

Via Valsellustra 32
40060 Dozza - BOLOGNA



Studio Samuel Sangiorgi
Geologia Applicata

Comune:

COMUNE DI PIEVE DI CENTO (BO)

Oggetto:

PUA COMPARTO D8.2
RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA (DGR 476/2021)

Stesura:

dicembre 2021

Elaborazione:

Dr. Geol. Samuel Sangiorgi

Committente:

CYCLOP SRL
Via Sassoferato 1
20135 Milano



tel/fax. 0542 640279

mail info@studiosamuelsangiorgi.eu

www.studiosamuelsangiorgi.eu



Indice generale

1	PREMESSA.....	2
2	ASPETTI METODOLOGICI: Studi di riferimento e indagini di repertorio.....	5
2.1	Studi di riferimento e indagini di repertorio.....	5
2.2	Nuove Indagini geognostiche/geofisiche.....	6
3	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA.....	8
3.1	Geomorfologia e litostratigrafia sub affiorante.....	8
3.2	Contesto idrogeologico e pericolosità idraulica.....	11
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	14
4.1	Pericolosità sismica di base.....	14
4.2	Gli studi di pericolosità sismica elaborati per la pianificazione territoriale e urbanistica.....	16
4.2.1	<i>Gli Indirizzi tecnici regionali di riferimento: DGR 476/2021.....</i>	<i>16</i>
4.2.2	<i>Il rischio sismico definito nel Piano Territoriale Metropolitano di Bologna.....</i>	<i>17</i>
4.2.3	<i>La microzonazione sismica comunale.....</i>	<i>17</i>
4.2.4	<i>Vs equivalente dei terreni ed elementi di risposta sismica locale (approccio semplificato).....</i>	<i>19</i>
5	APPROFONDIMENTI SISMICI DI LIVELLO 3 (DGR 476/2021).....	22
5.1	Modellazione sismostratigrafica del sottosuolo profondo.....	22
5.2	Modellazione numerica della Risposta Sismica Locale.....	24
5.2.1	<i>Cenni introduttivi.....</i>	<i>24</i>
5.2.2	<i>Input sismici di riferimento.....</i>	<i>24</i>
5.2.3	<i>Modello sismostratigrafico di input.....</i>	<i>27</i>
5.2.4	<i>Esiti delle simulazioni.....</i>	<i>28</i>
5.3	Verifiche quantitative della liquefacibilità e dei cedimenti in caso di sisma.....	31
5.3.1	<i>Cenni introduttivi.....</i>	<i>31</i>
5.3.2	<i>Metodologia delle verifiche.....</i>	<i>32</i>
5.3.3	<i>Esiti delle verifiche.....</i>	<i>34</i>
6	ORIENTAMENTI GEOTECNICI.....	37
6.1	Modellazione geotecnica di massima.....	37
6.2	Ulteriori indicazioni geotecniche.....	41
7	SINTESI DELLO STUDIO.....	42

ALLEGATI:

REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

REPORT VERIFICHE LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI POST SISMA (PROVE CPTU)

Lo Studio scrivente è stato incaricato di redigere lo studio geologico e sismico a corredo della proposta di Piano Urbanistico Attuativo relativa al sub comparto D8.2 del Comune di Pieve di Cento (figura 1.1). Il comparto è prevalentemente destinato a nuova edificazione produttiva.

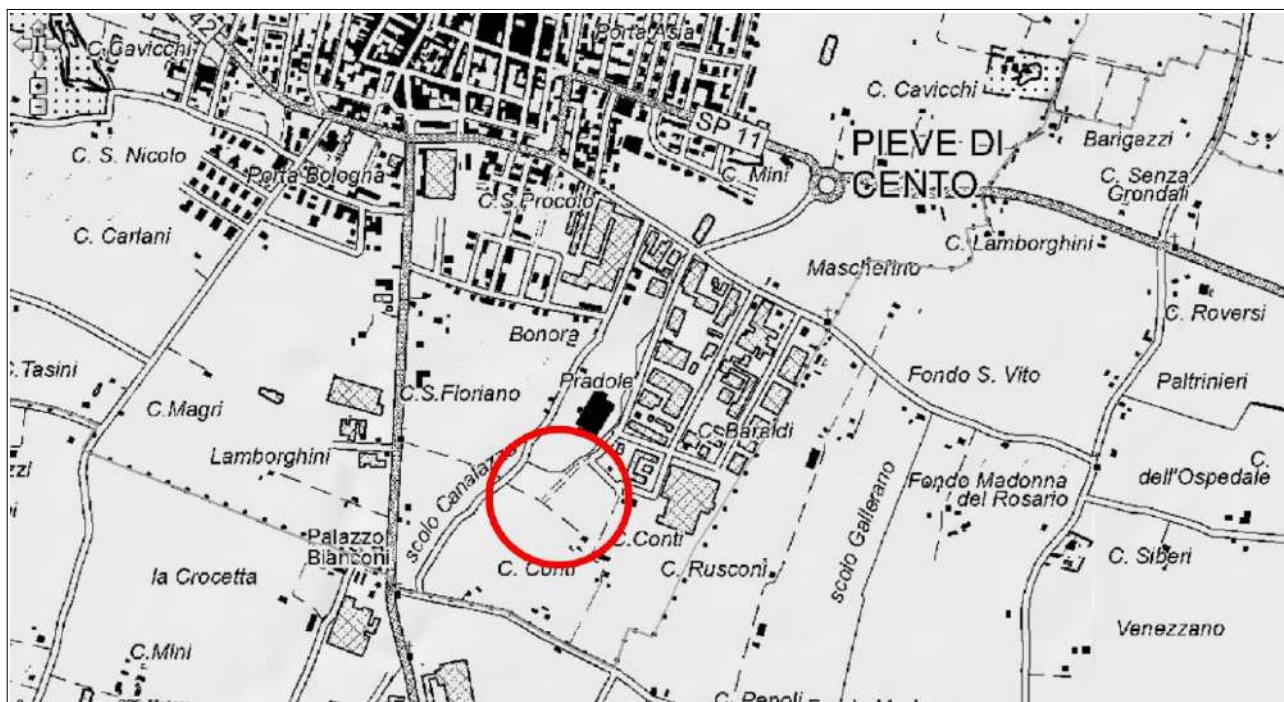


Figura 1.1 - Localizzazione dell'area di studio (base topografica RER, scala 1:25.000)

La figura 1.2 riporta una delimitazione più dettagliata del comparto in oggetto, mentre la figura 1.3 propone uno stralcio della planimetria di progetto attuativo. Occorre precisare che l'areale è stato già interessato da indagini geologiche finalizzate alla proposta di "Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata per il comparto definito dal P.R.G. come D8.2", inerente al Comparto di Espansione Produttiva D8.2 via del Fosso, approvato con Deliberazione del Consiglio Comunale n. 32 del 20/06/2002 con attuazione regolata dalla Convenzione urbanistica del 05/08/2002. Il PPIP di cui sopra oggi è scaduto in quanto la convenzione di durata decennale non venne a suo tempo rinnovata. Il Piano attuativo riproposto è tuttavia inerente a una sola porzione di tale precedente comparto e include ulteriori areali situati a ovest.

Occorre rammentare che il Comune di Pieve di Cento è dotato dello studio di microzonazione sismica¹ di livello 2 per il territorio urbanizzato/urbanizzabile, redatto ai sensi della DAL 112/2007. Nell'ottobre 2018 è stato inoltre validato dalla CTMS un ulteriore aggiornamento della MS di livello 2 dei Comuni dell'Unione Reno-Galliera (OCDPC 171/2014; DGR 1227/2015), aggiornamento che verrà recepito nel futuro PUG comunale.

¹ approvato con delibera Cons. Prov. n.57/2013

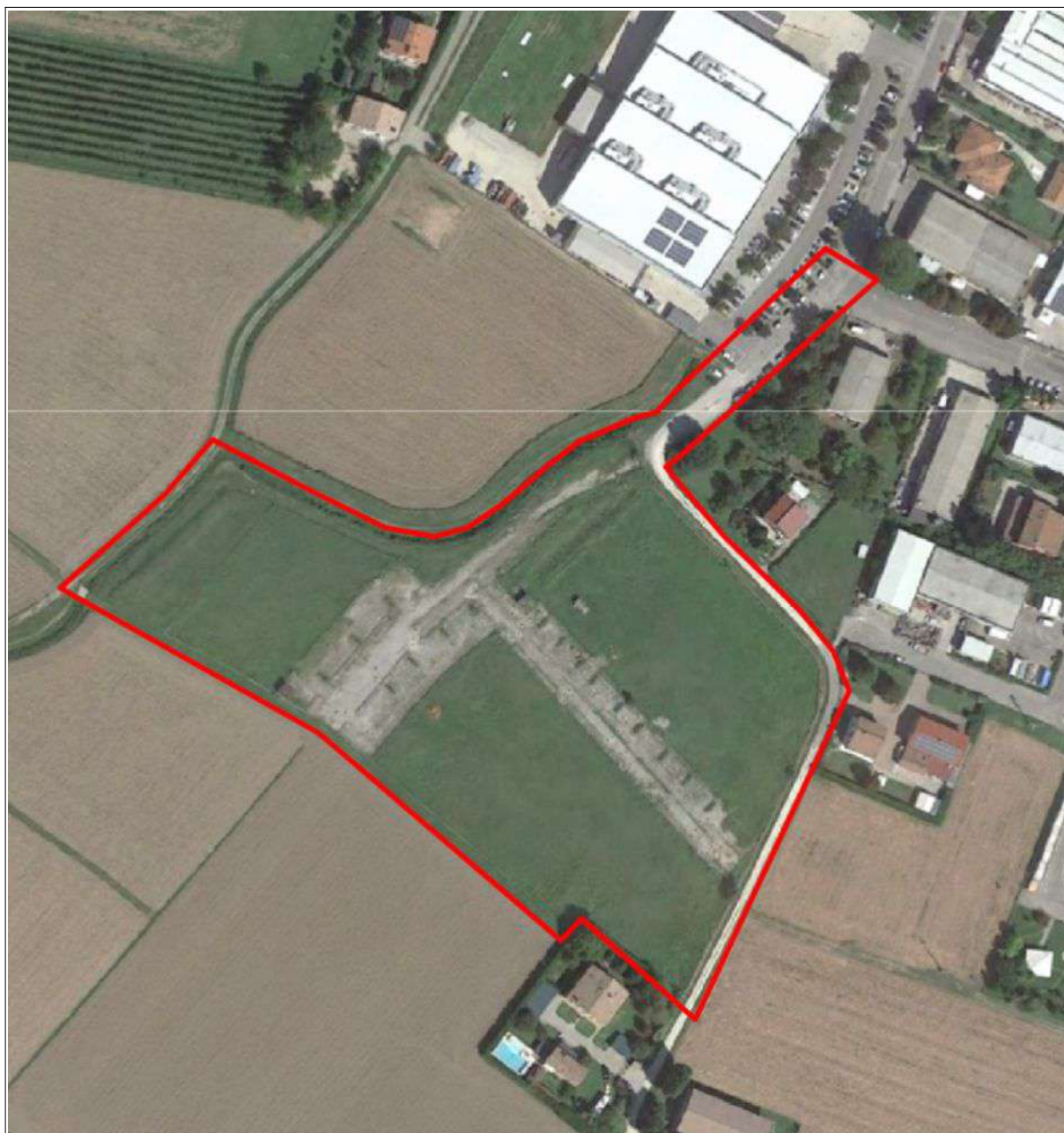


Figura 1.2 - Localizzazione di dettaglio del comparto D8.2 (foto aerea: "Google Earth")

Il presente studio fornisce ulteriori elementi di caratterizzazione geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica, in coerenza con quanto indicato dalla LR 19/2008 e in coerenza con le delibere regionali di settore, ultima delle quali la DGR 476/2021 - Aggiornamento dell'"Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017)" di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630, recentemente integrata con la DGR 564/2021. Più in particolare:

- ✓ sono state recepite le indagini geognostiche (prove penetrometriche CPT) eseguite per il PPIP 2002;

- ✓ sono state recepite le ulteriori indagini geognostiche/geofisiche (penetrometrie CPT, CPTE/ CPTU; “Cono Sismico”; registrazioni HVSr) inserite nell’archivio delle indagini a supporto dello studio di microzonazione sismica comunale (MS 2018);
- ✓ sono stati recepiti tutti gli elementi di caratterizzazione sismica di base e di caratterizzazione sismica locale;
- ✓ si sono forniti ulteriori elementi di caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica propedeutici alla valutazione di ammissibilità delle previsioni edificatorie, con indicazioni utili per le successive fasi di progettazione.



Figura 1.3 - Planimetria della progettazione attuativa prevista nel comparto D8.2

2 ASPETTI METODOLOGICI: STUDI DI RIFERIMENTO E INDAGINI DI REPERTORIO

2.1 Studi di riferimento e indagini di repertorio

- ✓ Per il contesto geologico e geolitologico → ci si è riferiti alla Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna (pubblicata anche on line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli – SGSS – della nostra Regione). Per il modello geologico profondo si sono inoltre considerate le sezioni geologiche RER anch'esse pubblicate nel sito internet del SGSS e la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:250.000 (SGSS RER – CNR - DST Firenze - INGV, aggiornamento 2017);
- ✓ Per il contesto idrogeologico → ci si è riferiti alla Carta Idrogeologica elaborata alla scala 1:25.000 (tav.AC.1.2a) per il Quadro Conoscitivo del PSC dei Comuni delle associazioni “Reno-Galliera” e “Terre d'Acqua”, e ai dati piezometrici ricavati direttamente dalle prove eseguite nelle aree di previsione;
- ✓ Per la pericolosità idraulica → ci si è riferiti al Piano di Gestione rischio Alluvioni realizzato dalle UoM del Distretto idrografico Appennino Settentrionale (in recepimento alla “direttiva alluvioni 2007/60/CE”) e alla <<Variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)>>;
- ✓ Per il contesto di pericolosità sismica locale → ci si è riferiti allo studio di microzonazione sismica di livello 2 elaborato per il Piano Strutturale di Pieve di Cento (in breve: MS 2013) e al successivo aggiornamento validato nell'ottobre 2018 dalla CTMS (OCDPC 171/2014; DGR 1227/2015). Si sono inoltre considerati gli elementi di pericolosità riportati nel Piano Territoriale Metropolitano di Bologna e in particolare la <<Tavola 4 - Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali>> alla scala 1:65.000 (per la pianura), approvata con Delibera del consiglio metropolitano n.16 del 12/05/2021;
- ✓ Indagini geognostiche e geofisiche pregresse → si sono considerate le indagini disponibili nell'Archivio Prove Geognostiche e Geofisiche di riferimento elaborato per lo studio di MS 2013 e per l'aggiornamento 2018. In questo senso, occorre precisare che la modellazione sismostratigrafica del sottosuolo ha considerato gli esiti di specifiche indagini effettuate nel Capoluogo e in particolare: la **prova SCPTU (“Cono Sismico”)** eseguita nella zona produttiva del Capoluogo e **registrazioni sismiche HVSR**. In adiacenza l'area di studio risultano disponibili ulteriori prove **penetrometrie CPTE/CPTU e CPT**. La figura 2.1 identifica con sigla le prove localizzate nella “carta delle indagini” prodotta per lo studio di MS 2018.
Nel comparto sono inoltre disponibili gli esiti di prove CPT realizzate per lo studio geologico del PPIP 2002, nell'areale più ampio rispetto al limite del comparto oggetto di questa proposta attuativa. La figura 2.2 localizza le indagini di interesse per il comparto in oggetto.

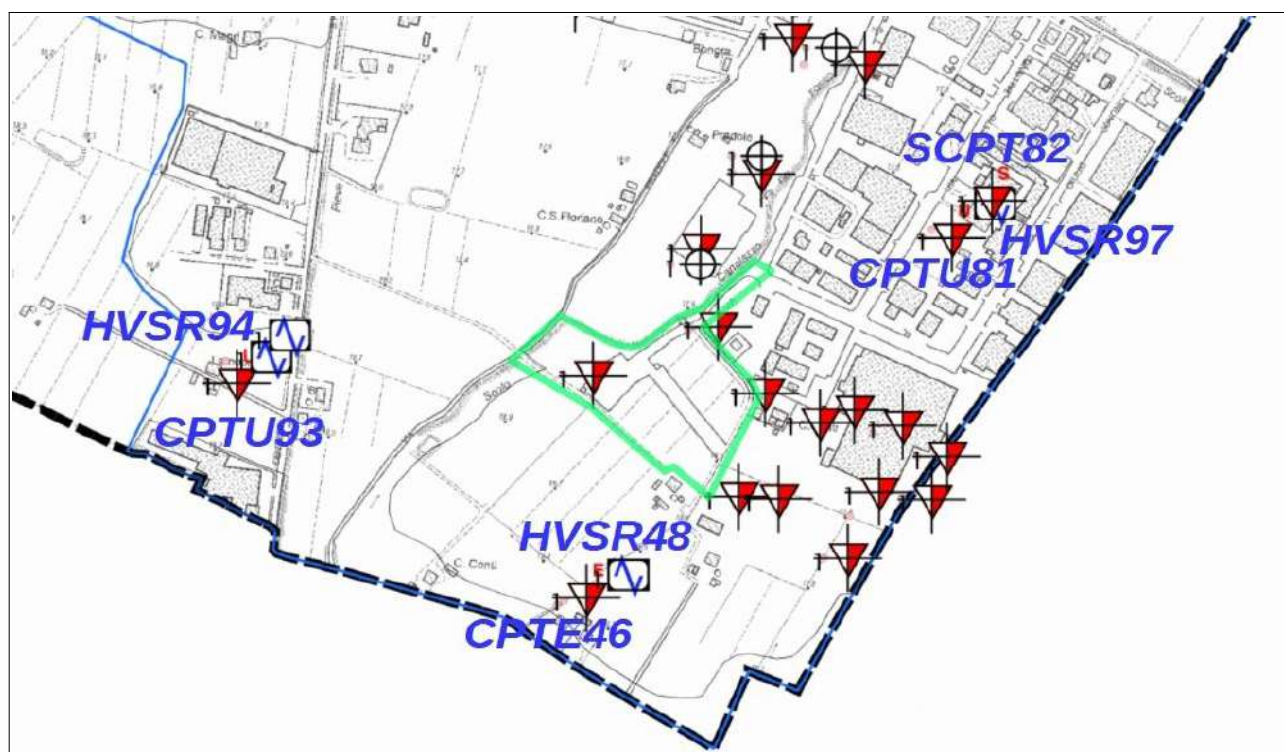


Figura 2.1 - Stralcio della <<Carta delle Indagini>> prodotta per lo studio di MS comunale (aggiornamento 2018). Sono evidenziate con sigla d'archiviazione le prove di maggior riferimento per l'area di studio

2.2 Nuove Indagini geognostiche/geofisiche

Per gli ulteriori approfondimenti del PUA sono state complessivamente eseguite **n. 3 penetrometrie statiche con puntale elettrico dotato di piezocono CPTU** (foto 2.1), approfondite fino a 20 metri dal p.c. Le terebrazioni sono state realizzate con un penetrometro dotato di spinta da 200 kN, montato su mezzo semovente cingolato.

La punta piezometrica utilizzata presenta caratteristiche standard e la speciale attrezzatura utilizzata permette l'acquisizione dei dati ogni cm di avanzamento attraverso lettura diretta delle resistenze. I dati di penetrazione (q_c/q_t ; f_s ; u_2) sono stati elaborati per le verifiche quantitative della liquefazione e cedimenti post sisma e per la stima automatica dei principali parametri meccanici fondamentali.

È stata infine realizzata n. 1 **registrazione dei microtremori sismici ambientali HVSR** (foto 2.1) con strumento tromografico portatile. Lo strumento dispone di tre canali di acquisizione connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione, in grado di misurare le componenti della velocità (moto) di ogni strato lungo le direzioni N-S; E-W; H-V. L'elaborazione del microtremore misurato, fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), risultando efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza f_r del sottosuolo: $f_r = V_s/4 \cdot H$ (con H = spessore strato). La stima delle frequenze amplificanti del terreno consente anche una preliminare valutazione delle eventuali "doppie risonanze" con le tipologie di manufatti di progetto.

Le indagini sono state tutte realizzate alla quota attuale di campagna e sono localizzate nella figura 2.2. In calce al testo si allegano i grafici di sintesi delle prove eseguite.

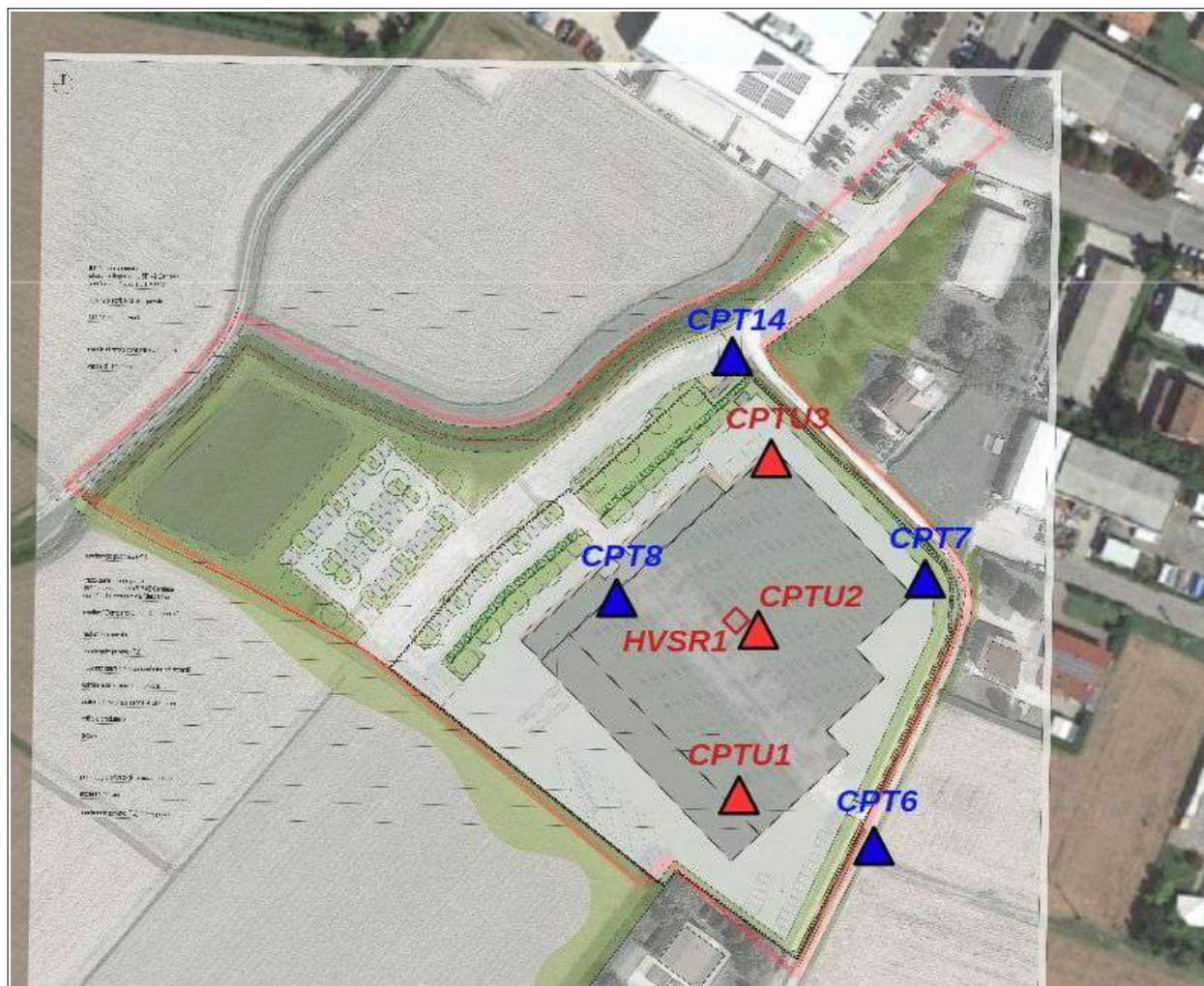


Figura 2.2 – Localizzazione delle indagini pregresse (penetrometriche CPT eseguite per il PIIP 2002, evidenziate in blu) e localizzazione delle indagini integrative eseguite per questo studio (CPTU e HVSR evidenziate in rosso). Le prove pregresse sono evidenziate con sigla originale

3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

3.1 Geomorfologia e litostratigrafia sub affiorante

La figura 3.1 riporta uno stralcio della cartografia geologica interattiva delle RER pubblicata dal SGSS regionale. Il comparto si colloca nel contesto più generale di pianura alluvionale e più in particolare in ambito deposizionale più recente di “depositi di piana inondabile” del fiume Reno. Morfologicamente, l'area edificabile del comparto è situata a quote comprese tra 18,9 m e 18,1 m slmm circa 22 metri s.l.m, con blando declivio verso NE (cfr. CTR RER scala 1:5.000).

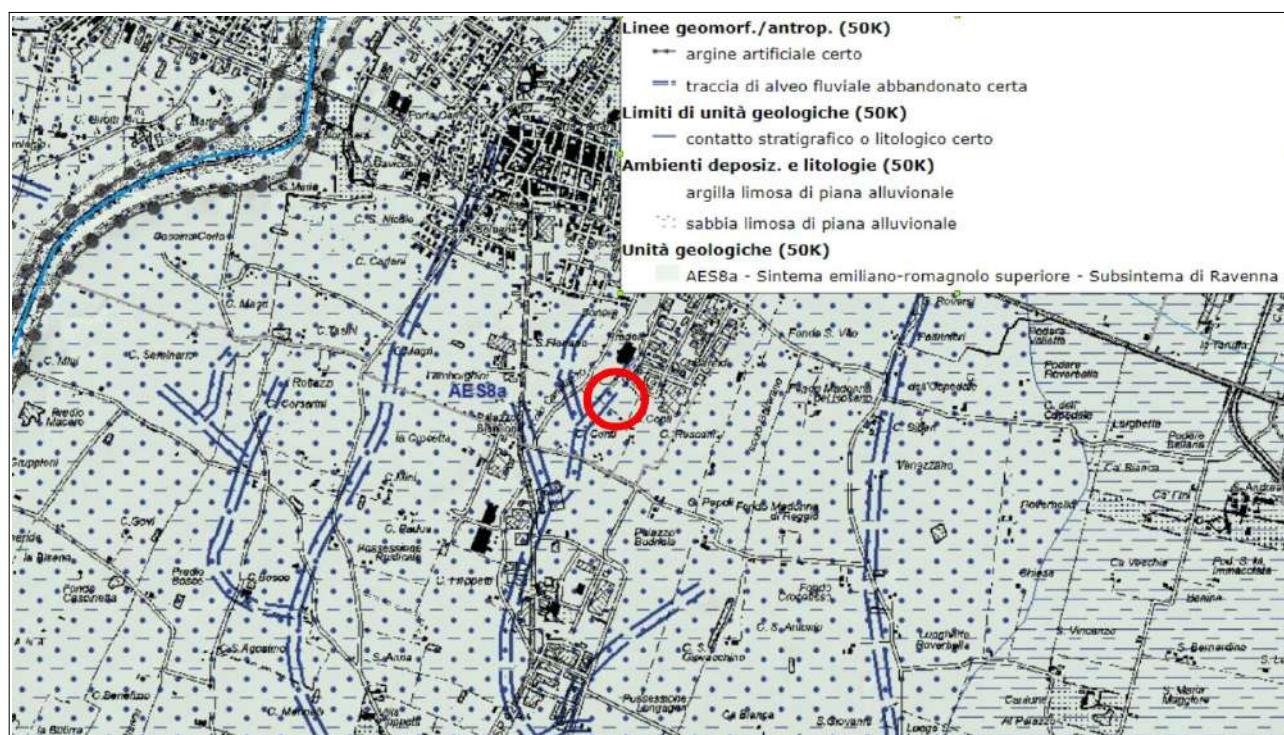


Figura 3.1 - Stralcio della Cartografia Geologica interattiva pubblicata nel sito internet del SGSS della Regione Emilia-Romagna. L'area di studio è localizzata nel cerchiato rosso

La cartografia geologica RER distingue le Unità continentali alluvionali secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli deposizionali), comprese nel principale “Supersintema Emiliano-Romagnolo” (R.E.R., ENI-AGIP, 1998). I depositi alluvionali affioranti vengono attribuiti al “Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore” (AES) e sono suddivisi in sequenze deposizionali di diverso ordine gerarchico (subsintemi identificati con sigle da AES5 – più antichi - ad AES8 – più recenti) generalmente delimitati, in pianura, da blande scarpate di erosione. Ciò detto, i sedimenti affioranti nell'area di studio vengono compresi nell'unità più recente, ovvero nell'“unità di Modena” del “Subsintema di Ravenna” (identificati con sigla AES8a). Si tratta di depositi alluvionali molto recenti (Olocene), che possono comprendere sedimenti con tessiture variabili da sabbie più o meno limoso argillose a limi e argille. Nell'area in esame, i sedimenti sub affioranti vengono classificati tessitualmente come sabbie limose: si tratta di depositi

derivati da tracimazioni fluviali del Reno. La cartografia geologica RER riporta anche tracce di alvei fluviali abbandonati superficiali.

Per questo studio, sono state eseguite tre ulteriori penetrometriche elettriche CPTU che consentono una migliore definizione litostratigrafica del sottosuolo investigato e che tuttavia confermano il contesto già descritto. Sono state pertanto realizzate due sezioni geologiche schematiche del sottosuolo investigato, rispettivamente denominate A-A' e B-B' (figure 3.2-3.3-3-4).

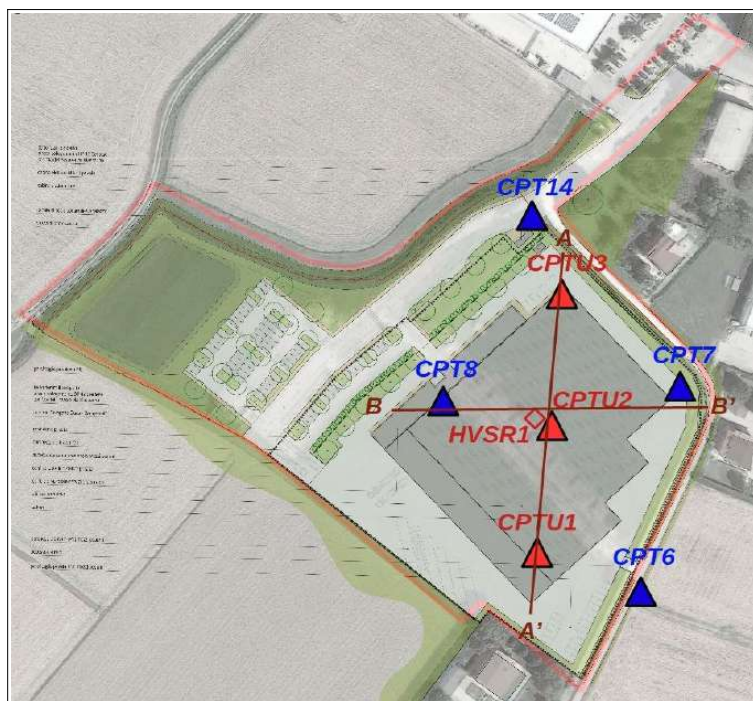


Figura 3.2 - Localizzazione delle sezioni geologiche realizzate per questo studio

In conclusione, il sottosuolo investigato risulta così caratterizzato:

- (1) da p.c. fino a circa $-1,9 \div 2,7$ metri → suolo recente e alternanze di sedimenti di tracimazione fluviale recente prevalentemente limoso sabbiosi insaturi;
- (2) da $-1,9 \div 2,7$ m fino a circa $-1,9 \div 8,1$ metri → sedimenti di tracimazione fluviale recente prevalentemente limosi con alternanze limoso sabbiose e/o limoso argillose scarsamente consistenti;
- (3) da $-1,9 \div 8,1$ m a circa $-3,2 \div 8,1$ metri → sedimenti prevalentemente argilloso limosi di scarsa consistenza con rare intercalazioni limoso sabbiose ;
- (4) da $-3,2 \div 8,1$ m fino al termine delle prove → sedimenti prevalentemente argilloso limosi più consistenti (normal consolidati) con intercalati rari livelli limoso sabbiosi di spessore anche metrico.

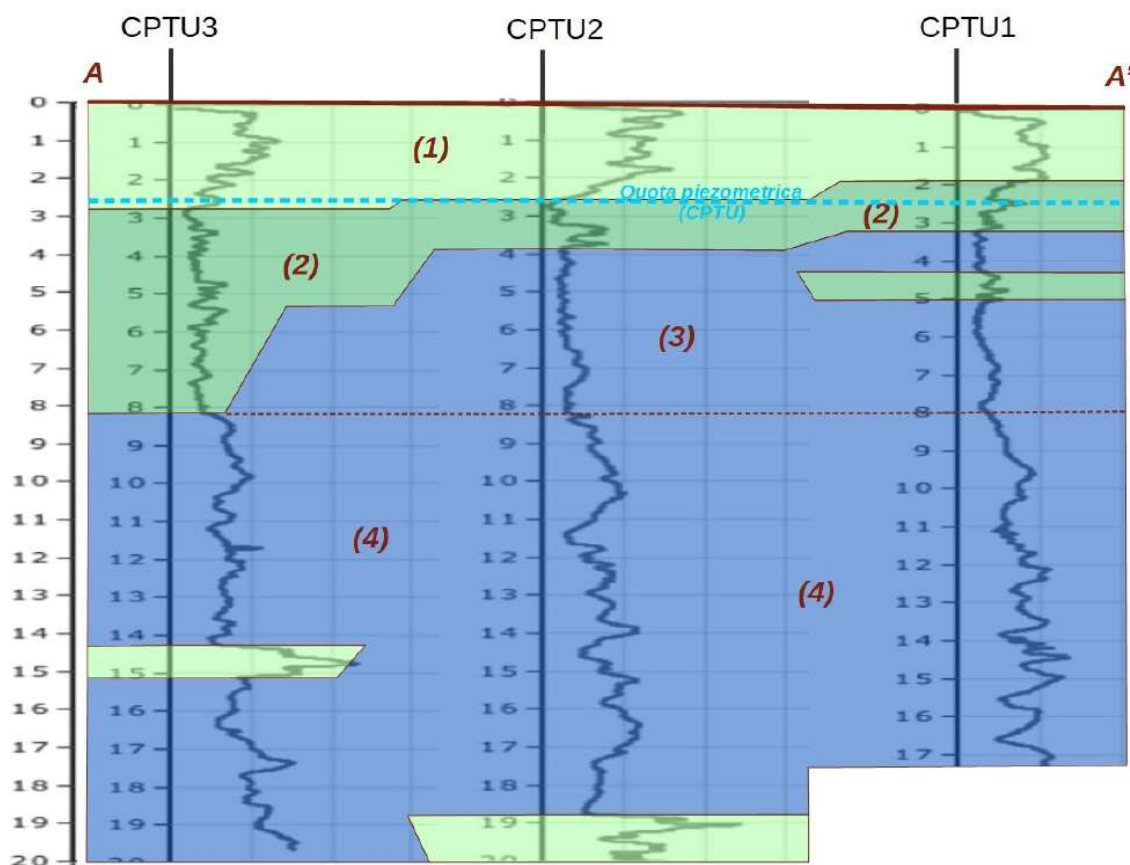


Figura 3.3 - Sezione geologica di sintesi A-A'

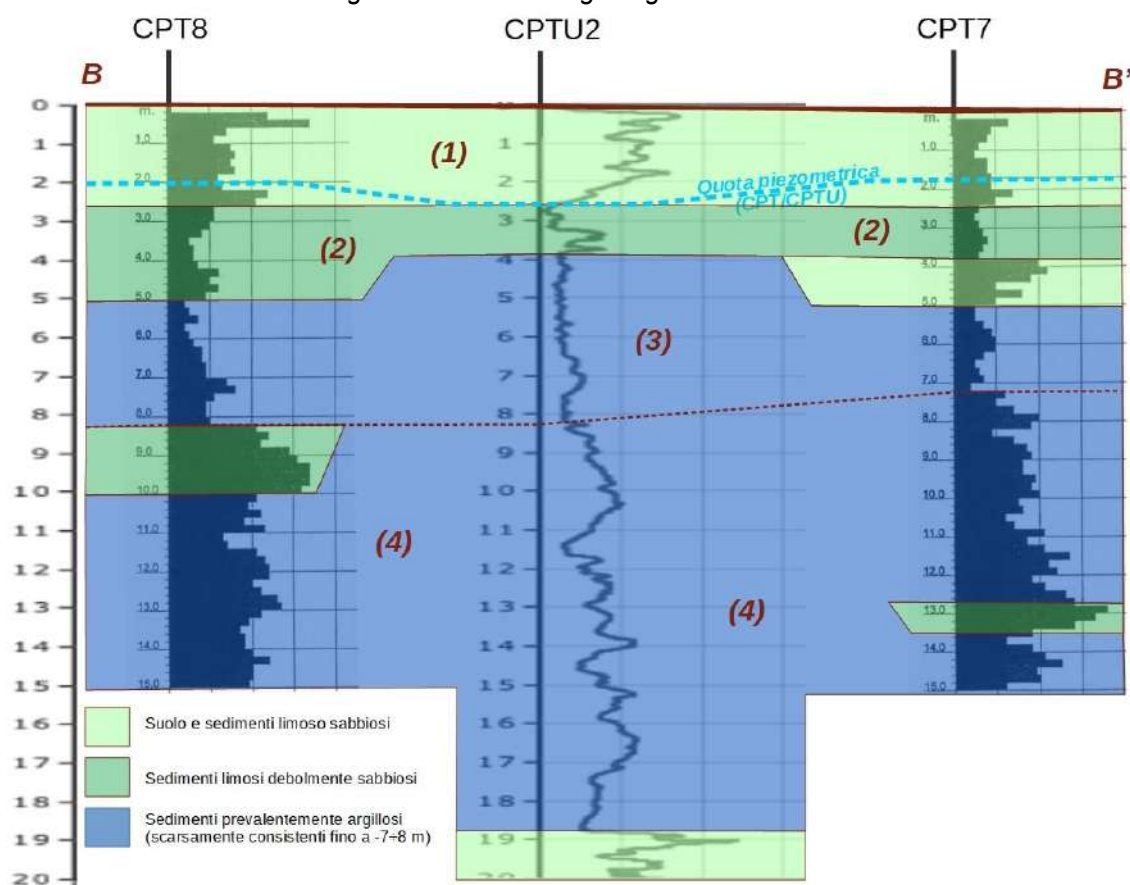


Figura 3.4 - Sezione geologica di sintesi B-B'

3.2 Contesto idrogeologico e pericolosità idraulica

Il contesto idrogeologico locale di riferimento è fornito dalla “Tavola idrogeologica AC.1.2b” del Quadro Conoscitivo del PSC (figura 3.5). La citata cartografia ricostruisce il campo di moto dell'insieme delle prime falde (meno profonde), sulla base di misure delle quote d'acqua effettuate nei pozzi freatici a largo diametro distribuiti del territorio comunale (rilievi del 2006). Per l'area di studio la cartografia idrogeologica evidenzia un deflusso diretto verso NE, con quote isofreatiche comprese tra 16 e 15 m slm e soggiacenze medie pari a circa 2,5÷3,0 metri.

Il campo di moto della falda può essere influenzato dalle condizioni di diversa “ricarica” stagionale, e in particolar modo dalla ricarica di sub alveo del fiume Reno nonché del confinante scolo Canalazzo.

Le prove geognostiche di repertorio hanno riscontrato soggiacenze relativamente più modeste, pari a circa due metri, presumibilmente da ricondursi al periodo di esecuzione delle indagini (gennaio 1998). Le penetrometrie CPTU eseguite per questo studio hanno invece consentito di misurare soggiacenze pari a 2,4÷2,6 metri dunque più coerenti con la tavola d'acqua ricostruita nella citata cartografia, peraltro le indagini seguono un lungo periodo caratterizzato da scarse precipitazioni meteoriche.

