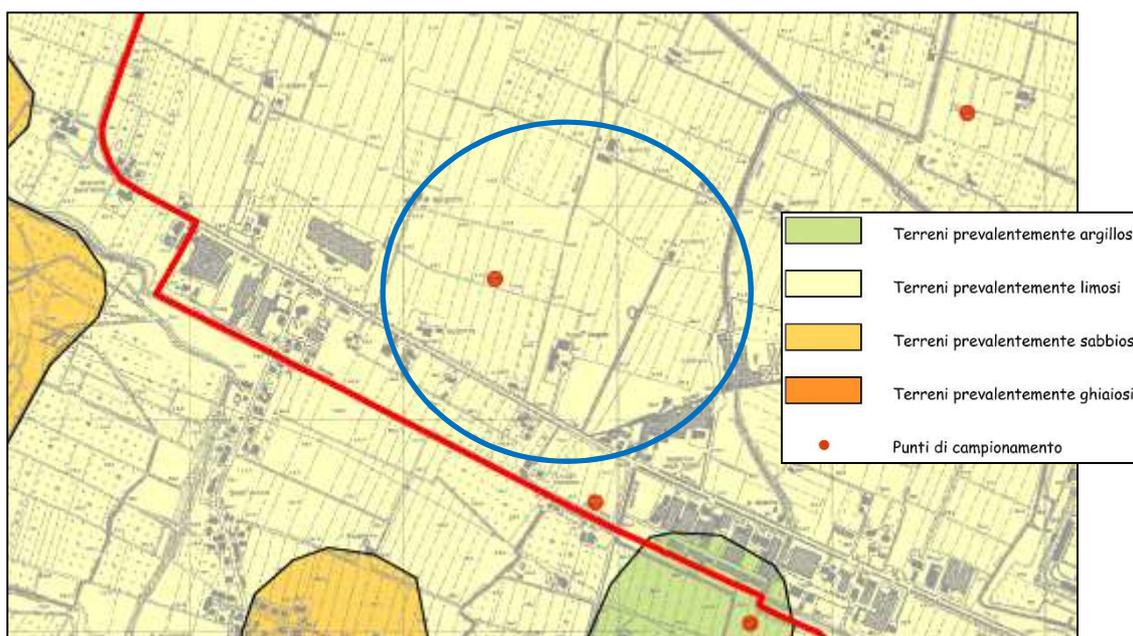


Figura 4 – Stralci della Tavola 1.1 "Litologia di superficie" del PSC di Castelfranco Emilia. Il cerchio blu circonda l'area in cui ricadono i due ambiti ANP 50 e 58.

E' pertanto ragionevole attendersi, per l'area, un ambiente deposizionale caratterizzato da ritmiche divagazioni dei corsi d'acqua minori (o, più probabilmente, del Fiume Panaro - si veda Figura 8), il cui risultato può essere una stratigrafia piuttosto variabile, sia nello spazio che verticalmente, con alternanze di livelli fini e a comportamento geomeccanico visco-plastico e di livelli incoerenti, sabbiosi, fino ad un tetto delle ghiaie che si può supporre abbastanza prossimo alla superficie topografica.

A tal proposito, per quanto riguarda la stratigrafia oltre il primo metro più superficiale, questa può essere ricavata, con buona approssimazione, da quella dei pozzi per acqua reperibili dal database geognostico della Regione Emilia-Romagna (Figura 6 e Allegato 1) e molto prossimi alle quattro aree d'indagine.

Sono stati considerati i pozzi con la stratigrafia più profonda: il 202130P609 raggiunge la profondità di 48 m; il 202130P626 raggiunge la profondità di 71 m.

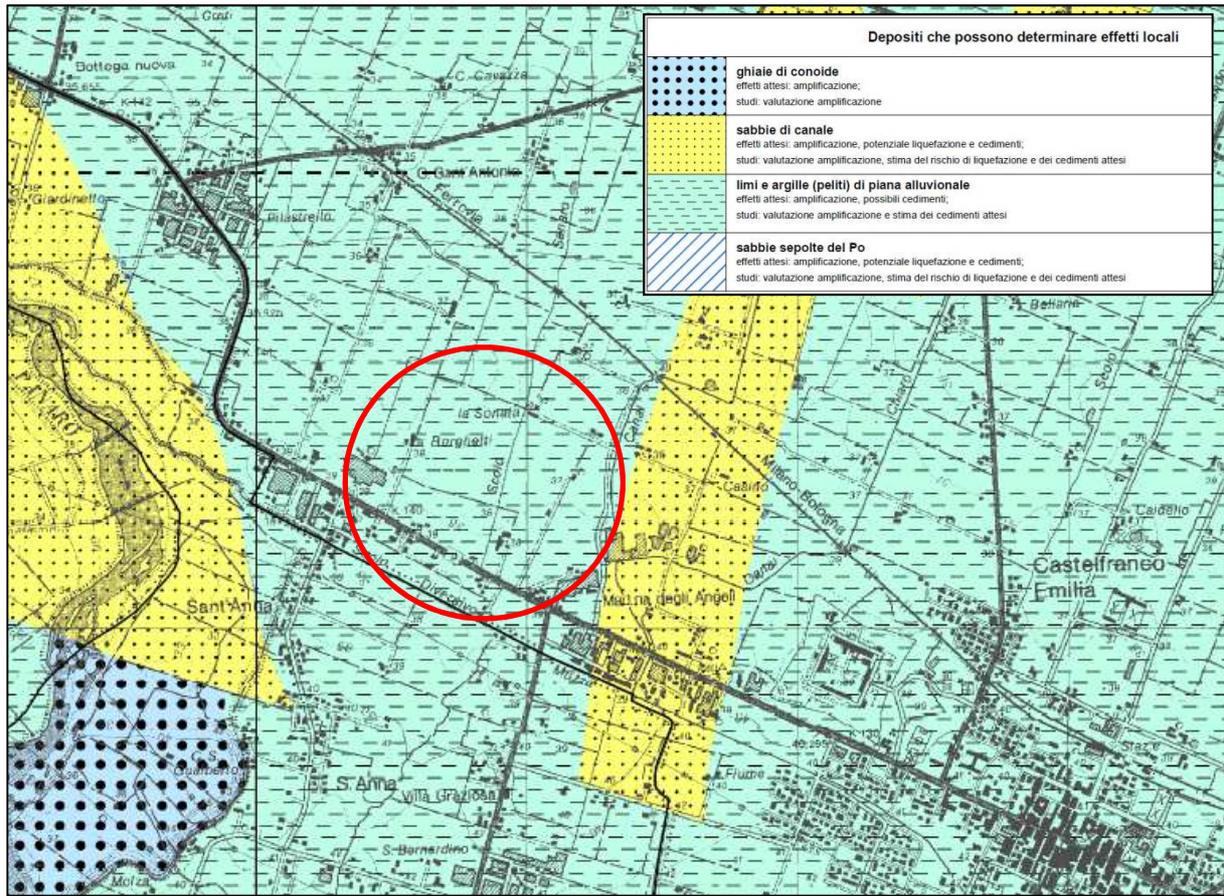


Figura 5 – Stralcio della Tavola 2 a.5 “Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali” del QC del PTCP della Provincia di Modena (2009). Il cerchio rosso circonda l’area in cui ricadono i due ambiti ANP 50 e 58.

La stratigrafia del pozzo 202130P609 indica:

- 0 – 28 m: terra
- 28 – 35 m: ghiaia con acqua
- 35 – 42 m: argilla
- 42 – 48 m: ghiaia con acqua

La stratigrafia del pozzo 202130P626 indica:

- 0 – 15 m: argilla
- 15 – 21 m: ghiaia
- 21 – 27 m: argilla
- 27 – 38 m: ghiaia
- 38 – 61 m: argilla
- 61 – 71 m: ghiaia (con falda captata).

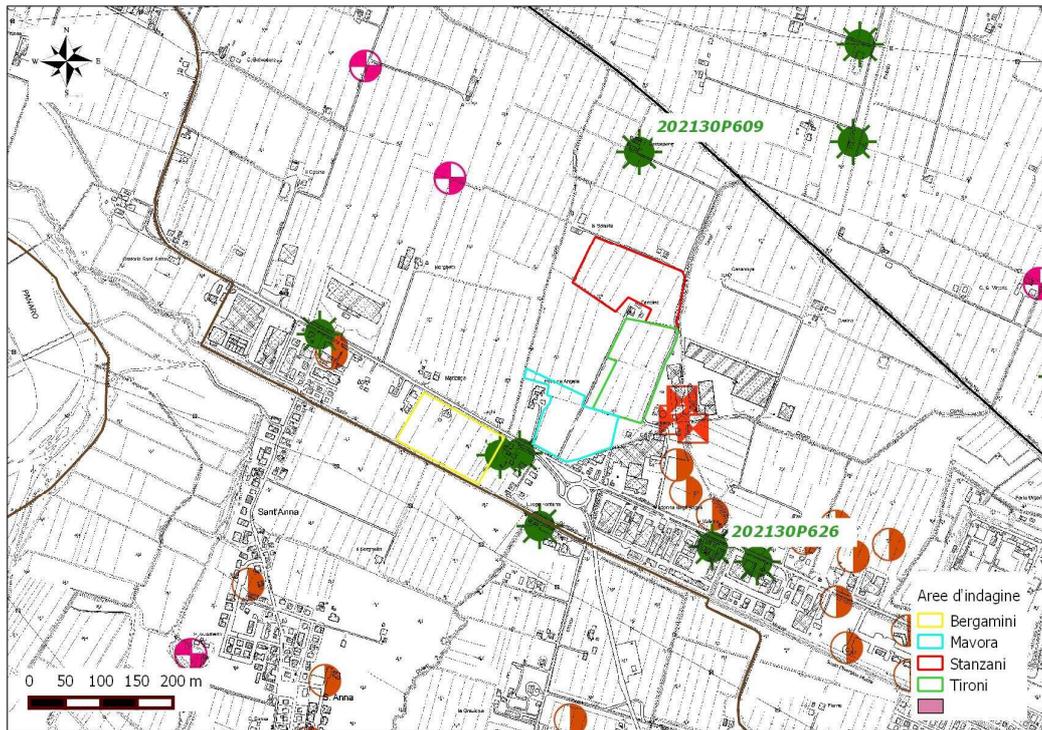


Figura 6 – Ubicazione dei pozzi per acqua considerati in questo studio (simboli verdi con identificativi: 202130P609 e 220020P680) più prossimi alle quattro aree d'indagine, contenuti nel geo-database della Regione Emilia-Romagna, di cui si dispone di stratigrafia.

Il PTCP della Provincia di Modena, nella Tavola 3.2 di QC - "Depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie" - individua una profondità del tetto del substrato marino a circa -280 m rispetto al piano campagna, ed una profondità del tetto del ciclo alluvionale inferiore prossima a -180 m rispetto al piano campagna (Figura 7).

Infine, il Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto" della carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 (Tetto delle ghiaie, delle sabbie - Subsintemi di Ravenna e Villa Verucchio e delle argille organiche di palude - Subsintema di Ravenna) individua, il tetto delle ghiaie a profondità comprese tra circa 8-13 m dal p.d.c.

Dal punto di vista geomorfologico, le aree in studio si sviluppano in un contesto caratterizzato dalla presenza di forme superficiali legate alla paleo-dinamica fluviale (Figura 9Figura 4).

In particolare, sono ubicate in una zona di transizione, come visibile in Figura 8<sup>3</sup>, tra due paleoalvei del Fiume Panaro abbandonati in età romana. Pertanto, considerata anche la presenza, da 8 a 13 m dal piano campagna, di un primo livello ghiaioso rilevante, è ragionevole ipotizzare una forte impronta del Fiume Panaro nella costruzione della sequenza stratigrafica più superficiale della zona.

<sup>3</sup> Panizza, M., Castaldini, D., Pellegrini, M., Giusti, C. & Piacentini, D. (2004) - *Matrici geo-ambientali e sviluppo insediativo: un'ipotesi di ricerca* - in Mazzeri, C. (a cura di): *Per un Atlante Storico Ambientale Urbano*, Edizioni APM, 31-51 pp.

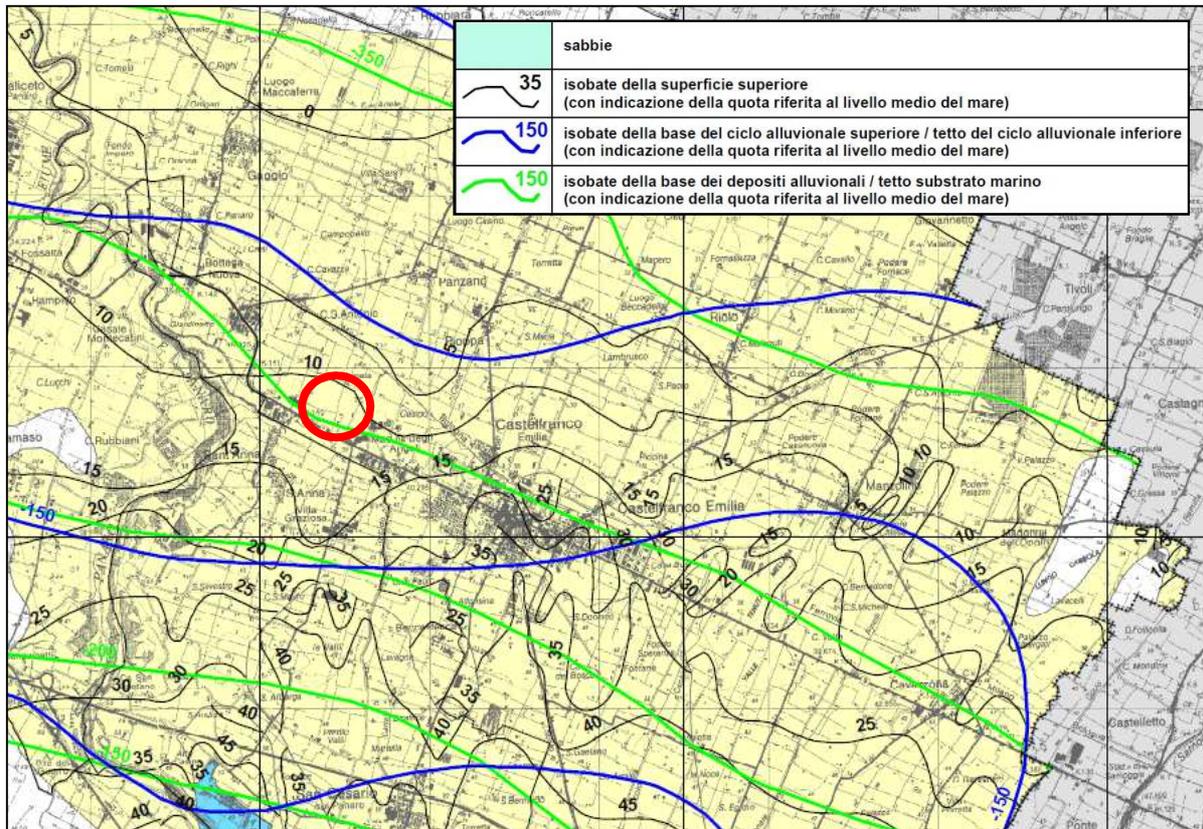


Figura 7 – Stralcio della Tavola 3.2 di QC del PTCP della Provincia di Modena – “Depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie”. Il cerchio rosso individua le aree di studio.

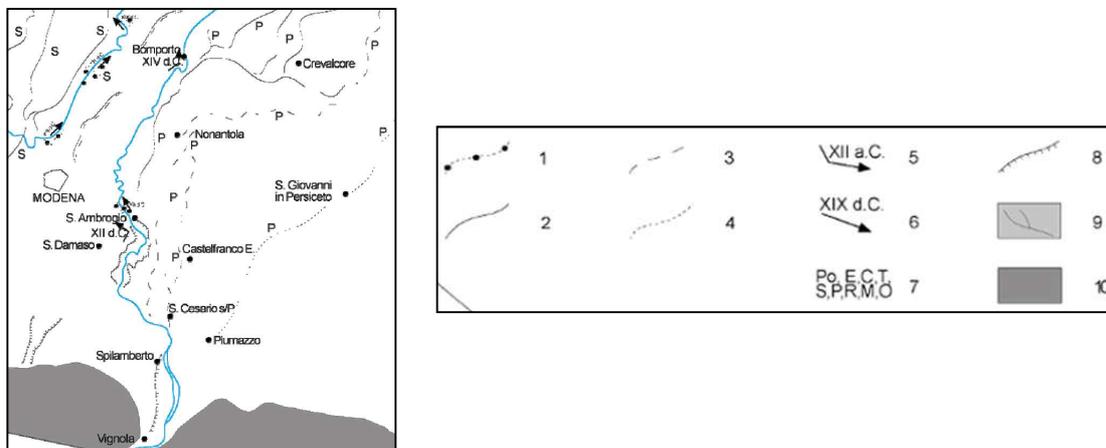


Figura 8 – Evoluzione della rete fluviale tra Mantova e Modena - Legenda: 1) idrografia abbandonata di età moderna, 2) idrografia abbandonata di età medioevale, 3) idrografia abbandonata di età romana, 4) idrografia abbandonata di età del Bronzo, 5) principale deviazione fluviale e indicazione della sua età, 6) principale taglio di meandro e indicazione della sua età, 7) indicazione di dominio fluviale: Po = Po, E = Enza, C = Crostolo, T = Tresinaro, S = Secchia, P = Panaro, M = Mincio, O = Oglio, 8) principale scarpata fluviale, 9) depositi fluvio-glaciali e fluviali tardo pleistocenici con tracce di paleoalvei, 10) formazioni pre-quaternarie del margine appenninico.

La carta geomorfologica del QC del PSC di Castel Franco Emilia evidenzia molto bene l'evoluzione geomorfologica legata alla dinamica fluviale, identificando

numerosi dossi e paleo-alvei di notevole estensione lineare. Due di questi ultimi intersecano l'area in studio, verosimilmente ultimi segni della persistenza del paleo-Panaro prima della sua posizione attuale.

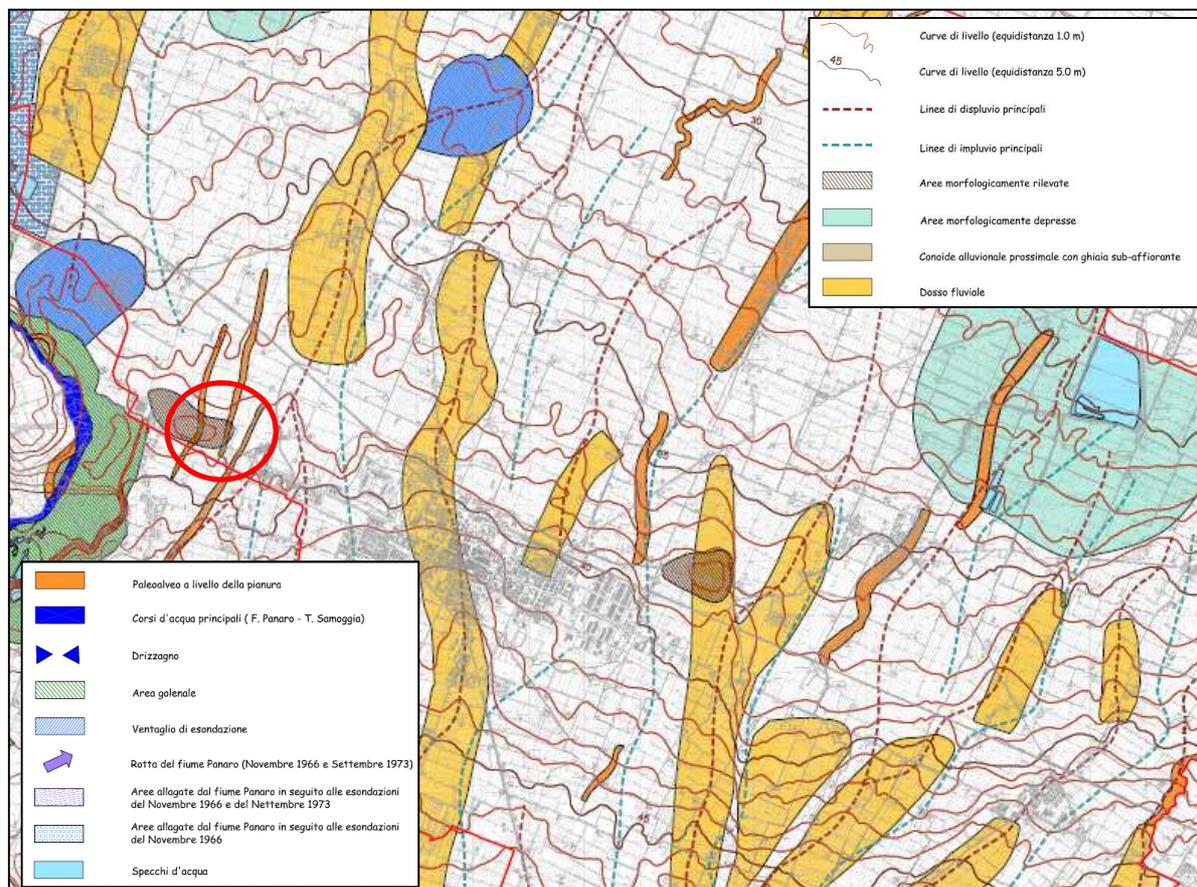


Figura 9 – Estratto della Tavola 1.2 "Geomorfologia" del QC del PSC di Castel Franco Emilia. Il cerchio rosso identifica le quattro aree di studio.

In merito all'idrografia, gli elementi idrografici più prossimi sono rappresentati dal Fiume Panaro, che dista circa 1 km in direzione ovest, dallo Scolo Muzza, 130 m a sud dell'ANP 58, e dal Canal Torbido, che delimita ad est l'ANP 50 scorrendo adiacente al tracciato di via Cartiera.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, l'elaborazione della piezometria della falda superficiale, rappresentata nel QC del PSC comunale, evidenzia, per l'area in esame, la presenza di una direzione di flusso all'incirca da sud a nord, con valori che, in prossimità delle aree d'indagine, sono pari a 33 m s.l.m., per una soggiacenza pari a circa 5 m dal piano campagna (Figura 10).

In occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche statiche in corrispondenza delle aree di studio, la falda è stata intercettata a:

- Area Stanzani: -3 m da p.d.c.
- Area Tironi: -1,8 m da p.d.c.
- Area Mavora: -1,4 m da p.d.c.
- Area Bergamini: -1,8 m da p.d.c.

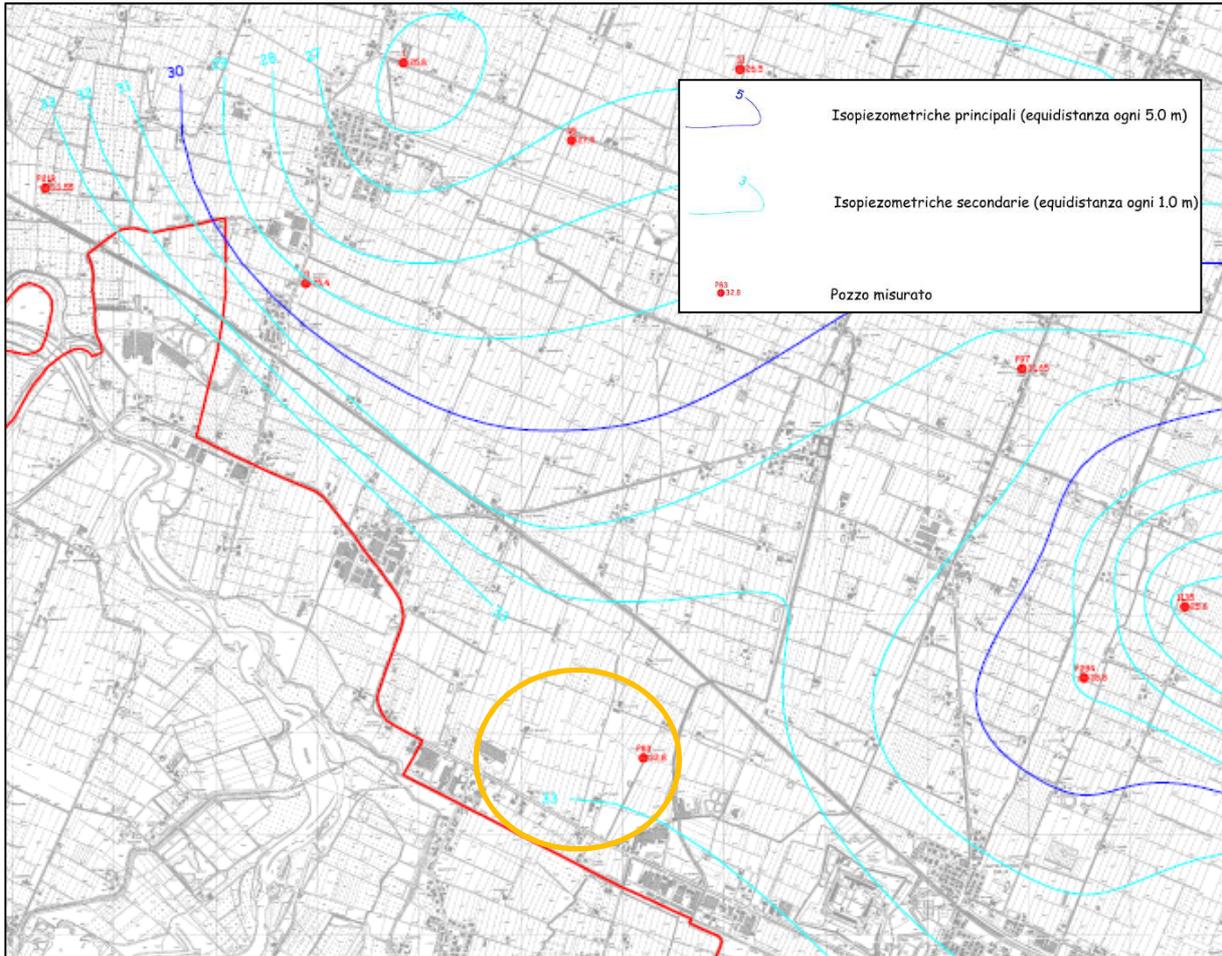


Figura 10 – Estratti della Tavola 1.6a “Piezometria – dati aggiornati primavera 2002”. I cerchi arancioni identificano le tre aree di studio: in alto a sinistra, Gaggio; in alto a destra, Manzolino; in basso a sinistra, Cavazzona.

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Come già accennato nella premessa, per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, nonché per la loro classificazione sismica, sono state utilizzate indagini geognostiche e geofisiche eseguite all'interno delle 4 aree da un altro studio professionale. Nelle date 23/07/2014 (per l'area Tironi) e 30/09/2014 (per le restanti aree) è stata eseguita una campagna geognostica al fine di analizzarne le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche delle aree in esame. L'indagine è stata condotta mediante l'esecuzione di prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPT), in complesso in numero di 12. L'ubicazione delle prove eseguite è mostrata nella planimetria di seguito riportata (Figura 11), mentre i diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna, sono riportati in Allegato 2. Le prove, che hanno raggiunto la profondità di 16 m dal piano di campagna, sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico PAGANI TG63, attrezzato con punta meccanica Begemann (punta conica standard  $\varnothing$  3.57 cm e angolo d'apertura  $60^\circ$ , con manicotto mobile di  $150 \text{ cm}^2$ , infissa nel terreno ad una velocità costante di

2 cm/sec).

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare:

- Rp resistenza alla punta in Kg/cm<sup>2</sup>
- Rlt resistenza laterale totale (punta + manicotto) in Kg/cm<sup>2</sup>
- Rl resistenza laterale locale (al manicotto) in Kg/cm<sup>2</sup>
  
- Successivamente il processo di discretizzazione dei parametri di campagna, ha permesso la determinazione di:
  - classificazione litologica (Begemann - Schmestron)
  - peso specifico medio del terreno naturale
  - peso specifico efficace
  - pressione litostatica eff. al centro dello strato
  - coesione non drenata
  - angolo d'attrito
  - densità relativa
  - coefficiente di compressibilità di volume
  - modulo di reazione orizzontale
  - permeabilità:

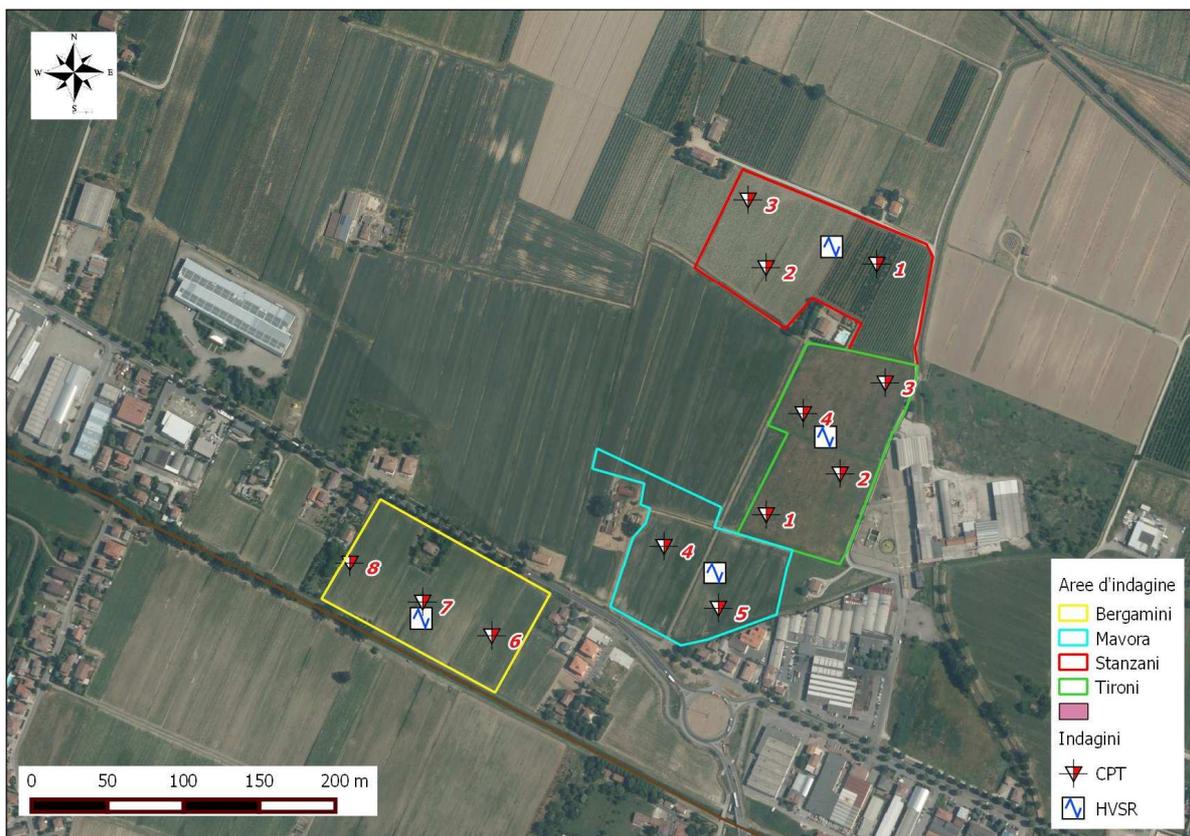


Figura 11 - Ubicazione dei sondaggi penetrometrici e delle verticali HVSR eseguiti per la stesura delle relazioni d'archivio citate in nota 1 di questa relazione.

Dal punto di vista litostratigrafico, oltre il primo livello superficiale di suolo, le prove (da Tabella 1 a Tabella 12) hanno evidenziato la netta prevalenza di terreni fini (essenzialmente limi argillosi, con a luoghi percentuali maggiori di

sabbie), più o meno addensati. I livelli sabbiosi sono di sottile spessore e non sempre presenti. Generalmente sono presenti tra i 6 e i 9 m, con livelli più superficiali intercettati dalla CPT4 "Mavora", a -4,6 m dal p.d.c., e livelli più profondi intercettati dalla CPT8 "Bergamini", a -14,2 m dal p.d.c.

Il tetto delle ghiaie è risultato, come prevedibile, piuttosto superficiale, con minimi a -8,2 m (nella CPT5 "Mavora") e massimi a -15 m dal p.d.c. (nella CPT8 "Bergamini").

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.80 Argilla plastica	1769	1769	0.318	0.540	24	0	0.0180	1.1111		1.1e-6
3.20 Limo argil-sabbioso adde	1775	1125	0.476	0.555	22	0	0.0145	0.7714		8.0e-4
7.00 Limo argil-sabbioso scio	1685	1035	0.869	0.272	16	0	0.0203	0.4211		1.8e-3
7.80 Sabbia sciolta	1700	1050	0.953	0.000	21	15	0.0244	1.0250		7.8e-2
8.00 Limo argil-sabbioso adde	1841	1191	0.977	0.851	21	0	0.0150	1.2000		4.4e-3
8.40 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.023	0.000	30	100	0.0023	14.6250		7.1e-1

Tabella 1 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPT1, area "Tironi". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci – vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.80 Argilla plastica	1753	1753	0.316	0.484	24	0	0.0182	1.0000		7.7e-7
8.20 Limo argil-sabbioso scio	1727	1077	1.005	0.370	17	0	0.0169	0.5604		1.9e-3
9.40 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.143	0.000	27	84	0.0039	8.6083		2.8e-1

Tabella 2 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPT2, area "Tironi". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci – vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
0.80 Limo argil-sabbioso adde	1927	1927	0.154	1.592	34	0	0.0104	2.1333		2.2e-3
1.40 Argilla torbosa consiste	1753	1753	0.259	0.487	25	0	0.0182	1.0000		5.7e-7
2.60 Limo argilloso plastico	1810	1160	0.399	0.713	25	0	0.0140	0.9778		3.6e-4
9.00 Limo argil-sabbioso scio	1708	1058	1.075	0.315	16	0	0.0183	0.4917		7.5e-4
12.60 Limo argilloso plastico	1807	1157	1.492	0.645	18	0	0.0140	0.9593		2.7e-4
16.00 Limo argilloso soffice	1750	1100	1.866	0.398	14	0	0.0155	0.6549		2.4e-4

Tabella 3 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPT3, area "Tironi". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci – vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
0.80 Argilla limosa molto con	1896	1896	0.152	1.292	33	0	0.0077	2.6000		3.3e-5
1.80 Argilla limosa plastica	1737	1737	0.325	0.434	23	0	0.0185	0.9000		2.6e-6
3.40 Limo argilloso plastico	1785	1135	0.507	0.593	22	0	0.0143	0.8250		3.3e-4
6.80 Limo argil-sabbioso scio	1719	1069	0.870	0.354	17	0	0.0174	0.5294		2.6e-3
8.40 Sabbia argil-limosa adde	1700	1050	1.038	0.000	20	15	0.0351	1.2667		1.4e-2
8.80 Ghiaia molto sciolta	1650	1000	1.078	0.000	21	23	0.0172	1.4500		3.2e-1
9.40 Sabbia ghiaiosa media ad	1750	1100	1.144	0.000	23	41	0.0134	2.4833		1.1e-1
9.80 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.190	0.000	30	100	0.0021	15.7250		6.6e-1

Tabella 4 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPT4, area "Tironi". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci – vedi nota 1 questa rel.)

COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA (MO)  
 QUARTA VARIANTE AL P.O.C.

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.40 Argilla limosa consisten	1842	1842	0.258	0.894	28	0	0.0110	1.8143		2.6e-5
3.40 Limo argilloso plastico	1785	1135	0.485	0.596	23	0	0.0142	0.8267		1.2e-4
6.60 Limo argilloso soffice	1693	1043	0.819	0.293	17	0	0.0195	0.4458		1.2e-4
10.60 Limo argilloso plastico	1781	1131	1.271	0.539	18	0	0.0144	0.8033		1.2e-4
11.00 Ghiaia sabbiosa sciolta	1650	1000	1.311	0.000	20	16	0.0189	1.3250		1.9e-1
13.00 Limo argilloso plastico	1843	1193	1.550	0.833	19	0	0.0151	1.2133		1.7e-4
15.00 Limo argilloso soffice	1767	1117	1.773	0.461	15	0	0.0148	0.7333		1.6e-4

Tabella 5 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT1, area "Stanzani". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.00 Argilla torbosa consiste	1820	1820	0.182	0.771	29	0	0.0128	1.5600		4.3e-6
1.60 Argilla limosa soffice	1713	1713	0.285	0.369	23	0	0.0196	0.7667		3.9e-6
3.20 Limo argilloso plastico	1820	1170	0.472	0.758	24	0	0.0141	1.0417		5.2e-4
6.40 Limo argilloso soffice	1670	1020	0.798	0.248	16	0	0.0218	0.3833		1.1e-4
7.20 Sabbia sciolta	1700	1050	0.882	0.000	20	15	0.0317	0.7875		8.7e-2
7.60 Limo argil-sabbioso scio	1700	1050	0.924	0.304	16	0	0.0189	0.4667		2.0e-3
8.80 Sabbia argil-limosa adde	1700	1050	1.050	0.000	24	49	0.0109	4.0778		8.8e-3
10.00 Sabbia ghiaiosa media ad	1750	1100	1.182	0.000	26	70	0.0056	5.9083		1.1e-1
10.20 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.205	0.000	28	90	0.0032	10.5500		5.9e-1

Tabella 6 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT2, area "Stanzani". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.00 Argilla limosa plastica	1797	1797	0.180	0.661	28	0	0.0149	1.3400		4.1e-6
3.00 Limo argil-sabbioso adde	1828	1828	0.545	0.798	24	0	0.0143	1.1000		1.3e-3
3.60 Limo argil-sabbioso adde	1780	1130	0.613	0.569	21	0	0.0144	0.8000		8.0e-4
6.80 Limo argilloso soffice	1703	1053	0.950	0.309	16	0	0.0187	0.4750		4.9e-4
8.20 Limo argil-sabbioso adde	1835	1185	1.116	0.808	20	0	0.0146	1.1524		1.5e-3
9.80 Limo argil-sabbioso scio	1739	1089	1.290	0.392	16	0	0.0161	0.6083		7.5e-4
10.40 Limo argilloso plastico	1767	1117	1.357	0.482	17	0	0.0148	0.7333		1.1e-4
10.80 Limo argil-sabbioso adde	1899	1249	1.407	1.255	21	0	0.0126	1.7667		6.1e-4
15.00 Limo argilloso plastico	1812	1162	1.895	0.648	17	0	0.0140	0.9905		1.4e-4

Tabella 7 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT3, area "Stanzani". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.20 Argilla limosa soffice	1737	1737	0.208	0.440	25	0	0.0185	0.9000		3.8e-5
4.60 Limo argil-sabbioso scio	1718	1068	0.571	0.366	19	0	0.0175	0.5255		2.7e-3
5.60 Sabbia argilloso-limosa	1650	1000	0.671	0.000	19	15	0.0532	0.6267		5.9e-3
8.60 Limo argil-sabbioso scio	1704	1054	0.988	0.311	16	0	0.0186	0.4800		1.2e-3
9.20 Sabbia argill-limosa add	1750	1100	1.054	0.000	25	65	0.0069	4.8167		1.2e-2
9.40 Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.077	0.000	30	100	0.0021	15.6000		7.3e-1

Tabella 8 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT4, area "Mavora". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml		Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
0.60	Limo argil-sabbioso adde	1841	1841	0.110	0.894	32	0	0.0150	1.2000		1.4e-3
4.00	Argilla limosa soffice	1705	1055	0.469	0.338	20	0	0.0201	0.7235		4.1e-5
6.20	Limo argil-sabbioso scio	1696	1046	0.699	0.306	18	0	0.0193	0.4545		1.3e-3
7.80	Sabbia lim. mediamente a	1750	1100	0.875	0.000	23	39	0.0121	2.0625		4.4e-2
8.20	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	0.921	0.000	30	100	0.0025	13.4500		6.8e-1

Tabella 9 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT5, area "Mavora". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml		Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.40	Limo argilloso consisten	1943	1943	0.272	1.772	31	0	0.0093	2.3810		3.7e-4
2.40	Limo argilloso soffice	1747	1097	0.382	0.461	23	0	0.0157	0.6400		1.1e-4
4.00	Limo argil-sabbioso scio	1769	1119	0.561	0.528	21	0	0.0147	0.7417		7.4e-4
4.60	Limo argilloso soffice	1720	1070	0.625	0.369	19	0	0.0174	0.5333		2.3e-4
7.60	Limo argilloso molto sof	1655	1005	0.927	0.214	15	0	0.0235	0.3467		2.6e-4
8.20	Limo argil-sabbioso adde	2034	1384	1.010	3.233	28	0	0.0051	4.3778		2.7e-3
8.60	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.056	0.000	29	100	0.0026	12.9000		6.8e-1

Tabella 10 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT6, area "Bergamini". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml		Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.60	Limo argilloso consisten	1950	1950	0.312	1.847	31	0	0.0089	2.4833		2.9e-4
4.00	Limo argilloso plastico	1795	1145	0.587	0.633	22	0	0.0141	0.8833		2.0e-4
8.20	Limo argilloso soffice	1706	1056	1.030	0.313	16	0	0.0184	0.4857		2.5e-4
12.20	Limo argil-sabbioso scio	1707	1057	1.453	0.295	14	0	0.0183	0.4900		1.2e-3
12.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1050	1.516	0.000	20	15	0.0244	1.8222		1.6e-2
13.40	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.585	0.000	27	86	0.0031	10.8667		6.3e-1

Tabella 11 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT7, area "Bergamini". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Prof. Terreno ml		Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K kg/cm3	oriz	Perm. cm/sec
1.60	Limo argilloso molto con	1989	1989	0.318	2.403	32	0	0.0069	3.2250		5.3e-4
3.60	Argilla limosa plastica	1792	1142	0.547	0.623	22	0	0.0154	1.3000		5.4e-6
8.80	Limo argil-sabbioso scio	1714	1064	1.100	0.330	16	0	0.0178	0.5128		2.0e-3
9.20	Sabbia sciolta	1700	1050	1.142	0.000	20	15	0.0263	0.9500		7.4e-2
11.00	Limo argil-sabbioso scio	1716	1066	1.334	0.322	15	0	0.0177	0.5185		5.5e-4
12.40	Limo argilloso plastico	1789	1139	1.493	0.561	17	0	0.0142	0.8476		3.1e-4
14.20	Limo argil-sabbioso scio	1770	1120	1.695	0.476	16	0	0.0147	0.7481		1.5e-3
14.60	Sabbia limosa addensata	1800	1150	1.741	0.000	26	74	0.0042	8.0250		3.2e-2
15.00	Ghiaia mediamente addens	1800	1150	1.787	0.000	27	89	0.0026	12.6250		4.7e-1

Tabella 12 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT8, area "Bergamini". (Fonte: rel. A cura di Dott. Geol. C. Preci - vedi nota 1 questa rel.)

Dal punto di vista geotecnico, le 12 prove effettuate hanno evidenziato la presenza di terreni a prevalente componente limo-argillosa, caratterizzati da valori di coesione non drenata sempre scadenti o, al massimo, mediocri, che mostrano un decadimento generalizzato con la profondità. Dato questo che conferma molto bene, per quest'area di indagine, il quadro delle resistenze meccaniche dei terreni ricostruito per il QC del PSC e rappresentato nella tavola 1.3b "Aree con resistenza meccanica del 2° e/o 3° strato (4-10 m) inferiore a quella del 1° strato (1-4 m)".

Anche gli esigui spessori sabbiosi mostrano scarso grado di addensamento, che aumenta solo in prossimità del tetto delle ghiaie ove, verosimilmente, gli alti valori di densità sono falsati dagli alti valori di resistenza alla punta dovuti alla prossimità al tetto stesso delle ghiaie.

#### 4. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica dei terreni sono state considerate le indagini HVSR eseguite dal Dott. Geol. Claudio Preci (vedasi nota 1 questa relazione) all'interno di ciascuna area di studio. L'ubicazione delle indagini è mostrata in Figura 11, mentre i certificati di prova (a cui si rimanda per tutti i dettagli) sono visibili in Allegato 3.

Con riferimento ai quattro ambiti indagati, mediante la metodologia d'analisi passiva HVSR, è stato possibile individuare la frequenza naturale dei terreni insieme ad un altro picco secondario e ricostruire il profilo di Vs con la profondità, da cui è stato ricavato il parametro di Normativa Vs<sub>30</sub>.

- Area "Tironi" - Vs<sub>30</sub>: 245 m/s; f<sub>0</sub>: 1,25Hz; picco secondario: 4,5Hz
- Area "Stanzani"- Vs<sub>30</sub>: 271 m/s; f<sub>0</sub>: 1,20Hz; picco secondario: 3,5Hz
- Area "Mavora"- Vs<sub>30</sub>: 232 m/s; f<sub>0</sub>: 4Hz
- Area "Bergamini"- Vs<sub>30</sub>: 269 m/s; f<sub>0</sub>: 3,6Hz; picco secondario: 1,20Hz

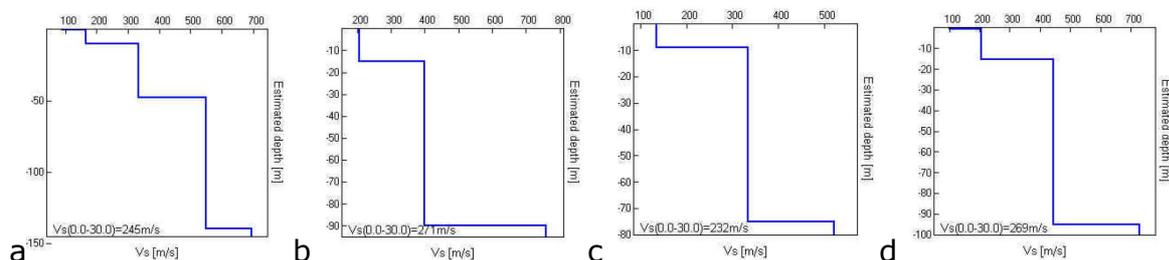


Figura 12 – Profili di Vs con la profondità ricavati dalle indagini HVSR eseguite dal Dott. Geol. C. Preci.

Nel complesso, le sismostratigrafie mostrano tutto sommato abbastanza simili, con la Vs che aumenta con la profondità e con un primo sensibile contrasto di velocità tra 10 e 15 m, con velocità delle onde s intorno ai 300-400 m/s. Il bedrock sismico (inteso come strato in cui le velocità delle onde s sono maggiori o uguali a 800 m/s) non è mai raggiunto, ma solo avvicinato a circa 90-100 m nelle verticali in area "Stanzani" e in area "Tironi".

La prime superficie di risonanza, tra 10 e 15 m, sembra correlabile col tetto del primo strato ghiaioso e con la frequenza di sito pari a 3-4Hz. La frequenza di 1,20Hz, correlata alla velocità delle onde s in superficie, indica una seconda superficie di risonanza a circa 50-56 m.

## 5. FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA ED EFFETTI DI SITO

Sulla base delle stratigrafie ricavate dalle indagini effettuate in situ e dai dati bibliografici raccolti, in riferimento alla DGR 2193/2015, si possono collocare le aree in esame all'interno dell'ambito geomorfologico e litostratigrafico denominato "Margine" e, nello specifico, in quello di "tipo B", ovvero caratterizzato da spessore dei terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato, come evidenziato dalla sezione geologica di Figura 13.

Fino a circa 10-15 m di profondità, infatti, le stratigrafie risultanti dalle CPT eseguite in situ hanno mostrato una netta prevalenza di terreni fini, principalmente limo-argillosi, con rare, sottili lenti sabbiose. Le stratigrafie di pozzo individuano strati ghiaiosi di spessori non particolarmente rilevanti. Infine, la sezione stratigrafica nr. 066 del database regionale (Figura 13 e Allegato 4) mostra due livelli ghiaiosi tra 30 e 50 m di profondità, seguiti da circa 350 m di alternanze fra strati fini e strati sabbiosi, fino al contatto con il substrato marino.

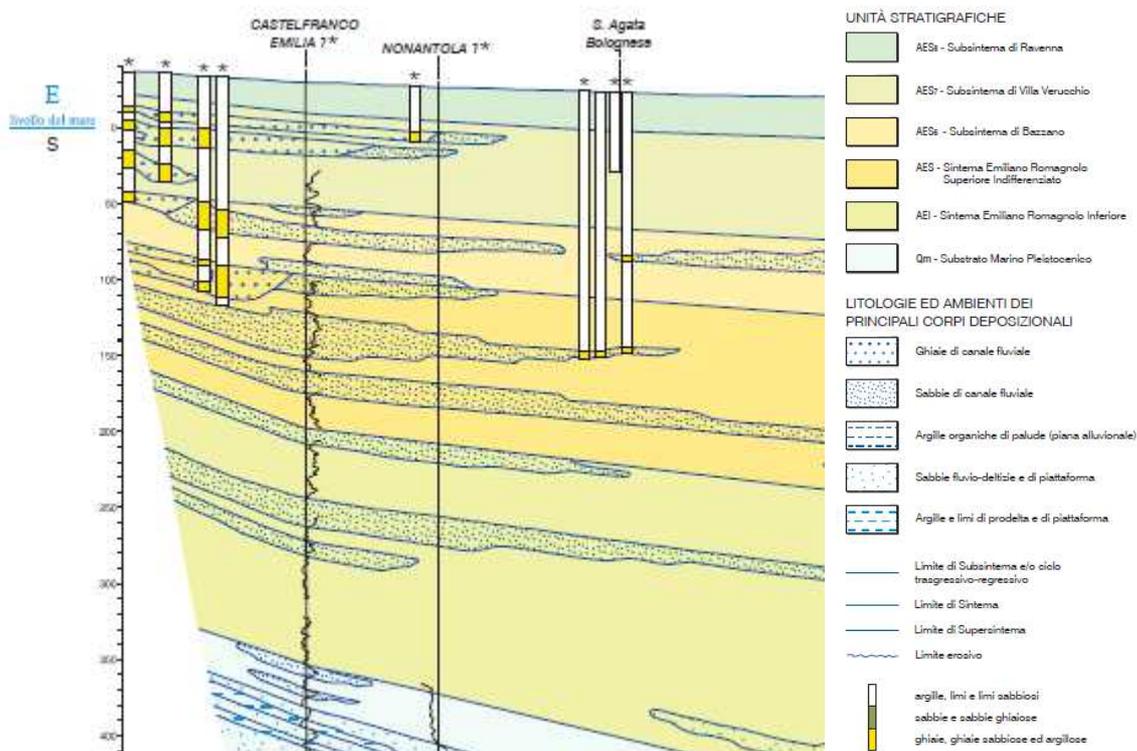


Figura 13 – Stralcio della sezione nr. 066 del database delle prove geognostiche e sezioni geologiche della Regione Emilia-Romagna.

Lo stesso prolungamento lineare dei profili di Vs ricavati in situ conduce al raggiungimento di profondità del bedrock sismico che variano da 190 a 220 m dal p.d.c.

Vista la presenza di livelli sabbiosi poco addensati (anche se di spessore limitato), sotto falda, si è reso necessario eseguire, per tutte le aree di studio, un'analisi di risposta sismica locale per individuare i fattori di amplificazione sismica del terreno, prescindendo dall'utilizzo delle tabelle della DGR 2193/2015.

Le analisi di risposta sismica locale sono state condotte, per ogni area, utilizzando il codice di calcolo "STRATA"<sup>4</sup>, lineare equivalente, nel dominio delle frequenze.

I profili stratigrafici sono stati inseriti sulla base dell'elaborazione di quelle verticali penetrometriche CPT, eseguite nel 2014 dal Dott. Geol. C. Preci, che mostrano caratteristiche di resistenza meccanica minori. Oltre tale profondità, le stratigrafie sono state assunte uguali a quelle ricavabili dai pozzi per acqua precedentemente citati in questa relazione e presenti in Allegato 1. Laddove la stratigrafia del pozzo non è risultata sufficiente a descrivere la sequenza stratigrafica sino alla profondità stimata del bedrock sismico, la stratigrafia è stata integrata con l'analisi della Sezione nr. 066 (Figura 13, Allegato 4).

I valori di Vs sono stati calcolati dai profili derivati dalle analisi HVSR eseguiti dal Dott. Geol. C. Preci; da -30 m al bedrock sismico stimato, i valori sono stati estrapolati sulla base della linea di tendenza lineare dei profili di Vs.

Nonostante l'estrapolazione lineare dei profili di Vs consenta di raggiungere gli 800 m/s a profondità variabili da 190 a 220 m, la profondità del bedrock sismico è stata presa pari a **120 m**, ovvero alla profondità considerata dalla DGR 2193/2015 come corrispondente al bedrock sismico per l'ambito di Margine B. Questo a ragion del fatto che la derivazione dei profili di Vs tramite HVSR, se non eseguita congiuntamente ad un'analisi a sismica attiva (ex. MASW), non consente una precisa definizione delle Vs a grandi profondità.

La presenza di un picco ricorrente, nelle curva H/V eseguite dal Dott. Geol. C. Preci, ha permesso di definire anche la profondità di quella che può essere identificata come una importante superficie a significativo contrasto d'impedenza, più superficiale rispetto a quella del bedrock sismico di cui sopra, ma comunque importante da considerare ai fini dell'amplificazione sismica locale. A seguire si riportano i valori calcolati di tale profondità:

- Area "Stanzani": **-20** m dal p.d.c.
- Area "Tironi": **-10** m dal p.d.c.
- Area "Mavora": **-10** m dal p.d.c.
- Area "Bergamini": **-15** m dal p.d.c.

Tali profondità sono riconducibili, come detto, al tetto del primo strato ghiaioso. Provata, quindi, l'esistenza di questa interfaccia potenzialmente importante per l'amplificazione sismica di sito, si è deciso di scomporre l'analisi di risposta sismica locale, per ogni area, in due sotto-analisi: una che vede la presenza del bedrock profondo; una che vede la presenza della sola interfaccia con le prime ghiaie.

Nelle analisi di risposta sismica locale, la DGR 2193/2015 fa obbligo di utilizzare la terna di accelerogrammi di input individuata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli per l'intera Regione, opportunamente scalata al valore di PGA di

---

<sup>4</sup> Kottke, A.R. & Rathje, E.M. (2008) – Technical Manual for Strata. PEER Report 2008, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 81 p.

riferimento del nodo della rete più prossimo all'area di studio, nelle fattispecie pari a **0,1642g**.

Variando spessori degli strati, Vs e curve di degrado dei materiali (utilizzando sia curve a disposizione dello scrivente per litologie simili, ricavate da indagini di laboratorio geotecnico da campioni estratti in contesti stratigrafici simili a quello di studio, sia le curve fornite dallo stesso programma di calcolo corredate dalle possibili incertezze), STRATA ha eseguito, per i 3 accelerogrammi, 100 analisi di risposta sismica da cui scaturiscono altrettanti spettri di risposta elastici in superficie.

I risultati complessivi (per SLV) sono sintetizzati nelle figure da 14 a 21, in cui vengono rappresentate la curva 84° percentile dello spettro di risposta in superficie (NON normalizzato) ottenuto da RSL e, per confronto, la sua forma normalizzata, lo spettro di Normativa normalizzato per l'area di studio: SLV, sottosuolo di tipo A e di tipo C. Si è optato per considerare lo spettro 84° percentile dei 100 restituiti per ottenere un risultato conservativo solitamente considerato efficace nella consuetudine operativa.

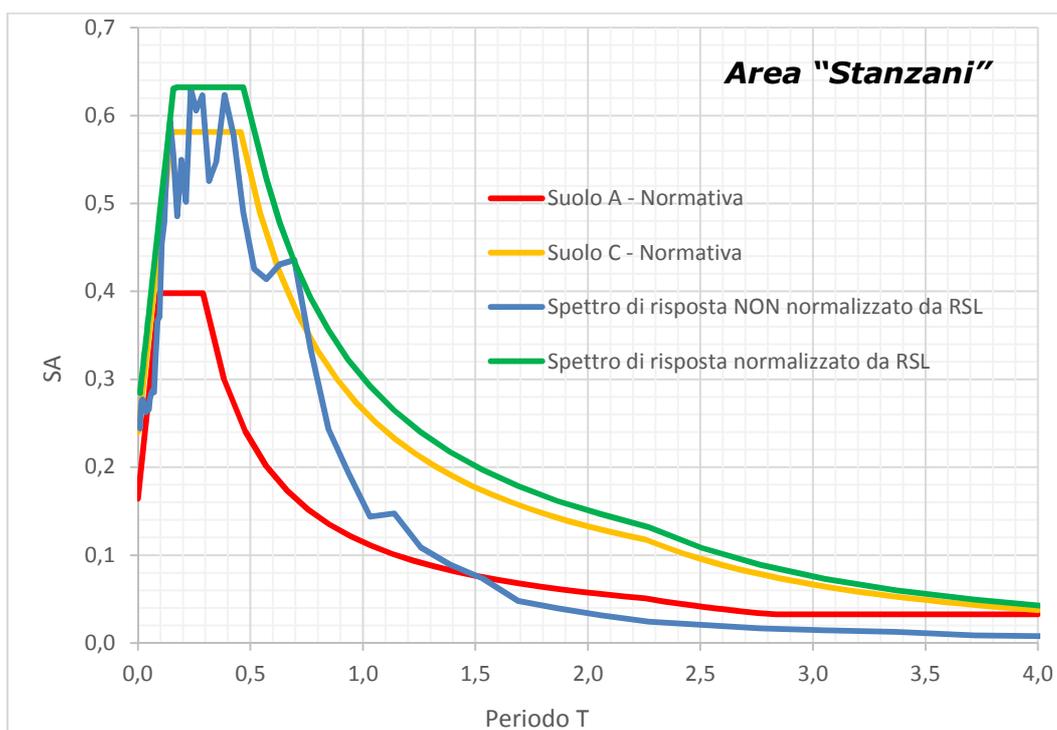


Figura 14 - Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale, ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio presso l'area "Stanzani", considerando l'interfaccia risonante alla profondità di -20 m. Lo stesso viene confrontato con la sua forma normalizzata e con lo spettro di normativa per suolo A e per suolo C (SLV).

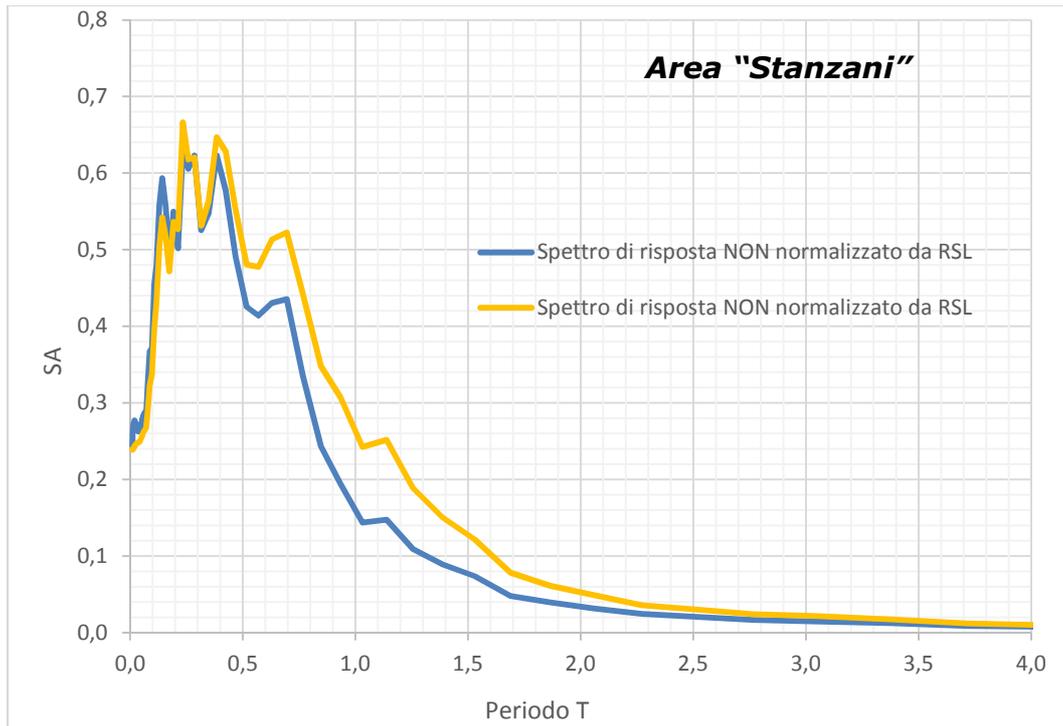


Figura 15 - Confronto tra gli spettri di risposta visco-elastici, NON normalizzati, ottenuti da analisi di risposta sismica locale eseguita presso l'area "Stanzani" considerando il bedrock sismico a -120 m (linea arancio) e l'interfaccia risonante a -20 m (linea blu).

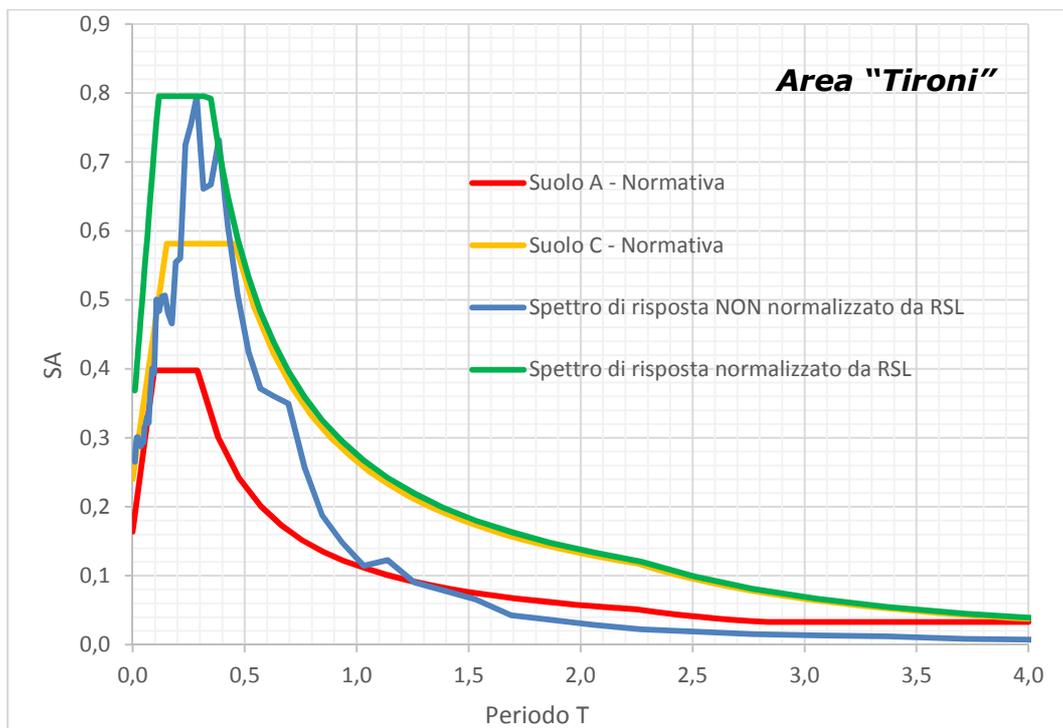


Figura 16 - Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale, ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio presso l'area "Tironi", considerando l'interfaccia risonante alla profondità di -10 m. Lo stesso viene confrontato con la sua forma normalizzata e con lo spettro di normativa per suolo A e per suolo C (SLV).

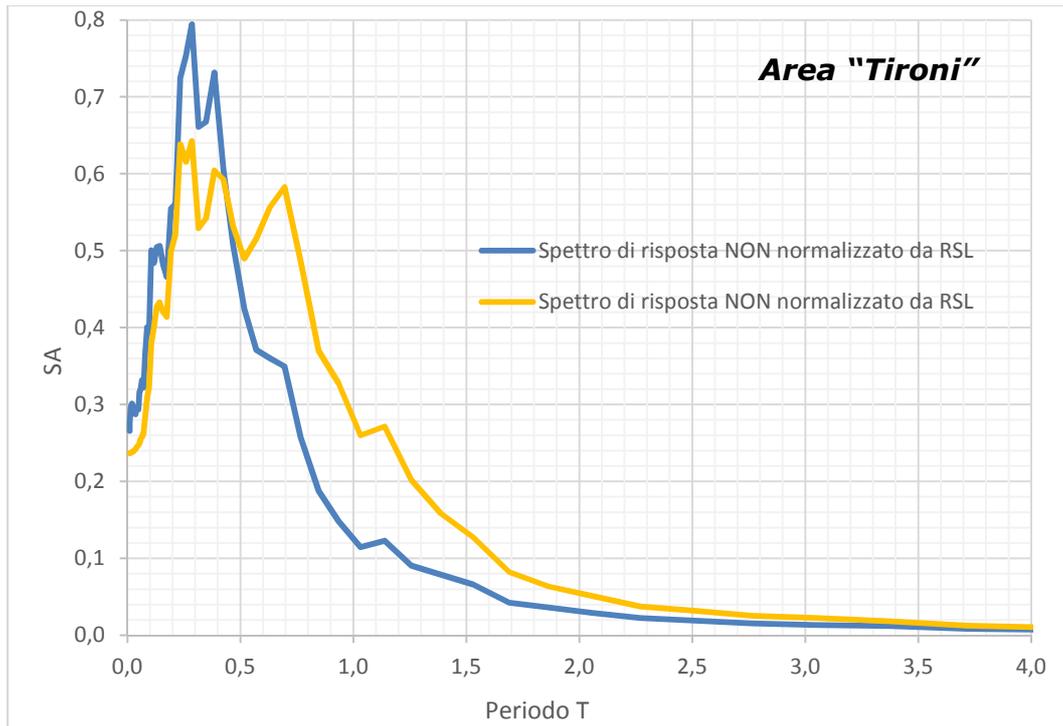


Figura 17 - Confronto tra gli spettri di risposta visco-elastici, NON normalizzati, ottenuti da analisi di risposta sismica locale eseguita presso l'area "Tironi" considerando il bedrock sismico a -120 m (linea arancio) e l'interfaccia risonante a -10 m (linea blu).

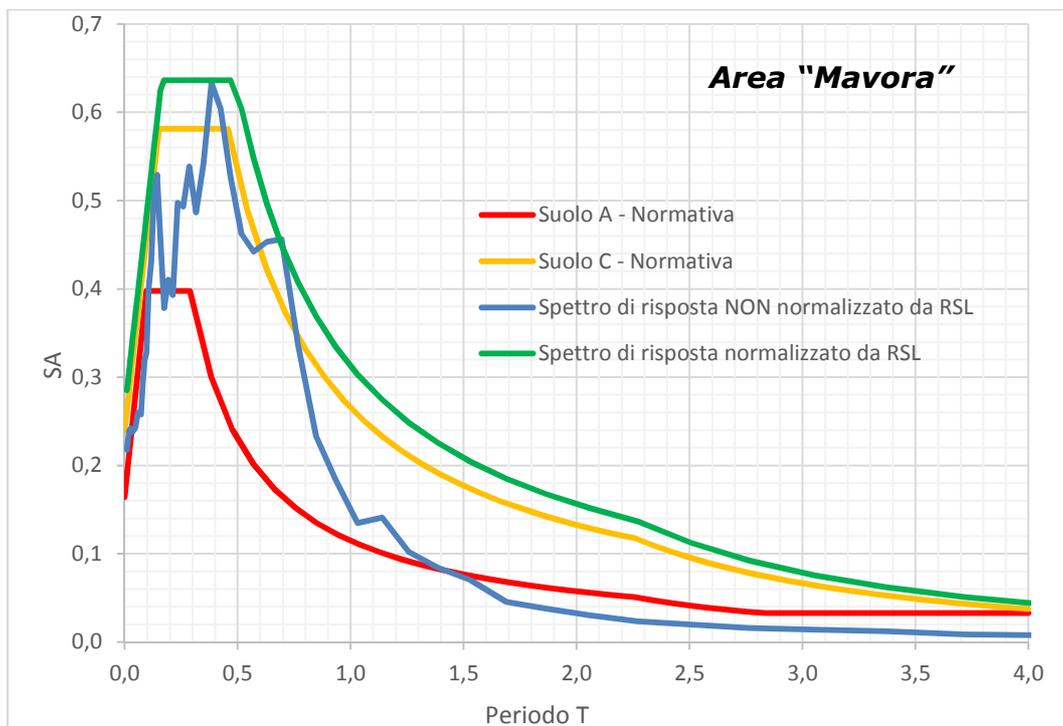


Figura 18 - Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale, ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio presso l'area "Mavora", considerando l'interfaccia risonante alla profondità di -10 m. Lo stesso viene confrontato con la sua forma normalizzata e con lo spettro di normativa per suolo A e per suolo C (SLV).

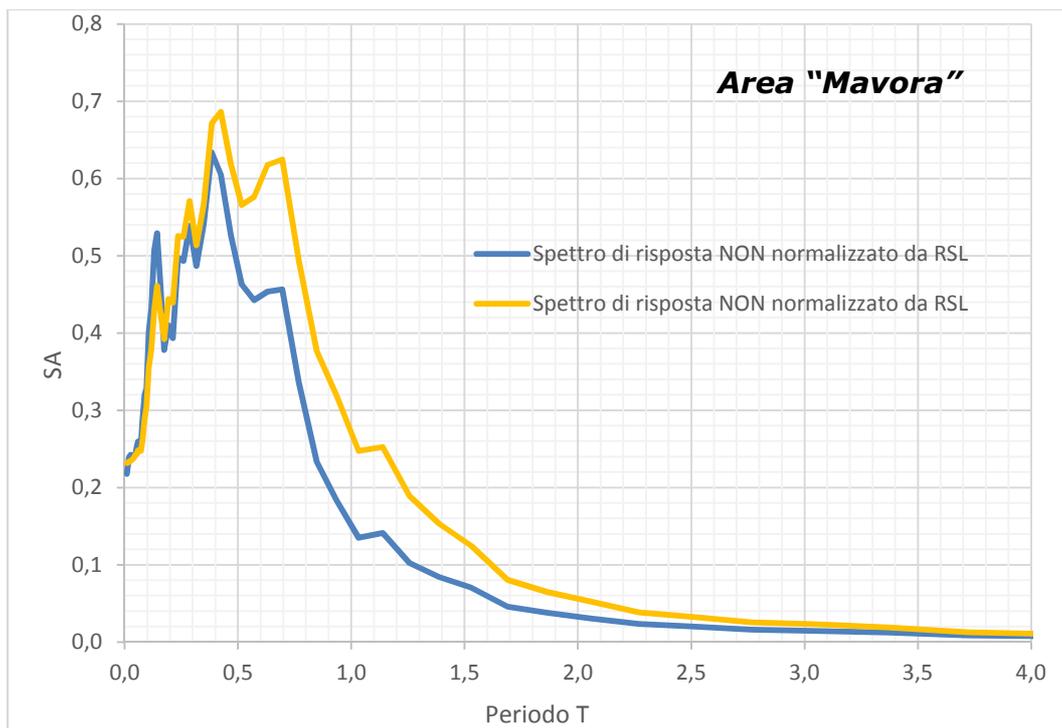


Figura 19 - Confronto tra gli spettri di risposta visco-elastici, NON normalizzati, ottenuti da analisi di risposta sismica locale eseguita presso l'area "Mavora" considerando il bedrock sismico a -120 m (linea arancio) e l'interfaccia risonante a -10 m (linea blu).

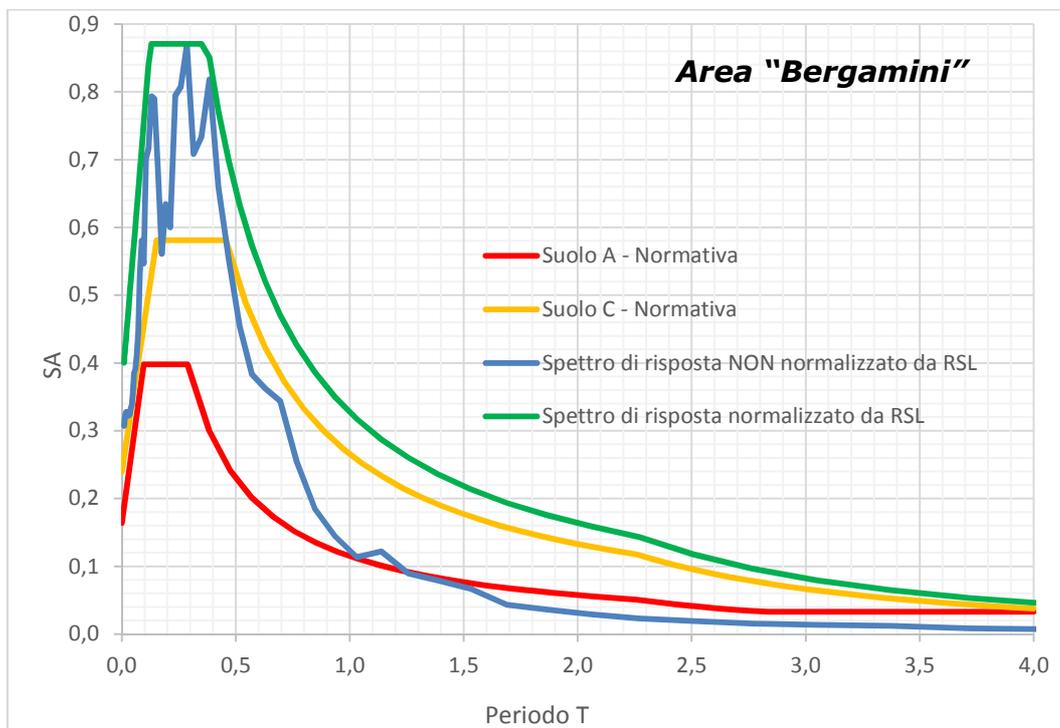


Figura 20 - Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale, ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio presso l'area "Bergamini", considerando l'interfaccia risonante alla profondità di -15 m. Lo stesso viene confrontato con la sua forma normalizzata e con lo spettro di normativa per suolo A e per suolo C (SLV).

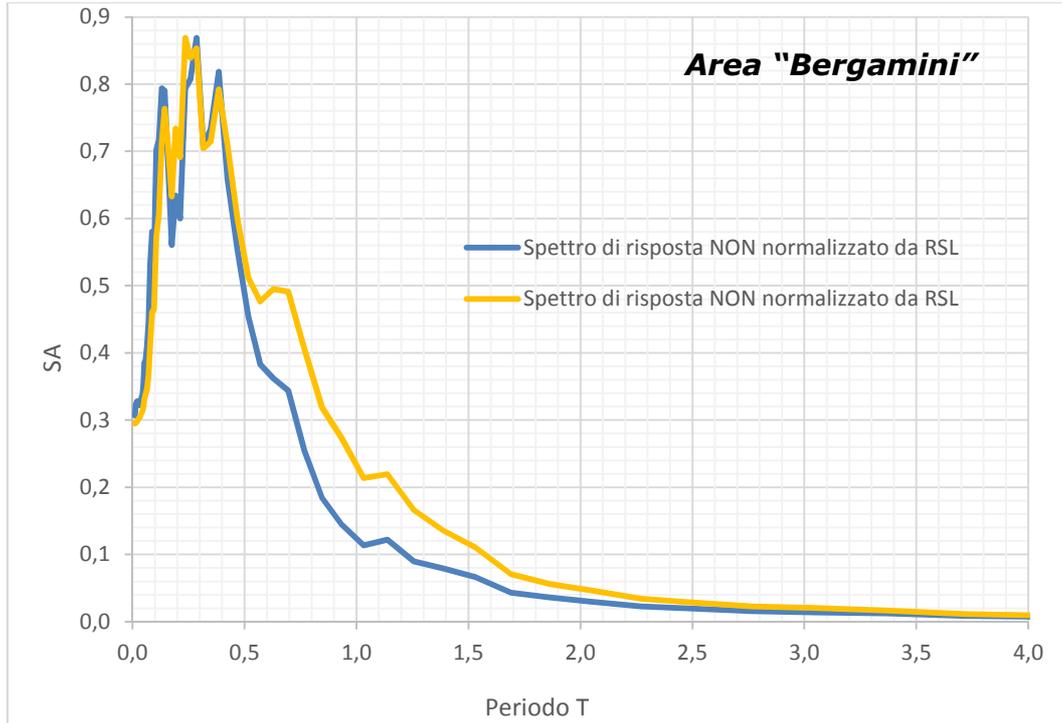


Figura 21 - Confronto tra gli spettri di risposta visco-elastici, NON normalizzati, ottenuti da analisi di risposta sismica locale eseguita presso l'area "Bergamini" considerando il bedrock sismico a -120 m (linea arancio) e l'interfaccia risonante a -15 m (linea blu).

Come si può vedere dall'esame delle figure da 14 a 21, l'analisi di risposta sismica locale è più conservativa rispetto all'approccio semplificato di Normativa per suolo C, tranne che nei casi dell'area "Stanzani" e dell'area "Mavora" in cui l'RSL produce uno spettro tutto sommato comparabile con quello di suolo C di Normativa. Nelle altre due aree, lo spettro di RSL risulta molto più amplificato rispetto a quello di normativa per suolo C nei periodi 0,2-0,4s.

In tutte le aree, utilizzare il bedrock sismico a -120 m piuttosto che l'interfaccia risonante superficiale, specifica per ogni area, porta a risultati più gravosi dal punto di vista dell'amplificazione locale, in particolare nei periodi 0,5-2s, per l'area "Stanzani" e per l'area "Tironi", 0,4-2s per l'area "Mavora" e 0,6-2s per l'area "Bergamini". Solo per l'area "Tironi" l'interfaccia a -10 m produce uno spettro più gravoso, rispetto al bedrock sismico, nei periodi 0,2-0,4s.

I fattori di amplificazione, *sensu* DGR 2193/2015, nei vari casi esplorati dalla risposta sismica locale, sono i seguenti (Tabella 13):

FA	prof. input sismico	Stanzani		Tironi		Mavora		Bergamini	
		-20	-120	-10	-120	-10	-120	-15	-120
PGA		1,49	1,46	1,62	1,44	1,33	1,41	1,87	1,8
SI1		1,7	1,7	1,9	1,6	1,6	1,7	2,1	2,2
SI2		1,8	2,4	1,5	2,6	1,8	2,7	1,5	2,3
SI3		1,6	2,4	1,3	2,6	1,6	2,6	1,3	2,2

Tabella 13 – Sintesi dei fattori di amplificazione sismica per la PGA e per gli intervalli dell'intensità di Housner secondo DGR2193/2015, calcolati nei vari scenari di risposta sismica locale contemplati in questo studio.