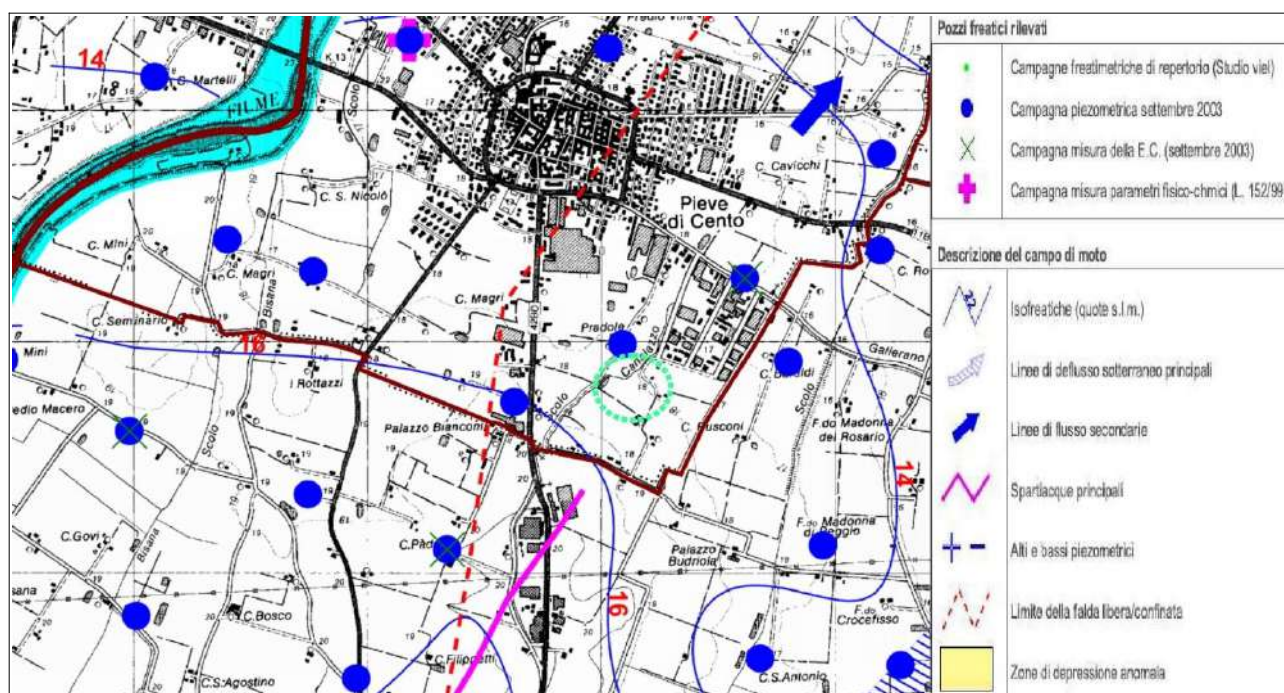


Figura 3.5 - Stralcio della Carta Idrogeologica alla scala 1:25.000 (tav.AC.1.2b) elaborata per il Quadro Conoscitivo del PSC dei Comuni delle associazioni “Reno-Galliera” e “Terre d’Acqua”. L’area di studio è localizzata nel cerchio verde

La prima falda, appare dunque alimentata principalmente da infiltrazione superficiale e da deflusso sotterraneo nei sedimenti più granulari e meno profondi (depositi di tracimazione fluviale recente) e caratterizzati da maggiore trasmissività. Nell’area di studio, tuttavia, le indagini non evidenziano paleoalvei sabbiosi significativi fino ad almeno 10 metri di profondità. Rispetto al contesto

idrogeologico indicato alla scala comunale, le particolari condizioni di ricarica possono dunque condurre a escursioni delle quote piezometriche stimabili fino a circa 1 metro.

Dal punto di vista idraulico, la regimazione locale dell'area di studio è attualmente fornita da alcuni fossi di testata dei campi agricoli e dallo scolo Canalazzo che delimita verso N-NO il comparto studiato. Il sito in oggetto dista non meno di 1900 metri dall'attuale alveo del fiume Reno. L'area di studio, sebbene risulti ancora relativamente prossimale al fiume Reno non presenta particolari condizioni di criticità idraulica, quest'ultima moderata dal blando rilievo morfologico che caratterizza il territorio circostante. Ciò è confermato anche dalla cartografia prodotta per il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (Direttiva Europea 2007/60/CE), che include l'area nello scenario "P2" (alluvioni poco frequenti: TR 100-200 anni) per il reticolo naturale. Per quanto riguarda il reticolo di bonifica il comparto ricade in parte in un'area allata/allagabile dello scolo Canalazzo (scenario "P3"). La figura 3.6 riporta uno stralcio della Tavola 3 "Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti" (foglio1, scala 1:25.000) prodotta per il Piano Territoriale Metropolitano di Bologna.

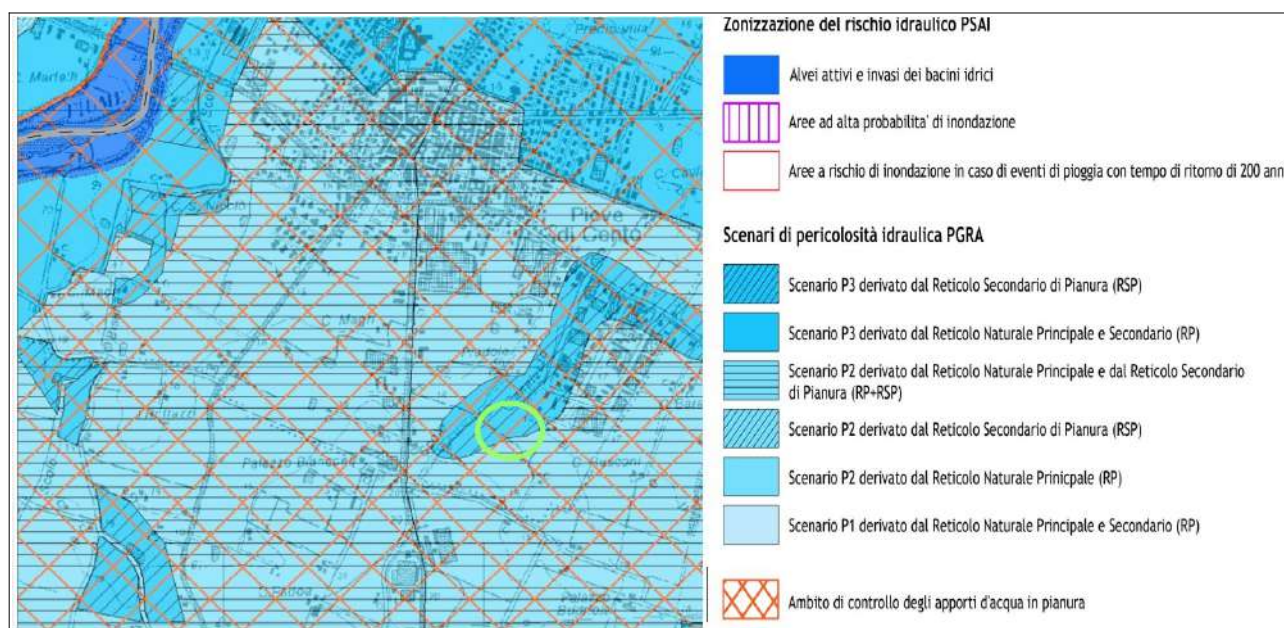


Figura 3.6 - Aree allagabili desunte dai dati del PGRA. La figura riporta uno stralcio della tav.3 "Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti" (foglio1, scala 1:25.000) del PTM di Bologna. L'area di studio è localizzata nel cerchiato verde

Per il quadro conoscitivo del nuovo Piano Urbanistico Generale PUG sono inoltre in corso approfondimenti morfo idraulici che consentiranno di evidenziare a una scala di maggior dettaglio le criticità idrauliche locali. In questo senso, la figura 3.7 riporta uno stralcio della tavola di rischio idraulico alla scala 1:10.000 prodotta a corredo del QC del PUG (stesura preliminare), dove si riportano con maggior dettaglio le aree allagate/allagabili derivate dal reticolo artificiale (vedi scolo Canalazzo). La progettazione dovrà pertanto considerare anche il rispetto del tirante idrico locale stabilito dal Consorzio della Bonifica Renana.

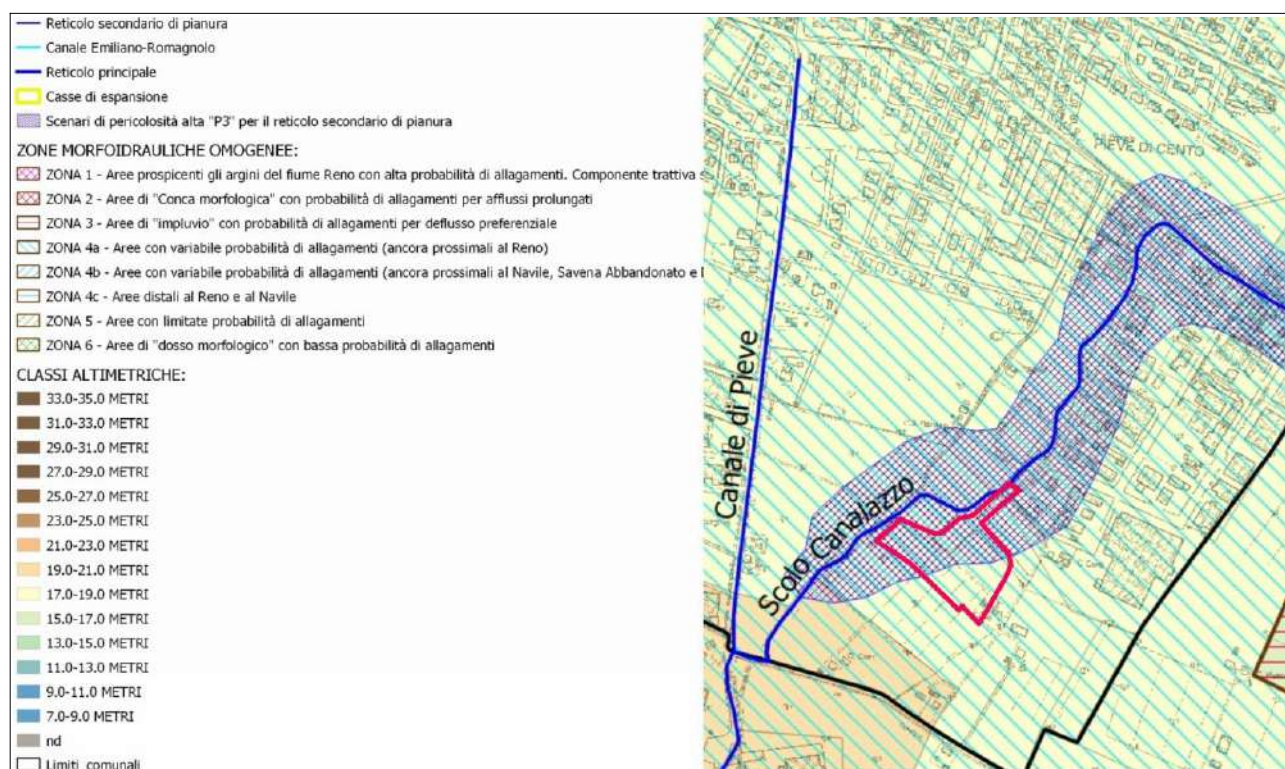


Figura 3.7 - Stralcio della tavola di rischio idraulico (scala 1:10.000) prodotta a corredo del QC del PUG dei Comuni dell'Unione Reno-Galliera (stesura preliminare). L'area di studio è perimetrata in rosso

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

4.1 Pericolosità sismica di base

L'ultima zonazione sismogenica del territorio nazionale è nota con la semplice sigla "ZS9" (2004), prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata riferendosi anche i più recenti background informativi sui terremoti ed in particolare le ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane DISS² e il catalogo CPTI³.

Il territorio comunale di Pieve di Cento ricade nella macrozona sismogenica 912 (ZS9), con magnitudo massima attribuita $M = 6,14$; la sismicità è correlabile alla tettonica attiva del fronte compressivo del margine appenninico sepolto. Più nel dettaglio (figura 4.1), la banca dati DISS 3.3.0 indica che l'area di studio è collocabile al margine della sorgente sismogenica complessa denominata ITCS051 "Carpi-Poggio Renatico". A questa potenziale sorgente sono storicamente associati terremoti caratterizzati da una magnitudo massima fino a $M_w = 6.0$. La ITCS051 include la faglia "Mirandola" effettivamente attiva (terremoti emiliani 2012) ma con tempi di ritorno (per eventi significativi) non chiaramente valutabili.

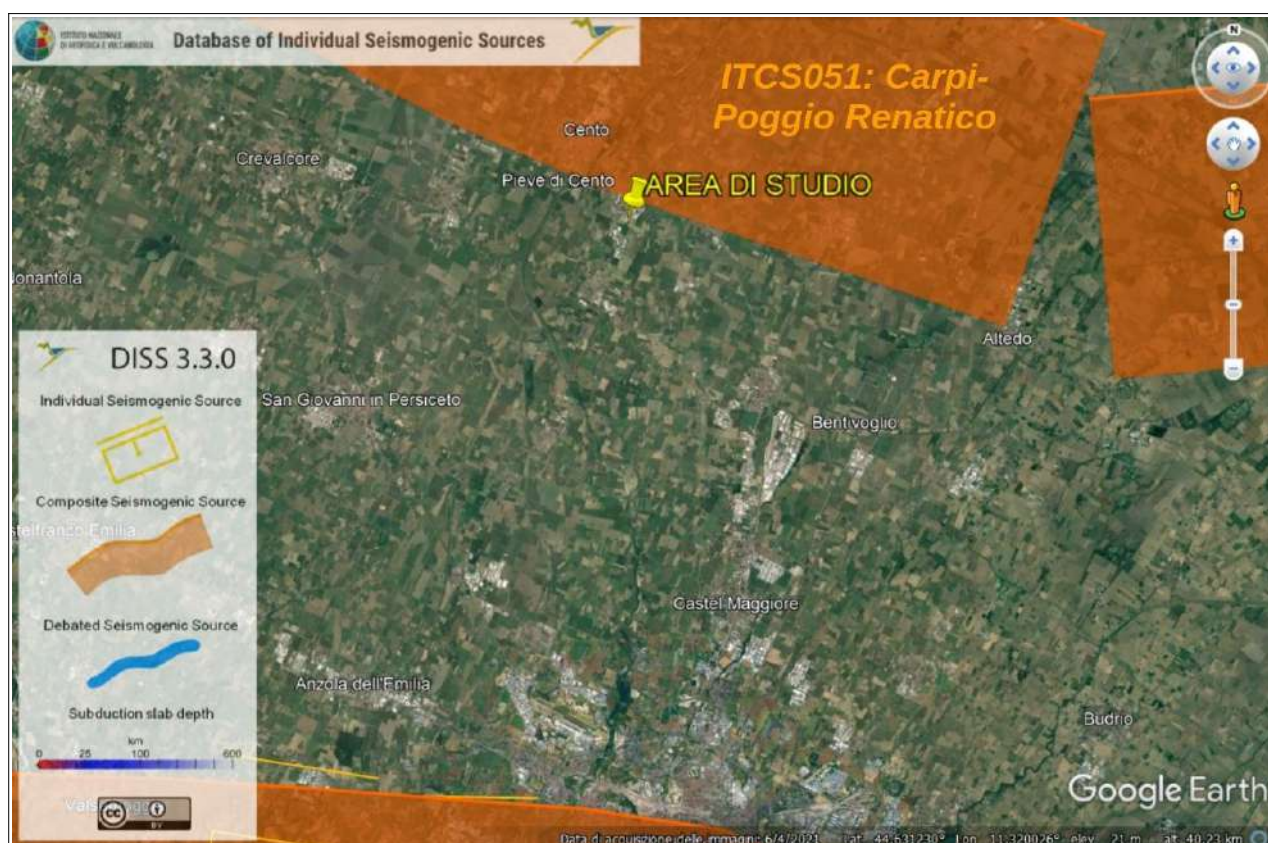


Figura 4.1 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.2.1 (foto aerea: Google Earth)

² <<Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy">> (Valensise e Pantosti, 2001)

³ <<Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani", Gruppo di lavoro CPTI, 1999-2002">>

Dai cataloghi storici e dalla Banca Dati delle intensità macrosismiche elaborato da INGV (DBMI, 2015), per il Capoluogo del Comune sono documentati 6 eventi sismici, tuttavia caratterizzati da intensità non particolarmente elevate (fino a 5). Il recente sisma che ha interessato la pianura emiliana (maggio 2012) ha tuttavia causato danneggiamenti a manufatti sia pubblici sia privati (figura 4.2).

Figura 4.2 - Diagramma temporale dei principali eventi sismici che hanno interessato il Capoluogo e intensità macrosismiche (fonte: DBMI15 – scaricabile dal sito internet INGV)

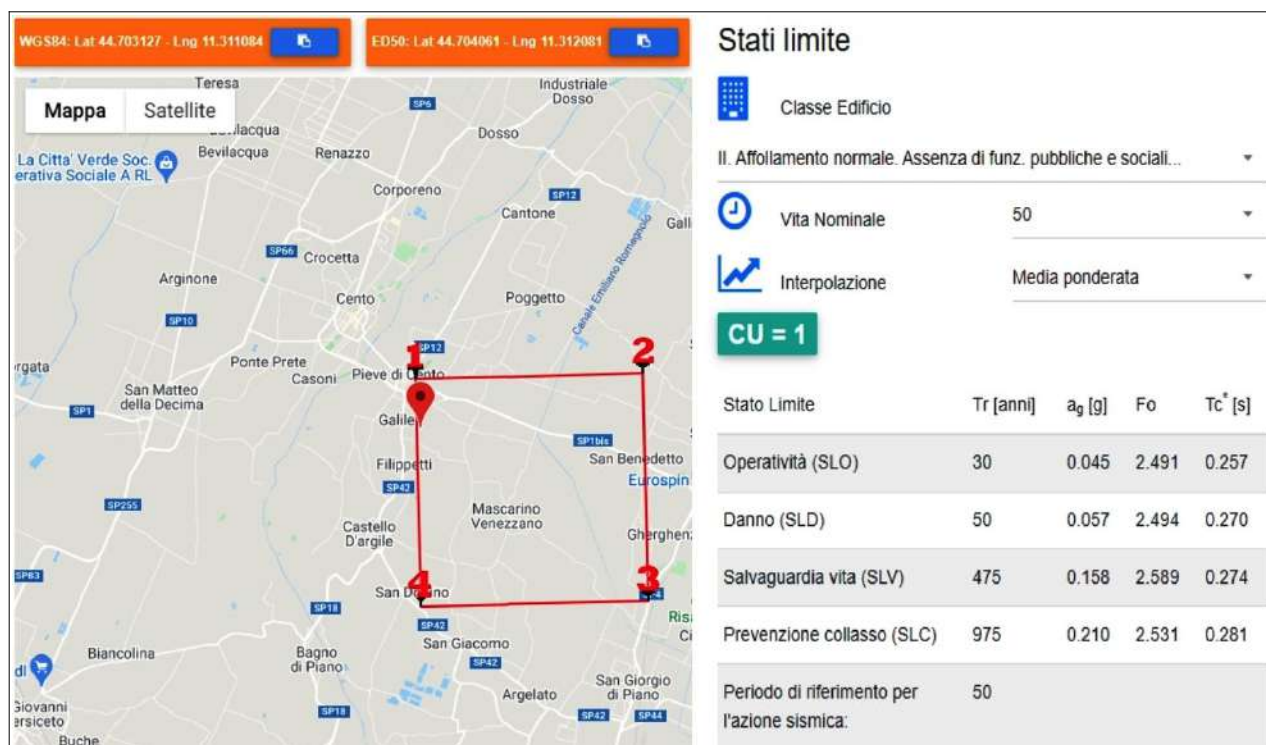
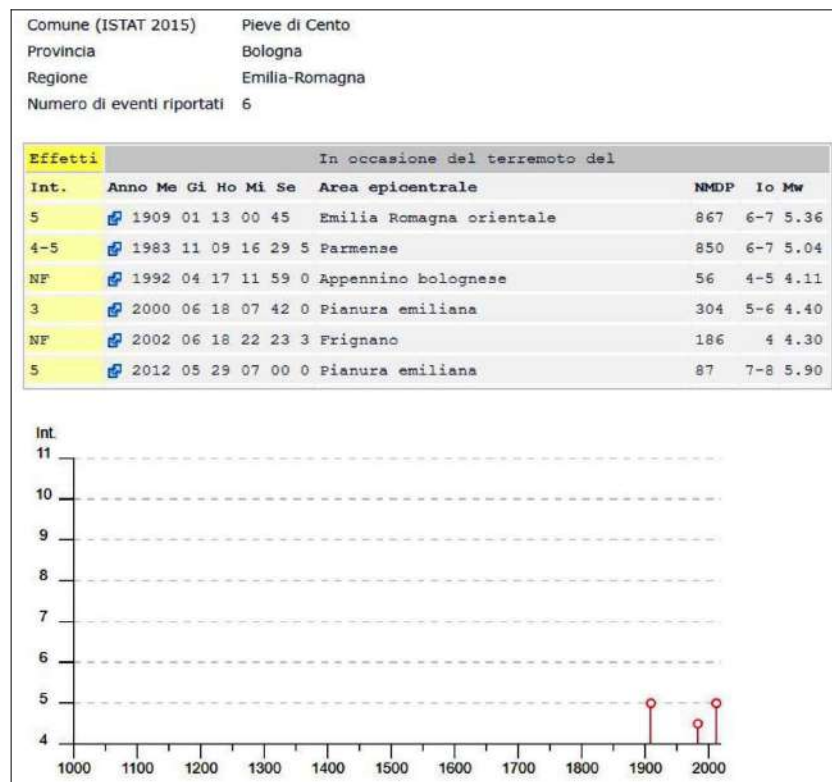


Figura 4.3 – Determinazione dei parametri sismici di base da utilizzare per l'analisi della risposta sismica locale (DGR 476/2021) e per le verifiche dell'azione sismica (progettazione ordinaria)

La pericolosità sismica locale di riferimento, sia per la pianificazione territoriale (DGR 476/2021) sia per la progettazione di costruzioni (NTC 2018), viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e basato su una “griglia di riferimento” di punti, costruita per l'intero territorio nazionale; ad ogni punto vengono attribuiti, a seconda del periodo di ritorno atteso per il terremoto, valori di a_g di riferimento al “bedrock rigido” ($a_{g,ref}$) e dei principali parametri “spettrali” da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica. La griglia di riferimento ed i dati di pericolosità sismica sono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Nello specifico, la $a_{g,ref}$ per l'area di studio è determinata sulla base delle coordinate corrispondenti grossomodo al baricentro dell'ambito in oggetto, ricavate con il supporto della georeferenziazione proposto dal programma on-line <<GeoStru Parametri Sismici>> (figura 4.3).

4.2 Gli studi di pericolosità sismica elaborati per la pianificazione territoriale e urbanistica

4.2.1 Gli Indirizzi tecnici regionali di riferimento: DGR 476/2021

La Regione Emilia-Romagna è dotata di indirizzi tecnici di riferimento per gli studi di pericolosità e microzonazione sismica a supporto della pianificazione territoriale e urbanistica: la DAL 112/2007 e le successive deliberazioni d'aggiornamento (DGR 2193/2015; DGR 630/2019; DGR 476/2021). Con l'emanazione delle Delibere successive alla DAL 112/2007 vengono introdotti sostanziali aggiornamenti agli indirizzi tecnici di riferimento per le analisi sismiche da espletare a supporto della pianificazione territoriale e urbanistica. Tali aggiornamenti hanno infatti tenuto conto delle successive Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/1/2008), delle ulteriori esperienze derivate dall'applicazione della DAL 112/2007 e delle specifiche esperienze seguite agli eventi sismici italiani di L'Aquila 2009 e della pianura emiliana del 2012. In sintesi, le principali novità consistono:

- nelle rimodulazioni degli abachi di microzonazione sismica da considerarsi per le analisi semplificate (“livello 2”);
- nella definizione di fattori di amplificazione riferiti all'accelerazione spettrale SA1, SA2, SA3, SA4 (per intervalli di periodo T rispettivamente di 0,1-0,5s, 0,4-0,8s, 0,7-0,11s, 0,5-1,5s);
- nella definizione di un ulteriore fattore di amplificazione riferito all'intensità spettrale di Housner SI3 (per l'intervallo di periodo T compreso tra 0,5 s e 1,5 s);
- nella definizione dell'input sismico (a_g al sito di riferimento) che ora è definito in base ai valori di pericolosità sismica elaborati dall'INGV per tutto il territorio nazionale sui punti di una griglia di passo pari a 0,05° (reticolo analogo a quello previsto per le NTC 2008);
- nella predisposizione di cartografie delle frequenze naturali (per gli studi territoriali di “livello 1”).

I più recenti aggiornamenti agli indirizzi regionali, apportati con la DGR 476/2021 (e DGR integrativa 564/2021), hanno infine riguardato la selezione di nuovi segnali (accelerogrammi) di riferimento per le analisi di risposta sismica locale negli studi di terzo livello. Rispetto ai precedenti indirizzi, approvati con DGR 630/2019, la differenza consiste quindi nella sostituzione dell'Allegato A4.

4.2.2 Il rischio sismico definito nel Piano Territoriale Metropolitano di Bologna

Il PTM di Bologna è dotato di uno studio di pericolosità sismica preliminare relativo a tutto il territorio amministrativo competente. Gli esiti di tali studi sono descritti nel Quadro Conoscitivo e ulteriormente sintetizzati nella tavola 4 “Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali” alla scala 1:65.000 (per la pianura), con stesura approvata nel maggio 2021. Tale tavola costituisce il primo livello di approfondimento sismico richiesto dagli Indirizzi regionali di riferimento e dalla LR 24/2017, e identifica gli scenari di pericolosità sismica locale dell’intero territorio provinciale. La citata Tavola fornisce anche le prime indicazioni sui limiti e sulle condizioni richieste per orientare le scelte di pianificazione alla scala comunale verso ambiti meno esposti alla pericolosità sismica.

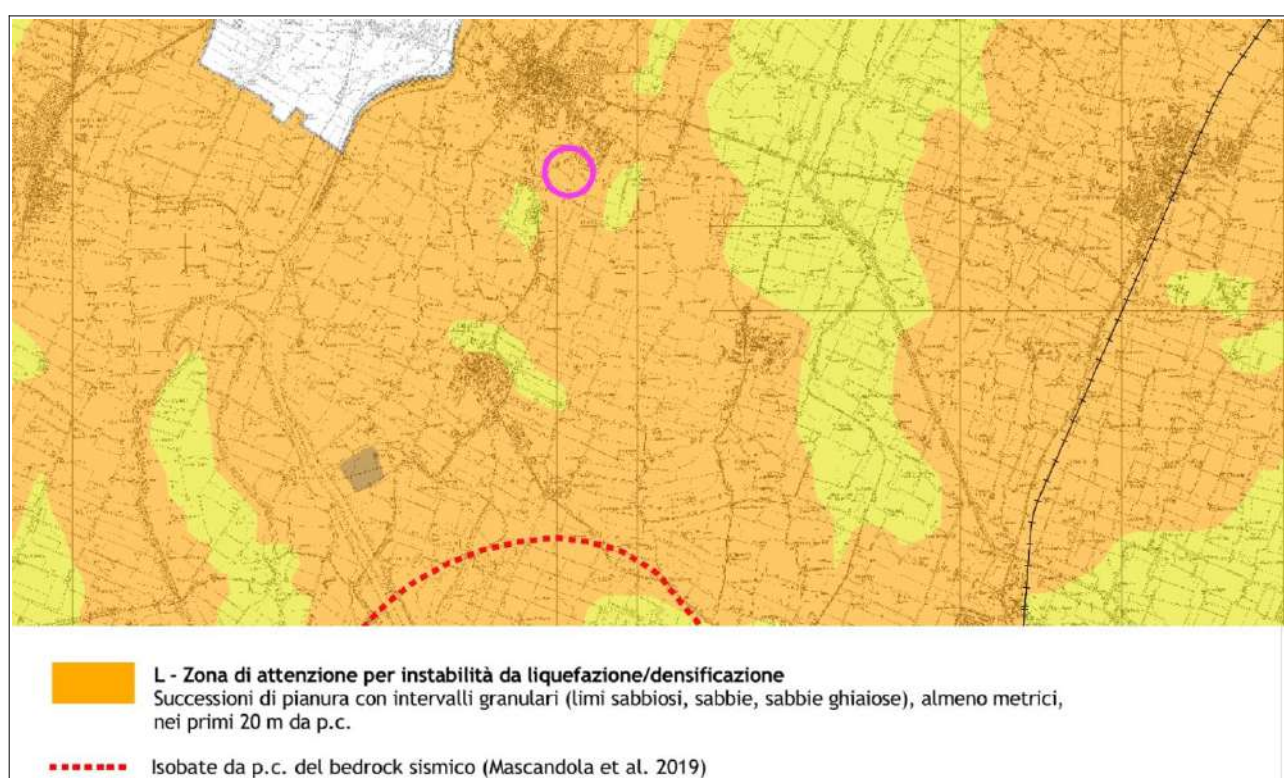


Figura 4.4 – Stralcio della tavola 4 “Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali” alla scala 1:65.000 (foglio 1). L’area di studio è localizzata nel cerchiato fucsia

Occorre rammentare che i contenuti sul “rischio sismico” riportati nel PTM rappresentano un ulteriore aggiornamento degli approfondimenti sismici preliminari già aspletati in precedenza per il PTCP (cfr. “Variante al PTCP in materia di Rischio Sismico” approvata nel 2013).

La tavola 4 del PTM include l’ambito in oggetto in <<zona di attenzione per instabilità da liquefazione/densificazione>> (figura 4.4). Per tale area, sono richiesti approfondimenti sismici di livello 3 da espletare nelle fasi di pianificazione territoriale/urbanistica comunale.

4.2.3 La microzonazione sismica comunale

Il Comune di Pieve di Cento dispone di uno studio di microzonazione sismica di livello 2 elaborato

per a supporto della Variante al PSC di Pieve di Cento in materia di rischio sismico (MS 2013). Lo studio è stato tuttavia aggiornato nel 2018 ai sensi OCDPC 171/2014 e dell'DGR 1227/2015. Ne risulta che l'area di studio viene confermata come "zona di attenzione" per liquefazione dei sedimenti in caso di sisma (figura 4.5). In particolare, lo studio di MS 2018 include l'area di studio nella MOPS "2012". Per questo studio si sono pertanto effettuati gli approfondimenti di "livello 3" richiesti ai sensi della DGR 476/2021 (analisi numerica della RSL; verifiche quantitative della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma), con esiti illustrati nel successivo capitolo.

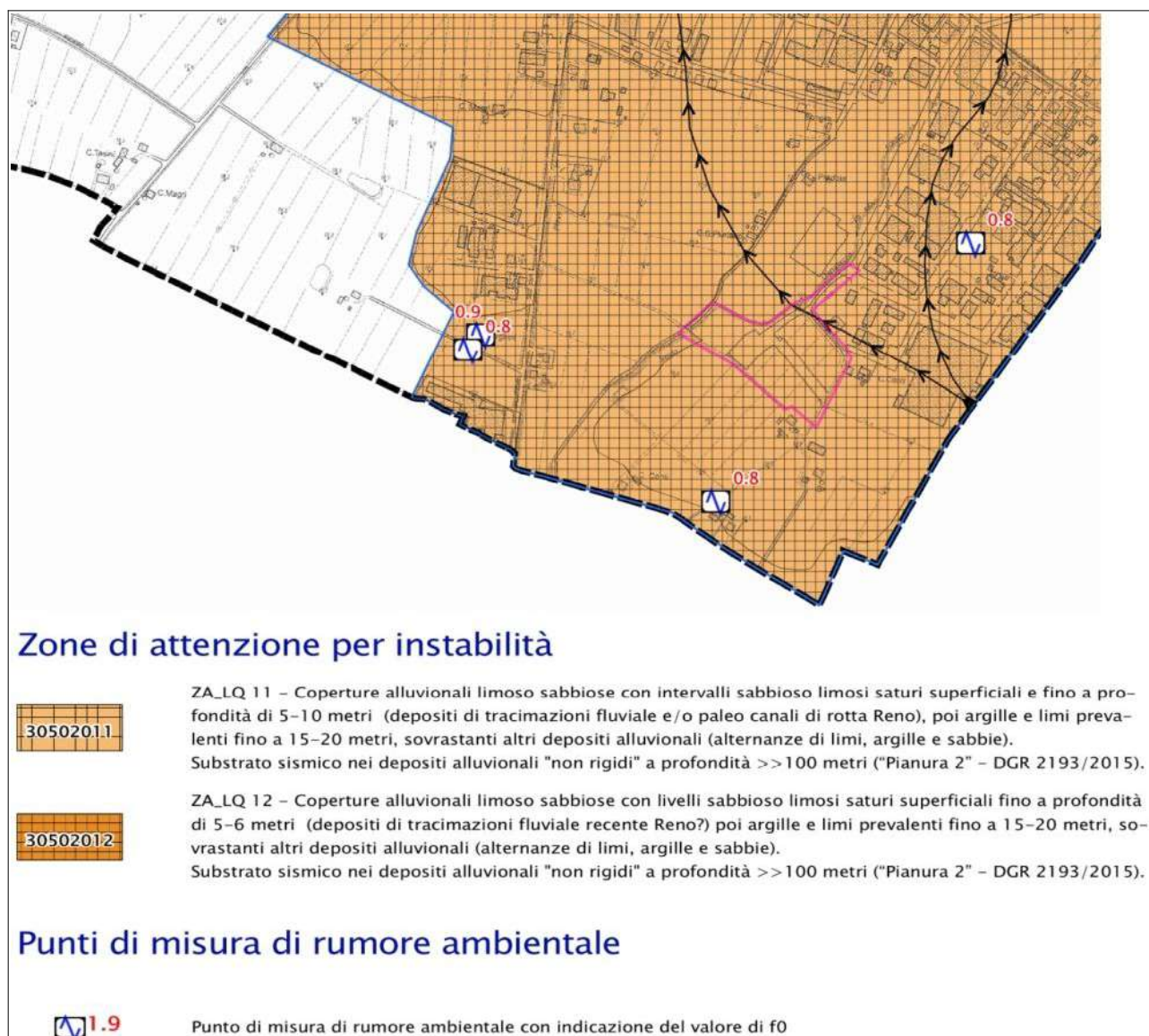


Figura 4.5 – Stralcio della "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica" elaborata a per lo studio di MS 2018 (OCDPC 171/2014; DGR 1227/2015). Il perimetro dell'area di studio è individuato in colore fucsia

4.2.4 Vs equivalente dei terreni ed elementi di risposta sismica locale (approccio semplificato)

Per lo studio di MS 2018, nella zona produttiva limitrofa all'area di studio è stata eseguita dalla ditta ISMGEO di Seriate una penetrometria CPTU con "Cono sismico". Tale prova consente una misura diretta e dunque più affidabile delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio nei terreni. Tale prova ha dunque ricavato una Vs30 pari a 207 m/s (figura 4.6).



Figura 4.6 – Stralcio "Carta delle Vs" prodotta per lo studio di MS 2018 (OCDPC 171/2014; DGR 1227/2015) ed esiti di Vs ricavati dal "Cono sismico" effettuato nella zona produttiva di Pieve di Cento

Le ulteriori registrazioni sismiche HVSR eseguite nell'intorno dell'area di studio (figura 4.7) hanno evidenziato basse amplificazioni a basse frequenze (frequenze di fibrazione fondamentali f_0 a circa 0,75÷0,85 Hz) e gli esiti evidenziano anche la omogeneità della risposta sismica locale nel territorio più ampio. La figura 4.7 riporta anche lo spettro H/V della registrazione HVSR effettuata nel comparto in oggetto: quest'ultima prova conferma le massime amplificazioni spettrali a basse frequenze (f_0 a circa 0,70 Hz). Non si riscontrano ulteriori amplificazioni a frequenze medio alte a dimostrare l'assenza di riflettori sismici significativi superficiali. Gli alti spettrali ottenuti dalle registrazioni HVSR sono infatti riconducibili a riflettori sismici collocabili a profondità ben superiori di 100 metri.

Sulla base dei dati già disponibili è dunque possibile fornire un aggiornamento delle analisi di "livello 2" ai sensi della DGR 476/2021.

Per quanto riguarda la risposta sismica, l'area di studio è approssimabile al macrocontesto di

"PIANURA 2" (cfr. allegato A2), che corrisponde al 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 dal p.c. e dal tetto del substrato rogodo a circa 150 m da p.c.>>.

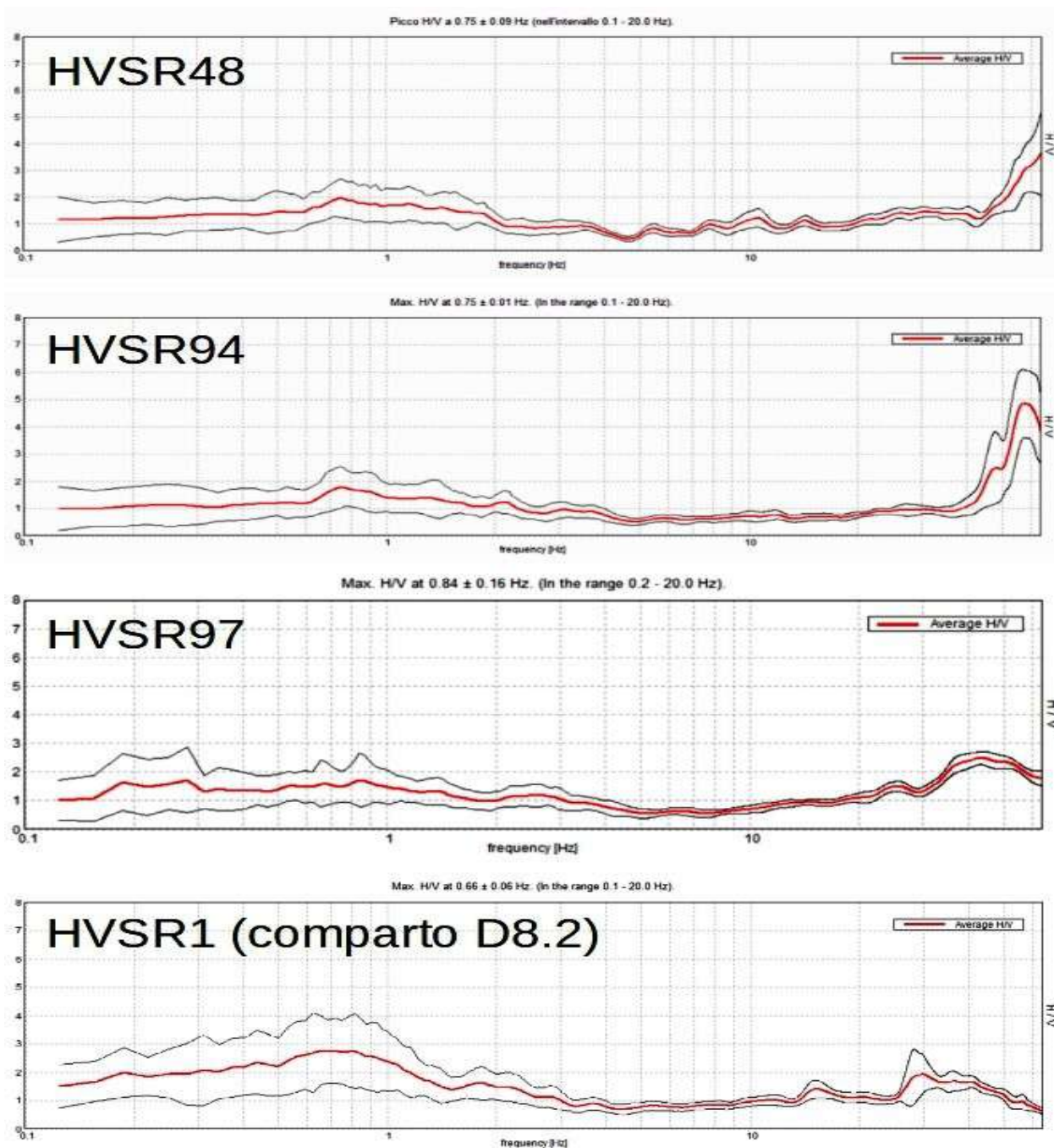
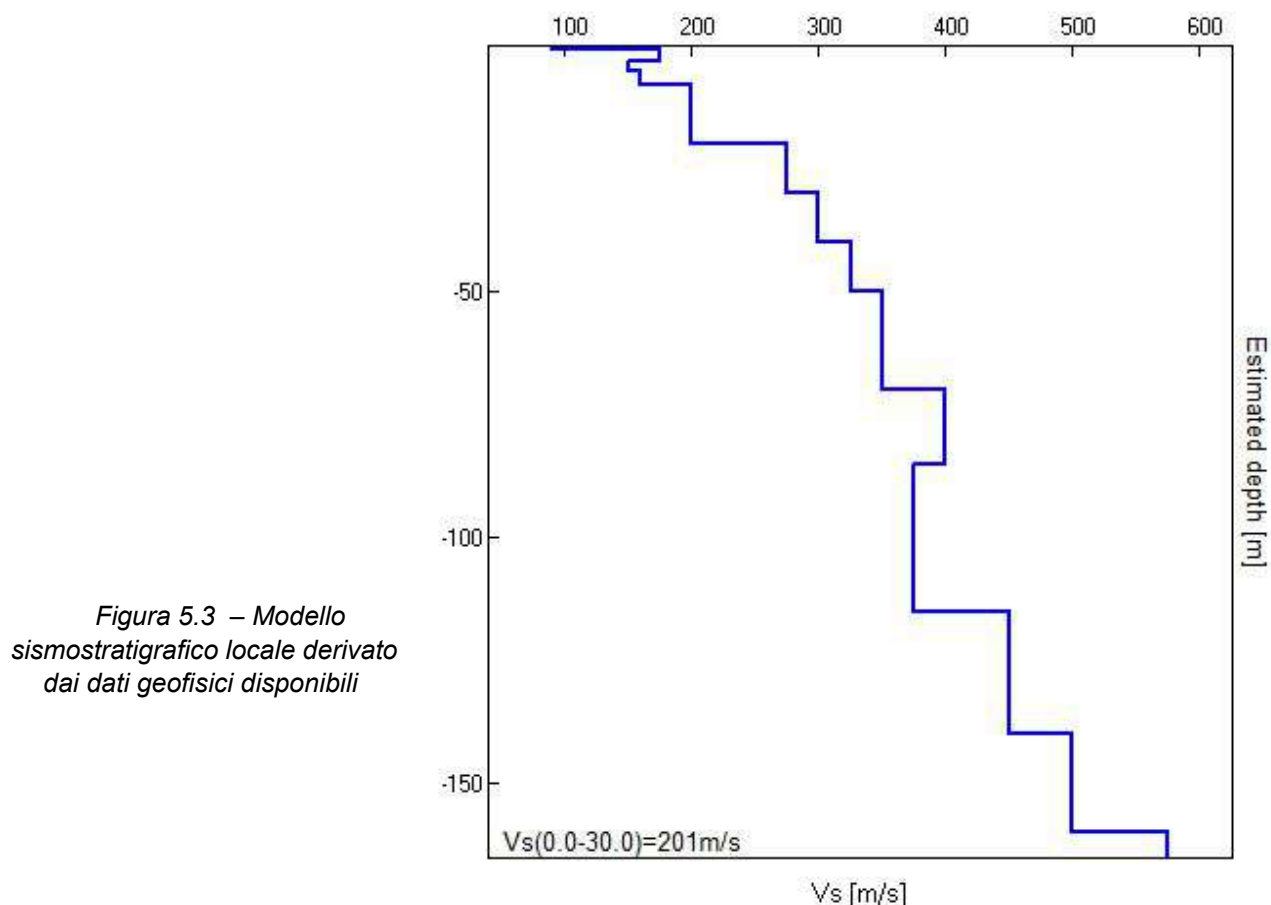


Figura 5.2 – Confronto tra gli spettri H/V ricavati dalle tre registrazioni eseguite nell'intorno dell'area di studio e riportate nello studio di MS 2018 (OCDPC 171/2014; DGR 1227/2015) e dalla registrazione HVSR eseguita per questo studio nel comparto D8.2

A partire dalla registrazione HVSR1 effettuata nel comparto si è elaborato anche il modello sismostratigrafico implementato, come vedremo, nella simulazione numerica della RSL. Dalla prova tomografica si ricava una V_{s30} pari a 201 m/s (figura 5.3), pertanto coerente con i dati già disponibili.



Nel nostro specifico caso si è ricavata una $V_{s30} \approx 200$ m/s. La seguente tabella 5.1 riporta i fattori di amplificazione semplificati (da abachi RER) attribuibili all'area oggetto di studio.

V_{s30} (m/s)	P_{ga}	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3
200	1,7	1,8	2,7	3,2	3,1	2,0	3,0	3,3

Tabella 5.1

Per la progettazione, gli esiti sismostratigrafici consentono di quantificare la risposta sismica locale basandosi sull'approccio semplificato indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti (NTC 2018). In questo senso, la V_s equivalente pari a $V_{s30} \approx 201$ m/s stimata per l'area di studio permette di includere l'area studiata nella "categoria di sottosuolo C".

5 APPROFONDIMENTI SISMICI DI LIVELLO 3 (DGR 476/2021)

5.1 Modellazione sismostratigrafica del sottosuolo profondo

Per l'analisi dell'amplificazione locale è di fondamentale importanza l'elaborazione di un modello sismostratigrafico profondo il più possibile rappresentativo dell'area studiata. In tal senso, risultano di fondamentale supporto i dati e gli studi del SGSS regionale, in particolare la sezione geologica RER n.32 (figure 5.1 e 5.2) e gli approfondimenti espletati per lo studio di microzonazione sismica dei Comuni interessati dal sisma emiliano del 2012.

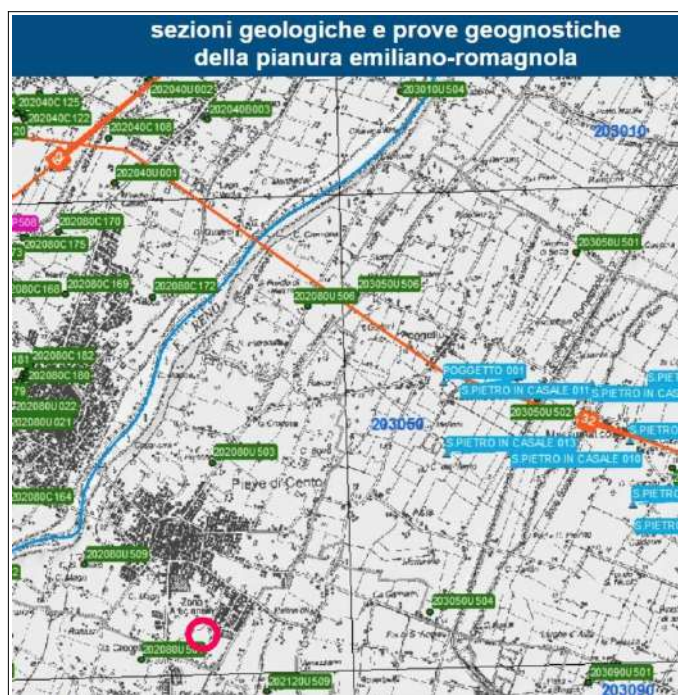


Figura 5.1 - Traccia della sezione geologica 032 pubblicata dal SGSS regionale

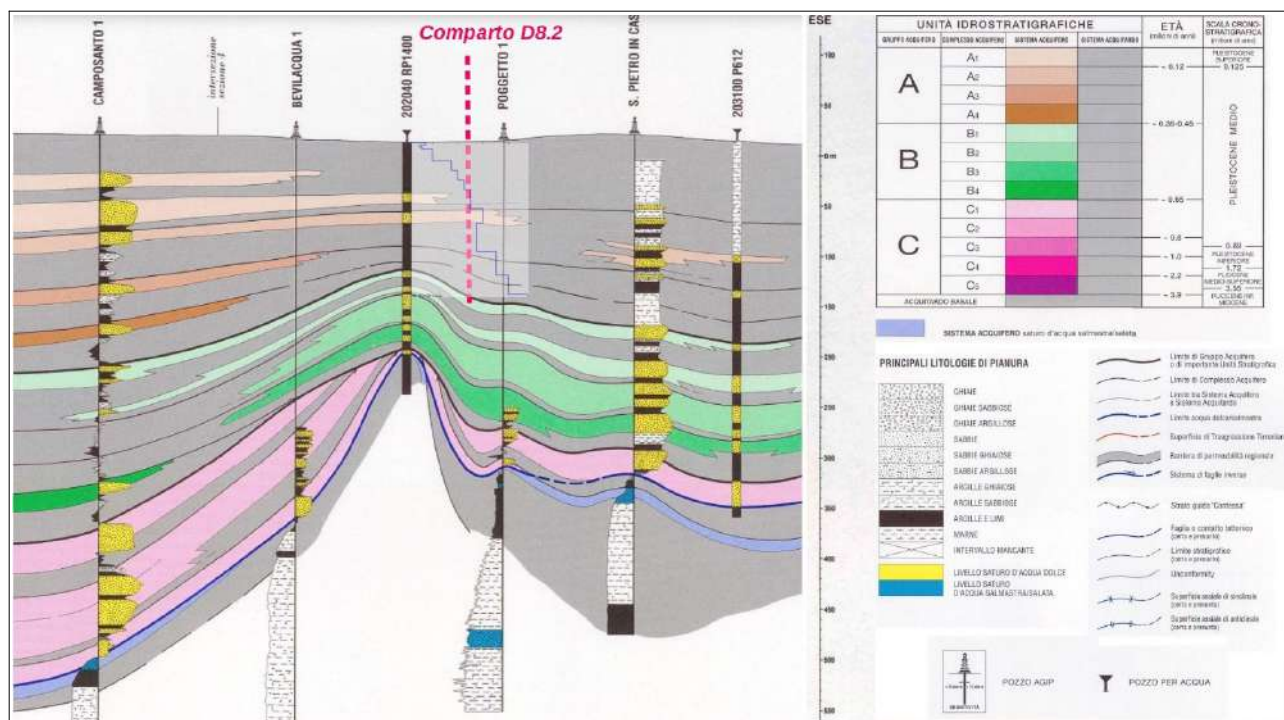


Figura 5.2 - Sezione geologica n.32 pubblicata dal SGSS regionale

Gli studi post sisma 2012 hanno, ad esempio, confermato come il primo forte contrasto di impedenza si ha nei depositi alluvionali, in genere tra la base del subsistema AES6 (datata 230.000-250.000 anni) e la base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS), datata 400.000-450.000 anni); una seconda importante discontinuità sismica corrisponde alla più profonda interfaccia interposta tra i depositi alluvionali e il bedrock marino. Gli studi del SGSS, sintetizzati nella Carta Sismotettonica RER (scala 1:250.000) indica la base del SERS a circa 170÷150 metri dal p.c. (figura 5.3).

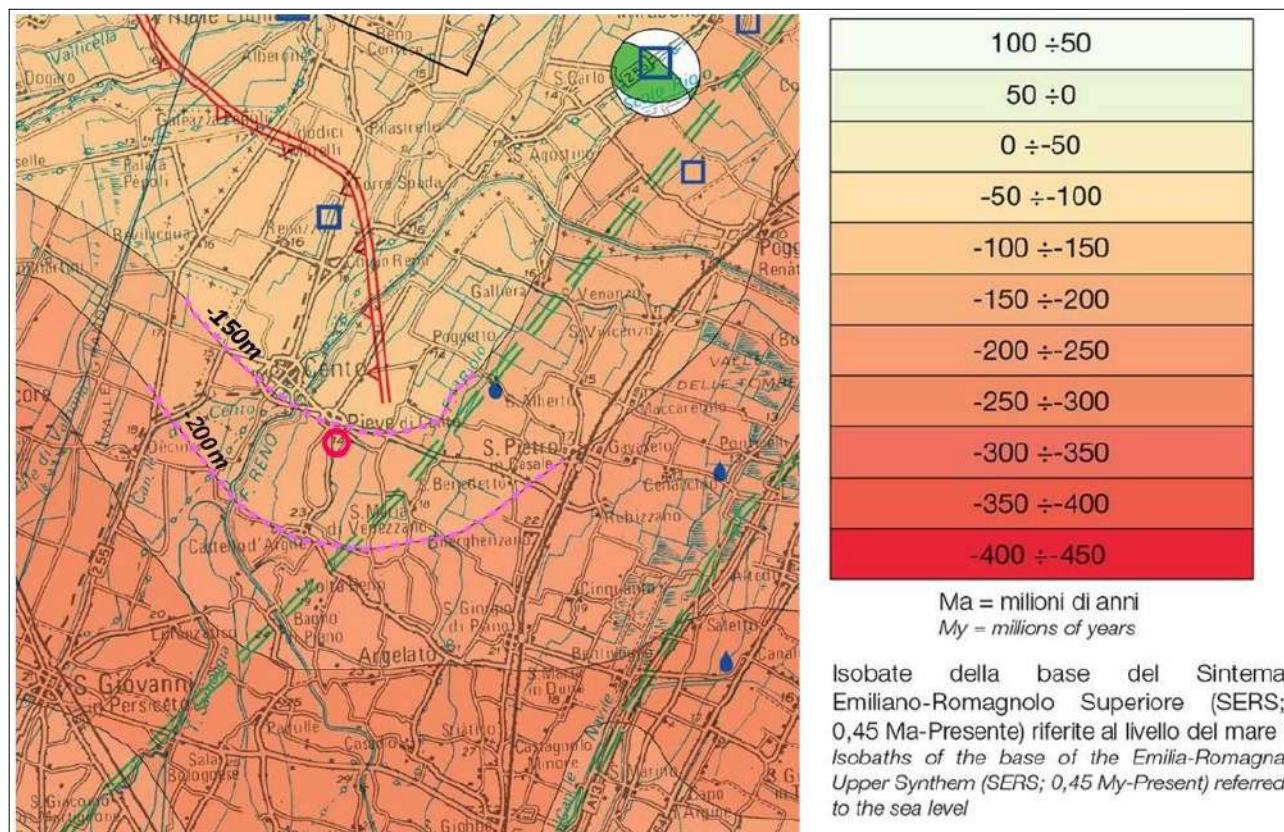


Figura 5.3 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:250.000 (SGSS RER – CNR - DST Firenze - INGV, aggiornamento 2017). La cartografia riporta le isobate della base dello spessore di depositi alluvionali corrispondenti al Sistema SERS. L'area di studio è localizzata nel cerchiato rosso

La riproduzione parziale della sezione RER n.32 (figura 5.2) riporta anche il modello sismostratigrafico dericato dai dati geofisici disponibili e implementato, come vedremo, nelle simulazioni numeriche della risposta sismica locale. In questo senso la figura 5.4 riporta il confronto tra lo spettri naturale ottenuto dalla registrazione HVSR e lo spettro sintetico ricavabile dal modello sismostratigrafico implementato nell'analisi numerica della RSL. Il modello è stato sviluppato fino alla presumibile base del SERS, stimato a -160 metri dal p.c. Dai dati disponibili, occorre tuttavia precisare che il modello ha considerato un "pseudobedrock" sismico.

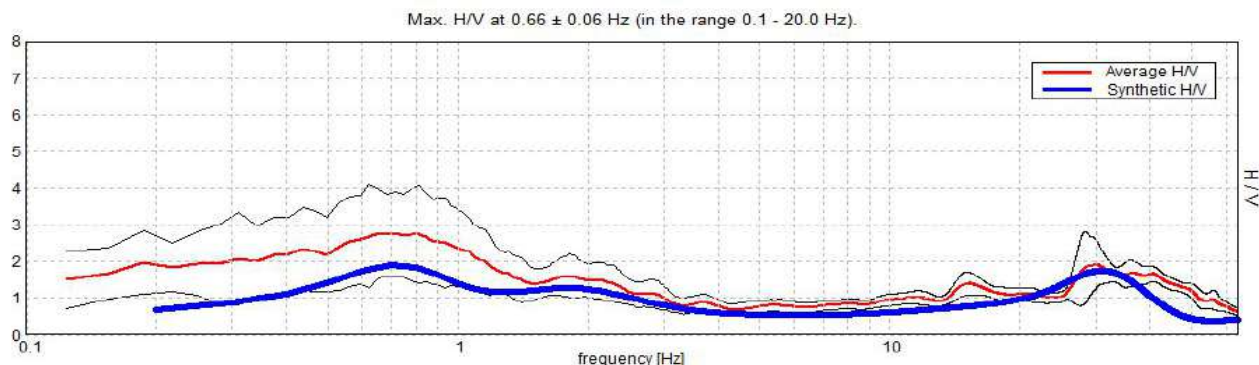


Figura 5.4 – Confronto tra lo spettro H/V ottenuto dalla registrazione HVSR1 eseguita nell'area di studio e lo spettro ottenuto da modello sismostratigrafico sintetico (in blu) implementato nell'analisi numerica della RSL

5.2 Modellazione numerica della Risposta Sismica Locale

5.2.1 Cenni introduttivi

Le modellazioni numeriche di RSL sono state elaborate utilizzando il software di calcolo "LSR 2D" prodotto dalla STACEC Srl in grado di generare modelli 1D secondo l'approccio analitico lineare equivalente, grazie alla discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

Il software è in grado di eseguire una sequenza di analisi lineari complete, con l'aggiornamento successivo dei parametri di rigidezza e smorzamento in funzione delle caratteristiche della colonna litologica. Il processo di analisi che si è seguito può essere così schematizzato:

- scelta degli input sismici (accelerogrammi) di riferimento
- definizione del modello sismostratigrafico locale
- elaborazione degli accelerogrammi di output, degli spettri di risposta elastici e dei fattori di amplificazione indicati dalla DGR 476/2021.

Le modellazioni numeriche della RSL sono state eseguite allo scopo di una migliore caratterizzazione sismica del comparto D8.2. In particolare si è implementata nell'analisi numerica un modello sismostratigrafico mediamente rappresentativo dell'area di studio.

5.2.2 Input sismici di riferimento

Dalla piattaforma WebGIS all'indirizzo <http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html> è possibile scaricare l'input sismico su sito rigido selezionato per ciascun nodo del reticolo di riferimento considerato dalle NTC vigenti, interno al territorio della Regione Emilia-Romagna (figura 5.5).

Ai sensi della DGR 476/2021, l'input sismico è espresso in termini di un gruppo di 7 accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC vigenti, per periodi di ritorno di 475 anni (figura 5.6).

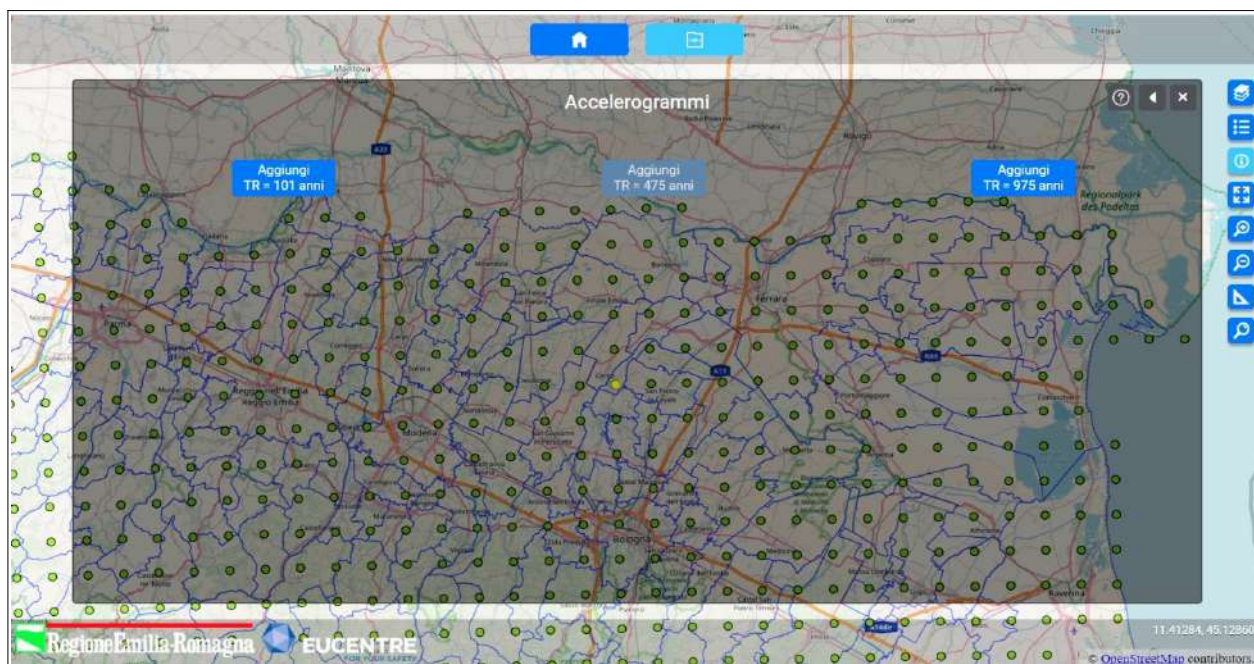


Figura 5.5 - Selezione del nodo del reticolo di riferimento (DGR 476/2021) evidenziato in giallo

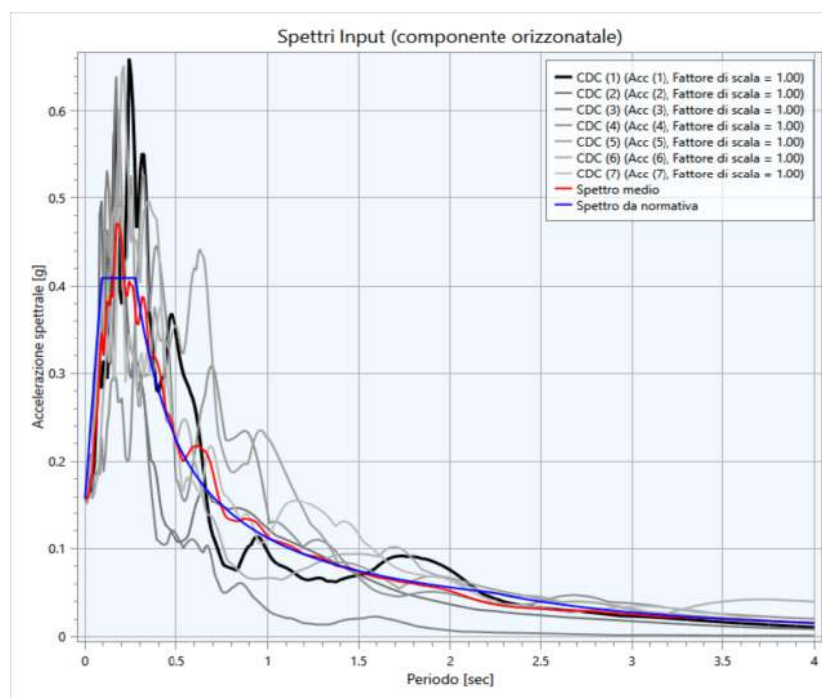


Figura 5.6 - Confronto tra spettri di input in accelerazione e spettro NTC su suolo rigido sito specifico

La tabella 5.1 riassume le informazioni sui 7 accelerogrammi selezionati: magnitudo (M_w) dell'evento che ha generato l'accelerogramma; distanza epicentrale (km) alla quale è avvenuta la registrazione; fattore di scala rispetto all'accelerogramma originario, nome della banca-dati alla quale appartiene l'accelerogramma originario (ESM, NGA o KiKnet); nome dell'accelerogramma all'interno della banca-dati. Per l'area di studio gli input accelerometrici vengono pertanto scalati a 0,158g (cfr. paragrafo 4.1). La figura 5.7 rappresenta graficamente gli accelerogrammi di input

utilizzati per l'analisi numerica.

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor	Source	File_Name
1	6.20	29.90	2.06%	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
2	5.74	12.57	1.35%	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
3	5.99	54.21	2.54%	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
4	6.93	83.53	1.50%	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
5	6.69	38.07	1.13%	NGA	RSN1091_NORTHV_VAS090.AT2
6	6.60	31.00	0.64%	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
7	5.90	14.40	2.68%	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

Tabella 5.1 - Dati relativi agli accelerogrammi selezionati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021)

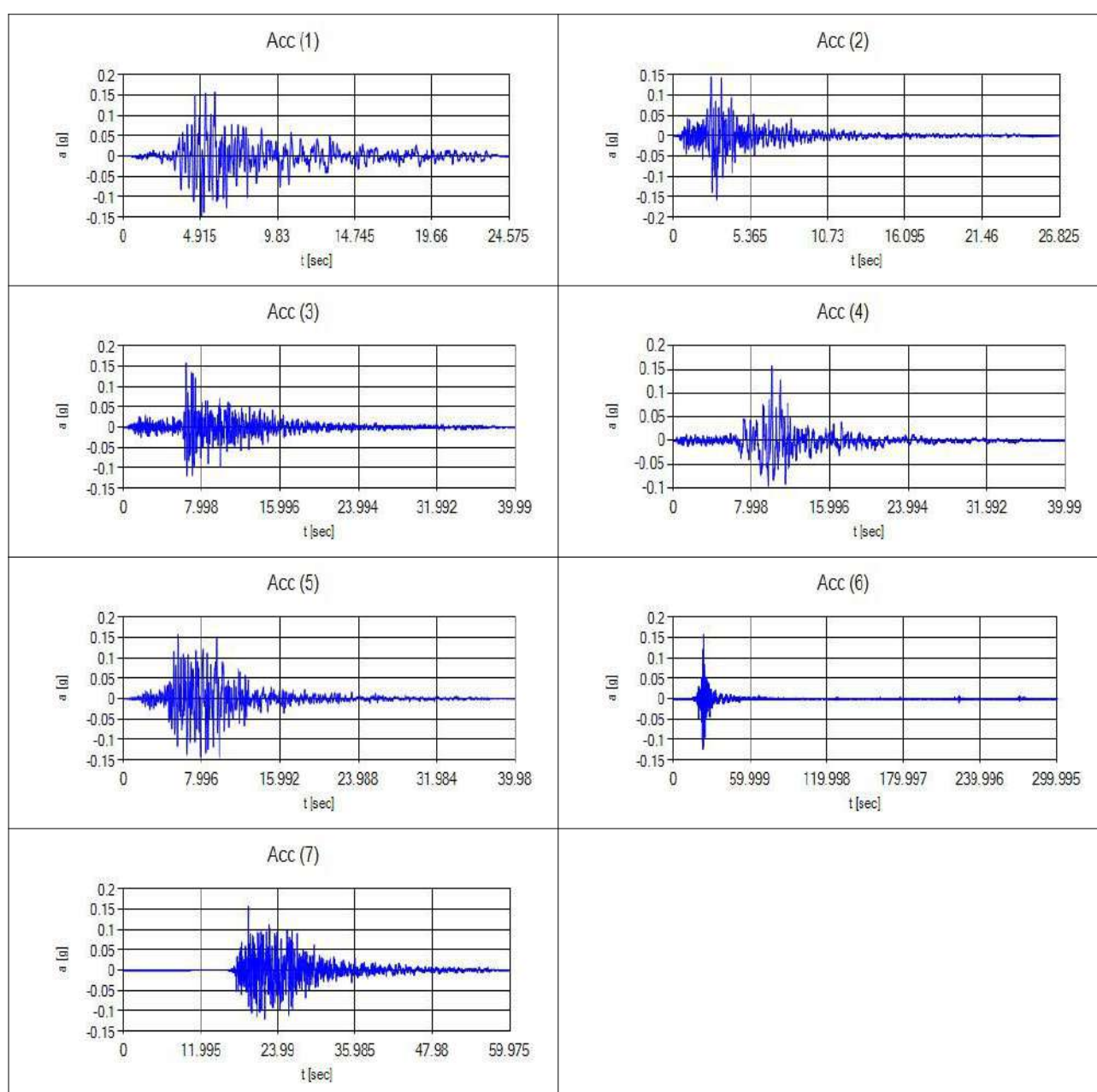


Figura 5.7 - Accelerogrammi di input utilizzati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021)

5.2.3 Modello sismostratigrafico di input

Le indagini geognostiche/geofisiche eseguite, nell'area di progetto, nonché i dati di repertorio disponibili, hanno permesso di definire un modello sismostratigrafico esaustivo del sottosuolo fino alla profondità di circa 35÷40 metri, mentre la stratigrafia profonda è invece estrapolata dal modello geologico profondo fornito dai dati del SGSS e dalle registrazioni HVSR disponibili (cfr. paragrafo 5.1).

Il bedrock sismico è stato collocato alla profondità di -160 metri dal p.c., cioè alla base del sintema SERS. In questo senso, si ritiene che la colonna sismostratigrafica sovrastante il limite imposto nella modellazione, costituisca lo spessore di depositi sedimentari in grado di offrire il maggior contributo all'amplificazione dello scuotimento sismico più profondo. Si tratta, peraltro, di un limite da considerarsi ancora come “pseudobedrock” sismico, cioè caratterizzato da $V_s < 800$ m/s.

La seguente tabella 5.2 descrive il modello sismostratigrafico implementato nel programma di calcolo.

Tabella 5.2 - Modello sismostratigrafico

Strato	S [m]	ρ [Kg/m ³]	V_s [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) LS	0.70	1600.00	90.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=0
Strato (2) LS	2.30	1700.00	175.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=0
Strato (3) LAS	2.00	1650.00	150.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) AL	3.00	1600.00	160.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=30
Strato (5) AL	12.00	1800.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=30
Strato (6) LAS	10.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) AL	10.00	1900.00	300.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=30
Strato (8) AL	10.00	1900.00	325.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=30
Strato (9) AL	20.00	1950.00	350.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) SL	15.00	2000.00	400.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (11) AL	30.00	2000.00	375.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (12) LA	25.00	2050.00	450.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (13) LA	20.00	2100.00	500.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Pseudo bedrock sismico					

dove:

S = spessore del singolo strato

ρ = densità di massa del singolo strato

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato

γ = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato

Per ogni sismostrato, il codice di elaborazione richiede l'inserimento delle fondamentali proprietà dinamiche del suolo, rappresentate dal fattore di smorzamento D e dal modulo di rigidezza a taglio

G. Mentre i valori di rigidità iniziale G_0 sono stati determinati sulla base delle indagini geofisiche (stima delle V_s), le caratteristiche di deformazione a taglio e smorzamento dei sedimenti sottoposti a sollecitazioni impulsive devono essere necessariamente determinate da prove di laboratorio.

In tal senso, sono stati adottati dati disponibili in letteratura e confacenti con il contesto litotecnico locale. Nella figura 5.8 si riportano le curve di riferimento utilizzate nell'analisi numerica.

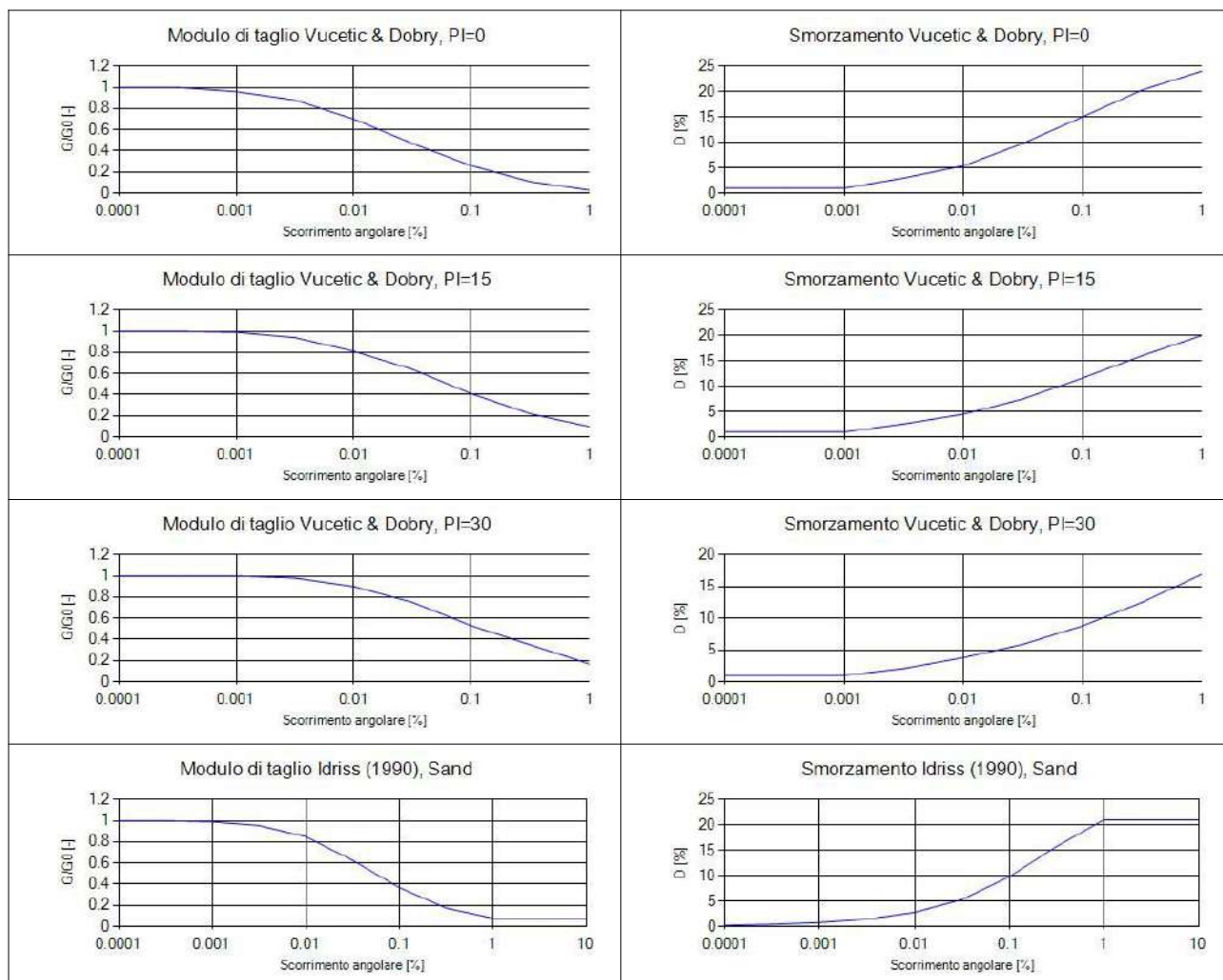


Figura 5.8 - Proprietà dinamiche dei materiali: curve di decadimento considerate per l'analisi di RSL

5.2.4 Esiti delle simulazioni

I fattori di amplificazione (FA) rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico valutato per la condizione geolitologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo al tetto del bedrock sismicamente rigido. I FA da determinare ai sensi della DGR 476/2021 per il macro contesto geologico di “pianura” in cui risulta ricadere l'area di studio, calcolati per un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con smorzamento $\zeta=5\%$, sono i seguenti:

- ✓ accelerazione di picco orizzontale (PGA)
- ✓ intensità spettrale in termini di accelerazione SA1 (0,1s-0,5s), SA2 (0,4s-0,8s), SA3 (0,7s-1,1s), SA4 (0,5s-1,5s)
- ✓ intensità spettrale in termini di velocità SI1 (0,1s-0,5s), SI2 (0,5s-1,0s), SI3 (0,5s-1,5s).

Per quanto riguarda l'accelerazione di picco orizzontale, la seguente figura 5.9 riporta il grafico della variabilità dell'accelerazione orizzontale dal bedrock al suolo. In sintesi, si è ricavato un valore medio di Pga al suolo pari a 0,212g, corrispondente a un FA Pga =1,34.



Figura 5.9 – Grafico andamento della Pga nel sottosuolo (valori in m/s²)

Per quanto riguarda intensità spettrale in termini di accelerazione e di velocità, le seguenti figure 5.10 e 5.11 riportano il confronto tra gli spettri di RSL riferiti ad accelerazione e velocità (output singoli; output medio e output medio liscio) e gli spettri medi ricavabili al suolo rigido.

Nella tabella 5.3 sono invece riportati i relativi FA medi riepilogativi desunti dall'analisi numerica della RSL e confrontati con il FA derivati dall'approccio semplificato (abachi RER, Allegato A2)

Tabella 5.3 - Riepilogo dei fattori di amplificazione

APPROCCIO DI CALCOLO	PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3
Rsl NUMERICA	1,34 (0,212g)	1,50	2,11	1,92	1,97	1,57	1,98	1,91
FA LIVELLO 2 (ABACHI RER)	1,7	1,8	2,7	3,2	3,1	2,0	3,0	3,3

Figura 5.10 – Esiti di intensità spettrale media al suolo (accelerazione). In blu lo spettro medio liscio

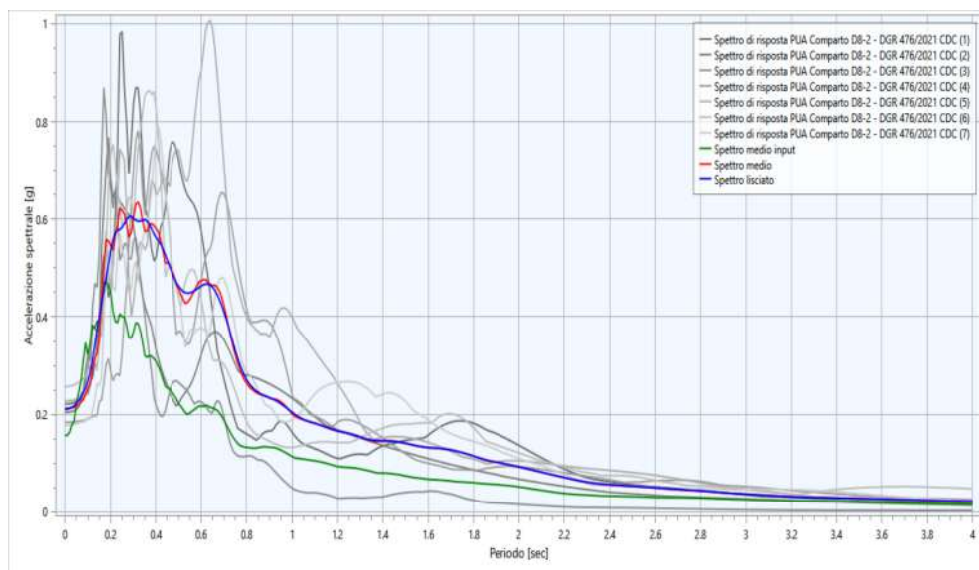


Figura 5.11 – Esiti di intensità spettrale media al suolo (velocità). In blu lo spettro medio liscio



Come già scritto, la risposta sismica locale è stata valutata anche in funzione delle amplificazioni del moto di vibrazione in termini di frequenze dell'impulso sismico, considerando i fattori di smorzamento D e i rapporti tra le impedenze sismiche dei sismostrati. La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ della colonna sismostratigrafica. Il moto sismico può dunque essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione della colonna stratigrafica. In questo senso, è molto importante definire la prima frequenza naturale di vibrazione f_0 denominata frequenza fondamentale, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore che dovrebbe risultare il massimo. Le simulazioni numeriche evidenziano amplificazioni spettrali a basse frequenze (circa 0,7 Hz, coerenti con gli esiti delle registrazioni HVSR), tuttavia le massime amplificazioni indotte da scuotimento sono riscontrabili a frequenze comprese tra 1,5÷1,7

Hz, con ulteriori amplificazioni fino a frequenze di circa 4 Hz (figura 5.12).

Occorre tuttavia ricordare che la funzione di amplificazione locale non è una proprietà univoca del sito ma è anche dipendente dalle caratteristiche del moto di input (es. ampiezza e contenuto in frequenza, energia, effetti del comportamento non lineare del terreno, ecc.).

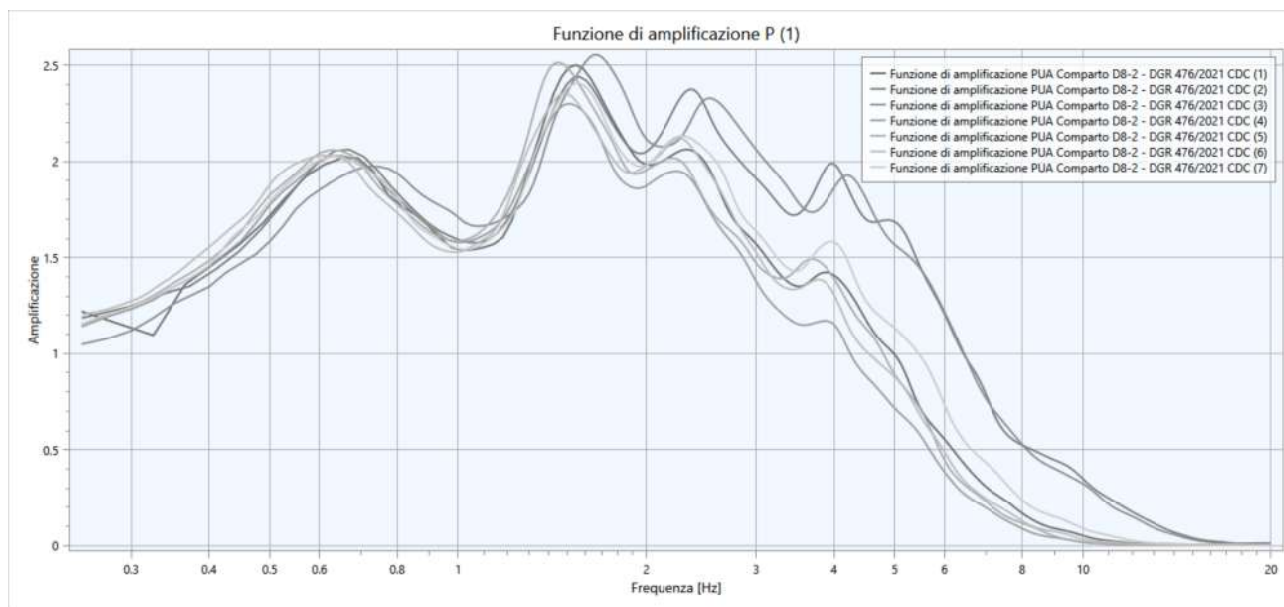


Figura 5.12 – Funzioni di trasferimento ricavate dalla modellazione numerica della RSL

5.3 Verifiche quantitative della liquefacibilità e dei cedimenti in caso di sisma

5.3.1 Cenni introduttivi

L'analisi della liquefacibilità dei sedimenti, se sottoposti a sollecitazioni cicliche indotte da terremoti, è di fondamentale importanza per gli aspetti di progettazione geotecnica antisismica. In particolare, occorre valutare, nel modo più adeguato possibile, le effettive condizioni di suscettibilità, le condizioni di innesco e il rischio sito specifico di tale fenomeno.