## 5.1. Amplificazione topografica

Considerando le condizioni topografiche e morfologiche delle quattro aree di studio (pianura, superficie topografica sub-orizzontale, assenza di aree di cava colmate), il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  può essere considerato del tutto trascurabile.

## 5.2. Suscettibilità alla liquefazione

Considerata l'assenza di spessori superiori ad almeno 30/40 cm di sabbie o miscele sabbiose, in falda, nei primi 20 m dal p.d.c. indagati dalle prove penetrometriche eseguite dal Dott. Geol. C. Preci (per i quattro ambiti), è lecito ipotizzare, per le aree in esame, una probabilità alla liquefazione, in caso di sisma, molto bassa.

La recente microzonazione sismica del territorio comunale, nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS" (Tav. 7.1), realizzata con il contributo di cui all'OPCM 4007/20012, con il coordinamento della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, sismico e dei suoli) (Figura 22), vede la presenza di possibili fenomeni di liquefazione ( $ZA_{LQ1}$ ) in corrispondenza dei paleoalvei e di un'area coincidente, in gran parte, con l'area "Bergamini".

A causa di questa possibile intersezione delle aree in esame con le  $ZA_{LQ1}$ , è stata eseguita un'analisi di suscettività alla liquefazione in corrispondenza di tutte le verticali penetrometriche eseguite dal Dott. Geol. C. Preci, utilizzando l'algoritmo di calcolo sviluppato da Boulanger & Idriss (2014). Il metodo risulta generalmente più conservativo rispetto ad altri metodi semplificati riconosciuti dalla bibliografia scientifica, in grado di restituire indici di potenziale liquefazione che, nel caso della sua applicazione nel cratere degli eventi sismici del 2012, meglio si correlano a quanto effettivamente osservato in termini di manifestazioni superficiali del fenomeno della liquefazione.

La magnitudo di riferimento per la liquefazione utilizzata è stata selezionata dalla tabella in Allegato 1 delle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)", versione 1.0 (2017) della Commissione tecnica per la microzonazione sismica. Il suo valore è **5,98** per Castelfranco Emilia. Il valore di accelerazione massima al suolo (PGA) è stato calcolato applicando il codice di calcolo SASHA per la stima della pericolosità sismica da dati di sito (D'Amico & Albarello, 2007) ed è risultato pari a **0,35g** per le aree in esame. Questa scelta si avvale proprio delle più recenti indicazioni contenute nelle linee guida nazionali di cui sopra, che si ritengono più innovative rispetto alle indicazioni precedentemente indicate dalla letteratura in materia.

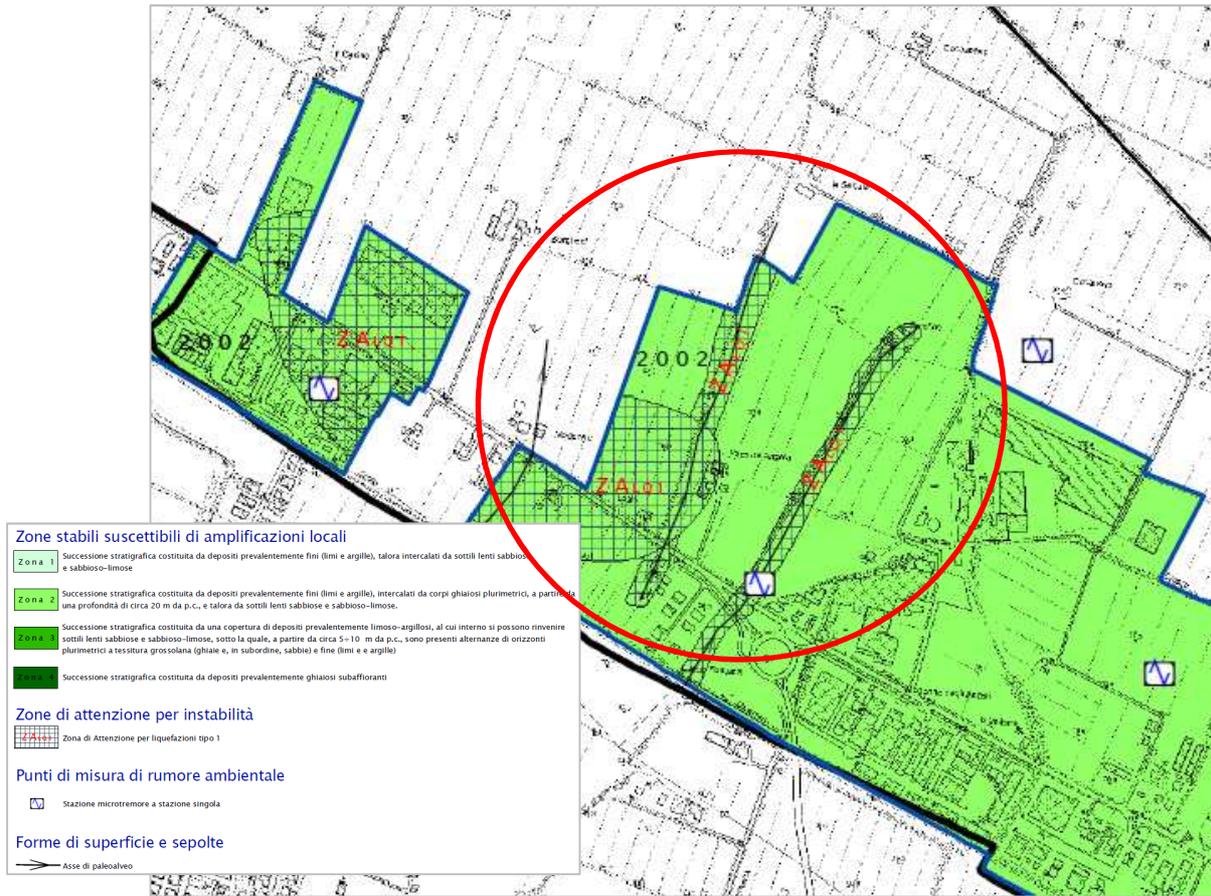


Figura 22 – Stralci delle Tav. 7.1 “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS” della variante PSC in materia di microzonazione sismica. Il cerchio rosso individua le aree di studio.

Il profilo di CSR (Rapporto di Sforzo Ciclico – Cyclic Stress Ratio) ricavato dalle analisi di risposta sismica locale effettuate, è stato inserito nel codice di calcolo di Boulanger & Idriss (2014) per il calcolo dell’IPL. Il risultato è riassunto in Tabella 14.

CPT	prof. input sism.	Stanzani				Tironi				Mavora				Bergamini			
		-20		-120		-10		-120		-10		-120		-15		-120	
		PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm
1		0,6	1,5	0,7	1,5	1,3	1,8	1,3	1,8								
2		0,4	0,7	0,4	0,8	0	0	0	0								
3		0,2	0,7	0,3	0,7	0	0	0	0								
4						1,9	3,2	2	3,3	0,5	1,4	0,9	1,6				
5										0	0,2	0,2	0,6				
6														0	0	0	0
7														0	0	0	0,4
8														0,5	0,6	0,6	0,6

Tabella 14 – Indice di potenziale liquefazione (PL) e cedimenti post-sismici (C) calcolati per ogni verticale penetrometrica inserendo nel codice di calcolo di Boulanger & Idriss (2014) il profilo di CSR ricavato dalle analisi di risposta sismica locale eseguite nel doppio scenario di profondità della superficie di immissione dell’input sismico.

Come si vede da Tabella 14, l'indice di potenziale liquefazione è sempre inferiore a 2, ovvero indicativo di una pericolosità per liquefazione "bassa" in base a Sonmez (2003), tranne che nel caso della CPT4 dell'area "Tironi", sia nello scenario con bedrock sismico a -120 m che in quello con interfaccia a -10 m, entrando in classe "moderata". Per il resto, l'Indice sembra diminuire progressivamente spostandosi da nord a sud, ma anche all'interno della stessa area "Tironi", 2 su 4 CPT mostrano un PL pari a 0.

I cedimenti verticali post-sismici sono dell'ordine dei 3 cm per i casi in cui PI è maggiore o uguale a 2; negli altri casi l'ordine è del mezzo centimetro.

**Ambito 39 APC.b**

## **PREMESSA**

Per l'ambito 39 APC.b sono stati utilizzati i dati di due precedenti relazioni redatte dallo scrivente per l'ex Piano Particolareggiato identificato come "Ambito Produttivo Cartiera". I risultati sono stati integrati per conformità alla DGR 2193/2015 relativamente agli aspetti di microzonazione sismica.

## **6. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO GENERALE**

L'ambito 39 APC.b è ubicato nel territorio comunale di Castelfranco Emilia, alla periferia occidentale del centro abitato del capoluogo.

L'area in oggetto è compresa nella seguente cartografia di riferimento:

- Tavola CTR n° 202 SO denominata "Nonantola" - Scala 1:25.000 (Figura 23);
- Sezione CTR n° 202130 denominato "Gaggio" - Scala 1:10.000 (Figura 24);
- Elemento CTR n° 202133 denominato "Sant'Anna" - Scala - Scala 1:5.000.

Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia fascia pianeggiante, di alta pianura, sub-orizzontale, con una debole pendenza verso NNE, e con quote che, in corrispondenza dell'area, sono in media pari a 38 m s.l.m.

Gli elementi idrografici più prossimi sono rappresentati dal Fiume Panaro, che dista circa 1 km in direzione ovest, dallo Scolo Muzza, 150 m a sud, e dal Canal Torbido, che scorre adiacente al tracciato di via Cartiera.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2015, da precipitazioni totali annue, in media, di 711 mm e temperature medie annue di 14,5°C<sup>5</sup>, pari, rispettivamente, ad una variazione di +15 mm e +1,3°C rispetto al periodo 1961-1990.

---

<sup>5</sup> Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna - <http://www.arpa.emr.it/sim/?clima>

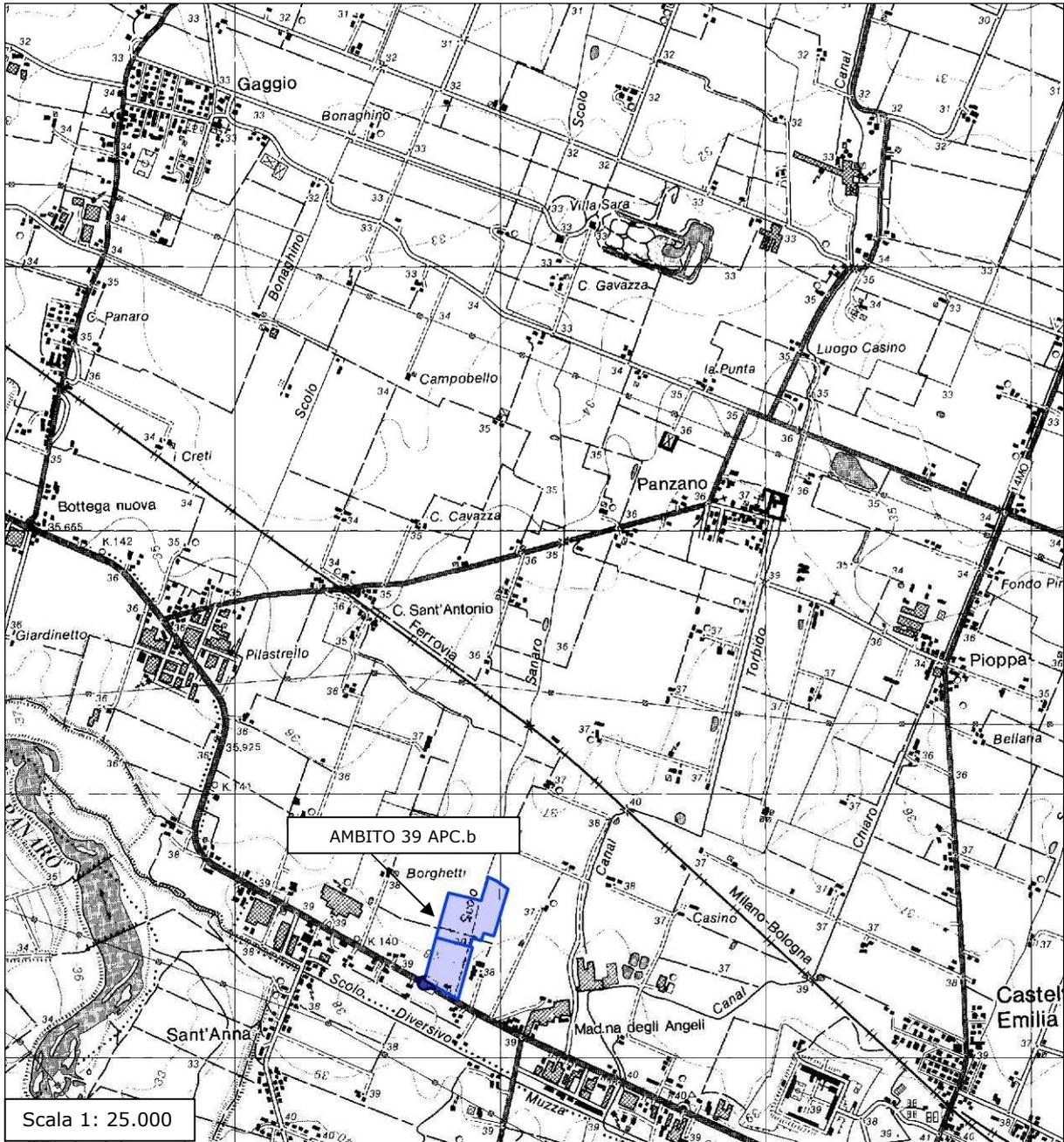


Figura 23 - Corografia area d'intervento ambito 39 APC.b (Base: Carta topografica R.E.R.- Tavola 202 SO "Nonantola").

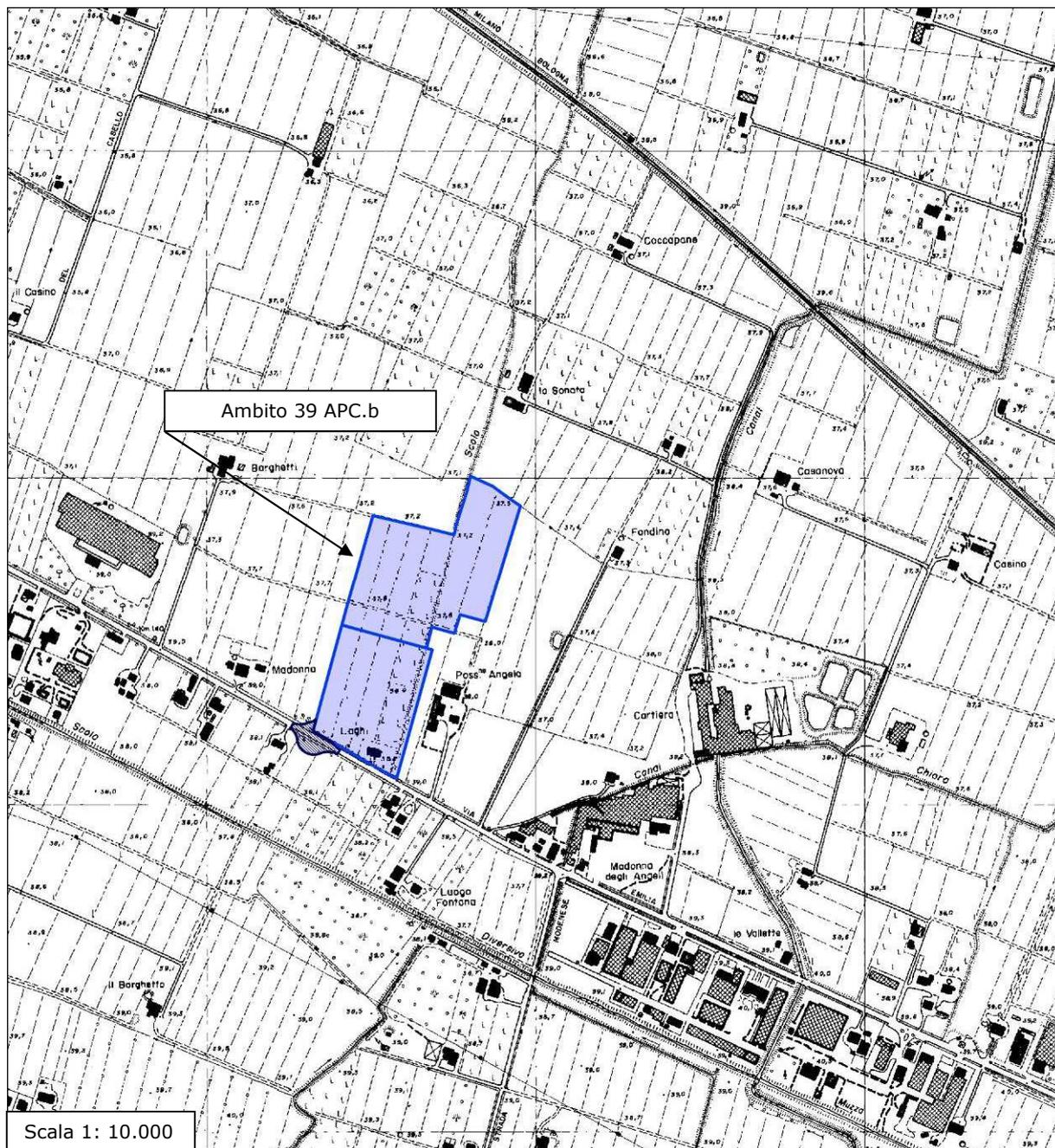


Figura 24 - Ubicazione area d'intervento ambito 39 APC.b (Base: C.T.R. della R.E.R. Elemento n. 202130 "Gaggio").

### 6.1. Descrizione di massima del progetto

La IV Variante al POC include 3 interventi in ambiti produttivi del PSC:  
50 ANP - 58 ANP - 39 APC.b

I tre interventi entro ambiti produttivi saranno attuati previa approvazione di un unico PUA, redatto in base ai criteri e alle condizioni definiti dal POC attraverso lo schema di assetto urbanistico e le schede normative.

## **SINTESI DEGLI INTERVENTI NEL MACROAMBITO "CARTIERA"**

---

### **SUPERFICI E DIRITTI EDIFICATORI ASSEGNATI**

AMBITO	ST	SC mq.
50 ANP	163.652	50.892,94
58 ANP	42.547	14.161,00
<b>39 APC.b</b>	<b>66.386</b>	<b>25.529,00</b>

---

### **39 APC: CAPOLUOGO – Produttivo Nuovo Cartiera 1° stralcio**

Obiettivi specifici del POC in attuazione del PSC: L'ambito è parte di un ambito produttivo sovracomunale individuato dal PTCP come ambito APS n.10 "Castelfranco Emilia - San Cesario sul Panaro", disciplinato dall'Accordo Territoriale approvato con Del. G.P. n.283 del 16 settembre 2014. Su questo ambito sono individuate parte delle previsioni di espansione produttiva contenute nell'APS al fine di introdurre le quote di produttivo relative ai bisogni locali di riqualificazione e ammodernamento.

Sulla base di quanto previsto dalla Delibera di Giunta comunale n.148 del 18/11/2008, almeno il 50% delle aree ricomprese nell'ambito avranno valenza di P.I.P. (piano particolareggiato per gli insediamenti produttivi).

Funzioni ammesse: Usi residenziali, direzionali, commerciali e terziari.

## 7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE

Per quanto riguarda la litologia superficiale, l'esame della Tavola 1.1 "Litologia di superficie" del QC del PSC di Castelfranco Emilia (Figura 25) mostra come l'area d'indagine si trovi in corrispondenza di terreni superficiali composti principalmente da terreni fini, limosi.

Sostanziale accordo con il quadro delle litologie superficiali del PSC si può trovare anche nella Tavola 2a.2 del PTCP della Provincia di Modena (Figura 26) in cui, per l'area di studio viene confermata la presenza di terreni fini (limi e argille) di piana alluvionale.

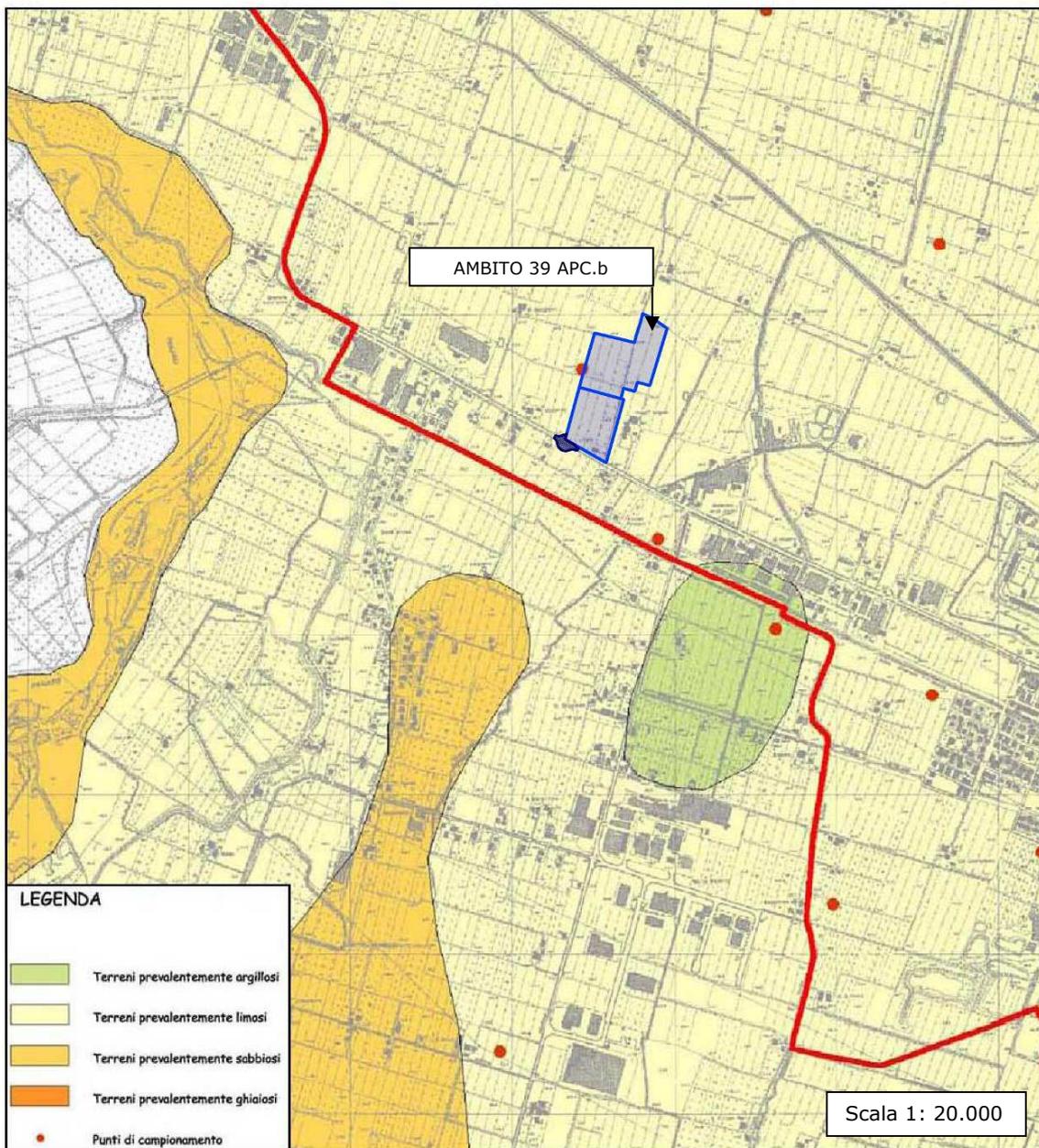


Figura 25 - Litologia di superficie (Estratto Tav. 1.1 - Quadro Conoscitivo de PSC di Castelfranco Emilia).

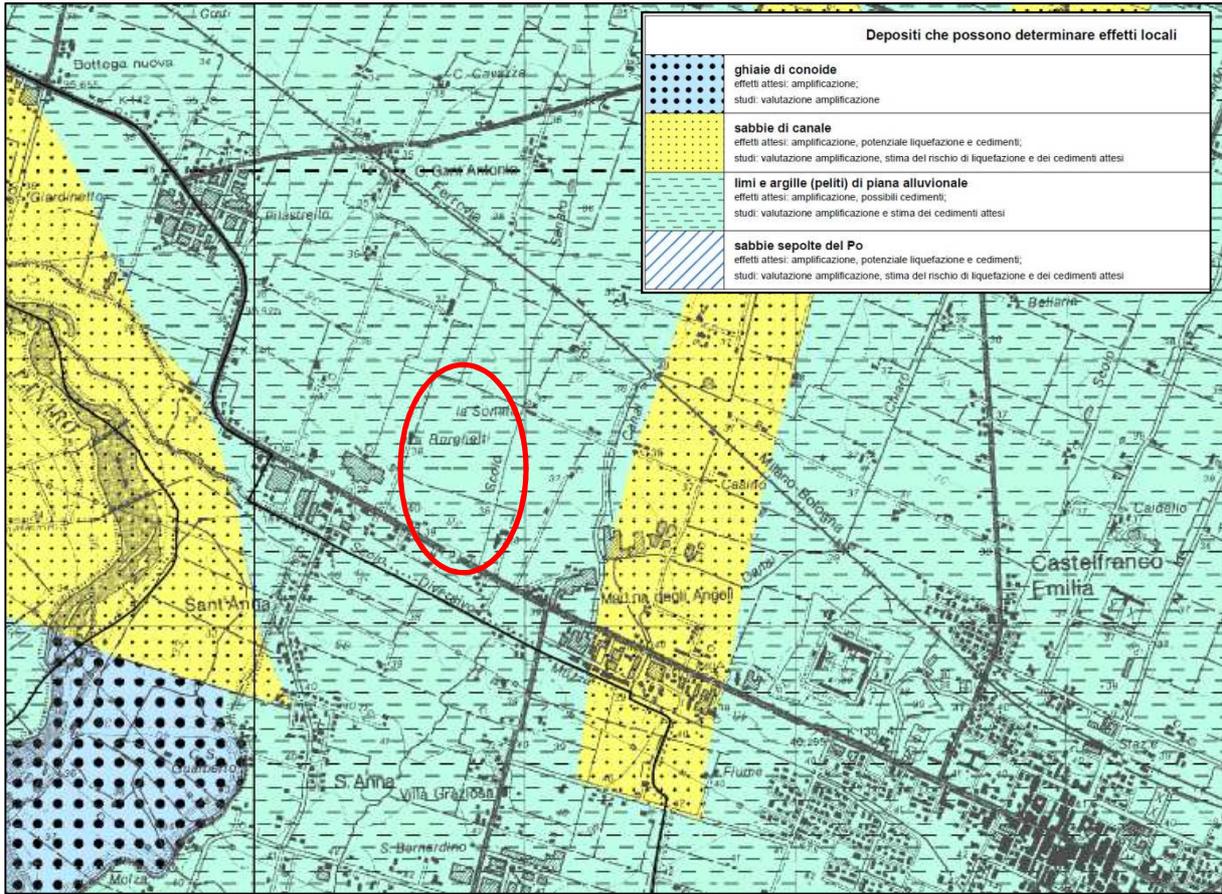


Figura 26 - Stralcio della Tavola 2 a.5 "Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali" del QC del PTCP della Provincia di Modena (2009). Il cerchio rosso circonda l'area in cui ricade l'ambito 39 APC.b.

E' pertanto ragionevole attendersi, per l'area, un ambiente deposizionale caratterizzato da ritmiche divagazioni dei corsi d'acqua minori (o, più probabilmente, del Fiume Panaro – si veda Figura 8), il cui risultato può essere una stratigrafia piuttosto variabile, sia nello spazio che verticalmente, con alternanze di livelli fini e a comportamento geomeccanico visco-plastico e di livelli incoerenti, sabbiosi, fino ad un tetto delle ghiaie che si può supporre abbastanza prossimo alla superficie topografica.

A tal proposito, per quanto riguarda la stratigrafia oltre il primo metro più superficiale, questa può essere ricavata, con buona approssimazione, da quella dei pozzi per acqua reperibili dal database geognostico della Regione Emilia-Romagna (Figura 6 e Allegato 1) e molto prossimi all'area d'indagine.

Sono stati considerati i pozzi con la stratigrafia più profonda: il 202130P609 raggiunge la profondità di 48 m; il 202130P626 raggiunge la profondità di 71 m.

La stratigrafia del pozzo 202130P609 indica:

- 0 – 28 m: terra
- 28 – 35 m: ghiaia con acqua
- 35 – 42 m: argilla

42 – 48 m: ghiaia con acqua

La stratigrafia del pozzo 202130P626 indica:

0 – 15 m: argilla  
15 – 21 m: ghiaia  
21 – 27 m: argilla  
27 – 38 m: ghiaia  
38 – 61 m: argilla  
61 – 71 m: ghiaia (con falda captata).

Il PTCP della Provincia di Modena, nella Tavola 3.2 di QC - "Depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie" – individua una profondità del tetto del substrato marino a circa -280 m rispetto al piano campagna, ed una profondità del tetto del ciclo alluvionale inferiore prossima a -180 m rispetto al piano campagna (Figura 7).

Infine, il Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto" della carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 (Tetto delle ghiaie, delle sabbie – Subsintemi di Ravenna e Villa Verucchio e delle argille organiche di palude – Subsintema di Ravenna) individua, il tetto delle ghiaie a profondità comprese tra circa 8-13 m dal p.d.c.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in studio si sviluppa in un contesto caratterizzato dalla presenza di forme superficiali legate alla paleo-dinamica fluviale (Figura 9Figura 4).

In particolare, è ubicata in una zona di transizione, come visibile in Figura 8, tra due paleoalvei del Fiume Panaro abbandonati in età romana. Pertanto, considerata anche la presenza, da 8 a 13 m dal piano campagna, di un primo livello ghiaioso rilevante, è ragionevole ipotizzare una forte impronta del Fiume Panaro nella costruzione della sequenza stratigrafica più superficiale della zona.

La carta geomorfologica del QC del PSC di Castelfranco Emilia (Figura 27) evidenzia molto bene l'evoluzione geomorfologica legata alla dinamica fluviale, identificando numerosi dossi e paleo-alvei di notevole estensione lineare. Uno di questi ultimi interseca l'area in studio con direzione S-N, verosimilmente segno della persistenza del paleo-Panaro prima della sua posizione attuale.

In merito all'idrografia, gli elementi idrografici più prossimi sono rappresentati dal Fiume Panaro, che dista circa 1 km in direzione ovest, dallo Scolo Muzza, 150 m a sud, e dal Canal Torbido, che scorre adiacente al tracciato di via Cartiera.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, l'elaborazione della piezometria della falda superficiale, rappresentata nel QC del PSC comunale, evidenzia, per l'area in esame, la presenza di una direzione di flusso all'incirca da sud a nord, con valori che, in prossimità dell'area d'indagine, sono pari a 33 m s.l.m., per una soggiacenza pari a circa 5 m dal piano campagna (Figura 10).

In occasione dell'esecuzione delle 4 prove penetrometriche statiche eseguite dallo scrivente nel 2007, in corrispondenza dell'area di studio, la falda è stata intercettata a -3,5 m (ancorché rilevata in corrispondenza di una sola verticale penetrometrica).

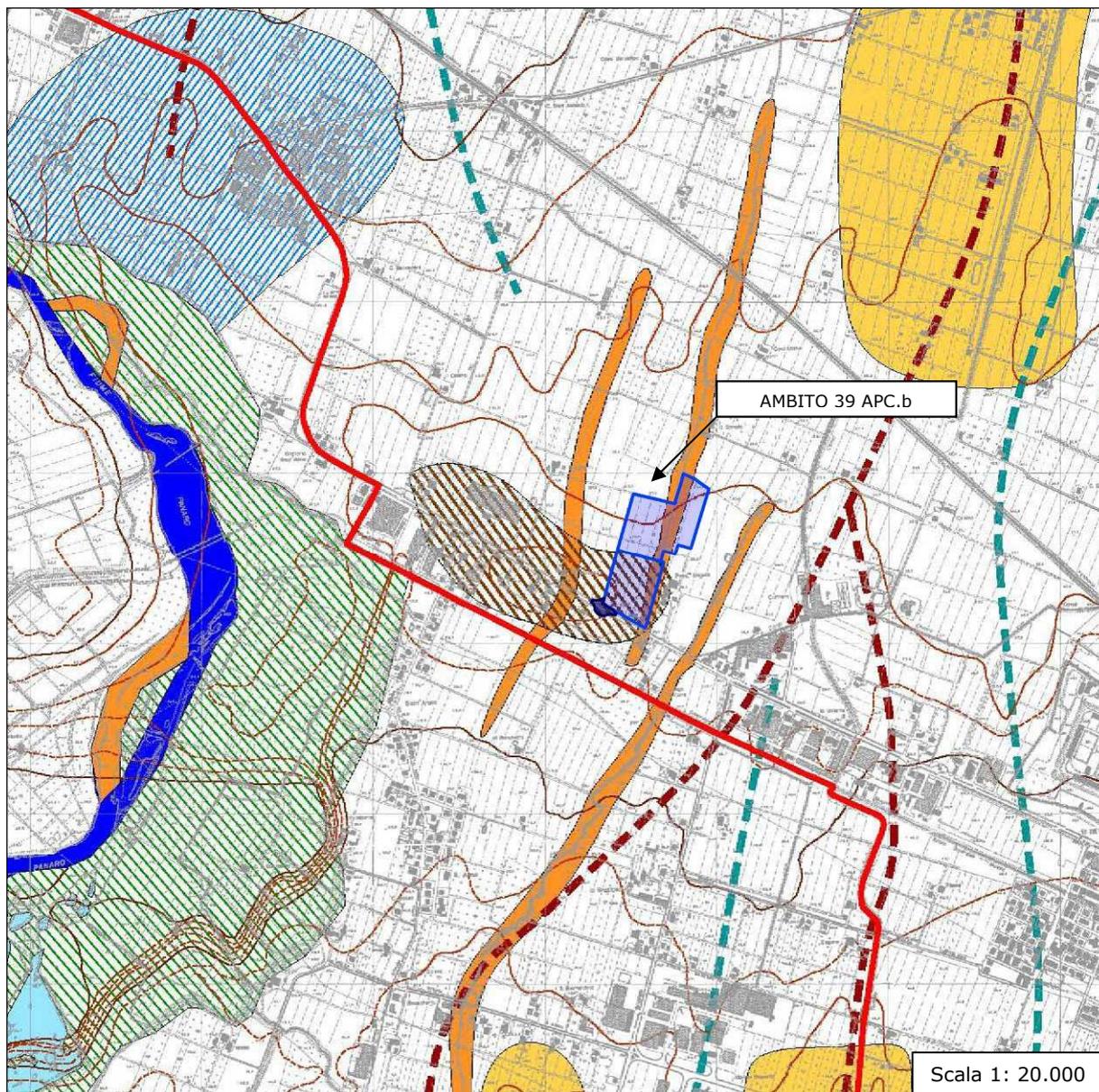


Figura 27 - Geomorfologia (Estratto Tav. 1.2 - Quadro Conoscitivo del PSC di Castel Franco Emilia).

## 8. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Come già accennato nella premessa, per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, nonché per la loro classificazione sismica, sono state utilizzate indagini geognostiche e geofisiche eseguite all'interno dell'area dallo scrivente nel 2007. L'indagine geognostica è stata condotta attraverso l'esecuzione di 4 prove penetrometriche statiche spinte sino al rifiuto all'infissione dello strumento, denominate rispettivamente P1 (-10,0 m), P2 (-10,0 m), P3 (-13,0 m); P4 (-13,00).

Dall'esecuzione delle prove è stata confermata la caratterizzazione litostratigrafica già conosciuta e precedentemente descritta, con la prevalenza, negli strati indagati, di terreni alluvionali di copertura a granulometria argilloso-

limosa con intercalazioni argilloso-sabbiose e sabbiose, che sovrastano un substrato ghiaioso.

Le prove, la cui ubicazione è riportata in Figura 28, sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico olandese Gouda da 10 tonnellate, automontato, impiegando per la perforazione una punta "Friction Jacket Cone", avente un'area di 10 cm<sup>2</sup> ed un angolo alla punta di 60°.

Negli elaborati di calcolo (Allegato 6), vengono riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm d'avanzamento della punta, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica, della resistenza penetrometrica alla punta (Rp), espressi in Kg/cm<sup>2</sup>, i valori della resistenza laterale locale (RI), sempre espressi in Kg/cm<sup>2</sup>, nonché i valori del rapporto tra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale (Rp/RI).

Nei diagrammi penetrometrici, allegati con gli elaborati di calcolo, invece, per semplicità di lettura, vengono riportate, solamente due curve e precisamente:

- a sinistra, la curva della resistenza penetrometrica alla punta (Rp: pressione di rottura del terreno), espressa in Kg/cm<sup>2</sup>;
- a destra, la curva del rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale (Rp/RI: *rapporto di Begemann*)

In corrispondenza dei punti di prova si è discretizzato il terreno indagato in livelli caratterizzati da valori di Rp e RI relativamente costanti per tutto lo spessore dello strato. Infine, sono stati calcolati i principali parametri geotecnici medi associati agli strati utilizzando le correlazioni empiriche proposte da vari autori.

Legenda:

Rp (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza penetrometrica alla punta.
RI (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza laterale locale.
Y (t/m <sup>3</sup> )	Peso dell'unità di volume del terreno.
Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata nei terreni coesivi. Per la valutazione approssimata della resistenza al taglio in condizioni non drenate si è utilizzata la relazione di De Beer.
Φ°	Angolo di attrito interno efficace per terreni granulari. E' stata considerata la correlazione (Schmertmann, 1978) fra la densità relativa Dr, la resistenza alla punta Rp e la tensione efficace σ'vo.
Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione edometrico per terreni coesivi/granulari. Si fa riferimento alla relazione Mo = α Rp (Sanglerat, 1972 e AA.VV.). Il modulo di compressibilità volumetrica risulta l'inverso di Mo (Mv = 1/Mo).
Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di Young secante drenato (Robertson & Campanella 1983) Ey (25) - Ey(50)

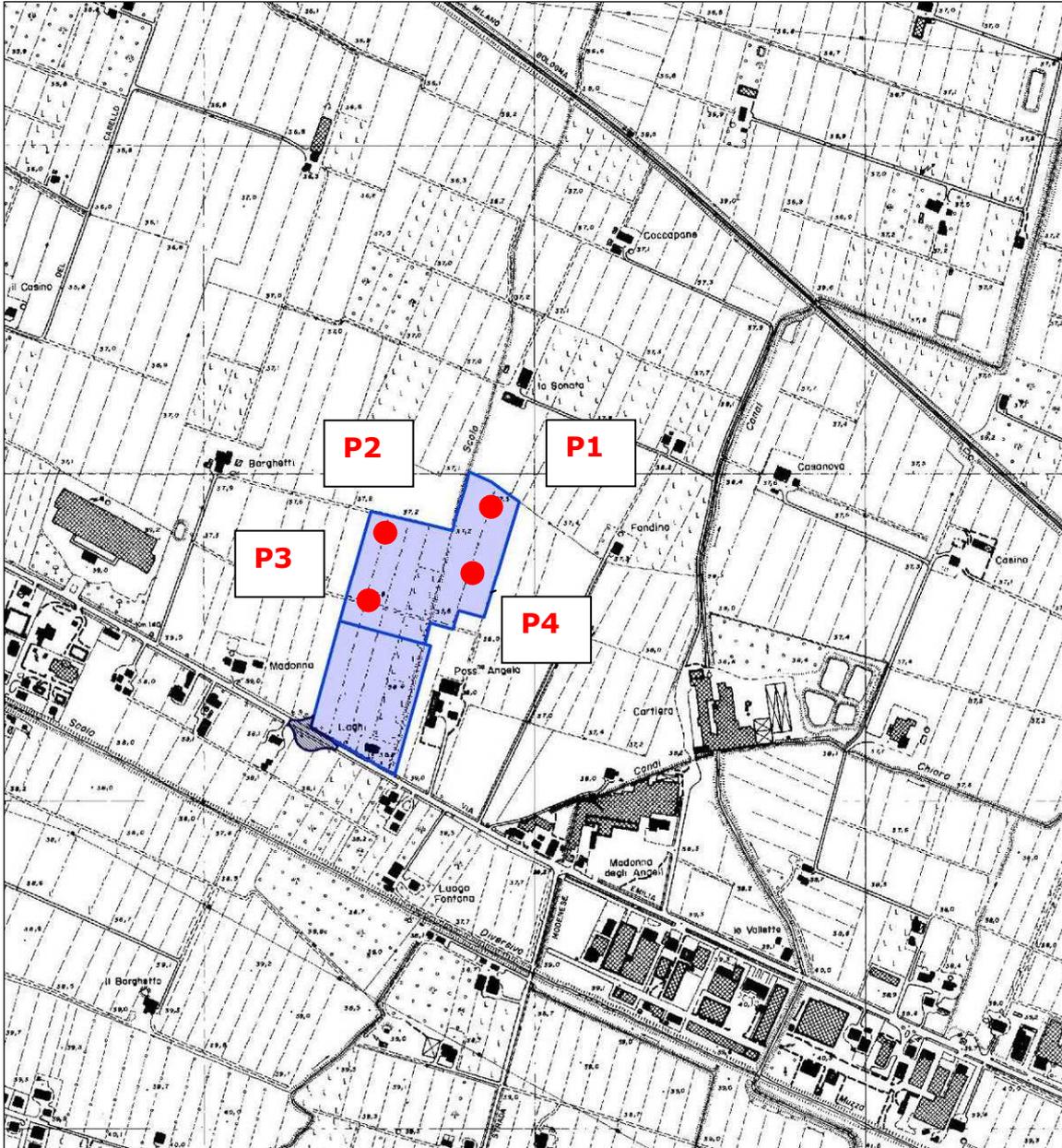


Figura 28 - Ubicazione prove penetrometriche eseguite dallo scrivente il 21/08/2007.

COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA (MO)  
 QUARTA VARIANTE AL P.O.C.

**CPT n. 1**

STRATO (m)	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	Rl (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/Rl	Litologia	Y (t/m <sup>3</sup> )	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ°	Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,00 - 0,40	--	--	--	Terreno superficial e	--	--	--	--	--
0,40 - 1,40	40,59	1,39	29,28	Argille sabbiose e limose	2,04	2,03	35,23	81,19	81,19
1,40 - 2,80	14,35	0,82	17,53	Argilla inorganica compatta	1,91	0,72		48,41	--
2,80 - 4,80	7,59	0,39	19,64	Argilla inorganica di media consistenza	1,79	0,38		37,19	--
4,80 - 5,20	13,76	0,27	51,53	Sabbie Sciolte	1,8	--	23,18	--	27,52
5,20 - 8,40	5,26	0,18	29,40	Argilla inorganica tenera	1,71	0,26		28,52	--
8,40 - 9,00	10,58	0,40	26,44	Argilla inorganica di media consistenza	1,84	0,53		44,68	--
9,00 - 10,00	236,58	1,33	177,45	Sabbie ghiaiose addensate	2,0	--	45,0	--	473,16

Note: Livello H<sub>2</sub>O non rilevato

**CPT n. 2**

STRATO (m)	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	Rl (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/Rl	Litologia	Y (t/m <sup>3</sup> )	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ°	Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,00 - 0,40	--	--	--	Terreno superficiale	--	--	--	--	--
0,40 - 1,60	43,21	1,51	28,59	Argille sabbiose e limose	2,1	2,16	36,4	86,41	86,41
1,60 - 3,00	14,37	0,68	21,26	Argilla inorganica compatta	1,9	0,72	--	48,41	--
3,00 - 4,60	5,85	0,24	24,21	Argilla inorganica di media consistenza	1,74	0,29	--	30,96	--
4,60 - 5,00	17,69	0,27	66,25	Sabbie Sciolte	1,8	--	24,94	--	35,38
5,00 - 7,00	7,20	0,22	32,73	Argille sabbiose e limose	1,78	0,36	20,23	35,89	14,39
7,00 - 7,80	17,60	0,37	47,99	Sabbie Sciolte	1,88	--	24,9	--	35,21
7,80 - 8,20	35,17	0,93	37,70	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi	2,0	1,76	32,79	70,34	70,35
8,20 - 10,00	221,32	1,26	175,78	Sabbie ghiaiose addensate	2,0	--	45,0	--	442,64

Note: Livello H<sub>2</sub>O misurato -3,50 m dal piano campagna

COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA (MO)  
 QUARTA VARIANTE AL P.O.C.

**CPT n. 3**

STRATO (m)	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI	Litologia	Y (t/m <sup>3</sup> )	C <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ°	Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,00 - 0,40	--	--	--	Terreno superficiale	--	--	--	--	--
0,40 - 1,40	53,79	1,33	40,35	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi	2,03	2,69	41,15	107,58	107,59
1,40 - 1,80	28,28	1,60	17,67	Argilla inorganica molto compatta	2,03	1,41		56,55	--
1,40 - 3,00	15,72	0,82	19,12	Argilla inorganica compatta	1,93	0,79		48,17	--
3,00 - 9,00	7,26	0,20	35,92	Argille sabbiose e limose	1,79	0,36	20,26	36,11	14,53
9,00 - 12,40	27,20	0,29	93,72	Sabbie	1,89	--	29,21	--	54,4
12,40 - 13,00	207,13	1,33	155,35	Sabbie ghiaiose addensate	2,02	--	45,0	--	414,25

Note: Livello H<sub>2</sub>O non rilevato

**CPT n. 4**

STRATO (m)	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI	Litologia	Y (t/m <sup>3</sup> )	C <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ°	Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,00 - 0,40	--	--	--	Terreno superficiale	--	--	--	--	--
0,40 - 1,40	34,19	1,47	23,31	Argille sabbiose e limose	2,06	1,71	32,35	68,39	68,39
1,40 - 3,20	12,16	0,62	19,55	Argilla inorganica compatta	1,88	0,61	--	47,03	--
3,20 - 4,60	7,47	0,31	24,49	Argilla inorganica di media consistenza	1,79	0,37	--	36,78	--
4,60 - 5,20	10,07	0,31	32,35	Argille sabbiose e limose	1,84	0,5	21,52	43,69	20,14
5,20 - 9,20	7,16	0,27	26,86	Argilla inorganica di media consistenza	1,77	0,36		35,77	--
9,20 - 10,20	29,41	0,35	84,80	Sabbie	1,9	---	30,2	--	58,82
10,20 - 10,80	20,85	0,53	39,10	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi	1,91	1,04	26,36	41,7	41,7
10,80 - 12,00	22,97	0,27	86,08	Sabbie	1,88	--	27,31	--	45,93
12,00 - 13,00	118,99	0,91	131,22	Sabbie ghiaiose addensate	1,99	--	45,0	--	237,99

Note: Livello H<sub>2</sub>O non rilevato

Dall'esame delle prove penetrometriche eseguite emerge che la zona oggetto d'indagine è caratterizzata da un sottosuolo omogeneo e continuo, sia in senso verticale che laterale, costituito da terreni prevalentemente coesivi argilloso-limosi, con intercalazioni di livelli argilloso-sabbiosi e sabbiosi.

Sulla base dei risultati ottenuti al di sotto del suolo, si possono riconoscere, in modo schematico, due strati principali:

- il primo strato, compreso tra il piano campagna e -8,0 m / 12,5 m di profondità, costituito da materiale prevalentemente argilloso con intercalazioni argilloso sabbiose e sabbiose di spessore metrico; lo strato è caratterizzato da parametri di resistenza meccanica da mediocri a scadenti con valori di  $R_p$  medio minimi compresi tra  $5,0 \text{ Kg/cm}^2$  e  $7,0 \text{ Kg/cm}^2$ ;
- il secondo livello, compreso tra il precedente e la massima profondità raggiunta dalle prove, è caratterizzato nel complesso da litologie granulari costituite da sabbie ghiaiose e ghiaie da addensate a molto addensate impenetrabili dallo strumento. Dal punto di vista geotecnico tali terreni presentano valori di  $R_p$  medio molto elevati con  $R_{pm} > 100 \text{ Kg/cm}^2$ .

In occasione della campagna geognostica è stato possibile misurare la profondità della falda freatica presente nell'area all'interno di un foro di sondaggio, con valore pari a circa -3,5 m dal piano campagna.

## **9. INDAGINE SISMICA**

Il giorno 7 agosto 2007 è stata svolta sul sito una campagna di sismica a rifrazione con l'obiettivo di determinare la sismostratigrafia del terreno e di determinare la categoria di suolo di fondazione in riferimento alle NTC08.

Viste le profondità da indagare è stato eseguito uno stendimento della lunghezza di 110 m, per la determinazione della velocità delle onde S, ubicato come riportato in Figura 29.

La sismica a rifrazione è un metodo di indagine geofisico che consente l'individuazione delle variazioni di velocità delle onde sismiche nel sottosuolo in funzione delle caratteristiche fisiche dei materiali attraversati, e la conseguente determinazione di unità sismostratigrafiche.

Tale metodo consiste nel disporre, lungo uno stendimento, una serie di geofoni che registrino le perturbazioni (onde sismiche) indotte nel terreno da una sorgente energizzante artificiale ubicata in posizione nota. Leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si costruiscono i diagrammi delle dromocrone, i quali permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e le velocità reali dei diversi sismostrati al di sotto dello stendimento di geofoni. Condizione fondamentale per la determinazione della morfologia e della velocità di un sismostrato è che esso abbia una velocità superiore allo strato immediatamente sovrastante.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto, è stato svolto uno stendimento sismico con 24 geofoni distanziati tra loro di 5 metri allo scopo di ottenere una buona risoluzione in relazione alla lunghezza degli stendimenti e agli spazi disponibili.

Per la linea sismica con obiettivo l'individuazione delle onde S, il terreno è stato energizzato in punti ben precisi, secondo la teoria e la pratica comune in caso di indagini sismiche a rifrazione:

- due tiri simmetrici (off-shots) esterni allo stendimento ad una distanza di 10 metri dal geofono più vicino;
- due tiri simmetrici (end-shots) esterni allo stendimento ad una distanza di 1,5 metri dal geofono più vicino;
- uno tiri (mid-shot) al centro dello stendimento.

Per ogni punto scoppio si è prevista l'esecuzione e la registrazione di due segnali generati in modo tale da ottenere treni d'onda in opposizione di fase l'uno rispetto all'altro.

### **Strumentazione**

Per l'acquisizione dei sismogrammi è stato utilizzato un sismografo digitale Echo 24/2002, collegato a un laptop che ha consentito la visualizzazione in tempo reale dei treni d'onda, con la possibilità di ripetere il tiro, ed eventualmente sommare i segnali per un miglioramento della qualità del sismogramma. Per la determinazione delle onde S sono stati utilizzati geofoni orizzontali Geospace con frequenza propria di 4,5 hz. Per la generazione delle onde S si è utilizzata la mazza e una di trave in nylon resa solidale con il terreno tramite un carico di contrasto costituito da un automezzo. La mazza è stata collegata al sismografo grazie a un sistema 'trigger' per la determinazione dell'istante esatto (tempo zero) di generazione del treno d'onda.

### **Elaborazione**

L'elaborazione dei sismogrammi è stata effettuata con un software dedicato (Winsim 8) che consente di effettuare il filtraggio del segnale sismico, il confronto dei sismogrammi in opposizione di fase allo scopo di individuare con maggior precisione il primo arrivo delle onde S, il picking dei primi arrivi, la costruzione delle dromocrone e la determinazione delle velocità apparenti.

Le dromocrone sono state interpolate con il metodo dei "Delay Times", che utilizza i tempi di intercetta e i tempi di ritardo per la determinazione della profondità dei rifrattori al di sotto di ciascun geofono e le velocità reali dei sismostrati. In conclusione, dall'analisi delle onde S è stata ottenuta una sezione sismostratigrafica rappresentante la morfologia dei rifrattori sismici lungo la sezione indagata e le relative velocità. Dall'analisi delle onde S è stata ottenuta una sezione rappresentante la variazione di velocità delle onde S in funzione della profondità.

L'equazione utilizzata per la determinazione della velocità mediata  $V_{S30}$ , secondo normativa vigente, è la seguente:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove  $h_i$  è lo spessore dello strato esimo, espresso in metri;  $v_i$  è la velocità delle onde s per lo strato esimo, espressa in metri al secondo.

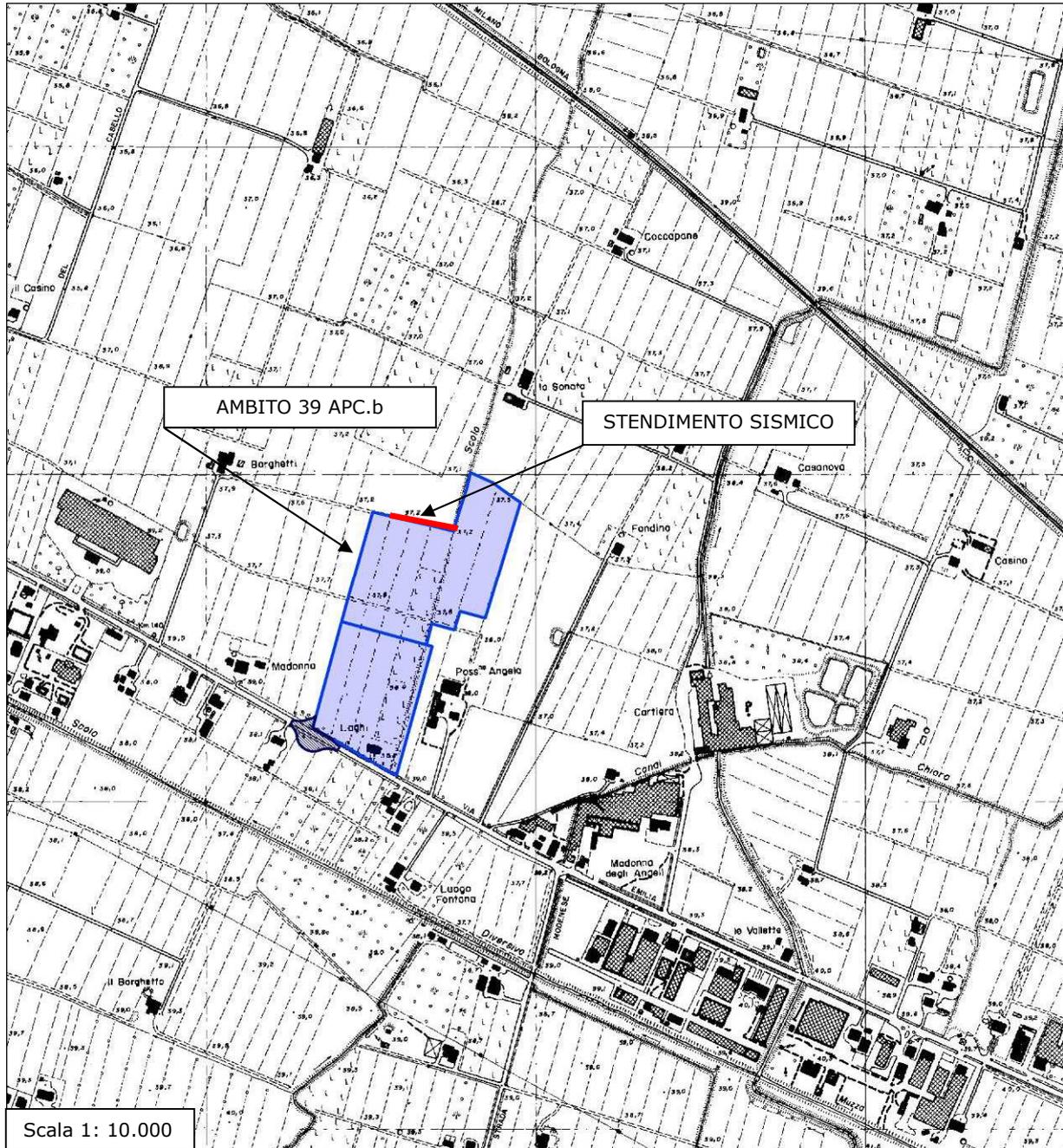


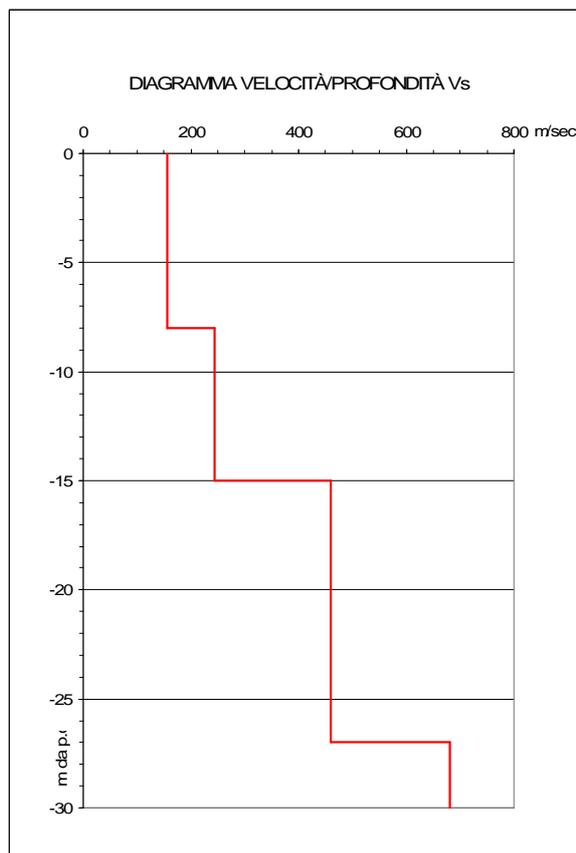
Figura 29 - Ubicazione stendimento sismico.

### **Risultati**

L'analisi delle onde di taglio ( $V_s$ ), ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella, permettendo di calcolare il valore  $V_{s30}$  per la sezione indagata. In accordo con la committenza il valore di  $V_{s30}$  è stato determinato a partire dal piano campagna.

Il valore  $V_{s30}$  è risultato pari a **270** m/sec.

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
8,0	8,0	155
15,0	7,0	245
27	12	460
30	3	680



Secondo normativa, la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la **C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa,  $70 < C_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fine).*

Dall'analisi delle dromocrone si evince la tendenza ad un aumento graduale delle velocità dovute a un aumento del grado di costipamento del materiale, con passaggi più netti in corrispondenza di variazioni litologiche.

La geometria dello stendimento e le caratteristiche fisiche dei materiali attraversati hanno consentito di indagare il terreno al di sotto della linea sismica fino a circa 35 m da p.c., evidenziando la presenza di quattro unità sismostratigrafiche sub-orizzontali (Figura 30).

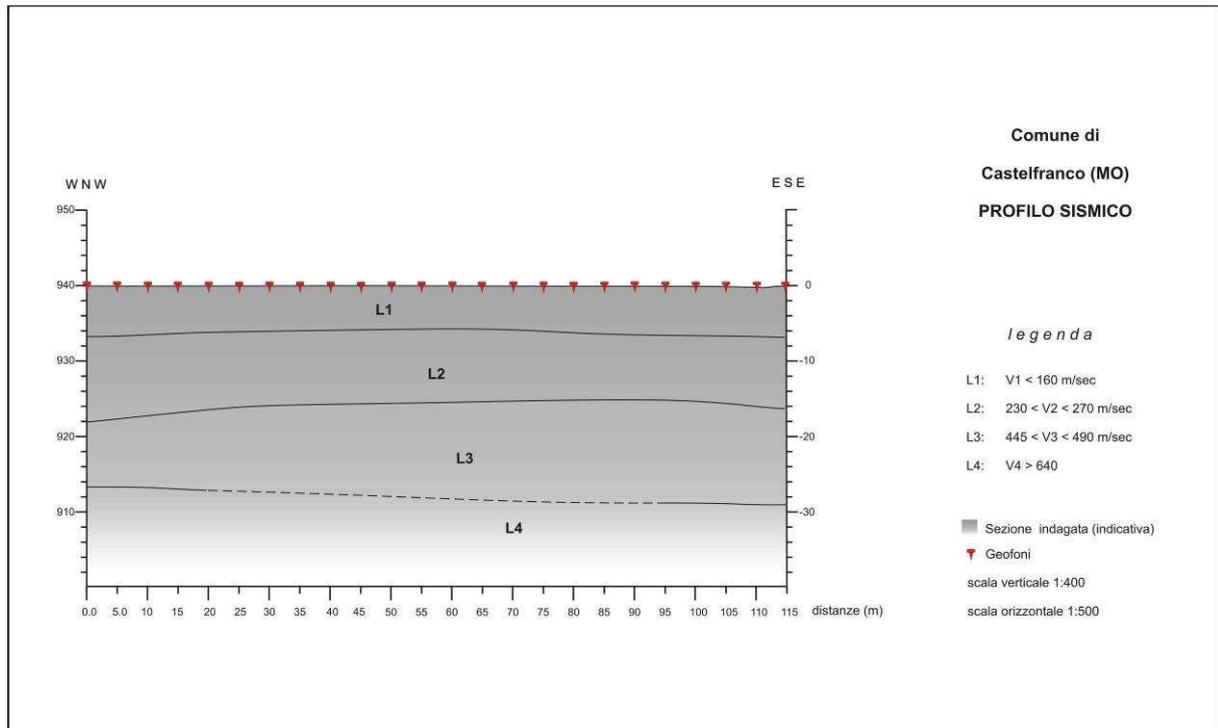


Figura 30 - Profilo sismostratigrafico.

L'unità L1, più superficiale ha uno spessore pressoché costante di 6-7m, le velocità delle Vs sono inferiori a 160 m/sec.

L'unità L2, presenta spessori compresi tra circa 8 e 12 m con una tendenza ad aumentare di spessore verso ovest. Le velocità del sismostrato sono comprese tra 230 e 270 m/sec.

L'Unità L3 presenta spessore tra 9 e 13 m, minore verso est; ha velocità comprese tra 445 e 490 m/sec.

L4 è l'unità più profonda individuata, ha velocità delle onde S superiori a 640 m/sec e supera i 35 m di profondità da piano campagna.

Il limite tra le unità L3 e L4, per motivi fisico-geometrici, è stato individuato solo alle due estremità dello stendimento (linee continue), ed è stato interpolato nel segmento centrale del profilo (linea tratteggiata).

## 10. FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA ED EFFETTI DI SITO

Sulla base delle stratigrafie ricavate dalle indagini effettuate in situ e dai dati bibliografici raccolti, in riferimento alla DGR 2193/2015, si può collocare l'area in esame all'interno dell'ambito geomorfologico e litostratigrafico denominato "Margine" e, nello specifico, in quello di "tipo B", ovvero caratterizzato da spessore dei terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato, come evidenziato dalla sezione geologica di Figura 13.

Fino a 10-13 m di profondità, infatti, le stratigrafie risultanti dalle CPT eseguite in situ hanno mostrato una netta prevalenza di terreni fini, principalmente limo-argillosi, con rare, sottili lenti sabbiose. Le stratigrafie di pozzo individuano strati ghiaiosi di spessori non particolarmente rilevanti. Infine, la sezione stratigrafica

nr. 066 del database regionale (Figura 13 e Allegato 4) mostra due livelli ghiaiosi tra 30 e 50 m di profondità, seguiti da circa 350 m di alternanze fra strati fini e strati sabbiosi, fino al contatto con il substrato marino.

Vista la presenza di livelli sabbiosi poco addensati (anche se di spessore limitato), sotto falda, si è reso necessario eseguire un'analisi di risposta sismica locale per individuare i fattori di amplificazione sismica del terreno, prescindendo dall'utilizzo delle tabelle della DGR 2193/2015.

Le analisi di risposta sismica locale sono state condotte, per ogni area, utilizzando il codice di calcolo "STRATA"<sup>6</sup>, lineare equivalente, nel dominio delle frequenze.

I profili stratigrafici sono stati inseriti sulla base dell'elaborazione di quelle verticali penetrometriche CPT, eseguite nel 2007 dallo scrivente, che mostrano caratteristiche di resistenza meccanica minori. Oltre tale profondità, le stratigrafie sono state assunte uguali a quelle ricavabili dai pozzi per acqua precedentemente citati in questa relazione e presenti in Allegato 1. Laddove la stratigrafia del pozzo non è risultata sufficiente a descrivere la sequenza stratigrafica sino alla profondità stimata del bedrock sismico, la stratigrafia è stata integrata con l'analisi della Sezione nr. 066 (Figura 13, Allegato 4).

I valori di Vs sono stati selezionati dal profilo derivato dal profilo sismico a rifrazione eseguito dallo scrivente; da -30 m al bedrock sismico stimato, i valori sono stati estrapolati sulla base della linea di tendenza lineare del profilo di Vs ricavato da HVSR nell'adiacente area "Tironi": questo poiché l'estrapolazione lineare del profilo di Vs ricavato dalla sismica a rifrazione avrebbe intercettato il bedrock sismico (800 m/s) a circa 35 m, il che è del tutto inverosimile per la situazione sismostratigrafica locale.

La profondità del bedrock sismico è stata quindi presa pari a **120 m**, ovvero alla profondità considerata dalla DGR 2193/2015 come corrispondente al bedrock sismico per l'ambito di Margine B, anche per conformità a quanto già fatto per gli ambiti 50 ANP e 58 ANP.

Anche in questo caso si è optato per definire la profondità di quella che può essere identificata come una importante superficie a significativo contrasto d'impedenza, più superficiale rispetto a quella del bedrock sismico di cui sopra, ma comunque importante da considerare ai fini dell'amplificazione sismica locale. Tale profondità, come per le altre aree, è stata individuata a circa -13 m, ovvero in corrispondenza del tetto del primo strato ghiaioso.

Provata, quindi, l'esistenza di questa interfaccia potenzialmente importante per l'amplificazione sismica di sito, si è deciso di scomporre l'analisi di risposta sismica locale in due sotto-analisi: una che vede la presenza del bedrock profondo; una che vede la presenza della sola interfaccia con le prime ghiaie.

Nelle analisi di risposta sismica locale, la DGR 2193/2015 fa obbligo di utilizzare la terna di accelerogrammi di input individuata dal Servizio Geologico, Sismico e

---

<sup>6</sup> Kottke, A.R. & Rathje, E.M. (2008) – Technical Manual for Strata. PEER Report 2008, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 81 p.

dei Suoli per l'intera Regione, opportunamente scalata al valore di PGA di riferimento del nodo della rete più prossimo all'area di studio, nelle fattispecie pari a **0,1642g**.

Variando spessori degli strati, Vs e curve di degrado dei materiali (utilizzando sia curve a disposizione dello scrivente per litologie simili, ricavate da indagini di laboratorio geotecnico da campioni estratti in contesti stratigrafici simili a quello di studio, sia le curve fornite dallo stesso programma di calcolo corredate dalle possibili incertezze), STRATA ha eseguito, per i 3 accelerogrammi, 100 analisi di risposta sismica da cui scaturiscono altrettanti spettri di risposta elastici in superficie.

I risultati complessivi (per SLV) sono sintetizzati nelle figure 31 e 32, in cui vengono rappresentate la curva 84° percentile dello spettro di risposta in superficie (NON normalizzato) ottenuto da RSL e, per confronto, la sua forma normalizzata, lo spettro di Normativa normalizzato per l'area di studio: SLV, sottosuolo di tipo A e di tipo C. Si è optato per considerare lo spettro 84° percentile dei 100 restituiti per ottenere un risultato conservativo solitamente considerato efficace nella consuetudine operativa.

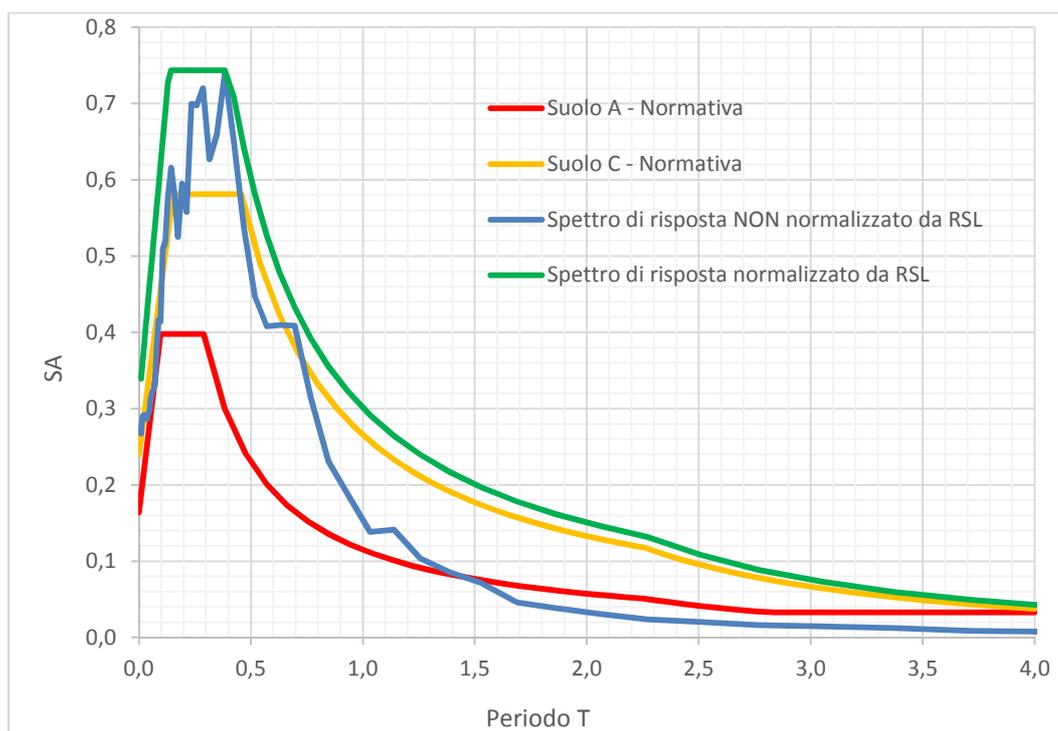


Figura 31 - Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale, ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio presso l'ambito 39 ASP.b, considerando l'interfaccia risonante alla profondità di -13 m. Lo stesso viene confrontato con la sua forma normalizzata e con lo spettro di normativa per suolo A e per suolo C (SLV).

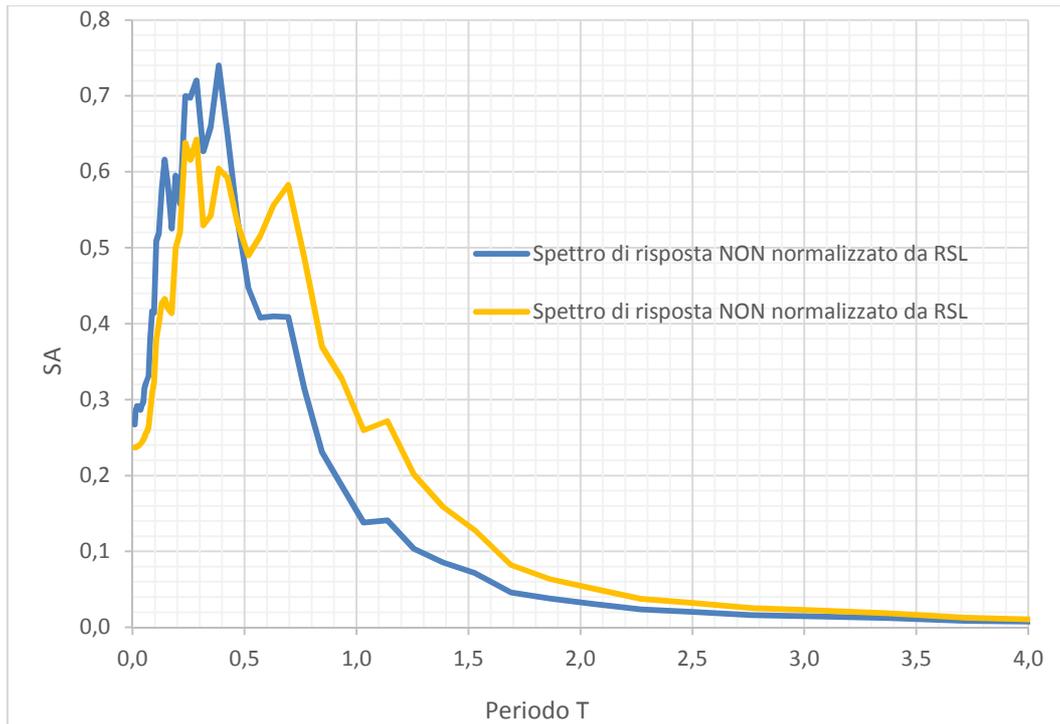


Figura 32 - Confronto tra gli spettri di risposta visco-elastici, NON normalizzati, ottenuti da analisi di risposta sismica locale eseguita presso l'ambito 39 ASP.b considerando il bedrock sismico a -120 m (linea arancio) e l'interfaccia risonante a -13 m (linea blu).

Come si può vedere dall'esame di Figura 31, l'analisi di risposta sismica locale è più conservativa rispetto all'approccio semplificato di Normativa per suolo C. L'utilizzo del bedrock sismico a -120 m, piuttosto che l'interfaccia risonante superficiale, specifica per l'area, porta a risultati leggermente meno gravosi dal punto di vista dell'amplificazione locale, nei periodi tra 0s e 0,5s, mentre risulta più gravoso nei periodi da 0,5s a 2s.

I fattori di amplificazione, *sensu* DGR 2193/2015, nei vari casi esplorati dalla risposta sismica locale, sono i seguenti (Tabella 15):

FA	prof. input sismico	39 ASP.b	
		-13	-120
PGA		1,63	1,44
SI1		1,9	1,6
SI2		1,7	2,6
SI3		1,6	2,6

Tabella 15 - Sintesi dei fattori di amplificazione sismica per la PGA e per gli intervalli dell'intensità di Housner secondo DGR2193/2015, calcolati nei vari scenari di risposta sismica locale contemplati in questo studio per l'ambito 39 ASP.b.

### 10.1. Amplificazione topografica

Considerando le condizioni topografiche e morfologiche delle quattro aree di studio (pianura, superficie topografica sub-orizzontale, assenza di aree di cava

colmate), il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  può essere considerato del tutto trascurabile.

## 10.2. Suscettibilità alla liquefazione

La recente microzonazione sismica del territorio comunale, nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS" (Tav. 7.1), realizzata con il contributo di cui all'OPCM 4007/20012, con il coordinamento della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, sismico e dei suoli) (Figura 22), vede la presenza di possibili fenomeni di liquefazione ( $ZA_{LQ1}$ ) in corrispondenza dei paleoalvei e di un'areale che si sovrappone, in parte, con l'ambito 39 ASP.b.

A causa di questa possibile intersezione delle aree in esame con le  $ZA_{LQ1}$ , è stata eseguita un'analisi di suscettibilità alla liquefazione in corrispondenza di tutte le verticali penetrometriche eseguite dallo scrivente nel 2007, utilizzando l'algoritmo di calcolo sviluppato da Boulanger & Idriss (2014). Il metodo risulta generalmente più conservativo rispetto ad altri metodi semplificati riconosciuti dalla bibliografia scientifica, in grado di restituire indici di potenziale liquefazione che, nel caso della sua applicazione nel cratere degli eventi sismici del 2012, meglio si correlano a quanto effettivamente osservato in termini di manifestazioni superficiali del fenomeno della liquefazione.

La magnitudo di riferimento per la liquefazione utilizzata è stata selezionata dalla tabella in Allegato 1 delle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)", versione 1.0 (2017) della Commissione tecnica per la microzonazione sismica. Il suo valore è **5,98** per Castelfranco Emilia. Il valore di accelerazione massima al suolo (PGA) è stato calcolato applicando il codice di calcolo SASHA per la stima della pericolosità sismica da dati di sito (D'Amico & Albarello, 2007) ed è risultato pari a **0,35g** per l'ambito in esame. Questa scelta si avvale proprio delle più recenti indicazioni contenute nelle linee guida nazionali di cui sopra, che si ritengono più innovative rispetto alle indicazioni precedentemente indicate dalla letteratura in materia.

Il profilo di CSR (Rapporto di Sforzo Ciclico – Cyclic Stress Ratio) ricavato dalla analisi di risposta sismica locale effettuata, è stato inserito nel codice di calcolo di Boulanger & Idriss (2014) per il calcolo dell'IPL. Il risultato è riassunto in Tabella 16.

CPT	prof. input sism.	39 ASP.b			
		-13		-120	
		PL	C cm	PL	C cm
1		0,4	0,6	0,4	0,6
2		0,4	1	1,34	2
3		<b>5,5</b>	9	<b>5,5</b>	9,2
4		<b>3,3</b>	5,8	<b>3,3</b>	5,8

Tabella 16 - Indice di potenziale liquefazione (PL) e cedimenti post-sismici (C) calcolati per ogni verticale penetrometrica inserendo nel codice di calcolo di Boulanger & Idriss (2014) il profilo di CSR ricavato dalle analisi di risposta sismica locale eseguite nel doppio scenario di profondità della superficie di immissione dell'input sismico.

Come si vede da Tabella 16, l'indice di potenziale liquefazione è sempre inferiore a 2, ovvero indicativo di una pericolosità per liquefazione "bassa" in base a Sonmez (2003), nelle CPT settentrionali (CPT1 e CPT2); nelle CPT meridionali, l'indice aumenta sensibilmente, a causa della presenza di livelli sabbiosi a basso addensamento tra 9 e 12 m, raggiungendo valori di 5,5 e 3,3 indicativi di una pericolosità per liquefazione "moderata".

I cedimenti verticali post-sismici sono dell'ordine di 1-2 cm per i casi in cui PI è minore di 2; negli altri casi l'ordine è del mezzo decimetro- 1 decimetro.

## 11. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Dall'analisi integrata dei dati scientifici disponibili in bibliografia, delle osservazioni di campagna effettuate durante il sopralluogo e dei dati acquisiti ed elaborati grazie ai sondaggi geognostici e sismici eseguiti, è stato possibile caratterizzare il terreno delle aree in esame dai punti di vista litostratigrafico, geotecnico e sismico ed esprimere un giudizio sulla fattibilità degli interventi di trasformazione previsti dalla Variante IV al POC.