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione) osservati durante terremoti significativi (generalmente, $M > 5.5$) nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi; in questi sedimenti, le condizioni “non drenate” durante il sisma possono indurre un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali, che a loro volta possono provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Il meccanismo di liquefazione dei sedimenti è governato da molti fattori che si possono ricondurre principalmente:

- alle caratteristiche dell'impulso sismico (forma; durata dello scuotimento; ecc.) e la sua energia (magnitudo; accelerazioni; ecc.);
- alle caratteristiche tessiturali e meccaniche dei sedimenti (fuso granulometrico; densità relativa; coesione; limiti di Atterberg; ecc.);
- alla presenza di falda superficiale e alle condizioni di confinamento dello strato liquefacibile (non

sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri).

La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilitate per l'equilibrio in condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto.

In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari, sia i sedimenti fini poco coesivi. Nell'ultimo decennio, sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma, provocate da perdite di resistenza, anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato"). Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004 e 2008).

Fenomeni di liquefazione si sono chiaramente manifestati con gli eventi sismici emiliani del maggio 2012, tuttavia non si sono riscontrati i fenomeni più critici riconducibili a fluidificazione (con perdita della capacità portante del terreno dei sedimenti al di sotto delle costruzioni); anche i cedimenti riscontrati per gli edifici sono risultati complessivamente limitati e per lo più uniformi al di sotto delle costruzioni⁴. Per ulteriori aspetti teorici, si rimanda alla vasta letteratura scientifica e in particolare ai rapporti tecnici elaborati a seguito del sisma emiliano del maggio 2012 (consultabili anche on line nel sito del SGSS).

5.3.2 Metodologia delle verifiche

Il presente studio, ha elaborato le analisi del rischio di liquefazione mediante correlazioni empiriche che si basano sui risultati delle prove penetrometriche CPTU eseguite nel comparto studiato.

Il vantaggio dell'uso delle prove CPTU è da ricercarsi nella maggiore accuratezza e ripetibilità rispetto ad altre indagini, nella relativa economicità e soprattutto nella possibilità di avere profili continui con la profondità, con informazioni dettagliate anche sulla stratigrafia. Gli esiti delle prove CPTU sono stati utilizzati per la stima del rischio di liquefazione, procedendo secondo le seguenti fasi:

- 1) stima del Fattore di Sicurezza nei confronti della Liquefazione (FSL);
- 2) stima dei cedimenti post sisma indotti da densificazione volumetrica;
- 3) analisi della pericolosità e del rischio di liquefazione sito specifica attraverso la stima del parametro LPI (Liquefaction Potential Index).

La stima del Fattore di Sicurezza nei confronti della Liquefazione (FSL) è definito dalla relazione:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma}$$

con

$CRR_{7.5}$ = resistenza alla liquefazione ciclica (Cyclic Resistance Ratio) dei sedimenti attraversati, ricavata dagli esiti CPT (a punta elettrica), per terremoti di $M = 7,5$. La procedura si fonda su equazioni che determinano i valori di

⁴ Fonte: "Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012", C. Crespellani et Al., 2012.

CRR dei sedimenti attraversati utilizzando i valori di resistenza alla punta q_t , corretti per tenere conto delle tensioni litostatiche di confinamento, della differente classificazione dei sedimenti attraversati (contenuto di fine; plasticità);

CSR = rapporto di sollecitazione ciclica (Cyclic Stress Ratio) prodotta da un sisma e stimata sulla base di correlazioni empiriche dalle caratteristiche del terremoto, magnitudo e accelerazione tangenziale del suolo (a_{max}). Il CSR viene calcolato dalla nota equazione semiempirica proposta da Seed e Idriss (1971) per terremoti di $M=7,5$:

K_σ = Fattore di correzione per la pressione di confinamento (Overburden Correction Factor)

$$CSR = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d$$

MSF = Fattore di Scala della Magnitudo (Magnitude Scale Factor) da applicare per sismi con magnitudo diverse da 7,5.

FSL è stato determinato mediante calcolo automatico con il noto software “Cliq”, sviluppato dalla GeoLogismiki Geotechnical Engineers, che consente di utilizzare differenti metodi di stima di FSL. Per questo lavoro, si è considerata la procedura di P. K. Robertson⁵ (2009; 2010), metodo di calcolo ormai di lunga sperimentazione e di ampia diffusione nel campo ingeneristico. Per la descrizione dettagliata del metodo si rimanda alla letteratura scientifica originaria. Nel calcolo di FSL si sono considerate le seguenti condizioni di input:

- si sono considerati esiti di P_{ga} derivati dall’analisi semplificata NTC (per “categoria di sottosuolo C” con $SS=1,45$) e cioè $P_{ga}=0,158 \cdot 1,45=0,23g$. Si tratta pertanto di una verifica più cautelativa rispetto agli esiti della RSL numerica effettuata per questo studio ma che più risultare più utile anche per la successiva fase di progettazione;
- come livello di falda si è assunta la quota d’acqua ricavata dalle indagini CPTU;
- sulla base della pericolosità sismica di base, si è considerata una magnitudo di input pari a $M_w=6,14$ (cfr. zonizzazione macrosismica “ZS9”).

Per quanto riguarda la stima dei cedimenti post sisma e in particolare nei sedimenti saturi a comportamento granulare, si è proceduto al calcolo automatico secondo il metodo di Zhang et. Al. (2002; 2004). Questo procedimento si basa sui risultati empirici di Ishihara & Yoshimine (1992), per sabbie e sedimenti limosi, e definisce l’entità delle deformazioni volumetriche post-liquefazione sulla base delle resistenze alla punta (q_{c1N})_{cs} e dei corrispondenti esiti di FSL (figura 5.13).

Per i sedimenti a comportamento fine, il cedimento è causato principalmente da fenomeni di riconsolidazione conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto e al manifestarsi di deformazioni da taglio indotte dalle sollecitazioni cicliche.

Esperienze empiriche, hanno dimostrato che le deformazioni per riconsolidamento nelle argille sono controllate principalmente dallo sforzo di taglio massimo, funzione di un fattore di sicurezza $FS_{\gamma}=3\% = CRR_M/CSR_M = CRR_{7,5}/CSR_{7,5}$ (Boulanger & Idriss, 2007) e dello stato tensionale dei

⁵ P.K. Robertson - Performance based earthquake design using the CPT - Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, 2009

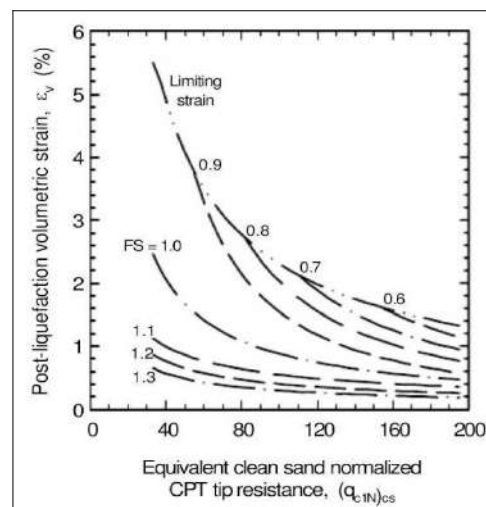
sedimenti (OCR). Il fattore di sicurezza è stato dunque calcolato come $FS_{\gamma=3\%} = CRR_{6,14} / CRS_{6,14}$. Le deformazioni volumetriche sono state calcolate secondo il metodo di Robertson (2009), utilizzando le seguenti relazioni:

$$\varepsilon_{vol} = [0.8 - 2.66 \log (FS)] / [0.33 A (Q_{tn})^3]$$

$$A = 10 - 9 \log (OCR)$$

When $FS \leq 0.84$ set $r_u = 1.0$ & limit $\varepsilon_{vol} \leq 1\%$

Figura 5.13 – Diagrammi di correlazione tra deformazioni volumetriche post-liquefazione e resistenze CPT per differenti fattori di sicurezza (da Zhang et Al., 2002)



Il rischio di liquefazione viene valutato mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (Liquefaction Potential Index) di Iwasaki et al. (1982).

L'Indice di Potenziale Liquefazione si calcola per una profondità "critica" fino a 20 metri di profondità ed è definito nel seguente modo:

$$LPI = \int_0^{20} F_1 W(z) dz$$

[con: $W(z)$ fattore di peso della profondità $= 10 - 0.5z$; F_1 variabile $= 1 - FSL$ (per $FSL < 1,2$) oppure $F_1 = 0$ per $FSL > 1,2$; z = profondità dello strato considerato]

Il calcolo fornisce un valore numerico compreso tra 0 e 100 e quantifica i possibili effetti della liquefazione secondo classi di rischio, tenendo conto della severità dell'azione sismica, della profondità, dello spessore e del valore di FSL degli strati liquefacibili.

5.3.3 Esiti delle verifiche

Le verifiche non hanno riscontrato particolari situazioni di criticità. Non hanno infatti riscontrato presenza di sedimenti granulari liquefacibili (cioè con $FS < 1$) di spessore significativo. In questo senso per le prove CPTU eseguite, gli esiti cumulativi di LPI (vedi figura 5.14) risultano contenuti entro la classe di rischio "basso" ($LPI < 2$).

I cedimenti post sisma (figura 5.15), infine, risultano anch'essi scarsamente significativi in termini di possibile interazione con i manufatti da costruire, sempre in considerazione del fatto che si tratta di valori cumulativi.

Per i manufatti previsti, le analisi indicano un rischio complessivamente basso. In questo senso, la figura 5.16 rappresenta la sintesi grafica delle verifiche effettuate per la CPTU3, risultata la più "severa" come risultati: si evidenziano soltanto rari livelli limoso sabbiosi liquefacibili di spessore

centimetrico nei depositi di tracimazione pluviale più superficiale (recente) che risultano pertanto caratterizzati da sedimenti limosi prevalenti e caratterizzarsi da una maggiore resistenza alla liquefazione.

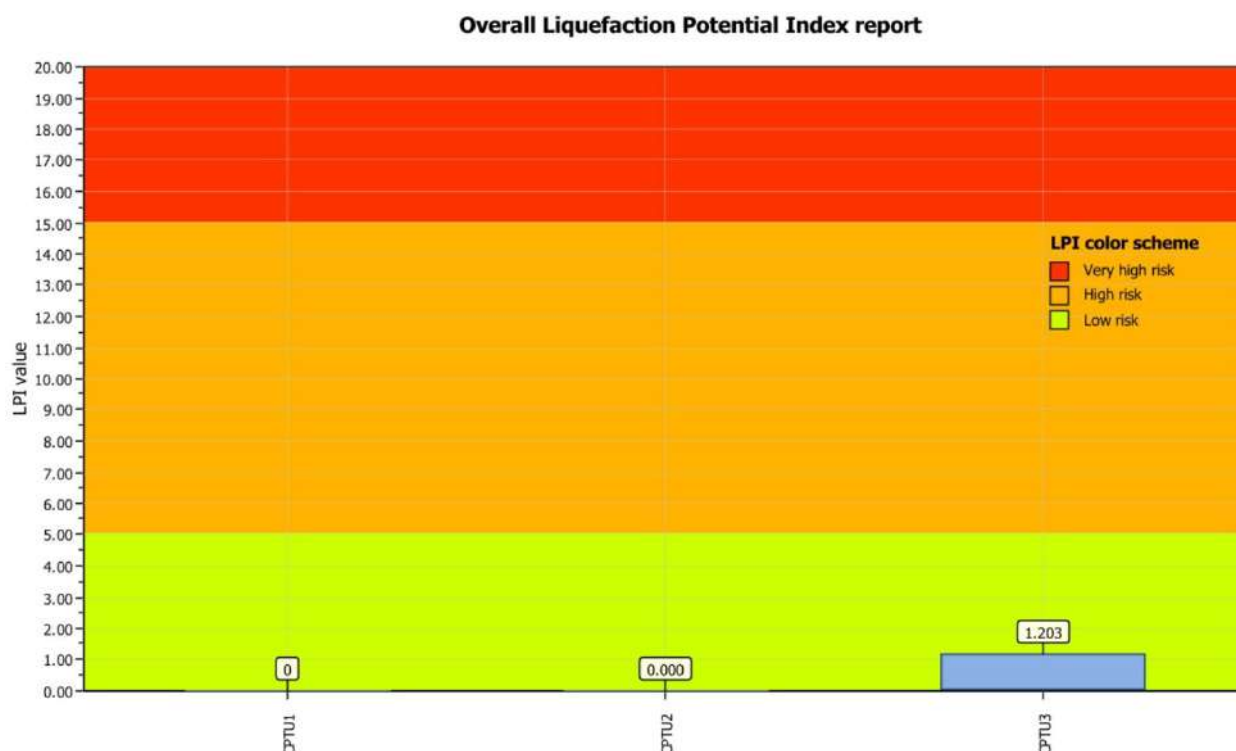


Figura 5.14 – Plottaggio degli esiti di LPI (input derivati da analisi semplificata NTC 2018 - magnitudo 6.14)

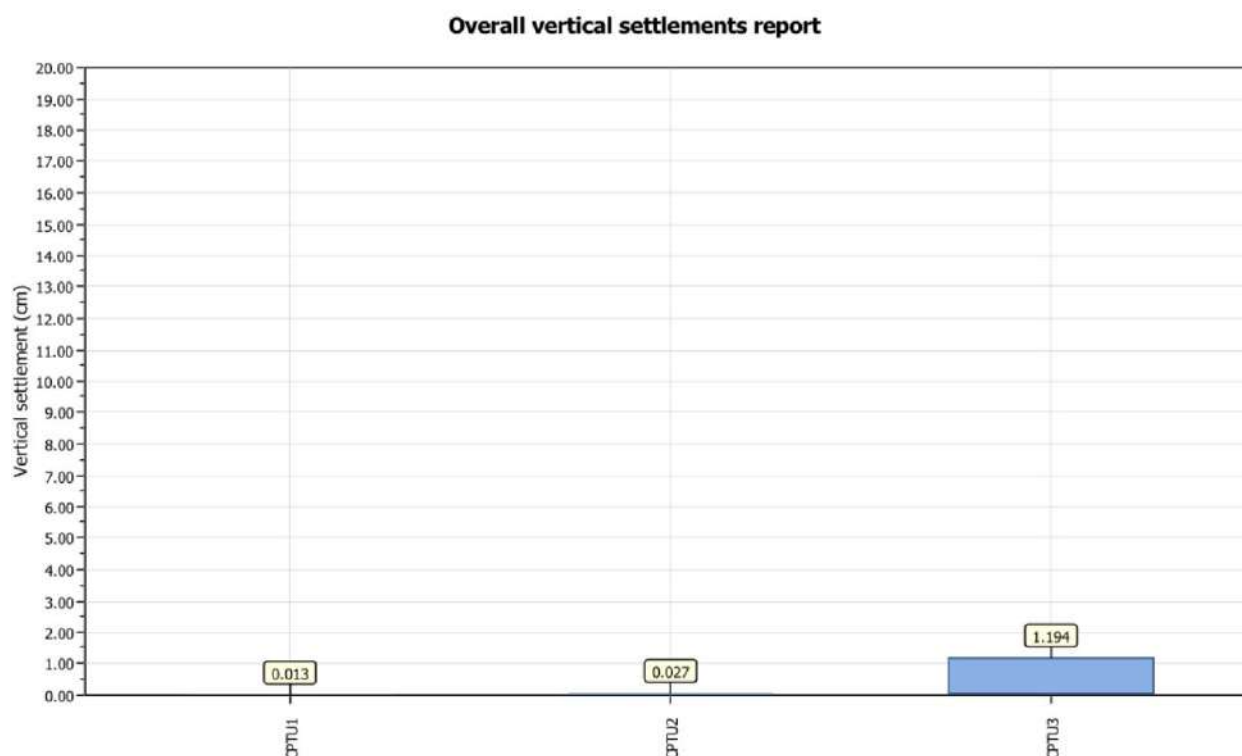


Figura 5.15 – Plottaggio degli esiti di cedimento post sisma (input derivati da analisi semplificata NTC 2018 - magnitudo 6.14)

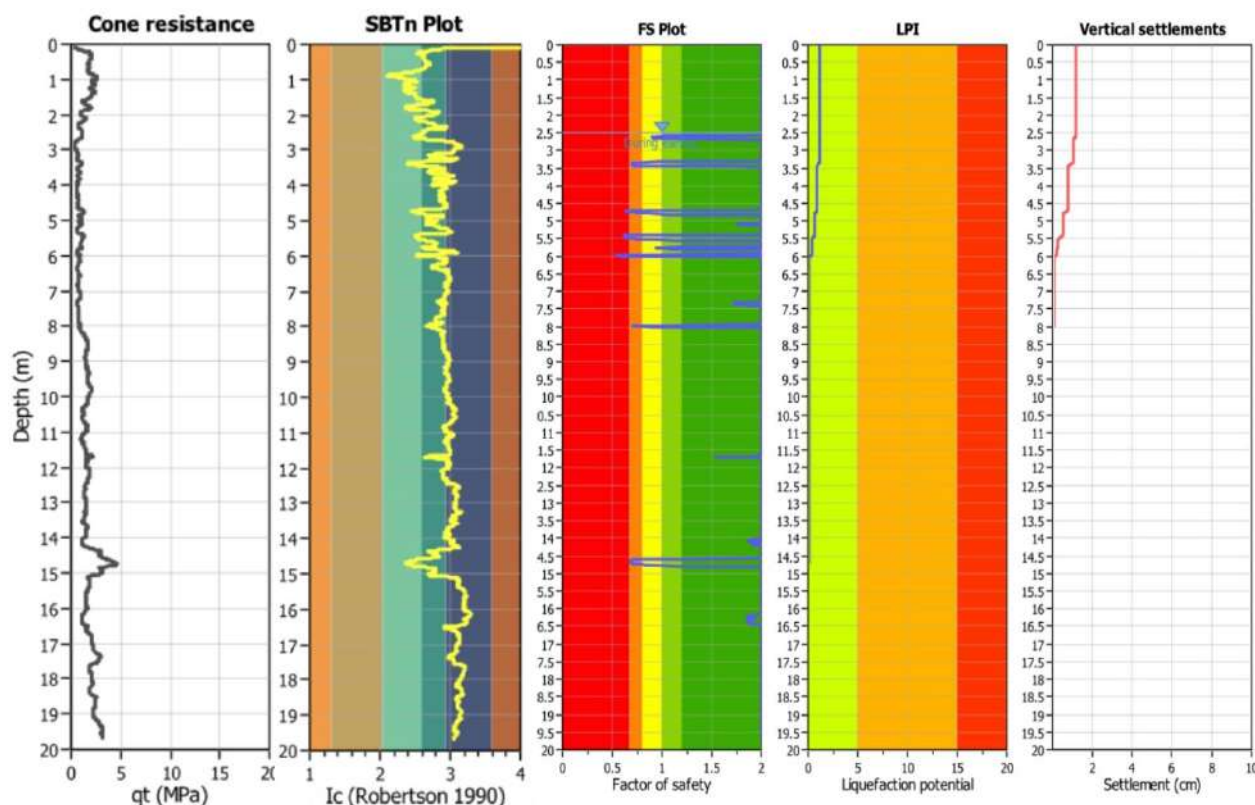


Figura 5.16 – Plottaggio delle verifiche di liquefazione e cedimenti post sisma per la prova CPTU3 (input derivati da analisi semplificata NTC 2018 - magnitudo 6.14)

Si precisa che le verifiche effettuate non considerano né gli spessori dei riporti previsti per l'edificazione, né la presenza delle stesse costruzioni (le verifiche hanno considerato le condizioni “free field”), dunque non viene determinato l'ulteriore contributo di resistenza alla liquefazione ciclica che generalmente è fornito dalle pressioni delle opere di fondazione dei manufatti (di progetto) scaricate nel sottostante terreno.

6 ORIENTAMENTI GEOTECNICI

6.1 Modellazione geotecnica di massima

I dati di sottosuolo derivati dalle penetrometrie disponibili consentono di ricavare una caratterizzazione di massima dei sedimenti attraversati, in sintesi costituito da sedimenti di tracimazione fluviale recente, prevalentemente limoso sabbiosi fino a circa $-1,9 \div 2,7$ metri dal p.c., poi prevalentemente limosi (con ulteriori alternanze limoso sabbiose e/o limoso argillose scarsamente consistenti) fino $-1,9 \div 8,1$ metri. I depositi di tracimazione a tessiture più limoso sabbiose risultano più spessi nel settore NE del comparto studiato (vedi prove CPTU3 e CPT8).

Nel paragrafo 3.1 vengono presentate due sezioni litotecniche schematiche derivate dagli esiti delle penetrometrie disponibili (figure 3.3 e 3.4). Viene qui di seguito riproposta nella figura 6.1 la sezione denominata A-A' elaborata sulla base dei risultati delle prove CPTU, dunque con esiti tessiture e meccanici più raffinati (letture ogni cm di avanzamento).

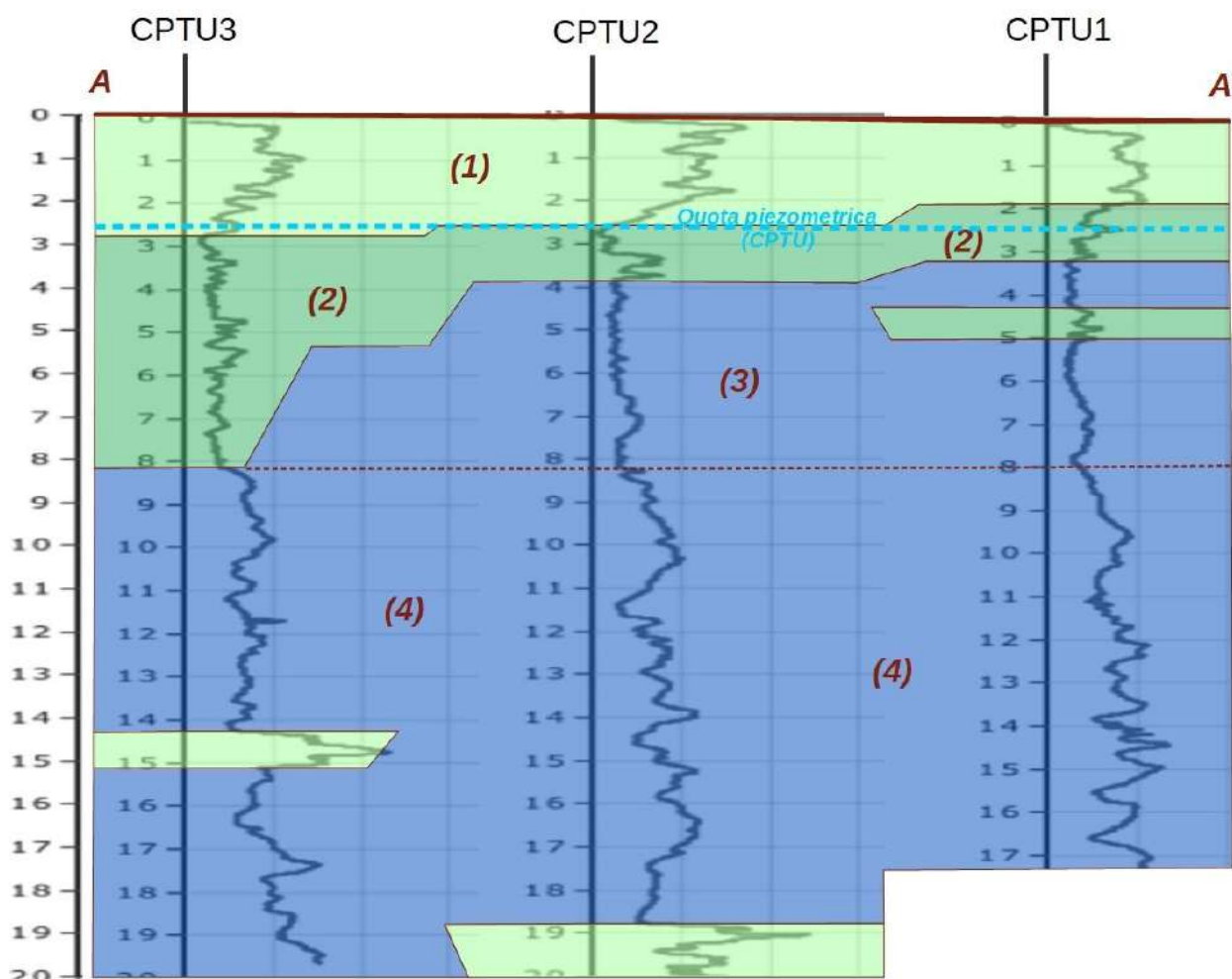


Figura 6.1 - Schema litotecnico derivato dalle penetrometrie CPTU eseguite per questo studio

Le prove CPTU consentono di definire le caratteristiche tessiture dei sedimenti attraversati attraverso la classificazione bilogarithmica dei terreni proposta da P. K. Robertson (1985; 1990).

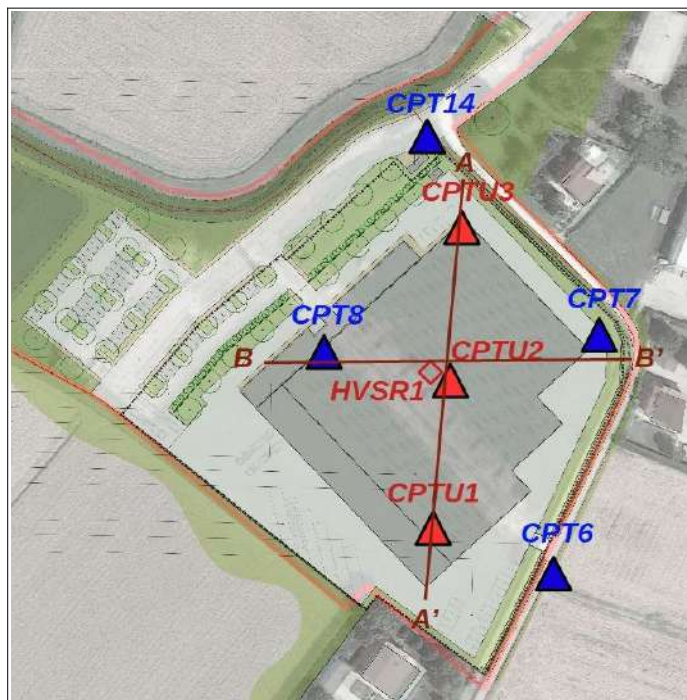


Figura 6.2 - Localizzazione delle sezioni geologiche realizzate per questo studio

Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$$

N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to } SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c_cutoff})$$

State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to $SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8$)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$$\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

$$M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to } SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff})$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff}$)

Figura 6.3 – Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici da prove CPTU

La figura 6.3 riporta le principali correlazioni⁶ utilizzate per la stima delle proprietà meccaniche dei sedimenti attraversati.

Ai fini della successiva progettazione degli interventi, le NTC vigenti e gli indirizzi in materia (AGI; DM 11/03/1988) esplicitano la necessità di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i sedimenti che costituiscono il “volume significativo”, inteso come parte del sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dei manufatti di progetto.

Per questo studio, è dunque possibile proporre una caratterizzazione geotecnica di massima del sottosuolo investigato (che dovrà essere opportunamente approfondita in sede di progettazione degli interventi), con la stima dei principali parametri geotecnici basata sulle resistenze penetrometriche CPTU. In questo senso, le figure 6.4 → 6.6 riportano gli esiti della modellazione geotecnica per le tre verticali d'indagine CPTU: per ogni strato vengono attribuiti i valori geotecnici medi desunti dalle letture penetrometriche (acquisite ogni cm di approfondimento). Le citate figure riportano anche la quota di falda misurata al termine delle prove nel foro d'indagine.

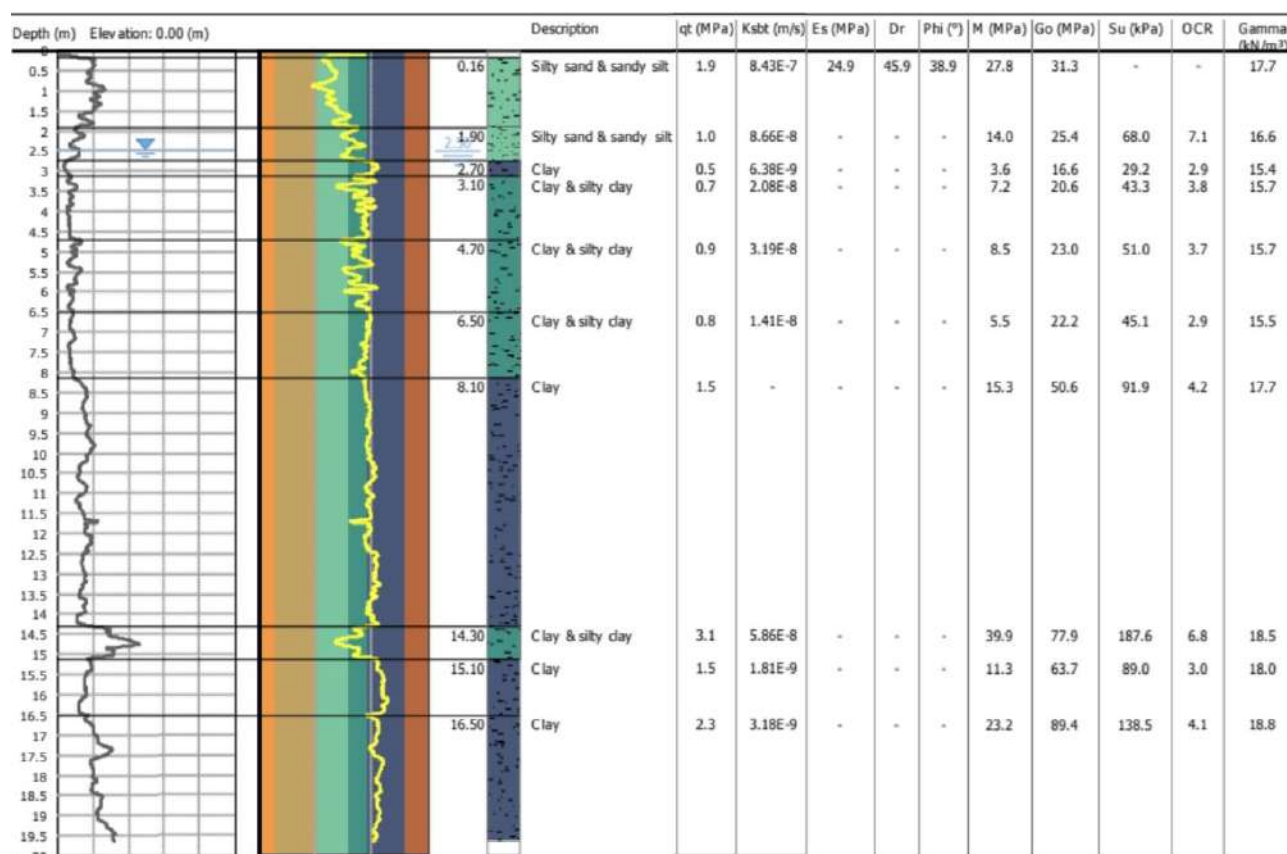


Figura 6.4 – Colonna geotecnica estrapolabile dalla prova CPTU3

⁶ Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, July 2010

Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

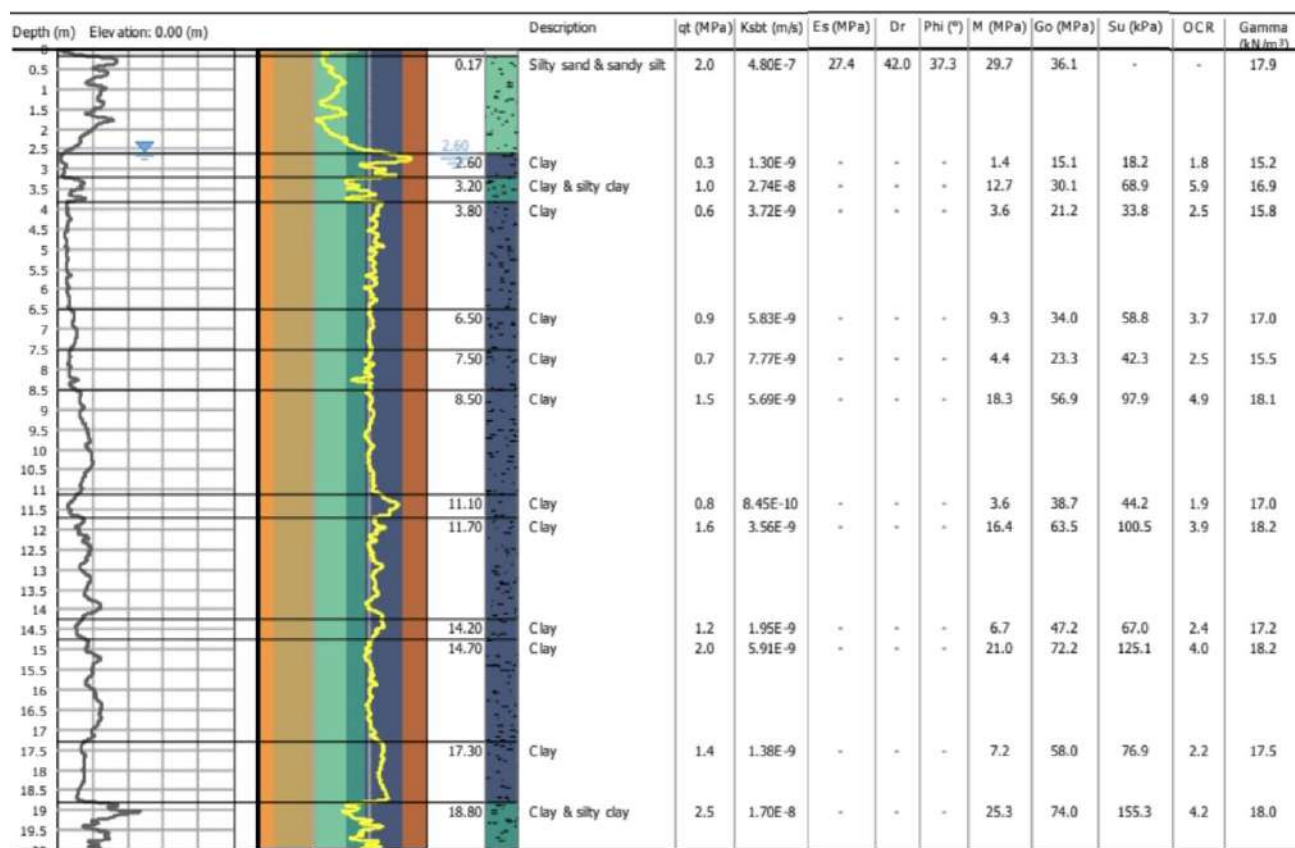


Figura 6.5 – Colonna geotecnica estrapolabile dalla prova CPTU2

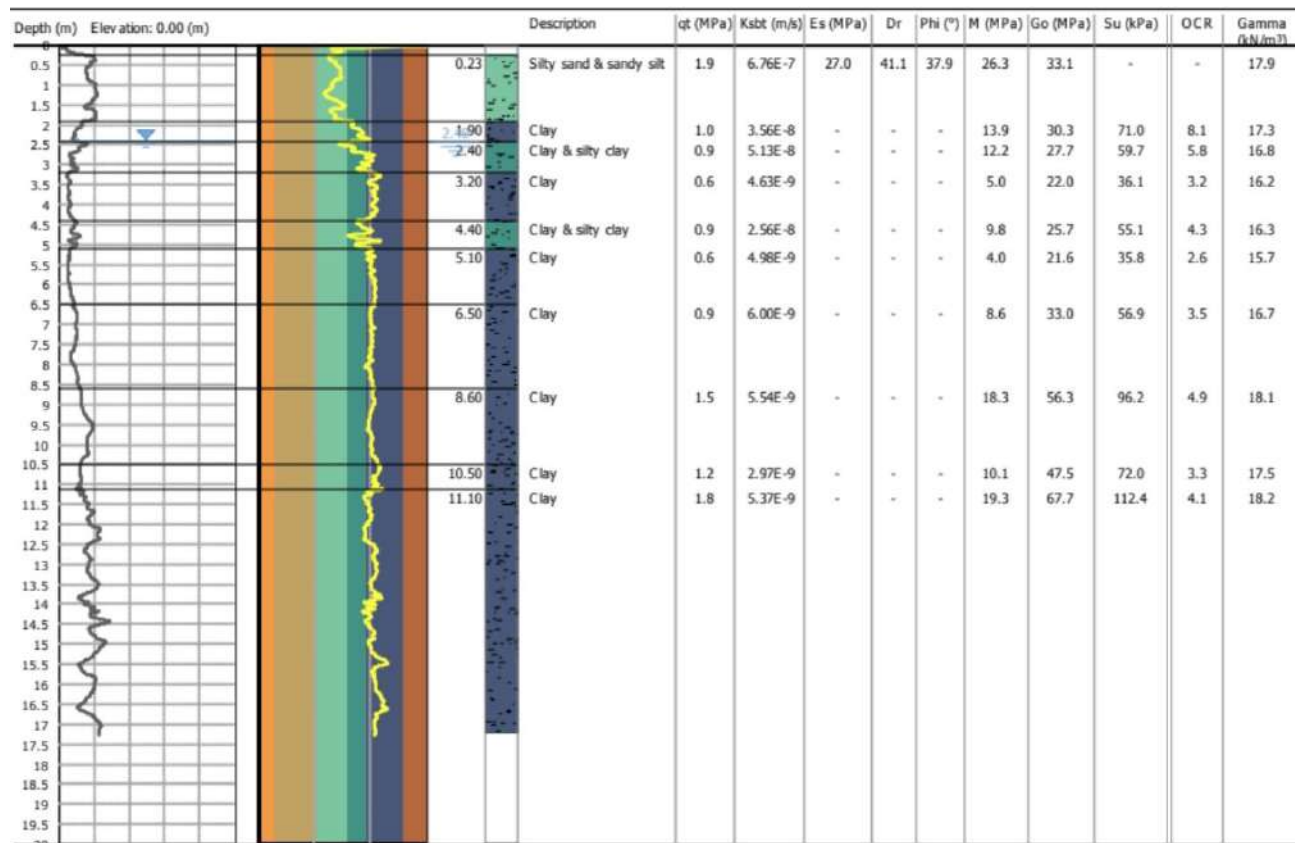


Figura 6.6 – Colonna geotecnica estrapolabile dalla prova CPTU1

6.2 Ulteriori indicazioni geotecniche

Le indagini hanno riscontrato sedimenti più superficiali di tracimazione fluviale recente, in prevalenza limoso sabbiosi fino a circa $-1,9 \div -2,7$ metri. Si tratta di sedimenti che risultano prevalentemente insaturi e dunque anche soggetti a una possibile variabilità delle caratteristiche meccaniche in funzione dell'effettivo grado di umidità, con possibili effetti ciclici di essiccamento/rigonfiamento. Come già scritto nel paragrafo 3.2, le prove disponibili hanno infatti evidenziato una possibile variabilità della piezometria in funzione delle condizioni di ricarica della prima modesta falda che appare di natura "sospesa".

Al di sotto di questo primo intervallo limoso sabbioso, tutte le prove hanno anche evidenziato sedimenti prevalentemente limoso argillosi e/o argillosi scarsamente consistenti e compressibili (con spessori metrici e con resistenze alla punta $q_t \ll 1$ Mpa), variabilmente attraversati fino a circa -8 metri. La presenza di questi spessori di sedimenti più compressibili impone anche un'attenta analisi dei cedimenti ammissibili in funzione delle caratteristiche delle fondazioni e degli edifici da costruire. In sede di progettazione delle costruzioni, sarà infatti opportuno controllare eventuali limitazioni legate all'interazione sedimenti-struttura, cioè ai cedimenti assoluti e differenziali.

In questo senso, non si preclude la scelta di fondazioni dirette (nestriformi o plinti), tuttavia per pressioni d'esercizio più significative e/o variamente distribuite nei terreni può essere infatti necessario prevedere fondazioni profonde (pali) immorsati nei sedimenti più consistenti (intercettati a oltre 8 metri di profondità).

Nel caso le verifiche dimostrino la possibilità di prevedere fondazioni dirette, si consiglia una quota minima di incastro di fondazioni dirette nastriformi continue pari ad almeno 100 cm, per consentire di oltrepassare lo stato superficiale di terreni più rimaneggiati (suolo) e facilmente soggetti ad essiccamento di natura reversibile. Tale profondità potrà essere comunque variata in funzione della sistemazione e/o degli interventi di miglioramento geotecnico dei sedimenti sottostanti la fondazione. Nel caso di prevedere plinti di fondazione, è invece consigliabile un ulteriore approfondimento della quota di incastro (fino ad almeno 200 cm), tuttavia il dimensionamento rimane subordinato all'analisi dei cedimenti ammissibili.

Nel caso di dover costruire prevedendo quote di calpestio rilevate rispetto all'attuale piano campagna, la fondazione superficiale più opportuna è da ritenersi quella a platea e si potranno infatti prevedere riporti ed escavazioni di terreno sostituiti con strati granulari di sottofondazione opportunamente sistemati.

Le indagini CPTU non hanno invece riscontrato particolari criticità indotte da possibilità di liquefazioni e/o cedimenti post sisma dei sedimenti.

In conclusione si ribadisce ulteriormente che, a seguito di questo ulteriore approfondimento, non emergono particolari criticità di carattere puramente geotecnico, sebbene il contesto geotecnico descritto imponga necessariamente ulteriori verifiche geognostiche (coerentemente con le NTC vigenti) e una certa attenzione nella scelta delle fondazioni.

7 SINTESI DELLO STUDIO

Inquadramento geologico e idrogeologico

Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (cfr. paragrafi 2.1 e 2.2) → nel comparto sono state eseguite n. 3 penetrometrie CPTU spinte fino a -20 m dal p.c. e n. 1 registrazione sismica HVSR. Sono inoltre disponibili penetrometrie CPT approfondite fino a -10÷15 metri. Nelle aree limitrofe sono state realizzate altre prove geognostiche/geofisiche (CPTE/CPTU; “Cono sismico”; registrazioni sismiche HVSR).

Contesto geologico (cfr. paragrafo 3.1) → il comparto si colloca in ambiente deposizionale più recente di “depositi di piana inondabile” del fiume Reno. I sedimenti alluvionali meno profondi sono compresi nell’“unità di Modena” del “Subsistema di Ravenna” (identificati con sigla AES8a) di età deposizionale recente (Olocene). I sedimenti sub affioranti sono costituiti da depositi di tracimazione alluvionale recente limoso sabbiosi (fino a circa -1,9÷-2,7 m) e limosi, poi argille limose scarsamente consistenti fino a circa -8,0 metri e ancora argille e limi prevalenti fino al termine delle prove disponibili (-20 metri).

Contesto idrogeologico e aspetti idraulici locali (cfr. paragrafo 3.2) → la tavola A.C.1.2b “Carta Idrogeologica” elaborata per il PSC dei Comuni delle unioni “Reno – Galliera” e “Terre di Pianura”, evidenzia un blando deflusso sotterraneo della falda meno profonda diretto verso NE e soggiacenze medie di circa 2,5÷3,0 metri. Le indagini CPT effettuate nel gennaio 1998 hanno riscontrato minori soggiacenze (circa 2,0 metri) mentre le prove CPTU eseguite per questo studio hanno riscontrato soggiacenze di 2,4÷2,6 metri. Sono quindi possibili escursioni della prima falda fino a circa 1 metro.

Dal punto di vista idraulico, la regimazione locale secondaria è fornita da alcuni fossi di testata di campi agricoli e dallo scolo Canalazzo confinante a N-NO. Sulla base dei dati indicati nel PGRA, l’area è inclusa nello scenario di pericolosità “P2” (alluvioni poco frequenti con TR 100-200 anni) per quanto riguarda il reticolo naturale principale (fiume Reno). Il comparto ricade parzialmente in un’area allagata/allagabile dello scolo Canalazzo (scenario di rischio elevato “P3”). La progettazione dovrà pertanto considerare anche il rispetto del tirante idrico locale stabilito dal Consorzio della Bonifica Renana.

Pericolosità sismica di base (cfr. paragrafo 4.1) → l’area è situata al margine della sorgente sismogenica composita ITCS051 “Carpi – Poggio Renatico”, alla quale vengono associati terremoti locali caratterizzati da una magnitudo massima fino a circa $M_w = 6,0$. La sorgente include la faglia “Mirandola” recentemente riattivata (terremoti emiliani 2012). L’archivio DBMI dell’INGV documenta per il Capoluogo eventi sismici con intensità macrosismiche non particolarmente elevate (I max fino a 5). Nel paragrafo 4.1 si riportano i parametri sismici di base desunti dalla griglia di pericolosità sismica INGV e calcolati indicativamente baricentro del comparto.

Microzonazione sismica comunale e pericolosità sismica di area vasta (cfr. paragrafo 4.2) → il comparto ricade in zona di attenzione per instabilità da liquefazione/densificazione (cfr. tavola 4 PTM Bologna), contesto confermato anche dagli studi di MS comunale.

Approfondimenti sismici locali ai sensi della DGR 476/2021 (cfr. paragrafo 4.3) → Le registrazioni sismiche HVSR evidenziano massime amplificazioni spettrali H/V a basse frequenze ($0,70\div 0,85$ Hz), associabili a riflettori sismici profondi oltre 100 metri. Possibili risonanze con edifici molto elevati, cioè >10 piani. Nella zona produttiva limitrofa è stato inoltre realizzato un "Cono sismico" con stima della Vs30 pari a 207 m/s. La prova HVSR1 stima una Vs30 =201 m/s.

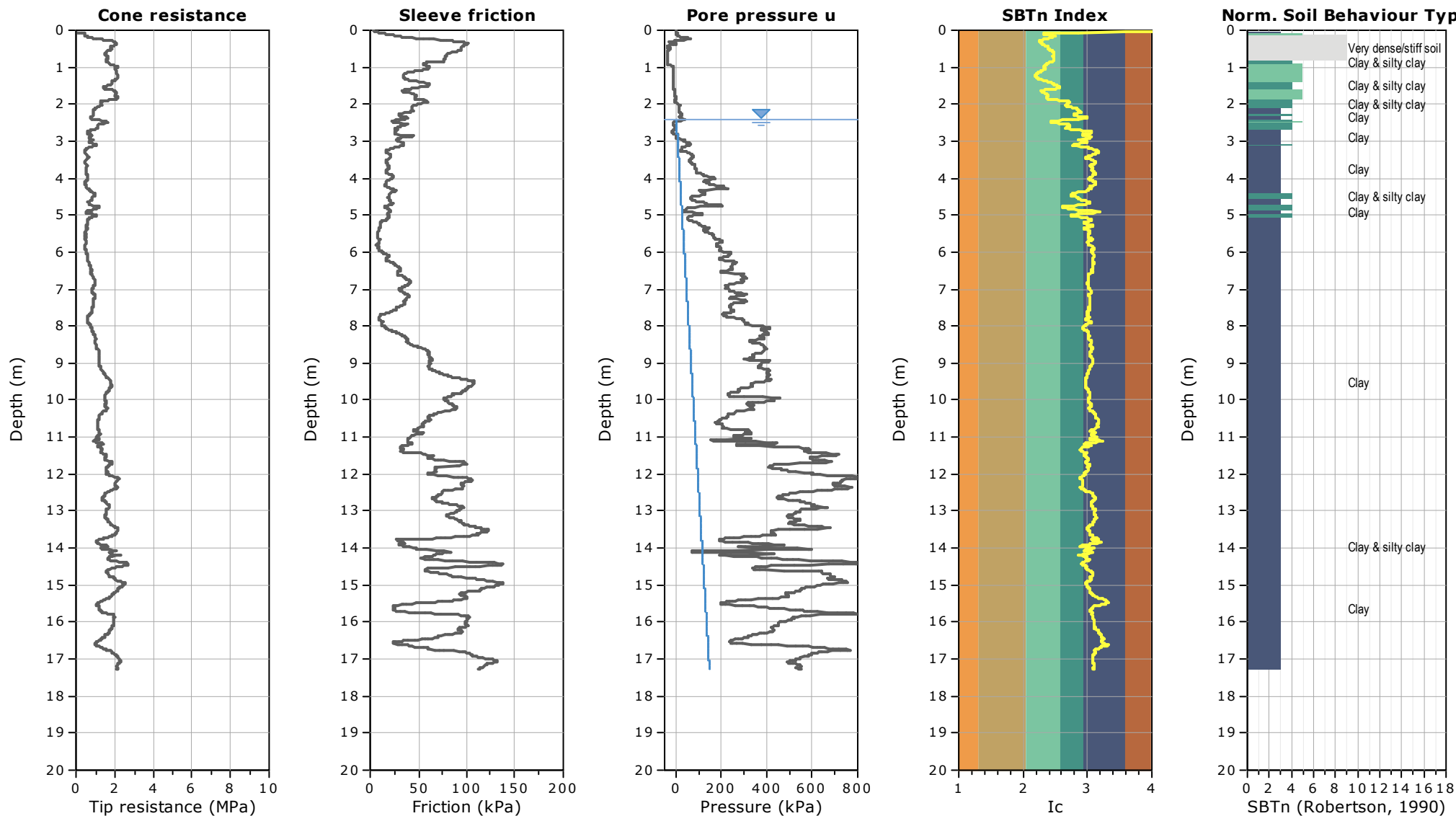
Nella tabella 4.1 vengono riportati i fattori di amplificazione attribuibili al comparto (approssimabile al macrocontesto "Pianura 2" con Vs30 ≈200 m/s).

Per il calcolo dei fattori di amplificazione richiesti dalla Delibera regionale, è stato elaborato un modello numerico di RSL rappresentativo dell'area di studio. Nel paragrafo 5.1 viene descritto il modello sismostratigrafico profondo, mentre gli esiti dell'analisi numerica di RSL sono riportati nel paragrafo 5.2. Le prove CPTU hanno permesso di eseguire verifiche quantitative della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma: le simulazioni non hanno evidenziato particolari criticità legate a possibilità di liquefazioni ($LPI << 2$) e a cedimenti post sisma e dunque il rischio locale è da ritenersi complessivamente "basso".

Orientamenti geotecnici (cfr. paragrafi 5.1 e 5.2) → le prove penetrometriche disponibili, in particolare le prove CPTU consentono una caratterizzazione geotecnica di massima dei sedimenti investigati. In sintesi non si riscontrano particolari criticità tuttavia la presenza di sedimenti limoso sabbiosi variamente essiccati e la presenza di sottostanti argille e argille limose scarsamente consistenti e compressibili, a profondità variabili fino e -8 metri circa, impone un'attenta analisi dei cedimenti in sede di progettazione delle costruzioni, per controllare eventuali limitazioni legate all'interazione sedimenti-struttura, cioè ai cedimenti assoluti e differenziali o all'entità delle pressioni d'esercizio. Non si preclude la scelta di fondazioni dirette (nastriformi o plinti, platee) tuttavia per pressioni d'esercizio più significative e/o variamente distribuite nei terreni può essere infatti necessario prevedere fondazioni profonde (pali) immorsati nei sedimenti più consistenti (intercettati a oltre -8 metri).

In conclusione, non emergono particolari criticità di carattere puramente geotecnico, sebbene il contesto geotecnico descritto imponga necessariamente ulteriori verifiche geognostiche in sede di progettazione delle costruzioni (coerentemente con le NTC vigenti) e una certa attenzione nella scelta delle fondazioni.

ALLEGATI:
REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE
REPORT VERIFICHE LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI POST SISMA (PROVE CPTU)

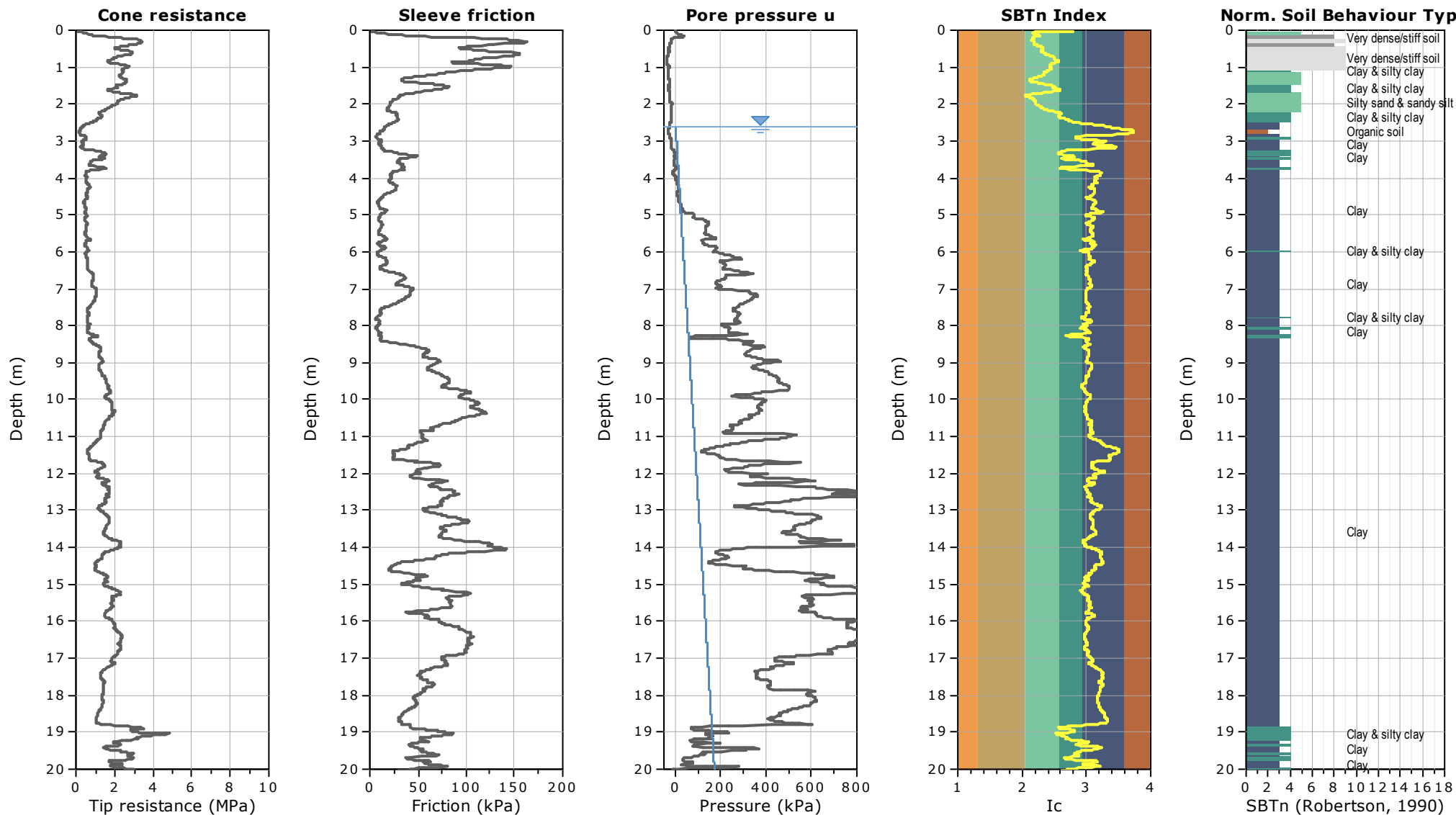


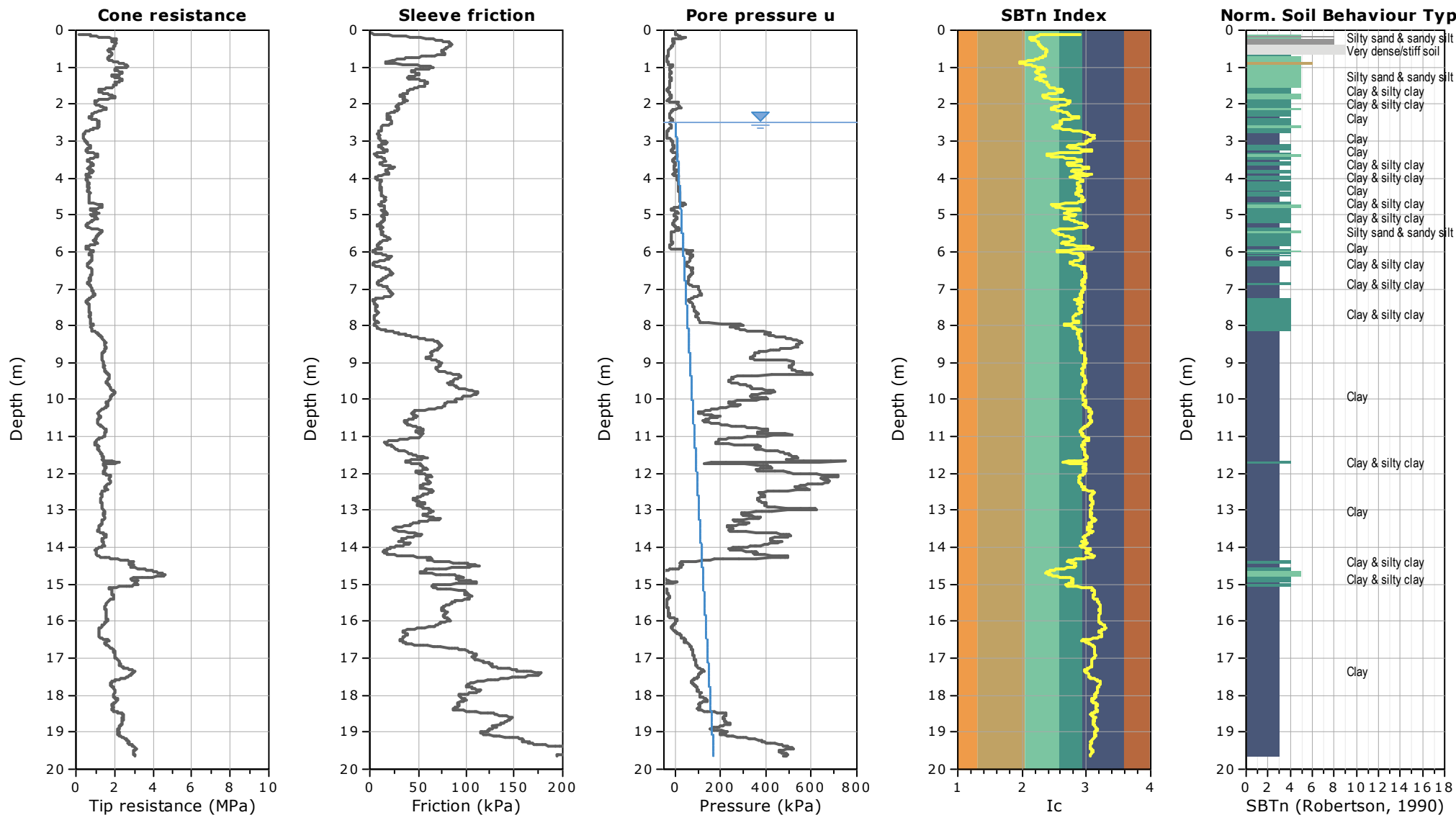
Project: PUA Ambito D8-2

Location: Pieve di Cento (BO)

CPT: CPTU2

Total depth: 20.20 m, Date: 16/02/2022





LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

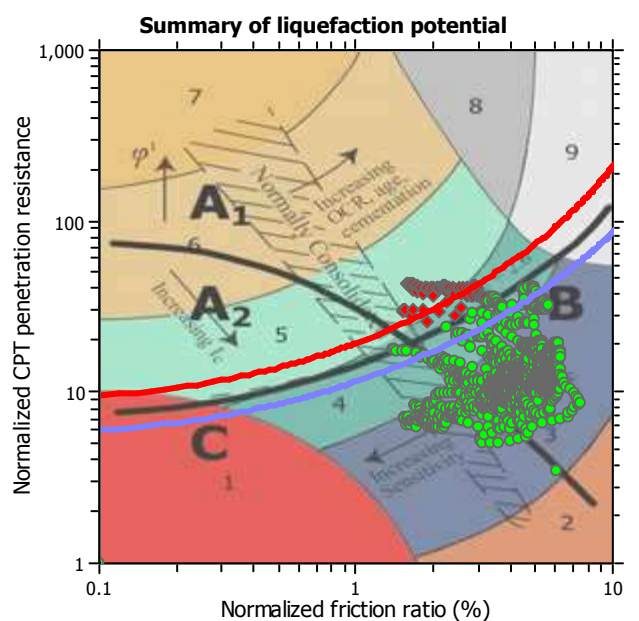
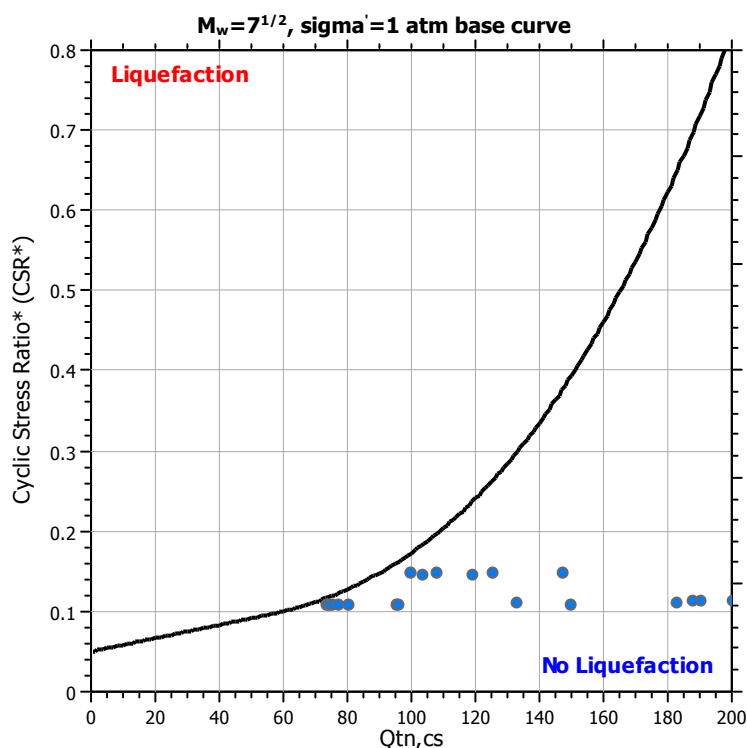
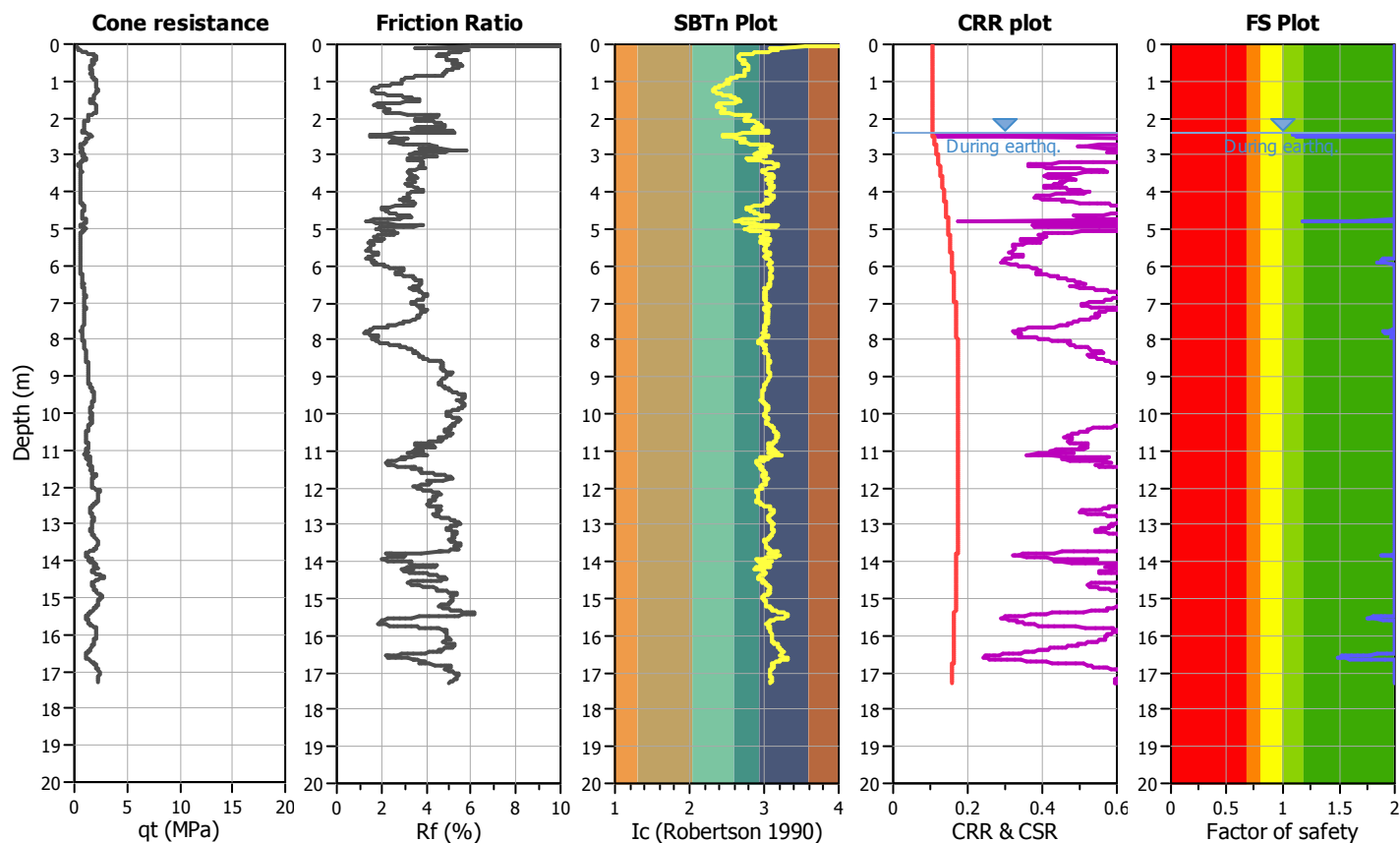
Project title : PUA Ambito D8-2

Location : Pieve di Cento (BO)

CPT file : CPTU1

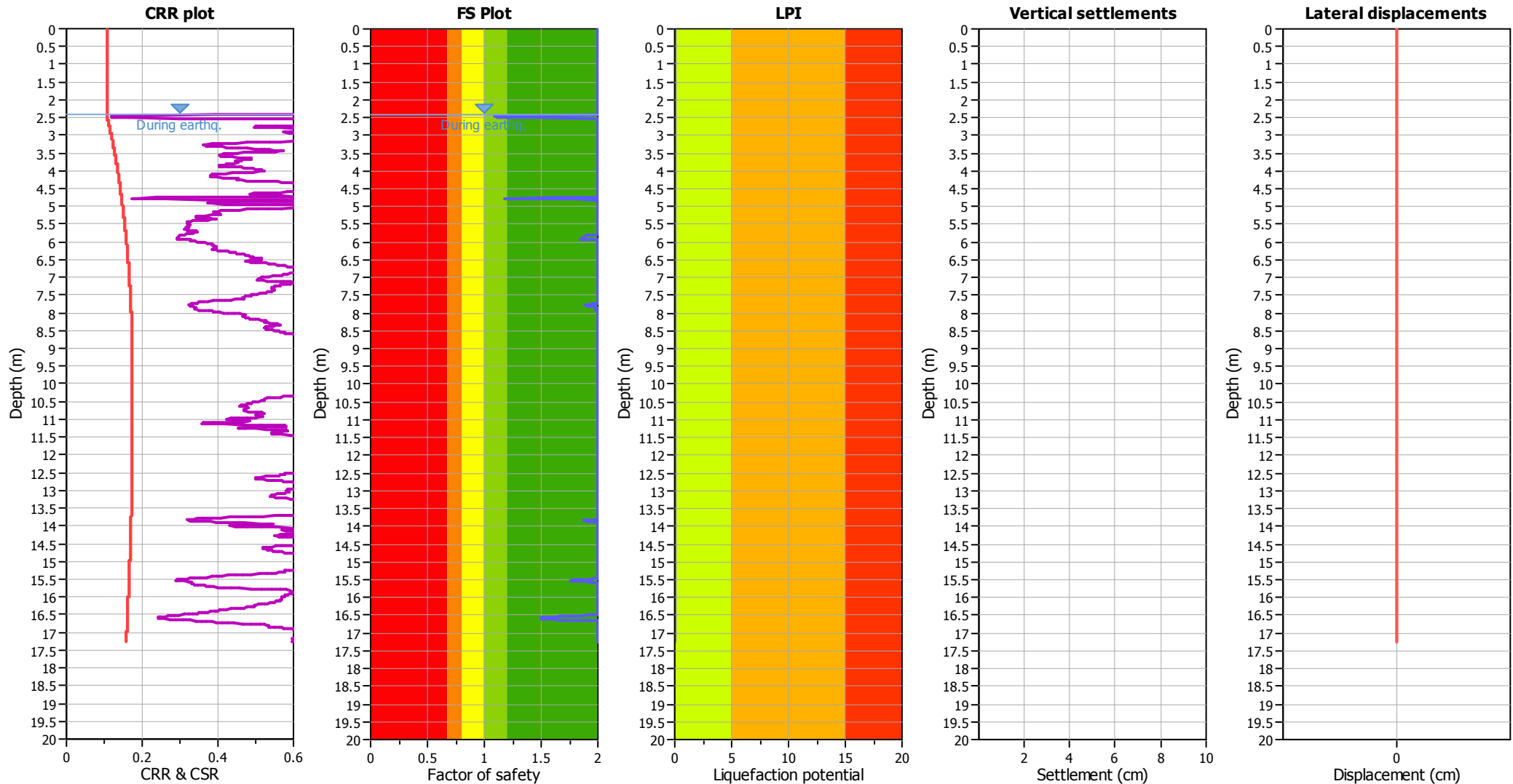
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.40 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: 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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

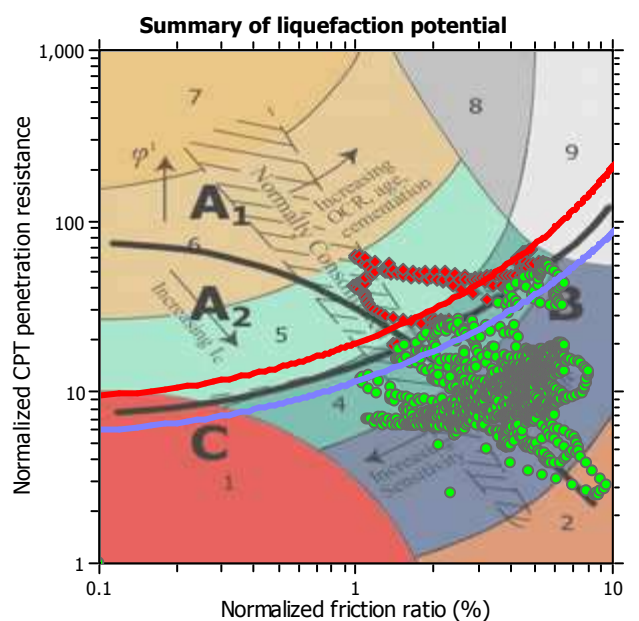
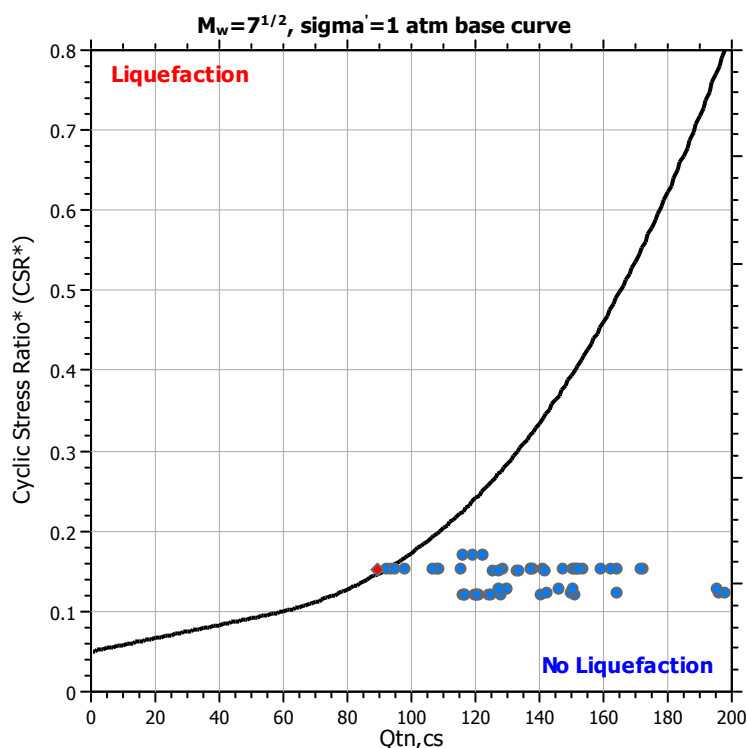
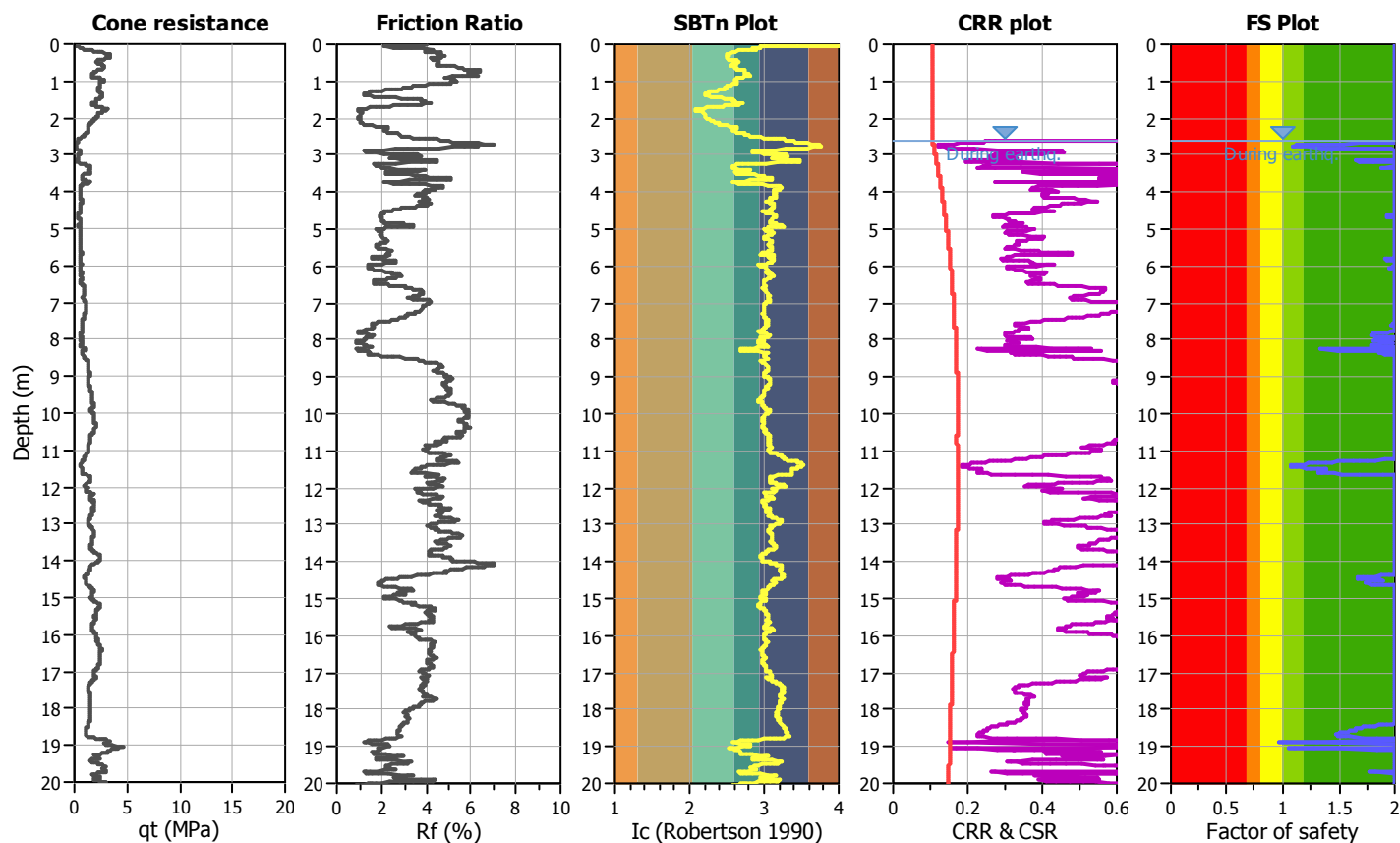
Project title : PUA Ambito D8-2

Location : Pieve di Cento (BO)

CPT file : CPTU2

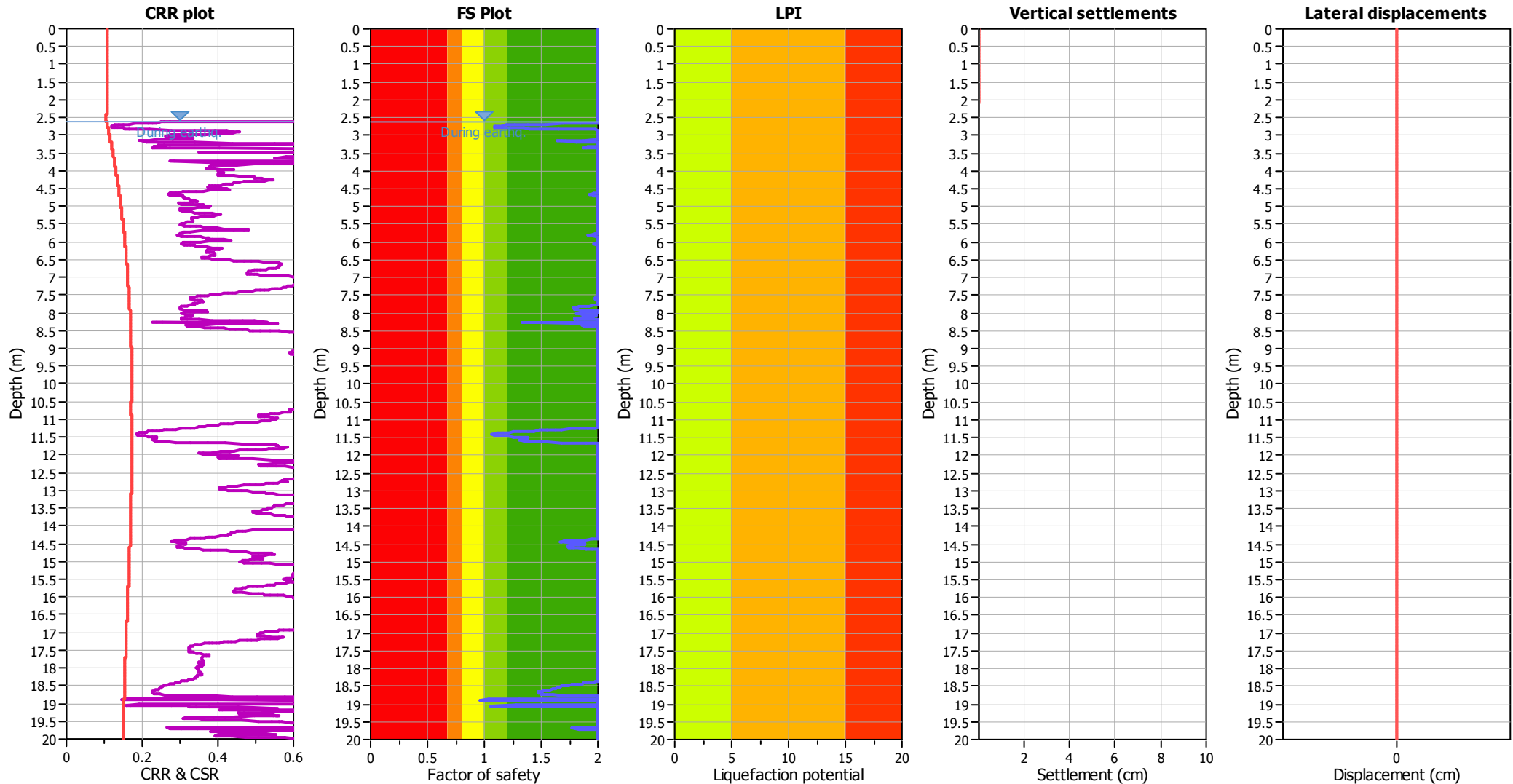
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.60 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.60 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: 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:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