Giudizio che è risultato essere positivo e che ha permesso di dichiarare la **fattibilità degli interventi di trasformazione previsti dalla Variante IV al POC.**

Dallo studio eseguito emerge come le aree si collochino in zone a debolissima inclinazione topografica, che permettono uno sviluppo urbanistico senza particolari problemi, con presenza, nei primi 16 m dal p.d.c. indagati dalle prove penetrometriche, di terreni fini, principalmente limo-argillosi, con pochi e sottili livelli sabbiosi. Solo in corrispondenza delle CPT3 e CPT4 dell'ambito 39 ASP.b è presente un consistente spessore sabbioso tra circa -9 e -12 m, poco addensato. La resistenza geomeccanica dei terreni è risultata essere alquanto scarsa (a luoghi mediocri), con valori di coesione non drenata che tendono a diminuire con la profondità rispetto ai metri più superficiali. Questo deve indurre a porre attenzione, nelle successive fasi progettuali, alla verifica accurata dei profili di resistenza dei terreni in relazione alle eventuali strutture che si prevede di realizzare, prevedendo, eventualmente, di indirizzare una campagna geognostica ad hoc per il prelievo e l'analisi in laboratorio geotecnico di campioni indisturbati di terreno.

La soggiacenza della falda più superficiale, sulla scorta dei dati elaborati dal QC del PSC di Castelfranco Emilia, dovrebbe attestarsi intorno a -5 m dal p.d.c.; in occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche, il livello di falda è stato rilevato a -3 m dal p.d.c. nell'area "Stanzani", a -1,8 m dal p.d.c. nell'area "Tironi"; a -1,4 m dal p.d.c. nell'area "Mavora", a -1,8 m dal p.d.c. nell'area "Bergamini" e a -2,9-3,5 m.

Per la caratterizzazione sismica del terreno presente nelle 4 aree degli ambiti 50 ANP e 58 ANP, sono stati utilizzati i dati ricavati da altrettanti profili a sismica passiva (HVSR) realizzati all'interno di ogni area d'indagine, su terreno naturale, dal Dott. Geol. C. Preci; per quella dell'ambito 39 ASP.b sono stati utilizzati i dati di uno stendimento sismico a rifrazione eseguito dallo scrivente nel 2007.

I dati elaborati hanno restituito valori di  $V_{S30}$  che permettono di assegnare a tutti i terreni in esame la categoria di suolo **C** "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)*".

Sono stati, inoltre, determinati i fattori litostratigrafici di amplificazione sismica in base a quanto disposto dalla DGR 2193/2015, a valle dell'esecuzione di un'analisi di risposta sismica locale che, per le particolari condizioni stratigrafiche locali, è stata suddivisa in due scenari distinti, per ogni area, in base alla profondità del

bedrock sismico e della principale superficie di risonanza superficiale, non assimilabile a bedrock sismico, ma comunque indice della presenza di sensibile contrasto d'impedenza, non trascurabile per la risposta di sito. L'amplificazione topografica è risultata trascurabile.

In considerazione della stratigrafia evidenziata dalle prove eseguite in situ e dei dati bibliografici consultati, è stata eseguita, in corrispondenza di ogni verticale penetrometrica, un calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione attraverso la metodologia proposta da Boulanger & Idriss (2014). La pericolosità alla liquefazione (*sensu* Sonmez, 2003) è risultata da "bassa" a "moderata" per la sola area "Tironi" e "bassa" per tutte le altre aree degli ambiti 50 ANP e 58 ANP. Per l'ambito 39 ASP.b, la pericolosità alla liquefazione (*sensu* Sonmez, 2003) è risultata "bassa" per le CPT1 e CPT2, mentre per le CPT3 e CPT4 è risultata "moderata".

In generale, la configurazione litostratigrafia, geotecnica e sismica rende possibile ipotizzare l'adozione di fondazioni dirette superficiali, ma il cui dimensionamento strutturale dovrà comunque avvalersi di nuove indagini geognostiche e geofisiche da eseguirsi in corrispondenza delle specifiche aree di progetto. E' auspicabile un confronto tra i risultati delle nuove indagini specifiche e i parametri geotecnici e sismici ricavati in questa sede.

Relativamente alla nuova campagna d'indagini da eseguirsi in fase esecutiva, si ribadisce la particolare attenzione da porre nei confronti dell'osservato decadimento delle proprietà geomeccaniche dei terreni fini con la profondità e dei conseguenti possibili cedimenti a breve e lungo termine che si possono generare, anche in condizione post-sismica.

Le nuove indagini penetrometriche (da eseguirsi preferibilmente attraverso l'utilizzo di punta elettrica e piezocono), oltre a dettagliare con maggior risoluzione la stratigrafia locale, potranno individuare, laddove i valori dei parametri di resistenza geomeccanica risultino particolarmente scarsi, le profondità da cui eventualmente estrarre campioni di terreno indisturbato per prove di laboratorio geotecnico, sia in campo statico che dinamico.

Le stesse penetrometrie dovranno essere impiegate per calcolare l'Indice di Potenziale Liquefazione a valle di nuove analisi di risposta sismica locale, considerato che, per le aree esaminate in questa sede, la distribuzione spaziale e verticale dei livelli sabbiosi è risultata estremamente variabile.

Modena, 12/07/2017

Dott. Geol. Valeriano Franchi

# **Allegato 1**

## **Indagini geognostiche Archivio dati geognostici della Regione Emilia-Romagna**

Pratica N° 1.303

COMPENSORIO 

1	4
4	0
6	

COMUNE-Istat P609

-Ditta CLÒ ANNITA 202130  
 -residente a Costefranco in Via Castello 20  
 -Pozzo ad uso irriguo in Comune di Costefranco  
 -Frazione \_\_\_\_\_ Località Madonne degli Angeli Mapp. N° 15 / Fg. 50  
 -Data di ultimazione della perforazione: 1970  
 -Ditta perforatrice: ≠

**CARATTERISTICHE DEL POZZO**  
 \*avanpozzo (si o no) no  
 \*diametro interno tubi mm. 100  
 \*profondità mt. 42

**EQUIPAGGIAMENTO**  
 \*tipo della pompa Completto Gejac MEL 02 65  
 \*potenza  $\frac{CV}{KW}$  50 (TRATTORSI)  
 \*prevalenza mt. 1  
 \*portata lt/sec. 12

-Livello statico mt. 4  
 -Portata pozzo: lt/sec. 14-15  
 -Superficie irrigata:  
 ha. 2 are 80 ca. 00  
 -Consumo giornaliero (24 ore):  
 metri cubi \_\_\_\_\_

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data 10/9/77  
 Firma Clò Annita

STRATIGRAFIA DEL TERRENO		Falde captate
Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE attraversate		
-da mt. <u>0</u> a mt. <u>28</u>	<u>terra</u>	
-da mt. <u>28</u> a mt. <u>35</u>	<u>ghiaie con acque</u>	X
-da mt. <u>35</u> a mt. <u>42</u>	<u>argilla</u>	
-da mt. <u>42</u> a mt. <u>42</u>	<u>ghiaie con acque</u>	X
-da mt. _____ a mt. _____		
-da mt. _____ a mt. _____		
-da mt. _____ a mt. _____		
-da mt. _____ a mt. _____		

Localizzazione del pozzo

Long.		Lat.		Ha.	
Quota piano campagna: m.s.l.m. _____					

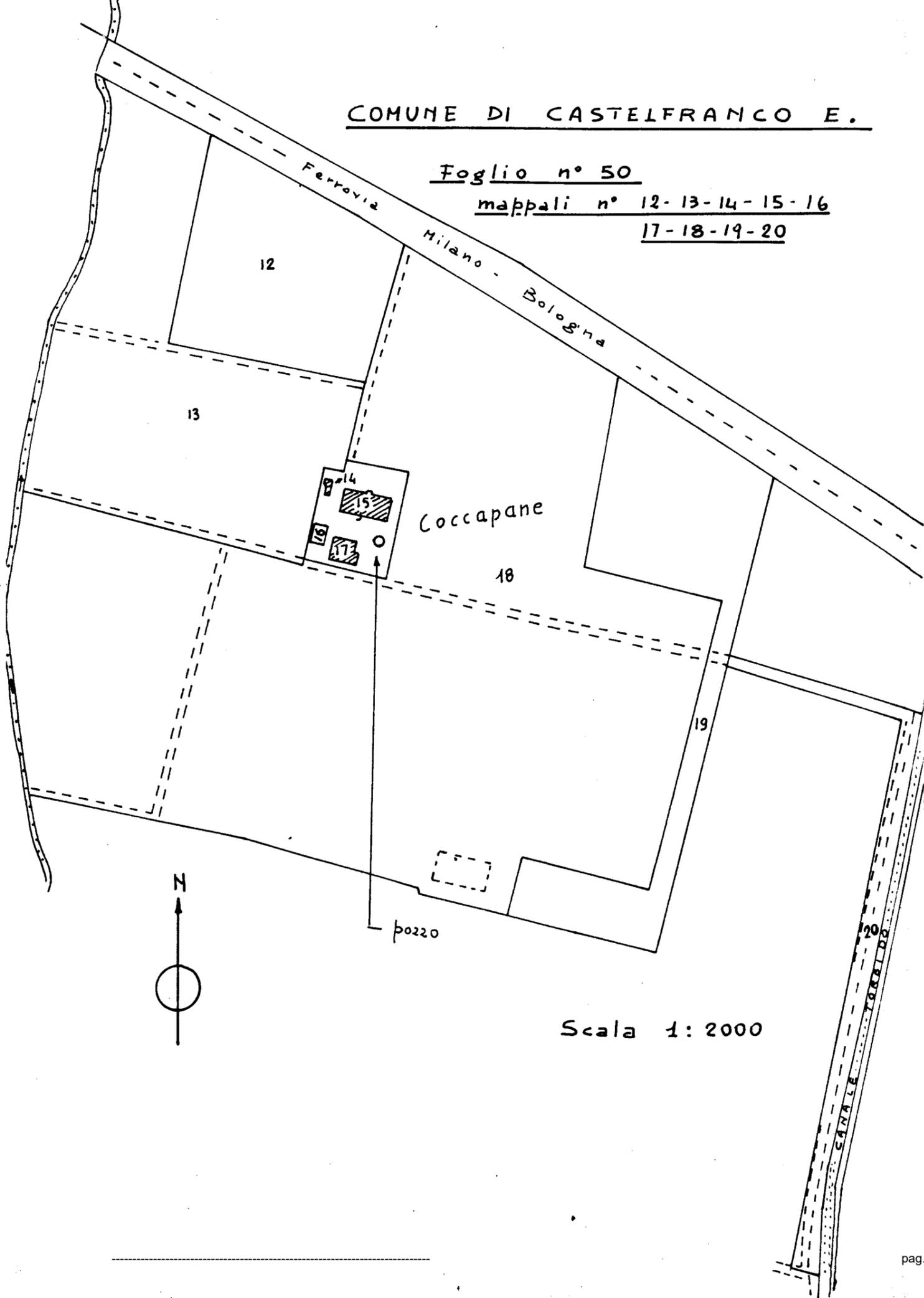
ANNOTAZIONI: Trattandosi di pozzo già perforato, alcuni dati non sono stati ricostruiti, quindi sono da considerarsi indicativi.

M.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitata ad allegarne copia.



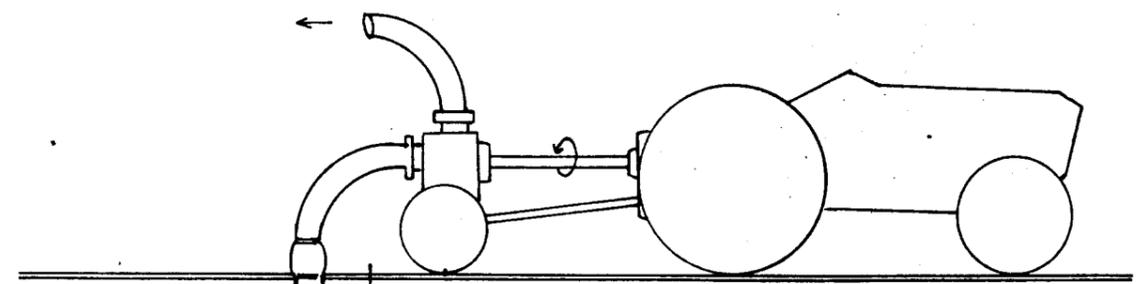
COMUNE DI CASTELFRANCO E.

Foglio n° 50  
mappali n° 12-13-14-15-16  
17-18-19-20

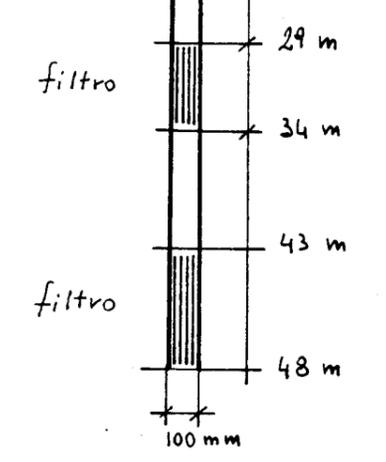


Scala 1:2000

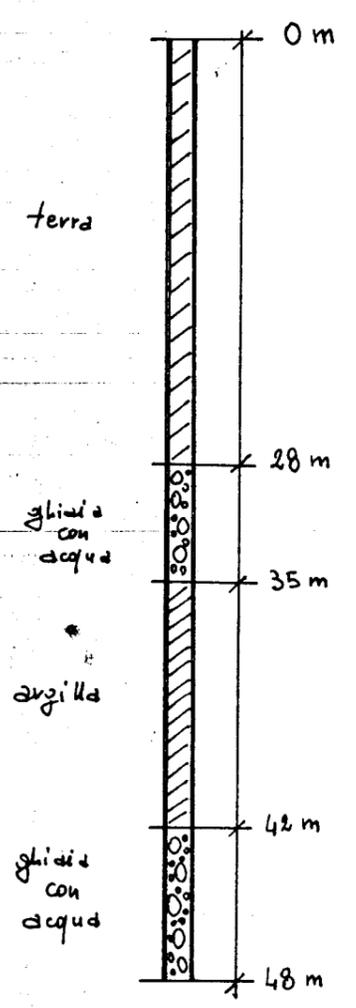
Gruppo pompa-motore



livello statico 4 m  
livello dinamico 6 m



Stratigrafia



N° Progressivo 2915

20230 P626

5

Il Sig. FERRARI BENITO VIA EMILIA OVEST 83

ha consegnato a questo Ufficio, il giorno 21 del mese 11

dell'anno 1988 prot.n. 31822 LA DENUNCIA

DI ESISTENZA POZZO AD USO DOMESTICO

Fig. PIANO

UFFICIO GAS-ACQUA  
(L'Addetto)

Com.le

-Caratteristiche del pozzo:

avanpozzo (si o no): \_\_\_\_\_

Ø dei tubi: mm. 114.3

profondità mt. 71.00

Longit.		Latit.		Ha.	
Quota piano campagna:m.s.l.m.					

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Natura dei terreni e indicazione delle falde acquifere attraversate (fenestrate)

-da mt. 0.00 a mt. 15.00

Argilla

-da mt. 15.00 a mt. 21.00

Argilla

-da mt. 21.00 a mt. 27.00

Argilla

-da mt. 27.00 a mt. 38.00

Argilla

-da mt. 38.00 a mt. 61.00

Argilla

-da mt. 61.00 a mt. 71.00

Argilla (FALDA CAPTATA)

Livello statico : mt. 5

Usi cui è destinata l'acqua

- familiare
- abbeveraggio bestiame
- inaffiamento orto
- inaffiamento giardino

-Portata: lt./sec. 3

-Consumo giornaliero: mc.  
ql.

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera:

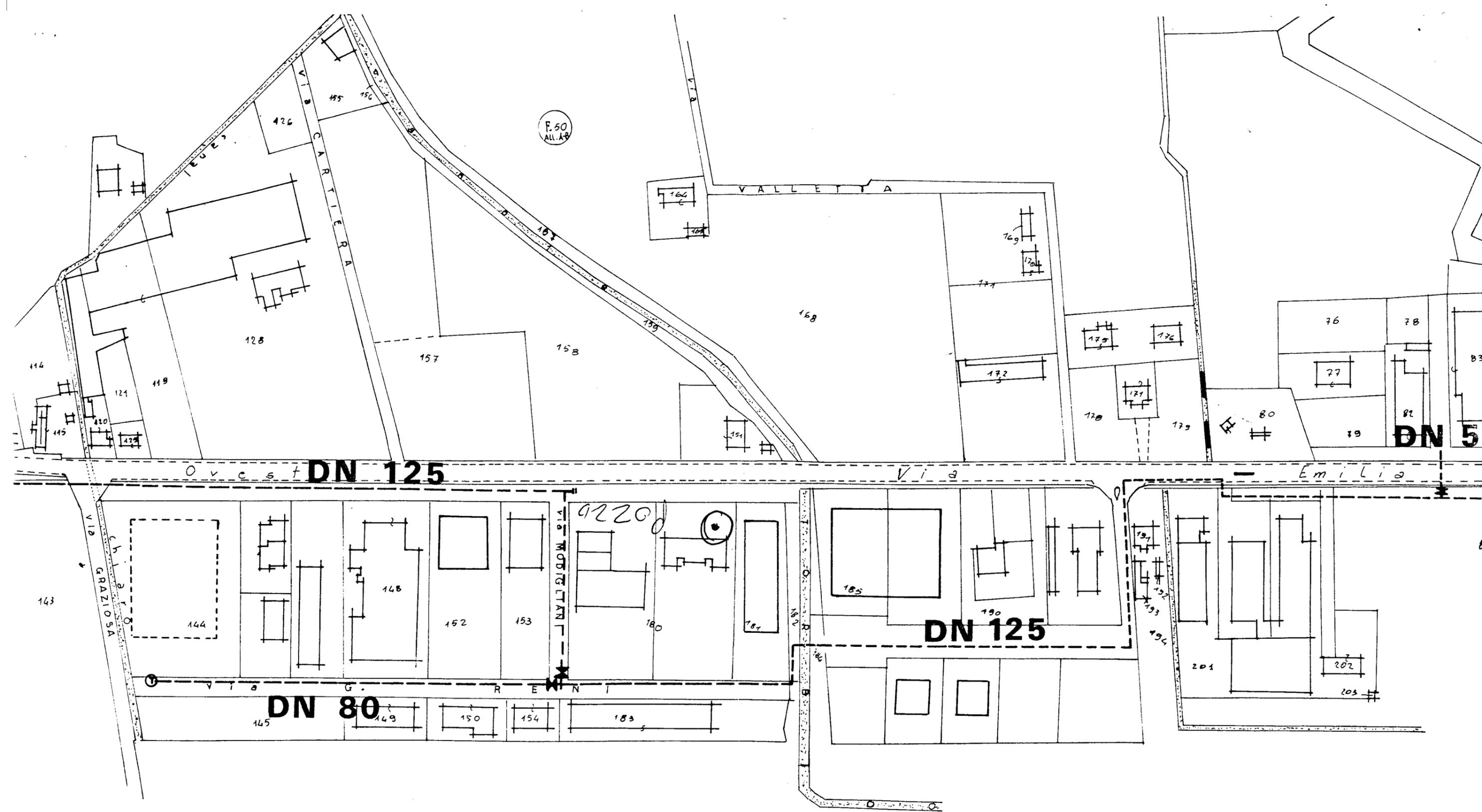
data: 21/11/1988

firma: \_\_\_\_\_

Ditta FERRI ITALO  
PERFORAZIONE POZZI ARTESIANI  
41013 Castelfranco Emilia

Il Tecnico Comunale

N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitata ad allegarne copia.



## **Allegato 2**

### **Indagini geognostiche eseguite dal Dott. Geol. Claudio Preci per le aree degli ambiti 50 ANP e 58 ANP (12 CPT)**

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

"ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera"  
trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)

### Localita'

CARTIERA - MADONNA DEGLI ANGELI

### Committente

ELETTROMECCANICA TIRONI SRL

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI

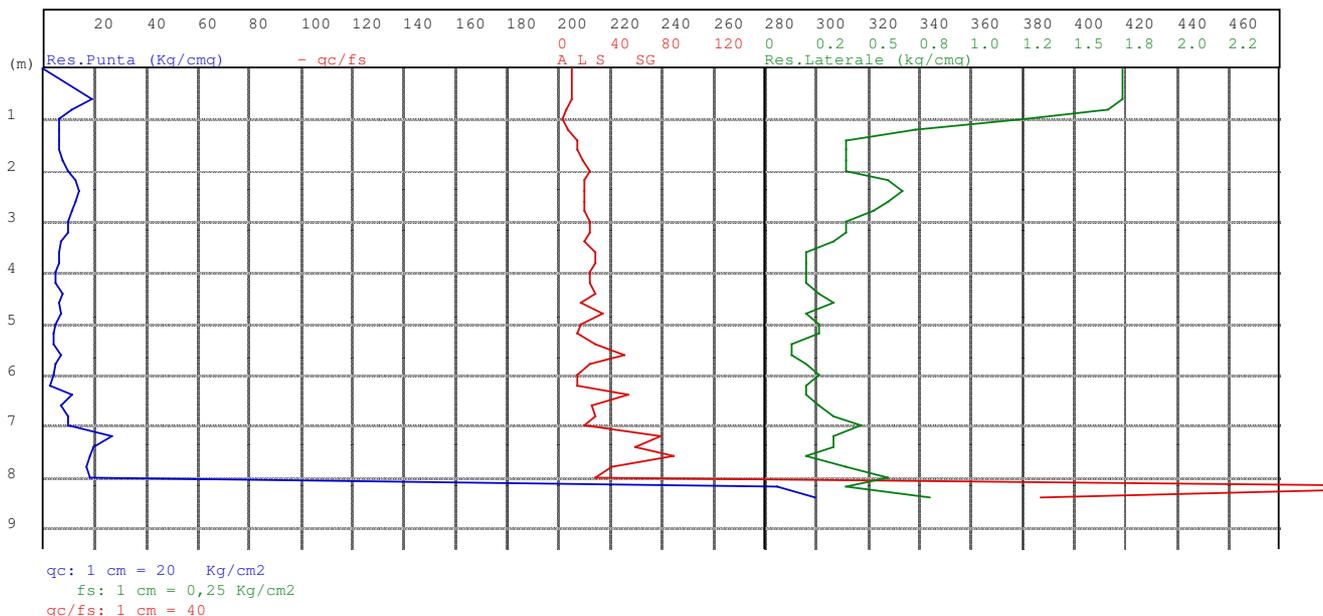


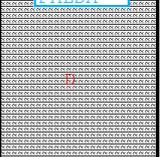
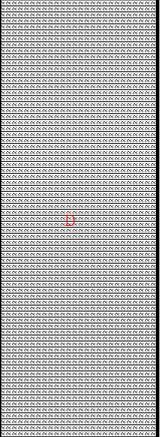
di Claudio Preci e C.  
Consulenze e Servizi per la Geologia e l'Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel - fax 059.823020 Cell 339.8264394  
e-mail precigeo@virgilio.it  
geowork@pec.it  
www.geowork.biz

### Data

LUGLIO 2014

CPT n°1 data:23/07/2014 elaborato n° 899  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm3	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.80		Argilla plastica	1769	1769	0.318	0.540	24	0	0.018000	1.1111	1.1e-6
	FALDA										
3.20		Limo argil-sabbioso addensato medio	1775	1125	0.476	0.555	22	0	0.014524	0.7714	8.0e-4
7.00		Limo argil-sabbioso sciolto	1685	1035	0.869	0.272	16	0	0.020327	0.4211	1.8e-3
7.80		Sabbia sciolta	1700	1050	0.953	0.000	21	15	0.024390	1.0250	7.8e-2
8.00		Limo argil-sabbioso	1841	1191	0.977	0.851	21	0	0.015015	1.2000	4.4e-3
8.40		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.023	0.000	30	100	0.002279	14.6250	7.1e-1

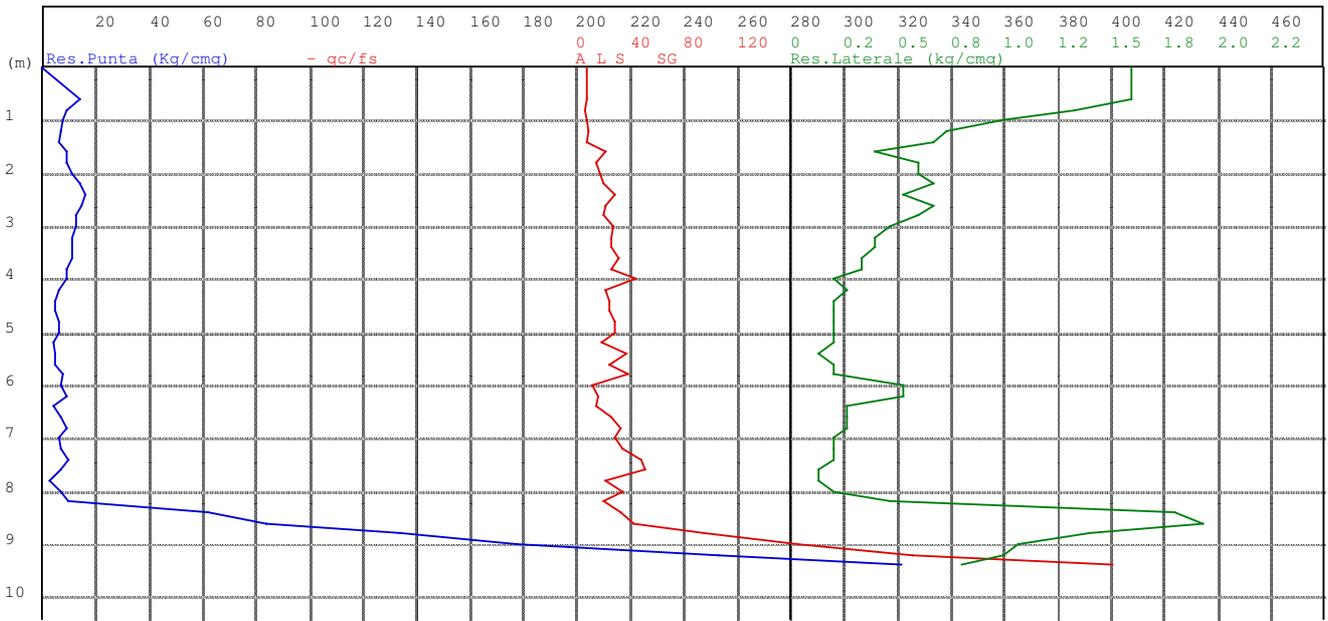
RELAZIONE TECNICA

CPT n°1 data:23/07/2014 elaborato n° 899  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl

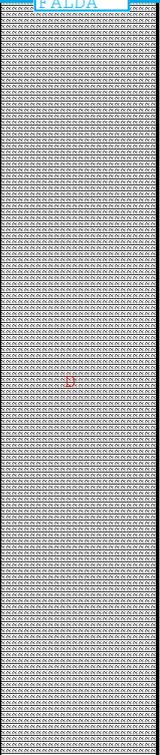
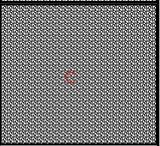
Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	19.00	1.73	10.96
0.80	11.00	1.67	6.60
1.00	6.00	1.27	4.74
1.20	6.00	0.73	8.18
1.40	6.00	0.40	15.00
1.60	6.00	0.40	15.00
1.80	8.00	0.40	20.00
2.00	10.00	0.40	25.00
2.20	13.00	0.60	21.67
2.40	14.00	0.67	21.00
2.60	13.00	0.60	21.67
2.80	11.00	0.53	20.63
3.00	10.00	0.40	25.00
3.20	10.00	0.40	25.00
3.40	7.00	0.33	21.00
3.60	6.00	0.20	30.00
3.80	6.00	0.20	30.00
4.00	5.00	0.20	25.00
4.20	5.00	0.20	25.00
4.40	8.00	0.27	30.00
4.60	6.00	0.33	18.00
4.80	7.00	0.20	35.00
5.00	5.00	0.27	18.75
5.20	4.00	0.27	15.00
5.40	4.00	0.13	30.00
5.60	7.00	0.13	52.50
5.80	5.00	0.20	25.00
6.00	4.00	0.27	15.00
6.20	3.00	0.20	15.00
6.40	11.00	0.20	55.00
6.60	7.00	0.27	26.25
6.80	10.00	0.33	30.00
7.00	10.00	0.47	21.43
7.20	27.00	0.33	81.00
7.40	20.00	0.33	60.00
7.60	18.00	0.20	90.00
7.80	17.00	0.40	42.50
8.00	18.00	0.60	30.00
8.20	285.00	0.40	712.50
8.40	300.00	0.80	375.00



qc: 1 cm = 20 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	K oriz Kg/cm <sup>3</sup>	Perm. cm/sec
1.80		Argilla plastica	1753	1753	0.316	0.484	24	0	0.018182	1.0000	7.7e-7
	FALDA										
8.20		Limo argil-sabbioso sciolto	1727	1077	1.005	0.370	17	0	0.016855	0.5604	1.9e-3
9.40		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.143	0.000	27	84	0.003872	8.6083	2.8e-1

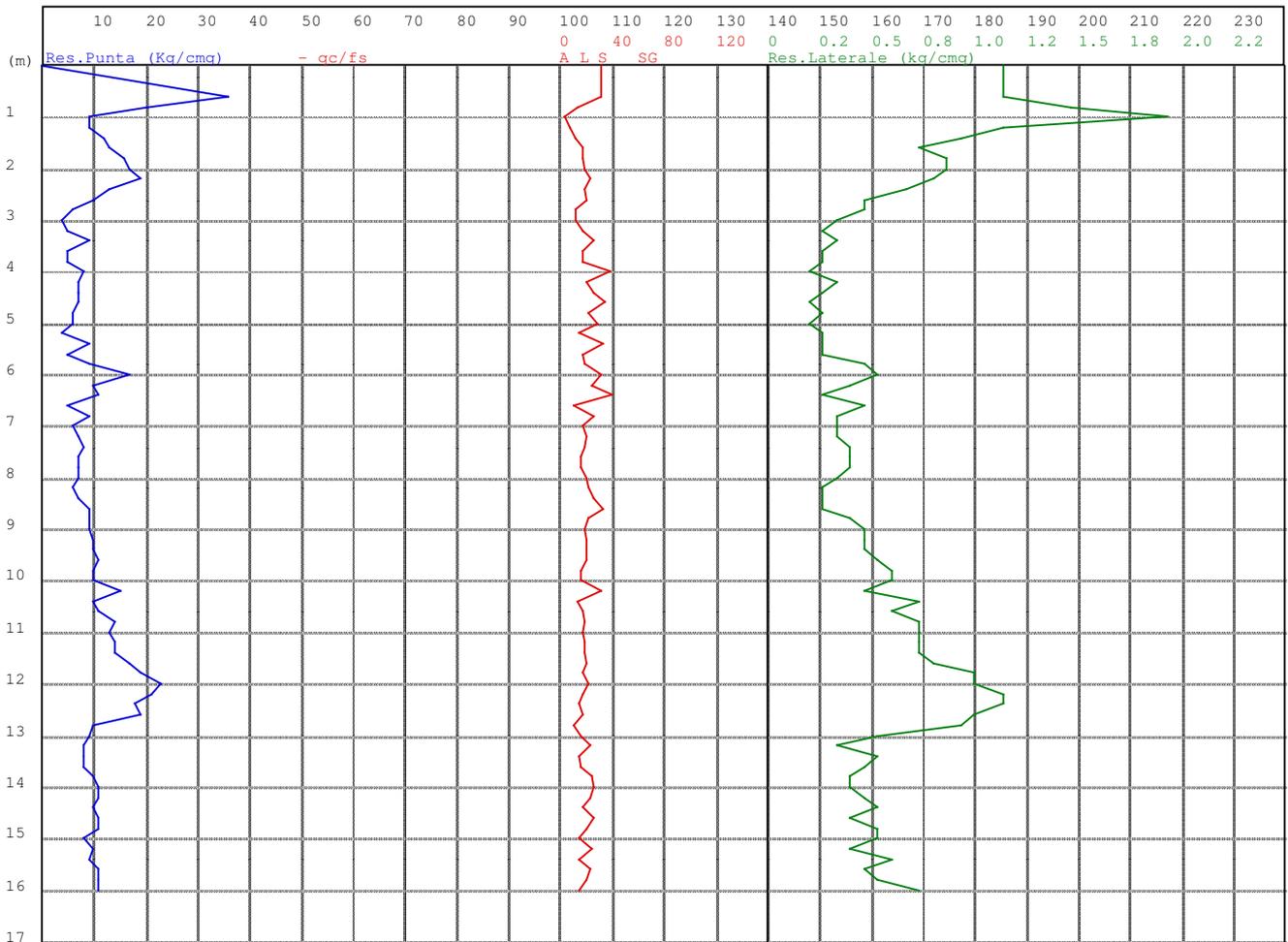
RELAZIONE TECNICA

CPT n°2 data:23/07/2014 elaborato n°900  
 Cantiere: v. Cartiera . Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committent: Elettromeccanica Tironi srl

Quota livello di falda: 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	14.00	1.60	8.75
0.80	9.00	1.33	6.75
1.00	8.00	1.00	8.00
1.20	7.00	0.73	9.55
1.40	6.00	0.67	9.00
1.60	9.00	0.40	22.50
1.80	9.00	0.60	15.00
2.00	11.00	0.60	18.33
2.20	14.00	0.67	21.00
2.40	16.00	0.53	30.00
2.60	15.00	0.67	22.50
2.80	13.00	0.60	21.67
3.00	13.00	0.47	27.86
3.20	11.00	0.40	27.50
3.40	11.00	0.40	27.50
3.60	11.00	0.33	33.00
3.80	9.00	0.33	27.00
4.00	9.00	0.20	45.00
4.20	6.00	0.27	22.50
4.40	5.00	0.20	25.00
4.60	5.00	0.20	25.00
4.80	6.00	0.20	30.00
5.00	6.00	0.20	30.00
5.20	4.00	0.20	20.00
5.40	5.00	0.13	37.50
5.60	5.00	0.20	25.00
5.80	8.00	0.20	40.00
6.00	7.00	0.53	13.21
6.20	9.00	0.53	16.98
6.40	4.00	0.27	15.00
6.60	7.00	0.27	26.25
6.80	9.00	0.27	33.75
7.00	6.00	0.20	30.00
7.20	7.00	0.20	35.00
7.40	10.00	0.20	50.00
7.60	7.00	0.13	52.50
7.80	3.00	0.13	22.50
8.00	7.00	0.20	35.00
8.20	10.00	0.47	21.43
8.40	62.00	1.80	34.44
8.60	84.00	1.93	43.45
8.80	134.00	1.40	95.71
9.00	178.00	1.07	166.88
9.20	253.00	1.00	253.00
9.40	322.00	0.80	402.50



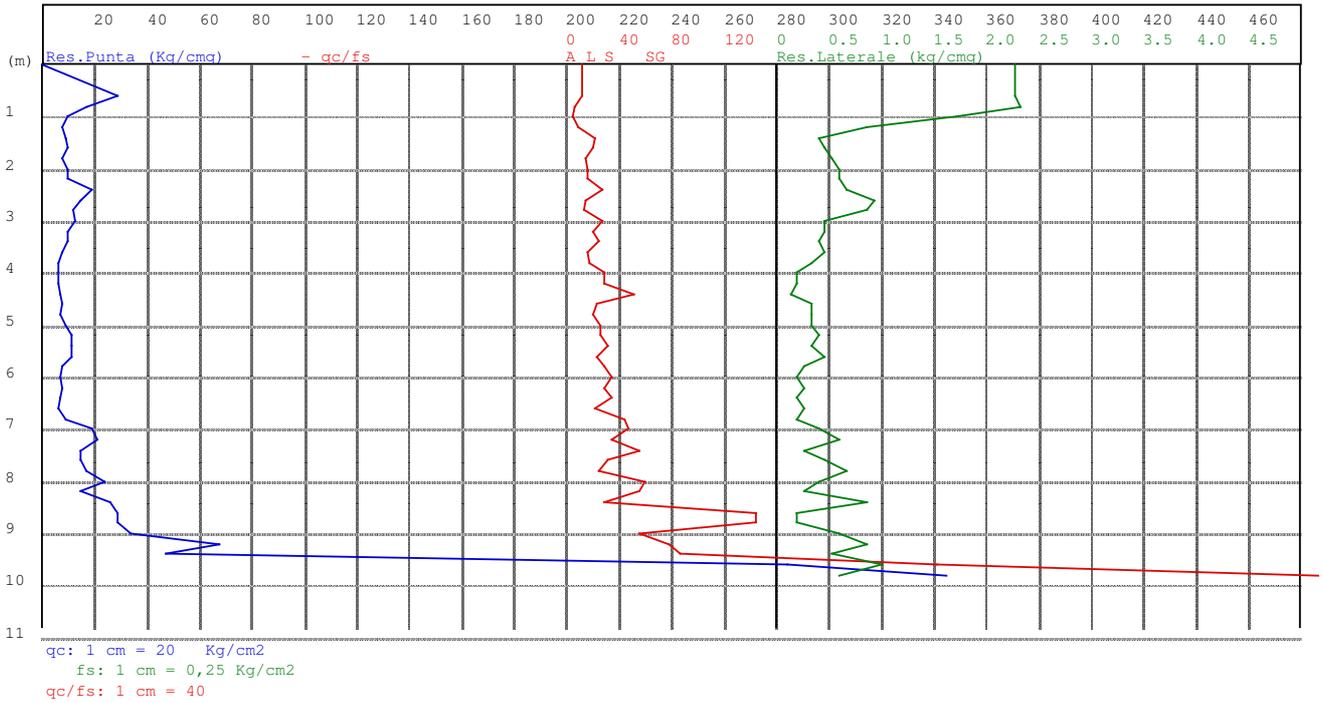
qc: 1 cm = 10 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
0.80		Limo argil-sabbioso addensato medio	1927	1927	0.154	1.592	34	0	0.010417	2.1333	2.2e-3
1.40		Argilla torbosa consistente	1753	1753	0.259	0.487	25	0	0.018182	1.0000	5.7e-7
		Limo argilloso plastico									
2.60		Limo argil-sabbioso sciolto	1810	1160	0.399	0.713	25	0	0.014010	0.9778	3.6e-4
			1708	1058	1.075	0.315	16	0	0.018277	0.4917	7.5e-4
9.00		Limo argilloso plastico									
			1807	1157	1.492	0.645	18	0	0.014001	0.9593	2.7e-4
12.60		Limo argilloso soffice									
			1750	1100	1.866	0.398	14	0	0.015514	0.6549	2.4e-4
16.00											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°3 data: 23/07/2014 elaborato n° 901  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR.POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl  
 Quota livello di falda : 1.80  
 Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	36.00	1.13	31.76
0.80	20.00	1.47	13.64
1.00	9.00	1.93	4.66
1.20	9.00	1.13	7.94
1.40	12.00	0.93	12.86
1.60	13.00	0.73	17.73
1.80	16.00	0.87	18.46
2.00	17.00	0.87	19.62
2.20	19.00	0.80	23.75
2.40	13.00	0.67	19.50
2.60	10.00	0.47	21.43
2.80	6.00	0.47	12.86
3.00	4.00	0.33	12.00
3.20	5.00	0.27	18.75
3.40	9.00	0.33	27.00
3.60	5.00	0.27	18.75
3.80	5.00	0.27	18.75
4.00	8.00	0.20	40.00
4.20	7.00	0.33	21.00
4.40	7.00	0.27	26.25
4.60	7.00	0.20	35.00
4.80	6.00	0.27	22.50
5.00	6.00	0.20	30.00
5.20	4.00	0.27	15.00
5.40	9.00	0.27	33.75
5.60	5.00	0.27	18.75
5.80	9.00	0.47	19.29
6.00	17.00	0.53	31.88
6.20	10.00	0.40	25.00
6.40	11.00	0.27	41.25
6.60	5.00	0.47	10.71
6.80	9.00	0.33	27.00
7.00	6.00	0.33	18.00
7.20	7.00	0.33	21.00
7.40	8.00	0.40	20.00
7.60	7.00	0.40	17.50
7.80	7.00	0.40	17.50
8.00	7.00	0.33	21.00
8.20	6.00	0.27	22.50
8.40	7.00	0.27	26.25
8.60	9.00	0.27	33.75
8.80	9.00	0.40	22.50
9.00	9.00	0.47	19.29
9.20	10.00	0.47	21.43
9.40	10.00	0.47	21.43
9.60	11.00	0.53	20.63
9.80	10.00	0.60	16.67
10.00	10.00	0.60	16.67
10.20	15.00	0.47	32.14
10.40	10.00	0.73	13.64
10.60	11.00	0.60	18.33
10.80	14.00	0.73	19.09
11.00	13.00	0.73	17.73
11.20	14.00	0.73	19.09
11.40	14.00	0.73	19.09
11.60	17.00	0.80	21.25
11.80	19.00	1.00	19.00
12.00	23.00	1.00	23.00
12.20	21.00	1.13	18.53
12.40	18.00	1.13	15.88
12.60	19.00	1.00	19.00
12.80	10.00	0.93	10.71
13.00	9.00	0.53	16.88
13.20	8.00	0.33	24.00
13.40	8.00	0.53	15.00
13.60	8.00	0.47	17.14
13.80	10.00	0.40	25.00
14.00	11.00	0.40	27.50
14.20	11.00	0.47	23.57
14.40	10.00	0.53	18.75
14.60	11.00	0.40	27.50
14.80	11.00	0.53	20.63
15.00	8.00	0.53	15.00
15.20	10.00	0.40	25.00
15.40	9.00	0.60	15.00
15.60	11.00	0.47	23.57
15.80	11.00	0.53	20.63
16.00	11.00	0.73	15.00



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
0.80		Argilla limosa molto consistente	1896	1896	0.152	1.292	33	0	0.007692	2.6000	3.3e-5
		Argilla limosa plastica	1737	1737	0.325	0.434	23	0	0.018519	0.9000	2.6e-6
1.80	FALDA										
3.40		Limo argilloso plastico	1785	1135	0.507	0.593	22	0	0.014255	0.8250	3.3e-4
		Limo argil-sabbioso sciolto	1719	1069	0.870	0.354	17	0	0.017440	0.5294	2.6e-3
6.80		Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	1.038	0.000	20	15	0.035088	1.2667	1.4e-2
8.40		Ghiaia molto sciolta	1650	1000	1.078	0.000	21	23	0.017241	1.4500	3.2e-1
8.80		Sabbia ghiaiosa media addensata	1750	1100	1.144	0.000	23	41	0.013423	2.4833	1.1e-1
9.40		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.190	0.000	30	100	0.002120	15.7250	6.6e-1

RELAZIONE TECNICA

CPT n°4 data:23/07/2014 elaborato n°902  
 Cantiere: v. Cartiera - Castelfranco Emilia IV VAR. POC  
 Committente: Elettromeccanica Tironi srl

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	29.00	2.27	12.79
0.80	17.00	2.33	7.29
1.00	10.00	1.73	5.77
1.20	8.00	0.87	9.23
1.40	9.00	0.40	22.50
1.60	10.00	0.47	21.43
1.80	8.00	0.53	15.00
2.00	10.00	0.60	16.67
2.20	10.00	0.60	16.67
2.40	19.00	0.67	28.50
2.60	15.00	0.93	16.07
2.80	12.00	0.87	13.85
3.00	13.00	0.47	27.86
3.20	10.00	0.47	21.43
3.40	10.00	0.40	25.00
3.60	8.00	0.47	17.14
3.80	6.00	0.33	18.00
4.00	6.00	0.20	30.00
4.20	6.00	0.20	30.00
4.40	7.00	0.13	52.50
4.60	8.00	0.33	24.00
4.80	7.00	0.33	21.00
5.00	9.00	0.33	27.00
5.20	11.00	0.40	27.50
5.40	11.00	0.33	33.00
5.60	11.00	0.47	23.57
5.80	8.00	0.27	30.00
6.00	7.00	0.20	35.00
6.20	8.00	0.27	30.00
6.40	7.00	0.20	35.00
6.60	6.00	0.27	22.50
6.80	9.00	0.20	45.00
7.00	19.00	0.40	47.50
7.20	21.00	0.60	35.00
7.40	15.00	0.27	56.25
7.60	15.00	0.47	32.14
7.80	17.00	0.67	25.50
8.00	24.00	0.40	60.00
8.20	15.00	0.27	56.25
8.40	26.00	0.87	30.00
8.60	29.00	0.20	145.00
8.80	29.00	0.20	145.00
9.00	34.00	0.60	56.67
9.20	68.00	0.87	78.46
9.40	47.00	0.53	88.13
9.60	284.00	1.00	284.00
9.80	345.00	0.60	575.00

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

"ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera"  
"ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa"  
trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)

### Localita'

CARTIERA - MADONNA DEGLI ANGELI

### Committenti

STANZANI ROBERTO E CARLA  
AZ. AGR. MAVORA  
BERGAMINI GIULIO-FORNETTI ROSA  
ANZEVINO TIZIANO

### Tecnico incaricato

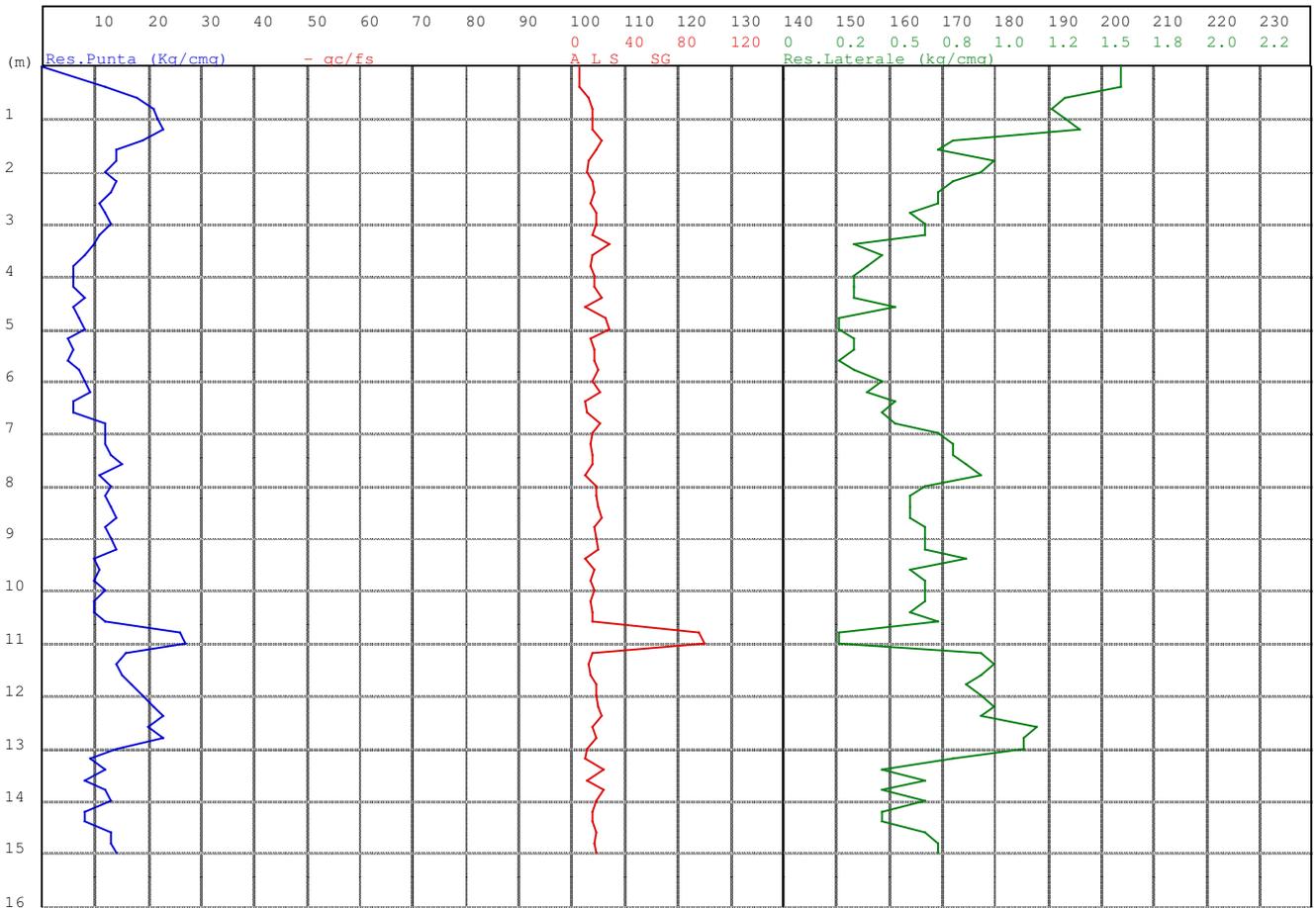
DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

OTTOBRE 2014

Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel/fax : 059.823020 - Cell: 3398264394  
e-mail: precigeo@virgilio.it  
PEC: dott.claudiopreci@epap.sicurezza postale.it



qc: 1 cm = 10 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.40		Argilla limosa consistente	1842	1842	0.258	0.894	28	0	0.011024	1.8143	2.6e-5
		Limo argilloso plastico	1785	1135	0.485	0.596	23	0	0.014248	0.8267	1.2e-4
3.40	<b>FALDA</b>										
6.60		Limo argilloso soffice	1693	1043	0.819	0.293	17	0	0.019523	0.4458	1.2e-4
		Limo argilloso plastico	1781	1131	1.271	0.539	18	0	0.014352	0.8033	1.2e-4
10.60		Ghiaia sabbiosa sciolta	1650	1000	1.311	0.000	20	16	0.018868	1.3250	1.9e-1
11.00		Limo argilloso plastico	1843	1193	1.550	0.833	19	0	0.015136	1.2133	1.7e-4
13.00		Limo argilloso soffice	1767	1117	1.773	0.461	15	0	0.014782	0.7333	1.6e-4
15.00											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°1 data:30/09/2014 elaborato n°907  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 3.00

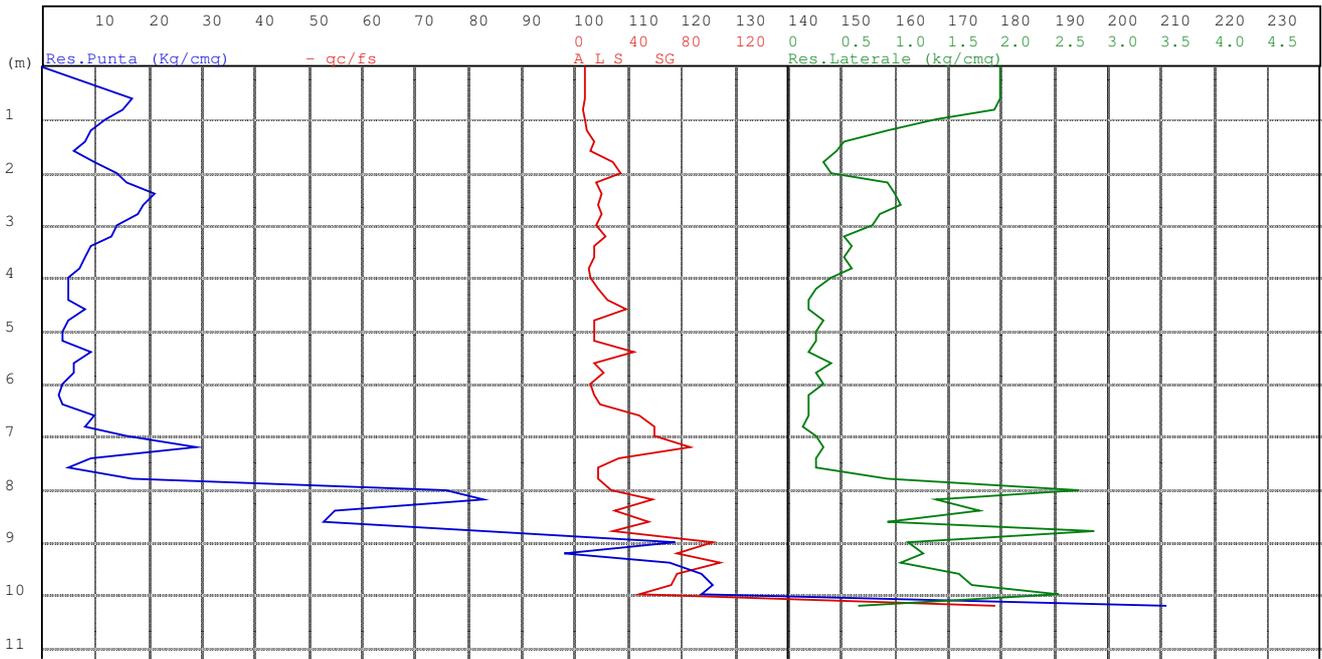
Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.40	12.00	1.60	7.50
0.60	18.00	1.33	13.50
0.80	21.00	1.27	16.58
1.00	22.00	1.33	16.50
1.20	23.00	1.40	16.43
1.40	19.00	0.80	23.75
1.60	14.00	0.73	19.09
1.80	14.00	1.00	14.00
2.00	12.00	0.93	12.86
2.20	14.00	0.80	17.50
2.40	13.00	0.73	17.73
2.60	11.00	0.73	15.00
2.80	12.00	0.60	20.00
3.00	13.00	0.67	19.50
3.20	11.00	0.67	16.50
3.40	10.00	0.33	30.00
3.60	8.00	0.47	17.14
3.80	6.00	0.40	15.00
4.00	6.00	0.33	18.00
4.20	6.00	0.33	18.00
4.40	8.00	0.33	24.00
4.60	6.00	0.53	11.25
4.80	7.00	0.27	26.25
5.00	8.00	0.27	30.00
5.20	5.00	0.33	15.00
5.40	6.00	0.33	18.00
5.60	5.00	0.27	18.75
5.80	7.00	0.33	21.00
6.00	8.00	0.47	17.14
6.20	9.00	0.40	22.50
6.40	6.00	0.53	11.25
6.60	6.00	0.47	12.86
6.80	12.00	0.53	22.50
7.00	12.00	0.73	16.36
7.20	12.00	0.80	15.00
7.40	13.00	0.80	16.25
7.60	15.00	0.87	17.31
7.80	11.00	0.93	11.79
8.00	13.00	0.67	19.50
8.20	12.00	0.60	20.00
8.40	13.00	0.60	21.67
8.60	14.00	0.60	23.33
8.80	12.00	0.67	18.00
9.00	13.00	0.67	19.50
9.20	14.00	0.67	21.00
9.40	10.00	0.87	11.54
9.60	11.00	0.60	18.33
9.80	10.00	0.67	15.00
10.00	12.00	0.67	18.00
10.20	10.00	0.67	15.00
10.40	10.00	0.60	16.67
10.60	12.00	0.73	16.36
10.80	26.00	0.27	97.50
11.00	27.00	0.27	101.25
11.20	16.00	0.93	17.14
11.40	14.00	1.00	14.00
11.60	15.00	0.93	16.07
11.80	17.00	0.87	19.62
12.00	19.00	0.93	20.36
12.20	21.00	1.00	21.00
12.40	23.00	0.93	24.64
12.60	20.00	1.20	16.67
12.80	23.00	1.13	20.29
13.00	14.00	1.13	12.35
13.20	9.00	0.80	11.25
13.40	12.00	0.47	25.71
13.60	8.00	0.67	12.00
13.80	12.00	0.47	25.71
14.00	13.00	0.67	19.50
14.20	8.00	0.47	17.14
14.40	8.00	0.47	17.14
14.60	13.00	0.67	19.50
14.80	13.00	0.73	17.73
15.00	14.00	0.73	19.09

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel/fax: 059/823020 - cell: 33978864394 - e-mail: precigeo@virgilio.it



qc: 1 cm = 10 Kg/cm<sup>2</sup>  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm<sup>2</sup>  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.00		Argilla torbosa consistente	1820	1820	0.182	0.771	29	0	0.012821	1.5600	4.3e-6
1.60		Argilla limosa soffice	1713	1713	0.285	0.369	23	0	0.019565	0.7667	3.9e-6
		Limo argilloso plastico	1820	1170	0.472	0.758	24	0	0.014124	1.0417	5.2e-4
3.20		Limo argilloso soffice	1670	1020	0.798	0.248	16	0	0.021773	0.3833	1.1e-4
6.40		Sabbia sciolta	1700	1050	0.882	0.000	20	15	0.031746	0.7875	8.7e-2
7.20		Limo argil-sabbioso sciolto	1700	1050	0.924	0.304	16	0	0.018921	0.4667	2.0e-3
7.60		Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	1.050	0.000	24	49	0.010899	4.0778	8.8e-3
8.80		Sabbia ghiaiosa media addensata	1750	1100	1.182	0.000	26	70	0.005642	5.9083	1.1e-1
10.00		Ghiaia mediamente	1800	1150	1.205	0.000	28	90	0.003160	10.5500	5.9e-1

RELAZIONE TECNICA

CPT n°2 data:30/09/2014 elaborato n°908

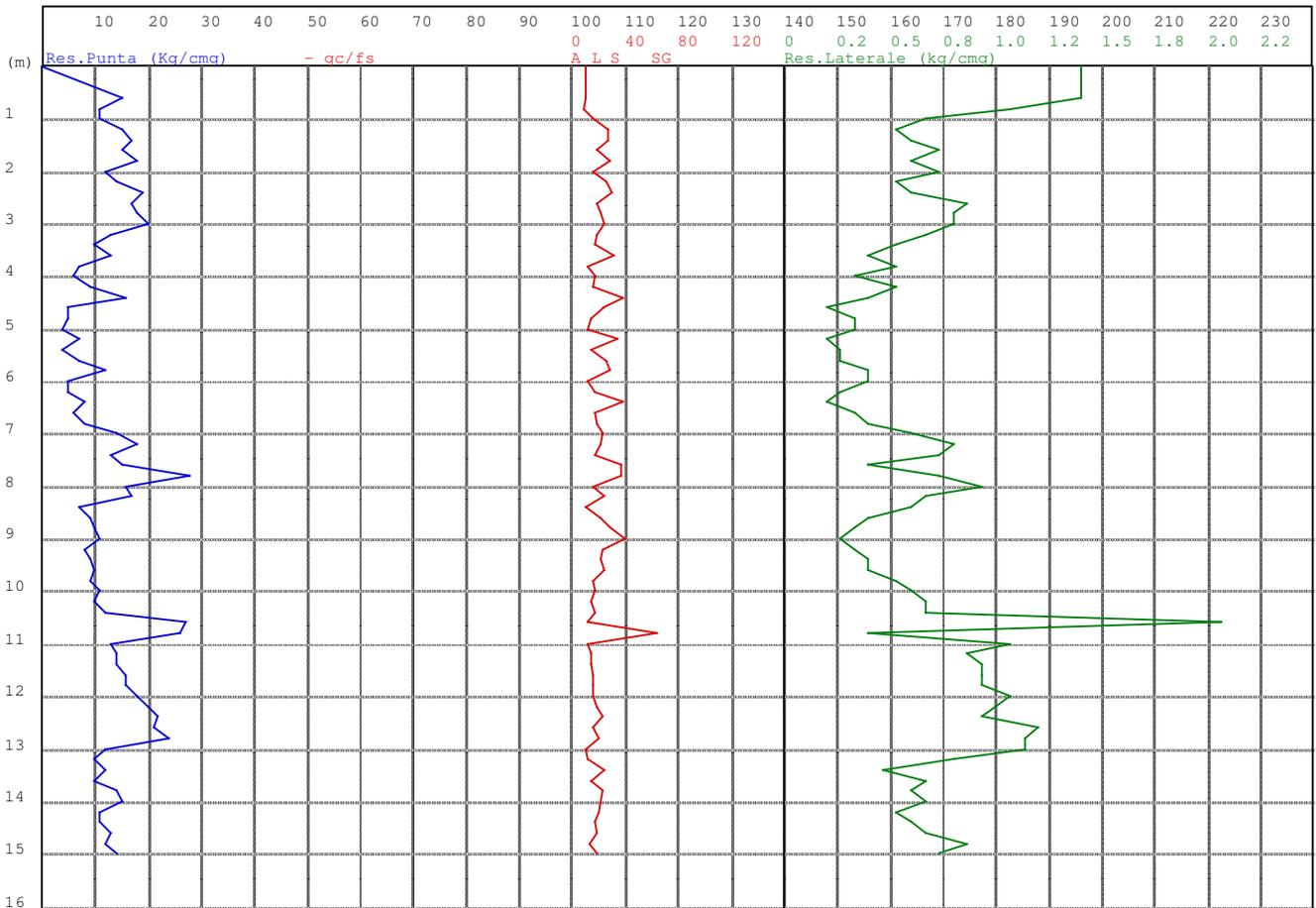
Cantiere: Castelfranco Emilia

Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 3.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	17.00	2.00	8.50
0.80	15.00	1.93	7.76
1.00	12.00	1.40	8.57
1.20	9.00	0.93	9.64
1.40	8.00	0.53	15.00
1.60	6.00	0.47	12.86
1.80	10.00	0.33	30.00
2.00	14.00	0.40	35.00
2.20	16.00	0.93	17.14
2.40	21.00	1.00	21.00
2.60	19.00	1.07	17.81
2.80	18.00	0.87	20.77
3.00	14.00	0.80	17.50
3.20	13.00	0.53	24.38
3.40	9.00	0.60	15.00
3.60	8.00	0.53	15.00
3.80	7.00	0.60	11.67
4.00	5.00	0.40	12.50
4.20	5.00	0.27	18.75
4.40	5.00	0.20	25.00
4.60	8.00	0.20	40.00
4.80	5.00	0.33	15.00
5.00	4.00	0.27	15.00
5.20	4.00	0.27	15.00
5.40	9.00	0.20	45.00
5.60	6.00	0.40	15.00
5.80	6.00	0.27	22.50
6.00	4.00	0.33	12.00
6.20	3.00	0.20	15.00
6.40	4.00	0.20	20.00
6.60	10.00	0.20	50.00
6.80	8.00	0.13	60.00
7.00	16.00	0.27	60.00
7.20	29.00	0.33	87.00
7.40	9.00	0.27	33.75
7.60	5.00	0.27	18.75
7.80	17.00	0.93	18.21
8.00	76.00	2.73	27.80
8.20	83.00	1.40	59.29
8.40	55.00	1.80	30.56
8.60	53.00	0.93	56.79
8.80	83.00	2.87	28.95
9.00	119.00	1.13	105.00
9.20	98.00	1.27	77.37
9.40	118.00	1.07	110.63
9.60	124.00	1.60	77.50
9.80	126.00	1.73	72.69
10.00	124.00	2.53	48.95
10.20	211.00	0.67	316.50



qc: 1 cm = 10 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.00		Argilla limosa plastica	1797	1797	0.180	0.661	28	0	0.014925	1.3400	4.1e-6
		Limo argil-sabbioso addensato medio									
			1828	1828	0.545	0.798	24	0	0.014345	1.1000	1.3e-3
3.00											
	FALDA										
3.60		Limo argil-sabbioso addensato medio	1780	1130	0.613	0.569	21	0	0.014368	0.8000	8.0e-4
		Limo argilloso soffice									
			1703	1053	0.950	0.309	16	0	0.018698	0.4750	4.9e-4
6.80											
		Limo argil-sabbioso addensato medio									
			1835	1185	1.116	0.808	20	0	0.014646	1.1524	1.5e-3
8.20											
		Limo argil-sabbioso sciolto									
			1739	1089	1.290	0.392	16	0	0.016101	0.6083	7.5e-4
9.80											
		Limo argilloso plastico									
			1767	1117	1.357	0.482	17	0	0.014782	0.7333	1.1e-4
10.40											
		Limo argil-sabbioso addensato medio									
			1899	1249	1.407	1.255	21	0	0.012579	1.7667	6.1e-4
10.80		Limo argilloso plastico									
			1812	1162	1.895	0.648	17	0	0.014022	0.9905	1.4e-4
15.00											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°3 data:30/09/2014 elaborato: n° 909  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 3.00

Dati prova penetrometrica statica

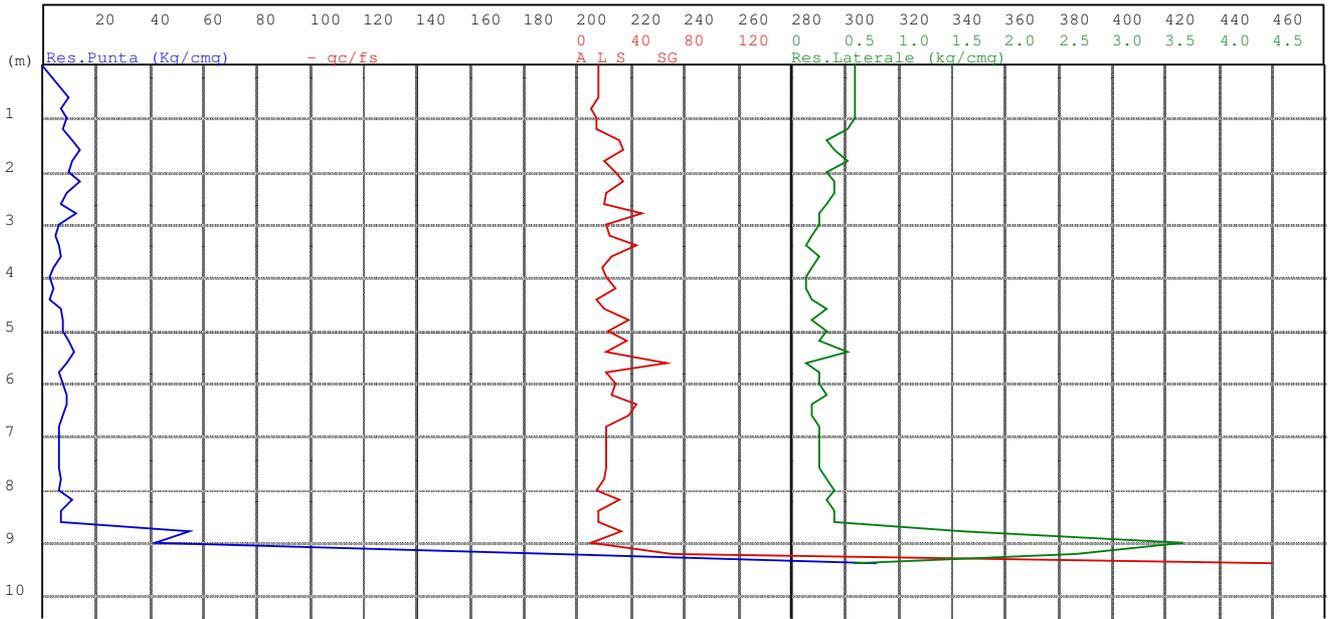
Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	15.00	1.40	10.71
0.80	11.00	1.07	10.31
1.00	11.00	0.67	16.50
1.20	15.00	0.53	28.13
1.40	17.00	0.60	28.33
1.60	15.00	0.73	20.45
1.80	18.00	0.60	30.00
2.00	12.00	0.73	16.36
2.20	14.00	0.53	26.25
2.40	19.00	0.60	31.67
2.60	17.00	0.87	19.62
2.80	18.00	0.80	22.50
3.00	20.00	0.80	25.00
3.20	13.00	0.67	19.50
3.40	10.00	0.53	18.75
3.60	13.00	0.40	32.50
3.80	7.00	0.53	13.13
4.00	6.00	0.33	18.00
4.20	9.00	0.53	16.88
4.40	16.00	0.40	40.00
4.60	5.00	0.20	25.00
4.80	5.00	0.33	15.00
5.00	4.00	0.33	12.00
5.20	7.00	0.20	35.00
5.40	4.00	0.27	15.00
5.60	7.00	0.27	26.25
5.80	12.00	0.40	30.00
6.00	5.00	0.40	12.50
6.20	5.00	0.27	18.75
6.40	8.00	0.20	40.00
6.60	6.00	0.33	18.00
6.80	8.00	0.40	20.00
7.00	14.00	0.60	23.33
7.20	18.00	0.80	22.50
7.40	13.00	0.73	17.73
7.60	15.00	0.40	37.50
7.80	28.00	0.73	38.18
8.00	16.00	0.93	17.14
8.20	17.00	0.67	25.50
8.40	7.00	0.60	11.67
8.60	9.00	0.40	22.50
8.80	10.00	0.33	30.00
9.00	11.00	0.27	41.25
9.20	8.00	0.33	24.00
9.40	9.00	0.40	22.50
9.60	10.00	0.40	25.00
9.80	9.00	0.53	16.88
10.00	11.00	0.60	18.33
10.20	10.00	0.67	15.00
10.40	12.00	0.67	18.00
10.60	27.00	2.07	13.06
10.80	26.00	0.40	65.00
11.00	13.00	1.07	12.19
11.20	14.00	0.87	16.15
11.40	14.00	0.93	15.00
11.60	16.00	0.93	17.14
11.80	16.00	0.93	17.14
12.00	18.00	1.07	16.88
12.20	20.00	1.00	20.00
12.40	22.00	0.93	23.57
12.60	21.00	1.20	17.50
12.80	24.00	1.13	21.18
13.00	12.00	1.13	10.59
13.20	10.00	0.80	12.50
13.40	12.00	0.47	25.71
13.60	10.00	0.67	15.00
13.80	14.00	0.60	23.33
14.00	15.00	0.67	22.50
14.20	11.00	0.53	20.63
14.40	11.00	0.60	18.33
14.60	13.00	0.67	19.50
14.80	12.00	0.87	13.85
15.00	14.00	0.73	19.09

dott. Claudio Preci geologo

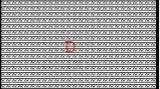
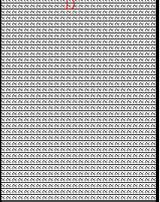
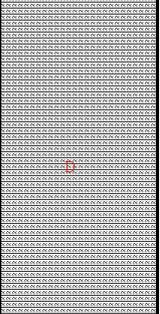
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel/fax: 059/823020 - cell: 33976264394 - e-mail: precigeo@virgilio.it

CPT n°4      data:30/09/2014      elaborato n°910  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.



qc: 1 cm = 20 Kg/cm2  
 fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
 qc/fs: 1 cm = 40

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.20		Argilla limosa soffice	1737	1737	0.208	0.440	25	0	0.018519	0.9000	3.8e-5
		Limo argil-sabbioso sciolto									
4.60		Limo argil-sabbioso sciolto	1718	1068	0.571	0.366	19	0	0.017520	0.5255	2.7e-3
5.60		Sabbia argilloso-limosa sciolta	1650	1000	0.671	0.000	19	15	0.053191	0.6267	5.9e-3
8.60		Limo argil-sabbioso sciolto	1704	1054	0.988	0.311	16	0	0.018568	0.4800	1.2e-3
9.20		Sabbia argill-limosa addensata	1750	1100	1.054	0.000	25	65	0.006920	4.8167	1.2e-2
9.40		Ghiaia mediamente	1800	1150	1.077	0.000	30	100	0.002137	15.6000	7.3e-1

RELAZIONE TECNICA

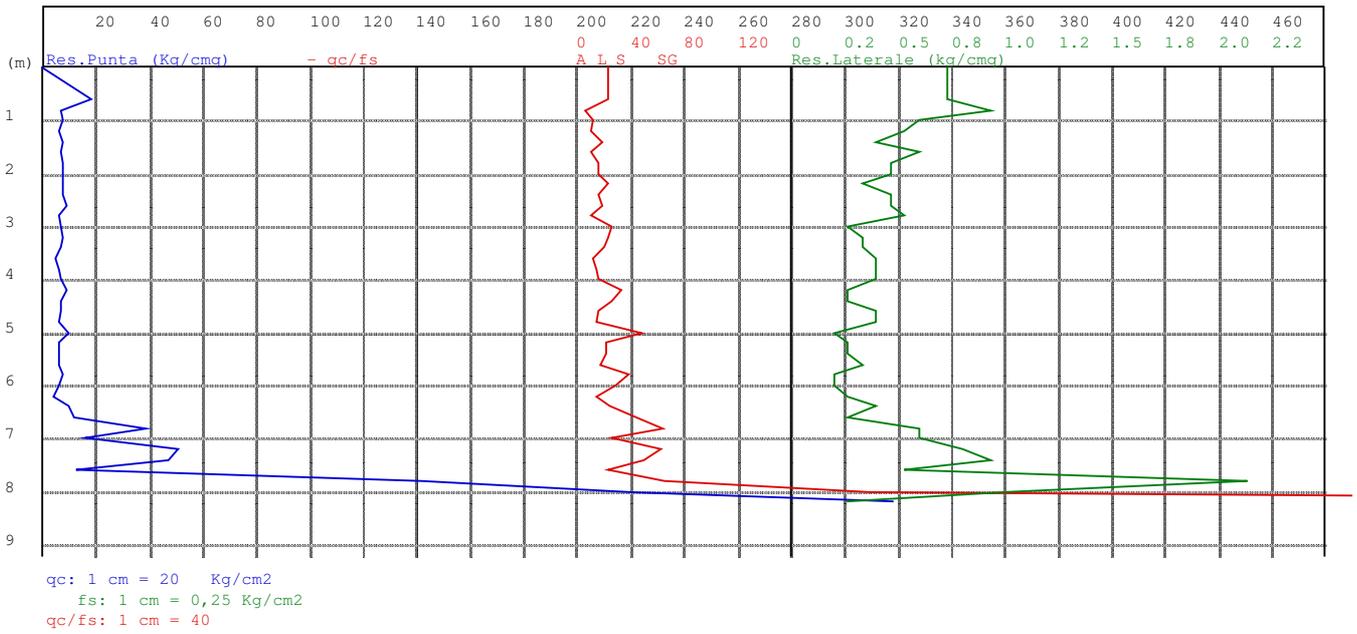
CPT n°4 data:30/09/2014 elaborato n°910  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.40

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	10.00	0.60	16.67
0.80	7.00	0.60	11.67
1.00	9.00	0.60	15.00
1.20	8.00	0.53	15.00
1.40	11.00	0.33	33.00
1.60	14.00	0.40	35.00
1.80	11.00	0.53	20.63
2.00	10.00	0.33	30.00
2.20	14.00	0.40	35.00
2.40	9.00	0.40	22.50
2.60	7.00	0.33	21.00
2.80	13.00	0.27	48.75
3.00	6.00	0.27	22.50
3.20	5.00	0.20	25.00
3.40	6.00	0.13	45.00
3.60	7.00	0.27	26.25
3.80	4.00	0.20	20.00
4.00	3.00	0.13	22.50
4.20	4.00	0.13	30.00
4.40	3.00	0.20	15.00
4.60	7.00	0.33	21.00
4.80	8.00	0.20	40.00
5.00	8.00	0.33	24.00
5.20	10.00	0.27	37.50
5.40	12.00	0.53	22.50
5.60	9.00	0.13	67.50
5.80	6.00	0.27	22.50
6.00	8.00	0.27	30.00
6.20	9.00	0.33	27.00
6.40	9.00	0.20	45.00
6.60	8.00	0.20	40.00
6.80	6.00	0.27	22.50
7.00	6.00	0.27	22.50
7.20	6.00	0.27	22.50
7.40	6.00	0.27	22.50
7.60	6.00	0.27	22.50
7.80	7.00	0.33	21.00
8.00	6.00	0.40	15.00
8.20	11.00	0.33	33.00
8.40	7.00	0.40	17.50
8.60	7.00	0.40	17.50
8.80	55.00	1.60	34.38
9.00	42.00	3.67	11.45
9.20	192.00	2.67	72.00
9.40	312.00	0.60	520.00

CPT n°5 data:30/09/2014 elaborato n° 911  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm3	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
0.60		Limo argil-sabbioso Argilla limosa soffice	1841	1841	0.110	0.894	32	0	0.015015	1.2000	1.4e-3
			1705	1055	0.469	0.338	20	0	0.020082	0.7235	4.1e-5
4.00		Limo argil-sabbioso sciolto									
			1696	1046	0.699	0.306	18	0	0.019264	0.4545	1.3e-3
6.20		Sabbia lim. mediamente addensata									
			1750	1100	0.875	0.000	23	39	0.012121	2.0625	4.4e-2
7.80		Ghiaia mediamente addensata									
8.20			1800	1150	0.921	0.000	30	100	0.002478	13.4500	6.8e-1

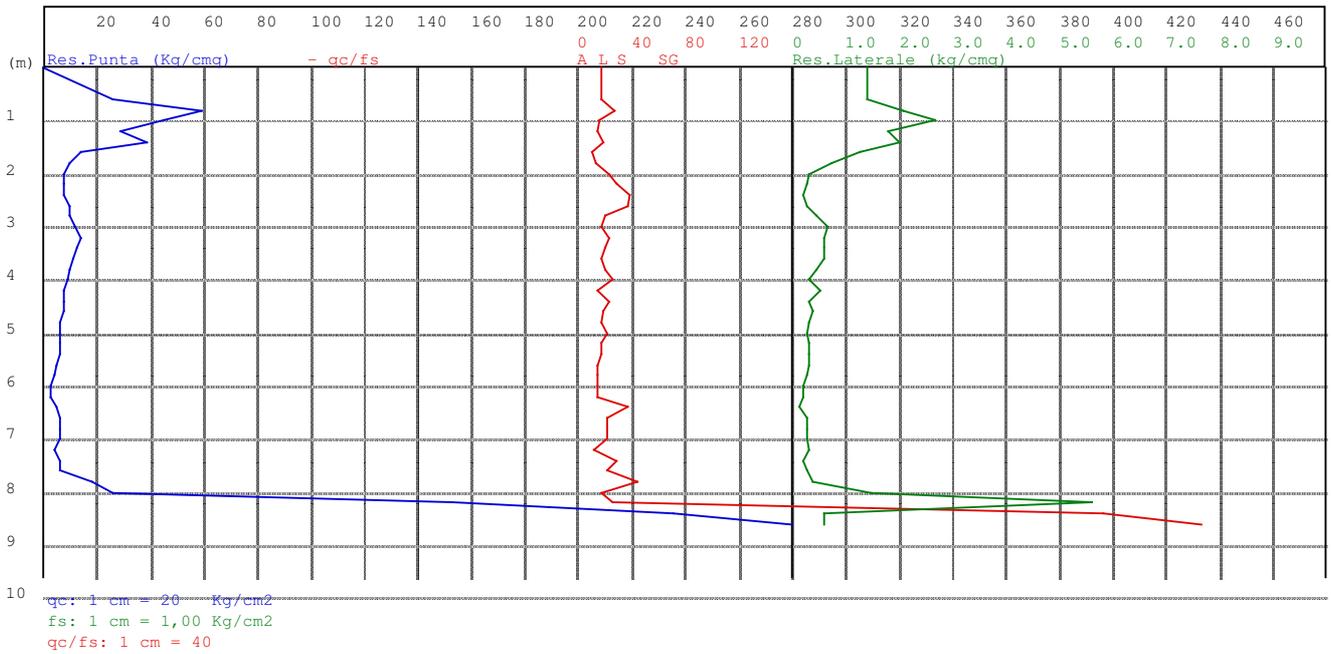
RELAZIONE TECNICA

CPT n°5 data:30/09/2014 elaborato n° 911  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	18.00	0.73	24.55
0.80	7.00	0.93	7.50
1.00	8.00	0.60	13.33
1.20	6.00	0.53	11.25
1.40	8.00	0.40	20.00
1.60	7.00	0.60	11.67
1.80	8.00	0.47	17.14
2.00	8.00	0.47	17.14
2.20	8.00	0.33	24.00
2.40	8.00	0.47	17.14
2.60	9.00	0.47	19.29
2.80	6.00	0.53	11.25
3.00	7.00	0.27	26.25
3.20	8.00	0.33	24.00
3.40	7.00	0.33	21.00
3.60	5.00	0.40	12.50
3.80	6.00	0.40	15.00
4.00	7.00	0.40	17.50
4.20	9.00	0.27	33.75
4.40	7.00	0.27	26.25
4.60	7.00	0.40	17.50
4.80	6.00	0.40	15.00
5.00	10.00	0.20	50.00
5.20	6.00	0.27	22.50
5.40	6.00	0.27	22.50
5.60	6.00	0.33	18.00
5.80	8.00	0.20	40.00
6.00	6.00	0.20	30.00
6.20	4.00	0.27	15.00
6.40	10.00	0.40	25.00
6.60	12.00	0.27	45.00
6.80	39.00	0.60	65.00
7.00	16.00	0.60	26.67
7.20	51.00	0.80	63.75
7.40	47.00	0.93	50.36
7.60	13.00	0.53	24.38
7.80	142.00	2.13	66.56
8.00	220.00	1.00	220.00
8.20	318.00	0.27	1192.50