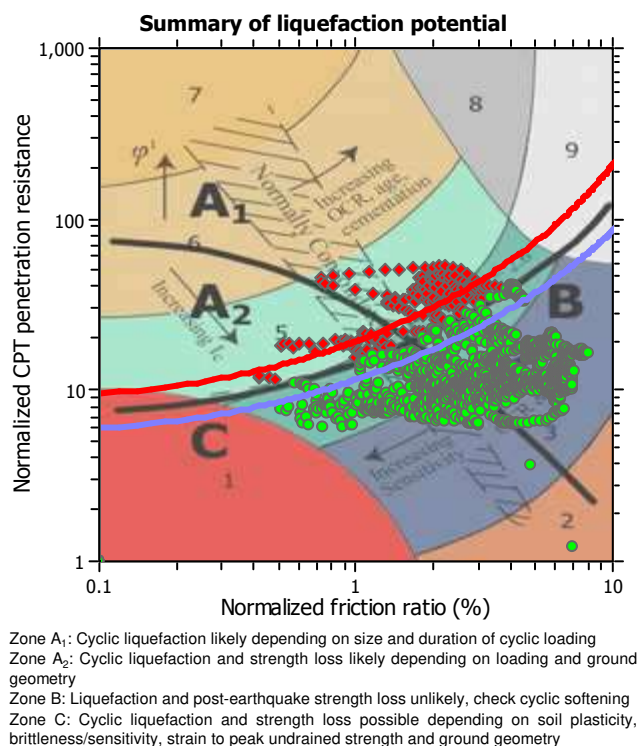
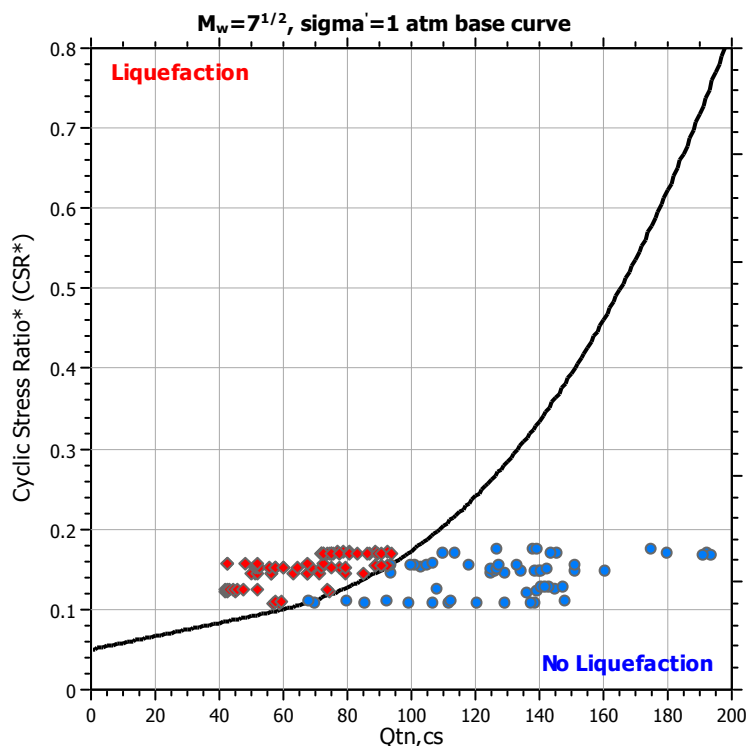
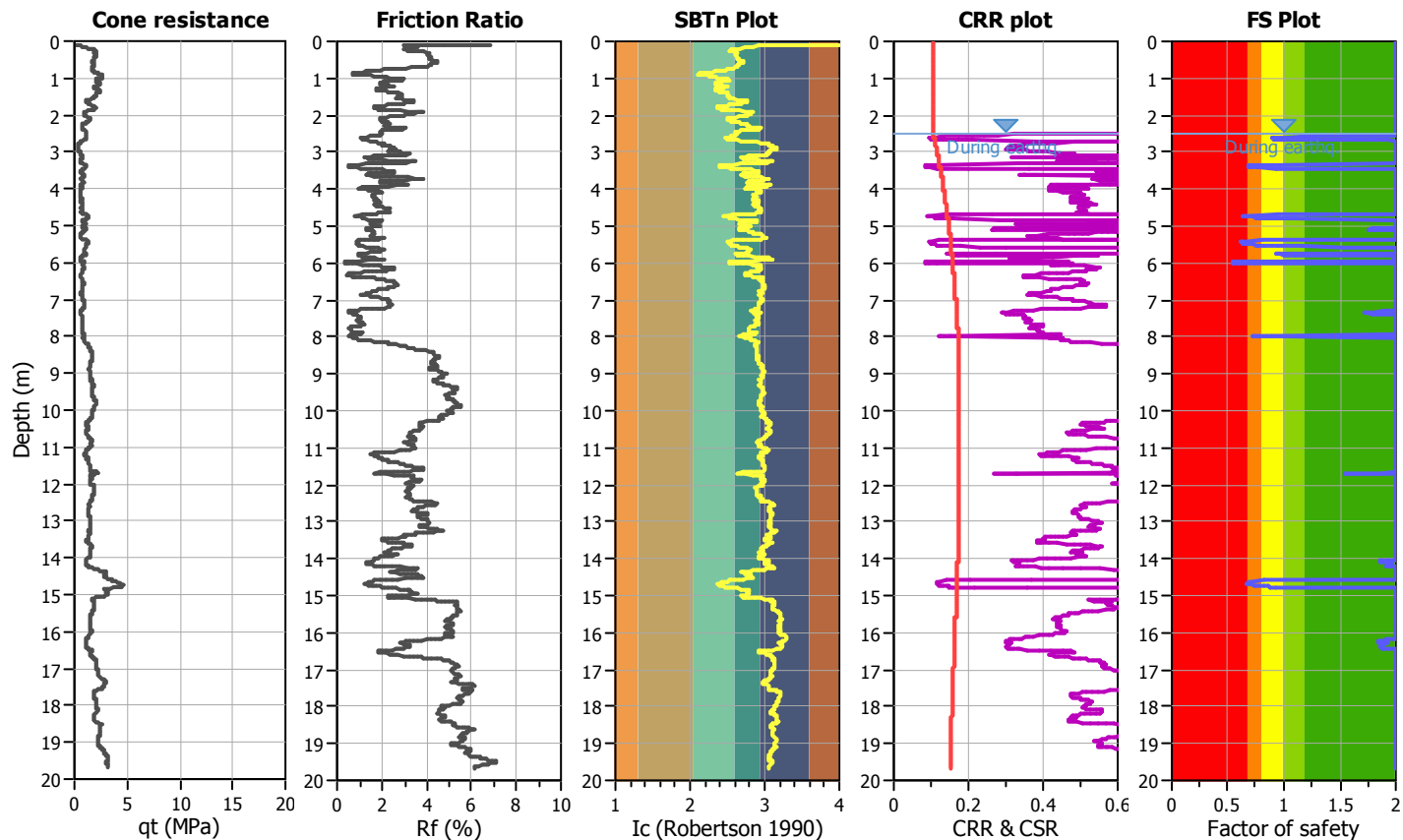
Project title : PUA Ambito D8-2

Location : Pieve di Cento (BO)

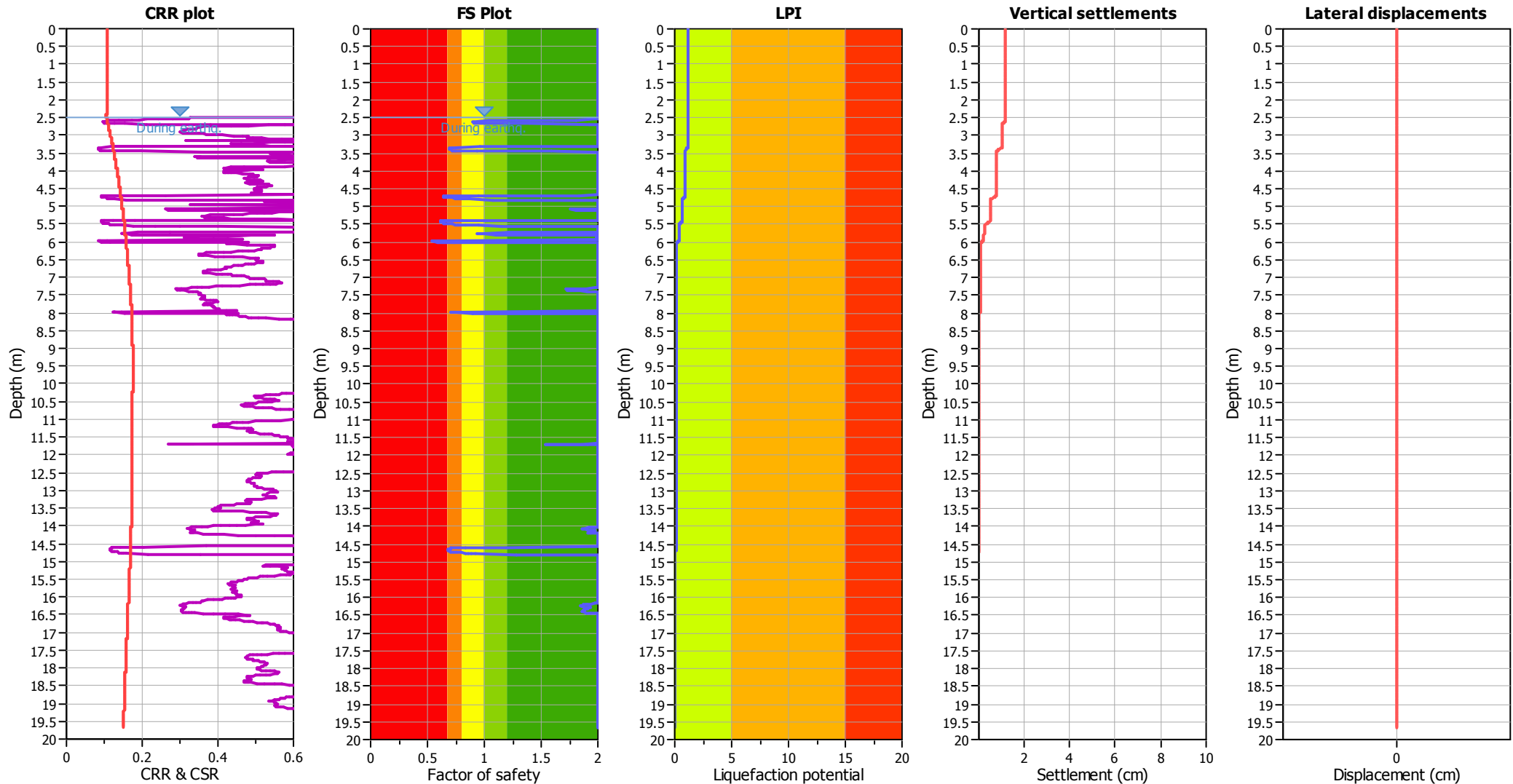
CPT file : CPTU3

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 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

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 6

2.010495-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
- lavoro : Nuova Lottizzazione
- località : PIEVE DI CENTO (Bologna)
- note :

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs	Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs
0,20	---	---	---	---	0,60	7,80	7,0	11,5	14,0	0,93	15,0
0,40	6,0	10,5	12,0	0,47	26,0	8,00	9,0	16,0	18,0	1,07	17,0
0,60	5,0	8,5	10,0	0,20	50,0	8,20	11,5	19,5	23,0	1,20	19,0
0,80	5,5	7,0	11,0	0,27	41,0	8,40	12,0	21,0	24,0	1,00	24,0
1,00	5,0	7,0	10,0	0,20	50,0	8,60	11,0	18,5	22,0	1,13	19,0
1,20	4,0	5,5	8,0	0,20	40,0	8,80	13,5	22,0	27,0	1,33	20,0
1,40	5,5	7,0	11,0	0,13	82,0	9,00	15,0	25,0	30,0	1,87	16,0
1,60	4,5	5,5	9,0	0,13	67,0	9,20	16,0	30,0	32,0	1,60	20,0
1,80	7,5	8,5	15,0	0,20	75,0	9,40	16,0	28,0	32,0	1,93	17,0
2,00	8,5	10,0	17,0	0,13	127,0	9,60	15,5	30,0	31,0	1,67	19,0
2,20	10,5	11,5	21,0	0,20	105,0	9,80	15,5	28,0	31,0	1,73	18,0
2,40	11,5	13,0	23,0	0,13	172,0	10,00	20,0	33,0	40,0	1,67	24,0
2,60	9,5	10,5	19,0	0,20	95,0	10,20	14,5	27,0	29,0	1,87	16,0
2,80	3,5	5,0	7,0	0,40	17,0	10,40	13,0	27,0	26,0	1,47	18,0
3,00	5,0	8,0	10,0	0,27	37,0	10,60	11,0	22,0	22,0	1,07	21,0
3,20	4,5	6,5	9,0	0,27	34,0	10,80	7,5	15,5	15,0	1,20	12,0
3,40	4,0	6,0	8,0	0,20	40,0	11,00	9,0	18,0	18,0	0,80	22,0
3,60	4,0	5,5	8,0	0,40	20,0	11,20	10,0	16,0	20,0	0,60	33,0
3,80	5,0	8,0	10,0	0,13	75,0	11,40	13,5	18,0	27,0	0,93	29,0
4,00	6,5	7,5	13,0	0,20	65,0	11,60	16,0	23,0	32,0	1,33	24,0
4,20	7,5	9,0	15,0	0,27	56,0	11,80	17,0	27,0	34,0	1,53	22,0
4,40	6,5	8,5	13,0	0,13	97,0	12,00	19,5	31,0	39,0	1,53	25,0
4,60	3,5	4,5	7,0	0,33	21,0	12,20	14,5	26,0	29,0	1,53	19,0
4,80	3,0	5,5	6,0	0,33	18,0	12,40	13,5	25,0	27,0	1,33	20,0
5,00	4,0	6,5	8,0	0,20	40,0	12,60	18,0	28,0	36,0	1,60	22,0
5,20	3,5	5,0	7,0	0,20	35,0	12,80	17,0	29,0	34,0	1,73	20,0
5,40	3,5	5,0	7,0	0,13	52,0	13,00	17,0	30,0	34,0	1,80	19,0
5,60	5,0	6,0	10,0	0,33	30,0	13,20	17,5	31,0	35,0	2,00	18,0
5,80	6,0	8,5	12,0	0,60	20,0	13,40	18,0	33,0	36,0	1,20	30,0
6,00	5,0	9,5	10,0	0,67	15,0	13,60	15,0	24,0	30,0	1,07	28,0
6,20	7,0	12,0	14,0	0,73	19,0	13,80	12,0	20,0	24,0	1,07	22,0
6,40	7,0	12,5	14,0	0,80	17,0	14,00	15,0	23,0	30,0	1,47	20,0
6,60	4,0	10,0	8,0	0,47	17,0	14,20	20,0	31,0	40,0	1,60	25,0
6,80	6,0	9,5	12,0	0,73	16,0	14,40	25,0	37,0	50,0	2,13	23,0
7,00	7,5	13,0	15,0	0,87	17,0	14,60	22,0	38,0	44,0	1,33	33,0
7,20	7,5	14,0	15,0	0,73	20,0	14,80	22,0	32,0	44,0	2,27	19,0
7,40	5,5	11,0	11,0	0,40	27,0	15,00	20,0	37,0	40,0	---	---
7,60	6,5	9,5	13,0	0,60	22,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 12 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE $C_t = 20$ - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

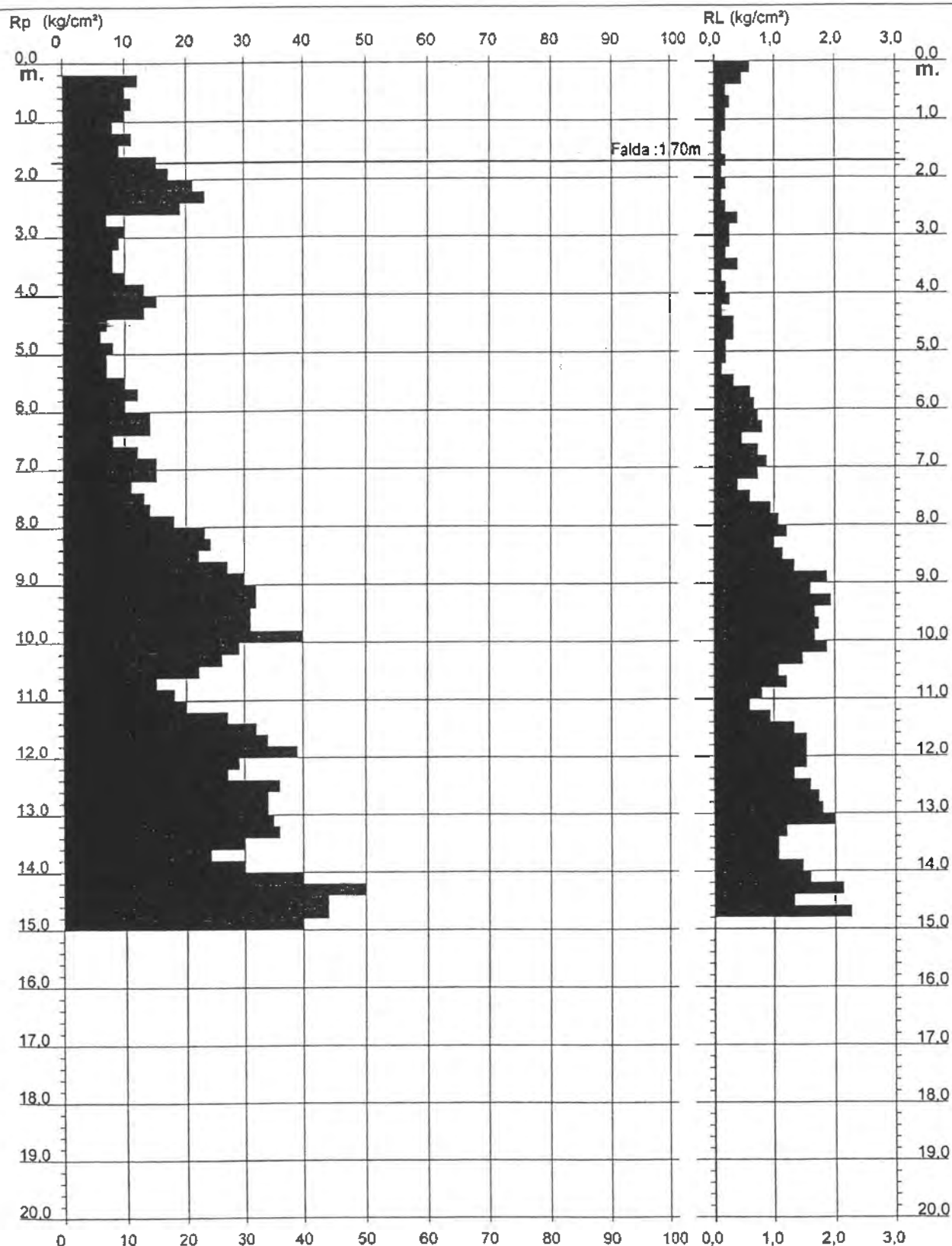
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 6

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
- lavoro : Nuova Lottizzazione
- località : PIEVE DI CENTO (Bologna)

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



CPT 6

2.010496-03

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA **TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 6

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
 - lavoro : Nuova Lottizzazione
 - località : PIEVE DI CENTO (Bologna)
 - note :

- data : 26/01/1998
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,70 m da quota inizio
 - pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' Mm²	d'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	e1s (%)	e2s (%)	e3s (%)	e4s (%)	edm (%)	emy (%)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0.20	—	—	???	1.85	0.04	—	—	97	146	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.40	12	26	2H/1	1.85	0.07	0.57	80.8	97	146	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.60	10	50	4H/1	1.85	0.11	0.50	41.2	85	128	40	46	35	37	39	42	36	26	0.095	17	25	30
0.80	11	41	4H/1	1.85	0.15	0.54	31.4	91	137	42	43	34	36	39	41	35	26	0.086	18	28	33
1.00	10	50	4H/1	1.85	0.19	0.50	21.8	85	128	40	34	33	35	38	41	34	26	0.066	17	25	30
1.20	8	40	4H/1	1.85	0.22	0.40	13.1	68	102	35	22	31	34	37	40	31	26	0.042	13	20	24
1.40	11	62	4H/1	1.85	0.26	0.54	15.6	91	137	42	29	32	35	37	40	32	26	0.056	18	28	33
1.60	9	67	4H/1	1.85	0.30	0.45	10.6	77	115	38	19	31	34	36	40	30	26	0.036	15	23	27
1.80	15	75	4H/1	0.89	0.31	0.67	16.1	113	170	50	35	33	35	38	41	33	27	0.069	25	38	45
2.00	17	127	4H/1	0.91	0.33	0.72	16.6	123	184	54	38	33	36	38	41	33	27	0.075	28	43	51
2.20	21	105	3H/1	0.85	0.35	—	—	—	—	—	44	34	37	39	42	34	27	0.089	35	53	63
2.40	23	172	3H/1	0.86	0.37	—	—	—	—	—	46	34	37	39	42	34	28	0.094	38	58	69
2.60	19	95	4H/1	0.92	0.38	0.78	15.1	132	198	58	38	33	36	38	41	33	27	0.076	32	49	57
2.80	7	17	2H/1	0.84	0.40	0.35	5.3	110	165	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.00	10	37	4H/1	0.86	0.42	0.50	7.8	101	152	40	14	30	33	36	39	29	28	0.027	17	25	30
3.20	9	34	4H/1	0.85	0.44	0.45	6.5	112	168	39	10	29	32	35	39	28	26	0.020	15	23	27
3.40	8	40	4H/1	0.84	0.45	0.40	5.4	123	185	35	5	29	32	35	38	27	25	0.011	13	20	24
3.60	8	20	2H/1	0.86	0.47	0.40	5.1	129	194	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.80	10	75	4H/1	0.85	0.49	0.50	6.5	126	188	40	10	29	33	36	39	29	26	0.021	17	25	30
4.00	13	65	4H/1	0.88	0.50	0.60	7.9	122	182	47	19	31	33	36	39	29	26	0.035	22	33	39
4.20	15	56	4H/1	0.89	0.52	0.57	8.5	124	186	50	23	31	34	37	40	30	27	0.043	25	38	45
4.40	13	97	4H/1	0.88	0.54	0.50	7.2	134	201	47	17	30	33	36	39	29	26	0.032	22	33	39
4.60	7	21	2H/1	0.82	0.56	0.36	3.5	157	236	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.80	6	18	2H/1	0.84	0.59	0.40	3.9	163	249	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.00	8	40	4H/1	0.83	0.61	0.35	3.2	169	252	32	—	28	31	35	38	25	26	—	13	20	24
5.20	7	35	4H/1	0.83	0.62	0.35	3.1	171	257	32	—	28	31	35	38	25	26	—	12	18	21
5.40	10	30	4H/1	0.86	0.64	0.50	4.6	178	268	40	4	29	32	35	38	27	28	0.009	17	25	30
5.60	12	20	2H/1	0.92	0.66	0.57	5.3	180	270	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.80	10	15	2H/1	0.90	0.68	0.50	4.3	189	284	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.00	14	19	2H/1	0.94	0.70	0.64	5.6	188	281	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.20	14	17	2H/1	0.94	0.71	0.64	5.4	194	291	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.40	8	17	2H/1	0.86	0.73	0.40	3.0	199	298	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.60	12	16	2H/1	0.92	0.75	0.57	4.5	209	314	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.80	15	17	2H/1	0.95	0.77	0.67	5.3	210	316	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.00	15	20	2H/1	0.95	0.79	0.67	5.1	217	325	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.20	11	27	2H/1	0.91	0.81	0.54	3.8	227	341	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.40	13	22	2H/1	0.93	0.82	0.60	4.3	230	346	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.60	14	15	2H/1	0.94	0.84	0.64	4.4	235	353	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.80	14	15	2H/1	0.98	0.86	0.75	5.3	238	354	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8.00	23	19	4H/1	0.94	0.88	0.67	6.2	232	347	69	25	31	34	37	40	29	28	0.047	38	58	69
8.20	24	24	4H/1	0.94	0.90	0.69	6.2	235	354	72	25	32	34	37	40	30	28	0.049	40	60	72
8.40	24	24	4H/1	0.94	0.90	0.69	6.2	235	354	72	22	31	34	37	40	29	28	0.042	37	55	66
8.60	22	19	4H/1	0.93	0.92	0.85	5.7	247	371	68	29	32	35	37	40	30	28	0.055	45	68	81
8.80	27	20	4H/1	0.96	0.94	0.95	8.4	244	366	81	32	32	35	38	41	30	29	0.061	50	75	90
9.00	30	16	4H/1	0.96	0.95	1.00	8.6	245	368	90	33	33	35	38	41	31	29	0.065	53	80	96
9.20	32	20	4H/1	0.97	0.98	1.07	7.0	245	368	98	33	33	35	38	41	31	29	0.065	53	80	96
9.40	32	17	4H/1	0.97	1.00	1.07	6.8	252	378	96	33	33	35	38	41	31	29	0.064	53	80	96
9.60	31	19	4H/1	0.97	1.02	1.03	6.4	263	395	93	31	32	35	38	41	30	29	0.061	52	78	93
9.80	31	18	4H/1	0.97	1.04	1.03	6.3	270	405	93	31	32	35	38	41	30	29	0.061	52	78	93
10.00	40	24	4H/1	1.00	1.06	1.33	8.4	251	376	120	39	33	36	38	41	32	30	0.078	67	100	120
10.20	29	16	4H/1	0.96	1.07	0.98	5.6	290	434	87	28	32	35	37	40	30	29	0.053	48	73	87
10.40	26	18	4H/1	0.95	1.09	0.93	5.1	301	451	79	24	31	34	37	40	29	28	0.045	43	65	78
10.60	22	21	4H/1	0.93	1.11	0.85	4.5	310	465	66	17	30	33	36	39	28	28	0.033	37	55	66
10.80	15	12	2H/1	0.95	1.13	0.67	3.2	315	473	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11.00	18	22	2H/1	0.98	1.15	0.75	3.7	325	487	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11.20	20	33	4H/1	0.93	1.17	0.80	3.9	329	492	60	13	30	33	36	39	27	27	0.025	33	50	60
11.40	27	29	4H/1	0.95	1.19	0.95	4.7	330	495	81	23	31	34	37	40	29	28	0.043	45	68	81
11.60	32	24	4H/1	0.97	1.21	1.07	5.4	329	493	96	28	32	35	37	40	30	29	0.054	53	80	96
11.80	34	22	4H/1	0.98	1.23	1.13	5.7	330	495	102	30	32	35	38	41	30	29	0.058	57	85	102
12.00	39	25	4H/1	1.00	1.25	1.30	6.8	319	479	117	34	33	36	38	41	30	30	0.067	65	98	117
12.20	29	19	4H/1	0.96	1.27	0.98	4.6	353	529	87	24	31	34	37	40	29	29	0.045	48	73	87
12.40	27	20	4H/1	0.95	1.29	0.95	4.3	359	538	81	21	31	34	37	40	28	28	0.040	45	68	81
12.60	36	22	4H/1	0.99	1.30	1.20	5.7	351	527	108	30	32	35	38	41	30	30	0.059	60	90	108
12.80	34	20	4H/1	0.98	1.32	1.13	5.2	364	545	102	28	32	35	37	40	29	29	0.054	57	85	102
13.00	34	19	4H/1	0.98	1.34	1.13	5.1	370	555	102	28	32	35	37	40	29	29	0.053	57	85	102

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 7

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
- lavoro : Nuova Lottizzazione
- località : PIEVE DI CENTO (Bologna)
- note :

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs	Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs
0,20	----	----	----	0,73	----	7,80	7,0	9,0	14,0	0,40	35,0
0,40	6,5	12,0	13,0	0,53	24,0	8,00	10,0	13,0	20,0	0,27	75,0
0,60	4,5	8,5	9,0	0,40	22,0	8,20	9,0	11,0	18,0	0,33	54,0
0,80	4,0	7,0	8,0	0,40	20,0	8,40	4,5	7,0	9,0	0,27	34,0
1,00	3,0	6,0	6,0	0,27	22,0	8,60	7,0	9,0	14,0	0,60	23,0
1,20	2,5	4,5	5,0	0,20	25,0	8,80	8,5	13,0	17,0	0,93	18,0
1,40	4,0	5,5	8,0	0,20	40,0	9,00	9,0	16,0	18,0	1,13	16,0
1,60	4,0	5,5	8,0	0,13	60,0	9,20	8,0	16,5	16,0	1,00	16,0
1,80	4,5	5,5	9,0	0,40	22,0	9,40	8,0	15,5	16,0	1,00	16,0
2,00	4,5	7,5	9,0	0,27	34,0	9,60	9,5	17,0	19,0	1,07	18,0
2,20	7,0	9,0	14,0	0,07	210,0	9,80	9,0	17,0	18,0	1,20	15,0
2,40	5,0	5,5	10,0	0,27	37,0	10,00	10,0	19,0	20,0	1,07	19,0
2,60	3,0	5,0	6,0	0,13	45,0	10,20	7,5	15,5	15,0	0,73	20,0
2,80	2,5	3,5	5,0	0,20	25,0	10,40	8,0	13,5	16,0	0,87	18,0
3,00	3,0	4,5	6,0	0,13	45,0	10,60	6,0	12,5	12,0	0,67	18,0
3,20	3,5	4,5	7,0	0,13	52,0	10,80	7,0	12,0	14,0	0,87	16,0
3,40	4,0	5,0	8,0	0,27	30,0	11,00	10,5	17,0	21,0	1,13	19,0
3,60	3,5	5,5	7,0	0,27	26,0	11,20	8,5	17,0	17,0	0,67	25,0
3,80	3,0	5,0	6,0	0,33	18,0	11,40	10,5	15,5	21,0	0,73	29,0
4,00	10,0	12,5	20,0	0,40	50,0	11,60	13,5	19,0	27,0	1,00	27,0
4,20	11,0	14,0	22,0	0,20	110,0	11,80	11,0	18,5	22,0	1,33	16,0
4,40	9,0	10,5	18,0	0,20	90,0	12,00	12,0	22,0	24,0	1,20	20,0
4,60	5,0	6,5	10,0	0,20	50,0	12,20	9,0	18,0	18,0	1,27	14,0
4,80	8,0	9,5	16,0	0,33	48,0	12,40	10,5	20,0	21,0	1,07	20,0
5,00	5,0	7,5	10,0	0,33	30,0	12,60	13,0	21,0	26,0	1,20	22,0
5,20	2,5	5,0	5,0	0,20	25,0	12,80	14,0	23,0	28,0	1,73	16,0
5,40	2,5	4,0	5,0	0,20	25,0	13,00	18,0	31,0	36,0	1,80	20,0
5,60	3,5	5,0	7,0	0,27	26,0	13,20	16,5	30,0	33,0	1,87	18,0
5,80	4,5	6,5	9,0	0,47	19,0	13,40	14,0	28,0	28,0	1,73	16,0
6,00	5,0	8,5	10,0	0,53	19,0	13,60	9,0	22,0	18,0	1,00	18,0
6,20	5,0	9,0	10,0	0,47	21,0	13,80	6,0	13,5	12,0	0,67	18,0
6,40	3,5	7,0	7,0	0,27	26,0	14,00	9,0	14,0	18,0	0,73	25,0
6,60	2,5	4,5	5,0	0,20	25,0	14,20	10,5	16,0	21,0	1,00	21,0
6,80	3,0	4,5	6,0	0,27	22,0	14,40	12,5	20,0	25,0	1,13	22,0
7,00	3,5	5,5	7,0	0,33	21,0	14,60	9,5	18,0	19,0	0,80	24,0
7,20	2,0	4,5	4,0	0,33	12,0	14,80	10,0	16,0	20,0	1,07	19,0
7,40	6,0	8,5	12,0	0,20	60,0	15,00	6,0	14,0	12,0	----	----
7,60	5,0	6,5	10,0	0,27	37,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 12 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

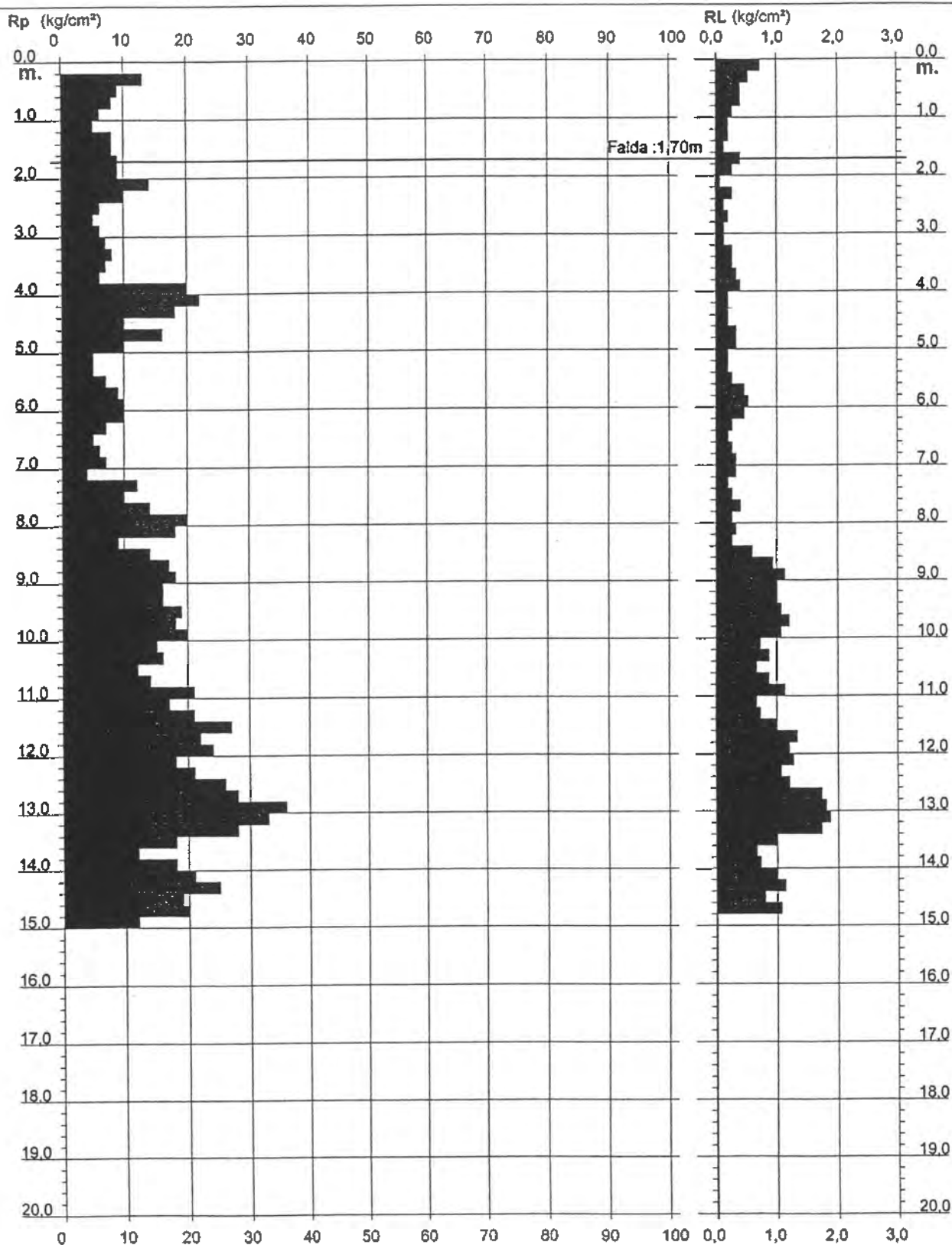
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 7

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
- lavoro : Nuova Lottizzazione
- località : PIEVE DI CENTO (Bologna)

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



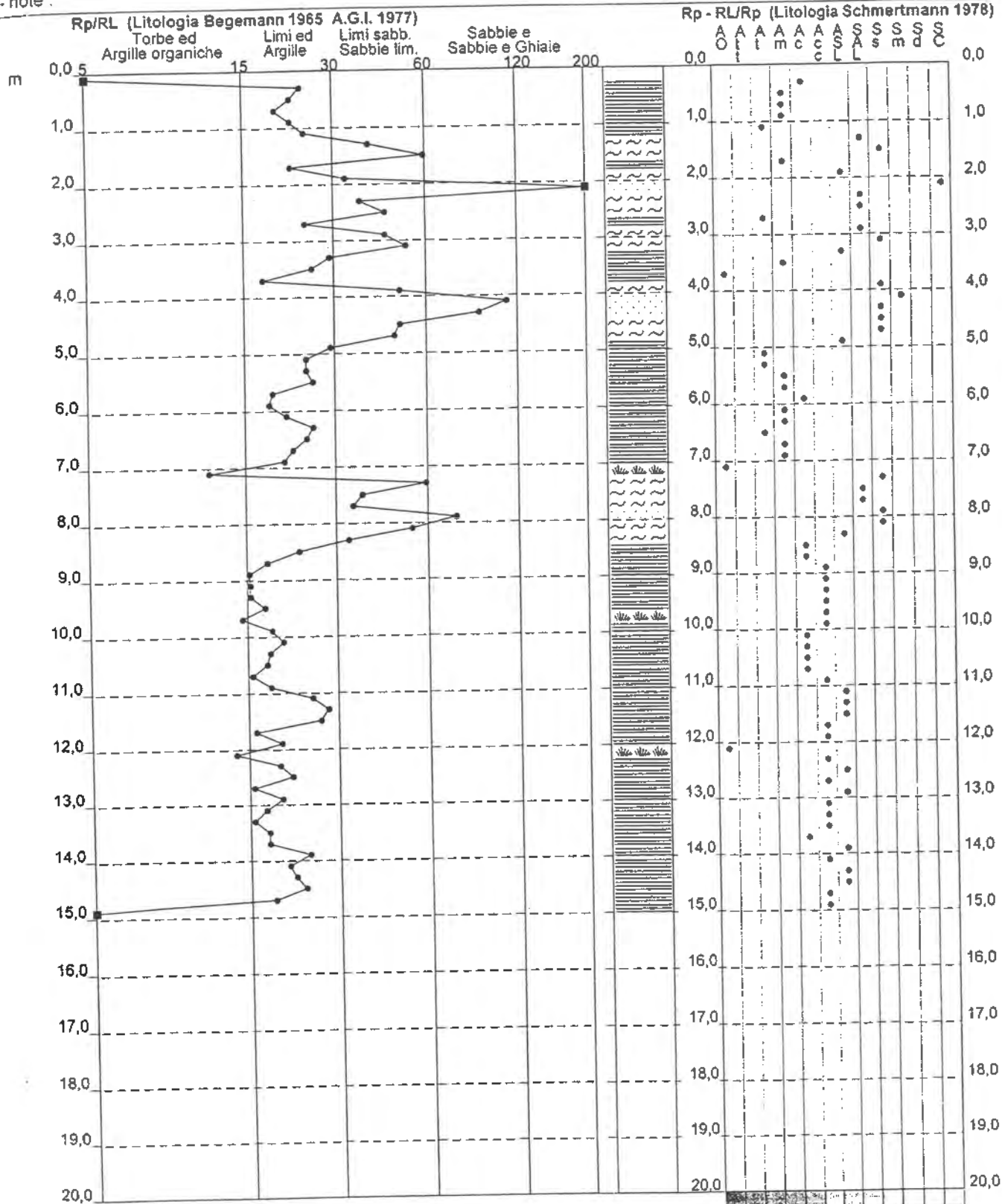
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 7

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
- lavoro : Nuova Lottizzazione
- località : PIEVE DI CENTO (Bologna)
- note :

- data : 28/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



CPT 7

2.010496-03

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. faida : 1,70 m da quota inizio
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Ri (-)	Natura Litol.	Y t/m³	dvo kg/cm³	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	a1s (°)	a2s (°)	a3s (°)	a4s (°)	adm (°)	amy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	13	24	2HII	1,85	0,07	0,80	86,7	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	9	22	2HII	1,85	0,11	0,45	36,1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	8	20	2HII	1,85	0,15	0,40	21,8	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	6	22	2HII	1,85	0,19	0,30	11,5	51	77	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	5	25	2HII	1,85	0,22	0,25	7,3	55	82	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	8	40	4FI	1,85	0,26	0,40	10,8	68	102	35	18	31	33	36	39	30	26	0,035	13	20	24	
1,60	8	60	4FI	1,85	0,30	0,40	9,1	70	106	38	15	30	33	36	39	30	26	0,029	13	20	24	
1,80	2	22	2HII	0,88	0,11	0,45	9,9	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	9	34	4FI	0,85	0,33	0,45	9,2	79	118	38	16	30	33	36	39	30	26	0,031	15	23	27	
2,20	14	210	4FI	0,89	0,35	0,64	13,3	108	162	48	30	32	35	38	40	32	26	0,068	23	35	42	
2,40	10	37	4FI	0,86	0,37	0,50	9,3	87	131	40	17	30	33	36	39	30	26	0,033	17	25	30	
2,60	6	45	4FI	0,82	0,38	0,30	4,6	106	159	29	--	28	31	35	38	27	26	--	10	15	18	
2,80	5	25	2HII	0,80	0,40	0,25	3,5	112	168	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	6	45	4FI	0,82	0,41	0,30	4,2	116	174	29	--	28	31	35	38	26	26	--	10	15	18	
3,20	7	52	4FI	0,83	0,43	0,35	4,8	119	179	32	1	28	31	35	38	27	26	0,003	12	18	21	
3,40	8	30	4FI	0,84	0,45	0,40	5,5	122	182	35	5	29	32	35	38	27	26	0,012	13	20	24	
3,60	7	26	2HII	0,84	0,46	0,35	4,4	130	194	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	6	18	2HII	0,82	0,48	0,30	3,5	136	203	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,00	20	50	4FI	0,93	0,50	0,80	11,3	136	204	60	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	22	110	3---	0,86	0,52	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	32	27	0,065	33	50	60	
4,40	18	90	4FI	0,91	0,53	0,75	9,6	129	193	56	36	33	36	38	41	32	28	0,071	37	55	66	
4,60	10	50	4FI	0,86	0,55	0,50	5,5	149	224	40	28	32	35	37	40	31	27	0,054	30	45	54	
4,80	16	48	4FI	0,90	0,57	0,70	8,1	137	205	52	23	31	34	37	40	30	27	0,016	17	25	30	
5,00	5	25	2HII	0,80	0,59	0,25	2,1	161	242	40	6	29	32	35	38	27	26	0,043	27	40	48	
5,20	6	30	4FI	0,90	0,60	0,25	2,1	139	206	25	--	--	--	--	--	--	--	0,014	17	25	30	
5,40	5	25	2HII	0,80	0,52	0,25	2,0	140	210	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	7	26	2HII	0,84	0,54	0,35	3,0	173	260	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,80	9	19	2HII	0,88	0,55	0,45	3,9	183	274	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	10	19	2HII	0,90	0,57	0,50	4,3	188	281	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,20	10	21	2HII	0,90	0,59	0,50	4,2	193	289	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	7	26	2HII	0,84	0,71	0,35	2,6	183	274	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	5	25	2HII	0,80	0,72	0,25	1,7	144	216	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	6	22	2HII	0,82	0,74	0,30	2,0	167	251	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	7	21	2HII	0,84	0,76	0,35	2,4	188	282	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	4	12	1---	0,46	0,76	0,20	1,2	26	39	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	12	60	4FI	0,88	0,78	0,57	4,2	219	328	45	5	29	32	35	38	27	26	0,013	20	30	36	
7,60	10	37	4FI	0,86	0,80	0,50	3,5	225	338	40	--	28	31	35	38	25	26	--	17	25	30	
7,80	14	35	4FI	0,89	0,82	0,64	4,8	228	342	48	9	29	32	35	39	27	26	0,019	23	35	42	
8,00	20	75	4FI	0,93	0,84	0,90	5,9	222	333	60	21	31	34	37	40	29	27	0,040	33	50	60	
8,20	18	64	4FI	0,91	0,85	0,75	5,3	233	349	58	17	30	33	36	39	28	27	0,032	30	45	54	
8,40	9	34	4FI	0,85	0,87	0,45	2,7	346	518	38	--	28	31	35	38	25	26	--	15	23	27	
8,60	14	23	2HII	0,94	0,89	0,64	4,1	248	373	46	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,80	17	18	2HII	0,97	0,91	0,72	4,7	253	379	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,00	18	16	2HII	0,98	0,93	0,73	4,8	258	387	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,20	16	16	2HII	0,96	0,95	0,70	4,3	265	397	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,40	16	16	2HII	0,96	0,97	0,70	4,2	270	405	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,60	19	18	2HII	0,99	0,99	0,78	4,6	275	412	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,80	18	15	2HII	0,98	1,01	0,75	4,3	281	422	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,00	20	19	4FI	0,93	1,03	0,80	4,6	286	428	60	16	30	33	36	39	28	27	0,031	33	50	60	
10,20	15	20	2HII	0,95	1,04	0,87	3,6	295	442	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,40	16	18	2HII	0,96	1,06	0,70	3,7	300	450	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,60	12	18	2HII	0,92	1,08	0,57	2,8	290	434	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,80	14	16	2HII	0,94	1,10	0,64	3,2	305	458	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11,00	21	19	4FI	0,93	1,12	0,82	4,3	313	469	63	16	30	33	36	39	28	27	0,030	35	53	63	
11,20	17	25	2HII	0,97	1,11	0,72	3,6	328	482	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11,40	21	23	4FI	0,93	1,16	0,82	4,4	323	485	63	15	30	33	36	39	27	27	0,029	35	53	63	
11,60	27	27	4FI	0,95	1,18	0,95	4,8	326	490	81	23	31	34	37	40	29	28	0,044	45	68	81	
11,80	22	16	4FI	0,93	1,19	0,85	4,1	334	500	66	16	30	33	36	39	28	28	0,030	37	55	66	
12,00	24	20	4FI	0,94	1,21	0,89	4,3	339	508	72	18	31	33	36	39	28	28	0,035	40	60	72	
12,20	18	14	2HII	0,98	1,23	0,75	3,4	346	519	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12,40	21	20	4FI	0,93	1,25	0,82	3,7	353	530	63	13	30	33	36	39	27	27	0,025	35	53	63	
12,60	26	22	4FI	0,95	1,27	0,93	4,2	355	532	78	20	31	34	37	40	28	28	0,038	43	65	78	
12,80	28	16	4FI	0,96	1,29	0,97	4,4	360	540	84	22	31	34	37	40	28	28	0,042	47	70	84	
13,00	36	20	4FI	0,99	1,31	1,20	5,6	353	529	108	30	32	35	38	40	30	30	0,058	60	90	108	
13,20	33	18	4FI	0,97	1,33	1,10	5,0	367	551	99	27	32	34	37	40	29	29	0,052	55	83	99	
13,40	28	16	4FI	0,96	1,35	0,97	4,1	375	565	84	21	31	34	37	40	28	28	0,040	47	70	84	
13,60	18	18	2HII	0,98	1,37	0,75	3,0	372	558	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13,80	12	18	2HII	0,92	1,39	0,57	2,1	318	477	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14,00	18	25	2HII	0,98	1,41	0,75	2,9	367	567	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14,20	21	21	4FI	0,93	1,42	0,82	3,3	363	563	63	10	29	32	35	39	26	27	0,020	35	53	63	
14,40	25	22	4FI	0,94	1,44	0,91	3,5	407	611	75	15	30	33	36	39	27	28	0,030	42	63	75	
14,60	19	24	2HII	0,99	1,46	0,78	2,8	392	588	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14,80	20	19	4FI	0,93	1,48	0,80	2,9	401	601	60	7	29	32	35	39	26	27	0,016	33	50	60	
15,00	12	--	2HII	0,92	1,50	0,37	1,9	324	485	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 8

2010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
 - lavoro : Nuova Lottizzazione
 - località : PIEVE DI CENTO (Bologna)
 - note :

- data : 26/01/1998
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs	Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs
0,20	----	----	--	1,60	----	7,80	4,5	8,5	9,0	0,40	22,0
0,40	12,0	24,0	24,0	1,20	20,0	8,00	4,5	7,5	9,0	0,47	19,0
0,60	17,0	26,0	34,0	0,93	36,0	8,20	5,0	8,5	10,0	0,53	19,0
0,80	7,0	14,0	14,0	0,60	23,0	8,40	10,5	14,5	21,0	1,07	20,0
1,00	5,5	10,0	11,0	0,33	33,0	8,60	12,0	20,0	24,0	1,33	18,0
1,20	7,5	10,0	15,0	0,13	112,0	8,80	11,0	21,0	22,0	1,00	22,0
1,40	8,0	9,0	16,0	0,27	60,0	9,00	14,5	22,0	29,0	1,13	26,0
1,60	7,5	9,5	15,0	0,20	75,0	9,20	15,5	24,0	31,0	1,20	26,0
1,80	8,0	9,5	16,0	0,33	48,0	9,40	17,0	26,0	34,0	1,47	23,0
2,00	6,0	8,5	12,0	0,40	30,0	9,60	17,0	28,0	34,0	1,73	20,0
2,20	6,5	9,5	13,0	0,07	195,0	9,80	17,0	30,0	34,0	2,00	17,0
2,40	12,0	12,5	24,0	0,27	90,0	10,00	16,0	31,0	32,0	1,67	19,0
2,60	10,5	12,5	21,0	0,13	157,0	10,20	10,5	23,0	21,0	1,53	14,0
2,80	5,5	6,5	11,0	0,47	24,0	10,40	9,5	21,0	19,0	1,20	16,0
3,00	5,5	9,0	11,0	0,20	55,0	10,60	11,0	20,0	22,0	1,07	21,0
3,20	5,0	6,5	10,0	0,20	50,0	10,80	9,0	17,0	18,0	1,07	17,0
3,40	4,0	5,5	8,0	0,13	60,0	11,00	11,5	19,5	23,0	0,80	29,0
3,60	2,5	3,5	5,0	0,13	37,0	11,20	6,5	12,5	13,0	0,40	32,0
3,80	3,0	4,0	6,0	0,27	22,0	11,40	7,0	10,0	14,0	0,53	26,0
4,00	3,0	5,0	6,0	0,20	30,0	11,60	10,5	14,5	21,0	0,80	26,0
4,20	3,5	5,0	7,0	0,07	105,0	11,80	11,5	17,5	23,0	1,07	22,0
4,40	6,0	6,5	12,0	0,20	60,0	12,00	12,0	20,0	24,0	1,47	16,0
4,60	5,0	6,5	10,0	0,27	37,0	12,20	12,0	23,0	24,0	1,33	18,0
4,80	6,0	8,0	12,0	0,40	30,0	12,40	10,0	20,0	20,0	1,20	17,0
5,00	4,5	7,5	9,0	0,20	45,0	12,60	11,0	20,0	22,0	0,93	24,0
5,20	2,0	3,5	4,0	0,13	30,0	12,80	13,0	20,0	26,0	1,27	21,0
5,40	2,5	3,5	5,0	0,27	19,0	13,00	13,5	23,0	27,0	1,33	20,0
5,60	3,5	5,5	7,0	0,27	26,0	13,20	11,0	21,0	22,0	1,00	22,0
5,80	2,0	4,0	4,0	0,40	10,0	13,40	9,5	17,0	19,0	0,87	22,0
6,00	2,5	5,5	5,0	0,27	19,0	13,60	8,5	15,0	17,0	0,73	23,0
6,20	3,0	5,0	6,0	0,20	30,0	13,80	9,0	14,5	18,0	0,73	25,0
6,40	4,0	5,5	8,0	0,27	30,0	14,00	9,0	14,5	18,0	0,93	19,0
6,60	4,0	6,0	8,0	0,33	24,0	14,20	10,0	17,0	20,0	1,33	15,0
6,80	4,5	7,0	9,0	0,47	19,0	14,40	12,0	22,0	24,0	0,93	26,0
7,00	4,5	8,0	9,0	0,53	17,0	14,60	10,0	17,0	20,0	1,07	19,0
7,20	7,0	11,0	14,0	0,73	19,0	14,80	10,0	18,0	20,0	0,67	30,0
7,40	8,0	13,5	16,0	0,67	24,0	15,00	9,5	14,5	19,0	----	----
7,60	5,5	10,5	11,0	0,53	21,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 12 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE $C_t = 20$ - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

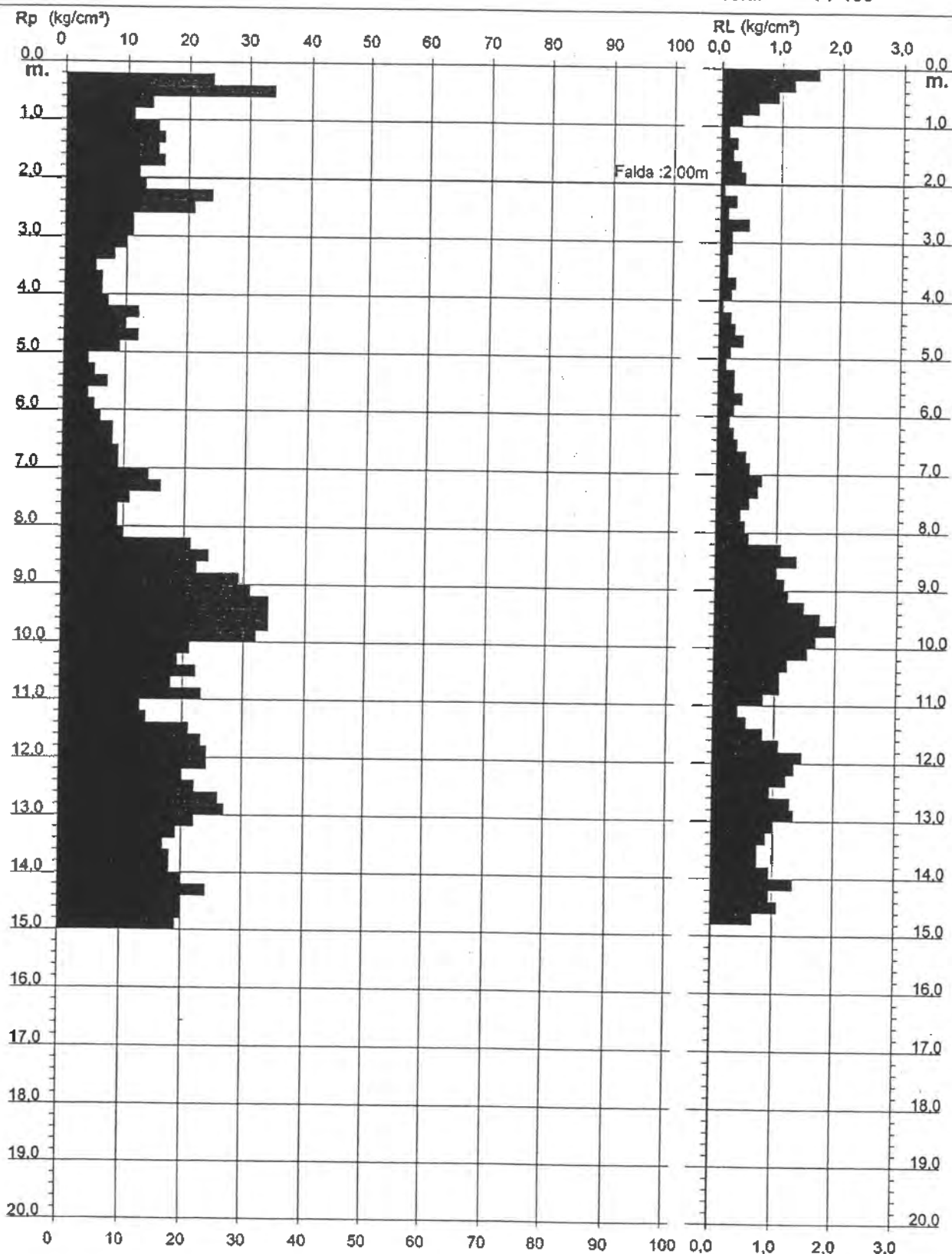
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
- lavoro : Nuova Lottizzazione
- località : PIEVE DI CENTO (Bologna)

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



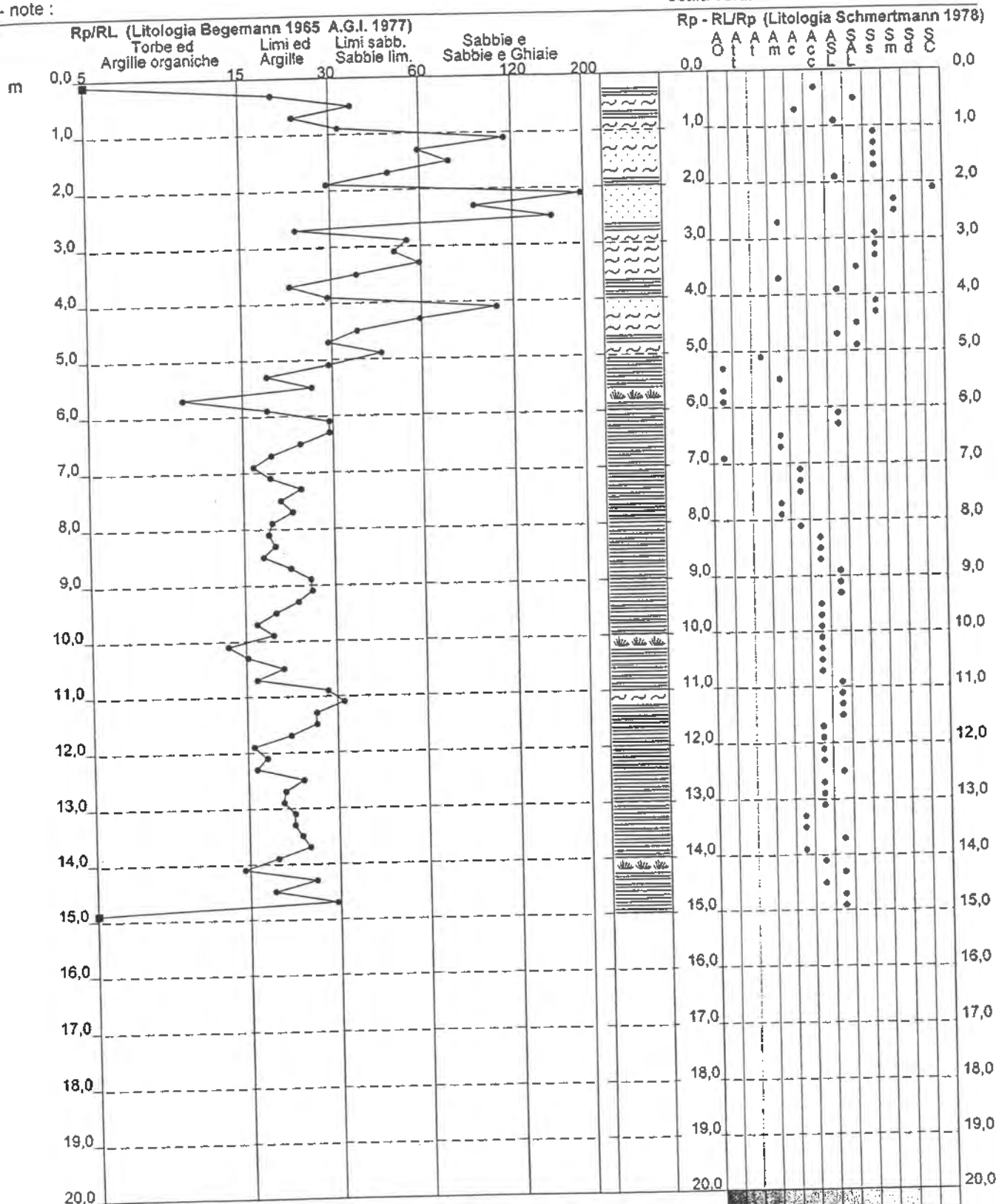
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 8

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
- lavoro : Nuova Lottizzazione
- località : PIEVE DI CENTO (Bologna)
- note :

- data : 26/01/1998
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA **TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 8

2.010496-03

- committente : G.B. INVEST spa - Via Farini 37 - BOLOGNA
 - lavoro : Nuova Lottizzazione
 - località : PIEVE DI CENTO (Bologna)
 - note :

- data : 26/01/1998
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Ri (-)	Natura Litol.	Y' t/m²	d'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	-	-	???	1,85	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	24	20	4f.f.	1,85	0,07	0,89	99,9	151	227	72	86	40	42	43	45	42	28	0,211	40	60	72
0,60	34	36	3:...	1,85	0,11	-	-	-	-	-	89	40	42	43	45	42	29	0,218	57	85	102
0,80	14	23	2f.f.	1,85	0,15	0,64	38,9	108	162	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	11	33	4f.f.	1,85	0,19	0,54	23,8	91	137	42	37	33	36	38	41	34	26	0,074	18	28	33
1,20	15	112	4f.f.	1,85	0,22	0,67	24,8	113	170	50	44	34	36	39	41	35	27	0,088	25	38	45
1,40	16	60	4f.f.	1,85	0,26	0,70	21,6	118	177	52	42	34	36	39	41	34	27	0,084	27	40	48
1,60	15	75	4f.f.	1,85	0,30	0,67	17,3	113	170	50	38	33	36	38	41	33	27	0,072	25	38	45
1,80	16	48	4f.f.	1,85	0,33	0,70	15,8	118	177	52	38	33	36	38	41	33	27	0,070	27	40	48
2,00	12	30	4f.f.	0,88	0,35	0,57	11,8	97	148	45	25	31	34	37	40	31	26	0,047	20	30	36
2,20	13	195	4f.f.	0,88	0,37	0,60	11,7	103	154	47	26	32	34	37	40	31	26	0,050	22	33	39
2,40	24	90	3:...	0,88	0,39	-	-	-	-	-	46	34	37	39	42	34	28	0,095	40	60	72
2,60	21	157	3:...	0,85	0,40	-	-	-	-	-	41	34	36	39	41	33	27	0,091	35	53	63
2,80	11	24	2f.f.	0,91	0,42	0,54	8,5	100	150	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,00	11	55	4f.f.	0,87	0,44	0,54	8,1	105	157	42	16	30	33	36	39	29	26	0,031	18	28	33
3,20	10	50	4f.f.	0,86	0,46	0,50	7,1	114	171	40	12	30	33	36	39	29	26	0,024	17	25	30
3,40	8	60	4f.f.	0,84	0,47	0,40	5,1	130	195	35	4	28	32	35	38	27	26	0,009	13	20	24
3,60	5	37	4f.f.	0,81	0,49	0,25	2,7	129	193	25	-	28	31	35	38	25	25	-	8	13	15
3,80	6	22	2f.f.	0,82	0,50	0,30	3,3	141	212	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,00	6	30	4f.f.	0,82	0,52	0,30	3,2	144	216	29	-	28	31	35	38	25	25	-	-	-	-
4,20	7	105	4f.f.	0,83	0,54	0,35	3,7	152	228	32	-	28	31	35	38	26	28	-	-	-	-
4,40	12	60	4f.f.	0,88	0,55	0,57	6,5	143	214	45	13	30	33	36	39	28	28	0,026	20	30	36
4,60	10	37	4f.f.	0,86	0,57	0,50	5,3	156	234	40	6	29	32	35	39	27	26	0,015	17	25	30
4,80	12	30	4f.f.	0,88	0,59	0,57	6,0	156	234	45	12	30	33	36	39	28	28	0,024	20	30	36
5,00	9	45	4f.f.	0,85	0,61	0,45	4,3	169	254	38	1	28	31	35	38	26	26	0,004	15	23	27
5,20	4	30	4f.f.	0,80	0,62	0,20	1,5	117	175	20	-	28	31	35	38	25	25	-	7	10	12
5,40	5	19	2f.f.	0,80	0,64	0,25	1,9	141	211	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,60	7	26	2f.f.	0,84	0,66	0,35	2,9	175	265	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,80	4	10	1:...	0,46	0,66	0,20	1,4	143	214	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,00	5	19	2f.f.	0,80	0,68	0,25	1,8	143	214	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,20	6	30	4f.f.	0,82	0,70	0,30	2,2	165	247	29	-	28	31	35	38	25	28	-	10	15	18
6,40	8	30	4f.f.	0,84	0,71	0,40	3,0	196	294	35	-	28	31	35	38	25	28	-	13	20	24
6,60	8	24	2f.f.	0,86	0,73	0,40	3,0	199	298	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,80	9	19	2f.f.	0,88	0,75	0,45	3,3	210	315	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	9	17	2f.f.	0,88	0,77	0,45	3,2	213	320	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,20	14	19	2f.f.	0,94	0,78	0,64	4,8	218	326	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,40	16	24	2f.f.	0,96	0,80	0,70	5,2	220	330	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,60	11	21	2f.f.	0,91	0,82	0,54	3,7	232	348	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,80	9	22	2f.f.	0,88	0,84	0,45	2,9	226	339	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,00	9	19	2f.f.	0,88	0,86	0,45	2,8	229	343	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,20	10	19	2f.f.	0,90	0,88	0,50	3,1	242	363	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,40	21	20	4f.f.	0,93	0,89	0,82	5,7	241	361	63	21	31	34	37	40	29	27	0,040	35	53	63
8,60	24	18	4f.f.	0,94	0,91	0,89	6,1	241	361	72	25	32	34	37	40	30	28	0,048	40	60	72
8,80	22	22	4f.f.	0,93	0,93	0,85	5,8	252	378	66	22	31	34	37	40	29	28	0,041	37	55	66
9,00	29	26	4f.f.	0,96	0,95	0,98	6,5	244	367	87	31	32	35	38	40	30	29	0,059	48	73	87
9,20	31	26	4f.f.	0,97	0,97	1,03	6,8	248	369	93	32	33	36	39	41	31	29	0,063	52	78	93
9,40	34	23	4f.f.	0,98	0,99	1,13	7,4	243	364	102	35	33	36	39	41	31	29	0,069	57	85	102
9,60	34	20	4f.f.	0,98	1,01	1,13	7,3	250	375	102	35	33	36	39	41	31	29	0,068	57	85	102
9,80	34	17	4f.f.	0,98	1,03	1,13	7,1	257	385	102	34	33	36	39	41	31	29	0,067	57	85	102
10,00	32	19	4f.f.	0,97	1,05	1,07	6,4	271	407	96	32	32	35	38	41	30	29	0,061	53	80	96
10,20	21	14	4f.f.	0,93	1,07	0,82	4,5	297	446	63	17	30	33	36	39	28	27	0,032	35	53	63
10,40	19	16	2f.f.	0,99	1,09	0,78	4,1	303	455	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,60	22	21	4f.f.	0,93	1,11	0,85	4,5	308	462	66	18	30	33	36	39	28	28	0,033	37	55	66
10,80	18	17	2f.f.	0,98	1,12	0,75	3,8	317	475	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,00	23	29	4f.f.	0,94	1,14	0,87	4,4	319	479	69	18	31	33	36	39	28	28	0,035	38	58	69
11,20	13	32	4f.f.	0,88	1,16	0,60	2,8	309	463	47	-	28	31	35	38	25	26	-	22	33	39
11,40	14	26	2f.f.	0,94	1,18	0,64	2,9	319	478	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,60	21	26	4f.f.	0,93	1,20	0,82	3,9	336	504	63	14	30	33	36	39	27	27	0,027	35	53	63
11,80	23	22	4f.f.	0,94	1,22	0,87	4,1	340	510	69	17	30	33	36	39	28	28	0,032	38	58	69
12,00	24	16	4f.f.	0,94	1,24	0,89	4,2	345	518	72	18	30	33	36	39	28	28	0,034	40	60	72
12,20	24	18	4f.f.	0,94	1,25	0,89	4,1	350	525	72	17	30	33	36	39	28	28	0,033	40	60	72
12,40	20	17	4f.f.	0,93	1,27	0,80	3,5	359	539	60	11	30	33	36	39	27	27	0,022	33	50	60
12,60	22	24	4f.f.	0,93	1,29	0,85	3,7	365	547	66	14	30	33	36	39	27	28	0,027	37	55	66
12,80	26	21	4f.f.	0,95	1,31	0,93	4,1	371	557	78	19	31	34	37	40	28	28	0,036	43	65	78
13,00	27	20	4f.f.	0,95	1,33	0,95	4,1	371	557	81	20	31	34	37	40	28	28	0,038	45	68	81
13,20	22	22	4f.f.	0,93	1,35	0,85	3,5	380	570	85	13	30	33	36	39	27	28	0,025	37	55	66
13,40	19	22	2f.f.	0,99	1,37	0,78	3,1	377	566	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13,60	17	23	2f.f.	0,97	1,39	0,72	2,8	369	554	84	-										

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 14

2.010496-03

- committente : Amm.ne Comunale di PIEVE DI CENTO
- lavoro : Variante al P.R.G. Comunale
- località : Pieve di Cento - AREA N. 7B -
- note :

- data : 26/07/1995
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,90 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs	Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs
0,20	---	---	---	---	---	5,20	2,0	4,5	4,0	0,27	15,0
0,40	---	---	---	0,47	---	5,40	2,0	4,0	4,0	0,27	15,0
0,60	6,0	9,5	12,0	0,40	30,0	5,60	4,0	6,0	8,0	0,40	20,0
0,80	5,0	8,0	10,0	0,33	30,0	5,80	4,0	7,0	8,0	0,40	20,0
1,00	3,5	6,0	7,0	0,13	52,0	6,00	4,0	7,0	8,0	0,47	17,0
1,20	5,5	6,5	11,0	0,27	41,0	6,20	4,0	7,5	8,0	0,47	17,0
1,40	8,5	10,5	17,0	0,07	255,0	6,40	3,0	6,5	6,0	0,33	18,0
1,60	7,5	8,0	15,0	0,33	45,0	6,60	4,0	6,5	8,0	0,33	24,0
1,80	6,5	9,0	13,0	0,13	97,0	6,80	5,0	7,5	10,0	0,60	17,0
2,00	10,0	11,0	20,0	0,27	75,0	7,00	5,5	10,0	11,0	0,53	21,0
2,20	13,5	15,5	27,0	0,13	202,0	7,20	6,0	10,0	12,0	0,47	26,0
2,40	8,5	9,5	17,0	0,33	51,0	7,40	4,5	8,0	9,0	0,47	19,0
2,60	8,0	10,5	16,0	0,13	120,0	7,60	4,5	8,0	9,0	0,13	67,0
2,80	2,0	3,0	4,0	0,27	15,0	7,80	8,5	9,5	17,0	0,27	64,0
3,00	1,5	3,5	3,0	0,07	45,0	8,00	9,5	11,5	19,0	0,07	285,0
3,20	2,0	2,5	4,0	0,20	20,0	8,20	10,0	10,5	20,0	0,07	300,0
3,40	1,5	3,0	3,0	0,13	22,0	8,40	9,5	10,0	19,0	0,13	142,0
3,60	2,0	3,0	4,0	0,20	20,0	8,60	9,0	10,0	18,0	0,20	90,0
3,80	3,0	4,5	6,0	0,33	18,0	8,80	11,0	12,5	22,0	0,27	82,0
4,00	3,0	5,5	6,0	0,27	22,0	9,00	13,0	15,0	26,0	0,27	97,0
4,20	4,5	6,5	9,0	0,33	27,0	9,20	14,0	16,0	28,0	0,20	140,0
4,40	2,5	5,0	5,0	0,20	25,0	9,40	12,0	13,5	24,0	0,33	72,0
4,60	3,0	4,5	6,0	0,27	22,0	9,60	7,0	9,5	14,0	0,40	35,0
4,80	2,5	4,5	5,0	0,33	15,0	9,80	6,0	9,0	12,0	0,27	45,0
5,00	4,0	6,5	8,0	0,33	24,0	10,00	6,5	8,5	13,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ϕ = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

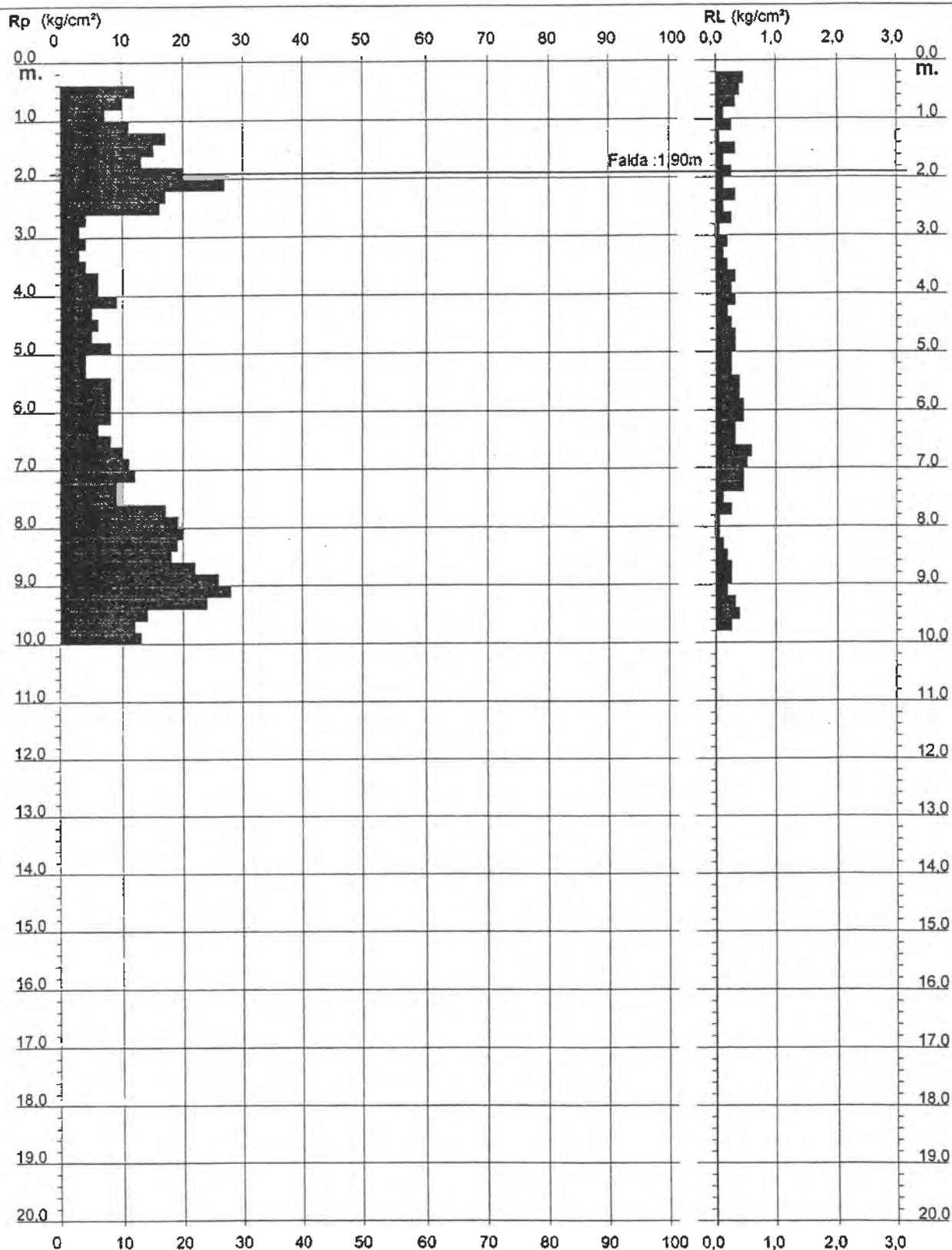
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 14

2.010496-03

- committente : Amm.ne Comunale di PIEVE DI CENTO
- lavoro : Variante al P.R.G. Comunale
- località : Pieve di Cento - AREA N. 7B -

- data : 26/07/1995
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,90 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



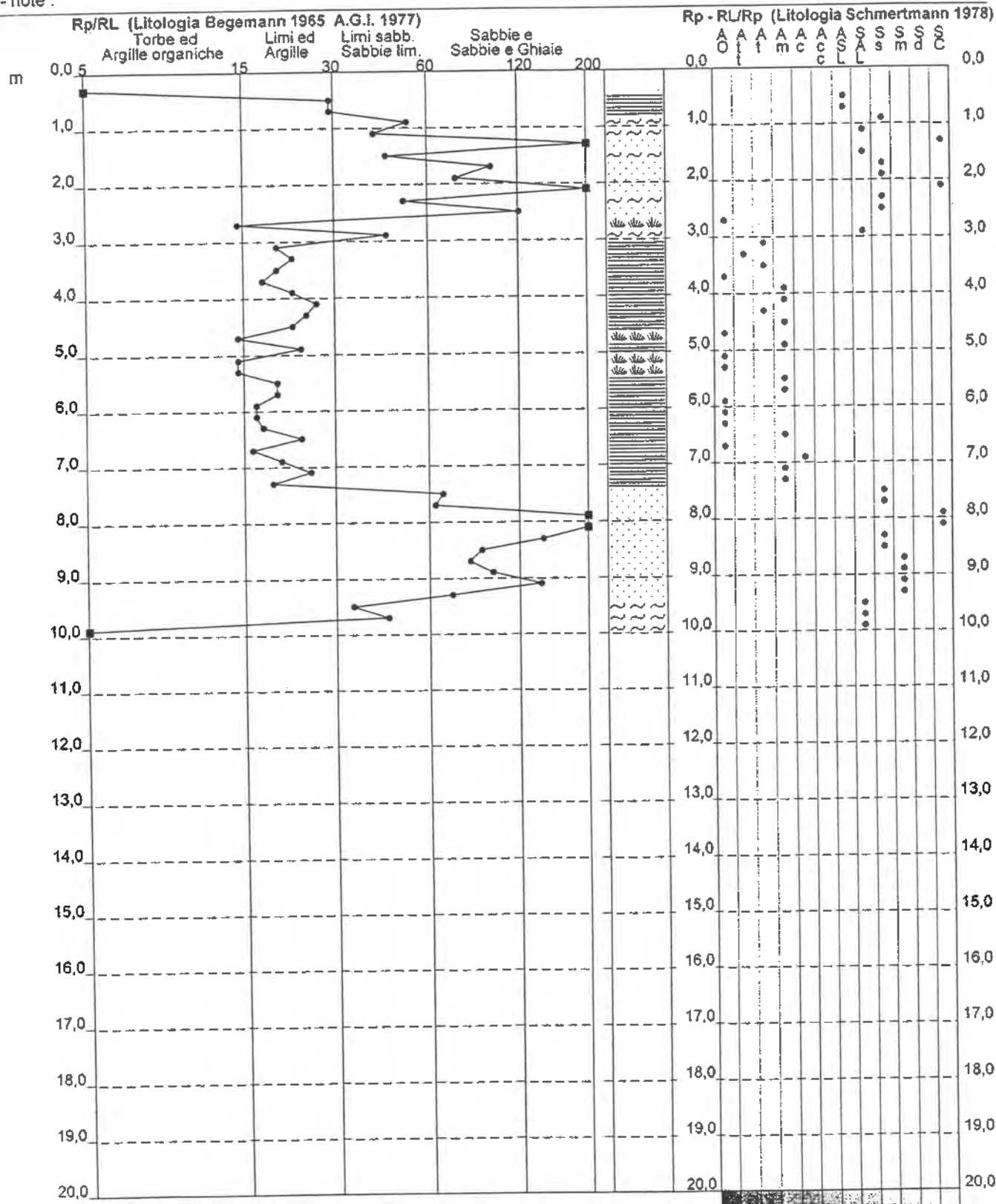
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 14

2.010496-03

- committente : Amm.ne Comunale di PIEVE DI CENTO
- lavoro : Variante al P.R.G. Comunale
- località : Pieve di Cento - AREA N. 7B -
- note :

- data : 26/07/1995
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,90 m da quota inizio
- scala vert. : 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA **TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 14

2.010496-03

* - committente : Amm.ne Comunale di PIEVE DI CENTO
 - lavoro : Variante al P.R.G. Comunale
 - località : Pieve di Cento - AREA N. 7B -
 - note :