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.40		Limo argilloso consistente	1943	1943	0.272	1.772	31	0	0.009333	2.3810	3.7e-4
		Limo argilloso soffice									
	<b>FALDA</b>										
2.40		Limo argil-sabbioso sciolto	1747	1097	0.382	0.461	23	0	0.015688	0.6400	1.1e-4
4.00		Limo argil-sabbioso sciolto	1769	1119	0.561	0.528	21	0	0.014721	0.7417	7.4e-4
4.60		Limo argilloso soffice	1720	1070	0.625	0.369	19	0	0.017361	0.5333	2.3e-4
7.60		Limo argilloso molto soffice	1655	1005	0.927	0.214	15	0	0.023509	0.3467	2.6e-4
8.20		Limo argil-sabbioso addensato medio	2034	1384	1.010	3.233	28	0	0.005076	4.3778	2.7e-3
8.60		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.056	0.000	29	100	0.002584	12.9000	6.8e-1

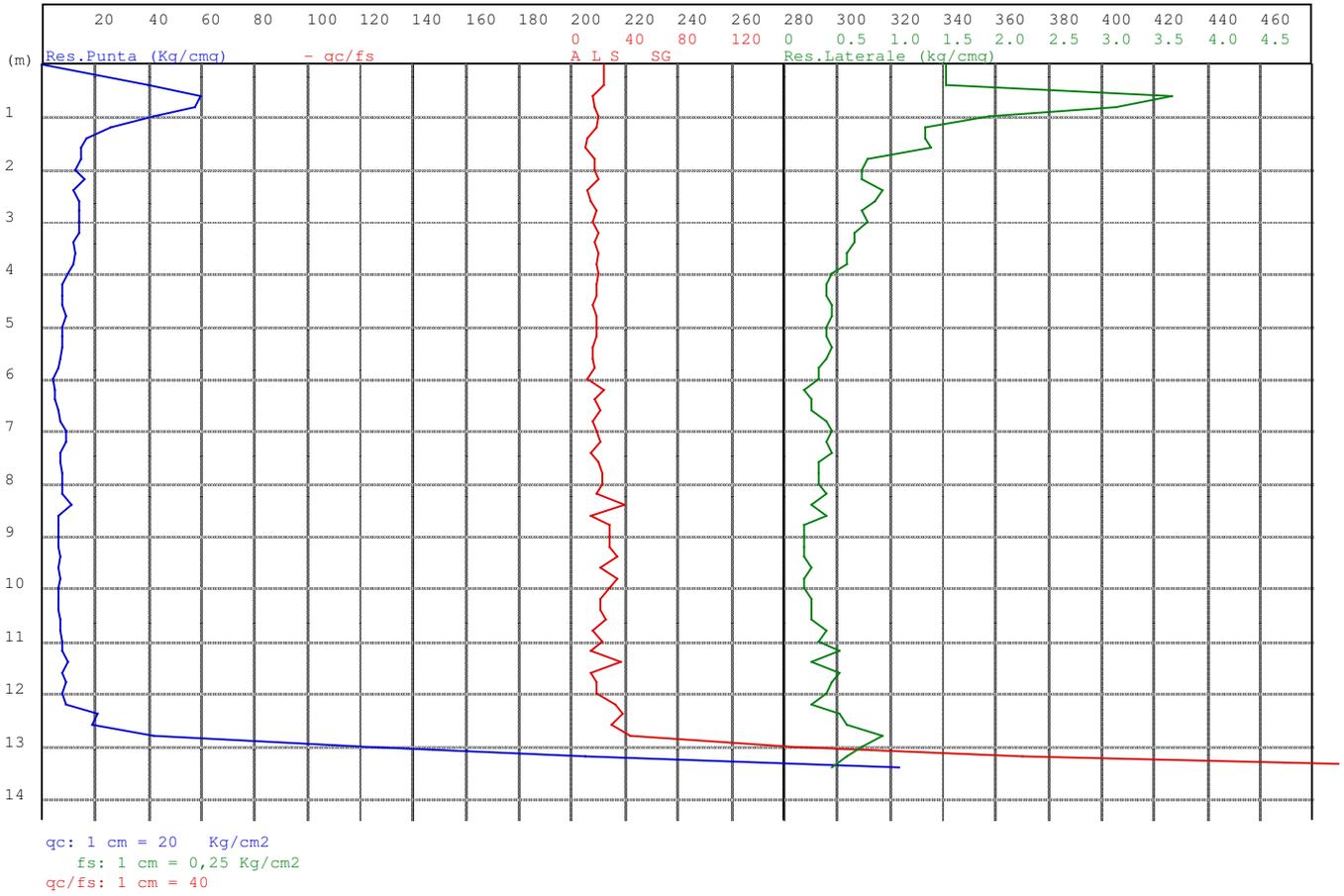
RELAZIONE TECNICA

CPT n°6 data:30/09/2014 elaborato n° 912  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	26.00	1.40	18.57
0.80	59.00	2.07	28.55
1.00	45.00	2.67	16.88
1.20	29.00	1.80	16.11
1.40	39.00	2.00	19.50
1.60	14.00	1.27	11.05
1.80	10.00	0.73	13.64
2.00	8.00	0.33	24.00
2.20	8.00	0.27	30.00
2.40	8.00	0.20	40.00
2.60	10.00	0.27	37.50
2.80	10.00	0.47	21.43
3.00	12.00	0.67	18.00
3.20	14.00	0.60	23.33
3.40	13.00	0.60	21.67
3.60	11.00	0.60	18.33
3.80	10.00	0.47	21.43
4.00	9.00	0.33	27.00
4.20	8.00	0.53	15.00
4.40	8.00	0.33	24.00
4.60	8.00	0.40	20.00
4.80	6.00	0.33	18.00
5.00	6.00	0.27	22.50
5.20	6.00	0.33	18.00
5.40	6.00	0.33	18.00
5.60	5.00	0.33	15.00
5.80	4.00	0.27	15.00
6.00	3.00	0.20	15.00
6.20	3.00	0.20	15.00
6.40	5.00	0.13	37.50
6.60	6.00	0.27	22.50
6.80	6.00	0.27	22.50
7.00	6.00	0.27	22.50
7.20	4.00	0.33	12.00
7.40	6.00	0.20	30.00
7.60	6.00	0.27	22.50
7.80	18.00	0.40	45.00
8.00	26.00	1.47	17.73
8.20	153.00	5.60	27.32
8.40	236.00	0.60	393.33
8.60	280.00	0.60	466.67



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60		Limo argilloso consistente	1950	1950	0.312	1.847	31	0	0.008949	2.4833	2.9e-4
	FALDA	Limo argilloso plastico									
4.00		Limo argilloso soffice	1795	1145	0.587	0.633	22	0	0.014074	0.8833	2.0e-4
8.20		Limo argil-sabbioso sciolto	1706	1056	1.030	0.313	16	0	0.018423	0.4857	2.5e-4
12.20		Limo argil-sabbioso scioltissimo	1707	1057	1.453	0.295	14	0	0.018318	0.4900	1.2e-3
12.80		Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	1.516	0.000	20	15	0.024390	1.8222	1.6e-2
13.40		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.585	0.000	27	86	0.003067	10.8667	6.3e-1

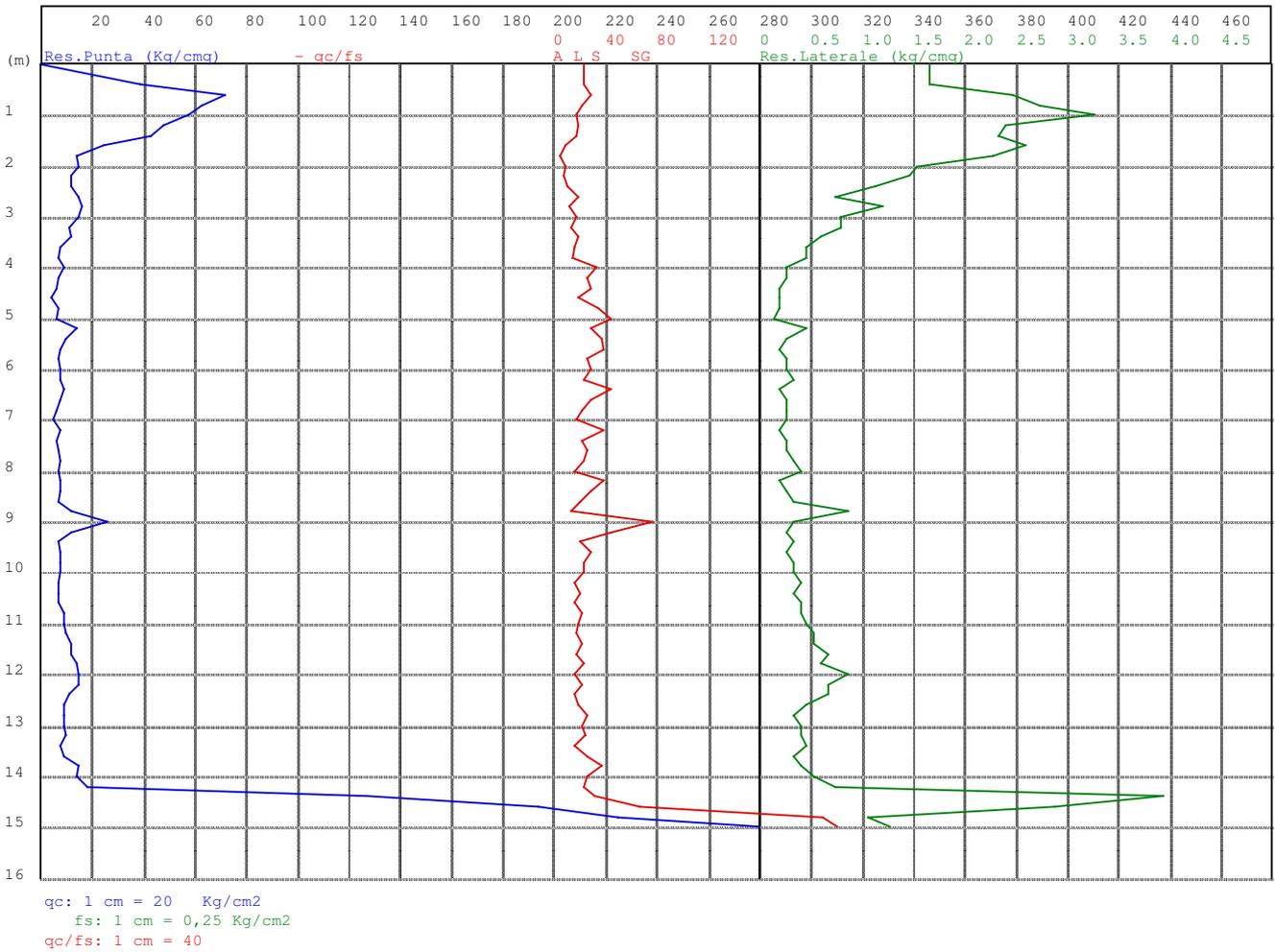
RELAZIONE TECNICA

CPT n°7 data:30/09/2014 elaborato n°913  
 Cantiere: Castelfranco Emilia  
 Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.40	40.00	1.53	26.09
0.60	60.00	3.67	16.36
0.80	58.00	3.13	18.51
1.00	42.00	1.93	21.72
1.20	26.00	1.33	19.50
1.40	17.00	1.33	12.75
1.60	15.00	1.40	10.71
1.80	15.00	0.80	18.75
2.00	13.00	0.73	17.73
2.20	16.00	0.73	21.82
2.40	12.00	0.93	12.86
2.60	14.00	0.87	16.15
2.80	14.00	0.73	19.09
3.00	14.00	0.80	17.50
3.20	14.00	0.67	21.00
3.40	12.00	0.67	18.00
3.60	13.00	0.60	21.67
3.80	12.00	0.60	20.00
4.00	10.00	0.47	21.43
4.20	8.00	0.40	20.00
4.40	8.00	0.40	20.00
4.60	8.00	0.47	17.14
4.80	9.00	0.47	19.29
5.00	8.00	0.40	20.00
5.20	8.00	0.40	20.00
5.40	8.00	0.47	17.14
5.60	7.00	0.40	17.50
5.80	6.00	0.33	18.00
6.00	4.00	0.33	12.00
6.20	5.00	0.20	25.00
6.40	5.00	0.27	18.75
6.60	6.00	0.27	22.50
6.80	7.00	0.40	17.50
7.00	9.00	0.47	19.29
7.20	9.00	0.40	22.50
7.40	7.00	0.47	15.00
7.60	7.00	0.33	21.00
7.80	8.00	0.33	24.00
8.00	8.00	0.33	24.00
8.20	8.00	0.40	20.00
8.40	11.00	0.27	41.25
8.60	6.00	0.40	15.00
8.80	6.00	0.20	30.00
9.00	6.00	0.20	30.00
9.20	6.00	0.20	30.00
9.40	7.00	0.20	35.00
9.60	6.00	0.27	22.50
9.80	7.00	0.20	35.00
10.00	6.00	0.20	30.00
10.20	6.00	0.27	22.50
10.40	6.00	0.27	22.50
10.60	7.00	0.27	26.25
10.80	7.00	0.40	17.50
11.00	8.00	0.33	24.00
11.20	8.00	0.53	15.00
11.40	10.00	0.27	37.50
11.60	8.00	0.53	15.00
11.80	9.00	0.47	19.29
12.00	8.00	0.40	20.00
12.20	9.00	0.27	33.75
12.40	21.00	0.53	39.38
12.60	19.00	0.60	31.67
12.80	42.00	0.93	45.00
13.00	123.00	0.73	167.73
13.20	205.00	0.60	341.67
13.40	324.00	0.47	694.29



Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60		Lino argilloso molto consistente	1989	1989	0.318	2.403	32	0	0.006891	3.2250	5.3e-4
		Argilla limosa plastica									
3.60		Lino argil-sabbioso sciolto	1792	1142	0.547	0.623	22	0	0.015385	1.3000	5.4e-6
8.80		Lino argil-sabbioso sciolto	1714	1064	1.100	0.330	16	0	0.017789	0.5128	2.0e-3
9.20		Sabbia sciolta	1700	1050	1.142	0.000	20	15	0.026316	0.9500	7.4e-2
11.00		Lino argil-sabbioso sciolto	1716	1066	1.334	0.322	15	0	0.017666	0.5185	5.5e-4
12.40		Lino argilloso plastico	1789	1139	1.493	0.561	17	0	0.014171	0.8476	3.1e-4
14.20		Lino argil-sabbioso sciolto	1770	1120	1.695	0.476	16	0	0.014675	0.7481	1.5e-3
14.60		Sabbia limosa addensata	1800	1150	1.741	0.000	26	74	0.004154	8.0250	3.2e-2
15.00		Ghiaia mediamente addensata	1800	1150	1.787	0.000	27	89	0.002640	12.6250	4.7e-1

RELAZIONE TECNICA

-----

CPT n°8 data:30/09/2014 elaborato n° 914

Cantiere: Castelfranco Emilia

Progetto: Quarta Variante al P.O.C.

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.40	39.00	1.67	23.40
0.60	72.00	2.47	29.19
0.80	63.00	2.73	23.05
1.00	58.00	3.27	17.76
1.20	48.00	2.40	20.00
1.40	43.00	2.33	18.43
1.60	25.00	2.60	9.62
1.80	14.00	2.27	6.18
2.00	15.00	1.53	9.78
2.20	12.00	1.47	8.18
2.40	12.00	1.13	10.59
2.60	15.00	0.73	20.45
2.80	16.00	1.20	13.33
3.00	15.00	0.80	18.75
3.20	11.00	0.80	13.75
3.40	12.00	0.60	20.00
3.60	8.00	0.47	17.14
3.80	7.00	0.47	15.00
4.00	9.00	0.27	33.75
4.20	7.00	0.27	26.25
4.40	6.00	0.20	30.00
4.60	4.00	0.20	20.00
4.80	7.00	0.20	35.00
5.00	6.00	0.13	45.00
5.20	14.00	0.47	30.00
5.40	10.00	0.27	37.50
5.60	8.00	0.20	40.00
5.80	7.00	0.27	26.25
6.00	8.00	0.27	30.00
6.20	8.00	0.33	24.00
6.40	9.00	0.20	45.00
6.60	8.00	0.27	30.00
6.80	6.00	0.27	22.50
7.00	5.00	0.27	18.75
7.20	8.00	0.20	40.00
7.40	6.00	0.27	22.50
7.60	7.00	0.27	26.25
7.80	8.00	0.33	24.00
8.00	7.00	0.40	17.50
8.20	8.00	0.20	40.00
8.40	8.00	0.27	30.00
8.60	7.00	0.33	21.00
8.80	12.00	0.87	13.85
9.00	26.00	0.33	78.00
9.20	12.00	0.27	45.00
9.40	7.00	0.33	21.00
9.60	8.00	0.27	30.00
9.80	8.00	0.33	24.00
10.00	8.00	0.33	24.00
10.20	7.00	0.40	17.50
10.40	7.00	0.33	21.00
10.60	7.00	0.40	17.50
10.80	9.00	0.40	22.50
11.00	9.00	0.47	19.29
11.20	10.00	0.53	18.75
11.40	12.00	0.53	22.50
11.60	12.00	0.67	18.00
11.80	14.00	0.60	23.33
12.00	15.00	0.87	17.31
12.20	15.00	0.67	22.50
12.40	11.00	0.67	16.50
12.60	9.00	0.47	19.29
12.80	9.00	0.33	27.00
13.00	9.00	0.40	22.50
13.20	10.00	0.40	25.00
13.40	8.00	0.47	17.14
13.60	9.00	0.33	27.00
13.80	15.00	0.40	37.50
14.00	14.00	0.53	26.25
14.20	18.00	0.73	24.55
14.40	127.00	3.93	32.29
14.60	194.00	2.87	67.67
14.80	225.00	1.07	210.94
15.00	280.00	1.27	221.05

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel/fax: 059/823020 - cell: 33926764394 - e-mail: precigeo@virgilio.it



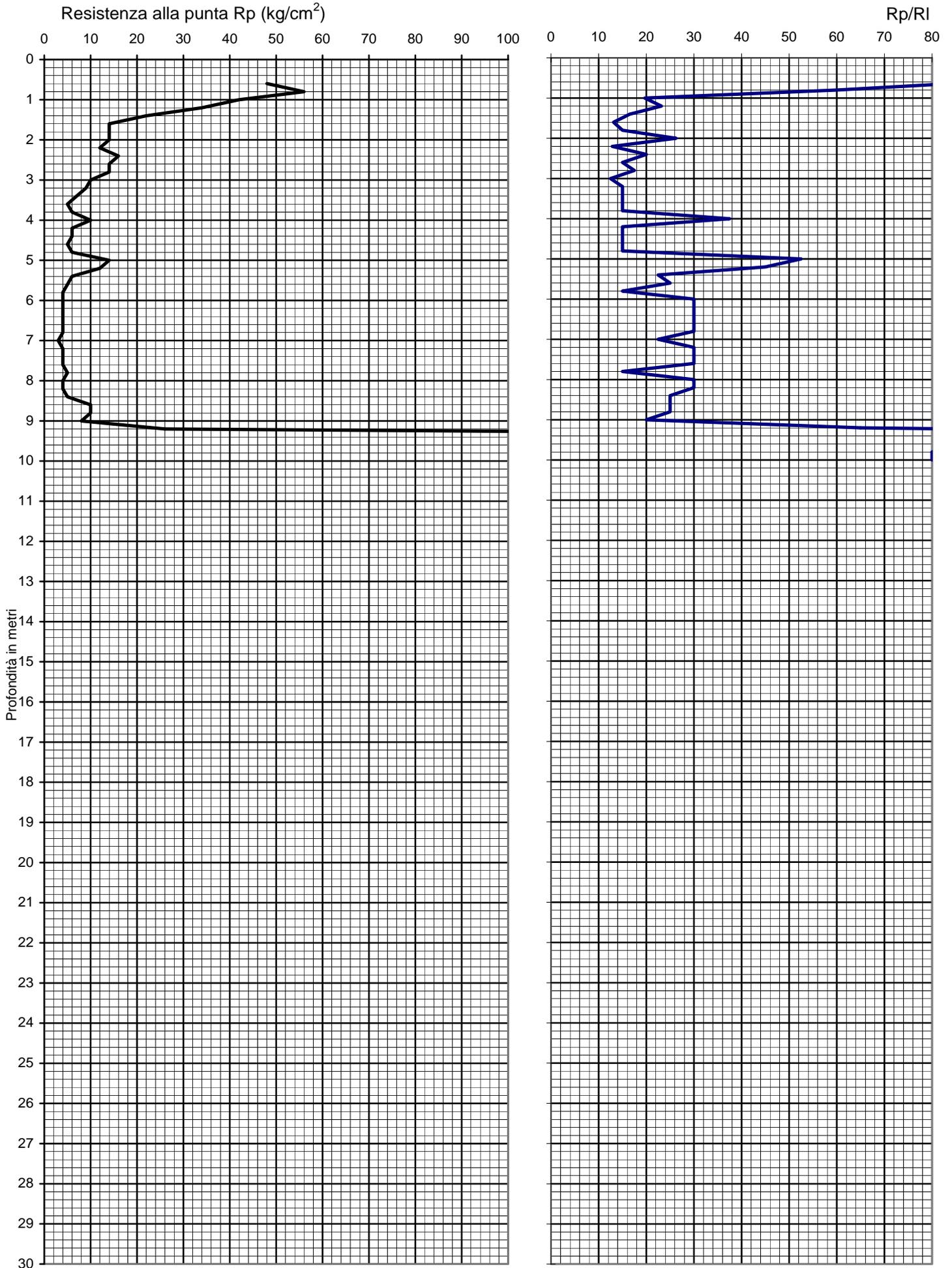
Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Committente : DOTT. FRANCHI  
Località : CASTELFRANCO EMILIA  
Prova numero : 1  
Data : 21/08/2007  
Operatore : DR. REBECCHI  
Quota : P.C.

Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	48	56	48	0,53	90,00
0,80	56	70	56	0,93	60,00
1,00	42	74	42	2,13	19,69
1,20	34	56	34	1,47	23,18
1,40	22	42	22	1,33	16,50
1,60	14	30	14	1,07	13,13
1,80	14	28	14	0,93	15,00
2,00	14	22	14	0,53	26,25
2,20	12	26	12	0,93	12,86
2,40	16	28	16	0,80	20,00
2,60	14	28	14	0,93	15,00
2,80	14	26	14	0,80	17,50
3,00	10	22	10	0,80	12,50
3,20	9	18	9	0,60	15,00
3,40	7	14	7	0,47	15,00
3,60	5	10	5	0,33	15,00
3,80	6	12	6	0,40	15,00
4,00	10	14	10	0,27	37,50
4,20	6	12	6	0,40	15,00
4,40	6	12	6	0,40	15,00
4,60	5	10	5	0,33	15,00
4,80	6	12	6	0,40	15,00
5,00	14	18	14	0,27	52,50
5,20	12	16	12	0,27	45,00
5,40	6	10	6	0,27	22,50
5,60	5	8	5	0,20	25,00
5,80	4	8	4	0,27	15,00
6,00	4	6	4	0,13	30,00
6,20	4	6	4	0,13	30,00
6,40	4	6	4	0,13	30,00
6,60	4	6	4	0,13	30,00
6,80	4	6	4	0,13	30,00
7,00	3	5	3	0,13	22,50
7,20	4	6	4	0,13	30,00
7,40	4	6	4	0,13	30,00
7,60	4	6	4	0,13	30,00
7,80	5	10	5	0,33	15,00
8,00	4	6	4	0,13	30,00
8,20	4	6	4	0,13	30,00
8,40	5	8	5	0,20	25,00
8,60	10	16	10	0,40	25,00
8,80	10	16	10	0,40	25,00
9,00	8	14	8	0,40	20,00
9,20	26	32	26	0,40	65,00
9,40	280	300	280	1,33	210,00
9,60	220	240	220	1,33	165,00
9,80	300		300		
10,00	350		350		
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



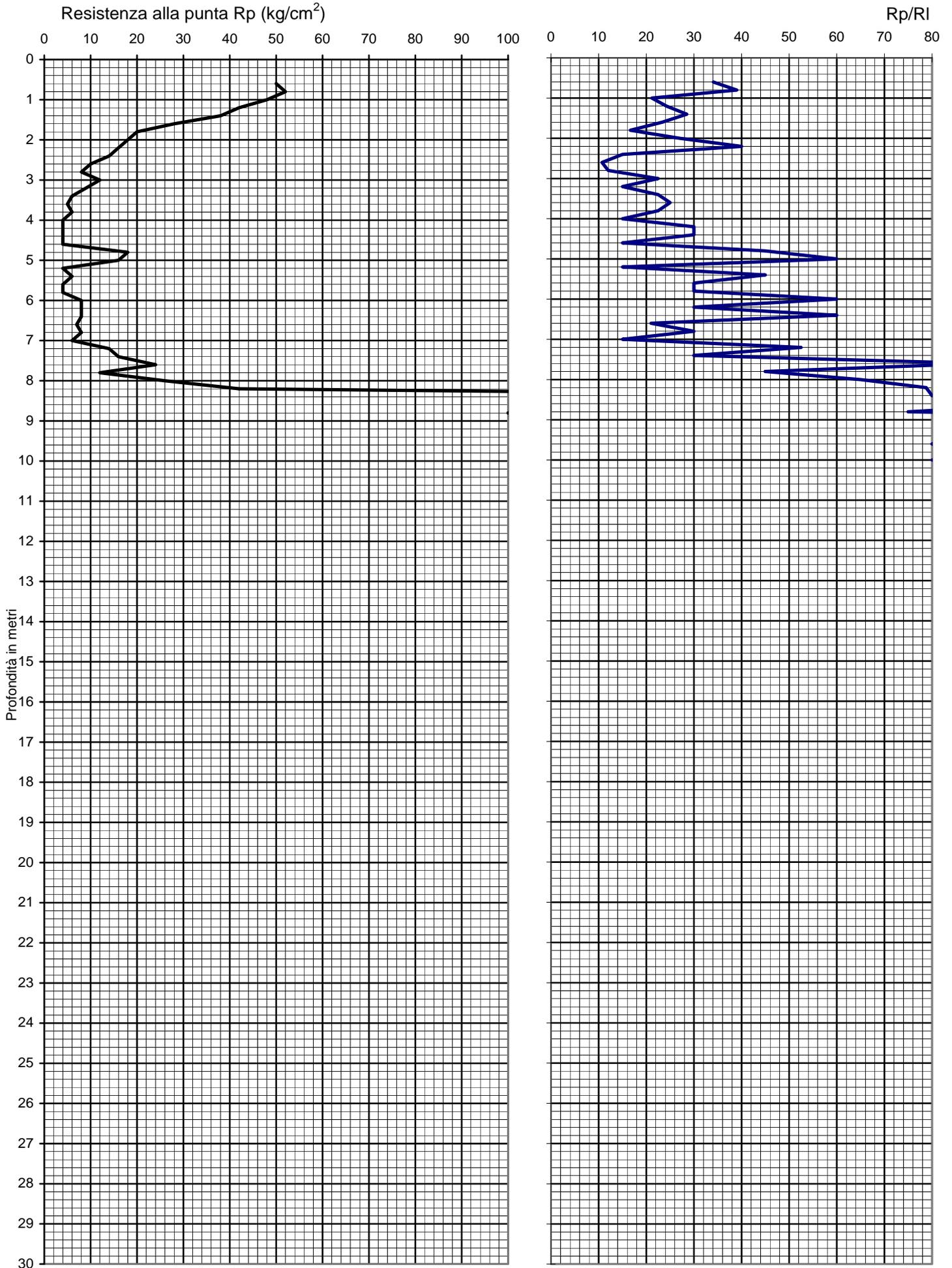
Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Committente : DOTT. FRANCHI  
Località : CASTELFRANCO EMILIA  
Prova numero : 2  
Data : 21/08/2007  
Operatore : DR. REBECCHI  
Quota : P.C.

Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	50	72	50	1,47	34,09
0,80	52	72	52	1,33	39,00
1,00	48	82	48	2,27	21,18
1,20	42	68	42	1,73	24,23
1,40	38	58	38	1,33	28,50
1,60	28	46	28	1,20	23,33
1,80	20	38	20	1,20	16,67
2,00	18	28	18	0,67	27,00
2,20	16	22	16	0,40	40,00
2,40	14	28	14	0,93	15,00
2,60	10	24	10	0,93	10,71
2,80	8	18	8	0,67	12,00
3,00	12	20	12	0,53	22,50
3,20	9	18	9	0,60	15,00
3,40	6	10	6	0,27	22,50
3,60	5	8	5	0,20	25,00
3,80	6	10	6	0,27	22,50
4,00	4	8	4	0,27	15,00
4,20	4	6	4	0,13	30,00
4,40	4	6	4	0,13	30,00
4,60	4	8	4	0,27	15,00
4,80	18	24	18	0,40	45,00
5,00	16	20	16	0,27	60,00
5,20	4	8	4	0,27	15,00
5,40	6	8	6	0,13	45,00
5,60	4	6	4	0,13	30,00
5,80	4	6	4	0,13	30,00
6,00	8	10	8	0,13	60,00
6,20	8	12	8	0,27	30,00
6,40	8	10	8	0,13	60,00
6,60	7	12	7	0,33	21,00
6,80	8	12	8	0,27	30,00
7,00	6	12	6	0,40	15,00
7,20	14	18	14	0,27	52,50
7,40	16	24	16	0,53	30,00
7,60	24	28	24	0,27	90,00
7,80	12	16	12	0,27	45,00
8,00	26	32	26	0,40	65,00
8,20	42	50	42	0,53	78,75
8,40	220		220		
8,60	140	160	140	1,33	105,00
8,80	100	120	100	1,33	75,00
9,00	240	260	240	1,33	180,00
9,20	260	270	260	0,67	390,00
9,40	240	260	240	1,33	180,00
9,60	280		280		
9,80	200	220	200	1,33	150,00
10,00	300		300		
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

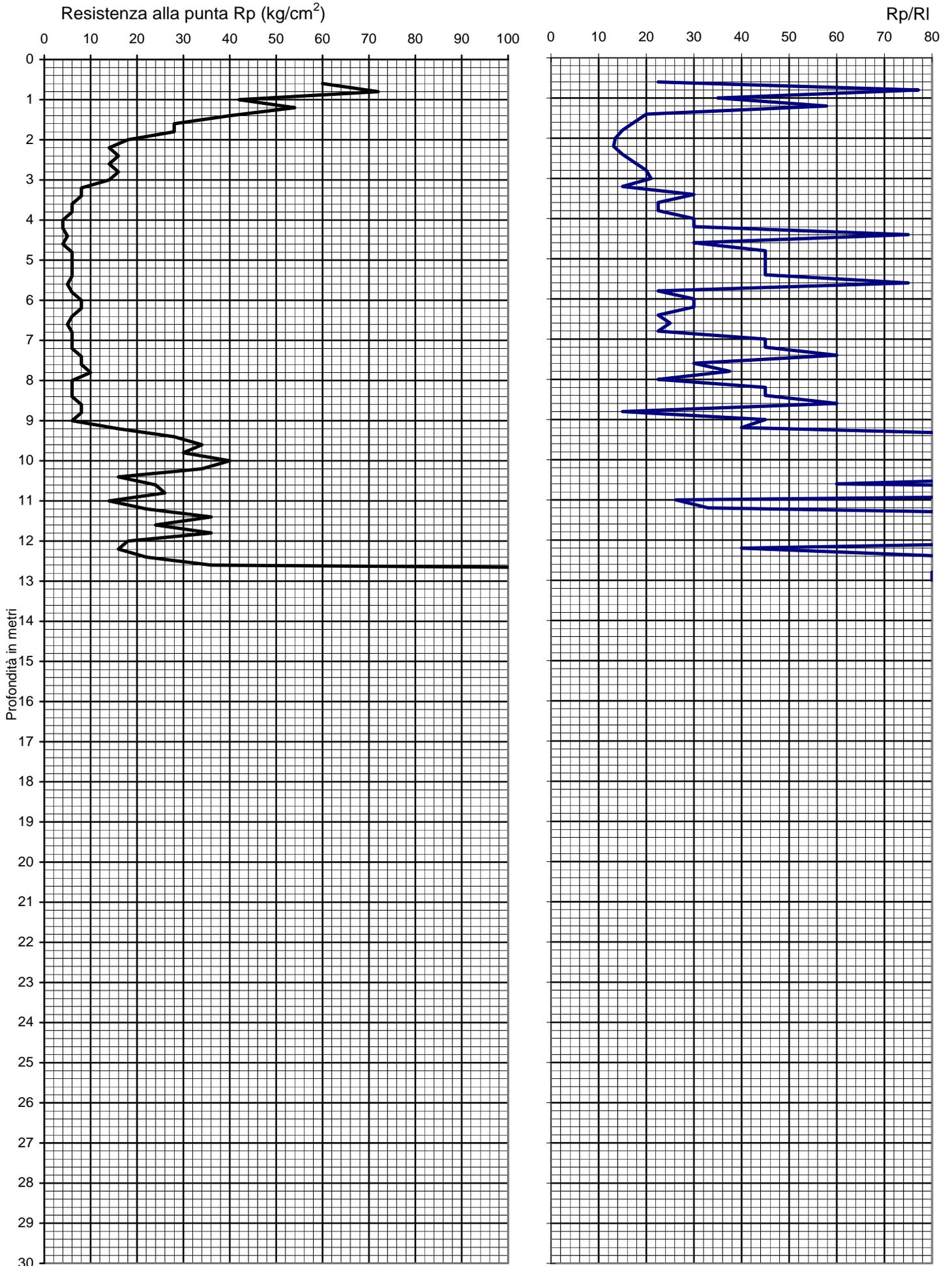


Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Committente : DOTT. FRANCHI  
Località : CASTELFRANCO EMILIA  
Prova numero : 3  
Data : 21/08/2007  
Operatore : DR. REBECCHI  
Quota : P.C.



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	60	100	60	2,67	22,50
0,80	72	86	72	0,93	77,14
1,00	42	60	42	1,20	35,00
1,20	54	68	54	0,93	57,86
1,40	40	70	40	2,00	20,00
1,60	28	52	28	1,60	17,50
1,80	28	56	28	1,87	15,00
2,00	18	38	18	1,33	13,50
2,20	14	30	14	1,07	13,13
2,40	16	32	16	1,07	15,00
2,60	14	26	14	0,80	17,50
2,80	16	28	16	0,80	20,00
3,00	14	24	14	0,67	21,00
3,20	8	16	8	0,53	15,00
3,40	8	12	8	0,27	30,00
3,60	6	10	6	0,27	22,50
3,80	6	10	6	0,27	22,50
4,00	4	6	4	0,13	30,00
4,20	4	6	4	0,13	30,00
4,40	5	6	5	0,07	75,00
4,60	4	6	4	0,13	30,00
4,80	6	8	6	0,13	45,00
5,00	6	8	6	0,13	45,00
5,20	6	8	6	0,13	45,00
5,40	6	8	6	0,13	45,00
5,60	5	6	5	0,07	75,00
5,80	6	10	6	0,27	22,50
6,00	8	12	8	0,27	30,00
6,20	8	12	8	0,27	30,00
6,40	6	10	6	0,27	22,50
6,60	5	8	5	0,20	25,00
6,80	6	10	6	0,27	22,50
7,00	6	8	6	0,13	45,00
7,20	6	8	6	0,13	45,00
7,40	8	10	8	0,13	60,00
7,60	8	12	8	0,27	30,00
7,80	10	14	10	0,27	37,50
8,00	6	10	6	0,27	22,50
8,20	6	8	6	0,13	45,00
8,40	6	8	6	0,13	45,00
8,60	8	10	8	0,13	60,00
8,80	8	16	8	0,53	15,00
9,00	6	8	6	0,13	45,00
9,20	16	22	16	0,40	40,00
9,40	28	32	28	0,27	105,00
9,60	34	38	34	0,27	127,50
9,80	30	34	30	0,27	112,50
10,00	40	44	40	0,27	150,00
10,20	34	36	34	0,13	255,00
10,40	16	18	16	0,13	120,00
10,60	24	30	24	0,40	60,00
10,80	26	28	26	0,13	195,00
11,00	14	22	14	0,53	26,25
11,20	22	32	22	0,67	33,00
11,40	36	40	36	0,27	135,00
11,60	24	26	24	0,13	180,00
11,80	36	40	36	0,27	135,00
12,00	18	20	18	0,13	135,00
12,20	16	22	16	0,40	40,00
12,40	22	26	22	0,27	82,50
12,60	36	42	36	0,40	90,00
12,80	280		280		
13,00	300		300		
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

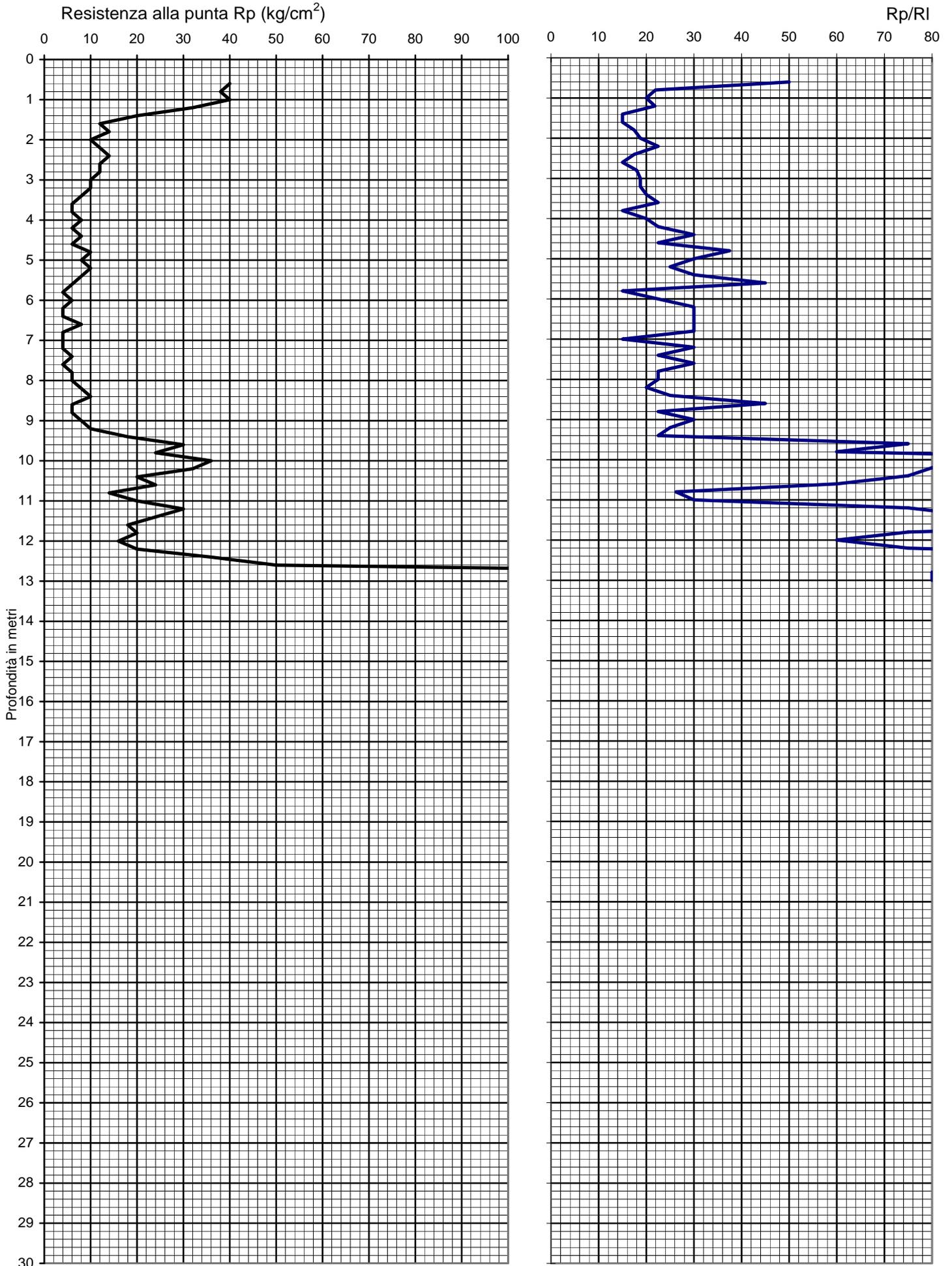


Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Committente : DOTT. FRANCHI  
Località : CASTELFRANCO EMILIA  
Prova numero : 4  
Data : 21/08/2007  
Operatore : DR. REBECCHI  
Quota : P.C.



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	40	52	40	0,80	50,00
0,80	38	64	38	1,73	21,92
1,00	40	70	40	2,00	20,00
1,20	32	54	32	1,47	21,82
1,40	20	40	20	1,33	15,00
1,60	12	24	12	0,80	15,00
1,80	14	26	14	0,80	17,50
2,00	10	18	10	0,53	18,75
2,20	12	20	12	0,53	22,50
2,40	14	26	14	0,80	17,50
2,60	12	24	12	0,80	15,00
2,80	12	22	12	0,67	18,00
3,00	10	18	10	0,53	18,75
3,20	10	18	10	0,53	18,75
3,40	8	14	8	0,40	20,00
3,60	6	10	6	0,27	22,50
3,80	6	12	6	0,40	15,00
4,00	8	14	8	0,40	20,00
4,20	6	10	6	0,27	22,50
4,40	8	12	8	0,27	30,00
4,60	6	10	6	0,27	22,50
4,80	10	14	10	0,27	37,50
5,00	8	12	8	0,27	30,00
5,20	10	16	10	0,40	25,00
5,40	8	12	8	0,27	30,00
5,60	6	8	6	0,13	45,00
5,80	4	8	4	0,27	15,00
6,00	6	10	6	0,27	22,50
6,20	4	6	4	0,13	30,00
6,40	4	6	4	0,13	30,00
6,60	8	12	8	0,27	30,00
6,80	4	6	4	0,13	30,00
7,00	4	8	4	0,27	15,00
7,20	4	6	4	0,13	30,00
7,40	6	10	6	0,27	22,50
7,60	4	6	4	0,13	30,00
7,80	6	10	6	0,27	22,50
8,00	6	10	6	0,27	22,50
8,20	8	14	8	0,40	20,00
8,40	10	16	10	0,40	25,00
8,60	6	8	6	0,13	45,00
8,80	6	10	6	0,27	22,50
9,00	8	12	8	0,27	30,00
9,20	10	16	10	0,40	25,00
9,40	18	30	18	0,80	22,50
9,60	30	36	30	0,40	75,00
9,80	24	30	24	0,40	60,00
10,00	36	40	36	0,27	135,00
10,20	32	38	32	0,40	80,00
10,40	20	24	20	0,27	75,00
10,60	24	30	24	0,40	60,00
10,80	14	22	14	0,53	26,25
11,00	20	30	20	0,67	30,00
11,20	30	36	30	0,40	75,00
11,40	24	28	24	0,27	90,00
11,60	18	20	18	0,13	135,00
11,80	20	24	20	0,27	75,00
12,00	16	20	16	0,27	60,00
12,20	20	24	20	0,27	75,00
12,40	36	40	36	0,27	135,00
12,60	50	54	50	0,27	187,50
12,80	180		180		
13,00	300		300		
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

## **Allegato 3**

### **Indagini geofisiche eseguite dal Dott. Geol. Claudio Preci per le aree degli ambiti 50 ANP e 58 ANP**

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## INTEGRAZIONE

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007; DGR 2193/2015;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

"ambito n. 50 ANP Capoluogo - nuovo produttivo della Cartiera"  
"ambito n. 58 ANP Capoluogo - nuovo produttivo Graziosa"  
trasformazione attuativa del sito disciplinata dal POC (IV variante al POC)

### Localita'

CARTIERA - MADONNA DEGLI ANGELI

### Committenti

ELETTROMECCANICA TIRONI SRL  
STANZANI ROBERTO E CARLA  
AZ. AGR. MAVORA  
BERGAMINI GIULIO-FORNETTI ROSA  
ANZEVINO TIZIANO

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

MAGGIO 2016

Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel: 059.823020 - Cell: 3398264394  
e-mail: precigeo@virgilio.it

predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.

La valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. Per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito. Un'indicazione dei cedimenti post-sismici nel caso di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici ( $c_u \leq 70 \text{ kPa}/0.7 \text{ kg/cm}^2$ ) con spessore  $\geq 5 \text{ m}$ , in cui si preveda un incremento delle pressioni interstiziali  $r_u \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento, può essere valutata tramite le indicazioni della DAL RER 112/2007, dove per un generico strato di spessore  $H$  il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$$

con  $\varepsilon_{vr}$  (%) deformazione volumetrica post-ciclica determinata dalla formula

$$\varepsilon_{vr} = \alpha C_r * (1 + e_0) * \log(1/1 - r_u)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale;  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 * C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione;  $r_u$  è il rapporto di pressione interstiziale

Tabella 2 – Rapporto di pressione interstiziale  $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  in funzione di  $\gamma_{max}$

$\gamma_{max}$ [%]	$r_u$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Considerando prove edometriche di laboratorio, limiti di Atterberg e analisi granulometriche di terreni aventi le stesse caratteristiche litologiche di quelli del territorio in esame, il valore di  $\varepsilon_{vr}$  può essere stimato in  $3 \cdot 10^{-3}$ . In base alla formula  $\Delta H = \varepsilon_{vr} * H$  considerando uno spessore medio di 10 m, si ottiene un valore teorico stimato di 3 cm, indicativo per le diverse aree esaminate.

## 2.2 Misura del microtremore sismico

La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. L'elaborazione dei dati, acquisiti con tempi di registrazione di 14 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz, permette di evidenziare, sottoforma di picchi nello spettro del rapporto H/V, i contrasti di impedenza tra litotipi a rigidità diversa che determinano possibili fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

## TROMINO – AREA ELETTROMECCANICA TIRONI SRL – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 23/07/14 09:23:02 Fine registrazione: 23/07/14 09:37:03

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 76% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

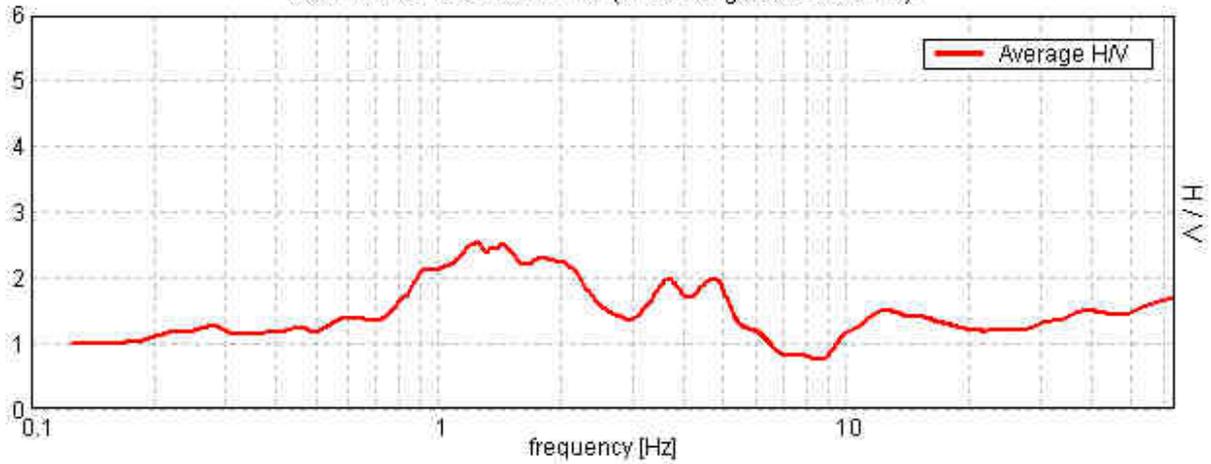
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamiento: Triangular window

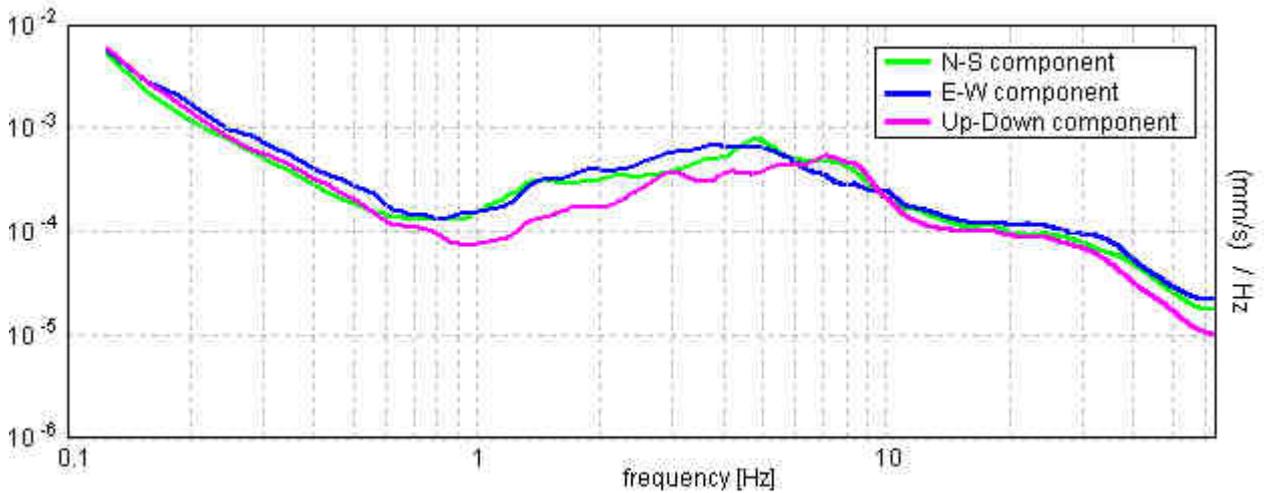
Lisciamiento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Max. H/V at  $1.25 \pm 0.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

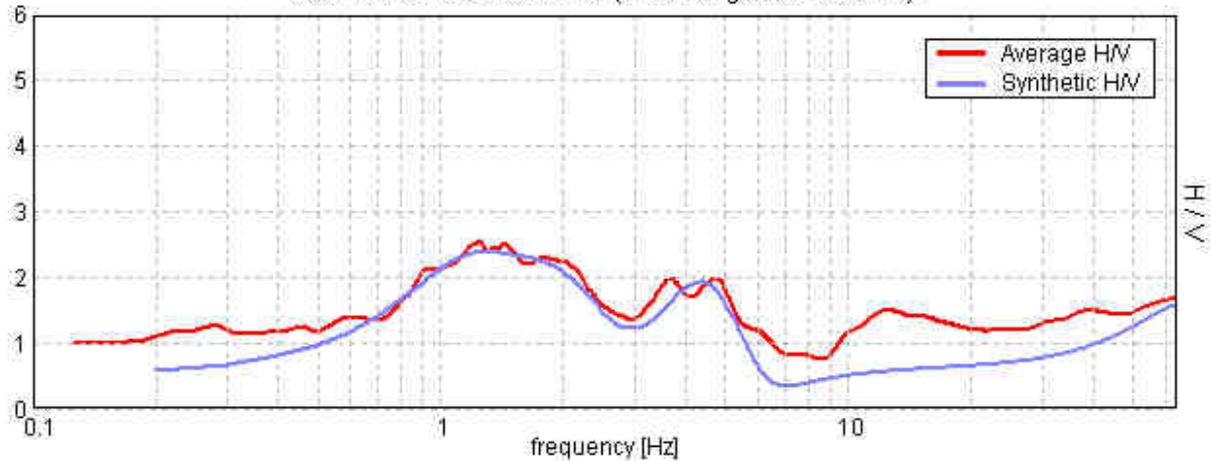


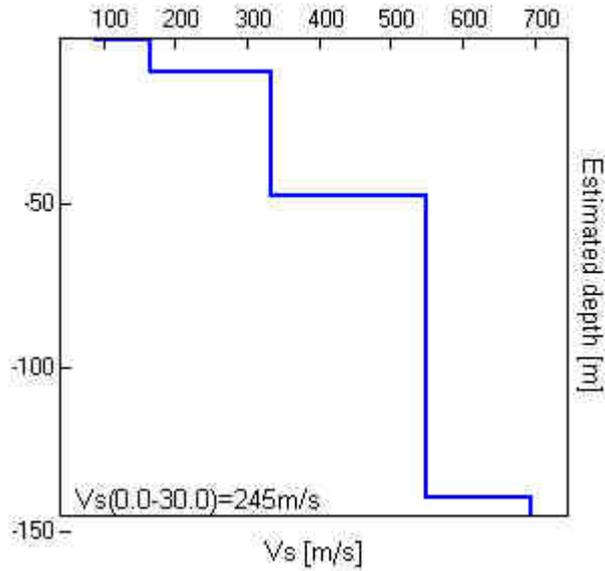
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Max. H/V at  $1.25 \pm 0.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
0.30	90
10.00	164
48.00	333
140.00	550
inf.	695

**Vs<sub>30</sub> = 245 m/s**

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un primo picco mediamente a 4.5 Hz, riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di -9/-10 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento.

Si individua un secondo picco a circa 1.25 Hz (1.25 ± 0.18 Hz) corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano.

Per evitare la risonanza terreno-struttura con conseguenti fenomeni di amplificazione in caso di evento sismico, sarà opportuna una progettazione che preveda frequenze di oscillazione delle strutture diverse da quelle individuate. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di Vs<sub>30</sub> = 245 m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs<sub>30</sub> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT<sub>30</sub> < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu<sub>30</sub> < 250 kPa nei terreni a grana fina)".

### **TROMINO – AREA STANZANI – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA**

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 09:29:23 Fine registrazione: 30/09/14 09:43:24

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

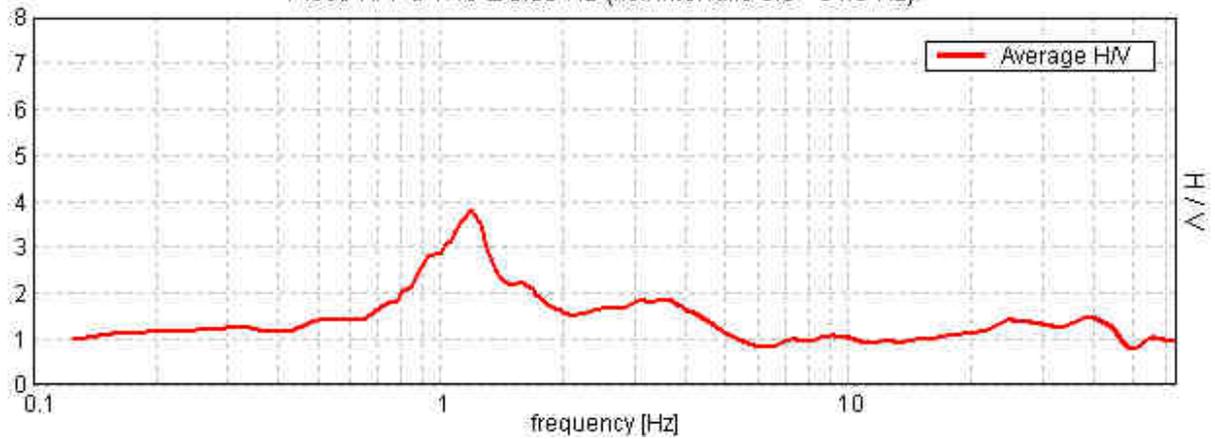
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

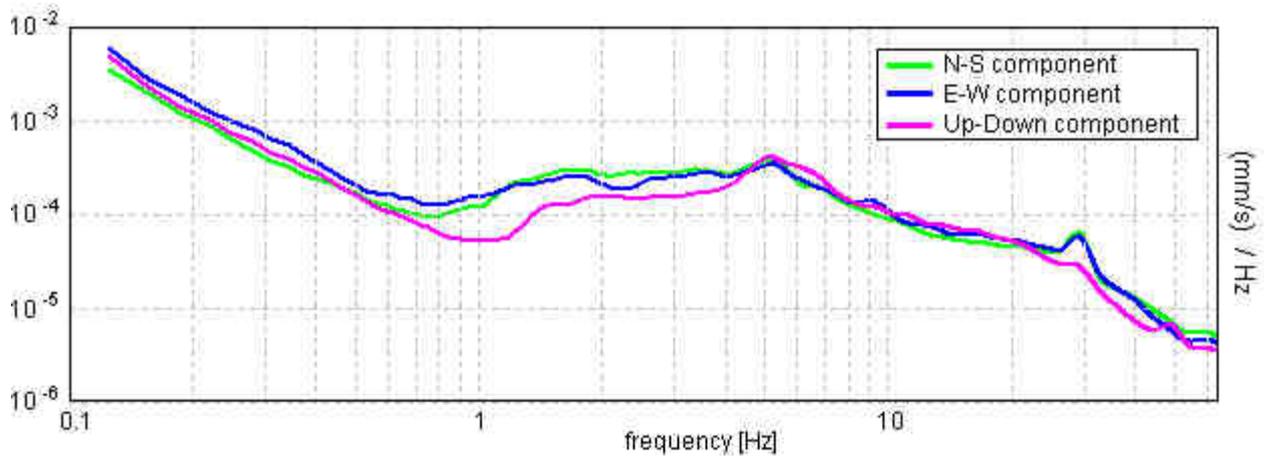
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Picco H/V a  $1.19 \pm 0.06$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)

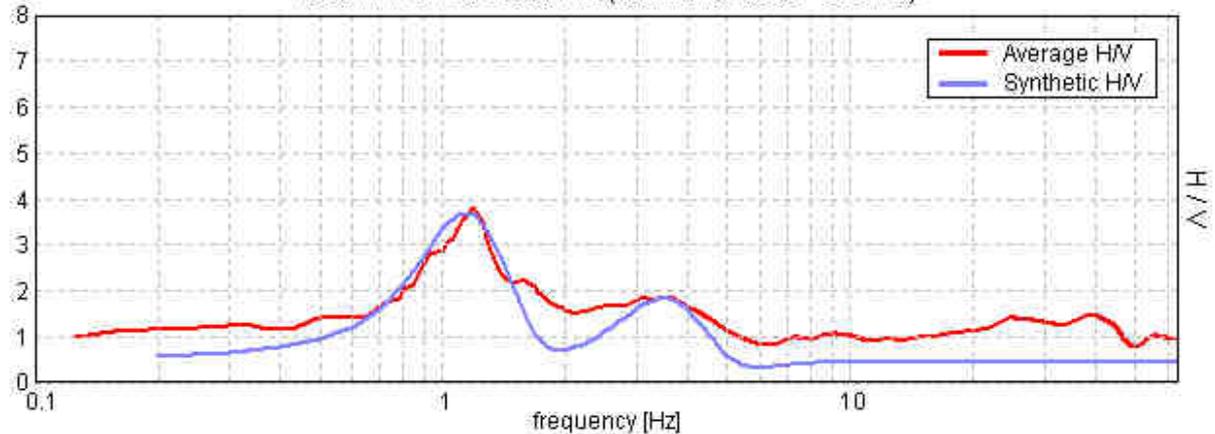


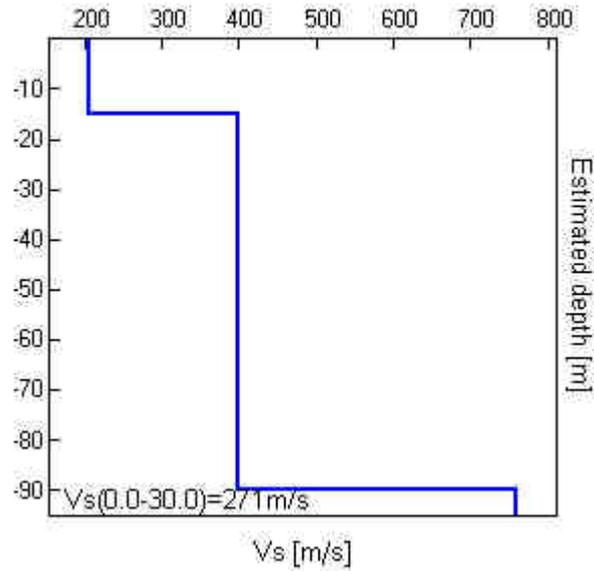
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $1.19 \pm 0.06$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
15.00	205
90.00	400
inf.	760

$$V_{s30} = 271 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un primo picco mediamente a 3.5 Hz, riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire da profondità maggiori di -15 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua un secondo picco a circa 1.20 Hz ( $1.19 \pm 0.06$  Hz) corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 271$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

### TROMINO – AREA AZ. AGR. MAVORA – AMBITO N. 50 NUOVO PRODUTTIVO DELLA CARTIERA

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 13:05:12 Fine registrazione: 30/09/14 13:19:13

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 74% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

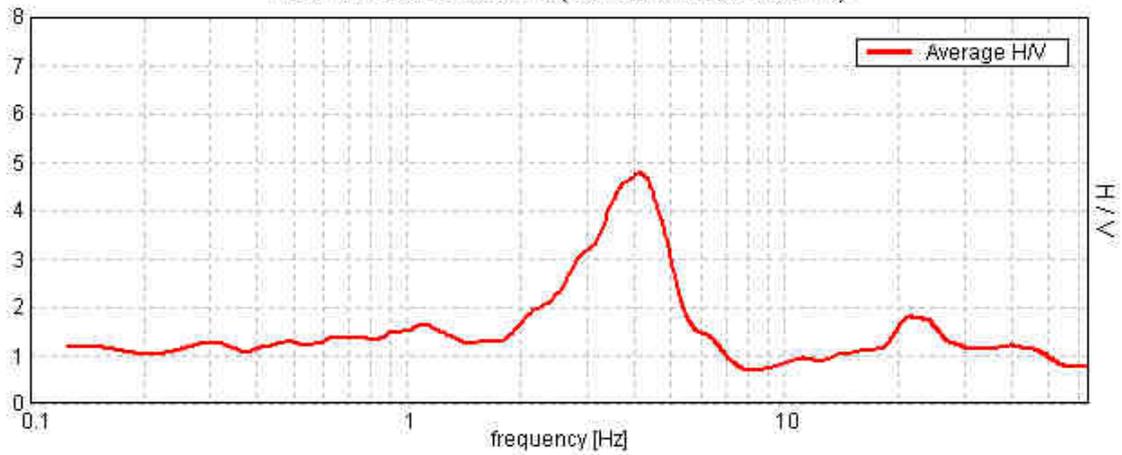
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

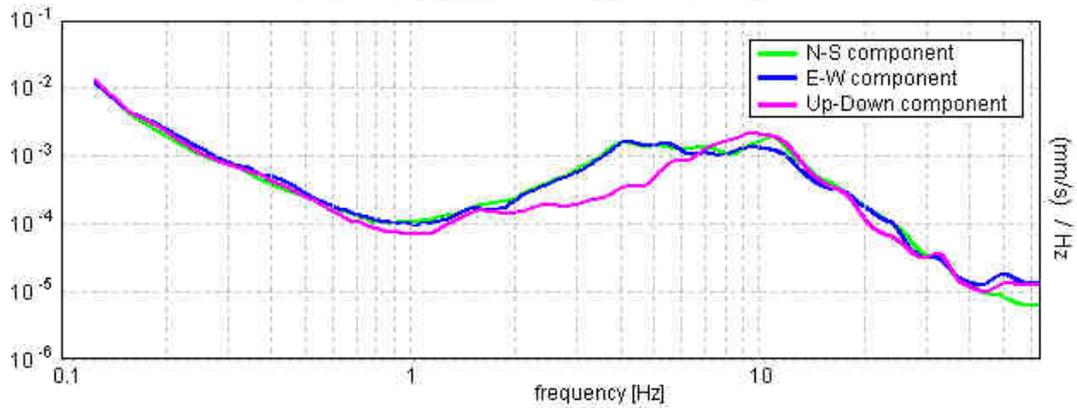
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Picco H/V a  $4.09 \pm 0.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

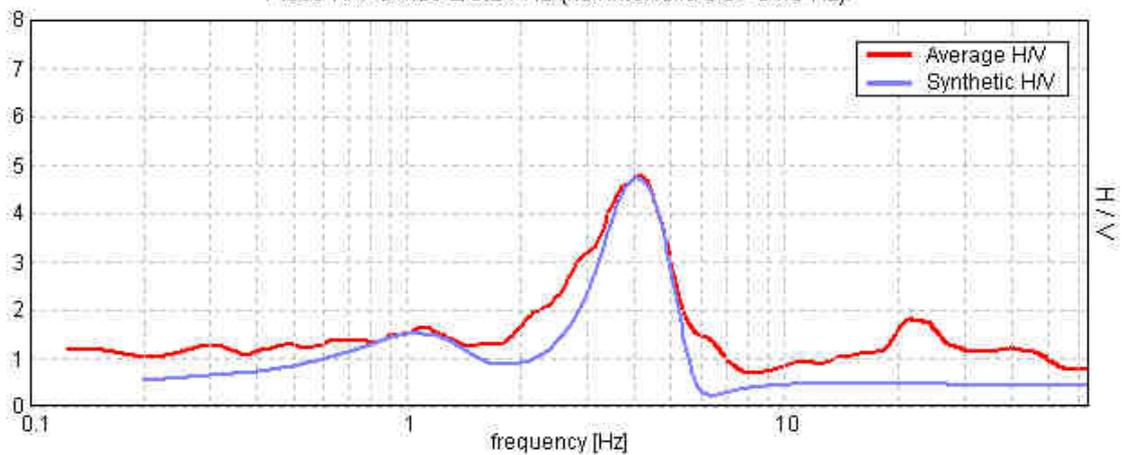


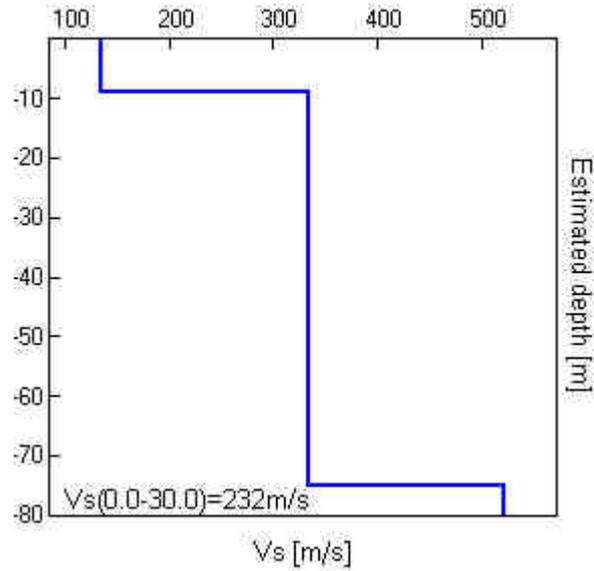
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $4.09 \pm 0.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
9.00	136
75.00	333
inf.	520

$$V_{s30} = 232 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 4 Hz ( $4.09 \pm 0.24$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di circa -9 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 232$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine sarebbe riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

Considerando tuttavia la presenza di livelli di terreno incoerente soggetti a fenomeni di liquefacibilità, si ritiene opportuno classificare l'area in esame in categoria S2, che comprende "Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti".

### TROMINO – AREA ANZEVINO/BERGAMINI-FORNETTI – AMBITO N. 58 NUOVO PRODUTTIVO GRAZIOSA

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 30/09/14 17:35:48 Fine registrazione: 30/09/14 17:49:49

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 71% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

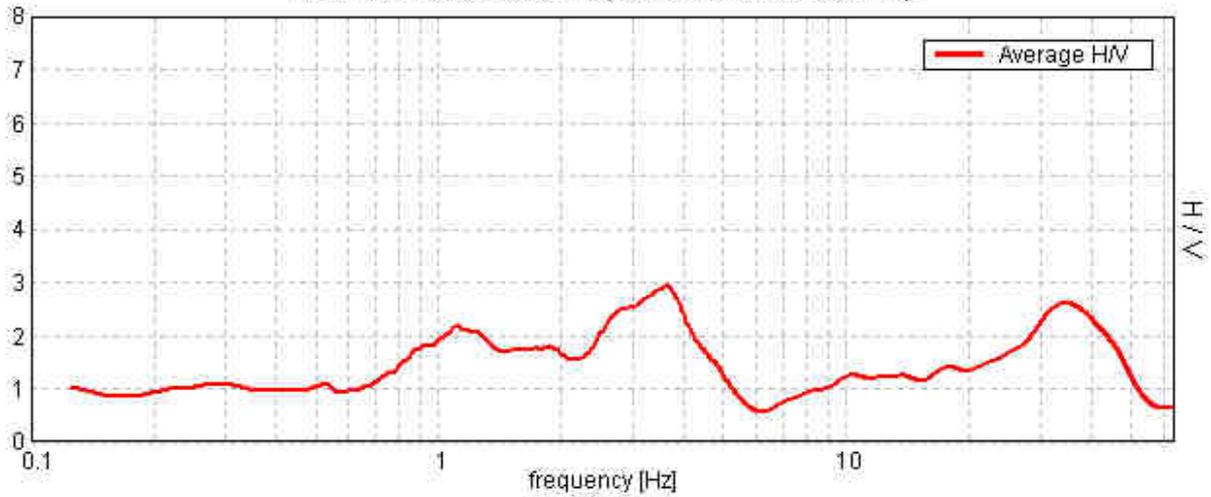
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

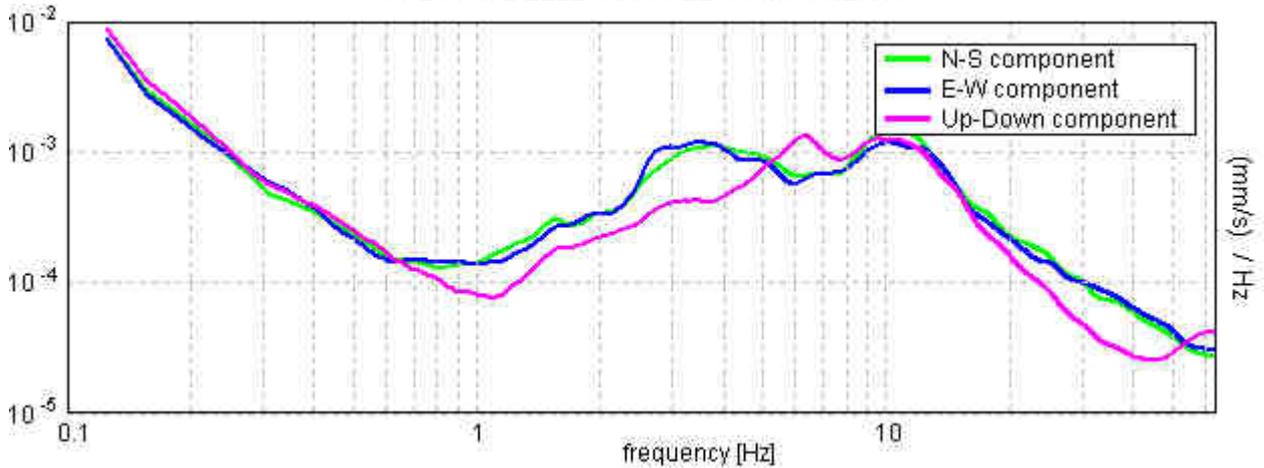
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Picco H/V a  $3.63 \pm 8.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

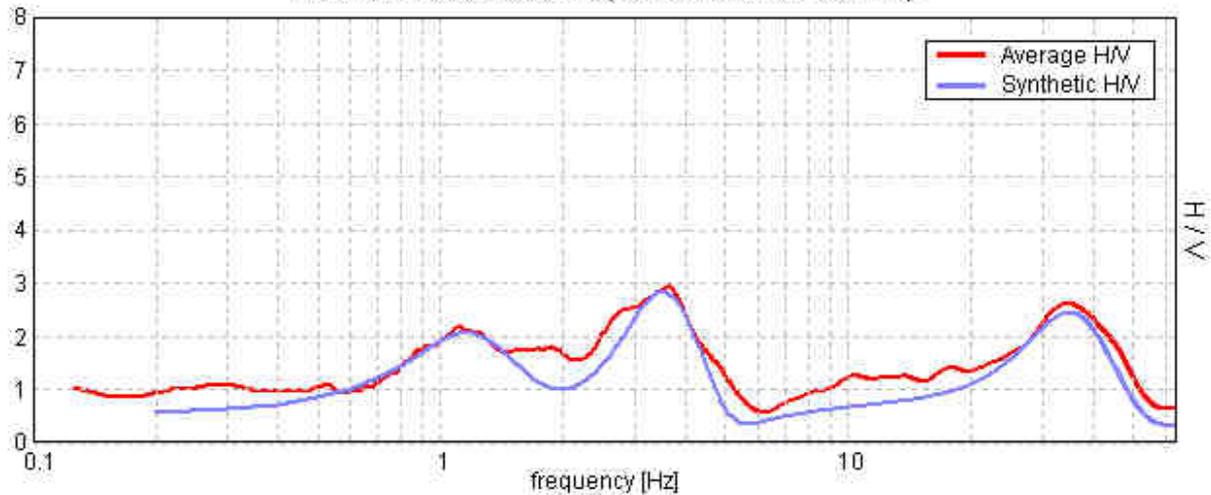


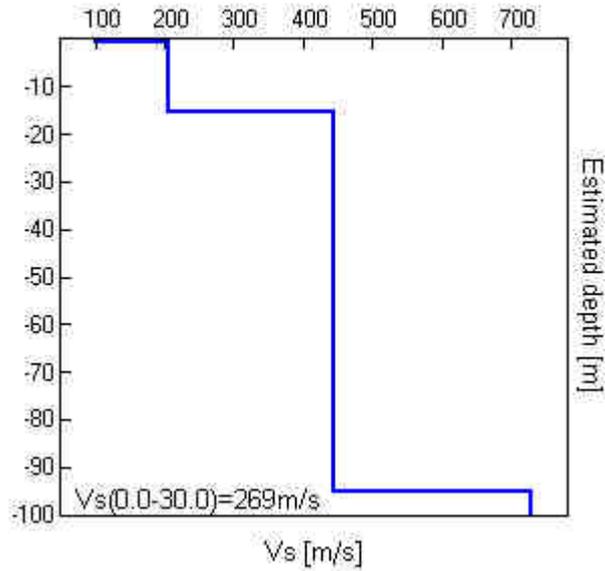
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $3.63 \pm 8.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
0.70	100
15.50	206
95.00	445
inf.	730

$$V_{s30} = 269 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 3.60 Hz ( $3.63 \pm 8.03$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni limo argillosi/ghiaie a partire dalla profondità di circa -15 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. Si individua anche un secondo picco alla frequenza di circa 1.20 Hz, tipica del Bacino Sedimentario Padano. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{s30} = 269$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

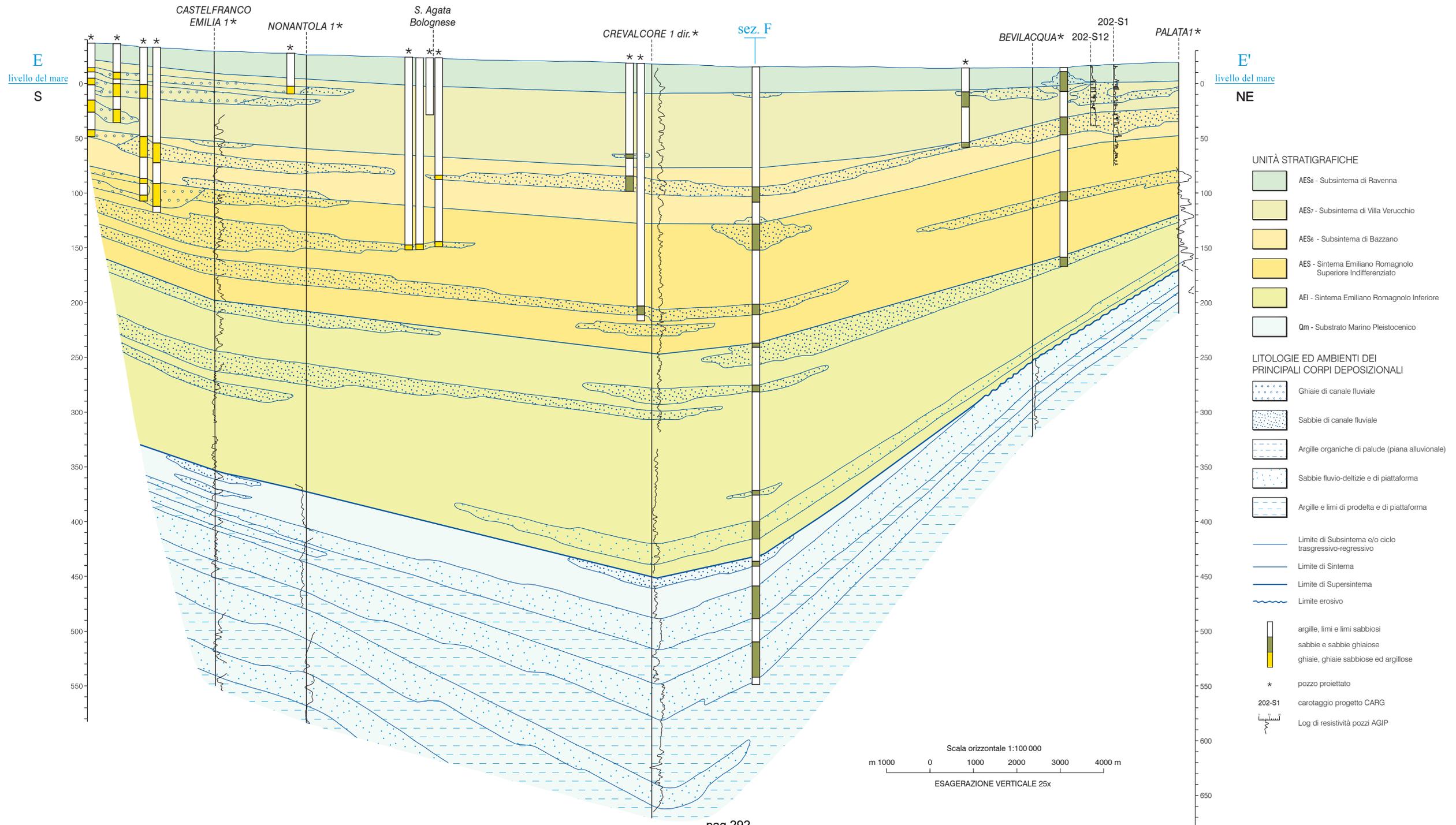
### 2.3 Azione Sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);

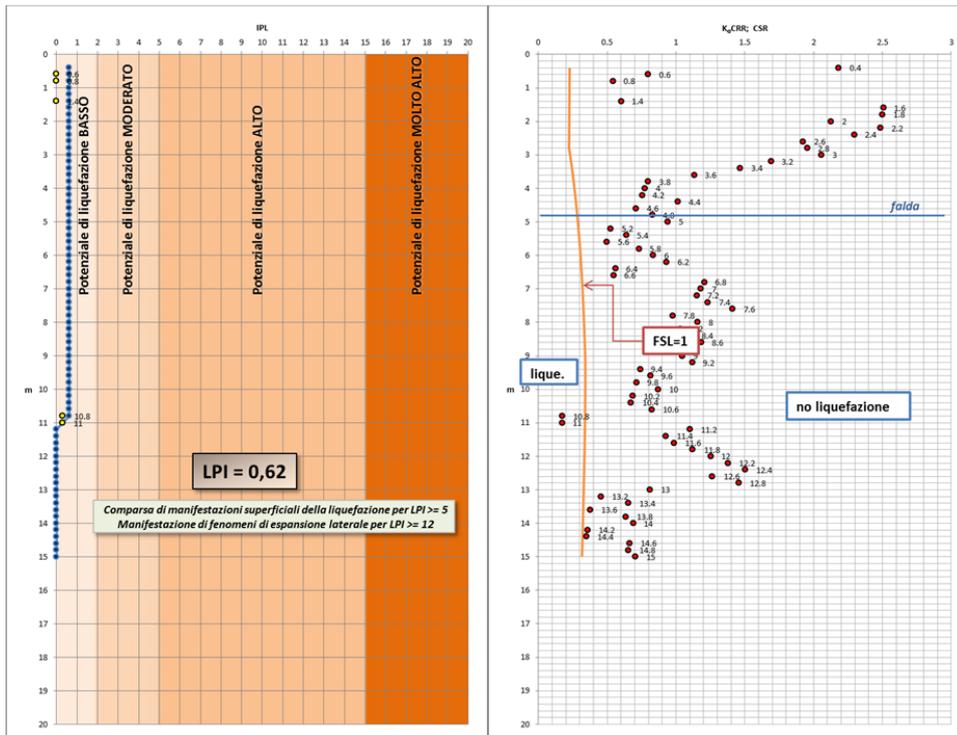
# **Allegato 4**

## **Sezione geologica nr. 066 (database regionale)**

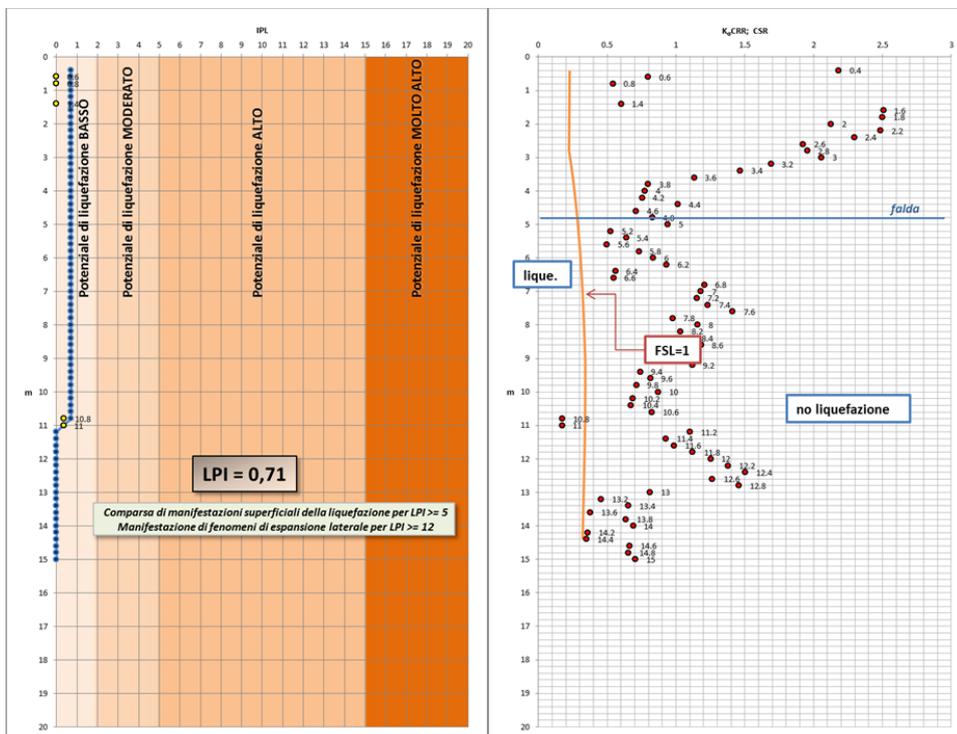


## **Allegato 5**

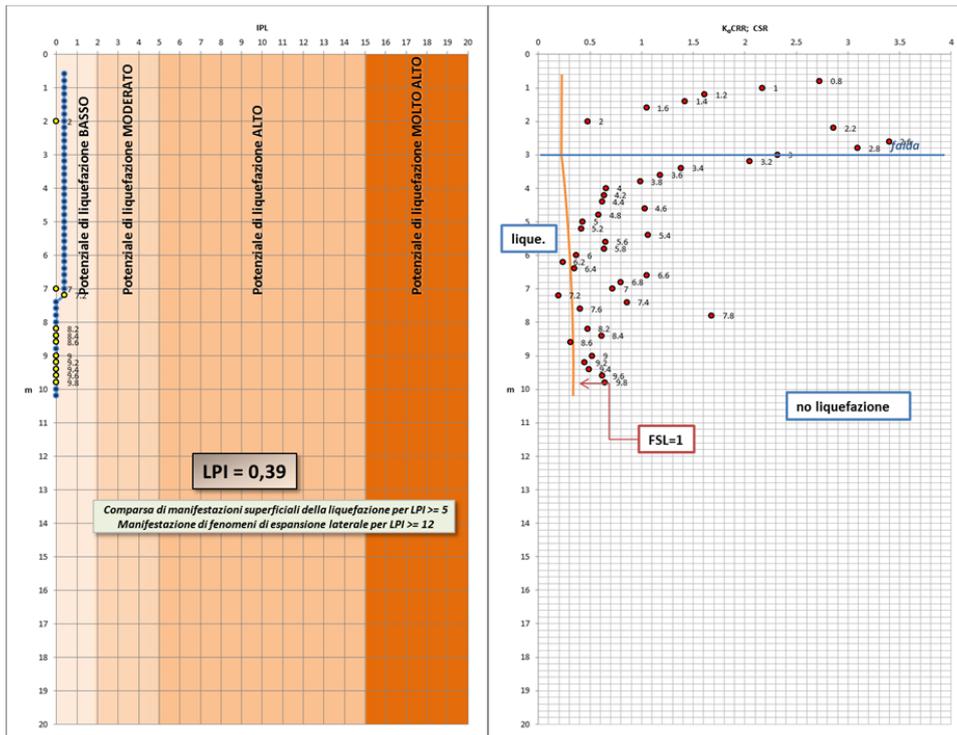
# **Analisi potenziale liquefazione eseguite per questo studio**



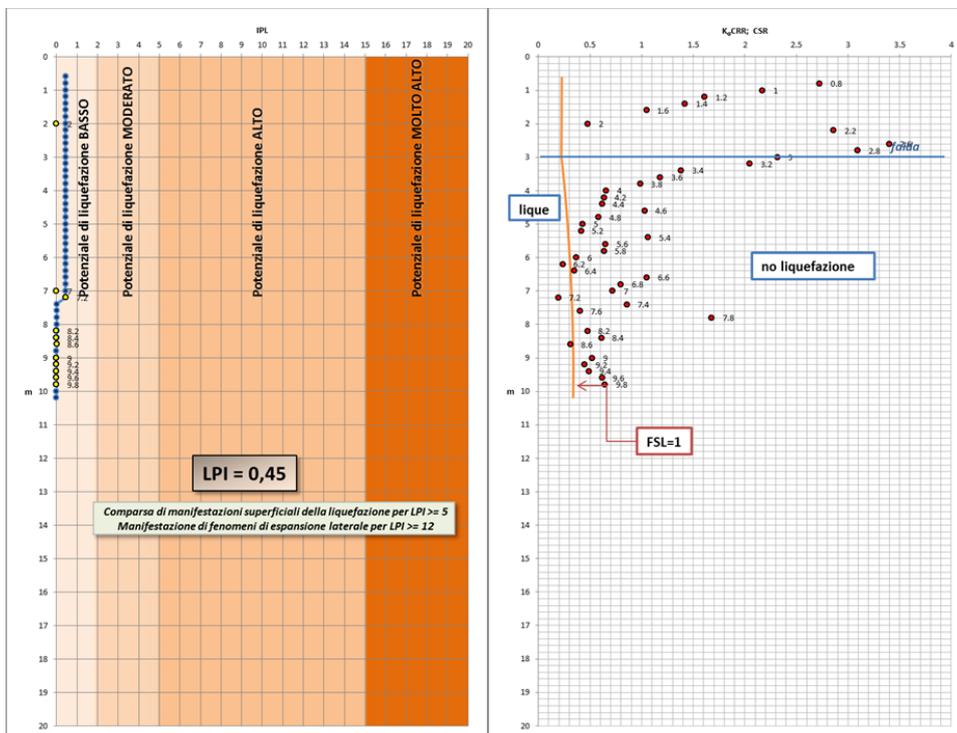
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT1 dell'area "Stanzani" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -20 m.



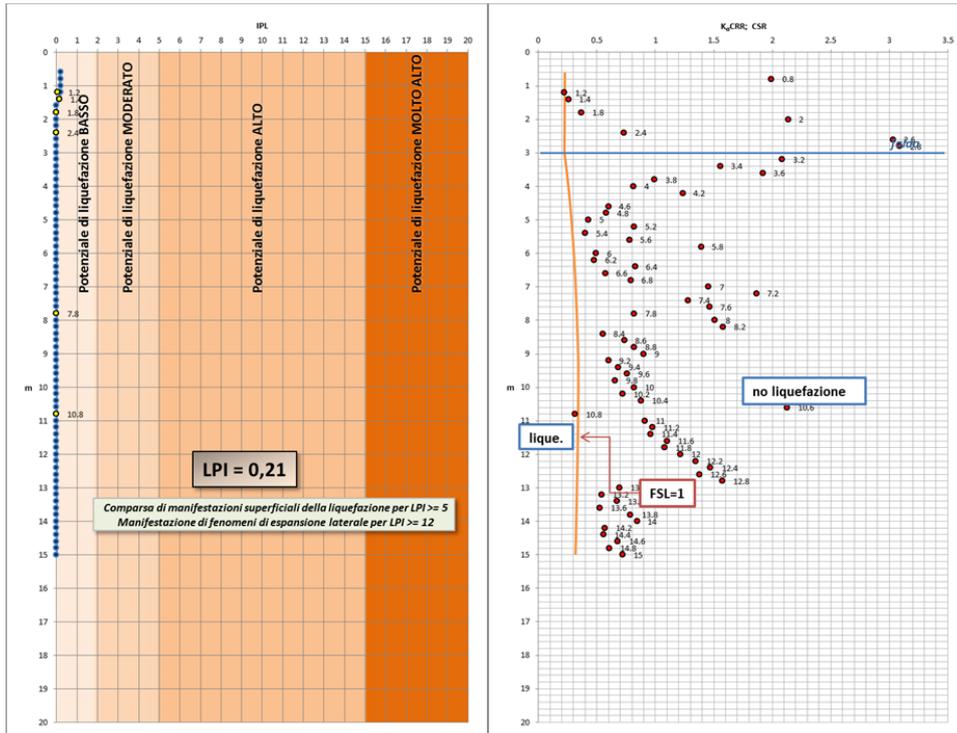
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT1 dell'area "Stanzani" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



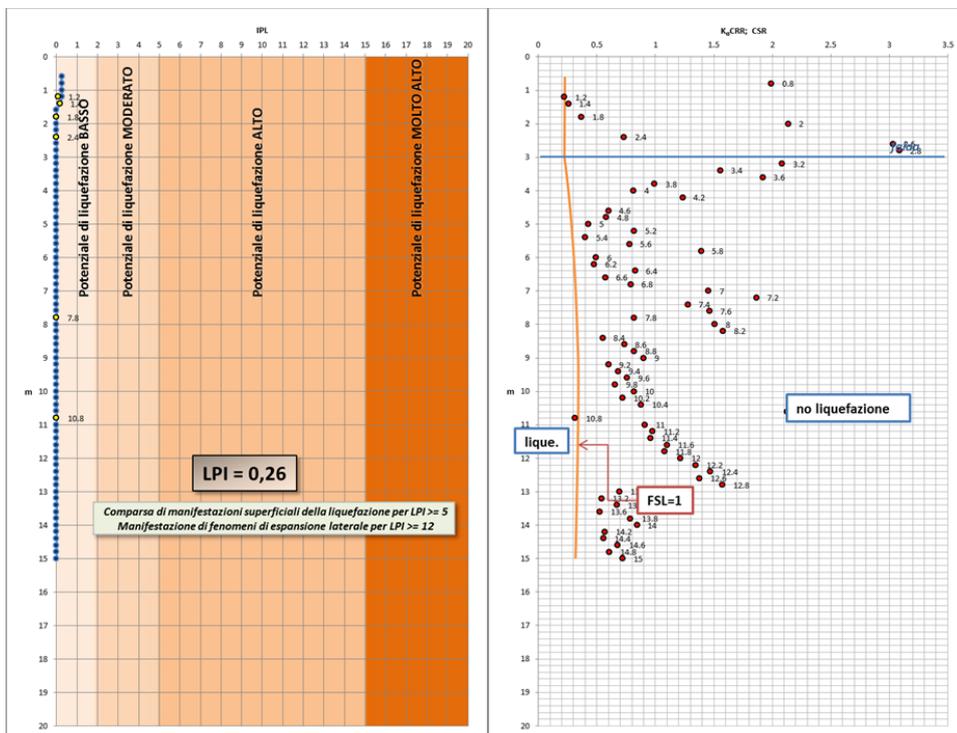
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT2 dell'area "Stanzani" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -20 m.



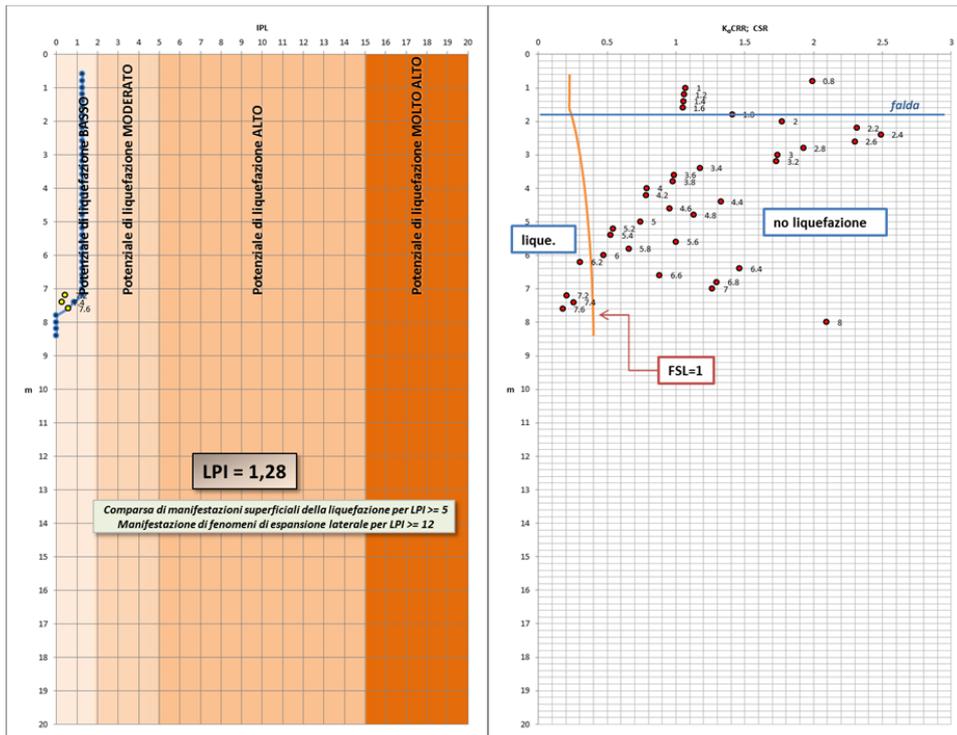
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT2 dell'area "Stanzani" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



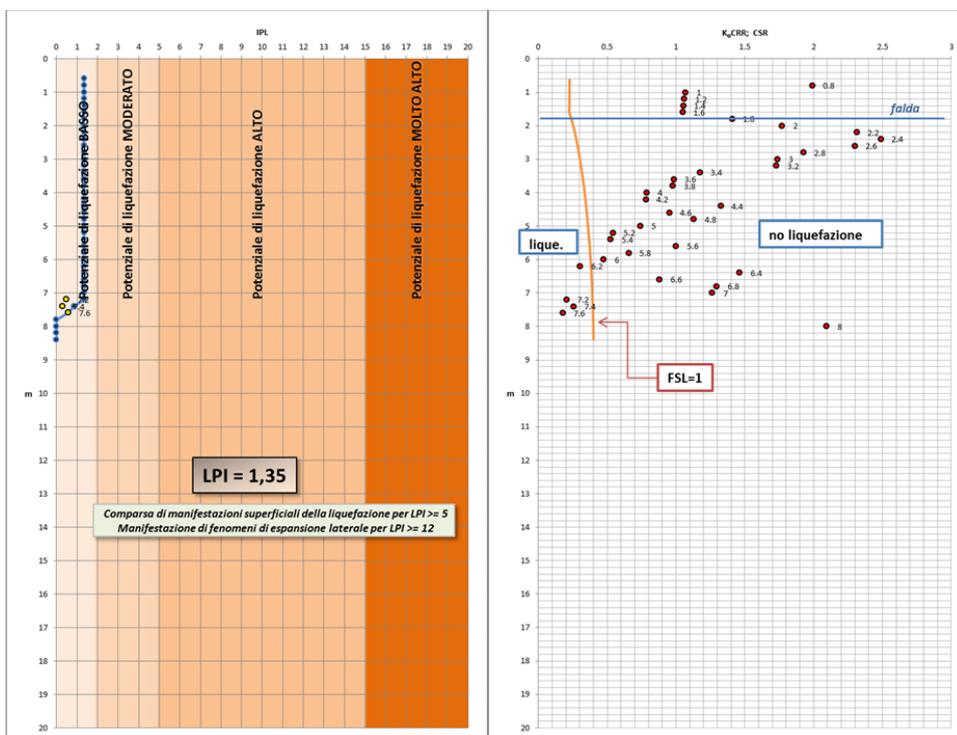
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT3 dell'area "Stanzani" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -20 m.



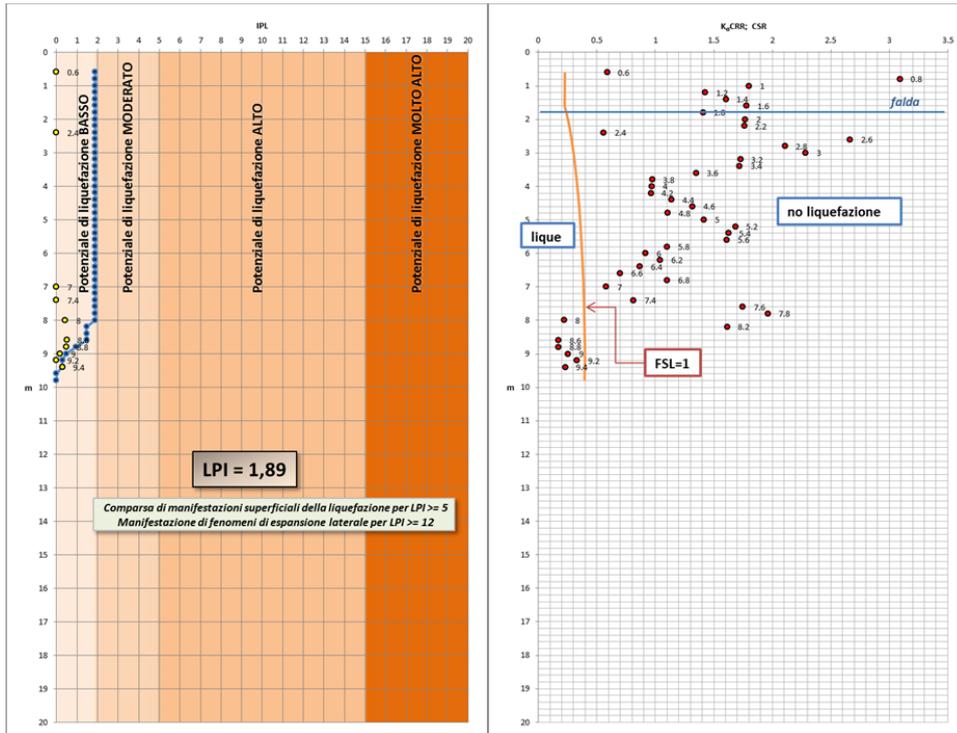
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT3 dell'area "Stanzani" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



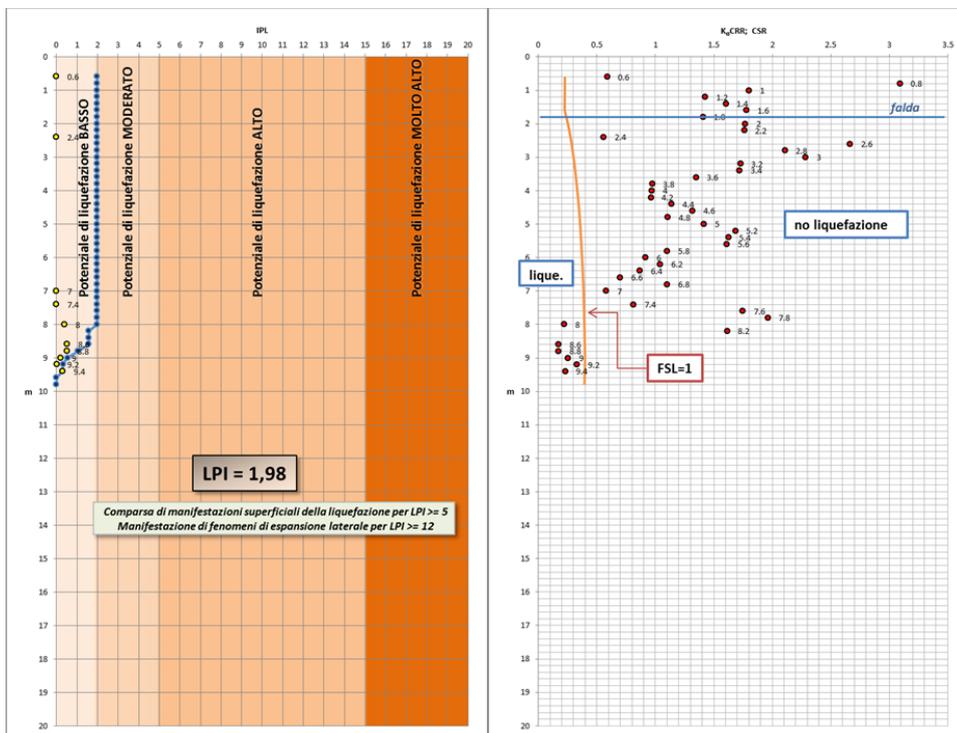
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT1 dell'area "Tironi" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -10 m.



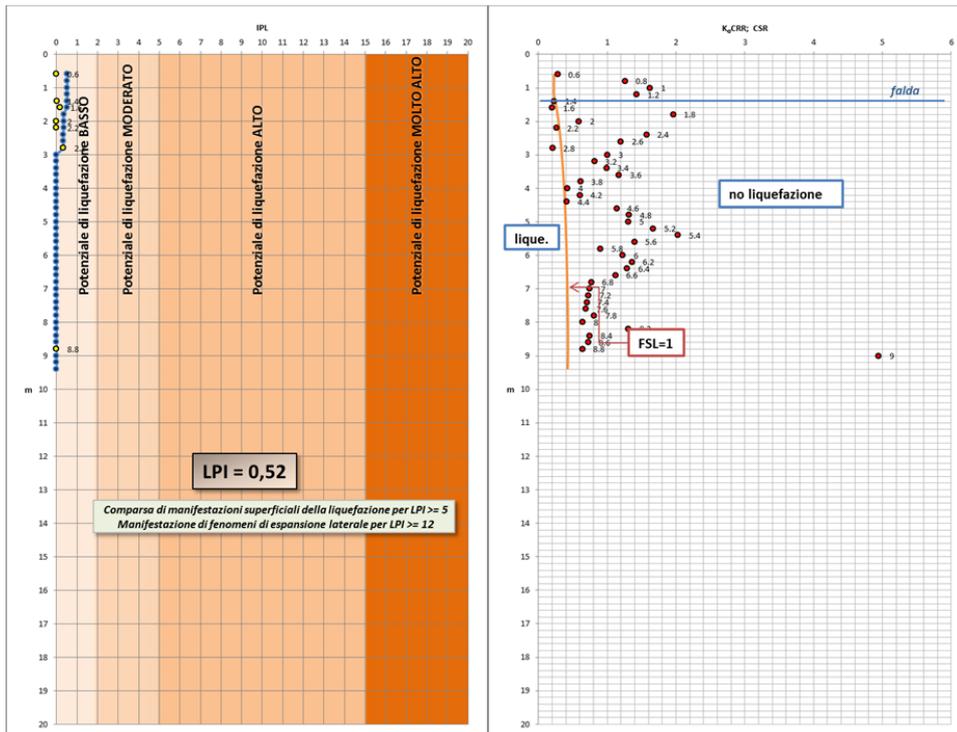
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT1 dell'area "Tironi" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



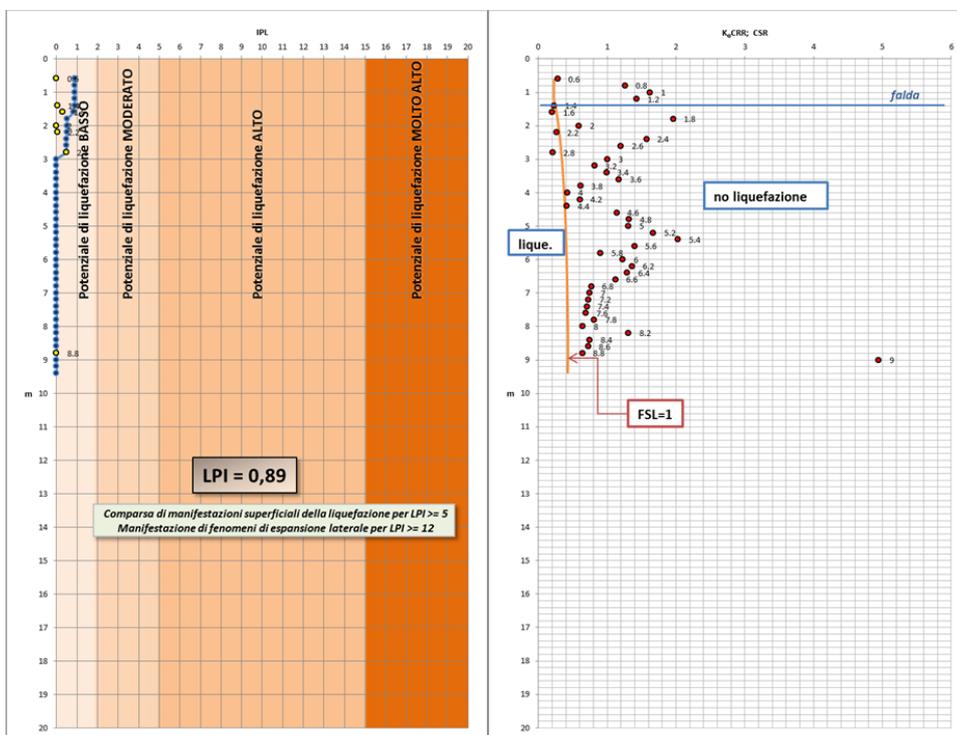
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT4 dell'area "Tironi" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -10 m.



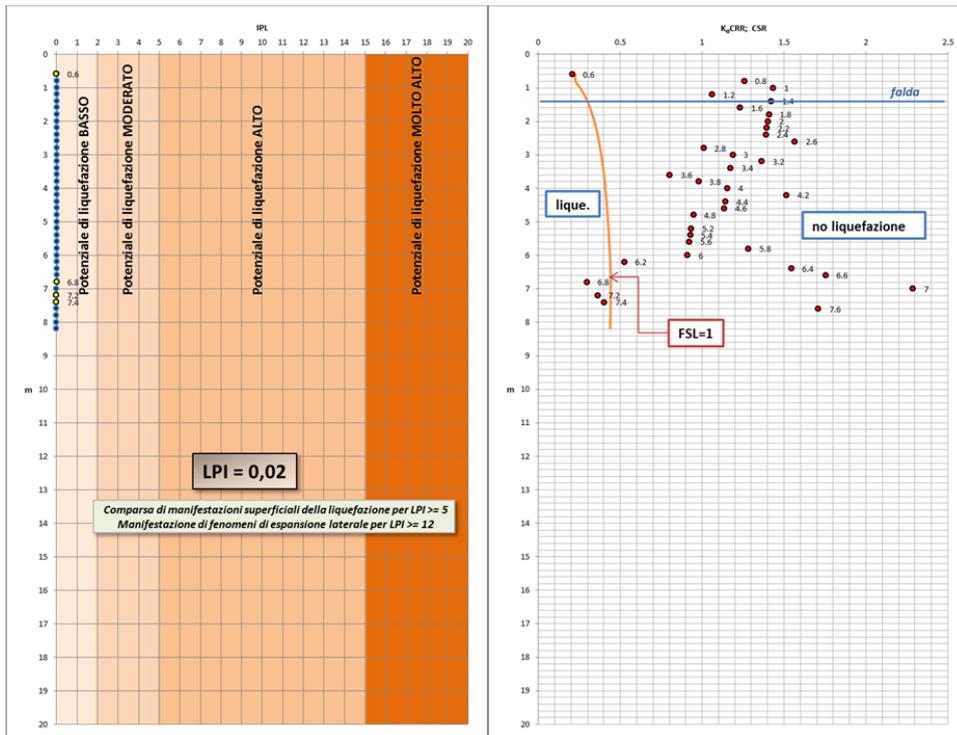
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT4 dell'area "Tironi" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



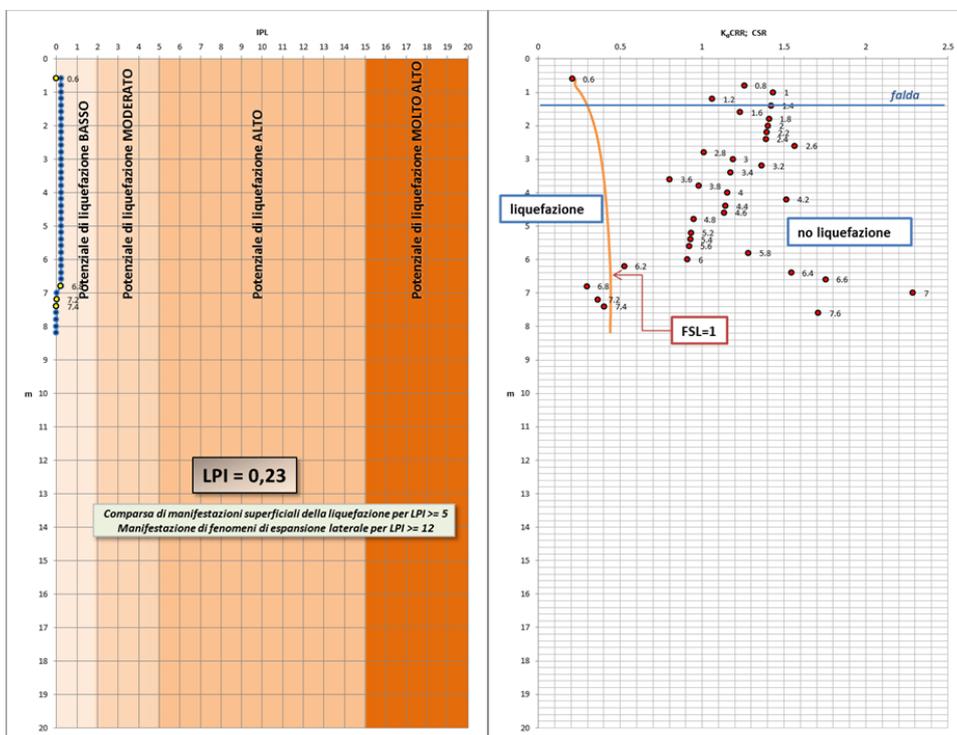
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT4 dell'area "Mavora" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -10 m.



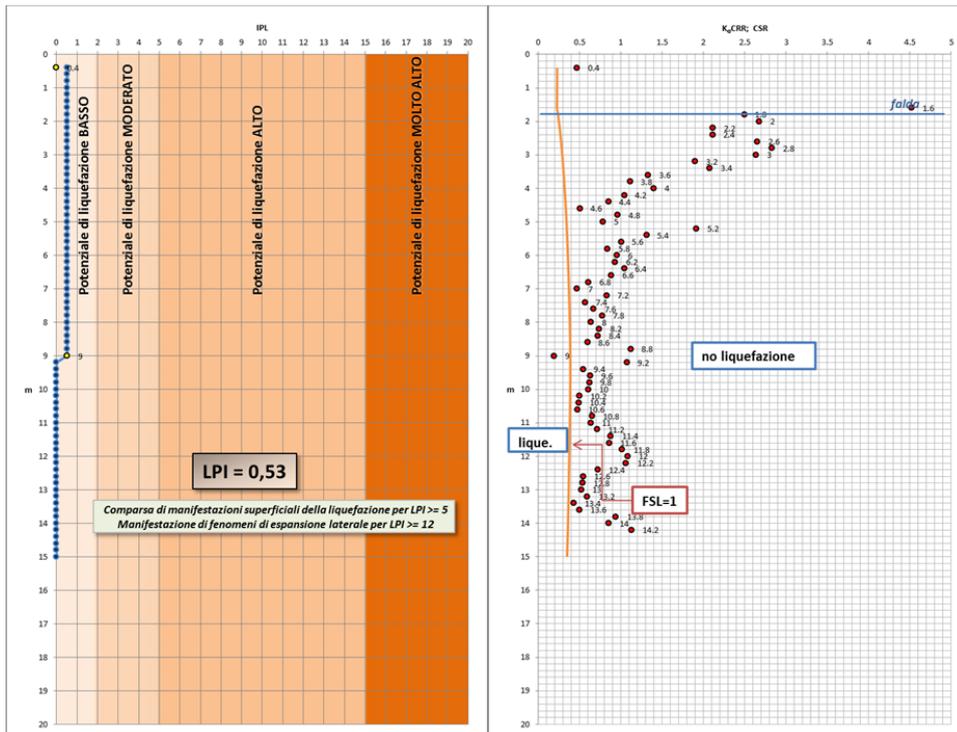
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT4 dell'area "Mavora" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



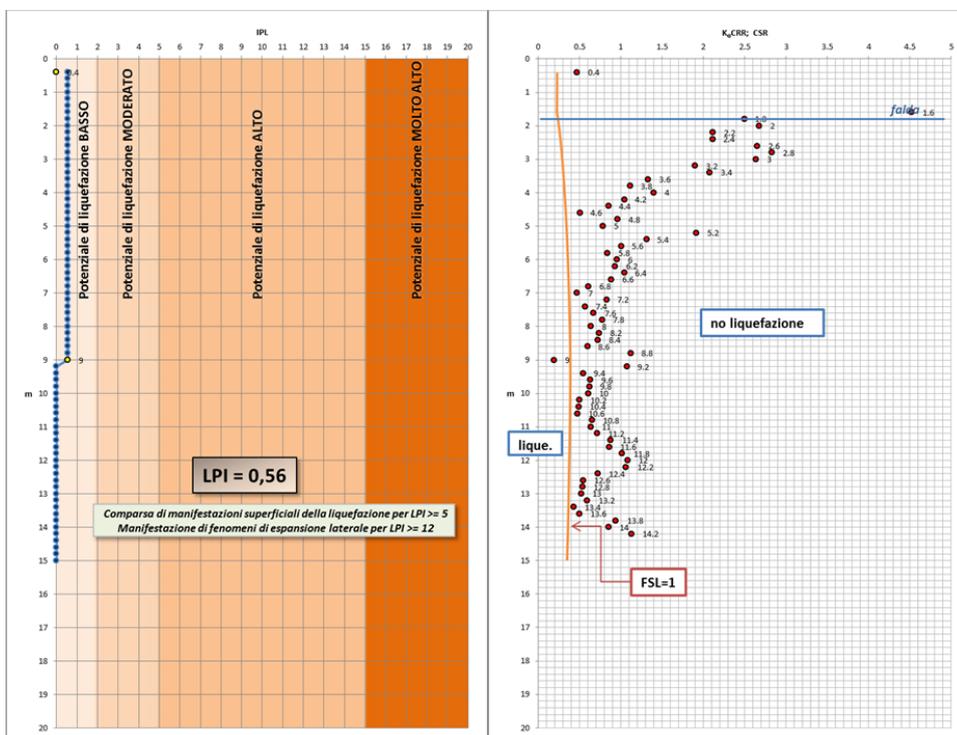
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT5 dell'area "Mavora" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -10 m.



Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT5 dell'area "Mavora" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



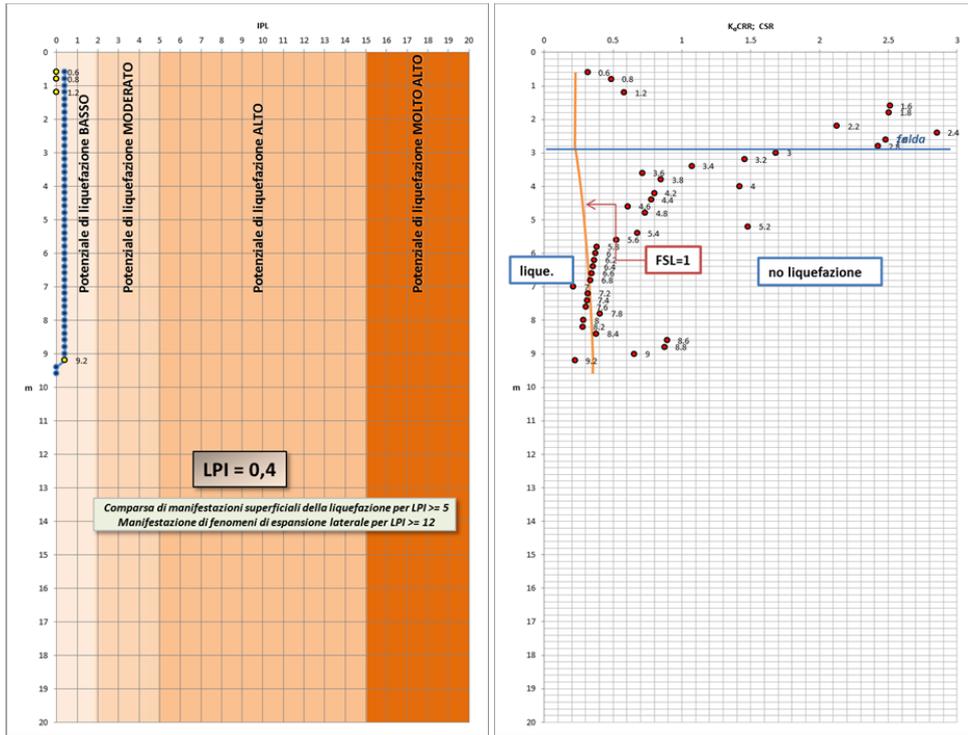
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT8 dell'area "Bergamini" nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -15 m.



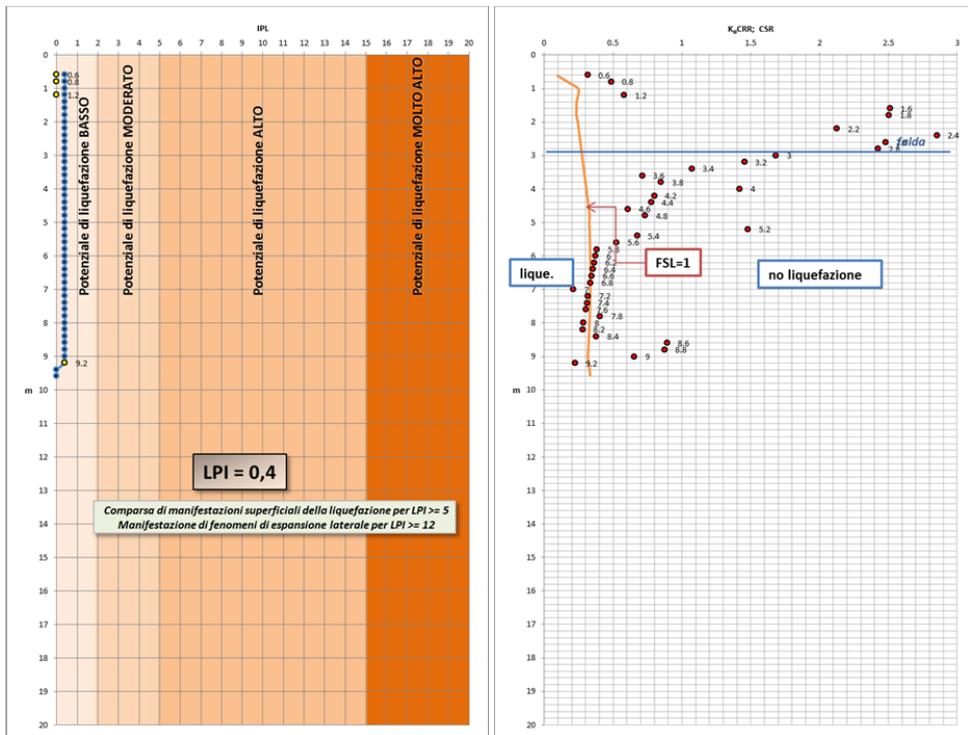
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT8 dell'area "Bergamini" nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.

## **Allegato 6**

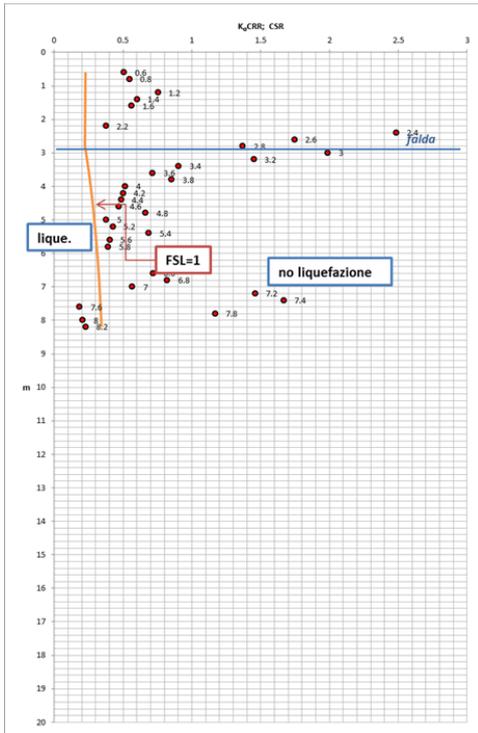
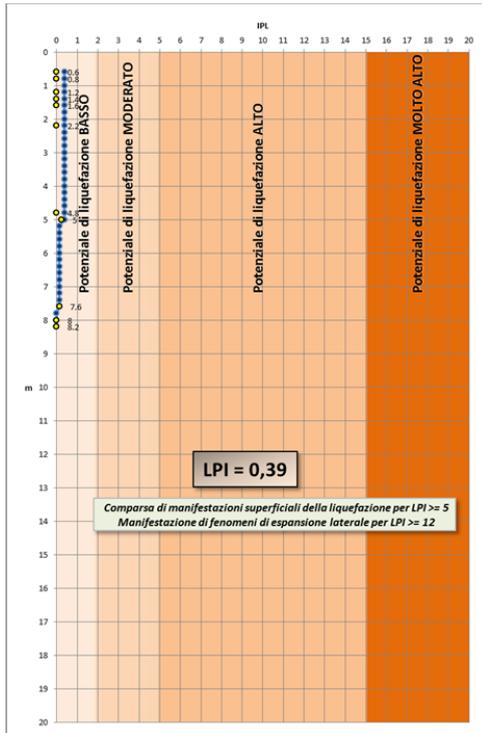
# **Indagini geognostiche eseguite dallo scrivente per l'ambito 39 ASP.b (4 CPT)**



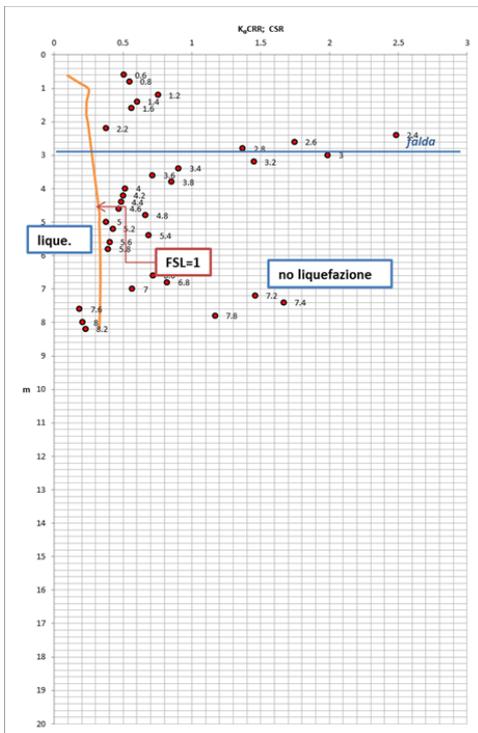
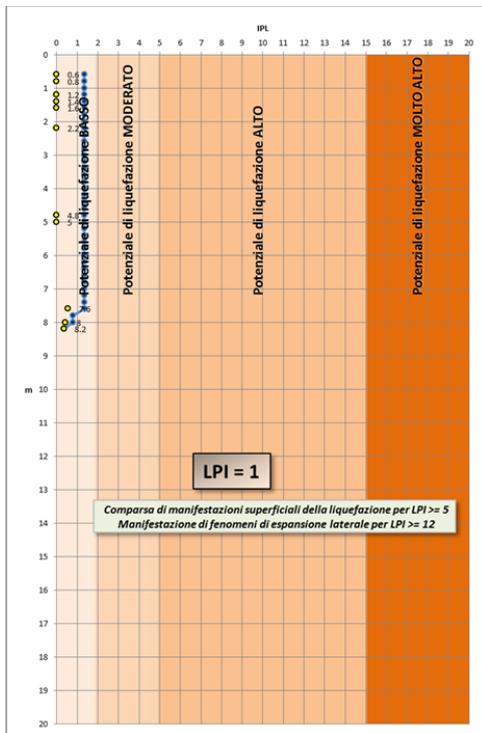
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT1 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -13 m.



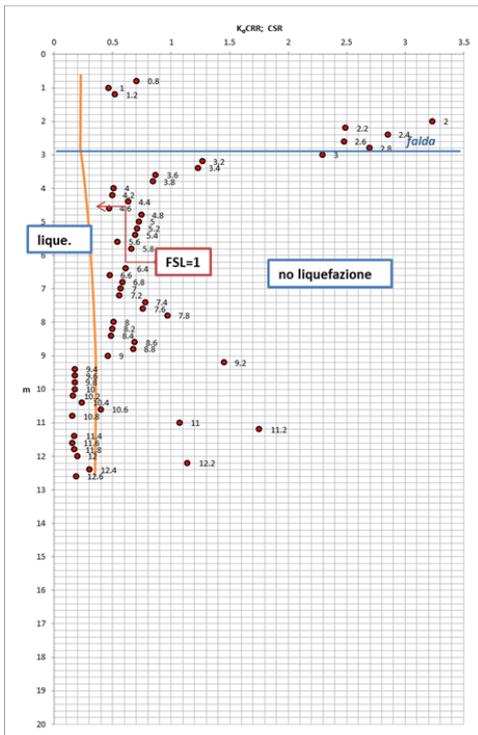
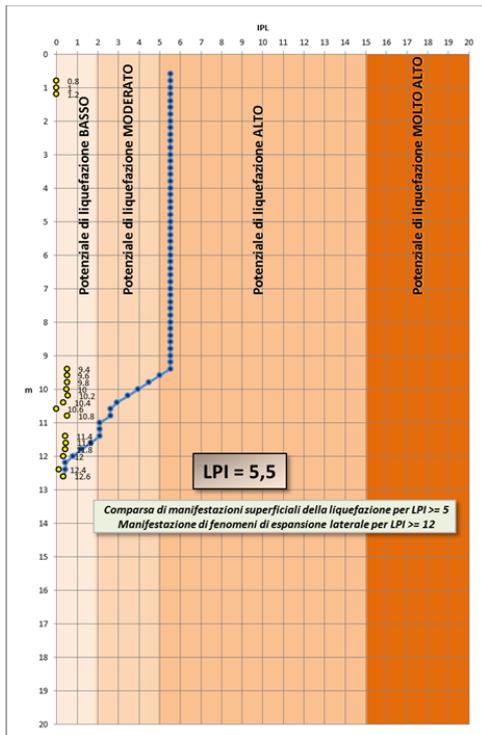
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT1 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



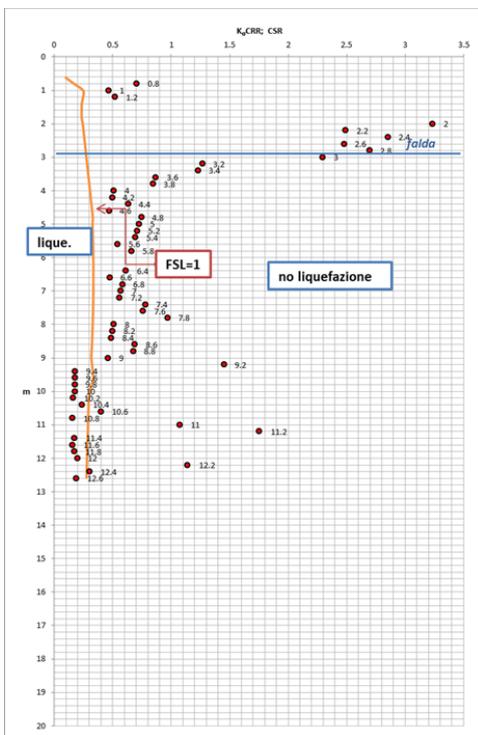
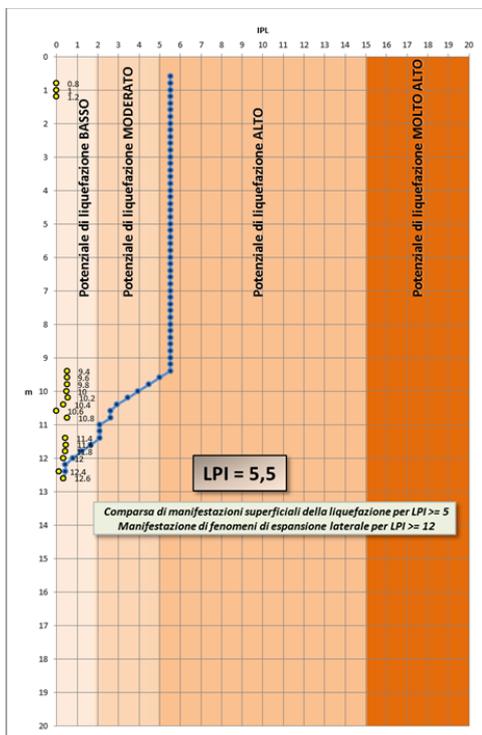
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT2 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -13 m.



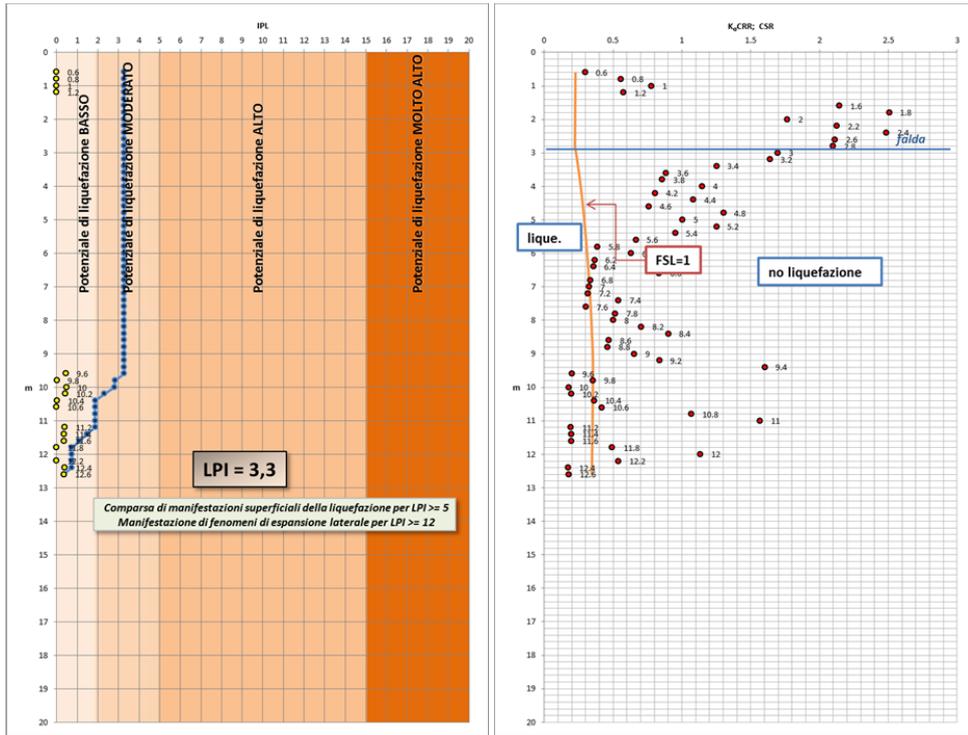
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT2 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



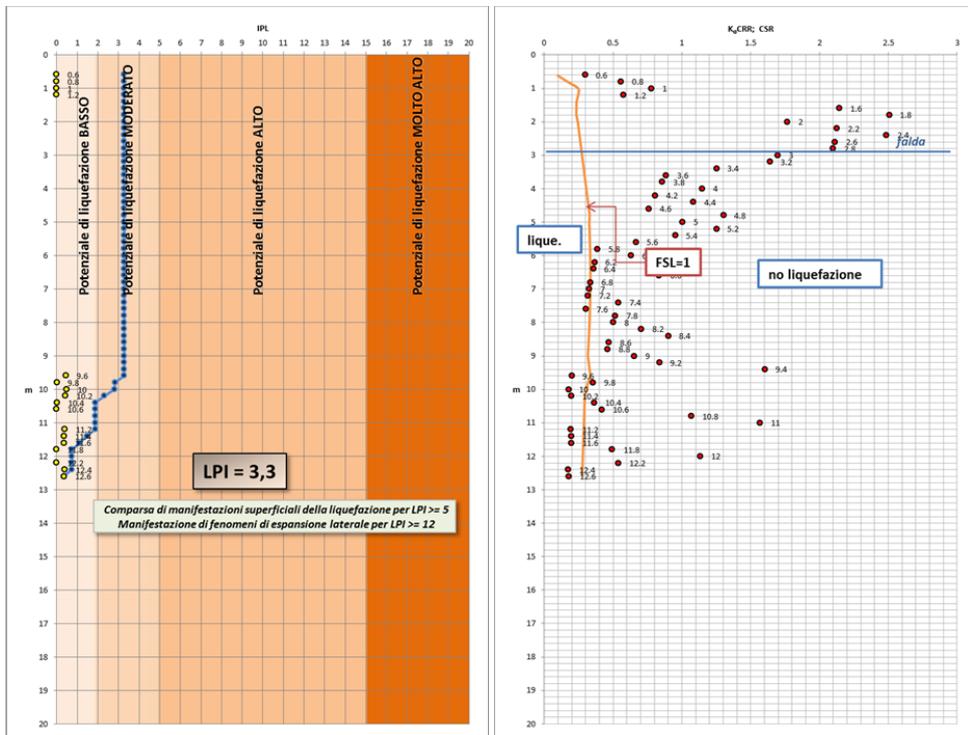
Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT3 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -13 m.



Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT3 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.



Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT4 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con interfaccia risonante a -13 m.



Risultati grafici del calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione lungo la CPT4 dell'ambito 39 ASP.b nello scenario di Risposta Sismica Locale con bedrock sismico a -120 m.

## **QUARTA VARIANTE AL P.O.C.**

---

### **RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA**

---

### **Integrazione indagini ambiti 39 APC.b e 50 ANP**

---

**A cura di:**  
**DOTT. GEOL. Valeriano Franchi**  
V.le Caduti in Guerra 1, 41121 Modena  
TEL. 059-226540  
e-mail: valerianofranchi@tin.it

---

**OTTOBRE 2017**



Dott. Geol. Valeriano Franchi  
V.le Caduti in Guerra, 1 – 41121 Modena  
Tel: 059-226540  
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Modena, 25/10/2017

## **RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA**

---

### **INDICE CONTENUTI**

Premessa .....	3
1. Indagini geognostiche integrative .....	4
2. Indagine sismica .....	10
3. Fattori di amplificazione sismica ed effetti di sito .....	12
3.1. Amplificazione topografica.....	16
3.2. Suscettibilità alla liquefazione.....	16
4. Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni.....	20

### **ALLEGATI**

## PREMESSA

La presente relazione è stata redatta ad integrazione della relazione geologica già redatta dallo scrivente in data 12 luglio 2017 a supporto della Quarta Variante al POC ai sensi dell'ex. art. 40 L.R. 20/2000 del Comune di Castelfranco Emilia; in essa sono stati trattati gli aspetti geologici, geotecnici e sismici inerenti cinque aree destinate ad edifici produttivi, previste con la Variante al POC nella prima periferia ovest del Capoluogo, nell'area intersecata dagli assi viari SS9, via Cartiera e via Emilia Ovest. A tale relazione si rimanda per l'inquadramento geografico, geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area e per le analisi delle indagini geologiche e geofisiche pregresse.

Nella presente relazione vengono descritti i risultati di nuove indagini geognostiche e geofisiche, necessarie per completare la copertura areale dell'analisi geologica condotta nel luglio 2017, in modo da raggiungere un quadro omogeneo della situazione stratigrafica, geotecnica e sismica della porzione di territorio interessata dal piano comunale.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, D.M. 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da D.M. 14.01.2008.

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, nonché per la loro classificazione sismica, nell'ottobre 2017 sono state eseguite, all'interno degli ambiti 50 ANP e 39 APC.b, 5 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), spinte sino alla profondità massima di 14 m dal p.d.c., 2 stendimenti MASW ed una verticale HVSR.

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico – fisico generale
- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale
- Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico specifiche per ogni area
- Indagine sismica specifica per ogni area
- Fattori di amplificazione sismica (DGR 2193/2015)
- Effetti di sito
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

## ALLEGATI

## 1. INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

Come già accennato nella premessa, l'integrazione delle indagini geognostiche e geofisiche ha riguardato l'ambito 39 APC.b e la porzione centro-occidentale dell'ambito 50 ANP (Figura 1).

In particolare, dell'ambito 39 APC.b rimaneva non indagata la sola porzione meridionale, ove sono state eseguite 2 CPTU, uno stendimento MASW ed una verticale HVSR. Nella porzione non indagata dell'ambito 50 ANP sono state realizzate 3 CPTU ed uno stendimento MASW.

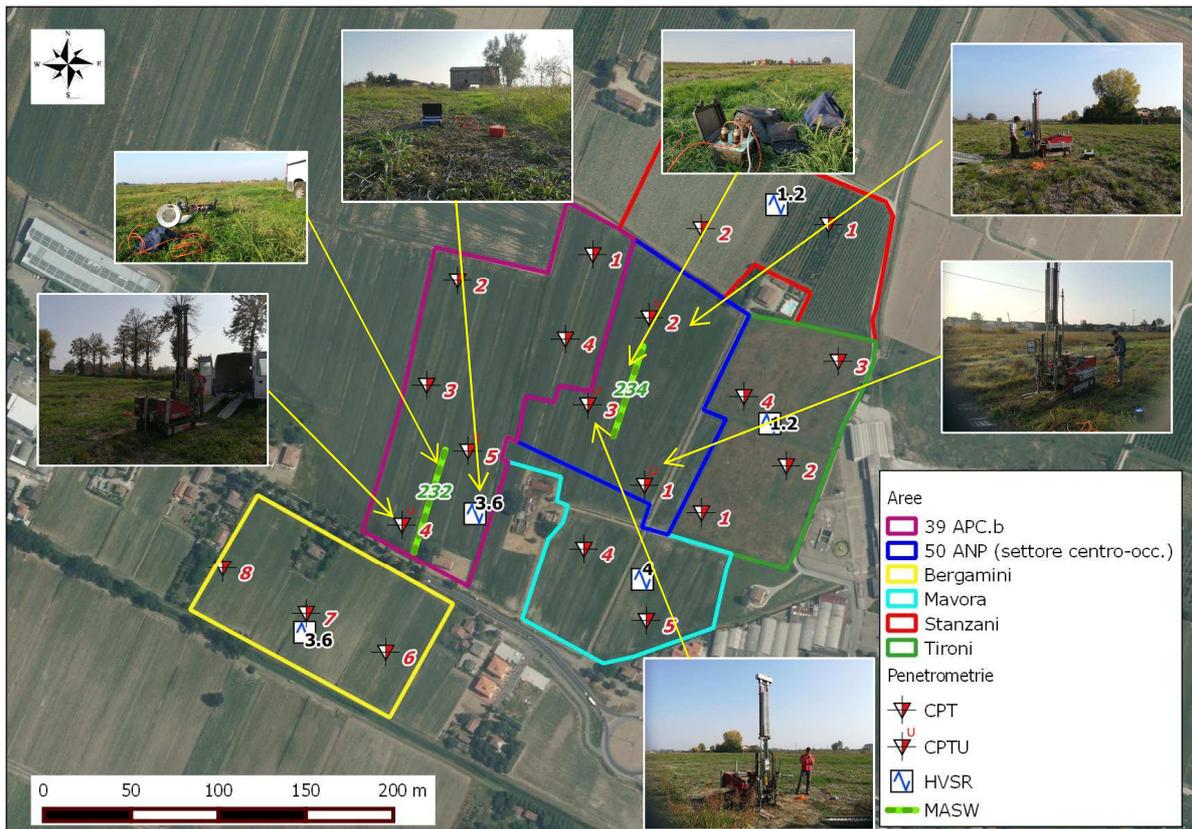


Figura 1 - Ubicazione dei sondaggi penetrometrici e delle indagini MASW e HVSR eseguiti per questa integrazione: le aree interessate sono la 39 APC.b (perimetro viola) e la porzione del 50 ANP con perimetro blu. La figure, inoltre, mostra l'ubicazione di tutte le indagini pregresse utilizzate per la relazione geologica e sismica, a cura dello scrivente, del luglio 2017. I numeri rossi identificano le prove penetrometriche; i numeri verdi indicano il valore di  $V_{s30}$  da MASW; i numeri neri il valore della frequenza fondamentale del terreno da HVSR.

Le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico Gouda 100kN, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	20

Le caratteristiche tecniche del piezocono G1-CPL2IN sono le seguenti:

**PUNTA CONICA**

Diametro Punta conica	35,7 mm
Altezza nominale	30,9 mm
Angolo di apertura punta	60°
Area nominale	1000 mm <sup>2</sup>
Altezza filtro	5 mm
Diametro interno filtro	27 mm
Distanza filtro-base cono	4 mm
Altezza quadring	3,5 mm

**PIEZOCONO**

Area di punta	10.00 cm <sup>2</sup>
Diametro	35.70 mm
Area netta (AN)	6.60 cm <sup>2</sup>
Superficie manicotto	150.00 cm <sup>2</sup>
Lunghezza manicotto	133.70 mm
Area superiore manicotto (F sup.)	2.22 cm <sup>2</sup>
Area inferiore manicotto (F inf.)	3.31 cm <sup>2</sup>
Lunghezza totale piezocono	600.00 mm
Peso complessivo	3.00 Kg
Lunghezza raccordo punta – aste	250.00 mm

Passo letture 2 cm

Per quanto riguarda la porzione del **50 ANP**, la stratigrafia che emerge dalle CPTU è rappresentata nelle tabelle seguenti (tabelle 1-3), ove vengono riportati anche i principali parametri geotecnici medi.

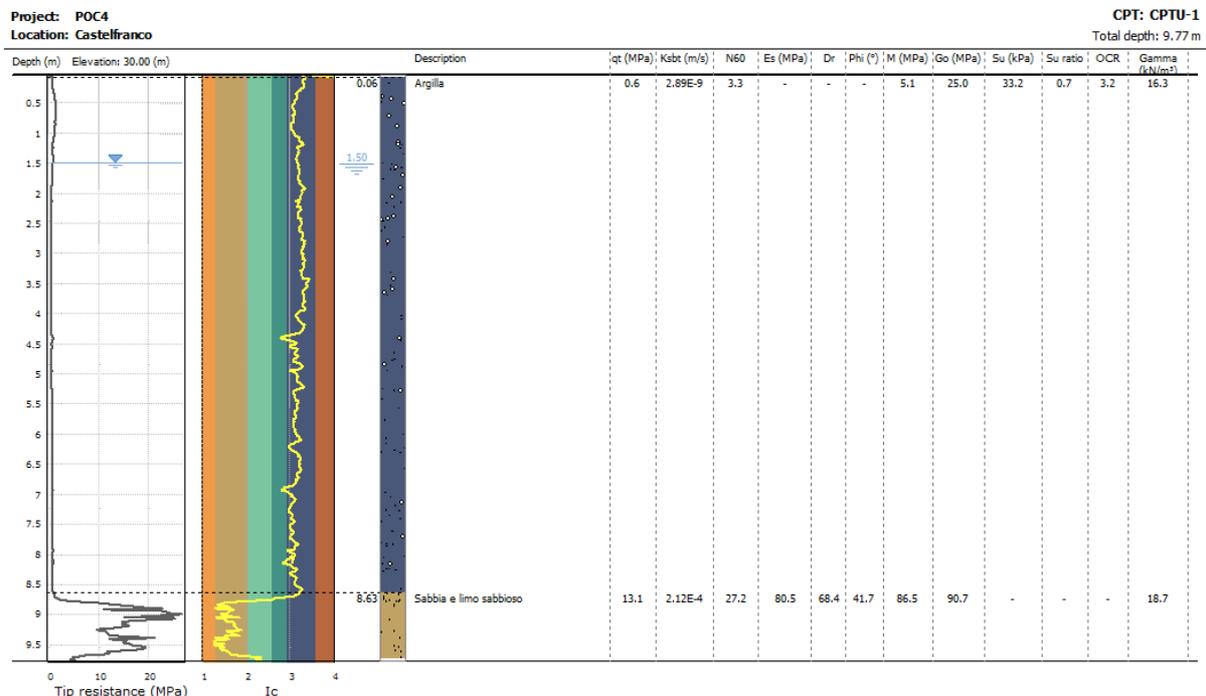


Tabella 1 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPTU1 eseguita all'interno del settore occidentale dell'ambito 50 ANP.

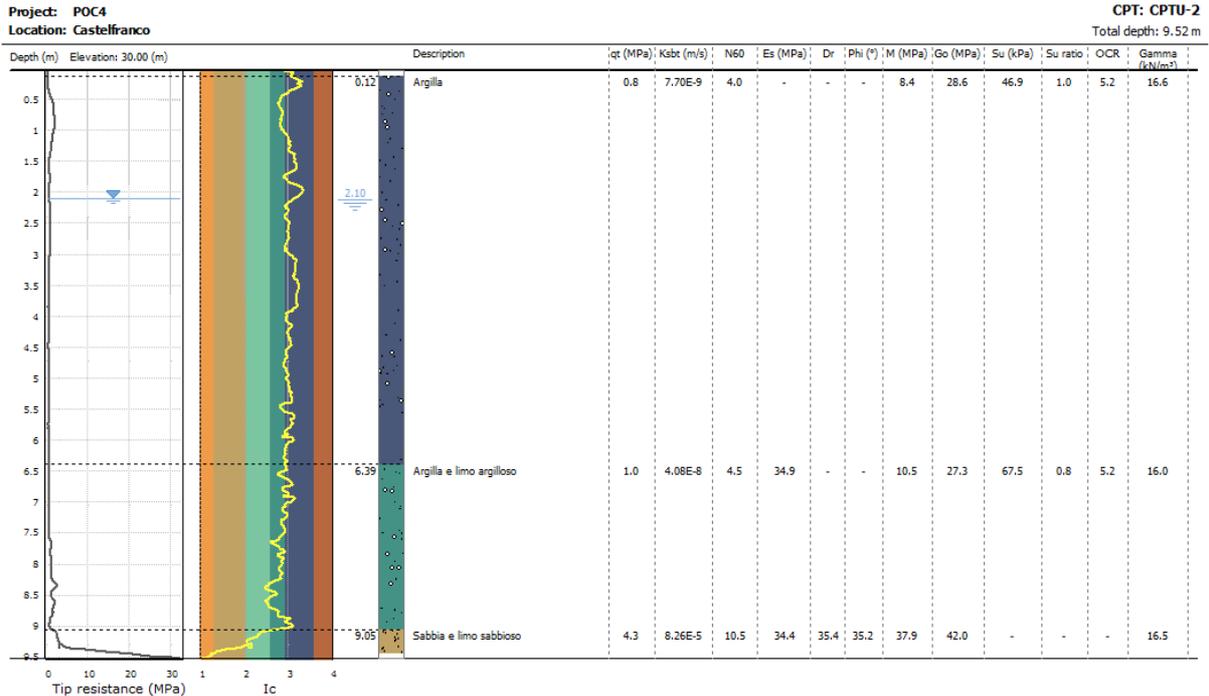


Tabella 2 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPTU2 eseguita all'interno del settore occidentale dell'ambito 50 ANP.

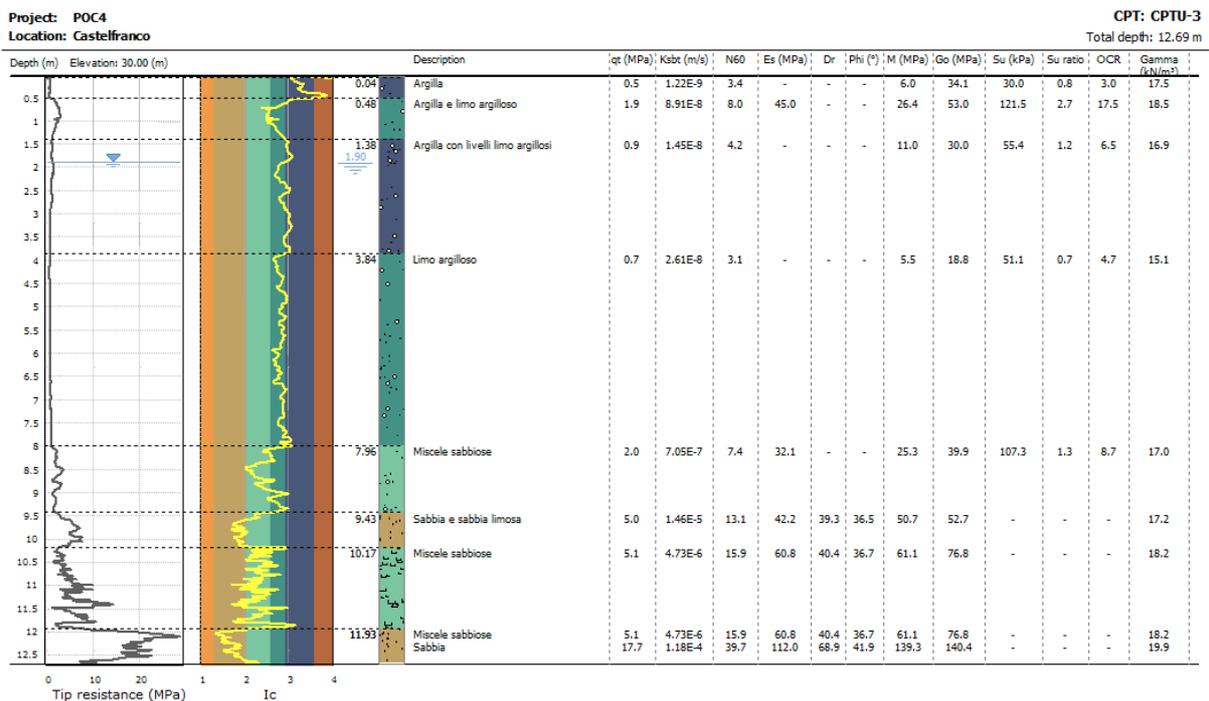


Tabella 3 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPTU3 eseguita all'interno del settore occidentale dell'ambito 50 ANP.

Come emerge dall'analisi delle 3 stratigrafie sopra riportate, i terreni argillosi dominano da piano campagna fino a 8-9 m. Maggior percentuale di terreni incoerenti (sabbie, miscele sabbiose) si riscontra nella CPTU3, già a partire da 8 m. I terreni argillosi presentano valori di coesione non drenata piuttosto scarsi, compresi tra 33 kPa (CPTU1) e 53 kPa (CPTU3). Laddove aumenta la percentuale

di limo si raggiungono valori di coesione non drenata molto maggiori (67 kPa nella CPTU2). Relativamente alle sabbie e alle miscele sabbiose, i valori di densità relativa sono compresi tra 35% (CPTU2) e 68% (CPTU1).

Il tetto delle ghiaie corrisponde, per ogni prova, con la profondità in corrispondenza della quale si è avuto il rifiuto alla penetrazione della punta, ovvero 9,5-12,5 m dal p.d.c.

Quanto emerso, dal punto di vista stratigrafico, dall'esame delle 3 CPTU conferma il quadro stratigrafico generale restituito dall'analisi delle indagini geognostiche pregresse descritto nella relazione precedente, di cui la presente costituisce integrazione.

Per quanto riguarda la porzione meridionale dell'ambito **39 APC.b**, la stratigrafia che emerge dalle CPTU è rappresentata nelle tabelle seguenti (tabelle 4-5), ove vengono riportati anche i principali parametri geotecnici medi.

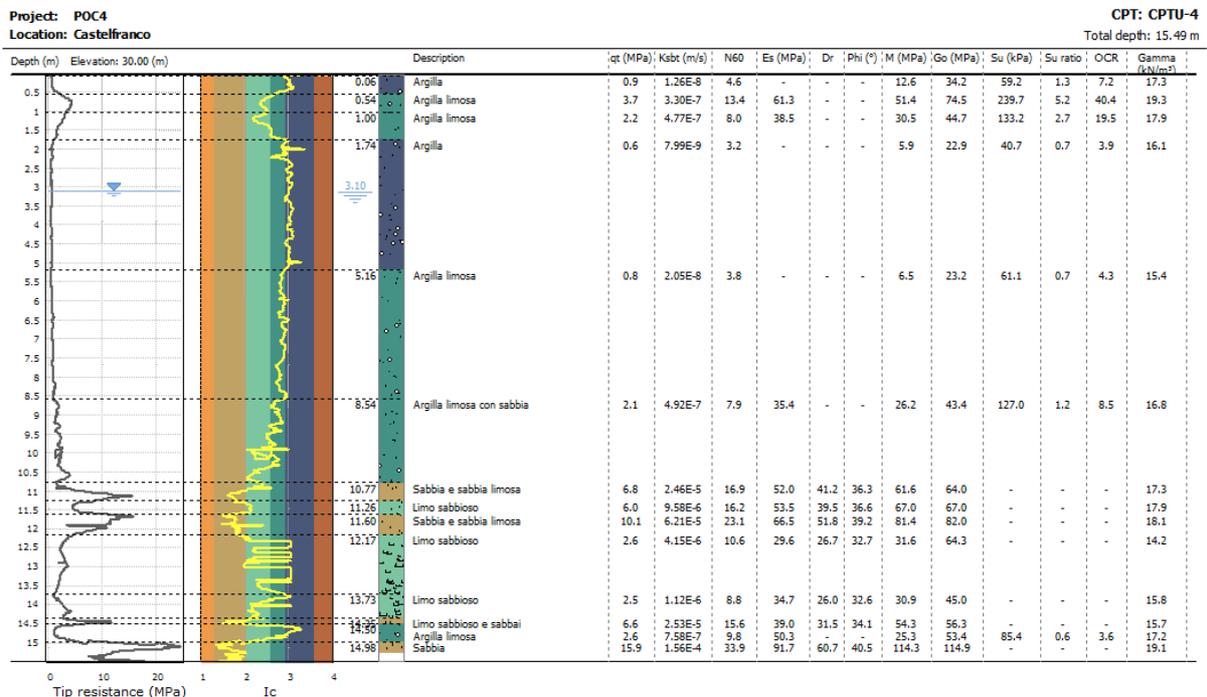


Tabella 4 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPTU4 eseguita all'interno del settore meridionale dell'ambito 39 APC.b.