- data : 26/07/1995
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,90 m da quota inizio
 - pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Ri (-)	Natura Litol.	Y' t/m²	d'vo kg/cm³	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	--	--	???	1.85	0.07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	12	30	4f/f	1.85	0.11	0.57	48.7	97	146	45	53	35	38	40	42	37	25	0.111	20	30	36	
0.80	10	30	4f/f	1.85	0.15	0.50	28.8	85	128	40	39	34	36	38	41	35	25	0.079	17	25	30	
1.00	7	52	4f/f	1.85	0.19	0.35	13.9	59	89	32	22	31	34	37	40	32	25	0.041	12	18	21	
1.20	11	41	4f/f	1.85	0.22	0.54	18.9	91	137	42	33	33	35	38	41	33	25	0.064	18	28	33	
1.40	17	255	4f/f	1.85	0.26	0.72	22.7	123	184	54	44	34	37	39	42	35	27	0.089	28	43	51	
1.60	15	45	4f/f	1.85	0.30	0.67	17.3	113	170	50	36	33	36	38	41	33	27	0.072	25	38	45	
1.80	13	97	4f/f	1.85	0.33	0.60	13.2	103	154	47	29	32	35	37	40	32	26	0.055	22	33	39	
2.00	20	75	4f/f	0.93	0.35	0.80	17.6	136	204	60	42	34	36	39	41	34	27	0.085	33	50	60	
2.20	27	202	3f/f	0.87	0.37	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	35	26	0.107	45	68	81	
2.40	17	51	4f/f	0.91	0.39	0.72	13.7	123	184	54	34	33	35	38	41	32	27	0.067	28	43	51	
2.60	16	120	4f/f	0.90	0.40	0.70	12.3	118	177	52	31	32	35	38	40	32	27	0.060	27	40	48	
2.80	4	15	1f/f	0.48	0.41	0.20	2.5	22	33	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.00	3	45	4f/f	0.78	0.43	0.15	1.7	66	129	16	--	28	31	35	38	25	25	--	5	8	9	
3.20	4	20	2f/f	0.78	0.45	0.20	2.3	108	163	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	3	22	2f/f	0.76	0.46	0.15	1.3	87	131	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	4	20	2f/f	0.79	0.48	0.20	2.1	111	166	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.80	6	18	2f/f	0.82	0.49	0.30	3.4	138	208	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.00	6	22	2f/f	0.82	0.51	0.30	3.2	142	213	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.20	9	27	2f/f	0.88	0.53	0.45	5.2	145	217	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	5	25	2f/f	0.80	0.54	0.25	2.4	134	202	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.60	6	22	2f/f	0.82	0.56	0.30	2.9	151	226	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.80	5	15	1f/f	0.48	0.57	0.25	2.2	29	43	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.00	8	24	2f/f	0.86	0.59	0.40	3.9	164	246	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.20	4	15	1f/f	0.48	0.59	0.20	1.6	25	38	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.40	4	15	1f/f	0.46	0.60	0.20	1.6	25	38	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	8	20	2f/f	0.86	0.62	0.40	3.6	175	263	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	8	20	2f/f	0.86	0.64	0.40	3.5	180	270	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.00	8	17	2f/f	0.86	0.66	0.40	3.4	184	276	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.20	8	17	2f/f	0.86	0.67	0.40	3.3	188	282	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.40	6	18	2f/f	0.82	0.69	0.30	2.2	164	246	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.60	8	24	2f/f	0.86	0.71	0.40	3.1	195	292	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.80	10	17	2f/f	0.90	0.72	0.50	4.0	203	304	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.00	11	21	2f/f	0.91	0.74	0.54	4.2	207	311	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.20	12	26	2f/f	0.92	0.75	0.57	4.4	212	319	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.40	9	19	2f/f	0.88	0.78	0.45	3.2	216	324	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.60	9	67	4f/f	0.85	0.80	0.45	3.1	219	329	38	--	28	31	35	38	25	26	--	15	23	27	
7.80	17	64	4f/f	0.91	0.81	0.72	5.4	221	332	54	16	30	33	36	39	28	27	0.031	28	43	51	
8.00	19	285	4f/f	0.92	0.83	0.78	5.8	223	334	58	19	31	34	38	40	29	27	0.037	32	48	57	
8.20	20	300	4f/f	0.93	0.85	0.80	5.8	227	341	60	21	31	34	37	40	29	27	0.039	33	50	60	
8.40	19	142	4f/f	0.92	0.87	0.78	5.4	236	354	58	18	31	33	36	39	28	27	0.035	32	48	57	
8.60	18	90	4f/f	0.91	0.89	0.75	5.1	244	368	56	16	30	33	36	39	28	27	0.031	30	45	54	
8.80	22	82	3f/f	0.86	0.90	--	--	--	--	--	22	31	34	37	40	29	28	0.043	37	55	68	
9.00	26	97	3f/f	0.87	0.92	--	--	--	--	--	28	32	35	37	40	30	28	0.053	43	65	78	
9.20	28	140	3f/f	0.87	0.94	--	--	--	--	--	30	32	35	38	40	30	28	0.057	47	70	84	
9.40	24	72	3f/f	0.86	0.96	--	--	--	--	--	24	31	34	37	40	29	28	0.048	40	60	72	
9.60	14	35	4f/f	0.89	0.97	0.64	3.7	275	412	48	5	29	32	35	38	26	26	0.013	23	35	42	
9.80	12	45	4f/f	0.88	0.99	0.57	3.2	275	412	45	--	28	31	35	38	25	25	--	20	30	36	
10.00	13	--	2f/f	0.93	1.01	0.60	3.3	283	424	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	

Comune
Via
Localita'
Comune
Data

Pieve di Cento
Budiola
Fondo Crocetta
Viel & Sangiorgi
07-mag-08

Falda
2.1 m

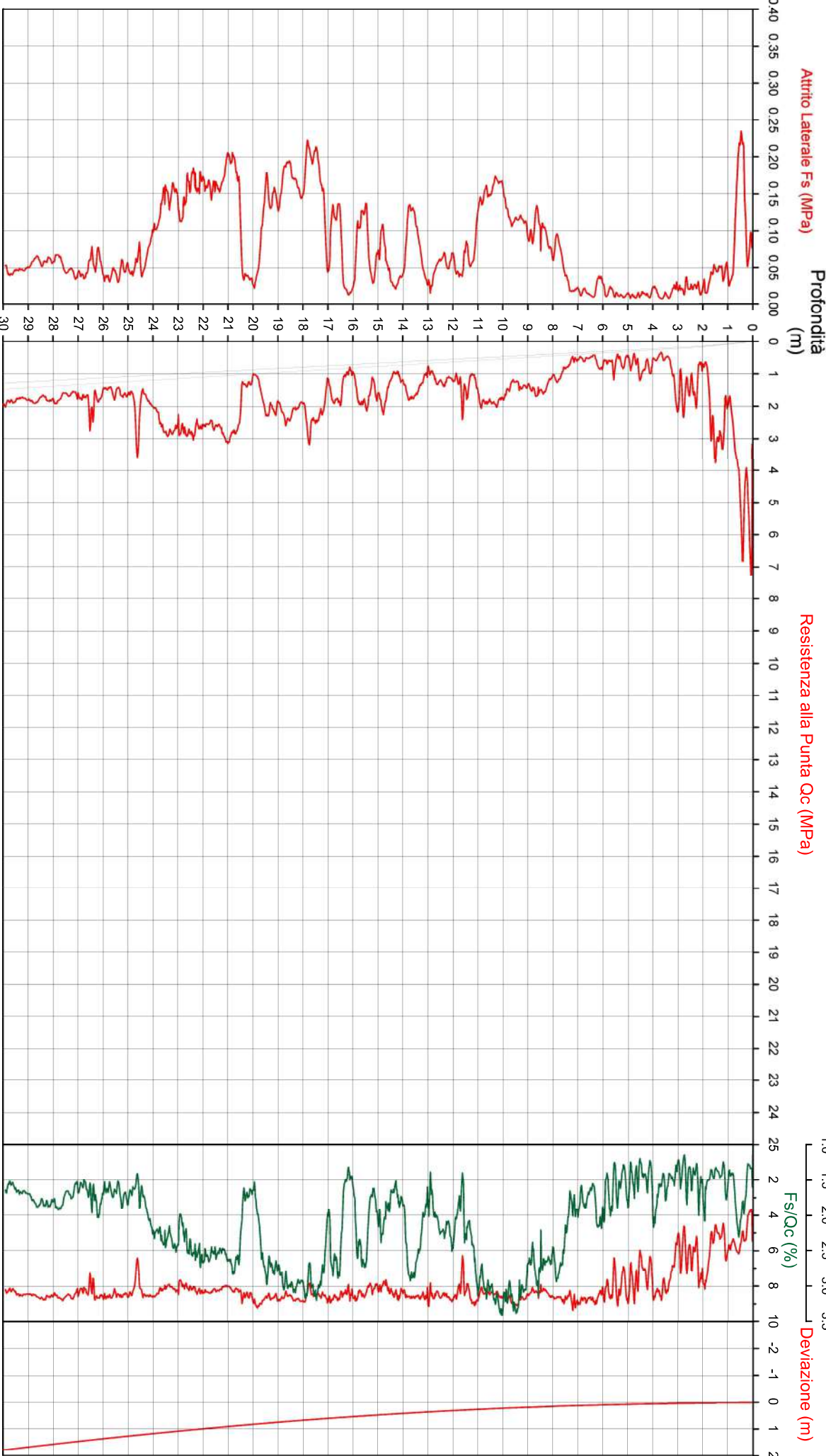
Sigla della Punta
Azzeramento
Ultimo taratura guadagno
Ultimo taratura per deriva termica

Tecopena 100707
Inizio prova
6-mag-2008
7-gen-2008

SGT
Società di
Geologia
Territoriale

S.G.T. sas
di Van Zuiphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

CPTE 1



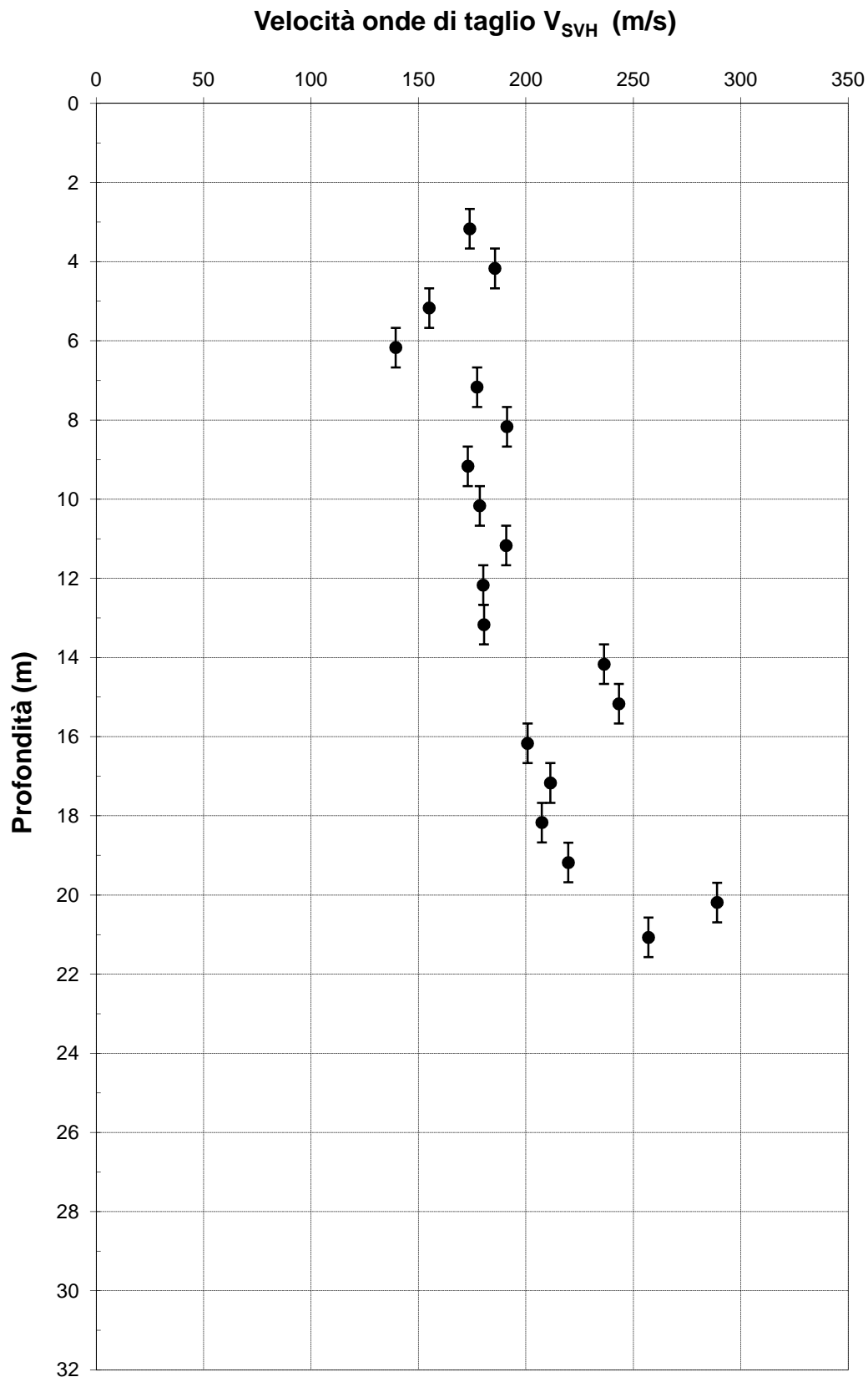
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0		Ranzini	Saccenti

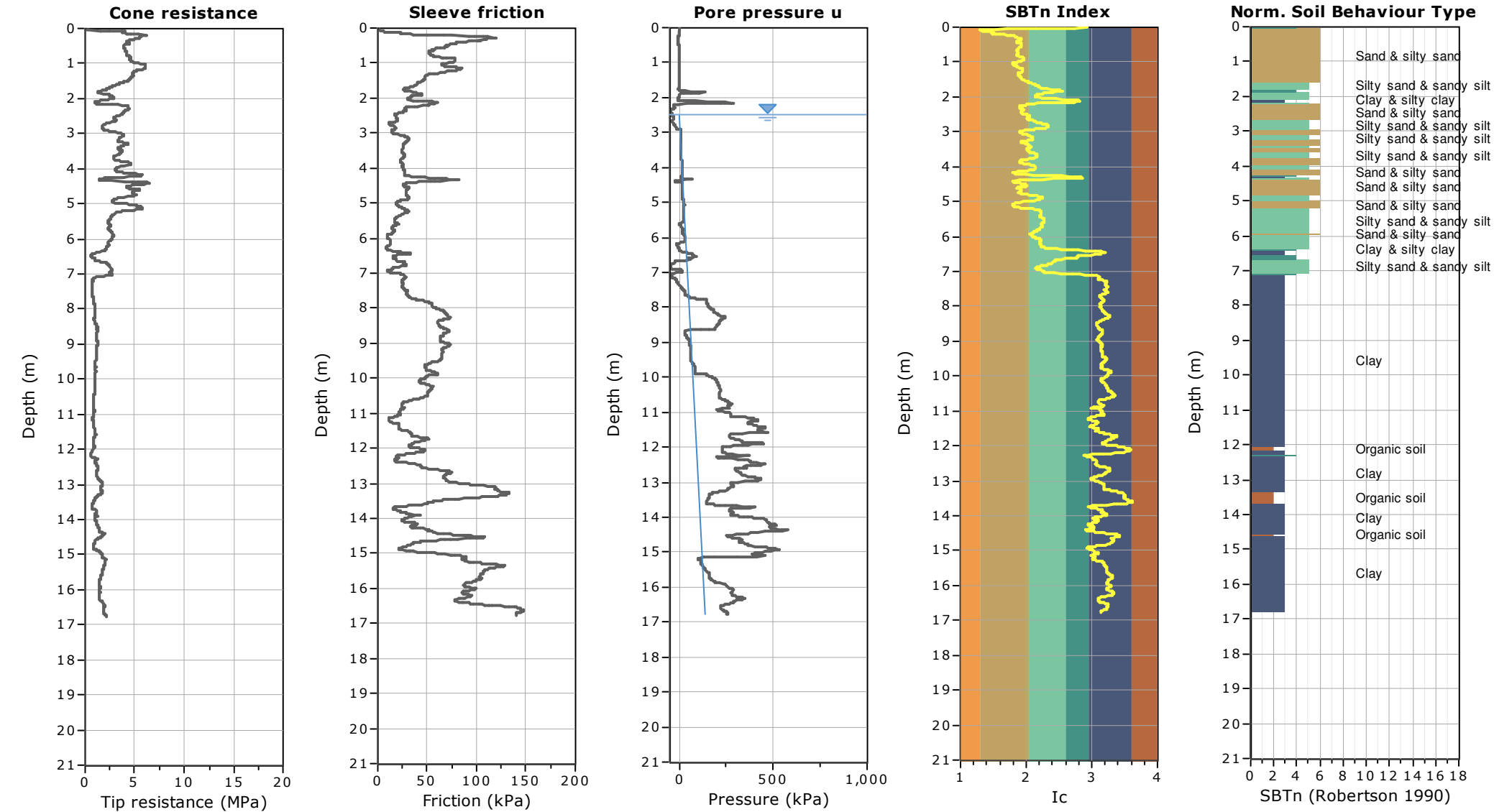
Procedura di riferimento: PT 162

037048P81SCPT82

Committente:	Unione Comuni Reno Galliera
Cantiere:	Pieve di Cento
Prova:	DH1
Data prova:	20/02/2017



Project: Microzonazione Sismica Pieve di Cento
Location: Galilei - Pieve di Cento (BO)



PIEVE DI CENTO - PUA AMBITO D8-2, TR1

Instrument: TRZ-0108/01-10

Start recording: 16/02/02 13:02:02 End recording: 16/02/02 13:22:02

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 63% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

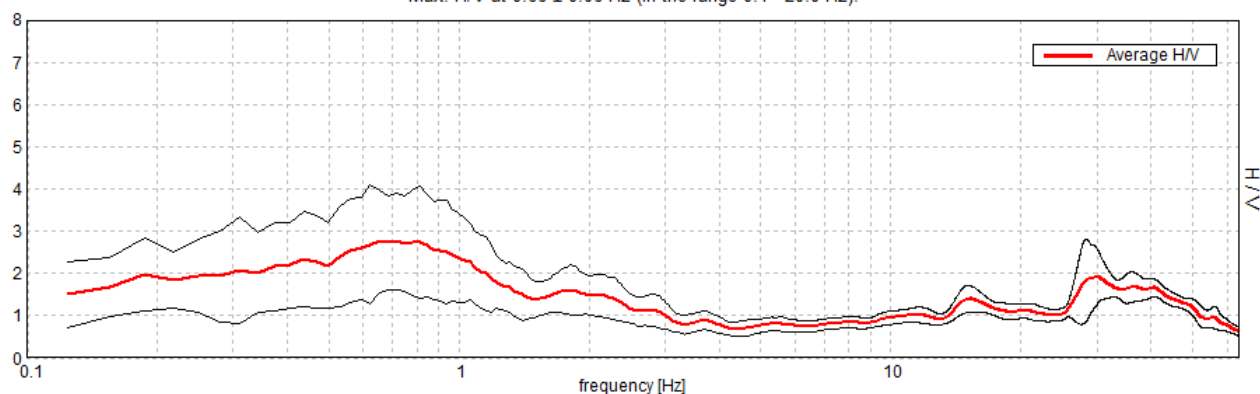
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

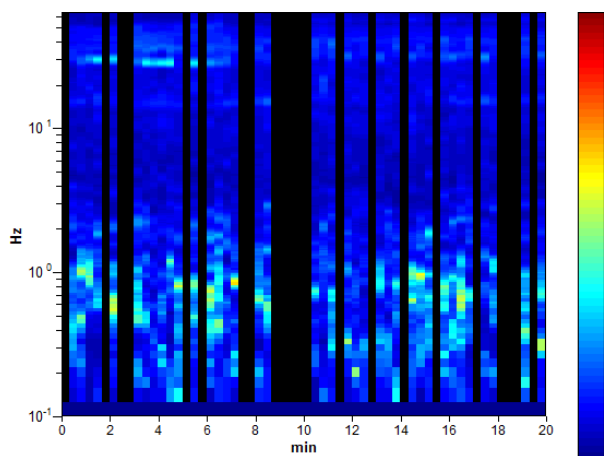
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

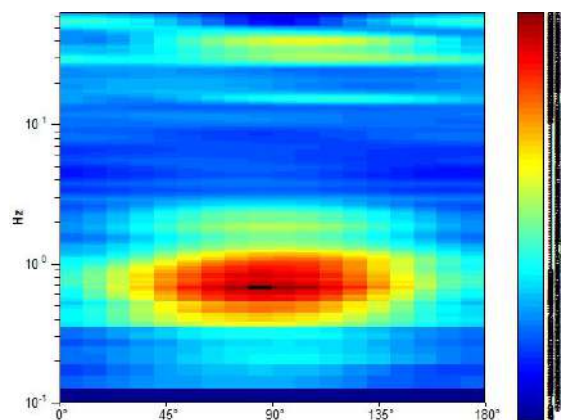
Max. H/V at 0.66 ± 0.06 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).



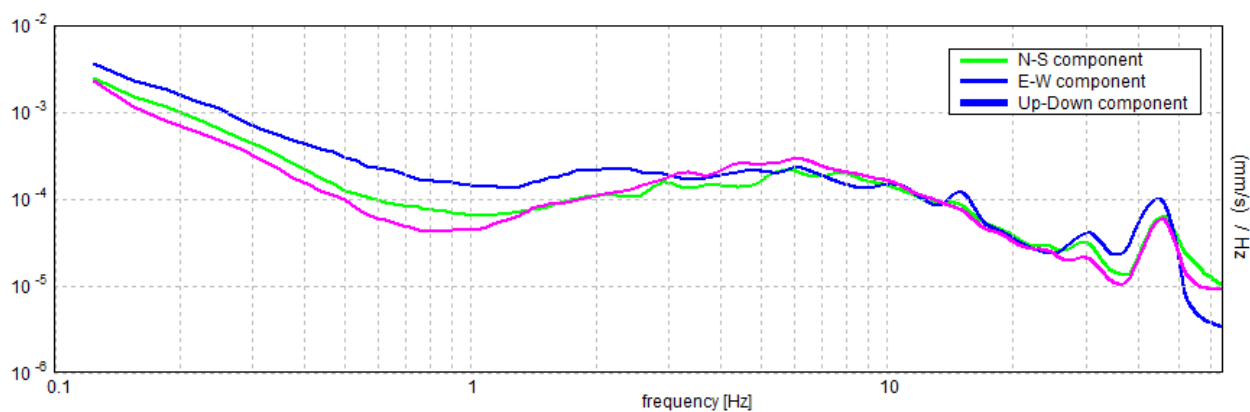
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

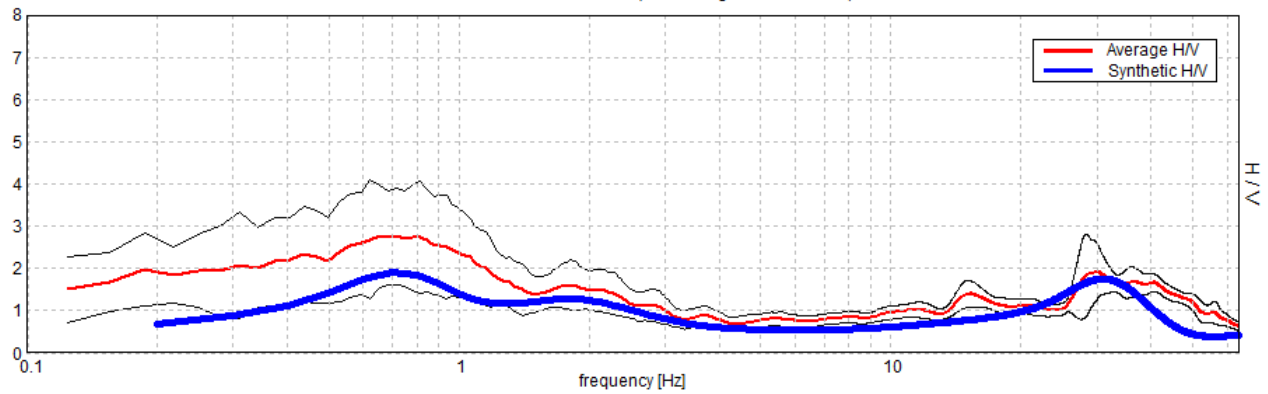


SINGLE COMPONENT SPECTRA



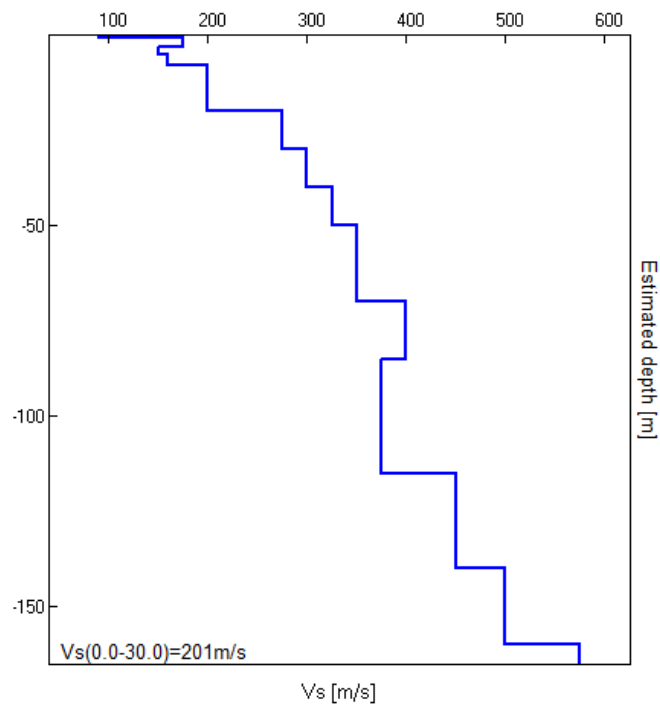
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.66 ± 0.06 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	90	0.35
3.00	2.30	175	0.35
5.00	2.00	150	0.35
8.00	3.00	160	0.35
20.00	12.00	200	0.35
30.00	10.00	275	0.35
40.00	10.00	300	0.35
50.00	10.00	325	0.35
70.00	20.00	350	0.35
85.00	15.00	400	0.35
115.00	30.00	375	0.35
140.00	25.00	450	0.35
160.00	20.00	500	0.35
inf.	inf.	575	0.35

Vs(0.0-30.0)=201m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.66 ± 0.06 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.66 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$498.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 32 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.77 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04707 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03089 < 0.09844$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5898 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PIEVE DI CENTO_MS, PSC TR1 037048P48HVSR48

Strumento: TRE-0008/01-07

Inizio registrazione: 07/05/08 16:36:39 Fine registrazione: 07/05/08 16:50:39

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

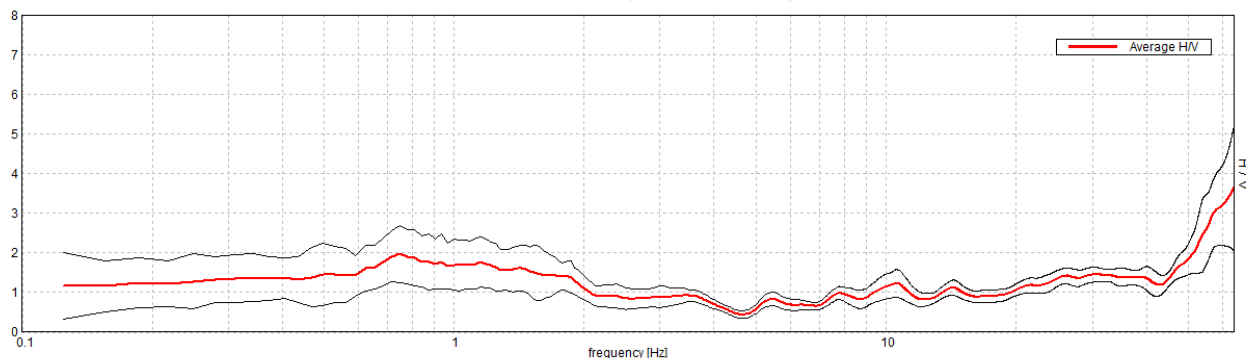
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

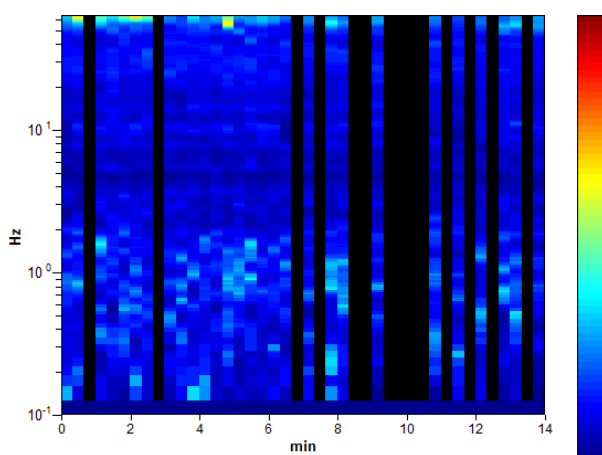
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

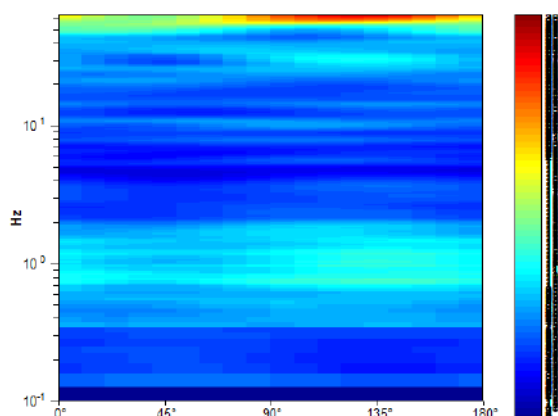
Picco H/V a 0.75 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).



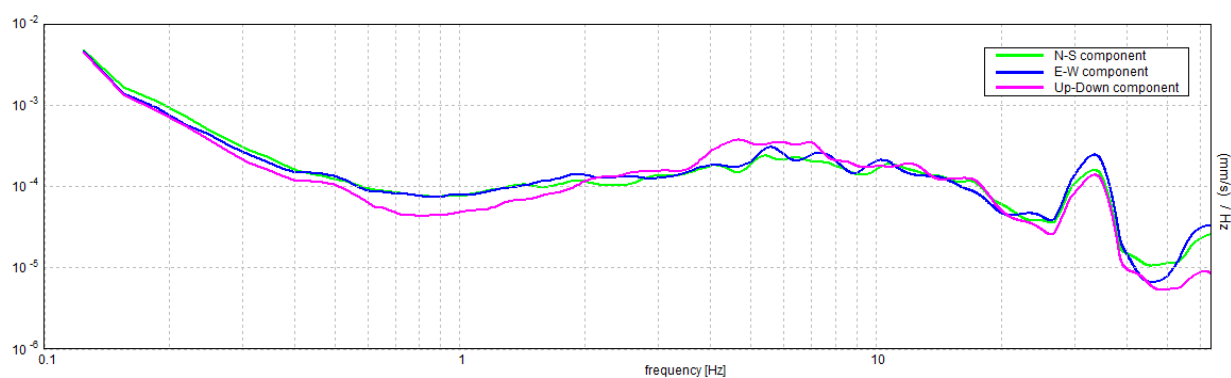
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.75 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$420.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 37	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.97 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05889 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04417 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.348 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PIEVE DI CENTO_MS, MS 2017 TR4 GALILEI

037048P87HVSR94

Instrument: TRZ-0108/01-10

Start recording: 19/10/17 08:45:09 End recording: 19/10/17 09:05:10

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)

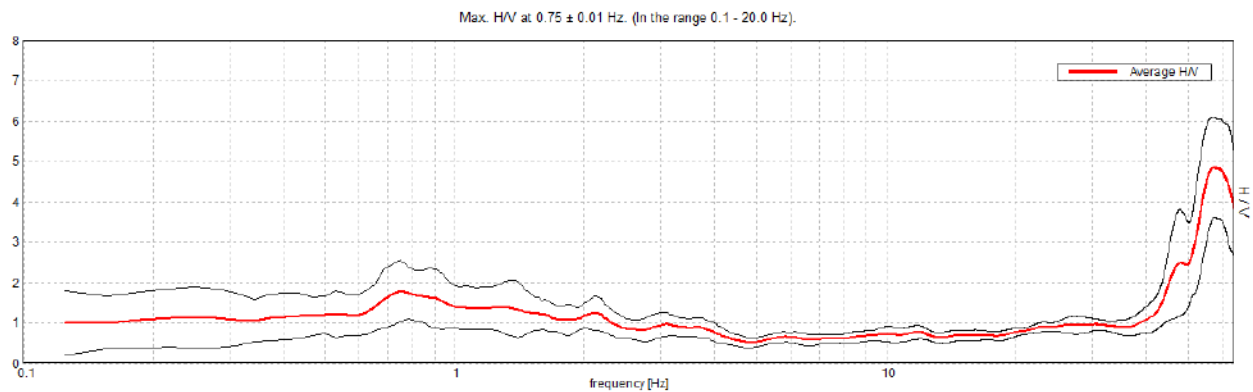
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

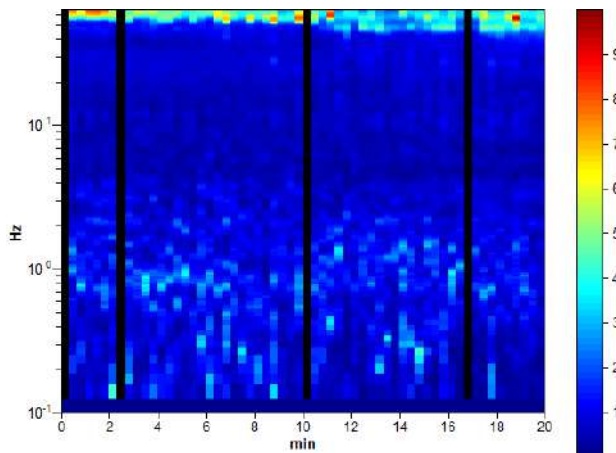
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

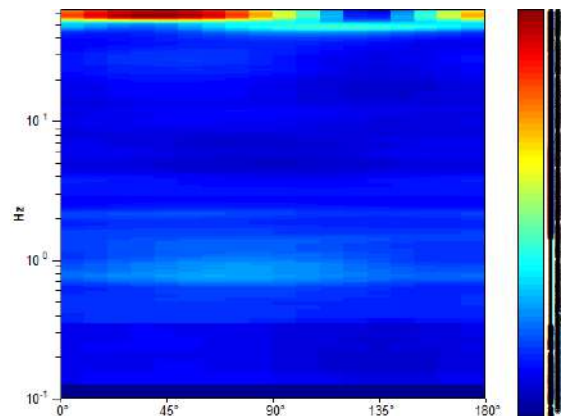
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



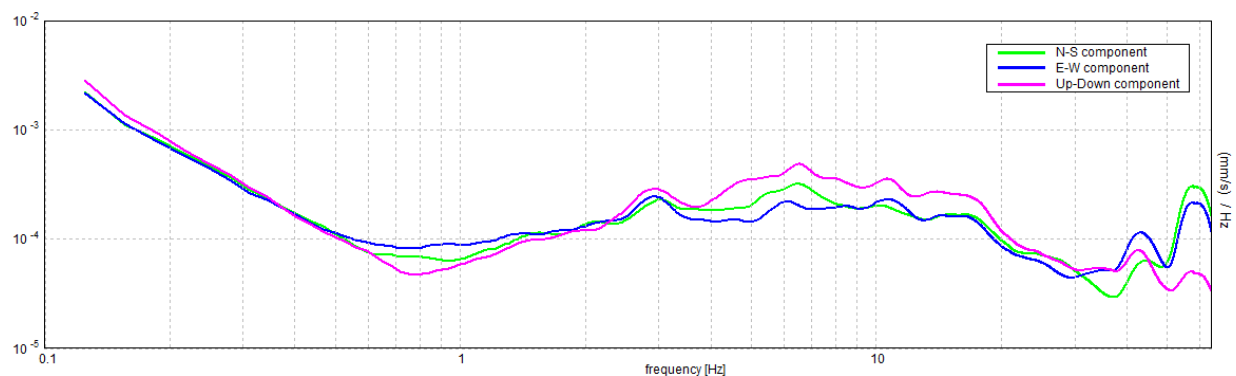
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.75 ± 0.01 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$840.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 37 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.78 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00706 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00529 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3809 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PIEVE DI CENTO_MS 2017 TR 07 037048P90HVS97

Instrument: TRZ-0108/01-10

Start recording: 29/12/17 12:34:57 End recording: 29/12/17 12:54:58

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 55% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

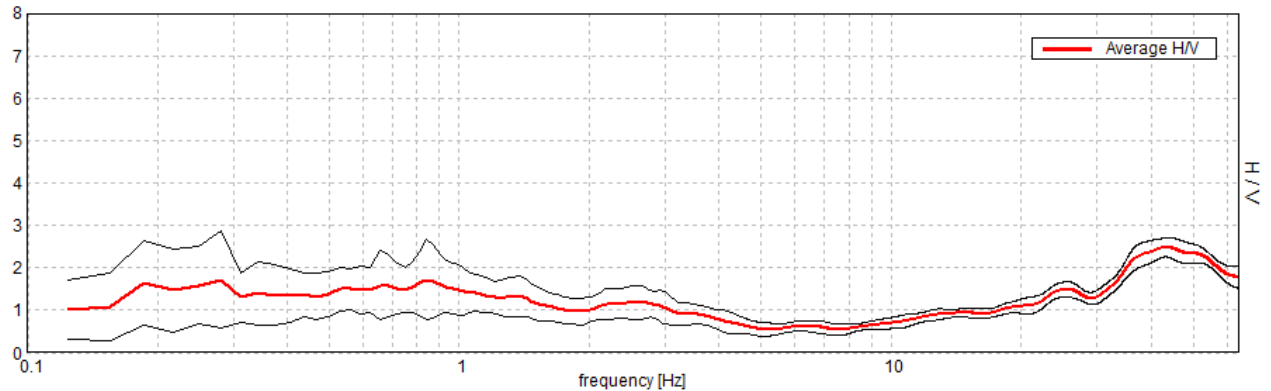
Window size: 20 s

Smoothing type: Konno & Omachi window

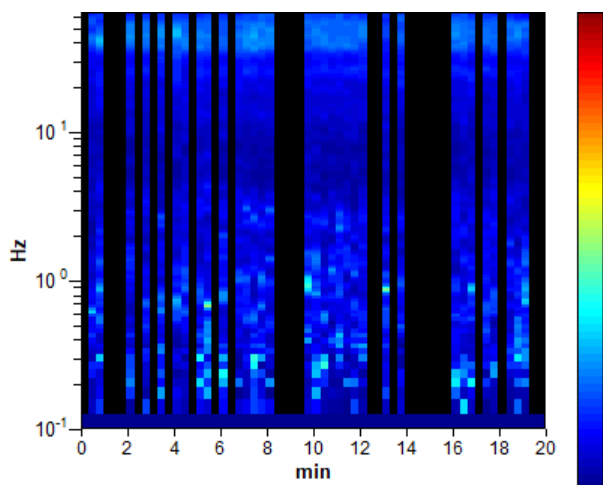
b-value: 40

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

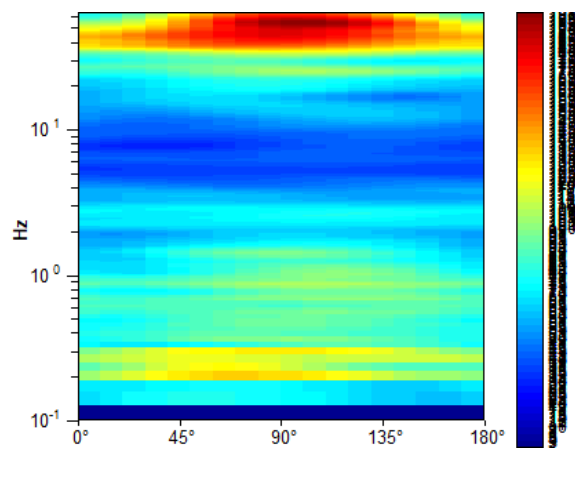
Max. H/V at 0.84 ± 0.16 Hz. (In the range 0.2 - 20.0 Hz).



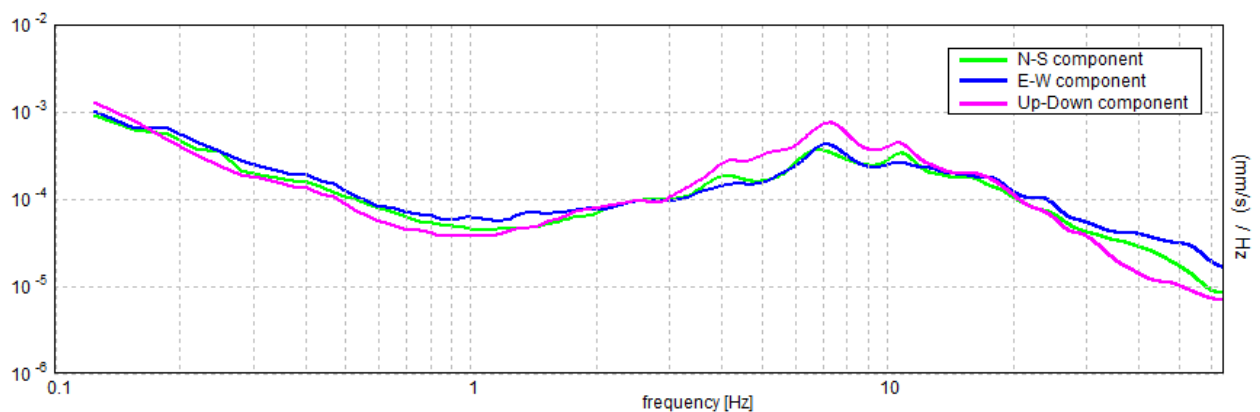
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.84 ± 0.16 Hz (in the range 0.2 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$556.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 42 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.72 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09287 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07836 < 0.12656$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4596 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20