Per quanto riguarda il settore meridionale dell'ambito 39 APC.b, le stratigrafie mostrano ancora una prevalenza di terreni argillosi nei primi 7-9 m. Da queste profondità a termine prova aumenta sensibilmente la percentuale di terreni incoerenti: nella CPTU4 sono rappresentati sabbie e limi sabbiosi, mentre nella CPTU5 è presente uno spessore di sabbia tra 8,56 e 12,44 m.

Il tetto delle ghiaie coincide anche qui con la profondità di rifiuto della sonda, ovvero a 12,5 e 13,5 m.

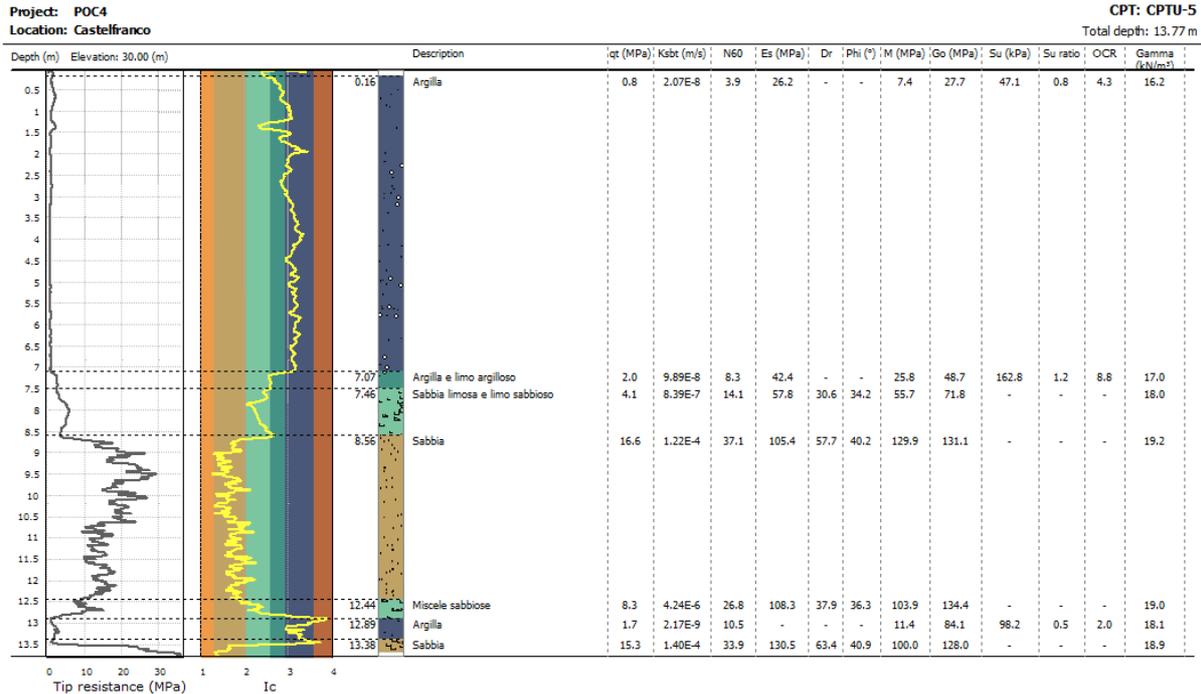


Tabella 5 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPTU5 eseguita all'interno del settore meridionale dell'ambito 39 APC.b.

Dal punto di vista della resistenza del terreno, gli strati argillosi presentano anche qui valori di coesione non drenata piuttosto scarsi, compresi tra 40 e 47 kPa; questi aumentano laddove maggiore è la presenza di limo, oltrepassando la soglia di 100 kPa. I terreni a prevalente percentuale incoerente mostrano bassi valori di addensamento laddove maggiore è la presenza di limo (densità relativa compresa tra 26 e 38%); gli strati sabbiosi, con minore presenza di limo, mostrano, invece, un maggiore addensamento, con densità relativa che arriva a massimi di 51-58%.

Per un quadro completo dell'analisi stratigrafica e geotecnica ricavata dalle 5 CPTU si rimanda all'Allegato 1 di questa relazione.

Si è voluto, infine, indagare, attraverso penetrometria dinamica super pesante (DPSH) l'andamento della resistenza oltre lo spessore indagato dalle CPTU. A questo scopo, in corrispondenza della sola CPTU2, a partire dalla profondità da questa raggiunta (circa 9,6 m), è stata eseguita una DPSH fino alla profondità di 15,6 m. Il profilo delle resistenze, in termini di numero di colpi per ogni avanzamento di 20 cm, è riportato nella Tabella 6.

La penetrometria dinamica è stata eseguita utilizzando il penetrometro dinamico DPSH TG 63-200 PAGANI, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>

Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90°

Profondità (m)	Num. colpi/20 cm
9,4	3
9,6	6
9,8	15
10	18
10,2	12
10,4	13
10,6	13
10,8	12
11	15
11,2	14
11,4	9
11,6	10
11,8	20
12	23
12,2	24
12,4	23
12,6	17
12,8	11
13	5
13,2	5
13,4	11
13,6	13
13,8	11
14	8
14,2	4
14,4	4
14,6	7
14,8	7
15	10
15,2	10
15,4	10
15,6	10

Tabella 6 – Profilo di resistenza all'avanzamento dinamico della punta penetrometrica (DPSH) in corrispondenza della CPTU2.

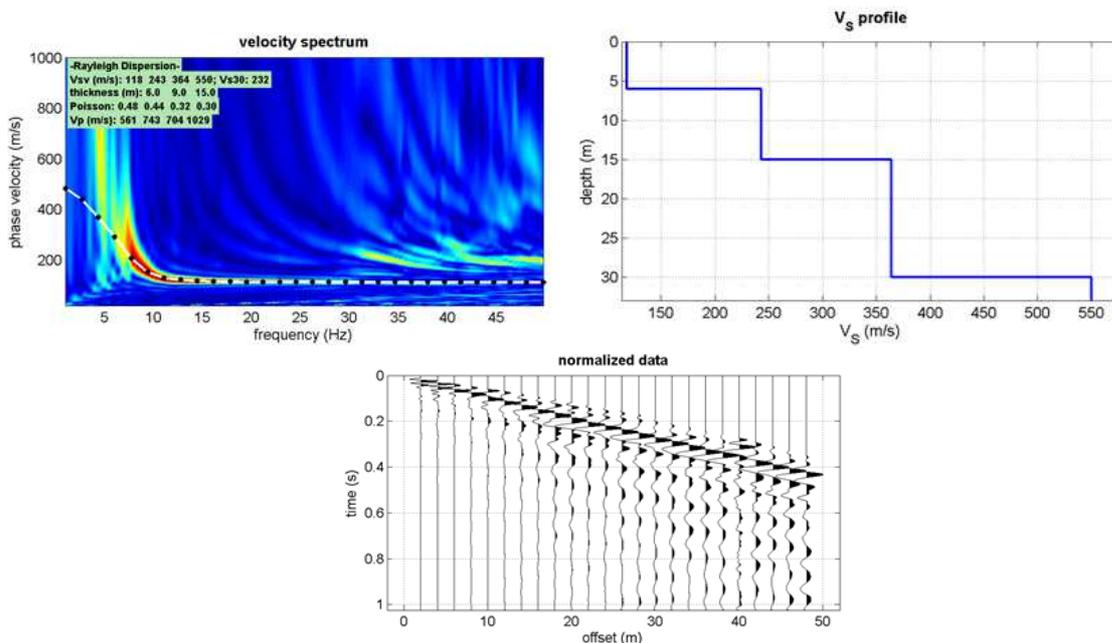
Dal profilo della DPSH si può dedurre la presenza di uno spessore ad elevata resistenza meccanica, verosimilmente costituito da ghiaie, intervallate da livelli a minor resistenza, costituiti da miscele sabbiose.

## 2. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica dei terreni è stato eseguito, nel mese di ottobre 2017, uno stendimento sismico composto da 24 geofoni per ognuna delle due aree d'integrazione; per il solo settore meridionale dell'ambito 39 APC.b è stata eseguita anche un'indagine HVSR. Mediante la metodologia d'analisi attiva MASW del segnale registrato dai geofoni, è stato possibile individuare la frequenza, l'ampiezza, la lunghezza d'onda e la velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente e calcolare il parametro di normativa  $V_{s30}$ . Le indagini sismiche sono state eseguite su terreno "naturale" (Figura 1). Esse hanno consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, permettendo di calcolare un valore di  $V_{s30}$  pari a:

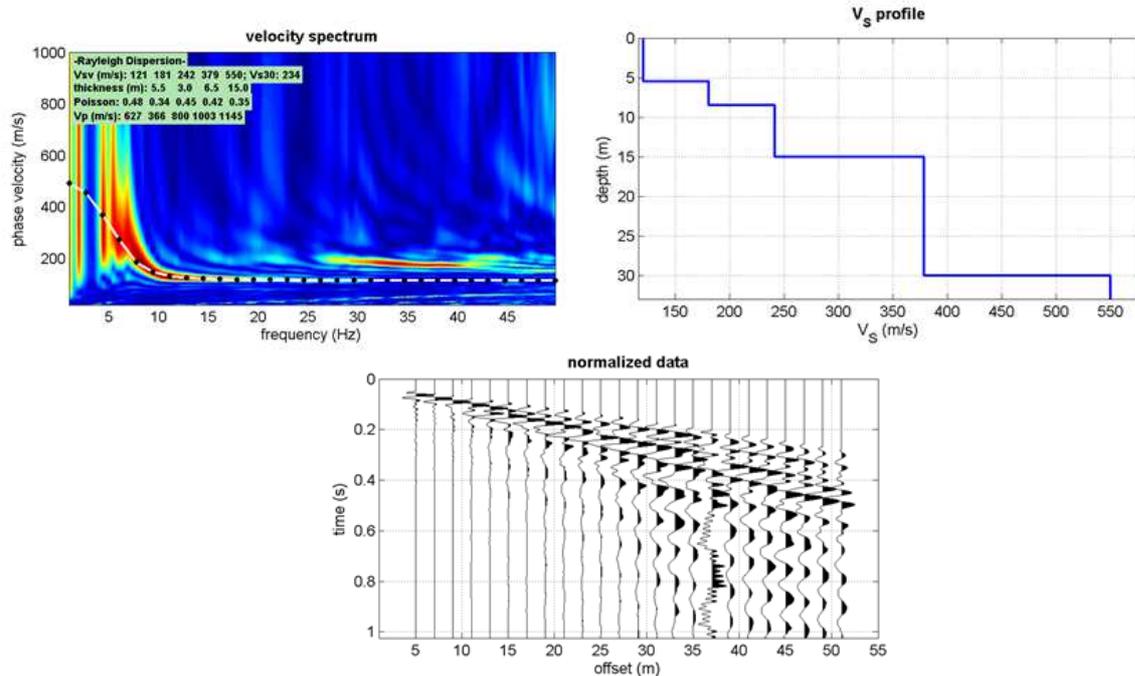
- 50 ANP, settore centro-occidentale: 232 m/s
- 39 APC.b, settore meridionale: 234 m/s

I due valori ottenuti dalle indagini MASW inseriscono i rispettivi terreni indagati all'interno della classe **C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*



Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
6.0	6.0	118
15.0	9.0	243
30.0	15.0	364
35.0	5.0	550

Figura 2 - Diagramma della curva di dispersione, diagramma velocità  $V_s$ /profondità e sismogramma relativi all'indagine MASW1 eseguita nel settore meridionale dell'ambito 39 APC.b.



Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
5.5	5.5	121
8.5	3.0	181
15.0	6.5	242
30.0	15.0	379
35.0	5.0	550

Figura 3 - Diagramma della curva di dispersione, diagramma velocità Vs/profondità e sismogramma relativi all'indagine MASW2 eseguita nel settore centro-occidentale dell'ambito 50 ANP.

Nel complesso, le sismostratigrafie mostrano andamenti pressoché identici, con la Vs che aumenta con la profondità e con un primo sensibile contrasto di velocità a circa 15 m, verosimilmente in corrispondenza del tetto del primo strato ghiaioso, ma senza mai raggiungere velocità delle onde s correlabili ad un bedrock sismico.

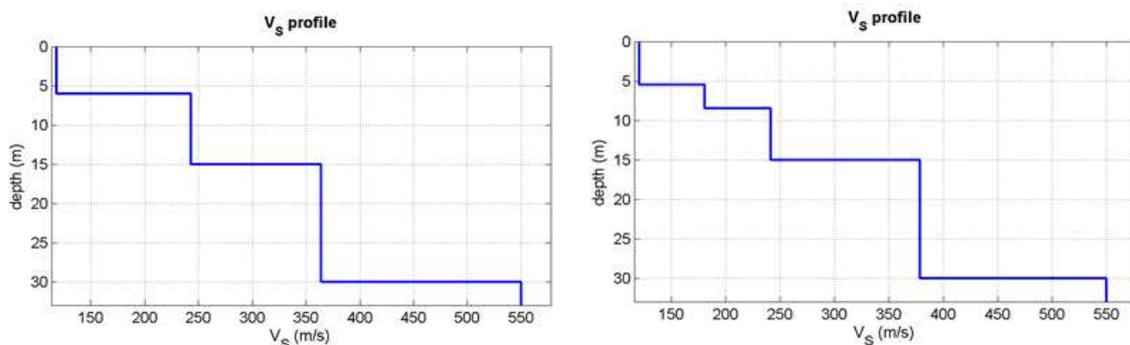


Figura 4 – Confronto dei profili di Vs ricavati dalle due indagini MASW eseguite per questo studio: a sinistra, area ambito 39 APC.b; a destra, area ambito 50 ANP.

L'indagine HVSR eseguita in prosimità della MASW1, nel settore meridionale dell'ambito 39 APC.b, ha evidenziato un picco della curva H/V a circa 3,6 Hz, perfettamente coerente con le pregresse misurazioni di rumore ambientale riportate nella precedente relazione ed in Figura 1 della presente.

### 3. FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA ED EFFETTI DI SITO

Sulla base delle stratigrafie ricavate dalle indagini effettuate in situ e dai dati bibliografici raccolti nella precedente relazione, in riferimento alla DGR 2193/2015, si possono collocare le aree in esame all'interno dell'ambito geomorfologico e litostratigrafico denominato "Margine" e, nello specifico, in quello di "tipo B", ovvero caratterizzato da spessore dei terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato.

Anche per i terreni indagati dai sondaggi integrativi sopra descritti, considerata la presenza di livelli sabbiosi (e/o con miscele sabbiose) a luoghi poco addensati, sotto falda, si è reso necessario eseguire un'analisi di suscettività alla liquefazione attraverso il metodo semplificato di Boulanger & Idriss (2014). Per far questo è stata ripresa l'analisi di risposta sismica locale effettuata nella precedente relazione (a cui si rimanda per tutti i dettagli), adattandola alle due nuove aree.

La profondità del bedrock sismico è stata presa pari a **120 m**, ovvero alla profondità considerata dalla DGR 2193/2015 come corrispondente al bedrock sismico per l'ambito di Margine B.

La presenza del picco di 3,6 Hz nelle curva H/V eseguita a fianco della MASW1, ha permesso di definire anche la profondità di quella che può essere identificata come una importante superficie a significativo contrasto d'impedenza, più superficiale rispetto a quella del bedrock sismico di cui sopra, ma comunque importante da considerare ai fini dell'amplificazione sismica locale.

Tramite la nota formula per ricavare la profondità dell'interfaccia risonante, note la velocità media delle onde Vs nei metri più superficiali del terreno e la frequenza fondamentale da HVSR:

$$H = \frac{V_s}{4f_0}$$

si è ottenuta una profondità pari a circa 16 m, ovvero del tutto compatibile con la profondità locale del tetto del primo strato ghiaioso, in analogia con quanto descritto per le aree adiacenti nella precedente relazione.

L'esistenza di questa interfaccia potenzialmente importante per l'amplificazione sismica di sito, ha indotto a scomporre l'analisi di risposta sismica locale, per ogni area, in due sotto-analisi: una che ancora l'input sismico alla profondità del

bedrock profondo; una che ancora l'input sismico alla profondità dell'interfaccia con le prime ghiaie.

Nelle analisi di risposta sismica locale, la DGR 2193/2015 fa obbligo di utilizzare la terna di accelerogrammi di input individuata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli per l'intera Regione, opportunamente scalata al valore di PGA di riferimento del nodo della rete più prossimo all'area di studio, nelle fattispecie pari a **0,1642g**.

I profili stratigrafici sono stati inseriti sulla base dell'elaborazione delle verticali penetrometriche CPTU, eseguite per questo studio, che mostrano caratteristiche di resistenza meccanica minori: la CPTU 2 per l'area in 50 ANP e la CPTU4 per l'area in 39 APC.b. Come nella precedente relazione, oltre la profondità raggiunta dalle CPTU, le stratigrafie sono state assunte uguali a quelle ricavabili dai pozzi per acqua prossimi alle aree (vedasi relazione precedente). Laddove la stratigrafia del pozzo non è risultata sufficiente a descrivere la sequenza stratigrafica sino alla profondità stimata del bedrock sismico, la stratigrafia è stata integrata con l'analisi della Sezione nr. 066 della Regione Emilia-Romagna (vedasi relazione precedente).

I valori di  $V_s$  sono stati calcolati dai profili derivati dalle analisi MASW eseguite dallo scrivente per questo studio; i valori di  $V_s$  sono stati estrapolati in profondità sulla base della linea di tendenza lineare dei profili di  $V_s$ .

Variando spessori degli strati,  $V_s$  e curve di degrado dei materiali (utilizzando sia curve a disposizione dello scrivente per litologie simili, ricavate da indagini di laboratorio geotecnico da campioni estratti in contesti stratigrafici simili a quello di studio, sia le curve fornite dallo stesso programma di calcolo corredate dalle possibili incertezze), il software STRATA<sup>1</sup> ha eseguito, per i 3 accelerogrammi, 100 analisi di risposta sismica da cui scaturiscono altrettanti spettri di risposta elastici in superficie.

I risultati complessivi (per SLV) sono sintetizzati nelle figure da 5 a 8, in cui vengono rappresentate la curva 84° percentile dello spettro di risposta in superficie (NON normalizzato) ottenuto da RSL e, per confronto, la sua forma normalizzata, lo spettro di Normativa normalizzato per l'area di studio: SLV, sottosuolo di tipo A e di tipo C. Si è optato per considerare lo spettro 84° percentile dei 100 restituiti per ottenere un risultato conservativo solitamente considerato efficace nella consuetudine operativa.

Come si può vedere dall'esame delle figure da 5 a 8, l'analisi di risposta sismica locale è più conservativa rispetto all'approccio semplificato di Normativa per suolo C. Lo spettro di RSL risulta molto più amplificato rispetto a quello di normativa per suolo C nei periodi 0,2-0,5s.

In tutte le due aree, utilizzare il bedrock sismico a -120 m piuttosto che l'interfaccia risonante superficiale, specifica per ogni area, porta a risultati più gravosi dal punto di vista dell'amplificazione locale, in particolare nei periodi 0,4-2s, per l'area dell'ambito 39 APC.b, e nei periodi 0,2-2s per l'area nell'ambito 50 ANP.

---

<sup>1</sup> Kottke, A.R. & Rathje, E.M. (2008) – Technical Manual for Strata. PEER Report 2008, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 81 p.

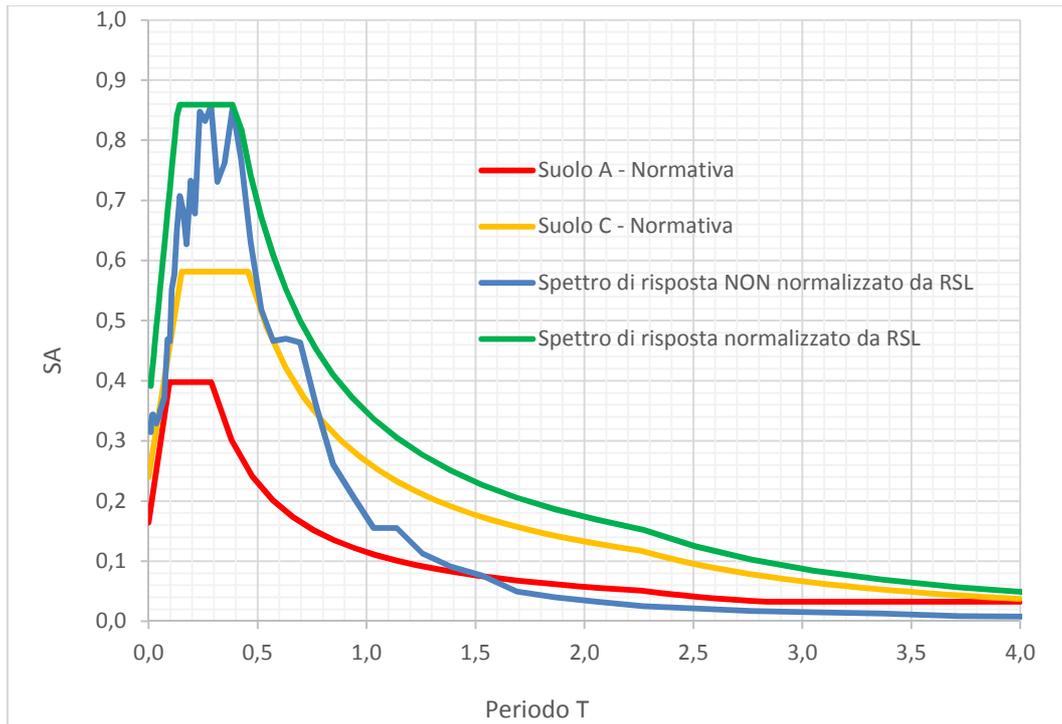


Figura 5 - Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale, ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio presso l'area meridionale dell'ambito **39 APC.b**, considerando l'interfaccia risonante alla profondità di -15 m. Lo stesso viene confrontato con la sua forma normalizzata e con lo spettro di normativa per suolo A e per suolo C (SLV).

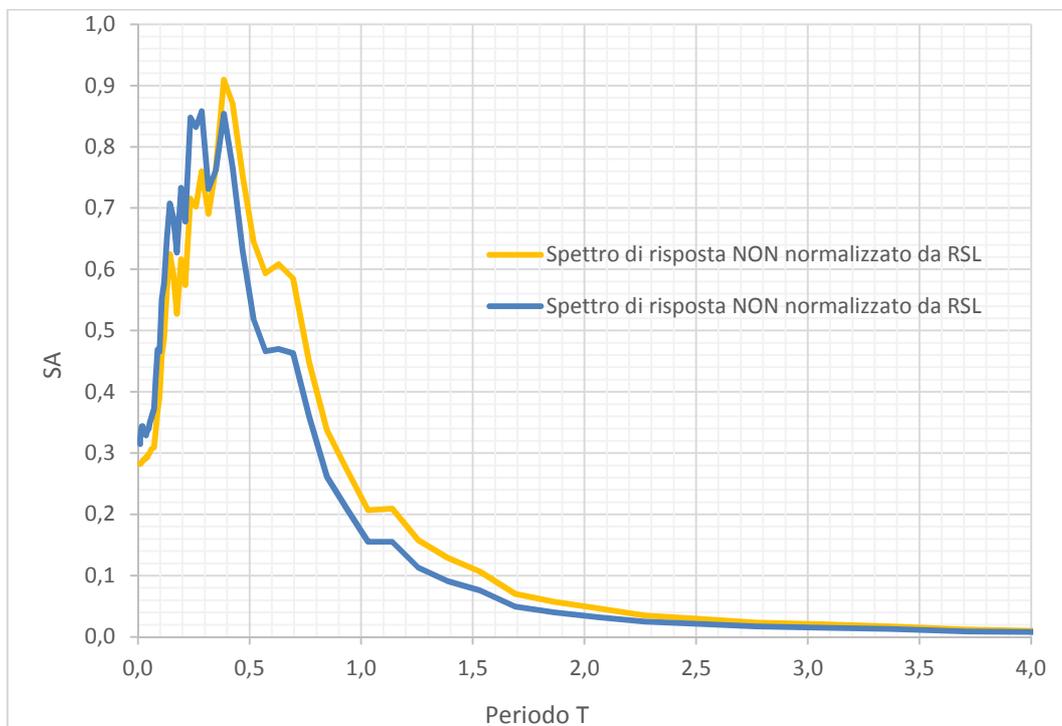


Figura 6 - Confronto tra gli spettri di risposta visco-elastici, NON normalizzati, ottenuti da analisi di risposta sismica locale eseguita presso l'area meridionale dell'ambito **39 APC.b** considerando il bedrock sismico a -120 m (linea arancio) e l'interfaccia risonante a -15 m (linea blu).

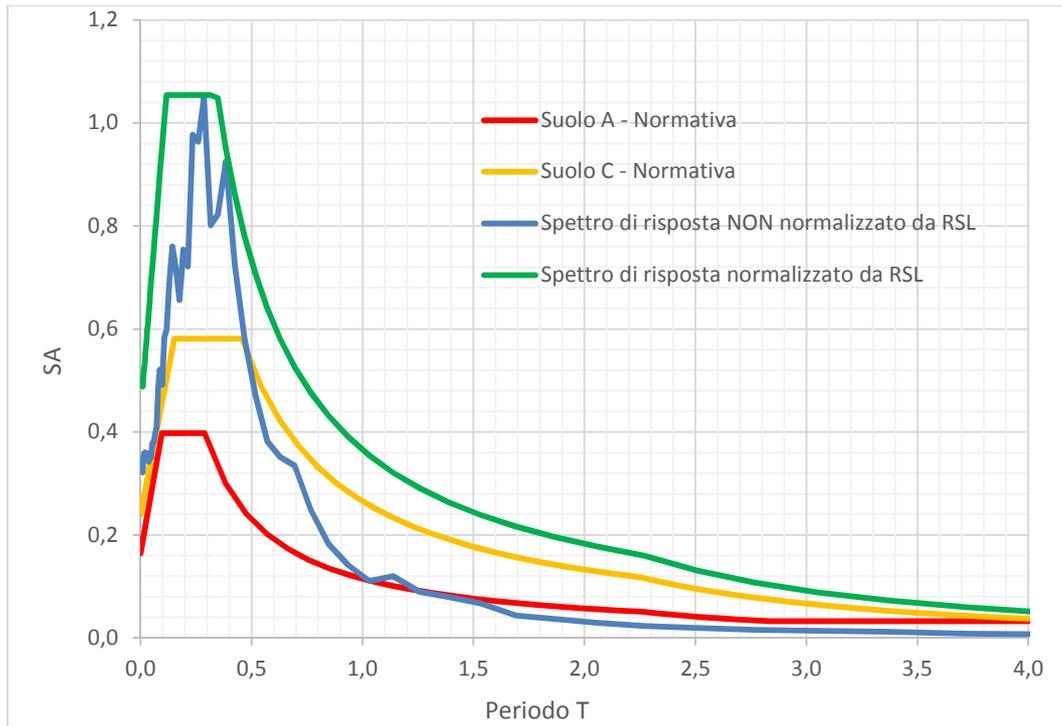


Figura 7 - Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale, ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio presso l'area centro-occidentale dell'ambito **50 ANP**, considerando l'interfaccia risonante alla profondità di -15 m. Lo stesso viene confrontato con la sua forma normalizzata e con lo spettro di normativa per suolo A e per suolo C (SLV).

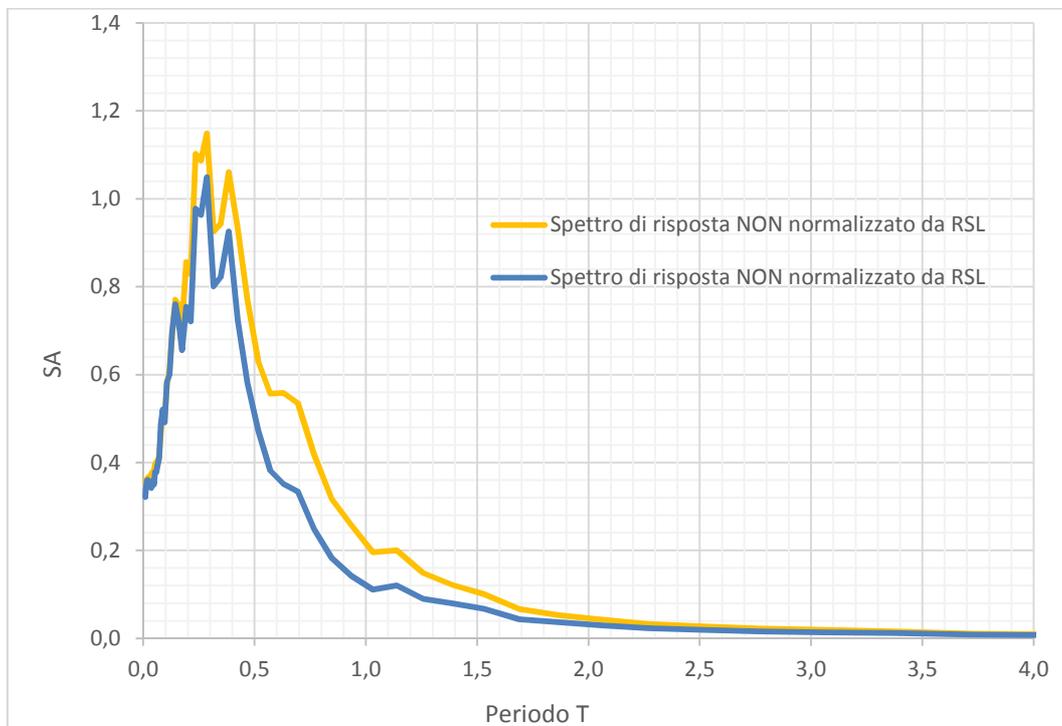


Figura 8 - Confronto tra gli spettri di risposta visco-elastici, NON normalizzati, ottenuti da analisi di risposta sismica locale eseguita presso l'area centro-occidentale dell'ambito **50 ANP** considerando il bedrock sismico a -120 m (linea arancio) e l'interfaccia risonante a -15 m (linea blu).

I fattori di amplificazione, *sensu* DGR 2193/2015, nei vari casi esplorati dalla risposta sismica locale, sono i seguenti (Tabella 7):

FA	prof. input sismico	39 APC.b		50 ANP	
		-15	-120	-15	-120
PGA		1,92	1,72	1,96	2,2
SI1		2,3	2,2	2,3	2,7
SI2		2	2,6	1,5	2,4
SI3		1,8	2,3	1,3	2,2

Tabella 7 – Sintesi dei fattori di amplificazione sismica per la PGA e per gli intervalli dell'intensità di Housner secondo DGR2193/2015, calcolati nei vari scenari di risposta sismica locale contemplati in questo studio.

### 3.1. Amplificazione topografica

Considerando le condizioni topografiche e morfologiche delle quattro aree di studio (pianura, superficie topografica sub-orizzontale, assenza di aree di cava colmate), il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  può essere considerato del tutto trascurabile.

### 3.2. Suscettibilità alla liquefazione

La recente microzonazione sismica del territorio comunale, nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS" (Tav. 7.1), realizzata con il contributo di cui all'OPCM 4007/20012, con il coordinamento della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, sismico e dei suoli) (Figura 9), vede la presenza di possibili fenomeni di liquefazione ( $Z_{LQ1}$ ) in corrispondenza dei paleoalvei e di un'area coincidente, in gran parte, con l'area "Bergamini" e con il settore meridionale dell'ambito 39 APC.b.

A causa di questa possibile intersezione delle aree in esame con le  $Z_{LQ1}$ , è stata eseguita un'analisi di suscettibilità alla liquefazione anche in corrispondenza delle verticali penetrometriche eseguite dallo scrivente per questo studio, utilizzando l'algoritmo di calcolo sviluppato da Boulanger & Idriss (2014). Il metodo risulta generalmente più conservativo rispetto ad altri metodi semplificati riconosciuti dalla bibliografia scientifica, in grado di restituire indici di potenziale liquefazione che, nel caso della sua applicazione nel cratere degli eventi sismici del 2012, meglio si correlano a quanto effettivamente osservato in termini di manifestazioni superficiali del fenomeno della liquefazione.

La magnitudo di riferimento per la liquefazione utilizzata è stata selezionata dalla tabella in Allegato 1 delle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)", versione 1.0 (2017) della Commissione tecnica per la microzonazione sismica. Il suo valore è **5,98** per Castelfranco Emilia. Il valore di accelerazione massima al suolo (PGA) è stato calcolato applicando il codice di calcolo SASHA per la stima della pericolosità sismica da dati di sito (D'Amico & Albarello, 2007) ed è risultato pari a **0,35g** per le aree in esame. Questa scelta si avvale proprio delle più recenti indicazioni contenute nelle linee

guida nazionali di cui sopra, che si ritengono più innovative rispetto alle indicazioni precedentemente indicate dalla letteratura in materia.

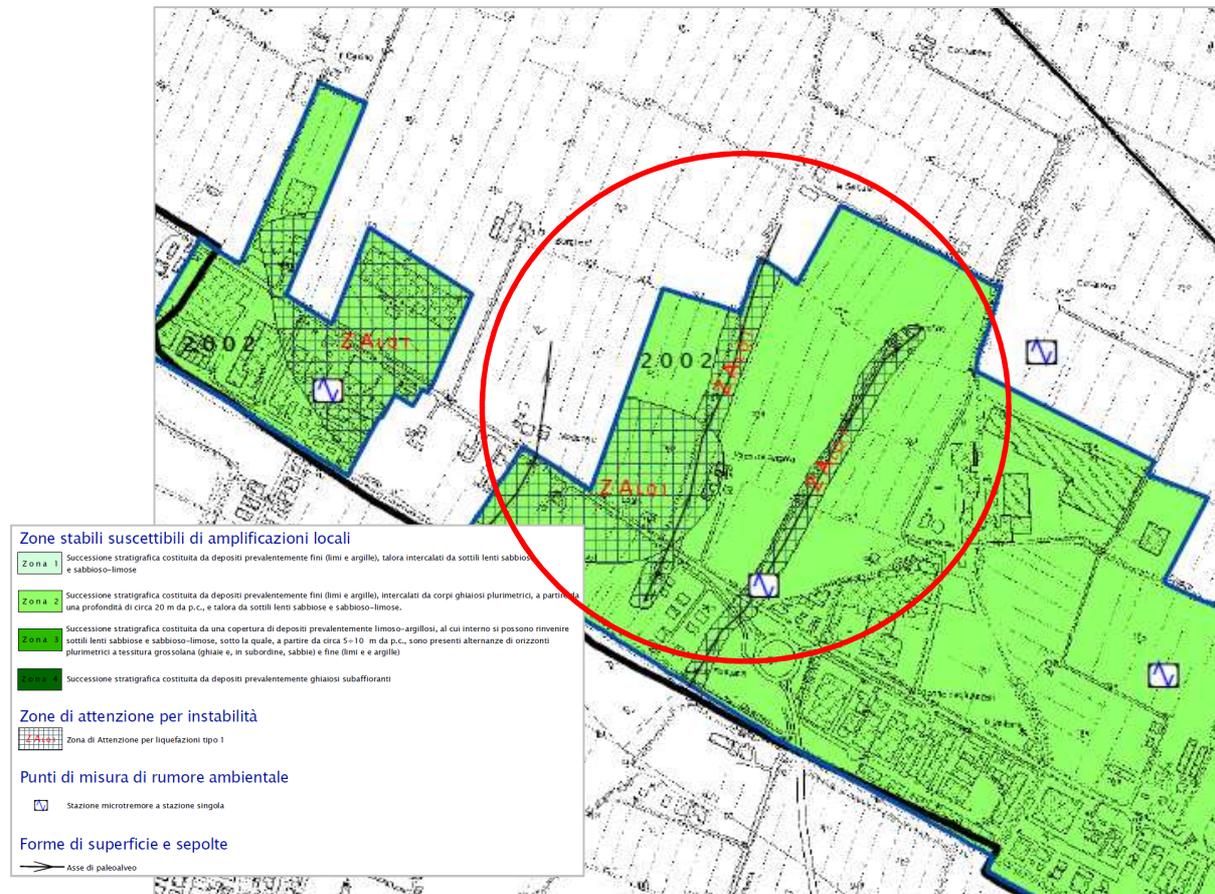


Figura 9 – Stralcio della Tav. 7.1 “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS” della variante PSC in materia di microzonazione sismica. Il cerchio rosso individua le aree di studio.

Il profilo di CSR (Rapporto di Sforzo Ciclico – Cyclic Stress Ratio) ricavato dalle analisi di risposta sismica locale effettuate, è stato inserito nel codice di calcolo di Boulanger & Idriss (2014) per il calcolo dell’IPL. Il risultato è riassunto in Tabella 8.

CPT/ CPTU	prof. input sism.	50 ANP				39 APC.b (settore sud)			
		-15		-120		-15		-120	
		PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm	PL	C cm
1		0,4	0,2	0,6	0,3				
2		1,8	1,2	2	1,2				
3		<b>5</b>	3	<b>6</b>	3,2				
4						<b>8,8</b>	5	<b>9</b>	5,2
5						0	2,2	0	2

Tabella 8 – Indice di potenziale liquefazione (PL) e cedimenti post-sismici (C) calcolati per ogni verticale penetrometrica inserendo nel codice di calcolo di Boulanger & Idriss (2014) il profilo di CSR ricavato dalle analisi di risposta sismica locale eseguite nel doppio scenario di profondità della superficie di immissione dell’input sismico.

Come si vede da Tabella 8, l'indice di potenziale liquefazione è inferiore a 2, ovvero indicativo di una pericolosità per liquefazione "bassa" in base a Sonmez (2003), nelle CPTU 1, 2 e 5, e "alta" in corrispondenza delle CPTU 3 e 4.

I cedimenti verticali post-sismici sono minimi (inferiori al centimetro) per la CPTU 1, mentre sono compresi tra 1 e 2 cm per le CPTU 2 e 5. Maggiori sono i cedimenti per le CPTU 3 e 4, caratterizzate dai maggiori indici di potenziale liquefazione, rispettivamente pari a 3 e 5 cm.

Si riportano, a seguire (Figura 10 e Figura 11) le elaborazioni grafiche di zonizzazione sismica effettuate a valle dei risultati di analisi di risposta sismica locale e di suscettività a liquefazione eseguiti per questo studio, integrati con i risultati delle stesse analisi effettuate nella precedente relazione.

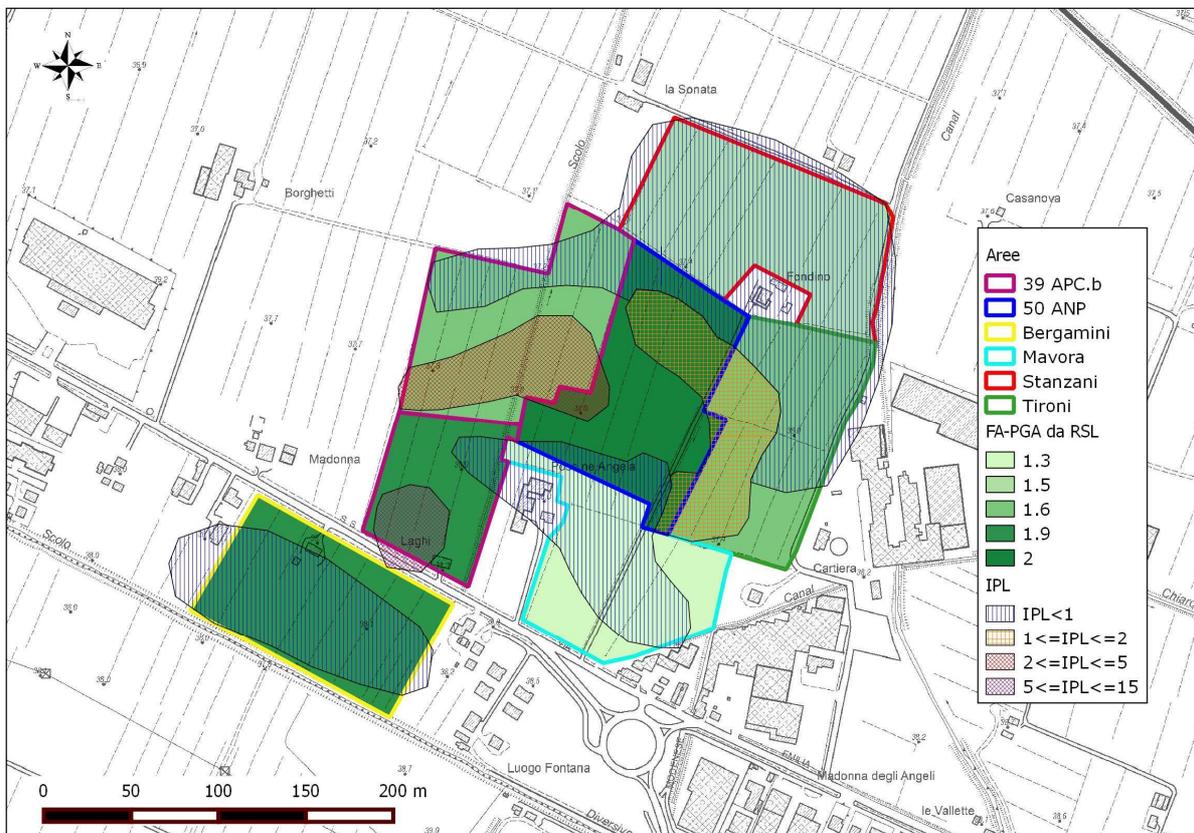


Figura 10 – Microzonazione sismica delle aree indagate, nello scenario di risposta sismica locale con interfaccia risonante superficiale. In tonalità di verde le aree contraddistinte da diversi fattori di amplificazione sismica sulla base delle analisi di risposta sismica locale effettuate per questo studio. Ad esse sovrapposte, le aree a diverso grado di suscettività alla liquefazione in base alla classificazione di Sonmez (2003).

Le immagini traducono in veste grafica quanto già riportato testualmente sopra, ovvero una maggiore amplificazione del segnale sismico per le aree 50 ANP, 39 APC.b (settore sud) e Bergamini. Relativamente al potenziale di liquefazione, le aree a maggior pericolosità ricadono principalmente all'interno dell'ambito 39 APC.b, specialmente nel suo settore meridionale, e in minor parte all'interno dell'ambito 50 ANP (settore centro-occidentale).

Lo scenario con bedrock sismico a -120 m determina un leggero innalzamento dei valori dell'indice di potenziale liquefazione rispetto allo scenario con superficie risonante superficiale.

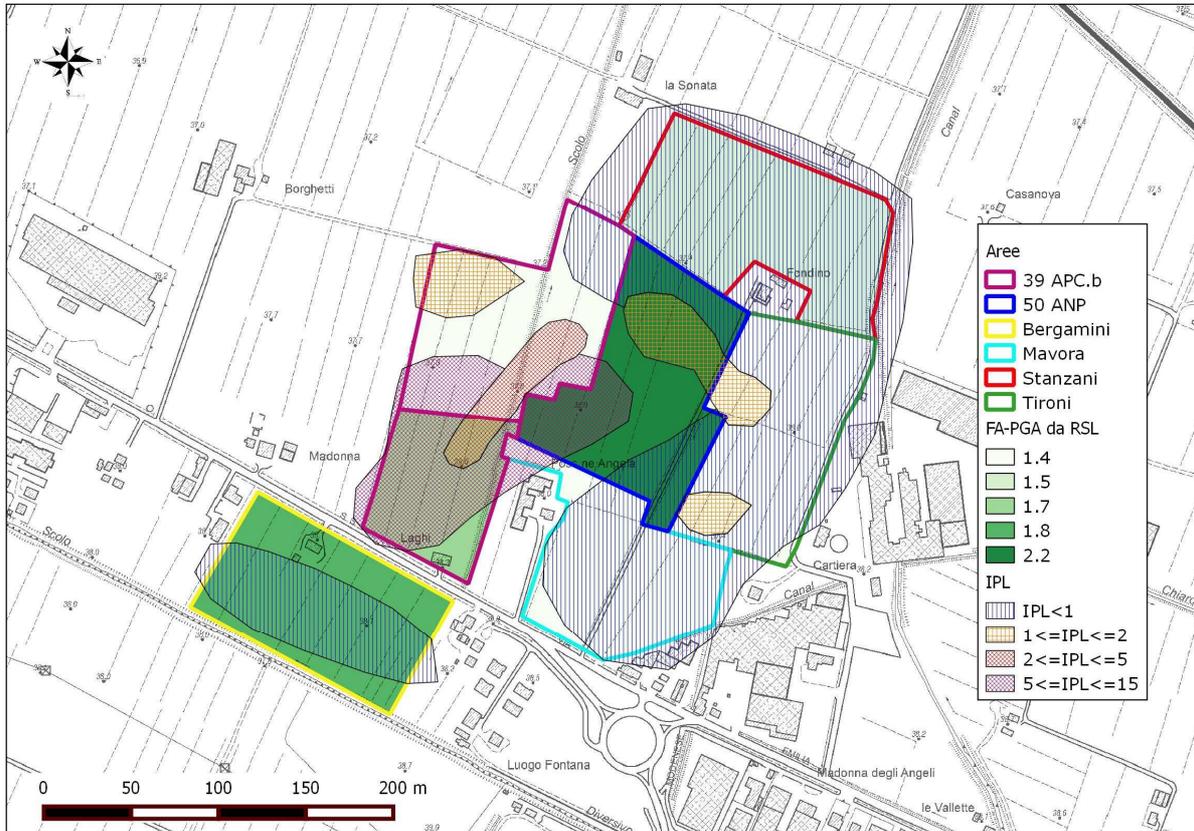


Figura 11 - Microzonazione sismica delle aree indagate, nello scenario di risposta sismica locale con bedrock sismico a -120 m. In tonalità di verde le aree contraddistinte da diversi fattori di amplificazione sismica sulla base delle analisi di risposta sismica locale effettuate per questo studio. Ad esse sovrapposte, le aree a diverso grado di suscettività alla liquefazione in base alla classificazione di Sonmez (2003).

#### 4. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Dall'analisi integrata dei dati scientifici disponibili in bibliografia, delle osservazioni di campagna effettuate durante il sopralluogo e dei dati acquisiti ed elaborati grazie ai sondaggi geognostici e sismici eseguiti, è stato possibile caratterizzare il terreno delle aree in esame dai punti di vista litostratigrafico, geotecnico e sismico ed esprimere un giudizio sulla fattibilità degli interventi di trasformazione previsti dalla Variante IV al POC.

Giudizio che è risultato essere positivo e che ha permesso di dichiarare la **fattibilità degli interventi di trasformazione previsti dalla Variante IV al POC.**

Dallo studio eseguito emerge come le aree si collochino in zone a debolissima inclinazione topografica, che permettono uno sviluppo urbanistico senza particolari problemi, con presenza, nei primi 16 m dal p.d.c. indagati dalle prove penetrometriche, di terreni fini, principalmente limo-argillosi, con pochi e sottili livelli sabbiosi. Solo in corrispondenza delle CPT3 e CPT4 e della CPTU5 dell'ambito 39 ASP.b è presente un consistente spessore sabbioso tra circa -9 e -12 m, poco addensato.

La resistenza geomeccanica dei terreni è risultata essere alquanto scarsa (a luoghi mediocri), con valori di coesione non drenata che tendono a diminuire con la profondità rispetto ai metri più superficiali. Questo deve indurre a porre attenzione, nelle successive fasi progettuali, alla verifica accurata dei profili di resistenza dei terreni in relazione alle eventuali strutture da realizzarsi, prevedendo, eventualmente, di indirizzare una campagna geognostica ad hoc per il prelievo e l'analisi in laboratorio geotecnico di campioni indisturbati di terreno.

La soggiacenza della falda più superficiale, sulla scorta dei dati elaborati dal QC del PSC di Castelfranco Emilia, dovrebbe attestarsi intorno a -5 m dal p.d.c.; in occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche, il livello di falda è stato rilevato a -3 m dal p.d.c. nell'area "Stanzani", a -1,8 m dal p.d.c. nell'area "Tironi"; a -1,4 m dal p.d.c. nell'area "Mavora", a -1,8 m dal p.d.c. nell'area "Bergamini" e a -1,5-3,5 m nell'Ambito 39 APC.b.

Per la caratterizzazione sismica del terreno presente nelle 4 aree degli ambiti 50 ANP e 58 ANP, sono stati utilizzati i dati ricavati da altrettanti profili a sismica passiva (HVSR) realizzati all'interno di ogni area d'indagine, su terreno naturale, dal Dott. Geol. C. Preci; per quella dell'ambito 39 APC.b sono stati utilizzati i dati di uno stendimento sismico a rifrazione eseguito dallo scrivente nel 2007 lungo il limite settentrionale. Ad integrazione, nell'ottobre 2017 sono state eseguite un'indagine MASW nel settore centro-occidentale dell'ambito 50 ANP ed una nel settore meridionale dell'ambito 39 APC.b, quest'ultima affiancata da una verticale HVSR.

I dati elaborati hanno restituito valori di  $V_{S30}$  che permettono di assegnare a tutti i terreni in esame la categoria di suolo **C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

Sono stati, inoltre, determinati i fattori litostratigrafici di amplificazione sismica in base a quanto disposto dalla DGR 2193/2015, a valle dell'esecuzione di un'analisi di risposta sismica locale che, per le particolari condizioni stratigrafiche locali, è stata suddivisa in due scenari distinti, per ogni area, in base alla profondità del bedrock sismico e della principale superficie di risonanza superficiale, non assimilabile a bedrock sismico, ma comunque indice della presenza di un sensibile contrasto d'impedenza, non trascurabile per la risposta di sito. L'amplificazione topografica è risultata trascurabile.

In considerazione della stratigrafia evidenziata dalle prove eseguite in situ e dai dati bibliografici consultati, è stato eseguito, in corrispondenza di ogni verticale penetrometrica, un calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione attraverso la metodologia proposta da Boulanger & Idriss (2014). La pericolosità alla liquefazione (*sensu* Sonmez, 2003) vede le aree a maggior pericolosità ricadere principalmente all'interno dell'ambito 39 APC.b, specialmente nel suo settore meridionale, e in minor parte all'interno dell'ambito 50 ANP (sette centro-occidentale).

In generale, la configurazione litostratigrafia, geotecnica e sismica rende possibile ipotizzare l'adozione di fondazioni dirette superficiali, ma il cui dimensionamento strutturale dovrà comunque avvalersi di nuove indagini geognostiche e geofisiche da eseguirsi in corrispondenza delle specifiche aree di progetto. E' auspicabile un confronto tra i risultati delle nuove indagini specifiche e i parametri geotecnici e sismici ricavati in questa sede.

Relativamente alla nuova campagna d'indagini da eseguirsi in fase esecutiva, si ribadisce la particolare attenzione da porre nei confronti dell'osservato decadimento delle proprietà geomeccaniche dei terreni fini con la profondità e dei conseguenti possibili cedimenti a breve e lungo termine che si possono generare, anche in condizione post-sismica.

Le nuove indagini penetrometriche (da eseguirsi preferibilmente attraverso l'utilizzo di punta elettrica e piezocono), oltre a dettagliare con maggior risoluzione spaziale la stratigrafia locale, potranno individuare, laddove i valori dei parametri di resistenza geomeccanica risultino particolarmente scarsi, le profondità da cui eventualmente estrarre campioni di terreno, indisturbati, per prove di laboratorio geotecnico, sia in campo statico che dinamico.

Le stesse penetrometrie dovranno essere impiegate per calcolare l'Indice di Potenziale Liquefazione a valle di nuove analisi di risposta sismica locale, considerato che, per le aree esaminate in questa sede, la distribuzione spaziale e verticale dei livelli sabbiosi è risultata estremamente variabile.

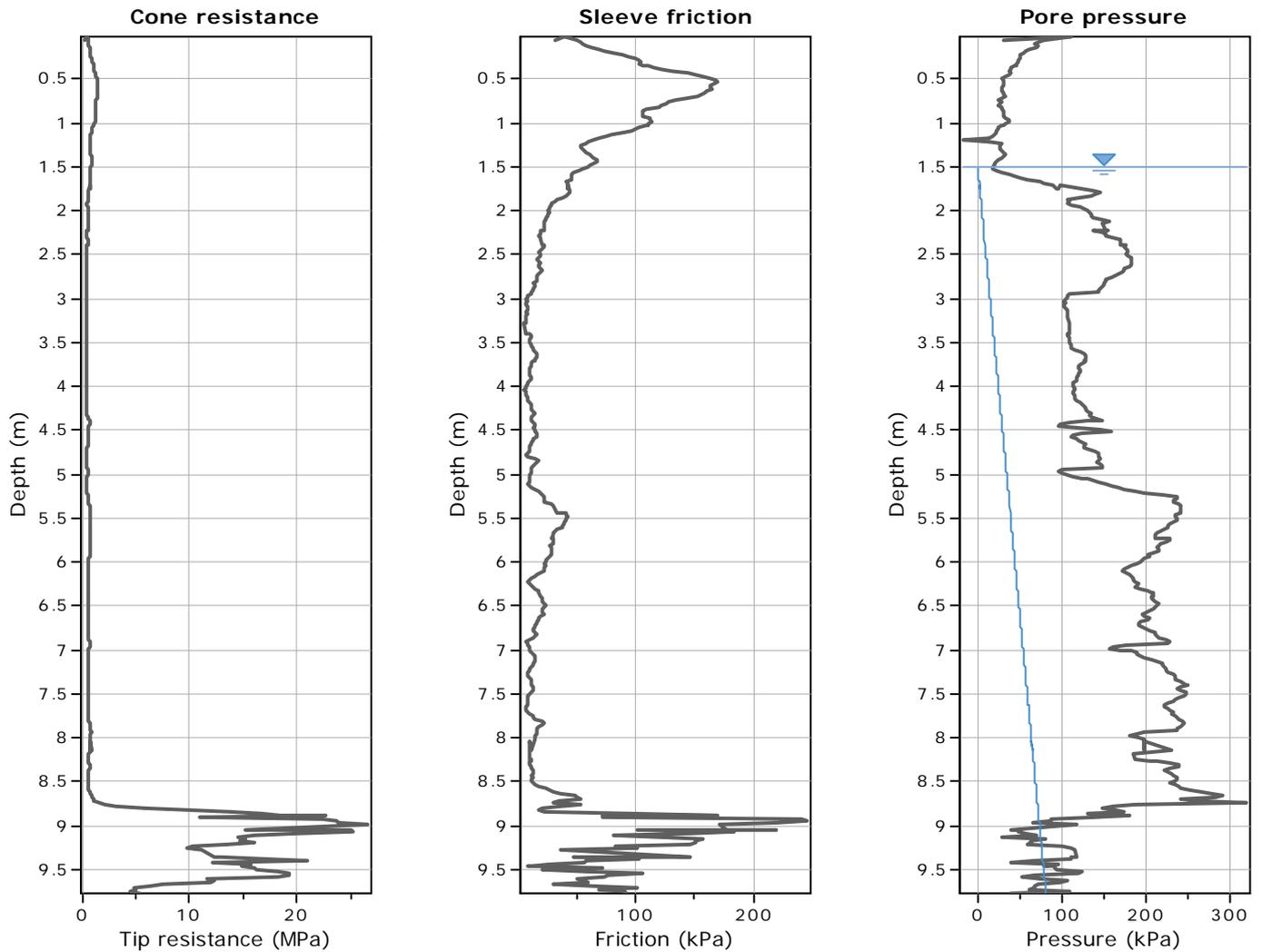
Modena, 25/10/2017

Il Tecnico incaricato

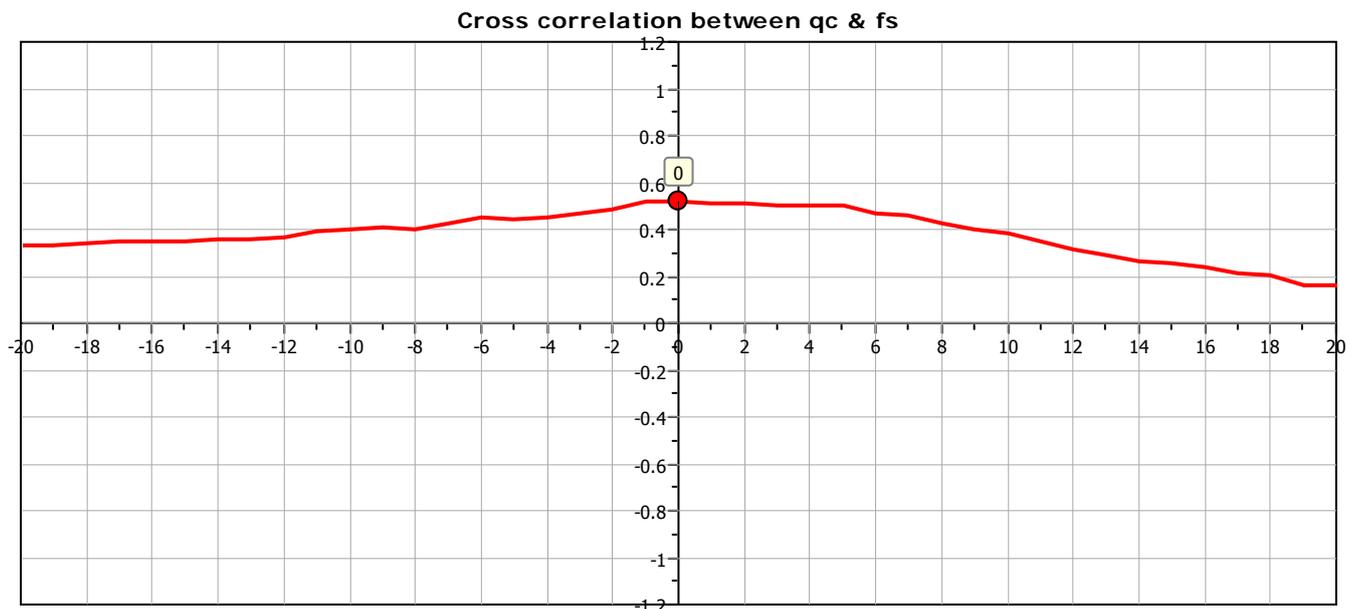
Dott. Geol. Valeriano Franchi

# **Allegato 1**

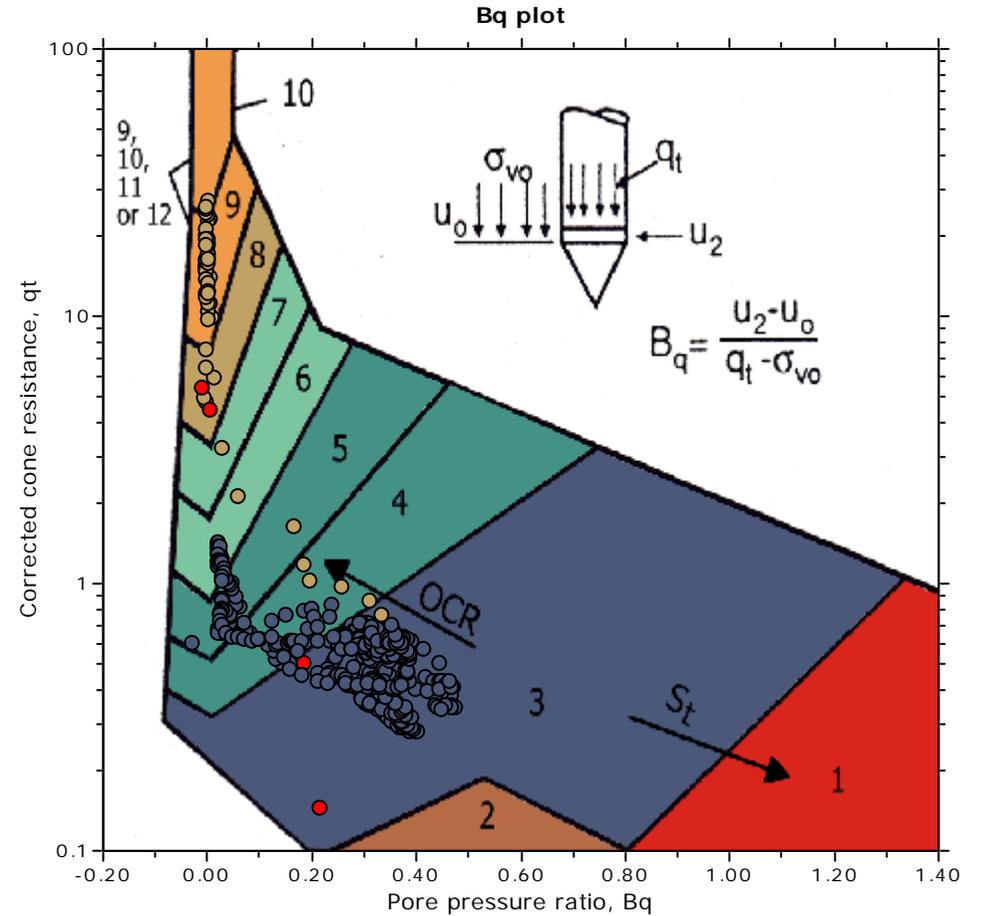
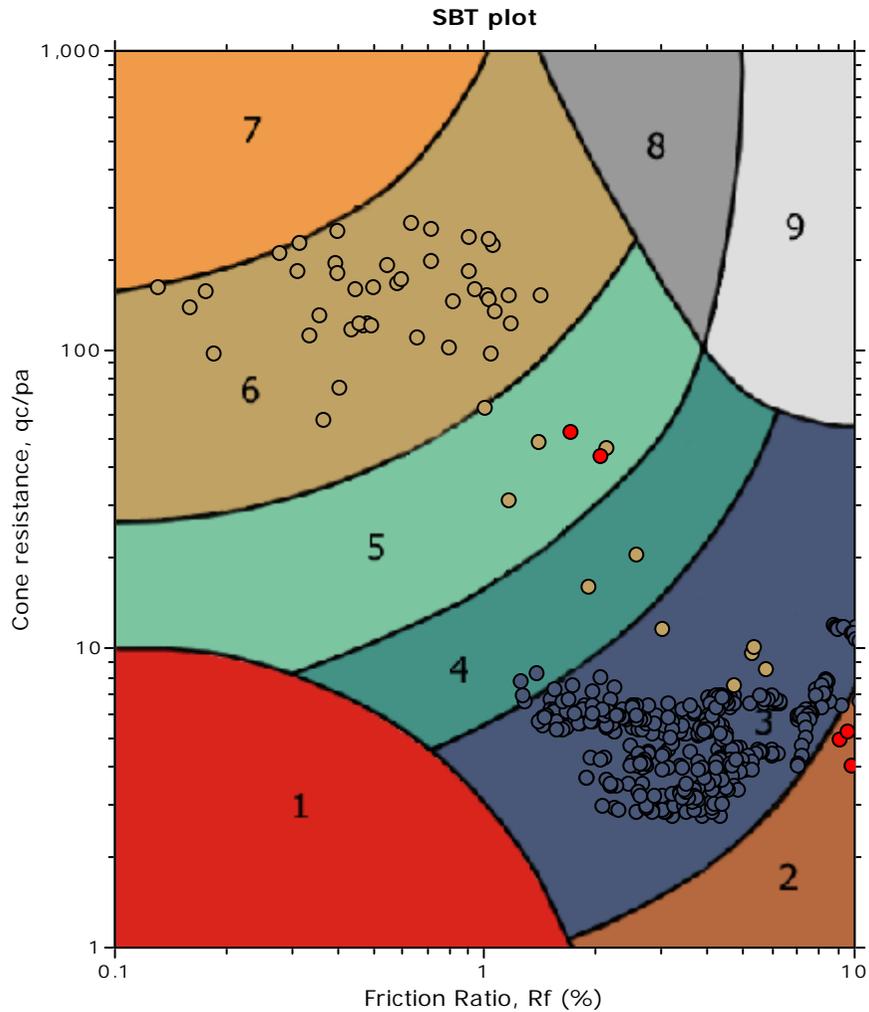
## **Indagini geognostiche eseguite dallo scrivente per gli ambiti 39 APC.b (sud) e 50 ANP (centro-occidentale) (5 CPTU)**



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



SBT - Bq plots



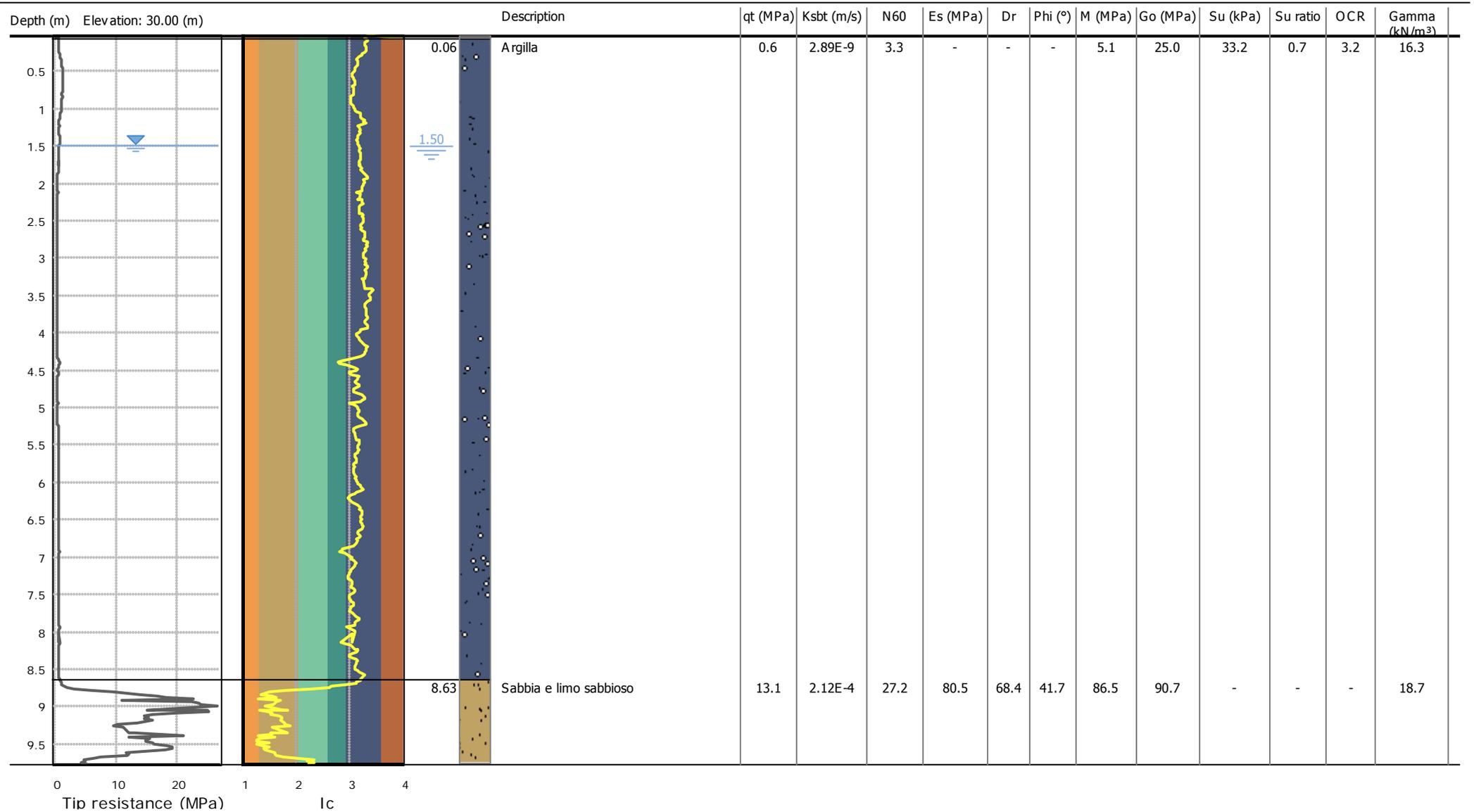
SBT legend

- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt  | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand  | 9. Very stiff fine grained        |

Dott. Geol. Valeriano Franchi  
 V.le Caduti in Guerra, 1  
 41121 Modena  
 valerianofranchi@tin.it

Project: POC4  
 Location: Castelfranco

CPT: CPTU-1  
 Total depth: 9.77 m



Dott. Geol. Valeriano Franchi

V.le Caduti in Guerra, 1

41121 Modena

valerianofranchi@tin.it

Project: POC4

Location: Castelfranco

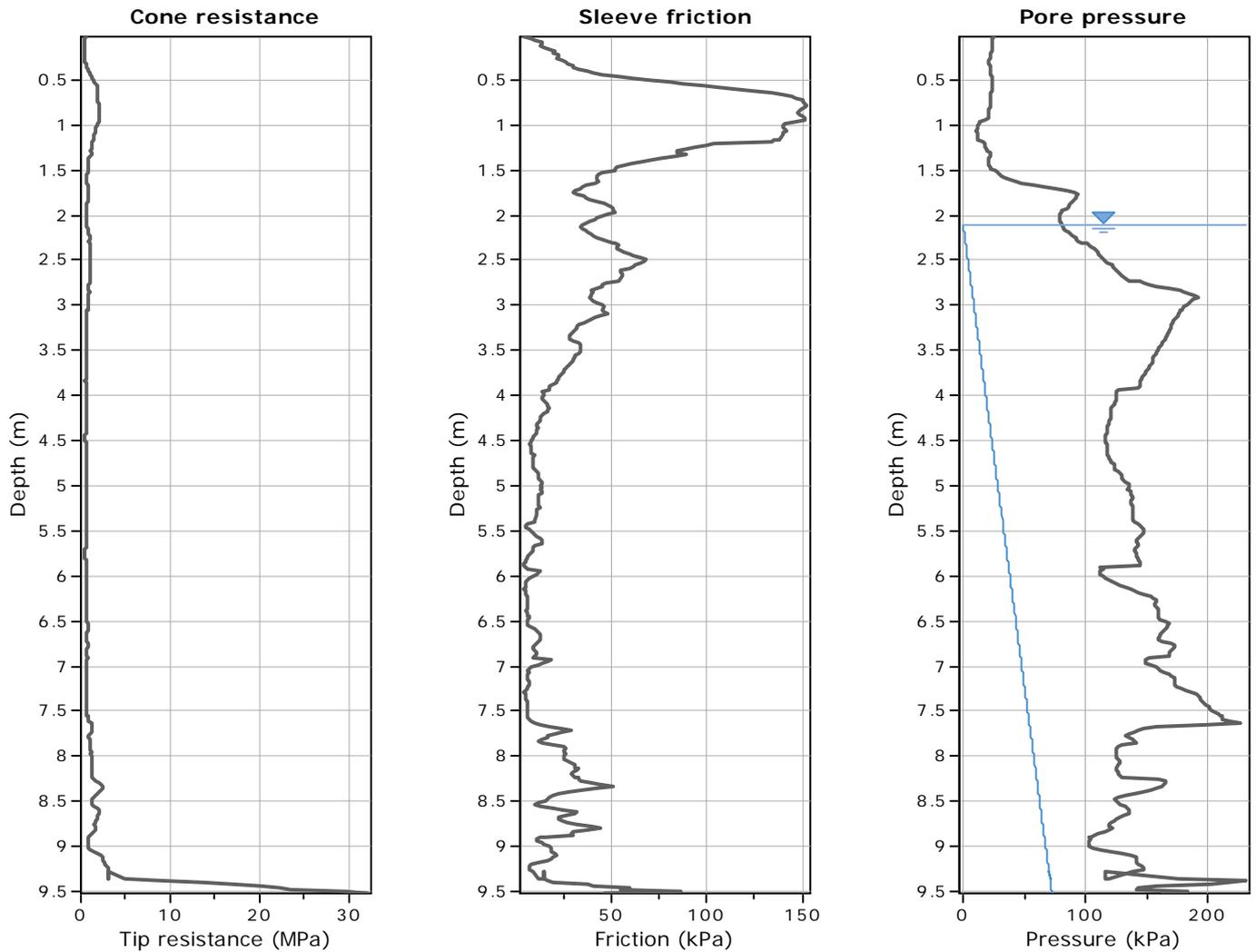
CPT: CPTU-1

Total depth: 9.77 m, Date: 16/10/2017

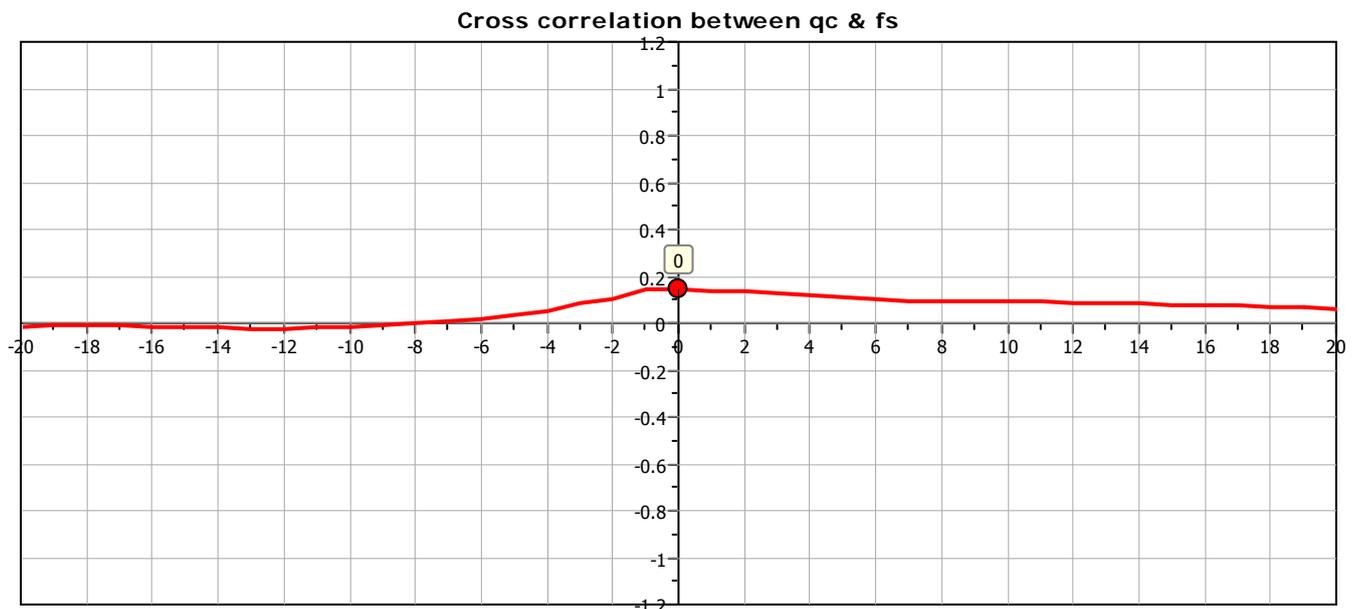
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.06	8.57	2.89E-09	3.3	0.0	0.0	0.0	5.1	25.0	33.2	0.7	3.2	16.3
8.63		(±3.17E-09)	(±1.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.2)	(±10.7)	(±13.3)	(±0.4)	(±1.8)	(±1.0)
8.63	1.10	2.12E-04	27.2	80.5	68.4	41.7	86.5	90.7	0.0	0.0	0.0	18.7
9.73		(±3.09E-04)	(±12.6)	(±23.0)	(±14.2)	(±2.2)	(±41.2)	(±34.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)

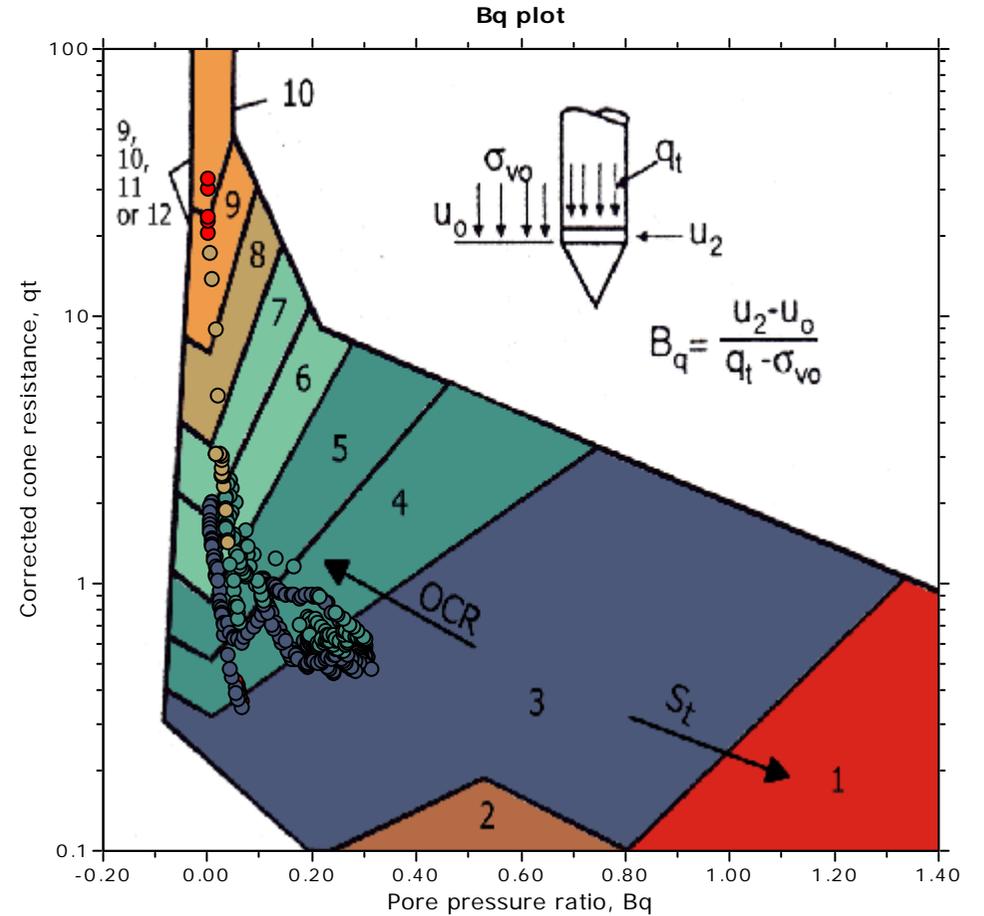
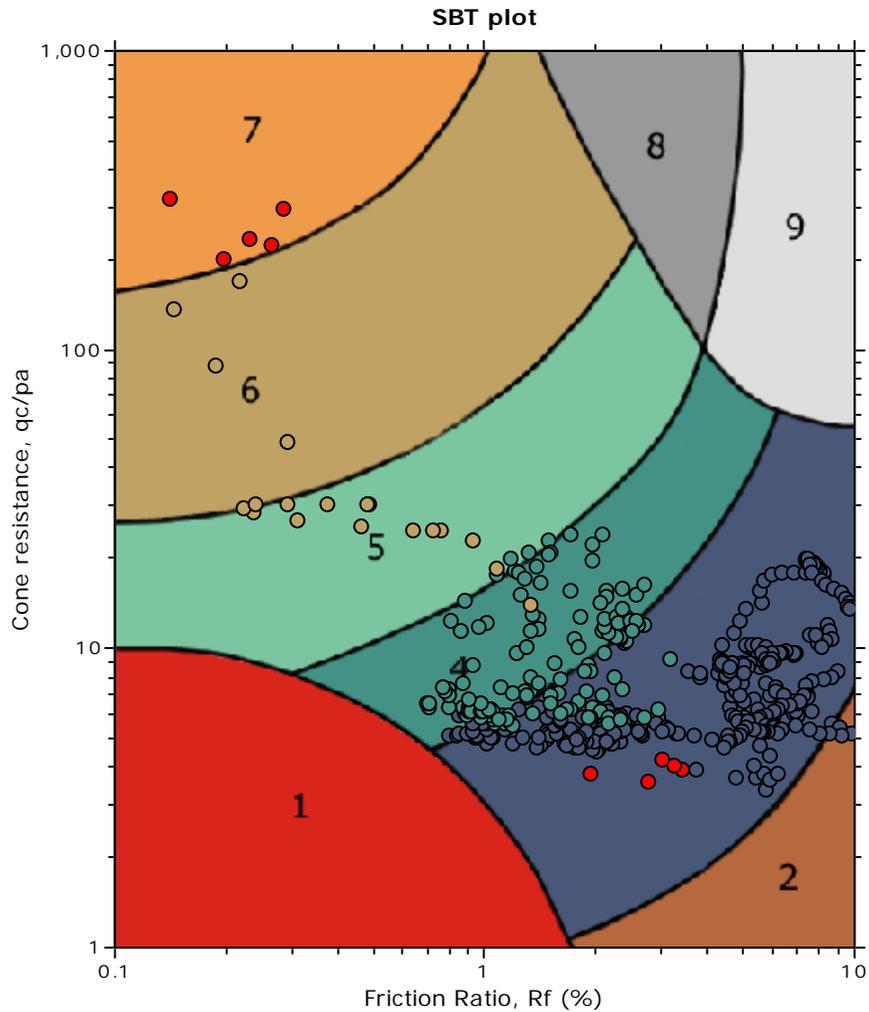
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



SBT - Bq plots



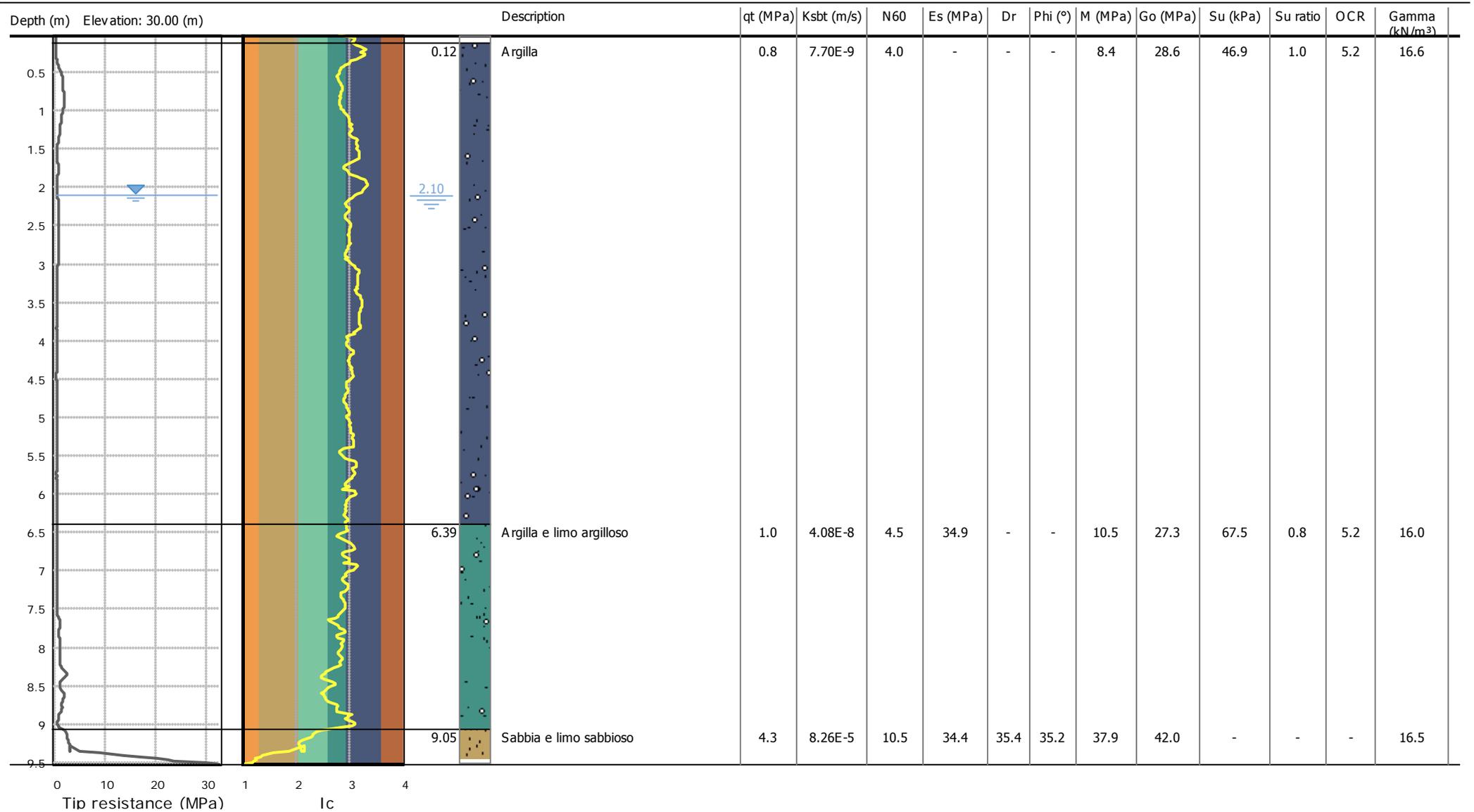
SBT legend

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand         |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay    | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |

Dott. Geol. Valeriano Franchi  
 V.le Caduti in Guerra, 1  
 41121 Modena  
 valerianofranchi@tin.it

Project: POC4  
 Location: Castelfranco

CPT: CPTU-2  
 Total depth: 9.52 m



Dott. Geol. Valeriano Franchi

V.le Caduti in Guerra, 1

41121 Modena

valerianofranchi@tin.it

Project: POC4

Location: Castelfranco

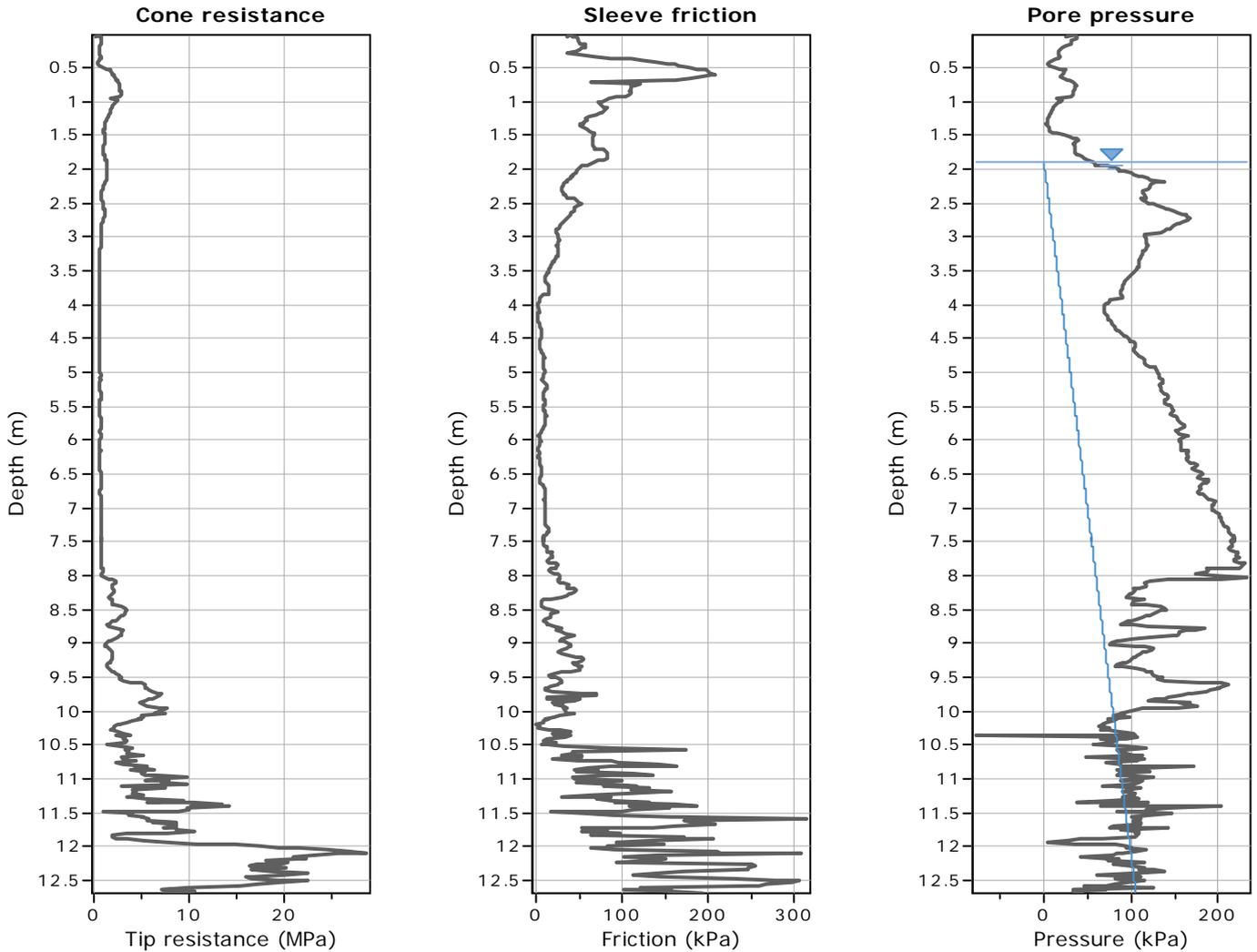
CPT: CPTU-2

Total depth: 9.52 m, Date: 16/10/2017

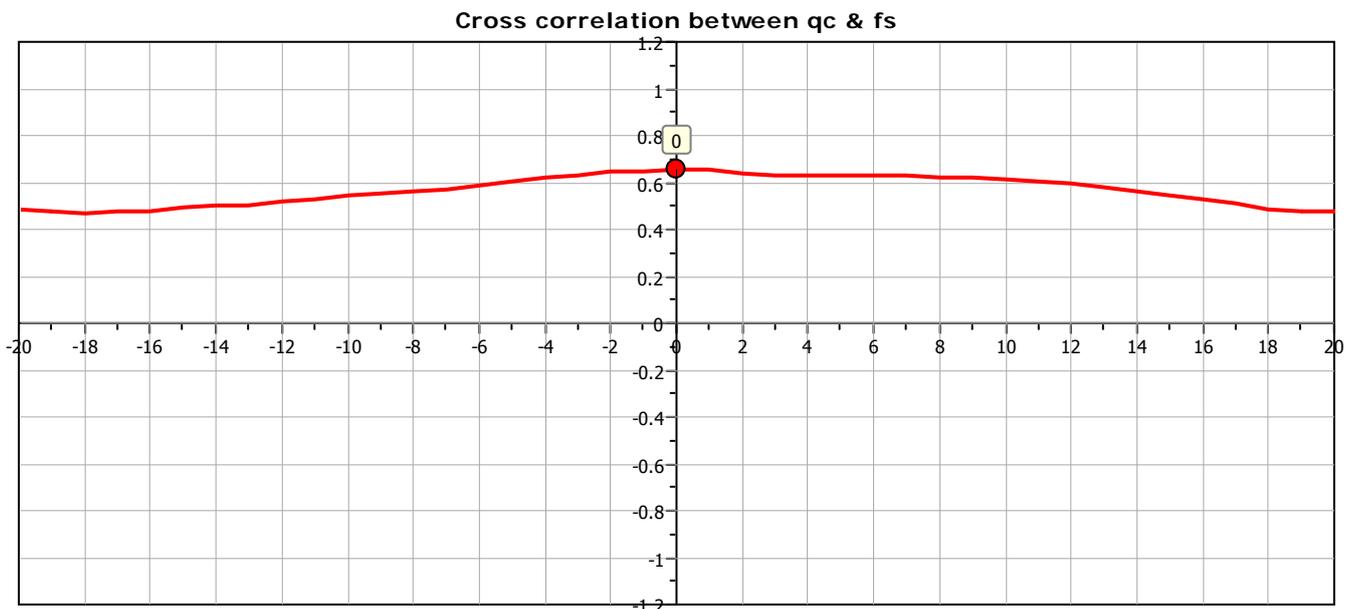
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.12	6.27	7.70E-09	4.0	0.0	0.0	0.0	8.4	28.6	46.9	1.0	5.2	16.6
6.39		(±6.33E-09)	(±1.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.7)	(±12.7)	(±22.6)	(±0.6)	(±3.5)	(±1.2)
6.39	2.66	4.08E-08	4.5	34.9	0.0	0.0	10.5	27.3	67.5	0.8	5.2	16.0
9.05		(±5.78E-08)	(±1.7)	(±4.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.8)	(±8.9)	(±31.1)	(±0.3)	(±2.7)	(±0.9)
9.05	0.39	8.26E-05	10.5	34.4	35.4	35.2	37.9	42.0	0.0	0.0	0.0	16.5
9.44		(±2.22E-04)	(±6.3)	(±10.5)	(±13.5)	(±2.9)	(±16.2)	(±12.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)

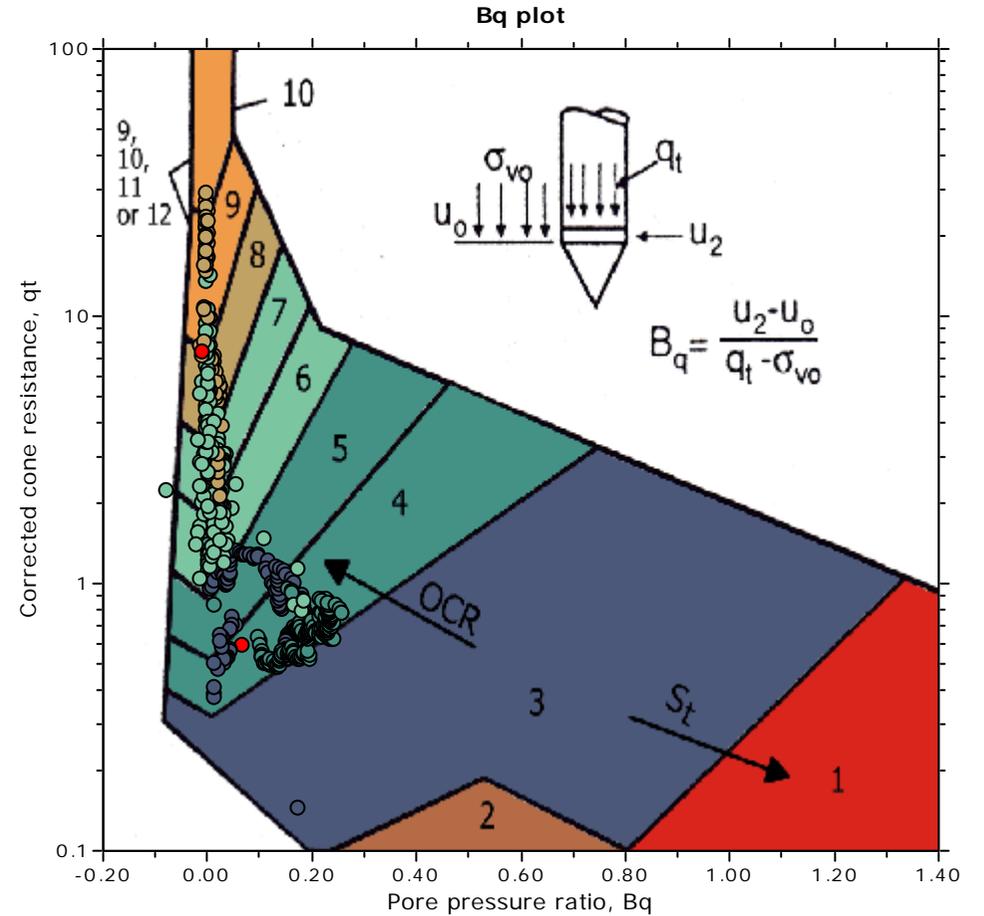
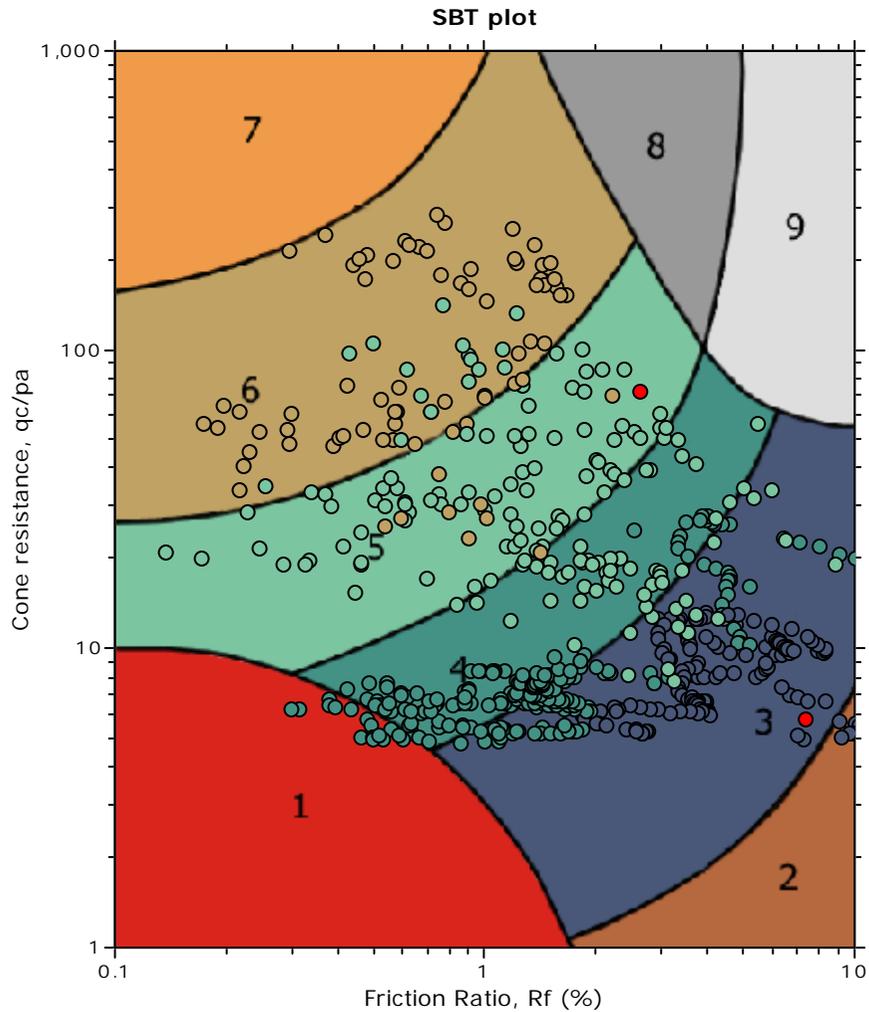
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



SBT - Bq plots

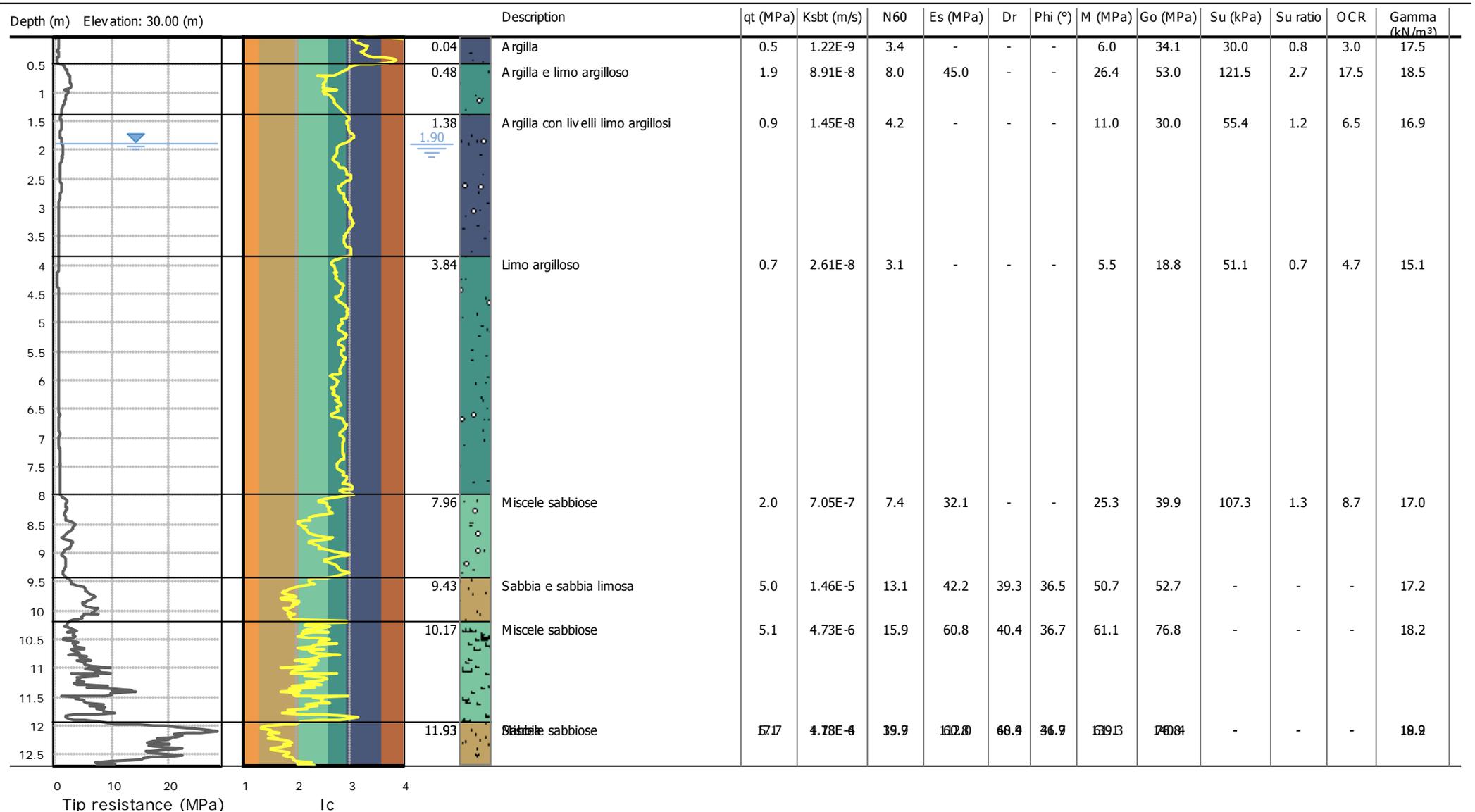


SBT legend

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: green;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay     | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand         |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay    | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |

Project: POC4  
 Location: Castelfranco

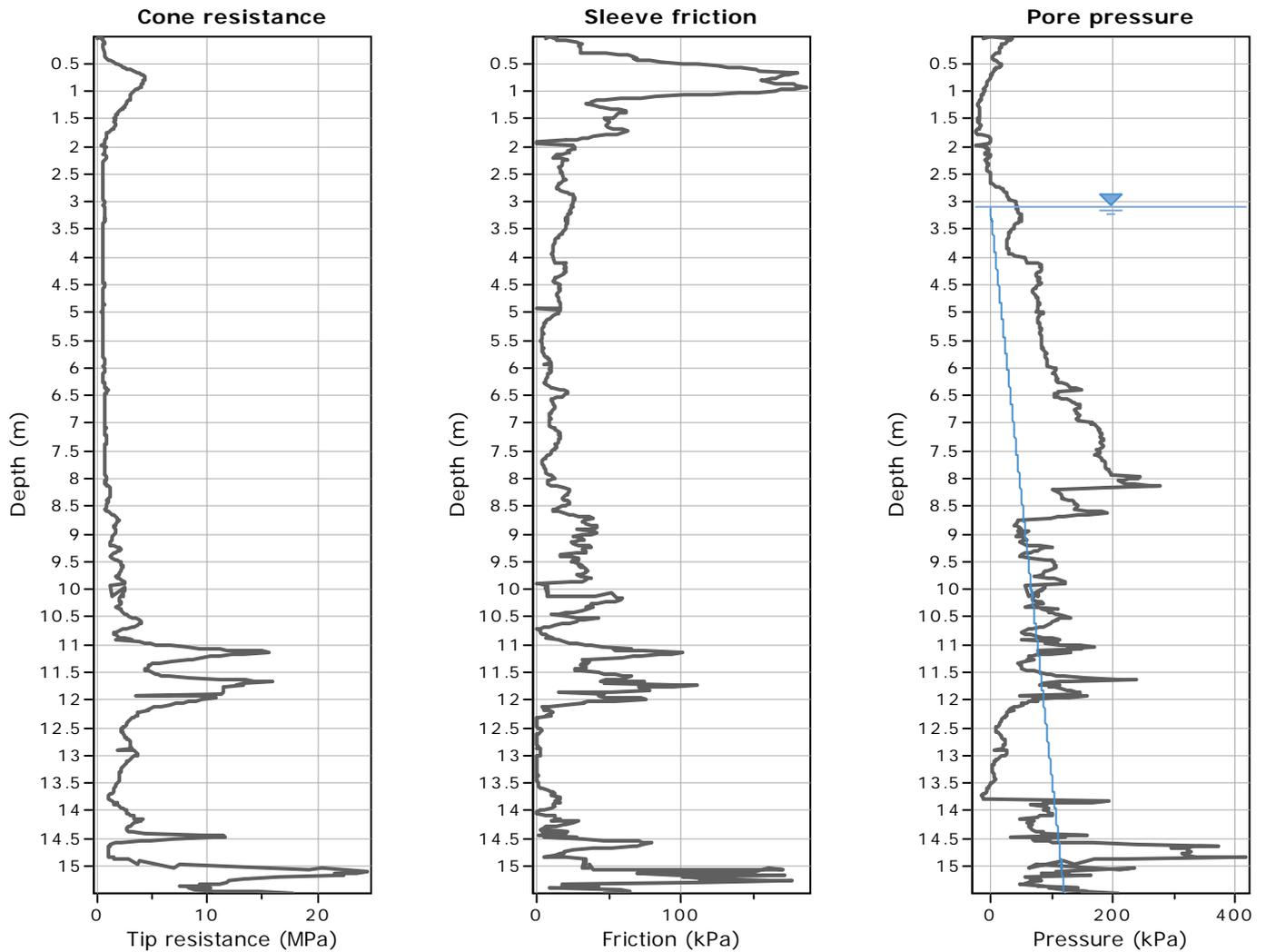
CPT: CPTU-3  
 Total depth: 12.69 m



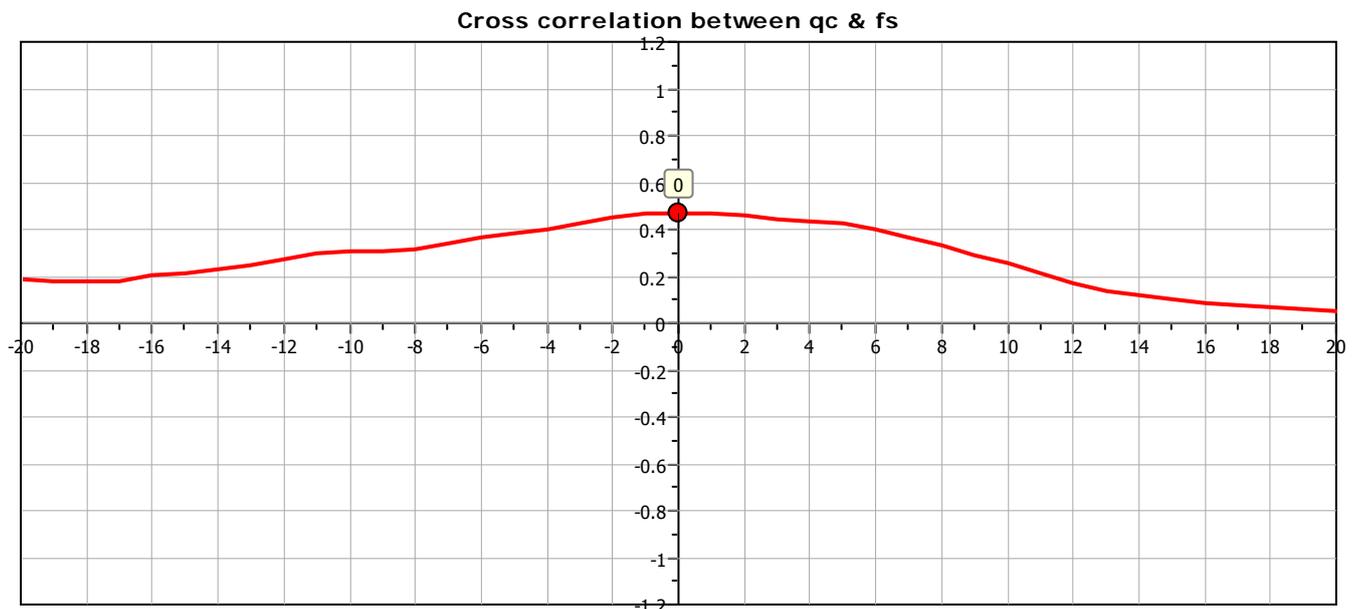
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.04	0.44	1.22E-09	3.4	0.0	0.0	0.0	6.0	34.1	30.0	0.8	3.0	17.5
0.48		(±1.09E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.5)	(±6.7)	(±9.1)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.6)
0.48	0.90	8.91E-08	8.0	45.0	0.0	0.0	26.4	53.0	121.5	2.7	17.5	18.5
1.38		(±9.35E-08)	(±1.9)	(±3.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.8)	(±10.9)	(±44.7)	(±0.9)	(±7.8)	(±0.6)
1.38	2.46	1.45E-08	4.2	0.0	0.0	0.0	11.0	30.0	55.4	1.2	6.5	16.9
3.84		(±1.24E-08)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.2)	(±7.5)	(±15.8)	(±0.4)	(±2.3)	(±0.7)
3.84	4.12	2.61E-08	3.1	0.0	0.0	0.0	5.5	18.8	51.1	0.7	4.7	15.1
7.96		(±1.66E-08)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)	(±3.7)	(±8.5)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.7)
7.96	1.47	7.05E-07	7.4	32.1	0.0	0.0	25.3	39.9	107.3	1.3	8.7	17.0
9.43		(±1.25E-06)	(±1.5)	(±4.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.8)	(±6.5)	(±29.9)	(±0.3)	(±2.9)	(±0.7)
9.43	0.74	1.46E-05	13.1	42.2	39.3	36.5	50.7	52.7	0.0	0.0	0.0	17.2
10.17		(±1.46E-05)	(±3.3)	(±8.6)	(±6.2)	(±1.6)	(±13.2)	(±10.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)
10.17	1.76	4.73E-06	15.9	60.8	40.4	36.7	61.1	76.8	0.0	0.0	0.0	18.2
11.93		(±1.05E-05)	(±6.3)	(±21.2)	(±9.6)	(±2.3)	(±28.0)	(±26.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.4)
11.93	0.74	1.18E-04	39.7	112.0	68.9	41.9	139.3	140.4	0.0	0.0	0.0	19.9
12.67		(±1.74E-04)	(±9.0)	(±21.9)	(±12.2)	(±1.9)	(±29.5)	(±27.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
11.93	0.00	4.73E-06	15.9	60.8	40.4	36.7	61.1	76.8	0.0	0.0	0.0	18.2
11.93		(±1.05E-05)	(±6.3)	(±21.2)	(±9.6)	(±2.3)	(±28.0)	(±26.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.4)

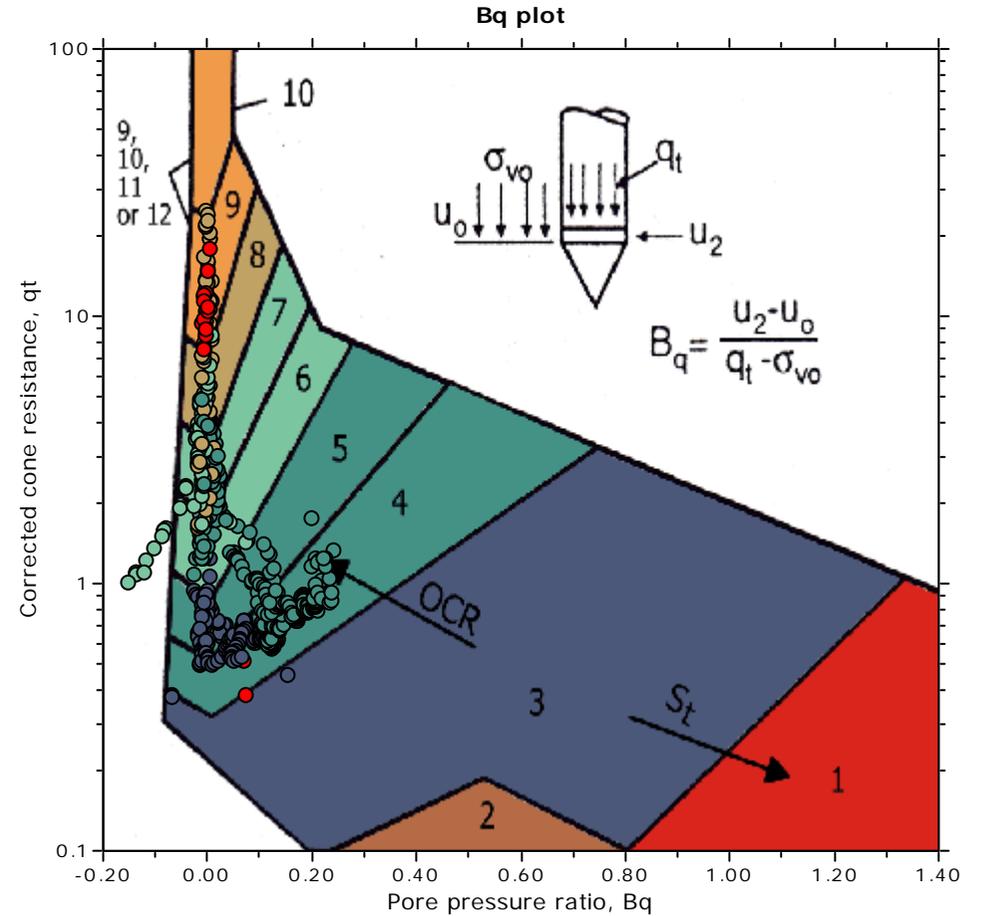
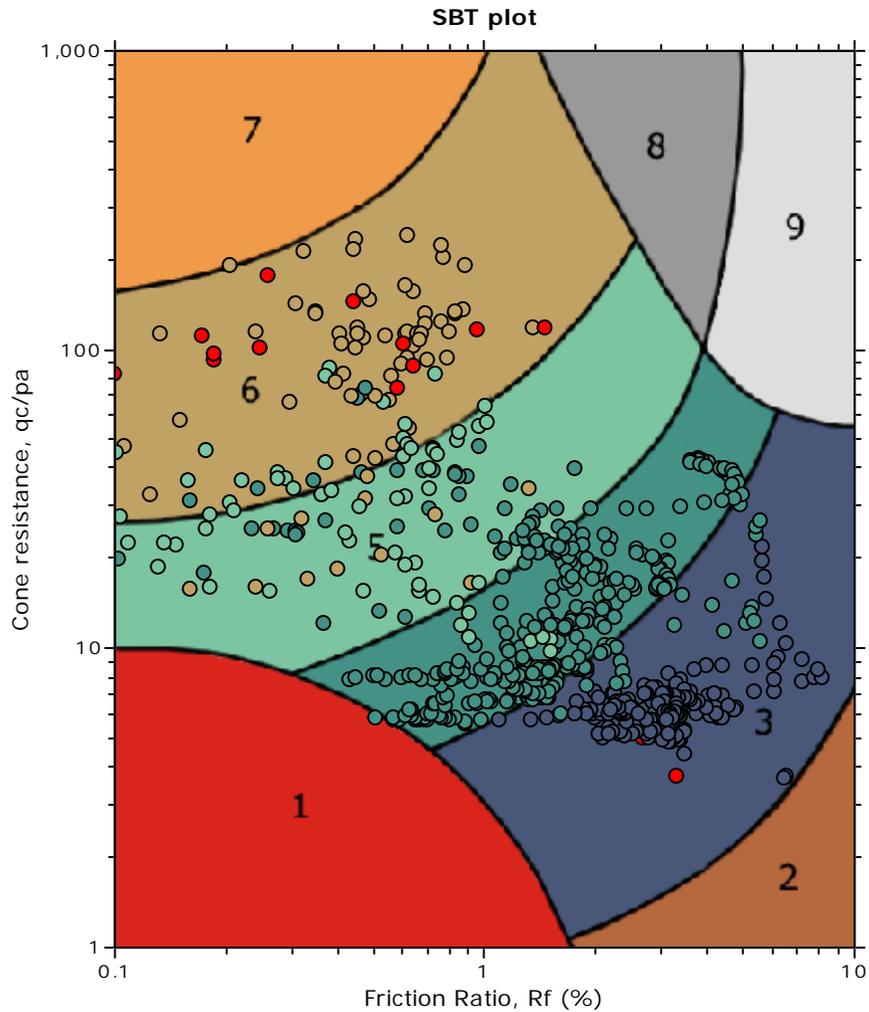
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

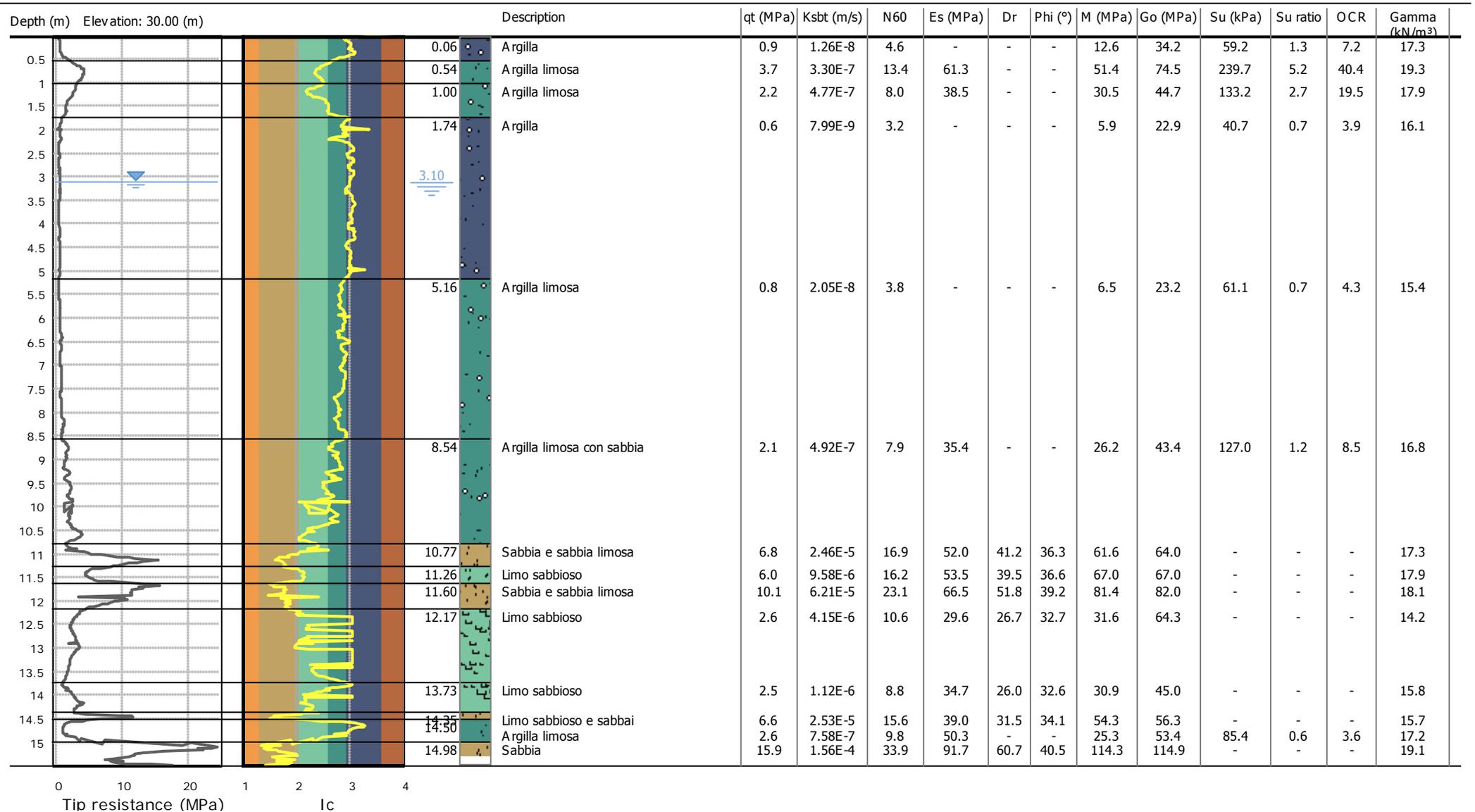


SBT - Bq plots



**SBT legend**

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty clay	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to clayey sand
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained



Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.06	0.48	1.26E-08	4.6	0.0	0.0	0.0	12.6	34.2	59.2	1.3	7.2	17.3
0.54		(±1.43E-08)	(±1.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.5)	(±10.7)	(±27.6)	(±0.6)	(±4.4)	(±0.8)
0.54	0.46	3.30E-07	13.4	61.3	0.0	0.0	51.4	74.5	239.7	5.2	40.4	19.3
1.00		(±1.83E-07)	(±1.7)	(±2.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.1)	(±5.8)	(±48.2)	(±0.9)	(±9.9)	(±0.2)
1.00	0.74	4.77E-07	8.0	38.5	0.0	0.0	30.5	44.7	133.2	2.7	19.5	17.9
1.74		(±5.86E-07)	(±2.0)	(±10.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.3)	(±9.5)	(±42.7)	(±0.9)	(±7.9)	(±0.5)
1.74	3.42	7.99E-09	3.2	0.0	0.0	0.0	5.9	22.9	40.7	0.7	3.9	16.1
5.16		(±9.94E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.3)	(±3.0)	(±7.6)	(±0.2)	(±1.2)	(±0.5)
5.16	3.38	2.05E-08	3.8	0.0	0.0	0.0	6.5	23.2	61.1	0.7	4.3	15.4
8.54		(±9.14E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.8)	(±4.9)	(±11.4)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.7)
8.54	2.23	4.92E-07	7.9	35.4	0.0	0.0	26.2	43.4	127.0	1.2	8.5	16.8
10.77		(±1.02E-06)	(±1.7)	(±5.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.5)	(±9.2)	(±32.0)	(±0.3)	(±2.4)	(±0.9)
10.77	0.49	2.46E-05	16.9	52.0	41.2	36.3	61.6	64.0	0.0	0.0	0.0	17.3
11.26		(±3.31E-05)	(±9.5)	(±23.0)	(±15.9)	(±4.0)	(±31.7)	(±28.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)
11.26	0.34	9.58E-06	16.2	53.5	39.5	36.6	67.0	67.0	0.0	0.0	0.0	17.9
11.60		(±1.24E-05)	(±3.0)	(±7.2)	(±5.4)	(±1.3)	(±9.0)	(±9.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
11.60	0.57	6.21E-05	23.1	66.5	51.8	39.2	81.4	82.0	0.0	0.0	0.0	18.1
12.17		(±6.88E-05)	(±5.7)	(±13.7)	(±8.4)	(±1.7)	(±19.2)	(±18.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
12.17	1.56	4.15E-06	10.6	29.6	26.7	32.7	31.6	64.3	0.0	0.0	0.0	14.2
13.73		(±6.15E-06)	(±3.5)	(±5.5)	(±6.2)	(±2.3)	(±9.0)	(±35.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
13.73	0.62	1.12E-06	8.8	34.7	26.0	32.6	30.9	45.0	0.0	0.0	0.0	15.8
14.35		(±1.16E-06)	(±2.6)	(±5.3)	(±3.2)	(±1.2)	(±14.4)	(±18.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)

Dott. Geol. Valeriano Franchi

V.le Caduti in Guerra, 1

41121 Modena

valerianofranchi@tin.it

Project: POC4

Location: Castelfranco

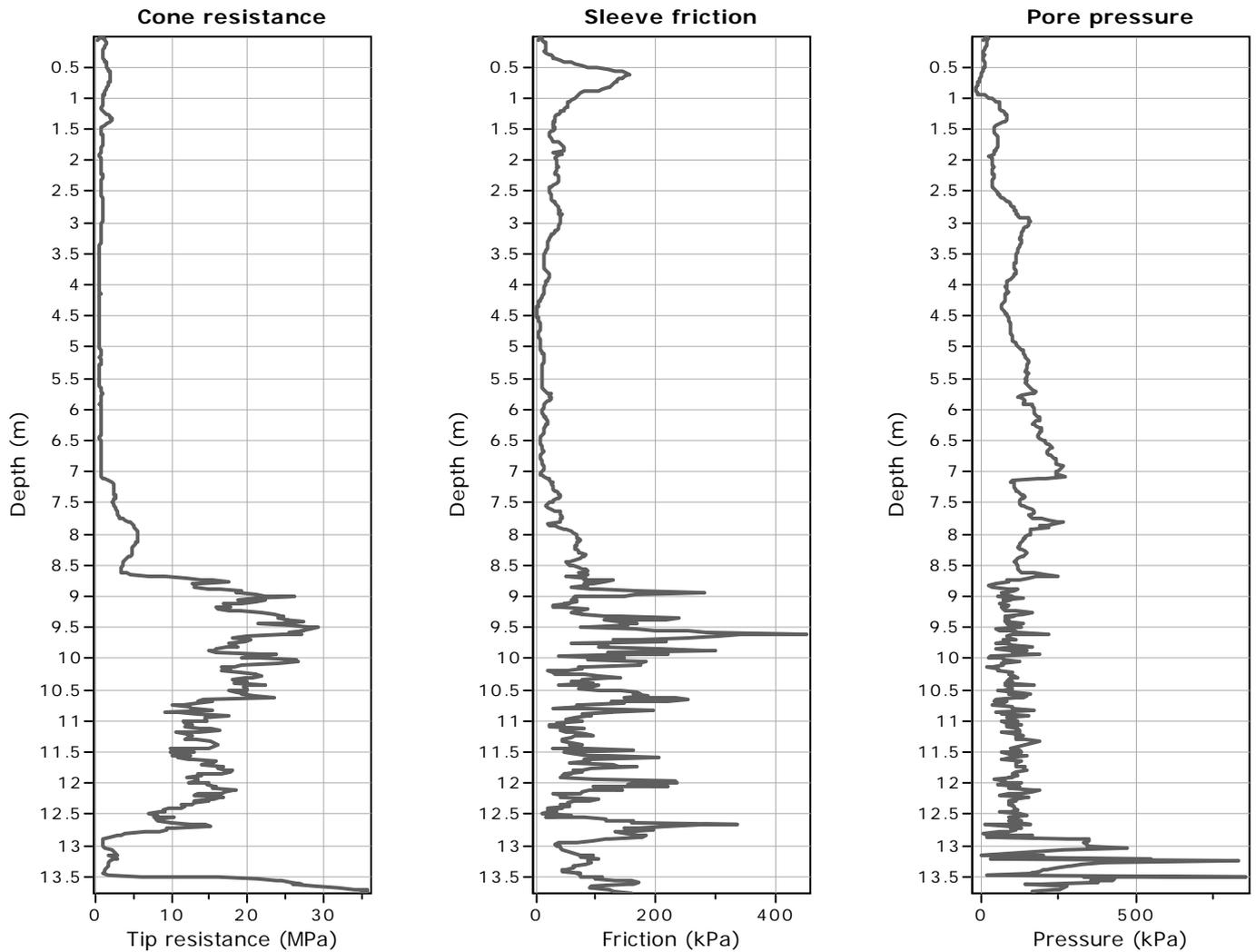
CPT: CPTU-4

Total depth: 15.49 m, Date: 16/10/2017

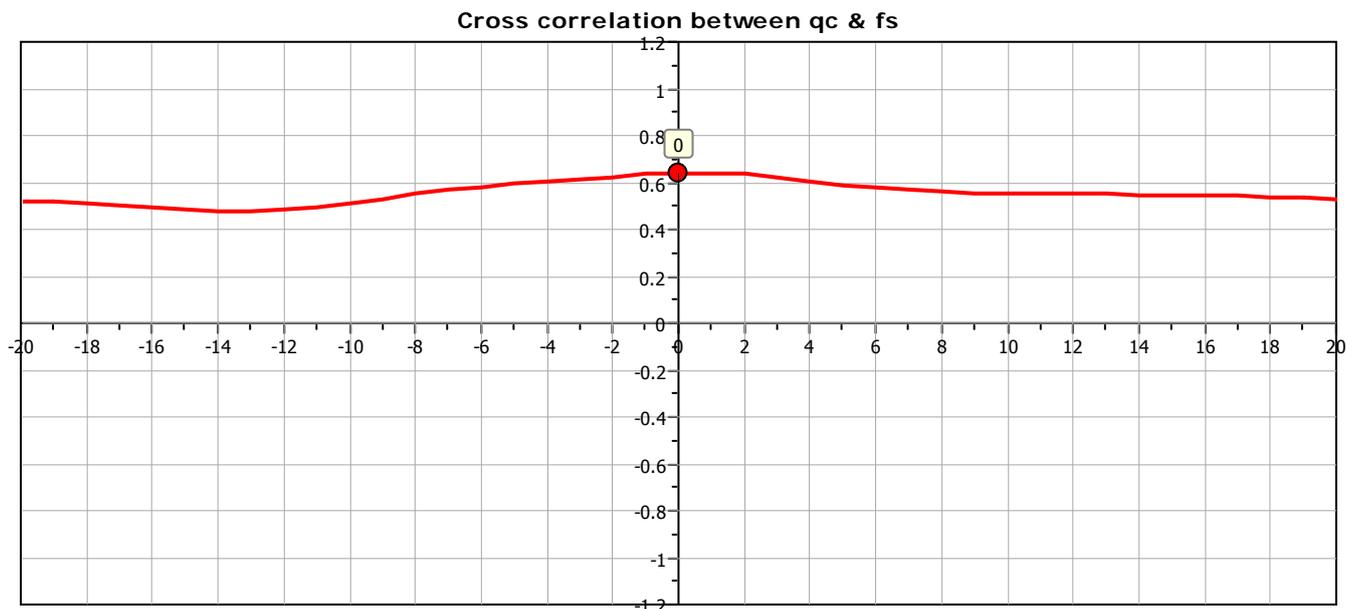
### Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
14.35	0.15	2.53E-05	15.6	39.0	31.5	34.1	54.3	56.3	0.0	0.0	0.0	15.7
14.50		(±5.59E-05)	(±7.2)	(±12.2)	(±11.5)	(±2.9)	(±19.7)	(±18.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)
14.50	0.48	7.58E-07	9.8	50.3	0.0	0.0	25.3	53.4	85.4	0.6	3.6	17.2
14.98		(±2.71E-06)	(±4.3)	(±50.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±22.4)	(±13.6)	(±26.4)	(±0.2)	(±1.4)	(±0.9)
14.98	0.29	1.56E-04	33.9	91.7	60.7	40.5	114.3	114.9	0.0	0.0	0.0	19.1
15.27		(±2.10E-04)	(±11.4)	(±25.2)	(±15.4)	(±2.8)	(±32.8)	(±31.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)

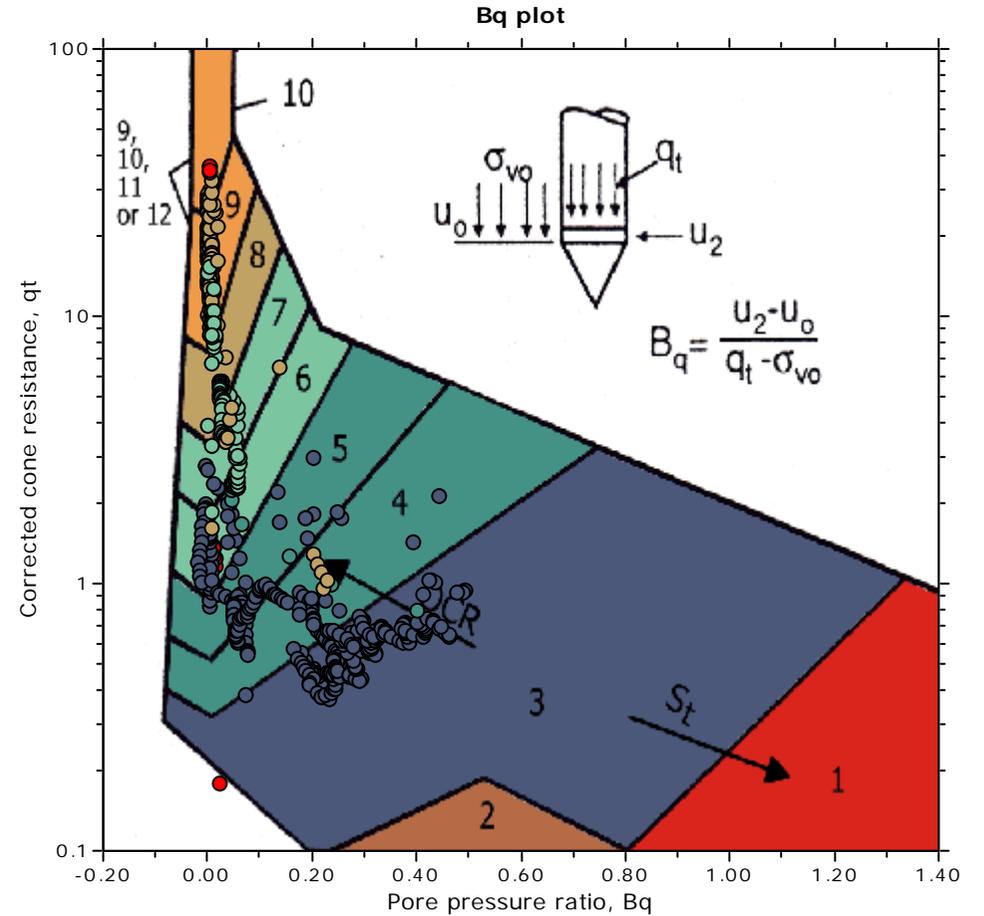
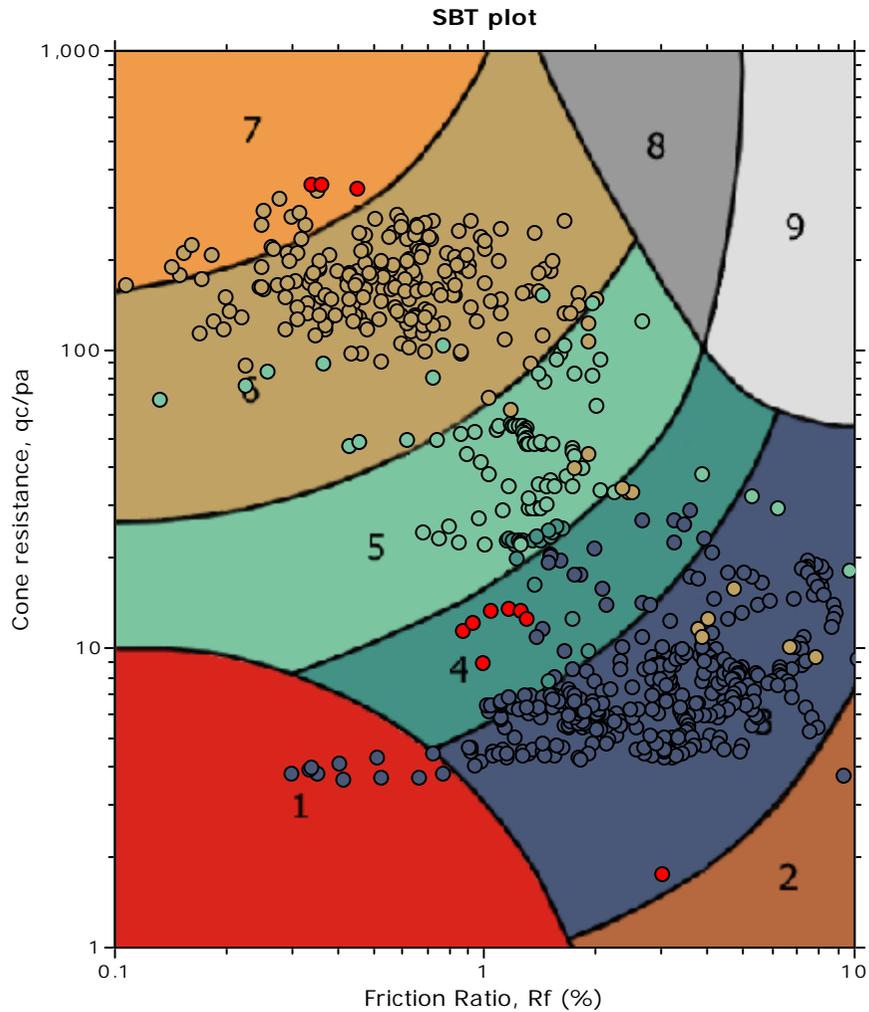
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

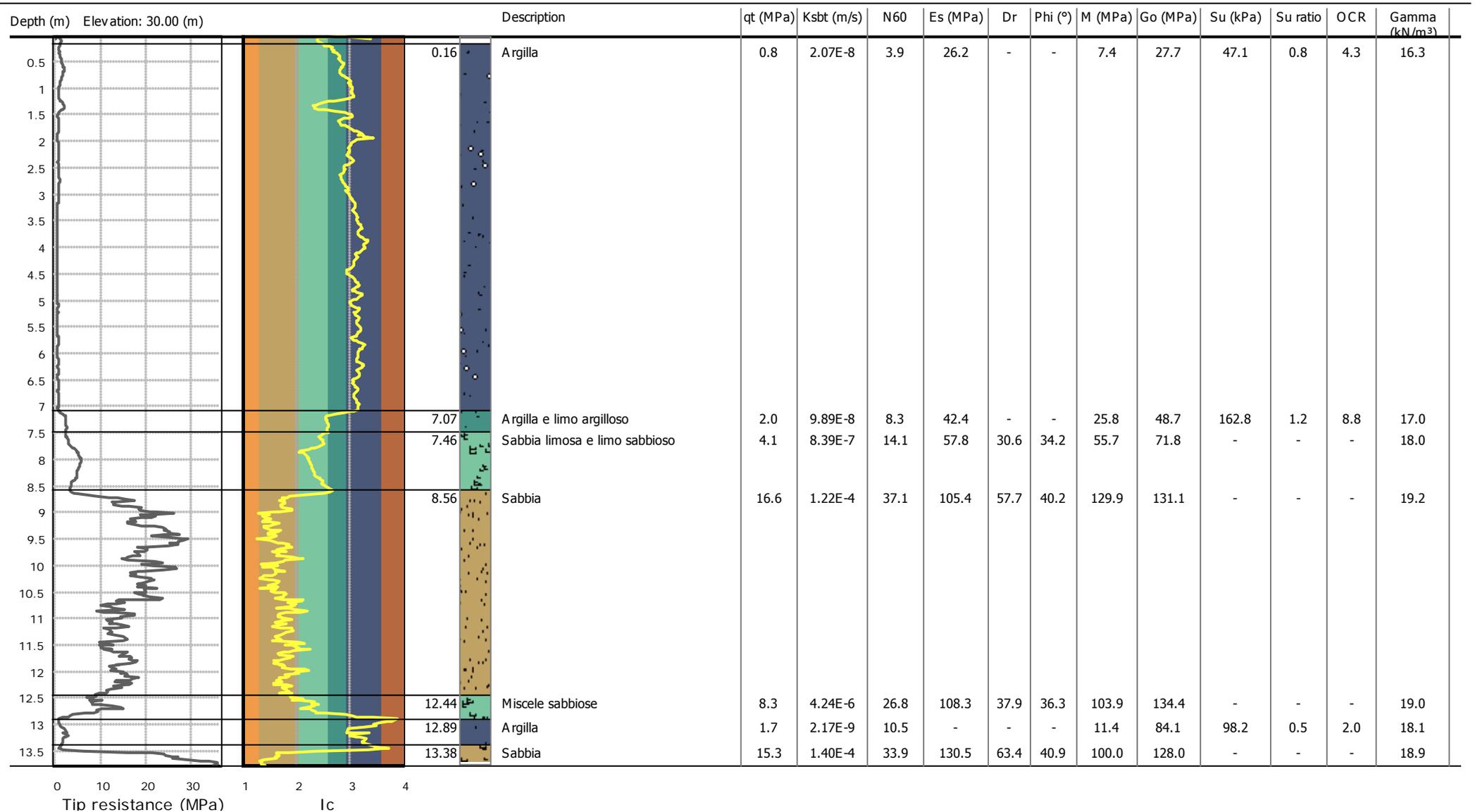


SBT - Bq plots



SBT legend

- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt  | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand  | 9. Very stiff fine grained        |



Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.16	6.91	2.07E-08	3.9	26.2	0.0	0.0	7.4	27.7	47.1	0.8	4.3	16.3
7.07		(±8.20E-08)	(±1.3)	(±1.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.5)	(±9.1)	(±18.6)	(±0.6)	(±3.4)	(±1.1)
7.07	0.39	9.89E-08	8.3	42.4	0.0	0.0	25.8	48.7	162.8	1.2	8.8	17.0
7.46		(±5.33E-08)	(±2.0)	(±2.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.6)	(±9.0)	(±54.8)	(±0.4)	(±3.3)	(±0.6)
7.46	1.10	8.39E-07	14.1	57.8	30.6	34.2	55.7	71.8	0.0	0.0	0.0	18.0
8.56		(±9.68E-07)	(±3.0)	(±10.4)	(±4.2)	(±1.4)	(±15.8)	(±13.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
8.56	3.88	1.22E-04	37.1	105.4	57.7	40.2	129.9	131.1	0.0	0.0	0.0	19.2
12.44		(±2.04E-04)	(±9.1)	(±24.7)	(±10.6)	(±1.8)	(±33.4)	(±31.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
12.44	0.45	4.24E-06	26.8	108.3	37.9	36.3	103.9	134.4	0.0	0.0	0.0	19.0
12.89		(±6.33E-06)	(±8.5)	(±36.0)	(±4.3)	(±1.0)	(±46.9)	(±39.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
12.89	0.49	2.17E-09	10.5	0.0	0.0	0.0	11.4	84.1	98.2	0.5	2.0	18.1
13.38		(±2.62E-09)	(±2.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.1)	(±16.6)	(±48.4)	(±0.2)	(±1.2)	(±0.6)
13.38	0.32	1.40E-04	33.9	130.5	63.4	40.9	100.0	128.0	0.0	0.0	0.0	18.9
13.70		(±2.42E-04)	(±22.3)	(±17.5)	(±14.0)	(±2.7)	(±81.6)	(±49.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

## **Allegato 2**

### **Analisi potenziale liquefazione in corrispondenza delle CPTU eseguite per questo studio**

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

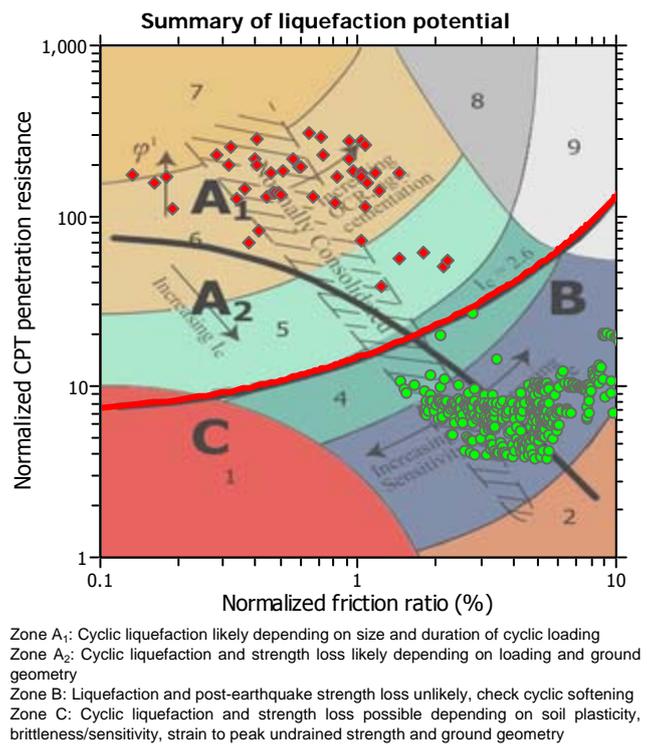
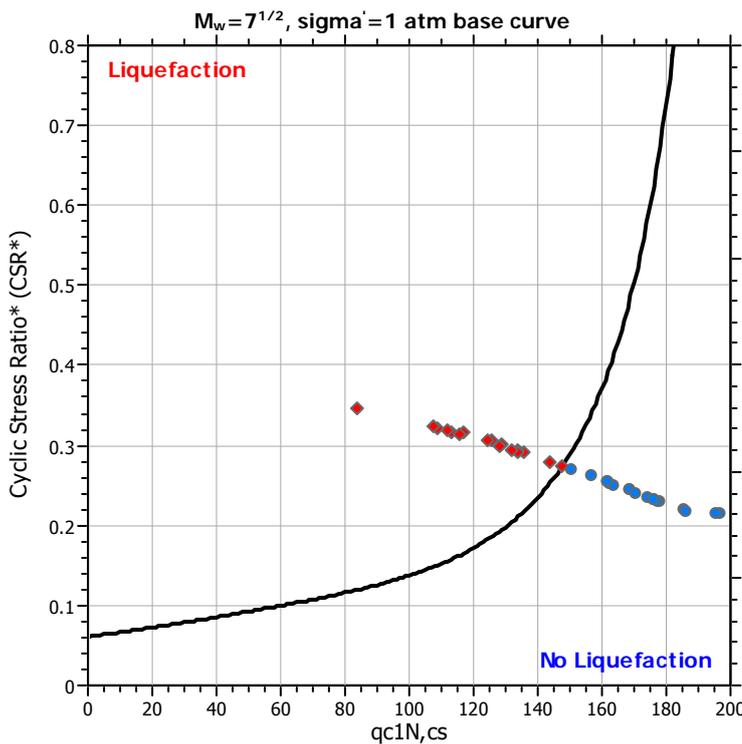
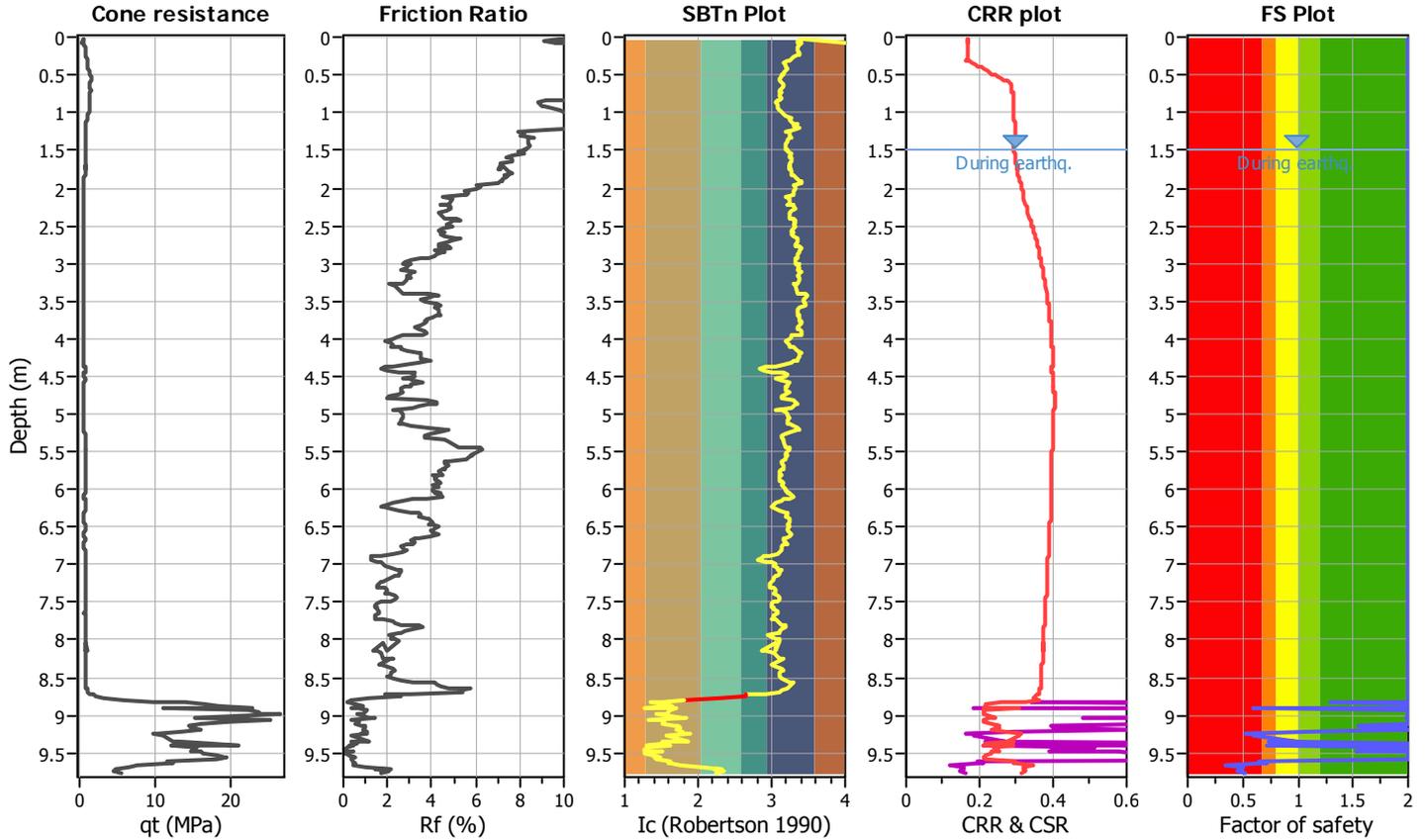
Project title : POC4

Location : Castelfranco

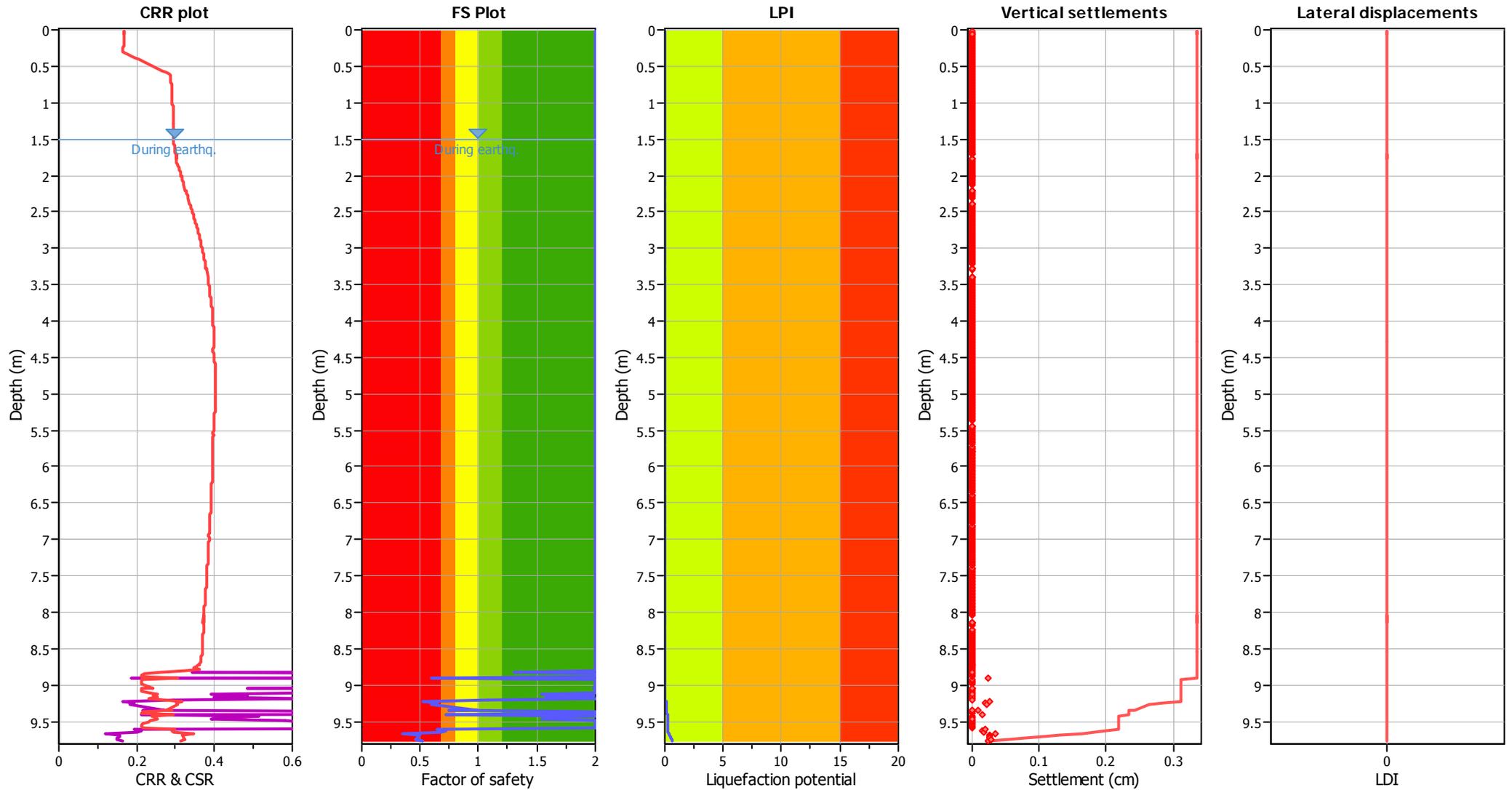
CPT file : CPTU-1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	17.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.98	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.35	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.98	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.35	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	17.00 m

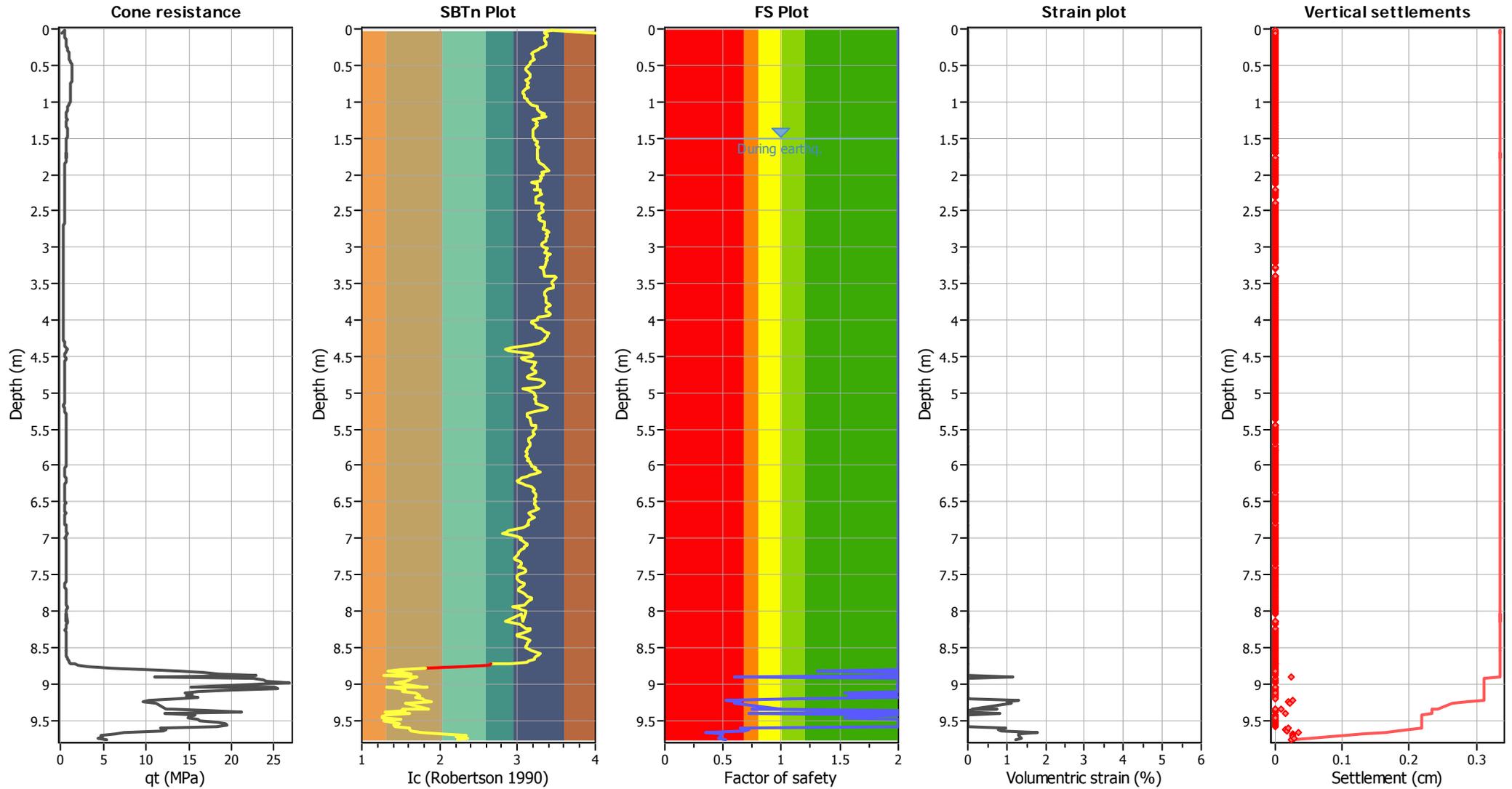
**F.S. color scheme**

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Estimation of post-earthquake settlements



**Abbreviations**

- qt: Total cone resistance (cone resistance  $q_c$  corrected for pore water effects)
- I<sub>c</sub>: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

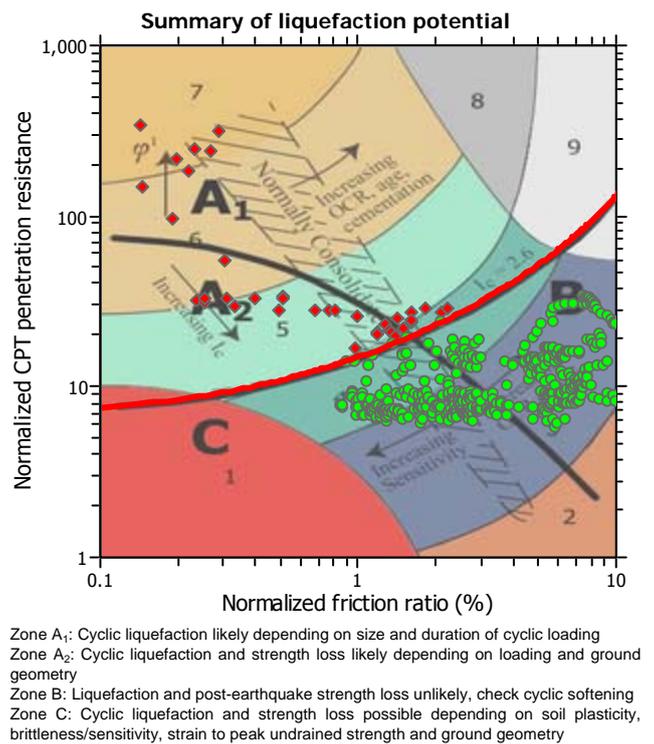
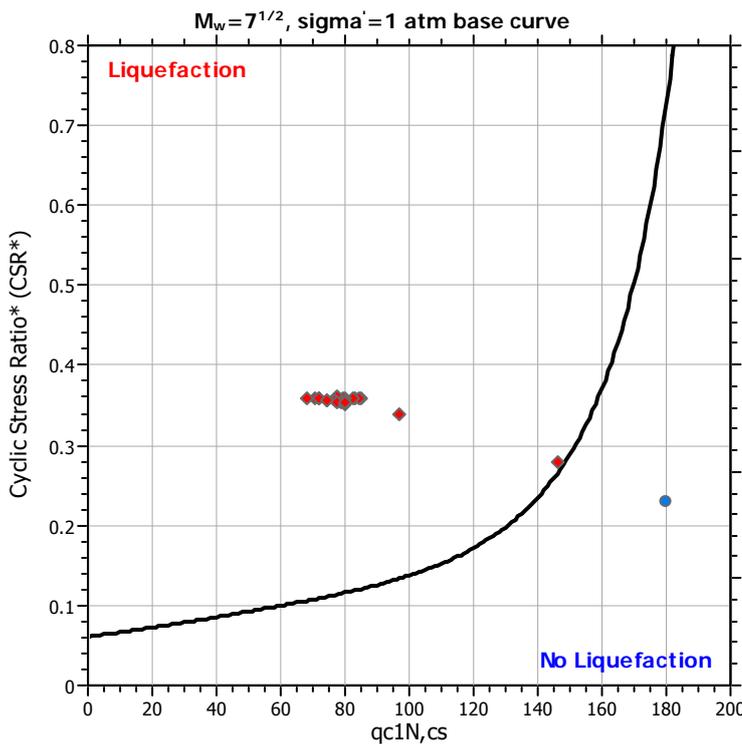
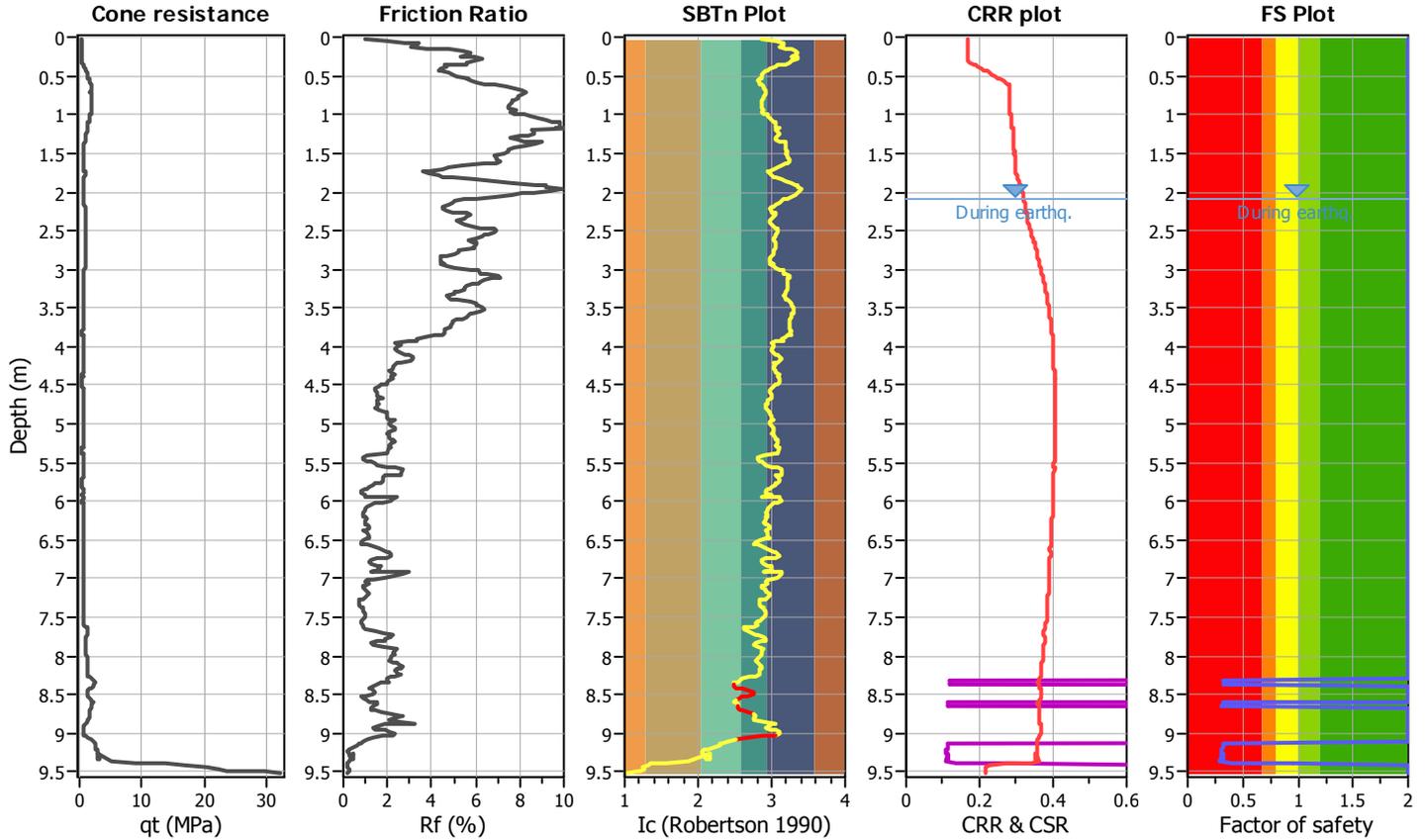
Project title : POC4

Location : Castelfranco

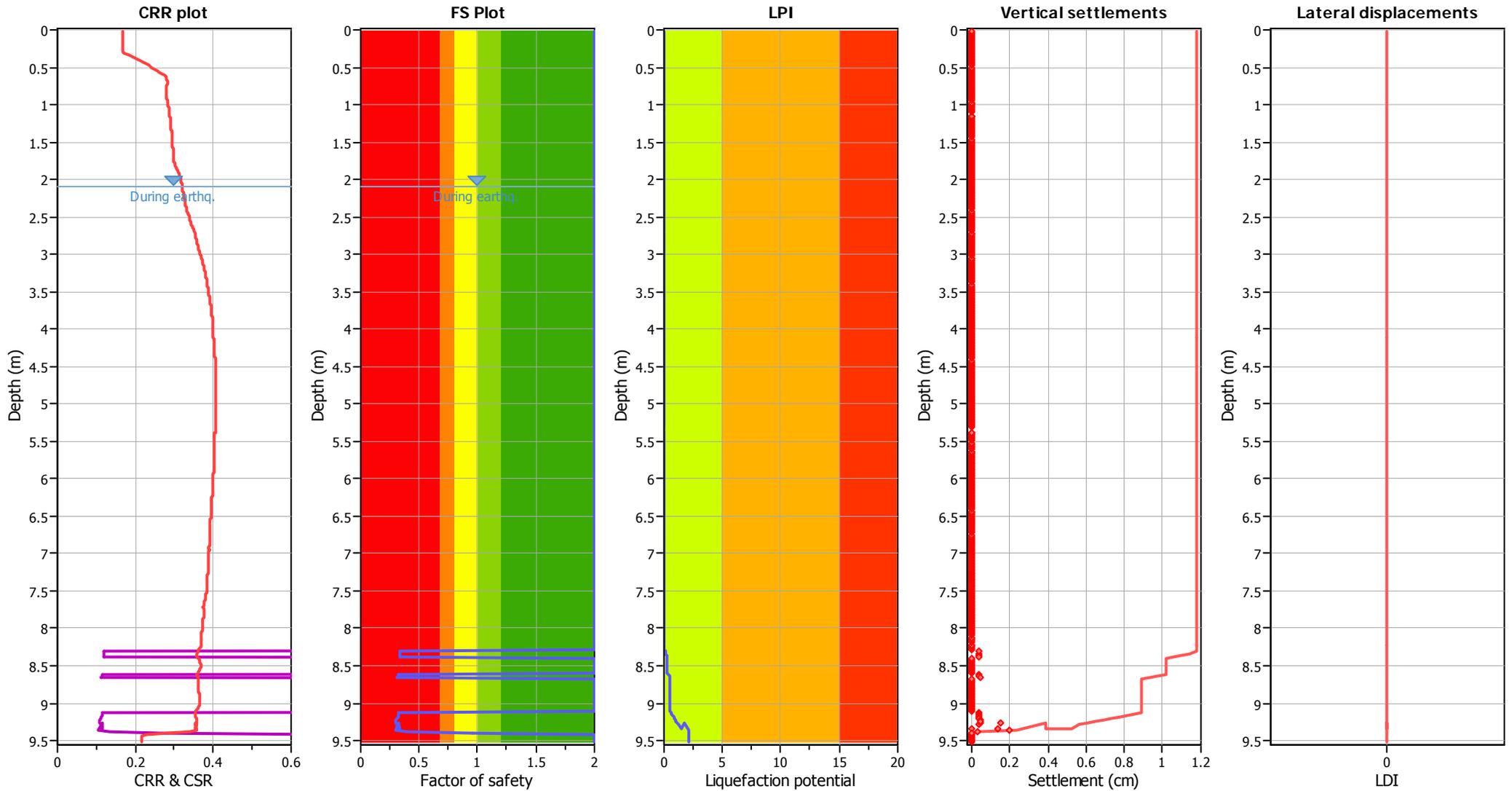
CPT file : CPTU-2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.10 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	11.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.98	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.35	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>σ</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.98	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.35	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	11.00 m

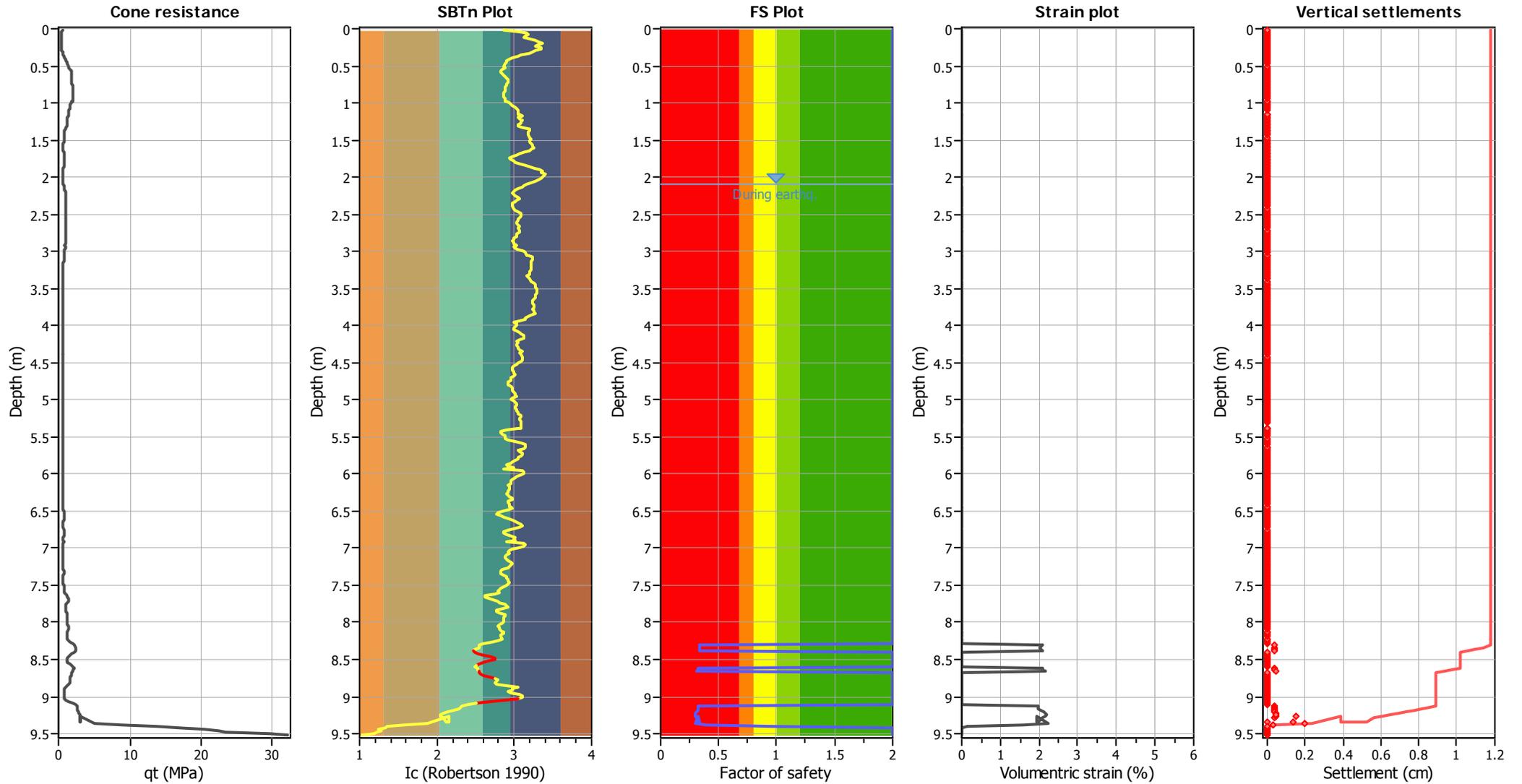
**F.S. color scheme**

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Estimation of post-earthquake settlements



**Abbreviations**

- qt: Total cone resistance (cone resistance  $q_c$  corrected for pore water effects)
- I<sub>c</sub>: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

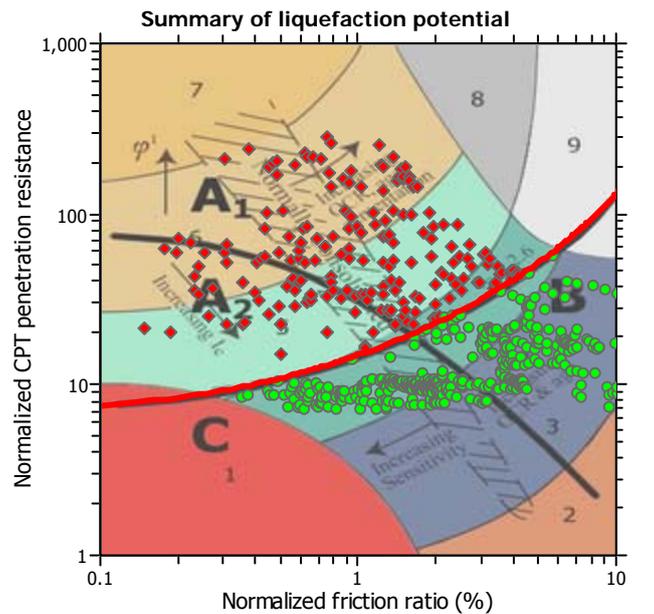
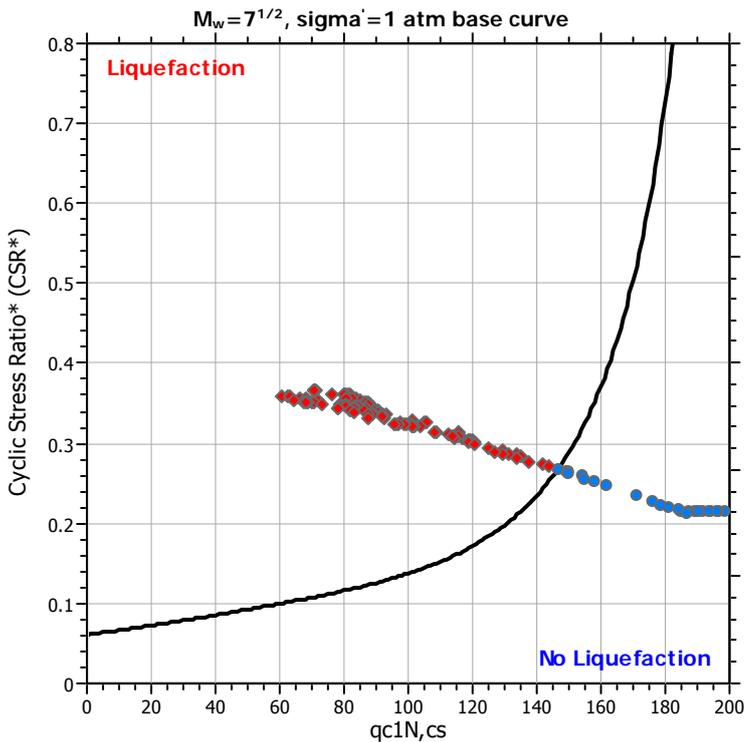
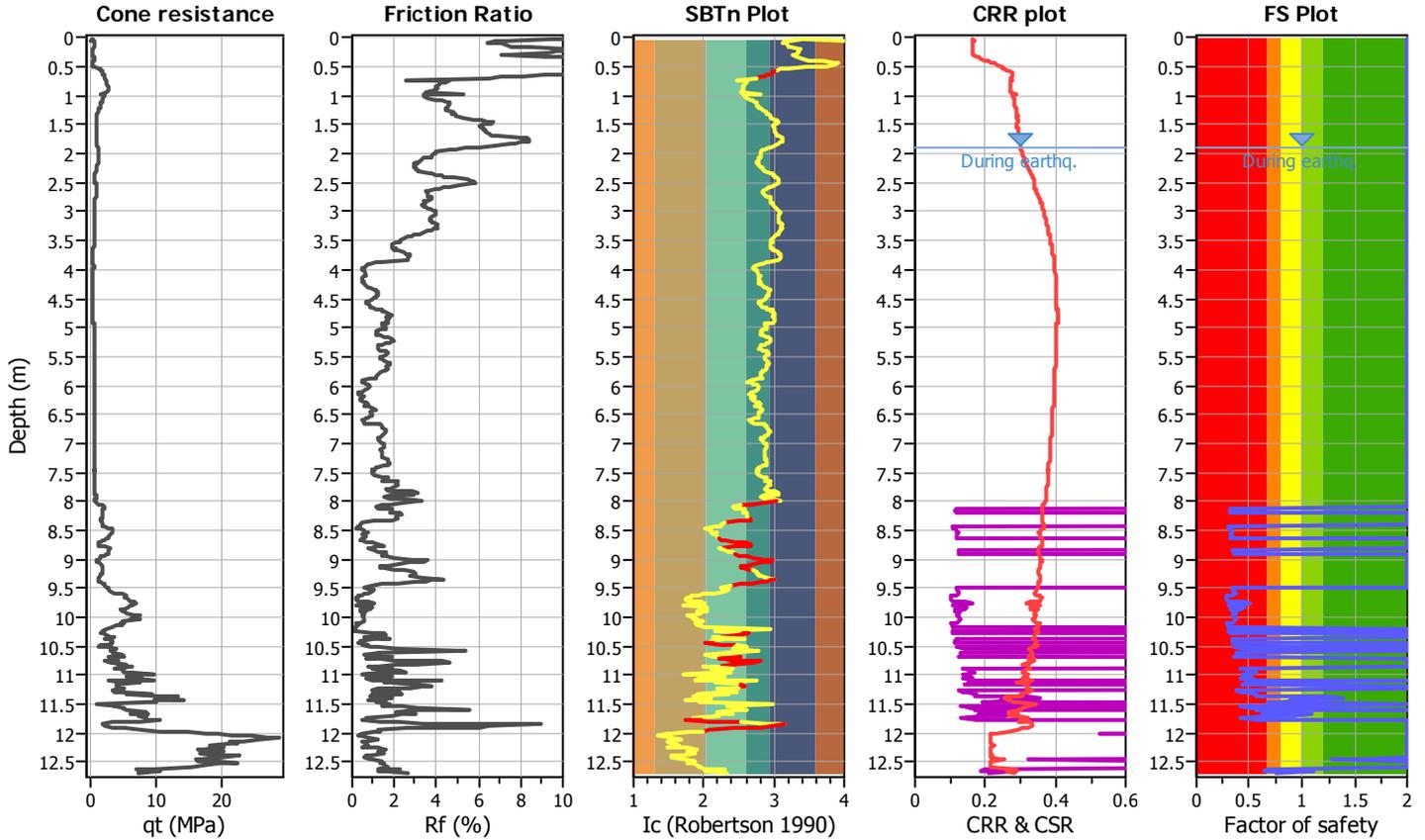
Project title : POC4

Location : Castelfranco

CPT file : CPTU-3

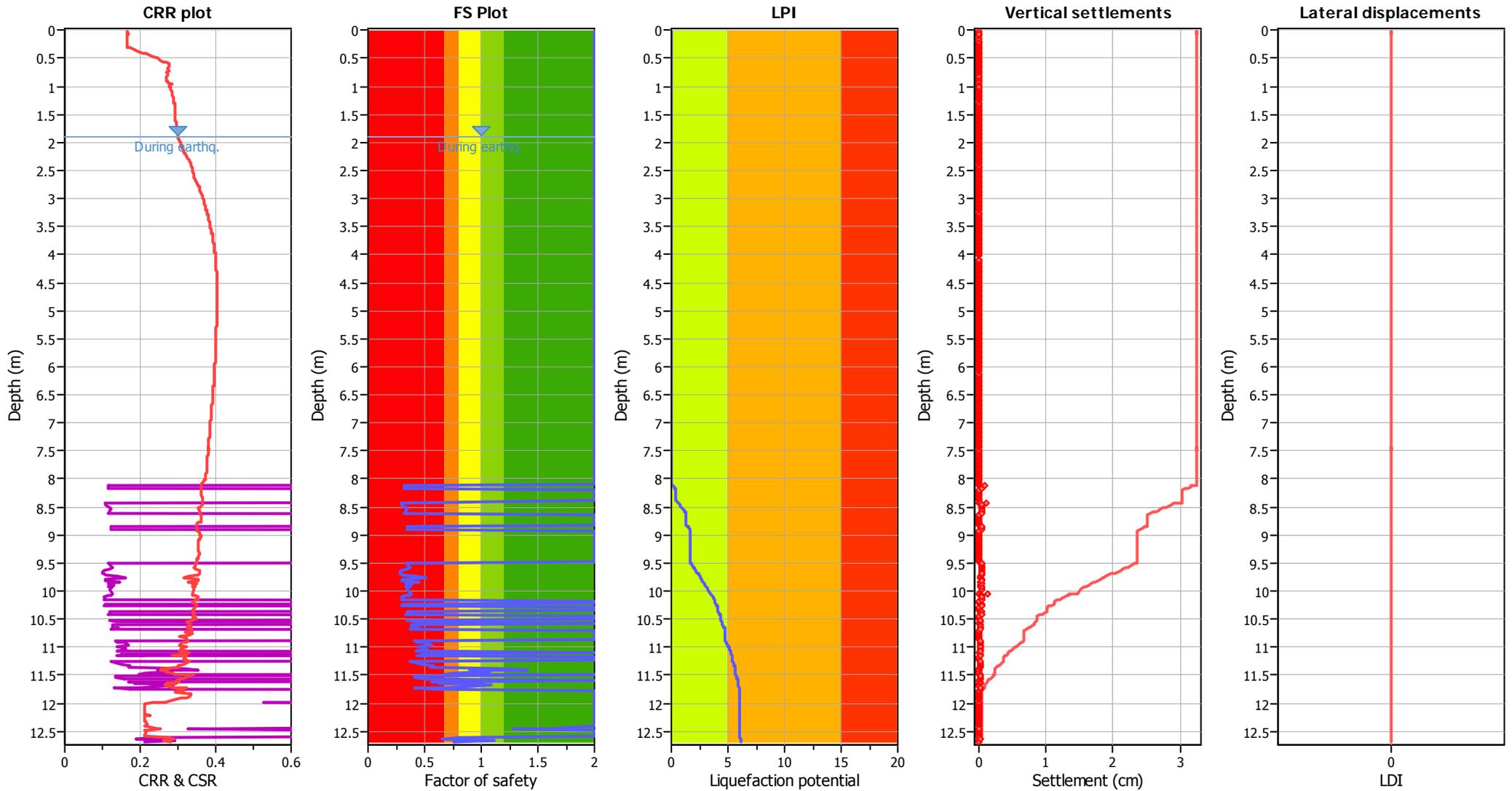
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.90 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	13.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.98	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.35	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.90 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.98	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.35	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	13.00 m

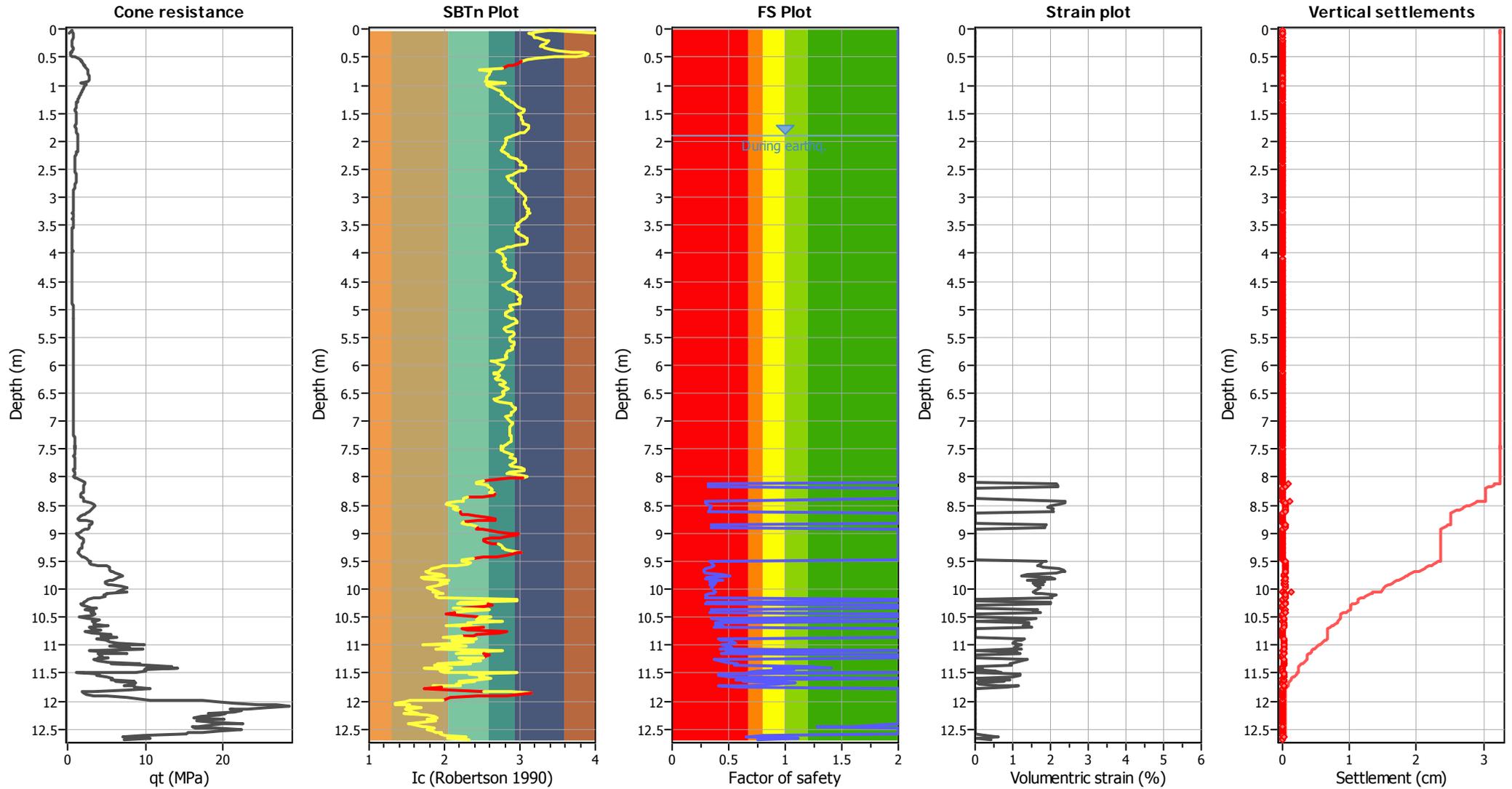
**F.S. color scheme**

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Estimation of post-earthquake settlements



**Abbreviations**

- qt: Total cone resistance (cone resistance  $q_c$  corrected for pore water effects)
- I<sub>c</sub>: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

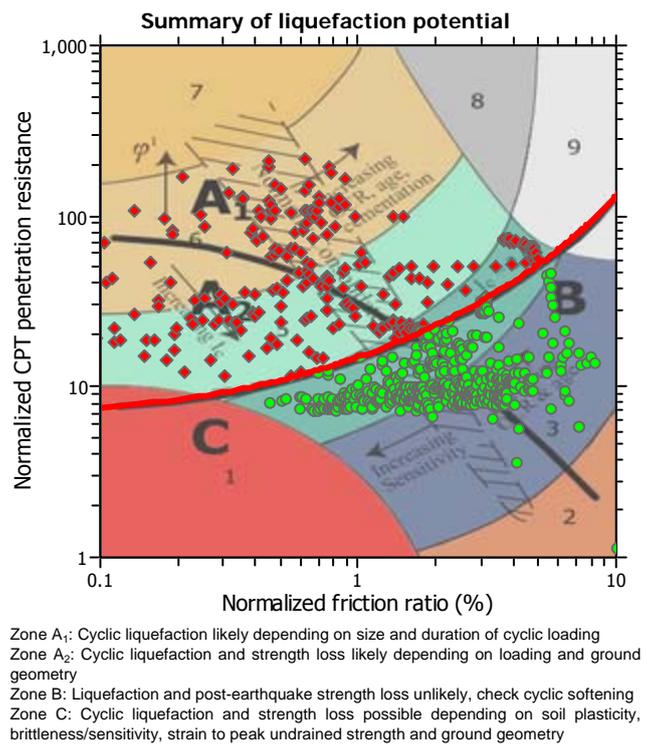
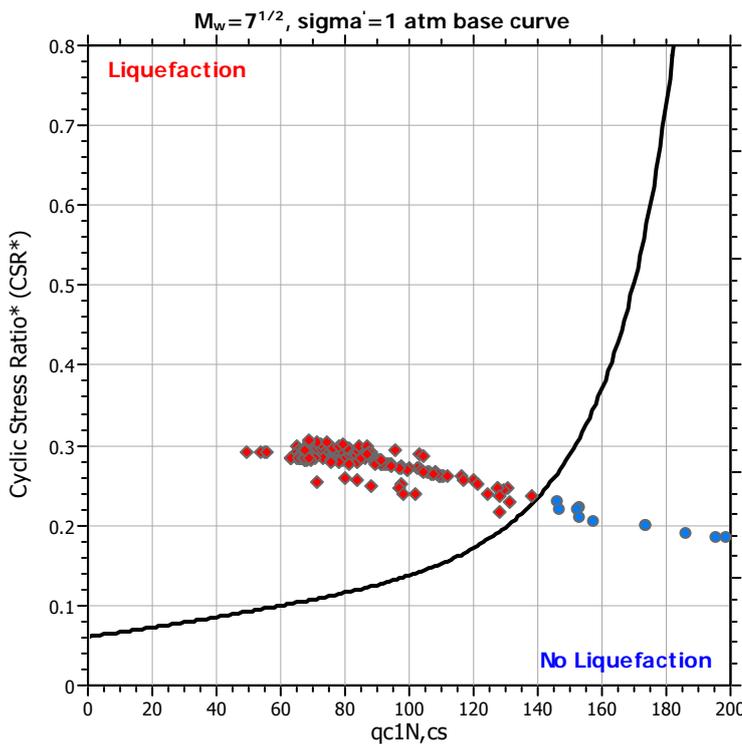
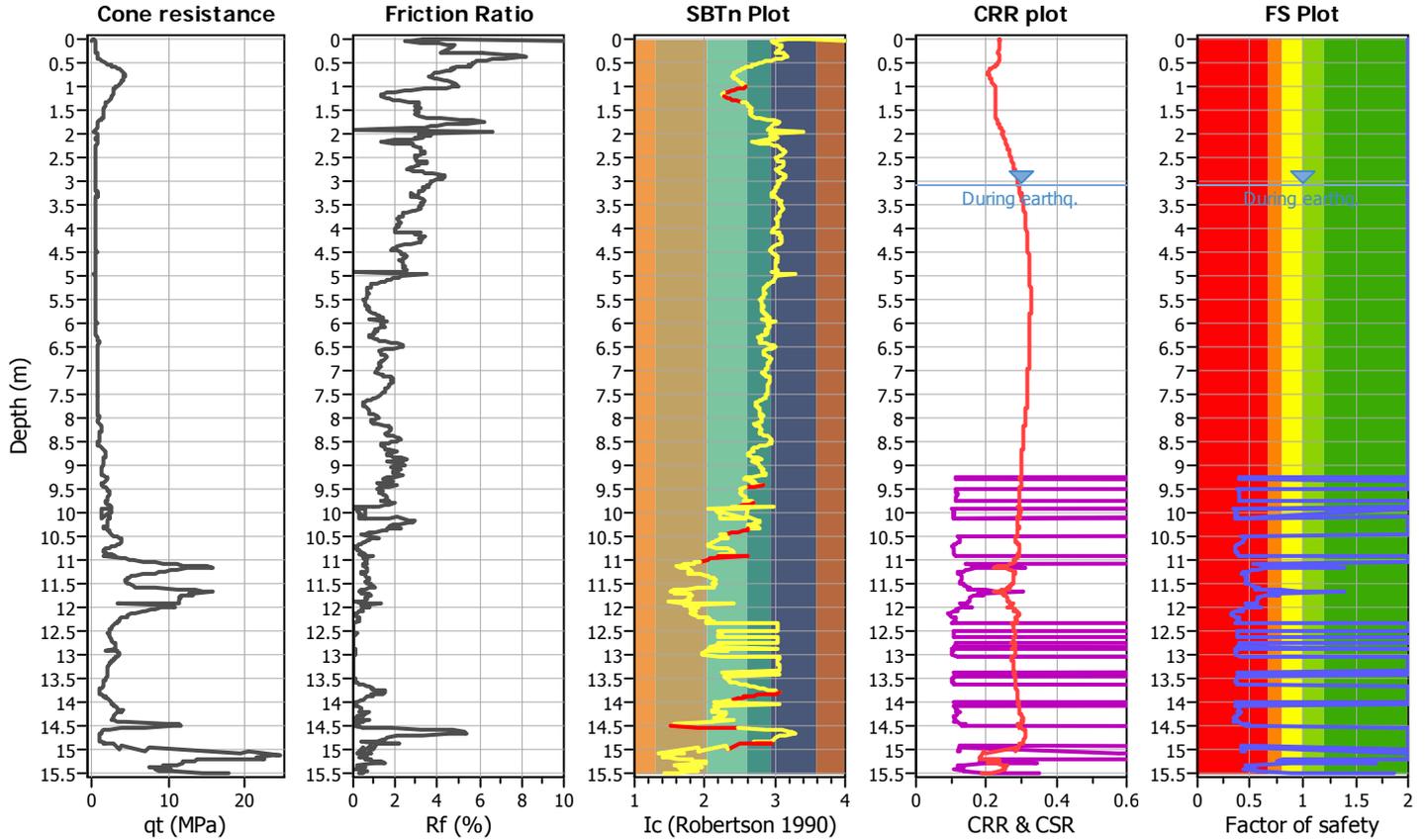
Project title : POC4

Location : Castelfranco

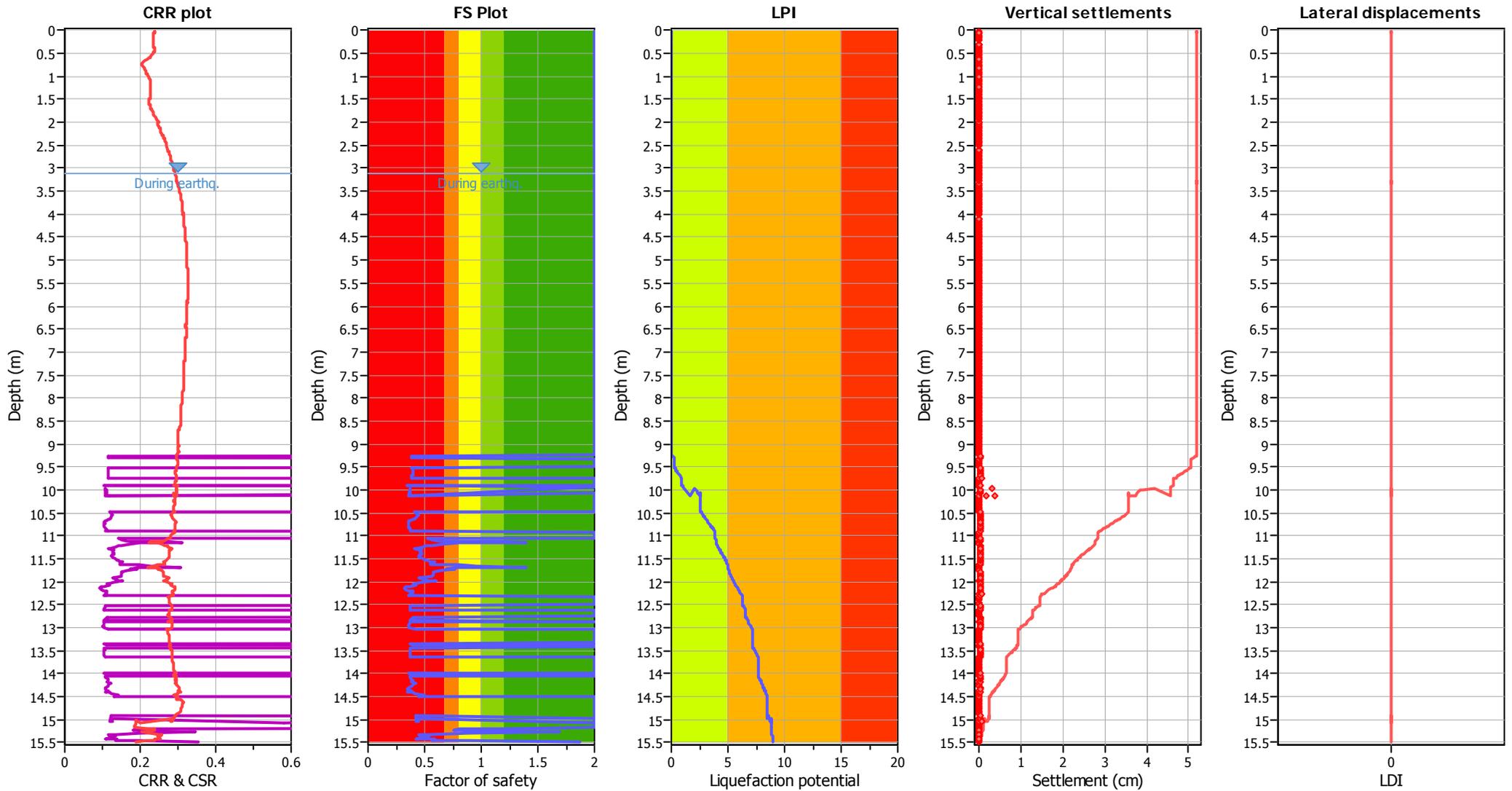
CPT file : CPTU-4

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	3.10 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	3.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	17.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.98	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.35	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	3.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>σ</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.98	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.35	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	17.00 m

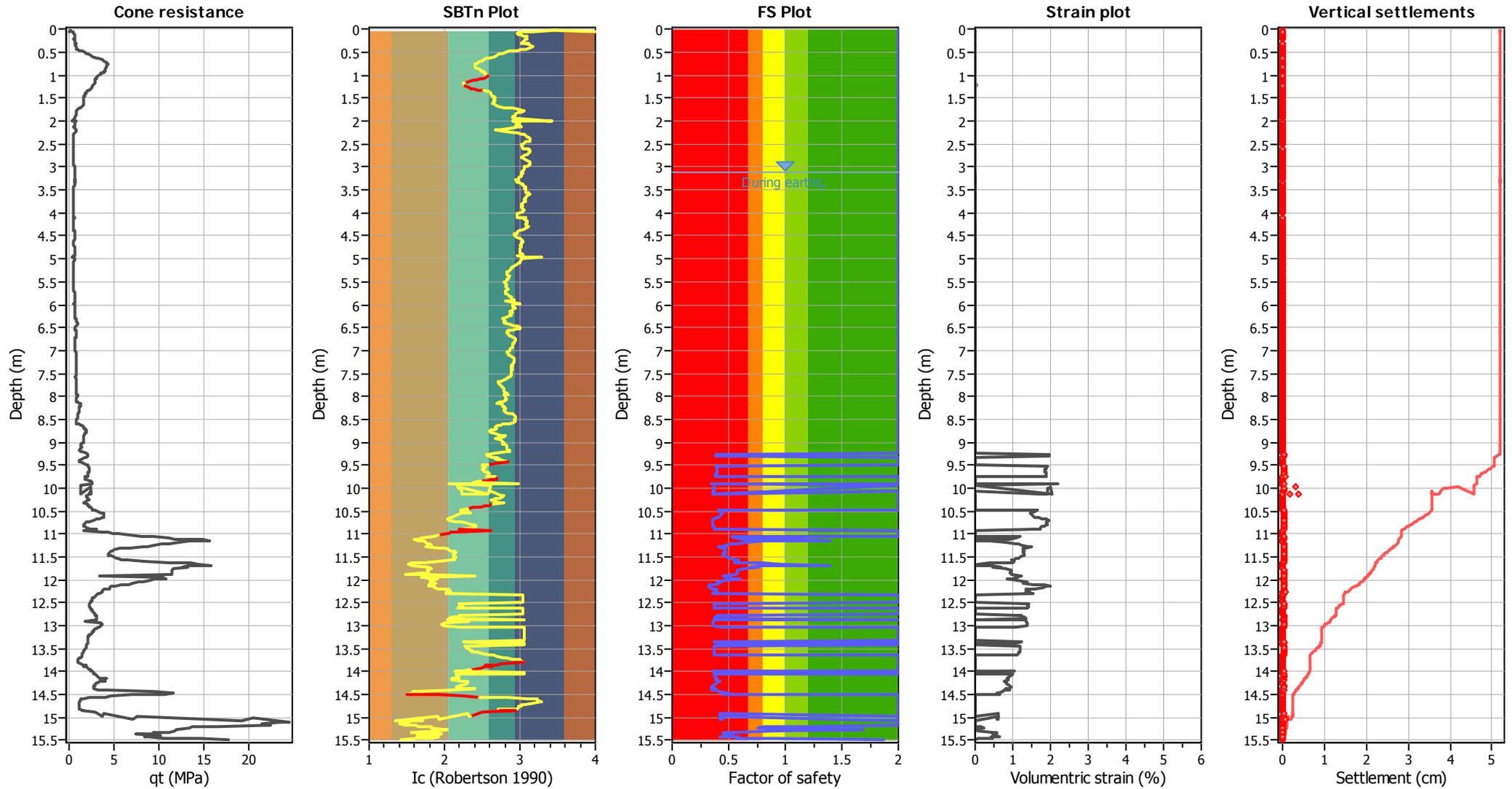
**F.S. color scheme**

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Estimation of post-earthquake settlements



**Abbreviations**

- qt: Total cone resistance (cone resistance  $q_c$  corrected for pore water effects)
- I<sub>c</sub>: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

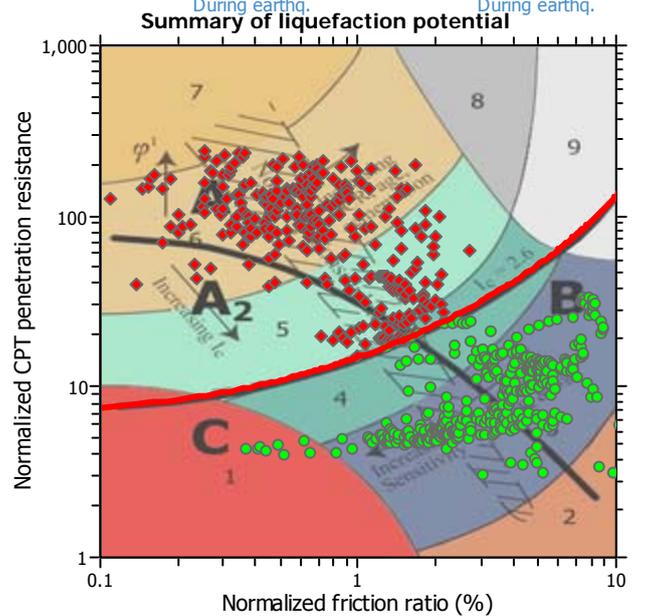
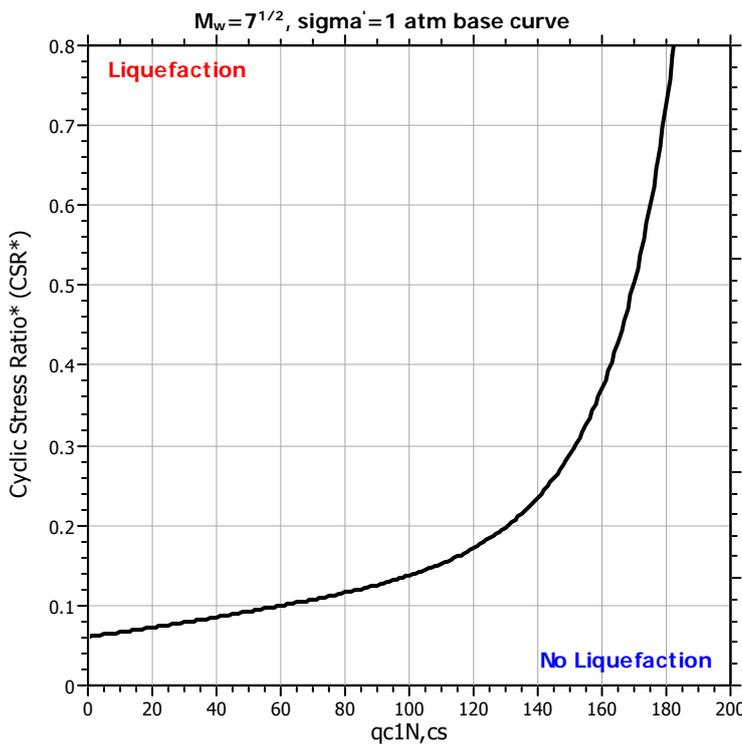
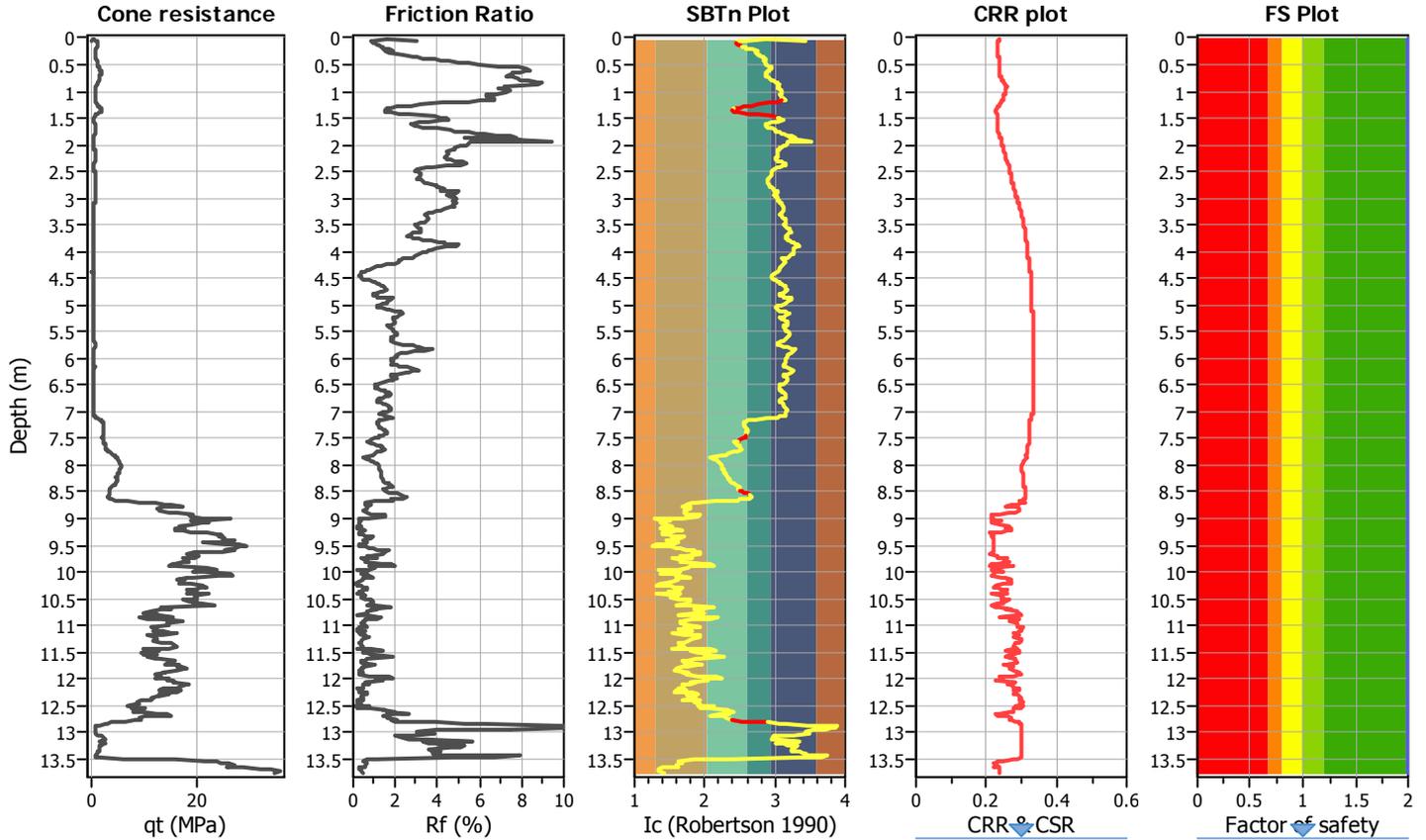
Project title : POC4

Location : Castelfranco

CPT file : CPTU-5

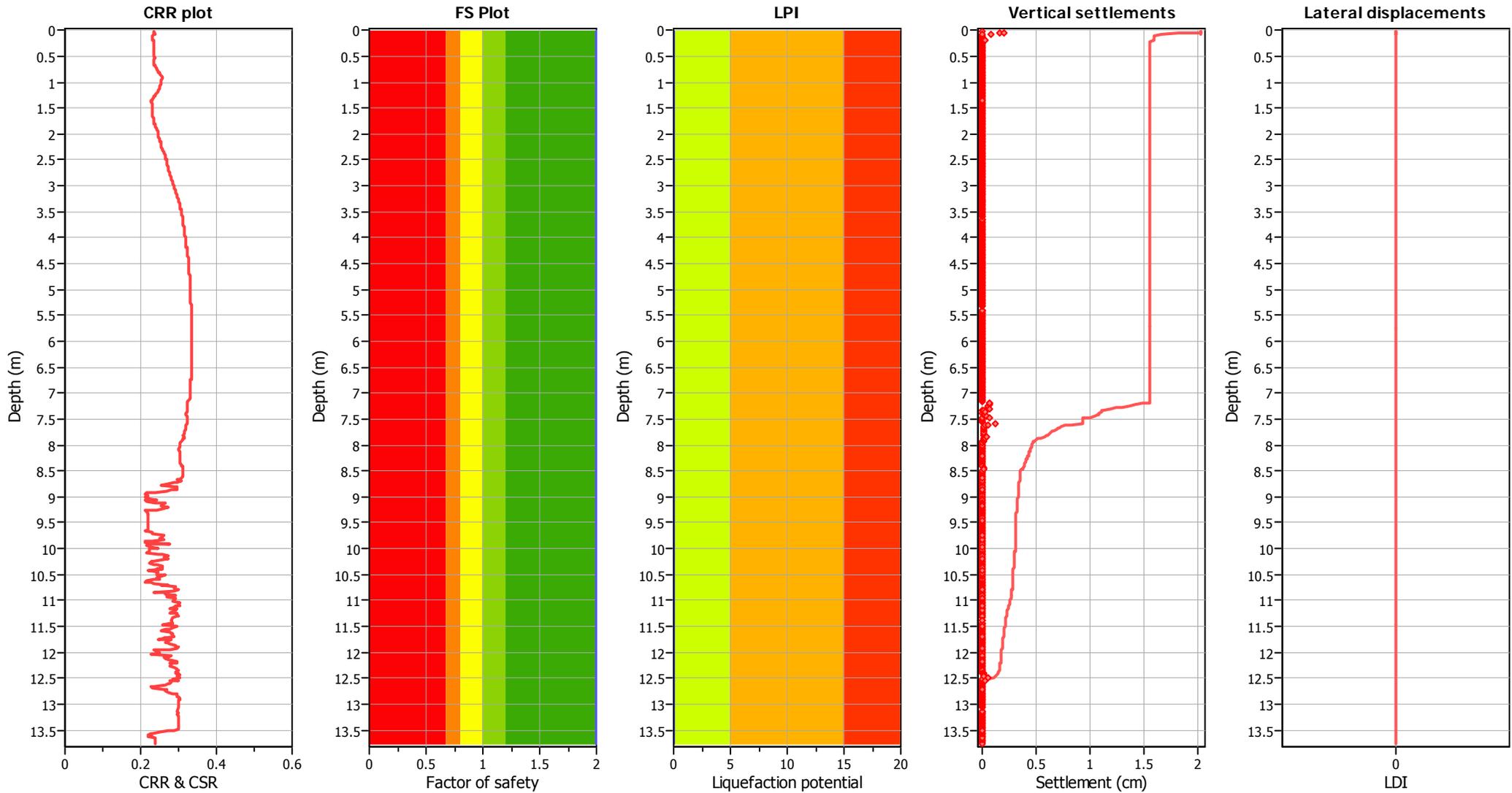
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	15.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	15.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	15.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.98	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.35	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 5.98  
 Peak ground acceleration: 0.35  
 Depth to water table (insitu): 15.00 m

**During earthq.**

Depth to GWT (earthq.): 15.00 m  
 Average results interval: 1  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>σ</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 15.00 m

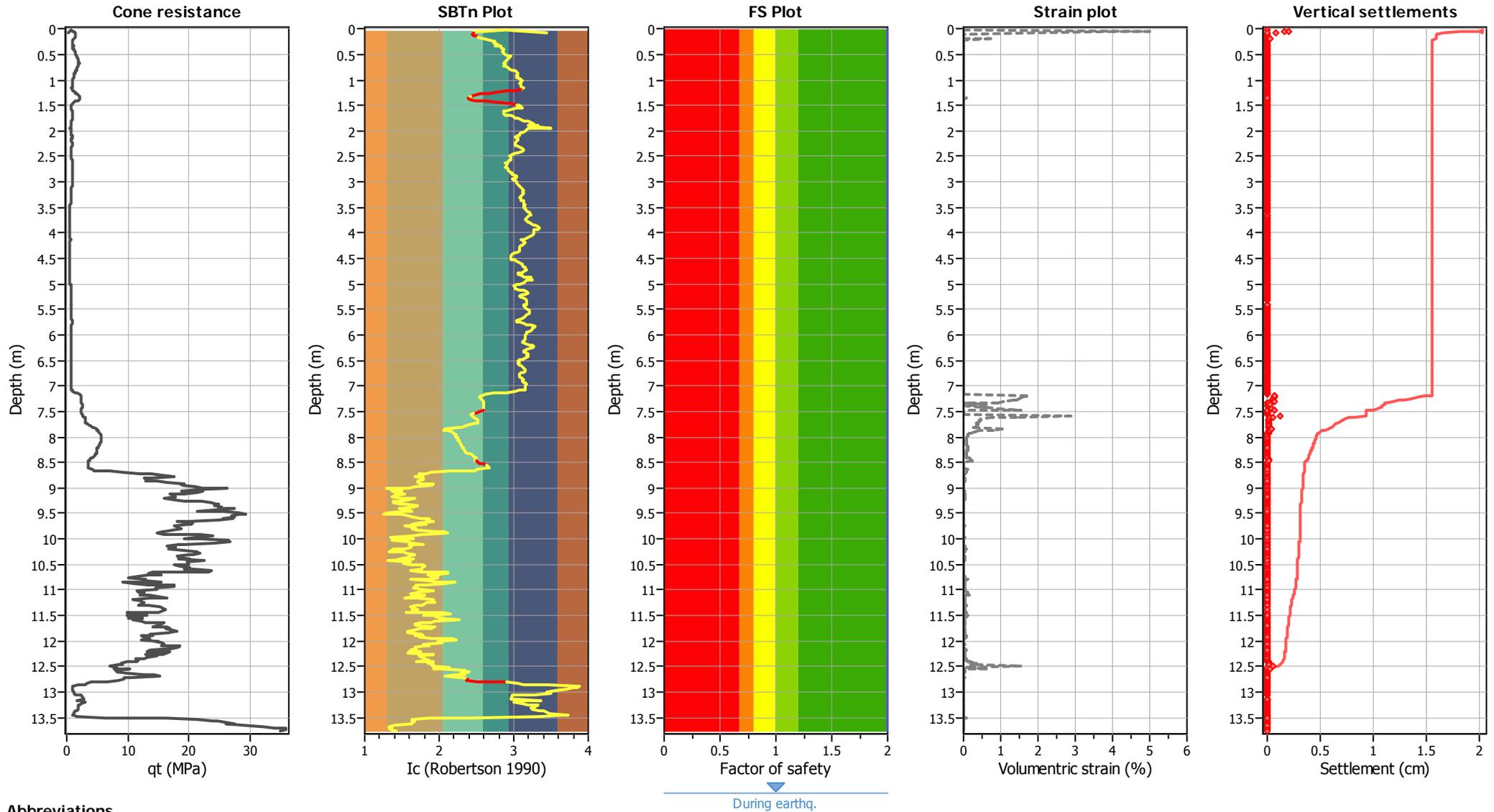
**F.S. color scheme**

- Red: Almost certain it will liquefy
- Orange: Very likely to liquefy
- Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely
- Light Green: Unlike to liquefy
- Dark Green: Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Red: Very high risk
- Orange: High risk
- Yellow: Low risk

### Estimation of post-earthquake settlements



**Abbreviations**

- qt: Total cone resistance (cone resistance  $q_c$  corrected for pore water effects)
- I<sub>c</sub>: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

# **Allegato 3**

## **Analisi geofisiche eseguite per questo studio (2 MASW – 1 HVSR)**

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**  
**PROVINCIA DI MODENA**  
**COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA**

**INDAGINE GEOFISICA**  
**MASW - HVSR**

---

**RELAZIONE TECNICA**

A cura di:  
Dott. Geol. G. Vaccari

*OTTOBRE 2017*

## INDAGINE SISMICA

Su incarico del Dott. Geol. Valeriano Franchi, è stata eseguita nei pressi di un'area situata a Castelfranco Emilia (Mo) una campagna geofisica comprensiva di:

- N. 2 indagini di sismica a rifrazione MASW
- N. 1 acquisizione di microtremori con tecnica HVSR

In figura 1 è riportata l'ubicazione delle indagini eseguite.

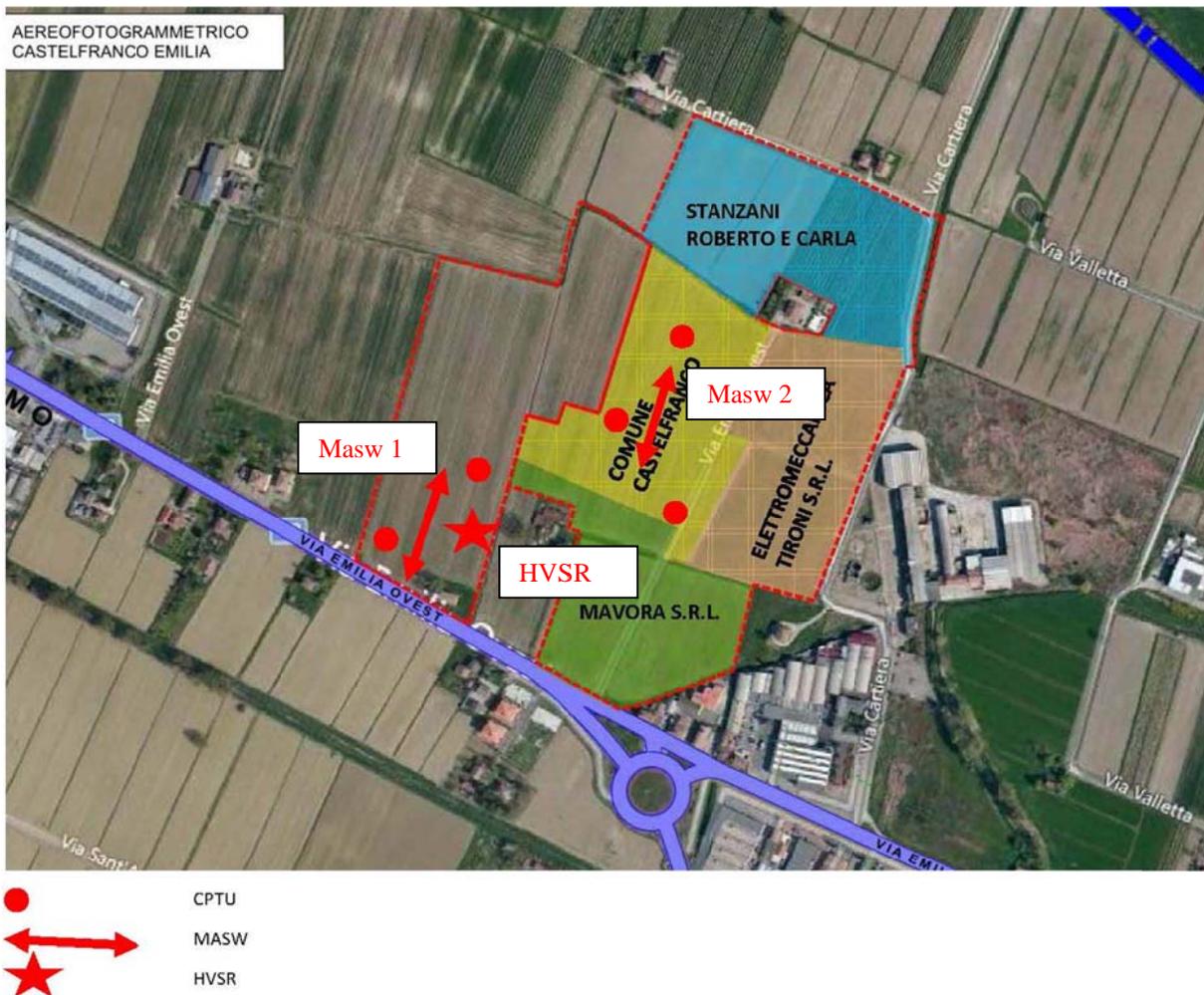


Figura 1 – Ubicazione indagini geofisiche

Di seguito si riportano la metodologia della ricerca e i risultati delle indagini eseguite.

## 1. INDAGINI SISMICHE MASW

### Metodo d'Indagine

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale PASI, dotato di 24 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto sono stati eseguiti due stendimenti di 24 geofoni con spaziatura tra i geofoni di 2.0 metri per una lunghezza delle linee sismiche di 46 metri ciascuno. L'energizzazione è stata eseguita a 2, 5 e 10 metri dal primo geofono.

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 6.0 – Eliosoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

### Risultati–Determinazione delle categoria del suolo di fondazione

L'analisi delle onde di taglio ( $V_s$ ) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore  $V_{s30}$  per la sezione indagata.

Per l'elaborazione è stata eseguita una correlazione tra i dati sismici e le prove penetrometriche eseguite nell'area.

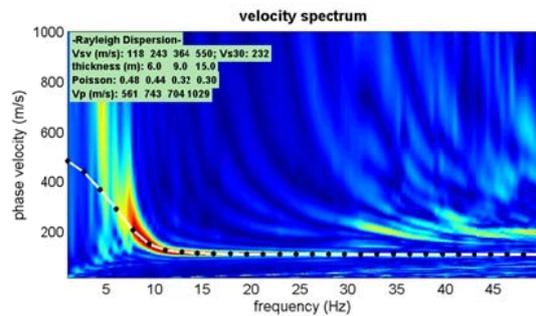
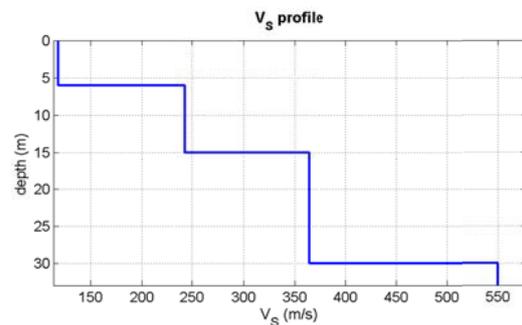
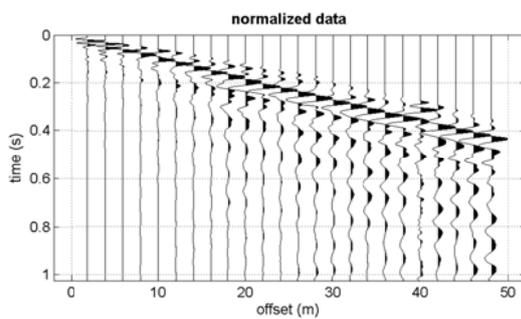
Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per le MASW eseguite.

# MASW 1

## Sismostratigrafia

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
6.0	6.0	118
15.0	9.0	243
30.0	15.0	364
35.0	5.0	550

Il valore delle Vs30 calcolato rispetto al piano campagna è uguale a 232 m/s



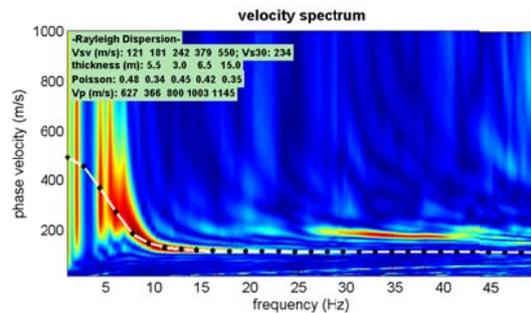
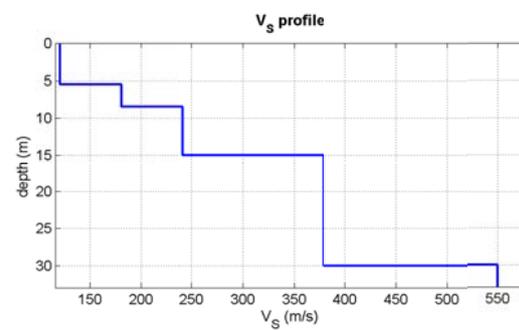
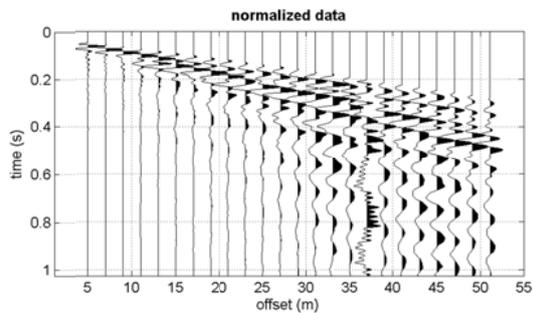
- Sismogramma acquisito, la curva di dispersione e il profilo Vs/profondità-

## MASW 2

### Sismostratigrafia

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
5.5	5.5	121
8.5	3.0	181
15.0	6.5	242
30.0	15.0	379
35.0	5.0	550

Il valore delle Vs30 calcolato rispetto al piano campagna è uguale a 234 m/s



- Sismogramma acquisito, la curva di dispersione e il profilo Vs/profondità-

## **INDAGINE HVSR**

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione è stata effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata di 30 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo

valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

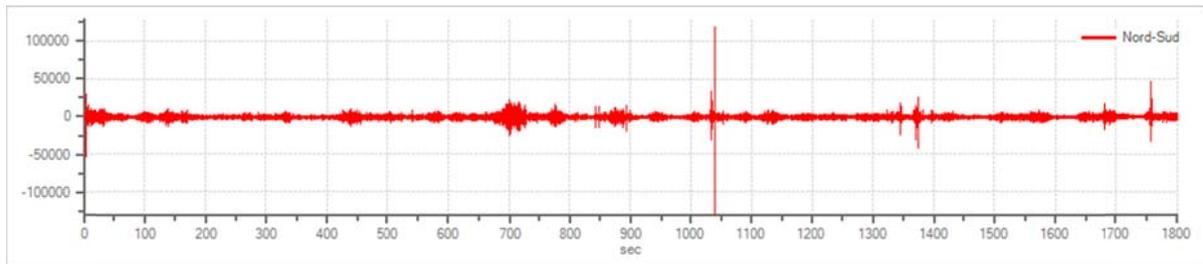
L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è stato possibile valutarne il parametro normativo  $V_{s30}$ .

## Tracce in input

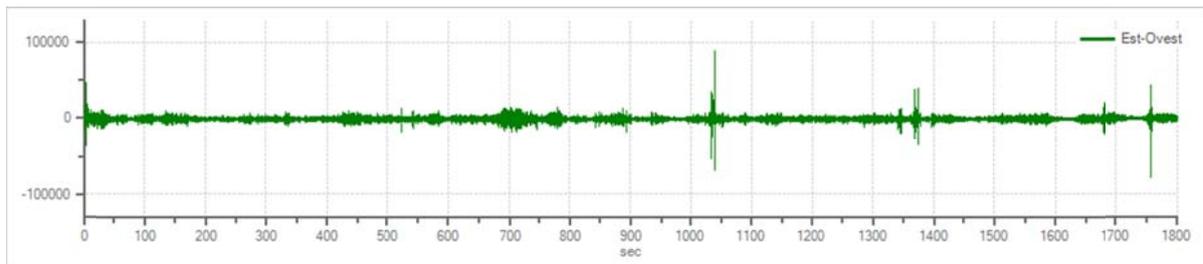
### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1800 s  
Frequenza di campionamento: 200.00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

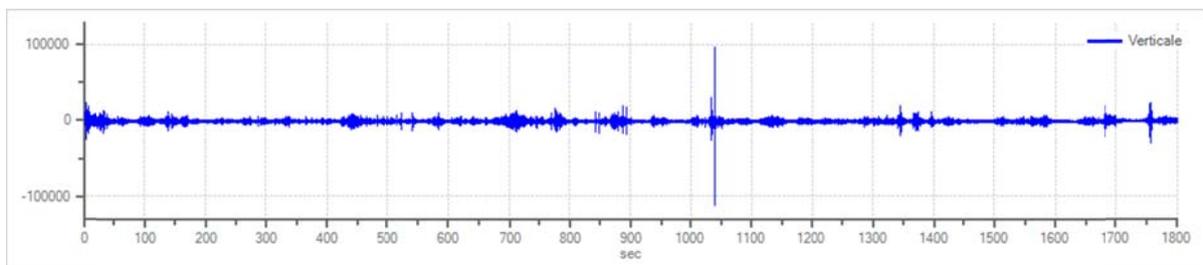
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

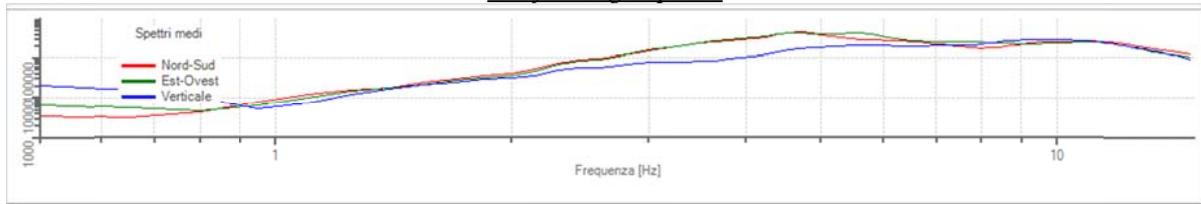
## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 87  
Numero finestre incluse nel calcolo: 86  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Grafici tracce con finestre selezionate:

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

**Rapporto spettrale H/V**

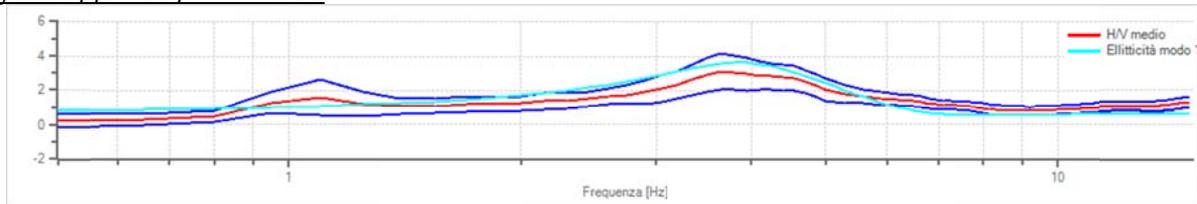
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento:: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 3.65 Hz  $\pm$  0.33 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

	<b>Verifica</b>	<b>Esito</b>
$f_0 > 10/l_w$		Ok
$n_c(f_0) > 200$		Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$		Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$		Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$		Ok
$A_0 > 2$		Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$		Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$		Ok

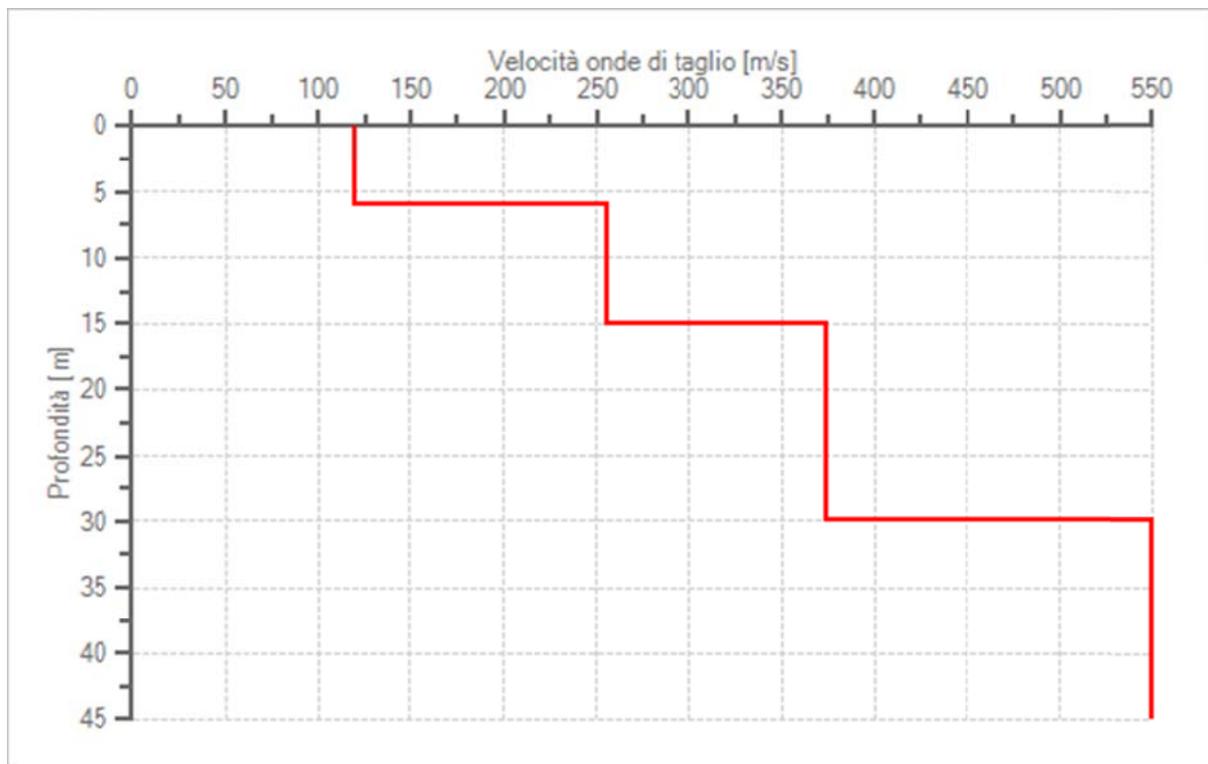
## Modello stratigrafico

### Dati riepilogativi:

Numero strati: 4  
Frequenza del picco dell'ellitticità: 3.80 Hz  
Valore di disadattamento: -1.00  
Valore Vs30: 238.43 m/s

### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	6	18	0.3	119
2	6	9	18	0.3	255
3	15	15	20	0.3	374
4	30	15	20	0.3	550



Profilo delle velocità delle onde di taglio.